

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNA TÜRÜ BETONARME BİR YAPIDA YUMUŞAK KAT VE BURULMA
DÜZENSİZLİĞİ İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tülin SANDIKCI

**TEMMUZ 2014
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİNA TÜRÜ BETONARME BİR YAPIDA YUMUŞAK KAT VE BURULMA
DÜZENSİZLİĞİ İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

Tülin SANDIKCI

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK LİSANS (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23.06.2014
Tezin Savunma Tarihi : 23.07.2014**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selim PUL

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

Tülin SANDIKCI tarafından hazırlanan

**BİNA TÜRÜ BETONARME BİR YAPIDA YUMUŞAK KAT VE BURULMA
DÜZENSİZLİĞİ İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 01.06.2014 gün ve 1560 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Metin HÜSEM

Üye : Doç. Dr. Selim PUL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan KOLAYLI

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

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

“Bina Türü Betonarme Bir Yapıda Yumuşak Kat ve Burulma Düzensizliği İlişkisinin İncelenmesi” isimli tez çalışmasını bana öneren, tezimin yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. Selim Pul'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Tez çalışmamın gerçekleştirilmesinde, değerli görüş ve bilgilerini benimle paylaşan, beni her zaman her yönden destekleyen Sayın, Doç. Dr. Mustafa SÖNMEZ, Doç. Dr. Mehmet Emin KARA, Yrd. Doç. Dr. Turan KARABÖRK ve Yrd. Doç. Dr. Ali URAL hocalarıma içtenlikleri ve samimiyetlerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi hiçbir desteği benden esirgemeyen sevgili annem Hatice SANDIKCI'ya, değerli babam Kemal SANDIKCI'ya ve sevgili kardeşim Mutlu SANDIKCI'ya, minnet ve şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Tülin SANDIKCI
Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bina Türü Betonarme Bir Yapıda Yumuşak Kat ve Burulma Düzensizliği İlişkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Selim PUL ‘un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 23/06/2014

Tülin SANDIKCI

23/06/2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	2
1.2.1. Deprem Etkisi Altında Yapıların Davranışları	2
1.2.2. Deprem Hareketi.....	4
1.2.2.1. Servis (Kullanım) Depremi	4
1.2.2.2. Tasarım Depremi	4
1.2.2.3. En Büyük Deprem	4
1.2.3. Taşıyıcı Sistem Deprem Performans Düzeyleri	5
1.2.3.1. Bina Deprem Performans Düzeyi	6
1.2.3.1.1. Hemen Kullanım Performans Düzeyi	6
1.2.3.1.2. Hasar Kontrolü Performans Düzeyi.....	7
1.2.3.1.3. Can Güvenliği Performans Düzeyi.....	7
1.2.3.1.4. Göçme Kontrolü Performans Düzeyi	8
1.2.4. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	8
1.2.4.1. Geometri	9
1.2.4.2. Süreklilik	9
1.2.4.3. Rijitlik ve Dayanım	10

1.2.4.4.	Süneklik	13
1.2.4.5.	Göçme Modu	14
1.3.	Yapısal Düzensizlikler ve Yapı Davranışına Etkileri	14
1.3.1.	Planda Düzensizlik Durumları.....	14
1.3.1.1.	Burulma Düzensizliği Durumu.....	14
1.3.1.2.	Döşeme Süreksizliği Durumu.....	18
1.3.1.3.	Planda Çıkıntıların Bulunması Durumu	22
1.3.1.4.	Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması Durumu	23
1.3.2.	Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumu	24
1.3.2.1.	Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Durumu.....	24
1.3.2.2.	Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Durumu	26
1.3.2.3.	Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanların Süreksizliği Durumu	28
1.4.	Analiz Yöntemleri	31
1.4.1.	Eşdeğer Deprem Yöntemi	31
1.4.2.	Mod Birleştirme Yöntemi.....	31
1.4.3.	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri.....	32
1.5	Dolgu Duvarların Çerçeveye ve Yapıya Etkileri	32
1.5.1	Dolgu Duvarlar ve Çerçeve Yapılar	32
1.5.2	Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri.....	33
1.5.3	Dolgu Duvarların Yapının Deprem Davranışına Etkileri.....	34
1.5.4	Dolgu Duvarlı ve Dolgu Duvarsız Çerçevelerin Hasar Biçimleri.....	35
1.5.5	Dolgu Duvarlı Çerçevenin Modellenmesi.....	37
1.6.	Yumuşak Kat ve Burulma Düzensizliği Konusunda Daha Önce Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar	40
1.7.	Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	51
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	52
2.1	İnceleme Konusu Betonarme Yapı Modelinin Özellikleri.....	52
2.2.	Yapıların SAP 2000 Programında Modellenmesi	57
2.2.1.	Dinamik Analiz.....	57
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	65

4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	101
5.	KAYNAKLAR	103
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BİNA TÜRÜ BETONARME BİR YAPIDA YUMUŞAK KAT VE BURULMA DÜZENSİZLİĞİ İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

Tülin SANDIKCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Selim PUL
2014, 107 Sayfa

Bu tez çalışmasında, betonarme yapılarda oldukça sık görülen yumuşak kat düzensizliği ve burulma düzensizliğinin bir betonarme yapının deprem davranışına etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla belirlenen betonarme bir yapı üzerinde betonarme perdeli ve perdesiz olmak üzere, 3, 6 ve 12 katlı ve zemin kat yükseklikleri 3.0 m, 4.0 m ve 5.0 m olan toplam 54 farklı yapı modelinin dinamik analizleri SAP2000 programıyla gerçekleştirilmiştir. Dört asıl bölümden oluşan çalışmanın birinci bölümünde depreme dayanımlı yapı tasarımı ilkeleri ve yapısal düzensizlikler üzerinde durulduktan sonra, konu ile ilgili olarak daha önce gerçekleştirilen bazı çalışmalar sunulmaktadır. İkinci bölümde, inceleme konusu betonarme yapıların yatay yüklemeye altındaki yumuşak kat düzensizliği ve burulma düzensizliği katsayılarının hesaplandığı dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde, bu analizlerden elde edilen sonuçlar sunularak irdelenmekte ve inceleme konusu düzensizlik durumlarının birbiriyle ilişkisi ortaya konmaya çalışılmaktadır. Dördüncü bölümde ise çalışmanın tümünden çıkarılan sonuç ve öneriler sunulmaktadır. Bu son bölümü kaynaklar listesi ve özgeçmiş izlemektedir.

Sonuç olarak bu çalışmayla, analiz edilen çerçeve tipi betonarme yapılardaki komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği olarak tanımlanan yumuşak kat düzensizliğinin kattaki dolgu duvar varlığı ile doğrudan ilişkili olduğu, dolgu duvarların varlığının burulma düzensizliği oluşumu üzerinde önemli bir etki yapmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, deprem yönetmeliği, depreme dayanımlı yapı tasarımı, yumuşak kat düzensizliği, burulma düzensizliği, SAP2000.

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF RELATIONSHIP BETWEEN SOFT STORY AND TORSIONAL
IRREGULARITIES IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

Tülin SANDIKCI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program

Supervisor:
2014, 107 Pages

In this thesis, the effect of soft story irregularity and torsional irregularity, which are commonly seen in reinforced concrete building, on seismic behavior of a reinforced concrete building was investigated. For this purpose, dynamic analyses of a total number of 54 different structure models of a reinforced concrete building with 3, 6 and 12 floors and ground floors of 3.0 m, 4.0 m and 5.0 m heights were performed by using SAP2000. Within the first chapter of this study being composed of four main chapters, after principles of seismic resistant building design are underlined briefly, some studies performed earlier related to subject are presented. In the second chapter, dynamic analyses to calculate soft story irregularity and the coefficients of torsional irregularity for the subject of study reinforced concrete buildings under vertical loading are performed. In the third chapter, findings obtained from those analyses are discussed and relation between irregularity cases of the studied subject are attempted to be expressed. In the fourth chapter where all conclusions and recommendations derived from this study is presented followed by curriculum vitae and references.

As a result of this study, it is concluded that the soft story irregularity, which is defined as the rigidity irregularity between adjacent floors in the analyzed frame type reinforced concrete building, is directly related to the presence of masonry wall and the presence of masonry walls has no significant effect on the formation of torsional irregularity.

Key Words: Reinforced concrete, earthquake regulations, design of seismic resistant building, soft story irregularity, torsional irregularity, SAP2000.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Taşıyıcı sistem performans düzeyleri.....	5
Şekil 2. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri.....	6
Şekil 3. Yapılarda oluşan yatay yer değiştirmeler.....	12
Şekil 4. Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumu.....	16
Şekil 5. Kaydırılmış kütle merkezleri.....	18
Şekil 6. Burulma düzensizliği ile hasar gören yapılar.....	19
Şekil 7. A2 türü düzensizlik durumu I.....	20
Şekil 8. A2 türü düzensizlik durumu II.....	20
Şekil 9. A2 türü düzensizlik durumu III.....	21
Şekil 10. Döşeme süreksizliği düzensizliği ile hasar gören yapılar.....	21
Şekil 11. A3 türü düzensizlik durumu.....	22
Şekil 12. Planda çıkıntılarının bulunması düzensizliği ile hasar gören yapılar.....	23
Şekil 13. A4 türü düzensizlik durumu.....	23
Şekil 14. Komşu katlar arası dayanım düzensizliği durumu ile hasar gören yapı.....	25
Şekil 15. Yumuşak kat düzensizliği ile hasar gören yapılar.....	27
Şekil 16. Kolonların konsol ve guselere oturması durumu.....	28
Şekil 17. Kolonun iki ucundan mesnetli kirişe oturması durumu.....	29
Şekil 18. Perdelerin kolona oturması durumu.....	29
Şekil 19. Perdelerin kirişe oturması durumu.....	30
Şekil 20. Taşıyıcı sistem düşey elemanların süreksizliği durumu.....	30
Şekil 21. Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük altındaki davranışı.....	36
Şekil 22. Dolgu duvarların çapraz diyagonal çubuklarla modellenmesi.....	36
Şekil 23. Dolgu duvarlar hasarları.....	37
Şekil 24. Dolgu duvarlı betonarme çerçevenin yatay yük etkisindeki davranışı.....	38

Şekil 25. Dolgu duvarlı çerçevede basınç çubuğu.....	38
Şekil 26. Dolgu duvarın diyagonallar ile modellenmesi	39
Şekil 27. Dolgu duvarlı çerçevenin Hrennikof eleman olarak modellenmesi.....	40
Şekil 28. Çalışmaya konu olan yapı modelinin kat planı	53
Şekil 29. Çalışmaya konu olan yapı modelinin betonarme perde ilave edilen kat planı	54
Şekil 30. Betonarme perdesiz - dolgu duvarsız (karkas) yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli	58
Şekil 31. Betonarme perdeli - dolgu duvarsız (karkas) yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli	58
Şekil 32. Betonarme perdesiz - dolgu duvarlı yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli	59
Şekil 33. Betonarme perdeli - dolgu duvarlı yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli	59
Şekil 34. Betonarme perdesiz – zemin kat dolgu duvarsız (üst katlar dolgu duvarlı) yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli.....	60
Şekil 35. Betonarme perdeli – zemin kat dolgu duvarsız (üst katlar dolgu duvarlı) yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli	60
Şekil 36. Tasarım ivme spektrumu (DBYBHY-2007) planı	63
Şekil 37. Spektrum ivme değerlerinin SAP2000’e girilmesi	64
Şekil 38. Deprem yükünün SAP2000’e girilmesi	64
Şekil 39. Betonarme perdesiz - dolgu duvarsız yapının ilk üç mod şekli	66
Şekil 40. Betonarme perdesiz - dolgu duvarlı yapının ilk üç mod şekli.....	66
Şekil 41. Betonarme perdesiz – zemin kat dolgu duvarsız (üst katlar dolgu duvarlı) yapının ilk üç mod şekli	66
Şekil 42. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdesiz 3 katlı yapılar)	79
Şekil 43. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdeli 3 katlı yapılar).....	79
Şekil 44. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdesiz 6 katlı yapılar)	80
Şekil 45. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdeli 6 katlı yapılar).....	80

Şekil 46. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdesiz 12 katlı yapılar).....	81
Şekil 47. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdeli 12 katlı yapılar).....	81
Şekil 48. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdesiz, tüm katlar dolgu duvarlı yapılar) .	82
Şekil 49. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdeli, tüm katlar dolgu duvarlı yapılar)....	82
Şekil 50. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdesiz, zemin katı dolgu duvarsız, üst katlar dolgu duvarlı yapılar).....	83
Şekil 51. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdeli, zemin katı dolgu duvarsız, üst katlar dolgu duvarlı yapılar).....	83
Şekil 52. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdesiz ve dolgu duvarsız yapılar).....	84
Şekil 53. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdeli ve dolgu duvarsız yapılar).....	84
Şekil 54. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdesiz 3 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	85
Şekil 55. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdeli 3 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	85
Şekil 56. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdesiz 6 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	86
Şekil 57. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdeli 6 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	86
Şekil 58. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdesiz 12 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	87
Şekil 59. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdeli 12 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	87
Şekil 60. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdesiz 3 katlı yapılar).....	88
Şekil 61. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdeli 3 katlı yapılar).....	88
Şekil 62. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdesiz 6 katlı yapılar)	89

Şekil 63. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdeli 6 katlı yapılar).....	89
Şekil 64. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdesiz 12 katlı yapılar)	90
Şekil 65. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme perdeli 12 katlı yapılar).....	90
Şekil 66. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdesiz, tüm katlar dolgu duvarlı yapılar) .	91
Şekil 67. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdeli, tüm katlar dolgu duvarlı yapılar.....	91
Şekil 68. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdesiz, zemin katı dolgu duvarsız, üst katlar dolgu duvarlı yapılar)	92
Şekil 69. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdeli, zemin katı dolgu duvarsız, üst katlar dolgu duvarlı yapılar)	92
Şekil 70. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdesiz ve dolgu duvarsız yapılar)	93
Şekil 71. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme perdeli ve dolgu duvarsız yapılar).....	93
Şekil 72. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdesiz 3 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	94
Şekil 73. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdeli 3 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	94
Şekil 74. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdesiz 6 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	95
Şekil 75. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdeli 6 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	95
Şekil 76. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdesiz 12 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	96
Şekil 77. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi (Betonarme perdeli 12 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)	96
Şekil 78. Betonarme perdesiz yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=3.0 m)	97
Şekil 79. Betonarme perdeli yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=3.0 m)	97

Şekil 80. Betonarme perdesiz yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=4.0 m)	98
Şekil 81. Betonarme perdeli yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=4.0 m)	98
Şekil 82. Betonarme perdesiz yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=5.0 m)	99
Şekil 83. Betonarme perdeli yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=5.0 m)	99

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Gerçekleştirilen analizlerde dikkate alınan yapı özellikleri	55
Tablo 2. Modal analizde kullanılan spektral ivme değerleri	62
Tablo 3. Zemin kat yüksekliği 3 m olan 3 katlı modellerin analiz sonuçları	66
Tablo 4. Zemin kat yüksekliği 3 m olan 6 katlı modellerin analiz sonuçları	67
Tablo 5. Zemin kat yüksekliği 3 m olan 12 katlı modellerin analiz sonuçları	68
Tablo 6. Zemin kat yüksekliği 4 m olan 3 katlı modellerin analiz sonuçları	70
Tablo 7. Zemin kat yüksekliği 4 m olan 6 katlı modellerin analiz sonuçları	71
Tablo 8. Zemin kat yüksekliği 4 m olan 12 katlı modellerin analiz sonuçları	73
Tablo 9. Zemin kat yüksekliği 5 m olan 3 katlı modellerin analiz sonuçları	75
Tablo 10. Zemin kat yüksekliği 5 m olan 6 katlı modellerin analiz sonuçları	76
Tablo 11. Zemin kat yüksekliği 5 m olan 12 katlı modellerin analiz sonuçları	77

SEMBOLLER DİZİNİ

- A_0 : Etkin yer ivme katsayısı
- B_a : Taşıyıcı sistem elemanının (a) asal eksenini doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğünü
- B_{ax} : Taşıyıcı sistem elemanının (a) asal eksenini doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğünü
- B_{ay} : Taşıyıcı sistem elemanının (a) asal eksenini doğrultusunda, y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğünü göstermektedir.
- e : Dışmerkezlilik
- d_i : Binanın i'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme
- D_i : Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde burulma düzensizliği olan binalar için i'inci katta \pm %5 ek dışmarkezliğe uygulanan büyütme katsayısı
- h_i : Binanın i. Katının kat yüksekliği
- I : Bina önem katsayısı
- R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
- S(T) : Spektrum katsayısı
- $S_{pa}(Tr)$: r. doğal titreşim modu için ivme spektrumu ordinatı
- T : Bina doğal titreşim periyodu
- T_1 : Binanın birinci doğal titreşim periyodu
- T_{1A} : Binanın amirik bağlantı 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 göz önüne alınacak kesme kuvveti
- V_r : Kesme dayanımı
- Δ_i : Binanın i 'inci katındaki görelî kat ötelemesi
- $(\Delta_i)_{\max}$: Binanın i 'inci kattaki maksimum görelî kat ötelemesi
- $(\Delta_i)_{\min}$: Binanın i 'inci kattaki minimum görelî kat ötelemesi
- $(\Delta_i)_{\text{ort}}$: Binanın i 'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesidir.
- η_{bi} : i 'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
- η_{ci} : i 'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
- η_{ki} : i 'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ülkemiz, yeryüzünün önemli aktif deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yaşanan depremlerin neden oldukları yapısal hasarlar ve ölümlerle sonuçlanan yıkımlar sebebiyle, depreme dayanıklı yapı tasarımının ve üretiminin hayati bir önem taşıdığı anlaşılmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımının en önemli ilkelerinden biri, taşıyıcı sistemin düzenli olmasıdır. Taşıyıcı sistemi düzenli yapılar yapısal analizler ve boyutlandırma ile birlikte, uygulamada daha pratik ve ekonomik sonuçlar vermektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında, deprem davranışı kötü taşıyıcı sistem tasarımından kaçınılmalı ve kısaca “Deprem Yönetmeliği” olarak adlandırılan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007” (DBYBHY) kurallarına uygun yapılar tasarlanmalıdır. Bu yönetmelikte depreme karşı davranışındaki olumsuzluklar sebebiyle tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken binalar “düzensiz binalar” olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar ayrı ayrı tanımlanmıştır.

Deprem yönetmeliğinde tanımlanan ve ileride ayrıntılı olarak verilen düzensizlik durumlarından biri olan “Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak kat)” olarak adlandırılan düzensizlik durumu özellikle Ülkemizde önde gelen hasar nedenleri arasında bulunmaktadır. Yumuşak kat düzensizliğinin binalarda oluşmasının başlıca sebebi, binaların zemin katlarının otopark, mağaza ve geniş açıklıklı alanlar olarak ticari maksatlı kullanılmak istenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu talebe yönelik olarak; zemin katların yüksekliği, üst katlara göre daha fazla olması ve bununla birlikte zemin katların büyük bir bölümü bina dışından iç cephenin rahatlıkla görülebilmesi amacıyla tuğla duvar yerine cam pencereler kullanılmaktadır. Ayrıca, zemin katlarda geniş alanlara ihtiyaç duyulduğu zaman kattaki iç duvarların sayısı da azaltılmaktadır. Zemin kattaki ve bir üst kattaki iç ve dış duvarların farklı olması ve zemin kat kolon yüksekliklerinin üst katınkilerden daha fazla olması durumunda rijitlik düzensizliği meydana gelmektedir.

Depremde ortaya çıkan yapısal hasarların başlıca nedenlerinden bir diğeri de yapıda burulma davranışıdır. Deprem yönetmeliğinde bu davranış planda düzensizlik

durumlarından biri olan “Burulma Düzensizliği” başlığı altında tanımlanmıştır. Planda asimetrik olan ya da düşey taşıyıcılarının rijitlik dağılımı simetrik olmayan yapılarda yatay deprem yüklemesi altında ortaya çıkan burulma davranışı sonucunda onarım-güçlendirme teknikleriyle ekonomik olarak giderilmesi mümkün olmayan önemli hasarlar oluşabilmektedir.

1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

1.2.1. Deprem Etkisi Altında Yapıların Davranışı

Deprem, yerkabuğunun gerilme etkisi sonucu, belirli bir derinlikte kırılması olarak tanımlanabilir. Deprem büyüklüğü ise kırılan yüzeyin büyüklüğünü ve dolayısıyla ortaya çıkan enerjinin düzeyini belirten bir ölçüdür (URL-1, 2013).

Depremlerin büyüklükleri ortaya çıkardıkları enerjiye bağlı olarak belirlenir. Büyük şiddetli depremlerin nadir oluşur ve ağır hasarlar meydana getirirler. Yani tekrarlama dönemleri uzundur. Küçük ve orta şiddetli depremler ise sık meydana gelirler ve hiç hasar yaratmazlar ya da çok az hasara neden olurlar. Deprem yönetmeliklerine göre, yapının amacına bağlı olarak tekrarlama dönemi 100 ile 500 yıl arasında bulunan depremlere karşı binanın dayanımı yeterli değildir. Fakat bu tür depremlerden oluşan kesit etkilerinin taşıyıcı sistemin elastik davranışı ile karşılanması olası değildir. Buna karşılık bu değerlerin %15~25 gibi oldukça küçük bir oranını, yapının elastik bir davranış içerisinde karşılanması esas alınır ve daha büyük depremlerin, taşıyıcı sistemde oluşacak elastik ötesi şekil değiştirmeler ve enerji tüketilmesi ile karşılanacağı kabul edilmektedir. Bunun sonucu olarak, taşıyıcı sistemin dayanım kapasitesine sık rastlanan şiddeti düşük depremlerde ulaşabilir. Bu durumda, deprem etkisi açısından yapının dayanım kapasitesine ulaşmasının yıllık ihtimali için %1~3 gibi yüksek bir oran ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında düşey yükler altında, taşıyıcı sistemin dayanım kapasitesine ulaşması olasılığı ise, %0,01 gibi oldukça düşük bir oran civarında bulunmaktadır. Bu iki değer kıyaslandığında, deprem etkisinin karşılanmasındaki eksikliklerin, ne gibi sorunlara sebep olacağı daha net anlaşılabilir (Celep, Kumbasar, 1996).

1920'li yılların başından itibaren depreme karşı dayanımın yapıların boyutlandırılmasında önemli olduğu düşüncesi ortaya çıkmıştır. O dönemde yapılan ölçümlerin eksikliğinin de sonucu olarak, deprem etkisi ile oluşan yatay yük, yapı ağırlığının yaklaşık %10'u olarak kabul edilmiştir. Ancak, 1960'lı yıllarda meydana gelen depremden elde edilen sayısal veriler daha gerçekçi yük kabullerini yapılmasına olanak sağlarken, günümüzdeki bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler de, taşıyıcı sistem çözümlenmesinin daha ayrıntılı bir şekilde yapılmasını sağlamıştır. Betonarme yapılarda depremden sonra yapılan incelemelerden taşıyıcı sistemin çalışmasının bozulmaması ve sünek davranışın oluşması şartıyla, bir kesitte yeterli eğilme momenti dayanımının bulunmamasının, ağır hasarlara veya göçmeye sebep olmadığı belirtilmiştir. Bununla birlikte kesme kuvveti etkisinin karşılanamaması sonucunda meydana gelen elastik ötesi gevrek davranış sebebiyle ciddi hasarlara sebep olduğu ortaya çıkmıştır. Buna karşılık normal, orta ve yüksek katlı binaların tipik bir depremde zorlanması durumunda çözümlenmenin elastik veya elastik ötesi davranış esas alınarak yapılmasına bağlı olmaksızın aynı mertebede yatay yer değişiminin meydana geldiğini göstermişti. Bunun sonucu olarak yapılan araştırmalar, dikkatli dayanımdan elastik ötesi dayanıma kaymıştır. Taşıyıcı sistemin elastik ötesi yer değiştirmelerinin sünek olması ile deprem enerjisinin sönümlenebileceği ve elemanlar arasındaki etkileşim ile daha büyük deprem etkilerinin karşılanabileceği düşünülmüştür. Ancak, elastik ötesi şekil değiştirmelerin itinayla kabul edilmesi gerekir. Gereken sünekliliğin sağlanmaması durumu ve meydana gelen ikinci mertebeye etkileri nedeniyle sistemin çökmesine sebep olabilir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında genel eğilim sünek taşıyıcı sistemlerin özendirilmesi şeklindedir. Bununla birlikte, yatay ve düşey kesitlerde düzenli taşıyıcı sistemin seçimi ve elemanların birleşim bölgelerinde gösterilecek özen önemlidir. Ayrıca, taşıyıcı sistemde yatay yer değiştirmeleri sınırlayacak rijitliğin oluşturulması ve bu yolla taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelebilecek hasarların azaltılması diğer bir önemli husustur (Aydın, 2001).

1.2.2. Deprem Hareketi

Yer kabuğunun bir hareketi olan deprem olduğu zaman üzerinde bulunan yapılar zamana bağlı yer değiştirmelerle etkilenmektedir. Yapı performansına dayalı değerlendirme ve tasarımda göz önüne alınmak üzere, farklı düzeyde deprem hareketleri tanımlanmaktadır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ve benzer depremin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler (Celep, Kumbasar, 1996).

1.2.2.1. Servis (Kullanım) Depremi

50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %50 olan depremdir. Ortalama tekrarlama dönemi 75 yıl olan bu depremin bina ömrü boyunca meydana gelme olasılığı çok yüksektir.

1.2.2.2. Tasarım Depremi

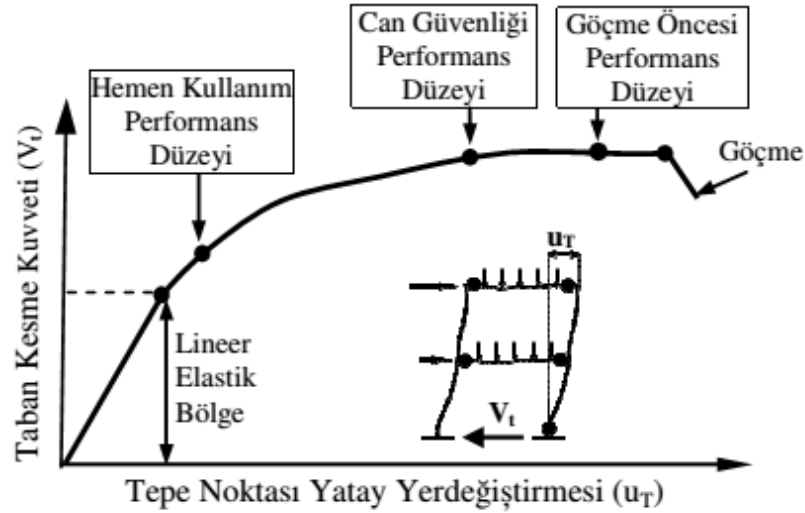
50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %10 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkması çok sık görülmeyen bir olaydır (DBYBHY-2007).

1.2.2.3. En Büyük Deprem

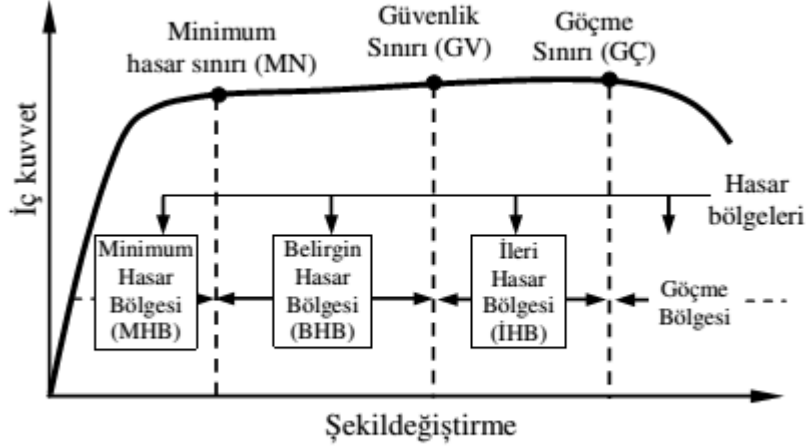
50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %2 olan yer hareketidir. Bu, ortalama dönüş periyodu yaklaşık 2500 yıl olacak şekilde, bölgedeki jeolojik bilgiler incelenerek alınarak belirlenebilecek en büyük deprem kabul edilir. Bu depremin etkileri tasarım depreminin yaklaşık 1.25-1.5 katı kadardır. Deprem yönetmeliklerinde, tasarım depreminin etkisinin, bina önem katsayısı ile artmasıyla böyle bir deprem tanımlanmaya çalışılır (Gökçe, 2008).

1.2.3. Taşıyıcı Sistem Deprem Performans Düzeyleri

Deprem etkisindeki taşıyıcı sistem davranışı, Şekil 1 deki gibi, örneğin en üst kat yerdeğiştirmesi ve toplam deprem taban kesme kuvveti arasında çizilecek eğri şeklinde yorumlanabilir. Bu değişim Şekil 2 de kesit davranışı verilen eğriye benzer olup, yalnızca tüm taşıyıcı sistem için elde edilmiştir. Aynı şekilde elastik davranışa benzetilebilecek ilk bölümden sonra elasto-plastik davranışı simgeleyen bir bölüm ortaya çıkar. Bu eğri üzerinde elastik ötesi davranışın (elasto-plastik şekil değiştirmeye) belirgin başlangıcına ve sınırlı hasara karşı geldiği için, Hemen Kullanım Performans Düzeyi olarak adlandırılır. Büyük yerdeğiştirmelerden sonra dış statik deprem yükünün azalmaya başlaması taşıyıcı sistemde güç tükenmesinin meydana geldiğini gösterir ve Göçme Öncesi Performans Düzeyi olarak bilinir. Can Güvenliği Performans Düzeyi taşıyıcı sistemin sınırlı elastik ötesi şekil değiştirmeye yatay yük kapasitesini güvenli olarak karşılayabileceği sınır olarak tanımlanır (Celep, 2008).



Şekil 1. Taşıyıcı sistem performans düzeyleri (Türker ve Yavaş, 2011).



Şekil 2. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri (Türker ve Yavaş, 2011).

Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcı, güvenlik sınırı kesitin dayanımının güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırı, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez.

1.2.3.1. Bina Deprem Performans Düzeyi

Yapıların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarın sonucuyla ilgilidir ve dört farklı hasar durumu için tanımlanmıştır. Deprem etkisi altında kalmış binaların deprem sonrası hasar durumlarının belirlenmesi için de aynı tanımlar kullanılabilir.

1.2.3.1.1. Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Depremden sonra çok sınırlı hasar meydana getirmiştir. Binanın taşıyıcı sisteminin, depremden önceki bütün taşıyıcılık özelliklerinin, düşey ve yatay yük taşıma kapasitesinin hemen hemen hiç değişmediği performans seviyesidir. Elemanlar, rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadır. Yapıda kalıcı ötelemeler oluşmaz. Elemanlarda küçük çatlaklar

oluşsa da, büyük çatlaklar ve betonun ezilmesi gibi bir olayın meydana gelmemesi istenir. Yapısal hasardan dolayı can güvenliğini tehdit eden bir risk yoktur. Bina giriş çıkış ve tam kullanım için güvenli durumdadır.

1.2.3.1.2. Hasar Kontrolü Performans Düzeyi

Genellikle orta şiddetli depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde ve taşıyıcı olmayan sisteminde onarılabılır şekilde hasarlar meydana gelmesi ve buna karşılık sistemin taşıyıcılık özelliğini kaybetmemesi istenir. Fakat bu hasarın ekonomik olarak onarılabılır düzeyde olması beklenir. Yönetmelikte yeni binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşınma olasılığı %10 olarak tanımlanan bir deprem etkisinde öngörülen bu performans düzeyidir.

1.2.3.1.3. Can Güvenliği Performans Düzeyi

Yapıda deprem sonrası yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür, ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımının önemli bölümünü korurlar. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşıyabilirler. Yapısal olmayan elemanlarda hasar bulunur ama dolgu duvarlar yıkılmamıştır. Yapıda az miktarda kalıcı ötelenmeler oluşabilir. Ancak gözle fark edilebilir değerlerde değildir. Yaralanmalar olabilmesine rağmen can güvenliği tehlikesi olmamaktadır. Bu tarz binalarda onarım ekonomik açıdan mümkün değildir ama eğer bina tekrar kullanılacaksa binada geniş çaplı yapısal onarımlar mutlaka gereklidir.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %30'si ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesidir. Bu durumda bina Can Güvenliği Durumu'nda kabul edilir. Can güvenliği durumunun kabul edilebilmesi için herhangi katta alt üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranını %30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların kesme kuvvetleri

toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elamanların sayısı ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir (Sezer, 2007).

1.2.3.1.4. Göçme Kontrolü Performans Düzeyi

Yapının hizmet ömrü boyunca bir defa meydana gelen çok şiddetli deprem altında binanın taşıyıcı sisteminde büyük hasarlar meydana gelir. Yatay kuvveti taşıyan taşıyıcı sistemde önemli hasarlar oluşur, yanal rijitlik ve dayanımda önemli azalmalar meydana gelmesine rağmen sistemin yükünü taşıyan bütün önemli yapı bileşenleri yapının sabit ve hareketli yüklerini taşıyabilecek durumdadır. Yapı stabilitesini kaybetmemesine karşın deprem sonrası meydana gelebilecek hafif şiddetli bir yer hareketi sebebiyle her an göçme tehlikesi ile yüz yüzedir. Eğer binanın yeniden kullanılması gerekiyorsa, kesinlikle geniş kapsamlı bir güçlendirme yapılmalıdır. Böyle hasarlı binaların, hem teknik açıdan hem de ekonomik açıdan güçlendirilmesi uygun değildir. Fakat istisnai durumlarda güçlendirme yoluna gidilebilir.

1.2.4. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

“Depreme dayanıklılık” kavramı, zihinde bir yapının yürürlükteki deprem yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanmasını, hesaplanmasını ve uygulanmasını çağrıştırmaktadır ve genellikle de yönetmeliğe uygunluğun, depremlere karşı güvenliği garanti ettiği düşünülmektedir. Oysa bu ve buna benzer yorumlar gerçekte karşılaştığında, kısmen geçerlidir (Zacek, 2000).

Deprem yönetmeliklerinin amacı yapıların hasar görmesini engellemek değil, can kaybını önlemektir. Büyük bir depremde yapı büyük miktarda yapısal ve yapısal olmayan hasara uğrayabilir, fakat yapı yıkılmadığı müddetçe, yönetmelikler amaçlarına ulaşmış olarak kabul edilir (Arnold vd., 1982). Böylece ülkelerdeki deprem yönetmelikleri sürekli

geliştirilmektedir ve sonuçta depremlerde oluşan hasarların çoğunun tasarım hatalarından kaynaklandığı görülmektedir.

Yapısal tasarımın öncelikli hedefi, belirlenen bir etkiye karşı yapıda gerekli dayanımı sağlamaktır.

Depreme karşı yapı güvenliğinin sağlanmasında, öncelikle taşıyıcı sistemin tasarımının iyi yapılmış olması gerekmektedir. Bu tasarım sonucu oluşturulan yapı taşıyıcı sistemin yapısal çözümlenmelerini dikkate alan davranışıyla, deprem altındaki davranışı birbirine çok yakın olmaktadır. Taşıyıcı sistemin dayanımı için yapı elemanlarının dayanımları gereklidir. Yapı elemanlarının dayanımları elemanların birleşim bölgelerinin uygun olarak düzenlenmesi projelendirilmede öngörülen dayanımların oluşabilmesi bakımından çok önemlidir. Yapının deprem güvenliğinin sağlanmasında, taşıyıcı sistemin tasarımının iyi yapılması çoğu zaman çözümlenmeden daha önemlidir. Bu nedenle yapı taşıyıcı sistemin tasarlanmasında dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda verilmiştir.

1.2.4.1.Geometri

Yapılan araştırmalarda gösteriyor ki; yapı ne kadar basit olursa, depreme karşı davranışı o kadar iyi olur. Çünkü basit bir yapının deprem etkisi altındaki davranışı da basit olduğundan, deprem anındaki davranışını tahmin etmek ve buna göre çözümlenme yapmak daha kolay olmaktadır. Karmaşık ve düzensiz yapıları modellemek ve ek olarak ortaya çıkan burulma etkisini hesaba katmak daha uzun işlemler gerektirmektedir.

Benzer nedenlerden ötürü yapı geometrisinin mümkün olduğunca simetrik olması istenir. Bunun nedeni asimetrik binalarda sıklıkla karşılaşılan düzensizlik problemleri ve burulmaları önlemektir. Ayrıca düzgün geometriye sahip bir yapının inşası daha kolay olmakta ve yapımında hata yapma olasılığı da çok daha az olmaktadır.

Plandaki şekil L, T, H ve Y şeklindeki binalar meydana gelen depremlerde önemli hasarlar gözlemlenmiştir. Her zaman yapının simetri olması yeterli olmayabilir. Örneğin planda + şekilde yapı simetrik olmasına rağmen, deprem hareketinde orta kısımlar 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. Sonuçta simetri sadece 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. Böyle bir durumda binanın düzgün parçalara bölünmesi gerekmektedir (Işık, 1996).

1.2.4.2. Süreklilik

Taşıyıcı sistemde plan ve düşeyde bulunan elemanların dayanımlarının düzgün ve sürekli olarak düzenlenmesi davranışı olumsuz yönde etkiler. 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 arasında dışmerkezlilik 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 hasarlarda önlenmiş olmaktadır. Taşıyıcı sistemde süreklilik ile elemanların birbirine yardım etmesi sağlanırken, elastik davranışın ötesindeki taşıma kapasitesi artırılmış olur. 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 ermesinde kısa bir süre sonra göçme yüküne erişilmektedir. Bu durum prefabrike yapıların kuvvetli deprem hareketi altındaki zayıf noktasını oluşturmaktadır (Doğangün, 2005).

1.2.4.3. Rijitlik ve Dayanım

Taşıyıcı sistemin sürekliliği kadar rijitliği de önemlidir. Taşıyıcı sistemin her zaman yeterli rijitliğe sahip olması istenir. Yeterli rijitliğin sağlanmasıyla yapıda oluşan ikinci mertebe momentlerini mümkün olduğunca küçültmek hedeflenmiştir. Böylelikle sıkça oluşan depremlerde yani kullanılabilirlik sınır durumuna karşılık gelen depremlerde yapısal olmayan hasarları azaltmak bununla birlikte yapı içerisindeki aletlerin çalışmasına engel olacak ve insanları rahatsız edecek deformasyonları önleyebilmektedir (Doğangün, 2011).

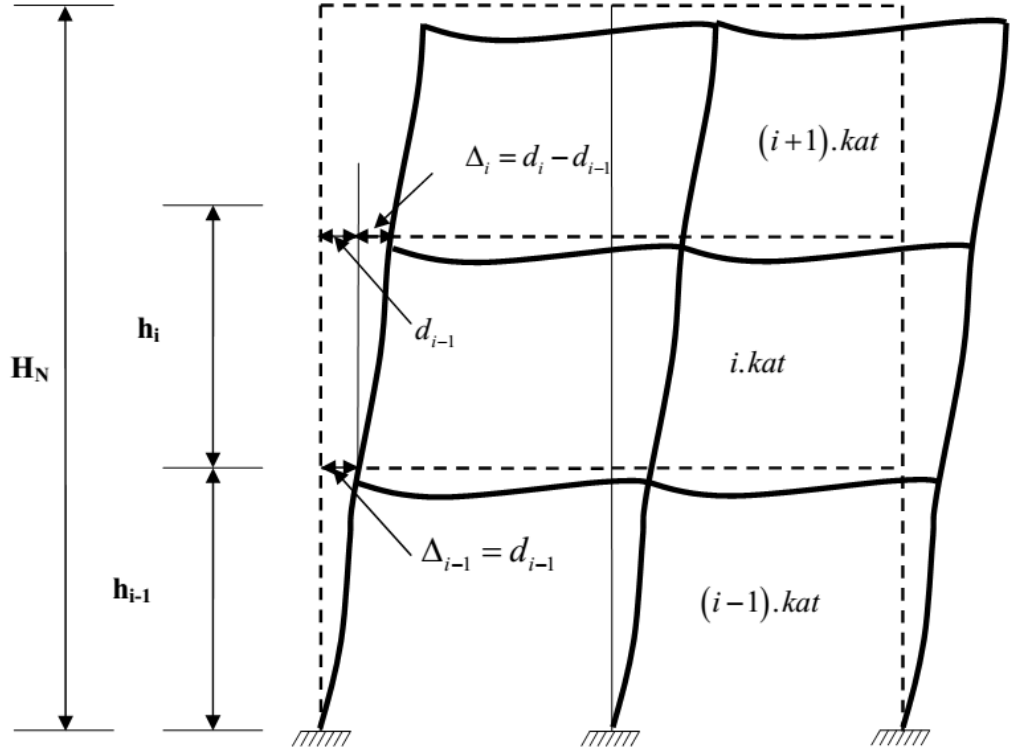
Taşıyıcı sistemin rijitliğini değiştirerek deprem etkisinde oluşabilecek yerdeğiştirmeleri azaltmak mümkündür. Böylece hem taşıyıcı sistemde hem de taşıyıcı olmayan kısımlarda oluşabilecek hasarların azaltılması mümkün olabilir. Çünkü yapı elemanlarının rijitliklerini uygun seçerek titreşim periyodunu belirli bir aralığa getirilip deprem etkilerini azaltmak mümkün olabilmektedir. Bunun için zeminin hakim periyodunu hesaba katarak yapıyı rezonansa getirecek periyot oluşturacak rijitlik değerlerinde kaçınmak gerekmektedir. Örneğin derin tabakalar halinde yumuşak zeminin bulunduğu, uzun zemin periyotlarının etkili olduğu bölgelerde, kısa periyotlu rijit, az katlı yapılar inşa etmek daha uygundur. Buna karşılık, yüksek frekans yani kısa periyodu etkili olduğu kaya bölgelerde yüksek periyotlu, çok katlı yapılar inşa etmek uygun olmaktadır.

