

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETONARME YÜKSEK BİR YAPININ  
YATAY YÜK ANALİZİ

Halil İbrahim PEHLİVAN

OCAK 2010

**İnşaat Anabilim Dalı** Halil İbrahim PEHLİVAN tarafından hazırlanan BETONARME YÜKSEK BİR YAPININ YATAY YÜK ANALİZİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Osman YILDIZ

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin İ. TAŞKIRAN

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Osman YILDIZ \_\_\_\_\_

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. H. İlder TAŞKIRAN \_\_\_\_\_

Üye : Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN \_\_\_\_\_

27/01/2010

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### BETONARME YÜKSEK BİR YAPININ YATAY YÜK ANALİZİ

PEHLİVAN, Halil İbrahim

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin İ. TAŞKIRAN

Ocak 2010, 128 sayfa

Yatay kuvvetler; rüzgâr veya zemin titreşimlerinin oluşturduğu atalet kuvvetleri, yapıyı kopmaya ve eğilmeye zorlar. Yapının taşıyıcı elemanları bu kuvvetlere karşı koyacak şekilde boyutlandırılıp konumlandırılmalıdır. Yapının yüksekliği ile rüzgâr ve deprem yükleri arttıkça, yatay yükleri taşıyacak özel taşıyıcı sistemler seçmek gerekir. Bu sistemlerden rijit çerçeve sistemi orta yükseklikteki ve alçak yapılar için uygundur. Yapı yüksekliği arttıkça rijit çerçeve, çapraz bağlarla güçlendirilmeli veya rijit çekirdeklerle desteklenmelidir. En uygun yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinden biri yanal kuvvetleri karşılamada yapının çevresinden de yararlanan tüp sistemlerdir. Yatay yüklere karşı güvenli taşıyıcı sistem tasarımı için temel ilkeler dayanım, rijitlik ve sünekliktir. Dayanım; taşıyıcı sistem elemanların yatay ve düşey yüklerden kaynaklanan yükleri güvenle taşımasıdır. Yeni deprem yönetmeliğinde dayanımı sağlamak için kapasite tasarım ilkesi benimsenmiştir. Yapı için yeterli bir rijitlik; ikinci mertebe momentlerini mümkün olduğunca küçültmek, sıkça oluşan depremlerde yapısal olmayan hasarları azaltmak, aletlerin çalışmasına engel olacak ve insanları rahatsız edecek deformasyonları önlemek için gereklidir. Yapıda oluşacak deprem enerjisinin bir kısmını plastik aşamada tüketmek ve yapı maliyetini düşürmek için betonarme taşıyıcı sistemlerin ve onu oluşturan eleman, kesit ve malzemelerin sünek davranış gösterecek şekilde tasarlanması gerekir.

Bu çalışmada, rüzgâr yüklerinin bazı durumlarda taşıyıcı sistem tasarımı için daha kritik olması nedeniyle bu etkinin önemini göstermek amacıyla öncelikle özet bilgi içeren TS498 ve daha detaylı olan ASCE 7-02' ye göre rüzgâr yükleri incelenmiştir. Sonuçta ASCE 7-02'ye göre rüzgâr hesabı bölge farklarını, topoğrafik şartları, binanın önem durumunu dikkate aldığı için ve TS498 meteoroloji kayıtları ile eşiştiği için ASCE 7-02 daha gerçekçi bulunmuştur.

Ayrıca 210 m yüksekliğindeki bir yapıda TS 498' e ve ASCE 7-02 'ye göre rüzgâr hesabı yapılarak büyük olan değer yapıya statik rüzgâr yüklemesi olarak verilmiştir. Aynı zamanda bu yapıya 1. ve 4.derece deprem durumuna göre mod birleştirme yöntemi kullanılarak deprem yükü de etkitilmiştir. Sonuçta rüzgâr yüklemesinden oluşan yapı taban kesme kuvvetleri 4. derece deprem yüklemesinden oluşan taban kesme kuvvetlerinden yüksek çıktığından yapı taşıyıcı sistem tasarımının rüzgâr yüklerine göre yapılması gerekmektedir. Bu nedenle TS498 standardının değiştirilmesi tavsiye edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Betonarme Yüksek Yapı Tasarımı, Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistemleri, Deprem Yükleri Hesap Yöntemi, Rüzgâr Yükleri Hesap Yöntemi, TS498, ASCE 7-02.

## **ABSTRACT**

### **HORIZONTAL LOAD ANALYSIS OF A REINFORCED CONCRETE OF TALL BUILDINGS**

PEHLİVAN, Halil İbrahim

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Eng., M., Sc. Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. H. İter TAŞKIRAN

January 2010, 128 pages

Horizontal forces, wind or inertia forces formed by wind or ground vibrations coerce construction to either fall off or bend. Carrying elements of the construction shall be sized and positioned so as to withstand against these forces. As earthquake and wind load of a construction increases with its height, special carrying systems to carry horizontal load should be selected. Of these systems, rigid frame system is appropriate for mid to low height constructions. As height is increased, rigid frame is supposed to be strengthened with diagonal elements or supported with rigid cores. One of the most appropriate tall buildings carrying systems for withstanding against horizontal forces is tube systems, in which surrounding of the construction is also utilized.

Fundamental principles in the design of safe carrying systems against horizontal forces are endurance, rigidity and ductility. Endurance is the safe carrying of horizontal and vertical loads by carrying system elements. In recent earthquake by law, capacity design principle has been considered to ensure endurance. A sufficient rigidity for the construction is required to shrink second order moments as much as possible, to decrease unstructured damages after frequent earthquakes and to prevent deformations that can hinder functioning of equipments and bother people. For the purpose of consuming some of earthquake energy in the plastic stage and lower

construction costs, reinforced concrete of carrying systems and its elements, section and materials shall be designed so that they behave ductily.

In this thesis, given that wind loads, in some cases, can be critical in design of a carrying system and with the aim of demonstrating the importance of this effect, wind loads according to brief TS498 and to more detailed ASCE 7-02 methods have been examined. The results show that wind load calculation with ASCE 7-02 is more realistic since it considers regional differences, topographical conditions and importance of the construction and also TS498 contradicts with meteorology records.

Additionally, in a 210 m high construction wind load was calculated according to both TS498 and ASCE 7-02 methods and bigger of the figures was given to the construction as static wind load. Furthermore, earthquake load was given to this building using modal analysis method according to first and fourth degree earthquake situation. Consequently, as building base shear forces formed by wind was found to be higher than that of formed by fourth degree earthquake load, it is concluded that construction carrying systems should be designed based on wind loads. For this reason it is advised that TS498 standart be changed.

**Key words:** Design of Reinforced Concrete of Tall Buildings, Tall Buildings Carrying Systems, Method for Calculation of Earthquake Load, Method for Calculation of Wind Load, TS498, ASCE 7-02.

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında yardımını esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd.Doç.Dr. Hüseyin İ. TAŞKIRAN 'a, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm Sayın Yrd.Doç.Dr. Osman YILDIZ'a ve Sayın Yrd.Doç. Dr. Orhan DOĞAN'a, bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen ve ellerindeki tüm kaynakları ve verileri benimle paylaşan değerli büyüklerim Sayın Dr. İnşaat Mühendisi Ali Ruzi ÖZUYGUR'a ve Sayın Dr. İnşaat Mühendisi Gökhan TUNÇ'a, beni bugünlere getiren başta anne ve babam olmak üzere tüm aile bireylerime ve son olarak ta desteği ile her zaman yanımda olduğunu hissettiğim çalışmalarımaya yardımcı olan fedakâr eşim Őeyda PEHLİVAN'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Kaynak Özetleri .....	2
1.2. Çalışmanın Amacı .....	3
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>5</b>
2.1. Betonarme Yüksek Yapıların Yatay Yüklere Karşı Davranışı .....	5
2.2. Taşıyıcı Sistem Güvenliği İçin Gerekli Şartlar .....	12
2.2.1. Dayanım .....	12
2.2.2. Rijitlik .....	14
2.2.3. Süneklik.....	17
2.2.3.1. Malzemenin Sünekliği .....	19
2.2.3.2. Kesitin Sünekliği .....	20
2.2.3.3. Taşıyıcı Sistemin Sünekliği .....	21
2.2.4. Sağlamlık (Stabilite).....	26
2.2.5. Sönüm .....	27
2.2.6. Uyum (Adaptasyon).....	28
2.2.6.1. Liftten Life Uyum .....	28
2.2.6.2. Kesitten Kesite Uyum .....	29
2.2.6.3. Elemandan Elemana Uyum.....	30
2.3. Sınır Durumlar .....	30
2.3.1. Taşıma Gücü Sınır Durumları.....	30
2.3.2. İşletme Sınır Durumları.....	32
2.4. Taşıyıcı Sistem Elemanları .....	33



2.4.1. Kolon .....	33
2.4.2. Perde .....	34
2.4.3. Kiriş .....	38
2.4.4. Döşeme .....	40
2.4.5. Temeller .....	45
2.5. Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistem Çeşitleri .....	47
2.5.1. Çerçevesiz Sistemler .....	58
2.5.2. Perdeli Sistemler .....	61
2.5.3. Boşluklu Perde Duvarlı Sistemler .....	63
2.5.4. Çapraz Bağlı Çerçevesiz Sistemler .....	64
2.5.5. Perdeli- Çerçevesiz Sistemler .....	66
2.5.6. Yapı Tabanı İle Zemin Hareketini Ayıran Sistemler .....	67
2.5.7. Tüp Sistemler .....	70
2.5.8. İç İçte Tüp Sistemler .....	74
2.5.9. Demet Tüp Sistemler .....	74
2.6. Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistem Uygulamaları .....	76
2.7. Yüksek Yapıda Yükler ve Hesapları .....	78
2.7.1. Düşey Yükler .....	79
2.7.2. Deprem Yükleri ve Hesap Yöntemleri .....	79
2.7.2.1. Depremin Dinamik Özellikleri .....	80
2.7.2.2. Düzensizlik Durumlarının İncelenmesi .....	84
2.7.2.3. Etkin Yer İvmesi Katsayısı .....	85
2.7.2.4. Bina Önem Katsayısı .....	85
2.7.2.5. Spektrum Katsayısı .....	86
2.7.2.6. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı .....	89
2.7.2.7. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi .....	92
2.7.2.8. Mod Birleştirme Yöntemi .....	94
2.7.3. Rüzgâr Yükleri ve Hesap Yöntemleri .....	99
2.7.3.1. Rüzgârın Dinamik Etkileri .....	100
2.7.3.2. TS498 'e Göre Rüzgâr Yüğü Hesabı .....	103
2.7.3.3. Amerikan Şartnamesi (ASCE 7-02) Göre Rüzgâr Yüğü Hesabı .....	107

<b>3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>113</b>
3.1.Yükseklđđ 210 m Olan Yapı İçin Rüzgâr ve Deprem Yüğü Hesabı...	113
3.1.1.Deprem Yükleme Bilgileri.....	114
3.1.2.Rüzgâr Yükleme Bilgileri.....	120
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>126</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>128</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1.a. Eğilmeye, Devrilmeye ve Kesmeye Karşı Stabilité.....	5
2.1.b. Bir Konsol Kirişin Mekanizması .....	5
2.2. Yatay Kuvvetlerden Dolayı Yapıda Oluşan Hareketler.....	5
2.3. Yatay Kuvvetlerden Dolayı Yapıda Oluşan Hareketler.....	6
2.4. Binanın Eğilme Dayanımı.....	7
2.5. Bina Plan Formları: (b) deki kolon düzeni daha Verimli eğilme sağlar. ....	8
2.6. Kolon yerleşim planı Eğilme Rijitlik Oranı (ERO) .....	9
2.7. Yüksek Yapılarda Kesme Rijitliğini Sağlamada Kullanılan Duvarlar.....	10
2.8. Yüksek Yapılarda Kesme Rijitliği Sistemleri .....	11
2.9. Kapasite Tasarım İlkesine Göre Kiriş Mesnetlerinde Oluşacak Kesme Kuvvetleri .....	14
2.10. Rijitlik Koşulu İçin Görelî Kat Ötelemesi .....	16
2.11. Betonarme Yapılarda Plastik Mafsal .....	18
2.12. Malzemelerin sünekliklerinin karşılaştırılması .....	19
2.13. Betonarme Bir Kirişe Ait Eğrilik Sünekliğinin Belirlenmesi.....	20
2.14. Farklı Donatı Oranlarındaki Kolonları Gerilme Yer Değiştirmeleri .....	21
2.15. Betonarme taşıyıcı sistemin sünekliğinin belirlenmesi .....	22
2.16. Deprem Eşdeğer Yatay Yükün Sünekliğin Sağlanması Koşulu .....	23
2.17. Yapının sönümünü artırmak için yerleştirilen sönümleyiciler.....	28
2.18. Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	29
2.19. Kesitte Eğilme Momenti ve Eğrilik Değişiminin Normal Kuvvet Seviyesine Olan Bağlılığı .....	34
2.20. Yatay Yükler Etkisindeki Perde Duvarlarda Oluşabilecek Kırılma Biçimleri .....	35
2.21. Boşluklu perde tabanında oluşun eğilme momentleri kontrolü .....	36

2.22. Boşluksuz Perde Duvarlı-Çerçeve Sistem Modellemesi.....	36
2.23. Boşluklu Perde Duvarlı-Çerçeve-Sistem Modellemesi .....	37
2.24. Perde Duvarlarda Dikkate Alınacak Tasarım Eğilme Momenti.....	38
2.25. Basit Eğilme Etkisi Altındaki Kesitte Şekil Değişirme ve Gerilme .....	39
2.26. Bağ Kirişlerinin Donatılması .....	40
2.27. Döşeme Düşey Yük Toplama Sistemleri.....	41
2.28. Düşey Yük Aktarma Biçimleri.....	41
2.29. Döşemelerde a) rijit ve b) elastik diyafram davranışı .....	42
2.30. Döşemelerde Düzlem İçi Kesit Etkileri .....	43
2.31. Planda Döşeme Rijit Diyafram a) Olan ve b) Olmayan Yer Değişirmesi .....	44
2.32. Radye Temel Sonlu Elemanlar Modeli.....	45
2.33. Kazıklı Radye Temel Kazık Yerleşim Planı ve Temel Kesiti.....	46
2.34. Kazık Donatı Planı .....	46
2.35. Yapı Yüksekliğine Bağlı Uygun Taşıyıcı Sistemler.....	48
2.36. Yatay yük altında yapının plandaki davranışı.....	49
2.37. Deprem Yükleri, Kat Kesme Kuvvetleri ve Devirici Momentin Değişimi .....	50
2.38. Perdeli Yapıların Deprem Etkisindeki Davranışı Bakımından Plandaki Durumu .....	51
2.39. Deprem Davranışı Bakımından Çeşitli Plan Biçimleri .....	52
2.40. Yapının deprem davranışı bakımından kesitteki durumu .....	54
2.40. Yapının deprem davranışı bakımından kesitteki durumu .....	56
2.41. Kısa kolon oluşumu.....	57
2.42. Çerçeve Düğüm Noktası Deplasmanları .....	58
2.43. Çerçeve Taşıyıcı Sistemli Yapı .....	59
2.44. Çerçeve Perde, Perde-Çerçeve Sistemlerin Şekil Değişirme Biçimleri .....	60
2.45. Taşıyıcı Sistemi Sadece Perdelerden Oluşan Yapı .....	61
2.46. Perdeli Sistem Bir Yapının Kat Planı.....	61
2. 47. Yatay Yük Altında Perde Davranışı.....	62

2.48. Perde ve Çerçevenin Yatay Yüke Birlikte Karşı Koyması Durumu .....	63
2.49. Boşluklu Perde Duvar .....	64
2.50. Çapraz Bağlı Çerçeve .....	65
2.51. Eğik Elemanlara Sahip Çerçevesel Bir Betonarme Yapı .....	66
2.52. Taşıyıcı Sistemi Perde ve Çerçevelerden (kolon+kiriş Oluşan Yapı .....	67
2.53. Perdeli Çerçevenin Çalışma Prensipleri .....	67
2.54. Taban İzolasyon Sisteminin Ötelenmeye Etkisi .....	68
2.55. Taban izolasyon sisteminin uygulanmasına bir örnek .....	68
2.56. (a) Tabakalı Kauçuk Mesnet ve (b) Yeni Zelanda Mesnet Taban İzolasyon Sistemleri .....	69
2.57. Sürtünmeli Sarkaç Sisteminin Çalışma Prensipleri .....	70
2.58. Düşey Riğitliğin Tüp Prensipleri .....	70
2.59. Tüp Sistem Bir Yapının Şematik Kalıp Planı .....	71
2.60. Çerçeve Tüpte Yatay Yükler Altında Kolonlarda Oluşan Eksenel Kuvvetler .....	72
2.61. U kesitten Oluşan Eşdeğer Çerçeve Tüp .....	72
2.62. İçerde Çekirdek Oluşumu .....	74
2.63. İç İç Tüp Sistemleri .....	74
2.64. Dörtgen Tüpler Üzerine Dayalı Tüp Demeti Çeşitleri .....	75
2.65. Dörtgen Tüpler Üzerine Dayalı Tüp Demeti Çeşitleri .....	75
2.66. Betonarme Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistem Uygulamaları .....	76
2.67. Binanın Deprem Durumundaki Eylemsizlik Kuvvetleri .....	80
2.68. Aynı Kütleli Tek Serbestlik Dereceli Sistem Modelleri .....	81
2.69. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Yeterli/Yetersiz Olduğu Durumlar. ....	83
2.70. Kurgusal Yük ve Etkime Yüksekliği .....	87
2.71. Spektrum Katsayısının Periyotla Değişimi .....	88
2.72. Rüzgâr Basıncının Zamanla Değişimi .....	101
2.73. Çalkantılı Hava Akımı .....	101
2.74. Çalkantı .....	101
2.75. Çalkantı .....	102

2.76. Uzun Yıllar Maksimum Rüzgâr Haritası .....	105
2.77. Rüzgâr Hızına Bağlı Rüzgâr Yüğü .....	105
2.78. Planda Dikdörtgen Kesitli ve Eğik Çatılı Kapalı Yapılarda C Katsayısının Değişimi .....	106
2.79. ASCE 7-02'de Verilen Rüzgâr Hızı Haritası .....	107
2.80. B Grubu Yerleşim Yeri .....	109
2.81. C Grubu Yerleşim Yeri .....	109
2.82. D Grubu Yerleşim Yeri .....	110
2.83. Rüzgâr Yükünde Topoğrafik Katkı Çarpanı.....	110
2.84. Rüzgâr Tüneli Deneyi .....	111
3.1. Yapıya Ait Tipik Kat Planı.....	114
3.2. 3 Boyutlu Etabs Programı Analiz Modeli .....	115
3.3. Etabs Programı Kat Planı .....	115
3.4. Azaltılmış İvme Spektrumu (1.derece) .....	118
3.5. Azaltılmış İvme Spektrumu (4.derece) .....	118
3.6. ASCE 7-02 ve TS498'e Göre Rüzgâr Basınç ve Emme Kuvvetleri.....	122
3.7. ASCE 7-02 ve TS498'e Göre Yapıya Etkiyen Bileşke Rüzgâr Kuvvetleri .....	123
3.8. ASCE 7-02' ye Göre Hesaplanmış Rüzgâr Basınç ve Emme Kuvvetleri .....	125

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Kk İle Arasındaki İlişki .....	25
2.2. Kk İle $\mu \delta$ Arasındaki İlişki .....	25
2.3. İç Kuvvetlerin Karşılaştırılması .....	26
2.4. Planda Düzensiz Olan Yapılar .....	84
2.5. Düşeyde Düzensiz Olan Yapılar .....	84
2.6. Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A0).....	85
2.7. Bina Önem Katsayısı (I).....	86
2.8. Yerel zemin sınıfları ve Spektrum Karakteristik Periyotları.....	87
2.9. Yapı Periyoduna Göre Spektrum Katsayısı S (T).....	88
2.10. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) .....	91
2.11. Deprem yükü azaltma katsayısı Ra (T).....	92
2.12. Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n) .....	92
2.13. Yüksekliğe Bağlı Olarak Rüzgâr Hızı ve Emme .....	104
2.14. C katsayısı ve Rüzgâr Yükünün Yapının Etkilenen Yüzeyinin Birim Alanına Göre Dağılımı (Basınç ve Emme)	106
2.15. ASCE 7-02 Göre Yapı Önem Katsayısı .....	108
2.16. Yerleşim Yerine ve Bina Yüksekliğine Bağlı Düzeltilme Katsayısı ( $\lambda$ ) .....	108
3.1. Analiz Modeline Atanan Azaltılmış İvme Spektrumları (4.Derece) .....	116
3.2. Analiz Modeline Atanan Azaltılmış İvme Spektrumları (1.Derece) .....	117
3.3. Yapıya Ait İlk 3 Periyodun Etkin Kütle Katılım Oranları (1.Bölge) .....	118
3.4. Yapıya Ait İlk 3 Periyotta Etkin Kütle Katılım Oranları (4.derece) .....	119
3.5. Depremden Kaynaklanan Taban Kesme Kuvvetleri (1.derece) .....	119

3.6. Depremden Kaynaklanan Taban Kesme Kuvvetleri (4.derece) .....	120
3.7. ASCE 7-02 ve TS 498' e Göre Karşılaştırmalı Rüzgâr Yükleri Hesabı .....	121
3.8. Rüzgâr Yüklerine Göre Maksimum Taban Kesme Kuvvetleri .....	124
3.9. Rüzgâr ve Depremden Kaynaklanan Yapı Taban Kesme Kuvvetleri.....	124



## 1. GİRİŞ

Her ülkede yüksek yapı tanımı farklıdır. Bu tanım Japonya'da 45 m Türkiye'de ise 75 m uzunlukla belirlenirken Amerika'nın bir eyaletinde 20 kat ile sınırlanmakta, diğerinde bu geçersiz olabilmektedir. Modern yapı mühendisliğine göre yüksek bir yapı; mukavemet, öteleme ve işletme ölçülerine uyumlu, yatay rüzgâr ve deprem yüklerine dayanıklı, ekonomik taşıyıcı sisteme sahip olmalıdır.

Yüksek yapılar tasarım, yapım ve kullanım açısından daha kısa binalara göre farklı durumların dikkate alınmasını gerektirir. Bu yapılarda yatay yük etkisi çok önemlidir. Dolayısıyla yapının dayanımı, rijitliği ve sağlamlığı (stabilitesi) rüzgâr ve deprem yüklerine karşı koyabilecek şekilde tasarlanmış olmalıdır. Deprem ve tekrarlı etkiyen fırtınalar yapının yüksek katlarında titreşimler oluşturur. Bunlardan kaynaklanan hareketleri azaltmak ve yıkıcı rezonansların oluşmasını önlemek gerekir. Rijit çerçeve sistemi yanıl sağlamlığa (stabiliteye) ulaşmak için en az etkili olan yoldur. Ancak orta yükseklikteki ve alçak yapılar için uygundur. Yapı yüksekliği arttıkça rijit çerçeve, çapraz bağlarla güçlendirilmeli veya rijit çekirdeklerle desteklenmelidir. En uygun yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinden biri yanıl kuvvetleri karşılamada yapının çevresinden de yararlanan tüp sistemlerdir.

19. y.y da bilim ve teknolojide ulaşılan gelişmeler; yeni yapım teknikleri, çelik betonarme, cam gibi yeni malzemeler ve farklı tasarım yöntemlerinin yapı alanında kullanımına yol açmıştır. Yüksek dayanımlı beton ve çelik ile hafif beton üretimi, bazı tasarım güçlüklerini gidermiştir. Malzeme davranışlarının daha iyi anlaşılmasını 'Taşıma Gücü ve Limit Analiz' yöntemleri ortaya çıkarmıştır. Böylelikle yapıda daha düzgün bir güvenlik sağlanmıştır. Kirişsiz döşemeler, perdeler, kuşak perdeli ve çapraz bağlı rijit katlar ile tüp sistemlerin taşıyıcı sistemlerde uygulanmaya başlanması ve yapım teknolojisindeki ilerlemeler ile birlikte daha yüksek ve daha ekonomik yapılar ve inşa edilebilmiştir.

## 1.1. Kaynak Özetleri

H. Engel, 1967 yılında yaptığı “Structure System” adlı yayınında, betonarme yüksek yapı taşıyıcı sistem tiplerini ve çok katlı yapıların yatay yük taşıma sistemlerini incelemiştir.(1)

Bungale S. Taranath, 1997 yılında yaptığı “Steel, Concrete and Composite Design of Tall Buildings” adlı yayınında, Dünyadaki önemli yüksek yapıları, rüzgârın ve depremin oluş biçimlerini, yüksek yapıların rüzgâr ve deprem davranışlarını, yüksek yapı elemanlarının rüzgâr ve depreme göre tasarımlarını ayrıntılı olarak incelemiştir. (2)

A. Doğangün, 2007 yılında yaptığı “Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı” adlı yayınında, betonarmenin tarihsel gelişimini, betonarmenin kimyasal ve mekanik özelliklerini, yapı güvenliğini, deprem yönetmeliğine betonarme yapıların hesap ve tasarımını incelemiştir.(3)

Z. Hasgür ve A.N.Gündüz, 1996 yılında yaptıkları “Betonarme Çok Katlı Yapılar” adlı yayında, betonarme yüksek yapı taşıyıcı sistem tipleri, betonarme yüksek yapıların gelişmesini sağlayan etkenleri betonarme yüksek yapılarda büzülme, sünme, sıcaklık etkilerini, betonarme yüksek yapıların deprem ve rüzgâr yüklerine göre hesap ve tasarımını incelemişlerdir.(4)

U. Ersoy, 1987 yılında yaptığı “Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı” adlı yayınında, beton ve betonarmenin fiziksel ve mekanik özelliklerini, yapı güvenliğini, betonarmede sınır durumları ve betonarme elemanların taşıma gücü hesabına göre tasarımını incelemiştir.(5)

Z. Celep ve N. Kumbasar, 2000 yılında yaptıkları “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” adlı yayında, deprem hareketini, yapıların yer hareketi etkisindeki titreşimini, deprem etkisindeki betonarme yapı elemanlarının davranışını, depreme dayanıklı yapı tasarımını incelemişlerdir.(6)

Bayındırlık Bakanlığının, 2007 yılında yaptığı “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” adlı yayınında depreme dayanıklı yapı tasarımının şartları, binaların düzensizlik durumları, binalarda süneklik sınıfları incelenmiştir.(7)

Türk Standartları Enstitüsü, 1997 yılında yaptığı “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri TS 498” adlı yayınında, yapı elemanlarının hesabı için alınacak zati, hareketli, kar, rüzgâr ve toprak yüklerinin hesap değerlerini incelemiştir.(8)

G. Tunç, 2009 yılında yaptığı “TS 498 Rüzgâr, Kar ve Buz Yüklerinin Yeniden Tanımlanması” adlı seminerinde binalara etkiyecek rüzgâr, kar ve buz yüklerinin Türk ve Amerikan şartnamesine göre karşılaştırmasını detaylı bir şekilde ortaya koymuştur.(9)

American Society of Civil Engineers’ın, 2006 yılında yaptığı “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures” adlı yayınında binalar ve diğer tüm yapılar için alınacak yükler detaylı bir şekilde ortaya konmuştur.(10)

G. Tunç, A.R. Özuygur ve M. Yurtsever, 2009 yılında yaptıkları “Anthill Bomonti Rezidans ve Çarşı/Sosyal Tesis Projesi” adlı seminerde İstanbulda yapılan 210 m yüksekliğindeki yapının dinamik parametrelerini ve dinamik hesap sonuçlarını açık bir şekilde ortaya koymuşlardır.(11)

## **1.2. Çalışmanın Amacı**

Öncelikle betonarme yüksek yapılarda taşıyıcı sistem tasarımı için yapı elemanları ve taşıyıcı sistem çeşitleri incelenerek bunların yatay yükler altındaki davranışları belirlenmiştir. Taşıyıcı sistem güvenliği için gerekli şartlar ve taşıyıcı sistem tasarımında kullanılan yatay yüklerin hesapları incelenmiştir.

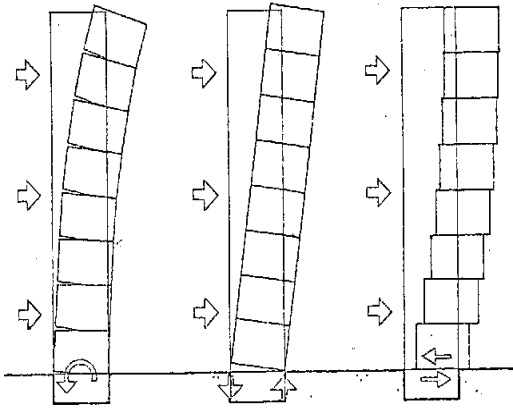
Rüzgâr yükleri bazı durumlarda taşıyıcı sistem tasarımı için daha kritik olabilmektedir. Ancak TS498’de rüzgâr yükleri özet halinde anlatıldığından daha detaylı olan ASCE 7-02’ de incelenecektir. Ayrıca bu etkinin önemini

göstermek amacıyla 210 m yüksekliğindeki bir yapıya TS 498' e ve ASCE 7-02 'ye göre rüzgâr hesabı yapılarak büyük olan değer yapıya statik rüzgâr yüklemesi olarak verilecektir. Aynı zamanda bu yapıya 1. ve 4.derece deprem durumuna göre mod birleştirme yöntemi kullanılarak deprem yükü de verilecektir. Rüzgâr ve deprem yüklemelerinden oluşan taban kesme kuvvetleri karşılaştırılarak tasarımda kritik olan yükleme belirlenecektir.

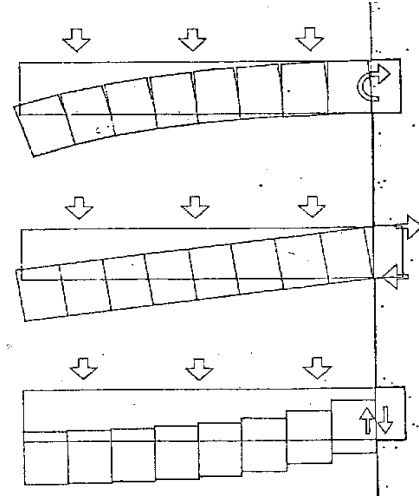
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Betonarme Yüksek Yapıların Yatay Yüklere Karşı Davranışı

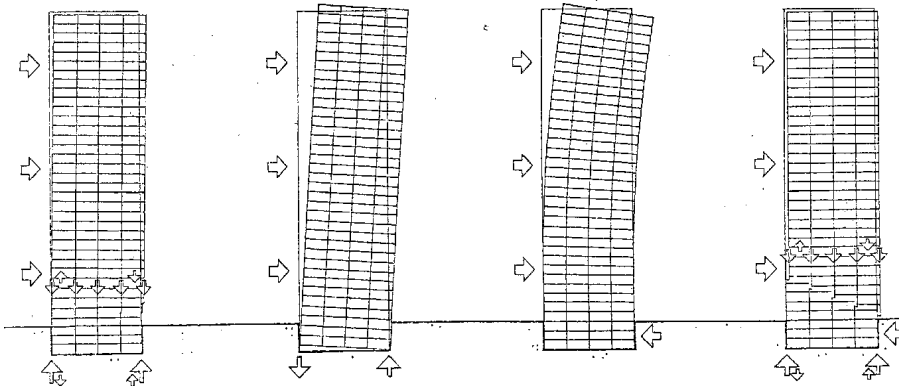
Eni ve genişliği küçük, yüksekliği ise çok büyük olan bir yapı, yatay kuvvetlere karşı, yere saplanmış düşey konsol bir kiriş gibi (Şekil 2.1) davranır. Dolayısıyla yapıda basınç ve kesme kuvvetleri ile eğilme ve devrilme momentleri oluşur.(1)( Şekil 2.2)



**Şekil 2.1a.** Eğilmeye, Devrilmeye ve Kesme Karşı Stabilitate (1)



**Şekil 2.1b.** Bir Konsol Kirişin Mekanizması (1)



Basınç Kuvvetleri

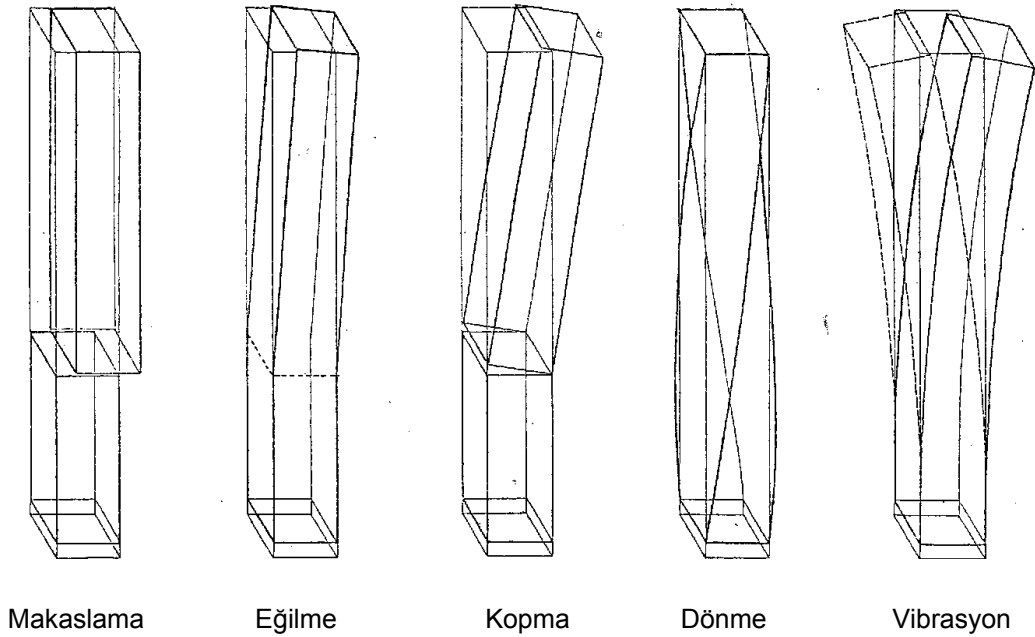
Devrilme Momentleri

Eğilme Momentleri

Kesme Kuvvetleri

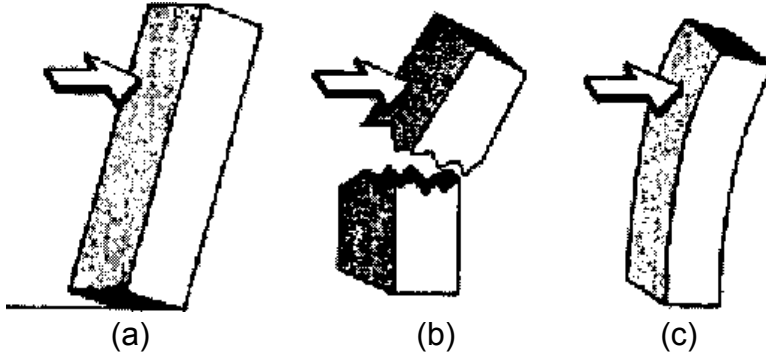
**Şekil 2.2.** Yatay Kuvvetlerden Dolayı Yapıda Oluşan Hareketler (1)

Yatay kuvvetler; rüzgâr veya zemin titreşimlerinin oluşturduğu atalet kuvvetlerinden dolayı, yapıyı kopmaya ve eğilmeye zorlar. Dolayısıyla yapı tüm yatay yüklere, kesmeye ve eğilmeye karşı dayanıklı olmalıdır. Kesme kuvvetlerine karşı direnç göstererek kırılmamalı ve elastik sınırının ötesine zorlanmamalıdır.(Şekil 2.3) Taşıyıcı sistemin eğilme rijitliği 3 gereksinimi yerine getirmelidir.(Şekil 2.4) Birinci olarak; bina rüzgâr ve depremin yatay kuvvetleri ile düşey kuvvetlerin birlikte etkisinden dolayı devrilmemeli, ikincisi; ezilme veya basınç kuvvetlerinin etkisiyle kolonlar erken güç tükenmesine uğrayarak kırılmamalı ve binanın eğilme rijitliği elastik sınırını aşmamalıdır. Son olarak, yapı aktif deprem bölgelerinde düşey yük taşıma kapasitesinde kayıp olmaksızın tekrarlı elastik deprem yüklerine karşı koyabilmelidir. (2)



**Şekil 2.3.** Yüksek Yapılarda Yatay Yüklere Karşı Oluşan Hareketler (1)

Bina belirli bir düzen içinde eğilme ve kesmeye karşı koymalıdır. Bu durum, yapıda titreşim hareketi gibi dördüncü bir mühendislik problemini doğurur. Bina çok fazla titreşirse, insanların konforu bozulur ve taşıyıcı olmayan yapı elemanları kırılarak diğer binalara ve insanlara zarar verir. Yüksek yapı için eğilme, kesme ve aşırı titreşime karşı dayanıklı bir biçim, yapının geometrik



- (a) Bina Devrilmemeli;  
(b) Kolonlar Basınç Gerilmesinden Güç Tükenmesine Uğramamalı  
(c) Eğilmeden Kaynaklanan Deplasmanlar Sınır Değerleri Aşmamalı

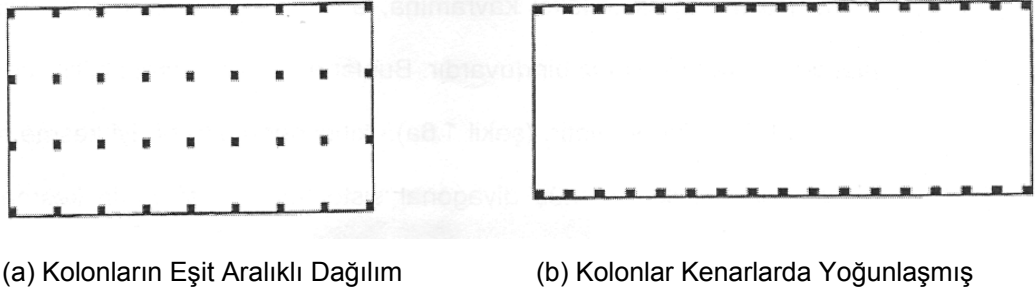
#### Şekil 2.4. Binanın Eğilme Dayanımı (2)

merkezinden en uzak noktasında düşeyde sürekli bir duvardan oluşan taşıyıcı sistem biçimidir. Beton bir bacaya benzeyen bu taşıyıcı sistem yüksek yapılar için en iyi çözümdür. Binanın zemine saplanmış bir konsol kiriş gibi çalışması için bütün kolonlar plan kenarlarında yer almalıdır. (Şekil 2.5b) Bu düzenleme olanaksız ise yapının planındaki kolonlar en iyi eğilme dayanımını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir.(Şekil 2.5a) Taşıyıcı sistemin verimli çalışmasını belirleyen kavramlar eğilme ve kesme rijitliği oranıdır. Bu kavramlara en uygun yapı planı dört köşesinde kolon bulunan bir karedir. (Şekil 2.6a) Kare biçimi yüksek yapıda eğilmeye karşı en yüksek rijitliği sağlar. Kare biçiminde, merkezden geçen eksenlere göre bina kolonlarının atalet momentlerinin toplamı olan eğilme rijitliği oranı (ERO) 100'dür.(2)

Şekil 2.6b' deki planda kolonlar eşit aralıklı ve yatay kuvvetlere karşı koyan sistemin parçası olup ve eğilme rijitliği oranı 33 tür. 1980' lerde tasarlanan yüksek yapılarda, birbirine çok yakın cephe kolonları çekirdek perdelerine bağlanmıştır. Tüp denilen bu sistemde taşıyıcı elemanlar arasında geniş kullanım alanları oluşur. Cephe kolonları sadece, yatay yüklere karşı koyacak şekilde düzenlenirse, eğilme rijitlik oranı 33 olur. Dünya Ticaret Merkezi binası (Şekil 2.6c) buna örnektir. Şekil 2.6d'de görülen tüm kolonların yatay sistemin bir parçası gibi düzenlendiği Chicago'daki Sear kulelerinde eğilme rijitlik oranı de 33 tür. (Şekil 2.6d) (2)

Citicorp kulesinde (Şekil 2.6e), yatay sistemin parçası gibi kullanılan kolonlar köşelere yerleştirildiğinden, eğilme rijitliği oranı 31 dir. Eğer kolonlar köşelere kaydırılırsa çekirdekte yükleri taşıyan 8 kolon bulunduğu için eğilme rijitliği oranı 56 değerine çıkar.(Şekil 2.6f) (2)

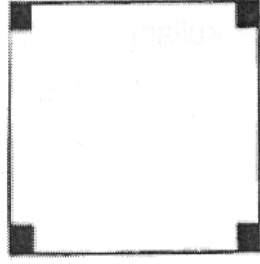
Houston, Texasta yapılacak Güney-Batı Bankasının, eğilme rijitliği oranı 63 olup ideale yakındır. Köşe kolonları geniş bir kullanım alanı sağlar. (Şekil 2.6g) Sistem içindeki her kolonun, diğerleriyle bir bütün halinde çalışacak şekilde bağlanması, en etkili kesme dayanımı sağlar. (2)



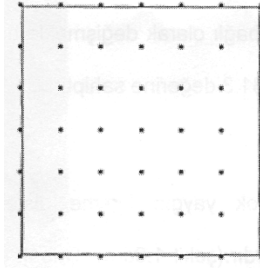
**Şekil 2.5.** Bina Plan Formları: (b) deki kolon düzeni daha verimli eğilme sağlar. (2)

Kesme rijitlik oranı kavramını ifade eden, en uygun biçim bir plaka veya boşluksuz bir duvardır.(Şekil 2.7) Bu biçim en büyük kesme rijitlik oranı olan 100 değerini sağlar. (Şekil 2.7d, Şekil 2.8a) İkinci derecede en iyi kesme sistemi 45 derece açılı çarpaz bağlı sistemdir. Bunun kesme rijitlik oranı ise 62.5 tur.(Şekil 2.8b) Başka özgün bir örgü sistemi, çaprazlar ve yatay elemanların birlikte kullanımı ile oluşur. Fakat şekil 2.19c' de görüldüğü gibi çok eleman kullanılan bu sistemin kesme rijitlik oranı, çaprazların açısına bağlı olarak değişse de en çok kullanılan 45 derece çarpaz sistemi 31.3 değerine sahiptir. (2)

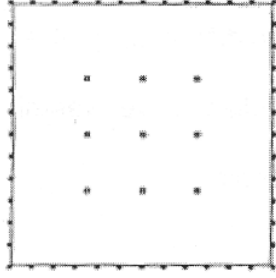




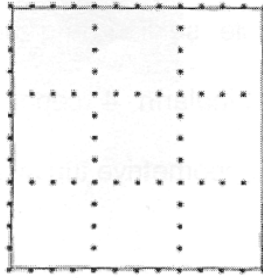
(a) En verimli eğilme rijitliği oranını sağlayan biçim ve kolon düzeni.



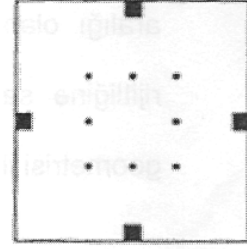
(b) Eyalet binası: Kolonlar eşit aralıklı ve yatay kuvvetlere karşı sistemin bir parçası olarak tasarlanmıştır, ERO, 33' tür.



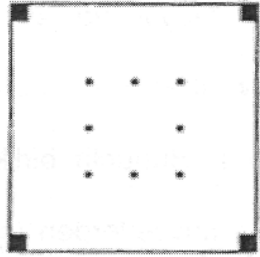
(c) Dünya Ticaret Merkezi kolonları sadece yatay yüklerle göre düzenlenmiştir. ERO, 33' tür.



