

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREME DAYANIKLI YÜKSEK YAPI TASARIMI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Ayşen GÜMRÜKÇÜ**

Anabilim Dalı : MİMARLIK

Program : BİNA BİLGİSİ

AĞUSTOS 2002

DEPREME DAYANIKLI YÜKSEK YAPI TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
M. Ar. Ayşen GÜMRÜKÇÜ
502991083

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih: 22 Ağustos 2002

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Salih Mete ÜNÜGÜR
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Kaya ÖZGEN
Prof. Dr. Aydan ÖZGEN (MS Ü)

AĞUSTOS 2002

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenim süresince bilgi ve yardımlarını esirgemeyerek bana her türlü desteği veren Sayın Prof. Dr. S. Mete ÜNÜGÜR'e teşekkür ve saygılarımı sunarım

Tez konumu hazırlama nedenim oldukları için tüm deprem mağdurlarına, tüm hayatımda olduğu gibi bu dönemde de desteklerini benden asla esirgemeyen canıma aileme babama Jeoloji Yük. Müh. Ali GÜMRÜKÇÜ'ye, anneme Vildan GÜMRÜKÇÜ'ye, abilerime Asil S. ve S. Alper GÜMRÜKÇÜ'ye, dayıma Cahit SEYMEN'e, tez konumun belirlenmesinde en büyük etken olan ablam Yeşim ve eniştem Coşkun CEBEÇİ'ye, tüm dostlarıma ve Kubilay Han ÇETİNER'e sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım

Ayrıca, tez dönemim süresince her türlü eleştiri ve katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Kaya ÖZGEN'e ve Dr. Nader HEYAT'a da teşekkürü bir borç bilirim

Mayıs 2002

Ayşen GÜMRÜKÇÜ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. TEZ KONUSUNUN TANITILMASI	3
2.1. Yeryüzü Ve Deprem	3
2.1.1. Yerkürenin İç Yapısı	4
2.1.2. Yeryüzünün Hareketi Ve Kıtaların Oluşumu	5
2.1.3. Konveksiyon Akımı Ve Levha Tektoniği Kuramı	7
2.2. Deprem Tanımı Ve Oluşumu	9
2.2.1. Deprem Nedir?	10
2.2.2. Deprem Tarihçesi	10
2.2.3. Deprem Oluş Nedenleri	11
2.2.4. Deprem Türleri	13
2.2.5. Fay Oluşumu	13
2.2.6. Dalga Hareketi Ve Dalga Türleri	14
2.2.7. Deprem Büyüklüğü Ve Şiddeti	16
2.2.8. Deprem Parametreleri	20
2.2.9. Depremlerin Sınıflandırılması	22
2.2.10. Dünya Deprem Bölgeleri	23
2.2.11. Türkiye'nin Deprem Bölgeleri	24
2.2.12. Dünya Tarihindeki Önemli Depremler	27
2.2.13. Türkiye Tarihindeki Önemli Depremler	28
2.3. Deprem Ve Jeoloji	29
2.3.1. Zemin Grupları Ve Yerel Zemin Türleri	29
2.3.2. Zemin Koşullarının Yapı Üzerindeki Etkisi	32
2.3.3. Deprem Sırasında Ortaya Çıkan Zemin Farklılaşmaları	33
2.3.4. Deprem Hasarları Ve Zemin Koşullarının Etkisi	34
2.4. Deprem ve Yapı	38
2.4.1. Deprem Yapıya Etkisi	38

2.4.2	Deprem Hareketleri Karşısında Yapıda Hasara Neden Olabilecek Etkenler	38
2.4.3	Deprem Esnasında Yapı Bileşenlerinin Davranışları	39
2.4.3.1	Üst Kabuk	39
2.4.3.2	Alt Kabuk (Temel)	39
2.4.3.3	Ayırıcılar (İç Duvar Ve Döşeme)	39
2.4.3.4	Taşıyıcı Sistemler (Kolon, Kriş, Perde)	40
2.5	Bölüm Sonuçları	40
3.	DEPREME DAYANIKLI YÜKSEK YAPI TASARIMI	42
3.1.	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım Kavramı	42
3.1.1.	Depreme Dayanıklı Yapıların ve Yapı Malzemelerinin Genel Özellikleri	44
3.1.1.1.	Betonarme Taşıyıcı Sistemin Depreme Karşı Davranışı	45
3.1.1.2.	Çelik Taşıyıcı Sistemin Depreme Karşı Davranışı	47
3.1.1.3.	Karın (Kompozit) Taşıyıcı Sistemin Depreme Karşı Davranışı	48
3.1.2.	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım İlkeleri	48
3.1.2.1.	Geometri	49
3.1.2.2.	Süreklilik	50
3.1.2.3.	Rijitlik	50
3.1.2.4.	Göçme Modu	51
3.1.2.5.	Süneklik ve Dayanım	51
3.1.3.	Yapı Periyotları İle Zemin Periyotları Arasındaki İlişki	54
3.1.4.	Deprem Yönetmelikleri	55
3.1.4.1.	1998 ABYYHY’de Tanımlanan Düzensizlikler	56
3.1.4.2.	Eurocode 8’de Bulunan Düzensizlikler	65
3.1.5.	Mimarî Tasarımda Karşılaşılan Diğer Düzensizlik Durumları	65
3.1.6.	Yüksek Yapıların Depremlerde Davranışları ve Gördükleri Hasarlar	72
3.1.7.	Hasar Türleri	75
3.1.8.	Çok Katlı Yapıların Depremlerde Gözlenmiş Davranışlarına Örnekler	76
3.2.	Yüksek Yapı Kavramı	81
3.2.1.	Yüksek Yapı Tanımı	81
3.2.2.	Yüksek Yapıların Ortaya Çıkma Nedenleri	83
3.2.3.	Dünyada Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi	85
3.2.4.	Türkiye’de Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi	88
3.2.5.	Yüksek Yapıya Etkiyen Yükler	90
3.2.6.	Çok Katlı Yapıların Dinamik Özellikleri	93
3.2.7.	Taşıyıcı Sistemin Düzenlenmesinde Dikkat Edilecek Noktalar	98
3.2.8.	Depreme Dayanıklı Yüksek Yapı Tasarımında Kullanılan Taşıyıcı Sistemler	99

3.2.8.1. Çerçevelerden Oluşan Sistemler	101
3.2.8.2. Perde veya Kütü Sistemler	103
3.2.8.3. Perde ve Çerçevelerden Oluşan Sistemler	104
3.2.8.4. Tüp Sistemler	105
3.2.8.5. Tüp, Perde ve Çerçevelerden Oluşan Sistemler	109
3.2.9. Depreme Dayanıklı Yüksek Yapı Tasarımında Taşıyıcı Oluşturan Elemanların Etkisi	111
3.3. Yüksek Yapı Örnekleri	114
3.3.1. Metrocity Aışveriş Merkezi Ofis ve Konut Blokları Kompleksi (A, B, C Blokları)	114
3.3.2. Beybi Gz Plaza	116
3.3.3. Gz 2000 Plaza	118
3.3.4. Hürmanlı Gz Plaza	119
3.3.5. İz Plaza	121
3.3.6. İçerenköy’de Bir Konut	122
3.4. Bölüm Sonuçları	123
4. YÜKSEK YAPILARDA DEPREME KARŞI KULLANILAN KONTROL SİSTEMLERİ	130
4.1. Pasif Kontrol Sistemleri	131
4.1.1. Sismik İzolasyon(Taban İzolasyonu)	131
4.1.2. Lastik Takozlar	135
4.2. Aktif Kontrol Sistemleri	139
4.2.1. AVS(Active Variable Stiffness) Sistem	143
4.2.2. AMD (Active Mass Damper) Sistem	144
4.2.3. TAD (Tuned Active Damper)	146
4.3. Karma İzolasyon Sistemleri	148
4.4. Bölüm Sonuçları	149
5. SONUÇLAR	152
KAYNAKLAR	156
EKLER	163
ÖZGEÇMİŞ	183

KISALTMALAR

MM	: Mercalli Cetveli
MSK	: Medvedev- Sponheur- Karnik
ML	: Lokal Magnitud
KAF	: Kuzey Anadolu Fay Kuşağı
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
EC	: Eurocode
TAD	: Tuned Active Damper
ADAS	: Added Damping And Stiffness
AMD	: Active Mass Damper(Driver)
AVS	: Active Variable Stiffness
TMD	: Tuned Mass Damper
APTMD	: Active Passive Composite Tuned Mass Damper

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Depremlerin Şiddet ve Magnitüdlерini n Değerleri Arasındaki Dönüşümleri	19
Tablo 2.2 Fay Yakınındaki Kuvvetli Sarsıntıının Süresi	21
Tablo 2.3 Magnitüdlерine Göre 1 Yılda Tüm Dünyada Yıllık Ortalama Deprem Sayısı	23
Tablo 2.4 İl-İlçe ve Bucakların Deprem Bölgelerine Göre Dağılım Yüzdeleri	26
Tablo 2.5 Yüzde ve Yüzölçümü Olarak Türkiye'deki Deprem Bölgeleri Dağılımı	27
Tablo 2.6 Dünya Tarihinde Meydana Gelen 10 Büyük Deprem	28
Tablo 2.7 Dünya Tarihinde Ölü Sayısının En Çok Olduğu Depremler	28
Tablo 2.8 Zemin Grupları	30
Tablo 2.9 Yerel Zemin Sınıfları	30
Tablo 2.10 Yer İvmesi Katsayısı Değerleri	31
Tablo 2.11 Bina nın Kullanım Amacı ve Bina Önem Katsayısı	31
Tablo 2.12 Spektrum Karakteristik Periyotları	32
Tablo 3.1 Planda Düzensiz Olan Yapılar	57
Tablo 3.2 Düşeyde Düzensiz Olan Yapılar	57
Tablo 3.3 Eurocode8 Bölüm 1'in Düzeni	65
Tablo 3.4 Yüksek Yapıların Bölgelere Göre Son 10 Yıldaki Gelişimleri	86
Tablo 3.5 Yüksek Yapıların Bölgelere Göre Dağılımları (Tüm Kriterlere Göre)	86
Tablo 3.6 İstatistiklere Geçmiş Olan İstanbul'daki Yüksek Yapıların Rakamsal Olarak Karşılığı	89
Tablo 3.7 Dünyada Yüksek Yapı İnşasında En Aktif Olan Şehirler	90
Tablo 3.8 Kat Adedine Göre Yapısal Sistem Davranışları	100
Tablo 4.1 Yapısal Korunma Sistemleri	130
Tablo B.1 MSK Şiddet Cetveli	164
Tablo B.2 Türkiye'de Meydana Gelen Tarihsel Depremler (20. yy.'dan Önce)	167
Tablo B.3 Türkiye'de Meydana Gelen Şiddetli Depremler (20. yy.'dan sonra)	170
Tablo C.1 Dünyanın En Yüksek İlk 100 Yapısı	175

