

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETONARME BİNALARIN ZEMİN KATINDA OLUŞABİLEN  
KISA KOLON VE YUMUŞAK KAT DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Müh. Gökhan IŞIK**

**AĞUSTOS 2006**

**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETONARME BİNALARIN ZEMİN KATINDA OLUŞABİLEN  
KISA KOLON VE YUMUŞAK KAT DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**İnş. Müh. Gökhan IŞIK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“İnşaat Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.07.2006  
Tezin Savunma Tarihi : 18.08.2006**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Selim PUL  
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Metin HÜSEM  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. M. Reşat SÜMERKAN**

**Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT**

**Trabzon 2006**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Betonarme Binaların Zemin Katında Oluşabilen Kısa Kolon ve Yumuşak Kat Davranışının İncelenmesi” isimli bu çalışmayı bana önererek, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, çalışma süresince bilgi ve deneyimlerinden yaralandığım danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Selim PUL'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmam sırasında bana çeşitli konularda yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen, Sayın Arş. Gör. Ercan YOZGAT'a ve kardeşim olarak gördüğüm İnş. Müh. Burak KUMRU'ya teşekkür ederim.

Öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Bana olan inançlarını kaybetmeksizin maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen, en zor anlarımda bile yanımda olduklarını bildiğim aileme teşekkür ederim.

Gökhan IŞIK  
Trabzon 2006

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET .....	V
SUMMARY .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ .....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....	4
3. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI .....	8
3.1. Yapıların Deprem Etkisi Altında Davranışı .....	8
3.2. Deprem Hareketi .....	9
3.2.1. Servis (Kullanım) Depremi .....	10
3.2.2. Tasarım Depremi .....	10
3.2.3. En Büyük Deprem .....	10
3.3. Performans Seviyeleri (Sınır Durumlar) .....	10
3.3.1. Hemen Kullanım Performans Seviyesi .....	11
3.3.2. Hasar Kontrol Performans Aralığı .....	12
3.3.3. Can Güvenliği Performans Seviyesi.....	12
3.3.4. Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı .....	12
3.3.5. Göçmenin Önlenmesi (Stabilitenin Korunması) Performans Seviyesi .....	12
3.3.6. Göçme Durumu .....	13
3.4. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sağlanması Gereken Ana İlkeler.....	14
3.4.1. Yapı Tasarımında Geometri .....	14
3.4.2. Taşıyıcı Sistemin Sürekliliği .....	16
3.4.3. Taşıyıcı Sistemde Yeterli Rijitlik ve Dayanım.....	16
3.4.4. Taşıyıcı Sistemin ve Elemanların Sünekliliği .....	20
4. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER VE YAPI DAVRANIŞINA ETKİLERİ.....	23

4.1.	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yönetmeliklerin Önemi.....	23
4.2.	Yapısal Düzensizlikler .....	25
4.2.1.	Planda Düzensizlik Durumları .....	26
4.2.1.1.	Burulma Düzensizliği Durumu (A1 Türü Düzensizlik) .....	26
4.2.1.2.	Döşeme Süreksizlikleri Durumu (A2 Türü Düzensizlik).....	29
4.2.1.3.	Planda Çıkıntıların Bulunması Durumu (A3 Türü Düzensizlik).....	30
4.2.1.4.	Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması Durumu (A4 Türü Düzensizlik).....	31
4.2.1.5.	Çerçevelerin Süreksizliği .....	32
4.2.2.	Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları.....	33
4.2.2.1.	Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Durumu (B1 Türü Düzensizlik).....	33
4.2.2.2.	Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Durumu (B2 Türü Düzensizlik).....	35
4.2.2.3.	Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği Durumu (B3 Türü Düzensizlik).....	37
4.2.2.4.	Kısa Kolon Oluşumu .....	38
5.	DOLGU DUVARLARIN YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARINA ETKİSİ.....	41
5.1.	Dolgu Duvarlar ve Çerçeve Yapılar .....	41
5.2.	Dolgu Duvarların Yapının Deprem Davranışına Etkileri ve Göçme Biçimleri .....	41
5.3.	Dolgu Duvarı Özelliklerinin Yapı Davranışına Etkisi .....	45
5.4.	Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Modellenmesi .....	46
6.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	48
6.1.	Giriş .....	48
6.2.	Çalışmaya Konu Olan Modelin Tanımlanması .....	49
7.	BULGULAR VE İRDELEME .....	53
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	81
9.	KAYNAKLAR.....	83
	EKLER .....	86
	ÖZGEÇMİŞ.....	95

## ÖZET

Yapı tasarımında, taşıyıcı sistemin kesit hesaplarına esas olacak iç kuvvetler, genellikle dolgu duvarların yok sayıldığı çözümlene modellerinden alınmaktadır. Yapıya ikincil eleman olarak yerleştirilmiş olmasına rağmen, dolgu duvarlar, deprem hareketi sırasında içerisinde buldukları çerçevelerin ve dolayısıyla yapının davranışını önemli ölçüde değiştirebilmektedirler. Geleneksel tasarımda göz ardı edilen diğer bir husus ise, çok katlı yapılarda zemin kat yüksekliğinin farklı olabilmesidir. Böylece, normal katlardan daha yüksek tasarlanmış ve çeşitli nedenlerle rijitliği azaltılmış zemin katlar; yumuşak kat ya da zayıf kat durumuna düşebilmektedir.

Bu çalışmada, geleneksel tasarım sırasında göz ardı edilen dolgu duvarların varlığının ve farklı zemin kat yüksekliklerinin, yapı davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Özellikle, zemin kat seviyelerinde oluşan farklı kesit etkilerinin nedenleri incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, zemin kat seviyesinde dolgu duvar yükseklikleri kademeli bir şekilde artırılarak kısa kolon oluşumu gözlenmeye çalışılmıştır. Diğer taraftan, zemin kat yükseklikleri artırılarak da yumuşak kat oluşumu incelenmiştir.

Her iki sakıncalı durumun ortaya çıkmasında yapı kat adetlerinin de etken olabileceği düşüncesiyle, zemin kat seviyelerinde yapılan uygulamalar farklı kat adetlerine sahip yapılarda da uygulanmıştır.

Dolgu duvarlar uygun ve düzenli kullanılmadığından, yatay kuvvetler altındaki yapıların davranışlarında ciddi anlamda olumsuz etkiler meydana gelmiştir. Zemin kat yüksekliğinin artması ise, yapıyı yumuşak kat düzensizliği riskine sokmuştur.

Bu çalışmada, betonarme bir yapıda kısa kolon veya yumuşak kat oluşmasındaki ana etkenin rijitlik olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dolgu Duvar, Kısa Kolon, Yumuşak Kat, Modal Analiz

## SUMMARY

### **Investigation of Short Column and Soft Story Behavior at Reinforced Concrete Structures**

In structural design, the internal forces, which is considered as a basic element for cross section analysis of the loading bearing system, are obtained from the solution models in which the effects of fill walls are ignored. Although those fill walls have been positioned as secondary member of the structure, they can effect the behaviour of the frames, they are in, importantly and consequently, they may change the behaviour of the structures directly. The other subject that is ignored in general design procedure, is that the base storey height may be various in multi-storey structures. Thus; base storeys, whose rigidity is decreased because of various reasons and which is designed higher than the normal storeys, can be considered as soft storey or weak storey.

In this research, the effect of different base storey heights and existence of fill walls on the behaviour of structure is investigated. Those effects are ignored in general design procedure. Especially, the reasons of different cross sections which are formed at base storey level are examined. Thus, the height of fill walls are gradually increased in order to observe short column formation at base storey level. On the other hand, soft storey formation is observed by increasing base storey heights.

Having the idea that the number of storeys of the structure may cause both undesirable cases, the applications at base storey levels are applied to the structures having different number of storeys.

Since fill walls are not used correctly and regularly, the behaviour of the structures under horizontal forces are effected negatively. Besides, increasing the base storey height causes soft storey irregularity.

In this study, it is concluded that the main factor that causes short column formation and soft storey formation is the rigidity.

**Key Words:** Fill Wall, Short Column, Soft Storey, Modal Analysis

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları .....	13
Şekil 2. Deprem etkisinde uyumsuz kütle hareketi gösteren yapılar için uygun çözümler .....	15
Şekil 3. Yapılarda oluşan yatay yerdeğıştirmeler .....	17
Şekil 4. Yatay yük etkisinde çerçevesel ve perde duvarlı yapıların yatay yerdeğıştirmesi .	18
Şekil 5. (a) Elastik olan ve olmayan kuvvet-yerdeğıştirme bağıntısı, (b) Betonarme elemanlarda yük-yerdeğıştirme eğrisi .....	21
Şekil 6. A1 burulma düzensizliğı durumu .....	27
Şekil 7. Gerçek ve kaydırılmış kütle merkezleri.....	27
Şekil 8. A2 döşeme süreksizliğı durumu .....	30
Şekil 9. A3 yapının planında çıkıntı bulunması durumu .....	31
Şekil 10. A4 taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmaması durumu .....	32
Şekil 11. Kat planında sürekli ve süreksiz kirişler .....	32
Şekil 12. B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliğı (zayıf kat) durumu.....	34
Şekil 13. Zayıf kat etkisinde oluşan yapısal hasarlar.....	35
Şekil 14. Yumuşak kat oluşumundan dolayı meydana gelen yapısal hasarlar .....	36
Şekil 15. Taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliğı .....	37
Şekil 16. (a) Duvar yüksekliğinden ve (b) farklı temel seviyelerinden kaynaklanan kısa kolon oluşma durumları.....	39
Şekil 17. Kısa kolon oluşumundan dolayı hasar görmüş yapılar .....	40
Şekil 18. Viyadüklerde meydana gelen kısa kolon durumu .....	40
Şekil 19. İki çerçevesinde dolgu duvar bulunan çok katlı betonarme yapının kat planı .....	42
Şekil 20. Betonarme çerçevenin bir kısmında dolgu duvar bulunması hali .....	43
Şekil 21. Tipik dolgu duvarlı çerçeve.....	46
Şekil 22. Dolgu duvarın çerçeve yatay ötelenmesinde basınç çubuğı gibi davranışı.....	47
Şekil 23. Dolgu duvarlı çerçevelerin basınç çubukları ile modellenmesi .....	47
Şekil 24. Çalışmaya konu olan yapı modelinin kat planı .....	50
Şekil 25. Z4 türü zemin sınıfına ait spektral ivme-periyot grafiğı .....	52
Şekil 26. 5 katlı ve 4m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan moment değerleri.....	54



Şekil 27. 5 katlı ve 4m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan kesme kuvveti değerleri .....	55
Şekil 28. 5 katlı ve 4m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan yerdeğiştirme değerleri .....	56
Şekil 29. 8 katlı ve 4m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan moment değerleri .....	58
Şekil 30. 8 katlı ve 4m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan kesme kuvveti değerleri .....	59
Şekil 31. 8 katlı ve 4m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan yerdeğiştirme değerleri .....	60
Şekil 32. 11 katlı ve 4m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan moment değerleri .....	62
Şekil 33. 11 katlı ve 4m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan kesme kuvveti değerleri .....	63
Şekil 34. 11 katlı ve 4m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan yerdeğiştirme değerleri .....	64
Şekil 35. Farklı zemin kat yüksekliklerine sahip 5 katlı yapının kolonlarında oluşan moment değerleri.....	66
Şekil 36. Farklı zemin kat yüksekliklerine sahip 5 katlı yapının kolonlarında oluşan kesme kuvveti değerleri.....	67
Şekil 37. Farklı zemin kat yüksekliklerine sahip 5 katlı yapının kolonlarında oluşan yerdeğiştirme değerleri.....	68
Şekil 38. 4m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi .....	70
Şekil 39. 4m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi .....	71
Şekil 40. 4m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi .....	72
Şekil 41. 4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi .....	73
Şekil 42. 4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi .....	74
Şekil 43. 4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi .....	75
Şekil 44. 5m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi .....	76
Şekil 45. 5m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi .....	77
Şekil 46. 5m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi .....	78

## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları .....	11
Tablo 2. Çalışma için yapılan analizler .....	49
Tablo 3. 4 m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri .....	70
Tablo 4. 4 m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri .....	71
Tablo 5. 4 m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri .....	72
Tablo 6. 4,5 m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri .....	73
Tablo 7. 4,5 m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri .....	74
Tablo 8. 4,5 m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri .....	75
Tablo 9. 5m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri .....	76
Tablo 10. 5 m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri.....	77
Tablo 11. 5 m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri .....	78
Tablo 12. 4 m zemin kat yüksekliğine sahip yapıların farklı periyot değerleri.....	79
Tablo 13. 4,5 m zemin kat yüksekliğine sahip yapıların farklı periyot değerleri.....	79
Tablo 14. 5 m zemin kat yüksekliğine sahip yapıların farklı periyot değerleri.....	80

## SEMBOLLER DİZİNİ

- $A_o$  : Etkin yer ivmesi katsayısı
- $B_a$  : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenine doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
- $B_{ax}$  : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenine doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- $B_{ay}$  : Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenine doğrultusunda, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- $e$  : Dışmerkezlik
- $d_i$  : Binanın i. katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
- $h_i$  : Binanın i. katının kat yüksekliği
- $I$  : Bina önem katsayısı
- $l_n$  : Kolon serbest boyu
- $M_d$  : Tasarım eğilme momenti
- $M_p$  : Pekleşmeli moment
- $M_r$  : Kesit taşıma gücü momenti
- $R$  : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
- $S(T)$  : Spektrum katsayısı
- $S_{pa}(T_r)$  : r. doğal titreşim modu için ivme spektrumu ordinatı
- $T$  : Bina doğal titreşim periyodu
- $T_1$  : Binanın birinci doğal titreşim periyodu
- $T_{1A}$  : Binanın ampirik bağıntı ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu
- $T_A, T_B$  : Spektrum karakteristik periyotları
- $V_i$  : Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i. katına etki eden kat kesme kuvveti
- $V_d$  : Tasarım kesme kuvveti
- $V_e$  : Deprem durumunda gözönüne alınacak kesme kuvveti
- $V_r$  : Kesme dayanımı
- $\Delta_i$  : Binanın i. katındaki görelî kat ötelenmesi
- $(\Delta_i)_{max}$  : Binanın i. katındaki maksimum görelî kat ötelenmesi
- $(\Delta_i)_{ort}$  : Binanın i. katındaki ortalama görelî kat ötelenmesi

$\eta_{bi}$  i. : Katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı

$\eta_{ci}$  i. : Katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı

$\eta_{ki}$  i. : Katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı

## 1. GENEL BİLGİLER

Ülkemizin, dünyanın önemli deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunması nedeniyle, topraklarının yaklaşık %98'inin aktif deprem riski altında olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, diğer türlerinde de olduğu gibi, betonarme yapıların projelendirilmesi ve inşası sırasında da deprem etkisinin göz önüne alınması kaçınılmaz olmaktadır. Depremin, yapının ekonomik ömrü boyunca uğrayabileceği tehlikeli bir yükleme türü olduğu düşünüldüğünde, betonarme taşıyıcı sistem tasarımının optimum bir mühendislik yaklaşımı ile ele alınması gerektiği ortaya çıkmakta ve böylece, taşıyıcı sistem tasarımında, yapıya etkimesi muhtemel deprem kuvvetlerinin olabildiğince doğru hesaplanması ve sisteme güvenli bir biçimde taşınması ana unsurlardan biri olmaktadır.

Taşıyıcı sistemin düzenli olması, depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımında en önemli ilkelerden birini oluşturmaktadır. Düzenli yapıların, gerek uygulamada, gerekse yapısal çözümlenme ve boyutlandırma daha pratik ve ekonomik çözümler verdiği, hesap davranışı ve gerçek davranışın birbirine yakın olması nedeniyle de iyi bir tasarım için tercih edilen ilk çözüm seçeneği olduğu da açıktır. Buna karşın günümüzde, imar durumu vb. gibi sınırlamalar nedeniyle, kısaca "Deprem Yönetmeliği" olarak anılan, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te [1] tanımlanan düzgün taşıyıcı sistem tasarımının yapılamadığına, ya da projede öngörülenden çok farklı düşey yükleme uygulamalarına sıkça tanık olunmaktadır.

Bina türü betonarme taşıyıcı sistemler, genellikle salt çerçevelerden ya da perdeli çerçevelerden oluşmaktadır. Aynı zamanda bu çerçevelerden birçoğu, genellikle mimari ve/veya çeşitli işlevsel nedenlerle, kendi düzlemlerinde tuğla veya beton blok duvarlarla doldurulmaktadır. Asıl amacı, yapılarda uygun bölmeler oluşturmak olan dolgu duvarlar, yapıda düzensizlik oluşturmadığı sürece, taşıyıcı sistemin davranışını etkilemekte, yapının düşey ve özellikle yatay yükler altındaki dayanım ve rijitliğini artırmakta, duvar-çerçeve birleşim derzlerindeki kayma ve sürtünmeler ise, duvarın basınç köşelerindeki ezilmeler ve örgü derzlerindeki çatlak ve şekil değiştirmeleri ile önemli ölçüde enerji yutmaktadır. Bu bakımdan, dolgu duvarların katkısı ile oluşan kompozit çerçeve yapıların yatay yükler altındaki davranışları, özellikle deprem bölgelerindeki yapılar için, dikkate değer özellikler taşımaktadır.

Betonarme yapıların projelendirilme aşamasında, dolgu duvarların, yapının taşıyıcı sistemi üzerindeki etkileri çoğu kez ihmal edilmektedir. Yapısal çözümlemede, genellikle, dolgu duvarlar sadece ağırlıkların belirlenmesi için dış yük olarak dikkate alınmakta, betonarme elemanlardan oluşan taşıyıcı sistem göz önüne alınmaktadır. Ancak, deprem sırasında binalarda oluşan hasarlar üzerine yapılan incelemelerden, duvarlarda büyük kalıcı şekildeğişikliklerin oluştuğu saptanmıştır. Bu kalıcı şekildeğişikliklerin oluşum mekanizması, diğer bir deyişle, duvarların taşıyıcı sistem ile olan etkileşimi konusunda yapılmış olan deneysel ve teorik çalışmalarla, dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranış özelliklerini (periyot, rijitlik, yük taşıma kapasitesi, süneklik, göçme mekanizması, enerji yutma kapasitesi vb.) büyük ölçüde değiştirebildiği ortaya konmuştur.

Bununla beraber, genel olarak, dolgu duvarlı çerçevelerin, boş çerçevelerden daha mukavemetli ve rijit oldukları ancak, dolgu duvarlardaki kapı ve pencere boşluklarının dolgulu çerçevelerin rijitliğini ve mukavemetini düşürdüğü bilinmektedir. Buna karşılık, içinde boşluklar bulunan dolgu çerçeveli yapılar, içinde boşluk bulunmayan dolgu çerçeveli yapılara oranla daha sünek davranmaktadırlar.

Dolgu duvarlı çerçevelerin göçme biçimleri şöyle sıralanabilir [2]:

- Çekme tarafındaki kolonda çekme göçmesi;
- Dolgu duvarın örgü ve birleşim derzlerinde kayma - çekme göçmesi;
- Dolgu duvarının diyagonali doğrultusunda çekme göçmesi;
- Diyagonal boyunca duvarda basınç - ezilme göçmesi;
- Çerçeve kolonlarında kesme - eğilme göçmesi.

Birçok durumda göçme, yukarıdaki sebeplerin birkaçının birleşimi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu karmaşık duvar-çerçeve etkileşimini en aza indirmek için bazen dolgu duvarların kolon ve kirişlerle teması, boşluk meydana getirebilmek için, araya yerleştirilen esnek levhalarla önlenmektedir. Ancak bu durumda dolgu duvarların düzlemine dik doğrultudaki stabilitelerinin sağlanması sorunu ortaya çıkmaktadır.

Dolgu duvarlar taşıyıcı eleman olarak kullanılacaksa, yapısal çözümlemede bu duvarlar uygun ve güvenilir bir biçimde modele dahil edilebilmelidir. Örneğin, kolonlar arasındaki kısmi dolgular, kolonların davranışını önemli ölçüde değiştirmektedirler. Tavan kirişine kadar yükselmeyen duvarlardan dolayı etkili boyu azalan ve rijitliği aşırı derecede artan kolonlara, normal kolonlara etkiyenden çok daha fazla kesme kuvveti gelmektedir. Bunun sonucu olarak da, teknik literatürde “kısa kolon oluşumu” olarak tanımlanan

duruma gelen bu kolonlar, yapının genel durumunu da etkileyen, çok tehlikeli gevrek kırılmalara maruz kalabilmektedirler.

Bu çalışmada; çerçeve sistemli betonarme yapıların zemin kat yüksekliğinin ve dolgu duvar yüksekliğinin, komşu kolonlara ve yapıya olan etkileri ele alınmıştır. Bu amaçla, belirlenen bir çerçeve sisteme sahip yapı modeli üzerinde gerçekleştirilen yapısal çözümlerinde, yükleme koşulları, malzeme özellikleri, dolgu duvarın cinsi ve kalınlığı sabit tutulurken, yapıların kat sayıları, zemin kat yükseklikleri ve zemin katlardaki dolgu duvar yükseklikleri değişken olarak seçilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Tez çalışmasının en önemli kısmını oluşturmakta olan kısmen veya tamamen dolgulu çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışına ilişkin, bugüne kadar çok sayıda teorik ve deneysel araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalardan bazıları aşağıda sunulmaktadır.

Benjamin ve Williams (1957), iç kısmı betonarme malzeme ile doldurulmuş tek katlı düzlemsel betonarme çerçeve sistemlerin yatay yükler altındaki kırılma davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Araştırmalarında, yükleme koşulları, malzeme özellikleri, dolgu kalınlığı ve donatısı, çekme ve basınç kolonlarının enkesit alanları ve donatıları gibi değişkenlerin, dolgulu çerçeve sistemin kırılma yükü ve kırılmadan önceki davranışı üzerindeki etkilerini belirleyen yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Yükleme ile yer ve boy değiştirmeler arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerde, dolgunun davranışını elastik bölge, çatlama bölgesi, kırılma öncesi bölgesi olarak üç bölgede toplamışlar, bu bölge sınırları için elde ettikleri yük-yerdeğiştirme eğrilerinin yaklaşık olarak üç doğru çizgi ile ifade edilebileceği sonucuna varmışlardır [3].

Benjamin ve Williams (1958), kendi düzlemlerinde etkilenen tuğla yığma duvarların yatay yükler altındaki davranışlarıyla ilgili araştırmalarında, uzunluk/yükseklik oranının maksimum mukavemet ve rijitlik üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu ve kolonların çelik oranının değiştirilmesinin, çatlama sınırları dışında rijitliği etkilemediği sonucuna varmışlardır [4].

Holmes (1961), betonarme ve tuğla dolgulu tek katlı çelik çerçeveler üzerinde, Smith (1967) ise diyagonal basınç çubuğu yaklaşımının çok katlı dolgulu çerçeve sistemlerine uygulanması üzerinde çalışmıştır [5,6].

Mallick ve Severn (1967), dolgulu çerçeve sisteminin analizinde, sonlu elemanlar yöntemini kullanmış ve dolgu panellerini yatay yük etkisinde dikdörtgen paneller olarak ele almışlardır. Diğer bir deyişle, dolgu panellerini düzlemsel şekil değiştiren elemanlar, çerçeveyi eğilme çubukları şeklinde elemanlar olarak modellemişlerdir. Yapmış oldukları deneylerden elde ettikleri sonuçlar ile bu teorik yaklaşımla elde edilen sonuçların uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir [7].

Mallick ve Garg (1971), pencere ve kapı gibi boşlukların dolgulu çerçeve sisteminin rijitliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Boşlukların, yüklenen diyagonalin herhangi iki ucundan birinde bulunmasının, yapısal olarak uygun olmadığını ortaya



koymuşlar, kapı boşluğunun, panelin alt yarısının merkezine, pencere boşluğunun ise panelin dik kenarına olabildiğince yakın olacak şekilde, orta yüksekliğe yerleştirilmesini önermişlerdir. Ayrıca, deneylerden ve sonlu elemanlar yaklaşımından elde ettikleri sonuçlar arasında kabul edilebilir benzerlikler olduğu sonucuna varmışlardır [8].

Fiorata ve ark. (1969), çerçeve-dolgu panelli sistemlerin davranışı üzerine farklı duvar malzemesi ile doldurulmuş, tek katlı tek açıklıklı, beş katlı tek açıklıklı ve iki katlı üç açıklıklı model çerçeveler denemişlerdir. Bu deneysel çalışmalarda, ana değişkenler, çerçeve donatısının miktarı, kalitesi ve yerleşim düzeni, kolonlara uygulanan düşey yükün şiddeti, duvar boşluklarının büyüklüğü, şekli ve konumları olarak seçilmiştir. Araştırma sonuçlarında, dolgulu çerçeve sisteminin yatay yük etkisi altında, dolgu duvarlarda kayma çatlakları oluşuncaya kadar bir konsol giriş gibi davrandığı, çatlak oluşuktan sonraki davranışın diyagonal takviyeli bir çerçeve davranışına benzediğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca, çerçeve-duvar ortak davranışının, boş çerçeveye göre daha fazla taşıma gücü ve rijitliğe sahip olduğunu, fakat süneklikte aynı oranda bir azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir [9].

Smith ve Carter'ın (1969) yayınladıkları çalışmada; dolgu duvarlı çerçevenin eşdeğer bir kafes sistem haline dönüştürülerek, bilinen statik yöntemlerle analizinin yapılabileceği öne sürülmüştür. Eşdeğer kafes sistemde, dolgu duvar, yatay yüklerden dolayı oluşan basınç diyagonal boyunca eşdeğer bir basınç çubuğu olarak idealize edilmiş, çerçeve elemanlarının hepsi çekme veya basınç çubuğu olarak düşünülerek eğilme taşımadıkları varsayılmıştır. Smith'in çerçeve elemanlarını kafes sistem elemanları olarak düşünmesinin nedeni, dolgu duvarın çerçeveye yerleştirilmesiyle, daha önce çerçeve elemanlarında yatay yükten oluşan eğilme momentlerinde yüksek oranlarda azalmanın gözlenmiş olmasıdır. Böyle bir yaklaşımın ileri sürülmesindeki bir diğer neden de, çok katlı çerçevelerde kat sayısı artmasıyla aksenal kuvvetlerin, eğilme momentlerinden daha etkin hâle gelmesidir [10].

Ersoy ve ark. (1971), tarafından O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümünde yapılan bir araştırma projesi kapsamında, dolgulu çerçevelerin davranış ve mukavemetini incelemek amacıyla, değişik yükler altında dokuz adet betonarme dolgulu çerçeve denenmiştir. Deneylerde, dolgulu çerçevelerin yük taşıma kapasitesi ve rijitliğine birinci derecede etki edeceği düşünülen çerçeve açıklığının çerçeve yüksekliğine oranı, dolgu kalınlığı, dolgu ile çerçeve arasında aderansın varlığı veya yokluğu, çerçeveye etki eden yatay yükün düşey yüke oranı gibi değişkenler dikkate alınmıştır.

Yatay yük etkisi altında yüklenmemiş köşelerde dolgu ile çerçeve arasında başlayan ayrılma çatlakları ve daha büyük yüklemelerde dolguda görülen diyagonal çatlakları gibi genel model davranışları, araştırmacıları, dolgunun çerçeve içinde çapraz bir basınç elemanı gibi çalıştığı sonucuna götürmüştür. Deney sonuçlarına uyum sağlayan analiz metodu olarak, diyagonal basınç çubuğu analojisi benimsenmiştir. Yatay yük etkisinde yük-deplasman ilişkisi, sistemin çatlamadan önceki davranışının elastik sınırlar içinde olduğu kabulü ile elde edilmiştir [11].

Gülkan ve Wasti (1974), yayınladıkları çalışmalarında, farklı yükseklikteki dolgu duvarlı basit çerçevelerin yanal rijitliğindeki artışların analizi için, dolgu duvarın rijitliğinin elastik bir zemin ile temsil edildiği ve Rayleigh-Ritz metoduna dayalı analitik bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada, Smith ve Carter (1969)'dan elde edilen model deneylerin grafikleri ile kendi analitik modellerinden elde ettikleri grafikler karşılaştırılmış ve sonuçların iyi bir uyum içinde olduğu gösterilmiştir [12].

Klingner ve Bertero (1976), deneysel ve analitik olarak betonarme çerçevelerin sismik davranışı konusunda dolgu panellerinin etkisini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar, dolgulu çerçevelerin esas olarak iki tip yapısal bileşenin bir birleşeni şeklinde davrandığını göstermiştir. Bunlar, çerçeve elemanlarının kendileri ve çerçeveyi rijitleştirerek deprem enerjisini çatlaklara dağıtan dolgulardır. Analitik inceleme için, dolgu paneli bir çift diyagonal çubuk elemanı kullanılarak modellenmiştir [13].

Axley ve Bertero (1979), çerçeve dolgu panel sistemlerinin davranışını ve dolgu panellerin rijitliğe katkısını araştırmışlardır. Bu amaçla, çerçeve boyutları ve malzeme özellikleri sabit tutularak, önce panel yüksekliği değişken kabul edilmiş, daha sonra panel yüksekliği de sabit tutulup sadece panel kalınlığı değiştirilerek inceleme yapılmıştır [14].

Meli ve Bazan (1980), kagir duvarlı yapıların deprem hesabı için tekrarlanan yükler altında lineer olmayan davranış modellerini formüle etmişlerdir. Önerilen modeller farklı yükler altında analiz edilerek, sonuçları, elastik davranış ile karşılaştırılmıştır. Kagir duvarların lineer ve çatlama sonrası aşamadaki davranışı modellenmiştir. Bu yaklaşımda, çerçeve ve dolgu arasındaki ayrılma ve kayma sebebiyle, yatay rijitlikteki azalmayı gözönüne almak gerekmektedir. Çerçevenin ayrılma ve kaymasından sonra dolgu duvarın esas olarak bir basınç çubuğu şeklinde çalıştığı sonucuna varılmıştır [15].

Gülkan ve Wasti (1993), bir başka çalışmada, çok açıklık veya katlı genel çerçevelerin temel birimi olarak tek açıklıklı ve tek katlı bir çerçeve gözü ele

almışlardır. Çerçeve, elastik kolon kiriş elemanları ile, dolgu ise lineer olmayan iki boyutlu izoparametrik elemanlar ile modellenmiştir. Farklı yüksekliklerde olabilen dolgu malzemesinin Mohr-Coulomb kırılma kriterine göre davrandığı kabul edilmiştir. Çerçeve rijitliğini belirleyen kuvvet-deplasman ilişkisi, artan yanal yük altında incelenmiştir. Varılan sonuçlar, dolgu duvarın çerçeve davranışını, duvar yüksekliği, duvar açıklığının üçte birinden fazla olduğu zaman etkilemeye başladığını göstermektedir. Kolon kesme kuvveti, sadece çerçevenin gözönüne alındığı hesaplarda verilen değere göre dört-beş katı artabilmektedir. Tamamen dolu çerçevenin davranışı ise, kısmen dolgulu çerçeveninkinden temel farklılıklar göstermektedir [16].

### **3. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI**

#### **3.1. Yapıların Deprem Etkisi Altında Davranışı**

Betonarme yapıların, düşey yükler yanında yatay yükleri de güvenli bir şekilde taşıması gerekmektedir. Bina türü betonarme yapılarda, sabit yükler sınıfında bulunan taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların ağırlıkları ile hareketli yükler, düşey yükleri oluşturmaktadır. Deprem ve rüzgar etkileri ise, en önemli yatay yükleri meydana getirmektedir. Bu yükler, düşey yüklerden farklı özelliklere sahip olduğu için yapının güvenliğini sağlarken taşıyıcı sistem davranışının esas alınması ve ilgili yapısal kurallara uyulması gerekmektedir. Ancak deprem yüklerinin, düşey yükler gibi kesin olarak tespit edilmesi mümkün olmamaktadır.

Depremlerin büyüklükleri ortaya çıkardıkları enerjiye bağlı olarak belirlenmektedir. Dönüşüm periyodu uzun olan büyük depremler az sıklıkta meydana gelerek önemli hasarlar meydana getirirken, sık meydana gelen küçük depremler ise az hasar meydana getirmekte ve dönüşüm periyotları kısa olmaktadır. Deprem yönetmeliklerine göre, yapının amacına bağlı olarak, dönüşüm periyodu 100-500 yıl arasında bulunan büyük depremlere karşı binaların dayanımı yetersiz kalmaktadır. Zira, bu tür depremlerden oluşan kesit etkileri, taşıyıcı sistemin elastik davranışını aşmaktadır. Buna karşılık, bu değerlerin %15-20 gibi oldukça küçük bir oranını, yapının elastik bir davranış içerisinde karşılaması esas alınmaktadır ve daha büyük depremlerin, taşıyıcı sistemde meydana gelecek elastik ötesi şekildeğiştirmeler ve enerji tüketilmesi ile karşılanacağı kabul edilmektedir. Bunun sonucu olarak, taşıyıcı sistemin dayanım kapasitesine sık rastlanan şiddeti düşük depremlerde erişilebilmektedir. Bu durumda, deprem etkisi yönünden yapının dayanım kapasitesine erişmesinin yıllık ihtimali için %1-3 gibi yüksek bir oran ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, düşey yükler altında, taşıyıcı sistemin dayanım kapasitesine erişmesi ihtimali ise, %0.01 gibi oldukça düşük bir oran civarında bulunmaktadır. Bu iki değer kıyaslandığında, deprem etkisinin karşılanmasındaki eksikliklerin, ne gibi sorunlara yol açabileceği anlaşılabilir [17].

Yapıların boyutlandırılmasında, depreme karşı dayanımın da önemli olduğu düşüncesi, 1920'lere kadar uzanmaktadır. İlk zamanlar, sayısal ölçümlerin eksikliğinin de sonucu olarak, deprem etkisiyle meydana gelen yatay yük, yapı ağırlığının %10'u olarak

kabul edilmiştir. Ancak 1960'larda, depremlerden elde edilen sayısal bilgiler, daha gerçekçi yük kabullerini beraberinde getirirken bilgisayar yazılımlarındaki gelişmeler de, taşıyıcı sistemin çözümlenmesinin daha ayrıntılı biçimde yapılmasına imkan vermiştir. Bu arada, depremlerden sonra betonarme yapılar üzerinde yapılan incelemelerden, bir kesitte yeterli eğilme dayanımı bulunmamasının, taşıyıcı sistem bütünlüğü bozulmamak koşulu ile, yapıyı her zaman ağır hasara veya göçmeye götürmediği belirlenmiştir. Buna karşılık, kesme kuvveti etkisinin karşılanmamasından dolayı ortaya çıkan elastik ötesi (plastik) şekil değiştirmelerin önemli hasara neden olduğu gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak yapılan incelemeler, dikkatleri, dayanımdan çok elastik ötesi davranış üzerine yoğunlaştırmıştır. Taşıyıcı sistemin, elastik ötesi yerdeğiştirmelerinin büyük olması veya sünek olması ile, deprem enerjisinin sönmülenebileceği ve elemanlar arasındaki yardımlaşma sayesinde daha büyük deprem etkilerinin karşılanabileceği öne çıkmıştır. Ancak, elastik ötesi şekil değiştirmeler her zaman kolayca güvenilecek bir özellik olmamaktadır. Zira yerine göre, elemanların bir kısmı süneklik sağlarken, bir kısmı da meydana gelen aşırı ikinci mertebe etkileri nedeniyle sistemin göçmesine sebep olabilmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, sünek taşıyıcı sistemlerin kullanılması teşvik edilmektedir. Bunun yanında, yatay ve düşey kesitlerde düzenli taşıyıcı sistemin seçimi ve elemanların birleşim bölgelerinde gösterilecek özen önemle vurgulanmaktadır. Ayrıca, taşıyıcı sistemde yatay yerdeğiştirmeleri sınırlandıracak rijitliğin oluşturulması ve bu suretle, taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelebilecek hasarların azaltılması diğer önemli bir husus olarak belirtilmektedir [18].

### **3.2. Deprem Hareketi**

Yapı performansına dayalı değerlendirme ve tasarımda gözönüne alınmak üzere, farklı düzeyde deprem hareketleri tanımlanmaktadır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilmektedirler [17].

### **3.2.1. Servis (Kullanım) Depremi**

50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan ve yaklaşık dönüş periyodu ise 75 yıl olan bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadar kabul edilmektedir.

### **3.2.2. Tasarım Depremi**

50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 500 yıldır. Bu deprem, 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te [1] esas alınmaktadır.