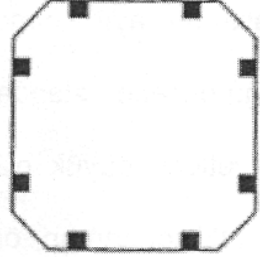
(d) Sear Kulesi (Chicago) Kolonlar yatay sistemin parçasıdır. ERO, 33'tür.



(e) Citicorp Kulesi Cephe Tüm kolonlar yatay sistemin parçasıdır. kolonlar köşelerde olmadığı için ERO, 31'tür.



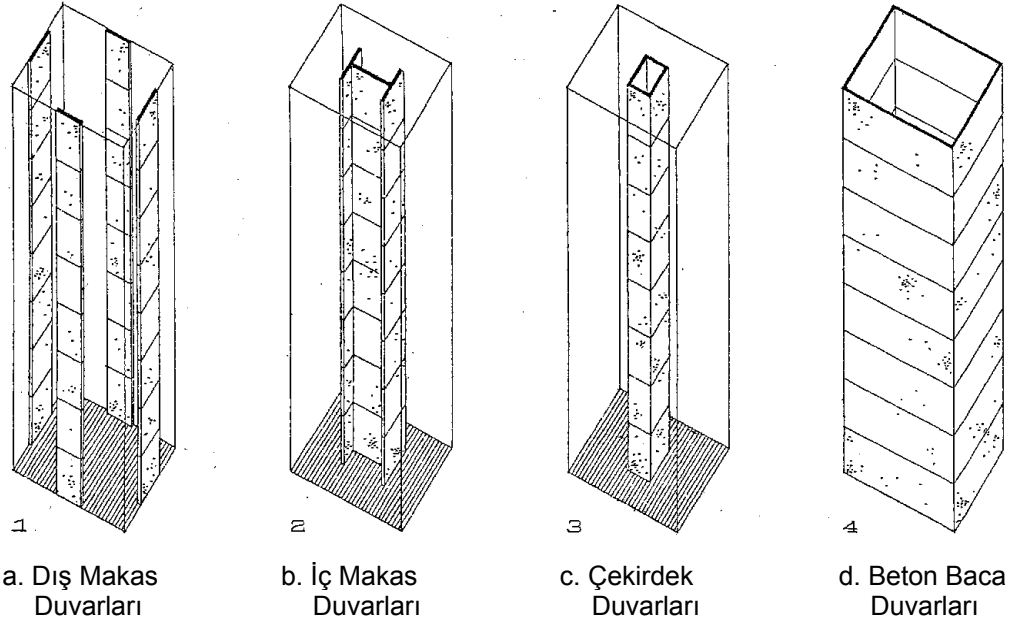
(f) Kolonlar köşelere kaydırılırsa Çekirdekte yükleri taşıyan 8 kolon olduğu için ERO, 33' tür.



(g) Güney Batı Bankası Köşe kolonlar geniş kullanım alanı sağlar. ERO, 63 olup ideale yakındır.

## Şekil 2.6. Kolon Yerleşim Planı Eğilme Rijitlik Oranı (ERO) (2)

Çok yaygın bir başka kesme sistemi birbirine rijit olarak bağlı kirişlerden oluşmaktadır.(Şekil 2.8d-g) Kiriş elemanların verimi, onların uzunluk derinlik oranına bağlı olan kesme rijitlik oranı tarafından ölçülür. Kirişler çok yakın aralıklı kolonlar ile (Şekil 2.8e-g) yüksek kesme rijitliği olan kare binaların 4 cephesinde kullanılır. Bu geometriye tüp sistemler denir. (2)



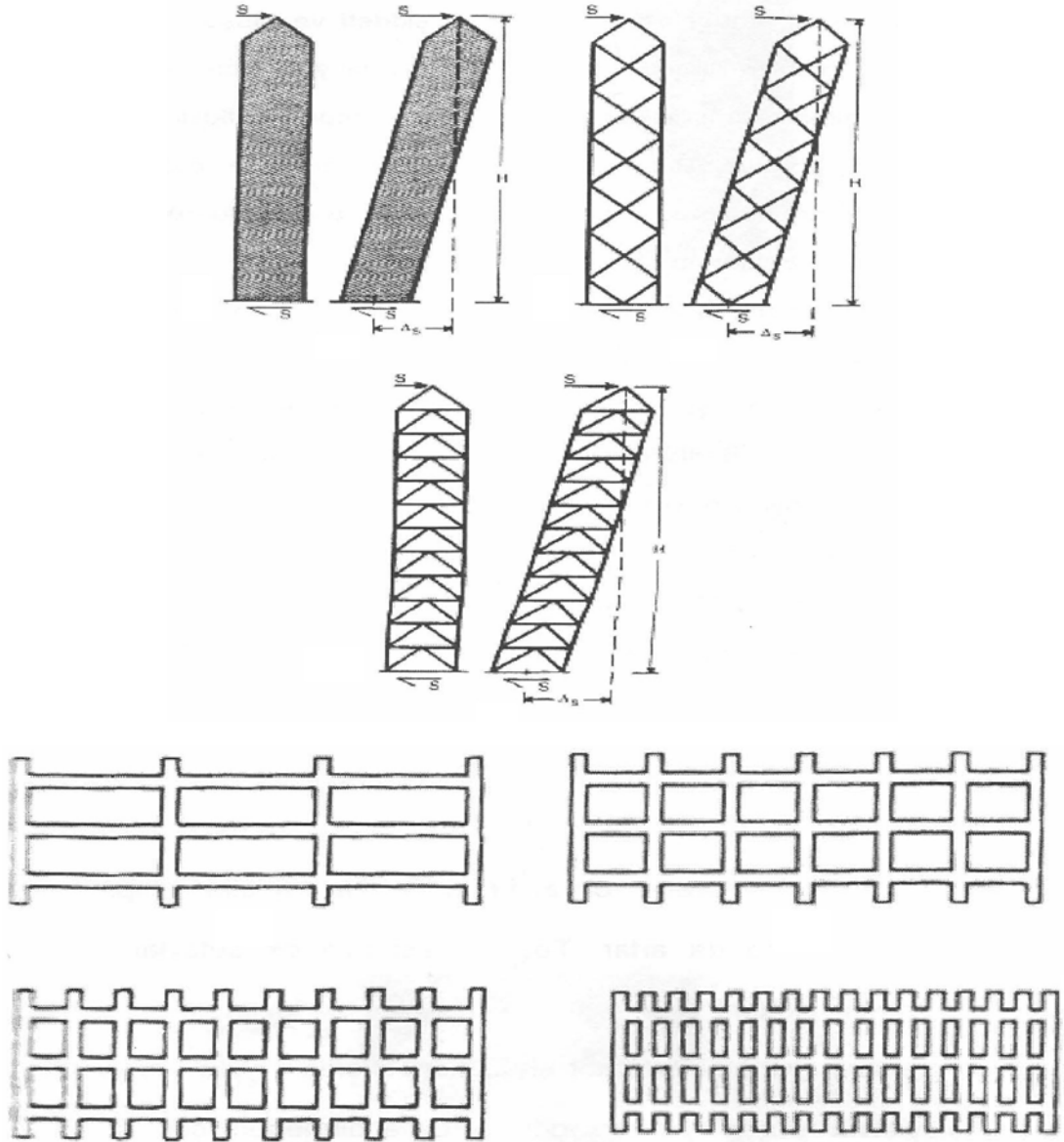
**Şekil 2.7.** Yüksek Yapılarda Kesme Rijitliğini Sağlamada Kullanılan Duvarlar

(1)

Yapı standartlarca tanımlanmış rüzgâr ve deprem kuvvetlerinin büyük olanına göre tasarlanır. Bununla birlikte, deprem kuvvetleri etkidiği zaman, standartlarca belirlenenden büyük olacağı için malzeme dayanım sınırları ve ek detaylar büyük önem kazanır. Bu yüzden, yüksek deprem bölgelerindeki yapılarda rüzgâr yükleri tasarımda etkili olduğu zaman bile detay ve deprem kuvvetlerine karşı direnç ihtiyaçlarının oranı tatminkâr bir seviyede olmalıdır. Direnç ihtiyacını sağlayan bu detaylar yapının sünek davranış göstermesi için gereklidir. Bunlar afet yönetmeliğinde güçlü kolon kontrolü, kuşatılmış kolon kontrolü, kolon giriş birleşim bölgelerindeki kolon etriyelerinin devam ettirilmesi ve taşıyıcı sistem elemanlarında donatı ve boyut sınırlandırması şeklinde belirtilmektedir. Taşıyıcı sistemin ek detaylar ile sünek hale getirilmesi, onun elastik sınırın ötesinde zorlanması durumunda taşıyıcı elemanlarının yardımlaşmasını ve enerjinin yutulmasını sağlar. Dolayısıyla dinamik deprem yüklerinin karşılanmasında süneklik büyük önem kazanır.(2)

Dinamik deprem yükünün şiddeti ve oluşum sıklığı istatik olarak tahmin edilebilir. Bir yapı sabit yük, faydalı yük ve sıcaklık değişimi etkilerine deprem etkisine göre çok daha sıklıkta maruz kalır. Birçok yapı beklenen şiddette

depreme maruz kalmadan faydalı ömrünü tamamlar. Bu durumda her yapının, beklenen bu şiddetteki depremi, hasarsız bir şekilde ve düşey yükler için olduğu gibi elastik davranış sınırları içinde kalarak karşılaması amacına göre tasarımı çok pahalı olur. Bu da ülke ekonomisine büyük yük getirir. Bu nedenle; seyrek meydana gelecek şiddetli deprem etkisini, yapının elastik davranışının üzerinde şekil değiştirerek karşılaması ön görülür. Bu durumda ise elastik olmayan davranış önem kazanır. Yapının elastik sınırı geçip, sünerek kesit zorlamalarında önemli artmalar olmadan şekil değiştirmesi arzu edilir. Böylece depremin dinamik etkisi elastik ve geri dönüşümlü olmayan enerji türüne dönüşerek yutulur ve söndürülür.(2)



**Şekil 2.8.** Yüksek Yapılarda Kesme Rijitliği Sistemleri (2)

## 2.2. Taşıyıcı Sistem Güvenliği İçin Gerekli Şartlar

Yapıda uygun malzeme seçimi, kritik bölgelerin sağlam detaylandırılması ve malzeme kalitesinin denetimi, yapıya kullanım ve deprem sırasında yeterli esnekliği ve sünekliği kazandırır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için temel ilkeler dayanım, rijitlik ve sünekliktir. Ayrıca betonarme yapı davranışı için kullanılan kararlılık (stabilite), sönüm ve uyum (adaptasyon) ilkeleri de incelenmelidir. (3)

### 2.2.1. Dayanım

Dayanım taşıyıcı sistem elemanlarının, yük nedeniyle oluşan kesit etkilerini (M, N, V ve P) kırılmadan taşıyabilmesi demektir.

Yeni deprem yönetmeliklerinde dayanımı sağlamak için kapasite tasarımı ilkesi benimsenmiştir. Daha öncekilerde bir eleman kendisine etkileyen yükleri tek başına taşıyabiliyorsa bu elemanın dayanımı yeterli görülmekteydi. Kapasite tasarımı ilkesinde ise bu işlem, yine vardır ancak, yeterli görülmemektedir. Kapasite tasarımı ilkesinde yapı; şiddetli depremde yıkılmadan, taşıyıcı sisteminde önemli hasarların oluşabileceği sünek bir davranışa zorlanmaktadır. Bunun için kolon ve kirişlerin tasarımında, etkileyen yükten bağımsız olarak kesit boyutlarına, malzeme özelliklerine, donatı miktar ve konumuna göre belirlenen taşıma gücü momentleri ( $M_r$ ) ve kapasite momentleri ( $M_p \approx 1,4 M_r$ ) de kullanılır. Gevrek kırılmanın önlenmesi için elemanların kesme kapasiteleri de dikkate alınmaktadır. Bu tasarım yönteminin nedeni, yapıya etkileyecek olan deprem yükleri için bazı belirsizliklerin bulunması, buna karşılık betonarme bir elemanın taşıma gücünün ve kapasitesinin daha gerçekçi olarak belirlenebilmesidir. Taşıyıcı sistem elemanlarının, yükler etkisinde kesme kırılması ve eksenel yük altında ezilme gibi gevrek bir şekilde kırılmasını önlemek ve taşıma kapasitelerine sünek bir davranışla ulaşmalarını sağlamak amacıyla kapasite tasarımı ilkesi benimsenmiştir. Bu ilke doğrultusunda Deprem Yönetmeliğinde, kolonların

kirişlerden daha güçlü olması koşulu getirilmiştir. Çünkü kirişlerdeki normal kuvvet, kolonlardakine göre çok daha küçük olduğundan, kirişler daha sünek davranırlar. Bu durumda, kolonların kirişlerden daha güçlü yapılarak plastik mafsalların kolonlar yerine kirişlerde oluşması sağlanmalıdır. Yapı bütün olarak daha sünek bir davranış sergileyecektir. Deprem Yönetmeliğinde kapasite tasarımı ilkesi doğrultusunda kolon- kiriş tasarımı yapılırken, her ikisinin taşıma gücü ve kapasite momentleri birlikte dikkate alınır. Birleşim bölgesindeki kolonların taşıma gücü momentleri, kiriş taşıma gücü momentlerinden büyük ise güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesi sağlanmış olur. (3)

Kapasite tasarımı ilkesinin diğer bir koşulu, kesme dayanımı için, kritik bölgeden, eğilme dayanımına göre daha fazla uzaklaşma ilkesidir. Kesme kırılması, eğilme kırılmasından daha gevrek olduğu için elemanlarda kesme kırılması meydana gelmesi istenmez. Bunu da sağlamak için yine kapasite tasarımı ilkesi doğrultusunda, kesme kuvvetinin, sadece yükler için belirlenen değerine göre değil, elemanın eğilme kapasitesi (kapasite momentleri) de dikkate alınmaktadır. (3)

Deprem Yönetmeliğinde, kesme kuvvetinin bu şekilde belirlenmesi, kolon ve kirişlerin süneklik düzeyinin yüksek olması içindir. Bir kesitin eğilme kapasitesi, daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda,

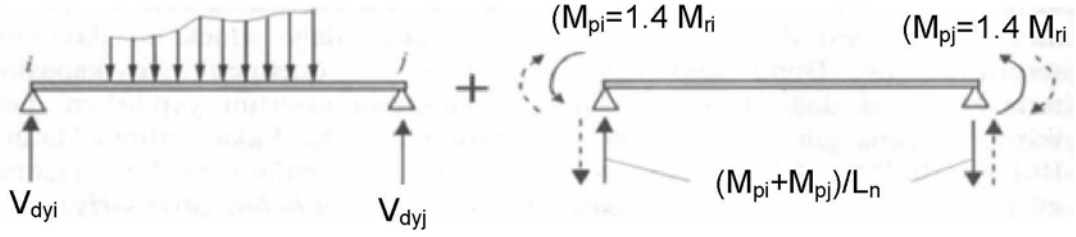
$$M_{pi} = 1,4 M_{ri} \quad (2.1)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada  $M_{ri}$  taşıma gücü momenti olup kesit boyutlarına, donatı miktarına beton ve donatı hesap dayanımlarına bağlı olarak belirlenir. Taşıma gücü momenti 1,4 ile çarpılarak, beton karakteristik dayanımını ve çelikteki pekleşmeyi dikkate alacak şekilde, en büyük eğilme kapasitesi hesaplanmakta ve bu moment kapasite momenti ya da pekleşmeli taşıma gücü momenti ( $M_{pi}$ ) olarak adlandırılmaktadır. (3)

Kapasite momentlerine bağlı olarak süneklik düzeyi yüksek kolonların enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti,  $a$  ve  $ü$  alt indisleri kolonun alt ve üst ucunu temsil etmek ve kolonun serbest yüksekliğini göstermek üzere aşağıdaki bağıntıyla ile hesaplanır.(3)

$$V_e = \frac{M_{pa}(= 1.4M_{ra}) + M_{pü}(= 1.4M_{rü})}{l_n} \geq V_d \quad (2.2)$$

Süneklik düzeyi yüksek kirişlerin enine donatı hesabında dikkate alınacak kesme kuvveti ( $V_e$ ) ise,  $V_{dy}$  düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvvetini,  $i$  ve  $j$  kiriş uçlarını,  $l_n$  kiriş serbest açıklığını göstermek üzere aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır. (3)



**Şekil 2.9.** Kapasite Tasarım İlkesine Göre Kiriş Mesnetlerinde Oluşacak Kesme Kuvvetleri (3)

$$V_e = V_{dy} \pm \frac{M_{pi} + M_{pj}}{l_n} \rightarrow V_e = V_{dy} \pm \frac{1.4M_{ri} + 1.4M_{rj}}{l_n} \quad (2.3)$$

Süneklik düzeyi yüksek kolon ve kirişler için verilen her iki bağıntıdan da görülebileceği gibi enine donatı hesabında kullanılacak olan kesme kuvvetinin belirlenmesinde, yüklerden bağımsız olan kapasite momentleri de kullanılmaktadır. (3)

### 2.2.2. Rijitlik

Yapı için yeterli rijitlik;

- 1) İkinci mertebeli momentlerini mümkün olduğunca küçültmek
- 2) Sıkça oluşan depremlerde yani kullanılabilirlik sınır durumuna karşı gelen depremlerde yapısal olmayan hasarları azaltmak,

3) Aletlerin çalışmalarına engel olacak ve insanları rahatsız edecek deformasyonları önlemek için gerekli olmaktadır. (5)

Yatay yüklere karşı yapı rijitliğinin en önemli ölçütü toplam yer değiştirme yerine, bir katın alt kata göre yapmış olduğu görelî ötelenme miktarıdır. Deprem yönetmeliğinde bu ölçütle ilgili iki farklı koşul getirilmiştir. Birincisi, iki kat arasındaki yer değiştirme farkı içindir. (3)

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi,  $\Delta_i$ ,

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (2.3)$$

İfadesiyle belirlenebilir.  $d_i$  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 veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi,  $\delta_i$ , aşağıdaki bağıntıyla belirlenebilir. (3)

$$\delta_i = R \Delta_i \quad (2.4)$$

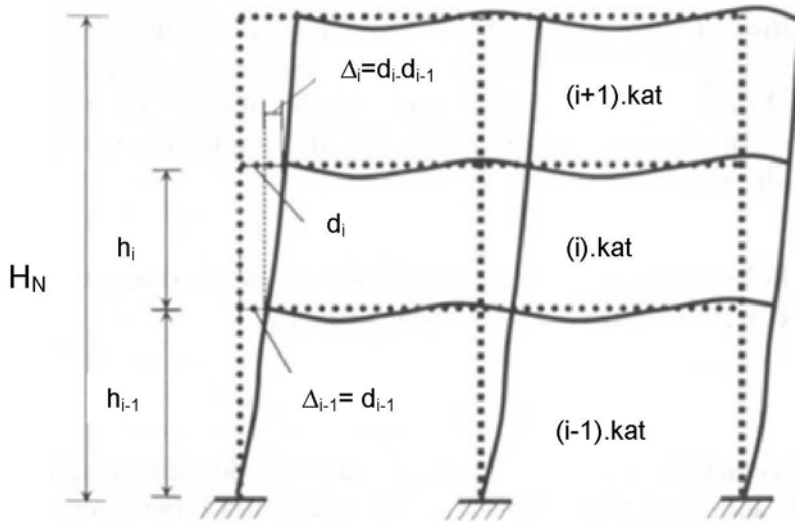
Burada  $R$  taşıyıcı sistem davranış katsayısını göstermektedir. Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir  $i$ 'inci katındaki kolon veya perdelerde, hesaplanan  $\delta_i$  etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri  $(\delta_i)_{\max}$ , aşağıda verilen koşulu sağlamalıdır. (3)

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (2.5)$$

Denklemden verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabının tekrarlanması gerekmektedir. Ancak verilen koşul sağlansa bile, yapısal

olmayan gevrek elemanların (cephe elemanları vb) etkin görelî kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanmalıdır. İkinci koğul ise sadece bir kat için değil, komđu iki katın ortalama görelî kat ötelemelerinin oranı  $[(\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort}]$  için getirilmektedir. Bu koğul, yapıda yumuğak kat düzensizliğinin tanımlanmasında kullanılmakta olup, söz konusu oran 2,0 değerini ağarsa düzensizlik ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.10 da yatay yükler etkisindeki bir çerçeve de meydana gelebilecek görelî kat ötelemeleri görölmektedir. (3)

Rijitliğin yapı davranığını etkileyen bir yönü de yapı periyodunu değiştirmesidir. Yapı kütlesi sabit kalmak koğuluyla, rijitlik arttıķa periyot azalmaktadır. Yapının tasarımı da zemin hakim periyodunu da dikkate



**Şekil 2.10.** Rijitlik Koğulu İçin Görelî Kat Ötelemesi (3)

olarak, yapıyı rezonansa getirecek periyot oluşturacak rijitlik değerlerinden kaçınmak gerekmektedir. Yapı periyodu seçilecek taşıyıcı sistemin rijitliğine bağlı olarak azaltılabilir veya artırabilir. Bu durumda hakim periyodu büyük zeminler üzerinde rijit yapıların, hakim periyodu küçük zeminler üzerinde ise esnek yapıların inşa edilmesi rezonans oluşmaması açısından uygun



olmaktadır. Yapının doğal titreşim periyodu; m yapı kütesini, k yapı rijitliğini göstermek üzere,

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.6)$$

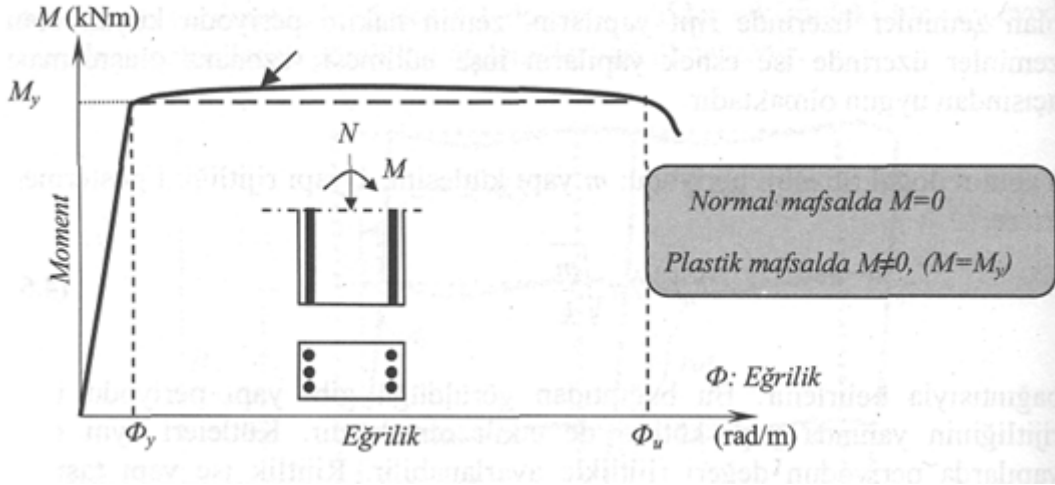
bağıntısıyla belirlenir. Bu bağıntıdan görüldüğü gibi yapı periyodu için, rijitliğinin yanında yapı kütesi de etkili olmaktadır. Kütleleri aynı olan yapılarda periyodun değeri rijitlikle ayarlanabilir. Rijitlik ise yapı taşıyıcı sistemine büyük oranda da düşey taşıyıcı elemanların malzeme kalitesine, kesit boyutlarına ve mesnet koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Kütleleri aynı olan çerçeve yapıların periyodu, perde duvarlı yapılarınkinden daha büyüktür. Periyot değiştiğinde periyodun değerine ve değişimine bağlı olarak, yapıya etkiyecek deprem yükünün değeri de değişebilmektedir. (3)

### 2.2.3. Süneklik

Büyük depremlerde yapıda çatlak bile oluşması istenmiyorsa, yapının elastik yük taşıma gücü çok büyük olmalıdır. Diğer bir deyişle, enerjinin tamamı plastik aşamaya geçmeden, elastik aşamada tüketilmelidir. Ancak bunun için kesitlerin aşırı büyük boyutlarda seçilmesi gerekir. Bu durumda ise yapı maliyeti artacaktır. Yapı maliyetini azaltmak ve enerjinin bir kısmını plastik aşamada tüketmek amaçlanırsa, yapının sünek davranış gösterecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Sünek davranış bir malzeme, bir kesit, bir eleman veya bir yapının taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan şekil değiştirebilmesi ve tekrarlı yükler etkisinde enerji tüketebilme özelliği demektir.

Enerjinin çoğu yapıda oluşacak plastik mafsallarda tüketilmektedir. Plastik mafsal, kesitte yük artmadığı halde şekil değiştirmelerin devam etmesi olarak tanımlanabilir (Şekil 2.11) Enerji tüketimi açısından plastik mafsal olan bir kesitte büyük şekil değiştirme kapasitesi olması gerekmektedir. Kırılmayı ortaya çıkaracak olan bu önemli kesit deformasyonları sırasında enerji o

kadar fazla başka amaca çevrilerek kullanılmış olur ki, kesit tam kırılma konumuna varmadan enerjinin tümüne yakını tüketilmiş olmaktadır. Böyle bir yapının depremi yıkılmadan atlama olasılığı artmaktadır. (3)



**Şekil 2.11.** Betonarme Yapılarda Plastik Mafsalsal (3)

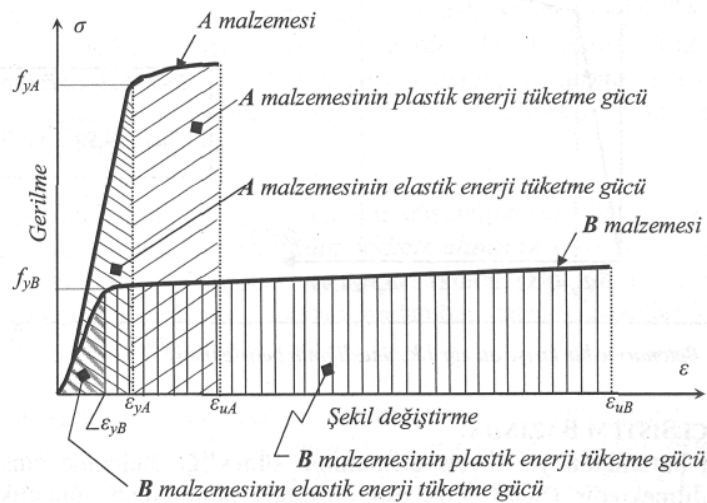
Deprem yükleri, yapıların süneklik özelliğine göre, deprem yükü azalma katsayısına ( $R_a$ ) bölünerek azaltılmaktadır. Bu azaltma katsayısı taşıyıcı sistem davranış katsayısına ( $R$ ) bağlıdır. Bu katsayı taşıyıcı sisteme ve yapı malzemesine bağlı olarak değişmektedir (yerinde dökme betonarme binalar için 4-8 arasındadır). Azaltılan bu yüke göre hesap yapıldığında şiddetli depremlerde yapıda elastik sınırın ötesinde deformasyonların dolayısıyla da hasarın oluşabileceği, ancak süneklik ve enerji tüketebilme özelliği nedeniyle, tamamen göçmenin önleneyeceği kabul edilmektedir. (3)

Yeterli süneklik özellikle ekonomik projelendirme açısından son derece önemlidir. Bunun bir anlamı daha düşük kesit etkilerine göre daha küçük kesitlerle tasarlama demektir. Bir yapının süneklik düzeyine projeye başlarken karar verilmektedir. Bu karar rastgele olmayıp, deprem bölgesine binanın işlevine ve taşıyıcı elemanların özelliklerine göre verilmektedir. Ancak yapı projede belirlenen sünek davranışı gösterebilecek şekilde inşa edilmelidir. Aksi durumda yapının ağır hasar görmesi veya yıkılması kaçınılmazdır. (3)

Süneklik malzeme, kesit ve taşıyıcı sistem açısından olmak üzere 3'e ayrılabilir. (3)

### 2.2.3.1. Malzemenin Sünekliği

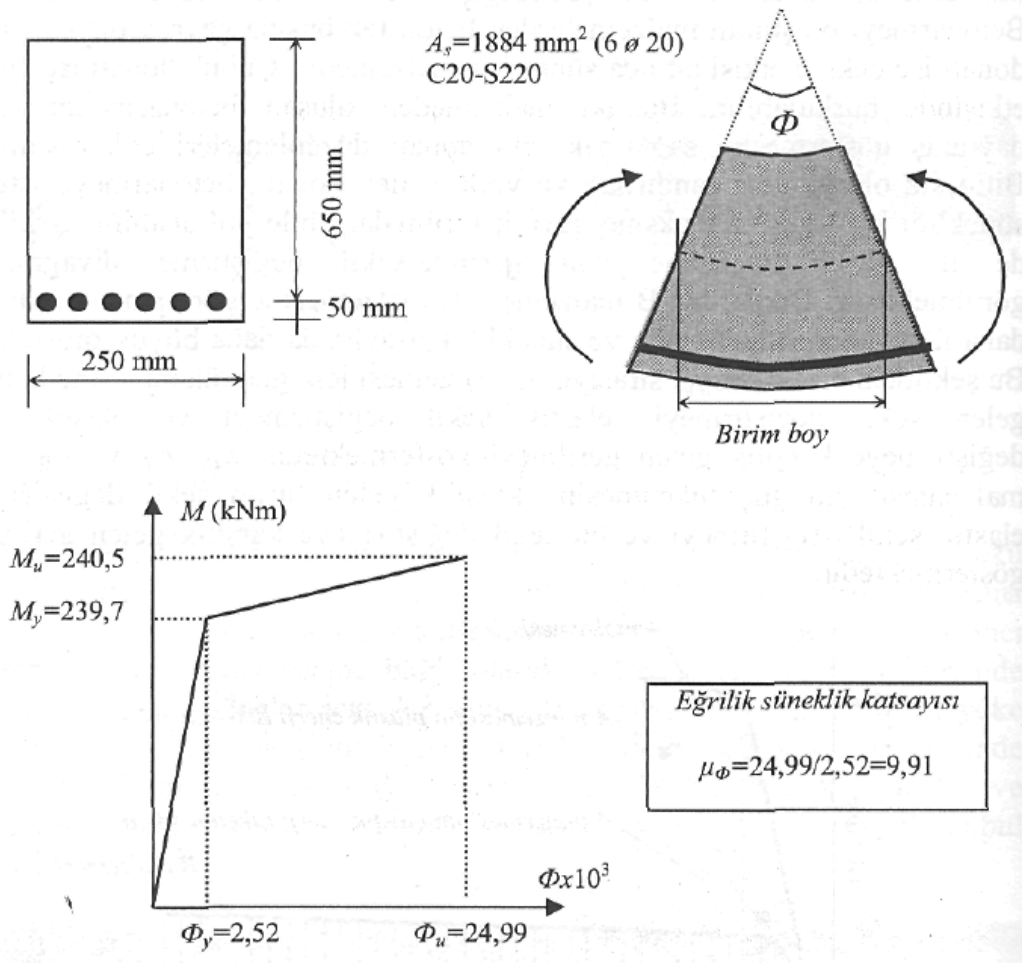
Malzeme açısından süneklik şekil değiştirme cinsinden ifade edilmektedir. Betonarmenin bileşenlerinden beton tek başına gevrek bir malzeme, donatı ise çekme etkisi altında sünek bir malzemedir. Çubuk donatı ise basınç etkisinde burkulabilir. Bu iki malzemedan oluşan betonarmenin sünek davranması sağlamak için donatı düzenlemeleri çok önemlidir. Bilinçsizce olarak detaylandırılan ve yerleştirilen donatı, betonarmeye istenen sünekliği kazandırmaz, aksine gevrek kırılmalara bile yol açabilir. Şekil 2.12 de iki farklı malzeme için gerilme-şekil değiştirme diyagramları görülmektedir. Bunlardan B malzemesi A malzemesine göre plastik aşamada daha fazla enerji tüketmekte ve süneklik katsayısı da daha büyük olmaktadır. Bu şekildeki  $\epsilon_{uA}$ ,  $\epsilon_{yA}$  ve  $f_{yA}$  sırasıyla A malzemesi için güç tükenmesine karşılık gelen şekil değiştirmeyi, elastik şekil değiştirmeyi ve elastik şekil değiştirmeye karşılık gelen gerilmeyi göstermektedir.  $\epsilon_{uB}$ ,  $\epsilon_{yB}$  ve  $f_{yB}$  ise B malzemesi için güç tükenmesine karşılık gelen birim şekil değiştirmeyi, elastik şekil değiştirmeyi ve bu şekil değiştirmeye karşılık gelen gerilmeyi göstermektedir. (3)



Şekil 2.12. Malzemelerin Sünekliklerinin Karşılaştırılması (3)

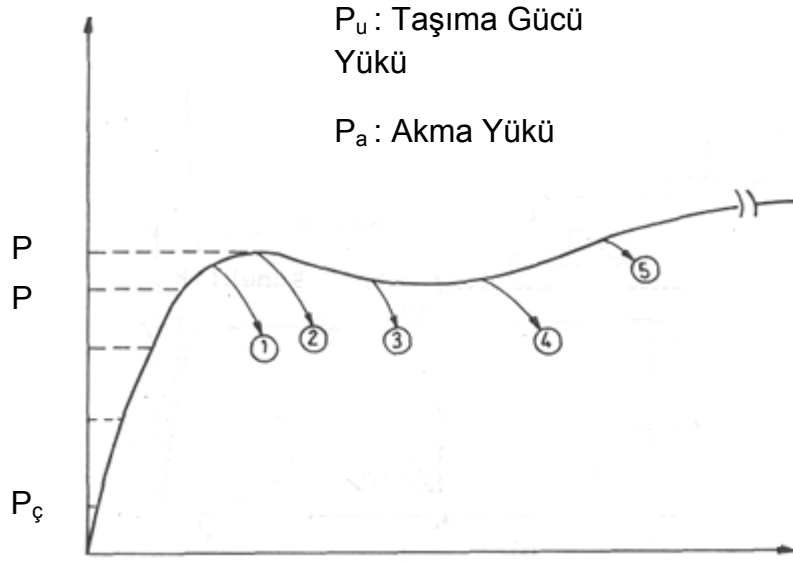
### 2.2.3.2. Kesitin Süneklığı

Betonarme bir kiriş, kolon veya perde kesitinin süneklığı eğrilik cinsinden ifade edilmektedir. Bu durumda hesaplanan süneklik katsayısına da dönme süneklik katsayısı (oranı) denilmektedir. Betonarme bir elemandaki kesit etkilerine göre süneklik için farklı değerler daha ön plana çıkabilir. Basit eğilme etkisindeki bir elemanın süneklığı için donatı oranı etkili olurken, bileşik eğilme etkisindeki bir elemanda eksenel yük düzeyi ve dışmerkezlilik de süneklik üzerinde etkili olmaktadır. Şekil 2.13'de betonarme bir kiriş kesiti ve buna ilişkin moment-eğrilik diyagramı görülmektedir. Bu şekilde  $M_y$  ve  $\Phi_y$  sırasıyla çekme donatısının akmasına karşılık gelen moment ve eğriliği (birim dönme açısını);  $M_u$  ve  $\Phi_u$  ise sırasıyla kırılma anındaki moment ve eğriliği göstermektedir. (3)



Şekil 2.13. Betonarme Bir Kirişe Ait Eğrilik Süneklığının Belirlenmesi (5)

Deneysel çalışmalarda betonarme bir yapı elemanının davranışının boyuna donatı, etriyeler ve basınç donatısının bulunmasına ve yerleştirilme biçimlerine bağlı olarak çok değişik niteliklerde olduğu görülmüştür. Şekil 2.14'de yüksek donatı oranlı fakat etriyesiz bir kolonda ulaşılan taşıma yükünün üstündeki bir yük (1 durumu) çok daha az donatılı fakat etriyeli bir kolonda fazlasıyla ulaşılabileceği üstelik 4 kat daha fazla yer değiştirme yaptırmaya olanağı olduğu görülmektedir. (4)

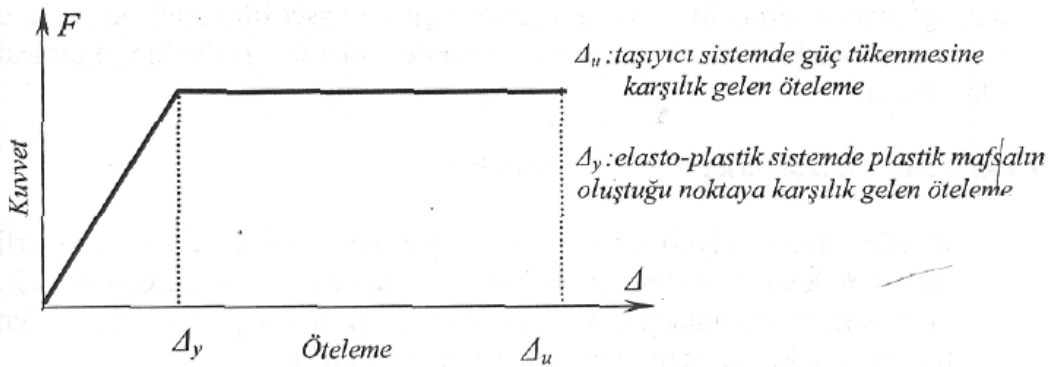


**Şekil 2.14.** 1) Boyuna Donatısı Oranı Yüksek (4)  
 2) Boyuna Donatı Oranı Orta  
 3) Boyuna Donatı Oranı Düşük  
 4) Düşük Boyuna Donatı ve Min. Etriye  
 5) Basınç Donatısı ve Etriye Sıkıştırılması

### 2.2.3.3. Taşıyıcı Sistemin Sünekliği

Yapının bütününün veya bir elemanının sünekliği ötelenme cinsinden ifade edilmektedir. (Şekil 2.15) Bu durumda tanımlanan süneklik oranına yer değiştirme veya ötelenme süneklik katsayısı (oranı) denilmektedir. Deprem Yönetmeliğinde kolon, kiriş ve perdelerin sünek davranması amacıyla boyut

ve donatı düzenlemelerine, bazı koşullar getirilmiştir. Kolon ve kirişlerde kesme kuvvetinin etkili olduğu mesnede yakın bölgelerde etriye sıklaştırılması koşulu elemanın sünek davranış göstermesini sağlar. Diğer taraftan bir yapı elemanı tasarlanırken diğerlerinin de dikkate alınması yine süneklik ilkesi içindir. Buna örnek olarak güçlü kolon zayıf kiriş tasarımı verilebilir. Rijitlik konusunda tekniğine uygun çerçevesi sisteme sahip yapılar, perde duvar sistemli yapılara göre daha sünek bir davranış göstermektedir. Ancak, perde duvarların yatay yükleri taşımadaki performanslarını çerçevelerin performansına göre yüksektir. (3)



**Şekil 2.15.** Betonarme Taşıyıcı Sistemin Sünekliğinin Belirlenmesi (3)

Deprem Yönetmeliği betonarme taşıyıcı sistemler sünekliğini yüksek ve normal sistemler olmak üzere iki ana sınıfa ayırmıştır. Ancak, süneklik düzeyi normal sistemlerin, süneklik düzeyi yüksek perdelerle bir arada kullanıldığı sistemleri karma sistem olarak adlandırmaktadır. Bu durumda taşıyıcı sistemler süneklik bakımından üç grupta değerlendirilmektedir.

Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan binalarda süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerin kullanılması zorunludur. Bina Önem Katsayısı  $I = 1.5$  ve  $I = 1.4$  olan tüm binalarda süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerin veya süneklik düzeyi bakımından karma taşıyıcı sistemlerin kullanılması gerekmektedir. (3)

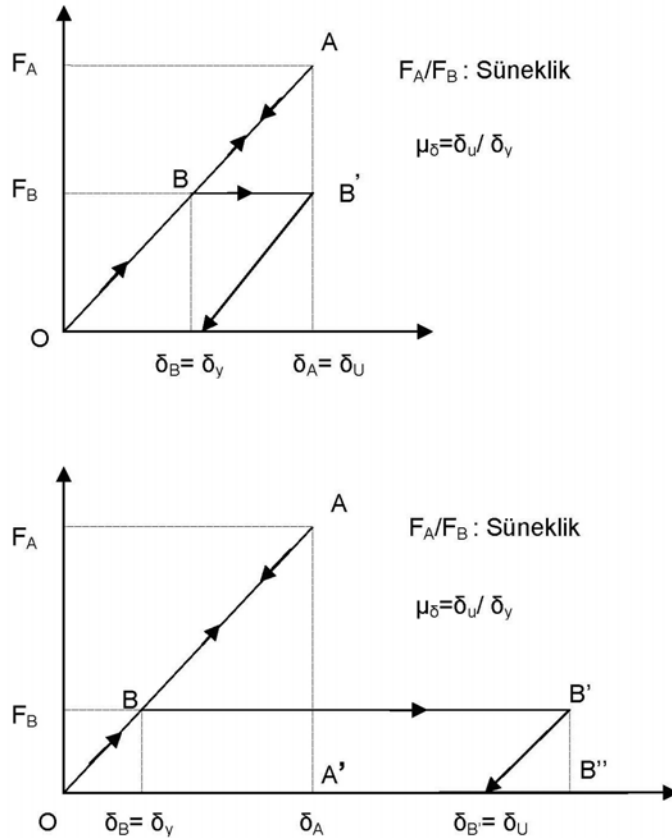
Sünekliği yüksek taşıyıcı sistemlerde, süneklik düzeyinin her iki yatay deprem doğrultusunda da yüksek olması zorunludur. Süneklik düzeyi bir deprem doğrultusunda yüksek veya karma, buna dik diğer deprem doğrultusunda ise

normal olan sistemler, her iki doğrultuda da süneklik düzeyi normal sistemler olarak sayılacaktır.

Süneklik düzeyleri her iki doğrultuda aynı olan veya bir doğrultuda yüksek, diğer doğrultuda karma olan sistemlerde, farklı doğrultularda birbirinden farklı R katsayıları kullanılabilir.

Perdesiz kirişsiz döşemeli betonarme sistemler ile kolon ve kirişleri yönetmelikte süneklik düzeyi yüksek durum için verilen koşullardan herhangi birini sağlamayan dolgu veya dolgusuz dişli ve kaset döşemeli betonarme sistemlerin, süneklik düzeyi normal sistemler olarak göz önüne alınması gerekmektedir.