Yapının rijitliğini artırarak depremde meydana gelecek şekil ve yer değiştirmeleri, azaltmak mümkündür. Böylece taşıyıcı sistem ve taşıyıcı olmayan sistemdeki hasarlar azaltılabilir. Özellikle yüksek yapılarda deprem esnasında düşey yüklerin ikinci mertebe etkilerini sınırlı tutmak için yer değiştirmelerin sınırlandırılması amacıyla rijitliğin artırılması gerekmektedir. Bunun yanında yatay kuvvetlerin büyümesi yapıda istenmeyen bir durumdur. Yatay kuvvetin büyümesiyle donatıda akma, donatı ve betonda doğrusal olmayan davranışın etkili duruma geçmesi, rijitliği azaltmaktadır.

Bir deprem esnasında, zemin kat hem kendi yükünü hem de diğer katlardaki yatay yükleri taşıması gerektiğinden, bu kata gelen deprem etkisi diğer katlardan daha fazladır. Bu sebeple zemin kat elemanlarının dayanımları ve rijitlikleri diğerlerinden daha büyük olması gerekmektedir. Ancak yapının farklı kullanım amacına sahip olması ve bazı mimari nedenlerden dolayı zemin katın hacimlerinin geniş, taşıyıcı elemanlarının narin ve bölme

duvarlarının az olması istenilebilmektedir. Böyle bir durumda yapılması gereken ile istenilenlerin dengelenebilmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Deprem yönetmeliğinde yapı rijitliği ile, dolayısıyla da depremde yapıda meydana gelebilecek yerdeğiştirmelerle ilgili olarak belirtilen özelliklerden görelî kat ötelemesi, iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eder (Şekil3) ve $\Delta_i = d_i - d_{i-1}$ (1.1) şeklinde tanımlanır.



Şekil 3. Yapılarda oluşan yatay yer değiştirmeler (DBYBHY-2007).

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

$$(\Delta_i)_{\max} \leq \left\{ \begin{array}{l} 0,0035h_i \\ 0,02h_i / R \end{array} \right\} \quad (1.2)$$

koşullardan elverişsiz olanı sağlamalıdır. Bu koşulların yapının herhangi bir katında sağlanmaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artarak deprem hesabının tekrarlanması gerekmektedir.

Yeterli dayanımdan amaç; öncelikle taşıyıcı sistem elemanları, kendilerine etkiyen yük ya da yük etkileri nedeniyle oluşacak kesit zorluklarını yani taşıma gücünü aşmadan taşıyabilmektedir. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmelikte yapıların depreme dayanıklılığı, yapının deprem enerjisini tüketmesi ile korunmasını ve bu amaçla yapının yeterince sünek olmasını ister. Yönetmeliğin amacı, şiddetli depremlerde bile yapının kısmen ya da tamamen çökmemesidir.

1.2.4.4. Süneklik

Yapı ve yapı elemanlarının taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan deformasyon yapabilme ve tekrarlı yükler etkisinde enerji yutabilme özelliğine o yapının yada yapı elemanlarının sünekliği denilmektedir (Doğangün, 2011). Yapı deprem sırasında, hasar görmeden deprem enerjisini yaptığı deplasman ile sönmüleyebiliyorsa yapının sünek olduğu söylenebilir.

Yapının elastik yük taşıma gücü büyük olursa, büyük depremlerde yapıda çatlak bile oluşmayabilir. Yani, enerjinin tamamı plastik aşamaya geçmeden, elastik aşamada tüketilir. Böyle bir durumda, kesitlerin aşırı büyük tasarlanması gerekmektedir ve buda yapının maliyetini artırdığı için pek istenen bir durum değildir. Bunun çözülebilmesi için yapıyı sünek davranış gösterecek şekilde tasarlayarak enerjinin bir kısmını plastik aşamada tüketmek gerekmektedir. Böylece enerjinin çoğu yapıda oluşacak plastik mafsallarda tüketilir. Plastik mafsallık olan bir kesitte, enerji tüketimi açısından büyük şekil değiştirme kapasitesi olması gerekmektedir. Kırılmayı ortaya çıkaracak olan bu önemli kesit şekil deformasyonları sırasında enerji o kadar fazla başka amaca çevrilerek kullanılmış olur ki, kesit tam kırılma konumuna varmadan enerjinin tümüne yakını tükenmiş olur. Böyle bir durumda yapının depremi yıkılmadan atlama olasılığı artmaktadır (Doğangün 2011).

Yapının bütün bir şekilde sünek davranış göstermesi için, öncelikle kullanılan malzemenin ve elemanların kendilerinin de yeterli seviyede sünek davranış göstermeleri gerekmektedir (Doğangün, 2011).

Yeterli süneklilik projelendirilmesinin ekonomik olması açısından önemlidir. Bir projeye başlarken yapının süneklilik düzeyine karar verilmektedir. Bu karar deprem bölgesine, taşıyıcı elemanların özelliklerine ve binanın kullanım amacına göre verilmektedir. Sonuçta yapının inşa edilmiş hali bu projede dikkate alınan sünek davranışı gösterebilmelidir. Bunun olmaması durumunda yapı ağır hasarlar alabilir ve hatta yıkılabilir.

1.2.4.5. Göçme

Depreme dayanıklı yapı tasarımında kesitler boyutlandırılırken özellikle düşey taşıyıcıların dayanımını kaybederek tüm sistemin göçmesinden veya burkulma gibi problemlerden uzak durmak istenir. Böylece şiddetli bir deprem anında, sistemin elastik ötesi davranışı dikkate alınarak göçme durumunun incelenmesi gerekir. Bir başka çözüm ise yapılarda kuvvetli kolon- zayıf kiriş prensibine uyularak kolon yerine kirişlerde plastik mafsallın oluşması istenir ve göçmeye karşı önlem alınır.

1.3. Yapısal Düzensizlikler ve Yapı Davranışına Etkileri

Yapıların depreme karşı davranışlarının olumsuz yönde etkileyen ve bu nedenle tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensizlikleri içeren yapılar düzensiz yapılar olarak adlandırılır (DBYBHY). Bu düzensizlikler aşağıda verilmektedir.

1.3.1. Planda Düzensizlik Durumları

1.3.1.1. Burulma Düzensizliği Durumu

Yürürlükte bulunan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” (DBYBHY-2007) ‘te A1 türü düzensizlik olarak verilmiştir. Burulma

düzensizliği genel olarak çok katlı yapılarda plan geometrisinin veya planda rijitlik dağılımının simetrik olmamasından kaynaklanmaktadır.

Burulma düzensizliği katsayısı (η_{bi}), birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için ötelenmesinin, o kattaki aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelenmeye oranı olarak ifade edilebilir. Bu katsayının 1.2 'den büyük olması durumunda burulma düzensizliği var kabul edilir (DBYBHY-2007).

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1.2 \quad (1.3)$$

$$(\Delta_i)_{\max} = (d_i)_{\max} - (d_{i-1})_{\max} \quad (1.4)$$

$$(\Delta_i)_{\min} = (d_i)_{\min} - (d_{i-1})_{\min} \quad (1.5)$$

$$(\Delta_i)_{\text{ort}} = (d_i)_{\text{ort}} - (d_{i-1})_{\text{ort}} \quad (1.6)$$

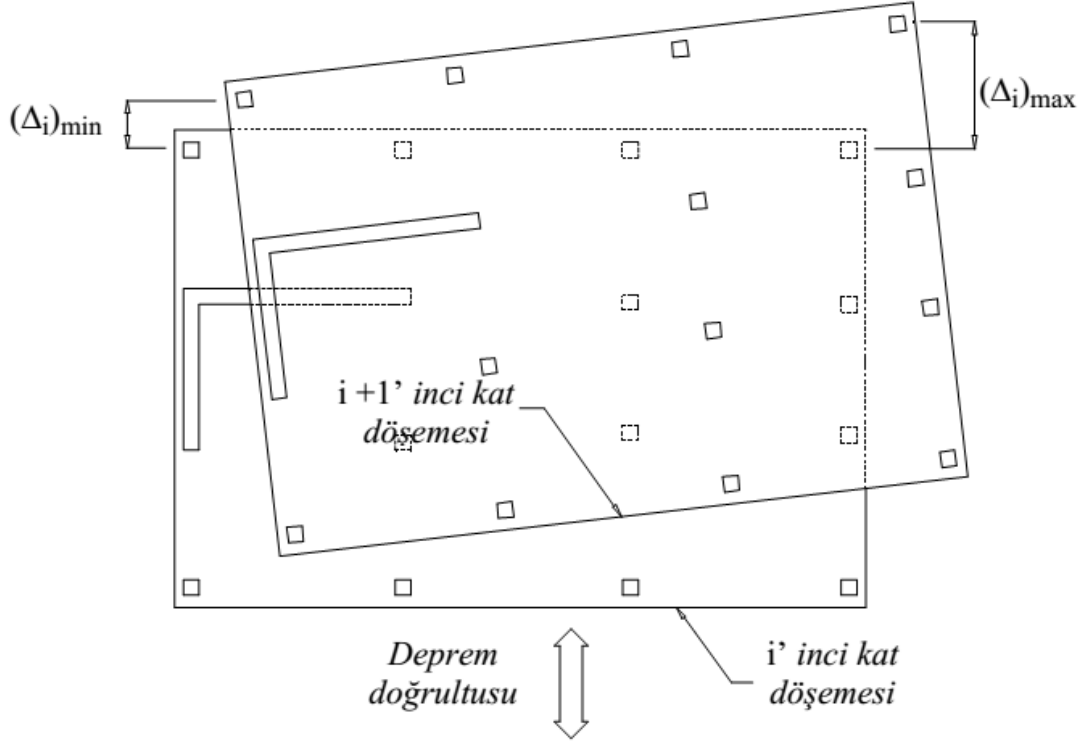
Burada,

d_i : Binanın i 'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme

d_{i-1} : Binanın $(i+1)$ 'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme

Δ_i : Binanın i 'inci katındaki görelî kat ötelemesi

Kat deplasmanları d_i ve görelî kat ötelemeleri Δ_i , deprem yüklerinin \pm %5 eksantrik olarak yapıya etki ettirilmesiyle belirlenir (Şekil 4).



Şekil 4. Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumu (DBYBHY-2007).

$(\Delta_i)_{\max}$: Binanın i 'inci kattaki maksimum görelî kat ötelemesi

$(\Delta_i)_{\min}$: Binanın i 'inci kattaki minimum görelî kat ötelemesi

$(\Delta_i)_{\text{ort}}$: Binanın i 'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesidir.

Burada kat ortalama yatay yer değiştirmesi bina döşemesinin rijit diyafram gibi davrandığı kabul edilerek, en küçük ve en büyük yer değiştirmelerin ortalaması alınmıştır (Arslan, 2007).

$$(\Delta_i)_{\text{ort}} = [(\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}] / 2 \quad (1.7)$$

Deprem yüklerinin etkidiği kütle merkezi ile rijitlik merkezinin birbiriyle çakışmaması ve ikisinin birbirinden uzak olması sonucu ortaya burulma düzensizliği çıkar.

Burulma düzensizliği katsayısının, 1.2 ve 2 değerleri arasında olduğu durumlarda yapıda burulma düzensizliği meydana gelmektedir. Bu durumda, bu katta uygulanan \pm %5 ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülür ve taşıyıcı sistemin daha fazla zorlanması sağlanır (DBYBHY-2007).

$$D_i = (\eta_{bi} / 1.2)^2 \quad (1.8)$$

η_{bi} katsayısının 2 üst sınır değerini aştığı durumlarda ise, DBYBHY’te bulunan dinamik hesap yöntemleri öngörülmektedir.

Her katta bulunan kolonlar, kirişler, döşeme ve bölme duvar ağırlıkları ile diğer sabit ve hareketli yüklerin ağırlıklarının x ve y koordinatlarına göre sistemin kütle merkezi hesaplanır.

Rijitlik merkezi ise, yapının deprem kuvveti etkisi altındaki yatay yük taşıyıcı elamanlarda oluşan kesme kuvvetinin herhangi bir kat için iki doğrultuda hesaplanan bileşkelerinin kesişme noktasıdır. Rijitlik merkezi her kat için aynı ise sistemin gerçek bir dönme eksenine sahiptir. Fakat dönme eksenine bütün katlar için ortak değilse kat rijitlik merkezine ait koordinatların dış yüklerle göre ağırlıklı ortalamaları alınarak tek bir dönme eksenine oluşturulur.

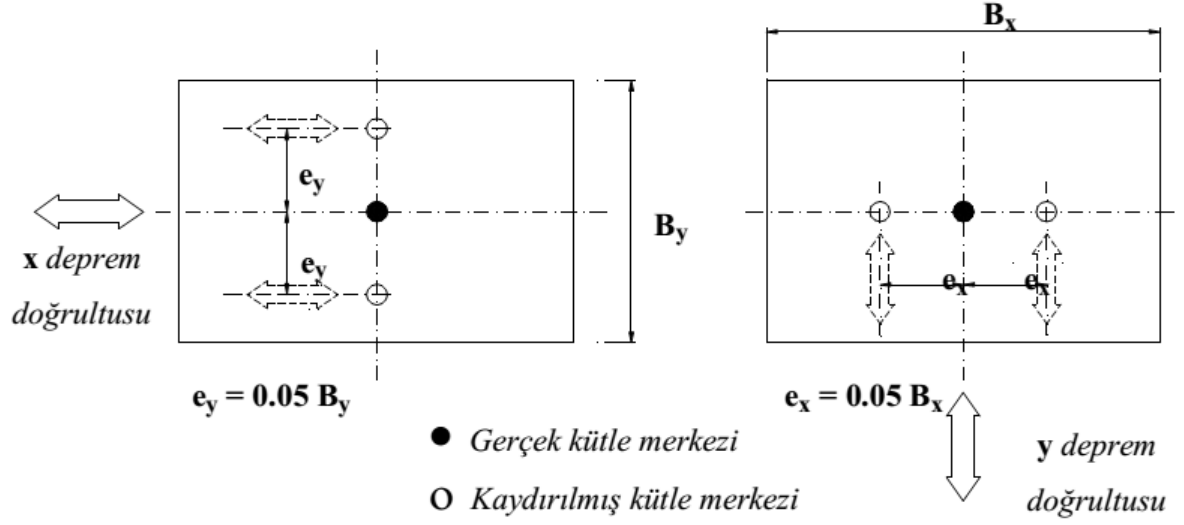
Deprem kuvvetleri birbirine dik iki eksen doğrultusunda uygulanması, kat içinde tek bir nokta olarak hesaplanan kütle merkezine etki eder. Rijitlik merkezi ile kütle merkezi çakışıyorsa kat içinde dışmerkezlik oluşmaz. Bunun sonucu olarak, $e=0$ $M_b=0$ olur ve dönme hareketi meydana gelmez. Sonuç olarak sadece x ve y ötelemeleri oluşur.

Eğer rijitlik merkezi ile kütle merkezi katta çakışmıyorsa, katta burulma momenti ve rijit kütle dönmesi ortaya çıkar. Bunun sonucunda deprem yükleri kuvveti etkisinde birbirine dik iki yönde e_x ve e_y dışmerkezlik mesafeleri oluşur.

Kaydırılmış kütle merkezi, gerçek kütle merkezinin dikkate alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun \pm %5’ i kadar kaydırılması ile elde edilen nokta olarak tanımlanmaktadır (Şekil 5).

$$e_{dx} = e_x + B_x \quad (1.9)$$

$$e_{dy} = e_y + B_y \quad (1.10)$$



Şekil 5. Kaydırılmış kütle merkezleri (DBYBHY-2007).

1.3.1.2. Döşeme Süreksizliği Durumu

“Deprem Bölgeleri Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’ te A2 tipi Döşeme Süreksizliği olarak verilmiştir.

Döşemeler, düşey yükleri kenardaki duvar, kolon veya kirişe aktaran düzlemsel elemanlardır. Döşemeler hem düşey yükleri taşır hem de deprem etkisi gibi yatay yükleri bir düşey elemandan diğerine aktarma görevini yüklenirler (Ersoy, 1995).

Döşemeler kendi aralarında rijit diyafram olarak kabul edilirler. Rijit diyafram kabulünde döşemelerin düzlemi içinde sonsuz rijit olduğu yani şekil değiştirmedeği kabul edilmektedir. Böylece döşeme üzerinde seçilen bir "Master Noktası" nın birbirine dik iki yatay ötelenme ve döşeme düzlemine dik eksen etrafında dönme deplasmanlarının bilinmesi durumunda, döşeme üzerindeki diğer düğümlerin deplasmanları master noktası deplasmanlarına bağlı olarak hesaplanabilmektedir (Çağatay, Güzeldağ, 2002).

Yönetmelikte herhangi bir kattaki döşemede süreksizliğin üç durumu tanımlanmıştır;

I- Merdiven ve asansör boşlukları dahil olmak üzere, boşluk alanları toplamının (A_b) kat brüt alanının (A) $1/3$ 'ünden fazla olması (Şekil 7).



(a)

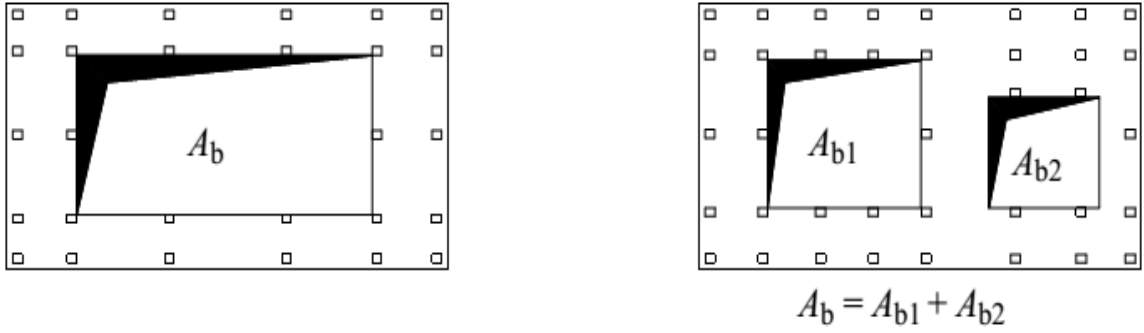


(b)



(c)

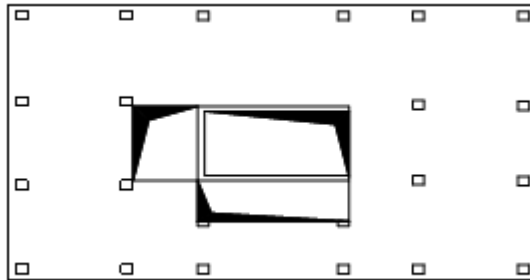
Şekil 6. Burulma düzensizliği nedeniyle hasar gören yapılar, (a) (URL-3, 2013),
(b) (c) (URL-2, 2013).



A_b : Boşluk alanları toplamı A : Brüt kat alanı $A_b/A > 1/3$

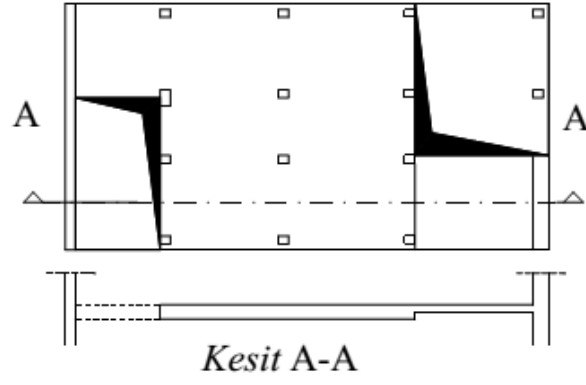
Şekil 7. A2 türü düzensizlik durumu I (DBYBHY-2007).

II- Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması (Şekil 8).



Şekil 8. A2 türü düzensizlik durumu II (DBYBHY-2007).

III-Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımda ani azalmaların olması olarak tanımlanmıştır (Şekil 9) (DBYBHY-2007).



Şekil 9. A2 türü düzensizlik durumu III (DBYBHY-2007).



(a)

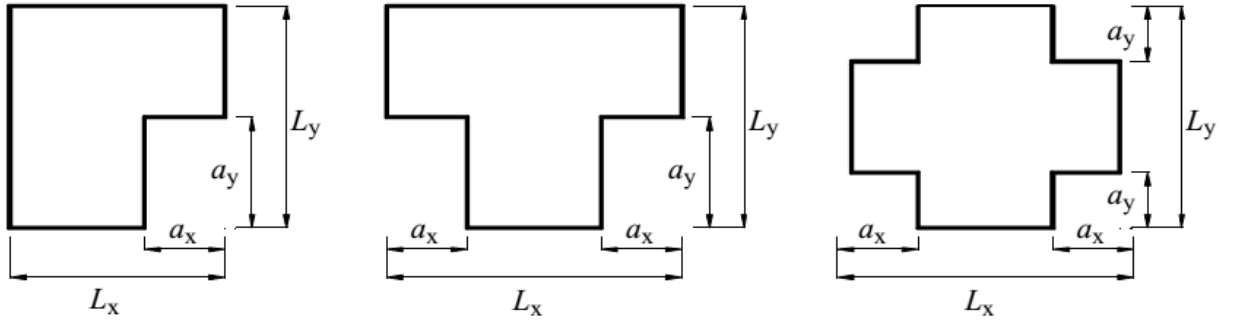


(b)

Şekil 10. Döşeme süreksizliği düzensizliği nedeniyle hasar gören yapılar,
(a)(b) (URL-3, 2013).

1.3.1.3. Planda Çıkıntılarının Bulunması Durumu

“Deprem Bölgeleri Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’te (DBYBHY-2007) A3 türü düzensizlik olarak verilmiştir. Yapı kat planında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki yöndeki boyutlarının her ikisinin de (a_x , a_y), yapının o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının (L_x, L_y) %20’sini geçmesi halinde, sistemde A3 türü düzensizlik bulunduğu kabul edilmektedir (Şekil 11).



$$a_x > 0,2 L_x \text{ ve aynı zamanda } a_y > 0,2 L_y$$

Şekil 11. A3 türü düzensizlik durumu (DBYBHY-2007).

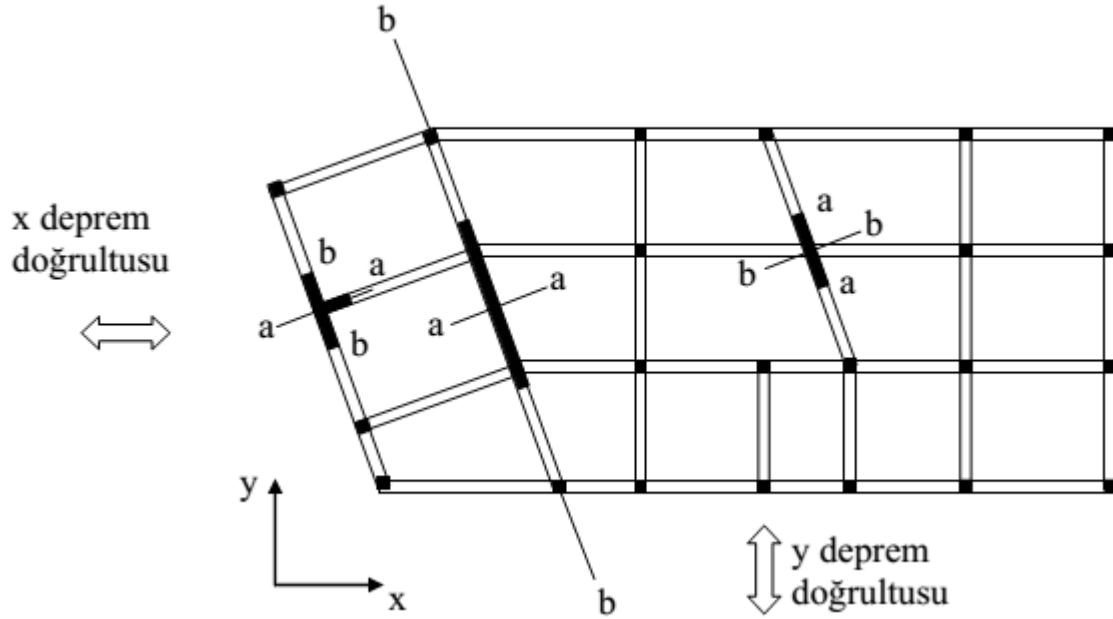
Plandaki girinti ve çıkıntılar deprem esnasında yapıdan farklı olarak hareket ederek köşelerde gerilmelere neden olur ve bunun sonucunda yapıda hasarlar meydana gelir. Bu yüzden planda oluşabilecek girinti ve çıkıntılardan mümkün mertebe kaçınılmalı, yapının planı düzgün geometriler şeklinde hazırlanmalıdır. Eğer yapının planı simetrik değilse, yapı dilatasyon derzleri ile simetrik parçalara bölünerek bu düzensizlik olması engellenmelidir.



Şekil 12. Planda çıkıntılarının bulunması düzensizliği ile hasar gören yapılar, (a)(b)(URL-3, 2013).

1.3.1.4. Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması Durumu

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, göz önüne alınan dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumudur (Şekil 13).



Şekil 13. A4 türü düzensizlik durumu (DBYBHY-2007).

Yapıda A4 türü düzensizliğin bulunması durumunda, düzensizlik bulunan elemanların (a) asal eksen doğrultusundaki iç kuvvetler;

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0,3 B_{ay} \quad (1.11)$$

$$B_a = \pm 0,3 B_{ax} \pm B_{ay} \quad (1.12)$$

olarak düzenlenir. Aynı işlemler (b) ekseninde yapılırken en elverişsiz kesit tesiri olana göre tasarım yapılmalıdır. Yukarıdaki formüllerde,

B_a : Taşıyıcı sistem elemanının (a) asal eksen doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğünü,

B_{ax} : Taşıyıcı sistem elemanının (a) asal eksen doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğünü,

B_{ay} : Taşıyıcı sistem elemanının (a) asal eksen doğrultusunda, y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğünü göstermektedir.

1.3.2. Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

1.3.2.1. Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) Durumu

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 olarak tanımlanan η_{ci} , Dayanım Düzensizliği Katsayısı'nın 0,80'den küçük olması durumudur (Şekil 14) (DBYBHY-2007). Bu düzensizlik durumu için DBYBHY ' te gösterilen bağıntılar,

$$\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0,80 \quad (1.13)$$

Herhangi bir kattaki etkili kesme alanının ifadesi,

$$\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0,15 \Sigma A_k \quad (1.14)$$

olarak hesaplanacaktır. Bu bağıntıda,

ΣA_w : Herhangi bir kattaki kolon en kesiti etkin gövde alanları toplamı,

ΣA_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,

ΣA_k : Binada herhangi bir katta kapı ve pencere boşlukları çıkarıldıktan sonra, hesap yapılan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvar alanlarının toplamını göstermektedir.



Şekil 14. Komşu katlar arası dayanım düzensizliği durumu ile hasar gören yapı (URL-3, 2013).

1.3.2.2.2. Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) Durumu

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i 'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumu olarak tanımlanmaktadır. Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm\%5$ ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak yapılacaktır.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2.0 \quad (1.15)$$

veya

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 2.0 \quad (1.15)$$

B2 düzensizlik durumu özellikle ticari kullanıma yönelik olarak tasarlanmış zemin katlarda kat yüksekliği fazla olan, camlı ve geniş mekanlar elde etmek amacıyla duvar örülmemesi durumunda görülmektedir. Zemin kat üstündeki dolgu duvarlar taşıyıcı sistem ile birlikte çalışıyorsa, duvarı bulunmayan zemin kat taşıyıcı sistem ile birlikte çalışmıyorsa katta rölâtif ötelemeler oluşarak yumuşak kat durumu gözlenmektedir. Bu durumun önlenmesi için yapılması gereken zemin kat üstündeki dolgu duvarların taşıyıcı sistem ile birlikte çalışıyorsa bunu engellemek gerekmektedir. Bunun için duvar-çerçeve elemanları arasına ezilebilir yumuşak malzeme konulmalıdır.

Betonarme yapılarda zemin kat ile birinci kat arasındaki rijitlik farkından dolayı zemin kat taşıyıcı kolonlarda büyük kesit tesirleri oluşmaktadır. Zemin kat kolonlarında deprem kuvvetlerinden dolayı büyük gerilmeler meydana gelir ve yanal deplasmanların büyümesi nedeniyle plastik mafsallaşmalar oluşur. Fakat depreme dayanıklı yapı tasarımında plastik mafsallaşmanın kolonlarda oluşmasına izin verilmemektedir.

Zemin kattaki rijitliğinin diğer katlara oranla küçük olması durumunda, deprem yüklerine karşı yapının dayanımı zorlanmakta ve bunun sonucunda da yapıda yanal ötelemeler artmakta ve kolonlarda plastik mafsal oluşmaktadır. Zemin kattaki ani rijitlik değişimleri nedeniyle, zemin kat kolonlarının üst noktalarında, elastik olmayan davranıştan ötürü büyük hasarlar oluşmaktadır. Ayrıca, zemin kat kolonlarında oluşacak büyük yanal ötelemeler ikinci mertebeye momentlerine de yol açmaktadır.

Kocaeli 1999 depreminde oldukça sık rastlanan yumuşak kat oluşumuna ilişkin tipik bir görünüm aşağıdaki Şekil 15’de verilmektedir.



(a)



(b)



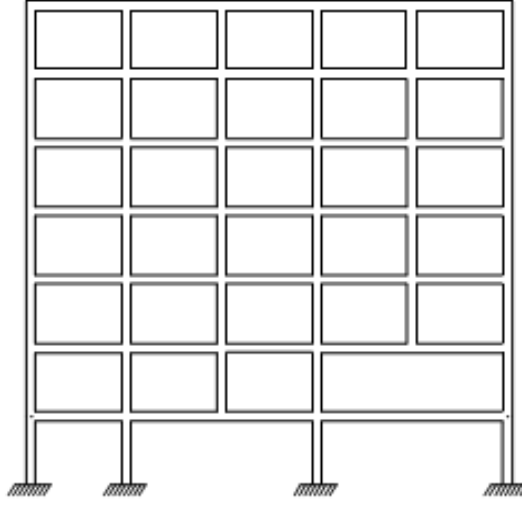
(c)



(d)

Şekil 15. Yumuşak kat düzensizliği ile hasar gören yapılar, (a) 1971 San Fernando – Kaliforniya depremi, (Tezcan vd., 2007), (b)(c) 1999 Kocaeli depremi, (Tezcan vd., 2007), (d) (URL-4, 2013)

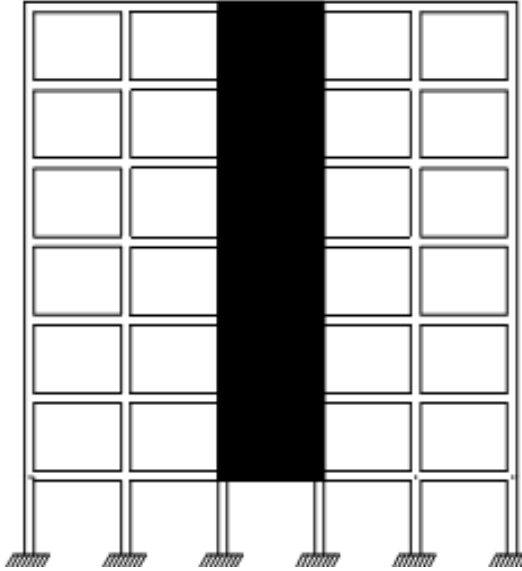
Yukarıdaki şekillerde üst katlarda rölatif ötelemeler oldukça küçük olmuş ötelenmenin hemen hepsi yumuşak katta meydana gelmiştir. Binaların üst katlarındaki camlar dahi kırılmamıştır. Meydana gelen depreminde yapıların yumuşak katı tamamen yıkılmasına rağmen üst katlarda yinede önemli bir hasar görülmemektedir.



Şekil 17. Kolonun iki ucundan mesnetli kirişe oturması durumu (DBYBHY-2007).

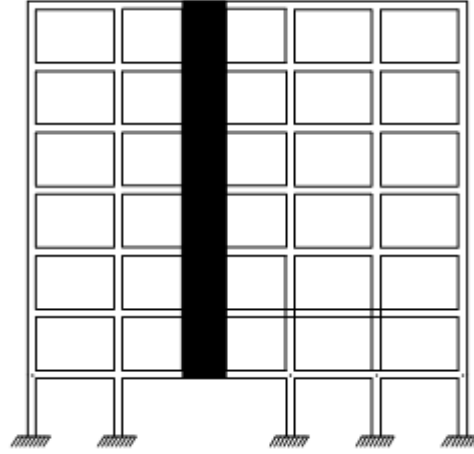
c) Üst katlardaki perdenin hiçbir zaman altta kolonlara oturtulmasına izin verilmez (bkz.

Şekil 18).



Şekil 18. Perdelerin kolona oturması durumu (DBYBHY-2007).

d) Binanın herhangi bir katında, perdelerin kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez (Şekil 19).



Şekil 19. Perdelerin kirişe oturması durumu (DBYBHY-2007).

Düşey taşıyıcı elemanların süreksiz olması deprem açısından istenmeyen bir durumdur. Şekil 20’de görüldüğü gibi, betonarme kolon veya perde duvar, bir katta kesilmekte veya yapı yüksekliği boyunca şaşırtılarak yerleştirilmektedir. Bu tip yapıların deprem esnasında ayakta kalmaları mümkün olmamaktadır. Öte yandan, düşey taşıyıcı elemanda herhangi bir süreksizlik olmasa bile yapı rijitliğin belirli bir düzeyde aniden değişmesi sebebiyle, deprem hareketinden olumsuz etkilenmektedir (Arslan, 2007).



Şekil 20. Taşıyıcı sistem düşey elemanların süreksizliği Durumu (URL-3, 2013).

1.4. Analiz Yöntemleri

Yürürlükteki Deprem Yönetmeliği-2007, deprem etkisi altında bulunan bina türü yapıların taşıyıcı sisteminde boyutlandırmaya esas olacak kesit etkilerinin belirlenmesi için aşağıdaki çözüm yöntemlerini önermektedir.

1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
2. Mod birleştirme Yöntemi
3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Bu yöntemler aşağıda kısaca tanıtılmaktadır.

1.4.1. Eşdeğer Deprem Yöntemi

Eşdeğer deprem yüğü yöntemi, taşıyıcı sistem kolon, kiriş ve perdelerden oluşmuş yapılara etkiyen deprem yükleri, yapının kat hizaları seviyesinde etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Bu yatay yüklerin, binanın birbirine dik olan iki asal doğrultuda ayrı ayrı etkiği düşünülerek, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarda kesit tesirleri bulunmaktadır. Bu yöntem önerilen üç yöntemden uygulaması en kolay olanıdır.

1.4.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Modal birleştirme yönteminde maksimum iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesiyle elde edilir. Binaya etkiyen toplam deprem yüğü, kat kesme kuvveti, kesit tesirleri (iç kuvvet bileşenleri) ve yerdeğiştirmeler gibi büyüklüklerin maksimum değerleri dikkate alınarak çözümlene yapılmaktadır. Bu yöntem hiçbir kısıtlama olmaksızın tüm taşıyıcı sistemlerde uygulanabilir.

1.4.3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri

Çeşitli amaçlarla kullanılan bu yöntemde yapının doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, daha önce kaydedilen veya yapay yollarla üretilen benzeştirilmiş yapay yer hareketi kullanılır. Bu yöntem çok hassas hesaplar gerektirir ve çözümü oldukça zaman alır. Deprem yönetmeliği bunu nükleer santraller gibi çok önemli yapıların tasarımında kullanılmasını önermiştir.

1.5. Dolgu Duvarların Çerçeveye ve Yapıya Etkileri

1.5.1. Dolgu Duvarlar ve Çerçeve Yapılar

Betonarme binanın taşıyıcı iskeletinin boşlukları yapay bloklarla yapılan duvarlarla doludur ve bu duvarların yapılma amacı binaya işlev kazandırmak ve iç ve dış mekanları bölmektir.

Betonarme çerçeveli sistemler, hesap yöntemlerinde en çok kullanılan yapı sistemi olmasına rağmen çoğu zaman dolgu duvarların yapı rijitliğine etkisi dikkate alınmamaktadır. Dolgu duvarların yapı rijitliğine katkısının ihmal edilmesinin sebepleri şunlardır (Sayın, Kaplan, 2005).

- Dolgu duvarların katkısını dikkate alan hesap modelleri oluşturmak oldukça karmaşık ve güç olabilmektedir.
- Dolgu duvarların katkısını dikkate alan hesap metotları, en azından proje tasarımı seviyesinde yoktur.
- Yapının enerji yutma kapasitesine ve rijitliğine katkısının genel olarak bilinmesine karşın güvenli tarafta kalması için hesaplarda dolgu duvarların etkisi ihmal edilmektedir.

1.5.2. Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri

Betonarme yapılarda dolgu duvarlar taşıyıcı sistem olarak düşünülmemekte, iç ve dış mekanların bölünmesinde kullanılmaktadır. Yapısal analizlerde de yalnızca düşey veya yapıya etkiyen sabit yük olarak hesaba katılmaktadır. Bu nedenle çoğunlukla boşluklu olarak üretilmektedir. Boşlukları nedeni ile yapıya daha az yük gelmekte, ancak dayanımları da düşmektedir (Yorulmaz, Altan, 1971). Yapılan çalışmalar göstermiştir ki dolgu duvarların rijitlik katsayısı kütle katsayısına oranla çok daha baskındır (Ersoy, Tankut, 1992). Dolgu duvarlar taşıyıcı sistemin yalnızca rijitliğini değil aynı zamanda enerji yutma ve sönüm kapasitesini de artırırken taşıyıcı sistemin yapı periyodunu da azaltmaktadır. Yapılan deneysel çalışmaların çoğunda dolgu duvarlı çerçevelerin dayanımlarının, rijitliğinin değiştiğini göstermektedir.

Bina hesaplarında bölme duvarların yük almadıkları kabul edilir. Ancak bu duvarların düşük yatay yükler altında önemli rijitlikleri ve yatay kuvvet taşıma güçleri vardır.

Altında dolgu duvar ya da bölme duvarı olmayan kirişlerin sehimi daha fazla yaptığı bilinmektedir. Altında dolgu duvarı olmayan bazı yapıların kirişleri açıklık ortalamalarında ya eğilme momenti ya da mesnetlerine yakın bölgelerde kesme çatlakları yada her iki tür çatlağın birlikte olduğu gözlenir. Ama aynı boyutta ve açıklıkta ki altında dolgu duvar olan kirişlerde bu çatlaklar yoktur. Buna benzer bir durumda bir kirişin altındaki kirişin kaldırılması ile meydana gelir. Bütün bunlar dolgu duvarların kirişlerin düşey yüklerini taşımaya katkısı olduğunu göstermektedir (Bayülke, 2003).

Dolgu duvarlı ve duvarsız çerçevelerin yatay yükler altında davranışlarını belirleme deneylerinde dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yüklere karşı dayanımlarının dolgu duvarsız çerçevelere göre en az iki kat daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Bayülke, 2003).

Betonarme çerçevelerin içinde yer alan tuğla dolgu duvarlar yapının ötelenmelerini aynı perde duvarlar gibi kısıtlamaktadır. Ancak şiddetli bir depremin başlangıcında ya da hafif şiddetli depremlerde bu durum tam olarak geçerlidir. Hasar görmeden önce perde duvar davranışı gösterebilen bölme duvarları, tıpkı betonarme perde duvarlar gibi yapı

planında simetrik konumlarda yerleştirilmişlerse ya da yapının bazı bölümlerinde yoğunlaşmış iseler yapıda burulma etkileri oluştururlar (Bayülke, 2001).

Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altında basit çerçeveye kıyasla daha rijit oldukları, bununla beraber yatay yükler altında maksimum deplasmanın, dolgu duvarlı çerçevelerin basit çerçeveye nazaran 2,6 kat daha az yer değiştirme yaptıkları belirlenmiştir (Negro, Verzelletti, 1996).

Basit çerçeveli sistemle, dolgu duvarlı çerçevelere ait sistemlerin süneklikleri karşılaştırıldığında, basit çerçevelerin daha sünek davranış gösterdiği izlenmiştir. Basit çerçevelerin süneklikleri, dolgu duvarlı çerçevelere nazaran 3,29 kat daha büyük olduğu görülmüştür (Govindan vd., 1986).

Dolgu duvarlı çerçeve dayanımları basit çerçeve dayanımlarından daha yüksek performans göstermektedir. Buna bağlı olarak da, dolgu duvarlı çerçevelerin sönüm kapasitesi basit çerçevelere göre daha yüksek olmaktadır ki; yapılan deneylerde bu oran 3,29 katı büyüklüğündedir (Govindan vd., 1986).

1.5.3. Dolgu Duvarların Yapının Deprem Davranışına Etkileri

Dolgu duvarlar, taşıyıcı sistem davranışına rijitlik, yük taşıma kapasitesi, süneklik, enerji yutma kapasitesini değiştirerek etki etmektedir. Bununla beraber dolgu duvarlar yapının serbest titreşim özelliklerini de değiştirmektedir. Dolgu duvarlar bir taraftan yapı kütesinin artmasını sağlarken, diğer taraftan doğal titreşim periyotlarının küçülmesini sağlamaktadır. Deprem etkisinde kalan yapı, başlangıçta bütün elemanları ile (toplam kütesi, toplam yatay rijitliği ile) devrededir. Bu taşıyıcı sistemin ve duvarların oluşturdukları yatay rijitlikler temel olmak üzere dağıtılan yatay yüklerin süneklikleri farklı olan, fakat başlangıçta beraber çalışan betonarme çerçeve ile dolgu duvarları ile birlikte karşılanır. Ancak depremin başlangıcından bir süre sonra gevrek olan dolgu duvarlarının çatlayarak devreden çıkması olasılığı yükseltir. Bu aşamadan sonra çıplak çerçeve depreme karşı koyacak, dolgu duvarlarının etkisi ise sadece kütle yönünden devam edecektir (Ersin, 1997). Bundan da anlaşıldığı gibi, deprem başlangıcında dolgu duvarlı taşıyıcı sistem periyotları oldukça küçük olacak, depreme beraber hasara uğrayan

duvarların etkisini yitirmesi ile sistem, mevcut yöntemlerle hesaplama sonucu elde edilen periyot değerlerine ulaşacaktır.

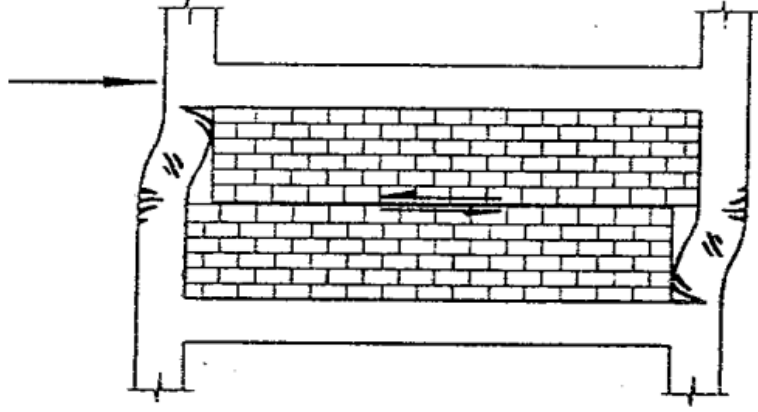
Sonuç olarak dolgu duvarlar özellikle hafif depremlerde ve şiddetli bir depremin başlangıcında, birlikte hareket edip ötelendikleri için yapıların deprem başlangıcında büyük rijitliklerinin bulunduğu, ancak duvarları yük taşıyamaz hale geldiği zaman sistemin duvarsız davranışa doğru gittiği gözlenmiştir. Deprem yönetmeliğinde bina hesaplarında tuğla, beton, briket vb. malzemeden yapılan bölme duvarlarının yük almadıkları kabul edilir. Fakat düşey yükler altında bu duvarların önemli rijitlikleri ve yatay kuvvet taşıma kapasiteleri vardır. Gelişmiş ülkelerin de deprem yönetmeliklerinde dolgu duvar- taşıyıcı sistem etkileşiminin yapı davranışı üzerindeki etkisinin hesaba katılmaması bu konuyu daha önemli hale getirmektedir.

1.5.4. Dolgu Duvarlı ve Dolgu Duvarsız Çerçevelerin Hasar Biçimleri

Yapı içerisindeki dolgu duvarlar düşey yük, deprem yükü ve yapı elemanlarının sehim yapmasından dolayı hasara uğrarlar. Bu duvar hasarlarına duvarda kullanılan tuğlanın cinsi, duvar kalınlığı, duvar ve tuğla arasında kullanılan harç, duvarın üzerindeki sıva, dolgu duvarların diğer taşıyıcı elemanlarla bağlantı, duvarda yer alan kapı ve pencere boşlukları, duvarın işçiliğe kadar birçok etken bulunmaktadır.

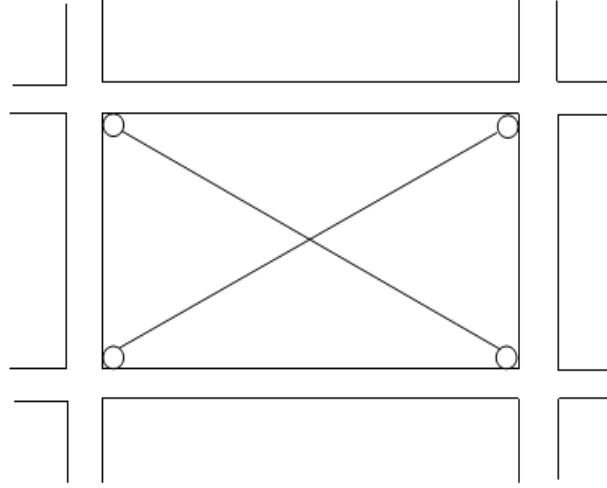
Dolgu duvarlı çerçeveler ve binalar üzerinde yapılan çalışmalarda, özellikle dolgu duvarlar üzerinde yer alan kapı, pencere boşluklarının yapı rijitliğine ve hasara etkisinin yüksek olduğu görülmüştür (Zarnic, Tomazevic, 1995).

Tekrarlı yükler altında dolgu duvarlı çerçeveler yatay yükün veya yatay yer değiştirmenin küçük değerlerinde, dolgu duvarla çerçeve elemanları aynı anda hareket ederek perde davranışı gösterecek (Şekil 21).



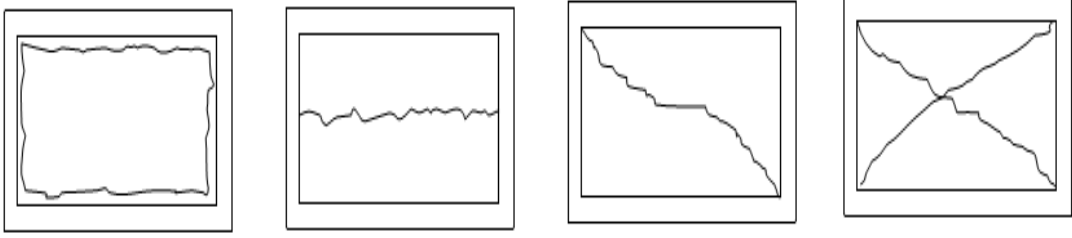
Şekil 21. Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük altındaki davranışı
(Kızıloğlu, 2006).

Başlangıçta dolgu duvarlı çerçevenin davranışı çapraz çubuklu çerçevenin davranışıyla aynı olacaktır (Şekil 22). Dolgu duvarda kayma davranışı sonucu kesme kırılmalarının meydana gelmesiyle dolgu duvarlı çerçevenin davranışı Şekil 21’deki gibi olacaktır (Pauley, Priestley, 1992).



Şekil 22. Dolgu duvarların çapraz diyagonal çubuklarla modellenmesi
(Kızıloğlu, 2006).

Bunun yanı sıra yüksek dolgu duvarlarla eğilme kırılması, dolgu duvarların çerçeve elemanları ile bağlantı noktalarında hasarlar da, diyagonal çatlaklar gibi hasarlardan meydana gelmektedir (Mehrabı, Shining, 1996) (Şekil 23).

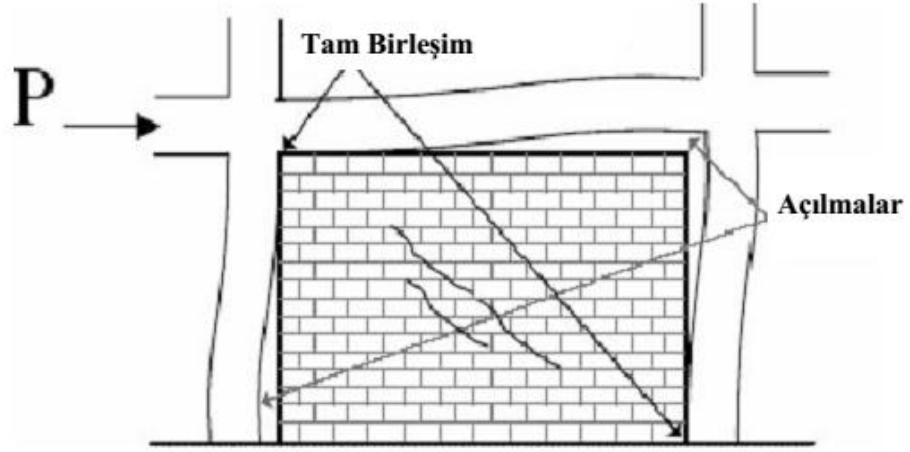


Şekil 23. Dolgu duvarlar hasarları (Kızıloğlu, 2006).

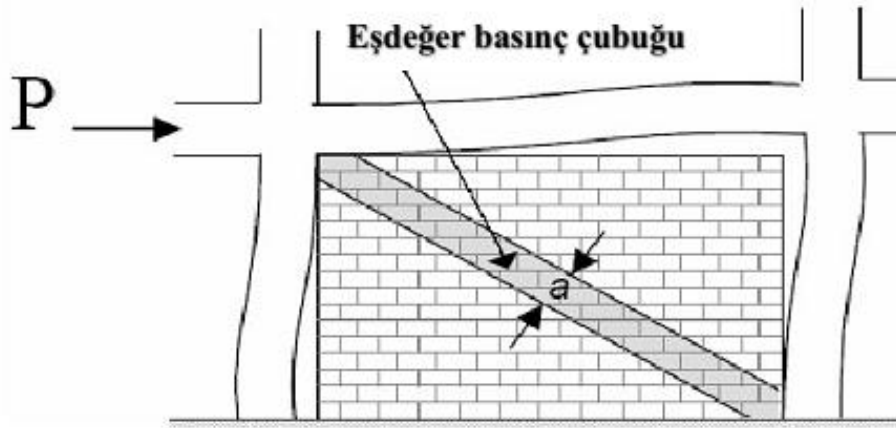
1.5.5. Dolgu Duvarlı Çerçevenin Modellenmesi

Dolgu duvarlı çerçevelerin modellenmesi ve hesabı için çok fazla araştırma ve uygulama yapılmıştır ama şimdiye kadar geçerliliği kanıtlanmış ve fikir birliği sağlanmış bir yöntem yoktur.

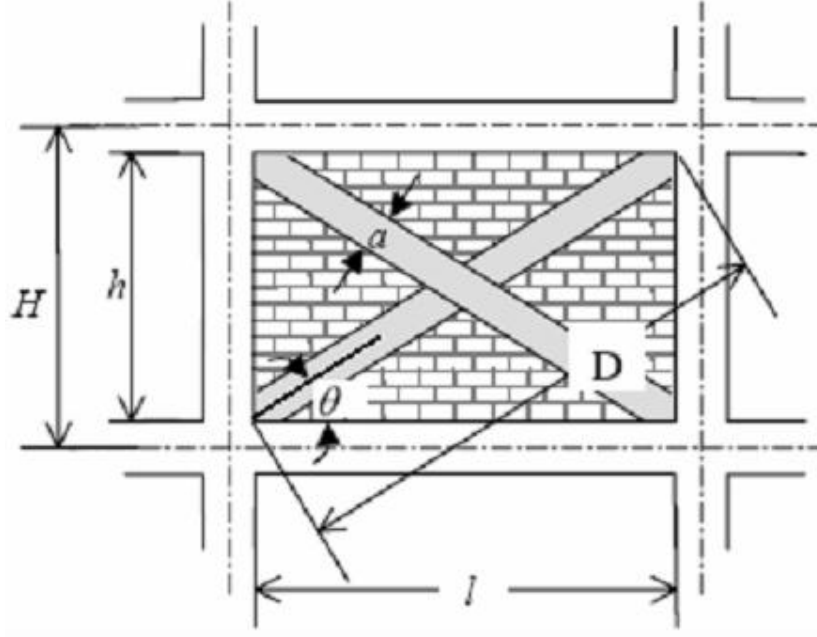
Dolgu duvarlı çerçeveler hakkındaki çalışmalar 1950'li yıllara dayanmaktadır. İlk olarak tuğla dolgu duvarlı çerçevelerle, daha sonrada boşlukların dikkate alındığı testlerin ilk uygulamaları Benjamin ve Williams tarafından 1957 ve 1958 yıllarında yapılmıştır. Yaptıkları deneyler neticesinde dolgu duvarların nihai dayanımı ve rijitliği hakkında yaklaşık formüller üretmişlerdir. Palyakov 1956 yılında, dolgu duvarların diyagonal çubuklarla tanımlanabileceği fikrini ortaya atmıştır. Bu fikirle bağlantılı olarak Holmes 1961 yılında diyagonalların kalınlığının dolgu duvarla aynı ve enine de dolgu duvarın köşegen uzunluğunun $1/3$ ' üne eşit olduğunu savunmuştur. Bu kural çerçeve görelî rijitliğine ve dolgu duvarların rijitliğine bakılmaksızın önerilmiştir. Smith 1962 yılındaki çalışmasında bu fikre katılmamış, görelî rijitlikteki çeşitliliğin diyagonal çubuk genişliğinde %100 farklılıklar yarattığını yaptığı testlerle ortaya koymuştur. Smith daha akılcı bir yolla düşünmüş ve genişlik ile rijitlik arasında bir bağlantı kurarak görelî rijitlik parametrelerini bulmuştur (Toker, 2007). Dolgu duvarlı betonarme çerçevenin yatay yük etkisi altındaki davranışı Şekil 24' te görülmektedir.



Şekil 24. Dolgu duvarlı betonarme çerçevenin yatay yük etkisindeki davranışı (Toker, 2007).



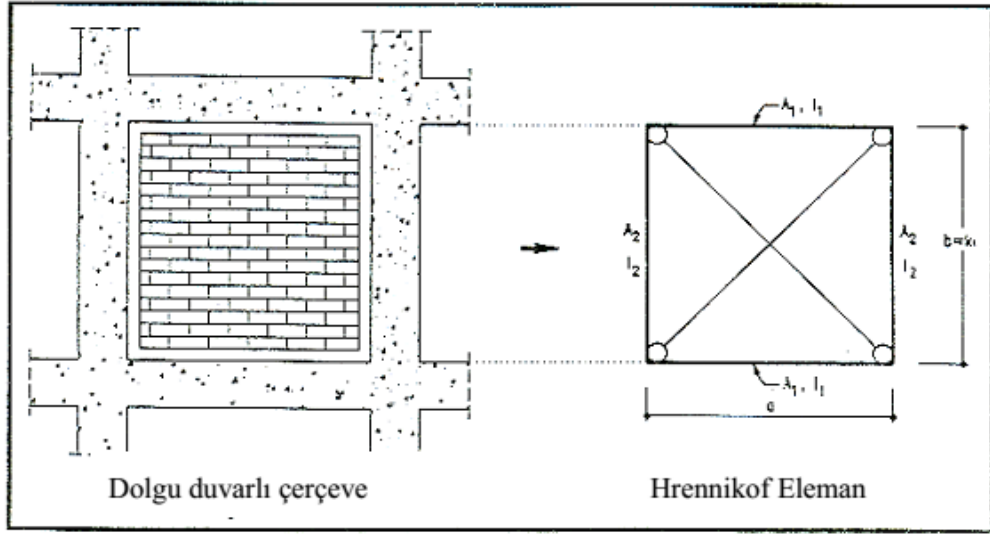
Şekil 25. Dolgu duvarlı çerçevede basınç çubuğu (Toker, 2007).



Şekil 26. Dolgu duvarın diyağonallar ile modellenmesi (Toker, 2007).

Günümüze kadar olan önemli sayıda çalışmalardaki eşdeğer basınç çubuğu (Şekil 25) yaklaşımını (iki eşdeğer basınç çubuğu ile duvarın modellenmesi) basitleştirildiği için, başarılı bir şekilde tasarlanmış ve dolgu duvarları değerlendirme çalışmalarında kullanılmıştır. Bu yaklaşım aynı zamanda Fema-356, (2005)' da da kabul edilmektedir (Toker, 2007).

Dolgu duvarların olumlu ve olumsuz yanları sonlu elemanlar yöntemi ile daha net anlaşılmıştır. Bu olumsuzluklar köşe kırılması veya diyağonal çekme çatlamlarıdır. Bu yöntemin avantajı oluşturulan elemanlarda yoğunlaşan gerilmenin yardımıyla olumsuz hareketlerin kolaylıkla gözlenebilmesidir. Yöntemin dezavantajı ise oldukça karmaşık olmasıdır ve bununla basit bir mühendislik modeli oluşturulamaz. Bu nedenden dolayı diyağonal modeline (Şekil 26) benzer bir dolgu duvar modelini oluşturma gereksinimi meydana çıkmıştır. Bu noktada tasarım mühendislerince çerçeve çalışma modeli uygulanarak daha basit bir uygulama modeli oluşturulmuştur. Burada çerçeve elemanlarına bitişik olan yüzey boyunca dört kenar desteği, iki adet bir diyağonal tanımlanmıştır. Bu yaklaşımı ilk olarak Hrennikof, (1941) tarafından Şekil 27 'deki gibi bir modele yansıtılmıştır (Toker, 2007).



Şekil 27. Dolgu duvarlı çerçevenin Hrennikof eleman olarak modellenmesi
(Toker, 2007).

1.6. Yumuşak Kat ve Burulma Düzensizliği Konusunda Daha Önce Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar

Tez kapsamında konuyla ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

Mallick ve Garg (1971), pencere ve kapı gibi boşlukların dolgulu çerçeve sisteminin rijitliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Boşlukların, yüklenen diyagonalin herhangi iki ucundan birinde bulunmasının, yapısal olarak uygun olmadığını ortaya çıkarmışlar, kapı boşluğunun, panelin alt yarısının merkezine, pencere boşluğunun ise panelin dik kenarına olabildiğince yakın olacak şekilde, orta yüksekliğe yerleştirilmesini tavsiye etmişlerdir. Böylelikle deneylerden ve sonlu elemanlar yaklaşımından elde ettikleri sonuçlar arasında kabul edilebilir benzerlikler olduğu sonucuna varmışlardır.

Ersoy vd., (1971), tarafından O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümünde yapılan bir araştırma projesinde, dolgulu çerçevelerin davranış ve mukavemetini incelemek için değişik yükler altında dokuz adet betonarme dolgulu çerçeve yapılmıştır. 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 göz önünde bulundurulmuştur. 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 çatlama öncesi davranışının elastik sınırlar içinde olduğu kabulü ile elde edilmiştir.

Gülkan ve Wasti (1993), başka bir çalışmada, çok açıklık veya katlı genel çerçevelerin temel birimi olarak tek açıklıklı ve tek katlı bir çerçeve gözü ele almışlardır. Çerçeve, elastik kolon kiriş elemanların 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. Yapılan incelemeler sonucunda dolgu duvarın çerçeve davranışını, duvar yüksekliği, duvar açıklığının üçte birinden fazla olduğu zaman etkilenmeye başladığı gözlemlenmiştir. Kolon kesme kuvveti, sadece çerçevenin dikkate alındığı hesaplarda verilen değere göre dört-beş katı artabilmektedir. Tamamen dolu çerçevenin davranışı ise, kısmen dolgulu çerçeveninkinden temel farklılıklar göstermektedir.

Dündar vd., (1998), yönetmelikte yer alan hesap yöntemleri, deprem analizi sırasında yapılması gereken kontroller, yapıda düzensizliklerin olması halinde gerekenler, rijitlik diyafram modeli ile sonlu elemanlar modelinin karşılaştırılması gibi birçok konu üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmadaki örnekler SAP 90 ve ETABS programları kullanılarak yapılmıştır.

Atımtay (2000), yapıların yatay yükler altında nasıl hesaplanacağını, Yeni Deprem yönetmeliğinde yer alan yapısal düzensizlikler ve benzeri kavramları açıklamıştır.

Özmen (2001), burulma düzensizliği katsayısının 2.00 üst sınırını aşması için gerekli olan koşulları, parametrik bir araştırma yöntemi ile incelenmiştir. Araştırma amacı ile perdeleri değişik konumlarda olan 8 tipik yapı grubu seçerek bunların deprem yükleri altındaki davranışlarını incelemiş ve sonuçları irdelenmiştir.

Doğangün ve Livaoğlu (2002), yaptıkları bu çalışmada yeterli rijitlik ilkesi açıklanmakta ve rijitlik ya da yumuşak kat düzensizliği olarak adlandırılan düzensizlik nedeniyle geçmiş depremlerde hasar görmüş yapı görüntüleri verilmişlerdir. Daha sonra

amaca uygun olarak toplam 6 ve 10 katlı çerçeve sistem taşıyıcı sisteme sahip yapılar ile 12 katlı perde çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapılar seçilmiştir. Yapıların modellenmesinde Sonlu Elemanlar Yöntemi, deprem hesabında ise Modların Birleştirilmesi Yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, binaya uygun şekilde yerleştirilen perdelerin yumuşak kat düzensizliğini engellediği görülmüştür.

Öktem (2003), yaptığı çalışmasında dolgu duvarları modellemiştir. Bu çalışmada dolgu duvarların yapı davranışına sistem rijitliği, dayanımı ve sünekliliği bakımından etkisini araştırmıştır. Dolgu duvarları temsilen eşdeğer sanal çubuk modeli kullanmıştır. Çözümlemelerle, yalın çerçeve sonuçlarıyla dolgu duvarlı çerçeve sonuçları karşılaştırılmıştır.

İrtem vd., (2005), çalışmasında, Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY) tanımlanan ve sadece yumuşak kat düzensizliği bulunan ve bu düzensizliğin giderildiği üç boyutlu betonarme binaların sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay deprem yükleri altında malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teoriye göre analizleri (pushover analizi) yapılarak, kapasite eğrilerini elde etmişlerdir. Binaların performans düzeyleri, hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli deprem tehlike sevipleri için lineer olmayan statik analiz yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi ile belirlenmiştir. Taşıyıcı sistemde en alt kat yüksekliği artırılarak yönetmelikte yumuşak kat düzensizliğinin (rijitlik düzensizliği) oluşturulması ile bina davranışının önemli oranda değiştiği ve bina performansı ile binanın başlangıç rijitliğinin önemli oranda azaldığı, tasarım depreminde yapının performansının (deprem güvenliğinin) olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte yumuşak kat düzensizliğine sahip binanın TDY'nde öngörülen performans hedeflerini sağlamadığı belirlenmiştir.

Akıncı (2005), Bu çalışmada çok katlı perde çerçeve sistemlerinde yatay yükler etkisi altında oluşabilecek burulma düzensizliğine, taşıyıcı eleman rijitlikleriyle, yapı geometrisi ve perdelerle paralel aksların sayısının etkileri araştırılmıştır. Burulma hesabında “Sürekli Burulma Çubuğu Analjisi Yöntemi”, öteleme hesabında “Diferansiyel Denklem Yöntemi” kullanılmıştır. Çalışmada Visual Basic 5.0 ile hazırlanan bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Beş ayrı yapının, hazırlanan bilgisayar programıyla öteleme ve burulma hesapları yapılmış ve elde edilen sonuçlar grafiklerle desteklenmiştir. Ayrıca başka bir yapının hazırlanan bilgisayar programı ve SAP 2000 programı ile hesabı yapılmış elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hem geometri hem de rijitlik dağılımı bakımından

düzensiz olan yapıların incelenmesinden elde edilen en önemli sonuç, bu tip yapıların davranış biçimlerinin sadece rijitlik dağılımı bakımından düzensiz olan yapılar ile paralel nitelikte olmasıdır. Burada, burulma düzensizliğinin hemen hemen sadece plandaki rijitlik dağılımının dengesiz olmasına bağlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Perdelerin konumları üzerinde inceleme yapılmıştır. Çeşitli yapı tipi gurupları üzerinde yapılan incelemelerden, perdelerin iç akslarda durumunda, kenar akslarda olmaları durumuna göre, daha elverişsiz burulma düzensizliği katsayıları değerleri elde edebileceği görülmüştür.

Evcil (2005), Yeni Deprem Yönetmeliğinde (TDY98) yer alan, bina ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemlerin seçiminde önemli düzensizliklerden biri olan A1- Burulma düzensizliğini incelemiştir. Bu çalışma çeşitli yapı tipleri üzerinde yapılmıştır. Bu yapı tipleri çözülerek burulma düzensizliği katsayısının aks sayılarına ve kat sayılarına göre değişimleri incelenmiştir. Ayrıca yapıda burulma düzensizliği ($\eta_{bi} > 2.00$) oluşmaması için mevcut kolon boyutları artırılarak, mevcut perde elemanlara simetrik perde elemanları yerleştirilerek ve perdelerin yapı içerisindeki konumları değiştirilerek değişik çözümler yapılmıştır. Bu konularda göz önüne alınan örnekler SAP2000 programı kullanılarak çözümlenmiştir.

Korkmaz vd., (2005), Antalya yöresinde de görülen yumuşak kat düzensizliği ve dolgu duvarların betonarme yapıların deprem davranışına etkilerini incelemiştir. Çalışma kapsamında alt kat kolonlarının daha yüksek olduğu ve dolgu duvarların mevcut olduğu betonarme yapıların deprem davranışındaki değişiklikler incelenmiştir. Bu amaçla, dolgu duvarların yapının tüm katlarında bulunduğu düzenli ve sadece alt katta bulunmadığı düzensiz yapıların da analizleri yapılarak, deprem davranışına etkileri incelenmiştir. Elastik ötesi statik itme analizi yapılarak yapıların kapasite eğrileri, kat yatay yer değiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri, kadardaki maksimum plastik dönmeler ve plastikleşen kesitlerin sistemdeki dağılımları belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre dolgu duvarların analiz sonuçlarını önemli oranda değiştirdiği görülmüştür. En kattaki dolgu duvarların olmadığı veya değişik nedenlerle yapının kullanımı sırasında kaldırıldığı durumda ise, analiz sonuçlarının beklenildiği gibi olumsuz yönde değiştiği görülmüştür. Buna göre, dolgu duvarların çeşitli nedenlerle olmadığı veya kaldırıldığı durumda ilk plastik kesitin olduğu andaki taban kesme kuvveti (deprem yükü) değeri, dolgu duvarların tüm katlarda olduğu duruma göre azalmıştır. Bu sonuç, sistemin rijitlik kaybettiğini göstermiştir. Plastik dönme değerleri de artmıştır. Tüm yapıda kat

yüksekliklerinin eşit olduğu durum ile en alt kat yüksekliğinin üst karlara göre fazla olduğu duruma ait pushover analiz sonuçlarına göre deprem davranışının beklenildiği gibi daha olumsuz tarafta olduğu görülmüştür.

Dönmez (2006), yaptığı çalışmada dolgu duvarların, deprem etkisi altında taşıyıcı sisteme katkısını araştırmıştır. Dolgu duvarları, eşdeğer sanal çubuk modeli kullanarak modellemiştir. Yaptığı analizler sonucunda, ele aldığı yapı modellerinin maksimum yer değiştirmelerini, taban kesme kuvvetlerini ve 1.mod titreşim periyotlarını elde etmiştir. Farklı taşıyıcı sistemlerin analiz sonuçlarını karşılaştırmış ve dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranış özelliklerini büyük ölçüde değiştirebildiğini gözlemlemiştir.

Işık (2006), bu çalışmada, geleneksel tasarım sırasında göz ardı edilen dolgu duvarların varlığının ve farklı zemin kat yüksekliklerinin, yapı davranışı üzerindeki etkileri incelemiştir. Özellikle, zemin kat seviyelerinde oluşan farklı kesit etkilerinin nedenleri incelenmeye çalışmıştır. Bu amaçla, zemin kat seviyesinde dolgu duvar yükseklikleri kademeli bir şekilde arttırılarak kısa kolon oluşumu gözlenmeye çalışmıştır. Diğer taraftan, zemin kat yükseklikleri arttırılarak da yumuşak kat oluşumunu incelemiştir. Her iki sakıncalı durumun ortaya çıkmasında yapı kat adetlerinin de etken olabileceği düşüncesiyle, zemin kat seviyelerinde yapılan uygulamalar farklı kat adetlerine sahip yapılarda da uygulamıştır. 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.

Kaya (2006), Bu tez çalışmasında Hareketli Yükün Görelî Kat Ötelenmesi ve Burulma düzensizliği üzerindeki etkisi incelenmek istenmiş bu amaçla farklı modeller kullanılarak, bina önem katsayısı ve hareketli yük artırma katsayısı gibi parametreleri değiştirerek “Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi” ile SAP2000 ile analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde Burulma Düzensizliği ve Görelî Kat Ötelenmeleri Kontrolü incelenmiştir. Ayrıca her analizde farklı döşemeler farklı hareketli yük ve artırma katsayılarının olduğu var sayılarak incelenmiş ve burulma düzensizliğine bakılmıştır.

Korkmaz ve Uçar (2006), yaptıkları çalışmada yumuşak kat düzensizliğinin betonarme yapıların deprem davranışına etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında alt kat kolonlarının daha yüksek olduğu ve dolgu duvarların mevcut olduğu

betonarme yapıların deprem davranışındaki değişiklikler incelenmiştir. Bu amaçla, dolgu duvarların yapının tüm katlarında bulunduğu düzenli ve sadece alt katta bulunmadığı düzensiz yapıların da analizleri yapılarak, deprem davranışına etkileri incelenmeye çalışılmıştır ve de alt kat yüksekliklerinin farklı olduğu yapılar ele alınmıştır. Doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılarak yapıların kapasite eğrileri, kat yatay yer değiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında analiz sonuçlarına göre, doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilen çerçeve yapıların yatay yer değiştirme değerleri incelendiğinde, alt kat yüksekliğinin diğer katlara göre daha fazla olması durumunda özellikle bu değişikliğin yapıldığı katta (birinci kat) yatay yer değiştirmeler artmaktadır. Kat yüksekliğinin arttırılmasıyla birlikte duvarın da çerçevede yer almaması durumunda ise yatay yer değiştirmeler yine birinci katta daha da belirgin bir şekilde artmaktadır. Buna bağılı olarak zorlamaların arttığı bu katta görelî kat ötelenmeleri de diğer katların görelî ötelenme miktarına göre büyük değerler almaktadır. Özetle, doğrusal olmayan statik itme analiz sonuçlarında dolgu duvarların yapısal davranış üzerinde çok önemli etkisinin olduğunu göstermektedir. Dolgu duvarların en alt katlarda olmaması veya değişik nedenlerle kaldırılması durumunda rijitliği azalan sistemin deprem davranışı da olumsuz olarak etkilenmektedir.

Korkmaz ve Uçar (2006), yaptıkları çalışmada betonarme yapıların deprem davranışlarında dolgu duvar etkilerini incelenmiştir. Çalışma kapsamında çerçeve ve dolgu duvarların mevcut olduğu betonarme yapıların deprem davranışındaki değişiklikleri araştırmıştır. Bu amaçla, sadece çerçeve sistemin olduğu ve dolgu duvarların yapının tüm katlarında bulunduğu düzenli yapıların analizleri yapılarak, deprem davranışına etkileri incelenmiştir. Elastik ötesi statik itme analizi yapılarak yapıların kapasite eğrileri, kat yatay yer değiştirmeleri, görelî kat ötelenmeleri, katlardaki maksimum plastik dönmeler ve plastikleşen kesitlerin sistemdeki dağılımlarını belirlemiştir. Çalışma sonucunda dolgu duvarlı yapıların deprem etkisindeki gerçek davranışlarında oldukça önemli olduğunu belirlemiştir. Buna göre, yapının deprem etkisi altındaki kapasitesi, kat yatay yer değiştirmeleri, görelî kat ötelenmesi değerleri, sistemde oluşan plastik kesitlerin dağılımları (yerleri) ve her plastik kesitin oluştuğu yük değerleri üzerinde önemli etkisi olduğunu görmüştür. Bu etkinin ihmal edilmesi analizleri gerçek dışı bırakmakta ve yapısal analizin gerçek dışı sonuçlar elde edilmesine sebep olmaktadır.

Sezer (2006), Bu çalışmada burulma düzensizliği katsayısını etkileyen faktörler incelenmiştir. Bu amaçla, perde konumlarının değişimi ve kat adetlerinin parametrik olarak artırılması ile 50 adet model elde edilmiş, bunların deprem yükleri altında davranışları incelenmiştir. Bunun sonucunda, kat adetlerinin azalmasıyla burulma düzensizliği katsayısının arttığı saptanmıştır. Perdelerin, yapı ağırlık merkezine yaklaştırılmaları ile yapıya etkiyen burulma momentlerinde büyük düşüşler olduğu gözlemlenmiştir. Burulma düzensizliği katsayısının, yapı elemanlarında ek zorlanmalar oluşturacak olan burulma momentlerinin durumunu yansıtmadığı anlaşılmıştır.

Sivri vd., (2006), dolgu duvarların ve planda duvar yerleşiminin yapı davranışına etkisini incelemiştir. Bu amaçla değişik dolgu duvar yerleşimlerine sahip betonarme yapı ele almış ve dolgu duvarların modellenmesi için eşdeğer diyagonal eleman kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda dolgu duvarların yapının rijitliğini (direngenliğini) değiştirdiği ve rijitliğe (direngenliğe) bağlı olarak yapı periyodu ve yapıya gelen deprem kuvvetlerinin de değiştiğini gözlemlemiştir.

Altuntop (2007), çalışmasında, yumuşak katlı binaların doğrusal olmayan davranışlarını artımsal itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile belirleyip, bu analizlerin bu tür katlı binalar için etkinlik ve doğruluklarını değerlendirmektedir. İki boyutlu, değişik kat ve açıklık sayısına sahip analitik modeller, değişken hasar seviyeleri ve ilk kat yükseklikleri dikkate alınarak artımsal itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle incelenmiştir. Özet olarak, yapılan incelemeler de sonlu elemanlar yöntemi kullanarak Türk yapı stoğunu temsil eden modeller oluşturmuş, elemanların doğrusal olmayan davranışlarını belirlenmiş, bu modeller üzerinde doğrusal olmayan analizler yürütülmüş ve son olarak da bu analizlerin sonuçlarını değerlendirmiştir. Bu analizlerin sonucunda, yumuşak kat düzensizliği incelenerek bu düzensizliğin sebep ve sonuçlarını açıklamıştır. Bunlara ilaveten değişik yönetmeliklerdeki yumuşak kat düzensizliği tanımları değerlendirilmiş ve ilgili yönetmeliklerdeki bu düzensizliğe sahip yapıların tasarımında uyulması gereken kurallar özetlemiştir.

Özmen vd., (2007), bu çalışmada mevcut yapı stoğu içinde depreme karşı en zayıf durumda bulunduğu düşünülen orta katlı binalarda yumuşak kat davranışı ve dolgu duvarların bu davranış üzerine etkileri doğrusal ötesi statik analiz kullanılarak incelemiştir. Orta katlı mevcut konut yapılarını temsil etmesi için 4 ve 7 katlı, düzensizliği bulunmayan

iki adet betonarme bina tasarlamışlardı. Daha sonra bu binaların ilk kat yüksekliğinin artırılması (2.8 m yerine 4 m), ilk katta duvarların üst katlara göre çok az olması ve bu ikisinin birlikte olması durumları dikkate alınarak yumuşak katlı modelleri elde ettiler. Düzenli ve yumuşak kat düzensizliğine sahip yapıların 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre Hemen Kullanım, Can Güvenliği ve Göçme Önlenmesi seviyelerinde deplasman kapasitelerini belirlenmişler. Bu kapasite değerleri ve yapıların davranışı dikkate alınarak kat yüksekliğinin artırılması ve/veya dolgu duvar miktarının ani değişimi nedeniyle oluşan yumuşak kat davranışı incelemişler. Tüm binalar 10 ve 20 cm olmak üzere iki farklı etriye aralığı dikkate alınarak modellenmiş böylelikle yanal donatı miktarının davranışa etkisi de değerlendirmişler ve sonuçta yanal donatı miktarının azalması dayanım üzerinde sınırlı etkiye sahipken, deplasman kapasitesini sınırlı sayıda azaltmaktadır. 7 katlı modellerin deplasman kapasiteleri 4 katlılara kıyasla daha düşük olduğu gözlenmiştir. Dolgu duvarların modellenmeye katılmasıyla genel olarak yapı dayanım değeri artmakta, deplasman kapasitesi azalmaktadır.

Söndüren vd., (2007), Çok katlı yapılarda genel olarak burulma düzensizliği, plan geometrisinin veya taşıyıcı elaman rijitlik dağılımının simetrik olmamasından kaynaklanmamaktadır. Ancak, gerek plan geometrisi gerekse rijitlik dağılımı bakımından simetrik olan bazı yapılarda da burulma düzensizliği olabilmektedir. Bu çalışmada plan geometrisi ve rijitlik dağılımı bakımından simetrik olan ve olmayan yapılarda burulma düzensizliği durumları araştırılmıştır. Bunun için, burulma düzensizliği olan ve olmayan 15 katlı elips, kare, dikdörtgen, daire, L,T, şeklinde geometriye sahip yedi farklı türde çok katlı yapılar ele alınarak deprem etkileri altındaki davranışları incelenmiş ve uygulamada yararlı olabilecek bazı sonuçlar çıkarılmıştır. Çalışmalarda SAP 2000 programı kullanılmıştır.

Tezcan vd., (2007), bu çalışmada önce zayıf katlı binaların ABD, Japonya, Meksika ve ülkemizde vuku bulan depremlerde uğradığı hasar ve yıkılmalardan örnekler verilmiştir. Daha sonra bir giriş katının zayıf veya yumuşak olarak nitelendirilebilmesi için, Deprem Yönetmeliğimizin (TDY-2007) önerdiği kriterlerin yetersiz ve yanıltıcı olduğu, 1999 Kocaeli depreminde hasar görmüş bina örnekleri üzerinde açıklanmışlardır. Yönetmeliğin bu yetersizliğini giderebilmek amacı ile yapılan belli başlı öneriler sunmuşlardır. Bunlardan ilk komşu katlar arasında B1-dayanım düzensizliği (zayıf kat)'ın varlığı için, Denklem 8'de tanımlanan etkili atalet momentleri oranı η_z 'nin 0.50 den büyük olması

lazımdır. Eğer, $\eta_z < 0.50$ ise, zayıf katın kolon, perde ve yığma dolgu duvar boyutları $\eta_z \geq 50$ oluncaya kadar arttırılmalıdır. İkincisi ise, komşu katlar arasında B2-rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)'ın varlığını tayin eden η_k 'nın hesabında tüm yığma dolgu duvarlar, ya eşdeğer çapraz çubuklar veya sonlu elemanlar yöntemi ile, taşıyıcı sistemin matematik modellenmesine dahil edilir .

Demir, Dönmez (2008), Bu çalışmada çok katlı perde-çerçeve sistemlerin parametrik bir araştırma yöntemleriyle “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte (DBYYHY)” koşuluna göre burulma düzensizliğini etkileyen faktörleri incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada, geometrik planları ve perde yerleşimleri farklı olan altı tip yapı, parametrik olarak değişen kat adedi ve DBYYHY’de tanımlanan dört adet yerel zemin sınıfına göre incelenerek burulma düzensizliği irdelenmiş, etki eden faktörlerin önem derecesi belirlenmiştir. Yapısal çözümleme SAP 2000 paket programı ile deprem hesabı Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemi ile yapılmıştır.