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2 1	4
Şekil 2 2	5
Şekil 2 3	6
Şekil 2 4	6
Şekil 2 5	7
Şekil 2 6	8
Şekil 2 7	8
Şekil 2 8	9
Şekil 2 9	10
Şekil 2 10	12
Şekil 2 11	14
Şekil 2 12	15
Şekil 2 13	15
Şekil 2 14	16
Şekil 2 15	16
Şekil 2 16	20
Şekil 2 17	22
Şekil 2 18	22
Şekil 2 19	25
Şekil 2 20	26
Şekil 2 21	35
Şekil 2 22	36
Şekil 2 23	37
Şekil 3 1	45
Şekil 3 2	48
Şekil 3 3	50
Şekil 3 4	56
Şekil 3 5	58
Şekil 3 6	59
Şekil 3 7	59
Şekil 3 8	60
Şekil 3 9	61
Şekil 3 10	62
Şekil 3 11	62
Şekil 3 12	63
Şekil 3 13	64

Şekil 3.14	Birbirine Komşu İki Bina Arasında Yeterli Mesafe Brakılması	67
Şekil 3.15	Planda Griinti ve Çıkıntıların Bulunması Hali	68
Şekil 3.16	Yapı Temelinin Eğimli Araziye Oturtulması	68
Şekil 3.17	Kısa Kolon Uygulanması Sonucunda Meydana Gelen Hasar	69
Şekil 3.18	Yapıda Kısa Kolon Oluşumunu Önleyecek Düzenlemeler	69
Şekil 3.19	Çerçeve Sistemde Süreksizlik ve Kriş Bağlantısız Kolon Hali	70
Şekil 3.20	Yapılarda Karşılaşılan Düşeyde Düzensizlik Durumu	71
Şekil 3.21	Zayıf Kolon Güçlü Kriş Oluşumunun Neden Olduğu Kat Göçmeleri	71
Şekil 3.22	Zayıf Kat Düzensizliği Sonucu Yapıda Meydana Gelen Hasarlar	72
Şekil 3.23	Banco Central De Nicaragua Binası Tipik Kat Planı	79
Şekil 3.24	Banco Central De Nicaragua ve Banco De America Binaları	80
Şekil 3.25	Babil Kulesi'ne Ait Bir Betonarme	84
Şekil 3.26	Pirelli Binası'nın Planı ve Kesiti	85
Şekil 3.27	Pirelli Binası, İtalya, 1978	86
Şekil 3.28	Bank of China, Hong- Kong	87
Şekil 3.29	Petronas Kuleleri'nin Çeşitli Üstleri	88
Şekil 3.30	Petronas Kuleleri'nin Plan Şeması	88
Şekil 3.31	Türkiye'nin En Yüksek Yapısı olan İş Bankası Kulesi	89
Şekil 3.32	Yatay Yük Etkisindeki Çok Katlı Yapıda Kritik Yükler ve Deformasyonlar	91
Şekil 3.33	Çok Katlı Yapıların Yapım Sistemleri ve Kat Sayıları	100
Şekil 3.34	Çerçeve Yapı Sistemleri	101
Şekil 3.35	Yüksek Katlı Yapılarda Kullanılan Tipik Betonarme Perde-Çerçeve Sistemler	104
Şekil 3.36	Sears Tower, 1974	106
Şekil 3.37	Bugüne Kadar Uygulanmış Tüp Sistem Örnekleri ve Uygulanılan Yapılar	107
Şekil 3.38	John Hancock Building Binası	108
Şekil 3.39	Başlıklı ve Kuşaklı (Izgara) Sistemin Yatay Yük Altında Davranışı	109
Şekil 3.40	Makaslar ve Çerçevelerin Birlikte Çalıştığı Sistem ve Sistemin Yatay Yük Altındaki Salınımı	110
Şekil 3.41	Dış Cephe Kullanan Delikli Tuğladan Yapılmış Ağır Kaplamalar	112
Şekil 3.42	Merdivenlerde Deprem Hasarını Önleyecek Ayrıntılar	113
Şekil 3.43	Metrocity Aışveriş Merkezi, Ofis ve Konut Blokları Kompleksi	114
Şekil 3.44	Beybi Gz Plaza'nın Görünüşü	117
Şekil 3.45	Beybi Gz Plaza'nın Bir Başka Görünüşü	118
Şekil 3.46	Gz 2000 Plaza'nın Griş Cephesi	118
Şekil 3.47	Harmanlı Gz Plaza'nın Maket Fotoğrafı	119
Şekil 3.48	Harmanlı Gz Plaza	120
Şekil 3.49	İz Plaza Şantiye Alanı	121
Şekil 3.50	İçerenköy'deki Konuttan Bir Cephe	122
Şekil 4.1	Viskoelastik Sönümleyici Sistem Detayı	132
Şekil 4.2	Viskoelastik Sönümleyici Detayı	132
Şekil 4.3	Viskoelastik Sönümleyici	133
Şekil 4.4	Pall Tarafından Önerilen Sürtünmeli Sönümleyiciler	133
Şekil 4.5	Sürtünmeli Sönümleyici- Friction Pendulum Bearings	134
Şekil 4.6	Sistemin Temel Prensipleri olan Sarkaç Hareketi	134

Şekil 4 7	Honeycomb Sönümlerici lerinin Plan Ve Kesitteki Yerleşim Yerleri	136
Şekil 4 8	Noktasal Sönümlerici ler	137
Şekil 4 9	Honeycomb Sönümlerici Kullanılan ve Kullanılan Yapılar Arasındaki Fark	137
Şekil 4 10	Noktasal Sönümlerici nin Plan ve Cephe deki Uygulanması	137
Şekil 4 11	Ayarlı Kütle Sönümlerici	138
Şekil 4 12	ADAS Aracının Düzlem Çerçevesindeki Yerleşimi	139
Şekil 4 13	ADAS Aracının Detayları	139
Şekil 4 14	Aktif Kontrol Sisteminin Çalışma Şeması	141
Şekil 4 15	Açık Çevrim Kontrol Sistemi	142
Şekil 4 16	Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi	142
Şekil 4 17	AMD Sisteminin Çalışır Durumdaki Konumu	144
Şekil 4 18	Kyobashi-Seiwa Binası'nda AMD Sisteminin Uygulanması	145
Şekil 4 19	Kyobashi-Seiwa Binası	145
Şekil 4 20	TAD Sisteminin Çalışma Prensipleri	146
Şekil 4 21	World Trade Center Binası, Japonya	147
Şekil 4 22	World Trade Center Binasında Kullanılan Kontrol Sistemlerinden Bir Tanesi	147

SEMBOL LİSTESİ

m	: Hacı m Dal gal arı ndan Hesaplanan Magnit üd
M	: Yüzey Dal gal arı ndan Hesaplanan Magnit üd
F	: Yapı ya Etki yen Yat ay Sis mİK Kuvvet
M	: Yapı nın Kütlesi
a	: Yer çekimi İvnesi
$A(T)$	: Spektral İvne Katsayısı
A_0	: Etkin Yer İvnesi Katsayısı
I	: Bina Önem Katsayısı
$S(T)$	: Spektrum Katsayısı
T	: Bina Doğal Periyodu
T_A, T_B	: Spektrum Karakteristik Periyotları
η_{bi}	: Burulma Düzensizliği Katsayısı
η_{ci}	: Dayanım Düzensizliği Katsayısı
η_{ki}	: Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
E	: Deprem Yükleri
G	: Sabit Yükler
Q	: Hareketli Yükler
P	: Etkiyen Düzgün Yayılı Yük
I_a	: Açıklık
$\alpha(t)$	: Deprem Yer İvnesinin Deprem Süresi İçinde Değişimi
n	: Yapının Kütlesi
F	: Yapılara Zaman İçinde Etkiyen Değişen Dinamik Kuvvetler
R	: Süneklik Oranı
C	: Yapı ya Etkiyen Toplam Deprem Kuvvetini Belirleyen Deprem Katsayısı
W	: Yapının Ağırlığı
E_0	: Yapının Taban Kesme Kuvveti
S	: Yapının Dinamik Katsayısı (Spektrum Katsayısı)
K	: Yapı Tipi Katsayısı
T_0	: Zeminin Hacı m Periyodu
H	: Binanın Üst Seviyesinden Ölçülen Yüksekliği (m)
D	: Yatay Yükler Doğrultusunda Bina Genişliği (m)
N	: Bina Temel Seviyesi Üstündeki Kat Adedi
n	: Hareketli Yük Azaltma Katsayısı
e	: Eksantrisite