### **3.2.3. En Büyük Deprem**

50 yılda aşılma olasılığı % 2, dönüş periyodu yaklaşık 2500 yıl olan depremdir. Bu depremin etkisi, tasarım depreminin yaklaşık 1.50 katı olarak dikkate alınmaktadır.

## **3.3. Performans Seviyeleri (Sınır Durumlar)**

Yapı için mutlak emniyetin sağlanmasının, diğer bir deyişle kullanım dışı kalma ihtimalinin sıfıra indirilmesinin normal olacağı düşünülmektedir. Oysa, gerçekte hiçbir yapının böyle bir emniyeti bulunmamaktadır. Aslında, hesaplarda yapıya belirli bir emniyet kazandırmaya çalışılırken, belirli bir emniyetsizlik de peşinen kabul edilmiş olmaktadır. Bu emniyetsizlik, diğer bir deyişle göçme dahil, yapıların kullanım dışı kalma ihtimali; yapının önemine, ülkenin ekonomisine ve daha birçok faktöre bağlı olarak seçilmektedir. Yıkılma olasılığı çok düşük tutulduğu durumda ilk yatırım maliyeti, çok büyük tutulduğu durumda ise hasarın doğuracağı ek maliyet artacağından, her iki çözüm de ekonomik olmamaktadır [19].

Bunların yanı sıra, deprem kayıtlarının ve yeryüzünün tektonik yapısının incelenmesinde deprem tehlikesi olan bölgeleri belirlemek oldukça kolay olmasına karşılık, yapının ömrü boyunca meydana gelebilecek en büyük deprem hakkında kesin bir şey söylemek mümkün olamamaktadır.

Bu belirsizlikler nedeniyle, olası depremlerin şiddetine göre, yapılarda meydana gelebilecek olan hasarların belirli sınırlar çerçevesinde kalması istenmektedir.

Performans seviyeleri, bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumları olarak tanımlanmaktadır (Tablo 1). Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenmektedir [17].

Tablo 1. Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları [36]

Performans Seviyesi	Performans Aralığı
Hemen Kullanım	
	Hasar Kontrol
Can Güvenliği	
	Sınırlı Güvenlik
Göçmenin Önlenmesi	

Deprem yönetmeliğine göre yapılan yapılarda, yapının ekonomik ömrü içinde, hafif şiddetli depremlerde hiç hasar görmemesi; orta şiddetli depremlerde taşıyıcı olmayan kısımlarında önemli hasar, taşıyıcı kısımlarında bir miktar hasar; çok şiddetli depremlerde ise yapının çok hasar görmesine rağmen yıkılmaması ve can kaybına yol açmaması istenmektedir [20].

### 3.3.1. Hemen Kullanım Performans Seviyesi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeyde kalmaktadır ve elemanlar rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmazken, az sayıda elemanda akma sınırı aşılabilmektedir. Bu elemanlarda, sehim nedeniyle çatlaklar oluşsa bile, büyük çatlakların ve betonun ezilmesi gibi bir

durumun meydana gelmemesi istenmektedir. Yapısal olmayan elemanlarda çatlamlar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeylerde kalmaktadır.

### **3.3.2. Hasar Kontrol Performans Aralığı**

Deprem sonrasında yapıda oluşan hasarın, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında bulunduğu performans aralığıdır. Ayrıca, yapının rijitliğinde azalmaların başladığı aralıktır.

### **3.3.3. Can Güvenliği Performans Seviyesi**

Bu seviyede, taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşmasına rağmen, bölgesel veya toptan göçme olmamaktadır. Deprem sırasında yaralanmalar olabilir. Ancak, bu yaralanmalar yapısal hasarlar ile ilgili değildir. Yapısal hasar kaynaklı ölüm riski çok düşüktür. Hemen kullanım performans seviyesinde esas alınan depremden daha büyük depremlerde, yapıda bazı hasarlar meydana gelebilir. Donatı akma durumuna gelirken, onarımı gerekli olan geniş çatlaklar oluşabilir. Bunun gibi, yapının bazı bölgelerinde de beton ezilmelerine rastlanabilir. Bu ikinci sınır durum, ekonomik olarak onarılıp güçlendirilebilecek durum ile onarılıp güçlendirilmesi ekonomik olarak mümkün olmayan durumu birbirinden ayırmaktadır. Yapının ömrü boyunca, taşıyıcı sistemi bu sınır duruma getirecek depremin, meydana gelme ihtimalinin düşük olması gerekmektedir. Böyle bir sınır durum oluşturan depremden sonra, yapının ekonomik olarak onarılıp güçlendirilmesi istenir.

### **3.3.4. Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı**

Bu aralıkta, taşıyıcı elemanların performansları tamamen can güvenliği koşullarını sağlamayabilir, ancak göçmenin önlenmesi performans seviyesinden daha yüksektir.

### **3.3.5. Göçmenin Önlenmesi (Stabilitenin Korunması) Performans Seviyesi**

Bu seviyede ise, yapıyı bölgesel veya toptan göçme sınırına getiren ağır hasar durumunu temsil etmektedir. Taşıyıcı elemanlarda büyük hasar oluşmakta, dayanım ve



rijitliklerde önemli azalmalar meydana gelmektedir. Bununla beraber, yapının taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmektedir. Yapı stabilitesini korumakla birlikte, önemli oranda can güvenliği riski bulunmaktadır.

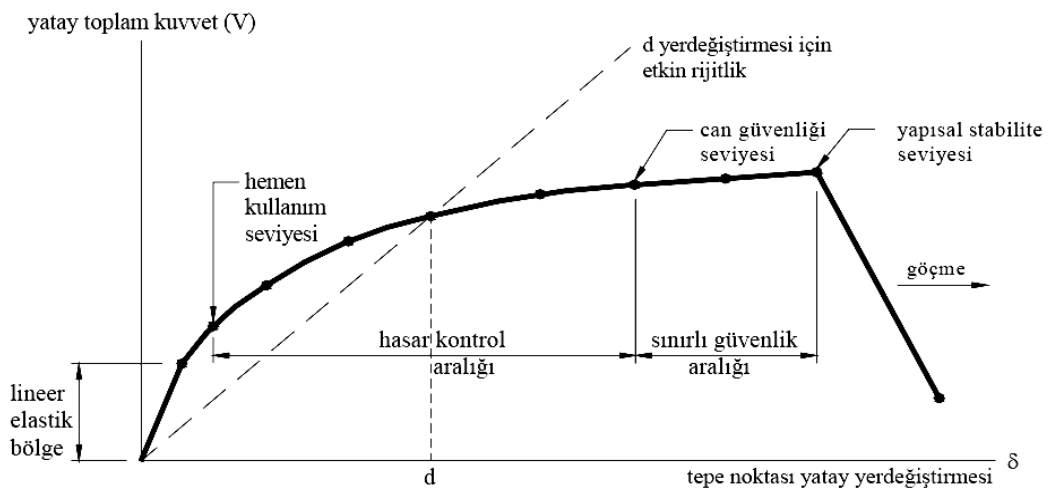
Göçmenin önlenmesi performans seviyesine;

- Yapının bazı elemanlarında veya tümünde dengenin kaybolması,
- Kritik kesitlerin kapasitesine erişmesi,
- Yorulma
- Plastik mafsallaşmalarla yapının mekanizmaya dönüşmesi veya
- Burkulma ile ulaşılmaktadır [21].

### 3.3.6. Göçme Durumu

Yapı, uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşmaktadır. Düşey elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyen elemanlar düşey yükleri taşıyabilmektedir; fakat rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Yapı tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddetteki bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir.

Yukarıda tanımlanan performans seviyeleri ve dolayısıyla aralıkları, kapasite eğrisi olarak tanımlanan toplam yatay kuvvet-tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi ( $V-\delta$ ) diyagramı üzerinde şematik olarak gösterilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Kapasite eğrisinde performans seviyeleri ve aralıkları [36]

### 3.4. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sağlanması Gereken Ana İlkeler

Yukarıda tanımlanan üç korunma seviyesinin gerçekleştirilebilmesi; yapıda yeterli düzeyde yatay rijitlik, dayanım ve sünekliğin sağlanması ve yapının genel davranışının kontrol edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu üç seviyenin ayrılmasında, oldukça büyük belirsizlikler olduğu muhakkaktır. Boyutlandırmada kapasite kavramına önem verilerek bu belirsizlikler belirli ölçüde giderilebilmektedir.

Depreme karşı güvenliğin sağlanmasında, taşıyıcı sistem tasarımının iyi yapılması çözümlenmeden daha önemlidir. Kötü tasarlanmış bir taşıyıcı sistemi, çözümlenme ile veya yapımda alınacak önlemlerle düzeltmek mümkün değildir. Buna karşılık iyi tasarlanmış bir sistemi basit yöntemlerle çözümlenmek ve kolay imal etmek mümkündür. Bu amaçla tasarımda dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda verilmektedir.

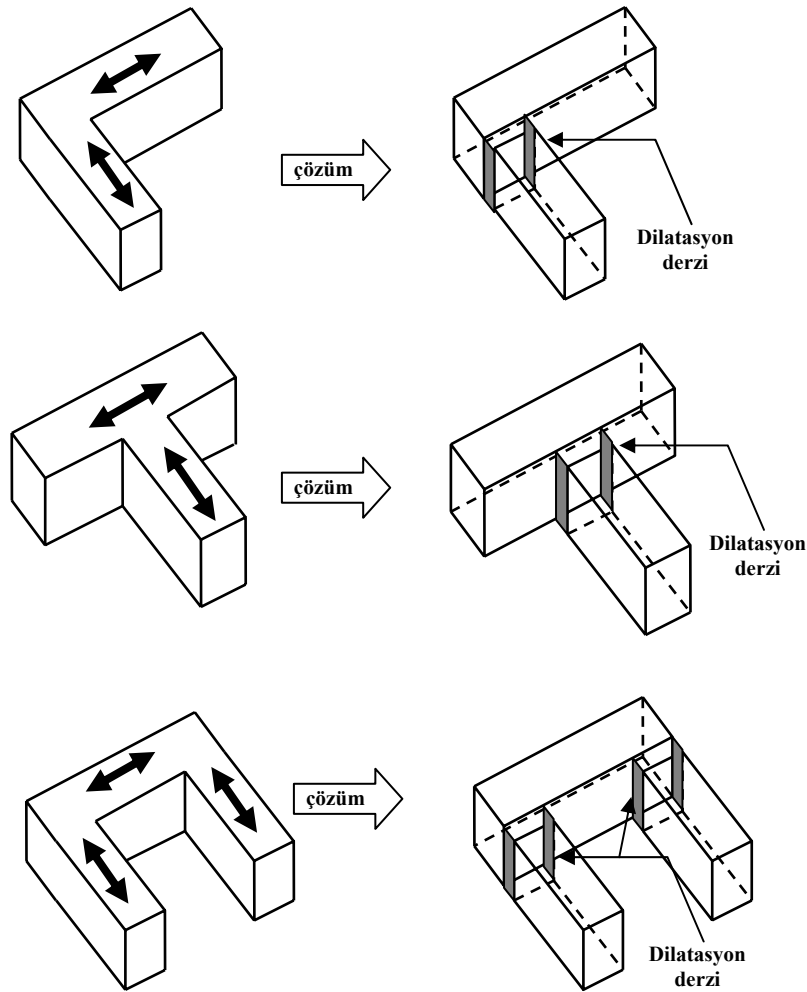
#### 3.4.1. Yapı Tasarımında Geometri

Yapılan gözlemlerden yapı ne kadar basit düzenlenmişse, depreme dayanıklılığının bu derecede yüksek olduğu belirlenmiştir [19]. Bunu, çeşitli nedenleri göz önüne alarak açıklamak mümkündür. Basit ve düzenli yapıların inşalarındaki kolaylığın yanı sıra, yapılarında hata yapma olasılığı da azalmaktadır. Bu tür yapıların depremdeki davranışını tahmin etmek ve buna göre bir çözümlenme yapmak daha kolay olmaktadır. Karmaşık ve düzensiz yapıları modellemek ve ek olarak ortaya çıkan burulma etkisini göz önüne almak daha uzun işlemler gerektirmektedir. Üç boyutlu çerçeve hesapları ile burulma etkisi hesaba katılabilirse de, ek bir zorlamanın ortaya çıkmasına izin verilmemesi gerekmektedir [20].

Benzer nedenlerden dolayı yapının planda iki doğrultuda simetriye sahip olması da istenmektedir. Böylece çözümlenmede bulunan davranış şekliyle, deprem altında meydana gelecek olan davranış şekli birbirine yaklaşmaktadır. Plandaki şekli H, L, T ve Y şeklindeki binalar, meydana gelen depremlerde önemli hasar görmüşlerdir. Simetri de her zaman yeterli olmayabilir. Örneğin, planda + şeklinde olan yapı simetrik olmasına rağmen, deprem hareketinde orta kısım ile kenar kısımlar farklı yatay rijitlikten dolayı birbirini zorlamaktadır. Binanın dış kısmına ve binaya bağlı olarak düzenlenen merdiven ve asansörler, rijitlik merkezini simetri merkezinden uzaklaştırdığından, ek burulma etkileri meydana getirmektedir. Dolayısıyla, simetri yalnız plandaki şekille değil, taşıyıcı

sistemdeki ayrıntılarda da sağlanmalıdır. Ayrıca, deprem sırasında perde ve kolonlarda meydana gelen hasar, elemanların dayanım ve rijitliklerini değiştirmekte ve statik konumda simetrik olan yapı, dinamik durumda burulma etkisine maruz kalabilmektedir. Mimari istekler çoğu zaman binanın simetrik düzenlemesini imkansız kılmaktadır. Bu durumda binanın Şekil 2'deki gibi derzlerle (dilatasyon derzi) düzgün parçalara bölünmesi gerekmektedir.

Planda uzun yapılar, kısa olanlara göre zemin özelliklerinin değişiminden ve farklı zemin çökmelerinden daha çok etkilenmektedir. Özellikle tekil temellere sahip uzun yapıların zemin hareketlerine karşı daha hassas olduğu açıktır. Sürekli ve radye temellerle, taşıyıcı sistemin davranışı daha uygun duruma getirilebilir. Ayrıca, düşey kesitte de yapının plandaki boyutlarının ani azalmasından kaçınılmalıdır.



Şekil 2. Deprem etkisinde uyumsuz kütle hareketi gösteren yapılar için uygun çözümler [17].

### 3.4.2. Taşıyıcı Sistemin Sürekliliği

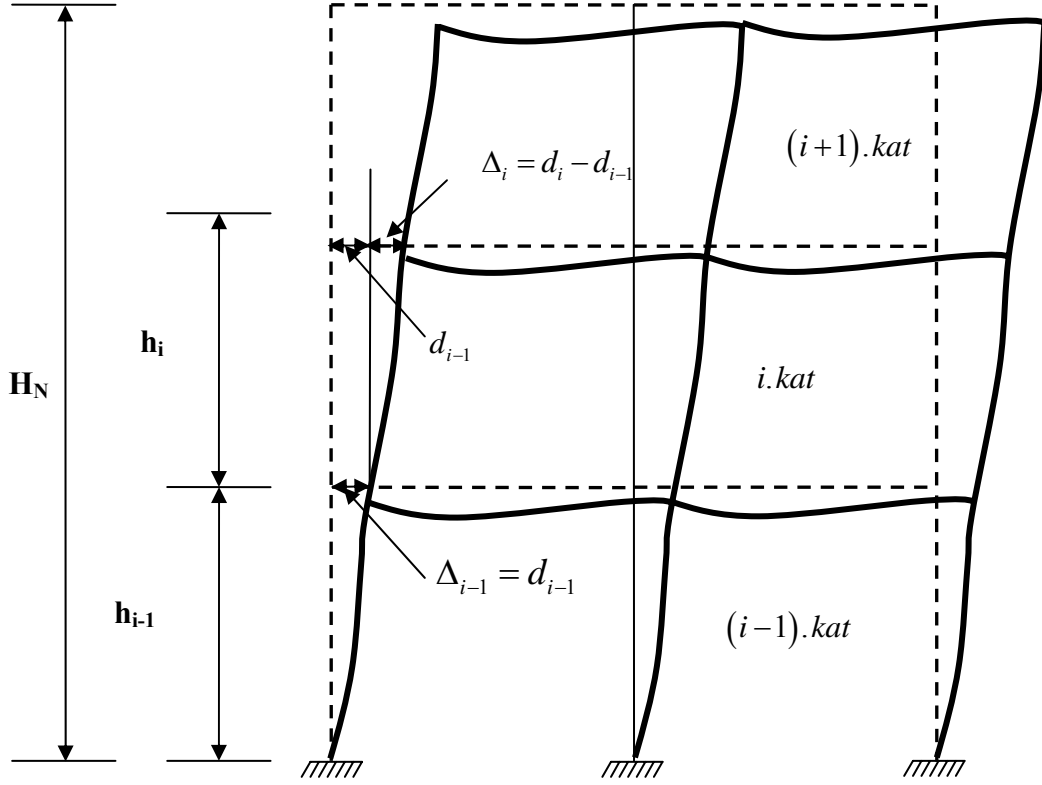
Taşıyıcı sistemde plan ve düşeyde bulunan elemanların dayanımlarının düzgün ve sürekli olarak düzenlenmesi, davranışı olumlu yönde etkilemektedir. Kolon ve kirişlerin planda düzgün dağıtılması, sistemin belirli bölgelerinin aşırı zorlanmasını önlemektedir. Bütün kolon ve perdeler temelden çatıya kadar sürekli olmalı ve elemanların birbirine dışmerkez mesnetlenmelerinden kaçınılmalıdır. Taşıyıcı sistemde kolon rijitlikleri kiriş rijitliklerinden büyük olacak şekilde eleman seçilmelidir. Kolon ve ona mesnetlenen kirişlerin eksenleri arasındaki dışmerkezlik de elden geldiği kadar önlenmeli ve bunların genişliklerinin birbirine yakın olmasına çalışılmalıdır. Bu şekilde, betonarme elemanlarda, kesit etkilerinin geçişini sağlayan iyi bir donatı düzeni sağlanabilmektedir. Bunun yanında birleşim bölgelerine gösterilen özenle, meydana gelebilecek yerel hasarlar da önlenmiş olmaktadır. Taşıyıcı sistemde süreklilik ile elemanların birbirine yardım etmesi sağlanırken, elastik davranışın ötesindeki taşıma kapasitesi de artırılmaktadır. Ayrıca, bu sırada kirişlerde ortaya çıkacak plastik mafsalların sayısı dolayısıyla dinamik enerjinin yutulan kısmı da büyütülmektedir. Bunun tersine, birleşimleri yeterli olmayan prefabrike yapılarda sistemdeki fazla bağların sayısının az olması nedeniyle, elastik davranışın sona ermesinden kısa bir süre sonra göçme yüküne erişilmektedir. Bu durum, prefabrike yapıların kuvvetli deprem hareketi altındaki zayıf noktasını oluşturmaktadır [19].

### 3.4.3. Taşıyıcı Sistemde Yeterli Rijitlik ve Dayanım

Elemanların sürekliliklerinin yanında rijitliklerinin de ani değişiklikler göstermeden devam etmesine gayret edilmelidir. Elemanların ve dolayısı ile yapının yeterli rijitliğe sahip olması istenmektedir. Yeterli rijitliğin sağlanmasıyla yapıda oluşacak ikinci mertebe momentlerinin mümkün olduğunca küçültülmesi amaçlanmaktadır. Böylece sıkça oluşan depremlerde, diğer bir deyişle, kullanılabilirlik sınır durumuna karşılık gelen depremlerde yapısal olmayan hasarlar azaltılabilmekte ve yapı içerisinde mevcut cihazların çalışmasına engel olacak ve insanları rahatsız edecek şekil değiştirmeler önlenebilmektedir.

Yapı rijitliğinin yeterlilik düzeyinde olmasının en gerçekçi göstergesi, yapıda meydana gelebilecek yerdeğiştirme değerleridir. Yeterli rijitliğe sahip olan bir yapıdaki yerdeğiştirme değerleri deprem yönetmeliğinde ifade edilen sınırlar arasında olmalıdır.

Şekil 3'te görüldüğü gibi ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden görelî kat ötelenmesi  $\Delta_{i-1} = d_i - d_{i-1}$  bağıntısı ile belirlenebilmektedir.



Şekil 3. Yapılarda oluşan yatay yerdeğiştirmeler

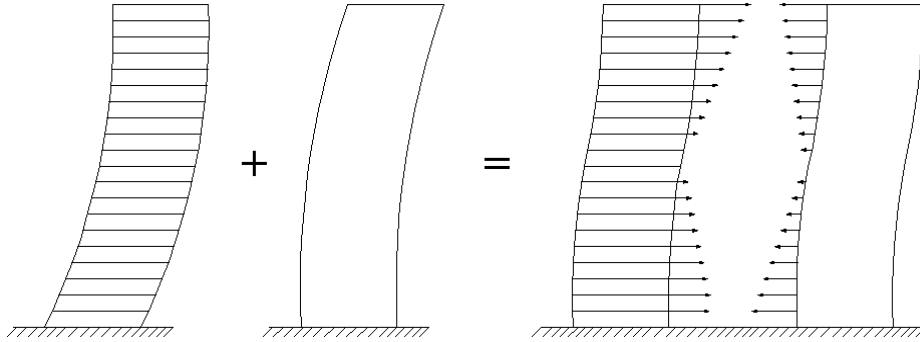
Burada,  $d_i$  ve  $d_{i-1}$  binanın  $i$ . ve  $(i-1)$ . katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesaptan elde edilen yatay yerdeğiştirmeleri göstermektedir. Her bir deprem doğrultusu için, binanın  $i$ . katındaki kolon veya perdelerde hesaplanan görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri  $(\Delta_i)_{\max}$ ;  $h_i$  kat yüksekliğini,  $R$  taşıyıcı sistem davranış katsayısını göstermek üzere,

$$(\Delta_i)_{\max} \leq \begin{cases} 0,0035h_i \\ 0,02h_i / R \end{cases} \quad (1)$$

koşullarından elverişsiz olanını sağlamalıdır. Bu koşulların yapının herhangi bir katında sağlanmaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabının tekrarlanması gerekmektedir.

Yatay yükler etkisinde yapının ötelenmesinin yükseklik boyunca değişimi, taşıyıcı sisteme bağlı olmaktadır. Çerçevesel sistem bir yapıda yükseklik ile birlikte katlar arasındaki görelî kat ötelenmeleri giderek azalmakta, oysa perde duvarlı (betonarme duvarlı) bir yapıda sözkonusu ötelenmeler, Şekil 4’te de görüldüğü gibi, yüksekliğe bağlı olarak artmaktadır. Taşıyıcı sistemin perde duvar ve çerçeveden oluşması halinde ise alt katlarda perde duvarlar daha etkili olup çerçevenin ötelemesini kısıtlarken, üst katlarda ise çerçeve perdenin ötelemesini kısıtlamaktadır.

Yapı elemanlarının rijitliği uygun seçilmesi halinde; titreşim periyodunu belirli aralığa getirerek deprem etkilerini azaltmak mümkün olmaktadır. Bunun için yapılması gereken, spektrum eğrisinde bölgenin hakim periyodu ile yapınınkini uzak tutarak rezonans olayını engellemektir. Örneğin, uzun zemin periyotlarının hakim olduğu bölgede, kısa periyotlu rijit, az katlı yapılar uygun görülmektedir. Genellikle bu tür bölgelerde, derin tabakalar halinde yumuşak zemin bulunmakta, yer hareketinin yüksek frekanslı bölümünü filtre ederek söndürmekte ve geriye düşük frekanslı, uzun periyotlu kısım kalmaktadır. Bunun karşıtı olan kayalık, sert zemin bölgelerinde, yer hareketinin yüksek frekanslı kısmı hakim olmaktadır. Buralarda ise yüksek periyotlu, çok katlı yapıların yapılması uygun görülmektedir. Ancak, alışlagelen yapılarda, diğer başka isteklerin bulunmasından dolayı, yukarıdaki koşullar çoğu zaman sağlanamamaktadır [19].



Şekil 4. Yatay yük etkisinde çerçevesel ve perde duvarlı yapıların yatay yerdeğiştirmesi

Öngörülen bir deprem etkisine karşı, taşıyıcı sistemin yeterli dayanıma sahip olması, boyutlandırılarda esas teşkil etmektedir. Yeterli dayanımdan amaç, öncelikle taşıyıcı sistem elemanlarının, kendilerine etkiyen yük ya da yük etkileri nedeniyle oluşacak kesit etkilerini kırılmadan taşıyabilmeleridir. Deprem yönetmeliğinde dayanımla ilgili olarak

alışılacağı yaklaşımın dışında kapasite tasarımı ilkesi benimsenmiştir. Alışılacağı yaklaşımda eğer bir elemanın kendisine etkiyen yük ya da yük etkisini tek başına karşılayacak dayanıma sahipse yeterli görülmekteydi. Kapasite tasarımı ilkesinde ise bu işlem yeterli görülmemektedir. Bunun için kolon ve kiriş elemanların tasarımda kendisine etkiyen yükten bağımsız olarak kesit boyutlarına, malzeme özelliklerine, donatı miktarı ve konumuna bağlı olarak belirlenen taşıma gücü momentleri ( $M_r$ ) ve kapasite momentleri ( $M_p \approx 1.4M_r$ ) de kullanılmaktadır. Bu şekilde tasarıma gitmenin nedeni, yapıya etkiyecek olan deprem yüklerini belirlemede belirsizlikler bulunması, buna karşılık betonarme bir elemanın taşıma gücünün ve kapasitesinin daha gerçekçi olarak belirlenebilmesidir.

Özetle, taşıyıcı sistem elemanlarının, yatay yükler etkisinde kesme kırılması gibi gevrek bir şekilde kırılmasını önlemek ve taşıma kapasitelerine sünek bir davranışla ulaşmalarını sağlamak amacıyla deprem yönetmeliğinde kapasite tasarımı ilkesi benimsenmiştir.

Bu ilke doğrultusunda deprem yönetmeliğinde getirilen koşullardan biri, kısaca kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşuludur. Kirişlerdeki normal kuvvetin, kolonlardaki normal kuvvete göre çok daha küçük olması nedeniyle, kirişler daha sünek bir davranış göstermektedir. Durum böyle olunca kolonları kirişlerden daha güçlü yaparak plastik mafsalların ilk olarak kolonlar yerine kirişlerde oluşmasını sağlamak gerekmektedir. Plastik mafsallar kirişlerde meydana geldiğinde yapı daha sünek bir davranış göstermektedir. Bunu sağlamak için, deprem yönetmeliğinde kapasite tasarımı ilkesi doğrultusunda kolon ve kirişlerin tasarımı yapılırken, her ikisinin taşıma gücü ve kapasite momentleri birlikte dikkate alınmaktadır. Kolonların daha güçlü olmasını sağlamak için kolon taşıma gücü momentlerinin, kiriş taşıma gücü momentlerinden büyük olması gerekmektedir.

Kapasite tasarımı ilkesi doğrultusunda getirilen diğer bir koşul, kesme dayanımının eğilme dayanımından daha büyük olması koşuludur. Kesme etkisinde meydana gelen kırılma, eğilme etkisinde meydana gelen kırılmadan daha gevrek olduğundan, elemanlarda kesme kırılması meydana gelmemesi istenmektedir. Bunu sağlamak için, yine kapasite tasarımı ilkesi doğrultusunda, deprem yönetmeliğinde, süneklik düzeyi yüksek kolon ve kirişler için tasarım kesme kuvveti sadece yapısal çözümlerden değil, elemanın kesit özellikleri göz önünde bulundurularak belirlenen eğilme kapasitesi (kapasite momentleri) de dikkate alınarak belirlenmektedir. Bir kesitin eğilme kapasitesi daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda,

$$M_{pi} = 1,4M_{ri} \quad (2)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada  $M_{ri}$ , taşıma gücü momenti olup, kesit boyutlarına, donatı miktarına, beton ve donatı hesap dayanımlarına bağlı olarak belirlenmektedir. Taşıma gücü momenti 1.4 ile çarpılarak, beton karakteristik dayanımı ve çelikteki pekleşmeyi dikkate alacak şekilde, en büyük eğilme kapasitesi hesaplanmakta ve bu moment, kapasite momenti ya da pekleşmeli taşıma gücü momenti ( $M_{pi}$ ) olarak adlandırılmaktadır.

#### 3.4.4. Taşıyıcı Sistemin ve Elemanlarının Sünekliği

Taşıyıcı sistemin ve elemanlarının sünekliği, işaret değiştiren ve sistemi elastik sınırın ötesinde zorlayan etkiler altında taşıyıcı elemanların yardımlaşmasını sağlamanın yanında, enerji yutma sonucunu doğurduğundan, düşey yükler altındaki projelendirmeden daha çok dinamik deprem yüklerinin karşılanmasında önem kazanmaktadır.

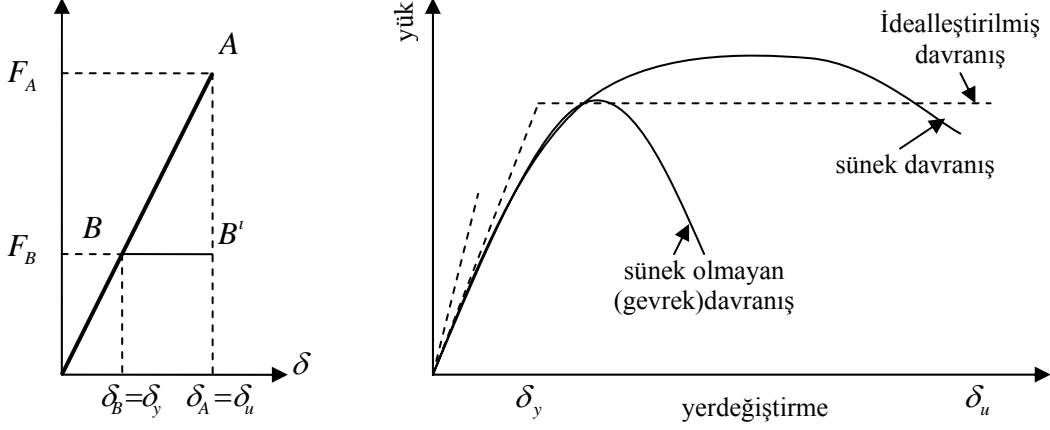
Seyrek meydana gelecek şiddetli deprem etkisini, yapının elastik davranışının üzerinde şekil değiştirerek karşılaması öngörülmektedir. Böyle bir durumda ise, elastik olmayan davranış önem kazanmaktadır. Yapının elastik sınırı geçip, sünerek kesitin zorlanan kısımlarında önemli artmalar olmadan şekildeğiştirme yapması arzu edilmektedir. Bu yolla depremin dinamik etkisi, elastik ve geri dönüşümlü olmayan enerji türüne dönüşerek yutulmakta ve sönümlenmektedir. Bir doğrultuda yükleme durumunda sünme bölgesinin uzun olması ve tekrarlı yön değiştiren yükleme durumunda ortaya çıkan çevrimlerin geniş olması ile süneklik artmaktadır. Süneklik ölçüsü için değişik tanımlar varsa da en yaygın olanı Şekil 5'e uygun olarak,

$$\mu = \delta_u / \delta_y \quad (3)$$

şeklinde verilebilir. Süneklik, güç tükenmesi sırasında elastik olmayan büyük şekil veya yerdeğiştirmelerin ortaya çıkması olarak görülmektedir. Örneğin, basit eğilme taşıyan bir betonarme kesitin boyutlandırılmasında güç tükenmesi sırasında kesit donatısının elastik bölgeyi aşip, akmaya erişerek büyük plastik uzamalar yapması da bir süneklik koşulu olarak kabul edilebilir. Donatının akmaya erişmesini sağlamak için kesitteki donatı oranı



üzerine bir üst sınır getirilmektedir. Bir kesitin dönme şekil değiştirmesi gözönüne alınarak, kesit dönme sünekliği tanımlanabileceği gibi, bir taşıyıcı eleman için ve taşıyıcı sistem için uygun şekil veya yerdeğiştirme alınarak da süneklik tanımlanabilmektedir.



Şekil 5. a) Elastik olan ve olmayan kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, b) Betonarme elemanlarda yük-yerdeğiştirme eğrisi

Bir yapı sünekse, deprem sırasında zeminden yapıya iletilen enerjinin büyük bir kısmı, yapı dayanımında önemli bir kayıp olmadan yutulmaktadır. Süneklik sayesinde, yüklemenin aşırı artmasıyla akmaya ulaşan kesitlerde plastik şekil değiştirmelerle enerji yutulurken, iç kuvvetlerin daha az zorlanan kesitlere dağılması sağlanmaktadır. Bu arada, sünekliğin müsaade edilen hasarla orantılı olduğu unutulmamalıdır. İyi düzenlenmiş sünek bir taşıyıcı sistemde deprem enerjisi, kontrollü hasarlarla, göçmeden uzak kalınarak karşılanmaktadır. Sünekliğin gereği olan plastikleşme bölgelerinin meydana gelebilmesi için sistemin yüksek mertebeden hiperstatik olması gerekmektedir. Örneğin, tek başına duran kule ve bacalarda taşıyıcı sistem statikçe belirli olduğu için, önemli sünek şekil değiştirmeye müsaade edilmemektedir.

Yerinde dökme betonarme taşıyıcı sistemlerde elemanların birbirine moment iletecek şekilde bağlanması, hiperstatiklik derecesinin artmasını sağlamaktadır. Hiperstatiklik derecesinin yüksek olması için, kolon ve kiriş birleşim bölgeleri, birleşen elemanlar arası yük iletimini sağlayabilmelidir. Örneğin, betonarme bir çerçevenin birleşim bölgesindeki donatı-beton aderansının sağlanması ve kenetlenmenin yeterli olması gerekmektedir.

Yapıda büyük hasarların ve toptan göçmenin önlenmesi, taşıyıcı sistemin yatay yük dayanımının büyük bir kısmını büyük elastik ötesi yer değiştirmelerde de devam ettirebilmesi ile mümkün olmaktadır. Taşıyıcı sistemin ve elemanlarının ya da kullanılan

malzemenin elastik ötesi davranışta da, şekil ve yerdeğiştirmeler artarken, dayanımının önemli bir kısmını sürdürme özelliği de sünekliğe bağlıdır.

Süneklik kavramı aynı zamanda büyük şekil ve yerdeğiştirme yapabilme, tekrarlı yüklemelerde enerji söndürebilme özelliğini de içermektedir. Şekil 5'te sünek olan ve sünek olmayan (gevrek) davranışa ait yük-yerdeğiştirme eğrilerinde de görüldüğu gibi, eğrinin yataya yakın olarak devam etmesi durumunda yapı, göçme olmadan yük taşımaya devam etmektedir. Bu durumda sisteme giren enerjinin bir kısmı doğrusal olmayan davranış sebebiyle söndürülürken, ortaya çıkan büyük şekil değiştirmeler elemanlar arası yardımlaşmaya imkan vermekte ve taşıma kapasiteleri olan elemanların devreye girmesi sağlanmaktadır. Depremlerde sünekliğin sağlanamaması büyük hasar nedenlerinden biri olarak gözlenmiştir.

Kesit, kesitin bulunduğu eleman ve bu elemanların oluşturduğu taşıyıcı sistem için ayrı ayrı süneklik tanımlanmaktadır. Taşıyıcı sistemin sünek davranış göstermesi için kullanılan malzemelerin de sünek olması, örneğin donatının kopma gerilmesinin öngörülen değeri sağlaması yanında, kopma uzamasının da yönetmelikte verilen sınırın altına düşmemesi gerekmektedir. Bunun yanında, donatının basınç gerilmeleri altında da sünek davranış gösterebilmesi için burkulmaya karşı korunmuş olması zorunludur. Beton, esas olarak basınç gerilmeleri taşımakta ve en büyük kısalması ( $\epsilon_{cu}$ ) sınırlı bir değere sahip olmaktadır. Betonda sıklaştırılmış etriye düzeni ile yanıl basınç oluşturarak, betonun basınç dayanımını ve özellikle en büyük birim kısalma değerini, sünekliğini arttırmak mümkündür. Betonarme elemanların eğilme momenti altında, donatının akma gerilmesine erişmesi sonucu meydana gelen güç tükenmesi sünektir. Buna karşılık kesme kuvveti altında eğik çekme gerilmeleri veya eğik basınç gerilmelerinin betonda oluşturduğu güç tükenmesi gevrek olarak meydana gelmektedir. Bunun gibi, donatı ile beton arasında aderansın sağlanmaması sonucu donatının betondan sıyrılması ile ortaya çıkan güç tükenmesi de sünek olmamaktadır. Sonuç olarak, depreme dayanıklı bir tasarımda aşğıdaki noktalara dikkat edilmesi gerekmektedir:

1. Temel, sağlam ve düzgün özellikli zemine oturmalıdır.
2. Deprem etkisini taşıyacak elemanlar, planda burulma olmayacak şekilde düzenlenmelidir.
3. Yapı elemanları gerekli dayanımları yanında sünek olmalıdırlar.
4. Meydana gelen şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmeler, güvenliği tehlikeye sokmamalı ve kullanımı engellememelidir [20].