Süneklik sağlanması gereken çok önemli bir gerekliliktir. Çünkü deprem yönetmeliğinde belirlenen eşdeğer yatay yükler, sünek davranış varsayımı ile önemli ölçüde azaltılmıştır. Şekil 2.16' da bu durum açıklanmaktadır. (4)



**Şekil 2.16.** Deprem Eşdeğer Yatay Yükün Sünekliğin Sağlanması Koşulu ile Azaltılması (4)

Dinamik analiz sonucu, yapının deprem etkisiyle elasto-plastik davranış göstererek yaptığı en büyük yer değiştirme (denetimli yer değiştirme), aynı yapının aynı deprem yükleri altında elastik bölgede kalarak yaptığı en büyük yer değiştirmeye eşittir. Buna "Eşdeğerli Öteleme Karşılıkları" durumu denir. Şekil 2.16' daki  $F_A$  doğrusal elastik olarak en büyük iç kuvveti gösterirken,  $F_B$  ise doğrusal olmayan en büyük iç kuvveti göstermektedir. (4)

$F_A/F_B$  oranı, bir anlamda elastik en büyük yükün, deprem yönetmeliklerindeki en büyük yüke oranı olup, davranış etkeni  $K_k$  ye eşittir ve süneklik etkeni  $\mu \delta$  s ile doğrudan ilişkilidir. (4)

Dinamik analizler, kısa periyotlu yapılarda "eşdeğerli öteleme karşılıkları" yerine " eşdeğerli potansiyel enerji karşılıkları" nın çok daha iyi bir yaklaşım sağladığını göstermiştir. Şekil 2.16.b'de bu durum gösterilmekte olup, elastik durumdaki enerjiyi veren OAA alanı, elasto-plastik durumdaki  $OBB^1B^{11}$  enerji alanına eşit olmalıdır. (4)

Çizelge 2.1'de  $K_k$  davranış etkenleri CEB tarafından tavsiye edilmektedir. Bu çizelgede "öteleme süneklik etkenleri", hem eşdeğer öteleme ölçütüne hem de eşdeğer enerji ölçütüne bağlı olarak ifade edilmektedir. (4)

"Eşdeğer enerji" ölçütü kullanıldığında  $K_k$  ile  $\mu \delta$  arasındaki ilişki,

$$K_k = \sqrt{2\mu\delta - 1} \quad (2.7)$$

ile ifade edilirken, "eşdeğer öteleme ölçütü" kullanıldığında ise  $K_k = \mu \delta$  şeklinde ifade edilmektedir. Çizelge 2.1 yalnız çerçevesel yapılar için, Çizelge 2.2'de ise yine üç süneklik düzeyi için davranış kat sayıları  $K_k$  perdeli yapılar için verilmektedir. (4)



**Çizelge 2.1.**  $K_k$  İle Arasındaki İlişki(4)

	Süneklik (DL) düzeyi		
	1	2	3
$K_k$ = davranış katsayısı	2.0	3.5	5.0
$\mu_\delta$ = eşdeğer yer değiştirme	2.0	3.5	5.0
$\mu_\delta$ = eşdeğer enerji	2.5	6.6	13.0

**Çizelge 2.2.**  $K_k$  İle  $\mu_\delta$  Arasındaki İlişki (Perdeli ve Perde-Çerçevesel Yapı) (4)

	Süneklik (DL) düzeyi		
	1	2	3
$K_k$ = davranış katsayısı	2.0	3.0	4.0
$\mu_\delta$ = eşdeğer yer değiştirme	2.0	3.0	4.0
$\mu_\delta$ = eşdeğer enerji	2.5	5.0	8.5

Çizelge 2.2'de  $K_k$  değerleri her iki doğrultuda da yatay yüklerin en az %50 sinibağlantılı perdelerin alacağı esasına göredir. Eğer bu koşul sağlanmazsa  $K_k$  değerleri %70 azaltılmalıdır. Bu da enerjinin daha az tüketilmesi demektir.

"Süneklik düzeyi 3" ile en yüksek süneklığe sahip olacak yapılar, gerek tasarım kuvvetlerinin hesabında, gerekse yapı elemanlarına donatı yerleştirilmesi ve detaylandırılmasında özel hükümlere uyulduğu, yüksek deprem bölgelerindeki yapılardır.(4)

Son olarak, Newmark, v.d. tarafından El Centro kaydı esas alınarak elasto-plastik ve elastik hesapların karşılaştırmasından esas periyodu ( $T < 0.125$  sn) olan yapılar için, iç kuvvetlerde herhangi bir azaltma yapılamayacağını, bunların ivmelerinin eşit olduğunu belirtmek gerekir. (4)

Aynı araştırmacılar  $0.125 \text{ sn} < T < 0.5 \text{ sn}$  arasında doğal periyoda sahip yapılarda her iki durum için hız eşitliği olduğunu ve dolayısıyla enerjileri eşit

yapılabileceğini belirtmektedir. Ancak  $T > 0.5$  sn olan yapılarda yer değiştirmeler eşittir ve doğrudan doğruya  $K_k = \mu_\delta$  olmaktadır. Çizelge 2.3. bunu açıklamaktadır. (4)

**Çizelge 2.3.** İç Kuvvetlerin Karşılaştırılması(4)

Periyot aralığı	Davranış katsayısı	Doğrusal karşılık elastoplastik
$T \leq 0.124$ sn	1.0	İvme eşitliği
$0.125\text{sn} < T < 0.50\text{sn}$	$\sqrt{2\mu_\delta - 1}$	Enerji eşitliği
$T > 0.5$ sn	$\mu_\delta$	Yer değiştirme eşitliği

#### 2.2.4. Sağlamlık (Stabilite)

Yapı emniyeti için sadece dayanım yeterli değildir. Yapının boyutsal dengesi de bozulmamalıdır. Eğer sistem dengesi bozulup kararlı durumdan çok az bir miktar da olsa saparsa, yapı aniden göçer. Buna stabilite kırılması da denilmektedir.<sup>(3)</sup>

Taşıyıcı sistemin yatay yer değiştirmesiyle oluşan ikinci mertebe momentlerinin ( $M_{II}$ ), birinci mertebe momentlerine ( $M_I$ ) oranı, sağlamlık (stabilite) ölçüsünü verir.<sup>(3)</sup>

$$\theta = \frac{M_{II}}{M_I} \quad (2.8)$$

$\theta \leq 0,1$  sistemin sağlamlığı iyi olup ikinci mertebe momentlerini hesaplanması gereksizdir.

$0,1 < \theta < 0,2$  ikinci mertebe momentleri hesaplanmalıdır,

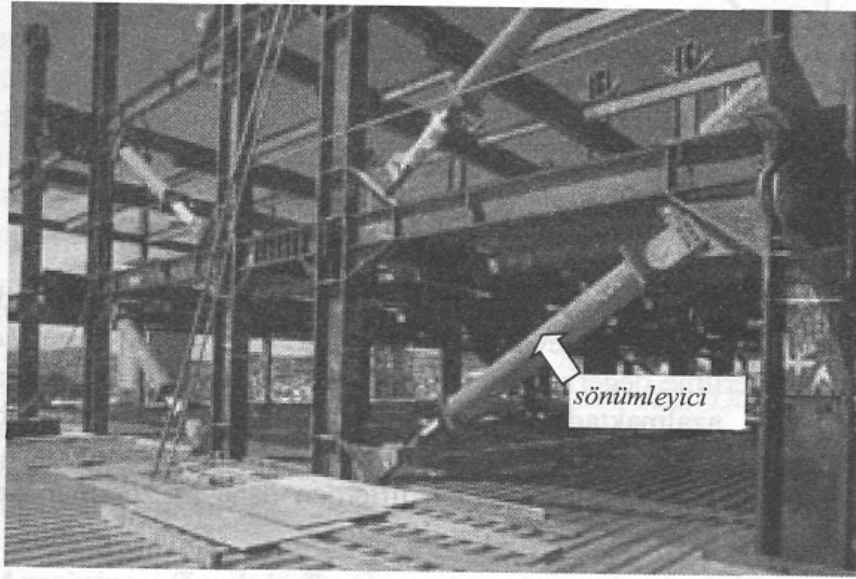
$\theta \geq 0,2$  kararlılığın sağlanması güç olmaktadır. (3)

### 2.2.5. Sönüm

Titreşim hareketi yapmak zorunda kalan yapılarda, enerjinin yutulması genellikle sönüm ile ifade edilmektedir. Bir yapı için sönüm değerini; malzeme özelliklerine, yapı ve eleman boyutlarına bağlı olarak belirlemek bugün için olanaksızdır. Malzemenin sönüm özellikleri bilinse bile, çelik yapıların birleşim bölgelerinde ve betonarme yapıların elemanlarında oluşan mikro çatlakların açılıp kapanması ile enerji açığa çıkması, bölme duvarı taşıyıcı yapısal olmayan elemanlar arasında sürtünmenin sönümü etkilemesi nedeniyle nihai sönümün hesaplanması olanaksızdır. Bu durumda, yukarıda belirtilen tüm hususları yaklaşık olarak dikkate alacak şekilde, bir modal sönüm oranı ( $\xi$ ) tanımlanmaktadır. Bu oranı önceki depremlerde elastik davranış gösteren yapılar için mevcut verilerden yararlanarak yaklaşık olarak belirlenmektedir. (3)

Sönüm oranı, literatürde taşıyıcı sisteme bağlı olarak çelik çerçeve yapılarda 0,02 (%2), çelik-betonarme karma (kompozit) yapılarda 0,03 (%3), betonarme yapılarda ise 0,02-0,10 (%2 ile % 10) verilmektedir. Deprem yönetmeliğinde betonarme yapılar için sönüm oranı 0,05 (%5) olarak dikkate alınmaktadır. (3)

Yapıda meydana gelebilecek plastik şekil değiştirmelerin büyük olması, taşıyıcı olan ve olmayan elemanlarda çatlakların artması sönümü artırmaktadır. Bazen, yapının sönümünü artırmak için taşıyıcı sisteme sönümleyici elemanlar yerleştirilmektedir (Şekil 2.17) (3)



**Şekil 2.17.** Yapının sönümünü artırmak için yerleştirilen sönümleyiciler(3)

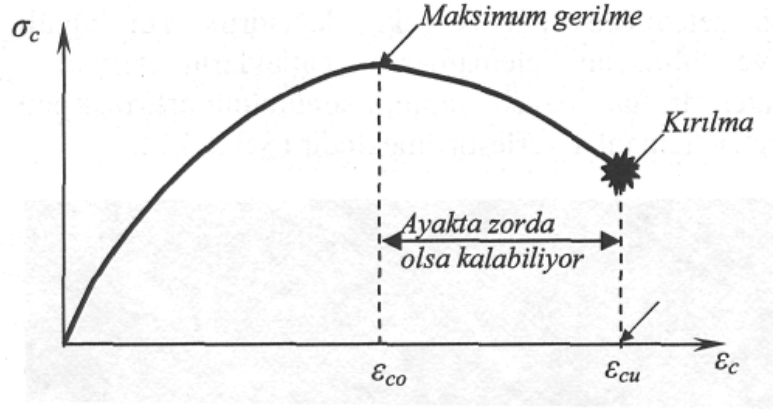
### **2.2.6. Uyum (Adaptasyon)**

Betonarmeyi, diğer yapı malzemelerinden ayıran en önemli özelliklerden biri de uyumdur. Bu özellik yapılan hatalar nedeni ile oluşabilecek birçok felaketi önler. Sünek davranış ilkesi, uyumun gerçekleşmesini sağlamaktadır. (3)

Uyum fazla zorlanan bir lifin, kesitin veya elemanın, zorlamaları komşu, lif, kesit ya da elemana aktarabilme özelliğidir. (3)

#### **2.2.6.1. Liftten Life Uyum**

Liften life gerilme aktarımı Şekil 2.18 yardımıyla açıklanabilir. (3)



**Şekil 2.18.** Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi(3)

Bu şekilden görüldüğü gibi betonun ezilmesi maksimum gerilmede değil, maksimum şekil değiştirmede meydana gelmektedir. Yine şekilden görüldüğü gibi, maksimum gerilme değerinden ezilme anına kadar ( $\epsilon_{co}$  dan  $\epsilon_{cu}$  ya kadar) gerilmenin değeri azalmaktadır. Bu azalma dış lifin gerilmeleri, birim kısaltmaların daha küçük olduğu komşu liflere aktarmasıyla açıklanabilir. Betonarmede gerilmelerin, aşırı zorlanan liflerden daha az zorlanan komşu liflere aktarılmasına gerilme uyumu denilmektedir. (3)

### 2.2.6.2. Kesitten Kesite Uyum

Betonarme bir eleman için uyum olayında, kesitlerden birinin taşıma gücüne ulaşması halinde plastik mafsal oluşmakta ve taşıma gücüne henüz ulaşmayan diğer kesitlere moment aktarılmaktadır. Betonarmede kesitten kesite moment aktarabilme yeteneğine moment uyumu ya da momentlerin yeniden dağılımı denilmektedir. (3)

### **2.2.6.3. Elemandan Elemana Uyum**

Betonarme yapılarda fazla zorlanan veya bir elemanın, artan yük etkisini diğer elemanlara aktarmasına kuvvet uyumu denir. Örneğin bir kolon taşıma gücüne erişir ve ezilmeye başlarsa, artan deformasyonla yükler daha az zorlanan komşu kolonlara aktarılabilir. Bunun gerçekleşebilmesi için sistemin hiperstatik olması, kolonun yeterli sünekliğe sahip olması ve birleşimdeki kirişlerin etkileri aktarabilecek kapasitede olmaları gerekmektedir. (3)

### **2.3. Sınır Durumlar**

Yapılardan beklenen işlevini, güvenlikle ve ekonomik olarak yerine getirmektir. Herhangi bir yapı veya yapı elemanı "sınır durum" denilen bir konuma gelip işlevini kaybedebilir. Yapı boyutlandırılırken çeşitli sınır durumların tümünde güvenlik sağlanmalıdır. Sınır durumları, Taşıma gücü sınır durumları ve İşletme sınır durumları olarak iki ana bölümde incelenebilir. (3)

#### **2.3.1. Taşıma Gücü Sınır Durumları**

Taşıma gücü sınır durumları yapıda stabilitenin, göçme mekanizmasının, kritik bölgelerin taşıma güçlerinin aşılmamasının kontrol edilmesi ile anlaşılır. (3)

Deneysel çalışmalar, betonarmede gerilmelerin hesaplanamayacağını açık bir biçimde kanıtlamaktadır. Bu çalışmalar yapı elemanların güç tükenme anındaki taşıma güçlerinin, oldukça gerçekçi olarak hesaplanabileceğini de kanıtlamıştır. Taşıma gücü yönteminin amacı, kesitin güç tükenme anındaki kapasitesinin hesabıdır. Bu yöntemde gerilme hesabı yoktur. Kesit hesabı için geliştirilen bu yöntemle çözüme gidilirken, yazılacak denge ve uygunluk denklemleri, emniyet gerilmelerinde kullanılanlarla aynıdır. Aradaki tek fark, taşıma gücü yönteminde, emniyet gerilmeleri yönteminde olduğu gibi

malzeme davranışının doğrusal elastik kabul edilmemesidir. Taşıma gücü yönteminde çelik ve betonun gerçek davranışları temel alınır. (5)

Taşıma gücü sınır durumuna; (a) yapının bazı elemanlarında veya tümünde dengenin kaybolması, (b) kritik kesitlerin kapasitesine erişmesi, (c) yorulma, (d) yeterli plastik mafsallaşma ile yapının mekanizmaya dönüşmesi veya (e) burkulma ile ulaşılabilir. (5)

Taşıma gücü sınır durumunda karakteristik yük ile ortalama yük arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir. (3)

$$F_k = F_m + u\sigma_f \quad (2.9)$$

Karakteristik yük etkisini bulabilmek için,  $F_m$  ve  $\sigma_f$  değerlerinin saptanmasını sağlayacak, yeterli istatistik veriler bulunmalıdır. Ayrıca,  $u$ 'nun bulunabilmesi için de, olasılık hakkında bir kabul yapılmalıdır. Bugün için yeterli istatistik veriler olmadığından, yük yönetmeliklerde öngörülen yüklerin "karakteristik yük" olarak kullanılması önerilmektedir. (3)

Yüke veya yük etkilerine uygulanacak katsayılar, yük türünün saptanmasındaki doğruluk derecesi dikkate alınarak belirlenir. Hareketli yüke oranla çok daha doğru hesaplanabilen öz ağırlığa uygulanacak yük katsayısı, hareketli yüke uygulanana oranla daha küçük olmalıdır. Ayrıca, birden fazla hareketli yük türünün birlikte ele alındığı durumlarda, bu yüklerin aynı anda karakteristik değerlerine erişme olasılığının düşük olması dikkate alınarak, yükler bir "küçültme katsayısı",  $\psi_0$  ile çarpılmalıdır. (3)

$$F_d = Y_g G_k + Y_q \{ Q_{1k} + \sum \psi_{oi} Q_{ik} \} \quad (2.9)$$

Hesaplarda kullanılacak beton ve çelik dayanımları, karakteristik değerler malzeme katsayılarına bölünerek bulunur. (3)

$$\text{Çelik için} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{y_{ms}} \quad (2.10)$$

$$\text{Beton için} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{y_{ms}} \quad (2.11)$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{y_{ms}} \quad (2.12)$$

Beton dayanımındaki değişim çeliğe göre çok daha fazla olduğundan, malzeme katsayısı da daha büyüktür. (3)

Sınır durumlar yönteminde uygulanan bu güvenlik yaklaşımı, hesapların çok daha gerçekçi olmasını sağlar. Bu yöntemde, ayrı karakterde malzeme ve yüklere ayrı katsayılar uygulamak mümkündür. Bazı tür yükler daha kesinlikle saptanabildiğinden, bunlara değişik katsayılar uygulamak, gerçekçi olduğu gibi daha ekonomiktir. Malzeme için de böyledir. Çelik dayanımında görülen dağılım, betona oranla çok daha azdır. Çeliğın akma dayanımına ulaşması ile oluşan kırılma, beton ezilmesi ile oluşan kırılmaya göre çok daha sünektir. Bu nedenle, çeliğe betona oranla daha küçük bir malzeme katsayısı uygulamak daha gerçekçidir. Ayrıca, hesabı yapan mühendis, şantiyedeki denetimin yeterli olamayacağını kestirdiğı durumlarda, beton malzeme katsayısını artırma olanağına sahiptir. (3)

### 2.3.2. İşletme Sınır Durumları

Yapının öngörülen servis yükleri altında kullanılabilir kalması, bu yükler altında aşırı titreşim, deformasyon ve çatlama göstermemesi de, yapı güvenliği açısından önemlidir. Kullanılabilirlik sınır durumu için yapılan kontrollerde, yük ve malzeme katsayılarının tümü 1.0 alınmalıdır. İzin verilebilecek en büyük sehim veya öteleme oranı, titreşimin genliği, çatlak



genişliğinin sınırlanması, yapının işlevine ve duvar, asma tavan gibi taşıyıcı olmayan elemanların varlığına göre değişir. <sup>(3)</sup>

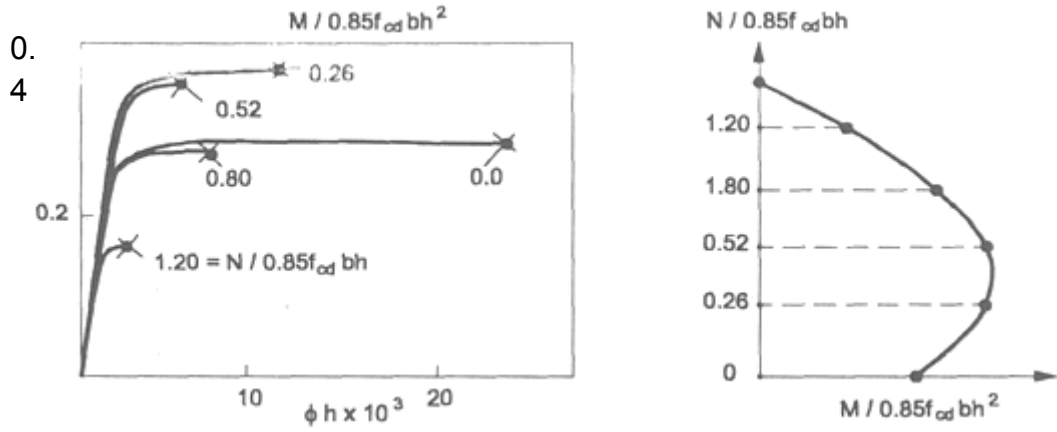
## **2.4. Taşıyıcı Sistem Elemanları**

Yüksek yapı elemanlarını Kolon, Perde, Kiriş, Döşeme, Temel olarak sınıflandırabiliriz.

### **2.4.1. Kolon**

Betonarme taşıyıcı sistemlerin hemen hepsinde kolon bulunmaktadır. Sadece betonarme perde duvarlardan oluşan sistemlerde kolon bulunmayabilir.

Deprem hareketi her iki yönde ve her iki doğrultuda meydana geldiğinden, kolonlar eksenlerine göre simetrik donatılır. Deprem sırasında kolonlardaki basınç kuvvetinde genellikle küçük artma ve azalma görülür. Buna karşılık depremden meydana gelen eğilme momenti, düşey yüklerden doğandan çok daha etkili olabilir. Bu durumu yansıtmak üzere Şekil 2.19'de bir kesitte moment-eğrilik değişimi değişik normal kuvvet değerleri için gösterilmiştir. Verilen karşılıklı etki diyagramında görüldüğü gibi, basit eğilmeden başlayarak belirli bir normal kuvvet değerine kadar basınç bölgesi arttığı için, eğilme dayanımı da artmaktadır. Ancak normal kuvvetin artmaya devam etmesi halinde eğilme momenti dayanımı azalmaktadır. Buna karşılık Şekil 2.19'deki çeşitli normal kuvvet seviyeleri için gösterilen moment-eğrilik bağıntılarından görüldüğü gibi, normal kuvvet artarken, güç tükenmesi durumundaki eğrilik, dolayısıyla süneklik sürekli bir şekilde azalmaktadır. Genel olarak eğilme momenti yanında normal kuvvetin bulunması sünekliği azaltır.



**Şekil 2.19.** Kesitte Eğilme Momenti ve Eğrilik Değişiminin Normal Kuvvet Seviyesine Olan Bağlılığı. <sup>(6)</sup>

Kolon gibi, normal kuvvetin taşınması gereken elemanlarda kesitin büyütülmesi dolayısıyla gerilmenin düşürülmesiyle bu olumsuz durum giderilmeye çalışılır.

#### 2.4.2. Perde

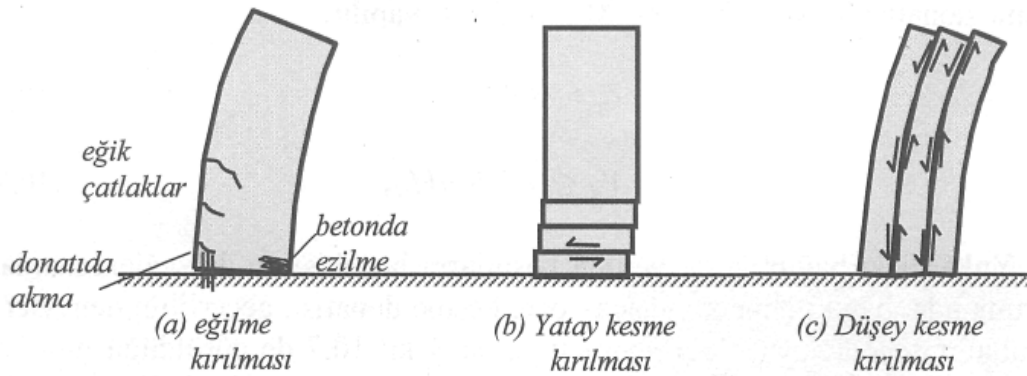
Düşey yüklerin kolonlar ile taşınmasında genelde sorun ile karşılaşmaz. Ancak, rüzgâr özellikle de depremin yatay yüklerine karşı yeterli olabilmesi için, kesit boyutlarının aşırı büyük tutulması gereklidir. Bu durumda ise yapı maliyeti artar.

Yapının rijitliğini artırarak, ötelenmesini engellemek için taşıyıcı sistemde perde duvarların kullanılması gerekmektedir. Eğilme rijitliği çok büyük olan perdeler, yapıya etkiyen yatay yüklerin büyük bir bölümünü karşılayacaktır.

Pek çok yüksek yapıda yatay yüklerin karşılanmasında perdeler etkili bir biçimde kullanılır. Çerçevelerle beraber veya bağ kirişleri ile birleşen perde grupları halinde de kullanılabilirler. Plandaki yerleri ve geometrileri mimari işlevine göre biçimlendiği için davranışları ve çözümlenmeleri değişiklikler gösterir. Perdeler, yüksek binalarda, dayanım yanında yanal yer değiştirmeyi sınırlaması yönünden de tercih edilir.

Tek başına bir perde betonarme konsol kolon gibi davranır. Ancak, perdenin ince kesiti yanal burkulma tehlikesini hatıra getirir de, genellikle yüksek binadaki döşemeler yeterli bir yanal rijitlik oluşturarak bu tehlikeyi ortadan kaldırırlar. Perdelerde yatay yüklerden eğilme momenti ve kesme kuvveti oluşurken, düşey yüklerden normal kuvvet meydana gelir. En çok zorlanan kesit tabanda olup, eğilme momenti ve normal kuvvet etkileşimi göz önüne alınarak boyutlandırılır. Perdenin yatay yükleri karşılaması bakımından, kat döşemelerine olan bağlantısı sağlanmalıdır. Baca boşluğu veya merdiven kenarındaki perdeler deprem durumunda, binaya döşemelerle yeterince bağlı olmadıklarından statik sistemin bir parçası gibi çalışmazlar. <sup>(3)</sup>

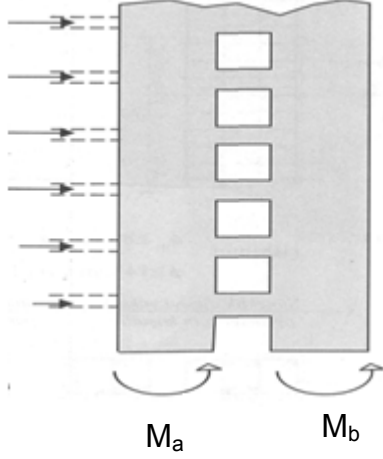
Perdelerde yer yer kapı ve pencere boşlukları bırakmak gerekir. Boşluklu perdeler daha karmaşık hesaplar gerektirir. Boşluklar genellikle perde yüksekliği boyunca düzgün aralıklarla sıralanırlar. Boşlukların her iki yanındaki perde elemanları ya bağlantı kirişleri ile ya da döşemelerle birbirine



**Şekil 2.20.** Yatay Yükler Etkisindeki Perde Duvarlarda Oluşabilecek Kırılma Biçimleri(5)

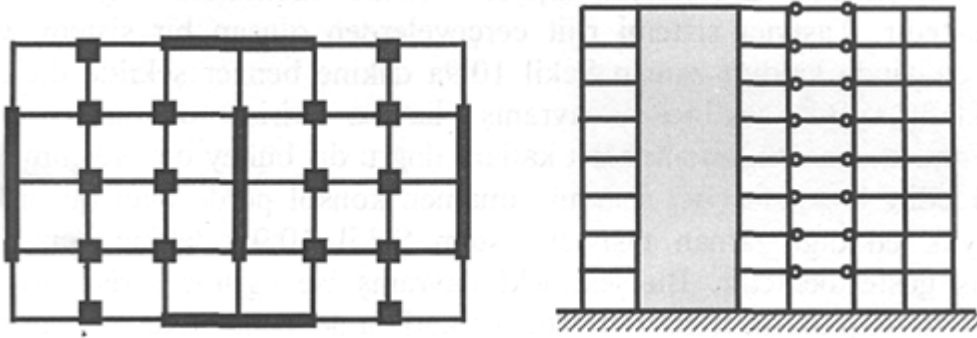
bağlanırlar. (Şekil 2.21) Boşluklar küçük ise perdenin tüm olarak gerilme durumu üzerindeki etkileri küçük kalır. Büyük boşlukların etkisi daha fazla olacaktır. Yeteri kadar büyük boşluklar perdenin, çerçeve etkisini artırıcı davranış göstermesine neden olur. Yatay yük etkisindeki yapının davranışı, taşıyıcı sistemin özelliklerine bağlı olarak değiştiğinden, taşıyıcı sistem özelliklerine göre model seçilmektedir. Perde ve çerçevelerden oluşan taşıyıcı

sistemlerin yapısal çözümlemesinde yapının üç boyutlu olarak modellenmesi hesaplardaki doğruluk derecesini artıracaktır. <sup>(3)</sup>



**Şekil 2.21.** Boşluklu Perde Tabanında Oluşan Eğilme Momentleri Kontrolü<sup>(3)</sup>

Yatay yük paylaştırarak perde ve çerçevelerin bağımsız olarak çözülmesi uygun değildir. (Şekil 2.22) Sonlu elemanlar yöntemiyle yapıların üç boyutlu modellenmesinden başka boşluksuz ve boşluklu perde ve çerçevelerden oluşan sistemler için çeşitli yaklaşımlar kullanarak da çözüm yapılabilir. <sup>(3)</sup> (Şekil 2.23)

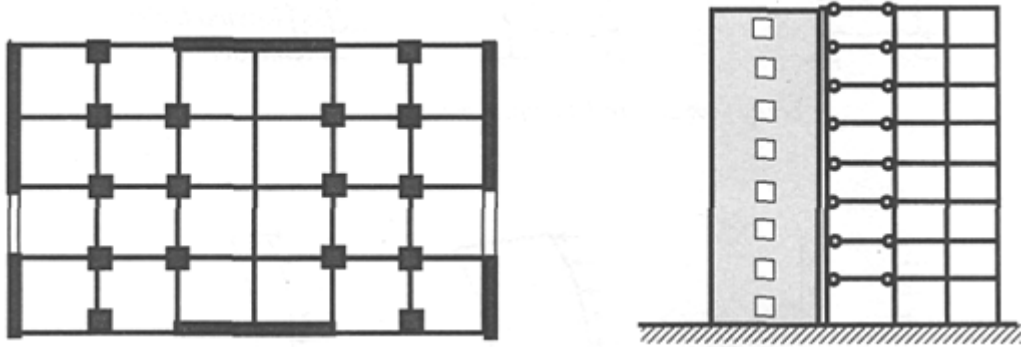


**Şekil 2.22.** Boşluksuz Perde Duvarlı-Çerçeve Sistem Modellemesi<sup>(3)</sup>

Perde duvarlar genellikle aksenal kuvvet ve iki doğrultuda eğilme momentinin etkisinde kalmaktadır. Tasarım aksenal kuvveti ve eğilme momenti elverişsiz

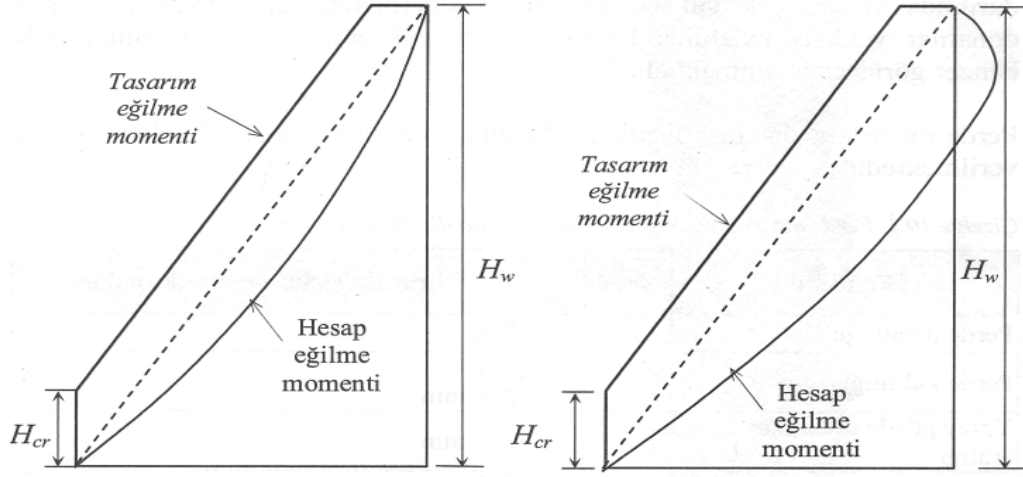
yüklemeler ve yük birleşimleri dikkate alınarak, kolonlardakilere benzer şekilde belirlenebilir. <sup>(3)</sup>

Deprem Yönetmeliğinde tasarım eğilme momenti için,  $H_w/l_w > 2,0$  koşulunu sağlayan perdelerde tasarıma esas eğilme momentinin, kritik perde yüksekliği boyunca sabit bir değer olarak, perde tabanında depreme göre yapısal çözümlenmeden elde edilen eğilme momentine eşit alınması öngörülmektedir. Kritik perde yüksekliğinin sona erdiği kesitin üstünde ise, deprem için yapısal çözümlenmeye göre perdenin tabanında ve tepesinde hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olan, doğrusal moment diyagramı dikkate alınmaktadır. <sup>(3)</sup> (Şekil 2.24)



**Şekil 2.23.** Boşluklu Perde Duvarlı-Çerçevesi-Sistem Modellemesi<sup>(3)</sup>

Çevresinde rijit perdeler bulunan bodrumlu binalarda sabit perde momenti, süneklik düzeyi yüksek perde duvarlarda kritik perde yüksekliği boyunca dikkate alınmalıdır.  $H_w / l_w > 2,0$  olması durumunda, her bir katta perde kesitlerinin taşıma gücü momentlerinin, perdenin güçlü doğrultusunda kolonlar için verilen,  $(M_{ra} + M_{r\bar{u}}) \geq 1,2 (M_{ri} + M_{rj})$  koşulu sağlaması zorunludur. <sup>(5)</sup>



Perdeli

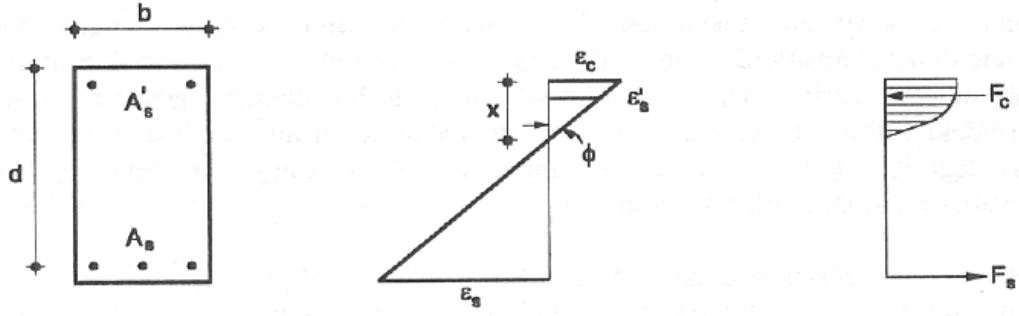
Perdeli-Çerçeve Sistem

**Şekil 2.24.**Perde Duvarlarda Dikkate Alınacak Tasarım Eğilme Momenti. <sup>(3)</sup>

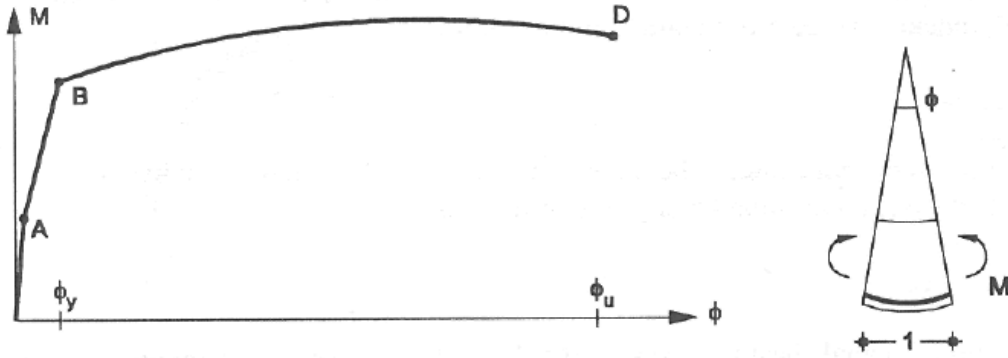
### 2.4.3. Kiriş

Kirişler normal kuvvete göre eğilme momentinin çok daha etkin olduğu yapı elemanlardır. Taşıyıcı sistem içinde kirişlerin iki temel görevinden söz edilebilir. Bunlardan birincisi, düşey doğrultuda etkiyen ve döşemeden aktarılan kalıcı/hareketli yükler ile varsa üzerlerindeki duvar yüklerini mesnetlendikleri kolon veya perdelerle aktarmaktır. İkincisi ise, özellikle deprem ve rüzgâr nedeniyle yapıya etkiyen yatay yükleri, döşemelerle birlikte düşey taşıyıcı elemanlara aktarmaktır.

Kiriş kesitlerinde eğilme momenti etkisiyle dönmeler basınç ve çekme gerilmeleri meydana gelir. Şekil 2.25’de basit eğilme altındaki bir dikdörtgen kesitteki şekil değiştirme ve gerilme durumu gösterilmiştir. <sup>(6)</sup>



**Şekil 2.25.a.** Basit Eğilme Etkisi Altındaki Kesitte Şekil Değişirme ve Gerilmeler(6)



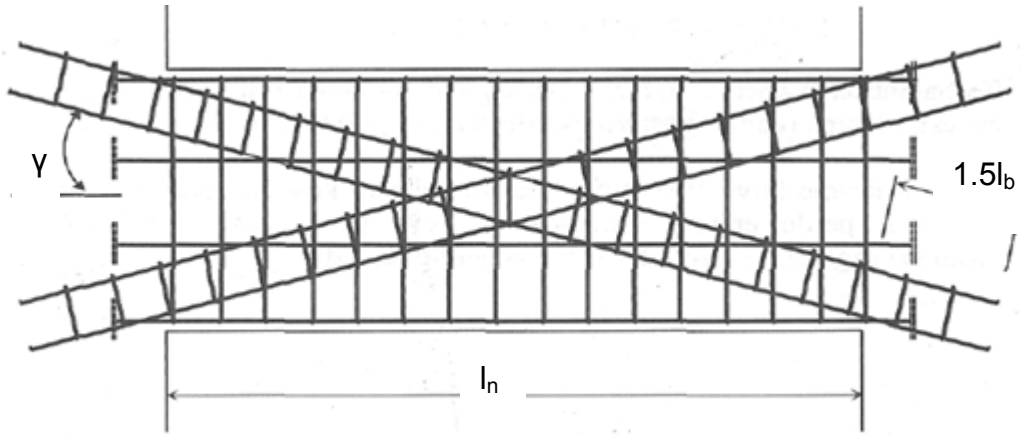
**Şekil 2.25.b.** Basit Eğilme Etkisi Altındaki Kesitte Şekil Değişirme (6)

Eğilme momentinin küçük değerleri için betonda basınç ve çekme gerilmeleri oluşurken, momentin artmasıyla beton çatlar, çekme gerilmelerinin önemli bir kısmı çekme donatısı tarafından taşınır. Eğilme momenti artarken, beton basınç gerilmeleri dağılışı doğrusal olmayan bir değişimle meydana gelir, donatı akma gerilmesine ulaşarak plastik şekil değiştirmeler yapar ve kesit de taşıma gücüne erişir. Donatının dengeli donatının altında veya üstünde olmasına bağlı olarak iki farklı  $M-\phi$  moment-eğrilik eğrisi ortaya çıkar. Her iki eğri başlangıçta doğrusal değişim gösterirler ve ara bağıntı elastik davranış

$$E I = M / \phi \quad (2.13)$$

bağıntısı ile verilir. Burada  $EI$ , kesitin eğilme rijitliğine karşı gelir. (6)

Tasarımında kesmenin etkin olduğu bağ kirişleri, iki ayrı perdeyi ve kapı / pencere boşlukları ile bölünmüş perdeleri birbirine bağlar ve deprem durumunda bağlandığı perdeleri beraber çalışmaya zorlar. Yüksek yapılarda çok kullanılırlar. Bağ kirişleri ayrıca iki perde sisteminin rijitliğini artırarak yanal yer değiştirmeleri azaltır. Bu tür sistemlerde bağ kirişlerinde meydana gelen hasarlarla deprem enerjisinin büyük bir bölümü karşılanır. Bağ kirişi hasarı perdedekine göre çok daha kolay onarılabildiği için tercih edilir. Perde ile bağ kirişlerin rijitliklerinin birbirinden çok farklı olması, normal çerçeve çözümlemesinde göz önüne alınmayan etkilerin hesaba katılmasını gerektirir.



**Şekil 2.26.** Bağ Kirişlerinin Donatılması(6)

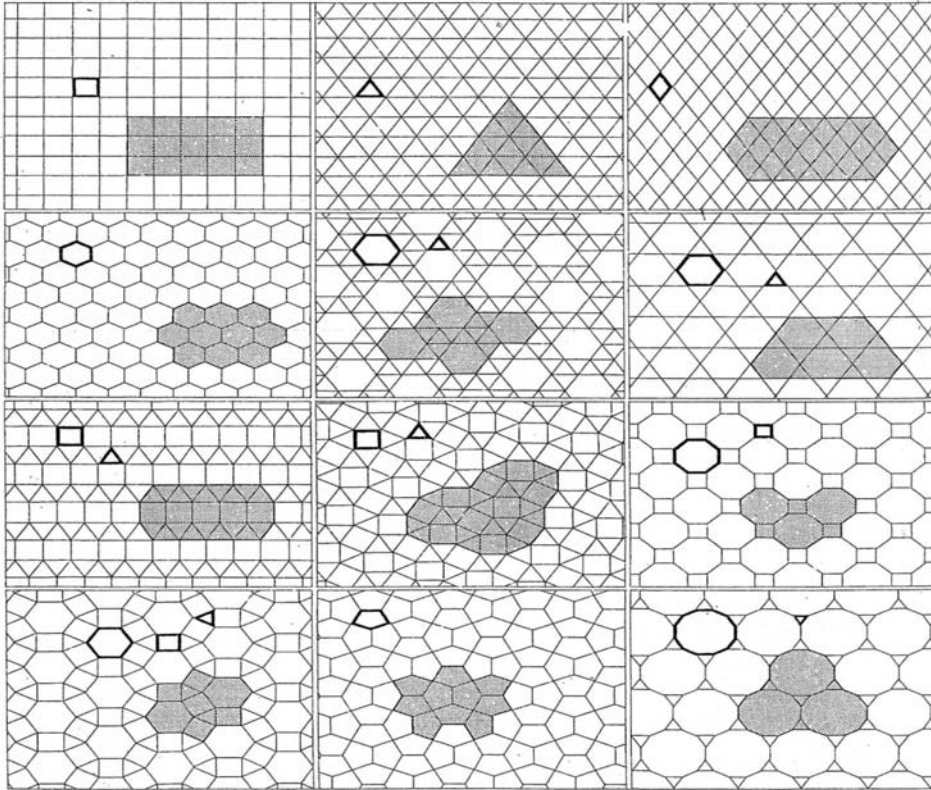
#### 2.4.4. Döşeme

Döşemeler düşey yükleri taşır ve kirişler aracılığı ile kolon ve perdelerle iletirler.(Şekil 2.27, 28) Bunun yanında deprem yüklerini düşey taşıyıcı elemanlara dağıtır. Bu durumda döşemeler, düzlemleri içindeki yüklerin etkisi altında bulunur ve yük aktarmaları diyafram davranışı ile ortaya çıkar.