DEPREME DAYANIKLI YÜKSEK YAPI TASARIMI

ÖZET

Dünyanın önemli deprem kuşaklarından bir tanesi üzerinde yer almakta olan Türkiye, deprem hareketini ve depremin etkilerini tekrarlı olarak yaşamaktadır. Bölgenin, neredeyse tamamının deprem riski altında bulunmasına bağlı olarak “deprem etkilerine karşı güvenli yapı tasarımı” kavramı gün geçtikçe gerekliliği yadsınamaz bir hal almakta ve bu gerekliliğin getirdiği sınırlamaların uygulamaları da çoğalmakta, araştırma kapsamı genişletilmektedir. Geçmişte yaşanmış acı tecrübelerini ışığında konunun önemi ve sürekliliği tartışılmalı bir hal almıştır. En son yaşanan depremler sonucunda yapıların projelendirilme safhasından itibaren “depreme dayanıklı yapı tasarımı” esasları ışığında inşa edilmesini zorunluluğu artık kabul edilen bir gerçektir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı konusu inşaat mühendisliği ile paralel yürütülmesi gereken ayrı bir tasarımdır. Mimari tasarım aşamasında form olarak düzgün tasarlanmış bir yapının hesapları ne kadar kolay ve gerçekçi yapılacaksa; yapının inşası ve depreme karşı göstereceği mukavemet de bir o kadar kolay ve gerçekçi bir biçimde sağlanabilir. Bu nedenle; mimari tasarımın depreme dayanıklı yapı inşası sırasındaki önemi ve etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada amaç; deprem olgusunun tanıtılması ve özellikleri ile incelenmesi, depremin yapıya etkisi depreme dayanıklı yapı tasarımının yüksek yapılardaki uygulamalarının araştırılması ve depreme dayanıklı yapı tasarımı da kullanılan kontrol sistemlerinin araştırılıp aktarılmasıdır. Bu bilgiler ışığında çalışma; giriş, tez konusunun tanıtılması, depreme dayanıklı yüksek yapı kavramı, deprem etkilerinden yapıyı korumak için kullanılan kontrol sistemleri ve sonuç kısımları olmak üzere beş bölüme ayrılarak incelenmiştir.

İlkin bölümde; çalışmaya giriş olması açısından konunun genel anlamda tanıtımı yapılmakta ve çalışmanın amacı açıklanmaktadır.

İkinci bölümde; deprem olgusu, depremin oluş nedenleri ve türleri ile deprem parametreleri açıklanmakta, Dünya ve Türkiye tarihinde meydana gelmiş olan depremlerden örnekler verilmekte ve depremin yer, yapı ve yapı bileşenlerine etkisi açıklanmaktadır.

Üçüncü bölümde; depreme dayanıklı yapı tasarımı açıklanarak, depreme dayanıklı yapı tasarımı hakkında dikkat edilmesi gereken ilkelere ve tasarım aşamasında mimarın yeri anlatılmakta, bu ilkelere yüksek yapılara yansıması örneklerle aktarılmaktadır.

Dördüncü bölümde; yüksek yapılarda depreme dayanıklılık amacı ile kullanılmakta olan kontrol sistemleri tanıtılmaktadır.

Sonuç bölümünde ise; depremin yapılara etkileri ve depreme dayanıklı yüksek yapı tasarımının gerekliliği açıklanmakta, deprem etkilerinden yapıyı korumak için kullanılan kontrol sistemlerinin mimari tasarıma etkileri ve tez konusu sonucunda elde edilen bilgiler irdelenmektedir.

EARTHQUAKE RESISTANT HIGH RISE BUILDING DESIGN

SUMMARY

Turkey that is located on an important earthquake zones of the world live earthquakes and its effects repeatedly. Depending upon the earthquake risk of almost the whole area the concept of “secure construction design against earthquake effects” becomes a requirement cannot be denied day by day and the applications of the limitations brought by this requirement is getting increased, research range is getting expanded. Under the light of bitter experiences lived in the past, the importance and the continuity of the matter is getting indisputable.

As the consequences of the earthquakes lived recently, it is a fact accepted the obligation of construction of the buildings under the principles of “earthquake resistant building design” starting from the planning stage.

The matter of earthquake resistant building design is a separate science that should be managed parallel to civil engineering. The easiest and most realistic calculations to be done of the building designed properly as a form at the architectural design stage, the easiest and most realistic resistance to prove can be provided against the earthquakes. For this reason, it must be noticed the importance and effect of the architectural design during earthquake resistant building construction.

The objective of this study is to introduce the earthquake fact and examine its features, effects of the earthquakes on the buildings, research the applications on high-rise buildings of earthquake resistant building design and transfer researching effects of the control system used to protect the building from the earthquakes' effects.

Under the lights of these information the study has been examined under five chapters; introduction, introducing the subject of the thesis, concept of earthquake resistant high-rise building, control systems and conclusion.

At the first chapter, as it is an introduction to the study it is therefore explained the subject in general and the objective of the study.

At the second chapter, the earthquake fact, reasons and the sorts of earthquakes and earthquake parameters are explained. Some earthquake examples are given occurred in the world and in Turkey and the effect of the earthquake on building and its components.

At the third chapter, explaining the earthquake resistant building design it has been described the principles required to notice on the earthquake resistant building design and architect's place at the design stage. It has been narrated the reflection of those principles to high-rise buildings.

At the fourth chapter, control systems are introduced used for the purposes of endurance to earthquakes on high-rise buildings.

At the conclusion chapter, it has been explained the effects of the earthquakes to the buildings and the necessity of the earthquake resistant high-rise building design and effects of the control system to the architectural design used to protect the building from the earthquakes' effects and the information obtained at the conclusion of the thesis are examined.

1. GİRİŞ

Meydana gelen birçok büyük depremin sonucunda, yağmur, kar, fırtına, heyelan gibi sadece bir doğa olayı olan “deprem olgusu” günümüzde felaket sözcüğü ile kaynaşır duruma getirilmiş ve aslında gerçekle pek de alakası olmayan yeni bir kavram türetilmiştir; “depremfelaketi”. Hiçbir doğa olayı aslında bir felaket olmadığı gibi, hareketinin doğasına uygun olmayan hiçbir düzenlemeye de uyum sağlamazlar.

Deprem dünyanın varlığını sürdürebilmesi için ne kadar gerekli bir hareketlilikse, insanlığının depremin dolaylı etkilerinden diğer doğa olaylarında yaptığı gibi önlenmesi de bir o kadar gereklidir. Günümüzde depremin değil, insanlığının kendi inşa ettiği yanlış yapıların ve yerleşim alanlarının felaketi meydana getirdiği anlaşılmaktadır.

Büyüyen dünya nüfusuna paralel olarak; gerekli yaşama ve çalışma birimlerini karşılamak, buna paralel olarak azalma gösteren arazi stokunu mümkün olduğunca en az harcama ile kullanmak gerekliliği; tüm dünyada düşey yapılaşmanın gelişmesine neden olmuştur. Tüm bu etkenlerin yanında; dünya üzerinde nüfus yoğunluğunun fazla olduğu, sürekli bir gelişme ve büyüme halinde olan Tokyo, Kobe, California, İstanbul gibi metropoliten kentlerin çoğunun deprem bölgeleri üzerinde kurulmuş olmaları, hem bu bölgelerdeki yerleşim ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için; hem de, depremde can kaybı olmasını için uygun tasarımı arayışları içinde olmasını gerekli kılmaktadır.

Bu tezin amacı; depreme dayanıklı yüksek yapı kavramını tanımlamak, mimari açıdan yapı m kriterlerini belirlemek ve mimari tasarımın konu üzerindeki etkisini irdelenektir. Bu bağlamda çalışmanın ilk bölümünde deprem olgusu tanıtılacak; daha sonra asıl konu olan depreme dayanım ve yüksek yapı ilişkisi ve yapı m kriterleri irdelenecek, mevcut yüksek yapılarda deprem öncesi yada sonrası için, depremetkilerine karşı alınabilecek tedbirler tanıtılacaktır. Tüm çalışmanın sonunda, bugüne kadar yapılmış deney ve gözlemlerden yararlanılarak depreme dayanıklı

yüksek yapı tasarımı kriterlerinin belirlenmesi ve mimari tasarımın bu kriterleri belirlemedeki öneminin vurgulanması amaçlanmaktadır.

2. TEZ KONUSUNUN TANITILMASI

Deprem dayanıklı yüksek yapı tasarımı, fay hatlarının aktif olduğu bölgelerde bulunan büyük yerleşim merkezleri var olduğu sürece geçerliliğini koruyacak ve ihtiyaç duyulacak bir kavramdır.

Deprem dayanıklı yapı inşa etmek, depremin dolaylı etkilerinden sakınabilmek için en geçerli yoldur. Bina'nın tasarımı aşamasından itibaren, belirli kriterler göz ardı edilmeksizin oluşturulması dayanıklı yapı kavramının ilk amacıdır. Henüz tasarımı aşamasındayken uygulanması gereken standartların olduğu bir projenin hesapları daha kolay ve sağlıklı elde edilecek ve inşası daha bilinçli gerçekleşecektir.

Mimarın görevi tasarlama gücünü kullanarak, belirli sınırlar içerisinde maksimum estetiği ve kullanımı sağlamak olacaktır. Mimar projenin tasarımı aşamasından sonra, tasarımı müdahale gerektirecek eksik ve hatalardan kaçınmalıdır. Bu nedenle mimarın projeyi oluştururken gözden kaçırması gereken unsur, projenin uygulanabilirliği ve gerçekçiliğidir. Özellikle büyük projelerde dikkatlice hazırlanmış tasarımı aşamalarıyla hem estetik hem dayanıklı hem de kalıcı binalar inşa edebilmek öncelikle mimarın yeteneğine bağlıdır.