## 4. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER VE YAPI DAVRANIŞINA ETKİLERİ

### 4.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yönetmeliklerin Önemi

Yapılarda, deprem sonucu meydana gelen hasarlar ve beraberindeki can kayıpları, zaman içerisinde bazı kuralların belirlenmesi gereğini hissettirmiştir. Deprem yönetmeliklerinin gelişmesinde San Francisco (1906), Messina-Reggio (1908) ve Tokyo (1923) depremlerinin önemli etkisi olmuştur. Richter ölçeğinde 8.3 olan San Francisco depreminde 700 can kaybı kaydedilmiş ve çoğu, daha sonra meydana gelen yangından oluşan büyük mal kaybı meydana gelmiştir. Hasarın yaklaşık % 5-20'sinin yer hareketinden ve % 80-95'inin yangından olduğu tespit edilmiştir. Bu depremden sonra yapılan incelemelerden, özenle projelendirilmiş ve inşa edilmiş binaların depreme dayandığı ve özellikle ahşap çerçevesi yapıların çok iyi bir davranış gösterdiği belirlenmiştir. Bu gözlemler, ancak Santa Barbara (1925) depreminden sonra düzenlenerek 1927'de *Uniform Building Code*'un ilk yayınında kullanılmıştır.

Richter ölçeğinde 7.5 olan Messina-Reggio (1908) depremi, İtalya'da küçük bir bölgede 160.000 can kaybına neden olmuştur. Depremde, ahşap çerçevelerinin içi, harçla birleştirilmiş taşlarla doldurulan binalar yıkılmıştır. Bu tür yapıların iki kattan yüksek olmaması ve mevcut olanların iki kata indirilmesi öngörülmüş, fakat bu durum uygulanmamıştır. Daha önceki depremlerde zayıflayan bu tür binaların çoğunun 1908 depreminde yıkılması büyük felaketi doğurmuştur. Deprem sonrası yapılan çalışmalarda, pek çok sonuç yanında, yeni inşa edilecek yapının, ağırlığının 1/12'si kadar bir yatay kuvveti karşılaması gereği vurgulanmıştır. Söz konusu çalışmalarda, deprem mühendisliğinde önemli adımlar atılmış ve günümüzde bile geçerli olan bazı ilkeler kabul edilmiştir [17].

Japonya'da Richter ölçeğinde 8.2 olarak meydana gelen Tokyo (1923) depremi, 140.000 can kaybına ve % 90'ı yangından olan büyük mal kaybına sebep olmuştur. Bu depremden de, özenli düzenlenmiş binaların az hasarla depremi atlattıkları belirlenmiştir. Bu binaların % 10'u ağır hasar görürken, % 80'i depremi hasarsız olarak atlattır. Elastik davranan binaların taşıyıcı olmayan kısımlarında büyük hasar meydana gelmiştir.

Her ülkenin ekonomisi, yapım teknolojisi, maruz bulunduğu deprem tehlikesi, deprem kayıtlarının yeterlilik düzeyi, bölgelere göre beklenen deprem şiddeti ve zemin

durumu gibi etkenler birbirinden çok farklı olduğundan, bir ülkenin yönetmeliği başka ülkede aynen uygulanamamaktadır. Ancak, hemen hemen tüm deprem yönetmeliklerinde, yapılarda deprem etkisi eşdeğer yatay kuvvetlere dönüştürülerek incelenmektedir [22]. Yapının taşıyıcı sisteminde düzensizlikler bulunması durumunda, davranışın daha ayrıntılı biçimde belirlenebilmesi için dinamik hesap yöntemi de kullanılmaktadır. Bu durumda da elde edilen sonuçlar eşdeğer statik yöntem sonuçları ile karşılaştırılarak boyutlandırmaya esas olan kesit etkileri veya yerdeğiştirmeler belirlenmektedir [23]. Genellikle, depremden meydana gelen düşey yükler göz önüne alınmamaktadır. Bu durum, yapının zaten düşey yerçekimi yükleri altında belirli bir güvenliğe sahip olması şeklinde açıklanabilir. Yatay deprem yükleri ise, normal durumda mevcut olanlara göre farklı özellik göstermektedir. Normal durumda düşey ivme, yerçekimi ivmesine eşit olduğu halde, yatay ivme mevcut değildir. Yasal olarak zorunlu olması bakımından yönetmelik minimum koşulları içermektedir. Bu nedenle bazı durumlarda proje mühendisinin tecrübesini kullanarak, deprem etkisini daha ayrıntılı, incelemesi gerekebilmektedir.

Deprem yönetmeliklerinde belirli bir biçimde, bir yatay yük olarak tanımlanan deprem etkisini, statik özellikte olan yüklerle aynı türde hesaba katmak yanıltıcı olmaktadır. Deprem yükünün statik yüklerden çok farklı iki özelliği vardır:

1) Depremi temsil etmek üzere alınan yatay kuvvetlere karşı gelen ivme değerleri, elastik davranan bir yapının, sözkonusu olabilecek şiddetli bir depremde maruz kalacağı yatay kuvvetlere karşı gelen ivmelerin  $1/4 \sim 1/8$ 'i kadardır. Bu küçük ivmeler, elastik davranan bir yapının plastik şekil değiştirmelerle, yani belirli düzeydeki hasarlarla, göçmeden karşı koyacağı ivme düzeyini temsil etmektedir.

2) Deprem etkisi, yön değiştiren, dönüşümlü bir etkidir. Bu nedenle sadece bir doğrultuda etki eden yüklerden farklı olarak, bazı malzeme özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır. Yapının sözkonusu büyük ve iki yöndeki yerdeğiştirmelere dayanabilmesi, ancak betonarme yapı elemanlarındaki iyi donatı detaylandırması ve özenli yapım işçiliği ile mümkün olmaktadır.

Ülkemizde bu konuları düzenleyen esaslar, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te [1] verilmiştir. Her ülkede olduğu gibi yurdumuzdaki yönetmelik de zaman zaman değiştirilerek deprem mühendisliği ve ilgili dallardaki yenilikleri kapsamına çalışılmıştır. Buna uygun olarak, 1975'de yayınlanan yönetmelik, yapılan uzun çalışmalar sonucunda değiştirilerek, tartışmaya açılmış ve yapılan değişikliklerle 1998 başından itibaren geçerli olmak üzere kabul edilmiş, doğal olarak bu yönetmeliğin

belirli süre sonra tekrar ele alınması, yeni bilgilerin ve kazanılan deneyimin ışığı altında değişiklikler yapılması beklenebilir. Zira, deprem yönetmeliği, son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucunda revize edilmiş hali ile 2007 yılından itibaren yürürlüğe girecektir. Yönetmeliklerin uzun zaman değiştirilmeden uygulanması kadar, sık sık değiştirilmesi de bazı zorluklara sebep olmaktadır. Örneğin, yapılan sık değişiklik, uygulamada çalışan mühendisler ve hazırlanan hesap ve çizim bilgisayar programları için yeni kurallara uyum sağlama zorluğu doğuracaktır. Bir önceki yönetmeliğe göre yapılmış binaların değerlendirilmesinde bazen tartışmalı durumlar ortaya çıkaracaktır. Bununla birlikte, deprem mühendisliği gibi oldukça yeni bir konuda sürekli yeni teorik ve pratik bilgiler elde edilirken, yönetmeliğin bunları içerecek şekilde değiştirilmemesi de anlamlı olmayacaktır. Yönetmeliklerin, genel kuralları ve minimum koşulları içermesine, yasaklayıcı olmaktan çok yol gösterici olmasına ve en çok uygulanan yapı türlerine yönelik hazırlanmasına özen gösterilmektedir. Genellikle, yönetmelikte bina dışındaki yapılar için ayrı kuralların geçerli olduğu bildirilmektedir. Yönetmelikte çok katı kuralların bulunmasının uygulama olasılığını azaltacağı düşünülerek, minimum kuralların bulunması esas alınmaktadır. Uygulmasının yaygın olması bakımından, yönetmeliğin uygulamada önemli zorluklar çıkaran kurallar içermemesine dikkat edilmektedir.

Aşağıdaki bölümlerde, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998)'te verilen hesap esasları ve yapıım kurallarına ait bilgilerin teorik temelleri açıklanmaktadır.

#### **4.2. Yapısal Düzensizlikler**

Türk deprem yönetmeliğinde, depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeniyle, tasarımından ve yapıımından kaçınılması gereken binalar “düzensiz yapılar” olarak tanımlanmaktadır. Düzensizlik durumları, plandaki ve düşey doğrultudaki düzensizlikler olmak üzere iki ayrı grup olarak dikkate alınmaktadır.

#### 4.2.1. Planda Düzensizlik Durumları

##### 4.2.1.1. Burulma Düzensizliği Durumu (A1 Türü Düzensizlik)

Yapının, birbirine dik iki deprem doğrultusundan herhangi biri için, herhangi bir kattaki en büyük görelî kat ötelenmesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelenmeye oranı *burulma düzensizliği katsayısı* ( $\eta_{bi}$ ) olarak tanımlanmaktadır. Bu katsayının herhangi bir katta 1.2'den büyük olması halinde burulma düzensizliği oluşmaktadır (Şekil 6). Burulma düzensizliği ile ilgili bağıntılar aşağıda verilmektedir.

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{ort}} > 1.2 \quad (4)$$

$$(\Delta_i)_{\max} = (d_i)_{\max} - (d_{i-1})_{\max} \quad (5)$$

$$(\Delta_i)_{\min} = (d_i)_{\min} - (d_{i-1})_{\min} \quad (6)$$

$$(\Delta_i)_{ort} = \frac{[(\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}]}{2} \quad (7)$$

Bu bağıntılarda;

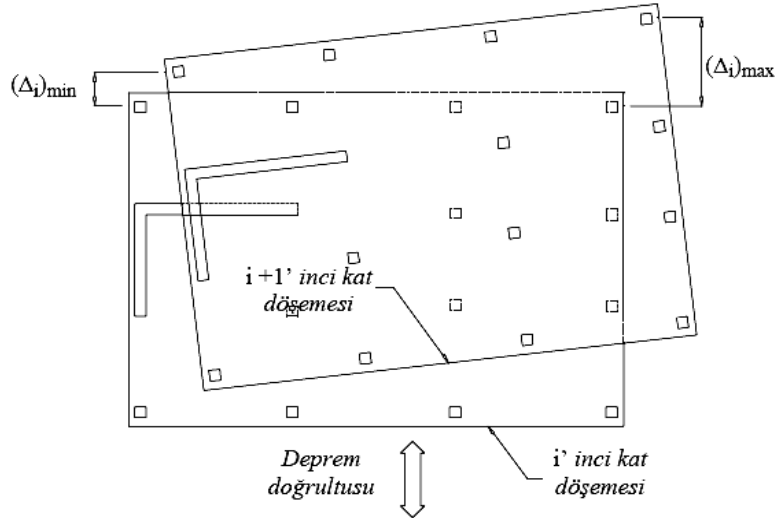
$d_i$  = Binanın  $i$ . katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme,

$d_{i-1}$  = Binanın  $(i + 1)$ . katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme,

$(\Delta_i)_{\max}$  = Binanın  $i$ . katındaki maksimum görelî kat ötelenmesi,

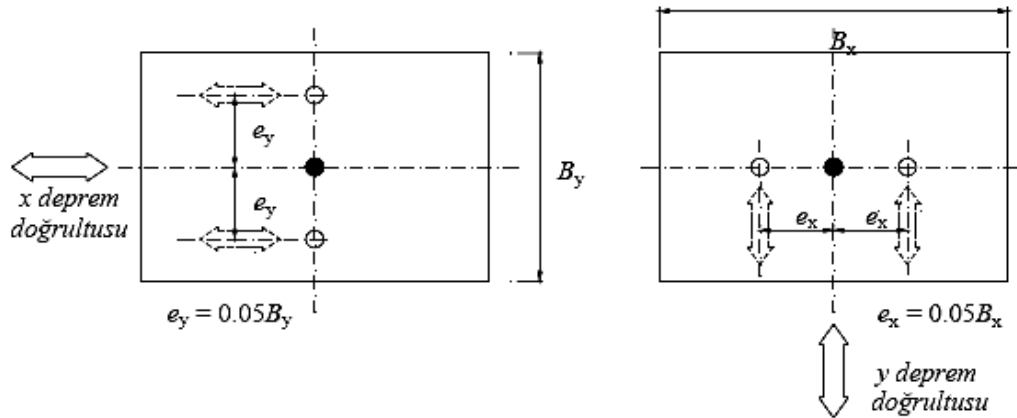
$(\Delta_i)_{\min}$  = Binanın  $i$ . katındaki minimum görelî kat ötelenmesi,

$(\Delta_i)_{ort}$  = Binanın  $i$ . katındaki ortalama görelî kat ötelenmesini göstermektedir.



Şekil 6. A1 Burulma düzensizliği durumu

Burulma düzensizliği, deprem kuvvetinin etkideği kat kütle merkezi ile kat rijitlik merkezinin birbirinden uzak olması sonucu belirgin hale gelen bir düzensizlik durumudur. Kat kütle merkezi, her katta bulunan her bir elemanın kendi kütle merkezlerinin, sistemin kütle merkezine göre olan durumlarıdır. Rijitlik merkezi ise, her bir elemanın atalet eksenlerine göre rijitliklerinin hesaplanarak orjin alınan noktaya göre olan durumlarıdır. Göreli kat ötelenmelerinin hesabında kütle merkezindeki ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak deprem doğrultusundaki kat boyutunun  $\pm\%5$  oranında bir dışmerkezlilik bulunduğu hesaba katılmalıdır (Şekil 7). Bu durum, pratikte hiçbir zaman çakışmayan kütle ve rijitlik merkezlerinin, güvenlik nedeniyle farklı noktalara kaydırılması anlamına gelmektedir.



Şekil 7. Gerçek ve kaydırılmış kütle merkezleri

$1.2 < \eta_{bi} \leq 2$  sınır aralığında, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde yüksekliği 25m'yi aşmayan yapılarda, bütün düzensizliklerin olması halinde bile eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılabilir.

$1.2 < \eta_{bi} \leq 2$  sınır aralığında, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde yumuşak kat düzensizliğinin dışındaki diğer düzensizlik durumlarının olması durumunda, yüksekliği 60m'yi geçmeyen yapılarda eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılabilir.

Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde yönetmelikçe verilen sınırlamalara uyulmadığı takdirde, dinamik hesap yöntemlerinin kullanılması yoluna gidilmektedir. Dinamik hesap sonucunda bulunan toplam deprem yükünün, eşdeğer deprem yükü yöntemi sonucu bulunan toplam deprem yükünden küçük olması durumunda, daha büyük olan eşdeğer deprem yükü yöntemi hesaplarda esas alınmaktadır. Burulma düzensizliğini özellikle, yapının plan geometrisi ve plandaki rijitlik dağılımının eşit olmaması etkilemektedir.

Bir binanın taşıyıcı sistemi, hem planda hem de düşey doğrultuda basit ve iki yönde de simetrik olmalıdır. Rijitlik bakımından simetrik olmayan binalar, deprem esnasında burulmaya maruz kalmakta ve zayıf tarafta bulunan kolonlar aşırı derecede zorlanarak ağır hasarlara sebep olmaktadır.

Binanın sadece planda simetrik olması, yani dikdörtgen ya da H veya U şeklinde olması durumunda bile, rijitliği fazla olan elemanların sadece belirli bölgelerde toplanması halinde, deprem esnasında bina burulma etkisinde kalmaktadır. Bunun yanında ortogonal olmayan, yani çerçeveleri ya da perdeleri birbirleri ile dik düzlemler içerisinde kesişmeyen taşıyıcı sistemler de burulmaya uğramaktadır. Yönetmelik, bu tür yapıların deprem hesabının her iki ortogonal doğrultuda yapılarak süperpozisyon yöntemi ile birleştirilmesini uygun görmüştür.

Geometrik bakımından planda elverişsiz yapılar dahi, bazı küçük önlemler dahilinde uygun duruma getirilebilmektedir. Rijitlik bakımından fazla bir düzensizlik olmaması halinde, burulmaya sebep olabilecek akslardaki eleman boyutlarında yapılan değişiklikler burulmayı makul derecelere indirmektedir.

Burulma hasarına iyi bir örnek olarak, Guatemala depreminde (4 Şubat 1976, M=7.9) ağır hasar gören dikdörtgen bir plana sahip 6 katlı "Terminal Hotel" binası gösterilebilir. Asansör ve merdiven kuleleri, binanın ortasında yapılması yerine binanın bir tarafında toplandığı için, burulmadan dolayı binanın diğer tarafında çok fazla rölatif kat ötelenmeleri



meydana gelmiş, bunun sonucunda da binanın ikinci katındaki zayıf kolonları ağır hasara uğramıştır. Binanın ikinci katı restoran amaçlı kullanıldığı için, bölme duvarları kaldırılmış, bu yüzden burulma ötelenmeleri tamamıyla bu katta yoğunlaşmıştır. Bu gibi durumlarda bölme duvarları yapılmayan katlardaki kolonların, tüm boyca sık etriyelerle sarılması gerekmektedir [24].

#### 4.2.1.2. Döşeme Süreksizlikleri Durumu (A2 Türü Düzensizlik)

Döşemeler kendi düzlemleri içerisinde rijit diyafram olarak kabul edilmektedirler. Deprem kuvvetlerinin yapılara kat seviyelerinde etkidiği kabul edildiği için bu yüklerin giriş, kolon ve perdelerle güvenli olarak aktarılması döşemeler aracılığıyla olmaktadır. Döşemeler, sahip oldukları büyük rijitlik sayesinde katlardaki düşey taşıyıcı elemanlardan olan kolon ve perdelerin uçlarındaki deplasmanlarının birbirleriyle bağlantılı olmasını sağlamaktadır.

Döşemelerde boşlukların bulunması, kirişsiz döşemelerde olduğu gibi, döşemenin doğrudan kolon veya perdeye oturması gibi durumlarda kuvvet aktarımını zorlaştırmakta ve gerilme yığılmalarına sebep olacak bir düzensizlik durumu ortaya çıkmaktadır.

Bir yapıda aşağıdaki durumlarda A2 döşeme süreksizliği bulunmaktadır:

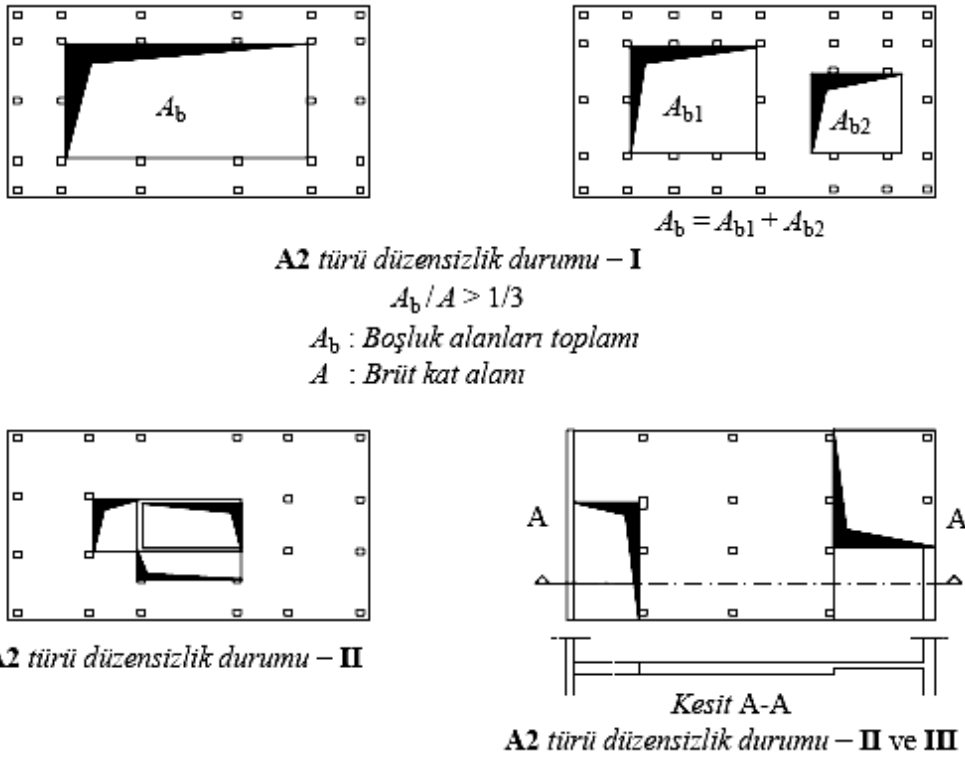
- Merdiven ve asansör boşlukları da dahil olmak üzere kattaki boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3 'ünden fazla olması durumunda,
- Yapıya gelen deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarından kolon ve perdelerle güvenli bir şekilde aktarılmasına engel olan yerel döşeme boşluklarının bulunması, döşeme düzleminde kolon ve perde başlarının boşta kalması gibi durumlarda, (deprem yüklerinin güvenli bir şekilde düşey taşıyıcı elemanlara aktarılmasına mani bir durum içerdiği için boşluk alanlarının bir önceki maddedeki gibi olup olmadığına bakılmaksızın).
- Döşemenin düzlem içinde rijitlik ve dayanımında ani değişiklikler göstermesi durumunda, (döşeme kalınlığı herhangi bir bölgede rijitlik ve dayanımı önemli ölçüde zayıflatacak şekilde azalıyorsa ).

Daha çok sanayi yapılarında karşımıza çıkan bu son durum bazı döşemelerin üzerlerindeki makine ya da diğer bir özel tertibattan dolayı komşu döşemelerden daha kalın yapılmasına yol açmaktadır. Bu durumda bu döşeme parçasının iki boyutlu levha gibi düşünülerek sonlu elemanlar metodu ile bilgisayar ortamında analiz edilmesi uygun

olmaktadır.

Döşeme süreksizliklerinin bulunduğu binalarda birinci ve ikinci deprem bölgelerinde kat döşemelerinin kendi düzlemleri içerisinde deprem kuvvetlerini güvenli bir şekilde düşey taşıyıcı elemanlara aktarabildiğinin gösterilmesi zorunludur.

Başta kabul edilen döşemelerin rijit bir diyafram şeklinde çalıştığı, A2 düzensizliği sebebiyle artık kabul edilemiyorsa; tüm sistem için yapılacak hesapta bağımsız parçalara bölünen her bir döşemenin yatay deplasmanları da bağımsız olarak göze alınıp tüm sistem tekrar analiz edilmelidir.

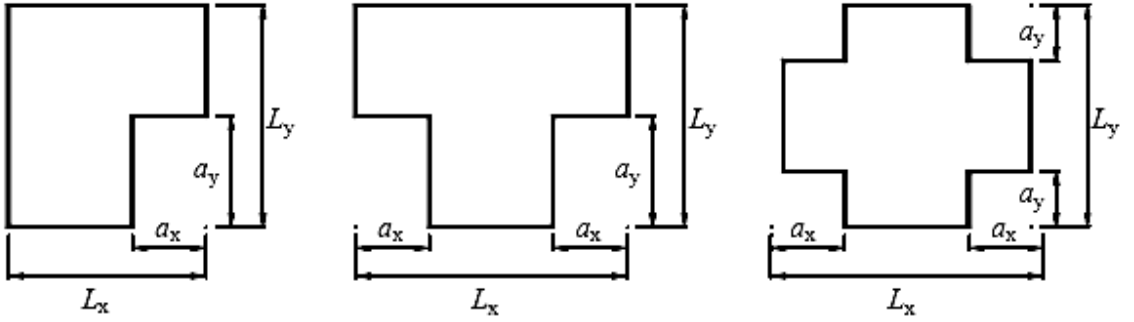


Şekil 8. A2 Döşeme süreksizliği durumu

#### 4.2.1.3. Planda Çıkıntılarının Bulunması Durumu (A3 Türü Düzensizlik)

Bir kat planındaki çıkıntı yapan kısımların birbirlerine dik iki yöndeki boyutlarının her biri, o yöndeki plan boyutunun %20'sini geçmesi halinde, sistemde A3 türü düzensizlik bulunduğu kabul edilmektedir (Şekil 9). Plandaki girinti ve çıkıntılar deprem sırasında binanın bütününden ayrı olarak hareket ederek, köşelerde gerilmelere, bunun sonucunda da hasara neden olmaktadır. Bu sebeple mümkün olduğunca planda oluşabilecek girinti ve

çıkıntılardan kaçınılmalı, planlar daha düzgün geometriler halinde hazırlanmalıdır. Planda simetriyi bozacak şekilde olan yapılar, dilatasyon derzleri ile daha simetrik parçalara bölünerek bu düzensizliğin olması engellenmelidir. Dilatasyon derzleri ile parçalara ayrılan kısımlar arasındaki boşluk, binaların olabilecek bir deprem anında birbirleri ile çarpışmasını önleyecek genişlikte olmalıdır. Bu durumda da, A2 düzensizliğinde olduğu gibi, birinci ve ikinci deprem bölgelerinde döşemelere gelen deprem kat yüklerinin güvenli bir şekilde kolon ve perdeler ile aktarıldığının hesapla gösterilmesi gerekmektedir.



**A3 türü düzensizlik durumu:**  
 $a_x > 0.2 L_x$  ve aynı zamanda  $a_y > 0.2 L_y$

Şekil 9. A3 Yapının planında çıkıntı bulunması durumu

#### 4.2.1.4. Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması Durumu (A4 Türü Düzensizlik)

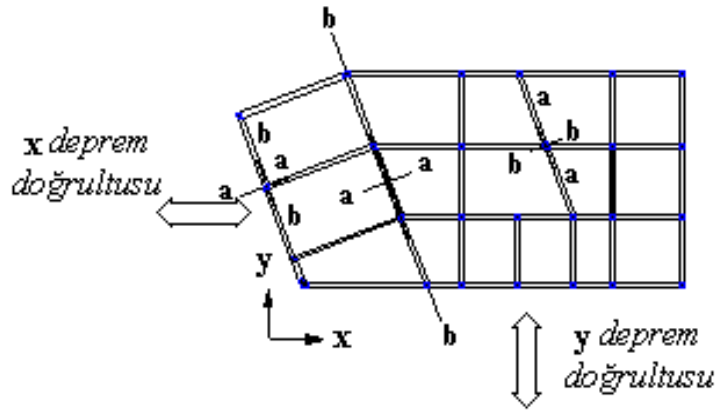
Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması, taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmaması düzensizliği olarak tanımlanmaktadır (Şekil 10). Genellikle binalarda taşıyıcı sistem elemanları birbirine dik iki doğrultuda yerleştirilerek ortogonal taşıyıcı sistemler düzenlenmektedir. Ancak, taşıyıcı sistemde birbirine dik iki asal doğrultunun bulunmaması bir düzensizlik oluşturmaktadır. Bu tür düzensiz taşıyıcı sistemlerde, deprem etkisindeki elemanlarda asal etkiler artıp ek burulma meydana gelirken, ikinci doğrultuda da kesme kuvveti ve eğilme momenti oluşmaktadır. Sistemde belirli asal doğrultular bulunmadığı için, depremin seçilen x ve y doğrultularında ayrı ayrı etkidiği kabul edilmekte ve daha sonra bu iki çözümlenme, elverişsiz etkinin elde edilmesi için,

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30B_{ay} \quad \text{veya} \quad B_a = \pm 0.30B_{ax} \pm B_{ay} \quad (8)$$

$$B_b = \pm B_{bx} \pm 0.30B_{by} \quad \text{veya} \quad B_b = \pm 0.30B_{bx} \pm B_{by}$$

(9)

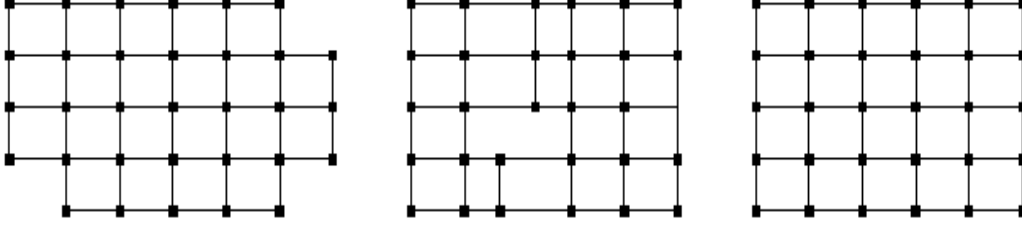
şeklinde birleştirilerek, kesit hesaplarında kullanılacak değerler bulunmaktadır.



Şekil 10. A4 Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmaması durumu

#### 4.2.1.5. Çerçevelerin Süreksizliği

Kolon ve perdeleri plan üzerinde yerleştirirken, bir aks sistemine göre yerleştirmek ve kirişleri de binanın bir ucundan diğer ucuna kadar sürekli yapmaya çalışmak, yapının deprem karşısındaki davranışı için oldukça önem taşımaktadır. Kat içinde devam etmeyen kirişlerden kaçınılmalıdır. Bir yönden kolona oturan kiriş, kolon içinden aynı doğrultuda devam ederek süreklilik göstermelidir. Kolon ve kirişin teşkil ettiği bir çerçeve düzlemi oluşmalıdır. Kat seviyesinde etkiyen deprem yükü, devam etmeyen kirişten sonra döşeme aracılığı ile düşey taşıyıcı elemanlara dağıtılmaktadır. Bu nedenle, yatay yükler belirsiz şekilde döşeme içinden geçmek zorunda kalmaktadır.



Şekil 11. Kat planında sürekli ve süreksiz kirişler

#### 4.2.2. Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

##### 4.2.2.1. Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Durumu (B1 Türü Düzensizlik)

Zayıf kat düzensizliği; betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının (kolon+perde+0.15\*kagir duvar alanı) bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olan *dayanım düzensizliği katsayısı* ( $\eta_{ci}$ )'nin 0.80'den küçük olması durumu olarak belirtilmektedir (Şekil 12). Bu düzensizlik durumu için deprem yönetmeliğinde,

$$\eta_{ci} = \frac{\sum (A_e)_i}{\sum (A_e)_{i+1}} < 0,80 \quad (10)$$

bağıntısı verilmekte, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının ifadesi ise;

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0,15 \sum A_k \quad (11)$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu bağıntılarda,

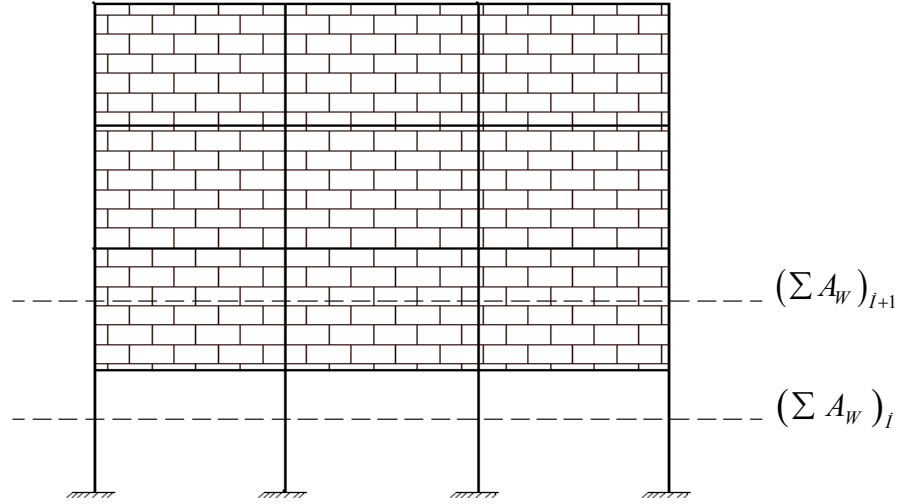
$$\sum A_w = \text{Herhangi bir kattaki kolon en kesiti etkin gövde alanları toplamını,}$$

$\sum A_g =$  Binada herhangi bir katta hesap yapılan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak (planda boyu eninin 7 katından büyük eleman) çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının en kesit alanlarının toplamını,

$$\sum A_k = \text{Binada herhangi bir katta kapı ve pencere boşlukları çıkartıldıktan sonra,}$$

hesap yapılan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvar alanlarının toplamını göstermektedir.

Yapılarda düşey yükler ve depremden doğan kesme kuvveti ve moment etkileri, alt katlardan üst katlara doğru çıktıkça azalmaktadır. Buna bağlı olarak üst katlara doğru eleman kesitlerinde azalmaya yönelik bir değişim görülmektedir. Bu değişimin, gelen deprem etkilerini karşılayabilecek ölçüde olması beklenmektedir. Birbirini takip eden iki kat arasında kolon ve perde kesitleri açısından bir fark olmayabilir. Ancak, alt katında kagir duvarları bulunmayan yapıda, o katın yatay taşıma kapasitesi bir üst kata göre daha düşük olmaktadır. Bazı otel ya da iş merkezlerinde ara katlarda toplantı salonu, yemek salonu veya tesisat katı yapmak amacıyla bazı kolon ve perdelerin sayılarının azaltılması, bununla da kalmayıp, birkaçının kaldırılarak kiriş açıklıklarının artırılması durumunda o kattaki etkili kesme alanı azalmaktadır. Böylece zayıf kat olayı kaçınılmaz hale gelmektedir.



Şekil 12. B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği(zayıf kat) durumu

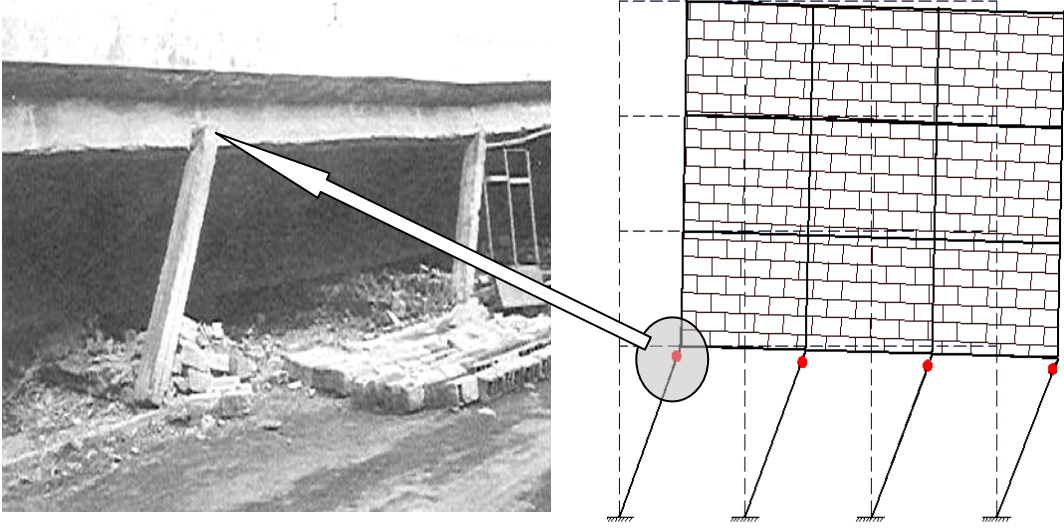
Zemin kattaki bölme duvarları çeşitli amaçlarla kaldırılmış veya azaltılmış, kolon ve perde kesitleri ise yer kazanmak amacıyla küçültülmüş ya da plan üzerindeki yerleşiminde rijitlik esaslarına uyulmadan düşey taşıyıcıları bir yönde düzenlenmiş yapılarda, bu düzensizlik görülmektedir. 1999 Kocaeli depreminde yıkılan veya ağır hasara uğrayan yapıların birçoğunda zayıf kat durumuna rastlanmıştır (Şekil 13).

B1 türü düzensizliğin bulunduğu binalarda, göz önüne alınan bir kattaki dolgu duvar alanının toplamı, bir üst kattaki dolgu duvar alanından fazla ise, dayanım düzensizliği

katsayısının hesabında bu dolgu duvarlar hesaba alınmamaktadır.

$0.6 < \eta_{ci} < 0.80$  olması durumunda, binaya etkimesi düşünülen yatay yükler,  $1/(1.25\eta_{ci})$  ile çarpılarak artırılmaktadır.

$(\eta_{ci})_{\min} < 0.60$  durumuna yönetmelikçe izin verilmediği için zayıf katın kolon ve perdeleri artırılıp bina tasarımı yeniden yapılmaktadır.