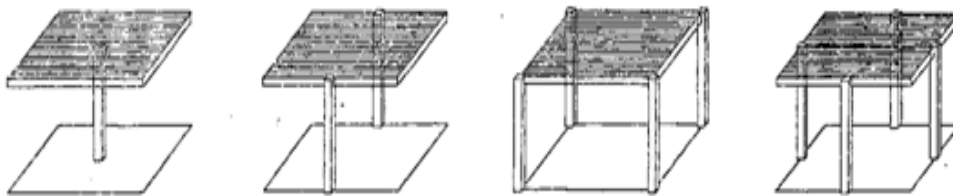
Genel olarak döşemeler, düzlemi içinde rijit kabul edilir. Bu durumda yükün düşey elemanlara paylaşılması tamamen bu elemanların rijitliğine bağlı olur ve döşemenin düzlemleri içinde şekil değiştirmesi ise diğer elemanlara göre



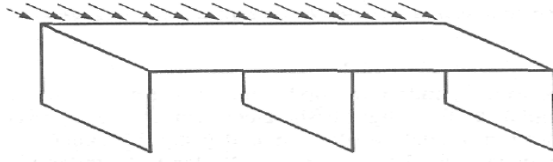
ihmal edilir. Bunun karşıtı, döşemenin aşırı Şekil değiştirme yapabilir kabul edilmesidir. Ancak, uygulamada bu durumla hemen hemen hiĉ karşılaşılmaz. Teorik olarak elastik kabul edilen döşemelerde yatay yükün dağıtılması, döşeme rijitliği yanında, düşey elemanların rijitliğine bağlı olarak oluşur. Bu durumda döşemeler, düşey elemanlara yatayda mesnetli sürekli kiriş olarak davranır ve elastik mesnetli sürekli kiriş gibi yaklaşık olarak hesap edilebilirler. (6) (Şekil 2.29)



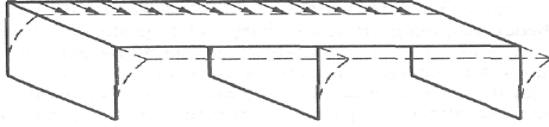
**Şekil 2.27.** Döşeme Düşey Yük Toplama Sistemleri<sup>(1)</sup>



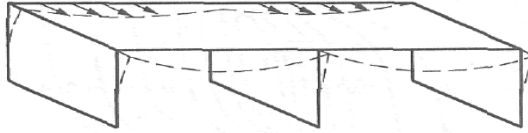
**Şekil 2.28.** Düşey Yük Aktarma Biĉimleri<sup>(1)</sup>



(a)



(b)



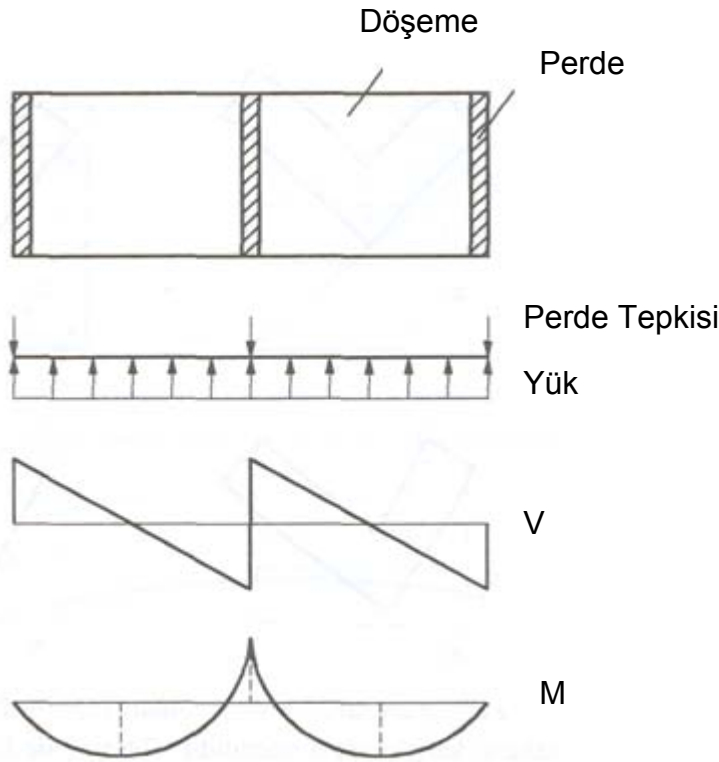
(c)

**Şekil 2.29.** Döşemelerde a) Yatay Yük b) Rijit Diyafram c) Elastik Diyafram Davranışı(6)

Döşemede yatay yüklerden oluşan, düzlemi içindeki kesme kuvveti ve eğilme momenti etkilerinin bulunmasından sonra, bunların karşılandığının gösterilmesi gerekir. Yatay deprem kuvvetlerinin düşey kolon ve perde elemanlara aktarıldığı bölgelerde ek zorlamalar meydana gelir. Döşemeler bu elemanlara kirişlerle bağlı ve düşey elemanlar planda nispeten düzgün dağıtılmış ise, ek zorlamalar önemli seviyelerde bulunmaz. Ancak, döşemeler kirişsiz ve olmaksızın doğrudan kolon ve perdelerle bağlanmışsa, döşemelerin bağlantı bölgeleri daha fazla zorlanır. Ayrıca, bu bölgelerde boşluklar bulunması ilave gerilme yığılmalarına sebep olur. Döşemelerin bu bölgelerinin ayrıntılı biçimde incelenmesi ve bu zorlamaların karşılanması gereklidir. Döşeme ile kolon ve perde gibi düşey taşıyıcılar arasındaki kuvvet iletimi için bu bölgelere gereken ek donatı belirlenmelidir. Ayrıca, yatayda

meydana gelen eğilme momenti nedeniyle döşeme çevresinde de ek donatıya ihtiyaç duyulabilir. (6)

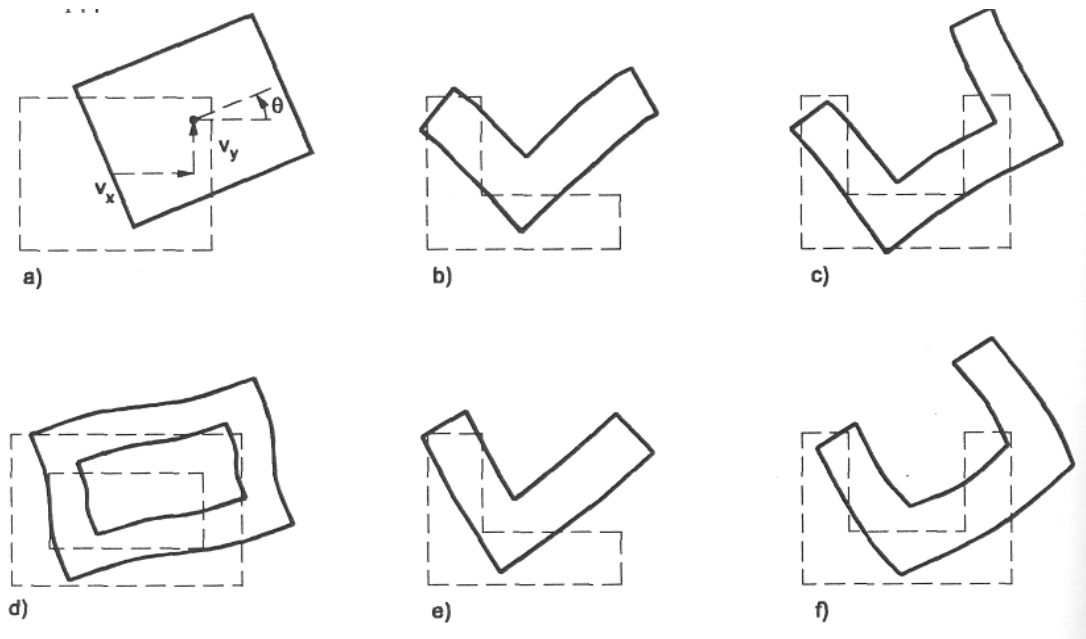
Kirişsiz döşemelerin, doğrudan kolon ve perdelerle mesnetlenmesi kolon ve perde etrafındaki döşeme bölgesinde kesit etkilerinde önemli artışlar oluşturur. Bu etkilerin güvenli bir şekilde karşılanması gerekir. Benzer durum, kirişleri döşeme kalınlığı içinde kalan dış döşemelerde de söz konusu olur. Özellikle deprem momentlerinin büyük olduğu alt katlarda kiriş kesitlerinin büyütülmesi gerektiğinden derinliği küçük olan geniş kirişler ortaya çıkmakta bu ise kirişsiz döşemelerde söz konusu olan sorunları ortaya çıkarmaktadır. (6)



**Şekil 2.30.** Döşemelerde Düzlem İçi Kesit Etkileri<sup>(6)</sup>

Boşluksuz yeterli kalınlığa sahip döşemelerin, düzlemi içinde rijit hareket ettiği kabul edilir ve düzlem içi hareketleri iki yöndeki yatay yer değiştirme  $V_x$

$V_y$  ve düşey eksen etrafındaki dönme  $\phi$  ile tanımlanabilir. <sup>(6)</sup> Eğer döşemede, davranışını etkileyen büyük boşluklar varsa veya döşeme dikdörtgen değil L veya U şeklinde ise, rijit bir diyafram gibi şekil değiştirdiği kabulü geçerli olmayabilir. Bu durumda döşemenin, düzlem içi hareketinin tanımlanması için üç serbestlik derecesi yeterli olmaz. Döşeme parçaları birbirine göre görece hareket eder ve bunun sonucu olarak özellikle parçaların birleştiği bölgelerde ek zorlamalar meydana gelir. Döşemede büyük boşluklar ve dikdörtgen biçimini bozan kolların olması, büyük ek zorlamaların artmasına sebep olur. Bu durum taşıyıcı sistem düzensizliği olarak adlandırılır. Özellikle deprem etkisinin büyük olduğu durumlarda, döşemelerin kendi düzlemi içinde deprem kuvvetlerini kolon ve perdelerle güvenle iletilmesinin sağlanması gereklidir. Döşemelerin kalınlıklarında değişiklik, düzlem içi rijitlikte ani değişikliklerin doğmasını ve ilave zorlamaları oluşturur. (6)

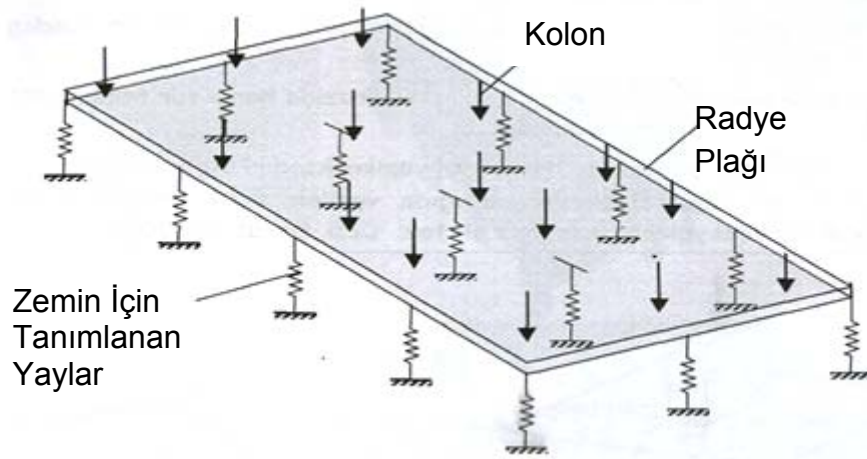


**Şekil 2.31.** Planda Döşeme Rijit Diyafram a) olan ve b) olmayan yer değiştirmesi. (6)

## 2.4.5. Temeller

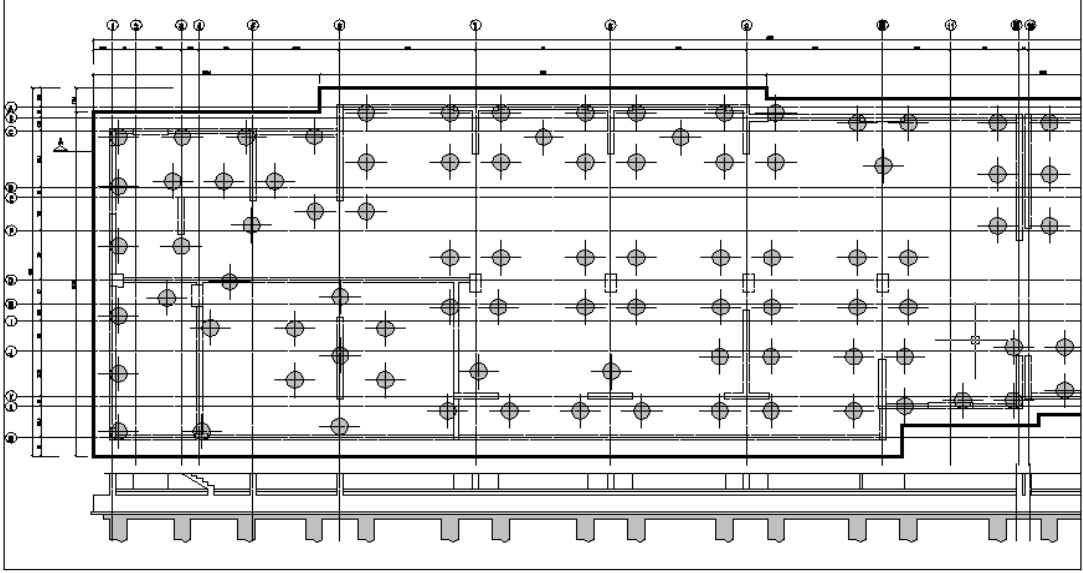
Yapıya etkiyen yükler, kolon ve perde duvarlar vasıtasıyla temellere ve zemine aktarılmaktadır. Zemine aktarılan yükler nedeniyle temel altındaki zeminde gerilme meydana gelecektir. Zemin gerilme değerleri, temel tabanında oluşan gerilme değerinden daima büyük olmalıdır. İyi bir temel tasarımında taşıma gücü, oturma, yeterli dayanım, yeterli süneklik ve ekonomiklik koşulunun sağlanması gereklidir. Uygun tasarım için, öncelikle zeminin özellikleri belirlenmelidir.

Zeminin özellikleri belirlendikten sonra, yapıya etkiyen yükler ve yapı elemanlarının kesit özellikleri dikkate alınarak uygun temel sistemi seçilir. Daha sonra yapısal çözümlemesi yapılarak kesitlerin yeterli dayanıma ve sünekliğe sahip olup olmadıkları denetlenir. Temelin sünek davranabilmesi için kesme ve ezilme açısından kritik durumun bulunmaması gerekir. Bilgisayar yardımıyla temel analizi yapılırken temel sonlu elemanlara bölünür (1x1 m veya daha küçük) ve zemin etüd raporu ile belirlenen yatak katsayısı yay olarak temel sonlu elemanlar modeline girilir. Uygun temel çözümünden sonra yapım süresince su yalıtımı da yapılmalıdır. (3)

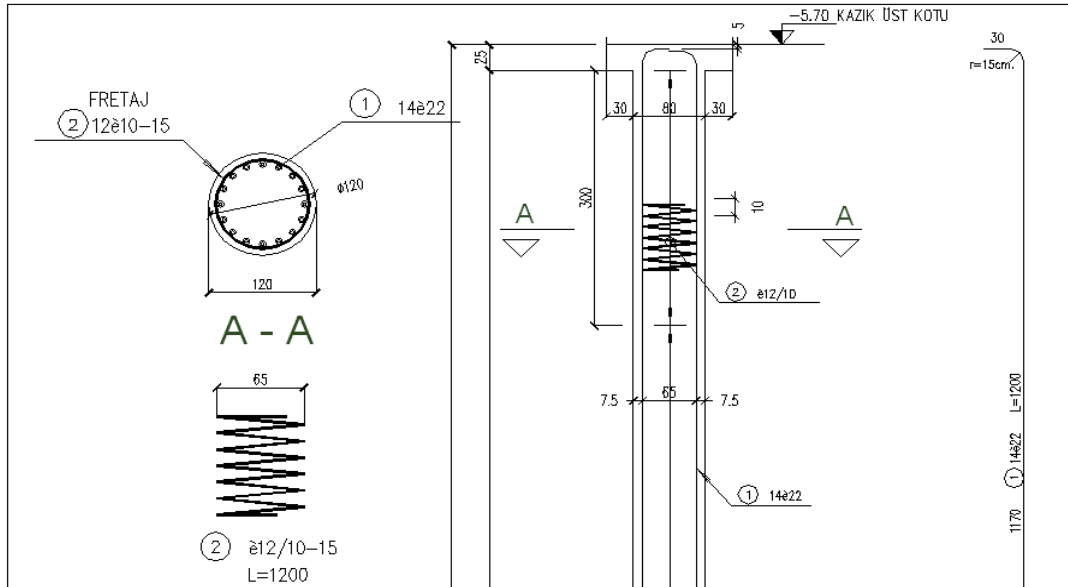


**Şekil 2.32.** Radye Temel Sonlu Elemanlar Modeli(3)

Zemin gerilmesi düşük ise yüksek yapılarda kazıklı radye temel kullanılır. Kazıklı radye temelde hesap yine sonlu elemanlara göre yapılır. Ancak bu kez yatay yatak katsayısının da jeolojik raporlarda verilmesi gerekir.



Şekil 2.33. Kazıklı Radye Temel Kazık Yerleşim Planı ve Temel Kesiti

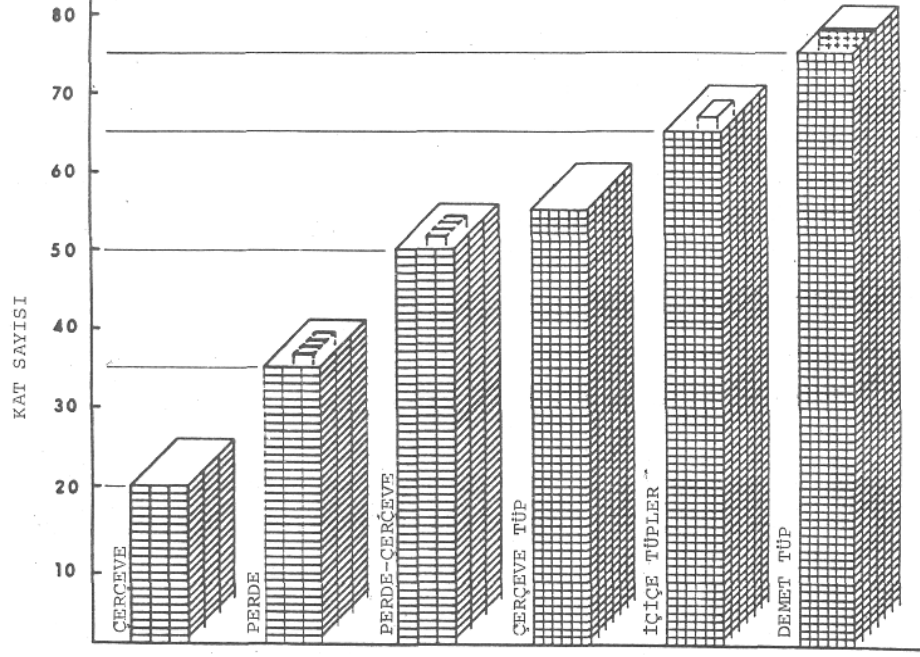


Şekil 2.34. Kazık Donatı Planı

## 2.5. Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistem Çeşitleri

Genel olarak, yapının taşıyıcı sistemini seçip boyutlandırırken mühendis öncelikle onun düşey yüklere karşı güvenliğini sağlamayı düşünür. Çünkü yapı ömrü boyunca daima düşey yükler etkisinde kalacak, zaman zaman da yatay yükleri taşıyacaktır. Yapı fazla yüksek değilse ve yüksek deprem bölgesinde inşa edilmiyorsa yatay yük etkiler, düşey yükler için seçilen taşıyıcı sistemi ve belirlenen boyutları önemli ölçüde değiştirmez. Yapının yüksekliği ve inşa edildiği bölgenin deprem olasılığı arttıkça, yatay yük etkilerinin büyümesi nedeniyle sadece düşey yüklere göre boyutlandırılan yapı yetersiz kalır. Bu durumda yatay yük etkilerini güvenle taşıyacak özel taşıyıcı sistemler seçmek gerekir. Bu sistemlerde yapı yüksekliği arttıkça boyutlandırmada, yapının dayanımının yanında yatay yükler altındaki yer değiştirmelerinin de sınırlandırılması, gereği belirleyici olmaktadır. Aynı zamanda yatay yükler altındaki yer değiştirmelerin sınırlandırılması taşıyıcı sistemin seçiminde de göz önünde tutulmalıdır. (2)

Şekil 2.35'de yapı yüksekliğine bağlı olarak en uygun taşıyıcı sistemler görülmektedir. Uygulanabilirlik sınırları, yapının kullanılma amacı, kat yükseklikleri ve hareketli yükleri ile yatay yüklere bağlı olarak bir miktar değişebilir. (4)



**Şekil 2.35.** Yapı Yüksekliğine Bağlı Uygun Taşıyıcı Sistemler(4)

Taşıyıcı sistemlerin hesap ve boyutlandırmasında ortak özellikler şöyle sıralanabilir;

1) Döşemeler yatay yükü, büyük oranda düzlemleri içinde oluşan iç kuvvetler yardımı ile yatay yük taşıyıcı elemanlar arasında paylaşırlar. Gerçek düzlem içi şekil değiştirmelerin bu paylaşımaya etkisi genellikle ihmal edilebilir büyüklüktedir ve döşemelerin düzlemlerinde rijit oldukları çok yaygın olarak kullanılan bir varsayımdır. (4)

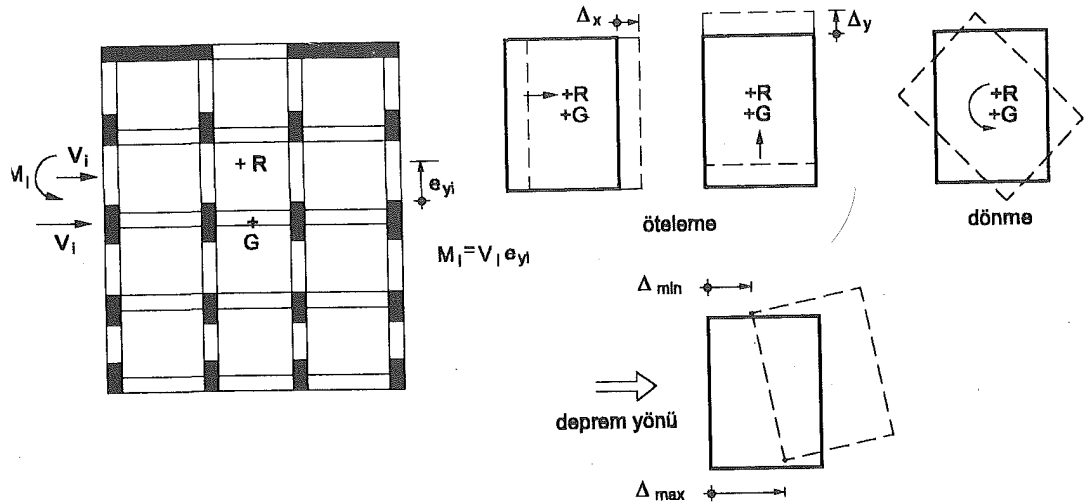
2) Döşemelerin, düzlemleri dışındaki eğilmeleri önemli olabilir. İki yatay yük taşıyıcı elemanı bağlayan kirişlerdeki çok küçük bir eğilme rijitliğinin tüm taşıyıcı sistemin davranışına etkisi büyük mertebelere ulaşabilir. Bağlantı kirişlerinin yeterli eğilme rijitliğine sahip olmalarının sağlanması çok önemlidir. Kirişsiz döşemelerde döşeme-kolon düğüm noktalarının oluşturulmasına özen gösterilmelidir. (4)



3) Planda simetrik olarak düzenlenmemiş taşıyıcı sistemlerin hesabında burulma etkileri göz önüne alınmalıdır. Birçok yönetmelikte taşıyıcı sistem simetrik oluşturulsa bile bir burulma rijitliğine sahip olması istenir. Çerçeve, perde ve tüplerin herhangi biriyle karma taşıyıcı sistemin her düğüm noktasında altı serbestlik derecesi göz önüne alınır ve burulma etkileri otomatik olarak hesaba katılmış olur. (4)

Yatay yük etkisindeki düşey taşıyıcı elemanların yatay ötelenmesi sonucu ortaya çıkan  $P\Delta$  momentleri ile sıcaklık değişimi ve sünme sonucu ortaya çıkan relatif yer değiştirmeler önemli olabilir. Bu etkiler bazı bölgelerde çok önemli tesirler oluşturabildiğinden taşıyıcı sistemlerin boyutlandırılmasında ayrıca detaylı olarak incelenmelidir. (6)

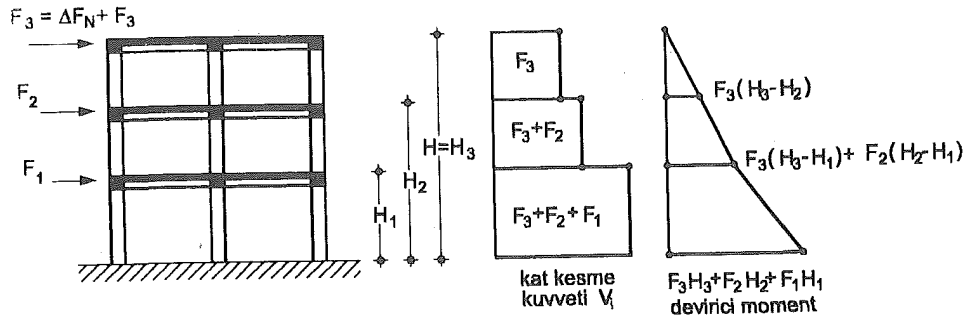
Deprem yüklerinin etkisi altındaki binanın davranışı bir düşey konsolunkine benzetilebilir. Etkiyen yatay atalet kuvvetleri, temele taban kesme kuvveti ve devirici moment olarak iletilir. Her kata etkiyen yatay kuvvetin bilinmesi durumunda, kat kesme kuvvetleri ve devirici momentler kolayca hesaplanabilir. (6) (Şekil 2.37).



**Şekil 2.36.** Yatay Yük Altında Yapının Plandaki Davranışı(6)

Deprem durumunda, yatay deprem ivmesi nedeniyle meydana gelen F atalet kuvvetlerinin, kütlelerin yoğunlaştığı kat seviyelerinde etki ettiği kabul edilir. Her kata etkiyen bileşke deprem kuvvetinin etki noktası, her kattaki kütle merkezi

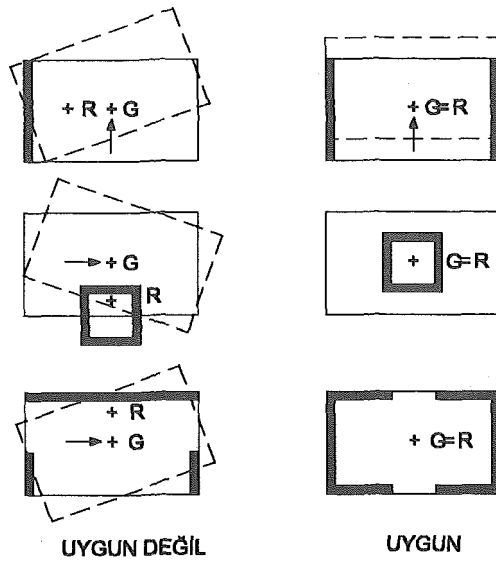
olur. Düzenli binalarda bu nokta kattan kata çok az değişir. Ancak, düşeyde düzensiz olan binalarda, kattan kata fark eder. Kat kesme kuvveti  $V_f$  ise, üst kattaki deprem yüklerini dengelemek durumunda olduğu için, atalet kuvvetlerinin etki noktalarına bağlı olarak ortaya çıkar. Üst katların kütle merkezinin aynı düşeyde bulunduğu durumda, kat kesme kuvveti de bu noktada etkir. Her ne kadar deprem yükü bu noktada deprem hareketinin yönüne bağlı olarak etkili olursa da, deprem yükünün ayrı ayrı binanın iki asal eksenini doğrultusunda etkilediği kabul edilir. Gerekirse herhangi bir doğrultuda etkimesini göz önüne almak amacıyla iki doğrultuda bulunan değerler uygun şekilde birleştirilir. (6)



**Şekil 2.37.** Deprem Yükleri, Kat Kesme Kuvvetleri ve Devirici Momentin Değişimi(6)

Yatay kuvvetlerin etkisiyle bir kat döşemesi alttaki kat döşemesine göre görece olarak hareket eder. Eğer bu öteleme bina taşıyıcı sisteminin bir asal doğrultusunda tüm kat kolonlarında aynı doğrultuda ortaya çıkarsa, kat öteleme rijitliği kat kesme kuvvetleri ile orantılı olur. Bu durumda kattaki kolon kesme kuvvetlerinin bileşkesi R kat rijitlik merkezinden geçer. İki doğrultuda kat rijit ötelenmesi düşünülerek kat rijitlik merkezi bulunabilir. Planda kolonlar düzgün dağıtılmışsa rijitlik merkezi şeklin geometrik merkezine dolayısıyla G kütle merkezine yakın bulunur. Ancak, bina planda düzenli değilse, kolonlar ve perdeler planda simetrik düzende bulunmuyorsa, rijitlik merkezi rijit elemanlara doğru kayar ve Şekil 2.36' da gösterilen dışmerkez durum ortaya çıkar. Kütle merkezinde bulunan kat kesme kuvveti bu noktaya geçirildiğinde düşey eksen etrafında ilave bir burulma momenti oluşur. Bu da, binayı planda

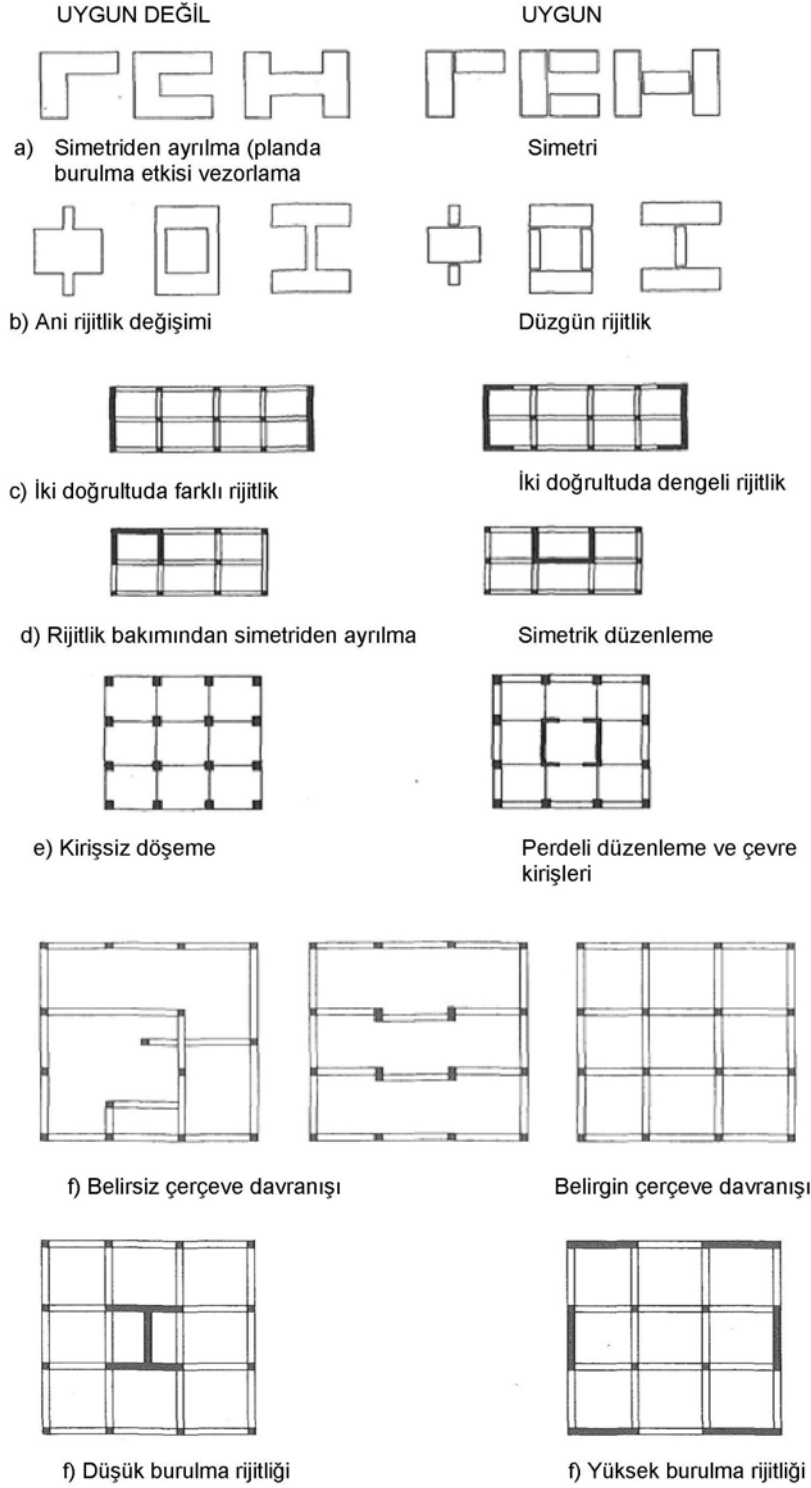
rijitlik merkezi etrafında döndürmeye çalışırken, kolonlarda ilave kesme kuvvetleri meydana getirir. Ek burulma momentinin etkisini azaltmak ve kat relatif yer değiştirmelerini sınırlandırmak için kütle merkezi ile rijitlik merkezi birbirine yaklaştırılmalıdır. Ayrıca, simetri bulunmaması nedeniyle oluşan burulma momentleri altında yapının davranışının sağlıklı olarak belirlenmesi zordur. Örneğin, Şekil 2.38’de gösterildiği gibi planda rijit kısımların bir tarafa toplanması, rijitlik merkezi ile kütle merkezinin birbirinden uzaklaşmasına neden olacaktır. Perdelerin planda simetrik düzenlenmesi ile rijitlik merkezinin planda simetri merkezine yaklaşması sağlanır. (6)



**Şekil 2.38.** Perdeli Yapıların Deprem Etkisindeki Davranışı Bakımından Plandaki Durumu(6)

Deprem etkilerinin karşılanmasında en önemli adım taşıyıcı sistemin seçimini içeren ön projelendirme safhasında bulunur. Basit olarak düzenlenen taşıyıcı sistem, hem davranışının belirlenmesindeki kolaylık ve hem de taşıyıcı sistem elemanlarının daha az zorlanması bakımından daima tercih edilmelidir. Günümüzde karmaşık taşıyıcı sistemler de bilgisayar programlarıyla kolayca çözümlenebilmektedir. Ancak, betonarme taşıyıcı sistemde ve yüklemdeki belirsizlik pek çok kabulün yapılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, çözümlene sonuçlarının ancak sınırlı ölçüde

taşıyıcı sistemin davranışını yansıttığı unutulmamalıdır. Karmaşık bir taşıyıcı sistemde olumsuz etkilerin hesaplanması ve bunların karşılanması yerine, ön projelendirme safhasında bunların ortaya çıkmaması için gayret gösterilmesi daha uygundur. (6)



### **Şekil 2.39.** Deprem Davranışı Bakımından Çeşitli Plan Biçimleri(6)

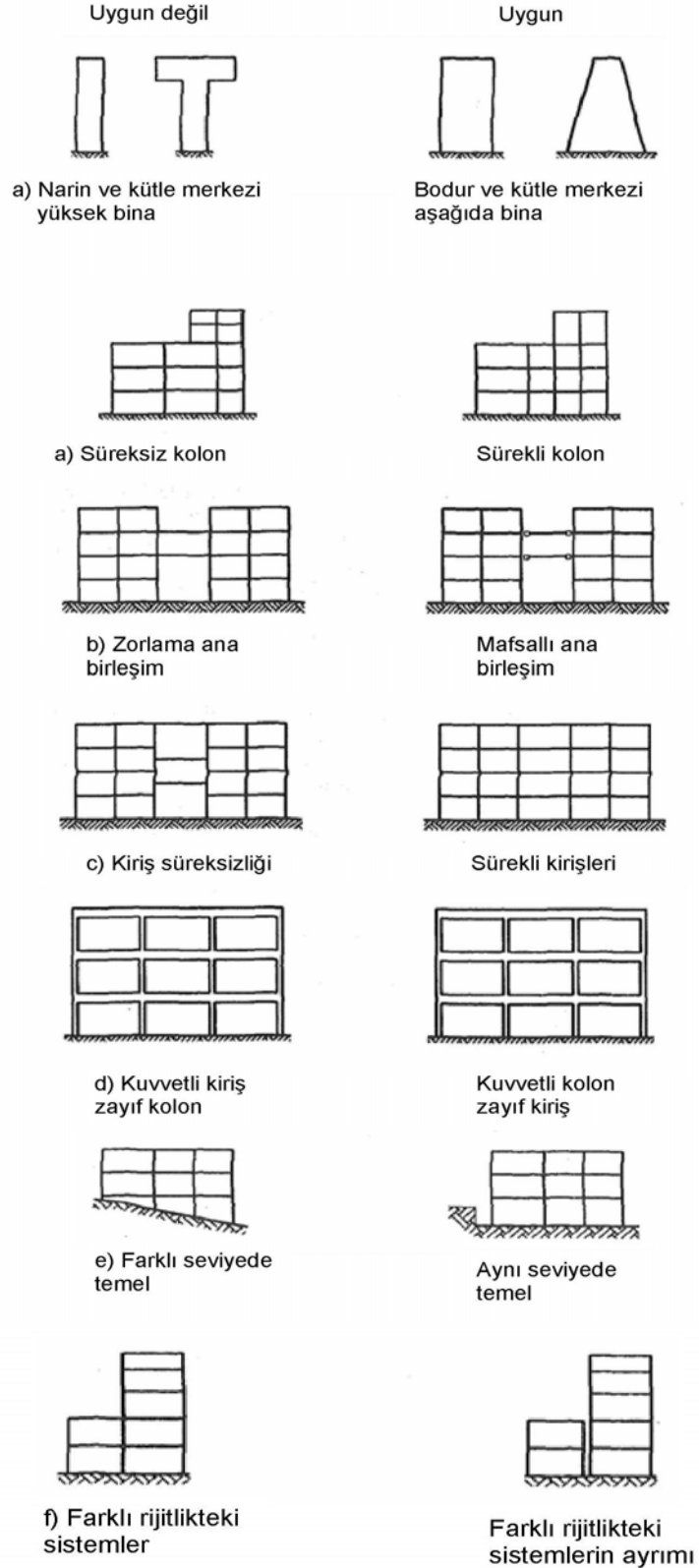
Ek zorlamaların çıkmasını önleyerek, depremin taşıyıcı sistemdeki etkisini azaltmak için sade bir plan biçimi seçilmelidir. T, L, U ve H gibi şekillerden kaçınılmalı veya Şekil 2.39'da gösterildiği gibi bunlar basit dikdörtgenlere bölünerek kullanılmalıdır. Bunun gibi, planda farklı rijitlikteki bina bölümlerinin birleştirilmesi, deprem sırasında farklı davranan bu bölümlerin birbirlerini gereksiz yere zorlamasına sebep olur. Bu bölümlerin birbirlerinden derzlerle ayrılması ile bu zorlamalar ortadan kaldırılabilir. Kolon ve perde gibi, düşey elemanların plandaki düzeninde simetriye uyulması planda oluşabilecek burulma etkisini en aza indirecektir. Binaya etkiyen deprem yükü her doğrultuda bulunabileceği için, planda iki doğrultuda birbirine yakın rijitliğin bulunması uygundur. Kirişsiz döşemelerde kolonlar döşeme içindeki şeritlerle çerçeve oluşturdukları için, bunların yatay rijitlikleri zayıftır ve deprem sırasında ikinci mertebe etkisi önemli olur. Bu tür sistemlerde yatay rijitliği arttıran perdelerin kullanılması ve özellikle zımbalama tehlikesine maruz kenar kolonların bir çevre kirişi ile bağlanması uygundur. Kolon ve kirişlerin oluşturduğu taşıyıcı sistemlerde bunların birbirine dik doğrultuda çerçeve oluşturması çok önemlidir. Dolaylı mesnetlenen ve kolonlara dışmerkez birleşen kirişler çerçeve oluşmasını önlerler. Bu tür durumların bilgisayar programları ile çözümünde ayrıntılı biçimde modellenmesi de zordur. Kütlelerin veya perde ve kolon gibi düşey elemanların planda düzgün dağılmamasından daima bir burulma etkisi söz konusu olur. Bu nedenle, mevcut perdelerin olabildiğince planda binanın dış çevresine yerleştirilmesi ile burulma rijitliği arttırılabilir. (6)

Düşey kesitte binaların kütle merkezlerinin aşağıda bulunması taşıyıcı sistemdeki deprem etkilerini azaltacaktır. (Şekil 2.40) Bunun gibi, yüksek ve narin binalar devirici momentin zemine güvenli bir şekilde iletilmesinde geniş temeller gerektirdiği için tercih edilmemelidir. Kütleleri yüksekte toplanmış binalarda alt katlar aşırı bir şekilde zorlanacağı için elden geldiği kadar kaçınılması gerekir. Taşıyıcı sistemde düzenli durumun ani olarak bozulması, örneğin, bir kolonda süreksizlik ortaya çıkarılması, hem düşey ve hem de yatay yükler altında yükün temele iletimindeki normal akışı bozacağı için

uygun değildir. Bir taşıyıcı sistemde kolon ve perde gibi düşey elemanların temelden çatıya kadar sürekliliğinin sağlanması, böylece yüklerin güvenli olarak temele iletilmesi önemlidir. Farklı binaları bağlayan geçiş yerlerinin, deprem hareketinde oluşacak yer değiştirmeleri fazla zorlanmadan alabilecek şekilde düzenlenmesi gerekir. İki bina tamamen ayrı olsa bile, depremde aynı fazda titreşmeyebilir. Bu nedenle iki bina arasındaki köprü şeklindeki bağın binaların farklı serbest yatay titreşimini mümkün kılacak ve yatay bir kuvvet iletimini önleyecek şekilde oluşturulmasıyla, ek zorlamaların meydana gelmesi önlenir. Kat kirişlerinde süreksizlik bulunması, özellikle kısa kolon davranışı ortaya çıkarması ve çerçeve düğüm noktalarında ek zorlamalar oluşturması nedeniyle, uygun değildir. Bunun gibi kirişlerin sürekliliği deprem etkilerinin taşıyıcı sistemde daha dengeli karşılanmasını sağlayacak ve kolonların daha az zorlanmasını beraberinde getirecektir. Taşıyıcı sistemin esas elemanlarından olan kolonların kirişlerden daha kuvvetli oluşturulması deprem yönetmeliklerinde öngörülenden daha büyük bir deprem zorlamasında hasarın kirişlerde meydana gelmesini ve sistemde toptan göçme oluşmasını önleyecektir. Farklı seviyede temel bulunması da düzenli çerçeve davranışı oluşumunu engelleyeceği için tercih edilmemelidir. Bina düşey kesitte ani süreksizliğe sahipse, bu yerde aşırı zorlamalar oluşacağı için, bu durumu önleyecek tedbir almak, örneğin iki blok olarak projelendirmek yerinde olur. Blokların depremde titreşimi sırasında çarpışmayı önlemek için, arada oluşacak muhtemel genliğe uygun derz bırakılması tavsiye edilir. Yerleşimin yoğun olduğu yerlerde böyle bir derz bırakılmasında zorlanıldığı takdirde en azından komşu binaların kat seviyelerinin yakın getirilmesi, çarpışmada ortaya çıkacak zorlamaların minimum seviyede kalmasını sağlayacaktır. Düşey kesitte rijitlik veya dayanımının süreksizlik göstermesi, örneğin diğer katlara göre zemin katın daha yumuşak veya zayıf olarak ortaya çıkmasına, deprem hasarının burada yoğunlaşmasına hatta binanın toptan göçmesine sebep olabilir. Dolgu duvarlarında süreksizliğin önlenmesi veya dolgu duvarlarının etkisini içerecek şekilde zemin kat kolonlarının rijitlik ve dayanımlarının artırılması tavsiye edilir. (6)

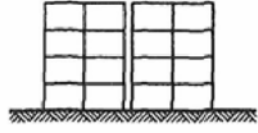
Kolonlarda diğer önemli bir deprem hasarı taşıyıcı olmayan rijit elemanlarla kolonun depremdaki şekil değiştirmesinin önlenmesi nedeniyle ortaya çıkar. Şekil 2.41’de gösterildiği gibi, rijit bölme duvarı kolonlardan birinin etkili boyunu kısaltırken, kolonun yanal yerdeğiştirme rijitliği artar. Depremden oluşan kat kesme kuvveti kolonlara yatay öteleme rijitlikleri ile dağıldığı için, yatay öteleme rijitliği artan kolon öngörülenden fazla yatay kuvvet karşılamak durumunda kalır. Kolonda kesme kuvveti artarken, etkili boyun kısalması eğilme momenti düşük değerde kalır. Kesme kuvveti ile oluşan güç tükenmesi, eğilmeye göre göreceli olarak daha gevrek bir güç tükenmesine neden olur. Bu şekilde hiç beklenmeyen güç tükenmesi şekli taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşturabilir. Burada alınacak önlem, kısa kolon davranışının oluşmaması için kolonun serbest şekil değiştirmesinin sağlanması veya kısa kolon oluşumunun engellenmediği durumda, donatının pekleşmesi göz önünde tutularak arttırılan uç kesit eğilme momenti kapasiteleri ile hesaplanan kesme kuvveti esas alınarak boyutlandırılmasıdır. Böylece, sünek olmayan kesme kuvveti güç tükenmesine, sünek olan eğilme momenti güç tükenmesinden önce erişilmemesi sağlanmış olur.(6)

(Şekil 2.41)

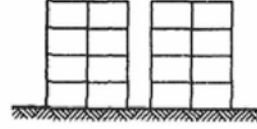


**Şekil 2.40.** Yapının Deprem Davranışı Bakımından Kesitteki Durumu(6)





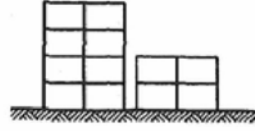
h) Yetersiz ara derz



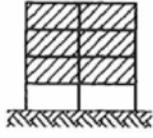
Yeterli ara derz



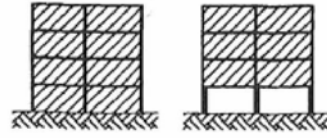
i) Farklı kat seviyeleri



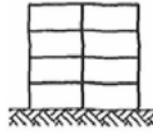
Aynı kat seviyeleri



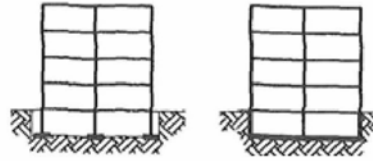
j) Dolgu duvarlarında ani rijitlik değişimi



Dolgu duvarlarında veya kolonlarda düzgün rijitlik değişimi

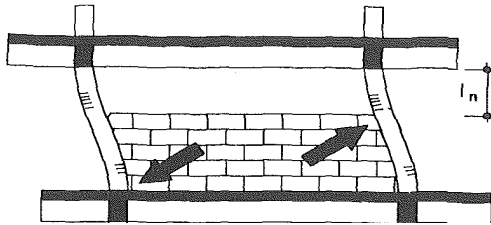


k) Zemin seviyesinde (zemine zayıf bağlantı)



k) Bodrum kat varlığı

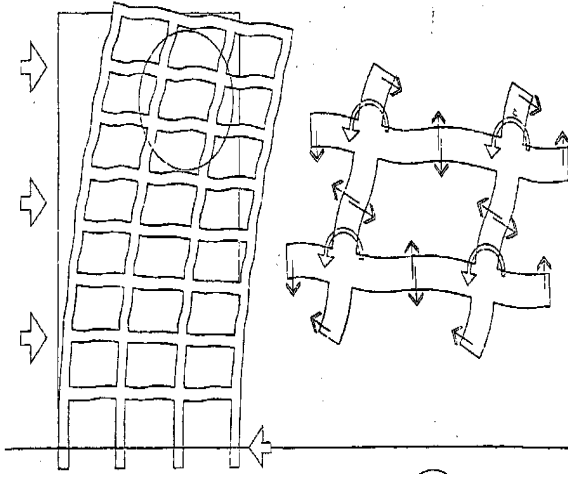
**Şekil 2.40. (Devam) Yapının Deprem Davranışı Bakımından Kesitteki Durumu(6)**



**Şekil 2.41. Kısa Kolon Oluşumu(6)**

### 2.5.1. Çerçevesel Sistemler

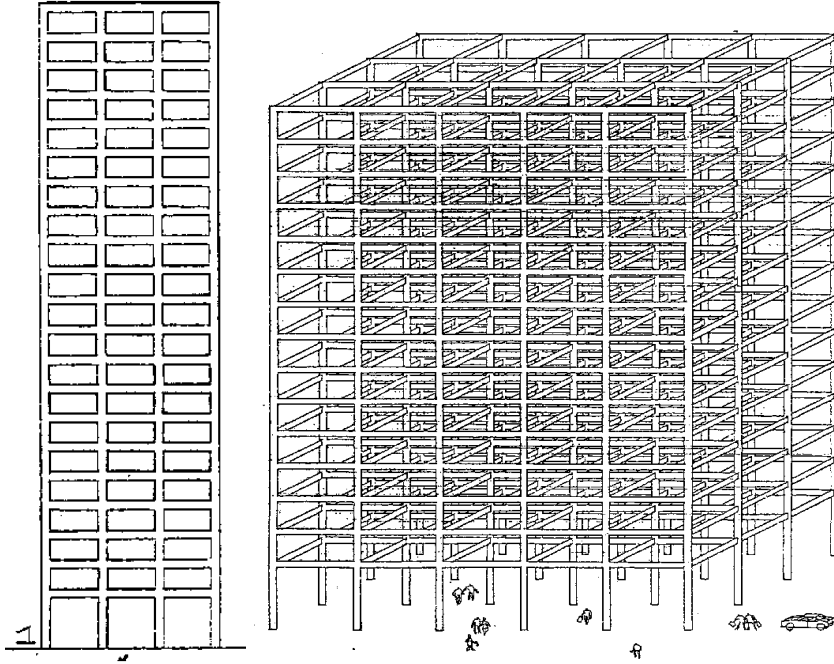
Çerçeveler, yatay yüklere karşı dayanımı düğüm noktalarındaki elemanların rijitlikleri ile sağlayan taşıyıcı sistemlerdir.