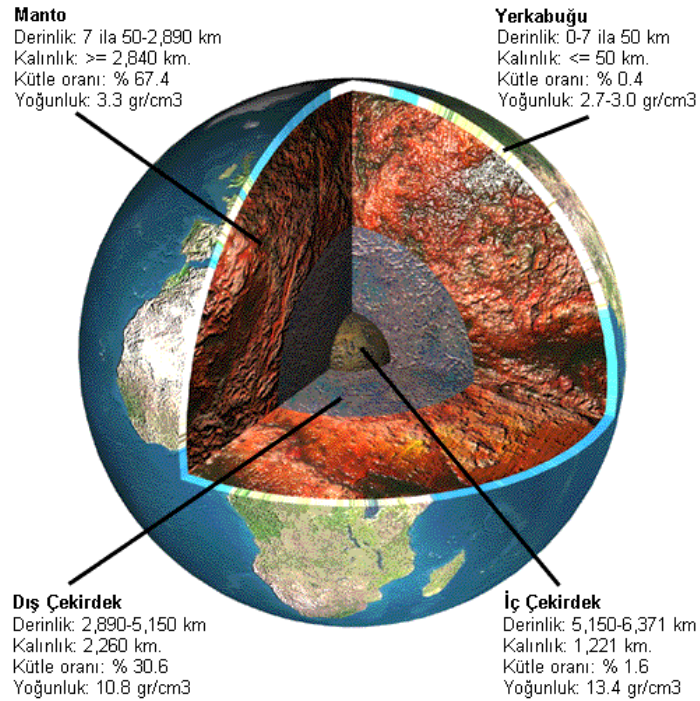
2.1. Yeryüzü ve Deprem

Yerküre ile ilgili bilgiler, en üst katmanları haricinde dolaylı olarak elde edilmiştir. Yerkürenin iç yapısı ile ilgili çoğu bilgiye jeolojik çalışmalar sonucunda sismik dalgaların incelenmesi ile ulaşılmıştır. Depremler sonucu oluşan doğal yada bilim adamlarının oluşturduğu yapay sismik dalgaların, yeryüzünün farklı yapılarıdaki katmanlarında farklı davrandıkları bugünkü bilimin verileri arasında yer almaktadır. Sismik dalgaların, bu farklı yapıdaki katmanlarda meydana getirdikleri farklı yayılma biçimi ve hızları sayesinde yerkürenin iç yapısı hakkında bilgiler elde edilmiştir.

2.1.1. Yerkürenin İç Yapısı

Yerkürenin üçte biri karalar, üçte ikisi de sularla kaplıdır ve atmosfer denilen bir gaz bulutu ile çevrilidir[1]. Yarıçapı 6371 kilometre olan yerküre, dıştan içe doğru Yerkabuğu, Manto ve Çekirdek olarak adlandırılan katmanlardan oluşmuştur. Manto, Üst ve Alt Manto olarak adlandırılan iki bölüme, Çekirdek de Dış ve İç Çekirdek olarak adlandırılan iki alt katmana ayrılmaktadır. Yerin en dışındaki katman olan Yerkabuğu, karalarda ortalama 30-50 kilometre kalınlığındayken, okyanusların altında kalınlığı 7 kilometreye kadar değişmektedir. Litosfer denilen taşküre, Yerkabuğu ve Manto'nun en üst kısmında yer almaktadır. Astenosfer ise Üst Manto'nun eriyik halde bulunan kısmıdır. Magma olarak bilinen bu eriyik volkanlar vasıtasıyla yeryüzüne ulaşmaktadır[2]. Şekil 2.1'de yeryüzünün katmanları görülmektedir.

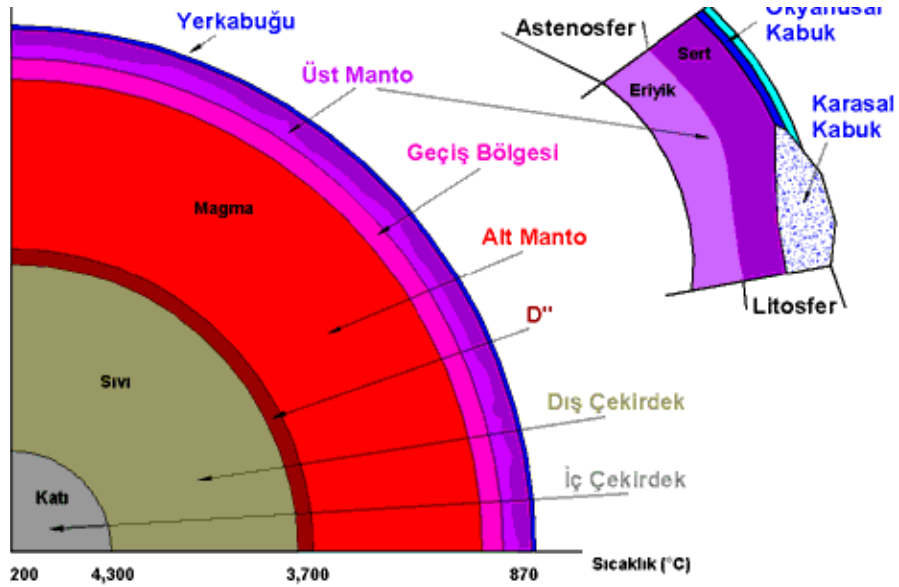
Manto (Mantle), kısmen ya da tümüyle eriyik durumdaki kayalardan oluşan magmayı içermektedir. Demir, magnezyum silikon ve oksijence zengin mineralleri içeren Manto'dan sonra, bu katmanların en incesi olan ve okyanuslar ile kıtaları barındıran Yerkabuğu (Crust) yer almaktadır[3].



Şekil 2.1 Yeryüzünün Katmanları [3]

Yeryüzü'nün üst katmanları fiziksel olarak ayrı bir biçimde sınıflandırılabilir. Litosfer (taşküre) adı verilen sert katman, Yerkabuğu ve Üst Manto'nun en üst kısmından oluşmaktadır. Astenosfer ise Litosfer'in altındaki, plastik özellikleri gösteren akışkan Üst Manto bölümüdür. Litosfer tek parça değildir ve okyanuslar ile kıtaların sınırlarından farklı şekildeki levhalara bölünmüştür. [3]

Şekil 2.2'de yerküre katmanlarının kalınlık ve sıcaklıklarının ortalama değerleri verilmiştir. Bu değerler, okyanus dipleri ve kutuplarda farklı değerlerde bulunmaktadır. Örneğin yerin en dıştaki katmanı olan yerkabuğunun kalınlığı, karalarda ortalama 30-50 km iken, bu kalınlık okyanusların altında 7 km'ye kadar düşmektedir. [1]



Şekil 2.2 Yerküre Katmanlarının Ortalama Kalınlık ve Sıcaklık Değerleri [3]

Manto katmanı, Yeryüzündeki hareketliliğin en büyük nedeni dir. Manto'nun alt bölümlerinin üst bölümlerine göre çok daha sıcak olması nedeniyle burada oluşan konveksiyonda, daha sıcak olan magma yükselir, soğur, katılaşır ve Üst Manto'daki daha soğuk kayaların batmasına neden olur. Batan bu kayalar, tekrar ısınır, erir, yükselir ve Litosferdeki levhaların hareket etmesine neden olur. [3]

2.1.2 Yeryüzünün Hareketi ve Kıtaların Oluşumu

Yeryüzü varlığını sürdürebilmek için sürekli hareket halindedir. Bu hareketlilik yeryüzünün oluşumundan beri şekil değiştirmesine neden olmaktadır. Bu

hareketliliğın kaynağı olan depremler, yeryüzünün varlığını devalettirebilmesi için kaçınılmaz eylemlerdir.

Tezcan, danışmanlığında Boduroğlu, Ergünay ve Gündoğdu'nun hazırladıkları dünyanın geçmişten günümüze kadar devam eden şekil değişim evrelerinin anlatıldığı makaleye göre[4]; Alfred Wegener (Alman Meteoroloji Uzmanı, 1880-1930) ilk kez, 1915 yılında yayınladığı bir makalede yeryüzündeki kara parçalarının yaklaşık 500 milyon yıl önce birbirlerine yapışık olarak, Pangea ismi ile Güney Kutbulunda bulunduğunu yayınlamıştır.[4] Şekil 2.3'de Antik süper kıta Pangea ve onun çevresinde görülen ve bugünün Pasifik Okyanusunu oluşturacak olan Pantalassa Okyanusu yer almaktadır. Zamanla kıtalar yavaş yavaş birbirlerinden ayrılıp saat akrebinin tersi yönünde ve kuzeye doğru hareket etmeye başlamışlardır.



Şekil 2.3 Antik Süper Kıta Pangea ve Pantalassa Okyanusu[4]

Süperkıta Pangea'nın bundan 225 milyon yıl önce parçalanmaya başladığı ve bu hareketliliğin sonucunda kıtaların günümüzdeki şekli aldığı düşünülmektedir [3]. Kuzeyde Laurasia ismiyle bugünkü Kuzey Amerika ve Avrasya Kıtaları'nı barındıran büyük bir kıta, güneyde ise Gondwana ismiyle ve bugünkü Güney Amerika ile Afrika Kıtaları'nı içine alan ayrı bir kıta mevcuttur. Bu iki antik büyük kıtanın yanı sıra, Hindistan Yarımadası, Avusturya, Madagaskar ve Antartika Kıtası da yaklaşık 240 milyon yıl önce yavaş yavaş şekillenmeye başlamıştır[4]. Şekil 2.4'de kıtaların birbirlerinden ayrılmasının gittikçe belirgin hale geldiği görülmektedir.



Şekil 2.4 Kıtaların Birbirlerinden Ayrılımları[4]

Kuzey ve Güney Amerika Kıtaları yavaş yavaş diğerlerinden ayrılmış ve böylece Atlantik Okyanusu oluşmuştur. Kıtalar böylece bugünkü mevcut konumlarına gelmişlerdir[4]. Şekil 2.5’de kıtaların bugünkü konumu gösterilmektedir.

Yeryüzünün sürekli şekil değiştirdiği ve yüzyıllar sonra bugünkü konumunda olmayacağı da bilinmektedir.

Örneğin, bundan 100 milyon yıl sonra Afrika ve Arabistan levhalarının hareketleri nedeni ile, Akdeniz, Karadeniz ve Ege Denizi tarihe karışacak, Afrika ve Anadolu Avrupa ile birleşecektir[4].