Şekil 13. Zayıf kat etkisinde oluşan yapısal hasarlar

#### 4.2.2.2. Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Durumu (B2 Türü Düzensizlik)

Betonarme binalarda birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir  $i$ . kattaki ortalama görelî deplasmanın bir üst kattaki ortalama görelî deplasmana oranı *rijitlik düzensizliği katsayısı* ( $\eta_{ki}$ ) olarak tanımlanmaktadır. Bu katsayının 1.50'den büyük olması durumunda yapıda B2 türü düzensizlik bulunmaktadır.

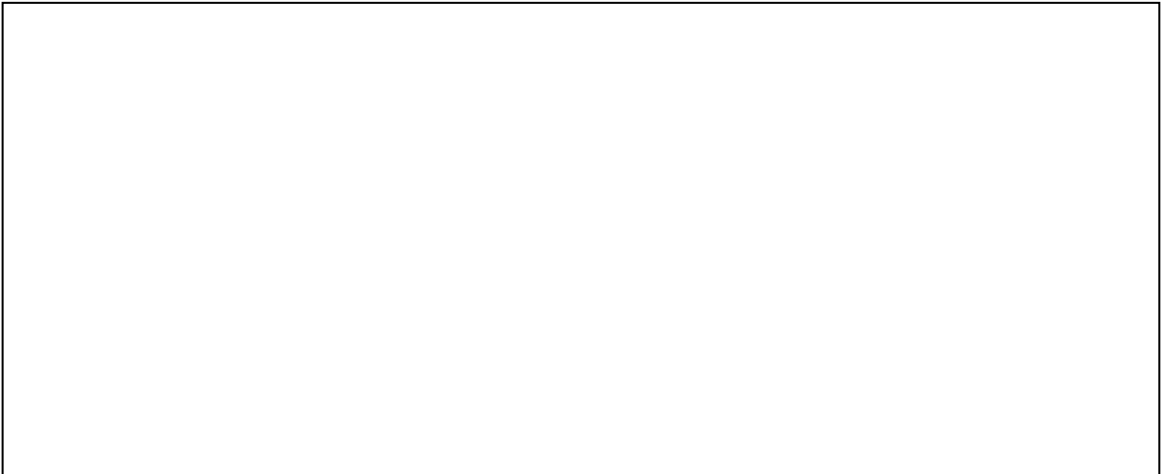
$$\eta_{ki} = \frac{(\Delta_i)_{ort}}{(\Delta_{i+1})_{ort}} > 1.50 \quad (12)$$

Ortalama görelî kat yerdeğiştirmelerin hesabında, deprem doğrultusundaki kat boyutunun  $\pm\%5$  ek dışmerkezliği gözönüne alınmalıdır.

Üst katlarda dolgu duvar olmasına rağmen zemin katlarda yapılmaması ve kolonların narin olmasından dolayı yumuşak kat olarak bilinen zayıf bölgeler oluşmaktadır (Şekil 14).

Üst katlardaki dolgu duvarlar taşıyıcı sistem ile beraber çalışıyorsa, duvar bulunmayan veya taşıyıcı sistemle beraber çalışmayan duvarların bulunduğu katta yumuşak kat oluşabilmektedir. Yapılması gereken, üst katlardaki duvarların da taşıyıcı sistemle beraber çalışmasını önlemektir. Bunun için duvar-çerçeve elemanları arasına ezilebilir yumuşak malzeme koyulmaktadır. Yapı sisteminde zemin kat rijitliğinin, diğer katlara göre daha küçük olması durumunda yumuşak kat düzensizliği bulunmaktadır. Yapıda yükseklik boyunca zeminden birinci kata geçişte büyük bir rijitlik artışı nedeniyle zemin kat kolonlarında büyük kesit tesirleri oluşmaktadır. Neticede yanal ötelenmelerin büyümesi ile, kolon uçlarında plastik mafsallaşmalar oluşmaktadır. Ancak, depreme dayanıklı yapı felsefesine göre kolonlarda plastik mafsallaşmalara izin verilmemektedir.

Yumuşak kat davranışında plastik mafsallar, zemin katın üstünde bulunan katlarda yanal ötelenme rijitliğinin fazla olup, zemin katlarda yanal rijitliğin düşük olması durumunda meydana gelmektedir. Yatay deprem kuvvetlerinden dolayı zemin katlarda büyük zorlanmalar ve yanal deplasmanların büyümesi nedeniyle plastik mafsallaşmalar oluşmaktadır. Yapı, dolgu duvarların sağlayacağı ekstra rijitlikten yararlanmamaktadır ve zemin katta, hem dayanım hem de ötelenme açısından sakıncalı bir durum ortaya çıkmaktadır. Zemin katta, yapı içindeki taşıyıcı olmayan duvarların yapılmaması sebebiyle büyüyen yanal ötelenmeler, yapı stabilitesini bozmaktadır. Perde duvarlarda süreksizlik varsa ve bu bölgelerin yapılması gerektiğinde, geçiş bölgeleri yeterince güçlendirilmelidir. Zemin kat rijitliğinin diğer katlara göre küçük olması durumunda, yapının yatay yüklere karşı dayanımında büyük sıçramalar olmaktadır. Yapıda yanal ötelenmeler artmakta ve kolonlarda plastik mafsallar oluşmaktadır. Zemin katta ani rijitlik değişimleri nedeniyle, zemin kat kolonlarının üst noktalarında, elastik olmayan davranıştan dolayı büyük hasarlar oluşmaktadır ve bu da depreme dayanıklı yapı prensipleri açısından istenmemektedir. Ayrıca, zemin kat kolonlarında oluşacak büyük yanal ötelenmeler ikinci mertebe momentlerine de yol açmaktadır.







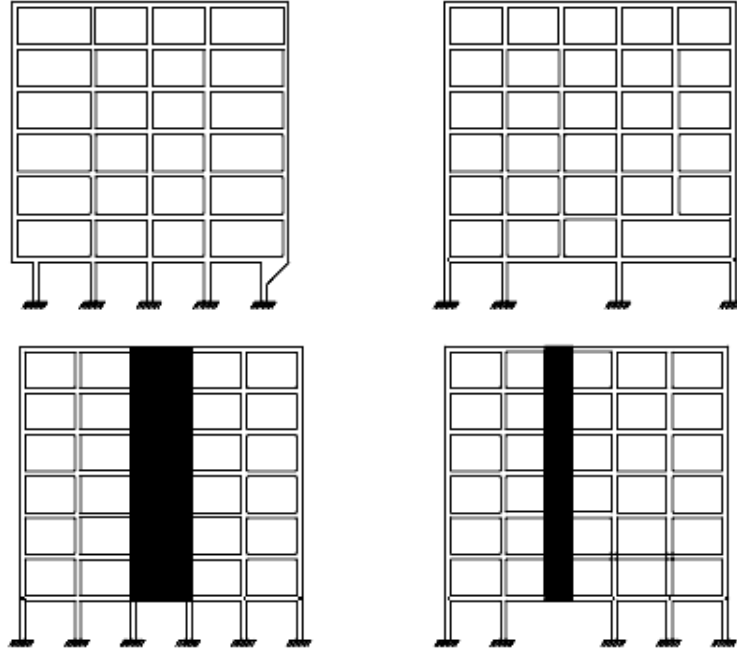
Şekil 14. Yumuşak kat oluşumundan dolayı meydana gelen yapısal hasarlar

Deprem yönetmeliğince, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde yapılacak ve toplam yüksekliği  $25m < H_N < 60m$  olan B2 türü düzensizliğin bulunduğu binalarda dinamik hesap yapılması zorunluluğu getirilmiştir.

9 Şubat 1971 San Fernando (ABD) Depreminde ( $M=6.5$ ), 5 katlı ve 4 ayrı bloktan oluşan bir hastane binası, yumuşak kat dolayısıyla büyük hasar görmüştür. Giriş katındaki dolgu duvarların olmayışından dolayı, 4.27m boyundaki kolonlarda 81cm'ye varan kat arası deplasmanlar görülmüştür. Yönetmelikler tarafından 0.0025 olarak sınırlandırılan rölatif deplasmanın kat yüksekliğine oranı, burada  $81/427=0.19$  gibi yüksek bir değere ulaşmıştır. Kullanılabilirlik ilkesine göre bu değer 0.0014 olduğu düşünülürse, yani yapısal olmayan elemanların da az hasar görmesi esas alınır, gerçekten çok yüksek bir değere ulaşılmıştır [25].

#### 4.2.2.3. Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği Durumu (B3 Türü Düzensizlik)

Taşıyıcı sistem elemanlarından kolon veya perdelerin bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin üzerine veya guseli kolonların ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin alt katta kolonlara veya kirişlerin üzerine oturtulması, yapıda taşıyıcı sistem düşey eleman süreksizliğine sebep olmaktadır (Şekil 15).

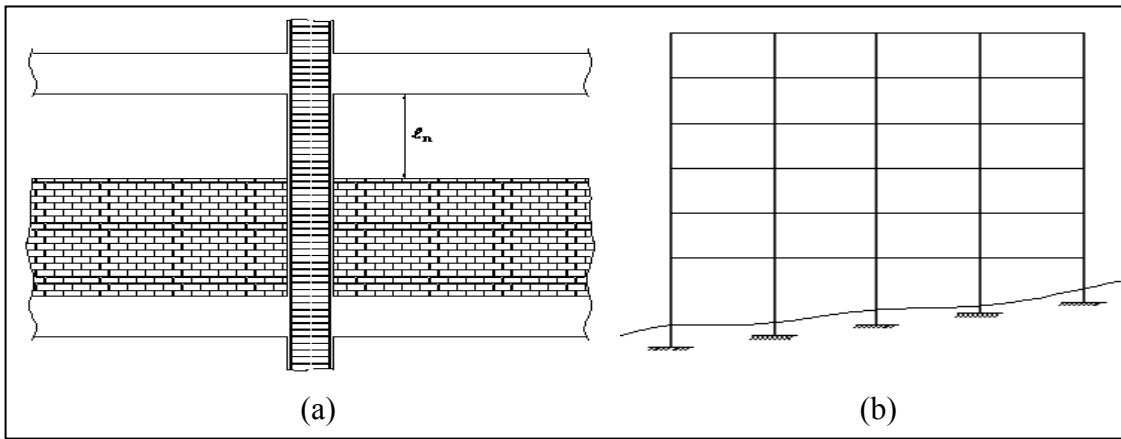


Şekil 15. Taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği

Deprem etkilerinin güvenle karşılanabilmesi için taşıyıcı sistemde düzgün çerçeveler oluşturulması, düşey taşıyıcı elemanların yapı yüksekliği boyunca kesintiye uğramadan devam etmesi, düzgün yapı davranışı bakımından önemlidir. Türk Deprem Yönetmeliği (1998)'ne göre B3 türü düzensizlik bulunan binalara ait koşullar dört madde altında toplanmıştır. Tüm deprem bölgelerinde, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselere oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez. Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvetler %50 oranında artırılabacaktır. Üst kattaki perdenin her iki ucundan altta kolonlara oturması durumunda, bu kolonlarda düşey yükler ve depremin ortak etkisiyle oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında artırılabacaktır. Bu tür düzensizliğin bulunduğu betonarme binalarda, perdenin oturduğu kolonlar, yüksekliği boyunca kolon sarılma bölgesindeki donatı ile sarılmalıdır. Kolon filizleri perde içerisinde kenetleme boyu kadar uzatılmalıdır. Bir perdenin alt kattaki kiriş üzerine açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir katta izin verilemez

#### 4.2.2.4. Kısa Kolon Oluşumu

Kolondan kolona uzanan perdelerdeki boşluklar veya yüksekliği fazla kirişlerden dolayı kısa kolonlar teşkil edilmektedir. Kısa kolon davranışı, kolonun kesme kırılması ile güç kaybetmesidir. Kat kirişlerinin süreksiz olması, rijit bölme duvarının kolonun etkili boyunu kısaltarak, eğilme momentini düşük tutmakta ve aşırı kesme kuvvetine maruz kısa kolon oluşmasına neden olmaktadır [29]. Dolgu duvarlarda kolonlar arasına bırakılmış boşluklar da kısa kolon oluşumuna neden olabilir (Şekil 16.a). Kolonların sarılma bölgeleri için minimum enine donatı ve yerleştirme koşulları kısa kolonun tüm kat yüksekliğince uygulanmalıdır. Kolona bağlanan kirişlerin derin olması, pencere üstü hatılları, bant pencereler de kısa kolon oluştururlar. Yatay deprem kuvvetleri kolonlara rijitlikleri ile orantılı dağıtıldığından, rijitliği artan kolonlar daha çok yatay kuvveti karşılamak durumundadır. Kat kirişlerinde süreksizlikler de kısa kolon davranışına neden olabilmektedir. Eğimli arazide temellerin değişik seviyelerde yapılması durumunda da kısa ve narin kolonlar oluşmakta, temellerin birbirleri ile bağlanması güçleşirken, yapının dinamik davranışı değişmektedir (Şekil 16.b). Kısa kolon oluşumu önlenemezse, kolonlar, donatının pekleşmesi dikkate alınarak artırılan uç eğilme moment kapasiteleri ile hesaplanmış kesme kuvvetine göre boyutlandırılır.



Şekil 16. Duvar yüksekliğinden (a) ve farklı temel seviyelerinden (b) kaynaklanan kısa kolon oluşma durumları

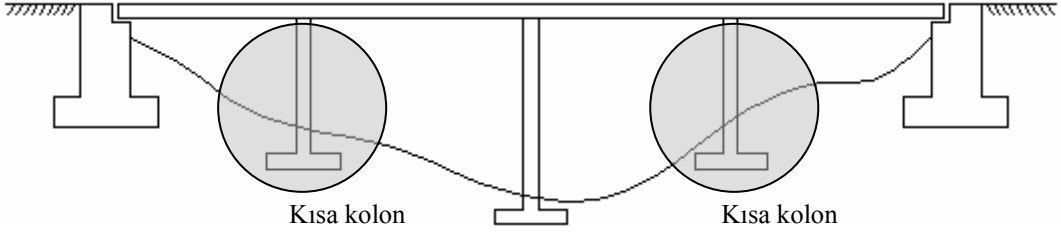
Kat kirişlerinde düşeyde süreksizlik varsa, kısa kolon davranışı ve çerçeve düğüm noktalarında ek kesit etkileri meydana gelmektedir. Kısa kolonlar, katlar arasında konulan kirişler ve taşıyıcı olmayan kısmi dolgu duvarlar nedeni ile de oluşmaktadır. Bu nedenle, kolonlar arasında uzanan dar bant pencere boşlukları bırakılmasından olabildiğince

kaçınılmalıdır. Rijit bölme duvarı kolonun etkili boyunu kısaltmakta ve kolonun yanıl yerdeğiştirme rijitliği aşırı derecede artırmaktadır. Depremden gelen kat kesme kuvvetleri, kolonlara yatay ötelenme rijitlikleri ile dağıldığından, yatay ötelenme rijitliği artan kolonlara daha fazla yatay kuvvet gelmektedir ve kolonda kesme kuvveti artarken, etkili boyun azalmasıyla birlikte eğilme momenti azaltmaktadır. Çünkü kolon ne kadar kısa ise depremden dolayı kolonda oluşacak kesme kuvveti, boyunun üçüncü kuvveti ile doğru orantılı artmaktadır. Örneğin, kısa kolonun boyu normal kat yüksekliğinin yarısı ise, deprem etkisinde kısa kolona gelen kesme kuvveti normal kolona gelen kesme kuvvetinin sekiz katı olmaktadır [19]. Kesme kuvveti nedeniyle meydana gelen güç tükenmesi ile geniş çatlaklar oluşmakta ve yapının tüm davranışında istenmeyen durum ortaya çıkmaktadır (Şekil 17). Dolayısıyla yapılarda kısa kolon oluşumuna yol açacak düzenlemelerden kaçınılmalı ve kolonun serbest şekil değiştirerek normal kolon davranışı sergilemesi sağlanmalıdır. Kısa kolonlarla ilgili ayrıntılar ve bağıntılar Bölüm 5'te verilmektedir.



Şekil 17. Kısa kolon oluşumundan dolayı hasar görmüş yapılar

Kısa kolon oluşumuna betonarme binalardakinin dışında örnek olarak viyadükler de gösterilebilir. Eğimli arazi yapısından dolayı oluşan kısa kolon durumu belirgin olarak görülmektedir (Şekil 18).



Şekil 18. Viyadüklerde meydana gelen kısa kolon görünümü [26]

## **5. DOLGU DUVARLARIN YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARINA ETKİSİ**

### **5.1. Dolgu Duvarlar ve Çerçeve Yapılar**

Dolgu duvarlar, binalara fonksiyon kazandırmak ve mekanları bölmek amacıyla, yapıların taşıyıcı sistemleri içindeki boşlukları dolduran elemanlar olarak bilinmektedir.

Betonarme çerçeveli sistemler, en çok kullanılan yapı sistemleri olmasına rağmen dolgu duvarlar yapının analizinde taşıyıcı eleman olarak değil, çoğu zaman yük olarak dikkate alınmaktadır. Bunun nedeni ise;

- Dolgu duvarların yapı rijitliğine katkısını dikkate alan hesap modelleri oluşturmanın karmaşıklığı
- Dolgu duvarların katkısını dikkate alan hesap metotlarının proje tasarımı aşamasında olmamasıdır.

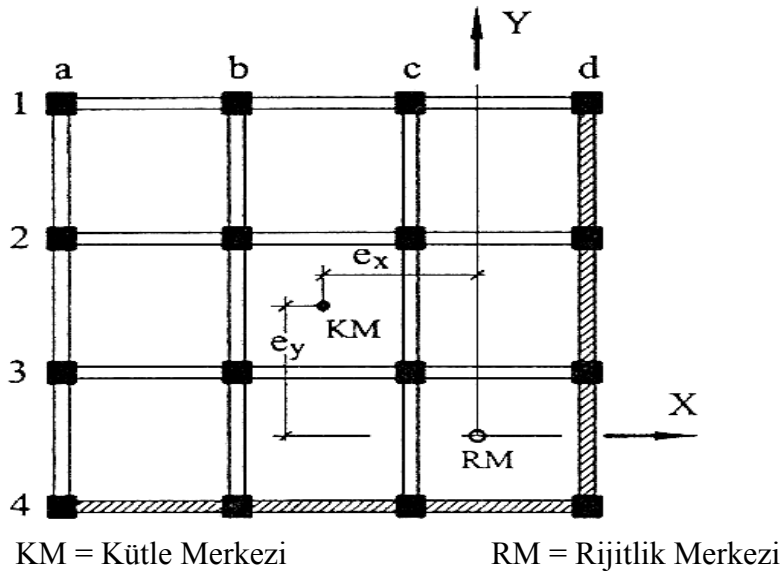
### **5.2. Dolgu Duvarların Yapının Deprem Davranışına Etkileri ve Göçme Biçimleri**

Çok katlı yapılarda duvarlar, taşıyıcı elemanlar olarak düşünülmediği için sadece iç ve dış mekanları ayıran hafif elemanlar olarak seçilmektedir.

Dolgu duvarların hafifletilmesinin temel nedeni, yapı ölü yükünü azaltmaktır. Böylelikle, yapı inşasındaki kolaylık ve ekonomi dışında, yapıya gelen deprem kuvvetleri de azalmaktadır. Çünkü yapı periyoduna en çok etki eden faktörlerden birisi de kütedir ve kütle artışı ile yapının doğal titreşim periyodu da artmaktadır [30].

Yapılarda alanları bölmek amacıyla inşa edilen dolgu duvarların sadece yatay yük taşıma kapasitesinde artışa sebep olduğu ve dolayısıyla dinamik etkiler altındaki davranışı olumlu yönde etkilediği çok yaygın olarak bilinmektedir. Buna karşılık, gerçekte, dolgu duvarlar nedeniyle yapının davranışının değiştiği ve bu sebeple depremde oluşan hasarın beklenenden daha büyük olduğu sayısız örnek de bulunmaktadır. Dayanaksız ve kırılğan olmalarına rağmen dolgu duvarlar, yatay yükler altında yapının davranışını değiştirebilmekte ve taşıyıcı sistemin bazı elemanlarında hesaplarda öngörülemeyen etkilere neden olabilmektedirler [31].

Simetrik ve çok katlı betonarme bir yapının, Şekil 19’da verilen kat planından görüldüğü gibi komşu iki kenarı boyunca “4-4” ve “d-d” akslarında dolgu duvar bulunmaktadır. Tasarım aşamasında, dolgu duvarların gözardı edilmesi ile çözülecek olan sistemin her bir doğrultusundaki çerçevelerin benzer etkilere maruz kalacağı söylenebilir. Gerçekte ise, dolgu duvarlar nedeniyle “4-4” ve “d-d” aksı çerçevelerinin rijitlikleri, diğer aksların rijitliklerine nazaran daha büyük olmaktadır. Sistemin tümü için düşünüldüğünde, rijitlikteki bu artış sebebiyle yapının doğal periyodu küçülmektedir. Ayrıca, sistemin rijitlik merkezinin kütle merkezinden uzaklaşması ile oluşacak eksantrisite nedeniyle, yapı, hesaplarda öngörülemeyen burulma etkilerine de maruz kalmaktadır.



Şekil 19. İki çerçevesinde dolgu duvar bulunan çok katlı betonarme yapının kat planı

Dolgu duvarlı taşıyıcı sistemlere ait başka bir örnek ise, Şekil 20’de gösterildiği gibi pencere v.b. nedenlerle boşluk bırakılarak, dolgu duvarların kat yüksekliğinin bir kısmında var olması durumudur. Duvarın etkisi ihmal edildiğinde yatay kuvvetler altında, kolonlarda plastik kesitlerin kolon alt ve üst uçlarında oluşması beklenmektedir ve kolonlar (13) eşitliğinden hesaplanan kayma kuvvetini belirli bir güvenlikle taşıyabilecek şekilde tasarlanmaktadır.

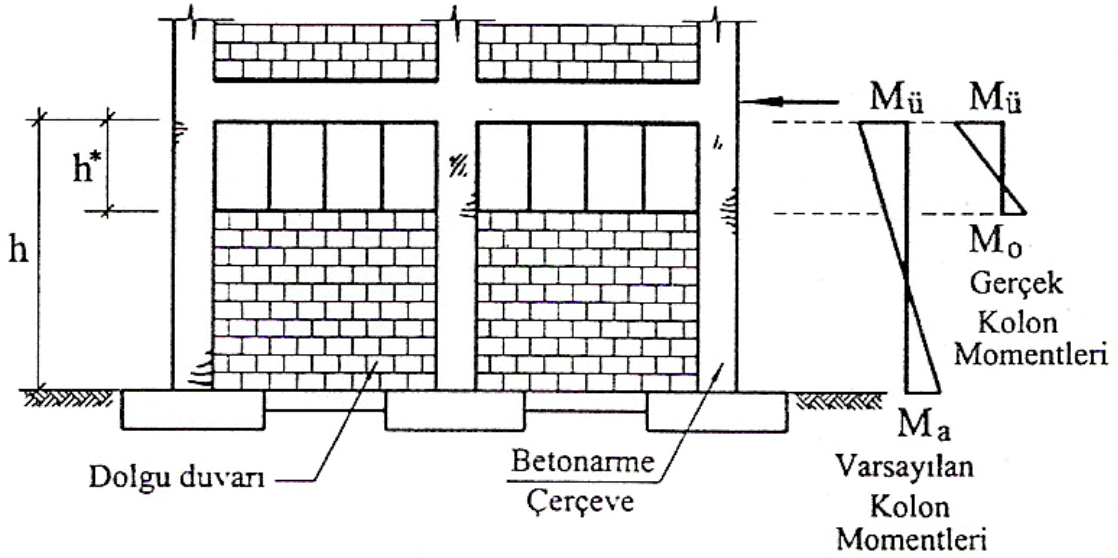
$$V_e = \frac{M_a + M_u}{h} \quad (13)$$

Ancak, gerçek davranışta Şekil 20'den de görüldüğü üzere dolgu duvarların varlığı nedeniyle, kolonların serbest açıklıkları küçülecek ve bu kolonlarda, kolon alt ucunda öngörülen plastik kesit, duvarın üst bitim bölgesi seviyesinde oluşacaktır.

Böyle bir durumda, kolonlarda oluşacak kayma kuvveti (14) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$V_e^* = \frac{M_u + M_o}{h^*} \quad (14)$$

$V_e^*$  değerinin,  $V_e$  değerinden büyük olacağı açıktır. Diğer bir anlatımla, kolonlar, tasarlandıkları maksimum kuvvetten daha büyük kayma kuvvetine maruz kalmaktadırlar [37]. Bu da kısa kolon oluşumu olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 20. Betonarme çerçevenin bir kısmında dolgu duvar bulunması hali [32]

Yukarıdaki gibi, kısa kolon oluşumunun engellenemediği durumlarda, kolonlarda kullanılacak enine donatıya dikkat edilmelidir. Bunun için de, (14) nolu bağıntıdan elde edilen kesme kuvveti hesaba katılmalıdır. Ancak, bu bağıntıdaki  $M_u$  ve  $M_o$ 'nun hesaplanması için, kolon-kiriş birleşiminde,



$$(M_{ii} + M_o) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj}) \quad (15)$$

denkleminin sağlanması veya sağlanmaması durumlarında aşağıdaki kurallar uygulanır.

**a) Denklemin sağlanması durumu**

(15)'in sağlandığı düğüm noktasına birleşen kirişlerin uçlarındaki pekleşmeli taşıma gücü momentlerinin toplamı olan  $\sum M_p$  momenti hesaplanmaktadır.

$$\sum M_p = M_{pi} + M_{pj} \quad (16)$$

Daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda,  $M_{pi} \cong 1.4M_{ri}$  ve  $M_{pj} \cong 1.4M_{rj}$  olarak alınmaktadır.  $\sum M_p$  momenti, kolonların düğüm noktasına birleşen uçlarında yeni deprem yönetmeliğine göre elde edilmiş bulunan momentler oranında kolonlara dağıtılmakta ve dağıtım sonucunda ilgili kolonun alt ve üst ucunda elde edilen moment,  $M_{ii}$  ve  $M_o$  olarak gözönüne alınmaktadır. Depremin her iki yönü için, bağıntı (16) ayrı ayrı uygulanmakta ve elde edilen en büyük  $\sum M_p$  momenti, dağıtımda esas alınmaktadır.

Denklem (15)'in sağlanmış olmasına karşın, (14)'teki  $M_{ii}$  ve  $M_o$ 'nun hesabı, güvenli tarafta kalmak üzere aşağıdaki duruma göre de yapılabilir.

**b) Denklemin sağlanmaması durumu**

(15)'in sağlanmadığı düğüm noktasına birleşen kolonların uçlarındaki momentler, pekleşmeli kolon taşıma gücü momentleri olarak hesaplanmakta ve (14)'te  $M_{ii}$  ve/veya  $M_o$  olarak kullanılmaktadır. Pekleşmeli taşıma gücü momentleri, daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda,  $M_{püi} \cong 1.4M_{rii}$  ve  $M_{po} \cong 1.4M_{ro}$  olarak alınabilmektedir.  $M_{püi}$  ve  $M_{po}$  momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak, bu momentleri en büyük yapan  $N_d$  eksenel kuvvetleri gözönüne alınmaktadır.

(14)'teki momentler, kısa kolonun alt ve üst uçlarında  $M_o \cong 1.4M_{ro}$  ve  $M_{ii} \cong 1.4M_{rii}$  olarak hesaplanmakta,  $h^*$  ise kısa kolonun boyu olarak alınmaktadır. Ancak hesaplanan kesme kuvveti,

$$V_e \leq V_r \quad (17)$$

$$V_e \leq 0.22A_w f_{cd} \quad (18)$$

koşullarını sağlamalıdır. Kısa kolon boyunca, kolonların sargı bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirilme koşulları uygulanmalıdır. Dolgu duvarlar arasında kalarak kısa kolon durumuna dönüşen kolonlarda, enine donatılar tüm kat yüksekliğince devam ettirilmelidir.

Bir elemanın kesme kapasitesi donatı sağlayarak sınırsız ölçüde artırılmamaktadır. Çünkü, asal çekmeye karşı dayanım arttığında, diğer doğrultuda oluşan asal basınç gerilmeleri betonun basınç dayanımını aşar ki, bu da gevrek kırılmaya yol açmaktadır. Dolayısıyla kesme alanının artırılması gerekmektedir. Bu etkilerin yanı sıra, ticari ve diğer amaçlarla dolgu duvarsız inşa edilen zemin katlarda, yumuşak kat davranışına rastlanılabilmektedir. Zemin katlardaki dolgu duvar miktarı, yapının rijitliğini ve dolayısıyla yerdeğiştirmesini etkilemektedir [33].

Deprem gören yapılardaki hasarlar, sıva kalınlığının az olduğu bölgelerde sıva çatlakları ile başlamaktadır. Daha sonra, kiriş-duvar ve kolon-duvar birleşim derzlerinde yine sıva çatlakları oluşmaktadır. Yapıda bu tür sıva çatlakları var ise, betonarme taşıyıcı elemanlarda (kolon ve kirişler) hasar bulunmamaktadır. Şiddetli depremlerde, dolgu duvarın tuğla ya da daha zayıf mukavemetli boşluklu briket olmasına da bağlı olarak, dolgu duvarı hasarı başlamaktadır. Duvar düzlemine karşıdan bakıldığında, daha çok örgü harç derzlerini izleyen kırıklı X biçiminde derin çatlaklar görülmektedir. Dolgu duvar hasarlarının daha ileri aşamalarında ise, duvarlar taşıyıcı elemanlardan ayrılmakta ve tuğla veya briket parçaları kopup düşmeye başlamaktadır. Genellikle dolgu duvarların iyice parçalanıp iri parçalar halinde dökülmeye başlaması ile, özellikle kolon-kiriş birleşimlerine yakın bölgelerde, kolonlarda ve kirişlerde mafsallaşmalar görülmektedir.

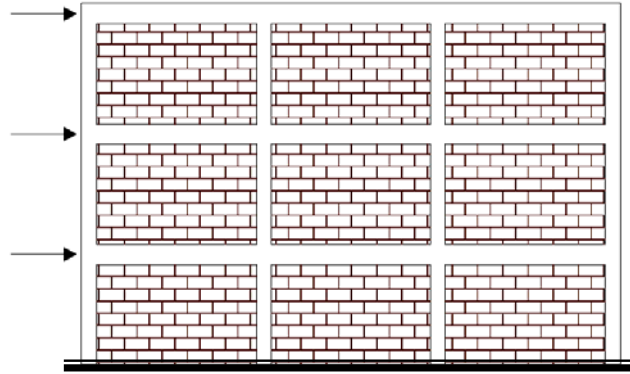
### 5.3. Dolgu Duvar Özelliklerinin Yapı Davranışına Etkileri

Dolgu duvarlı çerçevelerin kuvvetli yer hareketine (depreme) karşı davranışı temel olarak, duvar malzemesinin mekanik özelliklerine, duvarın kalınlığına, kullanılan dolgu harcına, dolgu duvarın çerçeveye ne şekilde bağlandığına, duvarda bulunabilecek boşluklara (pencere ve kapı), dolgu duvarın yapı üzerine yerleştirilme biçimine bağlıdır. Yapılan birçok deney sonucu, dolgu duvarların çerçeveye olan etkilerindeki en önemli

değişikliklerden birisinin de, duvarlarda bulunan boşluklar olduğunu göstermiştir. Duvarlarda yer alan kapı ve pencere boşlukları ile bunları çevreleyen kasalar, duvar davranışını doğrudan etkilemektedir. Boşluklu duvarlar, boşluksuz duvarlara göre daha sünek ve daha az rijit özellik göstermektedir. Çerçeve yapıdaki dolgu duvarların mimarideki yerleştiriliş biçimi, yapı davranışını olumlu veya olumsuz olarak etkileyen en önemli nedenlerden biridir. Dolgu duvarın yapıdaki yerleşiminden dolayı, yapı beklenenden çok daha farklı davranabilmektedir. Dolgu duvarlar, yapı rijitliğini artırarak çerçeve elemanların üzerine gelen deprem kuvvetlerini azaltmaktadır. Diğer taraftan yerleştirilme biçimine bağlı olarak kısa kolon davranışı, yumuşak kat davranışı ve yapıda burulma gibi olumsuz etkilere de sebep olabilmektedir.

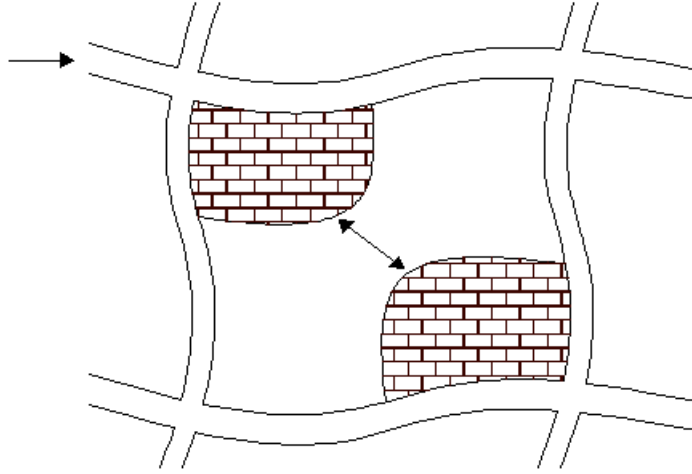
#### 5.4. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Modellenmesi

Dolgu duvarlı çerçevelerin modellenmesi için ortaya konulmuş ve uygulama alanı bulmuş, güvenilir ve kolay bir yöntem henüz tam olarak belirlenmiş değildir. Bu konuda ortaya atılmış bir takım öneriler ve kriterler olmasına karşın deneysel çalışmalar da fazla miktarda mevcuttur. Tipik bir dolgu duvarlı çerçeve Şekil 21’de gösterilmektedir.



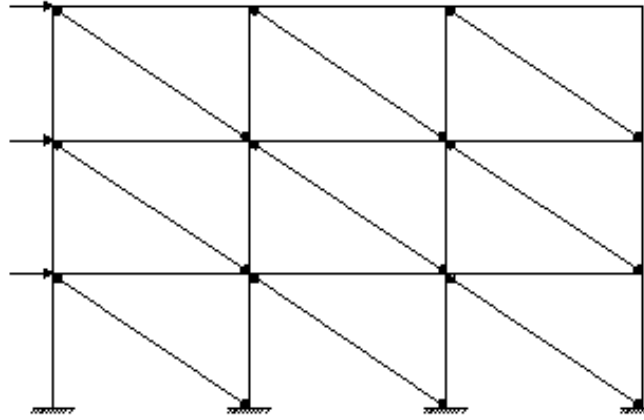
Şekil 21. Tipik dolgu duvarlı çerçeve

Çerçevenin dolgu duvarlı her bir gözü, yatay yükler altında, Şekil 22’deki gibi yer değiştirme yapma eğilimindedir. Ancak, dolgu duvarlar, çerçevelerin yatay ötelenmelerine bir basınç çubuğu gibi karşı koymaktadır ve yapı rijitliğine önemli katkıda bulunmaktadır.



Şekil 22. Dolgu duvarın çerçeve yatay ötelenmesinde basınç çubuğu gibi davranışı

Şekil 22'den de görüldüğü gibi, yatay yükün yönüne bağlı olarak, dolgu duvarlar Şekil 23'te gösterildiği gibi modellenenebilir.



Şekil 23. Dolgu duvarlı çerçevelerin basınç çubukları ile modellenmesi

## 6. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 6.1. Giriş

Yürürlükte bulunan Afet Yönetmeliği'ne göre mühendislik yapılarının, hafif depremlerde hasar görmeyecek, orta şiddetli depremlerde yapıda meydana gelen hasarların onarılabilir nitelikte olması, çok şiddetli depremlerde ise yapı hasar görebilir, fakat göçmeyecek ve ayrıca can kayıpları olmayacak şekilde projelendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, güçlü depremlerin yıkıcı tahribatlarından yapıyı korumak deprem mühendisliğinin ve araştırmacıların amacı olmuştur.

Çalışmanın bu kısmı iki ana bölümde sunulmaktadır. Birinci bölümde yapılarda kısa kolon etkisi incelenirken, ikinci bölümde ise yumuşak kat düzensizliği incelenmiştir.

Birinci bölümde, zemin kat yüksekliği sabit tutulup, var olan duvarların yükseklikleri artırılarak bu duvarların etrafındaki kolonlarda oluşan kesme kuvveti, moment ve deplasman değişimleri incelenmiştir. Analizler, modelin kat sayıları artırılarak tekrarlanmıştır. Böylece kat adedi değişiminin kısa kolon etkisi üzerindeki etkisi de incelenmeye çalışılmıştır.