**Şekil 2.42.** Çerçeve Düğüm Noktası Deplasmanları(1)

Bu tip yapılarda katların yatay yer değiştirmeleri kolon ve kirişlerin eğilmesi ve kolonların aksenal şekil değişimleri ile oluşur. Taşıyıcı sistemin yükseklik / genişlik oranı arttıkça, kolon aksenal şekil değiştirmelerinin yatay yer değiştirmeleri içindeki payı artar. Burada yapı genişliği yapının planda yatay yük doğrultusundaki boyutudur. Kayma şekil değişimlerinin ve kirişlerin aksenal şekil değişimlerinin etkisi yukarıda sözü edilen etkiler yanında ihmal edilebilecek mertebededir. Ek olarak çerçeve elemanlarının lineer olmayan şekil değişimleri ve temel yer değiştirmeleri yatay yer değiştirmelerini önemli ölçüde artırabilir. Ayrıca kolon aksenal kuvvetlerinin ve yatay yer değiştirmelerinin oluşturduğu eğilme momentleri de ( $P-\Delta$  etkileri) yatay yer değiştirmeleri artırıcı yöndedir.

Çerçeve sistem bir katında yatay relatif yer değiştirmesini yaptığında bu kat kolonlarındaki normal kuvvet  $P$  ise geometri değişimi nedeniyle bu kolonlarda  $P \times \text{Yer değiştirme } (\Delta)$  şiddetinde ek eğilme momentlerini hesaba katmak gerekmektedir.  $P-\Delta$  etkileri bir ardışık yaklaşım yöntemi kullanılarak hesaba katılabilir. Bu işlem her adımda her kattaki toplam  $P\Delta$  momentlerine eř değer ve kat seviyelerinde etki eden yatay kuvvetler hesaplanarak yapılabilir.



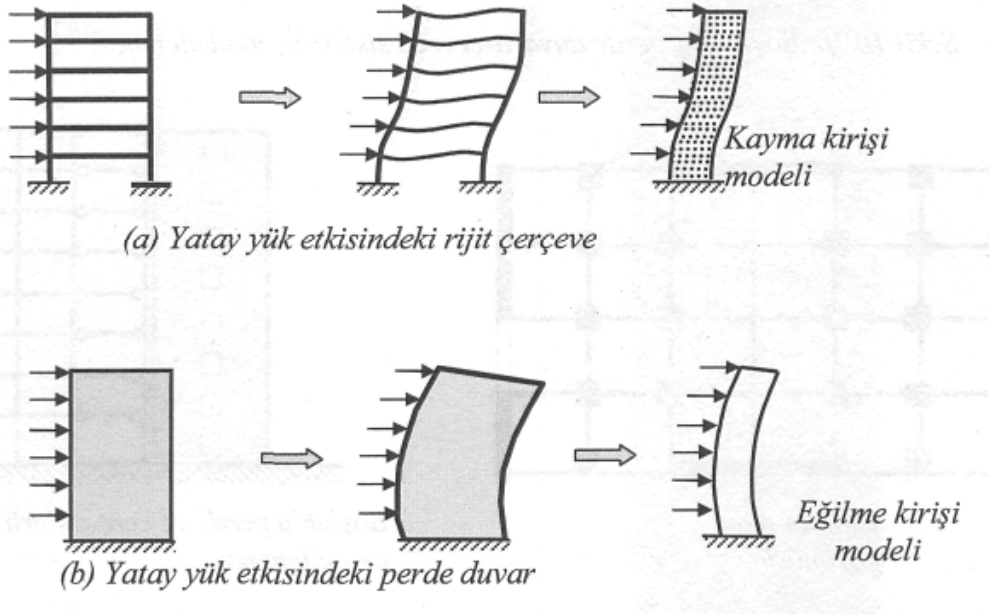
**Şekil 2.43.** Çerçeve Taşıyıcı Sistemli Yapı (1)

Birçok çerçeve taşıyıcı sistemli yapıda kolon ve kirişler arasında oluşturulan bölme duvarları, taşıyıcı elemanlar olmasa da yapının yatay yükler altındaki davranışına önemli bir pay ile katkıda bulunabilir. Özellikle yatay ötelemelerin azaltılmasında yararlıdır. Bu etki çerçevelerde düğüm noktalarını bağlayan diyagonal çubuklarla analitik olarak modellenebilir. <sup>(3)</sup>

Bölme duvarlarının çerçeve sistemlerin deprem altındaki davranışına etkisi, sadece çerçevenin rijitlik ve sönümünün artırılması dolayısıyla titreşim periyotlarının kısaltılması biçiminde değil, ek olarak mod biçimlerini de önemli

ölçüde değiştirecek şekilde olur. Bu durum ise yatay yükün çerçeveler arasındaki dağılımını etkiler. (3)

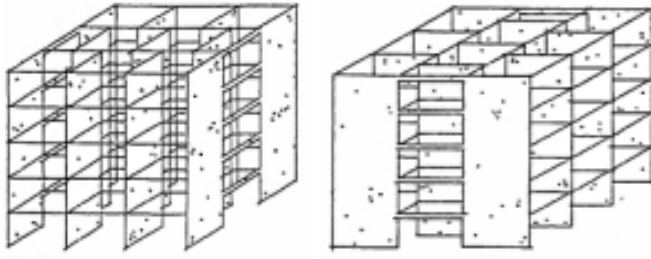
Betonarme yüksek yapılara çerçeve tipi taşıyıcı sistem seçerken dikkat edilmesi gerekli özelliklerden bir tanesi kolonların en az iki doğrultuda kirişlerle bir çerçeve oluşturmak üzere bağlanması gerektiğidir. Aksi durumda kolonun bağlanmadığı doğrultuda yeterli rijitlik yoksa ikinci mertebe etkileri ve burkulma sorunları ortaya çıkabilir. Ayrıca sistem seçimi sırasında katlardaki kolon eksenlerinin planda üst üste düşmesi sağlanmalıdır. Düzlem çerçeve tipi taşıyıcı sistemler 40 kat yapı yüksekliğine kadar uygulanabilirse de maliyet açısından bu tür taşıyıcı sistemler 15 ile 20 kat yüksekliği daha uygundur. Daha yüksek yapılar için yalnızca perdeden oluşan veya perde ve çerçevelerin birlikte çalıştığı taşıyıcı sistemler seçmek daha etkin bir çözümdür.



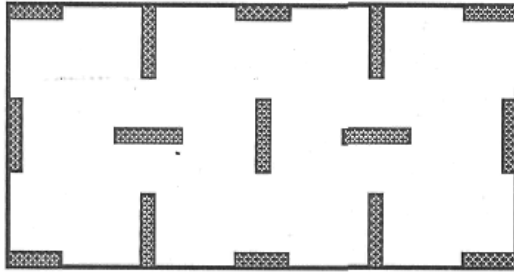
**Şekil 2.44.** Çerçeve Perde, Perde-Çerçeve Sistemlerin Şekil Değiştirme Biçimleri (3)

## 2.5.2. Perdeli Sistemler

Perde duvarlar (betonarme duvarlar), düşey taşıyıcı elemanlar olup görevleri döşemelerden ve kirişlerden aldıkları yatay ve düşey yükleri zemine aktarmak ve özellikle deprem etkisinde kalan yapıların yatay ötelenmesini sınırlandırmaktır. Perde duvarlı yapıların depremde elastik enerji tüketme güçleri, çerçevesiz yapıların elastik enerji tüketme güçlerine göre önemli miktarda yüksektir. Plastik enerji tüketme güçleri ise aynı düzeyde yüksek değildir.



**Şekil 2.45.** Taşıyıcı Sistemi Sadece Perdelerden Oluşan Yapı (1)

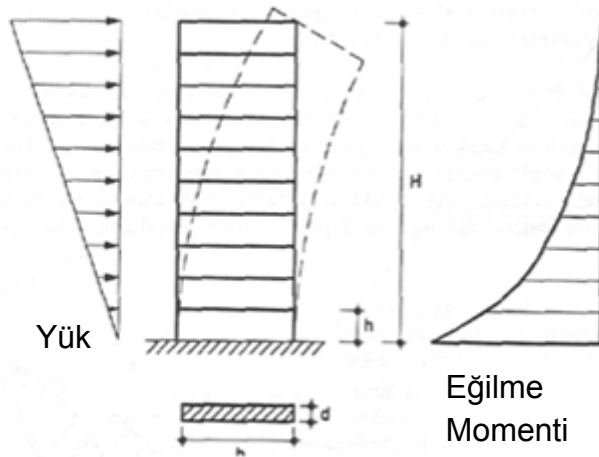


**Şekil 2.46.** Perdeli Sistem Bir Yapının Kat Planı (5)

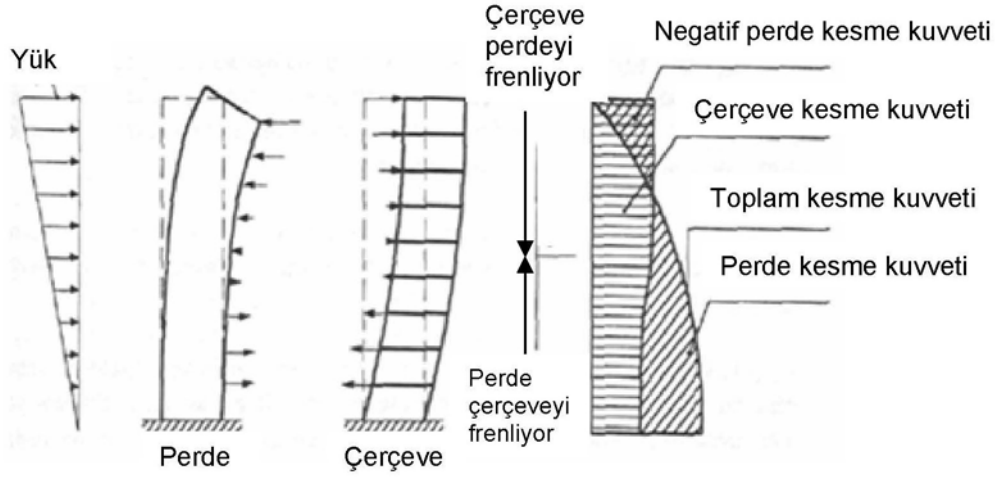
Perde duvarlarda yatay ötelenmeler yükseklikle birlikte artmaktadır. Düşey konsol kirişin elastik eğrisiyle benzer elastik eğriye sahip olduğu söylenebilir. Yükseklikle artsa da ötelenmeler çerçevesiz yapılarla göre genellikle de küçük değerlerde kalmaktadır.

Perde tek başına Şekil 2.47’de gösterildiği gibi konsol bir kolon davranışı gösterir. Tek başına duran bir perdede yanal sağlamlık (stabilite) sorunu ortaya çıkar. Sistem içinde bulunan perdenin yanal sağlamlığı kat döşemelerinin rijitleştirici etkisi ile sağlanır. (5)

Şekil 2.48’de çerçeve ile perdenin beraber bulunması durumunda karşılıklı etkileşimi gösterilmiştir. Çerçevenin yatay yer değiştirmesinde kat kesme kuvvetleri etkili olur. Üst katlarda, çerçeve kat kesme kuvveti küçük, yatay öteleme rijitliği de küçüktür. Alt katlarda ise, durum tersine oluşur. Kat kesme kuvveti büyürken, yatay öteleme rijitliği aynı oranda artmaz. Alt katlarda, kat kesme kuvvetinin öteleme rijitliğine oranı üst katlardakine oranla daha büyük olduğu için alt katlarda katlar arası relatif yatay yer değiştirme (veya yer değiştirme eğrisinin eğimi) üst katlara göre daha büyük olur. Buna karşılık konsol kolon davranışı gösteren perdede yatay yer değiştirme eğimi sıfırdan başlayarak üst katlara ilerledikçe artar. Bu tür iki farklı davranış sergileyen perde ve çerçeve sisteminin beraber yük taşımaları durumunda, yapı yüksekliğinin yeteri kadar büyük olması durumunda, alt katlarda perde, çerçevenin yanal ötelemesini sınırlarken, üst katlarda perdenin yatay ötelenmesi çerçeve tarafından sınırlandırılır. (6)



**Şekil 2. 47.** Yatay Yük Altında Perde Davranışı(5)



**Şekil 2.48.** Perde ve Çerçevenin Yatay Yüke Birlikte Karşı Koyması Durumu(6)

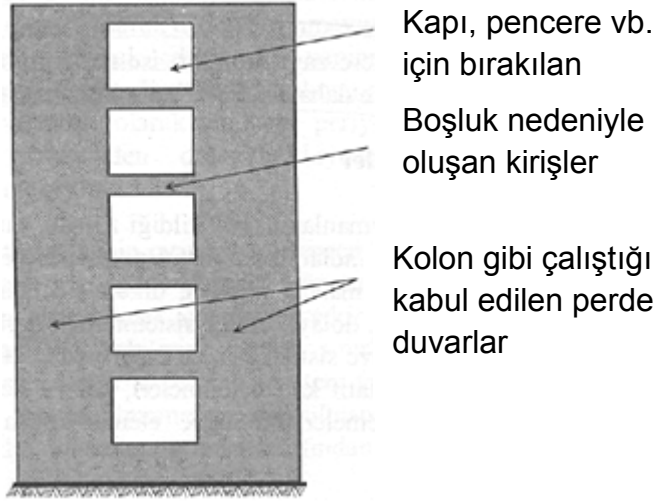
Bunun sonucu olarak Şekil 2.48.de görüldüğü gibi, üst katlarda perdede negatif kesme kuvveti oluşabilir. Özellikle çok katlı yapılarda söz konusu olan bu durum, perde ve çerçevenin öteleme rijitliklerine bağlıdır. Kat sayısı az olan yapılarda, perde çok rijit ise, çerçevenin yatay yer değiştirmesi perde tarafından sınırlandırılır ve yatay yükün büyük bir kısmı perde tarafından taşınır. Buna karşılık perdenin normal kuvvetine, rijitliğinden daha çok, kat planı üzerindeki etkili alanının büyüklüğü belirleyici olur. Bu nedenle kolonlara göre perdelerde eğilme momenti çok daha fazla etkili olur. <sup>(6)</sup>

### 2.5.3. Boşluklu Perde Duvarlı Sistemler

Kapı, pencere ve asansör kapısı, vb. için perde duvarda boşluk bırakılması halinde boşluklu perde duvarlı sistem ortaya çıkmaktadır. (Şekil 2.49)

Bu sistemler, çerçevesiz sistem ile perde duvarlı sistem arasında bir davranış göstermektedir. Boşluklu perde sistemi kolon rijitlikleri kiriş rijitliklerine göre çok büyük olan bir tür çerçeve sistem gibi düşünülebilir. Boşluğun iki

kenarında kolon olarak dikkate alınan elemanlar çok rijit olduklarından çift eğrilik oluşturmazlar, buna karşılık kirişler çift eğrilikli bir şekil değiştirme göstermektedir. Böylece boşluklu perde hem eğilme kirişi özelliği, hem de kayma kirişi özelliği gösterir. <sup>(3)</sup>



**Şekil 2.49.** Boşluklu Perde Duvar(3)

Boşluklu perde duvarlı yapılarda en büyük problem perdeleri birbirine bağlayan bağ kirişlerinde oluştuğundan, tasarım ve yapımda bu kısma ayrı bir önem vermek gerekir.

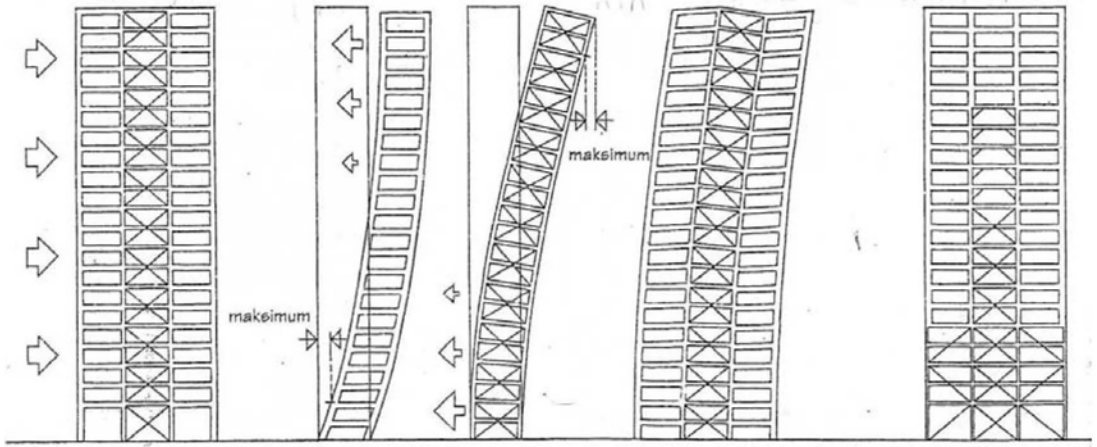
#### **2.5.4. Çapraz Bağlı Çerçevesel Sistemler**

Çerçeve sistemlerin yıkılmasına neden olan en zayıf yönü görelî kat ötelenmeleri, çekme ve basınca çalışan çok farklı düzenlemelerdeki çapraz elemanlarla sınırlandırılmaktadır.

Rijit çerçeve sisteminde yatay yükler altında, alt katlarda maximum yer değiştirme olurken üst katlara doğru yer değiştirme azalır. Çapraz bağlı çerçevede ise maximum deplasman en üst katta olur. Aşağı katlara inildikçe



yer değiştirme azalır. İki sistem bir yapıda kullanıldığında yapının üst katlarında çerçeve, yer değiştirmeleri azaltırken alt katlarda çapraz bağlı sistem yer değiştirmeleri azaltır. Böylece yapı ideal bir taşıyıcı sisteme sahip olur.



a.Çerçeve+Diagonal Sistem

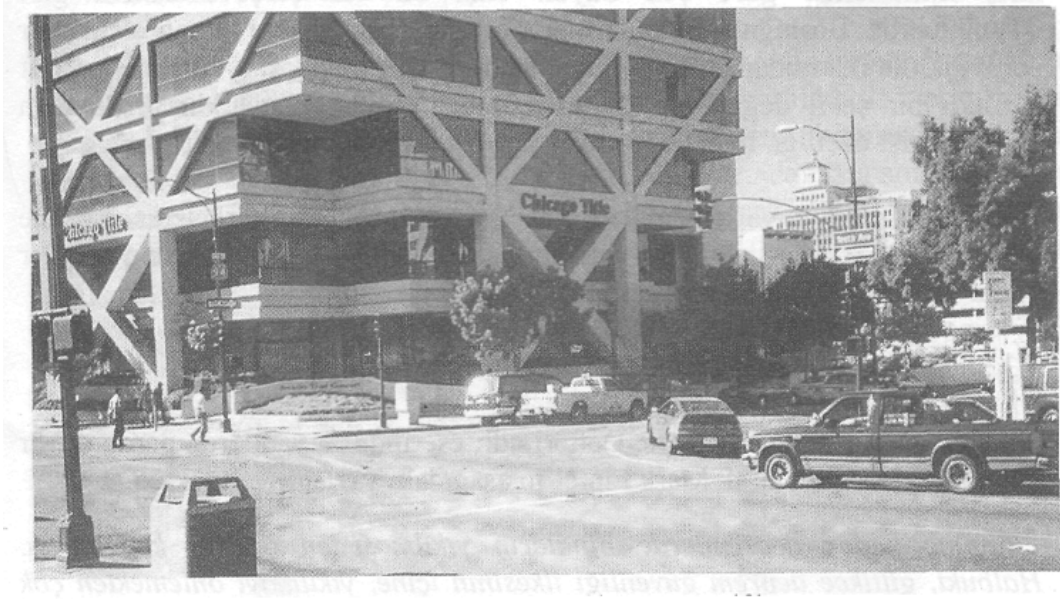
b. Rijit Çerçeve + Diagonal Sistemin Davranışı ve Karşılıklı Etkileşimleri

c.Yapının İdeal Tasarımı

### Şekil 2.50. Çapraz Bağlı Çerçeve (1)

Çapraz bağlı çerçeve sistemlerin tasarımına ve yapım detaylarına bağlı olmakla birlikte, perde duvarlı sistemlere göre daha düşük dayanıma sahip olduğu söylenebilir. Ancak, bu sistemler süneklik bakımından perde duvarlı sistemlerden daha üstündür. Şekil 2.51'de A.B.D de çapraz bağlı betonarme bir yapı görölmektedir. (3)

Çapraz bağlı çerçevesel binalar perdeli binalara göre daha hafiftir ve depremde daha avantajlıdır.

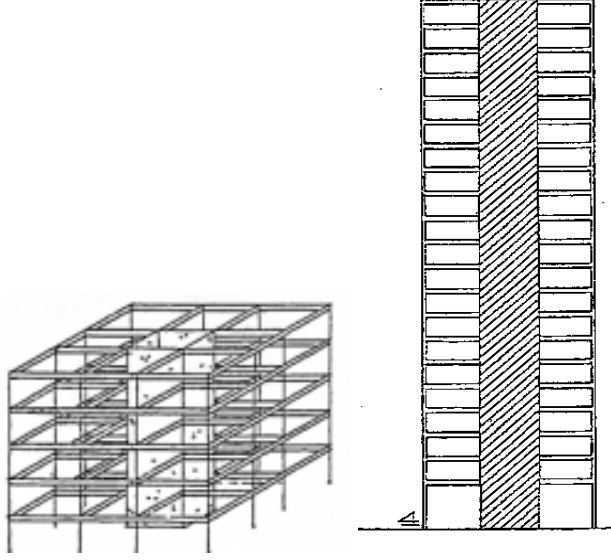


**Şekil 2.51.** Çapraz Bağlı Çerçevesel Bir Betonarme Yapı (3)

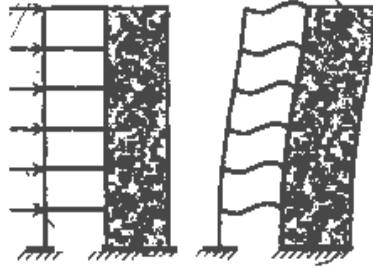
### **2.5.5. Perdeli- Çerçevesel Sistemler**

Yapı yüksekliği arttıkça çerçeve taşıyıcı sistemler, yatay yüklere karşı hem iç kuvvetler ve hem de yer değiştirmeler bakımından istenen koşulları perdelerin yardımı olmadan sağlayamazlar. Perde ve çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışı farklı olduğundan, bu elemanlar arasında, düzgün olmayan etkileşim kuvvetleri doğar. Çerçevelerin yatay yük almadığı varsayılarak tüm yatay yükleri perdelerin taşıdığını kabul etmek güvenli bir yaklaşım olmaz. Bu nedenle yatay yüklerin taşınmasında çerçevelerin katkısı da düşünülmelidir.

Az katlı perde duvarlı-çerçevesel yapılarda deprem yüklerinin büyük bölümü perde duvarlar tarafından taşınmaktadır. Çok katlı perde duvarlı-çerçevesel yapılarda kat sayısı arttıkça üst katlarda perde duvarların yatay yüklerden aldıkları pay giderek azalmakta, çerçeveler daha etkili olmaktadır.



**Şekil 2.52.** Taşıyıcı Sistemi Perde ve Çerçeveselardan (kolon+kiriş) Oluşan Yapı (1)

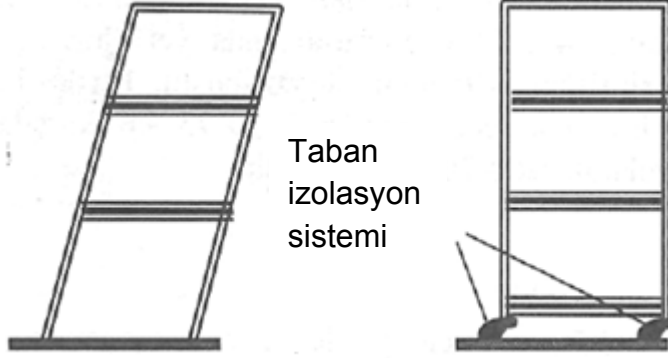


**Şekil 2.53.** Perdeli Çerçevenin Çalışma Prensibi (3)

### **2.5.6. Yapı Tabanı İle Zemin Hareketini Ayıran Sistemler**

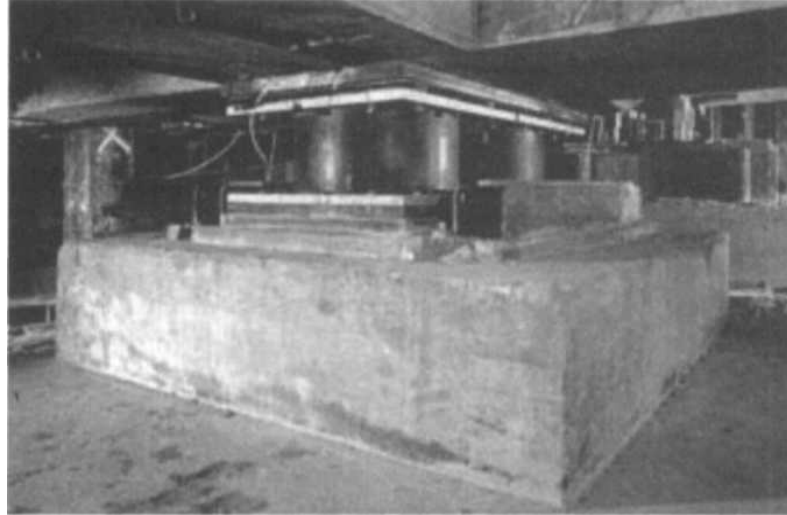
Bu yöntemde yapının tabanına sönümlenme mekanizması yerleştirilerek üst yapının zemin hareketinden daha az etkilenmesi ve rijit bir gövde gibi yüzmesi sağlanır. Böylece yapının gövdesinin titreşim periyodu zemininkinden farklı hale getirilir. Bu durumda Şekil 2.54'de görüldüğü gibi yumuşak kat tehlikesi ortadan kaldırılmaktadır. Taban izolasyonlu sistemler

çok yüksek binalarda yapı periyodunu dolayısıyla da deprem yüklerini artırdığından yapılmamaktadır. Taban izolasyonlu sistemler kat adedinin az önemli binalarda daha çok uygulanmaktadır. (3)



**Şekil 2.54.** Taban İzolasyon Sisteminin Ötelenmeye Etkisi (3)

Uygulamada çok farklı taban izolasyon sistemleri kullanılmaktadır. Aşağıda bunlardan üç tanesi kısaca tanıtılmaktadır.

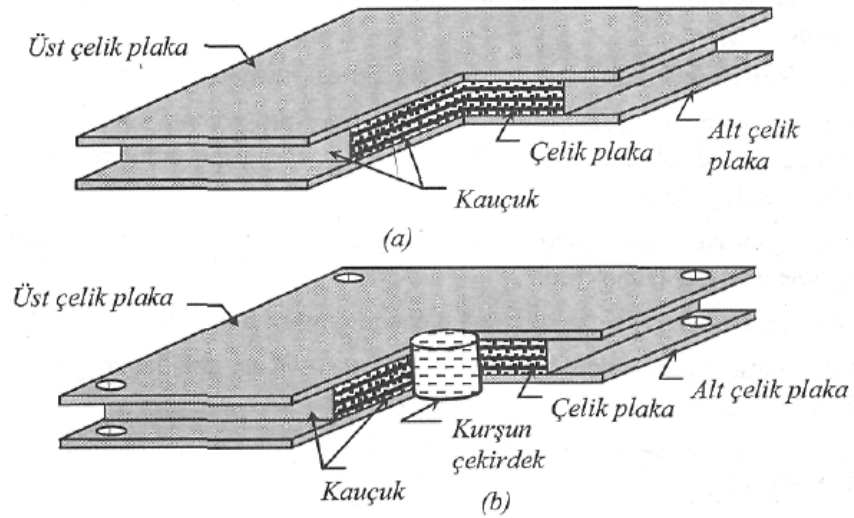


**Şekil 2.55.** Taban İzolasyon Sisteminin Uygulanmasına Bir Örnek (3)

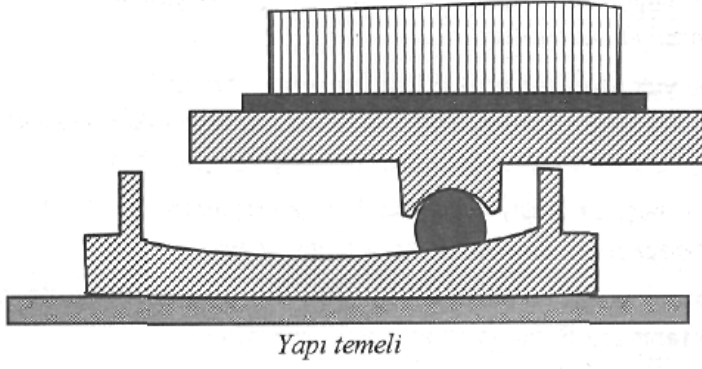
Tabakalı Kauçuk Mesnet Sistemi: En yaygın kullanılan, sistemin temel elemanları tabakalar halinde kullanılan çelik ve kauçuk plakalardır. Tabakalı kauçuk mesnet sistemleri, yatayda esneklik ve düşeyde rijitlik özelliği ile yüksek sönüm kapasitesi göstermektedir. <sup>(5)</sup> (Şekil 2.56)

Yeni Zelanda Mesnet Sistemi: Bu sistem tabakalı kauçuk sistemin benzeri olup ilave rijitlik sağlamak amacıyla kurşun çekirdek kullanılmaktadır. Bu sistemin prensibi söndürücü cihazlar gibi davranmasıdır. <sup>(3)</sup> (Şekil 2.56)

Sürtülmeli Sarkaç Sistemi: Bu sistem yeni uygulanmakta olan bir sistem olup diğer sistemlere göre üretimi kolay ve dayanıklıdır. Şekil 2.57’de bu sistemin çalışma prensibi görülmektedir. <sup>(3)</sup>



**Şekil 2.56.** (a) Tabakalı Kauçuk Mesnet ve (b) Yeni Zelanda Mesnet Taban İzolasyon Sistemleri (3)

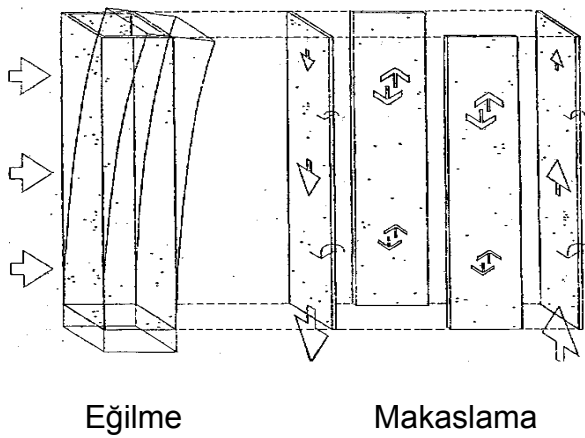


**Şekil 2.57.** Sürtünlü Sarkaç Sisteminin Çalışma Prensibi (3)

### 2.5.7. Tüp Sistemler

Tüp sistemlerde boşluk bulunmuyorsa perdeler gibi davranırlar. Fakat genellikle boşluklu olurlar ve çerçeve ile perde tipi davranışların arasında bir şekil değiştirme biçimi ortaya koyarlar.

Yapı yüksekliği arttıkça perde duvarlı-çerçevesel yapılarda, perdelerin aldıkları yatay yük miktarı giderek azalır. Yapı yüksekliği 30 kat üzerinde ise perde duvarlı-çerçeve sistemler yeterli yatay rijitliği sağlayamazlar ve dolayısıyla, yapı ekonomik olarak çok pahalı veya inşaat teknolojisi açısından zor olmaya başlamaktadır. Bu durumda tüp sistemler seçenek olarak görülmektedir. (3) (Şekil 2.58)



**Şekil 2.58.** Düşey Rijitliğin Tüp Prensibi (1)

Tüp sistemin yatay yüklere karşı çalışma prensibi Şekil 2.59'da görülmektedir. Bu sistemde yatay yük yönüne dik duvarlar eğilmeye, yatay yük yönündeki duvarlar ise makaslamaya zorlanır.

Tüp sistemin yatay yük taşıyıcı elemanları boşluklu dikdörtgen halka tüp olarak düşünülebilen ve yapının dış yüzüne küçük aralıklarla yerleştirilen kolonlar ve bu kolonları kat seviyelerinde bağlayan kirişlerden oluşan elemanlardır. Kolon aralıkları 1,0 -3,0 m arasında değişmekte, bazı durumlarda 5 m ye kadar artırılmaktadır. Kolonları kuşaklama bağlayan kirişlerin yüksekliği ise 0,6 -1,2 m genişlikleri ise 0,25 m -1,00 m arasında değişmektedir. Bu sistemler çerçeve tüp olarak da adlandırılmaktadır. Şekil 2.60'de çerçeve tüp bir yapının şematik kat planı verilmektedir. <sup>(3)</sup>

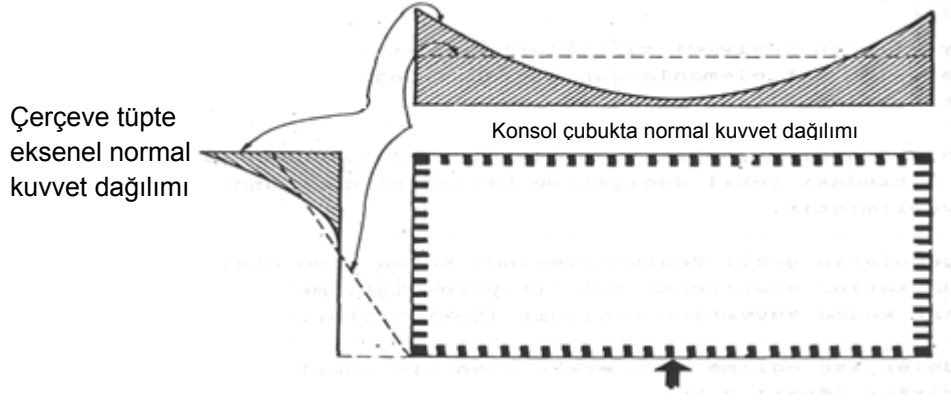
Yeteri kadar yüksek çerçeve tüpler, ön boyutlama için, yaklaşık 2 farklı yapısal davranış biçimi göz önünde tutularak hesaplanabilirler. (4)



**Şekil 2.59.** Tüp sistem bir yapının Şematik Kalıp Planı (3)

1.Yatay yük doğrultusuna paralel duvarların çerçeve tipi davranışı;

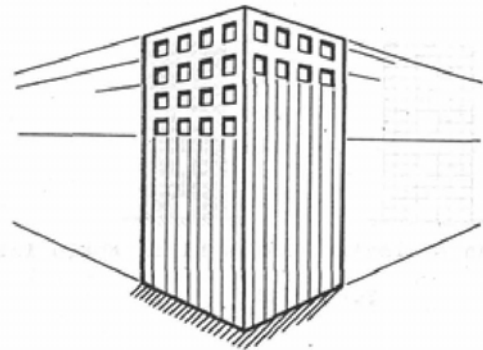
Çerçeve tüp yatay yüklerden oluşan kesme kuvvetlerine Şekil 2.60 da gösterilen yatay yük doğrultusuna paralel çerçevelerin kolon ve kirişlerinin eğilme biçimi davranışı ile karşı koyar.<sup>(4)</sup>



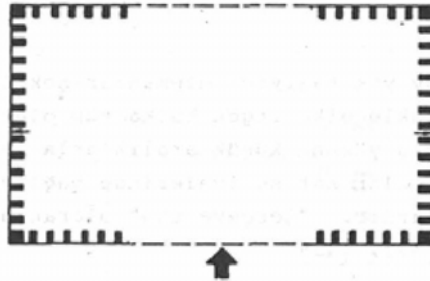
**Şekil 2.60.** Çerçeve Tüpte Yatay Yükler Altında Kolonlarda Oluşan Aksel Kuvvetler(4)

2. Tüm yapının tüp sistem davranışı;

Konsol davranış biçimidir. Tüm yapının yatay yükler altında eğilme moment etkisinin incelendiği durumlarda ortaya çıkar. Bu hesap yönteminde cephe kolonlarının oluşturduğu sistem, birbirlerine enine doğrultuda yer yer rijit bağlanmış bir halka tüp sistem olarak düşünülür.<sup>(4)</sup>



a) Çerçeve tüp



b) Eşdeğer çerçeve tüp

**Şekil 2.61.**U Kesitten Oluşan Eşdeğer Çerçeve Tüp (4)



Çerçeve tp sistemi oluşturan kolon ve kirişlerin elastikliği sonucu, yatay yüklere dik doğrultudaki duvarlarda kayma etkileri oluşur. Dolayısıyla bu duvarların köşelerinden uzaktaki kolonların, eğilme momentleri altında köşeye yakın kolonlar kadar yüklenmediği düşünülebilir. Bu durumu hesaba katmak için, planda biçimi iki ayrı U kesitten oluşan bir eşdeğer tp tanımlamak uygundur. Bu kesitlerin başlıklarını, bu duvarların köşeye yakın kolonlarını bulunduran parçalar oluşturur. (4) (şekil 2.61)

n boyutlama için söz konusu başlık genişlikleri;

- 1) Gövde uzunluğunun 1/2'sinden
- 2) Yatay yük doğrultusunda dik duvar boyutlarının 1/3'nden
- 3) Yapı yksekliliğinin %10'undan fazla olmamalıdır. (4)

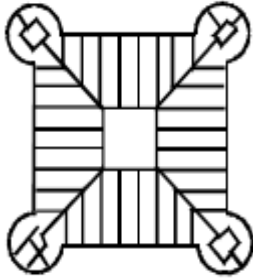
Bu kural genel olarak, tb oluşturan kolonlarda yatay yüklerden oluşan eğilme momenti ile kesme ve normal kuvvetler için kesin bilgisayar çözümlerinin verdiği sonuçlarla uyumlu değerler verir. Eğilme momentleri bu kesitleri oluşturan küçük aralıklı dış kolonlarda aksenal kuvvetler, bağlantı kirişlerinde de kesme kuvvetleri doğurur. Tp taşıyıcı sistemler ilk kez 1963 yılında Chicago'da 43 katlı Dewitt Chestnut Apartment Building de kullanılmıştır. Burada çerçeveyi oluşturan dış kolonlar, aralıkları eksenden eksene 1.50 m, en çok 3.00 m dir. Bu kolonları bağlayan kat kirişlerin kalınlıklar 60 cm ile 120 cm arasında değişir. (4)

Bütün ereve tipi yapıların boyutlandırılmasında olduğu gibi, yatay ve düşey yük taşıyıcı sistem oluşturmak için, kolon ve kiriş rijitlikleri oranı için optimum bir değer belirlenir. Ykseklilikleri 20 ve 50 kat arasında değişen çok sayıda ereve tp tipi betonarme yapı inşa edilmiş, mimari ve ekonomik bakımdan beklenen sonuçlar elde edilmiştir. Bu tür taşıyıcı sistemlerde 40 kat üzeri ykseklilikler için taşıyıcı eleman boyutları hızla artmaktadır. Daha yüksek apartman tipi yapılarda ereve tbe ek olarak perdeler ve çekirdekler oluşturmak daha ekonomik olmaktadır. Büro binaları için ise genellikle i içe tüpler uygundur. (4)

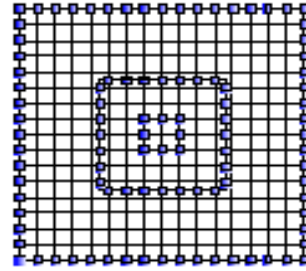
### 2.5.8. İç İçe Tüp Sistemler

Geniş hizmet alanları gereken büro yapılarında, tüm düşey ulaşım alanını içine alan ve yatay yük taşıma sisteminin bir parçası olan çekirdek oluşturmak daha yararlıdır. (Şekil 2.62, 63)

İçinde kolon istenmeyen binalarda çekirdekli çerçeve tüp doğal bir çözümdür. Bu tür taşıyıcı sistem, merkezde perdelerden oluşan bir tüp ve dış çevrede duvar boyunca sık kolonlar ile bunları kat seviyelerinde birbirine bağlayan kirişlerden oluşur. Bu sistem çerçeve tüp sistemi ile iç içe iki tüp şeklindedir. İç içe tüpler, çerçeve tüp sistemler ile perde sistemlerin yararlarını birleştirir. İçerideki tüp, dışarıdaki çerçeve tüp kolonlarının enine yer değiştirmelerini önemli ölçüde azaltır.