Şekil 2.5 Kıtaların Bugünkü Konumu[4]

Yeryüzünün bu değişimi geçirebilmesi için olması gereken depremler de kaçınılmazı inkansız doğa olaylarıdır.

2.1.3 Konveksiyon Akımı ve Levha Tektoniği Kuramı

Derinliği arttıkça sıcaklığı artan yer içinde büyük boyutlu ısı akımları vardır. Bu akımlar yeryüzünü kaplayan katı ve kırılabilir kabuk parçalarının, levhaların hareket etmesine neden olmaktadır. Bu hareket sırasında levhalar birbirlerinden koparlar, birbirlerini sıyrılırlar veya birbirlerine çarparlar[4]. “Levha Tektoniği” kuramı, Yerkürenin çok sayıda levha ile bölündüğünü ve bunların manto içindeki konveksiyon akımlarının sonucu olarak birbirlerine göre hareket ettiklerini varsaymaktadır. [5]

Bu hareketlilik sonucunda levha sınırlarında uzun süre sonra yeni okyanuslar, yeni kıtalar, sıradağlar ve yanardağlar oluşur. Depremler ve volkanik aktivitelerin nedeni de tüm bu hareketliliktir.[3]

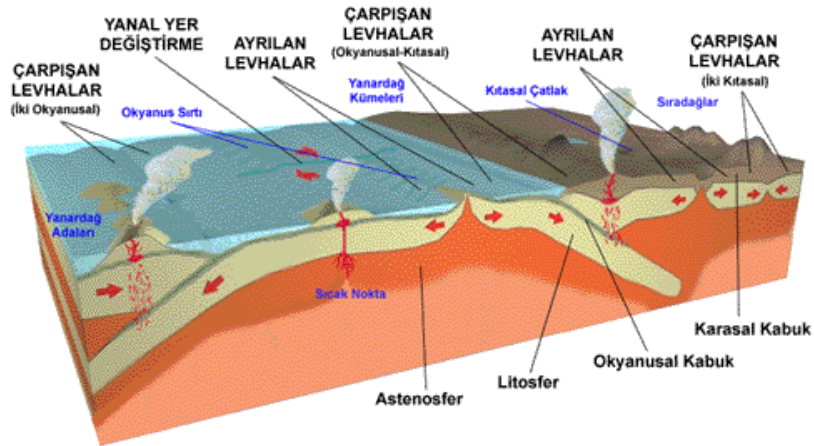
Günümüzde Litosferde 1 ila 15 cm/yıl arasında hızlarla hareket halinde bulunan 7 ana ve birçok küçük levha vardır[3]. Bunlar; Pasifik, Afrika, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Avrasya, Hindistan, Arabistan, Karayip, Kokos, Antartika, Nazka, Fiji ve

Filipin levhalarıdır[4]. Bunların hareketleri çok karmaşıktır ve bu hareketlerin niteliğini tam olarak saptanması, depremlerin zamanının önceden kestirilmesi için gereklidir.[3]



Şekil 2.6 Levha Sınırları

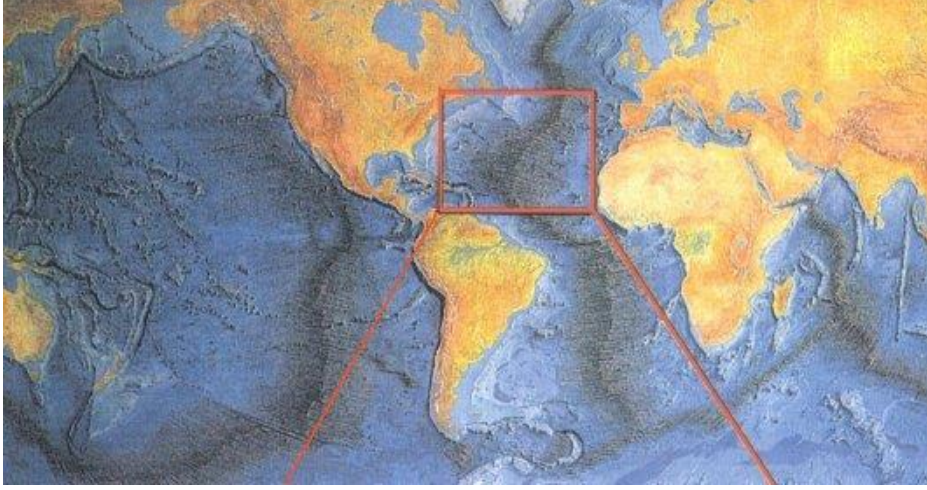
Şekil 2.6'da gösterilen levha sınırları Karayip, Kokos, Pasifik, Naska, Skotya, Filipin levhaları daha çok okyanussal; diğer levhalar hem okyanussal hem kıtasal kabuk taşımaaktadırlar[3]. Depremler bu levha sınırlarında olmakta ve kabuklar bu sınırlardan kopmaktadır.



Şekil 2.7 Levha Türleri

Şekil 2.7'de Okyanus ortasındaki açılma nedeniyle Okyanus Plâğı'nın kıta levhası altına dalış hareketi ve levha türleri görülmektedir.

Levhaların birbirleriyle etkileşimleri bakımından levha hareketleri 3 ana başlık altında toplanabilir. Bunlar; uzaklaşma-ayrılma, yaklaşma-çarpışma, yanıl yer değıştirme-sıyrılma şeklinde isimlendirilmektedirler. Bu hareket türleri, aynı zamanda bu sınırlarda oluşan depremlerin ve volkanik faaliyetlerin niteliklerini de belirlerler. Kuzey Anadolu fay hattı ve Kaliforniya'daki San Andreas fay hattında değıştirme-sıyrılma levha hareketi gözlenmektedir[3].



Şekil 2.8 Okyanus Ortası Sıra Dağlarının Oluşumu[4]

Levhaların birbirlerinden uzaklaştığı sınırlarda magmadan çıkan malzeme sınırın her iki yanındaki levhaları yana doğru iter. Bu olay genellikle Şekil 2.8'deki gibi okyanus ortası sıradağlarda oluşur. Levhalar, sınırları boyunca birbirlerine göre sürekli hareket halindedirler. Levhaların birbirlerine göre yer değıştirme değerleri yılda birkaç santimetreden onlarca santimetreye kadar olabilir[4].

Levha tektoniğinin keşfi ve gelişmesinde depremler önemli rol oynamıştır. Depremler levhaların birbirlerine dokunduğu sınırda oluşan deformasyon ve kırıklarla ilişkili olduğundan deprem odakları levha sınırlarını belirler[4]. Levha hareketlerinin incelenmesi ile bugün, büyük depremlerin %90'ının nerelerde olacağı bilinmektedir.

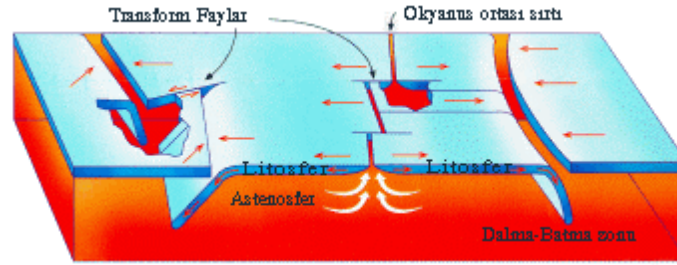
2.2 Depremin Tanımı ve Oluşumu

Yerküre varlığını sürdürürken içerisinde biriken enerjiyi bir şekilde tüketmek ve yenilenmek zorundadır. Yerkürenin içerisinde bulunan çeşitli gazlar, belirli aralıklarla yoğunlaşarak atmosfere yayılmak için yol ararlar. Yerküre bu

hareketliliğini yaşarken bazı tabiat olayları ile içerisindeki bu enerjiyi açığa çıkarmak zorundadır. Bu doğa olaylarından bir tanesi de depremdir.

2.2.1. Deprem Nedir?

Deprem yerkabuğunda fay olarak adlandırılan kırıklar üzerinde biriken elastik deformasyon enerjisinin ani den boşalması sonucunda meydana gelen yer değiştirme hareketinin neden olduğu karışık elastik dalga hareketleridir[2,6]. Daha basit bir ifadeyle deprem yerkabuğu içindeki kırıklar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına denir[2]. Şekil 2.9'da Yerkabuğu hareketinin şematik anlatımı gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Yerkabuğu Hareketinin Şematik Anlatımı [2]

2.2.2. Deprem'in Tarihi

Depremlere ait ilktarihi kayıtlar M.Ö. 1800'lü yıllara kadar uzanmaktadır. Dünyada kaydı bulunmuş olan ilk yapı denetimi kanunları, Hamurabi Kanunları'dır.

Aristo, depremkonusuyla uğraşarak sınıflandırmasını yapmış, sonraları M.S. 132'de Çin'de deprem hareketini gösterebilen ilk araç yapılmıştır. 1760'larda İngiltere'de John Michell, depremlerin yerkabuğundaki dalga hareketleri ile ilgili olduğunu belirten bildiriler yayınlamıştır. 1840 yılında Von Hoff bütün dünyayı kapsam içine alan bir depremkataloğu yayınlamıştır.

1857'de oluşan Büyük Napoli Depremi'nden sonra İrlandalı Mühendis Robert Mallet depremlerle ilgili ilk arazi çalışmasını yapmış, bölgenin hasarla ilgili haritasını hazırlamış ve depremleri kaydedebilmek için yeryüzünde bazı gözlemvlerinin kurulmasını önermiştir.

Daha sonraları İtalya'da Palmieri, yakın ve uzak depremleri kaydedebilen bir araç(sismograf) yapmıştır.

1897’de Qdham deprem kaydedicilerden alınan kayıtlar üzerindeki gözlemlere dayanarak P ve S dalgalarının matematiksel kuramlarını denklemlerle ortaya koymuştur.

1880’de Japonya’da bir depremden sonra ilk olarak “Japonya Sismoloji Derneği” kurulmuş ve araç yapımına başlanmıştır.