İkinci bölümde ise, birinci bölümde yapılan çalışmalardan farklı olarak sabit olan zemin kat yüksekliği artırılarak yumuşak kat düzensizliği oluşumu incelenmiştir. Çalışmaların ana amacı olarak, kısa kolon etkisi ile yumuşak kat düzensizliğinin birbirleri arasında var olan ilişki, yapılan çok sayıda analiz sonucu ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, planda, bir doğrultuda beş ve diğer doğrultuda altı açıklığa sahip, farklı katlı yapı modelleri seçilmiştir. Seçilen yapı sistemlerinde rijitlik dağılımının her iki doğrultuda da simetrik olmasına özen gösterilmiştir. Böylece burulmadan dolayı ek kesit tesirlerinin oluşmaması sağlanmıştır. Bu yapı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönelmelikte tanımlanan  $Z_4$  türü yerel zemin üzerine temelde ankastre olması kabulüyle modellenmiştir. Yapı sistemlerinin matematik modelinin oluşturulmasında sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Yapı sistemlerinin deprem hesaplarında ise modal analiz yöntemlerinden modların birleştirilmesi yöntemi kullanılmıştır. Mod katkılarının birleştirilmesinde 12 mod dikkate alınmıştır.

## 6.2. Çalışmada Seçilen Yapı Modelinin Özellikleri

Yapılan çalışmada, dinamik analizleri yapılmak üzere Şekil 24'te kat planı verilen farklı katlı ve üç boyutlu bina modeli ele alınmıştır.

Modellerde zemin kat yükseklikleri değişirken, üst katların tamamının yüksekliği 3m olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca, dolgu duvarlar, modellerin zemin katında dış çerçevelerde; üst katlarında ise iç ve dış çerçevelerin tümünde kullanılmıştır.

Kiriş-kolon çerçeve sistemi olarak seçilen yapı modelinin kolon boyutları; 5 katlı modellerde 30cmx50cm, 8 katlı modellerde 40cmx60cm, 11 katlı modellerde ise 45cmx70cm olarak belirlenmiştir.

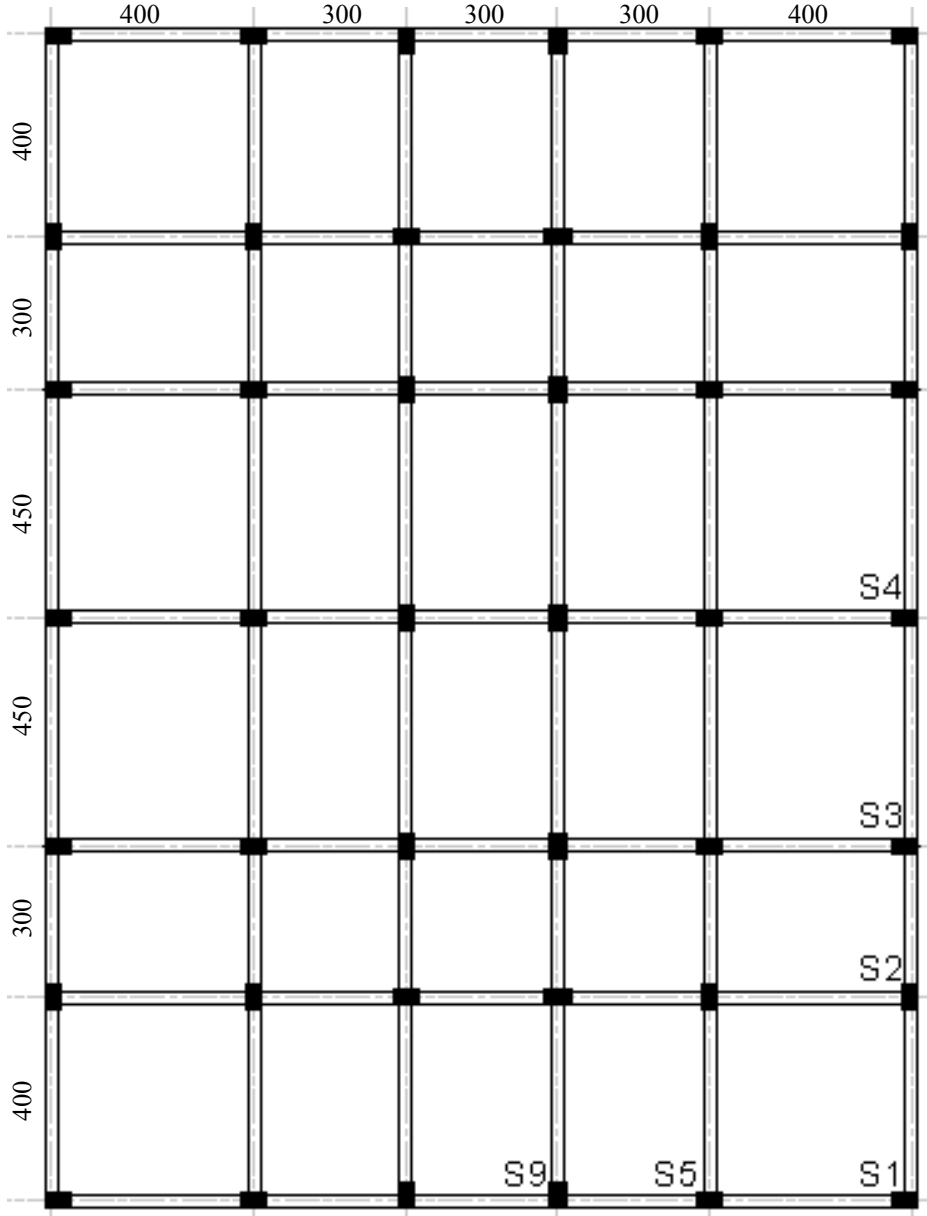
Tüm kiriş kesitleri 25cm/50cm olarak ön boyutlandırma yapılmıştır. Kirişlerin hesaba katılması sırasında kendi öz ağırlıklarına sıva ve duvar yükleri eklenmiştir. Bu yükler ilgili standartlardan alınmıştır [27].

Tüm katlarda döşemelerin kalınlığı 15cm olarak ön boyutlandırma yapılmıştır. Döşemelerin hesaba katılması sırasında kendi öz ağırlıklarına sıva yükü, kaplama yükleri ilave edilmiştir. Döşemeler için, yatay yöndeki rijitliklerinin sonsuz olduğu kabulü (rijit diyafram) yapılmıştır.

Seçilen yapı modelinde C20 sınıfı beton kullanıldığı kabul edilerek, elastisite modülü  $2,85 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$  alınmıştır. Dolgu duvarın kalınlığı 20cm, elastisite modülü  $2,85 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ , poisson oranı ise 0,25 olarak dikkate alınmıştır. Çözümlenmeler SAP 2000 [28] programıyla gerçekleştirilmiştir ve yapılan analizler Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Çalışma için yapılan analizler

	Kat adedi	Zemin kat yüksekliği (m)	Duvar Yük. Değişimi (m)	Toplam analiz sayısı
Analiz 1	5	4,00	0,20	21
Analiz 2	5	4,50	0,25	19
Analiz 3	5	5,00	0,25	21
Analiz 4	8	4,00	0,20	21
Analiz 5	8	4,50	0,25	19
Analiz 6	8	5,00	0,25	21
Analiz 7	11	4,00	0,20	21
Analiz 8	11	4,50	0,25	19
Analiz 9	11	5,00	0,25	21



Şekil 24. Çalışmaya konu olan yapı modelinin kat planı

Seçilmiş olan modelin dinamik analizinin yapılabilmesi amacıyla Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te tanımlanan özel tasarım ivme spektrumları kullanılmıştır.

Yapılan modal analiz için hesaplanan spektral ivme değerleri;

$$S_{pa}(T_r) = A(T_r)g / R_a(T_r) \quad (19)$$

bağıntısıyla hesaplanabilmektedir. Söz konusu bağıntıdaki  $A(T_r)$ , spektral ivme katsayısını,  $g$  yer çekimi ivmesini,  $R_a(T_r)$  ise, deprem yükü azaltma katsayısını göstermektedir. Spektral ivme katsayısı  $A(T_r)$ ,

$$A(T_r) = A_0 I S(T) \quad (20)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir. Burada  $A_0$ , etkin yer ivmesi katsayısını,  $I$  bina önem katsayısını ve  $S(T)$  spektrum katsayısını göstermektedir. Söz konusu spektrum katsayısı  $S(T)$ , deprem yönetmeliğinde,

$$\begin{aligned} S(T_1) &= 1 + 1,5T_1 / T_A & (0 \leq T_1 \leq T_A) \\ S(T_1) &= 2,5 & (T_A \leq T_1 \leq T_B) \\ S(T_1) &= 2,5(T_B / T_1)^{0,8} & (T_B \leq T_1) \end{aligned} \quad (21)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada  $(T_A \text{ ve } T_B)$  saniye olarak zemin spektrum karakteristiklerini göstermektedir.

Bu çalışmada, Z4 türü yerel zemin sınıfı için yapılacak olan analizlerde kullanılacak deprem bilgileri verilmektedir.

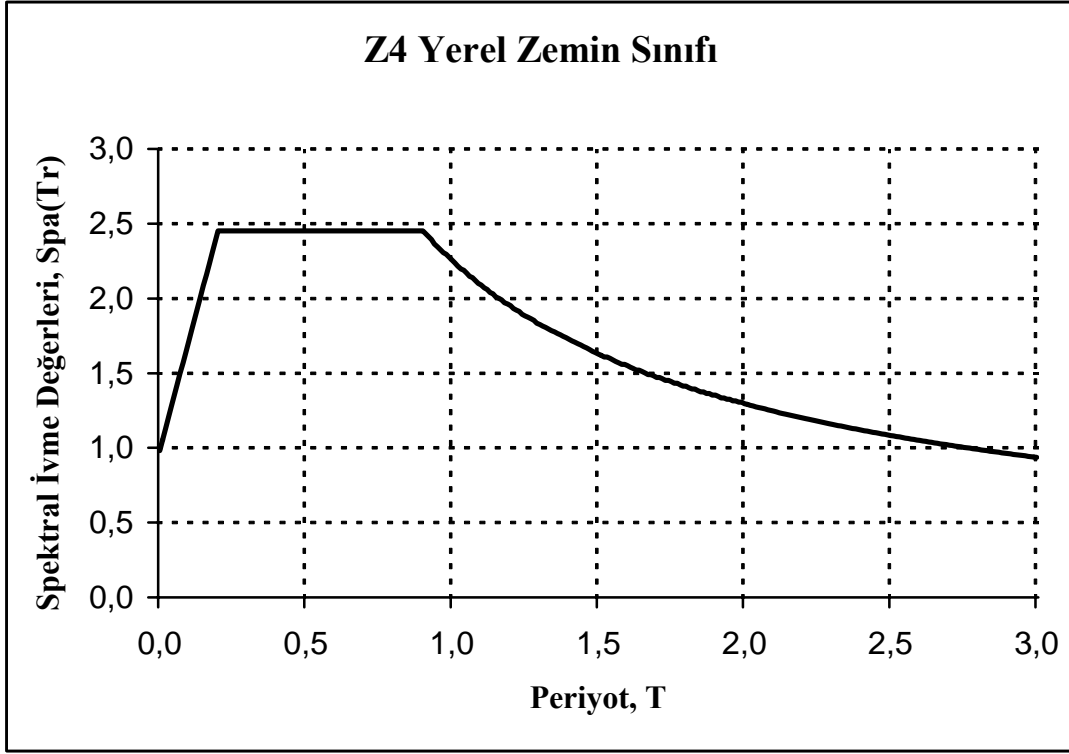
Bina önem katsayısı (I)	: 1,0
Deprem bölgesi:	: 1
Etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ )	: 0,4
Yerel zemin sınıfı	: Z4
Spektrum karakteristik periyotları	: Z4 için $T_A = 0,20$ sn, $T_B = 0,90$ sn
Taşıyıcı sistem davranışı katsayısı (R):	4
Deprem yönü	: X ve Y doğrultusunda

Bu çalışmada, modal analiz için kullanılan spektral ivme değeri, yukarıda verilen (19) bağıntısında yerine koyulmasıyla,

$$S_{pa}(T_r) = 3,924 S(T) / R_a(T_r) \quad (22)$$



şekline gelmektedir.  $T=0,01$  sn aralıklarla spektrum ivme değerleri hesaplanmış ve sistemin modal analizinde kullanılmıştır. Hesaplanan değerle, idealleştirilmiş grafik olarak Şekil 25 elde edilmektedir.



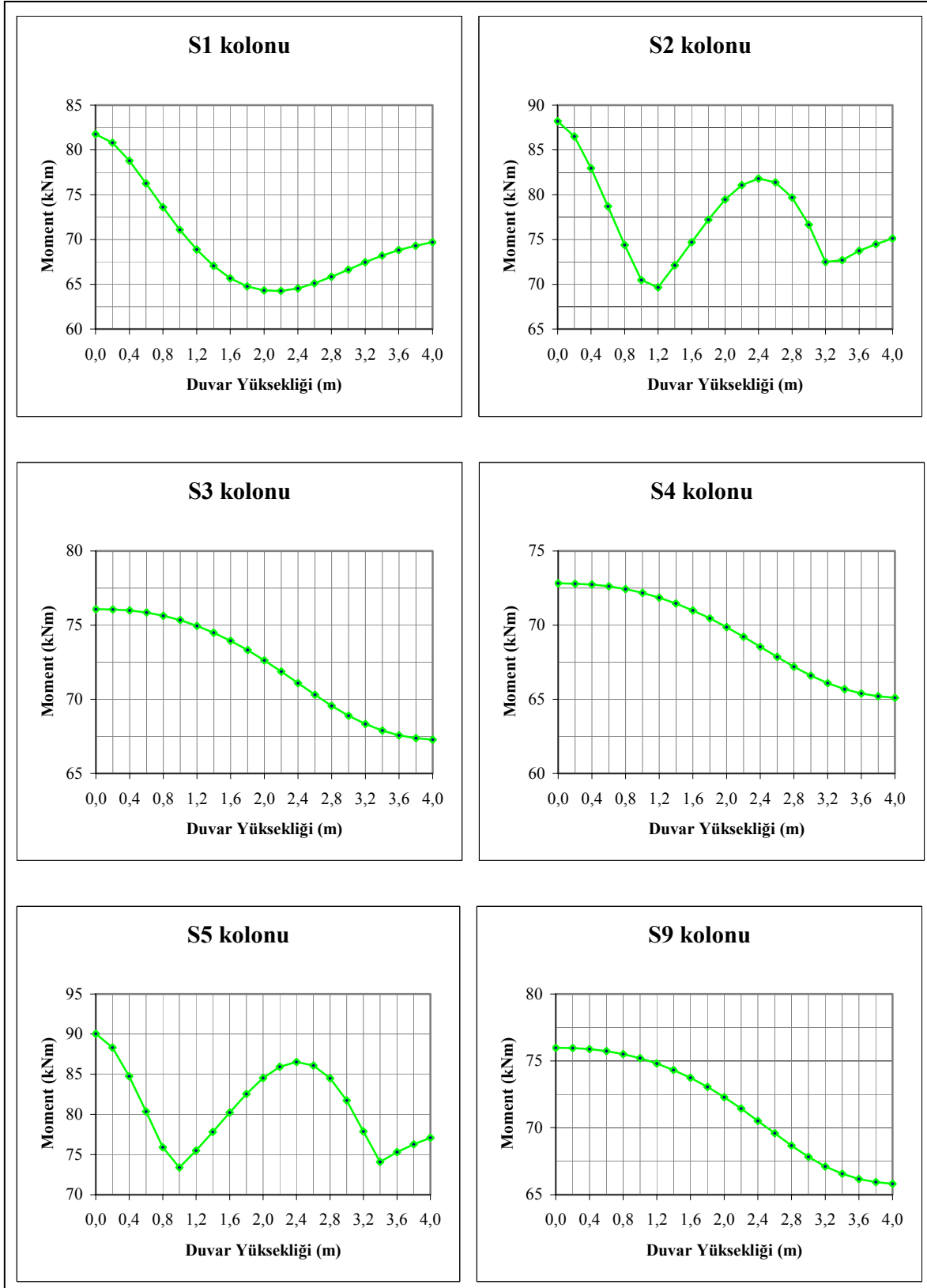
Şekil 25. Z4 türü zemin sınıfına ait spektral ivme-periyot grafiği

## 7. BULGULAR VE İRDELEMELE

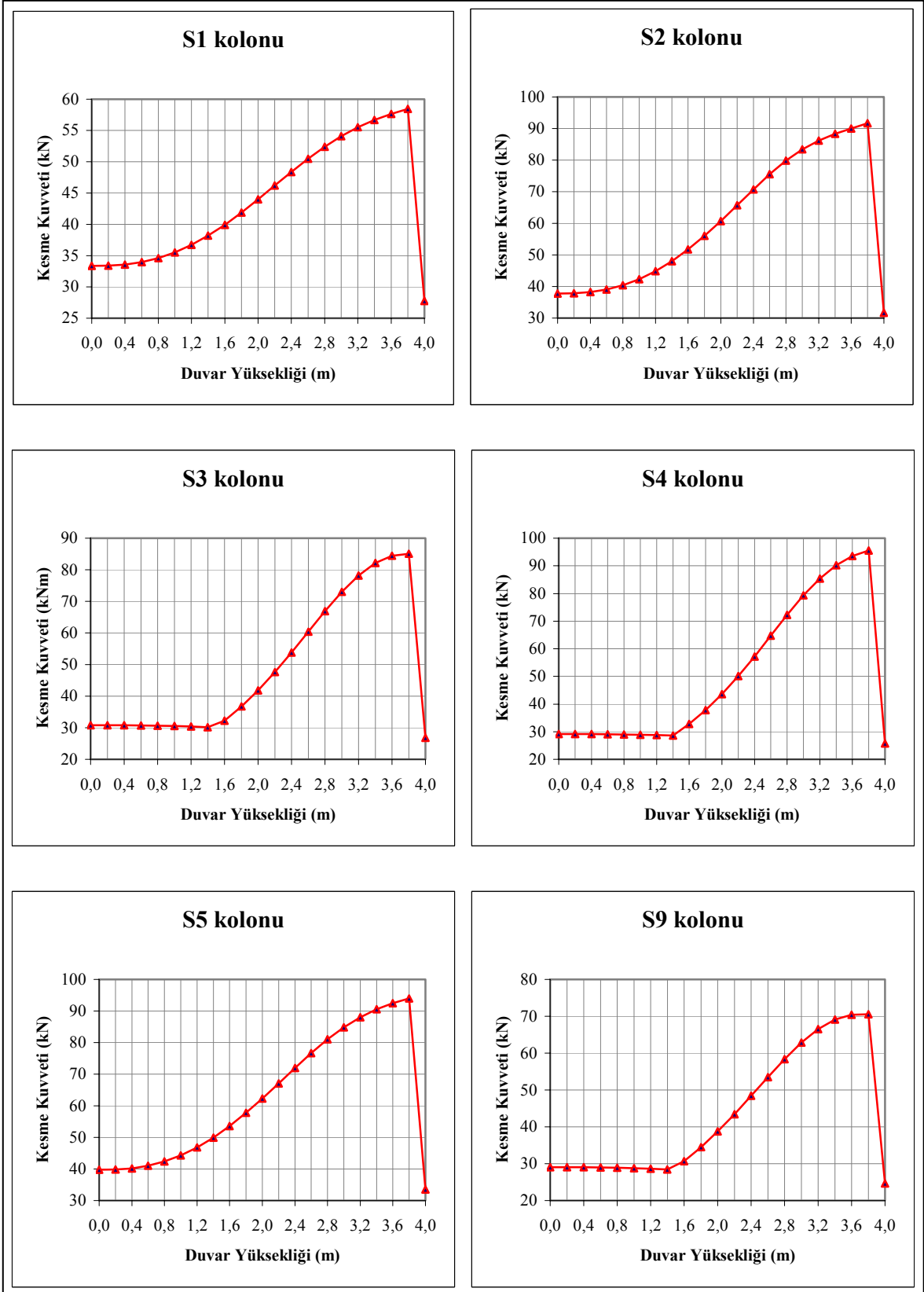
5 katlı yapı modeli için yapılan analizlerin sonuçları, grafikler biçiminde aşağıda verilmiştir. Şekil 26'da, duvar yüksekliğinin değişimi ile kolonlarda meydana gelen moment etkileri görülmektedir. S3, S4 ve S9 kolonları, özellikleri ve konumları itibarıyla benzerlik gösterdiği için aynı davranışa sahiptirler. Bu kolonlar iç açıklık kolonu olup, duvar doğrultusuna dik konumlanmışlardır. Buna karşılık S2 ve S5 kolonlarındaki moment değişimleri daha farklıdır. Şekillerden de görüldüğü gibi, moment değerleri kolon orta bölgesinde belirgin olarak artış göstermiştir. Bu artıştaki en önemli etken, bu kolonların duvar doğrultusunda yerleştirilmiş olmalarıyla açıklanabilir. S1 kolonunda meydana gelen moment değerlerinin, diğer bütün kolonlara göre farklılık göstermesi ise köşe kolonu olarak çalışması ve her iki doğrultuda duvar etkisinde kalmasıdır.

Şekil 27'de duvar yüksekliğinin değişimi ile meydana gelen kesme kuvveti etkileri verilmiştir. Kat yüksekliğince değişen duvar yüksekliğinin, kolonlara gelen kesme kuvvetlerinde belirgin derecede artışa sebep olduğu açıkça görülmektedir. Duvar doğrultusunun kolonun kısa kenar doğrultusuna dik yönde olması nedeniyle kesme kuvvetinin düzgün olarak arttığı görülmektedir. S3, S4 ve S9 kolonlarındaki kesme kuvveti değerlerinin ise, kolon boyunun üçte birlik kısmında değişmediği, buna karşın, devam eden duvar yüksekliklerinde kesit etkilerinin arttığı görülmektedir. Oluşan maksimum kesme kuvveti, minimum kesme kuvvetinin yaklaşık üç katına çıkmaktadır. Çerçevenin boş ve dolu halinde oluşan kesme kuvvetleri arasında çok ciddi bir fark oluşmamaktadır.

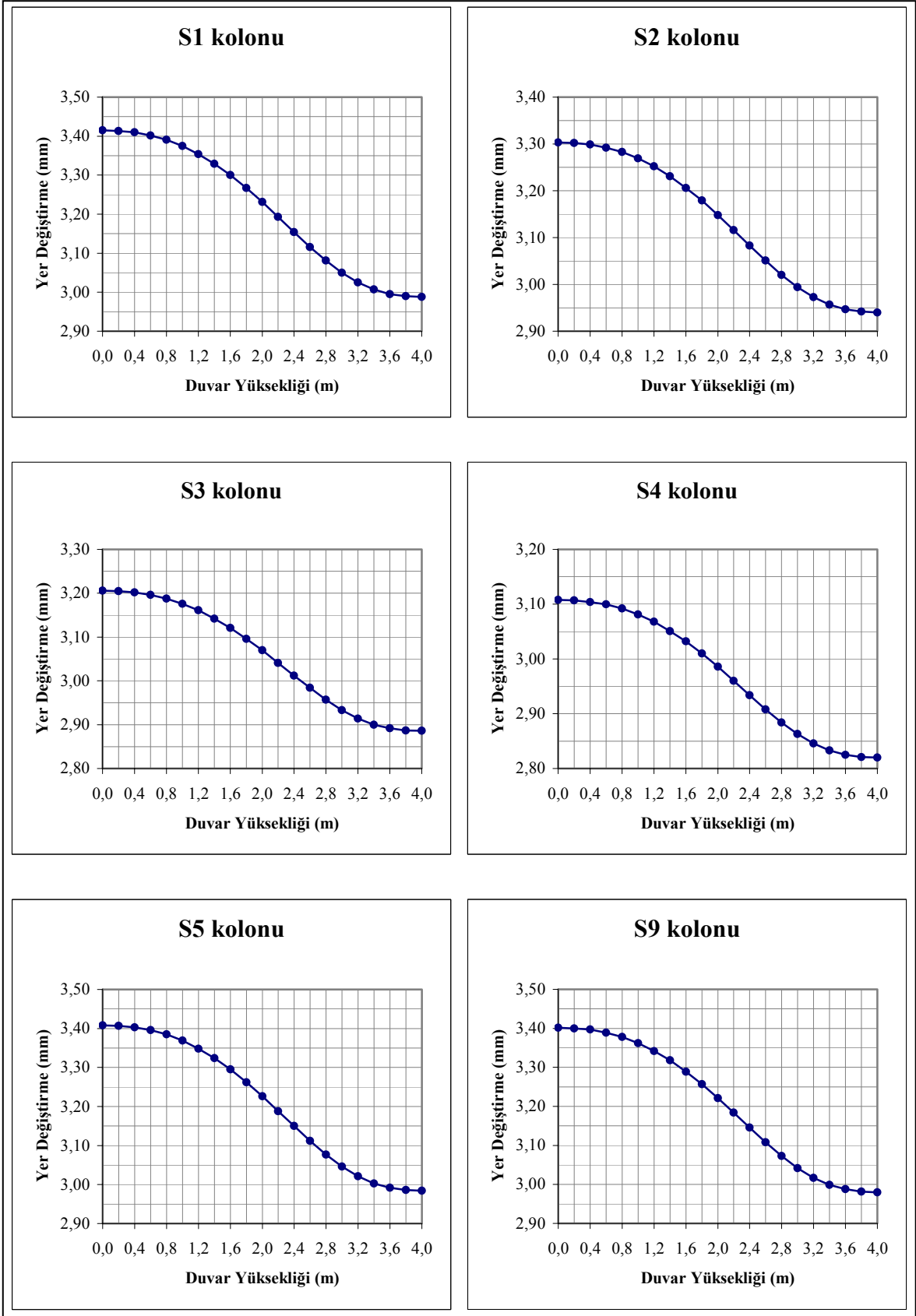
Şekil 28'de duvar yüksekliğinin değişimi ile meydana gelen yerdeğiştirme değerleri verilmiştir. S1, S2, S3, S4, S5 ve S9 kolonlarındaki yerdeğiştirme değerlerinin, devam eden duvar yüksekliklerinde azaldığı görülmektedir.



Şekil 26. 5 katlı ve 4 m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan moment değerleri



Şekil 27. 5 katlı ve 4 m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan kesme kuvveti değerleri

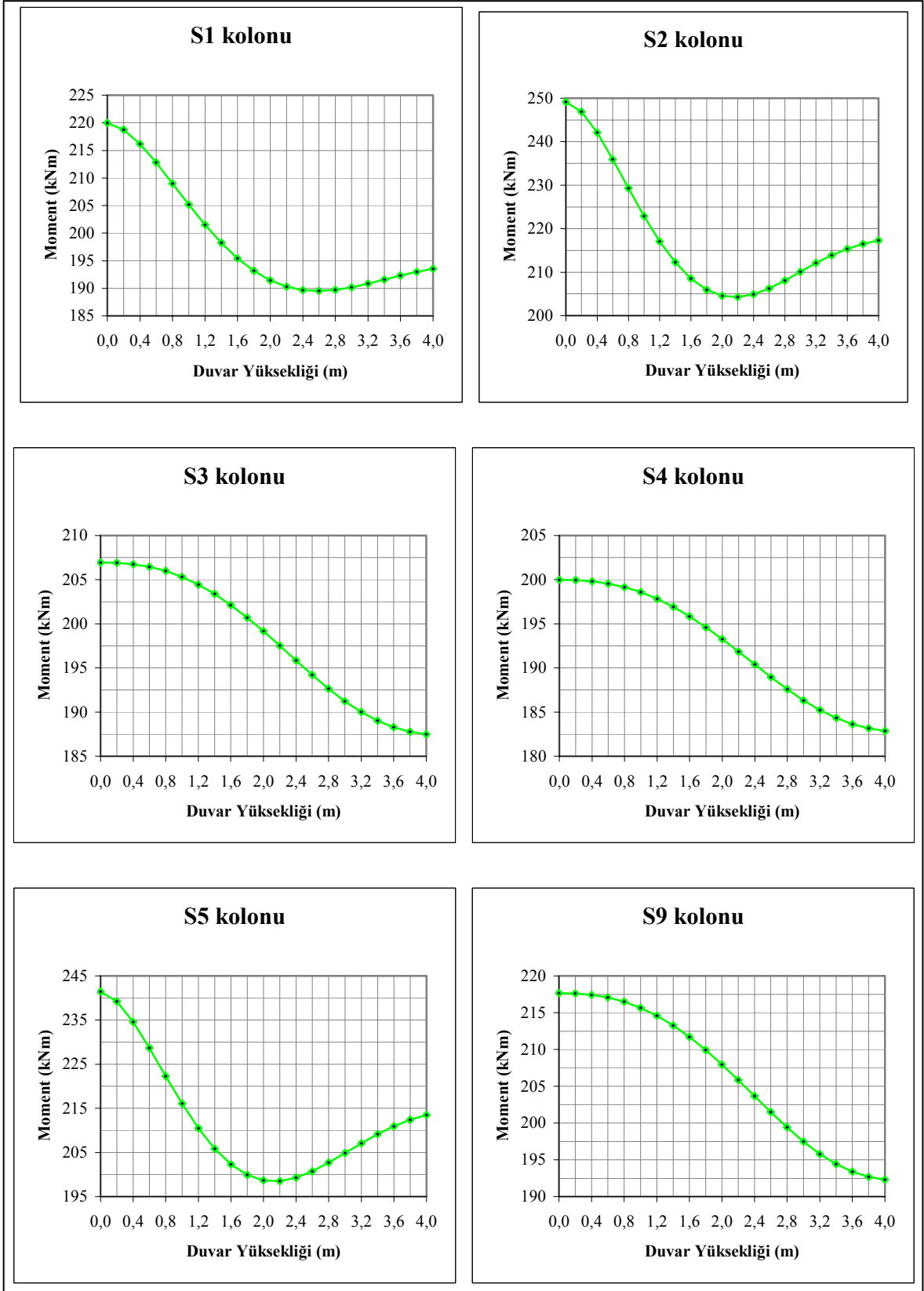


Şekil 28. 5 katlı ve 4 m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan yerdeğişirme değerleri

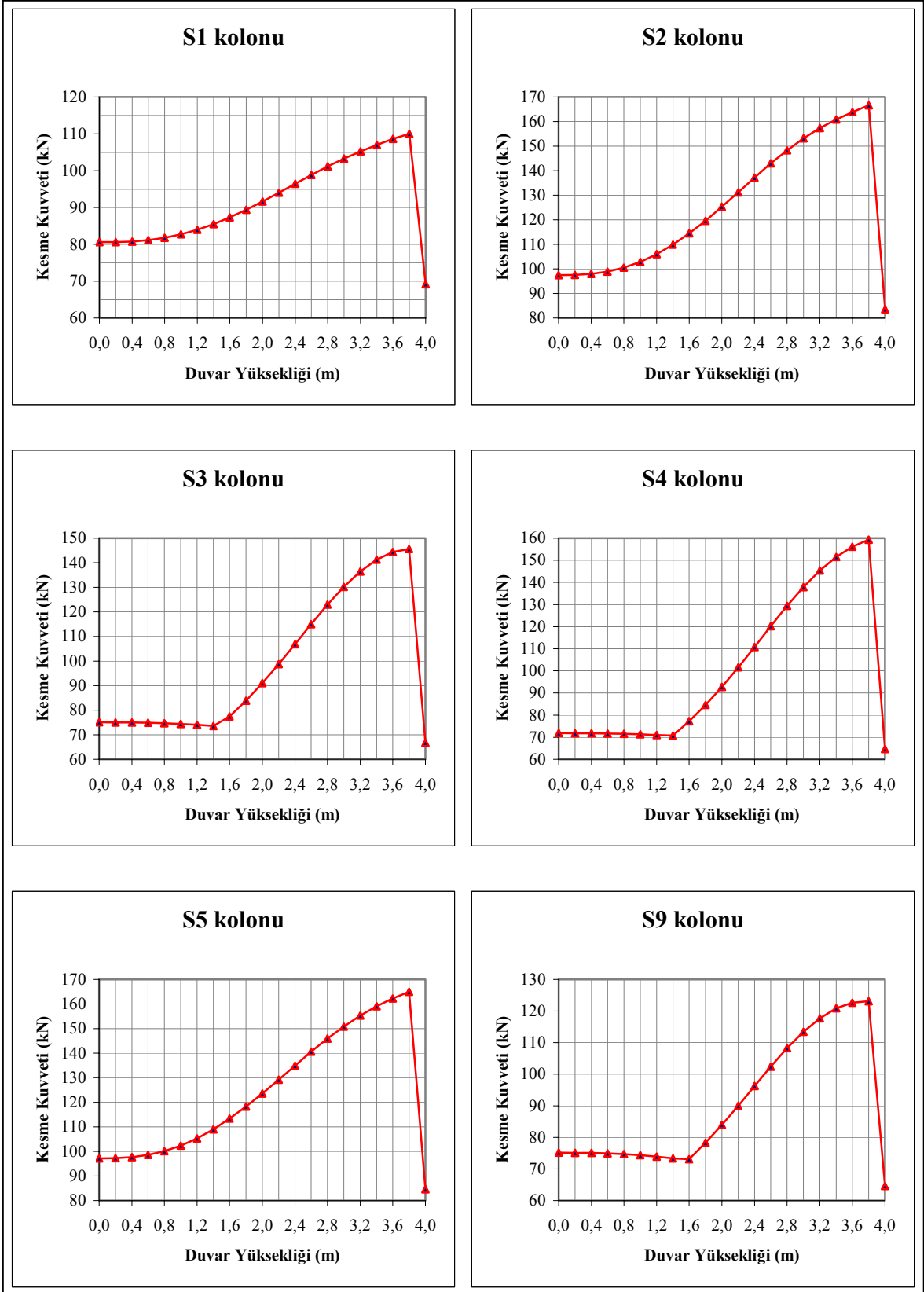
8 katlı yapı modeli için yapılan analizlerin sonuçları, grafikler biçiminde aşağıda verilmiştir. Şekil 29'da, duvar yüksekliğinin değişimi ile kolonlarda meydana gelen moment etkileri görülmektedir. 8 katlı yapıda meydana gelen moment değerleri, 5 katlı yapıya göre yaklaşık üç kat artış göstermiştir. S1 köşe kolonu 5 katlı yapıda olduğu gibi, aynı davranışa sahiptir. Benzer şekilde, S3, S4 ve S9 kolonlarındaki davranış da 5 katlı yapıdakinden farklı değildir. Ancak S2 ve S5 kolonları için aynı durum sözkonusu değildir. Kat yüksekliği arttığı ve dolayısıyla boyutları büyüdüğü için, kolonların eğilme rijitliği artmıştır. Buna bağlı olarak, 5 katlı yapının S2 ve S5 kolonlarında gördüğümüz orta bölgedeki moment artışı, 8 katlı yapıda görülmemektedir. Bu kolonların davranışı S1 köşe kolonunun davranışına yaklaşmıştır.

Şekil 30'da duvar yüksekliğinin değişimi ile meydana gelen kesme kuvveti etkileri verilmiştir. 8 katlı yapıda meydana gelen kesme kuvveti değerleri, 5 katlı yapıya göre yaklaşık iki kat artış göstermiştir. Duvar yüksekliğinin 20cm'lik her bir artışı için, kesme kuvveti değerleri de artmaktadır. Ancak, S3, S4 ve S9 kolonlarının konumu duvar doğrultusuna dik olduğu için, kat yüksekliğinin üçte birlik kısmında kesme kuvveti değerlerinin değişmediği görülmektedir. Çerçeveler arasındaki boşluk, duvar yüksekliği düzgün bir şekilde artırılarak kapatılmaktadır. Dolgu duvarın çerçeveyi tam doldurduğu nokta ile, bir adım öncesinde meydana gelen kesme kuvveti değerleri arasındaki uçurum, bariz şekilde görülmektedir.

Şekil 31'de duvar yüksekliğinin değişimi ile meydana gelen yerdeğiştirme değerleri verilmiştir. S1, S2, S3, S4, S5 ve S9 kolonlarındaki yerdeğiştirme değerlerinin, devam eden duvar yüksekliklerinde azaldığı görülmektedir. Ancak 5 katlı yapıdaki yerdeğiştirme değerlerinin yaklaşık %25 arttığı görülmektedir.