**Şekil 2.62.** İçerde Çekirdek Oluşumu

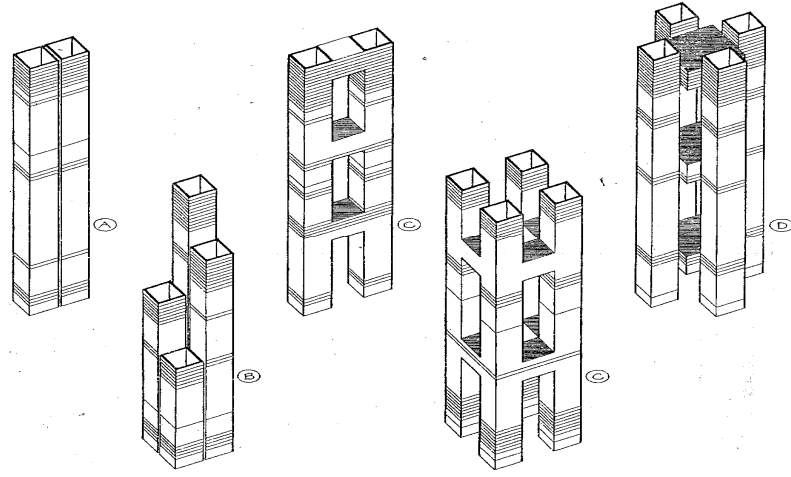


**Şekil 2.63.** İç İçe Tüp Sistemler

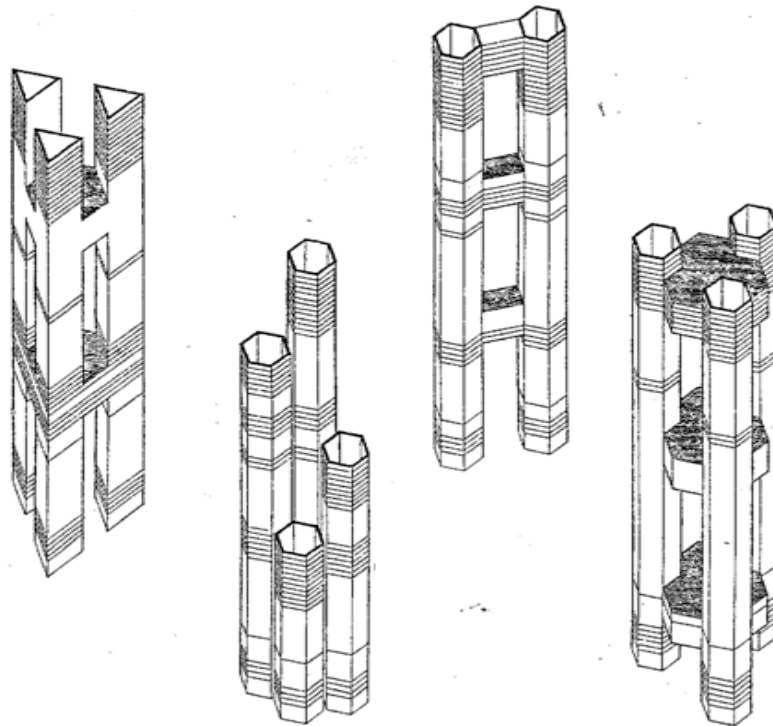
### 2.5.9. Demet Tüp Sistemler

İki veya daha fazla tüp taşıyıcı sistemi birleştirerek Demet Tüp taşıyıcı sistemler oluşturabilir. Bu şekilde kayma gecikmesi etkileri de azaltılmış olur.

Yüksek binalarda düşey rijitlikleri tek tüpte sağlanamayan yükseklikler için Şekil 2.63 ve Şekil 2.64'de görüldüğü gibi tüp demeti oluşturulur. Tüp demetleri tek tübün yatay yük taşıma kapasitesini artırdığı gibi rijitliklerini de büyük ölçüde artırır.



**Şekil 2.64.** Dörtgen Tüpler Üzerine Dayalı Tüp Demeti Çeşitleri (1)



**Şekil 2.65.** Üçgen ve Çokgen Tüpler Üzerine Dayalı Tüp Demeti Çeşitleri (1)

## 2.6. Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistem Uygulamaları



Paralel Perdeli  
Sistemler



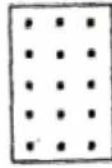
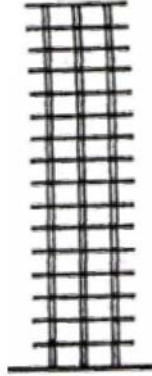
Çekirdek Perdeli  
Sistemler



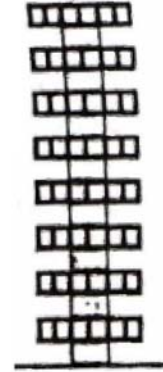
Kutu Tipi Prefabrike  
Sistemler



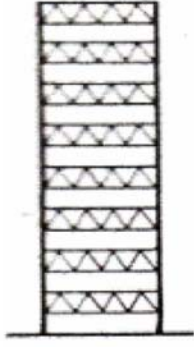
Konsol Sistemler



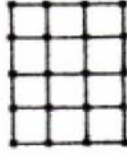
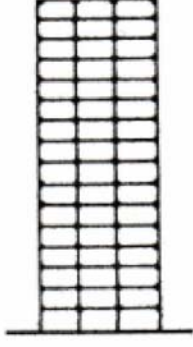
Kirişsiz Döşemeli  
Kolonlu Sistemler



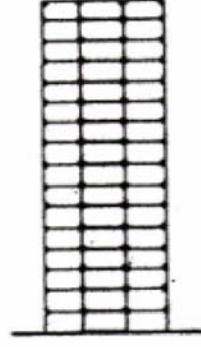
Yükseklği Kat  
Yükseklği Kadar Olan  
Konsol Sistemler



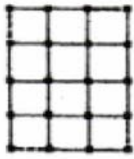
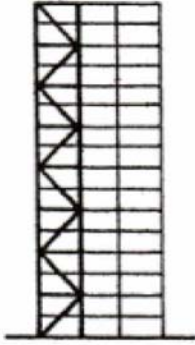
Şaşırtmalı Kafes Kiriş  
(Yükseklği Kat  
Yükseklği Boyunca)



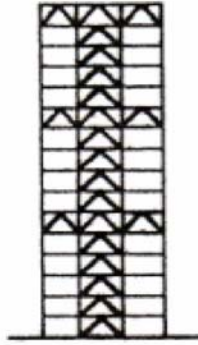
Sürekli Rijit  
Çerçeve



Rijit Çerçeve ve  
Çekirdek



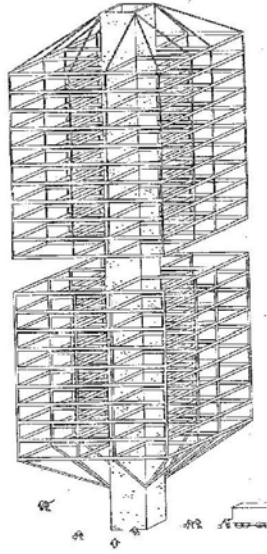
Düşey Kafes Kirişli  
Çerçeve



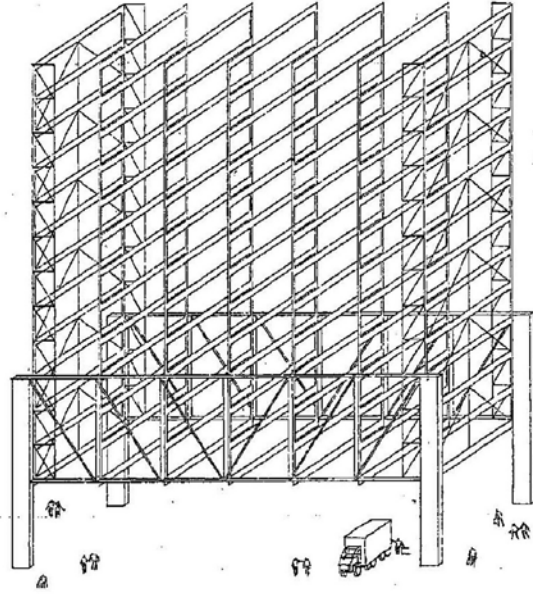
Kafes Kirişli Çekirdekli  
Çerçeve



İç İçe Tüpler



Askılı Konsol  
Sistemler



Köprü  
Sistemler

**Şekil 2.66.** Betonarme Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistem Uygulamaları (4)

## 2.7. Yüksek Yapıda Yükler ve Hesapları

Yapıya etkiyen yükler ya doğrudan doğruya doğada var olan kuvvetler tarafından oluşturulur veya insan tarafından üretilir. Doğa tarafından üretilenlere "jeofizik" kuvvetler de denmektedir.

Jeofizik kuvvetler doğadaki değişimlerin bir sonucu olup, yer çekimi, meteorolojik ve sismolojik kuvvetler olarak ayrılabilir. Ömrü boyunca sabit kalacak yapının öz ağırlığı ve zaman içerisinde yapının işletilmesi ile ilgili yükler sabit yükleri oluşturur. Meteorolojik yükler zaman ve yer olarak değişen rüzgâr, sıcaklık, kar ve buz yükleridir. Sismolojik kuvvetler ise aktif deprem bölgelerinde görülen depremler tarafından oluşturulur.

İnsanın oluşturduğu yükler, yüksek yapılarda bazı ek kuvvetler meydana getirir. Arabalar, asansörler, makineler bazı darbe veya titreşim yükü verebilirler.

Bir yüksek yapının kütlesi, biçimi ve kullanılan yapı malzemesi jeofizik yüklere ve depreme karşı davranışı etkiler.

### **2.7.1. Düşey Yükler**

Bu yükler yapının kendi ağırlığı ve işletme sırasındaki geçici kullanım yükleridir. Ülkemizde TS 498 bu yüklerin belirlenmesinde yardımcı olmakla birlikte, tasarım öncesinde seçilecek yapı malzemesinin ağırlıklarını uygun şekilde kestirmek, hesapların doğruluğunu etkileyecektir. Taşıyıcı olmayan malzemeler, prefabrike cephe panelleri, tavan sistemleri, hafif tesisat, borular, hava veya gaz kanalları bunlara dâhil edilmelidir. Her şeye karşın, %15-%20 arasında yüklerin tahmininde hatalar yapılabileceği bilinmelidir. (4)

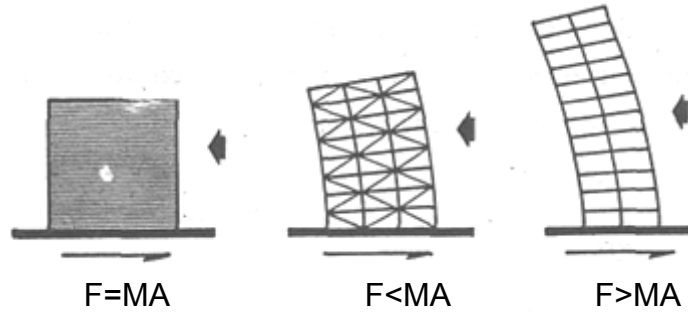
Hareketli yüklerde TS498'de de belirtildiği şekilde yapının tüm katlarını kapsayacak şekilde azaltma yapılması yüksek katlı yapılarda önemli dir. Aynı anda bir kat döşemesinin her metrekaresinin tam olarak işgal edilmesi ihtimali zayıf olduğundan pek çok yönetmelik bu tip azaltmaya gitmiştir. Örneğin, New York eyaletinde, en üstten üç katta hareketli yükün %80'ine izin verilebildiği gibi bundan sonraki katlarda her kat için %5'e, %50'lik faydalı yüke varıncaya kadar izin verilebilmektedir. Yapım sırasında ağır ekipmanın verebileceği tekil yükler göz ardı edilmeden yeterli önlemler alınmalıdır. (4)

### **2.7.2. Deprem Yükleri ve Hesap Yöntemleri**

Yer kabuğunda ani kırılmadan ortaya çıkan enerji deprem dalgaları oluşturur ve yapının zemininde kuvvetli yer hareketi doğar. Zemindeki bu harekete karşılık yapı boyunca eylemsizlik kuvveti meydana gelir. Çok katlı yapılar üç bileşen olan bu kuvvetlerden sadece yatay deprem itkisine göre incelenir. Üçüncü düşey bileşen yapının düşey kuvvetlere göre tasarımı zaten yapıldığı için ayrıca tekrar incelenmez. Eğer yüksek yapı, üç boyutlu tasarımının yapılması zorunlu bir mimariye sahipse ve yapı faya 10 km gibi yakın mesafede ise düşey deprem bileşeni de incelenebilir. (4)

### 2.7.2.1. Deprem Dinamik Özellikleri

Yapıda deprem hareketine zıt yönde ortaya çıkan eylemsizlik kuvveti  $F$ , binanın kütlesine  $M$ , zemin ivmesine  $A$  ve yapının rijitlik  $K$  ve sönüm  $C$  gibi özelliklerine bağlıdır. Şekil 2.68. de görüleceği gibi, bina ve temelleri çok rijit olsaydı, yapı hiç şekil değiştirmeyecek ve yapı ile zemin aynı ivmeye sahip olacaklar ve Newton Kanunu gereğince, deprem kuvveti  $F = MA$  olacak idi. (4)



Şekil 2.67. Binanın Deprem Durumundaki Eylemsizlik Kuvvetleri (4)

Ancak yapılar bir dereceye kadar esnek olduklarından bu hiçbir zaman ortaya çıkmayan durumdur. Şekil 2.20 de görüldüğü gibi, çok hafif şekil değiştiren ve biraz enerji yutabilen bir yapıda eylemsizlik kuvveti, kütle ile ivmenin çarpımından küçük olabilir. Fakat yapı çok esnek olup üstelik kuvvetli yer hareketinin devrine (periyoduna) yakın bir devire (periyoda) sahipse o zaman çok büyük deprem kuvveti etkisinde kalıyor demektir. O halde tek katlı bir yapı için bu kuvvetlerin dinamik dengesi yazılırsa, yalnızca bir doğrultuda harekete izin verilen, tek serbestlik dereceli sistem için,

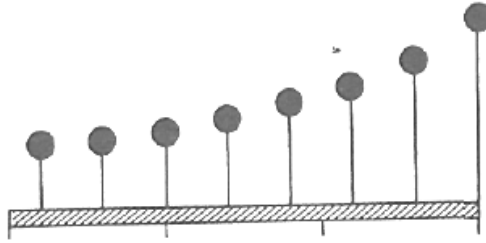
$$M\ddot{X}(t) + C\dot{X}(t) + KX(t) = -MA(t) \quad (4) \quad (2.14)$$

şeklinde zamana bağlı hareket denklemi yazılabilir. Burada  $\ddot{X}$ ,  $\dot{X}$  ve  $X$  sırasıyla yapının; kat hizasında ölçülen ivme, hız ve yer değiştirmesine karşı gelir. Bunlara yapının karşılıkları denir. Yanal kuvvetin büyüklüğü görüldüğü



gibi yalnızca çok karmaşık olan zemin ivmesine değil, binanın kendisi ve temelinin bu harekete karşı davranışına da bağlıdır.

Yükseklikleri çeşitli, kütleleri aynı değişik serbest titreşim devirlerinde (periyotlarında), aynı sönüm değerinde bir dizi konsol kirişi tek serbestlik dereceli sistemi karakterize etmek üzere modellersek şekil 2.68 de görülen bu yapılar, deprem sırasında zemin hareketinin etkisinde sarsılmaya başlar ve deprem süresince ivme, hız ve yer değiştirmelerin en büyük değerleri, kendi periyotlarının birer fonksiyonu olarak işaretlenirse elde edilen eğriye "spektrum eğrisi" denir. (4)



**Şekil 2.68.** Aynı Kütleli Tek Serbestlik Dereceli Sistem Modelleri (4)

Yapıların depreme dayanıklı ve ekonomik olması ve bunu sağlayacak yönetmeliklerin hazırlanması için tasarım felsefesi şöyle özetlenmektedir.

- a) Yapı ömrü içinde, sıkça görülen küçük büyüklükteki depremlerde hiç hasar görmemelidir. (4)
- b) Yapı ömrü içinde birkaç kez olabilen orta şiddetli depremlerde taşıyıcı olmayan elemanlar hasar görebilir. Ancak taşıyıcı elemanlar hasar görmemelidir.(4)
- c) Bir kez karşılaştığı şiddetli depremde ise taşıyıcı sistem hasar görse de insanların can kaybı ve ağır yaralanmalar olmaması için göçmemelidir.(4)

(b) ve (c) deki koşullar yapının sünekliğinin sağlanması için gereklidir. Yeteri kadar deprem kaydının bulunduğu, Japonya ve Amerika gibi ülkelerde

tasarım spektrumları, zemin koşullarına bağlı gerçek spektrumların idealize edilmiş şekilleri olarak verilmişlerdir. (4)

Deprem hesabı için yönetmelikte üç yöntem önerilmektedir. Bunlar;

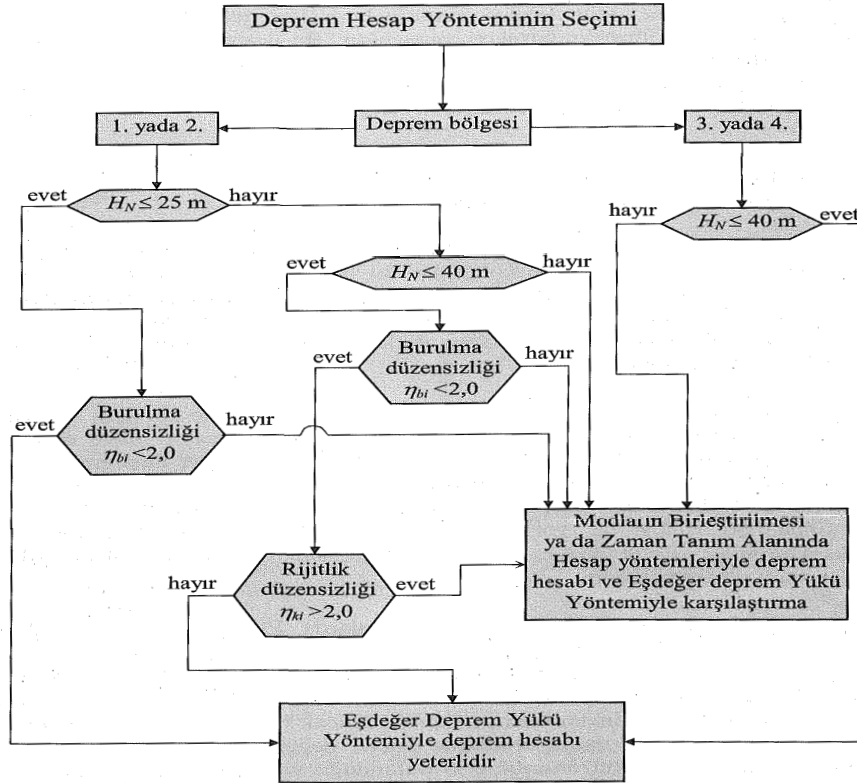
- 1) Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
- 2) Mod Birleştirme Yöntemi
- 3) Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Uygulamada en çok kullanılan hesap yöntemi Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi olduğundan bu çalışmada bu iki yöntemden bahsedilecektir.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi önerilen üç yöntemden uygulaması en kolay olanıdır ve Eşdeğer Statik Yöntem olarak da bilinmektedir. Yüğülerin hesabında, yapı ve zemine ilişkin periyot değerleri gibi dinamik değerlerin kullanılması nedeniyle Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi sadece birinci modun dikkate alındığı dinamik bir yöntem olarak da kabul edilmektedir. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi bazı yapıların deprem hesabı için yeterli olmakta, bazılarının hesabında ise tek başına yeterli olmayıp ilave olarak dinamik yöntemlerin de kullanılması gerekmektedir. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin yeterli olmadığı durumlarda da karşılaştırma amacıyla bu hesap yönteminin kullanılması gerekmektedir. Bu yöntemin yeterli olup/olmadığı durumlar Şekil 2.69' da görülmektedir. Bu şekildeki  $H_N$  yapı toplam yüksekliğini  $\eta_{ki}$  rijitlik düzensizlik katsayısını,  $\eta_{bi}$  ise burulma düzensizlik katsayısını göstermektedir. Şekil 2.69' dan görüldüğü gibi bazı durumlarda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle deprem hesabı yeterli olmakta, özellikle düzensizliklerin bulunduğu durumlarda dinamik yöntemler olarak da adlandırılan Modların Birleştirilmesi Yöntemi veya Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemiyle deprem hesabının yapılması önerilmektedir. Ancak bazı durumlarda dinamik yöntemlerin %20 lere varan oranlarda küçük değerler verdiği göz önünde bulundurularak, adeta düzensizliklerin bulunduğu yapıları mükâfatlandırmak durumuna düşmemek için Modların Birleştirilmesi Yönteminden elde edilen sonuçların, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırılması ön görülmektedir. A1, B2 veya B3

düzensizliklerinden en az birinin binada bulunması halinde, Mod Birleştirme Yöntemine göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme değerleri en az Eşdeğer Deprem Yükünden elde edilen değerler kadar dikkate alınmalıdır. Bu düzensizliklerden hiç biri yoksa Deprem Yönetmeliğinde, %10 daha küçük olabileceği belirtilmektedir. (3)

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle hesap yapabilmek için, Etkin Yer İvmesi Katsayısının ( $A_0$ ), Bina Önem Katsayısının ( $I$ ), Spektrum Katsayısının ( $S(T)$ ), Deprem Yükü Azaltma Katsayısının ( $R_a$ ) ve Hareketli Yük Azaltma Katsayısının ( $n$ ) Deprem Yönetmeliğinde verilen çizelgeler yardımıyla belirlenmesi gerekmektedir. (3)



**Şekil 2.69.** Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Yeterli/Yetersiz Olduğu Durumlar. (3)

## 2.7.2.2. Düzensizlik Durumlarının İncelenmesi

**Çizelge 2.4.** Planda Düzensiz Olan Yapılar (7)

Düzensizlik	Tanım	Önem
A1) Burulma düzensizliği	Bir katta %5 yatay kuvvet dışmerkezliği altında öteleme ve burulma sonucu oluşan en büyük relatif yerdeğiştirmesinin ortalama öteleme yerdeğiştirmesine oranının 1.2 den büyük olması ( $\eta_{bi} > 1.2$ )	$\eta_{bi} > 1.2$ ise, ek dışmerkezlik artırılır
		$\eta_{bi} > 2.0$ dinamik hesap yapılır
A 2) Döşeme süreksizlik düzensizliği	Katlarda diyafram görevi yapan döşeme sisteminde %33 den fazla boşluk bulunması ( $A_b/A > 1/3$ )	Deprem yükünün döşemelerden kolon ve perdelerle iletildiği hesapla gösterilir
A3) Planda çıkıntı düzensizliği	Plandaki her iki doğrultudaki çıkıntıların bu doğrultudaki yapı boyutunun %20 sinden fazla olması ( $a_x > l_x/5$ ; $a_y > l_y/5$ )	

**Çizelge 2.5.** Düşeyde Düzensiz Olan Yapılar (7)

Düzensizlik	Tanımı	Önem
B1 ) Dayanım (zayıf kat) düzensizliği	Bir katın etkili kesme alanının (kolon + perde + 0.15 x kargir duvar alanı) üst katınine oranının 0.80 den küçük olması ( $\eta_{ci min} < 0.80$ )	$0.60 < \eta_{ci min} < 0.80$ ise, R katsayısı $1.25 \times \eta_{ci min}$ ile büyütülür
		$\eta_{ci min} < 0.60$ olmasına izin verilmediği için, kolon ve perde kesitleri artırılarak bu oran büyütülür
B2 ) Rijitlik (yumuşak kat) düzensizliği	Bir katta %5 lik yatay kuvvet dışmerkezliği altında oluşan ortalama relatif yerdeğiştirmenin üst katınine oranının 1.5 dan fazla olması ( $\eta_{ki} > 1.50$ )	Dinamik hesap yapılır
B3 ) Süreksizlik düzensizliği	Yatay yük taşıyan düşey elemanların alt katlarda devam etmemesi	Kolon konsola oturamaz Perde kirişe mesnetlenemez
		Kolonun iki ucundan mesnetli kirişe oturması durumunda veya perdenin iki ucunda kolona oturması durumunda iç kuvvetler %50 artırılır

Yapının deprem etkisi altındaki davranışının belirlenmesinde ve ilgili kesit etkilerinin bulunmasında yapının taşıyıcı sisteminin düzenli veya düzensiz olması önemli ölçüde etkilidir. Bu ayırım Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5'de

verildiği gibi, taşıyıcı sistemin yatay ve düşey kesitlerinin değerlendirilmesiyle yapılır. Sözü edilen düzensizlikler taşıyıcı sistemin davranışının belirlenmesi için daha fazla kabuller ve belirsizlik getirirken taşıyıcı sistem elemanlarının daha fazla zorlanmasına sebep olur.

### 2.7.2.3. Etkin Yer İvmesi Katsayısı

Etkin yer ivmesi, deprem esnasında oluşacağı ve yapıya etkiyebileceği düşünülen deprem hareketinin ivmesidir. Bu ivme yer çekimi ivmesinin ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) bir oranı olarak ifade edilmektedir. Bu oran Deprem Yönetmeliğinde Etkin Yer İvmesi Katsayısı olarak tanımlanmakta ve dört farklı deprem bölgesi için verilmektedir. (Çizelge 2.6) Yani birinci deprem bölgesi için etkin yer ivme katsayısı 0,4 bu bölgede beklenen etkin yer ivmesi ise  $0,4g$  olmaktadır. (3)

**Çizelge 2.6.** Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ ) (7)

Deprem Bölgesi	$A_0$
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

### 2.7.2.4. Bina Önem Katsayısı

Bir yapının öneminin belirlenmesinde; içinde bulunduracağı insan sayısı ve kaldıkları süre, deprem sırasında ve sonrasında yapının kullanım ihtiyacı, yapıda bulunduran malzemenin kimyasal özellikleri gibi hususlar etkili olmaktadır. Deprem Yönetmeliğinde bu tür hususlar dikkate alınarak yapının kullanım amacı ve türüne göre Bina Önem Katsayısı verilmektedir.

## Çizelge 2.7. Bina Önem Katsayısı (I) (7)

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	
1)Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar.  a)Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)  b)Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
2)İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar  a)Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.  b)Müzeler	1,4
3)İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar  Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1,2
4) Diğer binalar  Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1,0

### 2.7.2.5. Spektrum Katsayısı

Deprem hesabında, zeminle ilgili kullanılan değer Spektrum Katsayısı olmaktadır. Bu katsayı yerel zemin koşullarının yanında, yapı doğal periyodu  $T'$  ye bağlı olarak belirlenmektedir. Dolayısıyla hem yapıya, hem de zemine ilişkin periyotlar birlikte dikkate alınmaktadır. Bu katsayının belirlenmesi için gerekli adımlar aşağıda verilmektedir.

Birinci adım: Zemin grubunun zemin etüd raporlarından belirlenmesidir.

İkinci adım: Yerel zemin sınıfı ve bu zemin sınıfına ilişkin. Spektrum Karakteristik Periyotlarının (  $T_a$  ve  $T_b$ ) Çizelge 2.8 yardımıyla belirlenmesi. Bu Çizelge' deki  $h_1$  en üst zemin tabakasının kalınlığını göstermektedir. (3)

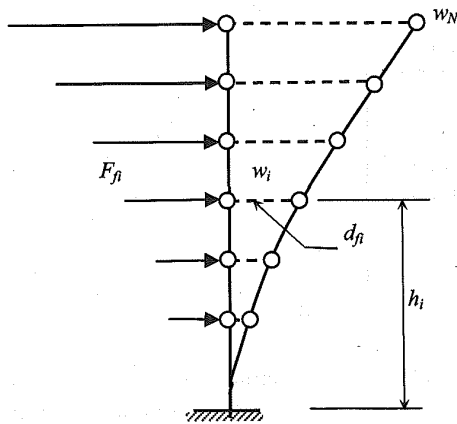
**Çizelge 2.8.** Yerel zemin sınıfları ve Spektrum Karakteristik Periyotları (7)

Yerel Zemin Sınıfı		Ta(s)	Tb(s)
Z1	(A) grubu zeminler ve $h_1 < 15$ m olan (B) grubu zeminler	0,10	0,30
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu ve $h_1 < 15$ m olan (C) grubu zeminler	0,15	0,40
Z3	$15 \text{ m} < h_1 < 50$ m olan (C) grubu ve $h_1 < 10$ m olan (D) grubu zeminler	0,15	0,60
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu ve $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler	0,20	0,90

Üçüncü adım: Yapının inşa edildiği deprem bölgesine ve yapı yüksekliğine bağlı olarak yapı doğal hâkim periyodun (doğal titreşim periyodu ya da 1. titreşim periyodu) belirlenmesi. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulanması durumunda, binanın deprem doğrultusundaki hakim doğal periyodu, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır. (3)

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}}} \quad (2.15)$$

Periyot hesabında kullanılan sembollerden  $W_i$ ,  $F_{fi}$  ve  $d_{fi}$  Şekil 2.70'de gösterildiği gibi sırasıyla i. katın ağırlığını, bu kata etkileyen kurgusal yükü ve bu yükten oluşan yer değiştirmeyi göstermektedir. (3)



$$F_{fi} = \frac{w_i \cdot h_i}{\sum_{j=1}^N w_j \cdot h_j} \quad (2.16)$$

**Şekil 2.70.** Kurgusal Yük ve Etkime Yüksekliği (5)

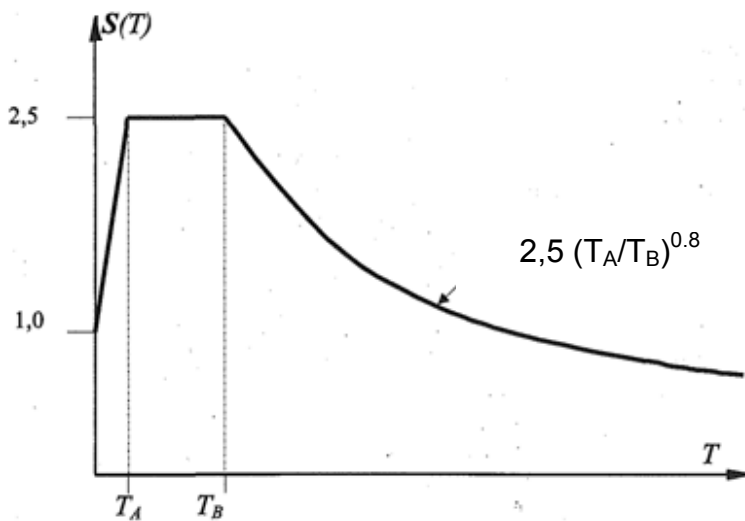
Periyot hesabı için gerçek deprem yüklerinin kullanımı zorunlu değildir. Kurgusal yükler dikkate alınarak yer değiştirmeler ve bunlara bağlı olarak doğal titreşim periyodu hesaplanabilir. Yapının kat ağırlıkları belirlendikten sonra Şekil 2.70' de gösterildiği gibi bu kat ağırlıklarına ve bunların tabandan itibaren yüksekliklerine bağlı olarak da kurgusal yükler belirlenebilir. Ancak buradan elde edilen değerler çok küçük olacağı için elde edilecek yer değiştirme sonuçlarını almakta güçlük çıkacaksa 1000 gibi belirli bir değerle çarpılabilir. (3)

Dördüncü adım: Zemin Karakteristik Periyotlarına ve yapı doğal titreşim periyoduna bağlı olarak spektrum katsayısı  $S(T)$  Çizelge 2.9 yardımıyla hesaplanabilir. (3)

Spektrum Katsayısının yapı ve zemin periyotlarına bağlı olarak değişimi Şekil 2.72'de görülmektedir. Deprem Yönetmeliğinde bu katsayının en büyük değeri 2,5 ile sınırlandırılmaktadır.

**Çizelge 2.9.** Yapı Periyoduna Göre Spektrum Katsayısı  $S(T)$  (7)

Periyot Aralığı	$S(T)$
$0 \leq T \leq T_A$	$1 + 1.5(T/T_A)$
$T_A \leq T \leq T_B$	2,5
$T > T_B$	$2,5 (T_A/T_B)^{0.8}$



**Şekil 2.71.** Spektrum Katsayısının Periyotla Değişimi (3)



Burada spektrum katsayısı için verilen diyagramın spektrum ivmesini göstermediğini, dolayısıyla da buradan alınan değer doğrudan spektrum ivmesi gibi kullanılamayacağıdır. Bu nedenle paket programlarda spektrum tanımlanırken sadece spektrum katsayısının grafiğini tanımlamak yeterli olmayacaktır. Spektrum katsayısından alınan değer ivme olabilmesi için, yapı önem katsayısı, etkin yer ivme katsayısı ve yerel deprem ivmesiyle çarpılması gerekmektedir. (3)

#### **2.7.2.6. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı**

Bu katsayı elastik deprem yüklerinin azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Çünkü yapı taşıyıcı sistemleri, depremlerde elastik olmayan davranış da gösterebilmektedir. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısına (R) ve Doğal Titreşim Periyoduna (T) bağılı olarak belirlenmektedir. R katsayısı yapının taşıyıcı sistemine ve süneklik düzeyine bağılı olarak Çizelge 2.10'da verilmektedir. (3)

Süneklik düzeyi normal ve yüksek (SDN ve SDY) teriminin kullanılması, 1998'de yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliğinin, önceki yönetmeliklerden en önemli farklarından biridir. (3)

Süneklik düzeyi ile ilgili bilgiler Deprem Yönetmeliğinde verilmekte olup birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan yapılar ve Bina Önem Katsayısı  $I \geq 1.4$  olan tüm betonarme binalar için süneklik düzeyi yüksek sistemlerin kullanılması zorunludur. (3)

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı  $R_a$ ; Çizelge 2.10'dan alınan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısına (R), yapı doğal periyoduna ( $T_1$ ) ve zemin sınıfına göre dikkate alınan  $T_A$  parametresine bağılı olarak Çizelge 2.11 yardımıyla belirlenebilir. (3)

Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n) izelge 2.12' den alınarak yapının deprem sırasında herhangi bir katının ağırlığı,

$$w_i = g_i + n q_i \quad (2.17)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Bu bağıntıda g ve q i. katın, kalıcı (sabit) ve hareketli yükünü göstermektedir. Deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak çatı katı ağırlığının hesabında kar yüklerinin %30'unun dikkate alınması öngörülmektedir. Yapı toplam ağırlığı aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır. (3)

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (2.18)$$

**Çizelge 2.10.** Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) (7)

<b>BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ</b>	<b>Süneklik Düzeyi Normal Sistemler</b>	<b>Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler</b>
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	4	7
(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar.	3	7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar	—	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar	—	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	3	6
(3) ÇELİK BİNALAR		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.	—	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	—	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	—	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu	4	7

**Çizelge 2.11.** Deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a(T)$  (7)

Periyot Aralığı	$R_a(T)$
$0 \leq T \leq T_A$	$1,5+R-1,5(T_1/T_A)$
$T > T_A$	R

**Çizelge 2.12.** Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n) (7)

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0,80
Okul, yurt, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0,60
Konut, iş yeri, otel, hastane, vb.	0,30

#### 2.7.2.7. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Kiriş, kolon ve perdelerden oluşan betonarme iskeletli yapılara etkiyen deprem yükleri genellikle yapıya döşemeleri seviyesinde etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Yatay yüklerin binanın asal doğrultularında ayrı ayrı etkidiği kabul edilerek, taşıyıcı sistemlerin elemanlarında kesit etkileri bulunur. Yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlanmasında kullanılan Toplam Eşdeğer Deprem Yükü, taban kesme kuvveti olarak bilinir ve  $W$  toplam yapı ağırlığı olmak üzere,

$$V_t = W A(T_1) / R_a(T_1) \geq 0.10 A_0 I W \quad (2.19)$$

şeklinde belirlenir. İfadede  $A_0$  Etkin Yer İvmesi Katsayısı,  $I$  Yapı Önem Katsayısı,  $S$  Spektrum Katsayısı,  $T_1$  yapının birinci Titreşim Periyodu,  $W$  Toplam Yapı Ağırlığı,  $R_a$  Deprem Yükü Azaltma Katsayısı,  $A$  Spektral İvme Katsayısı olup olarak denklem (2.20) deki gibi verilmiştir.

$$A(T_1) = A_0 I S(T_1) \quad (2.20)$$

Aynı periyotla çeşitli harmonik titreşimler yapan bir kütlede meydana gelecek atalet kuvveti, hareketin ivmesi ve dolayısıyla genliği ile doğru orantılıdır. Düşey konsol şeklinde kabul edilebilecek yapıda, genliklerin zemin seviyesinden itibaren yukarı doğru arttığı gözönüne alınır, deprem kuvvetlerinin de benzer değişim göstereceği kabul edilebilir. Doğrusal bir dağılım esas alınır, yapının kat seviyelerine uygulanacak  $F_i$  yatay yükleri (2.22) denklemi ile hesaplanabilir. Burada,  $\Delta F_N$  yapının en üst N katının tepesine uygulanacak olan ek eşdeğer yük olup,

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_t \leq 0.20 V_t \quad (2.21)$$

şeklinde hesaplanacaktır. Eğer binanın en üst katının temel seviyesinden yüksekliği  $H_N \leq 25$  m ise,  $\Delta F_N = 0$  alınabilir. Görüldüğü gibi, birinci serbest titreşim modunun ötesinde ortaya çıkacak diğer titreşim modlarının etkisini göz önüne almak üzere öngörülen bu kuvvet, yüksekliği büyük narin yapılarda önem kazanmaktadır. Buna göre eşdeğer deprem yükü katlara etkiyen yük ile ek eşdeğer yükün toplamından oluşmaktadır. (6)

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (2.21)$$

Eşdeğer deprem yükü yöntemi sadece birinci modun etkisini göz önüne alan bir dinamik yöntem olarak da kabul edilebilir. (6)

Bulunan  $F_i$  kat yatay yükleri kat kütle merkezlerine etkiğinden, kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste düşmediği durumlarda, deprem etkisi katları, öteleme yer değiştirmesi yanında, kata etkiyen burulma momenti nedeniyle bir dönme yer değiştirmesine zorlar. Bu ise, katlar arası yer değiştirmeyi artırırken, kiriş ve kolonlarda ek eğilme momentleri doğmasına sebep olur. Yönetmelik, her iki doğrultuda kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki dışmerkezliğe yatay yük doğrultusuna dik doğrultudaki bina boyutunun  $\pm\%5$  i eklenerek bulunacak burulma momentine göre irdelenmesini ve eğer yapıda A1 türü burulma düzensizliği varsa, bu ek dışmerkezliğin artırılmasını öngörmektedir. Böylece, deprem durumunda

düzensiz olmayan kütle dağılımından doğacak olan burulma momenti de hesaba katılmaktadır. Bu durumda deprem yükleri altında yapılacak statik hesabın, yapının taşıyıcı sisteminde meydana gelebilecek değişik kütle dağılımlarını da içermek amacıyla, her zaman burulma etkisini göz önüne alarak yapılması gerekir. (6)

### 2.7.2.8. Mod Birleştirme Yöntemi

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde yapının birinci modu esas alınır ve katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin kat kütlesi ve katın temelden yüksekliği ile orantılı kabul edilir. Titreşim periyodunun hesabında ve deprem yükünün dağıtılmasında binanın kütlesi hesaba katıldığı için bu yöntem de yapının birinci serbestlik derecesini esas alan dinamik bir yöntem olarak da kabul edilebilir. Mod Birleştirme Yöntemi'nde toplam deprem kuvvetinin bulunmasında diğer titreşim periyotları ve mod şekilleri hesaba katılır ve bu toplam kuvvetin katlara dağıtılmasında ilgili mod şekilleri esas alınır. Bu yöntem çok serbestlik dereceli sistemlerin davranışını veren ifadelerin her mod şekli için ayrı ayrı değerlendirilmesi olarak da görülebilir. (6)

$$L_j = \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj} \quad (2.23)$$

$$M_j = \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2 \quad (2.24)$$

$$M_j^* = \left( \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj} \right)^2 / \left( \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2 \right) \quad (2.25)$$

$$V_{bj}(t) = M_j^* g (A_j(t)/g) \quad (2.26)$$

$$f_{ij}(t) = V_{bj}(t) (m_j \phi_{ij}) / \left( \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj} \right) \quad (2.27)$$