Kulu (2009), çalışmada, burulma düzensizliği kontrollü olarak değiştirilen taşıyıcı sistem modellerinin doğrusal olmayan davranışı, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında açıklanan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bina taşıyıcı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı incelenmiş ve bu davranışı etkileyen faktörler açıklanmıştır. Bu çalışmada farklı burulma düzensizliklerine sahip olan 3 taşıyıcı sistem modelinin düşey yükler ve deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışları ve kesit hasar bölgeleri, artımsal eşdeğer deprem yüğü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile sayısal olarak incelenmiştir. sonuçlar ise tablolar halinde özetlenmiştir. İki farklı yöntem uygulanarak elde edilen tüm sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Korkmaz vd., (2010), çalışma kapsamında yapısal düzensizlikleri olan betonarme yapıların deprem davranışlarının değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Bu amaçla 10 katlı betonarme çerçeve bir yapı ele alınmış ve bu 10 katlı yapının farklı tipi için analizler gerçekleştirmişlerdir. 10 katlı yapı öncelikle düzenli, daha sonra çeşitli düzensizlikleri olacak şekilde sırasıyla ele alınmıştır. Analizler kapsamında doğrusal olmayan statik analizleri de gerçekleştirilmiş, yapıların kapasite eğrileri, yatay kat yer değiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri, katlardaki maksimum plastik dönmeleri belirlenmişler. Bu sonuçlara

göre, dolgu duvarların analiz sonuçlarını önemli oranda değiştirdiği görülmüştür. Hatta ikinci katlarında da dolgu duvarlar bulunmayan çerçevelerde kapasite daha da düşmüştür. Dolgu duvarın en alt katlarda olmaması ve çeşitli nedenlerden dolayı kaldırılması durumunda rijitliği azalan sistemin deprem davranışı olumsuz etkilenmiştir. En alt kat yüksekliği diğer katlara göre fazla olan sistemlerin sismik kapasiteleri diğer bina tiplerine göre azalmaktadır.

Kurt (2010), Bu çalışmada A1 burulma düzensizliği durumu incelenmiş iki farklı yapı tipi ele alınarak ve sonuçlar grafikler ve tablolarla sunulmuştur. Beş katlı yapılar yönetmeliklerin ön gördüğü koşullara bağlı kalınarak boyutlandırılmış ve bilgisayar ortamında çözümlenmiştir. Çalışmada, ele alınan yapı, taşıyıcı elemanlarının yeri-boyutu değiştirilerek ve yapıdan kütleler çıkarılarak elde edilen 11 farklı durum için tekrar tekrar analiz edilmiştir. Her bir durum için kolonlara gelen kesme kuvvetleri, burulma katsayısı, ve deplasman değerleri not edilmiş ve grafiklerle karşılaştırılmıştır. Özetle, yapıların tasarlanmasında, boyutlandırma ve kullanılan malzeme kalitesi kadar önemli olan düzenli formda yapı tasarlamaktır. Yanlış yerleştirilen elemanlar hatalı bir geometri ile tasarlanan yapılar, malzeme ve ebat yönünden ne kadar iyi olursa olsunlar olası bir deprem de asla beklenen olumlu davranışı sergileyemedikleri görülmüştür.

Gelmedi (2011), Bu çalışmada, betonarme çerçeve tipi yapıların burulma düzensizliği katsayıları, doğrusal elastik ve doğrusal olmayan statik artımsal itme analiz yöntemleri ile hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Araştırmada yapısal model olarak farklı kat sayısı (1, 2, 5, 8), açıklık sayısı (3, 4, 5, 6, 7, 8) ve ek dışmerkezliğe (% 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30) sahip 168 adet betonarme çerçeve tipi bina ele alınmıştır. Doğrusal elastik hesaplamalar STA4-CAD programında mod birleştirme yöntemi ile yapılmıştır. Doğrusal olmayan artımsal statik itme analizlerinde ise ikisi tek modlu (birinci mod şekli ile orantılı ve uniform) biri çok modlu (modifiye modal itme analizi - MMPA) olmak üzere üç farklı yük dağılımı kullanılmıştır. Doğrusal olmayan çözümlenmelerde SAP2000 programı kullanılmıştır.

Duman (2011), Tez çalışmasında, burulma düzensizlikleri farklı 5 katlı ve 7 katlı olmak üzere dört taşıyıcı sistem üzerinde sayısal analizler yapılmıştır. Analizlerde kullanılan taşıyıcı sistemler DBYBHY koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Kat sayısı ve burulma düzensizlikleri farklı olan bu taşıyıcı sistemlerin seçilmesinin amacı, DBYBHY'de tanımlanan doğrusal elastik hesap yönteminin kullanılabilirliği ile ilgili

koşulların irdelenmesidir. Şahin, B., tarafından hazırlanan “Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler ile Belirlenmesi ve Yöntemlerin Sonuçlarının Karşılaştırılması” adlı yüksek lisans tezinin sonuçları karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Yapılan sayısal analizlerin karşılaştırılması sonucunda, DBYBHY’te tanımlanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemler ile belirlenen kesit hasar bölgeleri ve performans seviyeleri arasında önemli farklar olduğu görülmüştür.

Karasu vd., (2011), çalışmalarında yumuşak kat düzensizliği doğrultusunda, ilk katı yükseltilmiş betonarme bir bina ele alınarak, dolgu duvarların yapıların performansına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla binalar dolgu duvarsız, iki ve üçüncü katları dolgu duvarlı ve tüm katları dolgu duvarlı olarak tasarlanmıştır. Dolgu duvarlar, eşdeğer diyagonal basını; çubuğu olarak modellenmiştir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ve artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak performans analizler yapılmış ve elde edilen performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, dolgu duvarların bina performansını önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, yumuşak kat düzensizliği bulunan binaların deprem etkisindeki gerçek davranışında dolgu duvar etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yine bu çalışma kapsamında artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizi sonuçları ile eşdeğer deprem yükü analizi sonuçları arasındaki ciddi farklar olması, itme analizi sonuçlarının daha tutucu kaldığını göstermiştir.

Gezmiş (2012), Bu çalışmada, taşıyıcı sistem elemanlarından perdenin plandaki konumunun yapılarda deprem kuvvetleri altındaki davranışa olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda planda perde yerleşimi bakımından biri düzensiz, diğeri düzenli olan iki betonarme yapı ele alınarak deprem etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Her iki taşıyıcı sistem SAP2000’de modellenmiş, eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemine göre ayrı ayrı çözümlenmeleri yapılmıştır. Elde edilen periyotlardan yararlanarak her iki yapı için eşdeğer deprem yükü yöntemi hesabı yapılmıştır. Ayrıca her iki yapı için SAP2000’de spektrum eğrileri girilerek oluşturulan deprem yükleri ile mod birleştirme yöntemine göre de çözümlenme yapılmıştır. Yapılan deprem hesaplarından elde edilen veriler ile A1 burulma düzensizliği, B2 burulma düzensizliği, görel kat ötelemeleri kontrolleri yapılmış ve her iki yapıya ait zemin kat kolon ve perde iç kuvvetleri verilmiştir. Her iki yapı için elde edilen A1 burulma düzensizliği katsayıları, zemin kat kolon ve perdelerine ait iç kuvvetler karşılaşma yolu ile incelenmiştir.

1.7. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

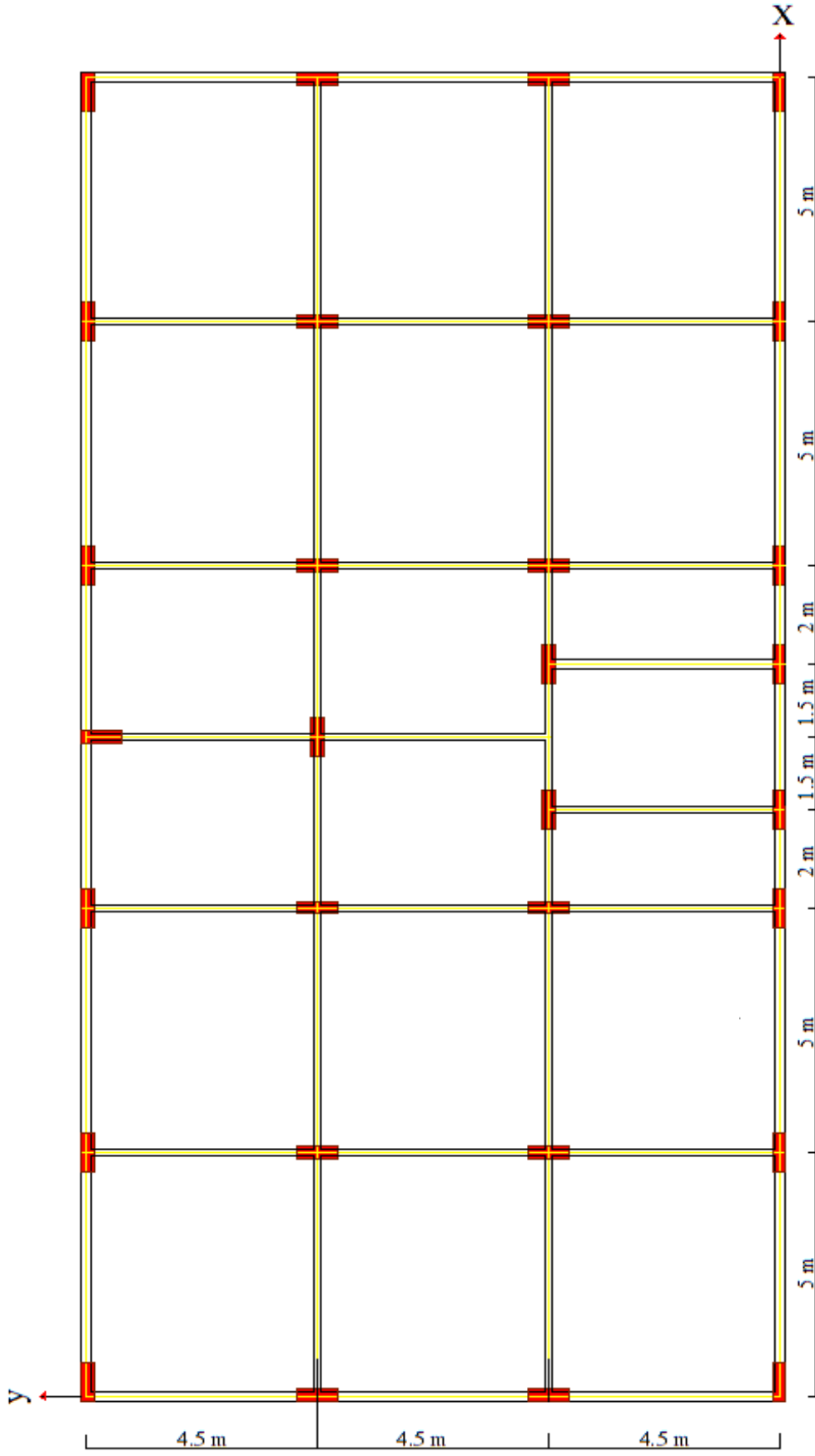
Bu çalışmada bina türü betonarme yapılarda yumuşak kat düzensizliğinin burulma düzensizliği ile ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla belirlenen bir betonarme çerçeve sistem üzerinde SAP2000 yazılımı kullanılarak parametrik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

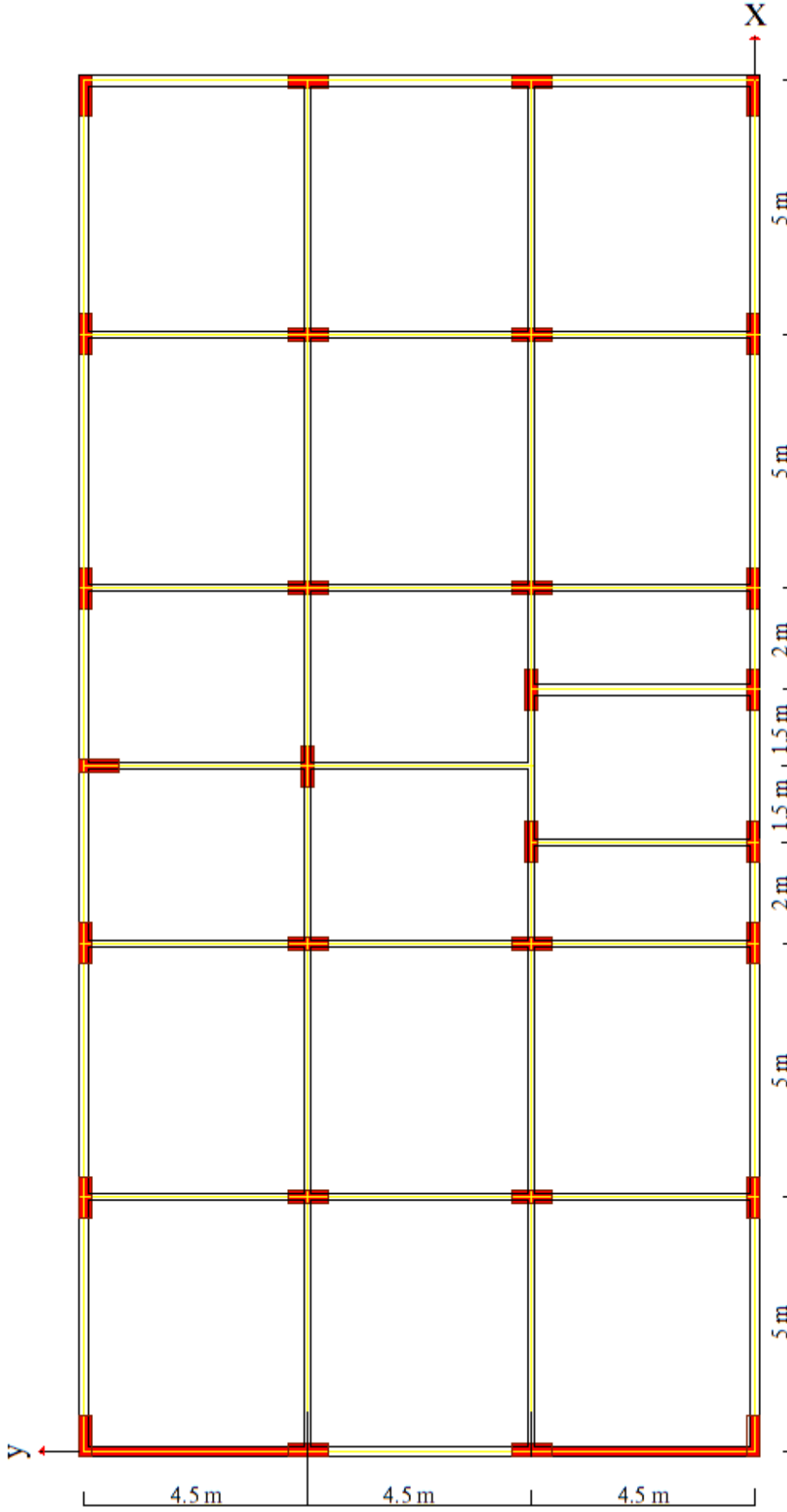
2.1. İnceleme Konusu Betonarme Yapı Modelinin Özellikleri

Bu başlık altında, belirlenen bir betonarme çerçeve türü yapı üzerinde kat adedi, zemin kat yüksekliği, betonarme perde ilavesi, dolgu duvar ilavesi gibi parametrelere bağlı olarak yapıda ortaya çıkabilen yumuşak kat düzensizliği ve burulma düzensizliği durumları incelenmekte, bu iki durumun birbiriyle etkileşimi belirlenmeye çalışılmaktadır. Tüm analizler SAP 2000 programı ile gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla, planda bir doğrultuda altı ve diğer doğrultuda üç açıklığa sahip yapı modeli seçilmiştir. Üst katların tamamının yüksekliği 3.0 m olarak dikkate alındığı modellerde zemin kat yüksekliği değiştirilerek ($h_z=3.0$ m, $h_z=4.0$ m ve $h_z=5.0$ m) kısaca “yumuşak kat düzensizliği” olarak tanımlanan, “komşu katlar arası rijitlik düzensizliği” oluşumunun incelenmesinde, modelin kat adedi de arttırılarak (3 katlı, 6 katlı ve 12 katlı binalar) tekrarlı analizler gerçekleştirilmiştir. Dolgu duvarlar modelin iç ve dış çerçevelerinin tümünde kullanılmıştır. Seçilen yapının rijitlik dağılımının her iki doğrultuda da simetrik olmasına özen gösterilmiştir. Yapısal analizlerin ikinci kısmı olarak kabul edilebilecek çalışmalarla da, sisteme asimetrik betonarme perde duvarlar eklemek suretiyle yapıda burulma düzensizliği oluşturularak, bu düzensizlikle yumuşak kat düzensizliğinin ilişkisi incelenmiştir. Bodrum katı bulunmayan yapıların SAP2000 programında, betonarme perdesiz – dolgu duvarsız, betonarme perdesiz – dolgu duvarlı, betonarme perdeli – dolgu duvarsız, betonarme perdeli – dolgu duvarlı ve bunların betonarme perdeli ve perdesiz şeklinde zemin kat duvarsız - üst katlar dolgu duvarlı olarak oluşturulan 3 boyutlu modelleri Şekil 7-12’de sırasıyla verilmektedir. Yapılar, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’te tanımlanan Z3 türü yerel zemin üzerine, temelde ankastre bağlı olması kabulüyle modellenmiştir. Yapı sistemlerinin deprem hesaplarında ise modal analiz yöntemlerinden modların birleştirilmesi yöntemi kullanılmıştır. Mod katlarının birleştirilmesinde 3 katlı bina için 9, 6 katlı bina için 18 ve 12 katlı bina için 36 mod dikkate alınmıştır. Yapısal analizleri gerçekleştirmek üzere seçilen binanın kat planı Şekil 28 ‘te, bu planın üzerine betonarme perdelerin ilave edildiği kat planı ise Şekil 29 ‘da verilmektedir.



Şekil 28. Çalışmaya konu olan yapı modelinin kat planı



Şekil 29. Çalışmaya konu olan yapı modelinin betonarme perde ilave edilen kat planı

çerçeve sistemi olarak seçilen yapının kolon boyutları tüm modellerde ve tüm katlarda 25 cm x 80 cm olarak, kiriş kesitleri ise 25cm/50cm olarak alınmıştır. Kirişlerin hesaba katılması sırasında kendi öz ağırlığına sıva yükü, kaplama yükleri ilave edilmiştir. Bu yükler TS 498'den alınmıştır. Tüm katlarda döşeme kalınlığı 15 cm olarak alınmıştır. Döşemelerin hesaba katılması sırasında kendi öz ağırlığına sıva yükü ve kaplama yükleri ilave edilmiştir. Döşemeler için, yatay doğrultudaki rijitliklerin sonsuz olduğu “rijit diyafram” kabulü yapılmıştır. Yapı modellerinin tümünde, elastisite modülü 2.85×10^7 kN/m² ve poisson oranı 0.25 olarak alınan, C20 sınıfı beton kullanıldığı kabul edilmiştir. Toplam sıva kalınlığının 4 cm olduğu, iki yüzden sıvalı dolgu duvarların kalınlığı, iç duvarlar için 10 cm, dış duvarlar için ise 20 cm olarak alınmıştır. Dolgu duvarların elastisite modülü 1.0×10^6 kN/m², poisson oranı ise 0.20 olarak dikkate alınmıştır.

SAP2000 programıyla gerçekleştirilen analizlerde dikkate alınan parametreler aşağıdaki Tablo 1’de topluca verilmektedir.

Tablo 1. Gerçekleştirilen analizlerde dikkate alınan yapı özellikleri

Analiz No	Kat Adedi	Zemin Kat Yüksekliği (m)	Zemin katta duvar	Üst katlarda duvar	Yapıda Perde Duvarlar
1	3	3	Var	Var	Yok
2	3	3	Yok	Var	Yok
3	3	3	Yok	Yok	Yok
4	3	3	Var	Var	Var
5	3	3	Yok	Var	Var
6	3	3	Yok	Yok	Var
7	3	4	Var	Var	Yok
8	3	4	Yok	Var	Yok
9	3	4	Yok	Yok	Yok
10	3	4	Var	Var	Var
11	3	4	Yok	Var	Var
12	3	4	Yok	Yok	Var
13	3	5	Var	Var	Yok
14	3	5	Yok	Var	Yok
15	3	5	Yok	Yok	Yok
16	3	5	Var	Var	Var
17	3	5	Yok	Var	Var
18	3	5	Yok	Yok	Var

Tablo 1'in (devam)

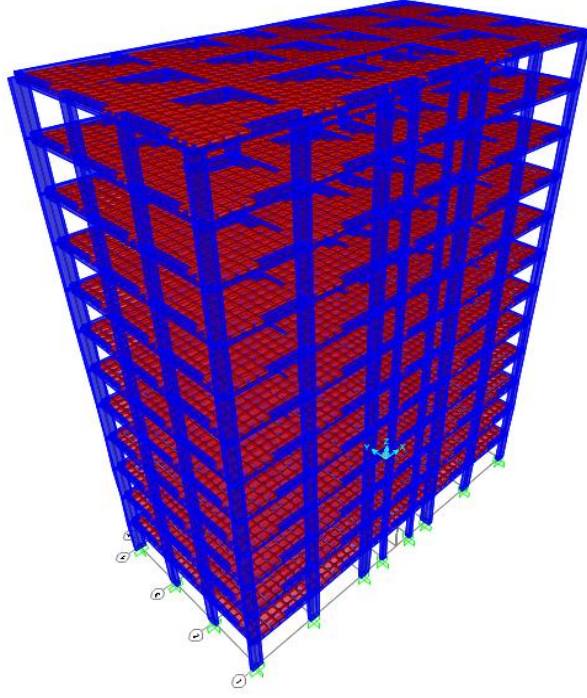
Analiz No	Kat Adedi	Zemin Kat Yüksekliği (m)	Zemin katta duvar	Üst katlarda duvar	Yapıda Perde Duvarlar
19	6	3	Var	Var	Yok
20	6	3	Yok	Var	Yok
21	6	3	Yok	Yok	Yok
22	6	3	Var	Var	Var
23	6	3	Yok	Var	Var
24	6	3	Yok	Yok	Var
25	6	4	Var	Var	Yok
26	6	4	Yok	Var	Yok
27	6	4	Yok	Yok	Yok
28	6	4	Var	Var	Var
29	6	4	Yok	Var	Var
30	6	4	Yok	Yok	Var
31	6	5	Var	Var	Yok
32	6	5	Yok	Var	Yok
33	6	5	Yok	Yok	Yok
34	6	5	Var	Var	Var
35	6	5	Yok	Var	Var
36	6	5	Yok	Yok	Var
37	12	3	Var	Var	Yok
38	12	3	Yok	Var	Yok
39	12	3	Yok	Yok	Yok
40	12	3	Var	Var	Var
41	12	3	Yok	Var	Var
42	12	3	Yok	Yok	Var
43	12	4	Var	Var	Yok
44	12	4	Yok	Var	Yok
45	12	4	Yok	Yok	Yok
46	12	4	Var	Var	Var
47	12	4	Yok	Var	Var
48	12	4	Yok	Yok	Var
49	12	5	Var	Var	Yok
50	12	5	Yok	Var	Yok
51	12	5	Yok	Yok	Yok
52	12	5	Var	Var	Var
53	12	5	Yok	Var	Var
54	12	5	Yok	Yok	Var

2.2. Yapıların SAP2000 Programında Modellenmesi

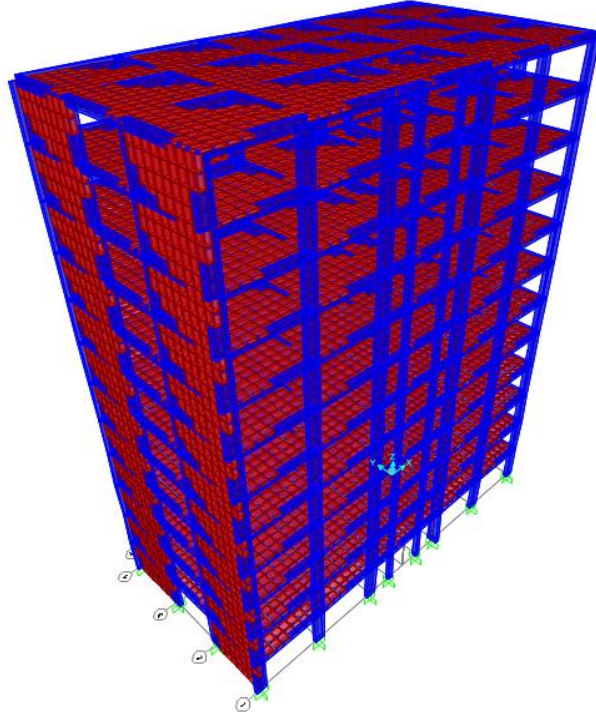
Yapıların modellenmesine sistemin geometrisi oluşturularak başlanmış, ardından malzeme bilgileri kolon ve kiriş kesitlerinin tanımlanması ile devam edilmiştir. Kesit bilgileri tanımlanan kolon ve kirişler planda belirtilen konumlarda sisteme aktarılmıştır. Döşemeler Shell eleman olarak tanımlanmış olup tüm döşemeler sisteme eklenmiş ve kirişlere bağlanarak döşeme davranışında bulunması sağlanmıştır. Duvarlar Shell elemanı olarak tanımlanmış olup, dış duvarlar 20 cm iç duvarlar 10 cm genişliğinde sisteme eklenmiştir. Dış duvar yükü=2,8 kN/m² ve İç duvar yükü= 1,8 kN/m² alınmıştır. Betonarme perdeler Shell eleman olarak tanımlanmış olup tüm perdeler 25 cm genişliğinde sisteme eklenmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarının atanmasından sonra döşeme ve duvarlara sabit ve hareketli yükler aktarılmıştır. Yatay deprem yükleri altında kat döşemelerinin, kendi düzlemleri içinde, rijit cisim hareketi yaptıkları kabulüyle, döşemeler her kat için rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. Böylece döşemenin düzlemi içindeki iki doğrultuda öteleme ve düzlemine dik eksen etrafında dönme yaptığı varsayılmaktadır. Bu durumda döşeme üzerinde bir noktada bu değerlerin bilinmesiyle döşeme üzerindeki diğer tüm noktalardaki yerdeğiştirme ve dönme değerleri belirlenebilir (Özmen, G., vd., 2012). Döşeme yükü $g=4,91$ kN/m² ve $q =2,0$ kN/m² alınmıştır. Yapıların SAP2000 programında gerçekleştirilen 3 boyutlu modelleri aşağıda Şekil 30- 35 'de verilmektedir.

2.2.1. Dinamik Analiz

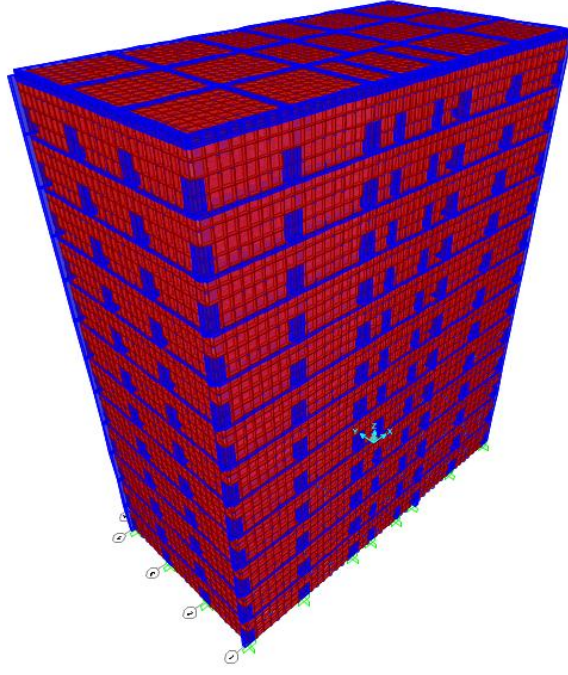
Eşdeğer deprem hesabında kullanılacak olan 1. doğal titreşim periyotlarının belirlenebilmesi için modal analiz yapılmıştır. Modal analizde hesaplanacak en fazla mod sayısı (kat sayısı x kat serbestlik derecesi) formülü ile elde edilmiştir. İlk hesapta 2 yatay, 1 dönme serbestlik derecesi olmak üzere her katta üç serbestlik derecesi ele alınarak, 12 kat için 36 mod sayısı uygun görülmüştür. Yapılan modal analiz sonucu modal kütle katılım oranının % 90 'a ulaşmadığı görülerek bu sayı artırılmıştır 50 mod için kütle katılım oranının % 90 'a ulaştığı görülerek hesaba devam edilmiştir. Analizlerde yerel zemin sınıfı Z3 seçilmiştir. Z3 zemin sınıfına göre periyot değerleri $T_A=0,15$ ve $T_B=0,60$ s'dir. SAP2000 programında Z3 yerel zemin sınıfına ait yazılmış ivme spektrumu tanımlamak için define menüsünden functions bölümüne girilip "response spectrum"u seçilmiştir. Function type bölümünde "user spectrum"u seçilip yeni bir fonksiyon eklenmiştir.



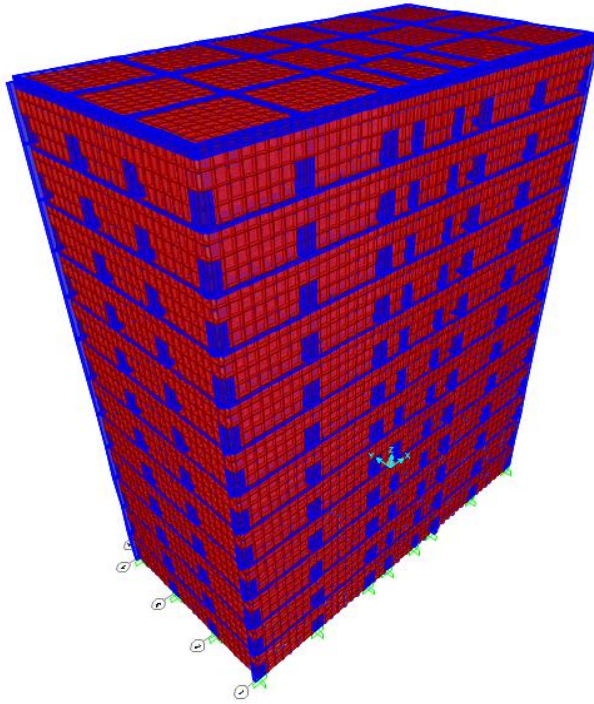
Şekil 30. Betonarme perdesiz - dolgu duvarsız (karkas) yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli



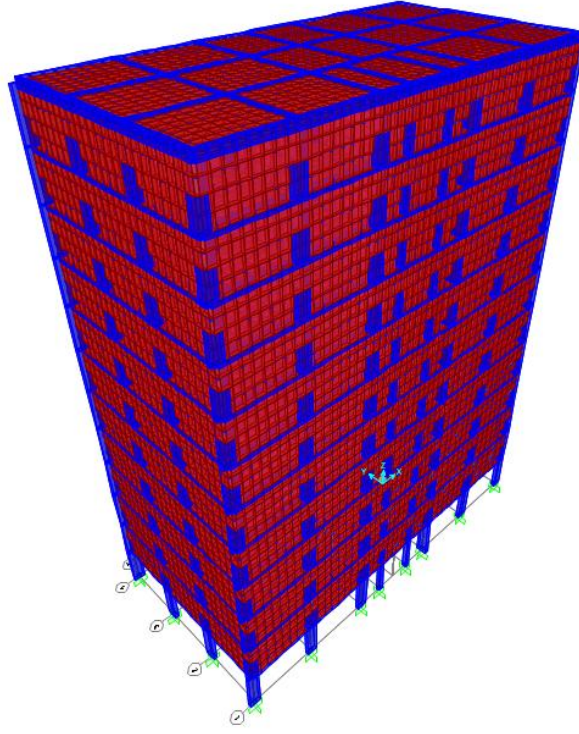
Şekil 31. Betonarme perdeli - dolgu duvarsız (karkas) yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli



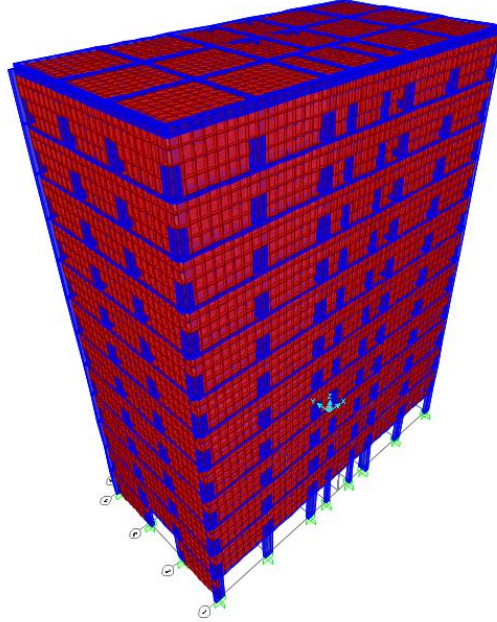
Şekil 32. Betonarme perdesiz - dolgu duvarlı yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli



Şekil 33. Betonarme perdeli - dolgu duvarlı yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli



Şekil 34. Betonarme perdesiz – zemin kat dolgu duvarsız (üst katlar dolgu duvarlı) yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli



Şekil 35. Betonarme perdeli – zemin kat dolgu duvarsız (üst katlar dolgu duvarlı) yapının 3 boyutlu SAP2000 modeli

Gerçekleştirilen modal analizler için spektral ivme değerleri;

$$S_{pa}(T_r)=A(T_r)g/R_a(T_r) \quad (2.1)$$

bağlantısıyla hesaplanabilmektedir. Söz konusu bağlantıdaki $A(T_r)$, spektral ivme katsayısını, g yerçekimi ivmesini, $R_a(T_r)$ ise, deprem yükü azaltma katsayısını göstermektedir. Spektral ivme katsayısı $A(T_r)$,

$$A(T_r)=A_0 I S(T) \quad (2.2)$$

bağlantısıyla belirlenmektedir. Burada A_0 , etkin yer ivme katsayısını, I bina önem katsayısını ve $S(T)$ spektrum katsayısını göstermektedir. Söz konusu spektrum katsayısı;

$$S(T)=1+1.5 T/T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.3)$$

$$S(T)=2.5 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (2.4)$$

$$S(T)=2.5 (T_B/T)^{0.8} \quad (T_A \leq T_B) \quad (2.5)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada (T_A ve T_B) saniye olarak zemin spektrum karakteristiklerini göstermektedir. Gerçekleştirilen analizlerde kullanılan deprem bilgileri aşağıda verilmektedir.

Bina önem katsayısı	: 1
Deprem bölgesi	: 1
Etkin yer ivme katsayısı	: 0.40
Yerel zemin sınıfı	: Z3
Spektrum karakteristik periyotları	: Z3 için $T_A=0.15$ $T_B=0.60$
Taşıyıcı sistem davranış Katsayısı (R)	: 4
Etkitilen deprem yönü	: X ve Y doğrultusunda

Bu çalışmada, modal analiz için kullanılan spektral ivme değeri, yukarıda verilen bağlantıda (2.1) yerine konulmasıyla,

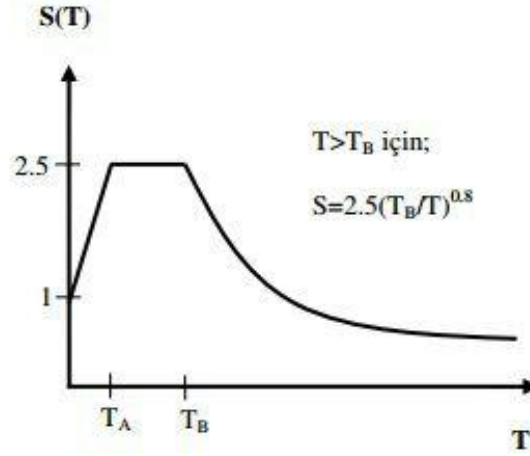
$$S_{pa}(T_r)=3.924 (T_r)g/R_a(T_r) \quad (2.6)$$

şekline gelmektedir. Dinamik analizler için, DBYBHY’te tanımlanan özel tasarım ivme spektrumları kullanılmıştır. Bu spektruma ait ivme değerleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Modal analizde kullanılan spektral ivme değerleri

Periyot (T), s	S(T)	R _a (T)	S(T)/R _a (T)	A ₀ x I x g x S(T) / R _a (T)
0	1,00	1,50	0,667	2,616
0,01	1,10	1,67	0,660	2,590
0,05	1,50	2,33	0,643	2,523
0,15	2,50	4,00	0,625	2,453
0,2	3,00	4,83	0,621	2,436
0,4	5,00	8,17	0,612	2,402
0,5	6,00	9,83	0,610	2,394
0,6	7,00	11,50	0,609	2,389
0,7	2,75	4,00	0,688	2,698
0,8	1,99	4,00	0,497	1,948
0,9	1,81	4,00	0,452	1,773
1,0	1,66	4,00	0,415	1,630
1,1	1,54	4,00	0,385	1,510
1,2	1,44	4,00	0,359	1,409
1,3	1,35	4,00	0,337	1,321
1,4	1,27	4,00	0,317	1,245
1,5	1,20	4,00	0,300	1,178
1,6	1,14	4,00	0,285	1,119
1,7	1,09	4,00	0,272	1,066
1,8	1,04	4,00	0,260	1,018
1,9	0,99	4,00	0,249	0,975
2,0	0,95	4,00	0,239	0,936
2,1	0,92	4,00	0,229	0,900
2,2	0,88	4,00	0,221	0,867
2,3	0,85	4,00	0,213	0,837
2,4	0,82	4,00	0,206	0,809
2,5	0,80	4,00	0,200	0,783
2,6	0,77	4,00	0,193	0,759
2,7	0,75	4,00	0,188	0,736
2,8	0,73	4,00	0,182	0,715
2,9	0,71	4,00	0,177	0,695
3,0	0,69	4,00	0,172	0,677
3,2	0,66	4,00	0,164	0,643
3,4	0,62	4,00	0,156	0,612
3,6	0,60	4,00	0,149	0,585
3,8	0,57	4,00	0,143	0,560
4,0	0,55	4,00	0,137	0,538

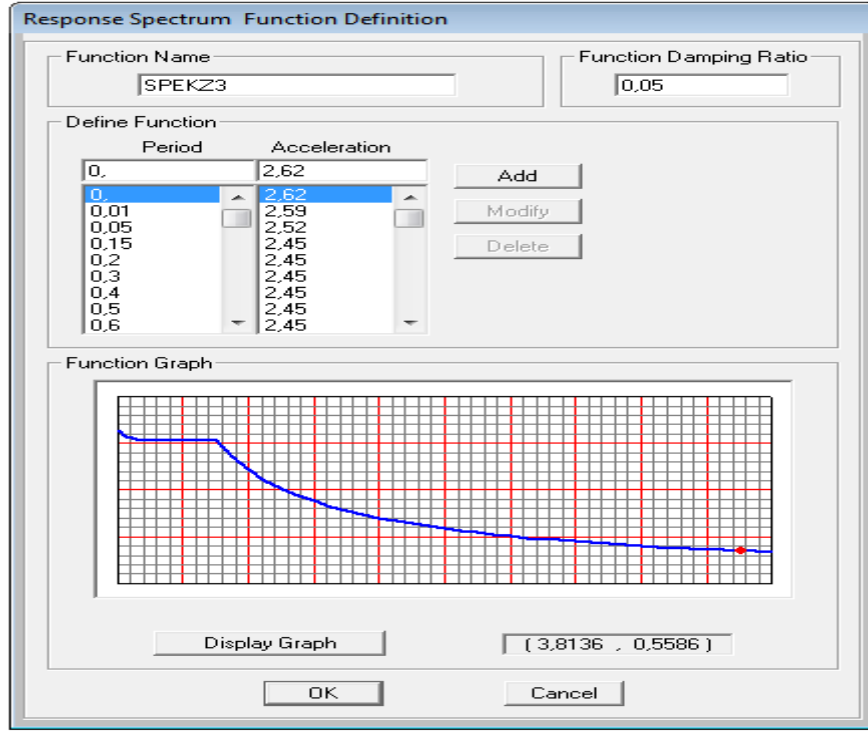
Dinamik hesapta kullanılması için, spektrum ivme değerleri dikkate alınarak çizilen tasarım ivme spektrumu ise Şekil 36'de verilmektedir.