Böylelikle, 19’ncu yüzyılın ikinci yarısından sonra depremler bilimsel yönden incelenmeye başlanmıştır[5].

Günümüzde depremler halen çeşitli kuramlarla açıklanmaya çalışılmaktadır. Depremler geçmişte olduğu gibi bugün de olmakta ve gelecekte de olmaya devam edecektir. Gelişen teknoloji ile birlikte artık büyük depremlerin yerleri tespit edilebilmekte, zamanlarını tahmin edilmesi çalışmaları sürdürülmektedir. Ne zaman ve nerede olacağı bilinen bir deprem zarardan ziyade bilime katkıda bulunacaktır. Amaç depremleri değil, depremin etkisi ile binaların yıkılmasını engelleyebilmektir.

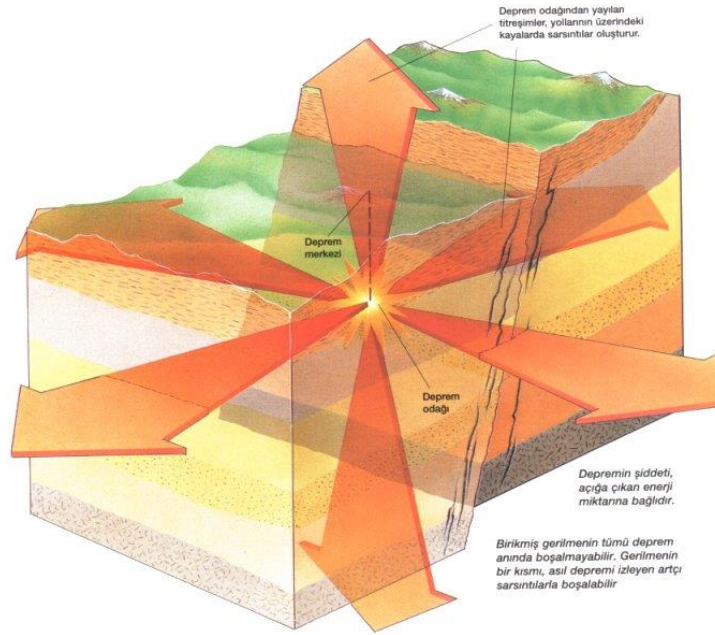
2.2.3. Depremin Oluş Nedenleri

Depremler, yer kabuğundaki fay adı verilen kırıklarda meydana gelir. Faylar, kayanın kırılma özelliğine sahip olmasından dolayı yüksek basınç (gerilme, sıkışma veya bükülme) altında kırılmasıyla oluşur. Gerilme, levhaların kademeli hareketi sonucunda yer kabuğunun değişik noktalarında meydana gelir. Depremler kayalık bir alanda oluşan gerilmenin ani bir harekete yol açacak kadar yükselmesiyle olur. Bu hareket, kayanın en zayıf noktasından kırılmasıyla yeni bir fay oluşturabilir yada kaya var olan fay boyunca kayar. Bunun sonucunda, gerilmenin boşalmasıyla olağanüstü büyük boyutta enerji açığa çıkar. Bu enerjiyi çevredeki kaya kütlelerinde oluşturduğu titreşim depremi yaratır[7].

Depremlerin önemli bir bölümü yeryüzünden yaklaşık 12km derinliklere kadar uzanan elastik kısımda üst kabuk içinde meydana gelmektedir. Bu derinlikten daha derinliklerde sıcaklık 400 derecenin üzerinde olduğu için yer değiştirme hareketi depremsiz, krip denilen yavaş plastik şekil değiştirme enerjisi şeklinde yutulur. Buna karşılık elastik üst kısımda ise her yıl birkaç cm’lik yer değiştirme yüzyıllarca birikerek birkaç metre birden büyük bir depremler meydana gelmektedir. Depremler sırasında ilk kırılma başlangıcının bu elastik alan sınırında meydana geldiği

anlaşılmaktadır[2]. Şekil 2.10’da depremin oluşumu, odak noktası ve merkezi gösterilmektedir.

Yer içindeki enerjinin toplanmasına sebep olan olaylar ise, tam olarak anlaşılmış değildir. Bu bakımdan yer kabuğunun ani kırılmalarının nedeni, henüz kuramlarla açıklanamamaktadır. Bugün için en geçerli olan 1906 yılında Amerika’da San Fransisko depreminden sonra H.F. Reid tarafından 1911 yılında[2] önerilen “Elastik Geri Sekme kuramı”dır. Bu kuramlar laboratuvarlarda da denenerek ispatlanmıştır[2,5]. Bu kurama göre, herhangi bir noktada, zamana bağlı olarak yavaş yavaş oluşan birim deformasyon birikiminin elastik olarak depoladığı enerji, kritik bir değere eriştiğinde, fay düzlemi boyunca var olan sürtünme kuvvetini yenerek, fay çizgisinin her iki tarafındaki kayaç bloklarının birbirine göreli hareketlerini oluşturmaktadır. Bu olay ani yer değiştirme hareketidir.



Şekil 2.10 Depremin Oluşumu ve Merkezi

Bu ani yer değiştirmeler ise bir noktada biriken birim deformasyon enerjisini açığa çıkması, boşalması, diğer bir deyişle mekanik enerjiye dönüşmesi ile ve sonuç olarak yer katmanlarının kırılma ve yırtılma hareketi ile olmaktadır[2]. Tektonik depremlerin, kayaçların faz değiştirmesiyle oluşuklarını savunan F. Evison (1967), derin odaklı depremleri de açıklayabilmektedir. Bununla beraber, her iki kuramın geçerli ve geçersiz yanları vardır[5].

2.2.4 Deprem Türleri

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Dünyada olan depremlerin büyük bir bölümü; levhaların hareketi sonucu olan "tektonik" depremler olduğu halde değişik oluşumu depremler de mevcuttur. Yeryüzünde olan depremlerin %90'ı bu gruba girer. Türkiye'de olan depremler de büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir[2].

Tektonik depremler de kendi aralarında üç gruba ayrılmaktadır[5]:

- a) Odak noktası derin olmayan depremler (0-60 km)
- b) Odak noktası orta derinlikte olan depremler (60-300 km)
- c) Odak noktası derin olan depremler (300-700 km)

İkinci tip depremler "volkanik" depremlerdir. Bunlar volkanların püskürmesi sonucu oluşurlar, yanardağlarla ilgili olduklarından yereldirler ve önemli zarara neden olmazlar. Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye'de aktif yanardağ olmadığı için bu tip depremler olmamaktadır. Diğer tip depremler de "çöküntü" depremlerdir. Bunlar yer altındaki boşlukların (mağara), kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukları tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yereldir, enerjileri azdır fazla zarar getirmezler. Büyük heyelanlar ve gökten düşen meteorların da küçük sarsıntılara neden olduğu bilinmektedir[2].

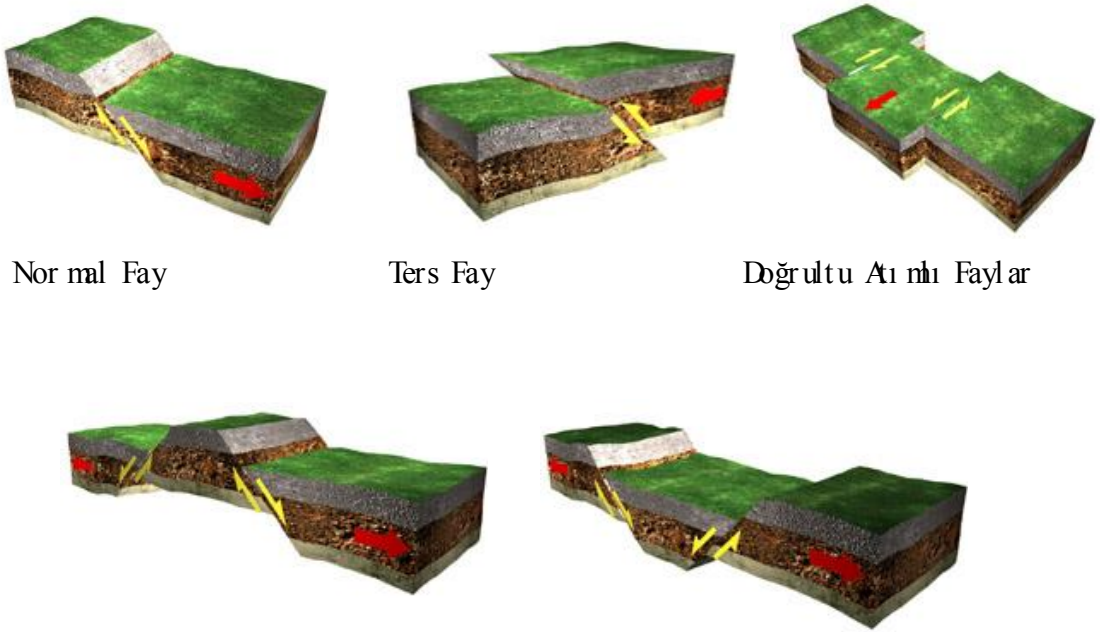
Odağı deniz dibinde olan "Derin Deniz Depremleri"nden sonra, denizlerde kıyılarına kadar oluşan ve bazen kıyılarda büyük hasarlara neden olan dalgalar oluşur ki bunlara (Tsunami) denir. Deniz depremlerinin çok görüldüğü Japonya'da Tsunami'den 1896 yılında 30.000 kişi ölmüştür[2].

2.2.5 Fay Oluşumu

Yer kabuğundaki biçim değiştirme enerjisinin artmasıyla depremin oluşumunu hazırlayan, kayaçların kırılarak yer değiştirmesiyle sonuçlanan yerinden oynamalara fay denilmektedir. Kırılmanın olduğu düzleme fay düzlemi denir. Taban ve tavan bloklarının evvelce bitişik noktalarının yer değiştirmelerini gösteren uzaklığa da atım denilir[5].