Burada  $V_{bj}(t)$  değeri j. modda etkiyen taban kesme kuvvetini,  $f_{ij}(t)$  bu taban kesme kuvvetinde i. katta etkiyen kuvveti,  $\phi_{ij}$  bu titreşimde i. kattaki yer değiştirmeyi ve  $M_j^*$  ilgili moddaki etkili modal kütle göstermektedir. Bu

ifadelerde spektral değerler kullanılır ve bulunan elastik taban kesme kuvvetine  $R_a$  deprem yükü azaltma katsayısı uygulanırsa, I bina önem katsayısının da göz önüne alınmasıyla aşağıdaki ifadeler elde edilir.<sup>(6)</sup>

$$V_{bj} = \max V_{bj}(t) = (M_j^*g/R_a) \max [A_j(t)/g] = (M_j^*g/R_a) \cdot (A_j(T_j)/g) = M_j^*g/R_a A_0 I \cdot S_j(T_j) \quad (2.28)$$

Burada  $S_j(T_j)$  yönetmelikte verilen boyutsuz ivme spektrumuna karşı gelmektedir. (6)

Çok katlı çerçeve taşıyıcı sistemlerin çözümünde, özellikle döşemelerin kendi düzlemlerinde rijit diyafram kabul edildiği durumda, kütlelerin bulunduğu noktaların serbestlik derecesini yatay düzlemde iki öteleme ve düşey eksen etrafında dönme olarak ayırmak mümkündür. Bu durumda i. kattaki kat kütlelerinin yatay iki doğrultuda öteleme ataleti ve düşey eksen etrafında dönme ataleti bulunacaktır. Kat kütlelerinin kütlesi  $m_i$  ve dönme kütle atalet momenti  $m_{\theta i}$  olarak gösterilirse, buna uygun olarak, j. modda i. katın x ve y eksenleri doğrultusundaki ötelemesi  $\phi_{xij}$  ve  $\phi_{yij}$  ve düşey eksen etrafındaki dönmesi  $\theta_{ij}$  ile gösterilirse, bu moddaki  $M_j$  genelleştirilmiş kütle;

$$M_j = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{xij}^2 + \sum_{i=1}^N m_i \phi_{yij}^2 + \sum_{i=1}^N m_{\theta i} \theta_{ij}^2 \quad (2.29)$$

olarak verilebilir. Bu durumda  $M_j^*$  Etkili Modal Kütle de iki eksen doğrultusundaki yer değiştirmeler için ayrı ayrı yazılabilir. (6)

$$M_{xj}^* = \left( \sum_{i=1}^N m_i \phi_{xij} \right)^2 / M_j \quad (2.30)$$

$$M_{yj}^* = \left( \sum_{i=1}^N m_i \phi_{yij} \right)^2 / M_j \quad (2.31)$$

$$M_{j=1}^{3N*} = (M_{xj}^* + M_{yj}^*) = \sum_{i=1}^N m_i \quad (2.32)$$

Son denklem etkili modal kütlelerin toplamının kat kütlelerinin toplamına eşit olduğunu göstermektedir. Bu ifadelerde kat adedi N olarak kabul edilmiş olup, 3N taşıyıcı sistemin kütle atanan serbestlik derecesine karşı gelmektedir. (6)

Deprem etkilerinin yön değiştirebilen özelliğinden dolayı spektrum eğrilerinin hazırlanmasında ilgili parametrelerin işaretleri göz önüne alınmaz. Ayrıca, her titreşim mod şekli için bulunan değer depremin belirli bir zamanında olduğu için, elde edilen maksimum değerlerin üst üste toplanması uygun bir sonuç olmaz. Bunun yerine binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvetler, yer değiştirme ve relatif kat yer değiştirmesi gibi her mod için elde edilen  $r_{jo}$  büyüklüklerinin birleştirilmesi,  $T_i$  ve  $T_j$  gibi herhangi iki mod periyotlarının ( $T_i < T_j$ ) birbirinden  $T_i / T_j < 0.80$  koşulunu sağlayacak kadar ayırık olması durumunda, Karelerinin Toplamının Karekökü Kuralı kullanılarak yapılabilir. (6)

$$r(t)_{\max} \approx \left[ [r_{1o}]^2 + [r_{2o}]^2 + \dots + [r_{3No}]^2 \right]^{1/2} \quad (2.33)$$

Mod periyotlarının yeterli ayırık olmaması durumunda yukarıdaki yaklaşım yerine Tam Karesel Birleştirme Kuralı kullanılarak da modal etkiler birleştirilebilir. (6)

$$r(t)_{\max} \approx \left[ \sum_{i=1}^{3N} \sum_{j=1}^{3N} \rho_{ij} r_{io} r_{jo} \right]^{1/2} \quad (2.34)$$

Burada,  $\rho_{ij}$  Çapraz Korelasyon Katsayısını,

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2 (1 + \beta_{ij}) \beta_{ij}^{3/2}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 \beta_{ij} (1 + \beta_{ij})^2} \quad (2.35)$$

$B_j = \omega_i / \omega_j$  serbest titreşim frekanslarının oranını ve  $\xi$  sönüm oranını göstermekte olup, %5 olarak kabul edilebilir. (6)



Doğrusal elastik bir sisteme bütün modların katkısı göz önüne alınarak, matematiksel kesinlikte sonuç elde edilebilir. Ancak, orta ve şiddetli bir depremde, taşıyıcı sistemin doğrusal elastik ötesi davranmasının söz konusu olması yanında, taşıyıcı sistemin ve deprem hareketinin parametrelerindeki belirsizlik nedeniyle matematiksel kesinlikte bir çözüme gidilmesine ihtiyaç göstermez. Ayrıca, hesap hacminin sınırlı tutulması amacıyla göz önüne alınan mod sayısının aşırı arttırılmaması istenir. Yapılan örneklerden çerçeve yapılarda genellikle yaklaşımın yer değiştirmelerde daha çabuk meydana geldiği, daha sonra sıra ile taban devrilme momenti, taban kesme kuvveti, kat kesme kuvvetlerinin geldiği belirlenmiştir. Yüksek modların katkısının üst katlardaki kesme kuvveti ve eğilme momentine, alt katlarınkinden den çok etkili olduğu görülmüştür. Bunun yanında, aynı yaklaşımın elde edilebilmesi için kirişleri kolonlarına göre rijit olanlarda, olmayanlara göre daha az modun göz önüne alınmasının yeterli olduğu gözlenmiştir. Genel olarak alışıla gelen düzlem çerçevelerde ilk iki modun hesaba katmanın hatanın %15 in altına düşmesini sağladığı tespit edilmiştir. (6)

Modların katkısı çerçevenin geometrik özellikleri yanında karşı gelen spektral değerlere de bağlıdır. Eğer bir yapının birinci mod titreşim periyodu büyükse, diğer periyotlara karşı gelen spektral ivme değerleri daha büyük olabileceği için yüksek modlarının etkisi, birinci mod titreşim periyodu küçük olana göre daha büyük olabilir. (6)

Deprem Yönetmeliği hesaba katılması gerekli Y mod sayısının belirlenmesini etkin kütle kavramına bağlamıştır. Buna göre Y mod sayısının belirlenmesinde birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin %90'ından az olmaması esas alınacaktır. (6)

$$\sum_{j=1}^Y M_{aj}^* = \sum_{j=1}^Y \left\{ \frac{(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{xij})^2}{M_j} \right\} \geq 0.90 \sum_{j=1}^N m_j \quad (2.36)$$

$$\sum_{j=1}^Y M_{y_j}^2 - \sum_{j=1}^Y \left\{ \frac{(\sum_{i=1}^N m_i e_{ij})^2}{M_j} \right\} \geq 0.90 \sum_{j=1}^N m_j \quad (2.37)$$

Ayrıca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkin kütlesi, bina toplam kütlelerinin %5 inden büyük olan bütün titreşim modları hesaba katılacaktır.

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5 ve -%5 i kadar kaydırılması ile kaydırılmış kütle merkezi elde edilir. Bu suretle kütle dağılımının düzgün olmamasının etkisi göz önüne alınır. Bu noktalar için yatay düzlemde iki öteleme ve düşey eksen etrafında dönme serbestlik derecesi göz önüne alınmalıdır. Katın öteleme kütlesi ile kütle merkezine göre hesaplanan kütleli dönme ataletinin bu kaydırılmış kütle merkezinde toplandığı kabul edilecektir. (6)

A2 türünden döşeme süreksizliğinin bulunduğu ve döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak davranmaması muhtemel olan binalarda, döşemelerinin kendi düzlemleri içindeki şekil değiştirmelerini göz önüne alacak serbestlik derecesi göz önüne alınmalı ve buralarda da kütlelerin toplandığı kabul edilmelidir. Ek dış merkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, serbestlik derecesine sahip noktalarda dağılılı bulunan tekil kütlelerin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultuda kat boyutunun  $\pm 5$  i kadar kaydırılmalıdır. (6)

Matematiksel bir bakış açısında Mod Birleştirme Yöntemi, Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi'ne göre daha kesin bir yöntem olarak görülür. Ancak, taşıyıcı sistemin elemanlarının atalet momentlerinde, davranışlarındaki belirsizlikler yanında hesapta depremi temsil eden spektrum eğrisindeki kabuller bu yöntemin de önemli bir yaklaşıklık içerdiğini gösterir. Elastik deprem yükünün azaltılması, kesit hesaplarının daha sonra doğrusal olmayan kabullere dayanan taşıma gücü yöntemine göre yapılması da bu yöntemin yaklaşımlar içerdiğine işaret eder. Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi'nin kabullerinin daha az sayıda olması pek çok durumda yöntemle olan güveni artırır. Bu nedenle

yönetmelik Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen çözümlene sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ninkilerle karşılaştırılmasını öngörmektedir. Mod Birleştirme Yöntemi'nde mod katkılarının birleştirilmesi ile elde edilen bina toplam deprem yükü  $V_{tb}$  Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile elde edilen bina toplam deprem yükü  $\beta V_t$ , den küçük olması ( $V_{tb} < \beta V$ ) durumunda, Mod birleştirme Yöntemi ile bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri  $\beta V_t/V_{tb}$  katsayısı ile büyütülecektir. Binada A1, B2 ve B3 türü düzensizliklerden birinin bulunması durumunda  $\beta = 1.0$  ve bu düzensizliklerin hiç birinin bulunmaması durumunda ise  $\beta = 0.9$  alınacaktır. (6)

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının asal eksen doğrultularının göz önüne alınan birbirine dik deprem doğrultularına paralel olmaması durumunda, bu elemanlarda boyutlamaya esas olan iç kuvvetler, elde edilen değerlerin şeklindeki birleştirilmesi ile elde edilecektir. Burada x ve y birbirine dik seçilen ve deprem kuvvetinin etkidiğinin kabul edildiği eksenleri göstermektedir. Bir doğrultudaki deprem etkisiyle diğer doğrultu etkisinin % 30 unun toplanması ile herhangi bir doğrultuda etki edebilecek depremin iki bileşene ayrılmasından oluşabilecek elverişsiz durum giderilmeye çalışılmıştır. (6)

$$\begin{aligned} \pm B_{ax} \pm 0.30B_{ay} \\ \pm 0.30B_{ax} \pm B_{ay} \end{aligned} \quad (2.38)$$

### 2.7.3. Rüzgâr Yükleri ve Hesap Yöntemleri

İnsanlık var olduğundan beri işlerini engelleyen ve kendilerine zarar veren doğal afetlere karşı çözüm üretmeye çalışmıştır. Doğal afetlerden biride kasırga ve hortumlarla oluşan rüzgârlardır. Bu rüzgârlar her yıl milyonlarca lira zararlara yol açar. Dolayısıyla rüzgârın fizik özelliklerini araştırmak ve zararlarını engellemek için plan ve tasarım yöntemleri geliştirmiştir. Rüzgâr mühendisliği insanlığın yaşam kalitesini bozan, insan kayıplarına ve büyük ekonomik zararlara yol açan rüzgâr etkisi üzerinde araştırmalar yapar ve çözümler üretir.

### 2.7.3.1. Rüzgârın Dinamik Etkileri

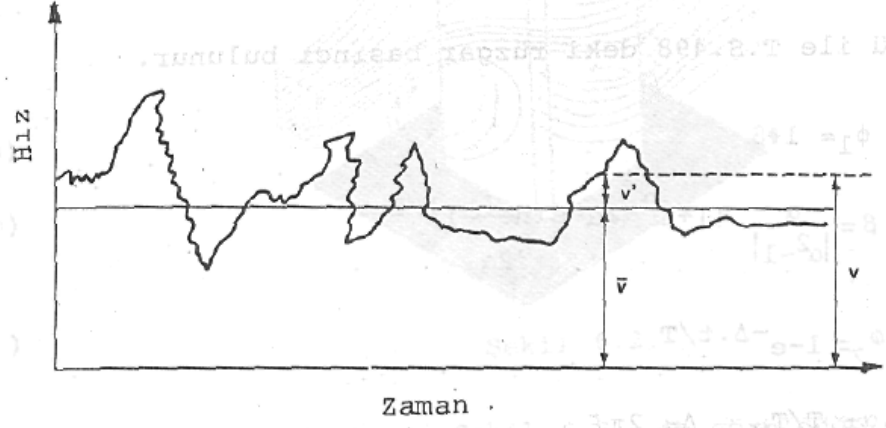
Rüzgâr karmaşık bir olay olsa da rüzgâr mühendisliği onun bazı özelliklerini ayırıp basitleştirerek inceler. Bu özellikler şunlardır,

1. Rüzgâr hızı yüksekliğe bağlı olarak değişir.
2. Rüzgârın çalkantılı akışı mümkündür.
3. Rastgele değişken olarak olasılık kanunlarına bağlanır.
4. Girdap kopması olayları ortaya çıkabilir.
5. Yapı ile dinamik olarak etkileşimi söz konusudur. (4)

Rüzgâr hızının zamana bağlı olarak değişmesi, rüzgâr esiş yönünün sabit olması durumunda bile girdapların oluşabilmesi ve zamana bağlı kuvvetlerin ortaya çıkması rüzgârın dinamik karakterini yansıtır. Çoğu kez statik özellikte alınmasının önemli bir nedeni rüzgâr yükünün zamanla değişmeyen kısmının, toplam rüzgâr etkisi içerisinde büyük bölümü oluşturmasındandır. (4)

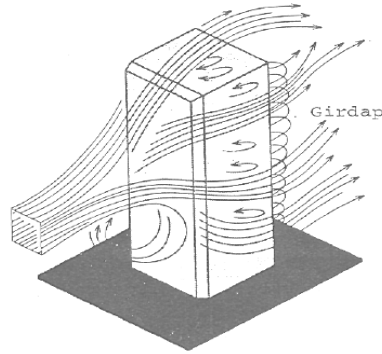
Yükseklik arttıkça rüzgârın hızının artması yüksek yapılarda çalkantılı akımlar oluşturur. Genel olarak rüzgâr hızının kaydında ortalama bir hız ile bunun içinde salınan, çarpma etkisi yapan, zamana bağlı bir bölüm söz konusudur. Şekil 2.72 rüzgârın çarpma etkisinin zamana bağlı değişimini göstermektedir. (4)

Girdaplardan kaynaklanan akımların varlığı çok eskiden beri bilinmektedir. Hareket halindeki bir hava kütlesi bina engelliyle karşılaştığında, diğer akışkanlar gibi, binanın iki yanından geçerek birleşir ve ana akım oluşturur. Rüzgâr kütlesi arttıkça, sabit bir alandaki belirli bir zamanda rüzgâr hızı artar ve türbülanslı (çalkantılı) hava akımları oluşur. (4) (Şekil 2.73)

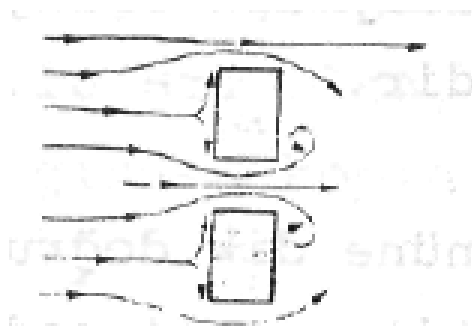


**Şekil 2.72.** Rüzgâr Basıncının Zamanla Değişimi (4)

Hareketli hava kütlesi dar iki bina arasındaki bölgeden geçerken hızlanır ve çalkantı gelişir. Bu duruma karşı gelen rüzgâr hızı ana rüzgâr akımının hızını daima aşar.

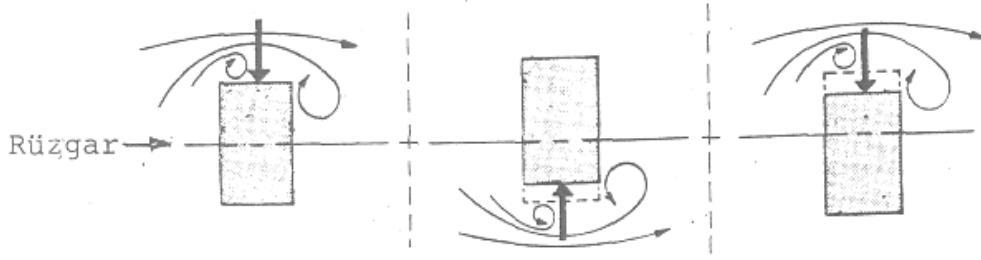


**Şekil 2.73.** Çalkantılı Hava Akımı (4)



**Şekil 2.74.** Çalkantı (4)

Herhangi bir çalkantı hava akımında kaydedilen hava basınçları hava akımının bina yüzeyi ile temas halinde olması durumunda pozitiftir. Bina yüzü keskin köşelere sahipse ve rüzgâr hızı fazla ise hava kütlesi binayı terk ederken negatif basınçlı ölü bölgeler oluşturur. Girdap şeklinde dairesel hava akımları bu düşük basınçlı bölgelerde gelişen rüzgârın çalkantılı etkileridir. Bu tür akımlar Şekil 2.74' de binanın rüzgâr almayan tarafında gösterilmişlerdir. Kesik köşe ve kenarlarda rüzgâr geçişi daha yumuşaktır.<sup>(4)</sup>



**Şekil 2.75.** Çalkantı (4)

Girdaplar yüksek hızlı hava akımlardır ve binaya bitişik yukarı doğru emme akımları oluşturur. Bina etrafındaki girdaptan kopmaların periyodu yapının periyoduna yaklaşıncaya enine doğrultuda titreşim başlar. Şekil 2.75' de rüzgâr doğrultusuna dik doğrultudaki bu hareketi görebiliriz.

Çevirtiler, girdaplar gibi biçimlenmiş olsalar bile hareketleri, yavaş olan dairesel hareketlerdir ve binada daha az fark edilirler. (4)

Yapının girdaptan dolayı titreşimi karmaşık bir olaydır. Girdabın titreşim frekansı yapının doğal frekansı ile aynı olduğunda tınlaşım meydana gelir. Büyük Reynold sayılarında dalgalanan rüzgâr kuvvetleri periyodik olmaktan çıkıp, rastgele karakter kazanır. Bununla birlikte mühendislik açısından rüzgâr kuvvetinin periyodik olduğu varsayılır. <sup>(4)</sup>

### 2.7.3.2. TS498 'e Göre Rüzgâr Yükü Hesabı

Yüksek binalar ve diğer hassas yapıların (asma köprüler gibi) üzerinde rüzgâr etkisinin tahmini için, yapılan araştırmalar bu etkinin karmaşıklığını ve önemini vurgulamaktadır. Ancak, rüzgâr mühendisliği gibi ayrı bir bilim dalının doğmasına neden olan rüzgâr etkisine, ülkemizdeki şartnamelerde gereken önem verilmemektedir. Bütün yapılar için genel ve kısıtlı bilgi içeren bir rüzgâr hesabı söz konusudur.

Türkiye de rüzgâr yükü TS 498 standardına göre hesaplanmaktadır. Rüzgâr yükü hesabı yapının geometrisine bağlıdır. Basınç, emme ve sürtünme etkileri birleştirilerek hesaba alınır. Bir yapının bütününde rüzgâr yükü bileşkesinin büyüklüğü;

$$W= C_f \cdot q \cdot A, \quad \text{kN} \quad (2.39)$$

formülü ile bulunur. Burada  $C_f$ = Aerodinamik Yük Katsayısı,  $q$  = Emme (hız basıncı,  $\text{kN/m}^2$ ),  $A$ = Etkilenen yüzey alanı,  $\text{m}^2$  (8)

Aerodinamik Yük Katsayısı ( $C_f$ ): Yük katsayısının ( $C_f$ ) belirlenmesi yapı geometrisine ve rüzgârın esiş yönüne bağlıdır. Rüzgâr kanalı deneyinden bu katsayısı elde edilebilir. (8)

Rüzgâr Basıncı ( $W$ ): Yapı üst yüzeyine tesir eden rüzgâr basıncı aşağıdaki denklem ile bulunur.

$$W= C_p \cdot q \quad (\text{kN/m}^2) \quad (2.40)$$

Rüzgâr basıncı etki yüzeyine dik olarak etki eder. Burada;  $q$ = Rüzgâr basıncı ( $\text{kN/m}^2$ ),  $C_p$ = Emme katsayısı,  $C_p$  dikkate alınan yüzey için çeşitli esiş yönüne bağlı olarak belirlenir. (8)

**Çizelge 2.13.** Yüksekliğe Bağlı Olarak Rüzgâr Hızı ve Emme (8)

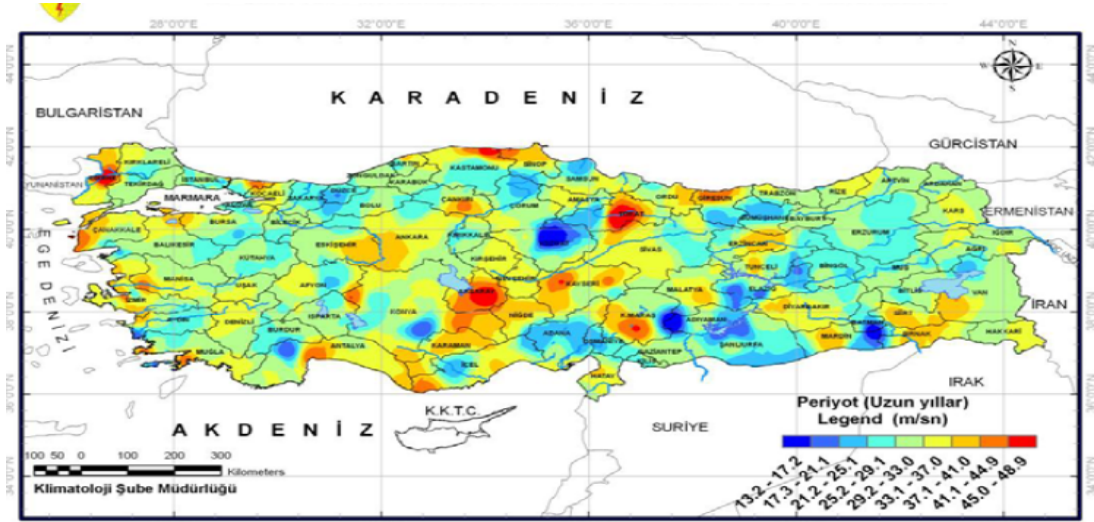
Zeminden Yükseklik m	Rüzgâr Hızı, V m/s	Emme, q kN/m <sup>2</sup>
0-8	28	0,5
9-20	36	0,8
21-100	42	1,1
>100	46	1,3

Mahalli topoğrafik şartlar nedeniyle değişik rüzgâr hızları oluşabilir ve bu hızlar Çizelge 2.13 değerinden sapabilir.

Emme (Hız Basıncı) (q):  $q = (\rho \cdot v^2) / 2$ , kN/m<sup>2</sup> bağıntısı ile hesaplanabilir. Çok yaklaşık olarak hava birim hacim ağırlığını  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$  alırsa hız (v) de m/s cinsinden yerine konursa  $q = v^2 / 1600$  (kN/m<sup>2</sup>) bulunur. <sup>(8)</sup>

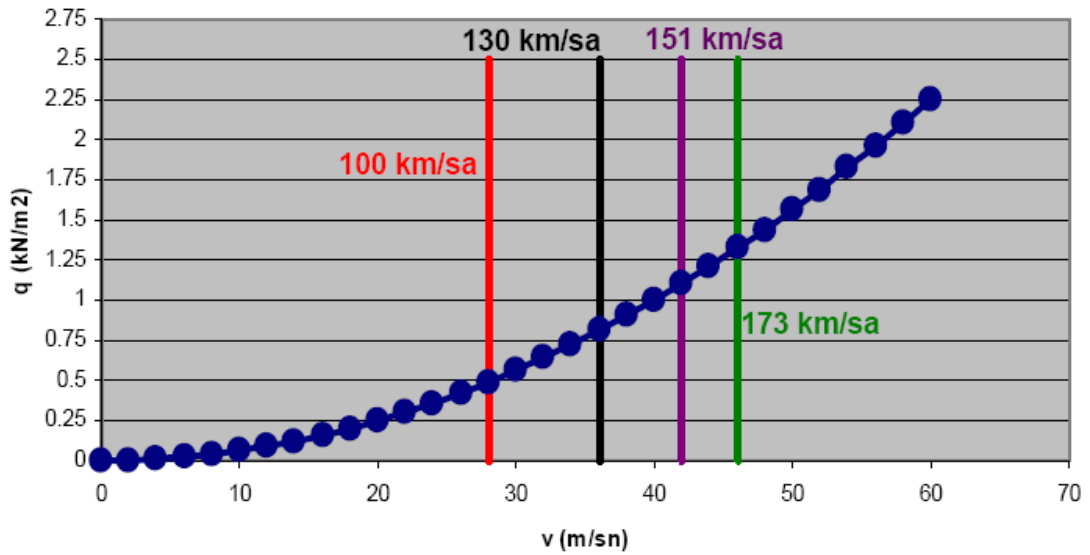
Şekil 2.76'da görüldüğü gibi rüzgar hızı yüksekliğe bağlı olmaksızın bazı bölgelerde 48.9 m/sn ye kadar çıkmaktadır. TS 498 den alınan Çizelge 2.13 de rüzgâr hızlarını yerleşim yerine bağlı olmaksızın bina yüksekliğine göre vermiştir. Meteoroloji kayıtları ile çelişen bu durum rüzgâr yüklerinin yapıya gerçek boyutları ile yansıtılmasını engellemektedir.



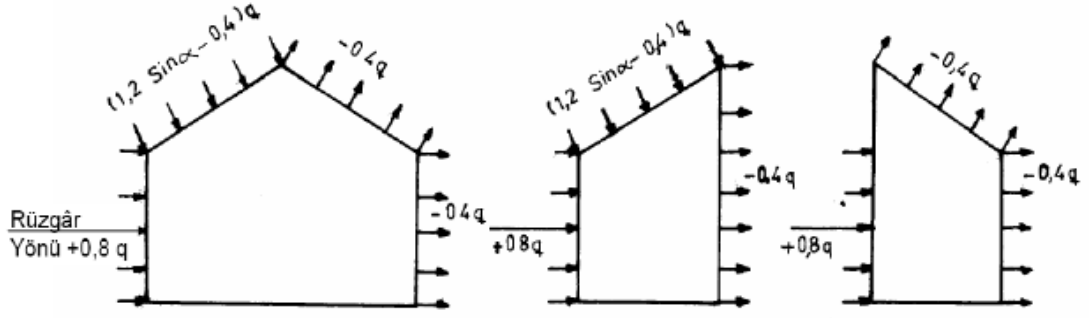


**Şekil 2.76.** Uzun Yıllar Maksimum Rüzgâr Haritası (9)

Şekil 2.77'de rüzgâr hızının rüzgâr yükü ile değişimi gösterilmiştir. Rüzgâr 100 km/sa hıza ulaştınca birim alana etkiyen rüzgâr yükünün  $50 \text{ kg/m}^2$  olduğu görülmektedir.



**Şekil 2.77.** Rüzgâr Hızına Bağlı Rüzgâr Yükü. (9)



**Şekil 2.78.** Planda Dikdörtgen Kesitli ve Eğik Çatılı Kapalı Yapılarda C Katsayısının Değişimi (8)

**Çizelge 2.14.** C katsayısı ve Rüzgâr Yükünün Yapının Etkilenen Yüzeyinin Birim Alanına Göre Dağılımı (Basınç ve Emme) (8)

Yapı Cinsi	Katsayı C	Rüzgâr Yükü $W=C \cdot q$			
		$q=0,5$ $\text{kN/m}^2$	$q=0,8$ $\text{kN/m}^2$	$q=1,1$ $\text{kN/m}^2$	$q=1,3$ $\text{kN/m}^2$
1) Düzlemsel yüzeyler ile sınırlanmış yapı elemanları					
1.1) Kapalı yapı elemanları					
1.1.1) Rüzgâr yönüne dikey yüzeylerde					
a) Genel olarak	1,2	0,6	0,96	1,32	1,56
b) Kule tipi yapılarda	<u>1,6</u>	0,8	1,28	1,76	2,08
1.1.2) Rüzgâr yönüne $\alpha$ açısı yapan eğimli yüzeylerde.	$1,2 \text{ Sin } \alpha$	$0,6 \text{ Sin } \alpha$	$0,96 \text{ Sin } \alpha$	$1,32 \text{ Sin } \alpha$	$1,56 \text{ Sin } \alpha$
a) Genel olarak	$1,6 \text{ Sin } \alpha$	$0,8 \text{ Sin } \alpha$	$1,26 \text{ Sin } \alpha$	$1,32 \text{ Sin } \alpha$	$1,56 \text{ Sin } \alpha$
b) Kule tipi yapılarda					

Kule tipi yapılarda Çizelge 2.14'den de görüldüğü gibi C katsayısı 1,6 olarak sabit bir değer verilmiştir.

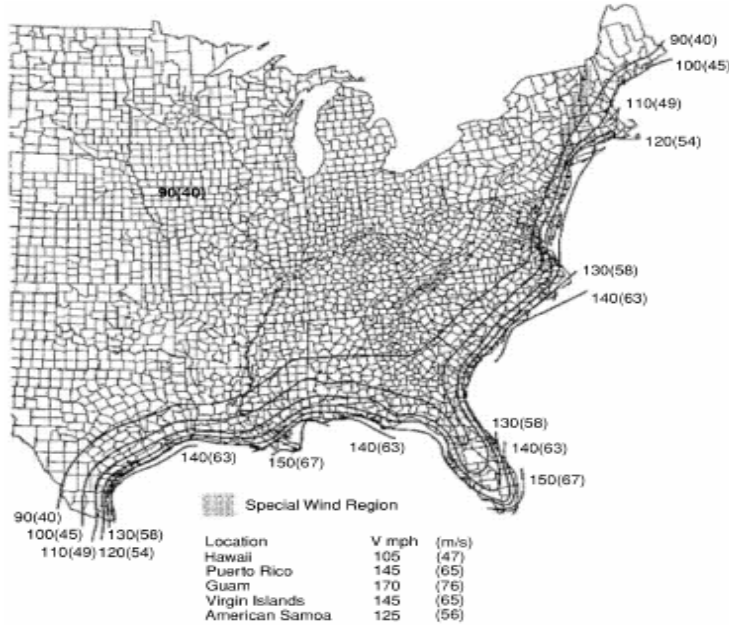
### 2.7.3.3. Amerikan Şartnamesi (ASCE 7-02) Göre Rüzgâr Yüğü Hesabı

ASCE 7-02 göre rüzgâr yüğü hesabında 3 yöntem kullanılmaktadır.

1. Basitleştirilmiş Yöntem
2. Analitik Yöntem
3. Rüzgâr Tüneli Yöntemi

**Basitleştirilmiş Yöntem:** Bu yöntem kat yüksekliğı 18 m'yi geçmeyen, sıra dışı rüzgâr etkilerine maruz kalmayan, basit ve düzenli yapılarda kullanılabilir. (10)

- Amerikan Şartnamesi ASCE 7-02 Hesapta Ayrıntılı Rüzgâr Haritaları Mevcuttur. Bu Haritalar Yardımıyla Rüzgâr Hızı Rahatlıkla Belirlenebilmektedir. (10)



- ASCE 7-02'de Rüzgâr Yüğü Hesabı İçin Yapı Önem Katsayısı Mevcuttur.

**Şekil 2.79.** ASCE 7-02'de Verilen Rüzgâr Hızı Haritası. (10)

**Çizelge 2.15.** ASCE 7-02 Göre Yapı Önem Katsayısı. (10)

Katagori	Kasırğa olmayan eğimli araziler ve Rüzgâr hızı (V=85-100 mph) olan kasırğa olan eğimli arazilerde ve Alaska da	Rüzgâr hızı (V>100 mph) olan kasırğa olan eğimli arazilerde
I	0.87	0.77
II	1.00	1.00
III	1.15	1.15
IV	1.15	1.15

- Yerleşim Yerine ve Bina Yüksekliğine Bağlı Düzeltme Katsayısı Mevcuttur. (10)

**Çizelge 2.16.** Yerleşim Yerine ve Bina Yüksekliğine Bağlı Düzeltme Katsayısı ( $\lambda$ ) (10)

Ana Çatı Yüksekliği (ft)	Yerleşim Yeri		
	B	C	D
15	1.00	1.21	1.47
20	1.00	1.29	1.55
25	1.00	1.35	1.61
30	1.00	1.40	1.66
35	1.05	1.45	1.70
40	1.09	1.49	1.74
45	1.12	1.53	1.78
50	1.16	1.56	1.81
55	1.19	1.59	1.84
60	1.22	1.62	1.87

- ASCE 7-02' de 3 Değişik Arazi Sınıfı Bulunmaktadır. (B,C ve D) (10)



**Şekil 2.80.** B Grubu Yerleşim Yeri. (Yerleşimin yoğun olduğu rüzgârın mevcut yüksek yapılarla engellemelere maruz kaldığı bölgeler)  
(10)

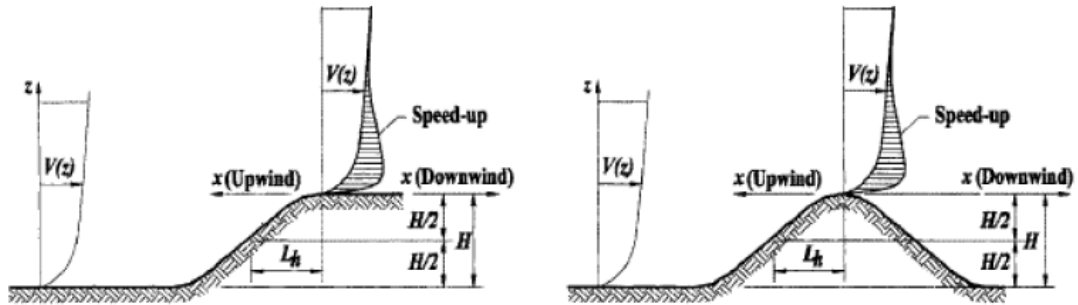


**Şekil 2.81.** C Grubu Yerleşim Yeri. (Arazi yapısı düz, yerleşimin az olduğu rüzgârın engellemelere az da olsa maruz kalabileceği bölgeler)  
(10)



**Şekil 2.82.** D Grubu Yerleşim Yeri. (Deniz kenarında rüzgârın engellemelere maruz kalmadığı bölgeler) (10)

**Analitik Yöntem:** Sıra dışı rüzgâr etkilerine maruz kalmayan düzenli yapılarda kullanılabilir. Bu yöntemde hesaba katılan faktörler şöyledir. Topoğrafik katkı çarpanı, yapının rüzgâra davranış türü, iç ve dış basınç katsayıları, hız basıncı ve yapı önem katsayısıdır. (10)



**Şekil 2.83.** Rüzgâr Yükünde Topoğrafik Katkı Çarpanı. (10)

Topoğrafik katkı çarpanı; yapının bulunduğu yerin konumuna göre  $H/L_h$ ,  $X/L_h$ ,  $Z/L_h$  bağlı olarak K1, K2 ve K3 olarak 3 farklı değer alır. Bu değerler 0.17 ile 1.00 arasında değişir.

**Rüzgâr Tüneli Yöntemi:** Bu yöntem kuvvetli, sıra dışı ve düzensiz rüzgâr etkilerinin bulunduğu veya yapının biçimi düzensiz olduğunda kullanılır. Yapının maketi üzerinde rüzgâr yüklemesi yapılır. Deney sonucunda aerodinamik yük katsayıları belirlenerek oluşabilecek çalkantı ve vorteks akımlarının şiddeti ve etkisi ölçülür. (Şekil 2.84a,b,c). Rüzgâr yüklemesi deneyinde elde edilen katsayılarla analiz modeli yapılır.

Bir yüksek yapı projesinde sayısal olarak rüzgâr tüneli çalışmaları yapıp yapmamada rehber olacak hususlar şunlardır.(4)

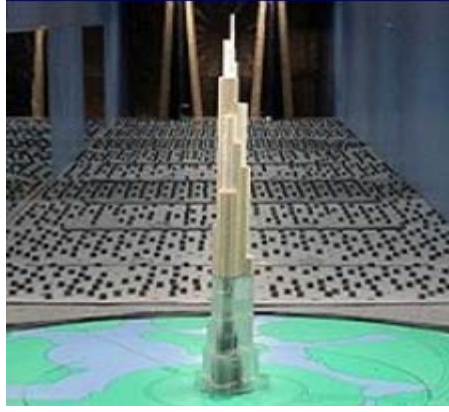
1. Binanın yükseklik-genişlik oranı 5 ten büyüktür. Yani yapı narin bir binadır.
2. Yaklaşık hesaplar girdap kopması olasılığının varlığını göstermektedir.
3. Yapı yoğunluk olarak hafiftir. ( $1.25-1.57 \text{ kN} / \text{m}^3$ ) mertebeleri arasında bir yoğunluğa sahiptir.
4. Yapının rijitliği binanın ortasında özellikle toplanmış olup, burulma bakımından yapıyı esnek yapmaktadır.
5. Hesaplanan titreşim periyodu 5-10 sn arasındaki gibi oldukça uzundur.
6. Bina, hâkim rüzgârın estiği yönde titreşim oluşturacak şekilde hassas bir yerde bulunmaktadır.
7. Binayı kullananların konforu, rahatı en önemli rolü oynamaktadır. Konut ve otellerde bulunanlar, büro tipi yüksek yapılarda bulunanlara göre bina titreşimlerinden çok daha fazla rahatsız olurlar. <sup>(4)</sup>



(a)



(b)



(c)

**Şekil 2.84.** Rüzgâr Tüneli Deneyi <sup>(9)</sup>



### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

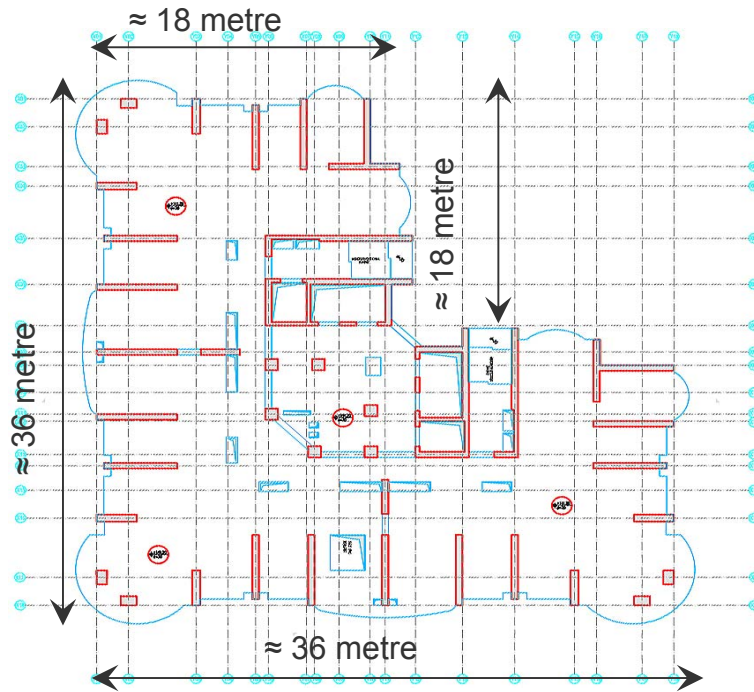
Bu bölümde 210 m uzunluğundaki bir yapıya 1. ve 4. derece deprem durumuna göre mod birleştirme yöntemi kullanılarak deprem yükü verilecek aynı zamanda TS 498 ve ASCE 7-02'ye göre rüzgâr hesabı yapılarak büyük olan rüzgâr yükü statik olarak yapıya etkitilecektir. Böylelikle taşıyıcı sistem tasarımı için yapıda deprem yüklerinin mi yoksa rüzgâr yüklerinin mi daha kritik olduğu belirlenecektir.

#### 3.1.Yükseklığı 210 m Olan Yapı İçin Rüzgâr ve Deprem Yükü Hesabı

Yapı 60 katlı temel üstünden olan yüksekliği 210 metredir. Zemin seviyesinden olan yüksekliği 194 metredir. Taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan yüksek sünek sistem seçilmiştir. Döşeme kalınlıkları 30 cm dir. Yapıda düşey taşıyıcı elemanları perde duvarlar ve kolonlar oluşmaktadır. Kalınlıkları 40 cm'ye varan perde duvarlar bina cephesine dik yönde yerleştirilmiştir. Ebatları 80 cm x 80cm ve 100cm x 65cm olan iki tür kolon ise Şekil 3.1'de verildiği gibi konumlandırılmıştır. Yapının yatay yüklere karşı olan rijitliğini artırmak amacı ile bazı perde duvarlar arasında bağ kirişleri oluşturulmuştur. Yapı zemin sınıfı Z1, zemin hâkim periyotları  $T_a$ : 0.10 (sn),  $T_b$ : 0.30 (sn) dir. Yapı Önem Katsayısı (I) : 1.0, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) : 6 alınmıştır. Zati yükler program tarafından otomatik olarak hesaba katılmaktadır. Kaplama yükü olarak yapıya otopark, sığınak ve su depolarında:  $100 \text{ kg/m}^2$ , tüm konut ve tesisat alanlarında;  $150 \text{ kg/m}^2$ , bahçe katında;  $350 \text{ kg/m}^2$ , asansör makine dairesinde;  $500 \text{ kg/m}^2$  verilmiştir. Hareketli yük olarak yapıya otopark, sığınak, çarşı ve bahçe katı;  $500 \text{ kg/m}^2$ , tüm konut ve tesisat alanları;  $250 \text{ kg/m}^2$ , merdivenler;  $350 \text{ kg/m}^2$ , konut koridorları;  $200 \text{ kg/m}^2$ , terasta kar yükü;  $100 \text{ kg/m}^2$  olarak verilmiştir. Malzeme bilgileri üst yapı betonu C40, donatı çeliği olarak S420 (BÇIII) olarak belirlenmiştir. Yapı analizi sonlu elemanlar yöntemiyle analiz yapan CSI ETABS 9. 6 programı ile yapılmıştır.