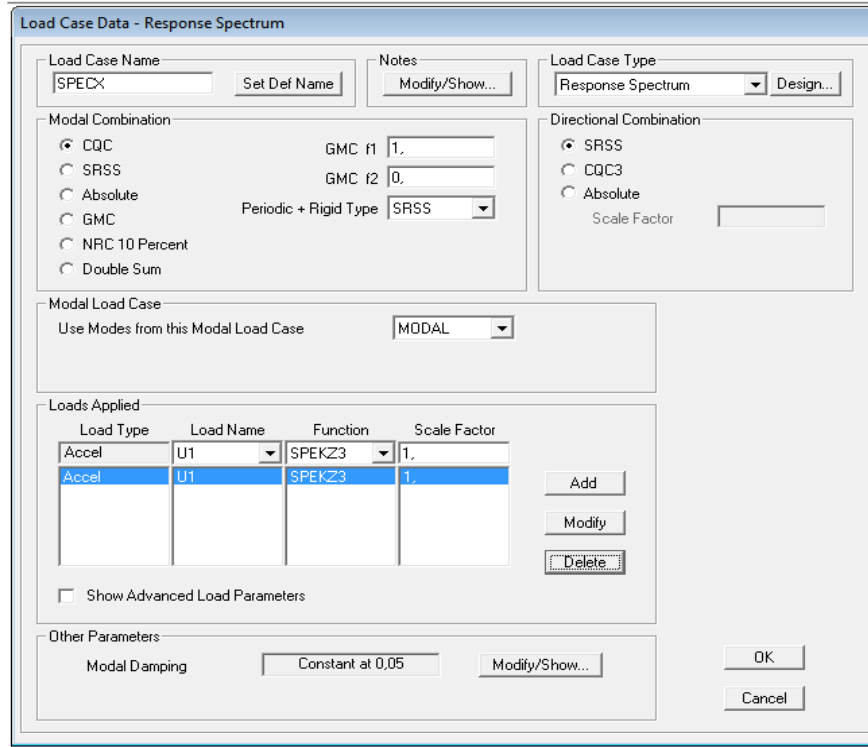
Şekil 36. Tasarım ivme spektrumu (DBYBHY-2007)

Spektrum adı SPEKZ3 olarak belirlenmiş ve spektrum ivme değerleri olarak, Tablo 2 de verilen değerler programa girilmiştir (Şekil 37).

SAP2000 'de spektrum ivme değerleri tanıtılmasından sonra x ve y doğrultularındaki deprem yükleri oluşturulmuştur. Define menüsünden load cases bölümüne girilip yeni bir yük tanımlanmıştır. X yönündeki deprem için SPECX olarak tanımlanan deprem yüküne fonksiyon olarak SPEKZ3 spektrumu seçilmiştir. Spektrum ölçek katsayısı (Scale Factor) $1 (A_0 \times I \times g \times S(T) / R_a(T))$ olarak tanımlanarak SPECX deprem yükü oluşturulmuştur. Aynı işlemler Y doğrultusundaki deprem yükü içinde yapılarak SPECY deprem yükü oluşturulmuştur. Şekil 38 SAP2000'de SPECX deprem yükü oluşturulması gösterilmektedir. Oluşturulan SPECX ve SPECY deprem yükleri ile SAP2000'de mod birleştirme yöntemine göre çözümlene yapılmıştır.



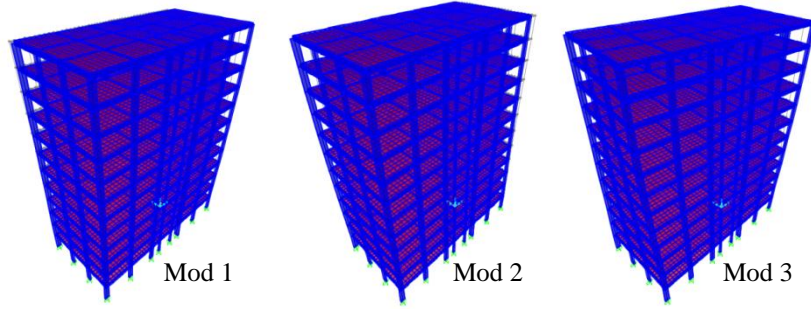
Şekil 37. Spektrum ivme değerlerinin SAP2000'e girilmesi



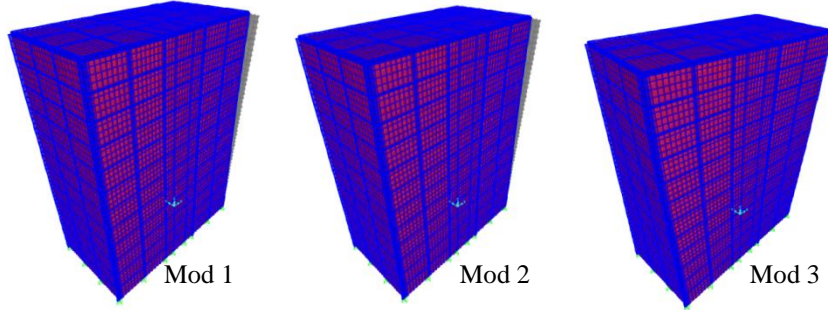
Şekil 38. Deprem yükünün SAP2000'e girilmesi

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

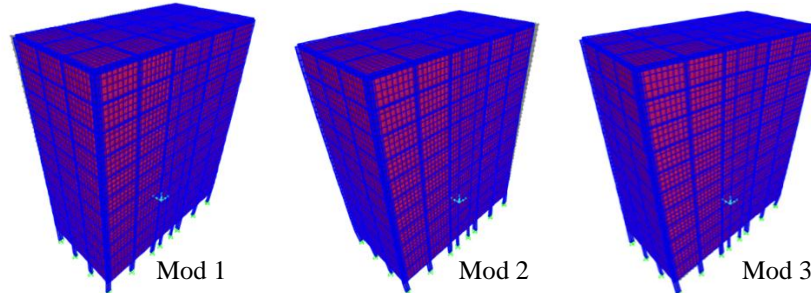
Bu çalışma kapsamında SAP 2000 programı kullanılarak toplam 54 adet modelleme ve analiz gerçekleştirildiğinden, modellenen yapıların sadece bazı tipleri için 3 boyutlu ilk üç mod şekilleri, temsilen 12 katlı model üzerinden, aşağıdaki Şekil 39, Şekil 40 ve Şekil 41’de verilmektedir.



Şekil 39. Betonarme perdesiz - dolgu duvarsız yapının ilk üç mod şekli



Şekil 40. Betonarme perdesiz - dolgu duvarlı yapının ilk üç mod şekli



Şekil 41. Betonarme perdesiz - zemin kat dolgu duvarsız (üst katlar dolgu duvarlı) yapının ilk üç mod şekli

Gerçekleştirilen tüm çözümlerden elde edilen, ortalama görelî kat ötelemeleri (Δ_i) ile, bu değerlere bağılı olarak hesaplanan komşu katlar arası rijitlik düzensizliğı (yumuşak kat) katsayıları (η_{ki}) ve burulma düzensizliğı katsayıları (η_{bi}), zemin kat yüksekliğıne bağılı olarak, Tablo 3-11'de verilmektedir.

Tablo 3. Zemin kat yüksekliğı 3 m olan 3 katlı modellerin analiz sonuçları

Analiz No	Katlar	Görelî kat ötelemeleri (m)			Rijitlik düzensizliğı (yumuşak kat) katsayısı η_{ki}	Buruma düzensizliğı katsayısı η_{bi}	η_{ki}/η_{bi} oranı
		$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$			
1	zemin	9,E-07	4,E-08	5,E-07	2,436	1,920	1,269
	1	4,E-07	2,E-08	2,E-07	2,163	1,886	1,147
	2	2,E-07	5,E-09	9,E-08	-	1,946	-
2	zemin	3,E-03	2,E-05	1,E-03	2,562	1,983	1,292
	1	1,E-03	1,E-05	5,E-04	2,371	1,980	1,198
	2	5,E-04	4,E-06	2,E-04	-	1,983	-
3	zemin	2,E-03	4,E-05	8,E-04	0,706	1,947	0,363
	1	2,E-03	7,E-05	1,E-03	1,382	1,942	0,712
	2	2,E-03	5,E-05	8,E-04	-	1,938	-
4	zemin	8,E-07	1,E-06	1,E-06	2,829	0,740	3,823
	1	3,E-07	5,E-07	4,E-07	2,324	0,836	2,781
	2	2,E-07	2,E-07	2,E-07	-	0,908	-
5	zemin	3,E-03	9,E-04	2,E-03	2,477	1,503	1,647
	1	1,E-03	4,E-04	7,E-04	2,410	1,488	1,620
	2	4,E-04	1,E-04	3,E-04	-	1,508	-
6	zemin	2,E-03	5,E-04	1,E-03	0,712	1,494	0,476
	1	2,E-03	8,E-04	2,E-03	1,358	1,484	0,915
	2	2,E-03	6,E-04	1,E-03	-	1,493	-

Tablo 4. Zemin kat yüksekliği 3 m olan 6 katlı modellerin analiz sonuçları

Analiz No	Katlar	Görelî kat ötelemeleri (m)			Rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) katsayısı, η_{ki}	Buruma düzensizliği katsayısı, η_{bi}	η_{ki}/η_{bi} oranı
		$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$			
19	zemin	0,00214	0,00001	0,00107	0,996	1,993	0,500
	1	0,00215	0,00001	0,00108	1,127	1,992	0,566
	2	0,00191	0,00001	0,00096	1,215	1,994	0,609
	3	0,00157	0,00001	0,00079	1,390	1,994	0,697
	4	0,00113	0,00000	0,00057	1,752	1,995	0,878
	5	0,00064	0,00000	0,00032	-	1,994	-
20	zemin	0,00576	0,000036	0,002898	2,180	1,988	1,097
	1	0,002642	0,000017	0,0013295	1,391	1,987	0,700
	2	0,001902	0,000009	0,0009555	1,236	1,991	0,621
	3	0,001538	8E-06	0,000773	1,409	1,990	0,708
	4	0,001092	0,000005	0,0005485	1,761	1,991	0,884
	5	0,000621	2E-06	0,0003115	-	1,994	-
21	zemin	0,00332	0,00010	0,00171	0,617	1,940	0,318
	1	0,00536	0,00018	0,00277	1,025	1,935	0,530
	2	0,00523	0,00018	0,00270	1,185	1,933	0,613
	3	0,00441	0,00015	0,00228	1,353	1,932	0,700
	4	0,00326	0,00012	0,00169	1,600	1,932	0,828
	5	0,00203	0,00008	0,00105	-	1,929	-
22	zemin	0,002096	0,000711	0,0014035	0,998	1,493	0,668
	1	0,002094	0,000706	0,0014	0,872	1,496	0,583
	2	0,001842	0,000599	0,0012205	0,808	1,509	0,536
	3	0,001503	0,00047	0,0009865	0,698	1,524	0,458
	4	0,001066	0,000312	0,000689	0,529	1,547	0,342
	5	0,000592	0,000137	0,0003645	-	1,624	-
23	zemin	0,005518	0,001851	0,0036845	2,120	1,498	1,416
	1	0,002583	0,000893	0,001738	1,418	1,486	0,954
	2	0,001833	0,000619	0,001226	1,255	1,495	0,839
	3	0,001468	0,000486	0,000977	1,442	1,503	0,960
	4	0,001028	0,000327	0,0006775	1,861	1,517	1,227
	5	0,000567	0,000161	0,000364	-	1,558	-
24	zemin	0,003339	0,001138	0,0022385	0,829	1,492	0,556
	1	0,005376	2,5E-05	0,0027005	0,613	1,991	0,308
	2	0,005183	0,00363	0,0044065	1,486	1,176	1,263
	3	0,004418	0,001514	0,002966	1,355	1,490	0,910
	4	0,003268	0,00111	0,002189	1,598	1,493	1,071
	5	0,002063	0,000676	0,0013695	-	1,506	-

Tablo 5. Zemin kat yüksekliği 3 m olan 12 katlı modellerin analiz sonuçları

Analiz No	Katlar	Görelî kat ötelemeleri (m)			Rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) katsayısı η_{ki}	Buruma düzensizliği katsayısı η_{bi}	η_{ki}/η_{bi} oranı
		$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$			
37	zemin	0,003627	0,000009	0,00182	0,932	1,995	0,467
	1	0,003893	0,000010	0,00195	1,003	1,995	0,503
	2	0,003884	0,000008	0,00195	1,010	1,996	0,506
	3	0,003845	0,000007	0,00193	1,029	1,996	0,515
	4	0,003736	0,000008	0,00187	1,060	1,996	0,531
	5	0,003526	0,000006	0,00177	1,075	1,997	0,539
	6	0,003279	0,000006	0,00164	1,108	1,996	0,555
	7	0,002959	0,000005	0,00148	1,144	1,997	0,573
	8	0,002588	0,000004	0,00130	1,193	1,997	0,597
	9	0,002169	0,000004	0,00109	1,267	1,996	0,635
	10	0,001713	0,000002	0,00086	1,364	1,998	0,683
	11	0,001256	0,000001	0,00063	-	1,998	-
38	zemin	0,009044	0,000035	0,0045395	2,028	1,992	1,018
	1	0,004461	0,000016	0,0022385	1,198	1,993	0,601
	2	0,003726	0,000010	0,001868	1,022	1,995	0,512
	3	0,003648	0,000009	0,0018285	1,045	1,995	0,524
	4	0,003491	0,000008	0,0017495	1,063	1,995	0,533
	5	0,003284	0,000008	0,001646	1,085	1,995	0,544
	6	0,003028	0,000007	0,0015175	1,111	1,995	0,557
	7	0,002727	0,000006	0,0013665	1,144	1,996	0,573
	8	0,002385	0,000004	0,0011945	1,190	1,997	0,596
	9	0,002004	0,000004	0,001004	1,261	1,996	0,632
	10	0,001591	0,000002	0,0007965	1,357	1,997	0,679
	11	0,001173	0,000001	0,000587	-	1,998	-
39	zemin	0,004076	0,000135	0,00211	0,595	1,936	0,307
	1	0,006841	0,000240	0,00354	0,944	1,932	0,489
	2	0,007237	0,000262	0,00375	1,024	1,930	0,531
	3	0,007064	0,000257	0,00366	1,057	1,930	0,548
	4	0,006684	0,000244	0,00346	1,081	1,930	0,560
	5	0,006183	0,000226	0,00320	1,106	1,929	0,573
	6	0,005592	0,000205	0,00290	1,138	1,929	0,590
	7	0,004916	0,000179	0,00255	1,181	1,930	0,612
	8	0,004163	0,000152	0,00216	1,247	1,930	0,646
	9	0,003339	0,000122	0,00173	1,356	1,930	0,703
	10	0,002462	0,000090	0,00128	1,505	1,929	0,780
	11	0,001636	0,000060	0,00085	-	1,929	-

Tablo 5'in devam

40	zemin	0,003677	0,001078	0,00238	0,951	1,547	0,615
	1	0,003898	0,001101	0,00250	1,028	1,560	0,659
	2	0,003833	0,001031	0,00243	1,030	1,576	0,654
	3	0,003747	0,000975	0,00236	1,050	1,587	0,661
	4	0,003588	0,000911	0,00225	1,071	1,595	0,671
	5	0,003363	0,000838	0,00210	1,096	1,601	0,685
	6	0,003079	0,000753	0,00192	1,130	1,607	0,703
	7	0,002738	0,000654	0,00170	1,172	1,614	0,726
	8	0,002351	0,000543	0,00145	1,235	1,625	0,760
	9	0,001923	0,000420	0,00117	1,344	1,641	0,819
	10	0,001461	0,000282	0,00087	1,525	1,676	0,910
	11	0,001003	0,000140	0,00057	-	1,755	-
41	zemin	0,008954	0,002747	0,00585	2,008	1,530	1,312
	1	0,004478	0,001348	0,00291	1,240	1,537	0,806
	2	0,003660	0,001040	0,00235	1,041	1,557	0,668
	3	0,003541	0,000976	0,00226	1,062	1,568	0,678
	4	0,003348	0,000904	0,00213	1,080	1,575	0,686
	5	0,003111	0,000827	0,00197	1,102	1,580	0,697
	6	0,002830	0,000744	0,00179	1,130	1,584	0,714
	7	0,002511	0,000651	0,00158	1,171	1,588	0,737
	8	0,002153	0,000548	0,00135	1,230	1,594	0,772
	9	0,001764	0,000432	0,00110	1,333	1,607	0,830
	10	0,001346	0,000301	0,00082	1,508	1,634	0,923
	11	0,000929	0,000163	0,00055	-	1,701	-
42	zemin	0,004181	0,001443	0,00281	0,601	1,487	0,404
	1	0,006930	0,002434	0,00468	0,942	1,480	0,636
	2	0,007373	0,002570	0,00497	1,026	1,483	0,692
	3	0,007199	0,002493	0,00485	1,060	1,486	0,714
	4	0,006800	0,002343	0,00457	1,084	1,487	0,729
	5	0,006277	0,002156	0,00422	1,109	1,489	0,745
	6	0,005657	0,001944	0,00380	1,141	1,488	0,767
	7	0,004953	0,001707	0,00333	1,186	1,487	0,797
	8	0,004171	0,001446	0,00281	1,254	1,485	0,845
	9	0,003320	0,001158	0,00224	1,369	1,483	0,923
	10	0,002421	0,000851	0,00164	1,523	1,480	1,029
	11	0,001588	0,000561	0,00107	-	1,478	-

Tablo 6. Zemin kat yüksekliği 4 m olan 3 katlı modellerin analiz sonuçları

Analiz No	Katlar	Görelî kat ötelemeleri (m)			Rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) katsayısı η_{ki}	Buruma düzensizliği katsayısı η_{bi}	η_{ki}/η_{bi} oranı
		$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$			
7	zemin	2,E-06	8,E-08	9,E-07	2,473	1,915	1,291
	1	5,E-07	3,E-08	3,E-07	2,069	1,886	1,097
	2	3,E-07	7,E-09	1,E-07	-	1,947	-
8	zemin	6,E-03	5,E-05	3,E-03	3,665	1,983	1,848
	1	1,E-03	1,E-05	6,E-04	2,707	1,980	1,367
	2	4,E-04	4,E-06	2,E-04	-	1,982	-
9	zemin	3,E-03	8,E-05	2,E-03	0,940	1,952	0,482
	1	3,E-03	8,E-05	1,E-03	1,529	1,945	0,786
	2	2,E-03	5,E-05	9,E-04	-	1,939	-
10	zemin	3,E-06	2,E-06	2,E-06	3,015	1,267	2,378
	1	6,E-07	5,E-07	6,E-07	2,248	1,137	1,977
	2	3,E-07	2,E-07	3,E-07	-	1,046	-
11	zemin	6,E-03	2,E-03	4,E-03	3,517	1,502	2,341
	1	1,E-03	4,E-04	8,E-04	2,785	1,489	1,870
	2	4,E-04	1,E-04	3,E-04	-	1,514	-
12	zemin	3,E-03	1,E-03	2,E-03	0,934	1,493	0,626
	1	3,E-03	9,E-04	2,E-03	1,503	1,490	1,009
	2	2,E-03	6,E-04	1,E-03	-	1,498	-

Tablo 7. Zemin kat yüksekliği 4 m olan 6 katlı modellerin analiz sonuçları

Analiz No	Katlar	Görelî kat ötelemeleri (m)			Rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) katsayısı η_{ki}	Buruma düzensizliği katsayısı η_{bi}	η_{ki}/η_{bi} oranı
		$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$			
24	zemin	0,003339	0,001138	0,0022385	0,829	1,492	0,556
	1	0,005376	2,5E-05	0,0027005	0,613	1,991	0,308
	2	0,005183	0,00363	0,0044065	1,486	1,176	1,263
	3	0,004418	0,001514	0,002966	1,355	1,490	0,910
	4	0,003268	0,00111	0,002189	1,598	1,493	1,071
	5	0,002063	0,000676	0,0013695	-	1,506	-
25	zemin	0,003204	9,86E-06	0,0016069	1,084	1,994	0,544
	1	0,002217	7,13E-06	0,0011121	1,137	1,994	0,570
	2	0,00195	0,000006	0,000978	1,222	1,994	0,613
	3	0,001596	0,000005	0,0008005	1,390	1,994	0,697
	4	0,001149	0,000003	0,000576	1,735	1,995	0,870
	5	0,000663	1E-06	0,000332	-	1,997	-
26	zemin	0,012308	0,000083	0,0061955	3,117	1,987	1,569
	1	0,002958	0,000023	0,0014905	1,563	1,985	0,788
	2	0,001897	0,00001	0,0009535	1,248	1,990	0,627
	3	0,001519	0,000009	0,000764	1,420	1,988	0,714
	4	0,001071	5E-06	0,000538	1,741	1,991	0,875
	5	0,000615	3E-06	0,000309	-	1,990	-
27	zemin	0,006583	0,000192	0,0033875	0,809	1,943	0,416
	1	0,006085	0,000198	0,0031415	1,118	1,937	0,577
	2	0,00544	0,000182	0,002811	1,216	1,935	0,628
	3	0,004472	0,000151	0,0023115	1,368	1,935	0,707
	4	0,003269	0,000111	0,00169	1,606	1,934	0,831
	5	0,002032	0,000072	0,001052	-	1,932	-

Tablo 7'nin devam

28	zemin	0,003139	0,001077	0,002108	1,102	1,489	0,740
	1	0,002153	0,000716	0,0014345	1,157	1,501	0,771
	2	0,001877	0,000603	0,00124	1,246	1,514	0,823
	3	0,001521	0,000469	0,000995	1,436	1,529	0,939
	4	0,001077	0,000309	0,000693	1,878	1,554	1,208
	5	0,000603	0,000135	0,000369	-	1,634	-
29	zemin	0,011683	0,003934	0,0078085	3,014	1,496	2,015
	1	0,002888	0,000998	0,001943	1,600	1,486	1,077
	2	0,001815	0,000613	0,001214	1,267	1,495	0,848
	3	0,001441	0,000475	0,000958	1,457	1,504	0,969
	4	0,000998	0,000317	0,0006575	1,847	1,518	1,217
	5	0,000555	0,000157	0,000356	-	1,559	-
30	zemin	0,006572	0,002249	0,0044105	0,806	1,490	0,541
	1	0,006107	0,002103	0,004105	1,114	1,488	0,749
	2	0,00549	0,001879	0,0036845	1,218	1,490	0,817
	3	0,004514	0,001537	0,0030255	1,372	1,492	0,920
	4	0,003299	0,001111	0,002205	1,607	1,496	1,074
	5	0,002072	0,000672	0,001372	-	1,510	-

Tablo 8. Zemin kat yüksekliği 4 m olan 12 katlı modellerin analiz sonuçları

Analiz No	Katlar	Görelî kat ötelemeleri (m)			Rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) katsayısı η_{ki}	Buruma düzensizliği katsayısı η_{bi}	η_{ki}/η_{bi} oranı
		$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$			
43	zemin	0,005225	0,000011	0,00262	0,999	1,996	0,501
	1	0,003921	0,000009	0,00197	1,005	1,995	0,504
	2	0,003903	0,000008	0,00196	1,014	1,996	0,508
	3	0,003849	0,000007	0,00193	1,035	1,996	0,518
	4	0,003720	0,000007	0,00186	1,056	1,996	0,529
	5	0,003525	0,000006	0,00177	1,079	1,997	0,541
	6	0,003265	0,000006	0,00164	1,108	1,996	0,555
	7	0,002949	0,000004	0,00148	1,141	1,997	0,572
	8	0,002582	0,000005	0,00129	1,189	1,996	0,596
	9	0,002173	0,000003	0,00109	1,258	1,997	0,630
	10	0,001728	0,000002	0,00087	1,348	1,998	0,675
	11	0,001282	0,000001	0,00064	-	1,998	-
44	zemin	0,017414	0,000074	0,00874	2,874	1,992	1,443
	1	0,004541	0,000022	0,00228	1,320	1,990	0,663
	2	0,003448	0,000010	0,00173	1,028	1,994	0,515
	3	0,003354	0,000011	0,00168	1,055	1,993	0,529
	4	0,003182	0,000009	0,00160	1,070	1,994	0,537
	5	0,002973	0,000008	0,00149	1,091	1,995	0,547
	6	0,002726	0,000007	0,00137	1,115	1,995	0,559
	7	0,002446	0,000006	0,00123	1,146	1,995	0,575
	8	0,002134	0,000005	0,00107	1,188	1,995	0,595
	9	0,001797	0,000004	0,00090	1,254	1,996	0,628
	10	0,001434	0,000002	0,00072	1,335	1,997	0,668
	11	0,001075	0,000001	0,00054	-	1,998	-
45	zemin	0,007668	0,000243	0,00396	0,771	1,939	0,398
	1	0,007434	0,000258	0,00385	1,019	1,933	0,527
	2	0,007288	0,000260	0,00377	1,043	1,931	0,540
	3	0,006987	0,000250	0,00362	1,064	1,931	0,551
	4	0,006565	0,000235	0,00340	1,084	1,931	0,562
	5	0,006054	0,000217	0,00314	1,109	1,931	0,574
	6	0,005461	0,000196	0,00283	1,139	1,931	0,590
	7	0,004795	0,000172	0,00248	1,182	1,931	0,612
	8	0,004057	0,000146	0,00210	1,247	1,931	0,646
	9	0,003254	0,000116	0,00169	1,354	1,931	0,701
	10	0,002403	0,000086	0,00124	1,498	1,931	0,776
	11	0,001604	0,000058	0,00083	-	1,930	-

Tablo 8'in devam

46	zemin	0,005283	0,001553	0,00342	1,030	1,546	0,666
	1	0,003903	0,001077	0,00249	1,029	1,567	0,656
	2	0,003829	0,001011	0,00242	1,033	1,582	0,653
	3	0,003728	0,000956	0,00234	1,052	1,592	0,661
	4	0,003560	0,000892	0,00223	1,072	1,599	0,670
	5	0,003332	0,000820	0,00208	1,098	1,605	0,684
	6	0,003046	0,000736	0,00189	1,130	1,611	0,701
	7	0,002709	0,000639	0,00167	1,171	1,618	0,724
	8	0,002328	0,000531	0,00143	1,232	1,629	0,757
	9	0,001910	0,000410	0,00116	1,335	1,647	0,811
	10	0,001461	0,000277	0,00087	1,505	1,681	0,895
	11	0,001015	0,000140	0,00058	-	1,758	-
47	zemin	0,017026	0,005434	0,01123	2,832	1,516	1,868
	1	0,004528	0,001421	0,00297	1,369	1,522	0,900
	2	0,003348	0,000996	0,00217	1,045	1,541	0,678
	3	0,003218	0,000937	0,00208	1,070	1,549	0,691
	4	0,003017	0,000866	0,00194	1,087	1,554	0,699
	5	0,002782	0,000791	0,00179	1,108	1,557	0,711
	6	0,002517	0,000709	0,00161	1,135	1,560	0,727
	7	0,002222	0,000621	0,00142	1,173	1,563	0,750
	8	0,001902	0,000522	0,00121	1,230	1,569	0,784
	9	0,001558	0,000413	0,00099	1,324	1,581	0,837
	10	0,001195	0,000294	0,00074	1,479	1,605	0,921
	11	0,000837	0,000170	0,00050	-	1,662	-
48	zemin	0,007753	0,002694	0,00522	0,769	1,484	0,518
	1	0,007550	0,002640	0,00510	1,017	1,482	0,687
	2	0,007432	0,002583	0,00501	1,046	1,484	0,705
	3	0,007117	0,002460	0,00479	1,068	1,486	0,718
	4	0,006674	0,002297	0,00449	1,088	1,488	0,731
	5	0,006135	0,002109	0,00412	1,112	1,488	0,747
	6	0,005516	0,001899	0,00371	1,143	1,488	0,768
	7	0,004822	0,001668	0,00325	1,187	1,486	0,799
	8	0,004056	0,001413	0,00273	1,254	1,483	0,845
	9	0,003227	0,001134	0,00218	1,366	1,480	0,923
	10	0,002355	0,000837	0,00160	1,516	1,476	1,028
	11	0,001549	0,000556	0,00105	-	1,472	-

Tablo 9. Zemin kat yüksekliği 5 m olan 3 katlı modellerin analiz sonuçları

Analiz No	Katlar	Görelî kat ötelemeleri (m)			Rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) katsayısı η_{ki}	Buruma düzensizliği katsayısı η_{bi}	η_{ki}/η_{bi} oranı
		$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$			
13	zemin	3,E-06	1,E-07	1,E-06	2,885	1,919	1,503
	1	5,E-07	4,E-08	3,E-07	2,076	1,878	1,106
	2	3,E-07	7,E-09	1,E-07	-	1,953	-
14	zemin	1,E-02	8,E-05	5,E-03	4,819	1,984	1,503
	1	1,E-03	1,E-05	7,E-04	3,020	1,980	1,525
	2	4,E-04	4,E-06	2,E-04	-	1,982	-
15	zemin	6,E-03	1,E-04	3,E-03	1,191	1,957	0,609
	1	3,E-03	8,E-05	2,E-03	1,666	1,949	0,855
	2	2,E-03	5,E-05	9,E-04	-	1,943	-
16	zemin	5,E-06	3,E-06	4,E-06	2,919	1,235	2,363
	1	1,E-06	8,E-07	9,E-07	2,157	1,079	1,998
	2	4,E-07	4,E-07	4,E-07	-	0,983	-
17	zemin	6,E-03	2,E-03	4,E-03	2,814	1,502	1,873
	1	1,E-03	4,E-04	8,E-04	2,785	1,489	1,870
	2	4,E-04	1,E-04	3,E-04	-	1,514	-
18	zemin	6,E-03	2,E-03	4,E-03	1,171	1,495	0,784
	1	3,E-03	1,E-03	2,E-03	1,637	1,495	1,095
	2	2,E-03	6,E-04	1,E-03	-	1,504	-

Tablo 10. Zemin kat yüksekliği 5 m olan 6 katlı modellerin analiz sonuçları

Analiz No	Katlar	Görelî kat ötelemeleri (m)			Rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) katsayısı η_{ki}	Buruma düzensizliği katsayısı η_{bi}	η_{ki}/η_{bi} oranı
		$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$			
31	zemin	0,005466	0,000012	0,005478	1,416	0,998	1,419
	1	0,002315	0,000006	0,002321	1,146	0,997	1,149
	2	0,002021	0,000005	0,002026	1,231	0,998	1,234
	3	0,001642	0,000004	0,001646	1,384	0,998	1,388
	4	0,001187	0,000002	0,001189	1,689	0,998	1,692
	5	0,000703	0,000001	0,000704	-	0,999	-
32	zemin	0,020635	0,00014	0,020775	4,134	0,993	4,162
	1	0,002991	0,000024	0,003015	1,726	0,992	1,740
	2	0,001737	0,00001	0,001747	1,251	0,994	1,259
	3	0,001388	0,000008	0,001396	1,422	0,994	1,430
	4	0,000977	5E-06	0,000982	1,723	0,995	1,732
	5	0,000568	2E-06	0,00057	-	0,996	-
33	zemin	0,010732	0,000294	0,011026	1,017	0,973	1,045
	1	0,006305	0,000199	0,006504	1,208	0,969	1,246
	2	0,005216	0,000169	0,005385	1,247	0,969	1,288
	3	0,004181	0,000136	0,004317	1,384	0,968	1,429
	4	0,003021	0,000099	0,00312	1,611	0,968	1,664
	5	0,001873	0,000064	0,001937	-	0,967	-
34	zemin	0,004199	0,001447	0,005646	1,162	0,744	1,563
	1	0,002195	0,00072	0,002915	1,163	0,753	1,544
	2	0,001904	0,000603	0,002507	1,251	0,759	1,647
	3	0,001536	0,000468	0,002004	1,440	0,766	1,878
	4	0,001087	0,000305	0,001392	1,866	0,781	2,390
	5	0,000614	0,000132	0,000746	-	0,823	-
35	zemin	0,019846	0,0066	0,026446	3,981	0,750	5,305
	1	0,002974	0,001012	0,003986	1,775	0,746	2,379
	2	0,001686	0,00056	0,002246	1,272	0,751	1,694
	3	0,001333	0,000433	0,001766	1,462	0,755	1,937
	4	0,00092	0,000288	0,001208	1,828	0,762	2,400
	5	0,000516	0,000145	0,000661	-	0,781	-
36	zemin	0,010629	0,003717	0,014346	1,004	0,741	1,355
	1	0,006359	0,002215	0,008574	1,204	0,742	1,623
	2	0,005288	0,001833	0,007121	1,251	0,743	1,685
	3	0,004232	0,001459	0,005691	1,389	0,744	1,867
	4	0,003056	0,001042	0,004098	1,615	0,746	2,166
	5	0,001911	0,000626	0,002537	-	0,753	-

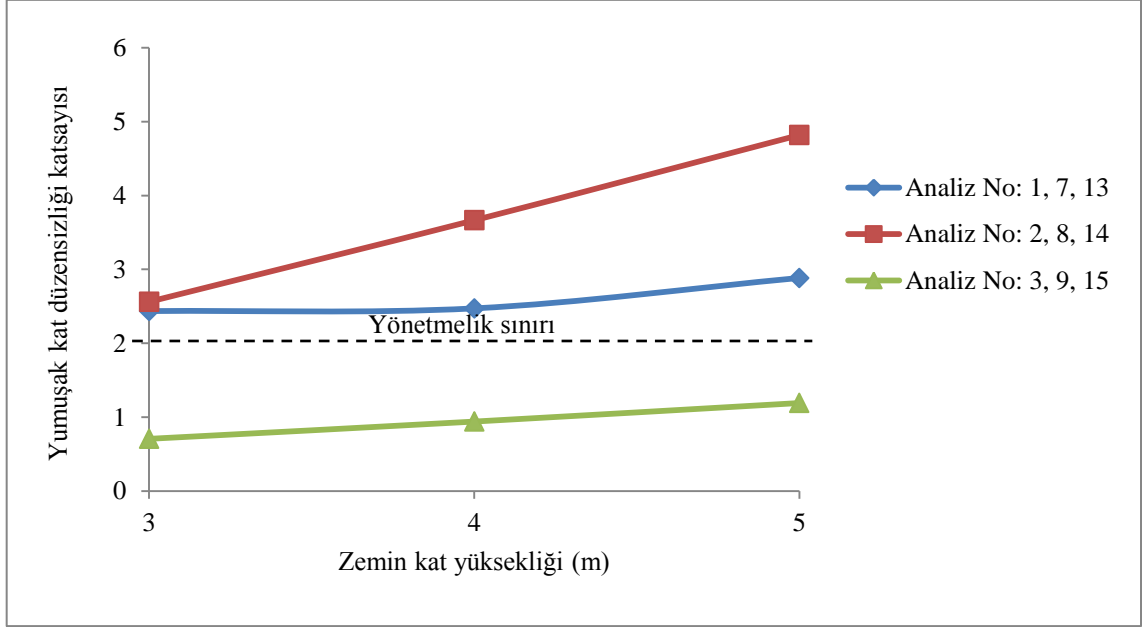
Tablo 11. Zemin kat yüksekliği 5 m olan 12 katlı modellerin analiz sonuçları

Analiz No	Katlar	Görelî kat ötelemeleri (m)			Rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) katsayısı η_{ki}	Buruma düzensizliği katsayısı η_{bi}	η_{ki}/η_{bi} oranı
		$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$			
49	zemin	0,006770	0,000013	0,00339	1,033	1,996	0,517
	1	0,003932	0,000008	0,00197	1,006	1,996	0,504
	2	0,003909	0,000007	0,00196	1,017	1,996	0,509
	3	0,003843	0,000007	0,00193	1,037	1,996	0,519
	4	0,003707	0,000006	0,00186	1,057	1,997	0,529
	5	0,003508	0,000006	0,00176	1,080	1,997	0,541
	6	0,003248	0,000005	0,00163	1,106	1,997	0,554
	7	0,002935	0,000005	0,00147	1,140	1,997	0,571
	8	0,002575	0,000003	0,00129	1,184	1,998	0,593
	9	0,002175	0,000003	0,00109	1,249	1,997	0,625
	10	0,001741	0,000003	0,00087	1,330	1,997	0,666
	11	0,001310	0,000001	0,00066	-	1,998	-
50	zemin	0,028223	0,000132	0,01418	3,803	1,991	1,910
	1	0,004449	0,000025	0,00224	1,438	1,989	0,723
	2	0,003101	0,000010	0,00156	1,033	1,994	0,518
	3	0,003002	0,000011	0,00151	1,062	1,993	0,533
	4	0,002827	0,000009	0,00142	1,077	1,994	0,540
	5	0,002625	0,000009	0,00132	1,096	1,993	0,550
	6	0,002396	0,000007	0,00120	1,118	1,994	0,561
	7	0,002143	0,000006	0,00107	1,147	1,994	0,575
	8	0,001868	0,000005	0,00094	1,185	1,995	0,594
	9	0,001576	0,000004	0,00079	1,246	1,995	0,625
	10	0,001266	0,000002	0,00063	1,315	1,997	0,659
	11	0,000963	0,000001	0,00048	-	1,998	-
51	zemin	0,012746	0,000380	0,00656	0,961	1,942	0,495
	1	0,007923	0,000269	0,00410	1,090	1,934	0,564
	2	0,007263	0,000251	0,00376	1,061	1,933	0,549
	3	0,006843	0,000237	0,00354	1,071	1,933	0,554
	4	0,006388	0,000222	0,00331	1,089	1,933	0,563
	5	0,005867	0,000203	0,00304	1,111	1,933	0,575
	6	0,005278	0,000184	0,00273	1,141	1,933	0,591
	7	0,004625	0,000160	0,00239	1,183	1,933	0,612
	8	0,003908	0,000136	0,00202	1,249	1,933	0,646
	9	0,003131	0,000108	0,00162	1,352	1,933	0,700
	10	0,002314	0,000081	0,00120	1,491	1,932	0,772
	11	0,001552	0,000054	0,00080	-	1,933	-

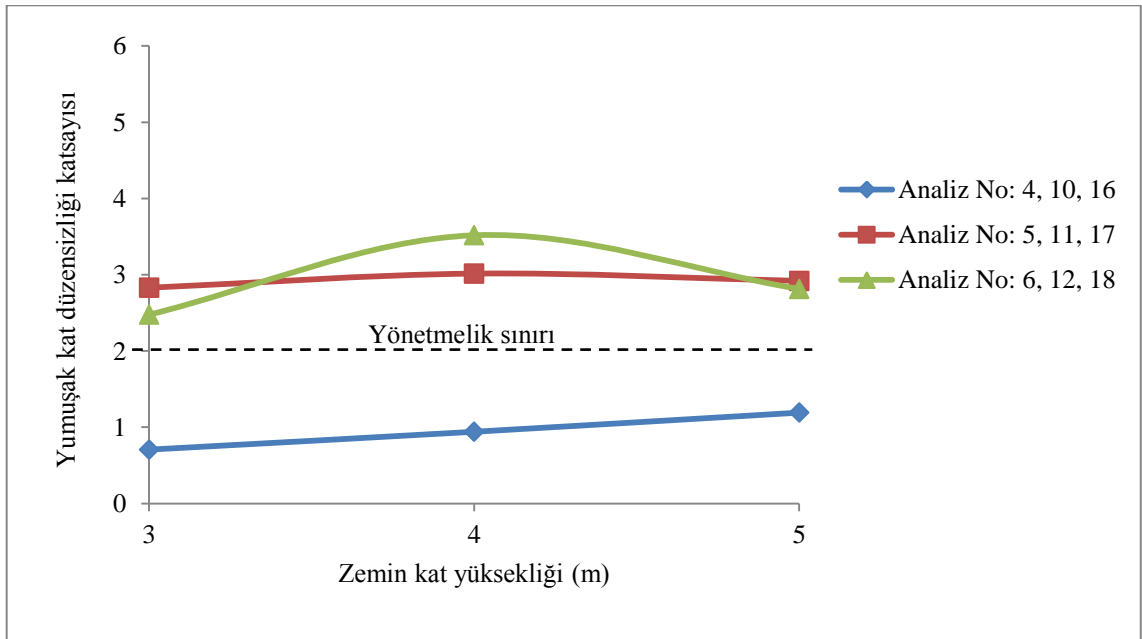
Tablo 11'in devam

52	zemin	0,006848	0,002001	0,00442	1,072	1,548	0,693
	1	0,003901	0,001050	0,00248	1,029	1,576	0,653
	2	0,003824	0,000989	0,00241	1,036	1,589	0,652
	3	0,003712	0,000934	0,00232	1,054	1,598	0,659
	4	0,003537	0,000873	0,00221	1,074	1,604	0,670
	5	0,003305	0,000801	0,00205	1,098	1,610	0,682
	6	0,003020	0,000718	0,00187	1,129	1,616	0,699
	7	0,002686	0,000624	0,00166	1,170	1,623	0,721
	8	0,002312	0,000518	0,00142	1,228	1,634	0,751
	9	0,001903	0,000402	0,00115	1,329	1,651	0,805
	10	0,001463	0,000272	0,00087	1,485	1,686	0,881
	11	0,001030	0,000138	0,00058	-	1,764	-
53	zemin	0,027373	0,008977	0,01818	3,726	1,506	2,474
	1	0,004416	0,001437	0,00293	1,496	1,509	0,992
	2	0,002984	0,000928	0,00196	1,050	1,526	0,688
	3	0,002854	0,000873	0,00186	1,077	1,532	0,703
	4	0,002655	0,000806	0,00173	1,092	1,534	0,712
	5	0,002435	0,000733	0,00158	1,113	1,537	0,724
	6	0,002191	0,000656	0,00142	1,139	1,539	0,740
	7	0,001928	0,000572	0,00125	1,175	1,542	0,762
	8	0,001647	0,000481	0,00106	1,227	1,548	0,793
	9	0,001351	0,000383	0,00087	1,314	1,558	0,843
	10	0,001042	0,000278	0,00066	1,447	1,579	0,917
	11	0,000741	0,000171	0,00046	-	1,625	-
54	zemin	0,012736	0,004445	0,00859	0,950	1,483	0,641
	1	0,008049	0,002800	0,00542	1,089	1,484	0,734
	2	0,007403	0,002562	0,00498	1,065	1,486	0,717
	3	0,006957	0,002398	0,00468	1,075	1,487	0,723
	4	0,006475	0,002225	0,00435	1,092	1,489	0,734
	5	0,005928	0,002038	0,00398	1,115	1,488	0,749
	6	0,005314	0,001833	0,00357	1,145	1,487	0,770
	7	0,004635	0,001608	0,00312	1,188	1,485	0,800
	8	0,003892	0,001363	0,00263	1,255	1,481	0,847
	9	0,003092	0,001096	0,00209	1,365	1,477	0,924
	10	0,002257	0,000812	0,00153	1,507	1,471	1,025
	11	0,001490	0,000546	0,00102	-	1,464	-

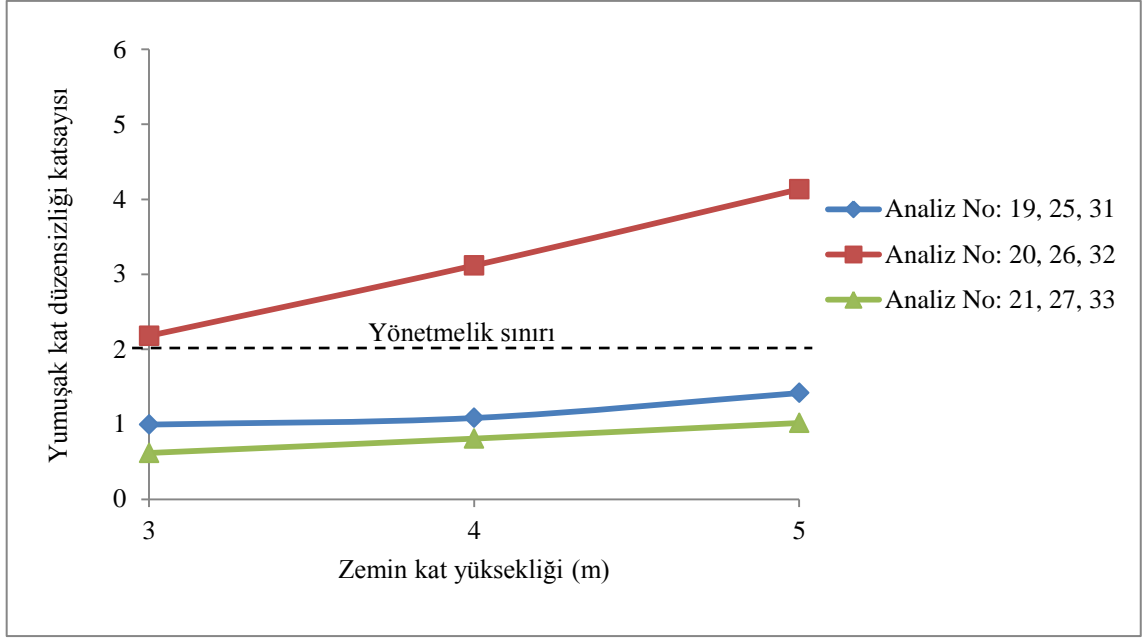
Yukarıda verilmiş olan analiz sonuçları arasındaki karşılaştırmaların daha kolay yapılabilmesi için bu sonuçlardan üretilen eğriler ise aşağıdaki Şekil 42-83'de verilmektedir.