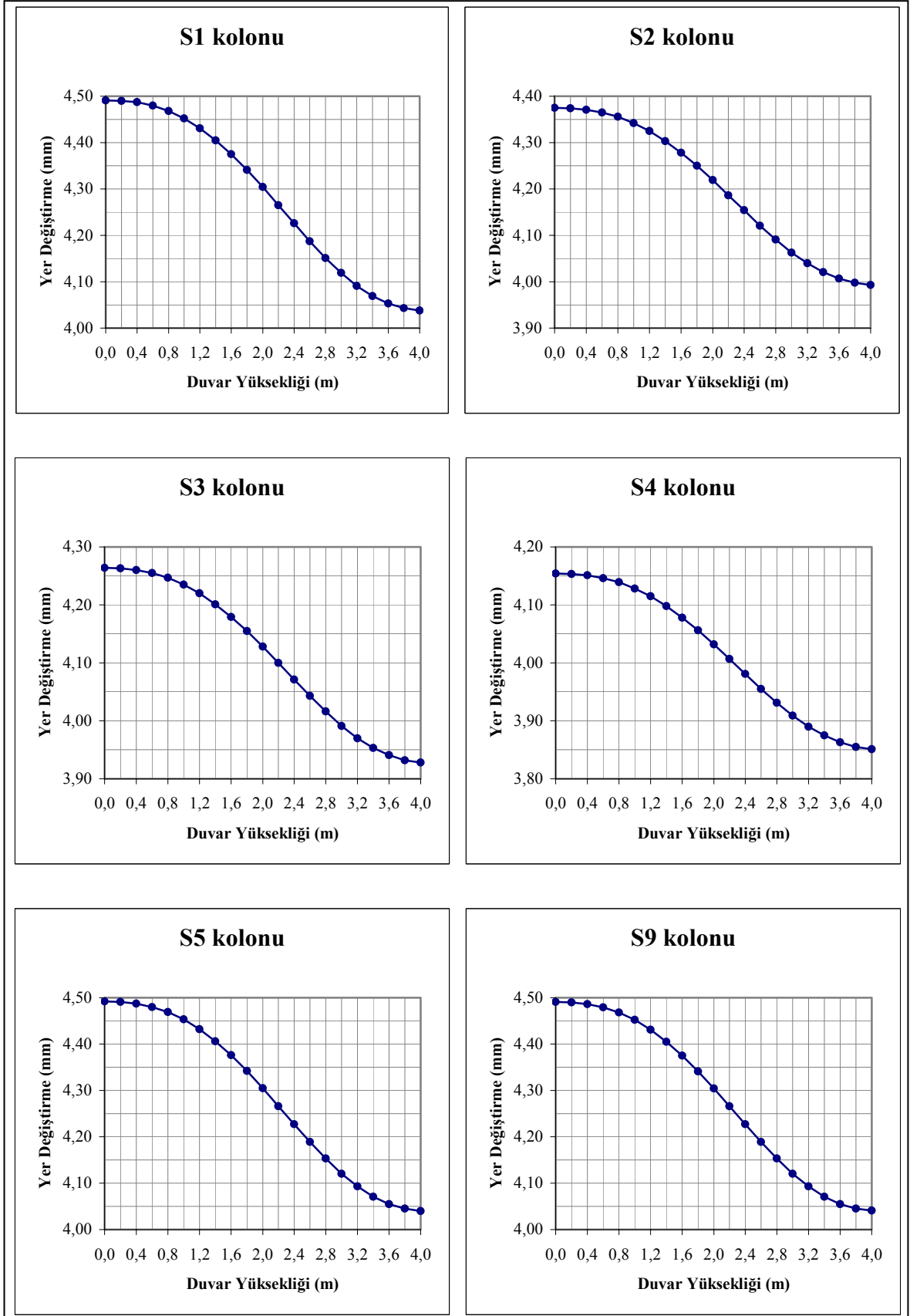


Şekil 29. 8 katlı ve 4 m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan moment değerleri



Şekil 30. 8 katlı ve 4 m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan kesme kuvveti değerleri





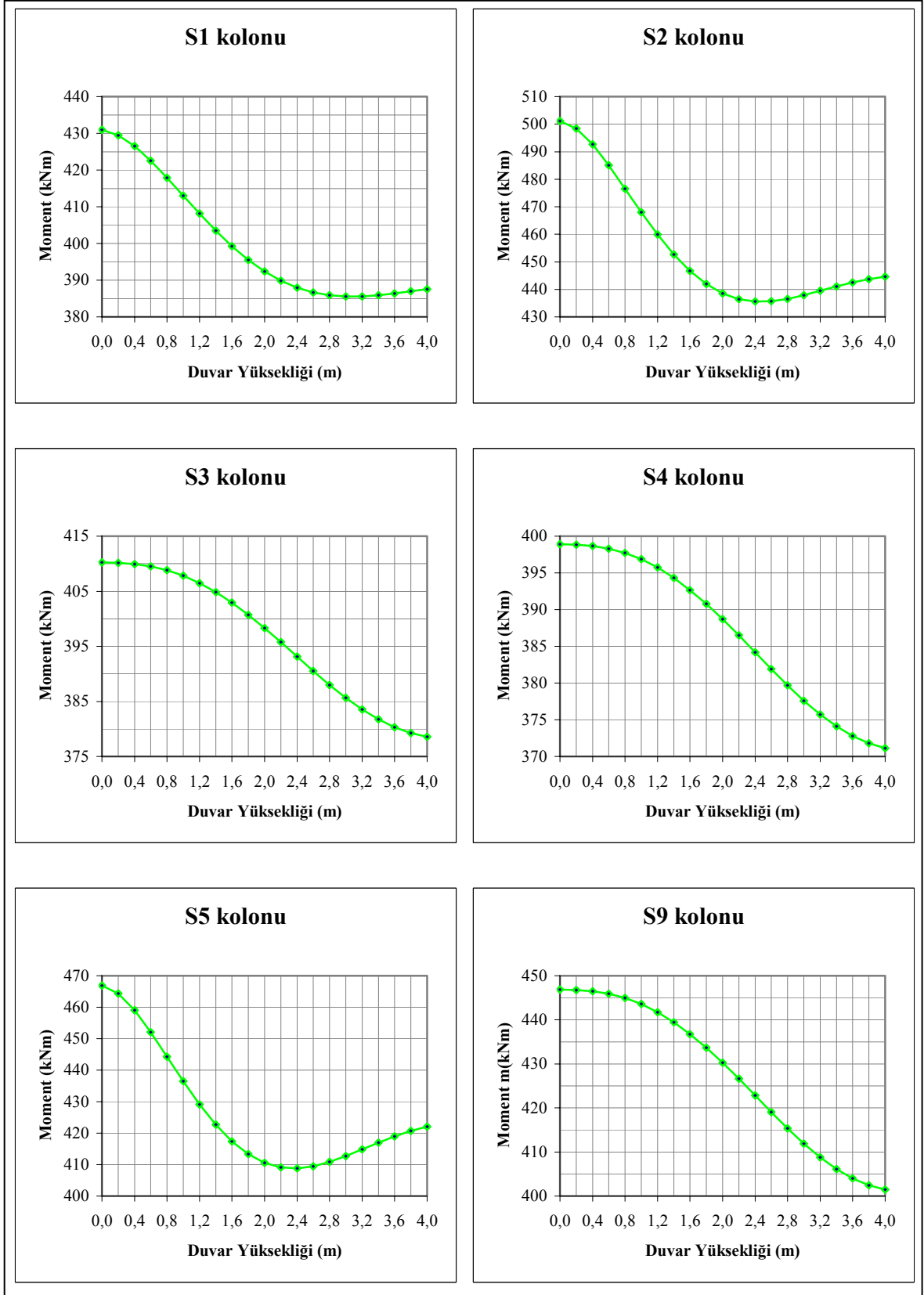
Şekil 31. 8 katlı ve 4 m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan yerdeğişirme değerleri

11 katlı yapı modeli için yapılan analizlerin sonuçları, grafikler biçiminde aşağıda verilmiştir. Şekil 32’de, duvar yüksekliğinin değişimi ile kolonlarda meydana gelen moment etkileri görülmektedir. 11 katlı yapıda meydana gelen moment değerleri, 8 katlı yapıya göre yaklaşık iki kat artış göstermiştir. S1 köşe kolonu 5 ve 8 katlı yapılarda olduğu gibi, aynı davranışa sahiptir. S3, S4 ve S9 kolonlarının davranışı da 5 ve 8 katlı yapılardakinden farklı değildir. S2 ve S5 kolonları ise 8 katlı yapıdakine benzer özellik göstermektedir. Bu kolonların davranışı kat sayısının artmasıyla birlikte, S1 köşe kolonunun davranışına daha da yaklaşmıştır.

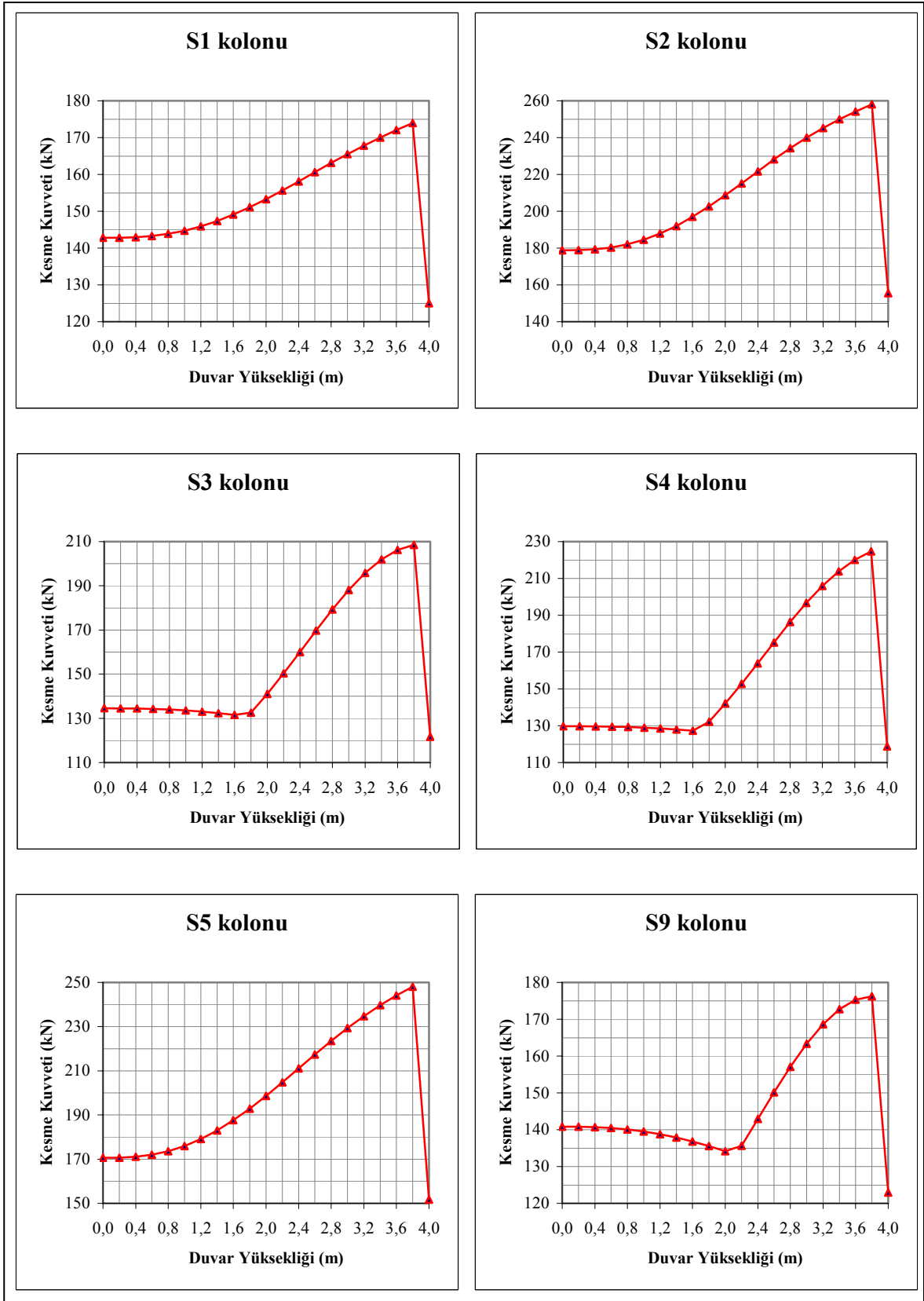
Şekil 33’te duvar yüksekliğinin değişimi ile meydana gelen kesme kuvveti etkileri verilmiştir. 11 katlı yapıda meydana gelen kesme kuvveti değerleri, 8 katlı yapıya göre yaklaşık %50 artış göstermiştir.

Şekil 34’te duvar yüksekliğinin değişimi ile meydana gelen yerdeğiştirme değerleri verilmiştir. S1, S2, S3, S4, S5 ve S9 kolonlarındaki yerdeğiştirme değerlerinin, devam eden duvar yüksekliklerinde azaldığı görülmektedir. Ancak 8 katlı yapıdaki yerdeğiştirme değerlerinin yaklaşık %25 arttığı görülmektedir.

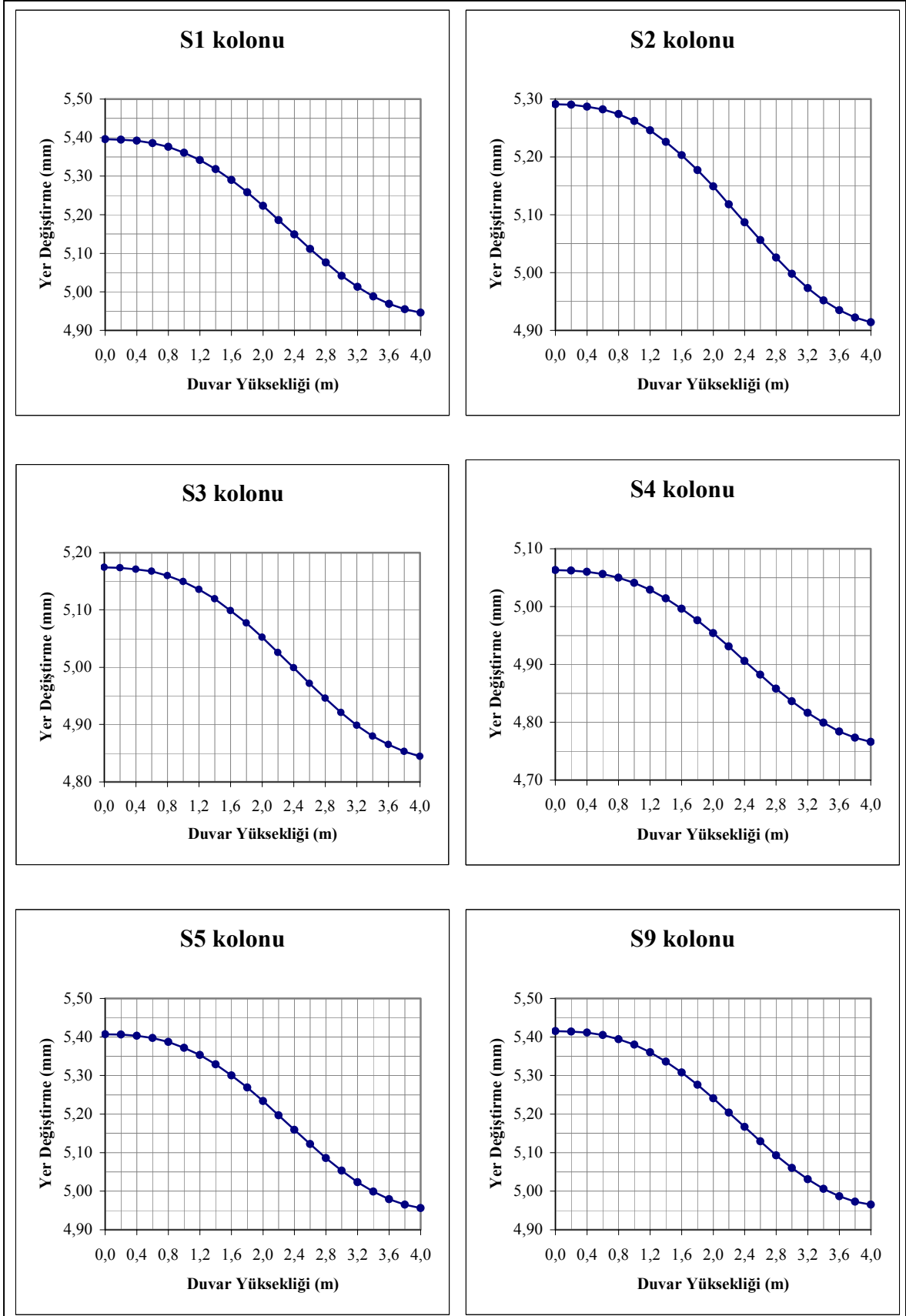
Bu üç durumda, aynı zemin kat yüksekliğine sahip, ancak kat sayısı bakımından farklı olan yapıların duvar yüksekliğine bağlı olarak, kolonlarında meydana gelen moment, kesme kuvveti ve yerdeğiştirme değerleri irdelenmiştir. Kat sayısı arttıkça, birkaç durum dışında, kolon davranışlarında önemli bir değişiklik olmamıştır. Ancak, doğal olarak değerlerde artmalar gözlenmiştir.



Şekil 32. 11 katlı ve 4 m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan moment değerleri



Şekil 33. 11 katlı ve 4m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan kesme kuvveti değerleri



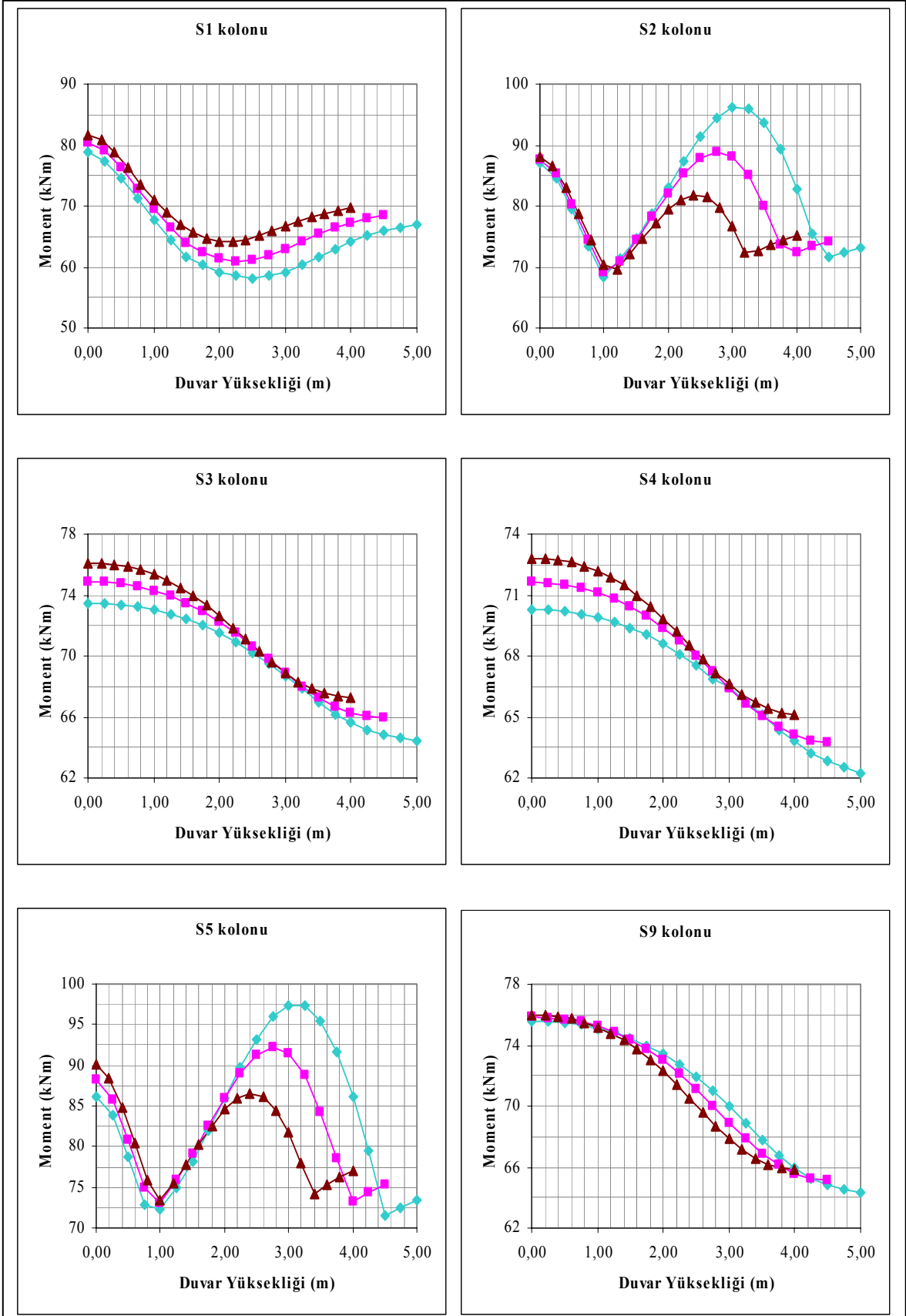
Şekil 34. 11 katlı ve 4 m zemin kat yüksekliğine sahip yapı modelinin kolonlarında oluşan yerdeğişirme değerleri

Şekil 35-36-37’de, farklı zemin kat yüksekliklerine sahip 5 katlı yapının kolonlarında meydana gelen moment, kesme kuvveti ve yerdeğiştirme değerleri görülmektedir.

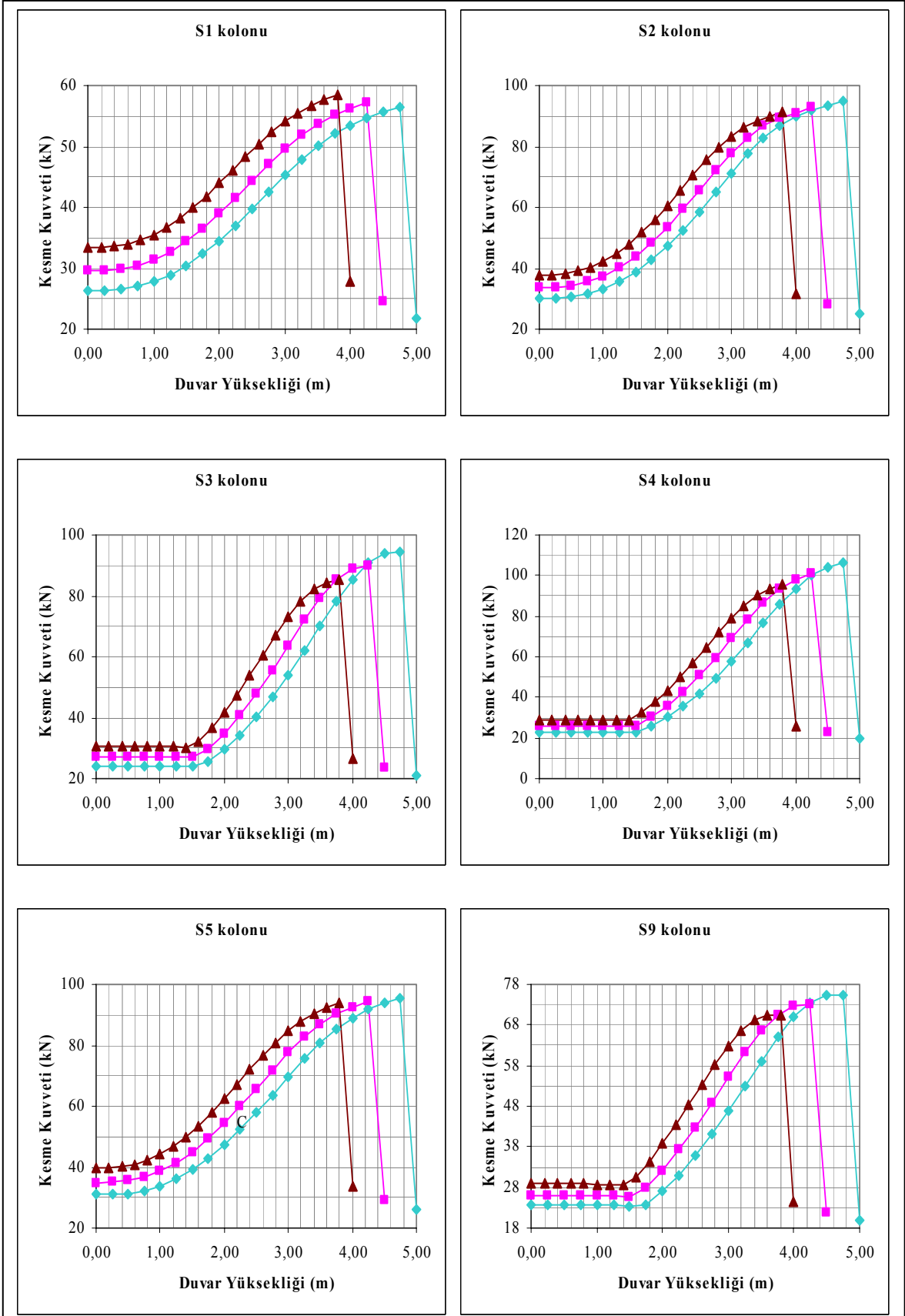
Şekil 35’e göre, genel olarak moment değerlerinin, kat yüksekliğinden önemli ölçüde etkilenmediği görülmektedir. Ancak, S2 ve S5 kolonlarının kalıp planındaki yerleşimlerinden ötürü, davranışlarındaki farklılık yine göze çarpmaktadır. Zemin kat yüksekliği artarken, kolon orta bölgesindeki moment değerleri de artmaktadır. Buradan, rijitliğin azalmasıyla birlikte kolonun eğilmeye karşı zorlandığı görülmektedir.

Şekil 36’da ise, kesme kuvvetlerinin değişimi bulunmaktadır. Buradan, kesme kuvvetlerinin momente nazaran, kat yüksekliğine bağlı olarak farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Yapı elemanlarının deprem yatay kuvvetlerinden, rijitlikleri oranlarında etkilendikleri bir esastır. Şekil 36’dan da görülüyor ki, kat yüksekliğinin azalması ve dolayısıyla rijitliğin artmasıyla birlikte, kolonlarda oluşan kesme kuvveti değerleri de artmaktadır.

Şekil 37’de de farklı zemin kat yüksekliklerinde meydana gelen yerdeğiştirme değerleri görülmektedir. Yapı elemanları, rijitlikleri azaldıkça daha esnek davranış gösterirler. Özellikle düşey taşıyıcılar daha narin bir hal alırlar. Kat yüksekliğindeki azalmaya bağlı olarak meydana gelen rijitlik azalması, Şekil 37’deki yerdeğiştirme değerlerinin belirgin derecede artmasıyla rahat bir şekilde görülmektedir.

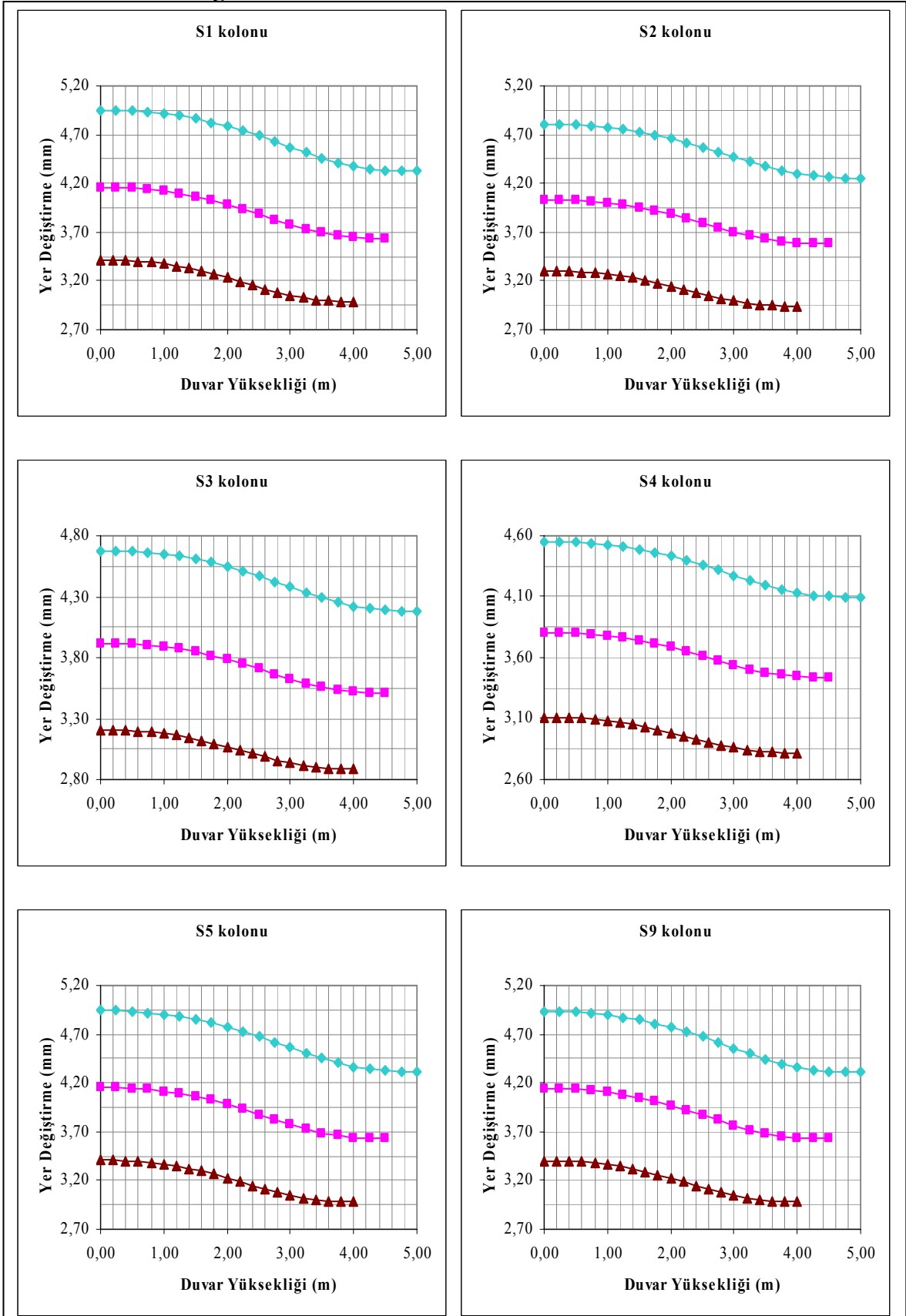


Şekil 35. Farklı zemin kat yüksekliklerine sahip 5 katlı yapının kolonlarında oluşan moment değerleri





Şekil 36. Farklı zemin kat yüksekliklerine sahip 5 katlı yapının kolonlarında oluşan kesme kuvveti değerleri



Şekil 37. Farklı zemin kat yüksekliklerine sahip 5 katlı yapının kolonlarında oluşan yerdeğiştirme değerleri

Çalışmanın ikinci kısmında, duvar yüksekliklerinin yanında, zemin kat yüksekliği de artırılmıştır. Buna göre, farklı kat yükseklikleri içerisinde duvar yüksekliğinin kademeli olarak artışı da incelenmiştir. Zemin kat yükseklikleri 4m, 4.5m ve 5m alınmıştır.

Aşağıdaki tablolarda, farklı zemin kat yüksekliğine sahip yapılarda, her bir duvar yüksekliğine karşılık gelen ortalama görelî zemin kat ve birinci kat ötelenmeleri ile, bu değerlere bağılı rijitlik düzensizliği katsayıları verilmektedir. Bulunan bu katsayıların da düzensizlik kriterine uygunluğu incelenmiştir.

4m, 4.5m ve 5m zemin kat yüksekliğine sahip yapılar ayrı olarak düşünülüp incelendiğinde, zemin kat yüksekliğince dolgu duvarın artmasına bağılı olarak, rijitlik düzensizliği katsayısı azalmaktadır.

Buna karşılık, farklı zemin kat yüksekliklerine de kendi aralarında bakıldığında, yükseklik arttıkça katsayının da arttığı görülmektedir.

Tablolara göre, yumuşak kat riskinin, kat sayısıyla ters orantılı bir şekilde değiştiği gözlenmektedir. Yani, kat sayısı arttıkça yumuşak kat riski azalmaktadır.

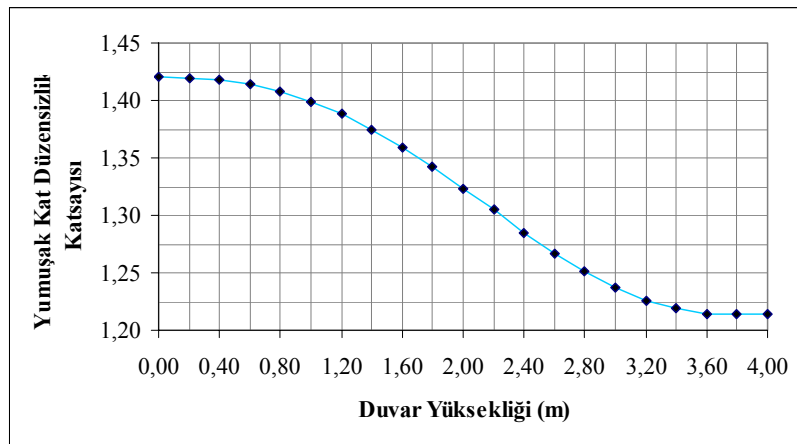
Rijitlik düzensizliği katsayısı, zemin kat yüksekliğinin 50cm artmasıyla yaklaşık %15 artmaktadır. Aynı zemin katta, dolgu duvarın tam olması ile hiç olmaması arasında da yaklaşık %15 artış göstermektedir.

Buna göre, çerçeve içerisindeki dolgu duvarın etkisinin, zemin kat yüksekliğinin 50cm değiştirilmesiyle oluşacak etkiye eşdeğer olduğu görülmektedir.

Bu irdellemelere göre, yumuşak kat açısından en olumsuz durumun, dolgu duvarsız yüksek zemin kata sahip az katlı yapılarda oluştuğu açıkça görülmektedir.