### 3.1.1. Deprem Yüklemesi Bilgileri

Yapıya 1. ve 4. Derece deprem bölgesine göre Mod Birleştirme Yöntemi ile deprem yükü verilmiştir. Mod sayısı 42 adet girilmiş ve 32. modda etkin kütle katılım oranı olan %90 sağlanmıştır. Deprem yükü için Azaltılmış İvme Spektrumu Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 'deki gibi programa atanmıştır. Burada Azaltılmış İvme Spektrumlarının ( $S_{(aR)}$ ) hesabı için gerekli Etkin Yer İvmesi Katsayısı ( $A_0$ ) Çizelge 2.6 dan, Spektrum Katsayısı ( $S(T)$ ) Çizelge 2.9 dan,



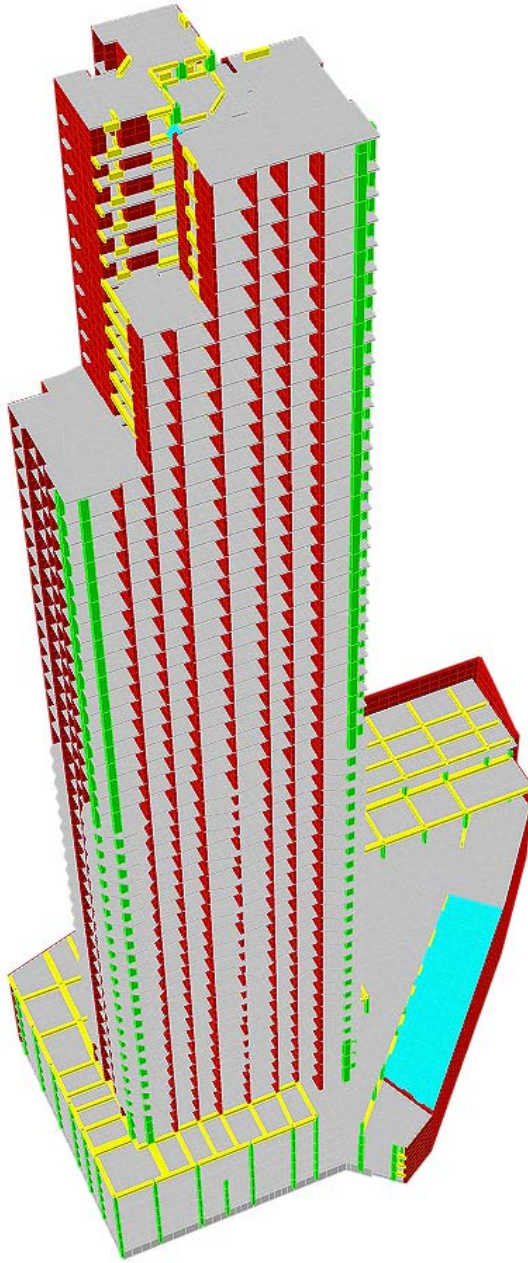
Şekil 3.1. Yapıya Ait Tipik Kat Planı <sup>(11)</sup>

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R$ ) Çizelge 2.10 den, Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ( $R_a$ ) Çizelge 2.11 alınmıştır.

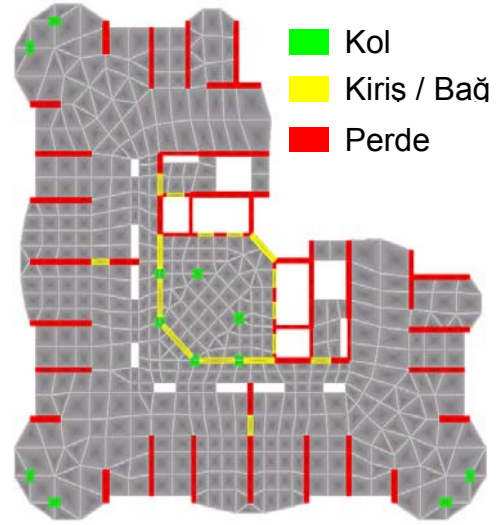
Yapının 1.derece deprem bölgesine göre hesap sonuçları şu şekildedir;

Bazı katlarda, ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi arasında 3 metreye varan farklar oluşmaktadır. Bu yüzden yapının baskın modlarında sırasıyla zayıf eksen doğrultusunda ötelenme periyodu ( $T_1 = 5.06$  sn), ötelenmeli burulma periyodu ( $T_2 = 4.68$  sn) ve  $90^\circ$  burulma periyodu ( $T_3 = 3.47$  sn) olarak olarak

ortaya çıkmıştır. Yapının X yönündeki taban kesme kuvveti 1EX03EY (1Specx+0.3Specy) kombinasyonunda  $V_{tx} = 2097.50$  ton, Y yönündeki taban kesme kuvveti 1EY03EX (1Specy+0.3Specx) kombinasyonunda  $V_{ty} = 2260,44$  ton dur.



**Şekil 3.2.** Üç Boyutlu Etabs Programı Analiz Modeli



**Şekil 3.3.** Etabs Programı Kat Planı Modeli

**Çizelge 3.1.** Analiz Modeline Atanan Azaltılmış İvme Spektrumları (4.Derece)

t	S(t)	R <sub>a</sub> (t)	S <sub>aR</sub> (t)
0	1,000	1,5	0,654
0,05	1,750	3,75	0,458
0,1	2,500	6	0,409
0,3	2,500	6	0,409
0,35	2,210	6	0,361
0,4	1,986	6	0,325
0,45	1,807	6	0,296
0,5	1,661	6	0,272
0,55	1,539	6	0,252
0,6	1,436	6	0,235
0,65	1,347	6	0,220
0,7	1,269	6	0,208
0,75	1,201	6	0,196
0,8	1,141	6	0,187
0,85	1,087	6	0,178
0,9	1,038	6	0,170
0,95	0,994	6	0,163
1	0,954	6	0,156
1,05	0,918	6	0,150
1,1	0,884	6	0,145
1,15	0,853	6	0,140
1,2	0,825	6	0,135
1,25	0,798	6	0,131
1,3	0,774	6	0,126
1,35	0,751	6	0,123
1,4	0,729	6	0,119
1,45	0,709	6	0,116
1,5	0,690	6	0,113
1,55	0,672	6	0,110

t	S(t)	R <sub>a</sub> (t)	S <sub>aR</sub> (t)
1,6	0,655	6	0,107
1,65	0,639	6	0,105
1,7	0,624	6	0,102
1,75	0,610	6	0,100
1,8	0,596	6	0,097
1,85	0,583	6	0,095
1,9	0,571	6	0,093
1,95	0,559	6	0,091
2	0,548	6	0,090
2,05	0,537	6	0,088
2,1	0,527	6	0,086
2,15	0,517	6	0,085
2,2	0,508	6	0,083
2,25	0,499	6	0,082
2,3	0,490	6	0,080
2,35	0,482	6	0,079
2,4	0,474	6	0,077
2,45	0,466	6	0,076
2,5	0,458	6	0,075
2,55	0,451	6	0,074
2,6	0,444	6	0,073
2,65	0,438	6	0,072
2,7	0,431	6	0,070
2,75	0,425	6	0,069
2,8	0,419	6	0,068
2,85	0,413	6	0,067
2,9	0,407	6	0,067
2,95	0,402	6	0,066
3	0,396	6	0,065

Burada spektral ivme katsayısı;  $A(T) = A_0$ . I. S(T) ve Elastik spektral ivme;

$S_{ae}(T) = A(T).g$  dir ve azaltılmış ivme spektrumu  $S_{aR}(T) = A_0. I. S(T).g / R_a$  dır. Bir örnek verilecek olursa;  $S_{aR}(T) = 0.1. 1. 1.9.81 / 1,5 = 0,654$  bulunur.

Yapının 4.derece deprem bölgesine göre hesap sonuçları şu şekildedir;

Bazı katlarda, ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi arasında 3 metreye varan farklar oluşmaktadır. Bu yüzden yapının baskın modlarında sırasıyla zayıf eksen doğrultusunda ötelenme periyodu ( $T1 = 5.06$  sn), ötelenmeli burulma periyodu ( $T2 = 4.68$  sn) ve  $90^\circ$  burulma periyodu ( $T3 = 3.47$  sn) olarak ortaya çıkmıştır. Yapının X yönündeki taban kesme kuvveti 1EX03EY (1Specx+0.3Specy) kombinasyonunda  $V_{tx} = 524,37$  ton, Y yönündeki taban kesme kuvveti 1EX03EY (1Specx+0.3Specy) kombinasyonunda  $V_{ty} = 565,11$  ton dur.

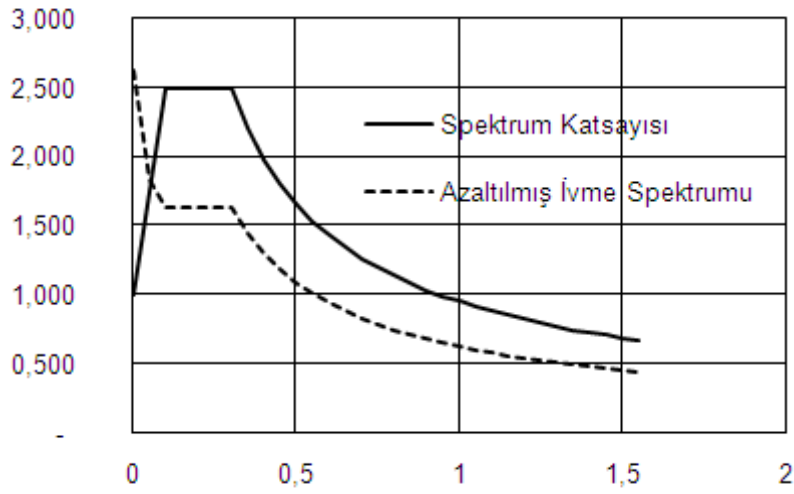
**Çizelge 3.2.** Analiz Modeline Atanan Azaltılmış İvme Spektrumları (1.Derece)

t	S(t)	R <sub>a</sub> (t)	S <sub>aR</sub> (t)
0	1,000	1,5	2,616
0,05	1,750	3,75	1,831
0,1	2,500	6	1,635
0,3	2,500	6	1,635
0,35	2,210	6	1,445
0,4	1,986	6	1,299
0,45	1,807	6	1,182
0,5	1,661	6	1,087
0,55	1,539	6	1,007
0,6	1,436	6	0,939
0,65	1,347	6	0,881
0,7	1,269	6	0,830
0,75	1,201	6	0,786
0,8	1,141	6	0,746
0,85	1,087	6	0,711
0,9	1,038	6	0,679
0,95	0,994	6	0,650
1	0,954	6	0,624
1,05	0,918	6	0,600
1,1	0,884	6	0,578
1,15	0,853	6	0,558
1,2	0,825	6	0,539
1,25	0,798	6	0,522
1,3	0,774	6	0,506
1,35	0,751	6	0,491
1,4	0,729	6	0,477
1,45	0,709	6	0,464
1,5	0,690	6	0,451
1,55	0,672	6	0,439

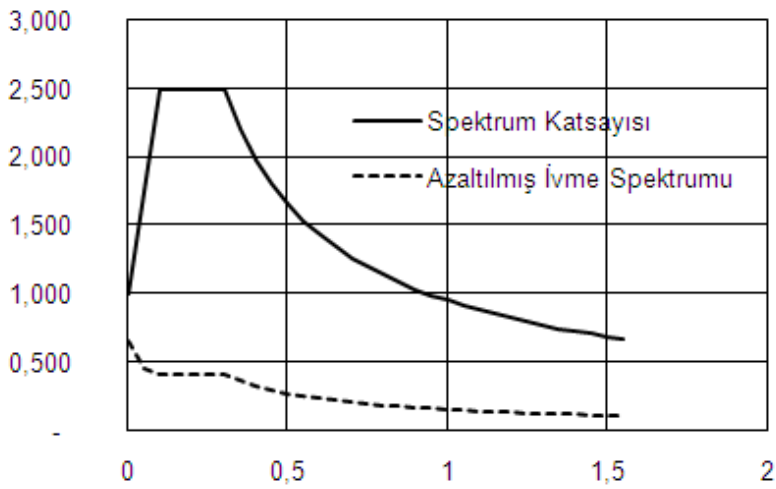
t	S(t)	R <sub>a</sub> (t)	S <sub>aR</sub> (t)
1,6	0,655	6	0,428
1,65	0,639	6	0,418
1,7	0,624	6	0,408
1,75	0,610	6	0,399
1,8	0,596	6	0,390
1,85	0,583	6	0,381
1,9	0,571	6	0,373
1,95	0,559	6	0,366
2	0,548	6	0,358
2,05	0,537	6	0,351
2,1	0,527	6	0,345
2,15	0,517	6	0,338
2,2	0,508	6	0,332
2,25	0,499	6	0,326
2,3	0,490	6	0,321
2,35	0,482	6	0,315
2,4	0,474	6	0,310
2,45	0,466	6	0,305
2,5	0,458	6	0,300
2,55	0,451	6	0,295
2,6	0,444	6	0,291
2,65	0,438	6	0,286
2,7	0,431	6	0,282
2,75	0,425	6	0,278
2,8	0,419	6	0,274
2,85	0,413	6	0,270
2,9	0,407	6	0,266
2,95	0,402	6	0,263
3	0,396	6	0,259

**Çizelge 3.3.** Yapıya Ait İlk 3 Periyodun Etkin Kütle Katılım Oranları (1.Bölge)

Mod	Periyot	UX	UY	UZ	ÖzetUX	ÖzetUY	ÖzetUZ	RX	RY	RZ	ÖzetRX	ÖzetRY	ÖzetRZ
1	5,06	20,70	33,36	0,00	20,70	33,36	0,00	59,80	36,55	4,53	59,80	36,55	4,53
2	4,68	26,60	10,94	0,00	47,30	44,30	0,00	20,17	48,08	11,29	79,96	84,63	15,82
3	3,47	7,47	10,64	0,00	54,77	54,94	0,00	18,75	12,98	17,80	98,71	97,62	33,62



**Şekil 3.4.** Azaltılmış İvme Spektrumu (1.derece)



**Şekil 3.5.** Azaltılmış İvme Spektrumu (4.derece)

**Çizelge 3.4. Yapıya Ait İlk 3 Periyotta Etkin Kütle Katılım Oranları (4.derece)**

Mod	Periyot	UX	UY	UZ	ÖzetUX	ÖzetUY	ÖzetUZ	RX	RY	RZ	ÖzetRX	ÖzetRY	ÖzetRZ
1	5,06	20,70	33,36	0	20,70	33,36	0	59,80	36,55	4,53	59,80	36,55	4,53
2	4,68	26,60	10,94	0	47,30	44,30	0	20,17	48,08	11,29	79,96	84,63	15,82
3	3,47	7,47	10,64	0	54,77	54,94	0	18,75	12,98	17,80	98,71	97,62	33,62

**Çizelge 3.5. Depremden Kaynaklanan Taban Kesme Kuvvetleri (1.derece)**

Kat	Yükleme	Yeri	P	VX	VY	T	MX	MY
BODRUM 5	SPECX45	Bottom	113,52	1576,40	1712,94	34075,60	92979,80	100389,40
BODRUM 5	SPECY45	Bottom	189,42	1289,42	1361,65	56108,84	105980,10	102771,97
BODRUM 5	SPECX	Bottom	179,30	1827,79	927,58	41701,13	66652,58	127473,88
BODRUM 5	SPECY	Bottom	128,33	899,01	1982,16	53566,07	124211,62	66237,20
BODRUM 5	07SPECX45 MAX	Bottom	79,46	1103,48	1199,06	23852,92	65085,86	70272,58
BODRUM 5	07SPECX45 MIN	Bottom	-79,46	1103,48	1199,06	23852,92	-65085,86	-70272,58
BODRUM 5	07SPECY45 MAX	Bottom	132,59	902,59	953,15	39276,19	74186,07	71940,38
BODRUM 5	07SPECY45 MIN	Bottom	-132,59	-902,59	-953,15	39276,19	-74186,07	-71940,38
BODRUM 5	07SPECX03Y45 MAX	Bottom	119,24	1374,26	1485,01	35635,78	87341,68	91854,69
BODRUM 5	07SPECX03Y45 MIN	Bottom	-119,24	-1374,26	-1485,01	35635,78	-87341,68	-91854,69
BODRUM 5	07SPECY03X45 MAX	Bottom	156,43	1233,64	1312,87	46432,07	93711,82	93022,15
BODRUM 5	07SPECY03X45 MIN	Bottom	-156,43	-1233,64	-1312,87	46432,07	-93711,82	-93022,15
BODRUM 5	1EX03EY45 MAX	Bottom	170,34	1963,23	2121,44	50908,25	124773,82	131220,99
BODRUM 5	1EX03EY45 MIN	Bottom	-170,34	-1963,23	-2121,44	50908,25	-124773,82	-131220,99
BODRUM 5	1EY03EX45 MAX	Bottom	223,47	1762,34	1875,53	66331,52	133874,03	132888,78
BODRUM 5	1EY03EX45 MIN	Bottom	-223,47	-1762,34	-1875,53	66331,52	-133874,03	-132888,78
BODRUM 5	07SPECX MAX	Bottom	125,51	1279,46	649,31	29190,79	46656,81	89231,72
BODRUM 5	07SPECX MIN	Bottom	-125,51	-1279,46	-649,31	29190,79	-46656,81	-89231,72
BODRUM 5	07SPECY MAX	Bottom	89,83	629,31	1387,51	37496,25	86948,13	46366,04
BODRUM 5	07SPECY MIN	Bottom	-89,83	-629,31	-1387,51	37496,25	-86948,13	-46366,04
BODRUM 5	07SPECX03Y MAX	Bottom	152,46	1468,25	1065,56	40439,66	72741,25	103141,53
BODRUM 5	07SPECX03Y MIN	Bottom	-152,46	-1468,25	-1065,56	40439,66	-72741,25	-103141,53
BODRUM 5	07SPECY03X MAX	Bottom	127,48	1013,14	1582,31	46253,48	100945,18	73135,55
BODRUM 5	07SPECY03X MIN	Bottom	-127,48	-1013,14	-1582,31	46253,48	-100945,18	-73135,55
BODRUM 5	1EX03EY MAX	Bottom	217,80	2097,50	1522,23	57770,95	103916,07	147345,04
BODRUM 5	1EX03EY MIN	Bottom	-217,80	-2097,50	-1522,23	57770,95	-103916,07	-147345,04
BODRUM 5	03EX1EY MAX	Bottom	182,12	1447,35	2260,44	66076,40	144207,40	104479,36
BODRUM 5	03EX1EY MIN	Bottom	-182,12	-1447,35	-2260,44	66076,40	-144207,40	-104479,36

**Çizelge 3.6. Depremden Kaynaklanan Taban Kesme Kuvvetleri (4.derece)**

Kat	Yükleme	Yeri	P	VX	VY	T	MX	MY
BODRUM 5	SPECX45	Bottom	28,38	394,10	428,24	8518,90	23244,95	25097,35
BODRUM 5	SPECY45	Bottom	47,35	322,36	340,41	14027,21	26495,02	25692,99
BODRUM 5	SPECX	Bottom	44,83	456,95	231,90	10425,28	16663,15	31868,47
BODRUM 5	SPECY	Bottom	32,08	224,75	495,54	13391,52	31052,91	16559,30
BODRUM 5	07SPECX45 MAX	Bottom	19,87	275,87	299,77	5963,23	16271,46	17568,14
BODRUM 5	07SPECX45 MIN	Bottom	-	19,87	-275,87	-299,77	-5963,23	-16271,46
BODRUM 5	07SPECY45 MAX	Bottom	33,15	225,65	238,29	9819,05	18546,52	17985,09
BODRUM 5	07SPECY45 MIN	Bottom	-	33,15	-225,65	-238,29	-9819,05	-18546,52
BODRUM 5	07SPECX03Y45 MAX	Bottom	29,81	343,56	371,25	8908,94	21835,42	22963,67
BODRUM 5	07SPECX03Y45 MIN	Bottom	-	29,81	-343,56	-371,25	-8908,94	-22963,67
BODRUM 5	07SPECY03X45 MAX	Bottom	39,11	308,41	328,22	11608,02	23427,96	23255,54
BODRUM 5	07SPECY03X45 MIN	Bottom	-	39,11	-308,41	-328,22	-23427,96	-23255,54
BODRUM 5	1EX03EY45 MAX	Bottom	42,59	490,81	530,36	12727,06	31193,46	32805,25
BODRUM 5	1EX03EY45 MIN	Bottom	-	42,59	-490,81	-530,36	-31193,46	-32805,25
BODRUM 5	1EY03EX45 MAX	Bottom	55,87	440,59	468,88	16582,88	33468,51	33222,20
BODRUM 5	1EY03EX45 MIN	Bottom	-	55,87	-440,59	-468,88	-33468,51	-33222,20
BODRUM 5	07SPECX MAX	Bottom	31,38	319,86	162,33	7297,70	11664,20	22307,93
BODRUM 5	07SPECX MIN	Bottom	-	31,38	-319,86	-162,33	-11664,20	-22307,93
BODRUM 5	07SPECY MAX	Bottom	22,46	157,33	346,88	9374,06	21737,03	11591,51
BODRUM 5	07SPECY MIN	Bottom	-	22,46	-157,33	-346,88	-21737,03	-11591,51
BODRUM 5	07SPECX03Y MAX	Bottom	38,12	367,06	266,39	10109,92	18185,31	25785,38
BODRUM 5	07SPECX03Y MIN	Bottom	-	38,12	-367,06	-266,39	-18185,31	-25785,38
BODRUM 5	07SPECY03X MAX	Bottom	31,87	253,29	395,58	11563,37	25236,29	18283,89
BODRUM 5	07SPECY03X MIN	Bottom	-	31,87	-253,29	-395,58	-25236,29	-18283,89
BODRUM 5	1EX03EY MAX	Bottom	54,45	524,37	380,56	14442,74	25979,02	36836,26
BODRUM 5	1EX03EY MIN	Bottom	-	54,45	-524,37	-380,56	-25979,02	-36836,26
BODRUM 5	03EX1EY MAX	Bottom	45,53	361,84	565,11	16519,10	36051,85	26119,84
BODRUM 5	03EX1EY MIN	Bottom	-	45,53	-361,84	-565,11	-36051,85	-26119,84

### 3.1.2.Rüzgâr Yüklemesi Bilgileri

Rüzgâr yükleri, analiz programındaki otomatik yükleme modülü kullanılarak yapıya etkilmiştir. Bu modül, Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluğunca yayımlanan ve ASCE 7-02 olarak adlandırılan şartnameyi esas almaktadır.



Yapıdaki en gayrı müsait durumu oluşturan yatay yük değerlerinin tayini için ASCE 7-02'den elde edilen sonuçlar TS498'den elde edilen sonuçlarla mukayese edilmiş ve özellikle 100 metrenin üzerindeki yüksekliklerde ASCE 7-02'deki rüzgâr yüklerinin belirgin şekilde daha elverişsiz sonuç verdiği tespit edilmiştir. Analizlerde bu gayrı müsait durumu ortaya çıkaran yükleme değerleri kullanılmıştır. (Çizelge 3.7, Şekil 3.6, 3.7)

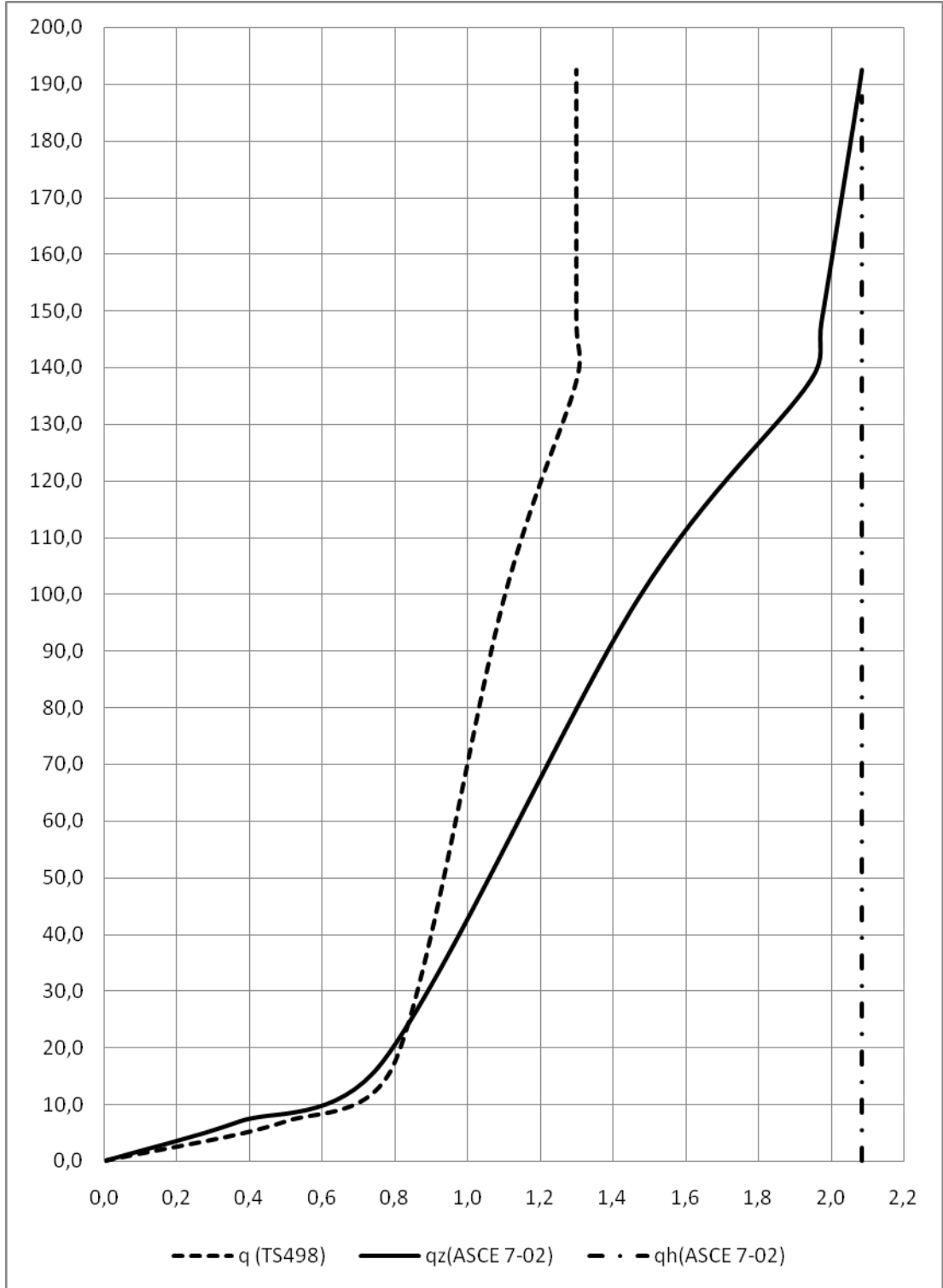
Rüzgâr Yüğü Hesap Yöntemi; Analitik Yöntem, Yapının rüzgâra maruz kalma türü; C tipi, Yapı Önem katsayısı (I); 1.0, Topoğrafik faktör (Kzt); 1.0, Ani şiddet artım faktörü (G<sub>f</sub>); 0.85, Doğrultu katsayısı (K<sub>d</sub>); 0.85, Binanın rüzgârın basınç etkisinde kalantarafındaki yük katsayısı (C<sub>pw</sub>); 0.8, Binanın rüzgârın emme etkisinde kalan tarafındaki yük katsayısı (C<sub>pl</sub>); 0.4 olarak belirlendi. (Çizelge 3.7)

Tasarıma esas rüzgâr yüklerinin hesabı için de ASCE 7-02 Bölüm 6.5.12.2.3

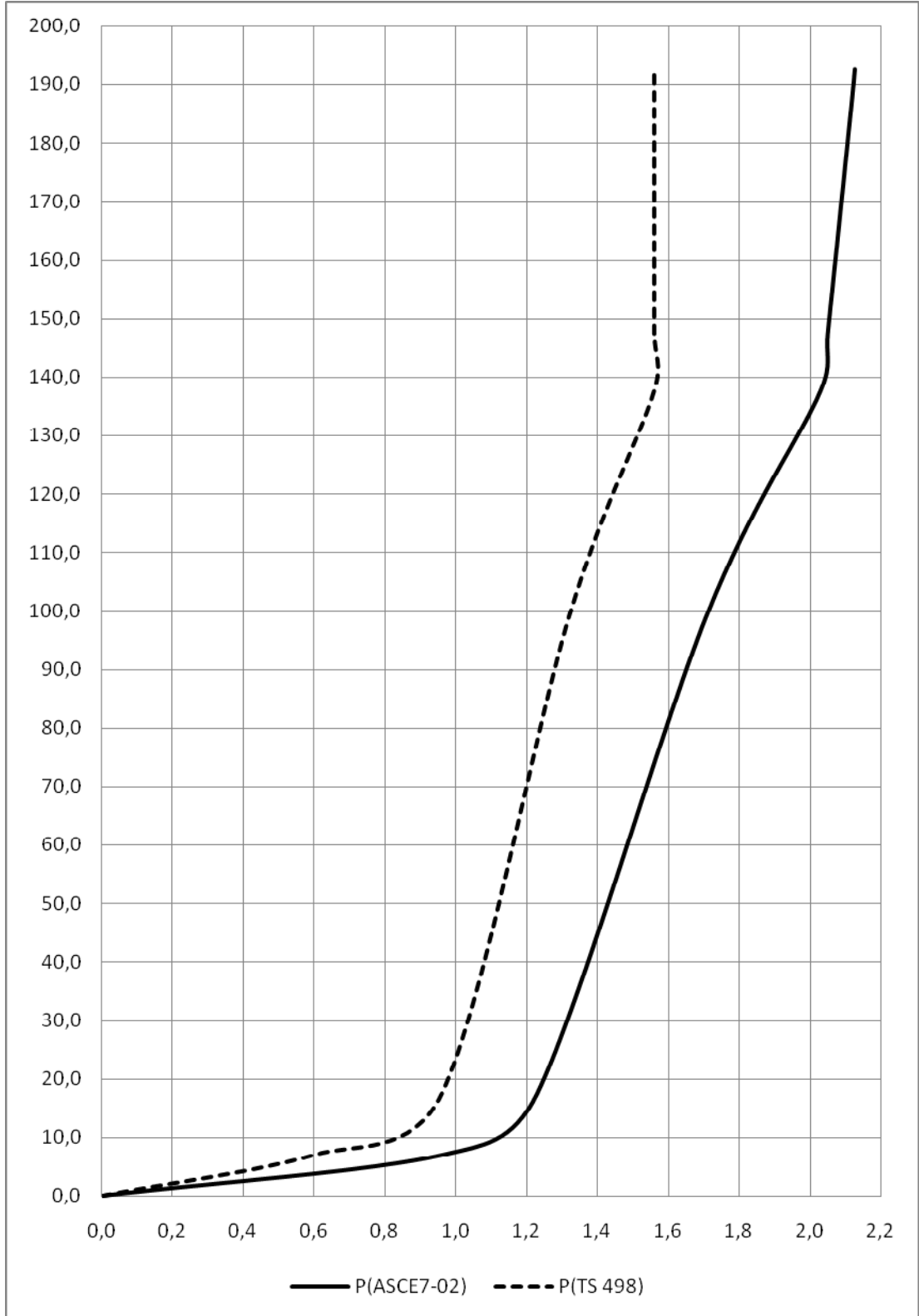
Denklem 6-19 ile verilen;  $P = q \cdot G_f \cdot C_p - q_i(G \cdot C_{pi})$  kullanılmaktadır. Bu formülde  $q = q_z$ ,  $C_{pw} = 0,8$  ve  $C_{pl} = 0,4$  alınarak bina iç basınçlarını temsil eden ikinci terim ihmal edilecektir. Dikkat edilecek bir noktada ASCE 7-02' de binanın rüzgâr altında kalan tarafı için tüm yükseklik boyunca sabit bir  $q_h$  değeri kullanıldığıdır. Oysa TS 498' de bu değer o yükseklikteki  $q$  ya eşittir. Buna göre yukarıdaki formül  $P = G_f \cdot (q_z \cdot C_{pw} + q_h \cdot C_{pl})$  şeklinde düzenlenerek rüzgar yükleri yapı yüksekliğine göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.7.** ASCE 7-02 ve TS 498' e Göre Karşılaştırmalı Rüzgar Yükleri Hesabı

H (m)	q <sub>z</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) (ASCE 7-02)	q <sub>h</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) (ASCE 7-02)	P (kN/m <sup>2</sup> ) (ASCE 7-02) $0,85 \times (0,8 \times q_z + 0,4 \times q_h)$	q (kN/m <sup>2</sup> ) (TS 498)	P (kN/m <sup>2</sup> ) (TS 498) $q \times (0,8 + 0,4)$	% FAZLALIK
0,0	0,000	0,000	0,000	0,0	0,000	0,000
7,0	0,373	2,084	0,962	0,5	0,600	60,367
17,5	0,765	2,084	1,229	0,8	0,960	27,996
99,2	1,468	2,084	1,707	1,1	1,320	29,303
137,7	1,942	2,084	2,029	1,3	1,560	30,072
148,2	1,973	2,084	2,050	1,3	1,560	31,423
187,9	2,073	2,084	2,118	1,3	1,560	35,782
192,6	2,084	2,084	2,126	1,3	1,560	36,262



**Şekil 3.6.** ASCE 7-02 ve TS498'e Göre Rüzgar Basınç ve Emme Kuvvetleri



**Şekil 3.7.** ASCE 7-02 ve TS498'e Göre Yapıya Etkiyen Bileşke Rüzgar Kuvvetleri

Rüzgâr yüklemesi sonucunda yapının X yönündeki rüzgârdan kaynaklanan taban kesme kuvveti  $V_{tx} = 658,97$  ton, Y yönündeki rüzgârdan kaynaklanan taban kesme kuvveti  $V_{ty} = 701,36$  ton dur. (Çizelge 3.7)

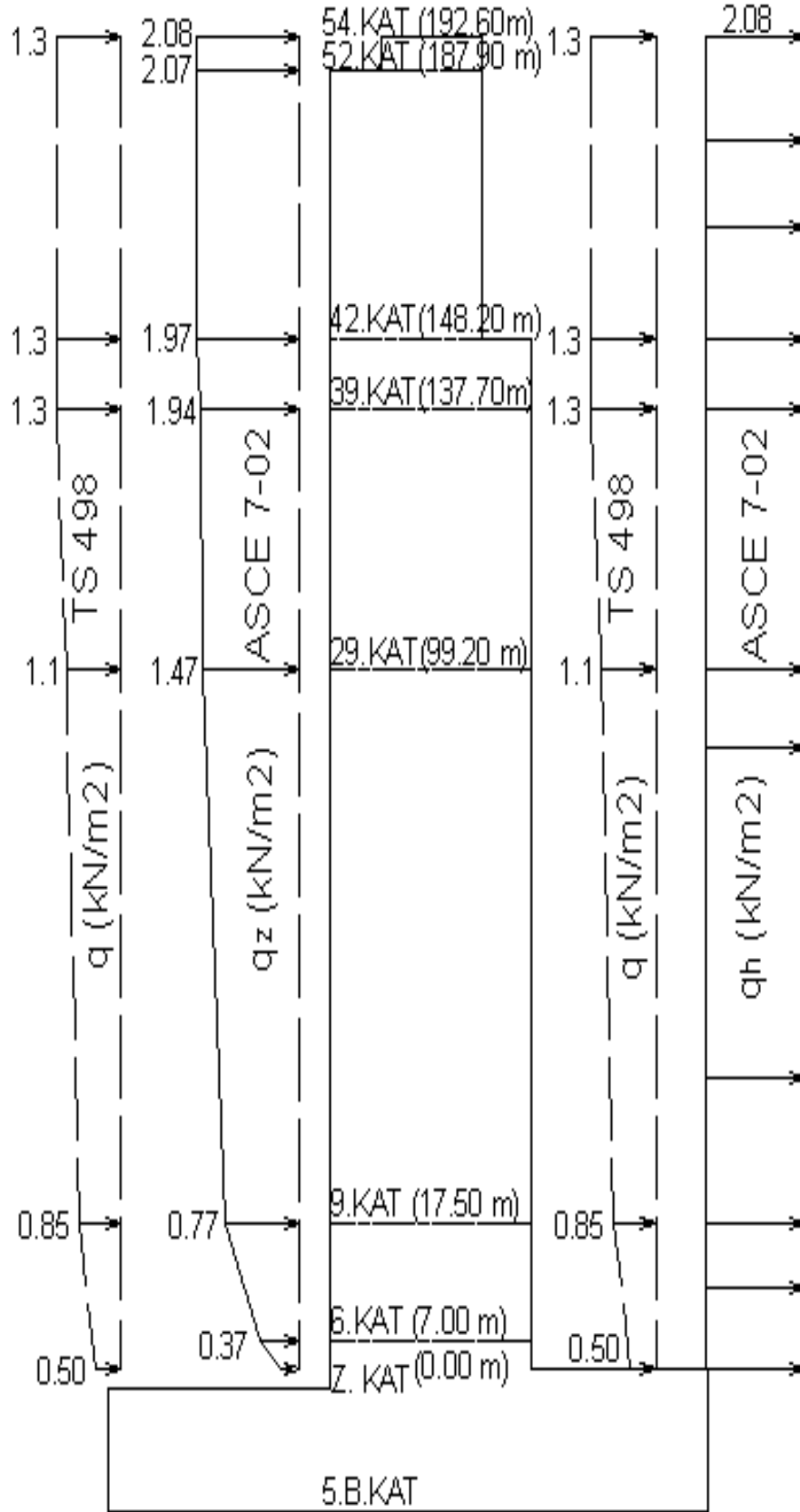
**Çizelge 3.8.** Rüzgar Yüklerine Göre Maksimum Taban Kesme Kuvvetleri

Kat	Yükleme	Y.Yeri	P	VX	VY	T	MX	MY
BODRUM 5	R1	Bottom	-65,13	-95,57	-701,36	-13563,53	95436,48	-1081,76
BODRUM 5	R2	Bottom	-87,12	658,97	76,51	-10823,08	-2421,36	98444,61
BODRUM 5	R3	Bottom	-34,14	-77,45	-524,74	-13194,07	71965,53	-1061,80
BODRUM 5	R4	Bottom	-63,55	-65,91	-527,30	-7151,22	71189,20	-560,84
BODRUM 5	R5	Bottom	-49,86	488,22	58,70	-11255,15	-1407,14	73570,92
BODRUM 5	R6	Bottom	-80,82	500,24	56,07	-4979,47	-2224,91	74096,00
BODRUM 5	R7	Bottom	16,49	-565,91	-583,40	-2055,33	73393,39	74644,78
BODRUM 5	R8	Bottom	114,19	422,55	-468,64	-18289,96	69761,34	73022,14
BODRUM 5	R9	Bottom	35,04	-433,65	-436,00	-6166,43	55692,29	56418,46
BODRUM 5	R10	Bottom	-10,28	-415,96	-439,89	3080,69	54495,65	55648,24
BODRUM 5	R11	Bottom	-63,06	308,35	-349,85	-18353,22	52965,83	54430,18
BODRUM 5	R12	Bottom	108,38	326,04	-353,74	-9106,10	51769,19	55200,40

Yapının ASCE 7-02'ye göre rüzgâr hesabından elde edilen taban kesme kuvvetleri, 4. derece deprem durumuna göre elde edilen taban kesme kuvvetlerinden yüksektir. (Çizelge 3.9)

**Çizelge 3.9.** Rüzgar ve Depremden Kaynaklanan Yapı Taban Kesme Kuvvetleri

Yükleme	$V_{tx}$ (ton)	$V_{ty}$ (ton)
Rüzgâr	658,97	701,36
Deprem (4.derece)	524,37	565,11
Deprem (1.derece)	2097,50	2260,44



**Şekil 3.8.** ASCE 7-02' ye Göre Hesaplanmış Rüzgâr Basınç ve Emme Kuvvetleri

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek yapıların taşıyıcı sistem tasarımlarında yapının yüksekliği ile rüzgâr ve deprem yükleri arttıkça, yatay yükleri taşıyacak özel taşıyıcı sistemler seçmek gerekir. Bu sistemlerden rijit çerçeve sistemi orta yükseklikteki ve alçak yapılar için uygundur. Yapı yüksekliği arttıkça rijit çerçeve, çapraz bağlarla güçlendirilmeli veya rijit çekirdeklerle desteklenmelidir. En uygun yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinden biri yanal kuvvetleri karşılamada yapının çevresinden de yararlanan tüp sistemler olarak belirlenmiştir.

Yatay yüklere karşı güvenli taşıyıcı sistem tasarımı için temel ilkeler dayanım, rijitlik ve sünekliktir. Yüksek yapı taşıyıcı sistemleri bu 3 ilkeyi de sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Yapı elemanları; yatay ve düşey yüklerden kaynaklanan yükleri güvenle taşıyacak kadar dayanıklı olmalıdır. Yapı yatay yüklerde; ikinci mertebe momentlerini mümkün olduğunca küçültmek için, sıkça oluşan depremlerde yapısal olmayan hasarları minimum seviyede tutmak için, aletlerin çalışmasına engel olmamak ve insanları rahatsız etmemek için yeterince rijit yapılmalıdır. Ayrıca yapı; oluşacak deprem enerjisinin bir kısmını plastik aşamada tüketmek ve taşıyıcı sistem maliyetini düşürmek için yeterince sünek olmalıdır.

Rüzgâr yükleri bazı durumlarda yüksek yapılarda taşıyıcı sistem tasarımı için daha kritik olabilmektedir. Bu etki TS498'de özet halinde anlatılmıştır. Bu nedenle daha detaylı olan ASCE 7-02 incelenmiştir. ASCE 7-02 bölge faktörü, topoğrafik faktörler, bina önem katsayısı gibi faktörleri de içerdiği için ve TS 498'de verilen rüzgâr hızları meteoroloji kayıtları ile çeliştiği için ASCE 7-02 daha gerçekçi bulunmuştur. İki standart arasındaki farkı göstermek için 210 m yüksekliğinde bir yapı üzerinde rüzgâr yükleri hem TS 498'e göre hem de ASCE 7-02'ye göre hesaplanmıştır. ASCE 7-02'ye göre hesaplanan rüzgâr yükleri TS498'den hesaplanan rüzgâr yüklerinden büyük çıktığı için (Çizelge 3.7) ASCE 7-02'den bulunan rüzgâr yükleri yapıya statik olarak etkilmiştir. Ayrıca yapıya 1. ve 4. dereceye göre mod birleştirme yöntemi kullanılarak deprem yükü de verilmiştir. Sonuçta rüzgâr yükleri 4.derece deprem yüklemesinden oluşan taban kesme kuvvetlerinden büyük çıkmıştır.

Bundan dolayı yapının taşıyıcı sistemi rüzgâr yüklerine göre boyutlandırılmalıdır.

Yüksek yapıların tasarımında kritik olabilecek rüzgâr yüklerinin TS 498'deki haliyle yapılara etkilmesi tasarımda yanlış sonuçlar vereceğinden TS 498 değiştirilmelidir.

## KAYNAKLAR

1. Engel, H., Structure System, London Life Books Ltd., Germany, 1967
2. Taranath, B. S., Steel, Concrete and Composite Design of Tall Buildings, McGraw-Hill Book Co. Inc. , New York, 1997
3. Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2007
4. Hasgür, Z., Gündüz, A. N., Betonarme Çok Katlı Yapılar, Beta Basım Yayım Dağıtım A.ş, İstanbul, 1996
5. Ersoy, U., Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Evrim Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 1987
6. Celep, Z., Kumbasar , N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 2000
7. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık Bakanlığı, Ankara, 2007
8. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü TS 498, Ankara, 1997
9. Tunç, G., TS 498 Rüzgar, Kar ve Buz Yüklerinin Yeniden Tanımlanması İnşaat Mühendisleri Odası Semineri, Ankara, 2009
10. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, U.S.A, 2006
11. Tunç, G., Özuygur, A.R., Yurtsever, M., Anthill Bomonti Rezidans ve Çarşı Sosyal /Tesis Projesi İnşaat Mühendisleri Odası Semineri, Ankara, 2009