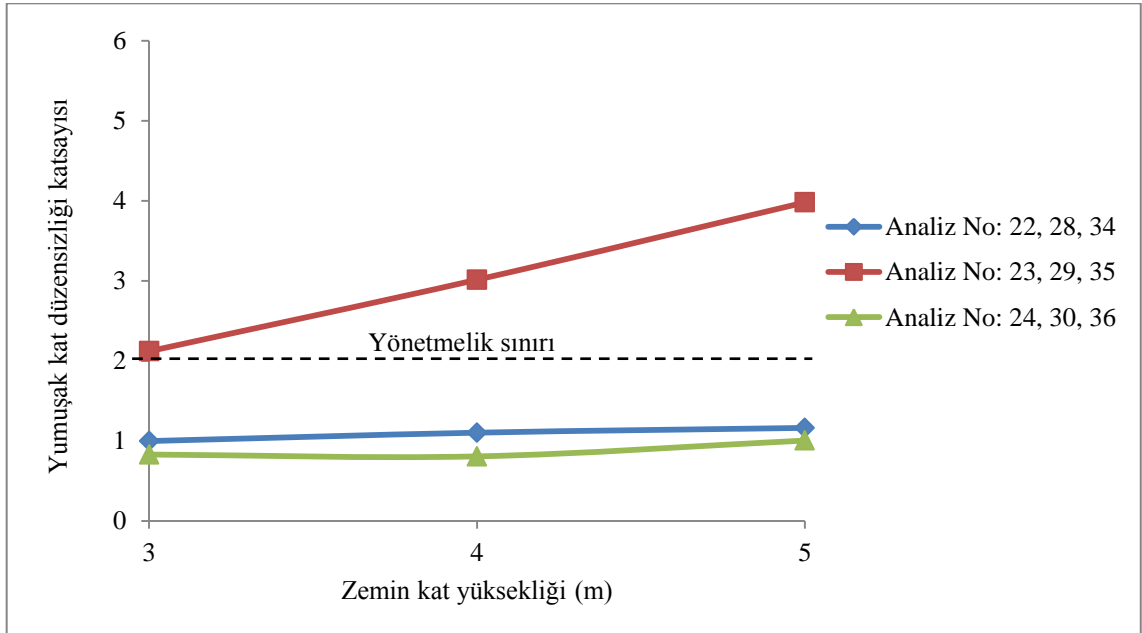
Şekil 42. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme **perdesiz** 3 katlı yapılar)



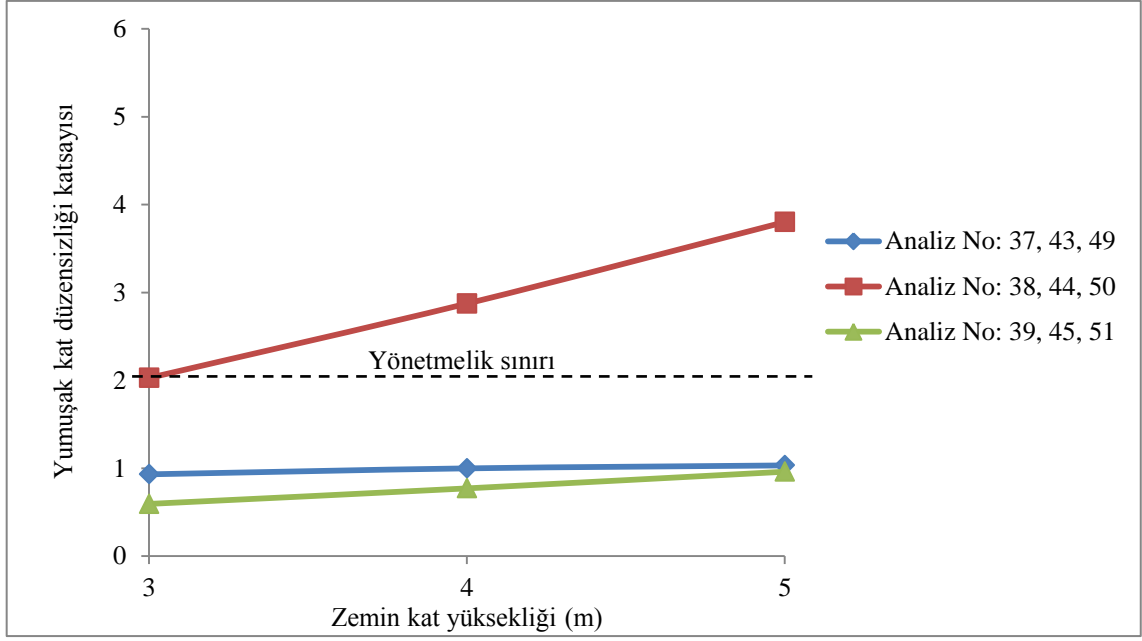
Şekil 43. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme **perdeli** 3 katlı yapılar)



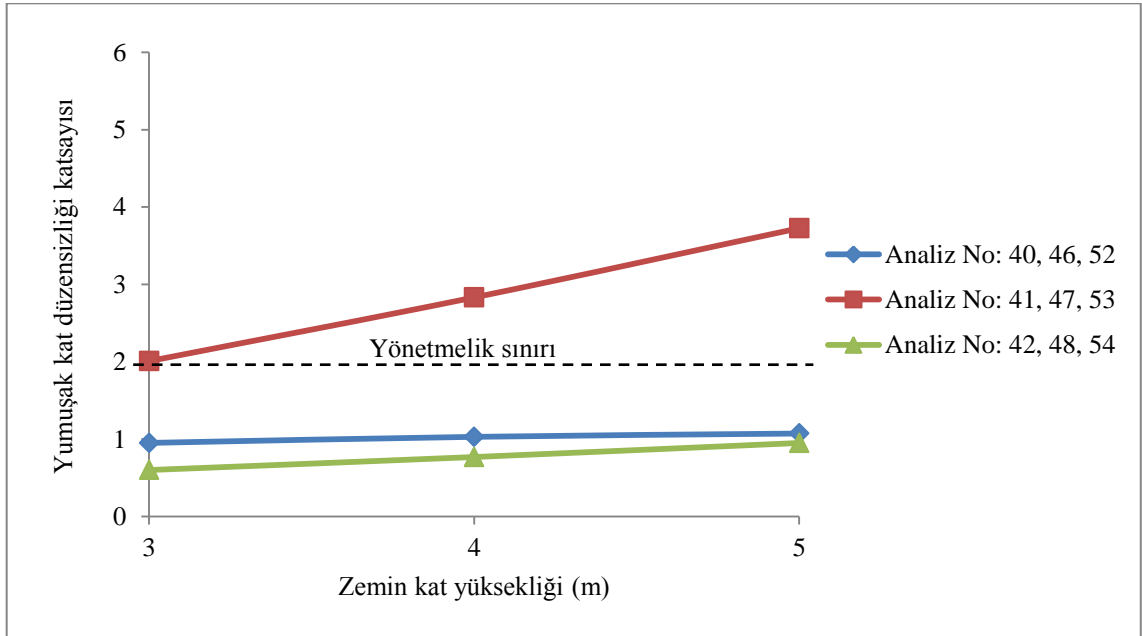
Şekil 44. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme **perdesiz** 6 katlı yapılar)



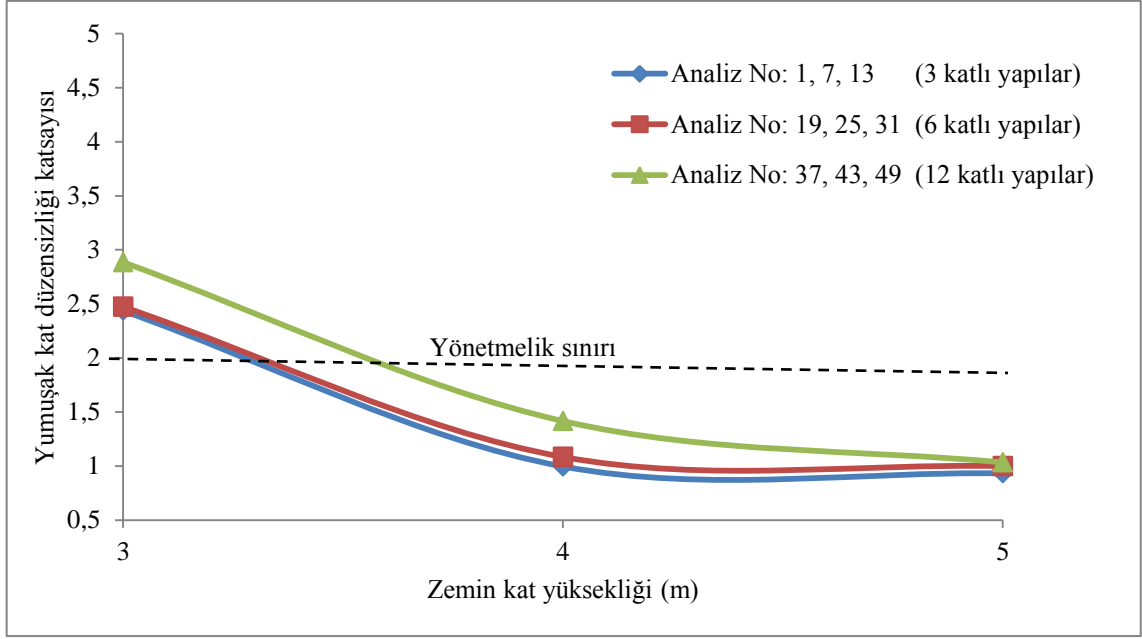
Şekil 45. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme **perdeli** 6 katlı yapılar)



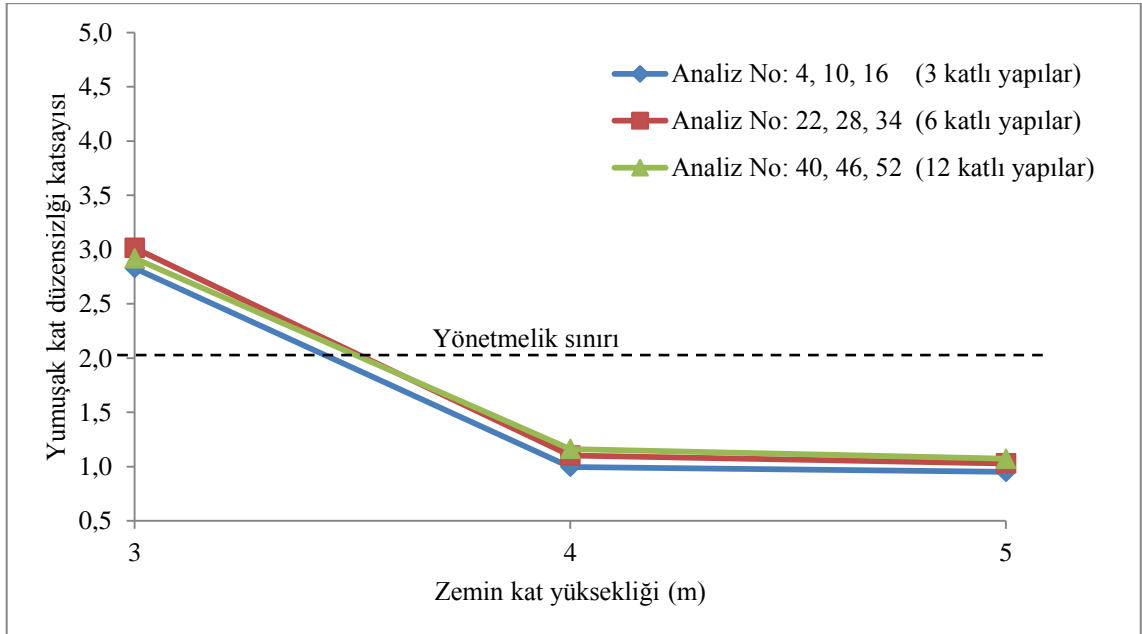
Şekil 46. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme **perdesiz** 12 katlı yapılar)



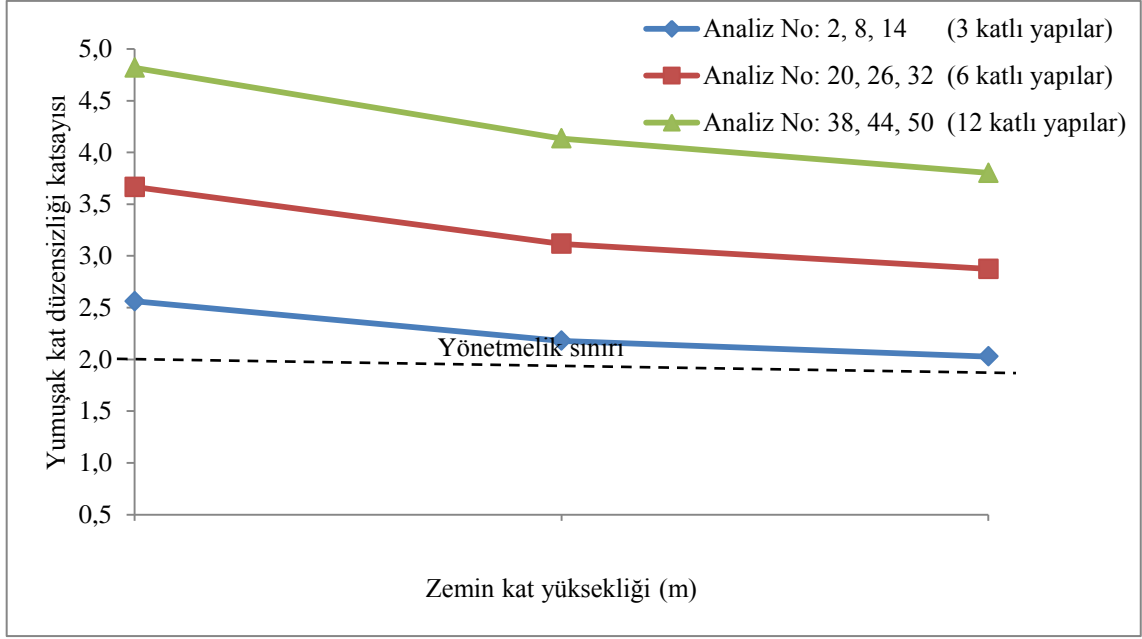
Şekil 47. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme **perdeli** 12 katlı yapılar)



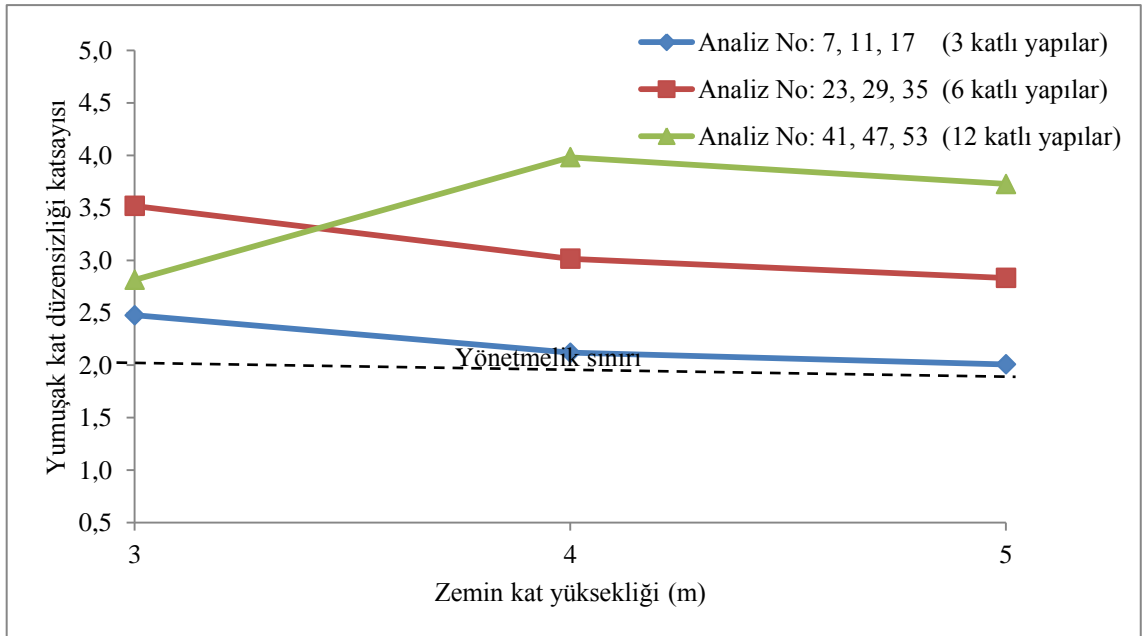
Şekil 48. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdesiz**, tüm katlar dolgu duvarlı yapılar)



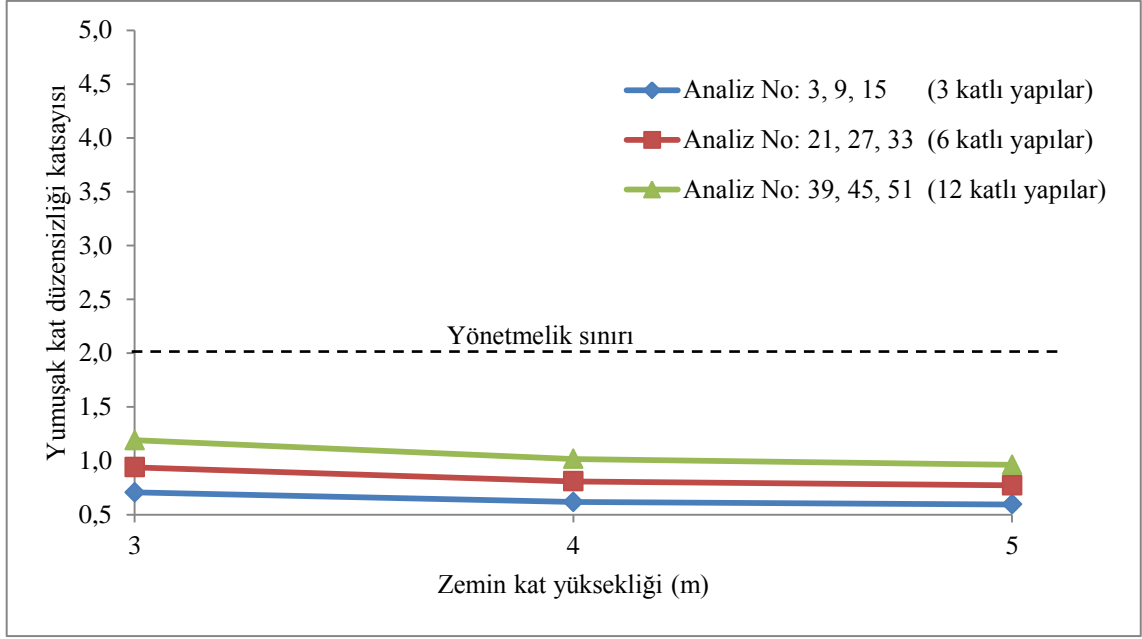
Şekil 49. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdeli**, tüm katlar dolgu duvarlı yapılar)



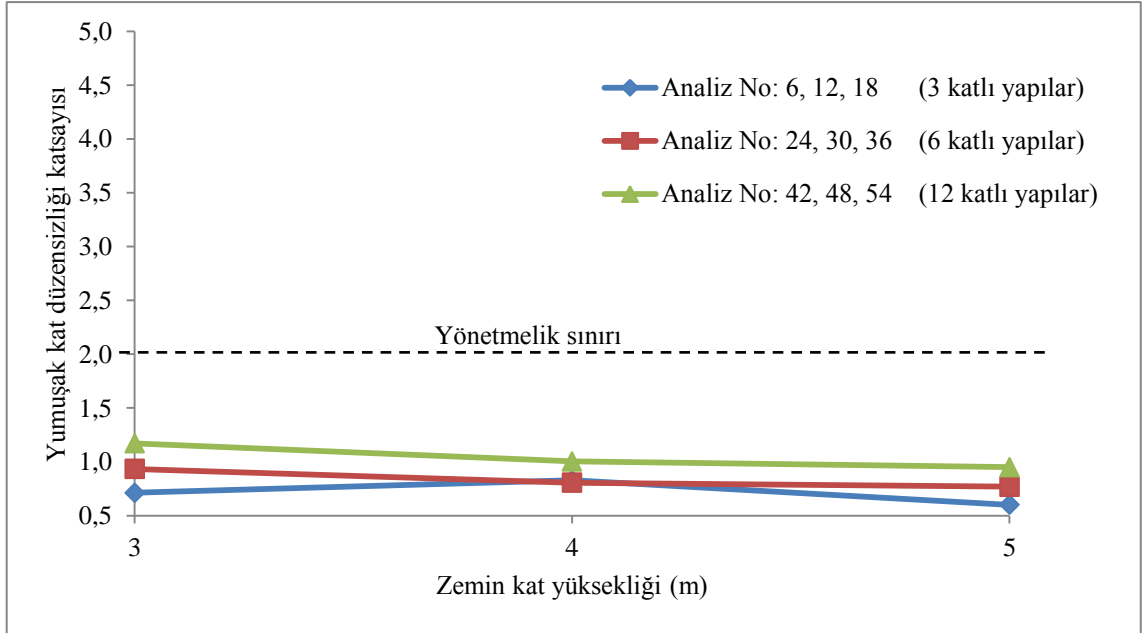
Şekil 50. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdesiz**, zemin katı dolgu duvarsız, üst katlar dolgu duvarlı yapılar)



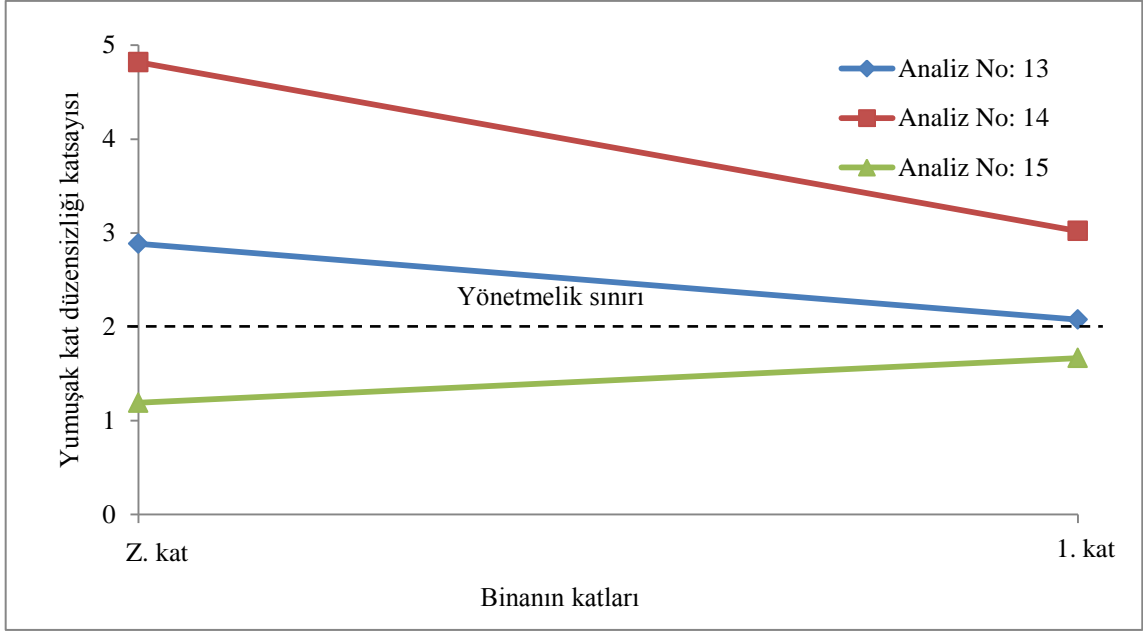
Şekil 51. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdeli**, zemin katı dolgu duvarsız, üst katlar dolgu duvarlı yapılar)



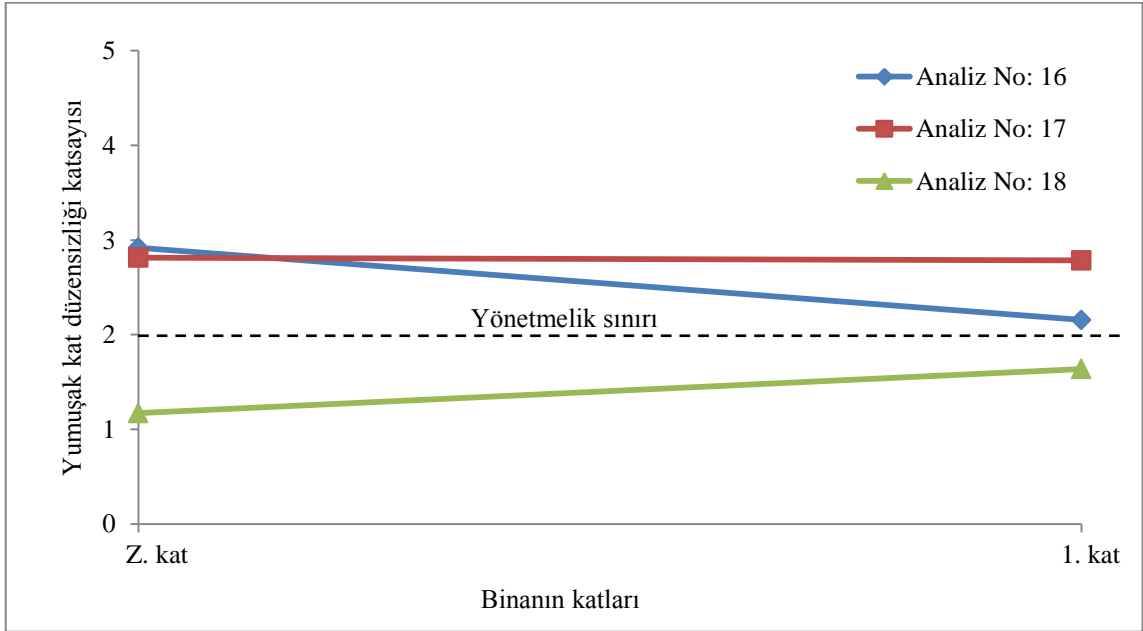
Şekil 52. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdesiz** ve dolgu duvarsız yapılar)



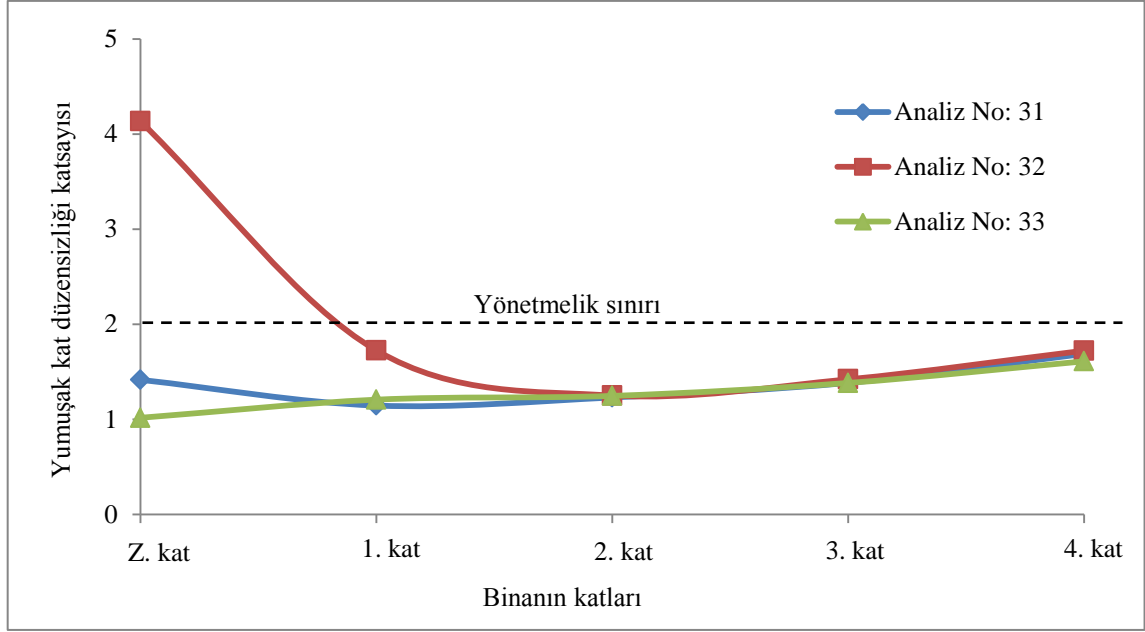
Şekil 53. Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdeli** ve dolgu duvarsız yapılar)



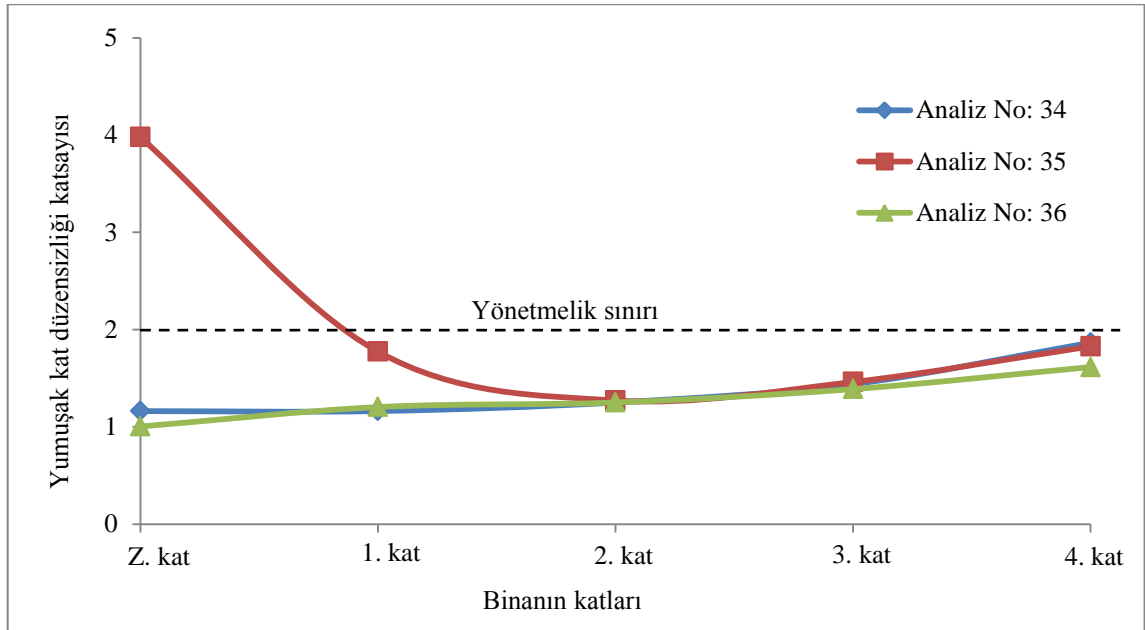
Şekil 54. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdesiz** 3 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



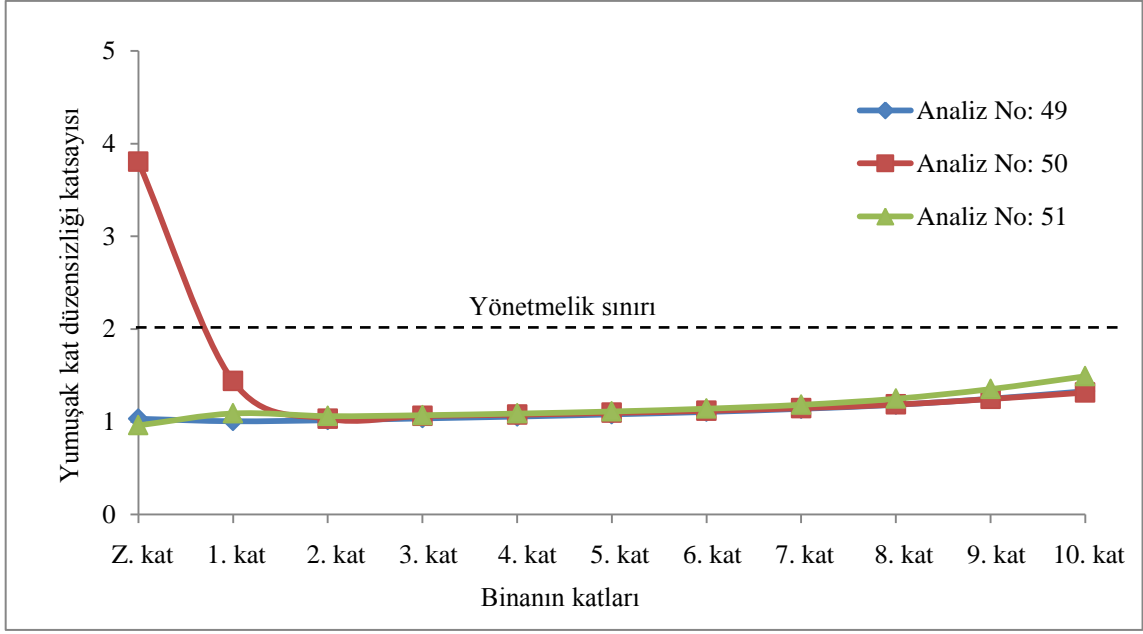
Şekil 55. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdeli** 3 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



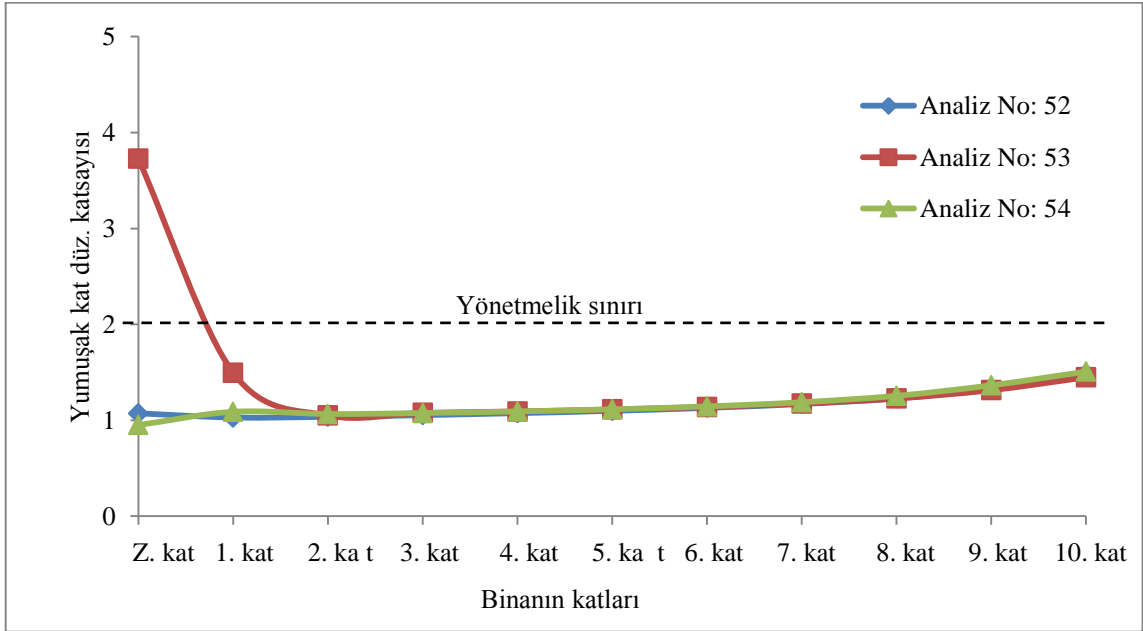
Şekil 56. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdesiz** 6 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



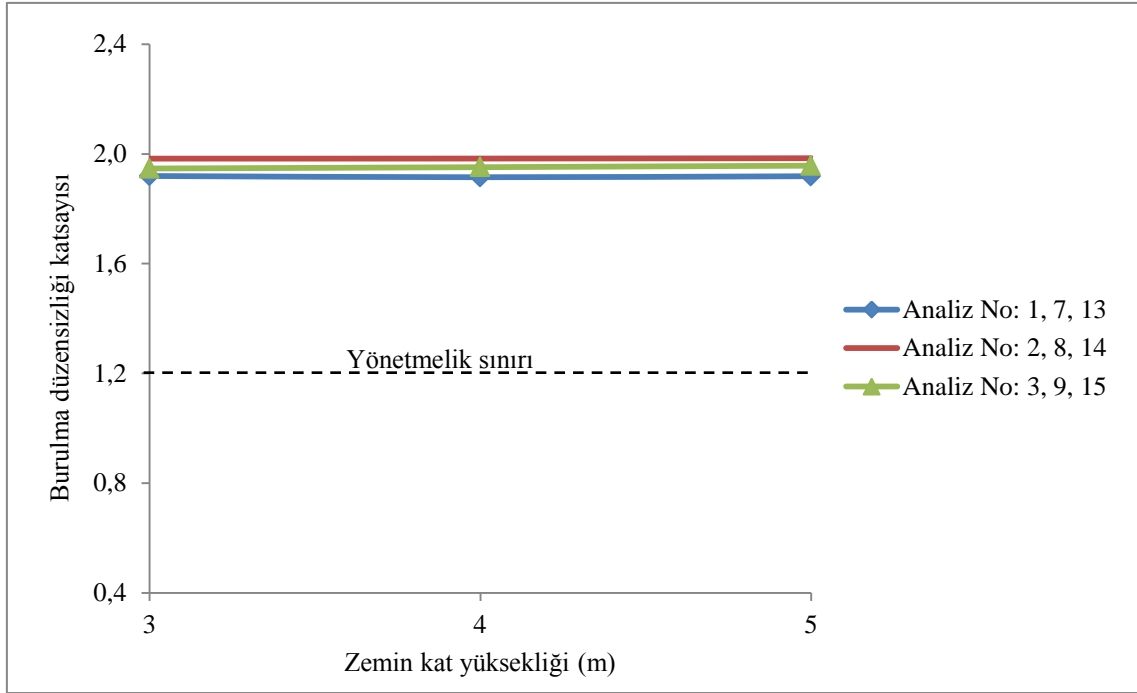
Şekil 57. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdeli** 6 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