Tablo 3. 4m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri

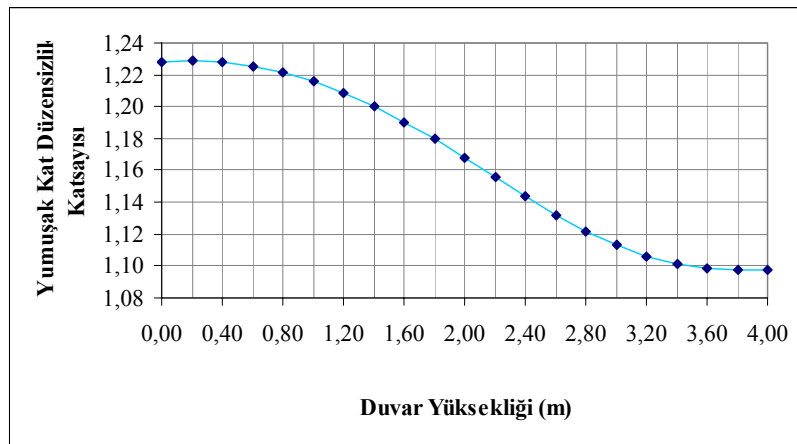
Duvar Yük. (m)	$(\Delta_{zemin})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_1)_{ort}$ (mm)	$\eta_{ki}$	
0,00	3,415	2,404	1,421	<b>&lt; 1,5</b>
0,20	3,413	2,404	1,420	
0,40	3,410	2,404	1,418	
0,60	3,402	2,406	1,414	
0,80	3,391	2,408	1,408	
1,00	3,375	2,412	1,399	
1,20	3,354	2,416	1,388	
1,40	3,329	2,422	1,374	
1,60	3,300	2,428	1,359	
1,80	3,267	2,434	1,342	
2,00	3,231	2,441	1,324	
2,20	3,193	2,447	1,305	
2,40	3,154	2,454	1,285	
2,60	3,116	2,459	1,267	
2,80	3,081	2,463	1,251	
3,00	3,050	2,466	1,237	
3,20	3,025	2,468	1,226	
3,40	3,007	2,467	1,219	
3,60	2,995	2,467	1,214	
3,80	2,990	2,464	1,213	
4,00	2,988	2,462	1,214	



Şekil 38. 4m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi

Tablo 4. 4m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri

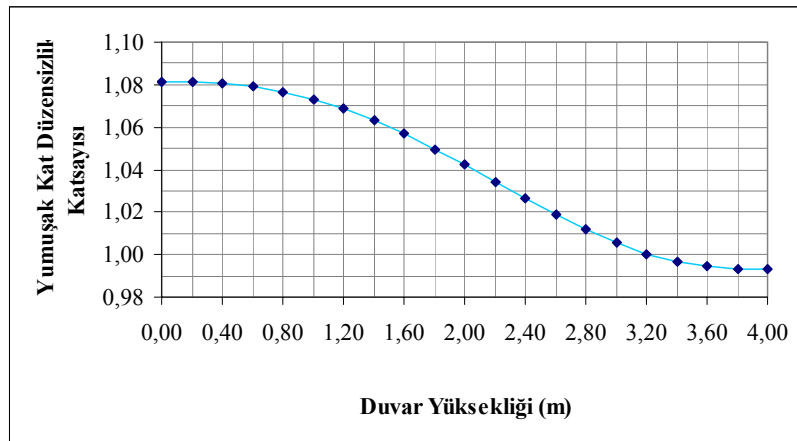
Duvar Yük. (m)	$(\Delta_{zemin})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_1)_{ort}$ (mm)	$\eta_{ki}$	
0,00	4,491	3,656	1,228	< 1,5
0,20	4,490	3,655	1,228	
0,40	4,487	3,655	1,228	
0,60	4,480	3,656	1,225	
0,80	4,468	3,659	1,221	
1,00	4,452	3,662	1,216	
1,20	4,431	3,666	1,209	
1,40	4,405	3,670	1,200	
1,60	4,375	3,675	1,190	
1,80	4,341	3,680	1,180	
2,00	4,304	3,686	1,168	
2,20	4,265	3,691	1,156	
2,40	4,226	3,694	1,144	
2,60	4,187	3,698	1,132	
2,80	4,151	3,700	1,122	
3,00	4,119	3,699	1,114	
3,20	4,091	3,698	1,106	
3,40	4,069	3,695	1,101	
3,60	4,053	3,690	1,098	
3,80	4,043	3,685	1,097	
4,00	4,038	3,679	1,098	



Şekil 39. 4m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi

Tablo 5. 4m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri

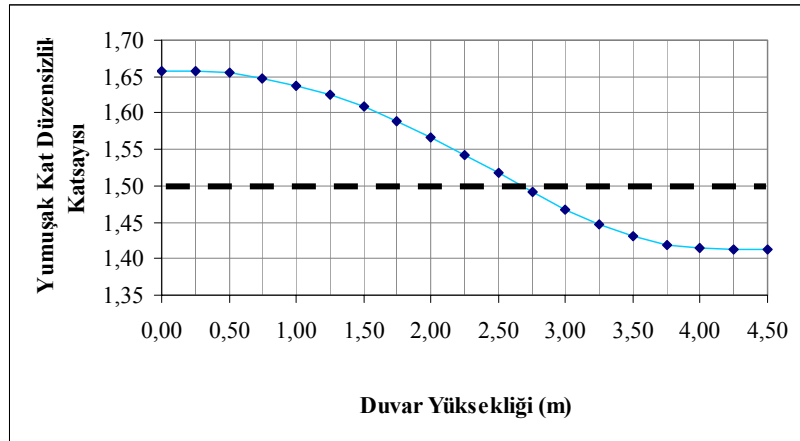
Duvar Yük. (m)	$(\Delta_{zemin})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_1)_{ort}$ (mm)	$\eta_{ki}$	
0,00	5,396	4,991	1,081	< 1,5
0,20	5,395	4,991	1,081	
0,40	5,392	4,991	1,080	
0,60	5,386	4,991	1,079	
0,80	5,376	4,993	1,077	
1,00	5,361	4,995	1,073	
1,20	5,342	4,998	1,069	
1,40	5,318	5,001	1,063	
1,60	5,290	5,005	1,057	
1,80	5,258	5,009	1,050	
2,00	5,223	5,012	1,042	
2,20	5,186	5,015	1,034	
2,40	5,149	5,017	1,026	
2,60	5,111	5,018	1,019	
2,80	5,076	5,016	1,012	
3,00	5,042	5,015	1,005	
3,20	5,013	5,011	1,000	
3,40	4,988	5,005	0,997	
3,60	4,969	4,997	0,994	
3,80	4,955	4,989	0,993	
4,00	4,946	4,979	0,993	



Şekil 40. 4m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi

Tablo 6. 4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri

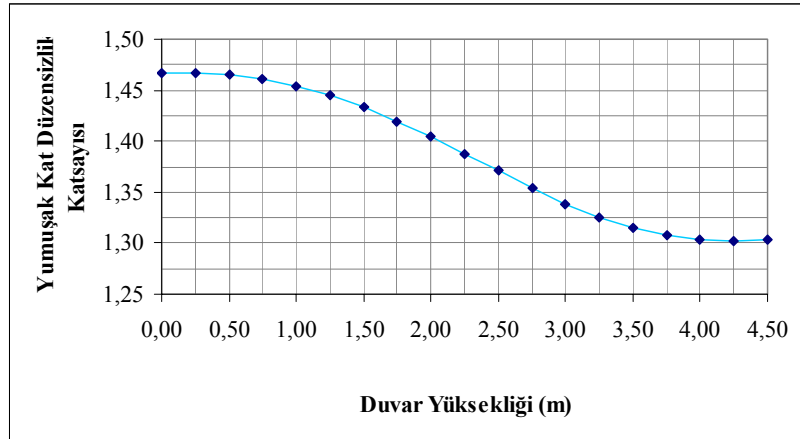
Duvar Yük. (m)	$(\Delta_{zemin})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_1)_{ort}$ (mm)	$\eta_{ki}$	
0,00	4,161	2,510	1,658	> 1,5 Yumuşak Kat
0,25	4,159	2,510	1,657	
0,50	4,153	2,510	1,655	
0,75	4,141	2,513	1,648	
1,00	4,123	2,517	1,638	
1,25	4,098	2,522	1,625	
1,50	4,067	2,528	1,609	
1,75	4,029	2,535	1,589	
2,00	3,985	2,543	1,567	
2,25	3,936	2,552	1,542	
2,50	3,884	2,559	1,518	
2,75	3,830	2,567	1,492	< 1,5
3,00	3,778	2,573	1,468	
3,25	3,731	2,577	1,448	
3,50	3,692	2,580	1,431	
3,75	3,663	2,580	1,420	
4,00	3,646	2,578	1,414	
4,25	3,638	2,576	1,412	
4,50	3,636	2,574	1,413	



Şekil 41. 4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağı rijitlik düzensizliği katsayısının değışimi

Tablo 7. 4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri

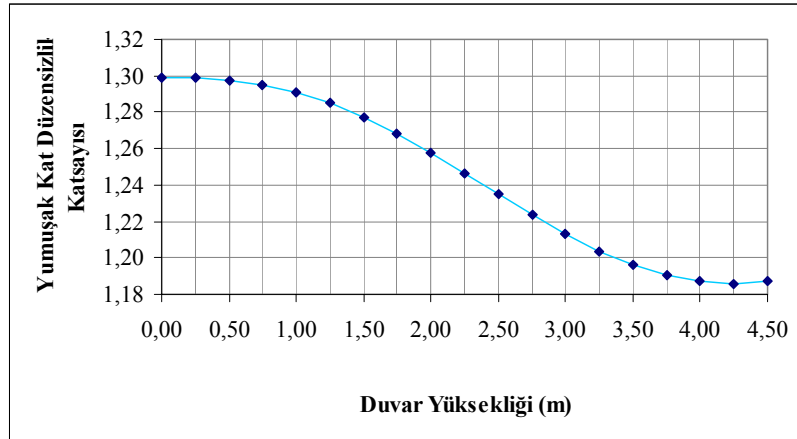
Duvar Yük. (m)	$(\Delta_{zemin})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_1)_{ort}$ (mm)	$\eta_{ki}$	
0,00	5,578	3,803	1,467	< 1,5
0,25	5,576	3,802	1,467	
0,50	5,570	3,803	1,465	
0,75	5,558	3,805	1,461	
1,00	5,538	3,809	1,454	
1,25	5,510	3,814	1,445	
1,50	5,475	3,820	1,433	
1,75	5,432	3,827	1,419	
2,00	5,383	3,834	1,404	
2,25	5,329	3,842	1,387	
2,50	5,273	3,847	1,371	
2,75	5,216	3,852	1,354	
3,00	5,160	3,856	1,338	
3,25	5,110	3,857	1,325	
3,50	5,067	3,855	1,314	
3,75	5,034	3,851	1,307	
4,00	5,010	3,845	1,303	
4,25	4,996	3,837	1,302	
4,50	4,990	3,829	1,303	



Şekil 42. 4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi

Tablo 8. 4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri

Duvar Yük. (m)	$(\Delta_{zemin})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_1)_{ort}$ (mm)	$\eta_{ki}$	
0,00	6,757	5,201	1,299	< 1,5
0,25	6,755	5,201	1,299	
0,50	6,749	5,202	1,297	
0,75	6,738	5,204	1,295	
1,00	6,720	5,206	1,291	
1,25	6,694	5,210	1,285	
1,50	6,660	5,215	1,277	
1,75	6,619	5,220	1,268	
2,00	6,571	5,225	1,258	
2,25	6,519	5,230	1,246	
2,50	6,463	5,234	1,235	
2,75	6,406	5,236	1,223	
3,00	6,351	5,236	1,213	
3,25	6,299	5,234	1,203	
3,50	6,254	5,229	1,196	
3,75	6,216	5,222	1,190	
4,00	6,187	5,212	1,187	
4,25	6,167	5,200	1,186	
4,50	6,156	5,186	1,187	

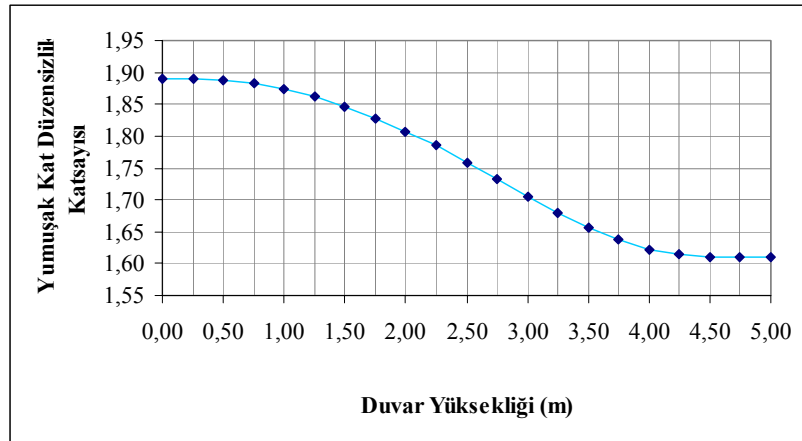


Şekil 43. 4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi



Tablo 9. 5m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri

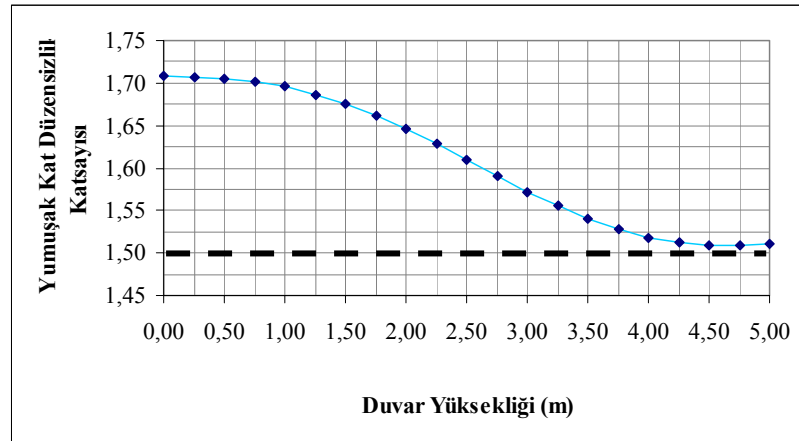
Duvar Yük. (m)	$(\Delta_{zemin})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_1)_{ort}$ (mm)	$\eta_{ki}$	
0,00	4,952	2,619	1,891	> 1,5 Yumuşak Kat
0,25	4,950	2,618	1,891	
0,50	4,944	2,619	1,888	
0,75	4,933	2,621	1,882	
1,00	4,917	2,623	1,875	
1,25	4,894	2,628	1,862	
1,50	4,864	2,634	1,847	
1,75	4,828	2,641	1,828	
2,00	4,786	2,648	1,807	
2,25	4,739	2,655	1,785	
2,50	4,686	2,664	1,759	
2,75	4,629	2,672	1,732	
3,00	4,570	2,680	1,705	
3,25	4,512	2,686	1,680	
3,50	4,458	2,691	1,657	
3,75	4,411	2,693	1,638	
4,00	4,373	2,695	1,623	
4,25	4,347	2,693	1,614	
4,50	4,332	2,691	1,610	
4,75	4,326	2,688	1,609	
5,00	4,325	2,686	1,610	



Şekil 44. 5m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi

Tablo 10. 5m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri

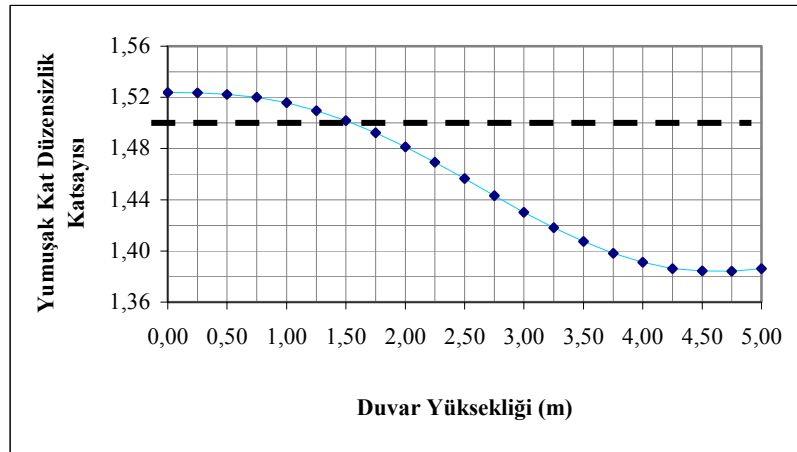
Duvar Yük. (m)	$(\Delta_{zemin})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_1)_{ort}$ (mm)	$\eta_{ki}$	
0,00	6,751	3,952	1,708	> 1,5 Yumuşak Kat
0,25	6,745	3,951	1,707	
0,50	6,739	3,951	1,706	
0,75	6,727	3,953	1,702	
1,00	6,708	3,956	1,696	
1,25	6,680	3,961	1,686	
1,50	6,645	3,966	1,675	
1,75	6,601	3,974	1,661	
2,00	6,551	3,981	1,646	
2,25	6,494	3,989	1,628	
2,50	6,432	3,996	1,610	
2,75	6,368	4,003	1,591	
3,00	6,302	4,009	1,572	
3,25	6,239	4,012	1,555	
3,50	6,179	4,014	1,539	
3,75	6,127	4,012	1,527	
4,00	6,084	4,009	1,518	
4,25	6,051	4,003	1,512	
4,50	6,028	3,997	1,508	
4,75	6,016	3,988	1,509	
5,00	6,011	3,980	1,510	



Şekil 45. 5m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağlı rijitlik düzensizliği katsayısının değişimi

Tablo 11. 5m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, kat görelî ötelenme ve rijitlik düzensizliği katsayısı değerleri

Duvar Yük. (m)	$(\Delta_{zemin})_{ort}$ (mm)	$(\Delta_1)_{ort}$ (mm)	$\eta_{ki}$	
0,00	8,241	5,408	1,524	> 1,5 Yumuşak Kat
0,25	8,239	5,408	1,523	
0,50	8,233	5,408	1,522	
0,75	8,222	5,409	1,520	
1,00	8,203	5,412	1,516	
1,25	8,176	5,416	1,510	
1,50	8,141	5,421	1,502	
1,75	8,098	5,426	1,492	
2,00	8,047	5,432	1,481	
2,25	7,990	5,438	1,469	
2,50	7,928	5,443	1,457	
2,75	7,862	5,448	1,443	
3,00	7,796	5,451	1,430	
3,25	7,731	5,451	1,418	
3,50	7,669	5,449	1,407	
3,75	7,613	5,445	1,398	
4,00	7,565	5,438	1,391	
4,25	7,526	5,429	1,386	
4,50	7,498	5,416	1,384	
4,75	7,479	5,403	1,384	
5,00	7,469	5,388	1,386	



Şekil 46. 5m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının, duvar yüksekliğine bağılı rijitlik düzensizliği katsayısının değışimi

f) Seçilen yapı modellerinin analizleri sonucunda elde edilen periyot değerleri, ilk üç mod dikkate alınarak Tablo 12-13-14'te verilmiştir.

Zemin kat çerçevelerindeki dolgu duvarların varlığı neticesinde, periyot değerlerinde azalmalar görülmüştür. Kolonlardaki kesme kuvveti, azalan yerdeğiştirme değerlerine bağlı olarak artmıştır.

Bunun yanında, dolgu duvarların periyot değerleri üzerindeki etkileri, modellerin kat adedi arttıkça azalmıştır.

Zemin kat yükseklikleri arttıkça yapı periyodunun arttığı, diğer bir sonuç olarak belirlenmiştir.

Tablo 12. 4m zemin kat yüksekliğine sahip yapıların farklı periyot değerleri

Kat Sayısı	Duvar Yük. (m)	Mod		
		1	2	3
5 KAT	0,00	0,550667	0,409314	0,394055
	4,00	0,442565	0,399963	0,387181
8 KAT	0,00	0,644755	0,586644	0,574676
	4,00	0,593609	0,578692	0,569220
11 KAT	0,00	0,789487	0,775889	0,772064
	4,00	0,769047	0,767612	0,757601

Tablo 13. 4,5m zemin kat yüksekliğine sahip yapıların farklı periyot değerleri

Kat Sayısı	Duvar Yük. (m)	Mod		
		1	2	3
5 KAT	0,00	0,611045	0,427262	0,410608
	4,50	0,462749	0,415480	0,402174
8 KAT	0,00	0,687092	0,605072	0,592077
	4,50	0,613717	0,594724	0,585069
11 KAT	0,00	0,822344	0,794292	0,789724
	4,50	0,785237	0,783886	0,776342

Tablo 14. 5m zemin kat yüksekliğine sahip yapıların farklı periyot değerleri

Kat Sayısı	Duvar Yük. (m)	Mod		
		1	2	3
5 KAT	0,00	0,676615	0,445762	0,427388
	5,00	0,482938	0,431334	0,417351
8 KAT	0,00	0,735010	0,624242	0,610148
	5,00	0,634686	0,611296	0,601298
11 KAT	0,00	0,859927	0,813672	0,808046
	5,00	0,802080	0,800661	0,796272

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapı tasarımında, taşıyıcı sistemin kesit hesaplarına esas olacak iç kuvvetler, genellikle dolgu duvarların yok sayıldığı çözümlene modellerinden alınmaktadır. Yapıya ikincil eleman olarak yerleştirilmiş olmasına rağmen, dolgu duvarlar, deprem hareketi sırasında içerisinde buldukları çerçevelerin ve dolayısıyla yapının davranışını önemli ölçüde değiştirebilmektedirler. Geleneksel tasarımda göz ardı edilen diğer bir husus ise, çok katlı yapılarda zemin kat yüksekliğinin farklı olabilmesidir. Böylece, normal katlardan daha yüksek tasarlanmış ve çeşitli nedenlerle rijitliği azaltılmış zemin katlar; yumuşak kat ya da zayıf kat durumuna düşebilmektedir.

Bu çalışmada geleneksel tasarım sırasında göz ardı edilen dolgu duvarların varlığının ve farklı zemin kat yüksekliklerinin, yapı davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Özellikle, zemin kat seviyelerinde oluşan farklı kesit etkilerinin nedenleri incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, zemin kat seviyesinde dolgu duvar yükseklikleri kademeli bir şekilde artırılarak kısa kolon oluşumu gözlenmeye çalışılmıştır. Diğer taraftan, zemin kat yükseklikleri artırılarak da yumuşak kat oluşumu incelenmiştir.

Her iki sakıncalı durumun ortaya çıkmasında yapı kat adetlerinin de etken olabileceği düşüncesiyle, zemin kat seviyelerinde yapılan uygulamalar farklı kat adetlerine sahip yapılarda da uygulanarak, sonuçları yapı davranışı açısından değerlendirilmiştir.

Dolgu duvarların yapı taşıyıcı sistem modeline aktarılması ile birlikte, rijitliğin arttığı, buna bağlı olarak yapı doğal periyodu ile yerdeğiştirmenin azaldığı tespit edilmiştir. Dolgu duvarların yapı davranışı üzerindeki en önemli etkisi ise taban kesme kuvvetlerinin artması olmuştur. Bütün bu etkiler değerlendirilerek dolgu duvarların, yapının tasarım ve hesap aşamasında göz önünde bulundurulması gerekliliği ortaya konmuştur. Dolgu duvarların olası yapısal düzensizlikleri büyük ölçüde engellemesine rağmen, taban kesme kuvvetlerini 2~3 kat artırması göz ardı edilemeyecek bir durumdur.

Zemin kat seviyesinde dolgu duvar yüksekliklerinin kademeli olarak artırılması sonucunda bu duvarları çevreleyen düşey taşıyıcılarda meydana gelen kesme kuvvetleri de artmaktadır. Kesme kuvvetlerindeki artışın düşey taşıyıcının kalıp planındaki konumuyla da değişebildiği tespit edilmiştir.

Zemin kat yüksekliklerinin arttırılması durumunda kesme kuvvetlerinde azalmalar meydana gelmesine karşın, görelî yerdeğıştirmelerdeki artış yumuşak kat oluşumuna neden olmuştur.

Farklı zemin kat yükseklikleri ile meydana gelen yumuşak kat etkileri, artan dolgu duvar yüksekliklerinin etkisi ile bir miktar azalma göstermiştir.

Hem kısa kolon oluşumu hem de yumuşak kat durumunun meydana gelmesi olasılığı üzerinde kat adetlerinin de etkili olduğu tespit edilmiştir. Zira, kat adeti arttıkça farklı zemin kat yüksekliklerinden dolayı oluşabilecek yumuşak kat riski azalmıştır.

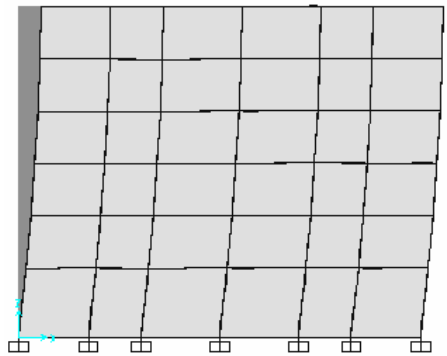
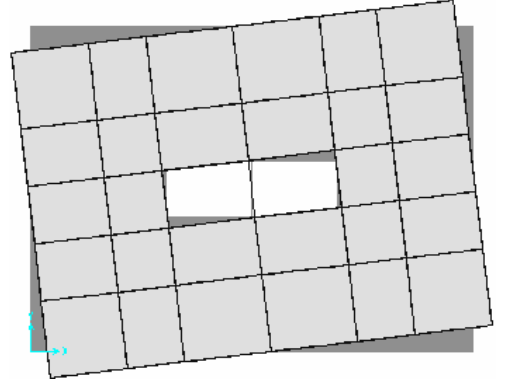
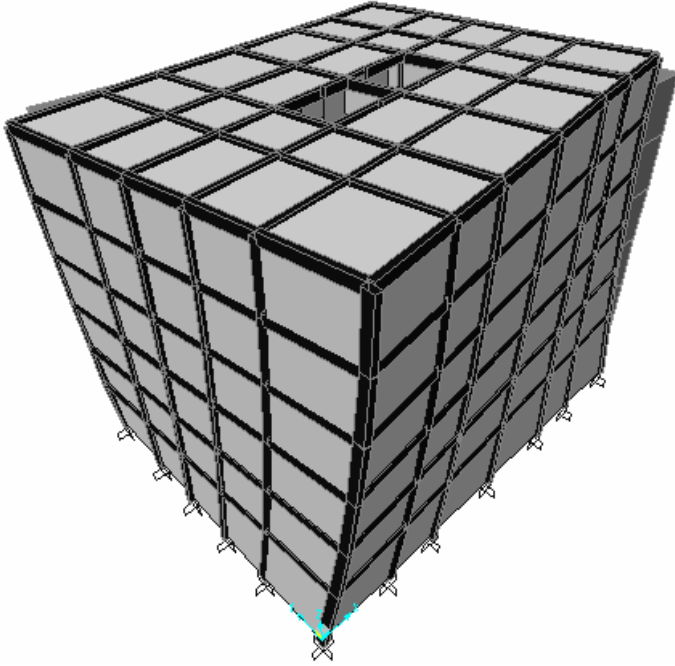
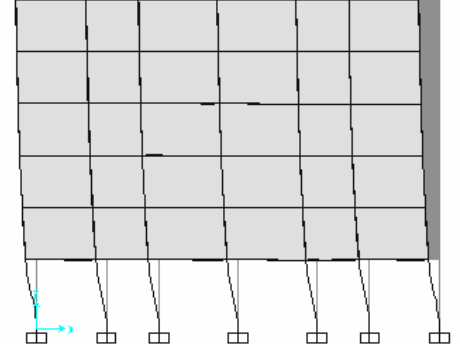
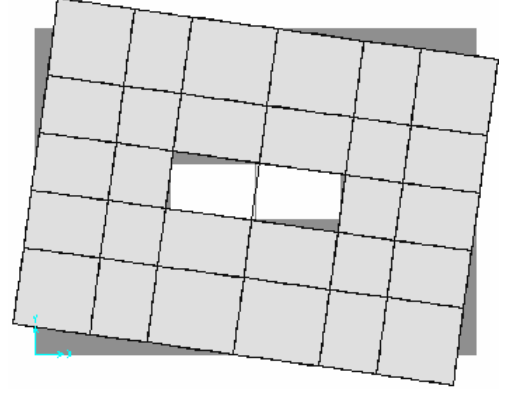
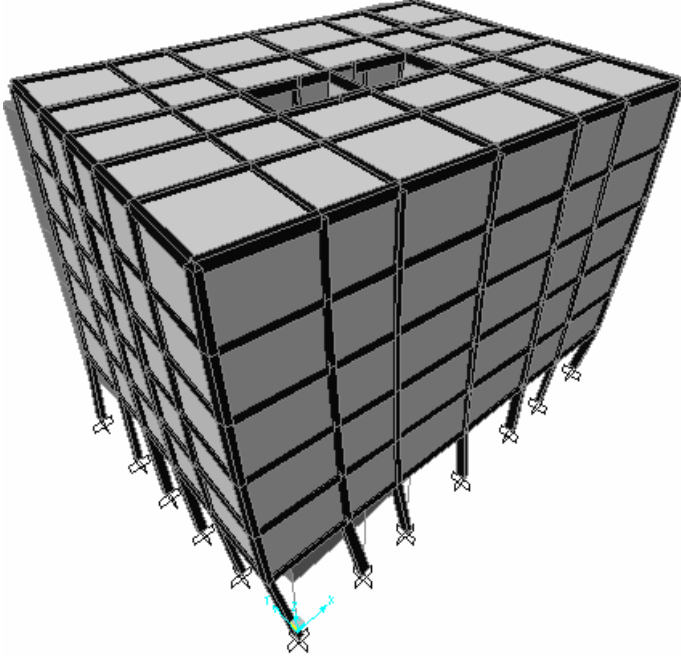
## 9. KAYNAKLAR

1. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 1998.
2. Gülkan, P., and Wasti,T., Çerçeve Dolgu Etkileşmesi: Lineer Olmayan Bir İrdeleme, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1993, 116-119.
3. Benjamin, C.S. and Williams H.A., The Behaviour of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls Proceedings of A.S.C.E., 83, 1957, 32.
4. Benjamin, C.S. and Williams H.A., The Behaviour of One-Story Reinforced Brick Shear Walls Proceedings of A.S.C.E., 84, 1958, 256.
5. Holmes, M., Steel Frames with Brickwork and Concrete Intilling, Institution of Civil Engineers (ICE), 19 (1961), 473-478.
6. Smith, B.S., The Composite Behaviour of Infilled Frames, Conference of Tall Buildings, London, 1967, 481-492.
7. Mallick, D.V. and Severn, R.T., The Behaviour of Infilled Frames Under Static Loading, Institution of Civil Engineering, 38 (1967), 639-956.
8. Mallick, D.V. and Garg, R.P., Effect of Openings on the Lateral Stiffness of Infilled Frames, Institution of Civil Engineers, 49, Paper No 7371, pp 193-210, 1971.
9. Fiorata, A.E., Sözen, M.A. and Gamble, W.L., An Investigation of the Interaction of Reinforced Concrete Frames with Masonry Filler Walls, University of Illinois, 1970.
10. Smith, B.S. and Carter, C., A Method of Analysis for Infilled Frames, Institution of Civil Engineers (ICE), 44 (1969), 31-48.
11. Ersoy, U., Uzsoy, Ş. ve Aktan, E., Dolgulu Çerçevelerin Davranış ve Mukavemeti, Ankara, 1971, 46-48.
12. Gülkan, P. ve Wasti, S.T., Dolgu Duvarlı Çerçeve İlişkileri İçin Analitik Model, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Yıl:1, Sayı: 4, 1974.
13. Klingner, R.E. and Bertero, V.V., Infilled Frames in Earthquake Resistant Construction, United Kingdom, 1976, 76-82
14. Axley, J.W. and Bertero, V.V., Infill Panels: Their Influence on Seismic Response of Building, University of California, Berkeley, 1979, 42-46.



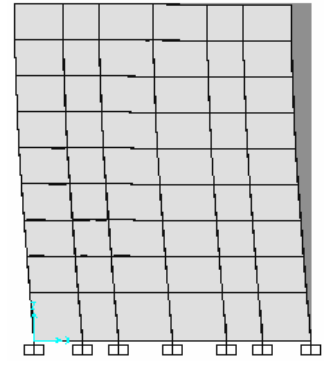
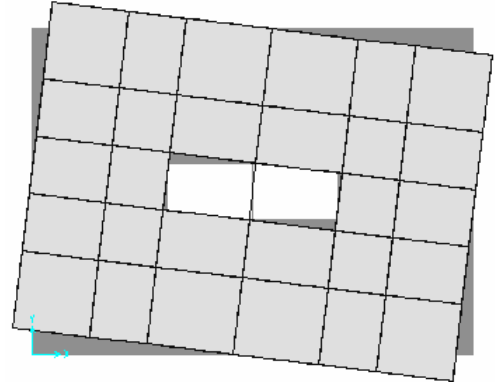
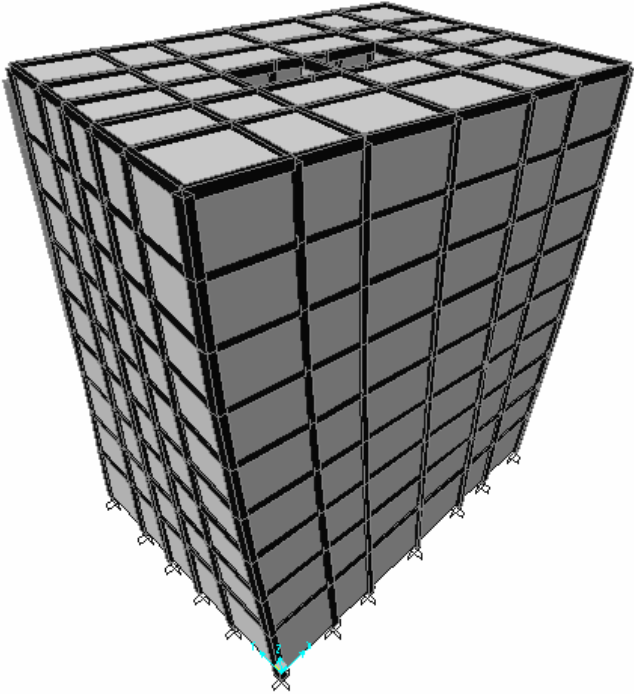
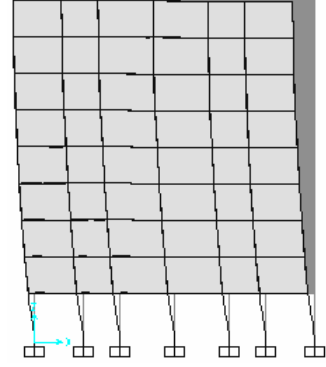
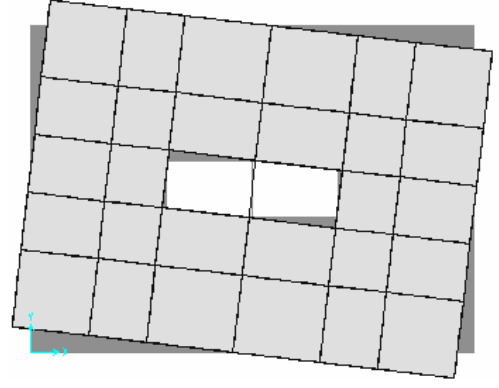
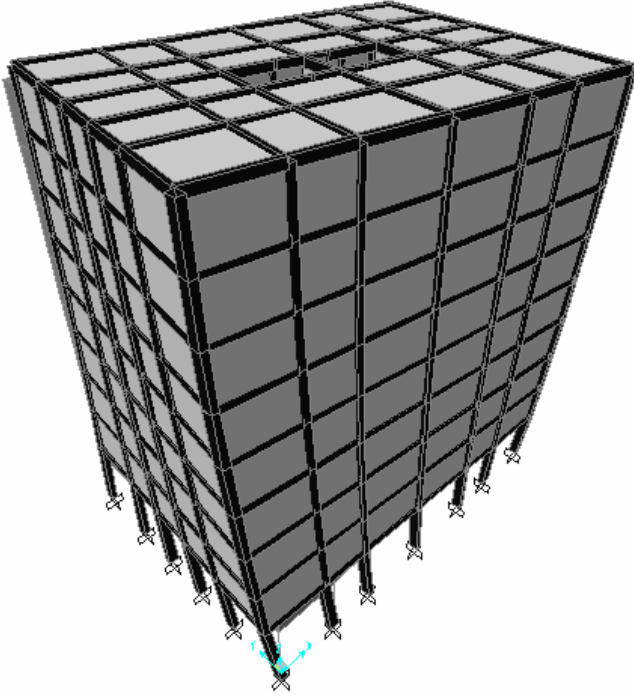
15. Meli, R. and Bazan, E., Seismic Analysis of Structures with Masonry Walls Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering, İstanbul, Turkey, 1980, 263-271.
16. Gülkan, P. and Wasti, S.T., Çerçeve-Dolgu Etkileşmesi: Lineer Olmayan Bir İrdeleme, XII. Technical Congress on Civil Engineering, Ankara, 1993, 311-323.
17. Celep, Z. ve Kumbasar, N., Betonarme Yapılar, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1996, 143-151
18. Aydın, R., Betonarme Yapıların Depreme Dayanıklı Olarak Tasarımı, Türkiye Deprem Vakfı Teknik Rapor, Nisan 2001.
19. Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005, 567-572.
20. Celep, Z. ve Kumbasar, N., Örneklerle Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1992, 63-78.
21. Aydın, R., Yapı Dinamiği ve Yapıların Deprem Analizi Ders Notları, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2000-2001.
22. Muto, K., (Çev: Türel, T.), Betonarme Yapıların Sismik Analizi ve Depreme Karşı Hesap Metotları, Ankara, 1965, 132-141.
23. Kasap, H., Dinar Depremi ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Dinar Depremi Görüşler ve Öneriler, 17 Ekim 1995, 21-26.
24. Bayülke, N., Depremler ve Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar, Teknik Yayınevi, Ankara, 1989, 163-166.
25. Çakıroğlu, A. ve Özmen, G., Çerçeveler ve Boşluklu Perdelerden Oluşan Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı, İ.T.Ü. İnş.Fak., İstanbul, 1973, 21-24.
26. Atımtay, E., Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, 2000, 93-98.
27. TS-498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
28. SAP 2000, Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc. University Ave. Berkeley, 1995.
29. Yorulmaz, M. ve Atan, Y., Çeşitli Formda Yapı Taşlarıyla Yapılmış Duvar Numunelerin İki İstikametli Yükleme Altında Davranışları, İ.T.Ü., 1971, 46-51.
30. Paulay, T. and Priestley, M.J.N., Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons Inc., 1992, 73-77.

31. Mainstone, R.J., Supplementary Note on the Stiffness and Strengths of Infilled Frames, United Kingdom, 1974, 181-188.
32. Ersoy, U., Altın, S. ve Tankut, T., Betonarme Dolgulu Çerçevelerin Dayanım ve Davranışı Deneysel Bir Araştırma, Türkiye İnşaat Mühendisliği X.Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, 1989, 609-626.
33. Budak A., Dolgu Duvarların Yönetmeliğimizdeki Yeri, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, 2001, 117-123.
34. Polyakov, S.V., Masonry in Framed Buildings: on Investigation into the Strength and Stiffness of Masonry Infilling, Moscow, 1957, 312-323.
35. Köse, A. ve Durmuş, A., Betonarme Çerçeve Sistem Yapılarda Duvarların Etkisi, XI. Teknik Kongre, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 1991, 104-116.
36. Özer, E., Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme, İstanbul, 2005, 1-9.
37. Çağatay, İ.H. ve Güzeldağ, S., Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-98) SAP2000 Uygulamaları, Adana, 2002, 73-77.