Ol uş bi ç i n l e r i n e g ö r e ç e ş i t l i f a y t t ü r l e r i v a r d ır . B u n l a r ; n o r m a l , t e r s , y a t a y s ı y ı r ı l m a l ı f a y l a n m a l a r d ır .

Nor m a l f a y l a n m a g e n e l d e y e r k a b u ğ u n u n y a t a y ç e k m e k u v v e t i s o n u c u o l u ş u r . T e r s f a y l a n m a b a s ı n ç k u v v e t i s o n u c u o l u ş u r . Y a t a y s ı y ı r ı l m a l ı f a y l a n m a d a , b l o k l a r b i r b i r l e r i n e n a z a r a n y a t a y h a r e k e t y a p a r l a r . Y a t a y f a y l a n m a h a r e k e t i n i n s a ğ v e y a s o l a t ı l ı o l d u ğ u f a y a ü s t t e n b a k ı l a r a k a n l a ş ı l a b ı l ı r . Ü s t t e n b a k ı l d ı ğ ı n d a , r e l a t i f y e r d e ğ i ş t i r m e s a ğ a d o ğ r u i s e s a ğ a t ı l ı l ı , s o l a d o ğ r u i s e s o l a t ı l ı l ı o l a r a k a d l a n d ır ı l ı r . N o r m a l f a y l a n m a a r a s ı n d a k i b l o k ç ö k e r s e b u n a " G r a b e n " (ç ö k ü n t ü) d e n i r . İ k i a y ır ı n o r m a l f a y l a n m a a r a s ı n d a b i r y ü k s e l t i b l o ğ u k a l ı r s a b u n a " H o r s t " (y ü k s e l t i) d e n i r [2] . Ş e k i l 2 1 1 ' d e f a y l a n m a t ü r l e r i g ö s t e r i l m e k t e d i r [3] .



Nor m a l F a y

T e r s F a y

D o ğ r u l t u A t ı l ı F a y l a r

Y ü k s e l t i (H o r s t) : İ k i n o r m a l f a y l a n m a a r a s ı n d a y ü k s e k t e k a l a n b l o ğ a d e n i r . **Ç ö k ü n t ü (G r a b e n) :** İ k i n o r m a l f a y l a n m a a r a s ı n d a k i b l o ğ u n ç ö k m e s i s o n u c u o l u ş u r .

Ş e k i l 2 1 1 F a y l a n m a T ü r l e r i

M ü h e n d i s l i k t e , ö z e l l i k l e b ü y ü k y a p ı l a r ı n y e r l e r i n i n s e ç i m i n d e , f a y ı n v a r l ı ğ ı n ı v e y e r e l e t k i l e r i n i n b i l i n m e s i g e r e ğ i o r t a y a ç ı k m a k t a d ır . Ç ü n k ü f a y ı n k o n u m u s e ç i l e n y e r i n u y g u n l u ğ u n u , y a p ı m a l i y e t i n i v e p l a n l a m a y ı e t k i l e m e k t e d i r [5] .

2.2.6 D a l g a H a r e k e t i v e D a l g a T ü r l e r i

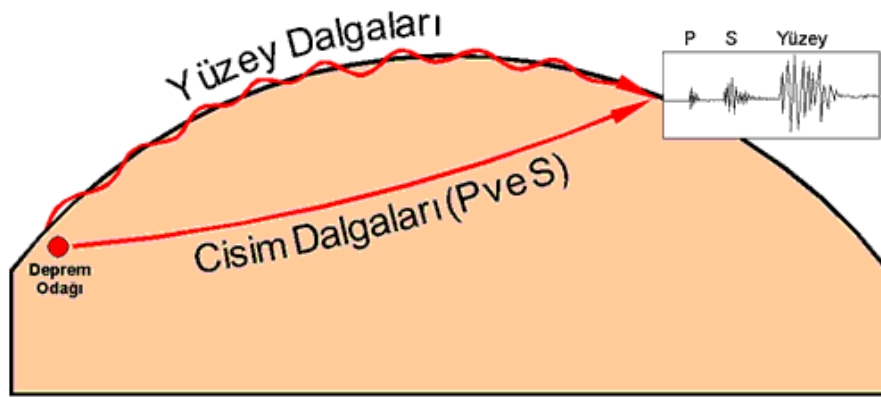
D e p r e m s ı r a s ı n d a a ç ı ğ a ç ı k a n e n e r j i , s e s v e y a s u d a l g a l a r ı n a b e n z e y e n v e s i s m i k d a l g a l a r a d ı v e r i l e n d a l g a l a r i l e y a y ı l ı r . A r a ş t ır ı m l a r y e r i ç i n d e i k i t i p d a l g a n ı n

oluştüğünü ortaya koymuştur. Bunlar; bünyesel (Hacim – Gisi m – Body Waves) ve yüzeysel dalgalar dır[5]. Bu dalgalardan cismi mdalgaları, P dalgaları (Primary) ve S dalgaları (Secondary) olarak ikiye ayrılır ve malzemenin içinde yayılım gösterirler[5,6].

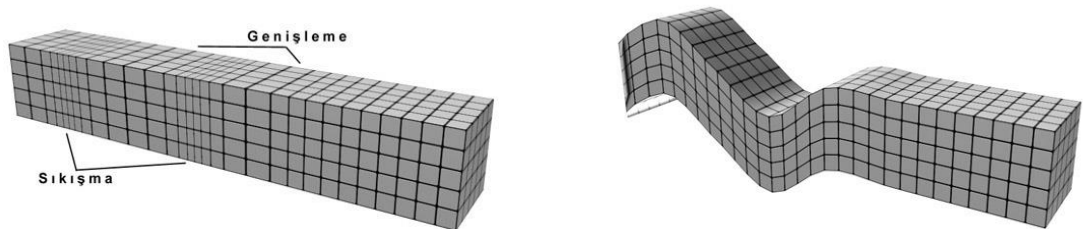
P dalgaları, en hızlı yayılan bu yüzden depremkayıt aletlerine (sis mograf) ilk gelen dalgalar dır. P dalgalarında, titreşim hareketi yayılma doğrultusuna paralel dir, boyuna dalgalar dır. S dalgaları, daha yavaş yayılırlar, kayıt aletlerine ikinci olarak gelen ve titreşim hareketi yayılma doğrultusuna dik olan, enine dalgalar dır. S dalgaları sıvı içinde yayılmazlar. Yapılarda yıkıma yol açan dalgalar S dalgaları ile yüzey dalgaları dır[5,6].

Yüzey dalgaları ise cismi mdalgalarına göre daha yavaş yayılırlar ancak genlikleri daha büyüktür. Hızı daha fazla olan L (Love) ve genliği daha büyük olan R (Rayleigh) dalgaları olarak ikiye ayrılırlar[6].

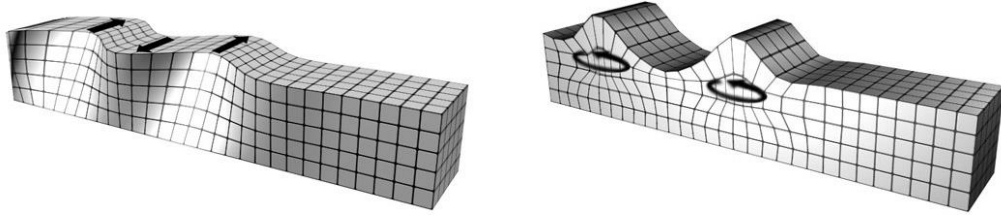
Şekil 2.12’de Yüzey ve cismi mdalgalarının yayılma şekilleri gösterilmekte Şekil 2.13 ve Şekil 2.14’te de dalga türleri gösterilmektedir.



Şekil 2.12 Yüzey ve Gsim Dalgalarının Yayılma Şekilleri



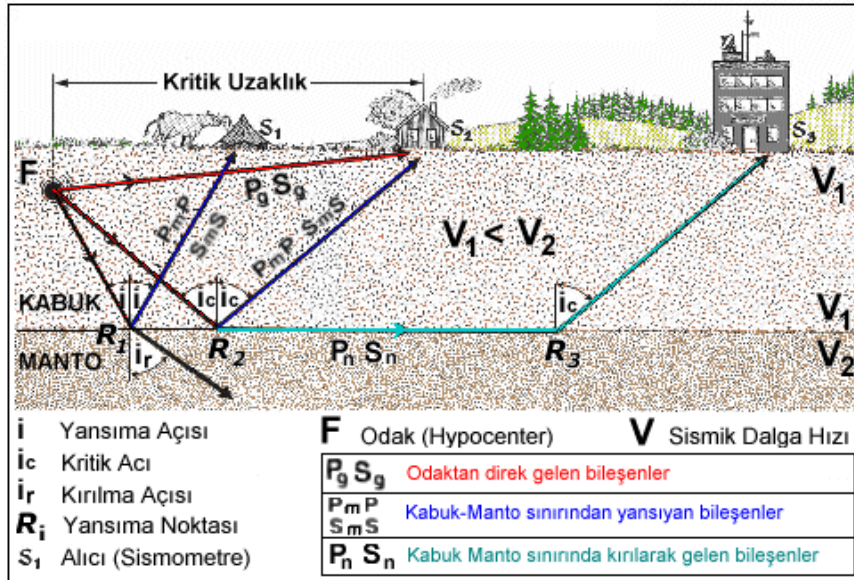
Şekil 2.13 Sırasıyla P Dalgaları ve S Dalgalarının Yayılma Biçimleri ve Doğrultuları[3]



Şekil 2.14 Sırasıyla Love Dalgaları ve Rayleigh Dalgalarının Yayılma Biçimleri ve Doğrultuları [3]

Depremlerle ilgili çalışmalar sonucunda günümüzde deprem dalgarının merkezi, yayılma doğrultuları ve yayılma hızları gibi birçok bileşeni elde edilebilmektedir.

P ve S dalgarının kabuk içerisinde ve manto sınırında izlediği yola göre bileşenleri Şekil 2.15'te gösterilmektedir [8].