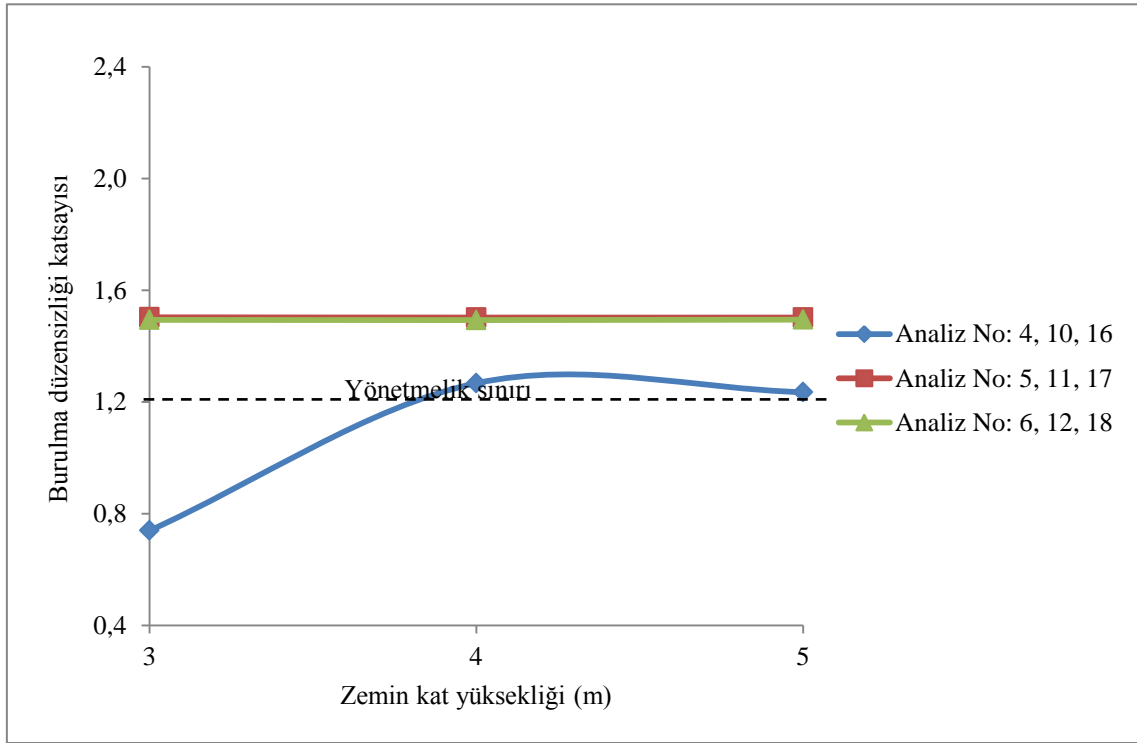
Şekil 58. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdesiz** 12 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



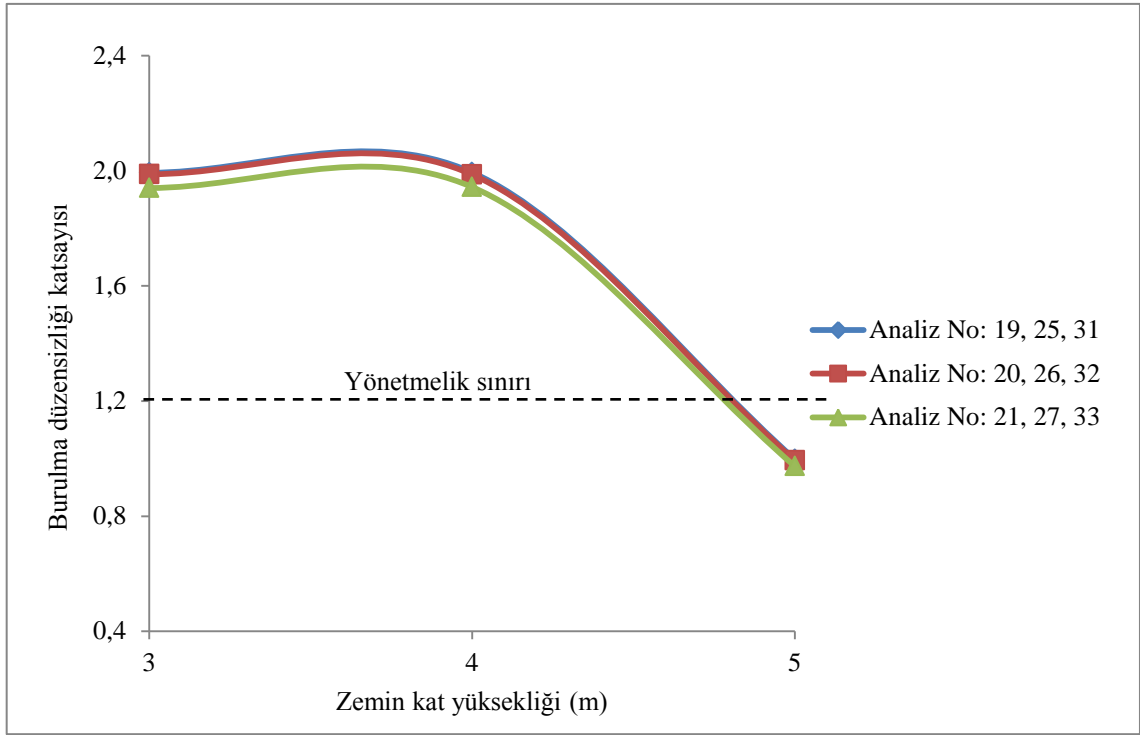
Şekil 59. Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdeli** 12 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



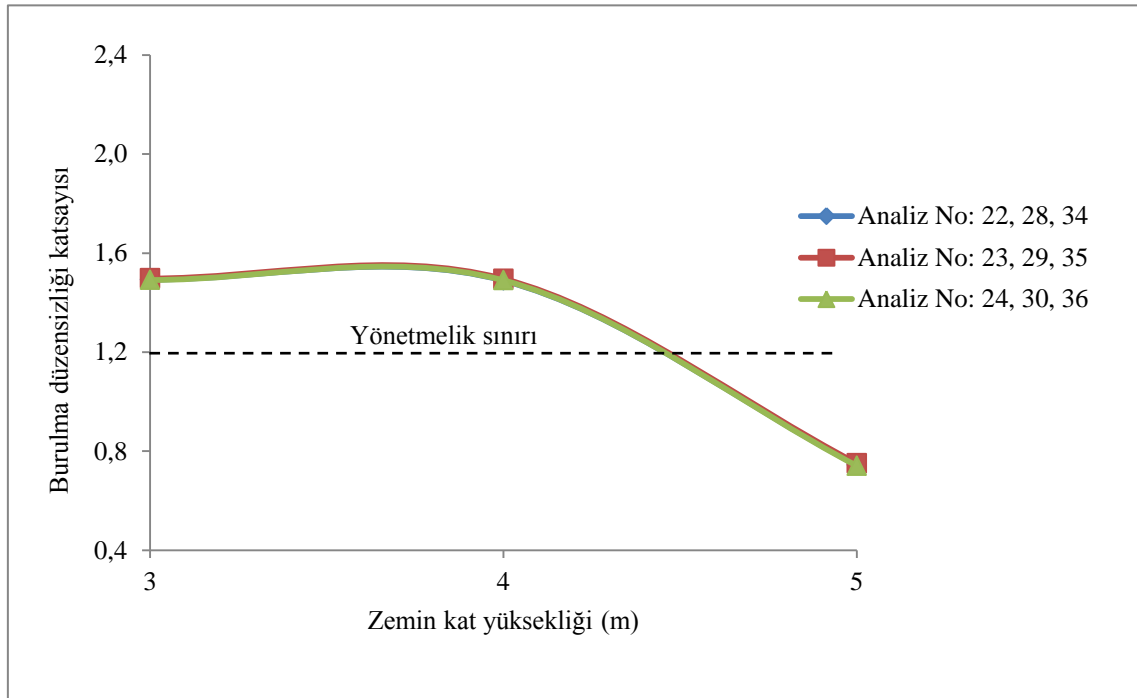
Şekil 60. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi
(Betonarme **perdesiz** 3 katlı yapılar)



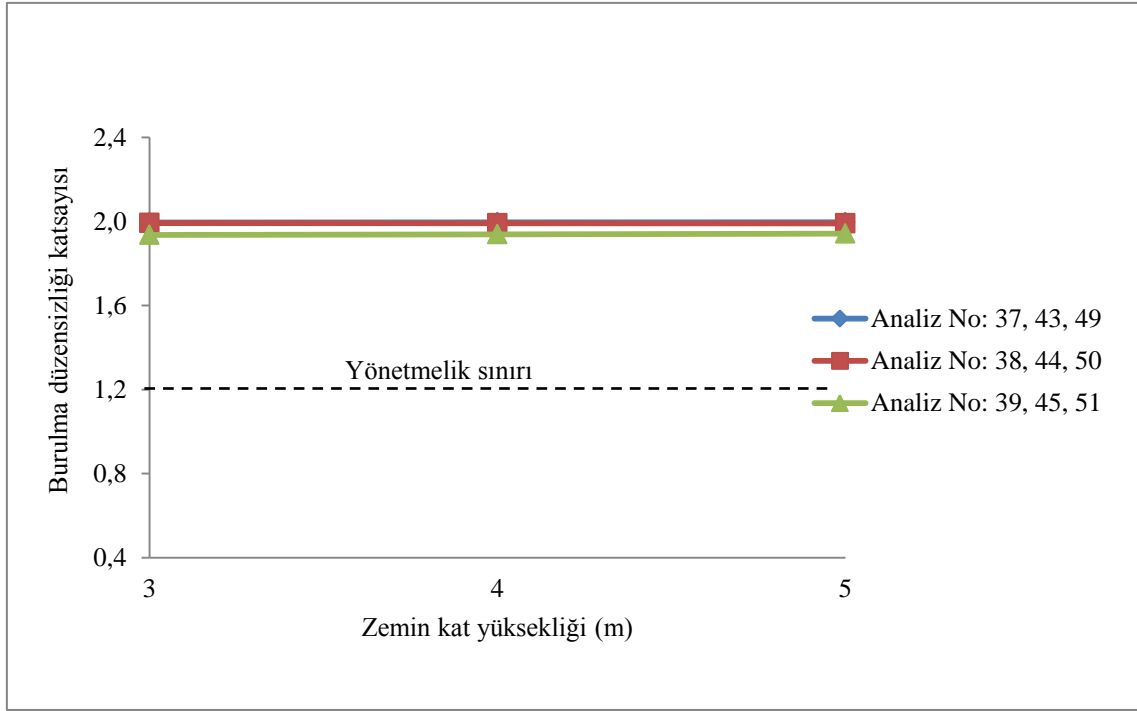
Şekil 61. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi
(Betonarme **perdeli** 3 katlı yapılar)



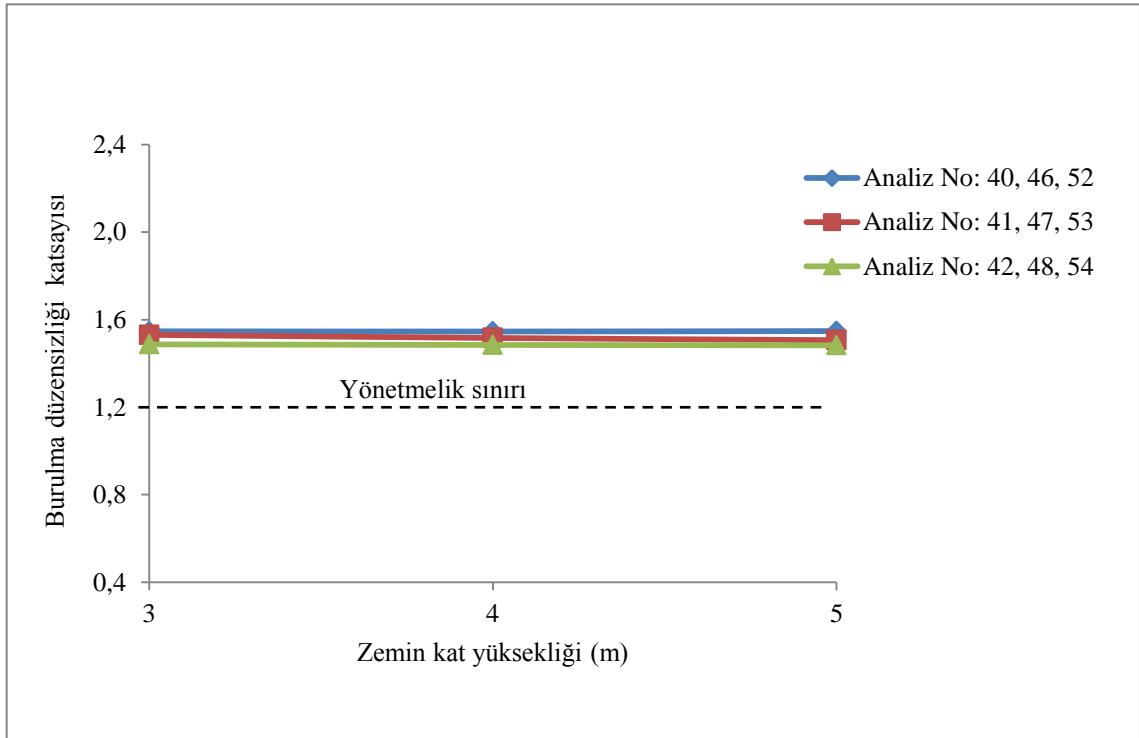
Şekil 62. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme **perdesiz** 6 katlı yapılar)



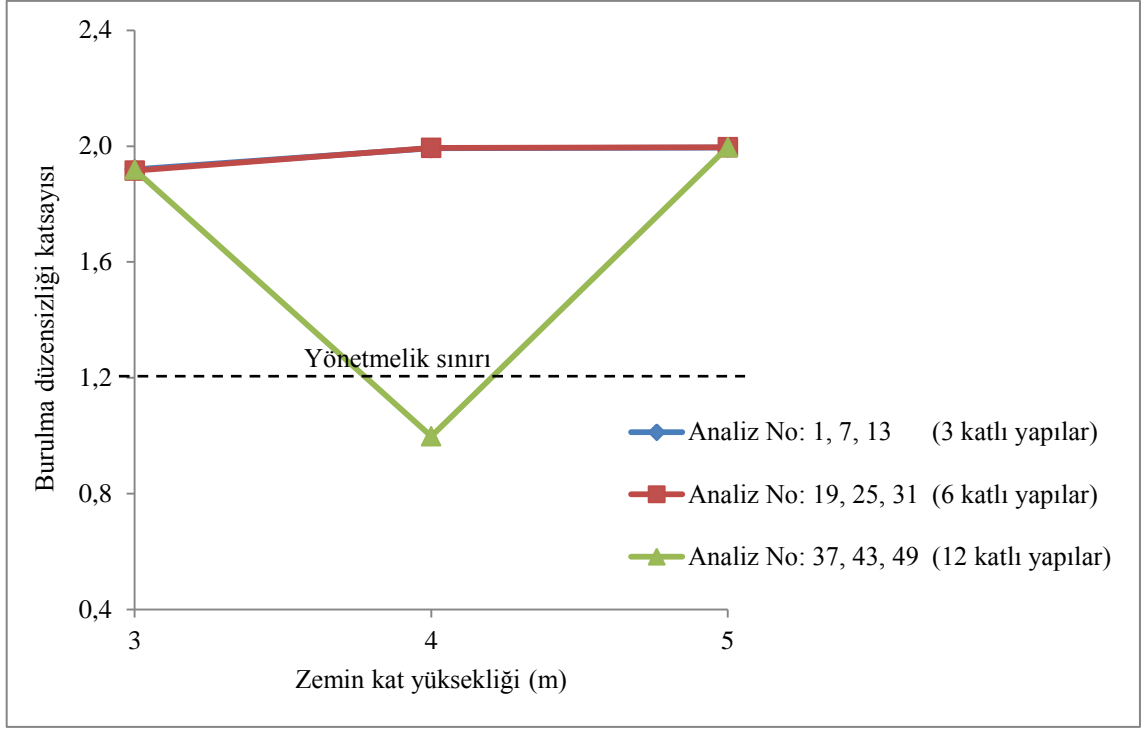
Şekil 63. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme **perdeli** 6 katlı yapılar)



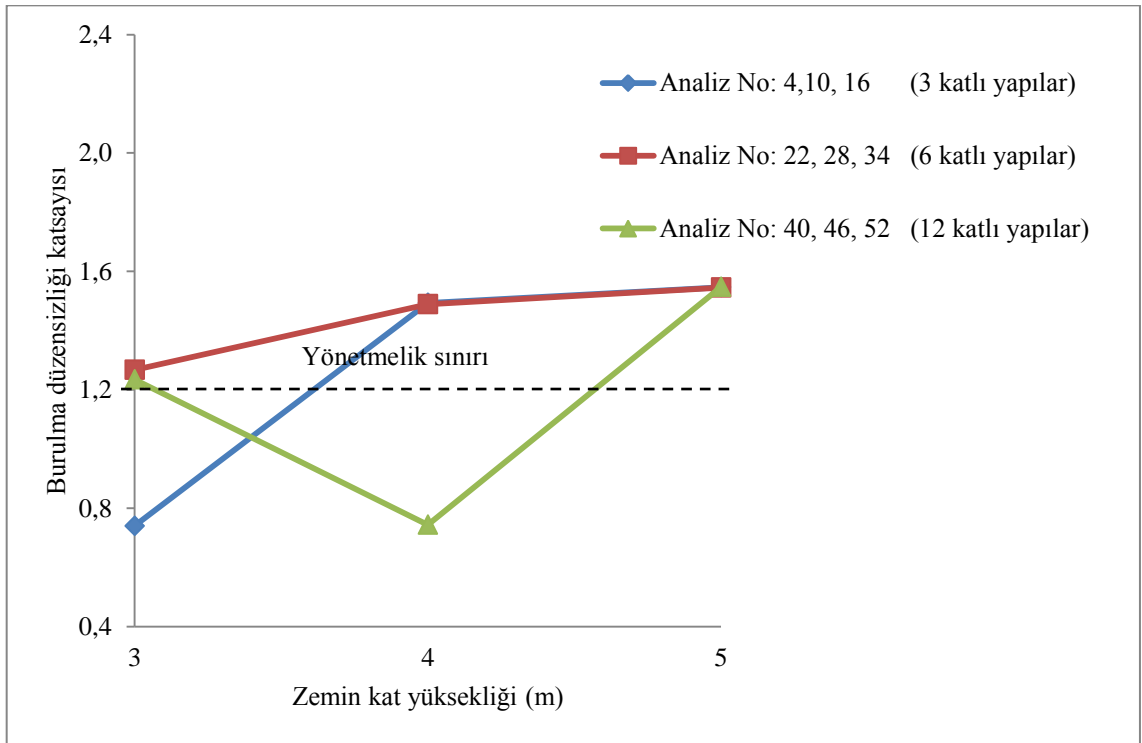
Şekil 64. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme **perdesiz** 12 katlı yapılar)



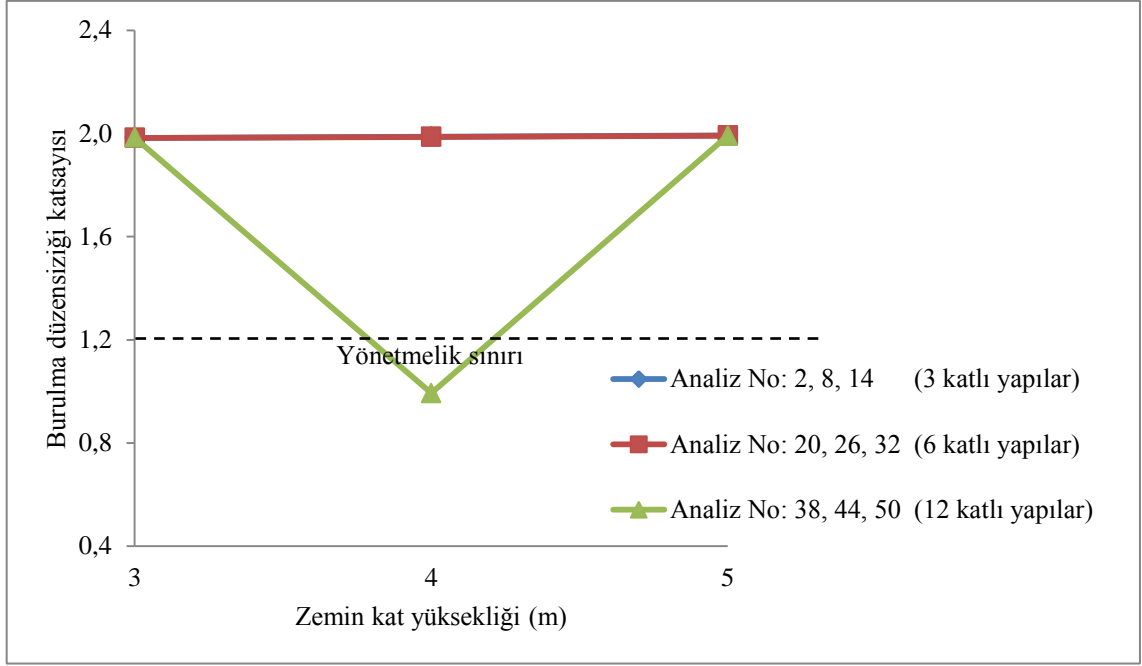
Şekil 65. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişimi (Betonarme **perdeli** 12 katlı yapılar)



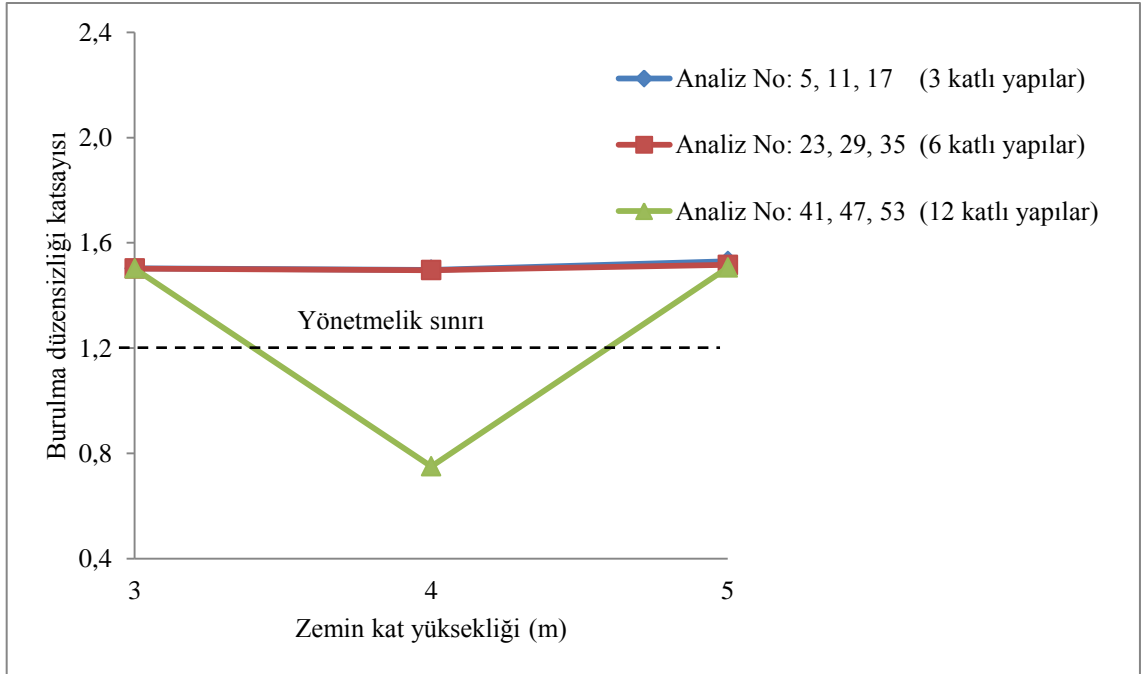
Şekil 66. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdesiz**, tüm katlar dolgu duvarlı yapılar)



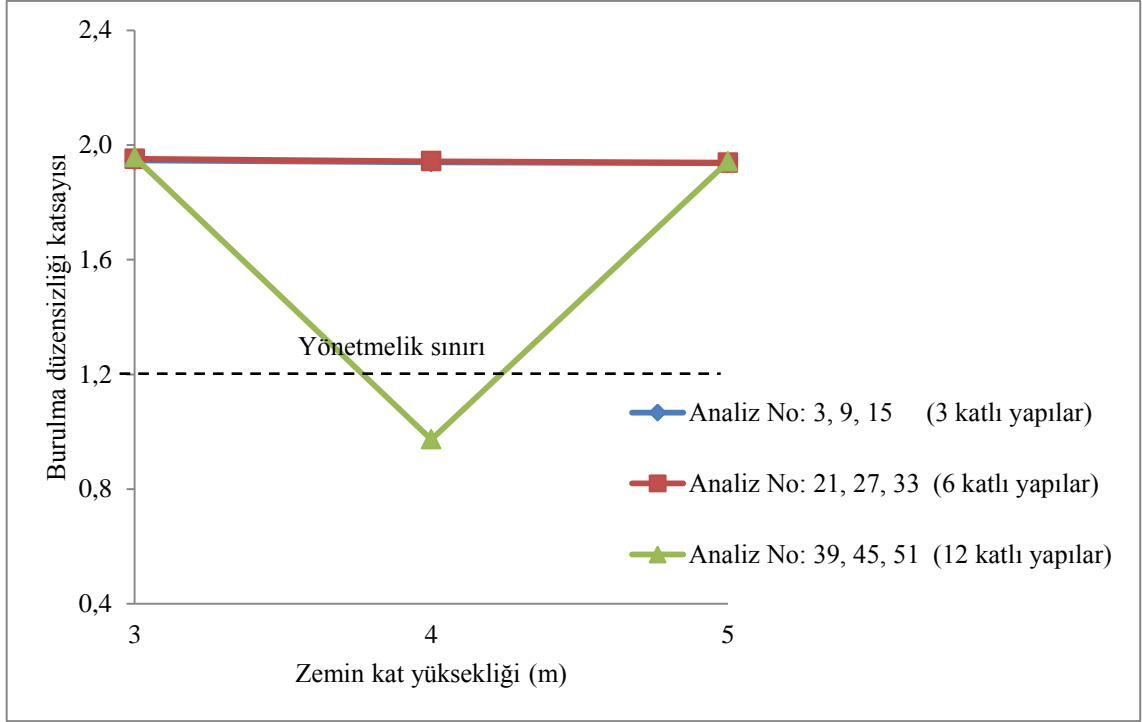
Şekil 67. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdeli**, tüm katlar dolgu duvarlı yapılar)



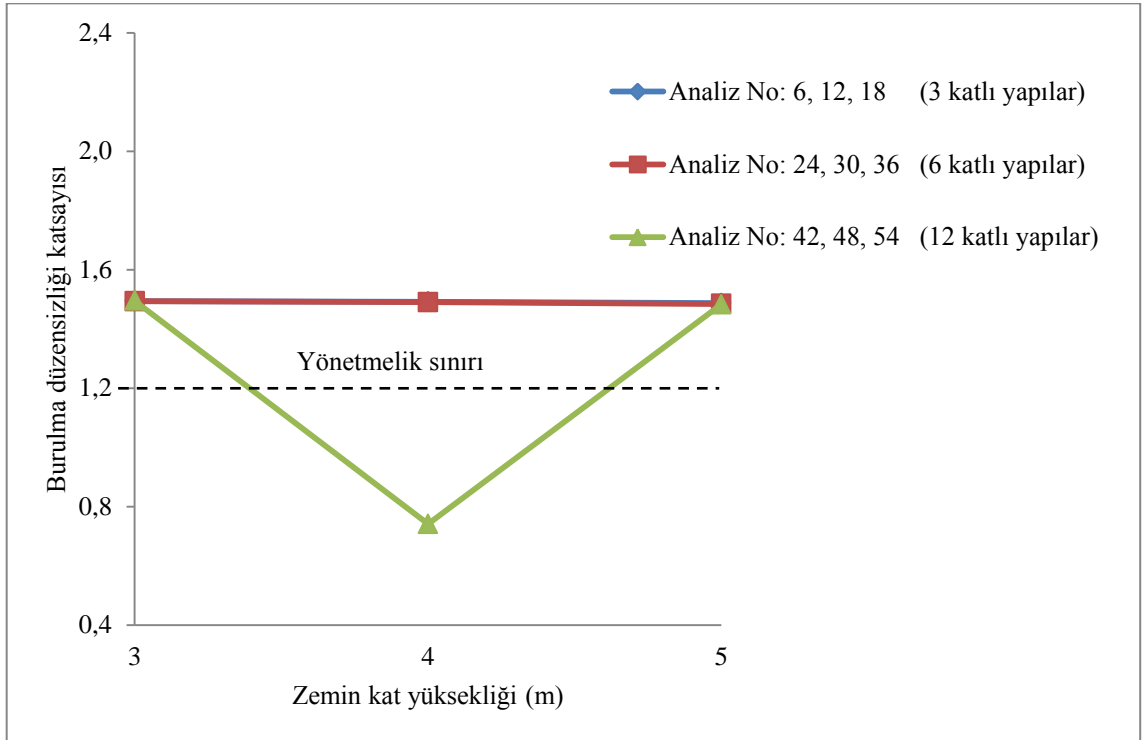
Şekil 68. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdesiz**, zemin katı dolgu duvarsız, üst katlar dolgu duvarlı yapılar)



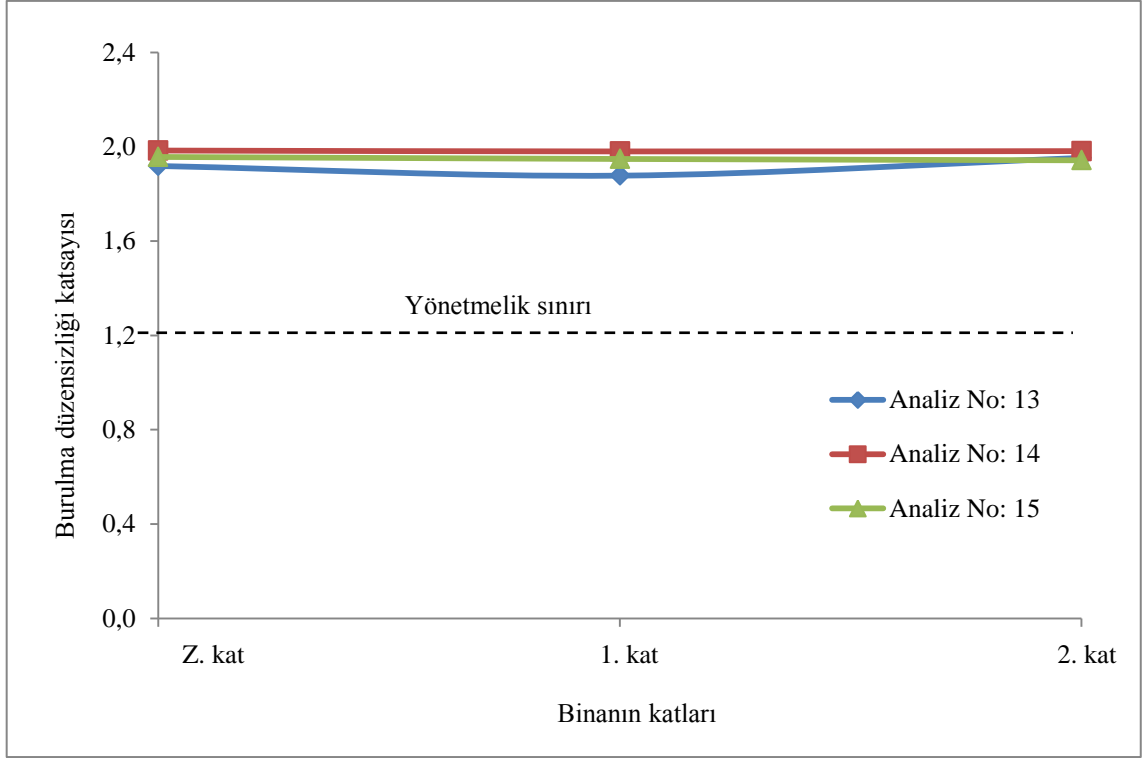
Şekil 69. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdeli**, zemin katı dolgu duvarsız, üst katlar dolgu duvarlı yapılar)



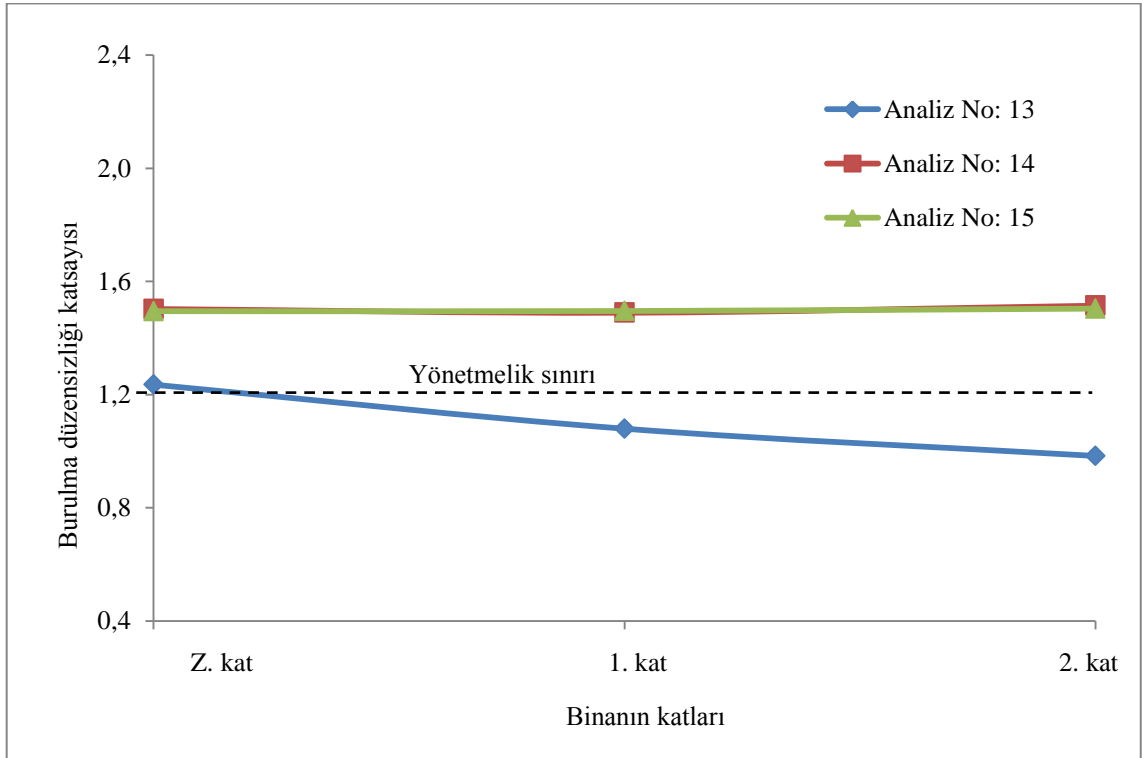
Şekil 70. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdesiz** ve dolgu duvarsız yapılar)



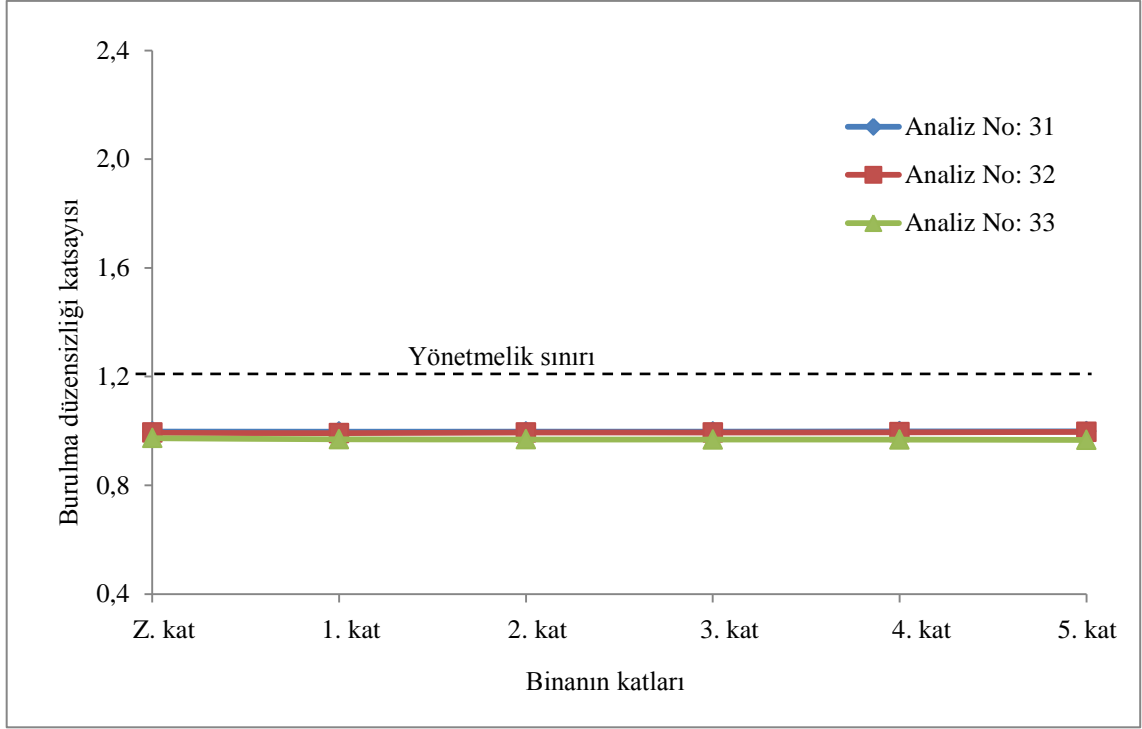
Şekil 71. Zemin kattaki burulma düzensizliğinin binanın kat adedi ve zemin kat yüksekliği ile değişimi (Betonarme **perdeli** ve dolgu duvarsız yapılar)



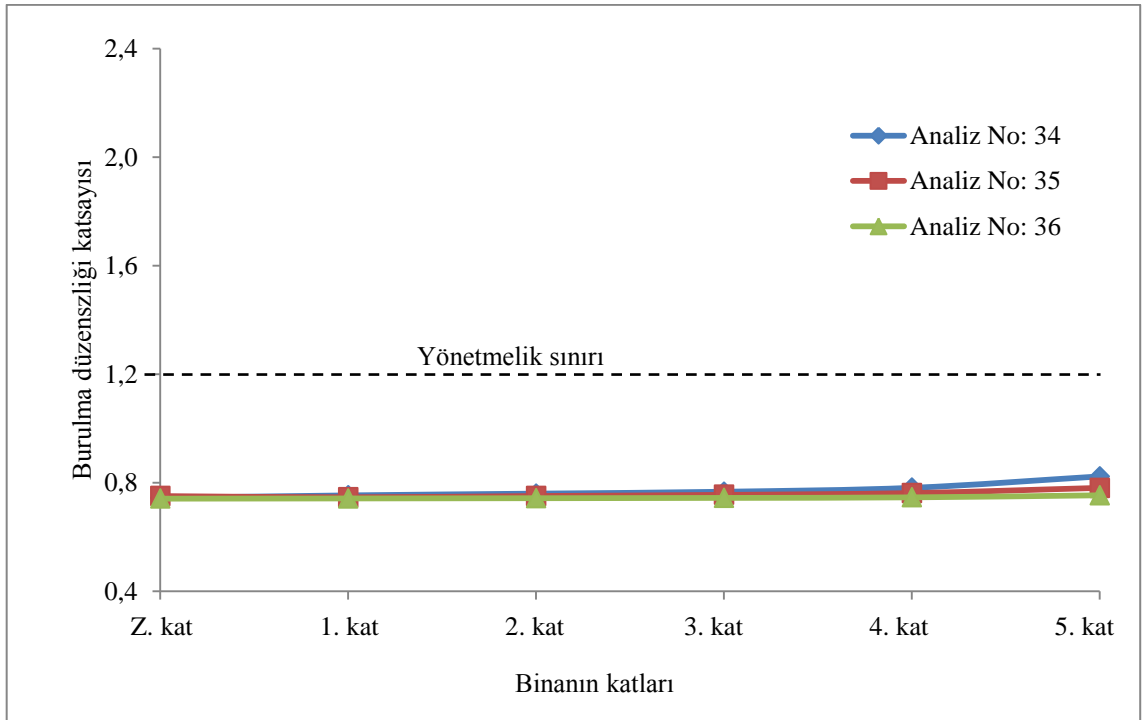
Şekil 72. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdesiz** 3 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