**10. EKLER****EK 1.**

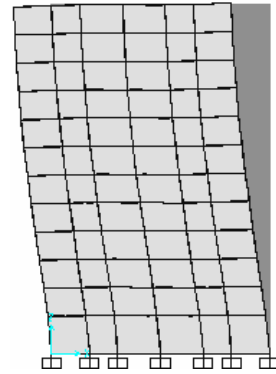
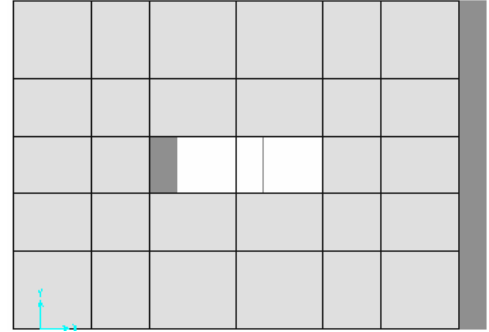
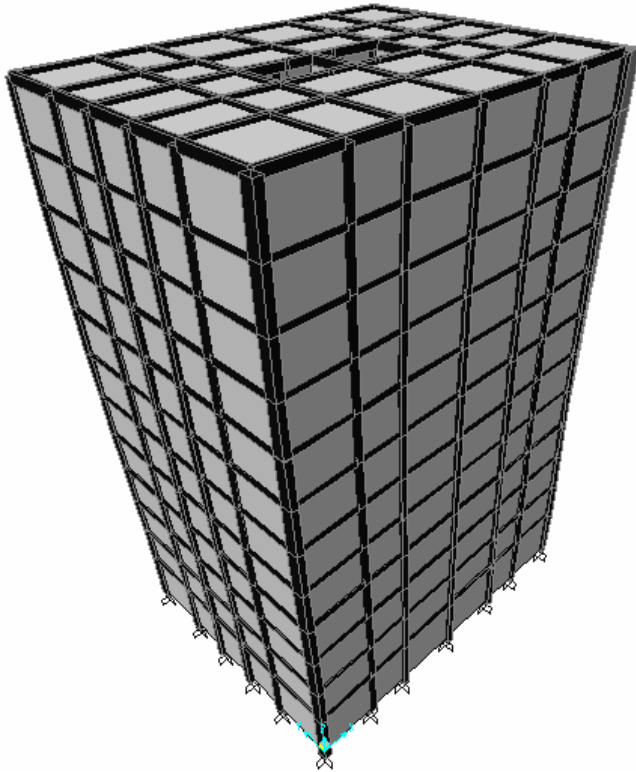
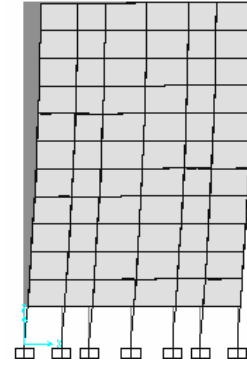
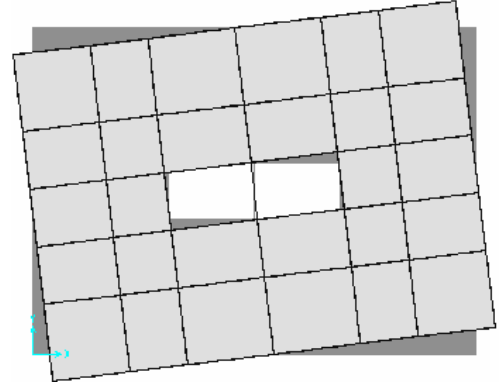
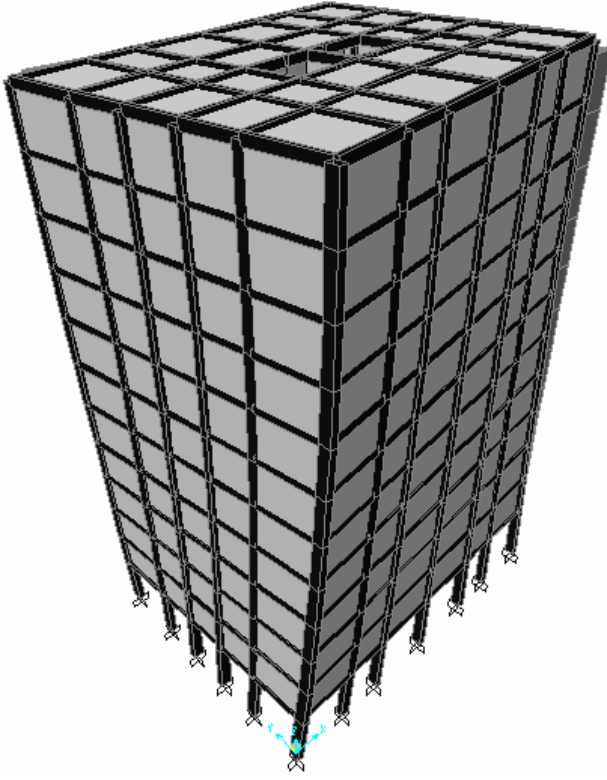
4m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının modal yerdeştirmeleri

Ek 1'in devamı



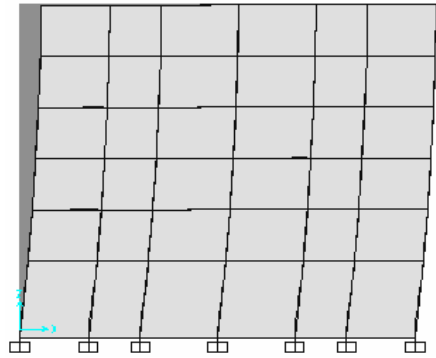
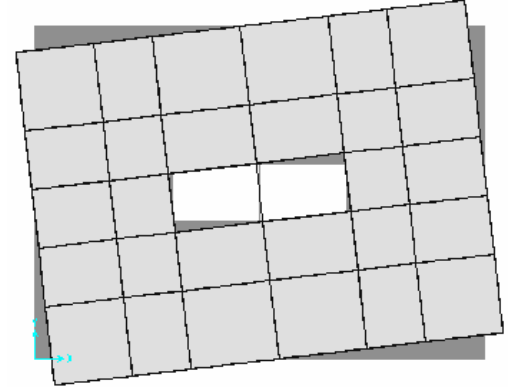
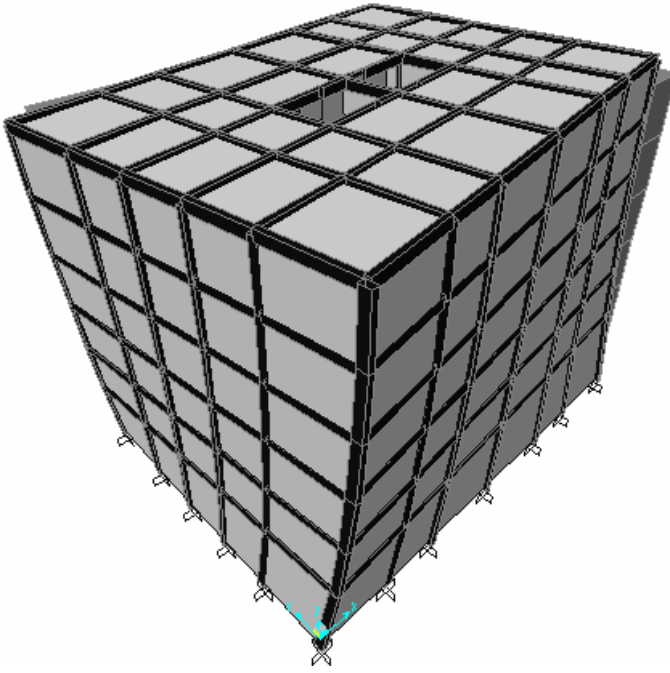
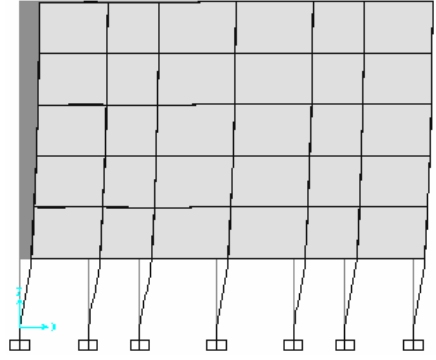
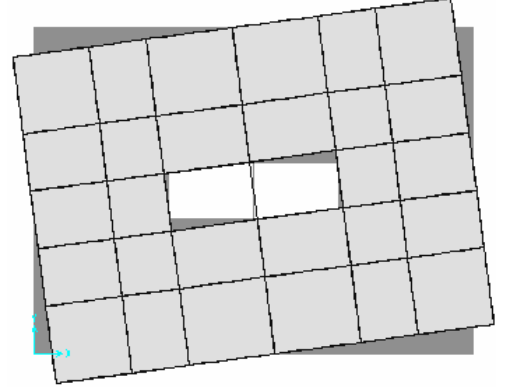
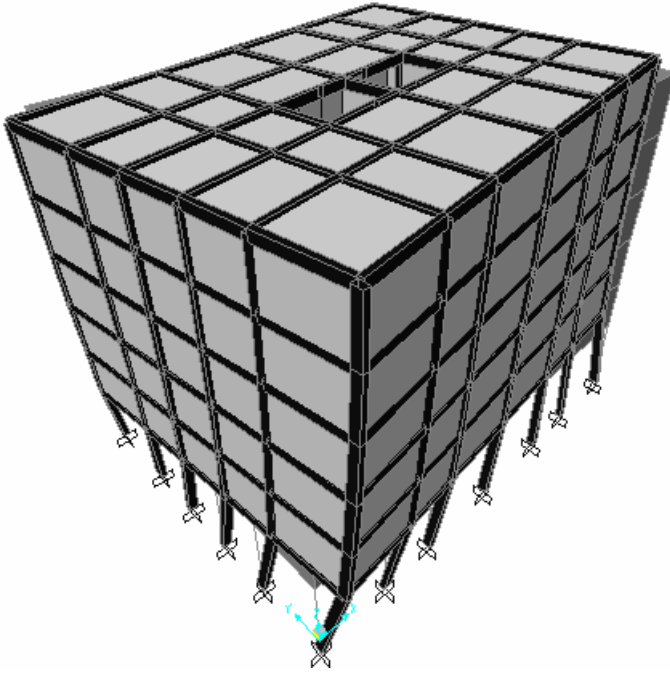
4m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının modal yerdeştirmeleri

Ek 1'in devamı



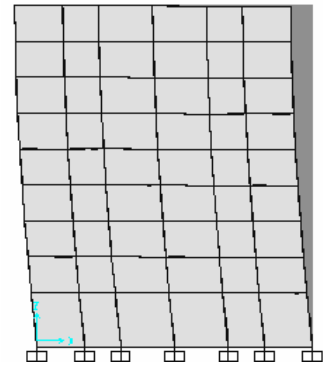
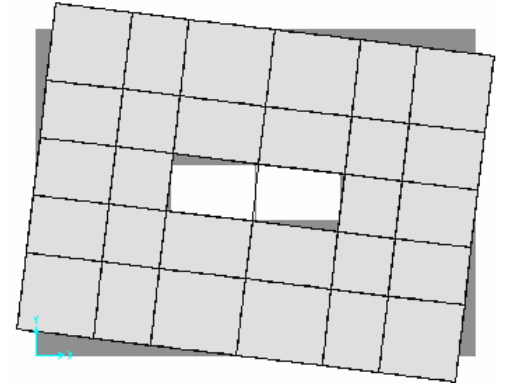
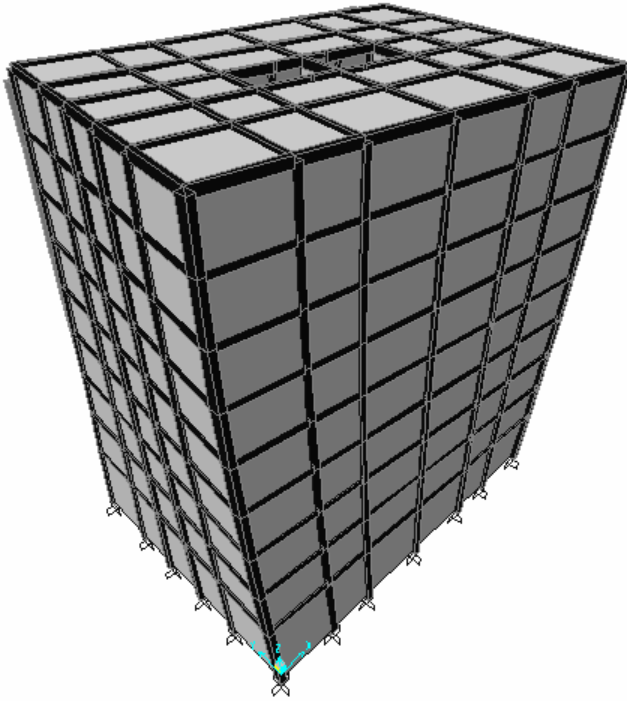
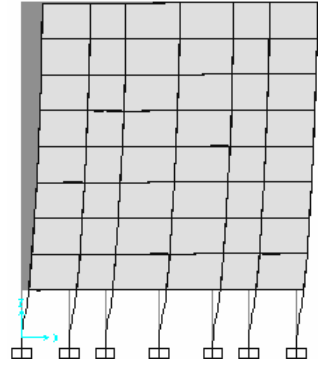
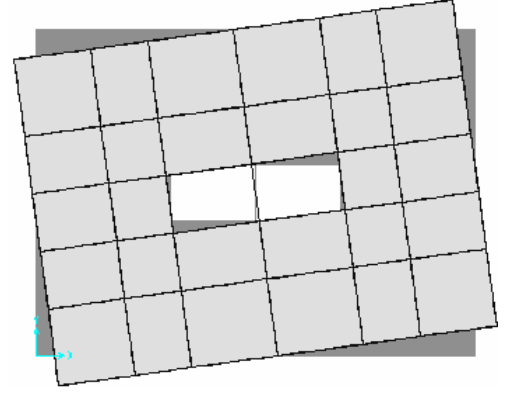
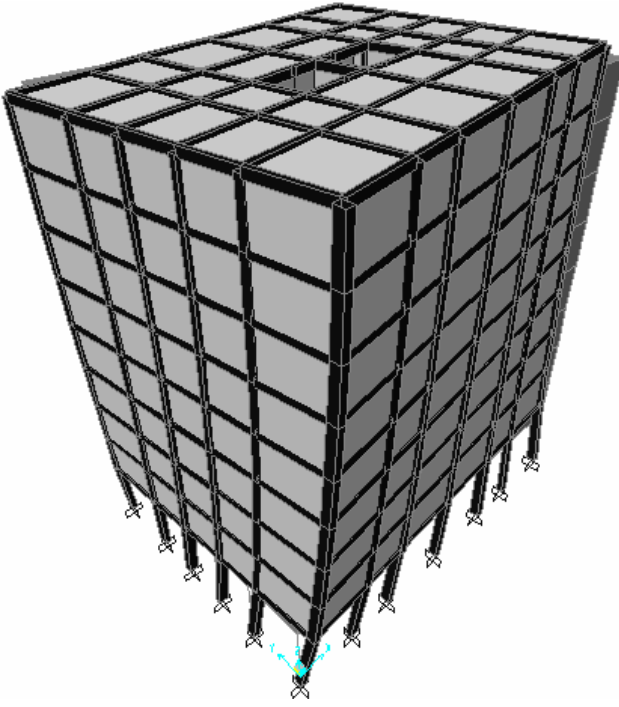
4m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının modal yerdeştirmeleri

Ek 1'in devamı



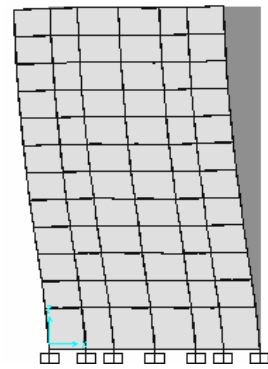
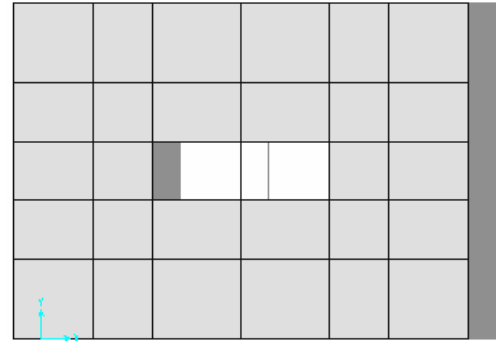
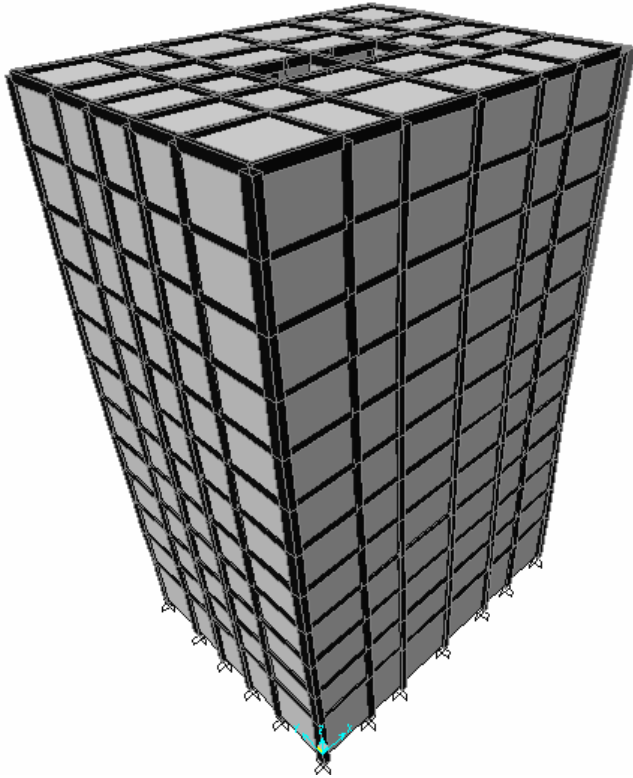
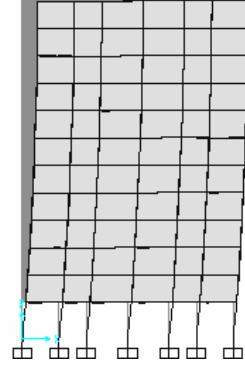
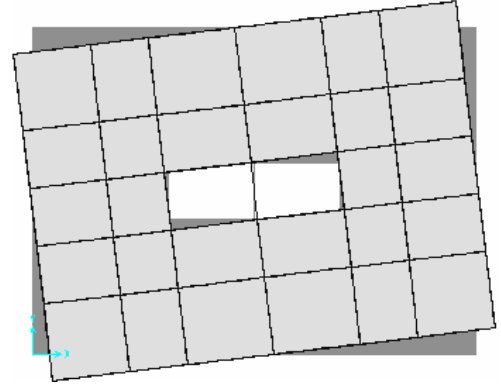
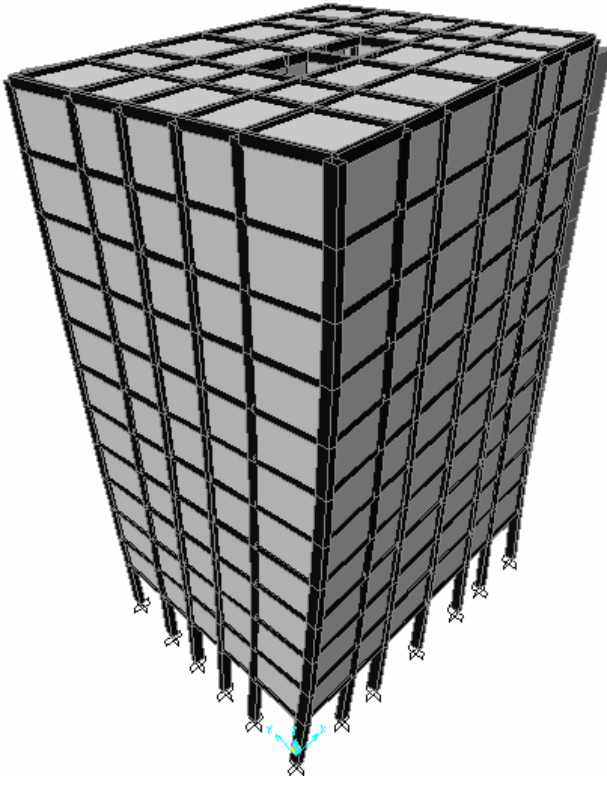
4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının modal yerdeşistirmeleri

Ek 1'in devamı



4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının modal yerdeşistirmeleri

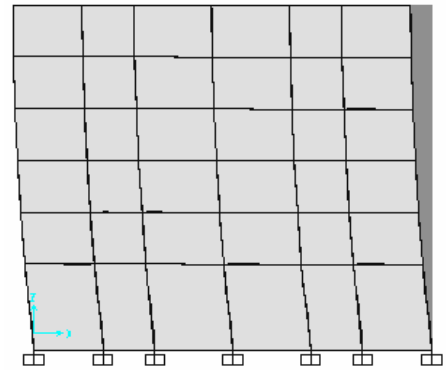
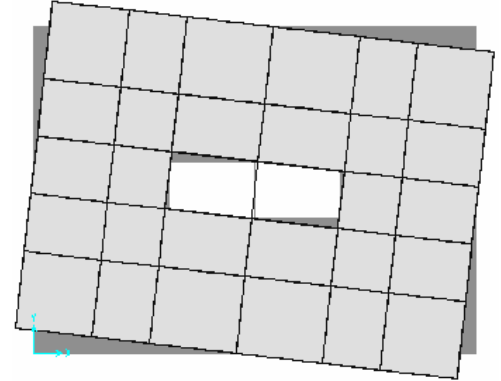
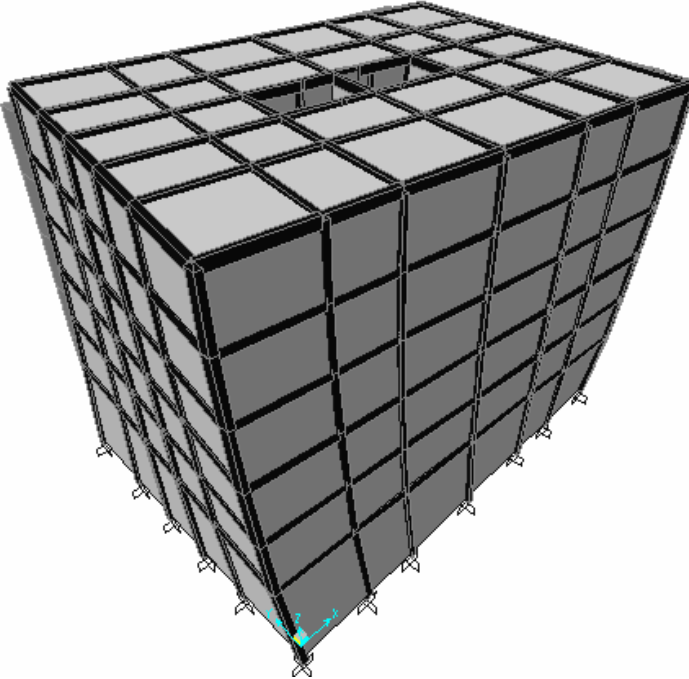
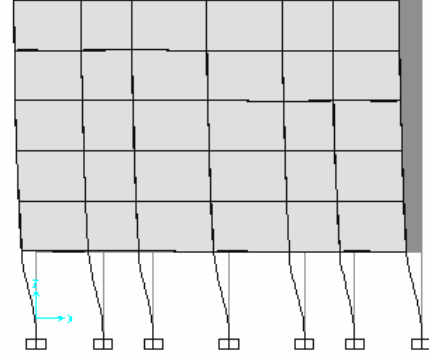
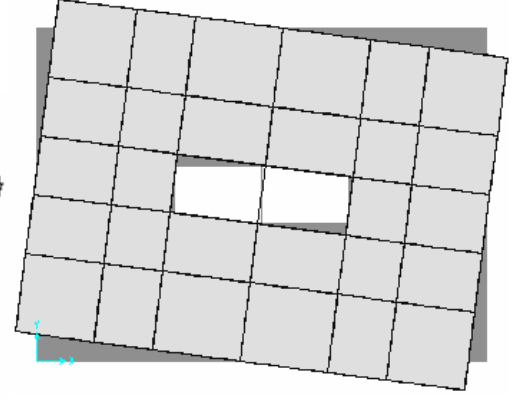
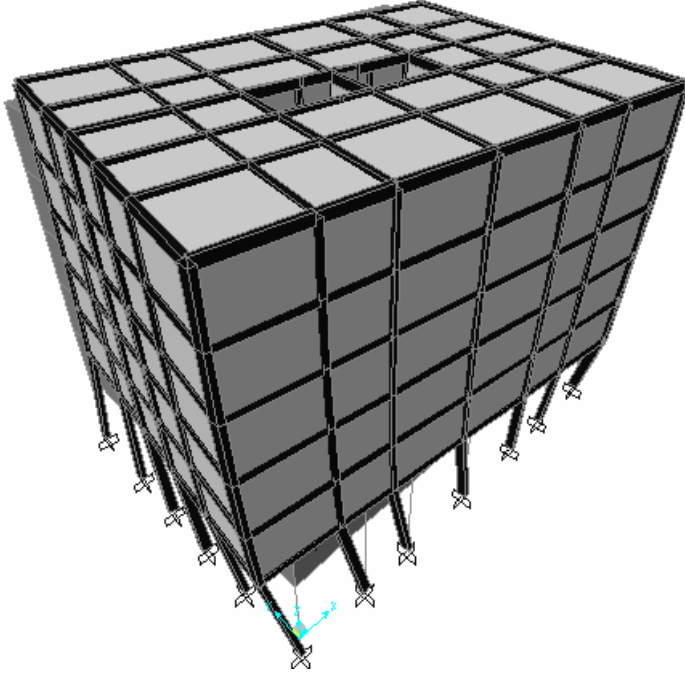
Ek 1'in devamı



4,5m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının modal yerdeştirmeleri

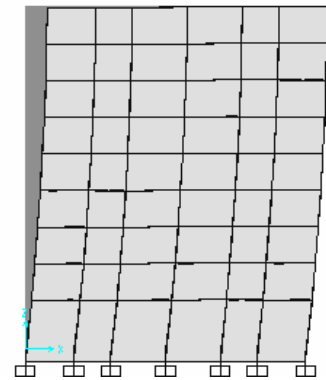
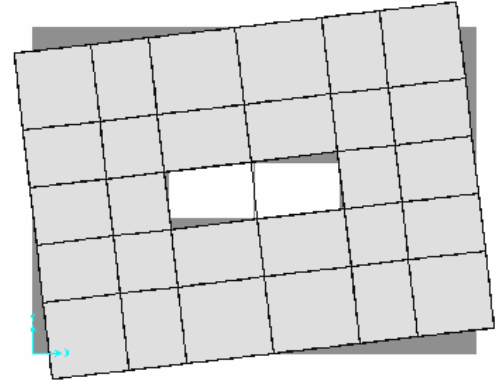
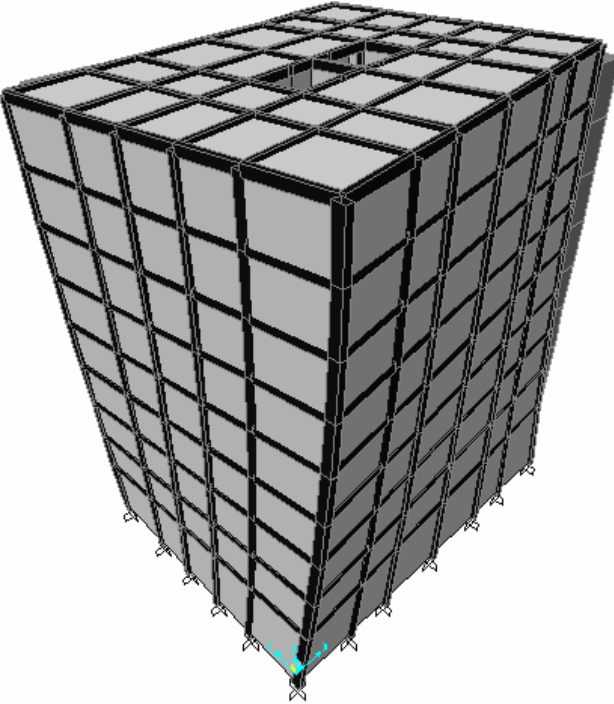
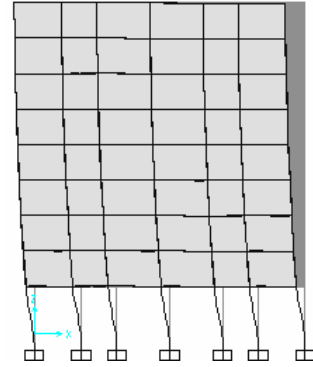
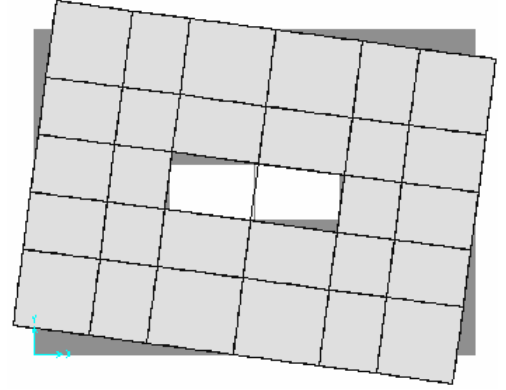
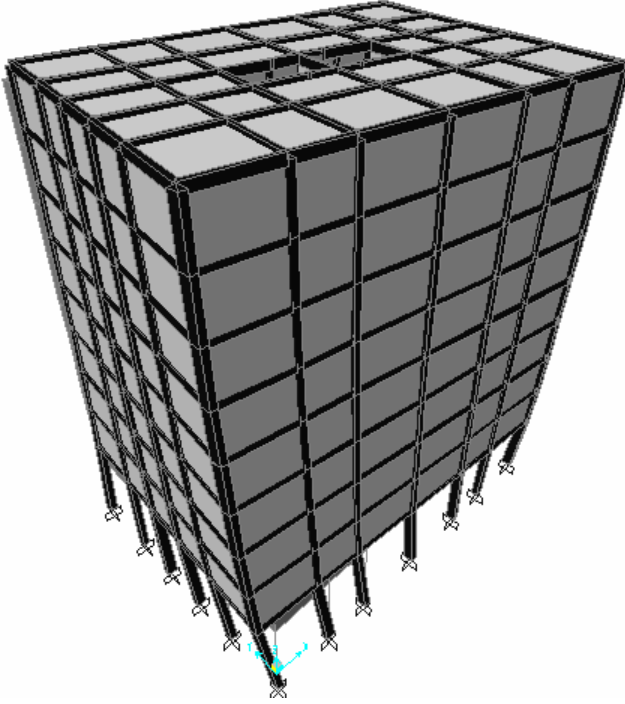


Ek 1'in devamı



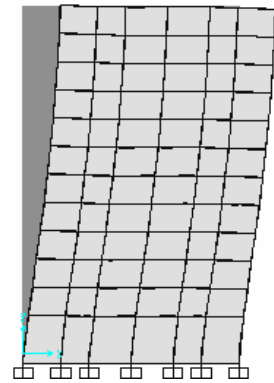
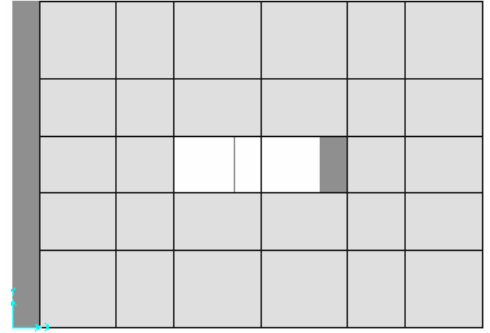
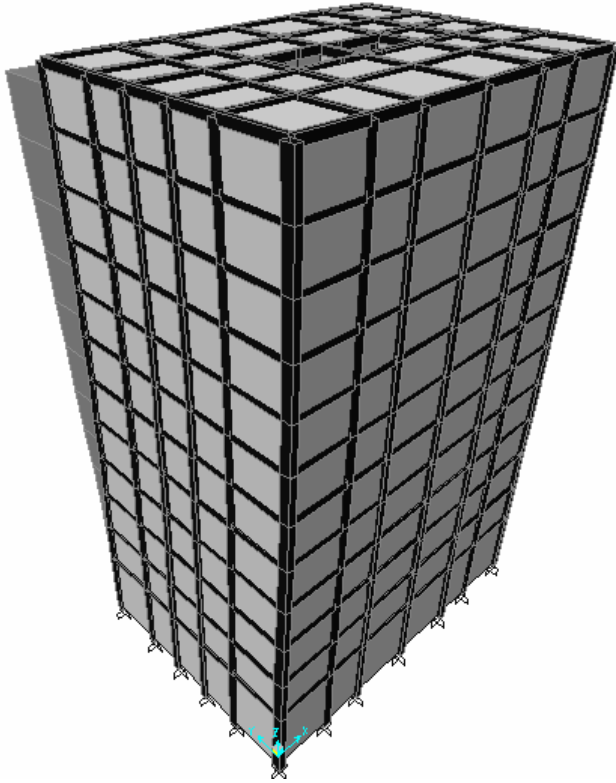
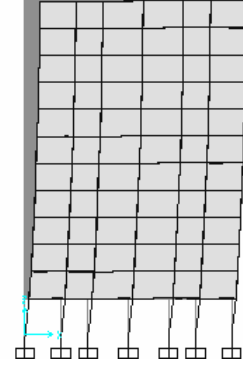
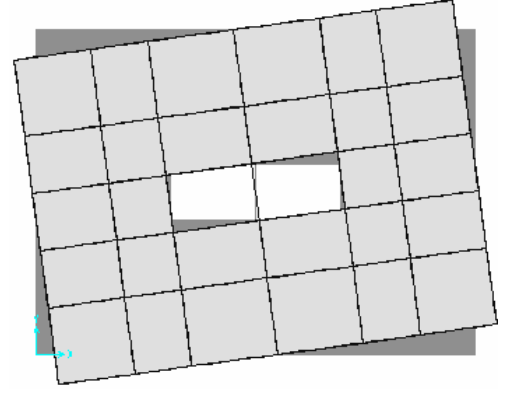
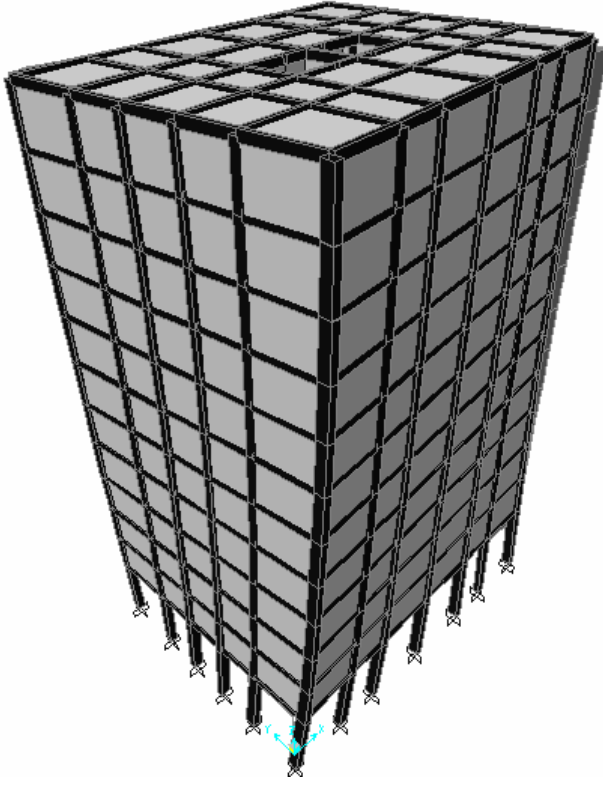
5m zemin kat yüksekliğine sahip 5 katlı yapının modal yerdeşistirmeleri

Ek 1'in devamı



5m zemin kat yüksekliğine sahip 8 katlı yapının modal yerdeştirmeleri

Ek 1'in devamı



5m zemin kat yüksekliğine sahip 11 katlı yapının modal yerdeşistirmeleri

## **ÖZGEÇMİŞ**

Gökhan IŞIK, 1983 yılında Ordu'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ordu'da tamamladı. 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. 2004 yılında bölümünden onur öğrencisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisans dönemine halen devam etmekte olan Gökhan IŞIK, İngilizce bilmektedir.