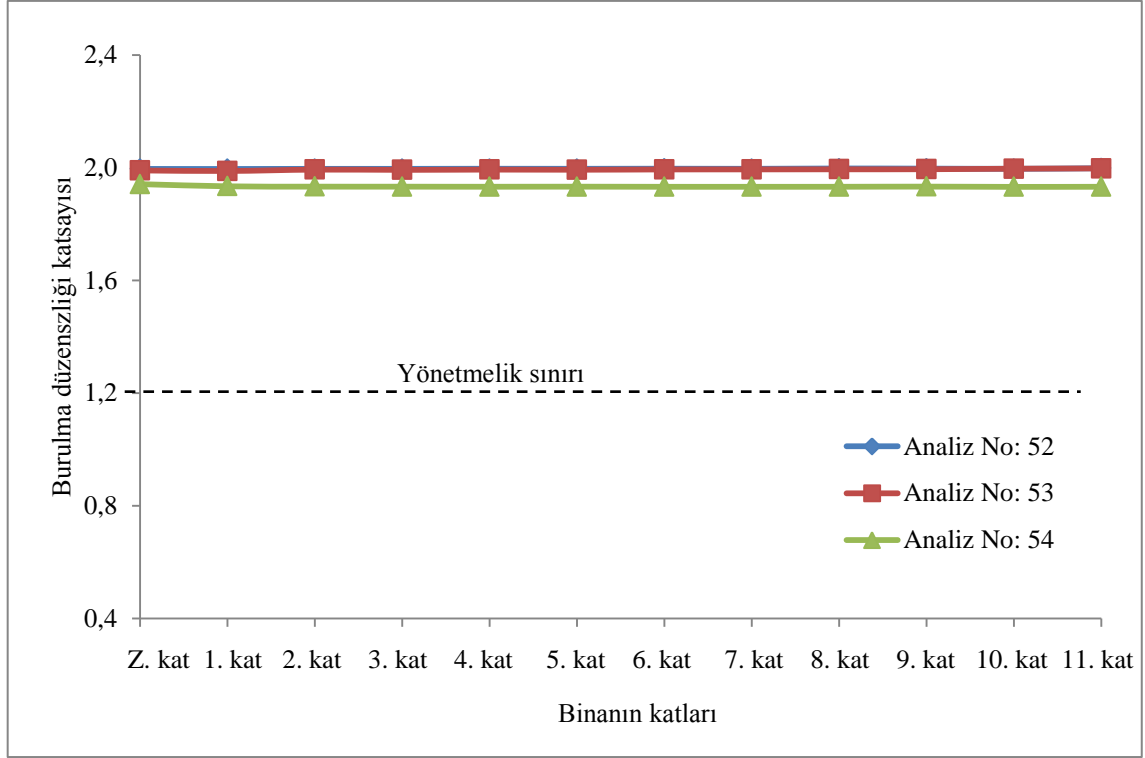
Şekil 73. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdeli** 3 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



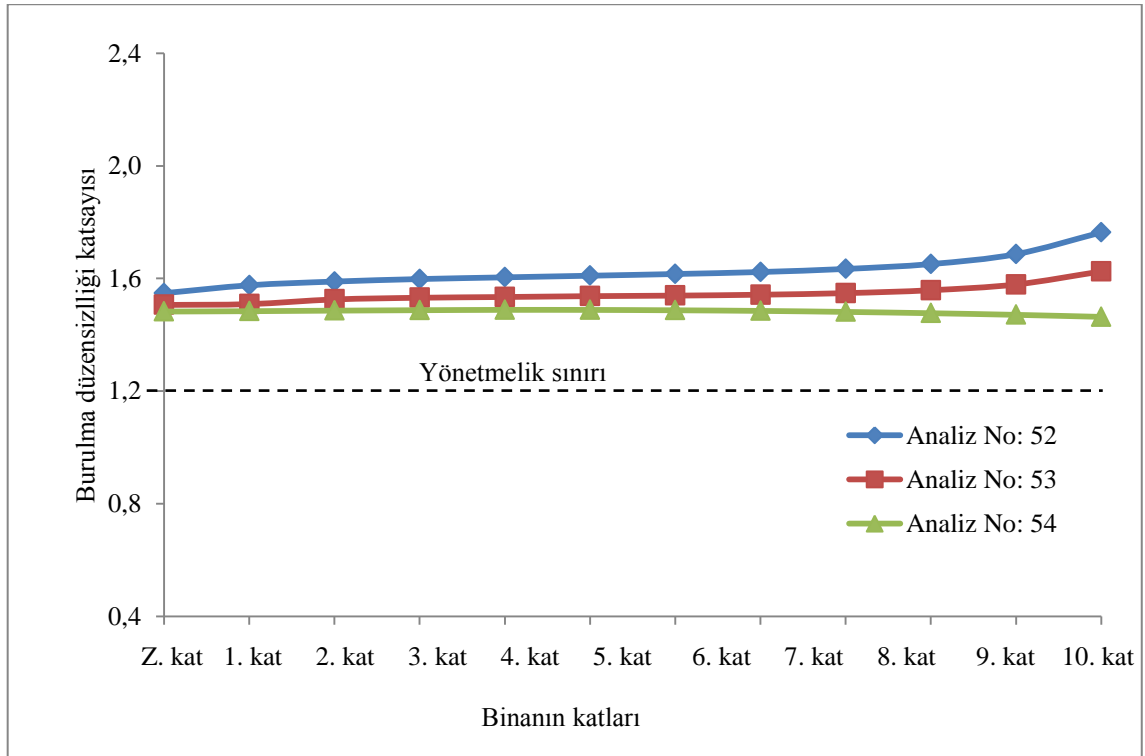
Şekil 74. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdesiz** 6 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



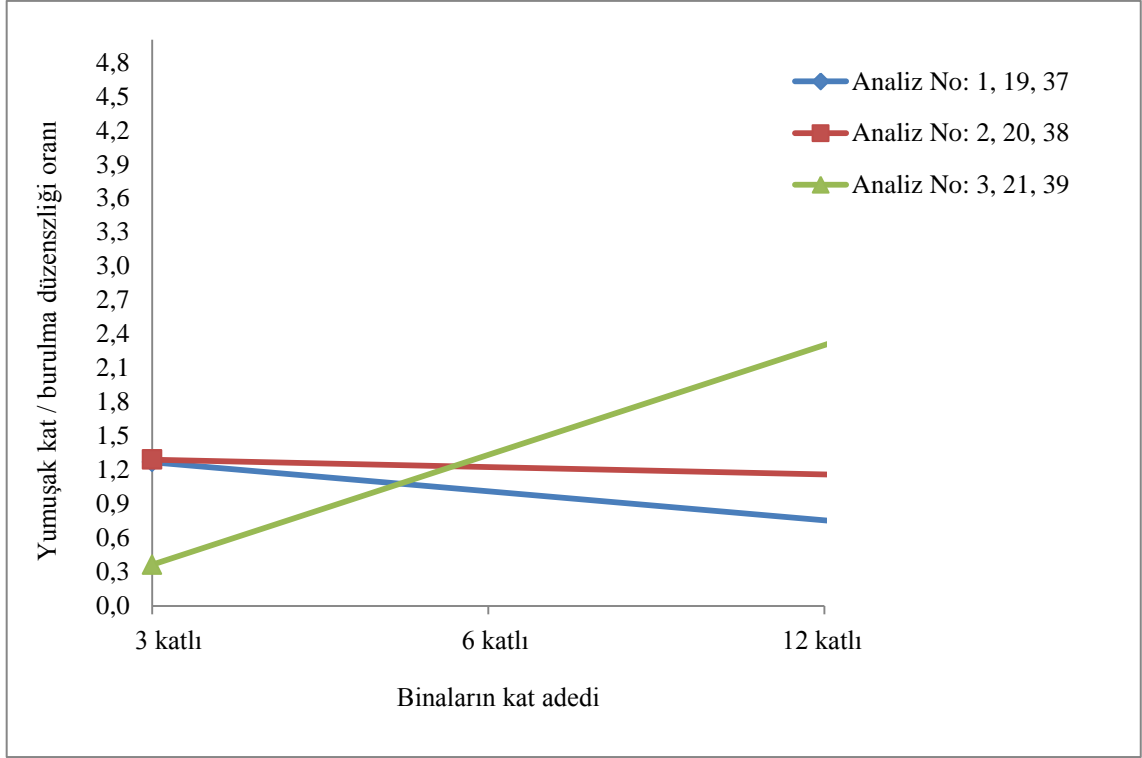
Şekil 75. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdeli** 6 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



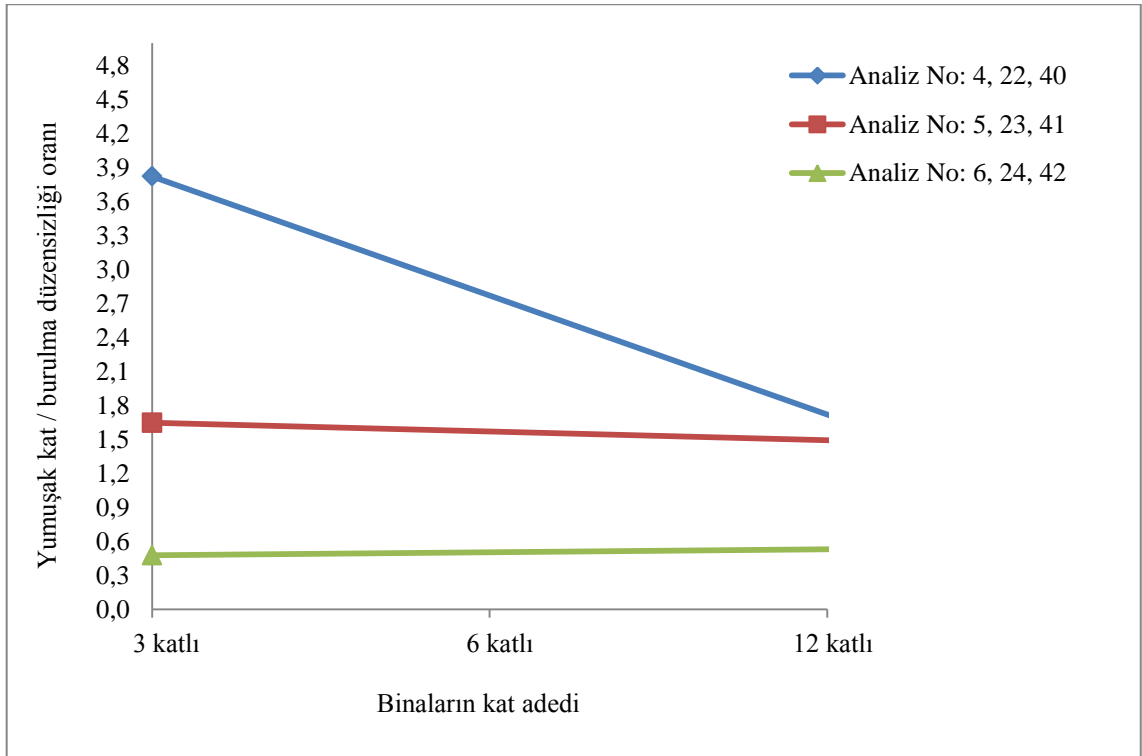
Şekil 76. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdesiz** 12 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



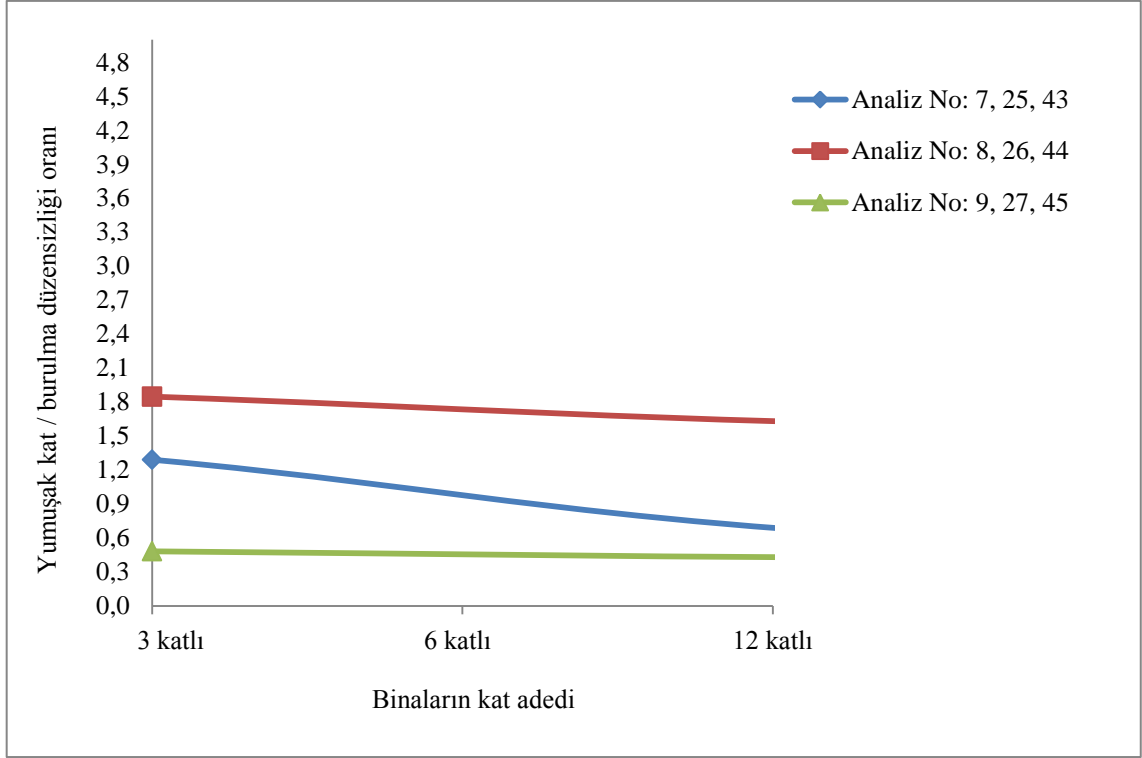
Şekil 77. Burulma düzensizliğinin katlara göre değişimi
(Betonarme **perdeli** 12 katlı yapılar, $h_z = 5.0$ m)



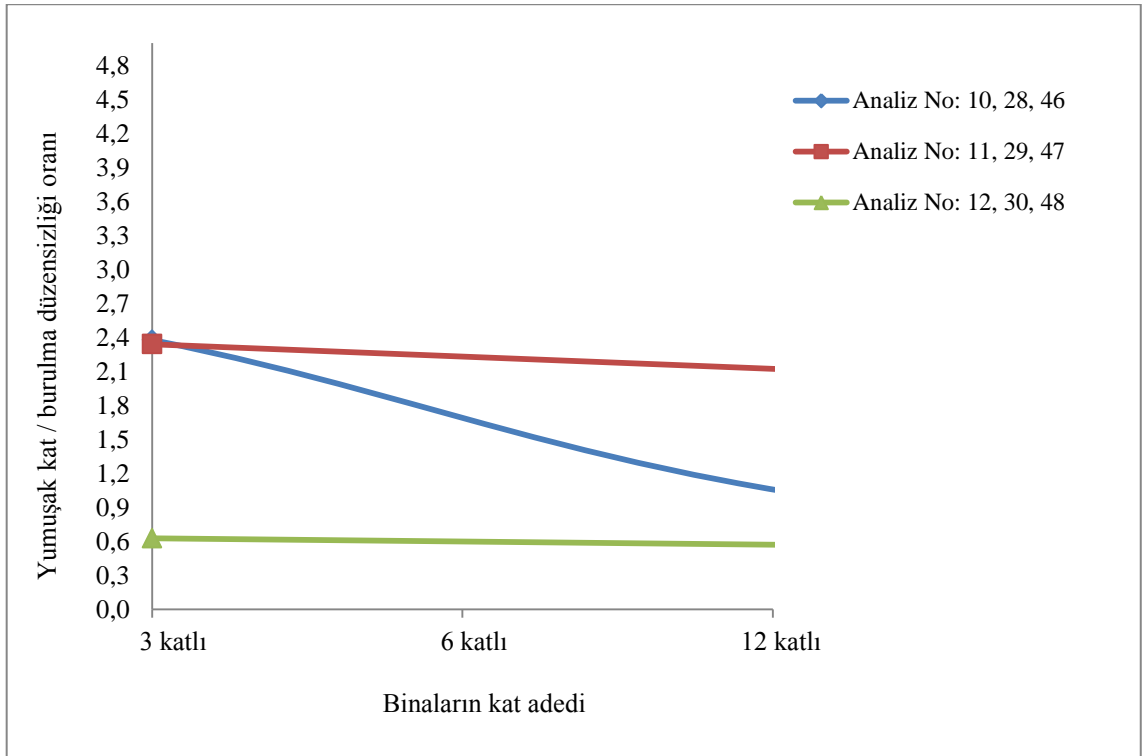
Şekil 78. Betonarme **perdesiz** yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=3.0 m)



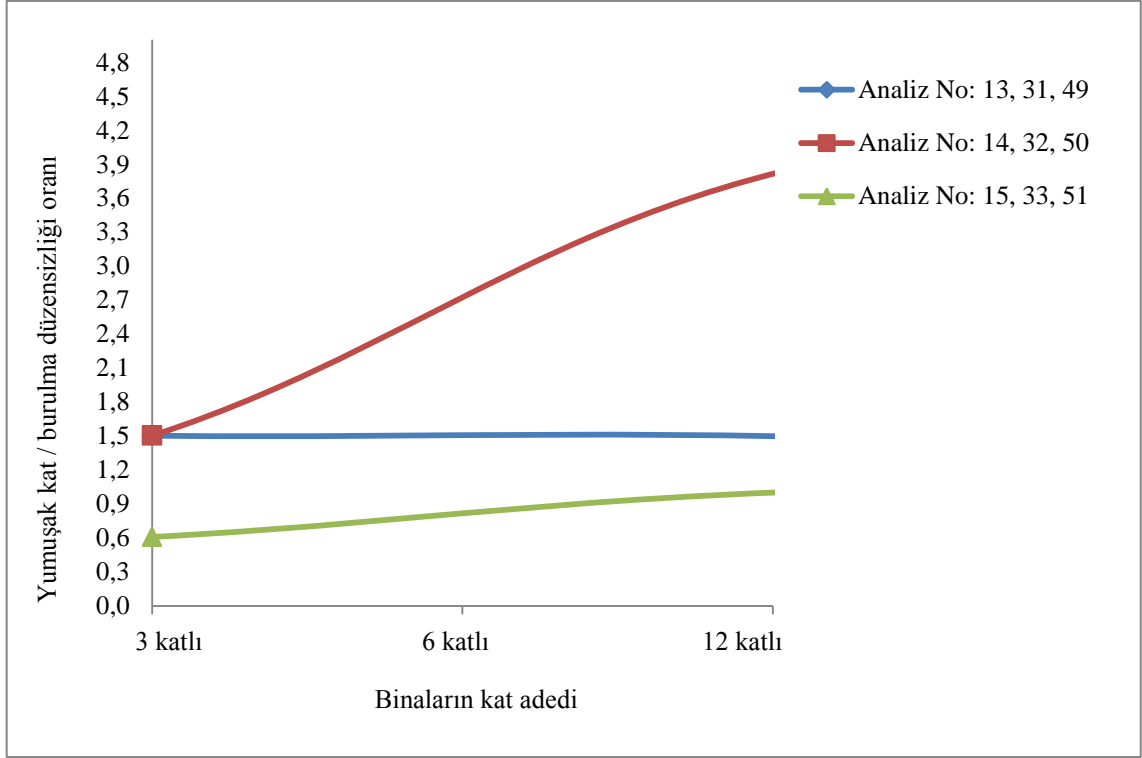
Şekil 79. Betonarme **perdeli** yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=3.0 m)



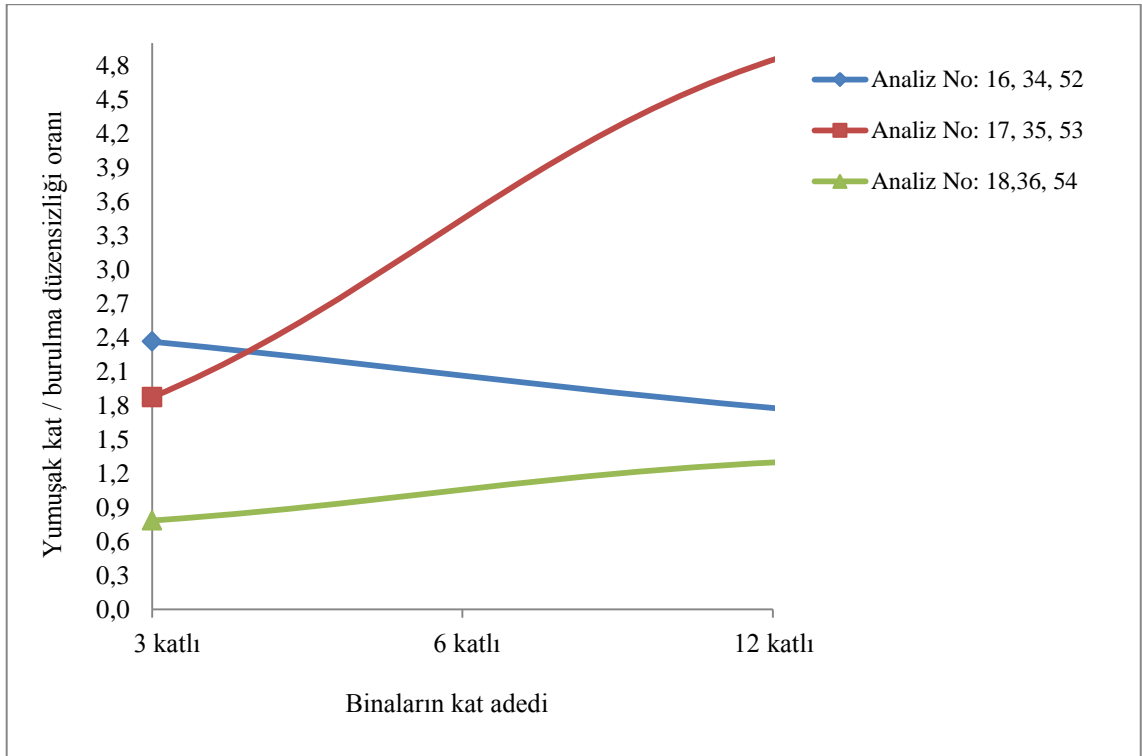
Şekil 80. Betonarme **perdesiz** yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=4.0 m)



Şekil 81. Betonarme **perdeli** yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=4.0 m)



Şekil 82. Betonarme **perdesiz** yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=5.0 m)



Şekil 83. Betonarme **perdeli** yapılarda zemin kattaki yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisi (Zemin kat yüksekliği=5.0 m)

Gerçekleştirilmiş olan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlara göre; Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliğinin zemin kat yüksekliğine göre değişiminin incelenmesinden;

Betonarme perdesiz 3 katlı yapılar arasında sadece karkas (dolgu duvarsız) olanların (Analiz No: 3, 9 ve 15) zemin katlarında yumuşak kat durumu oluşmamıştır. Aynı modellerin perdeli tiplerinde ise dolgu duvarlı olanların zemin katlarında yumuşak kat durumu ortaya çıkmamıştır.

Betonarme perdeli ve perdesiz 6 ve 12 katlı yapılar arasında sadece zemin katı dolgu duvarsız, üst katlar dolgu duvarlı olan modellerin zemin katlarında yumuşak kat durumu oluşmuştur. Bu durum, zemin katta duvar olmayışının, bu katın üst katlara göre çok daha az rijitliğe sahip olduğunu göstermektedir. Sadece zemin kat yüksekliğinin üst katlardaki ile aynı olması durumunda ($h_z=3.0$ m) yönetmelik sınırı olan 2.0 değerine çok yaklaşılmakta, diğer yükseklik değerleri için elde edilen katsayılar zemin kat yüksekliği ile orantılı olarak artmaktadır.

Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişiminin incelendiği eğrilere ise 6 ve 12 katlı yapılarda, sadece zemin katta dolgu duvar olmadığı modellerde zemin katta yumuşak kat düzensizliği oluşmakta ve bu düzensizlik katsayısı ani bir düşüş yaparak 2.0 değerinin altına inmekte, üst katlara doğru tekrar yükselme eğilimi göstermektedir. Bu irdelemelere göre, yumuşak kat oluşumu açısından en olumsuz durumun, dolgu duvarsız yüksek zemin katta sahip yapılarda ortaya çıktığı görülmektedir.

Zemin kattaki burulma düzensizliğinin incelendiği eğrilere göre, söz konusu yapıların hemen tümünde zemin katta burulma düzensizliği katsayısı 1.2 – 2.0 arasındadır. Betonarme perde ilave edilmiş modellerdeki burulma düzensizliği katsayısı perdesiz modellerdekinden ortalama %20 daha az olarak belirlenmiştir. Burulma düzensizliği katsayısı, 6 ve 12 katlı modellerde katlar arasında önemli bir değişiklik göstermemektedir.

Zemin kattaki yumuşak kat düzensizliği ile burulma düzensizliğinin ilişkisinin sunulduğu eğrilerin irdelenmesinden, sadece $h_z=5.0$ m olan, zemin katı dolgu duvarsız 12 katlı modellerde yumuşak kat oluşumu çok daha etkin durumda olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, bina türü betonarme yapılarda yumuşak kat düzensizliğinin burulma düzensizliği ile ilişkisinin incelenmesi idi. Bu amaçla belirlenen bir betonarme çerçeve sistem üzerinde SAP2000 yazılımı kullanılarak parametrik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, çalışmanın birinci bölümünde depreme dayanımlı yapı tasarımının temel ilkeleri, yürürlükteki deprem yönetmeliği (DBYBHY, 2007) 'ne uygun olarak incelenmiş, yatay yükler altında binalarda ortaya çıkan komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği (yumuşak kat düzensizliği) ve burulma düzensizliği durumları ortaya konmuştur. Çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümlerinde ise belirlenen bir mimari plan üzerinde SAP2000 programı kullanılarak gerçekleştirilen dinamik analizler sunularak elde edilen sonuçlar irdelenmektedir.

Gerçekleştirilmiş olan çalışmaların tümünden çıkartılabilecek sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmektedir.

- a) Betonarme perdesiz 3 katlı yapılar arasında sadece karkas (dolgu duvarsız) olanların zemin katlarında yumuşak kat durumu oluşmamıştır. Aynı modellerin perdeli tiplerinde ise dolgu duvarlı olanların zemin katlarında yumuşak kat durumu ortaya çıkmamıştır.
- b) Betonarme perdeli ve perdesiz 6 ve 12 katlı yapılar arasında sadece zemin katı dolgu duvarsız, üst katlar dolgu duvarlı olan modellerin zemin katlarında yumuşak kat durumu oluşmuştur. Sadece zemin kat yüksekliğinin üst katlardaki ile aynı olması durumunda ($h_z=3.0$ m) yönetmelik sınırı olan 2.0 değerine çok yaklaşılmakta, diğer yükseklik değerleri için elde edilen katsayılar zemin kat yüksekliği ile orantılı olarak artmaktadır.
- c) Yumuşak kat düzensizliğinin katlara göre değişiminin incelendiği eğrilerde ise 6 ve 12 katlı yapılarda, sadece zemin katta dolgu duvar olmadığı modellerde zemin katta yumuşak kat düzensizliği oluşmakta ve bu düzensizlik katsayısı ani bir düşüş yaparak 2.0 değerinin altına inmekte, üst katlara doğru tekrar yükselme eğilimi göstermektedir. Bu irdellemelere göre, yumuşak kat oluşumu açısından en olumsuz durumun, dolgu duvarsız yüksek zemin kata sahip yapılarda ortaya çıktığı görülmektedir.

- d) İnceleme konusu yapıların hemen tümünde zemin katta burulma düzensizliği katsayısı 1.2 – 2.0 arasında elde edilmiş, betonarme perdeli modellerdeki burulma düzensizliği katsayısı perdesiz modellerdekinden ortalama %20 daha az olarak belirlenmiştir. Burulma düzensizliği katsayısı, 6 ve 12 katlı modellerde katlar arasında önemli bir değişiklik göstermemektedir.
- e) Yumuşak kat düzensizliğinin burulma düzensizliği ile karşılaştırıldığı eğrilere göre, bu iki düzensizlik durumu arasında yapıların kat adedinin artması ile önemli bir değişim sergilememektedir.

Özetle bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, inceleme konusu kolon-kiriş çerçeve tipi betonarme yapılardaki komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği olarak tanımlanan yumuşak kat düzensizliğinin kattaki dolgu duvar varlığı ile doğrudan ilişkili olduğu, dolgu duvarların varlığının burulma düzensizliği oluşumu üzerinde önemli bir etki yapmadığı görülmüştür. Ancak, bu sonuçların çalışma konusu yapılar ve modellemeye ait olduğu, başka planlar üzerinde yapılacak analizlerin de konuya daha fazla katkı sağlayacağı açıktır. Yapı analizlerinde dolgu duvarların sadece yük olarak değil, eleman olarak modele girilmesi ile mevcut yumuşak kat düzensizliğinin yokmuş gibi değerlendirilmesinin de önüne geçilecektir.

5. KAYNAKLAR

- Altın, S., Ersoy, U. ve Tankut, T., 1992, Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames, *Journal of Structural Engineering*, 118, 8, 2133-2150.
- Altıntop, M., A., 2007, Yumuşak Kat Düzensizliğine Sahip Binaların Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Arnold, C., Reitherman, R., 1982, *Building Configuration & Seismic Design*, John Wiley&Sons Inc., USA.
- Arslan, S., 2007, Betonarme Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışlarına Ekileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Axley, J., W. ve Bertero, V., V., 1979, Infill Panels: Their Influence on Seismic Response Of Building, *University of California, Berkeley*, 42-46.
- Aydın, R., Nisan 2001, Betonarme Yapıların Depreme Dayanıklı Olarak Tasarımı, Türkiye Deprem Vakfı Teknik Raporu.
- Bayülke, N., 2003, Betonarme Yapının Dolgu Duvarı, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 426, 4, 85-98.
- Bayülke, N., 2001, Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, İzmir.
- Benjamin, C., S. ve Williams H., A., 1957, The Behaviour of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls *Proceedings of A.S.C.E.*, 83, 32.
- Benjamin, C., S. ve Williams H., A., 1958, The Behaviour of One-Story Reinforced Brick Shear Walls *Proceedings of A.S.C.E.*, 84, 256.
- Celep, Z. ve Kumbasar N., 1996, Betonarme Yapılar, Sema Matbaacılık, İstanbul, 143-151.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2001, Yapı Dinamiği, Rehber Matbaacılık, İstanbul.
- Celep, Z., 2008, Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, 2. Baskı, 119-121, 2008, İhlas Matbaacılık, İstanbul.
- Çağatay, i., H. ve Güzeldağ, S., 2002, Deprem Yönetmeliği (TDY-98) SAP 2000 Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Deprem Yönetmeliği, 2007, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.

- Doğangün, A., 2011, Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, 7. Baskı 103-110, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Doğangün, A., 2005, Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 567-572.
- Doğangün, A. ve Livaoglu, R., Eylül 2002, Yumuşak Kat Düzensizliğinin Yapı Davranışına Etkileri, IV. Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir, Bildiriler Kitabı: 479-489.
- Dönmez S., 2006, Deprem Etkisinde Betonarme Binalarda Hasarın Oluşmasında Dolgu Duvarların Modellenmesi ve Taşıyıcı Sisteme Katkısı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erol G., 2001, Yüksek Mukavemetli Tuğlalardan Yapılmış Duvarlarda Kayma Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ersin, U., D., 1997, Küçük Titreşim Ölçümleri ve Dolgu Duvarlarının Mekanik Modele Yansıtılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ersoy, U. ve Tankut, T., 1992, Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames, ASCE Journal of Structural Engineering, 118, 8.
- Ersoy, U., 1995, Betonarme 2 Döşeme ve Temelleri, 2, 1, 1, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Ersoy, U., Uzsoy, Ş. ve Aktan, E., 1971, Dolgulu Çerçevelerin Davranış ve Mukavemeti, Ankara, 46-48.
- FEMA-306, 2005, Repair of earthquake damage concrete and masonry buildings-Basic procedures manual, Federal Emergency Management Agency, Washinton.
- Fiorata, A., E., Sözen, M., A. ve Gamble, W., L., 1970, An Investigation of the Interaction of Reinforced Concrete Frames with Masonry Filler Walls, University of Illinois.
- Govindan, P. ve Santhakumar, A., R., 1986, Ductility of Infilled Frames, ACI Journal, 567-576.
- Gülkan, P. ve Wasti, S., T., 1993, Çerçeve-Dolgu Etkileşmesi: Lineer Olmayan Bir İrdemeleme, XII. Technical Congress on Civil Engineering, Ankara, 311-323.
- Gülkan, P. ve Wasti, S., T., 1974, Dolgu Duvarlı Çerçeve İlişkileri İçin Analitik Model, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, 1, 4.
- Gürel M., A., 2001, Kargir Dolgu Duvarların Düzlemlerine Dik Deprem Etkileri Altında Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Holmes, M., 1961, Steel Frames with Brickwork and Concrete Intilling, Institution of Civil Engineers (ICE), 19, 473-478.
- Işık, G., 2006, Betonarme Binaların Zemin Katında Oluşabilen Kısa Kolon ve Yumuşak Kat Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- İrtem, E., Türker K. ve Hasgül U., Eylül 2005, Betonarme Binalarda Yumuşak Kat Düzensizliğinin Sismik Performansa Etkisinin İncelenmesi, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya, Bildiriler Kitabı:100-110.
- İrtem, E., Türker ve K., Hasgül, U., 2005, Dolgu Duvarlarının Betonarme Bina Davranışına Etkisi, İ. T. Ü. Mühendislik Dergisi/d, 4, 4, İstanbul.
- Karasu, T., O., Erdem R., T., 2011, Demir A. ve Bağcı M., Yumuşak Kat Düzensizliği Bulunan Betonarme Bir Binanın Performansının İncelenmesi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 61-69.
- Kızıloğlu, M., Y., 2006, Deprem Etkisi Altında Dolgu Duvarların Betonarme Çerçeve Yapılar Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Klingner, R., E. ve Bertero, V., V., 1976, Infilled Frames in Earthquake Resistant Construction, United Kingdom, 76-82.
- Korkmaz K., A. ve Uçar T. , 2006, Yumuşak Kat Düzensizliğinin Betonarme Binaların Deprem Davranışına Etkisi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11, 2, 65-76.
- Korkmaz K., A., Uçar T. ve Düzgün M., Şubat 2010, Yapısal Düzensizlikleri Olan Betonarme Yapıların Deprem Davranışlarının Değerlendirilmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 123-138.
- Korkmaz, A. ve Uçar, T., 2006, Betonarme Binaların Deprem Davranışında Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 8, 1, 101-108.
- Korkmaz, A., Uçar., T. ve İrtem E., 2005, Yumuşak Kat Düzensizliğinin ve Dolgu Duvarların Betonarme Binaların Deprem Davranışına Etkileri, IMO Teknik Kongre, Antalya.
- Mallick, D., V. ve Garg, R., P., 1971, Effect of Openings on the Lateral Stiffness of Infilled Frames, Institution of Civil Engineers, 49, 7371, 193-210.
- Mallick, D., V. ve Severn, R., T., 1967, The Behaviour of Infilled Frames Under Static Loading, Institution of Civil Engineering, 38, 639-956.

- Meli, R. ve Bazan, E., 1980, Seismic Analysis of Structures with Masonry Walls
Proceedings of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering,
İstanbul, 263-271.
- Merhabi, A., Shing, P., vd., 1996, Experimentel Evaluation of Masonry-Infilled RC
Frames, Journal of Structural Engineering, 228.
- Negro, P. ve Verzeletti, G., 1996, Effect of Infills on the Global Behavior of R/C Frames:
Energy Considerations from Pseudodynamic Tests, Earthquake Engineering and
Structural Dynamics, 25, 753-773.
- Öktem O., 2003, Betonarme Çerçeve Sistemlerin Lineer Olmayan Hesabı ve Dolgu
Duvarların Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen
Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir, M., Y., 2005, Yapıların Deprem Hesabında A2 Düzensizlik Durumunun
İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Adana.
- Özmen H., B., İnel M., ve Bilgin H., Ekim 2007, Yumuşak Kat Davranışının Duvar Etkisi
Dikkate Alınarak İncelenmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı,
İstanbul, Bildiriler Kitabı: 423-433.
- Özmen, G., vd., 2005, SAP 2000-V15, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Pauley, T. ve Priestley, N., 1992, Seismic Design of Reinforce Concrete and Masonry
Buildings, Wiley International Public, 584-592.
- Sayın, B. ve Kaplan S., A., 2005, Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Dolgu
Duvarların Modellenme Teknikleri, 474-478.
- Sezer, F., 2007, Betonarme Bir Yapının Doğrusal Olmayan Yöntemle Deprem
Güvenliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü,
İstanbul.
- Sivri M., Demir F. ve Kuyucular A., 2006, Dolgu Duvarlarının Çerçeve Yapının Deprem
Davranışına ve Göçme Mekanizmasına Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen
Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10-1, 109-115.
- Smith, B., S. ve Carter, C., 1969, A Method of Analysis for Infilled Frames, Institution of
Civil Engineers (ICE), 44, 31-48.
- Smith, B., S., 1967, The Composite Behaviour of Infilled Frames, Conference of Tall
Buildings, London, 481-492.
- Tezcan, S., Yazıcı A., Özdemir Z. ve Erkal A., Ekim 2007, Zayıf Kat-Yumuşak Kat
Düzensizliği, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Bildiriler
Kitabı: 339-349.

- Toker, A., 2007, Betonarme Bir Yapıda Dolgu Duvar Etkisinin Doğrusal Olmayan Dinamik Hesap Yöntemleriyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türker, K. ve Yavaş, A., 2011, Türkiye Deprem Yönetmeliğindeki Performans Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13, 2, 85-96.
- Tüzün, C., 1999, Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve Sistemlerinin Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yalçın E., 1999, Dolgu Duvarların ve Konumlarının Çok Katlı Betonarme Yapıların Deprem Kuvvetleri Altındaki Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yel N., H., 2002, Mevcut Bir Yapının Deprem Güvenliği ve Güçlendirilmesi İle Birinci Titreşim Periyoduna Bölme Duvarları ve Perde Mesned Koşullarının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yorulmaz, M. ve Altan, Y., T., 1971, Çeşitli Forme Yapı Taşları ile Yapılmış Duvar Numunelerinin İki İstikametli Yükleme Altında Davranışları, İ.T.Ü., İstanbul.
- Zacek, M., 2002, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Ön Proje Aşaması (Conception Parasismique Des Batiments, Niveau Avant-Projet), Depreme Dayanıklılık Semineri 1999 Fransa, Yıldız Teknik Üniversitesi ICUS Uluslar arası Kensel Çalışmalar Araştırma Merkezi, Üniversite Yayın No:YTÜ.ICUS.YK-02.0660, İstanbul.
- Zarnic, R., 1995, Modelling of Masonry Infilled Frames, 10th European Conference on Earthquake Engineering, Duma.
- URL-1. <http://www.deprem.gov.tr>, Deprem Nedir. 10.04.2013.
- URL-2. <http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu>, Betonarme II Ders Notları. 5.04.2013.
- URL-3. <http://insaat.uludag.edu.tr/adem>, Betonarme yapılarda taşıyıcı sistem düzenlemeleri. 6.04.2013.
- URL-4. <http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu>, Betonarme II sunular. 5.04.2013.

ÖZGEÇMİŞ

Tülin SANDIKCI, 1984 yılında Rize ilinin Pazar ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Rize’de tamamladı. 2005 yılında Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Öğretmenliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2009 yılında Yapı Öğretmenliği Bölümü’ndeki lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2011 yılında Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.