Şekil 2.15 P ve S Dalga Bileşenleri

2.2.7. Depremin Büyüklüğü ve Şiddeti

Günümüz teknolojisiyle depremlerin kaydı yapılabilir. Depremler, sismograf adı verilen aletler yardımıyla kaydedilir. Kıvvetli hareket kaydedicileri ise, duyarlılığı az olduğu için şiddetli depremleri kaydeden aletlerdir. Bu kaydedicilerden beklenen görev, depremsırasındaki yer hareketini hiçbir değişikliğe uğratmadan kaydetmesidir [5]. Bazı frekanslardaki titreşimler yapılarda hasar yapmaktadır.

Herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü depremin şiddeti olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, onun yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür[2].

Depremin şiddeti, depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan "Şiddet Cetvelleri"ne göre değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle "Deprem Şiddet Cetvelleri" depremin etkisinde kalan canlı ve cansız her şeyin depreme gösterdiği tepkiyi değerlendirilmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu cetveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemektedir.

Deprem şiddet cetvellerinde; yapı türleri, hasar türleri ve depremin nereye etki ettiği sınıflandırılmıştır.

Deprem Şiddet Cetvellerinde, şiddetler Roman rakamıyla gösterilmektedir. Bugün kullanılan başlıca şiddet cetvelleri değiştirilmiş "Mercalli Cetveli (MM)" ve "Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK)" şiddet cetvelidir. Her iki cetvelde de XII şiddet derecesini kapsamaktadır. Bu cetvellere göre, şiddeti V ve daha küçük olan depremler genellikle yapılarda hasar meydana getirmezler ve insanların depremi hissetme şekillerine göre değerlendirilirler. VI-XII arasındaki şiddetler ise, depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasar ve arazide oluşturduğu kırılma, yarılmaya, heyelan gibi bulgulara dayanılarak değerlendirilmektedir[9].

Deprem şiddet cetvelinde, özel bir şekilde depreme dayanıklı olarak projelendirilmiş yapılar üç tipe ayrılmaktadır:

A Tipi : Kırsal konutlar, kerpiç yapılar, kireç ya da çamur harçlı moloz taş yapılar.

B Tipi : Tuğla yapılar, yarımkagir yapılar, kesme taş yapılar, beton briket ve hafif prefabrik yapılar.

C Tipi : Betonarme yapılar, iyi yapılmış ahşap yapılar.

Şiddet derecelerinin açıklanmasında kullanılan az, çok ve pek çok deyimleri ortalamaya bir değer olarak sırasıyla, %5, %50 ve %75 oranlarını belirlemektedir.

Yapılardaki hasar ise beş gruba ayrılmıştır :

1- Hafif Hasar : İnce sıva çatlaklarının meydana gelmesi ve küçük sıva parçalarının dökülmesiyle tanımlanır.

2- Orta Hasar : Duvarlarda küçük çatlakların meydana gelmesi, oldukça büyük sıva parçalarının dökülmesi, kiremitlerin kayması, bacalarda çatlakların oluşması ve bazı baca parçalarının aşağıya düşmesiyle tanımlanır.

3- Ağır Hasar : Duvarlarda büyük çatlakların meydana gelmesi ve bacaların yıkılmasıyla tanımlanır.

4- Yıkıntı : Duvarların yarılmaması, binaların bazı kısımlarının yıkılması ve derzlerle ayrılmış kısımlarının bağlantısını kaybetmesiyle tanımlanır.

5- Fazla Yıkıntı : Yapıların tümü olarak yıkılmasıyla tanımlanır.

Şiddet çizelgelerinin açıklanmasında her şiddet derecesi üç bölüme ayrılmıştır.

Bunlardan;

- a) Bölümünde depremin kişi ve çevre,
- b) Bölümünde depremin her tipteki yapılar,
- c) Bölümünde depremin arazi üzerindeki etkileri belirtilmiştir.

Bu verilere göre MSK Şiddet Cetveli[9] okunabilir. MSK Şiddet Cetveli EK A-1' de gösterilmektedir.

Bir deprem olduğunda, bu depremin herhangi bir noktadaki şiddetini belirlemek için, o bölgede meydana gelen etkiler gözlenir. Bu izlenimler Şiddet Cetveli'nde hangi şiddet derecesi tanımlanmışsa, depremin şiddeti, o şiddet derecesi olarak değerlendirilir.

Enerjinin doğrudan doğruya ölçülmesi olanağı olmadığından, Amerika Birleşik Devletleri'nden Prof. CRichter tarafından 1930 yıllarında bulunan bir yöntemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan "Magnitüd" tanımlanmıştır. Prof. Richter, episantırdan 100 km uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sisnografla (2800 büyütmeli, özel periyodu 0.8 saniye ve %80 sönümü olan bir Wood-Anderson torsiyon sisnografı ile) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron

1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına göre logaritmasını bir depremin "magnitüdü" olarak tanımlamıştır[9].

Magnitüd, aletsel ve gözlemsel magnitüd değerleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Aletsel magnitüd değeri, gerek hacim dalgaları ve gerekse yüzey dalgalarından hesaplanmaktadır. Genel olarak, hacim dalgalarından hesaplanan magnitüdlere (m), ile yüzey dalgalarından hesaplanan magnitüdlere (M) ile gösterilmektedir. Her iki magnitüd değerini birbirine dönüştürecek bağıntılar mevcuttur[2].

Gözlemsel magnitüd değeri ise, gözlemsel inceleme sonucu elde edilen episantr şiddetinden hesaplanmaktadır. Ancak, bu tür hesaplamalarda, magnitüd-şiddet bağıntısının incelenen bölgeden bölgeye değiştiği de göz önünde tutulmalıdır[2].

Depremlerin şiddet ve magnitüdlерinin değerleri arasındaki dönüşümleri Tablo 2.1'deki gibi verilebilir[9]:

Tablo 2.1 Depremlerin Şiddet ve Magnitüdlерinin Değerleri Arasındaki Dönüşümleri

Şiddet	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Richter Magnitüdü	4	4.5	5.1	5.6	6.2	6.6	7.3	7.8	8.4

Çok özel koşullar dışında magnitüdü 2.5 den küçük depremler insanlar tarafından hissedilmezler. Sismologlar tarafından, sismogramlar üzerindeki değişik dalga tiplerinin genlikleri veya kayıt sürelerinden yararlanarak farklı magnitüd ölçekleri oluşturulmuştur.

Bunlar[6];

ML : Lokal magnitüd (veya Richter magnitüdü). Diğer tüm ölçekler Richter ölçeği temel alınarak geliştirilmiştir[8].

Mb : Gsi mdal gaları nın genliklerinden yararlanılarak hesaplanır.

MS : Yüzey dal gaları nın genliklerinden yararlanarak hesaplanır.

Ml : Depremin süresi kullanılarak hesaplanır. Bu magnitüd değeri genellikle küçük ($M_l < 4.0$) ve lokal depremler için kullanılır.

Mw : Sismologların son olarak geliştirdikleri ve kayıtçı aletlerinin özelliklerinden bağımsız olarak sadece sismik momente bağlı bir magnitüd değeri dir.

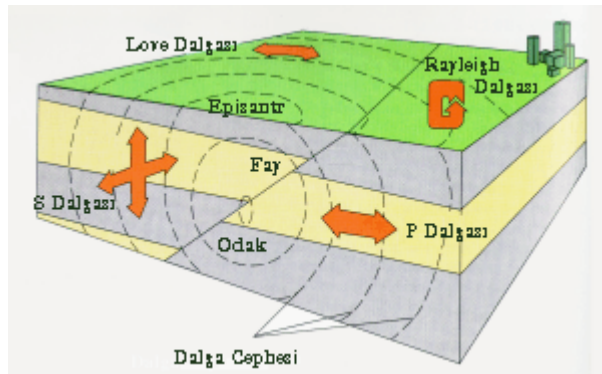
Magnitüd, bir depremin büyüklüğünü ifade etmede kullanılan en geçerli bir ölçü birimidir. Bununla beraber mühendislikte doğrudan doğruya kullanılmaz. Projelendirmede istenilen, maksimum yer ivmesinin değeridir. Bunun için depremin magnitüdü ile belirli bir Δ uzaklıkta neden olacağı maksimum ivme (veya hız) değeri arasında ampirik ilişkiler kurulmaya çalışılmıştır. İşte bu ilişkilere azalım ilişkileri denmektedir. Bu değerlerin ortaya konulabilmesi için çok sayıda akselerograf kayıtlarına ihtiyaç duyulmaktadır[5].

2.2.8 Deprem Parametreleri

Bir deprem oluştuğunda, bu depremin tarif edilebilmesi için gerekli olan bazı kavramlar vardır, bu kavramlar "deprem parametreleri" olarak tanımlanmaktadır. Deprem parametreleri, depreme ilgili bilgilerin sağlanmasını sağlar.

Odak Noktası (Hipsantr): Yerin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktadır, iç merkez diye de adlandırılabilir. Depremde enerjinin boşalım merkezi dir. Buradan depremdalgaları yayılmaya başlar[5]. Gerçekten, enerjinin ortaya çıktığı bir nokta olmayıp bir alandır, fakat pratik uygulamalarda nokta olarak kabul edilmektedir[9].

Şekil 2-16'da odak noktası, dış merkez ve sismik deprem dalgalarının yayılışı gösterilmektedir.



Şekil 2.16 Odak Noktası, Dış Merkez ve Sismik Deprem Dalgalarının Yayılışı[9]

Dış Merkez (Episantr): Yer içindeki merkezin yeryüzündeki izdüşümü olarak belirlenmektedir, gözlemsel ve aletsel olarak ikiye ayrılır. Gözlemsel episantr, depremsonrası yapılan çalışmalarda maksimum şiddetin çevrelediği alanın merkezi olarak tanımlanır. Aletsel episantr, deprem hareketinin oluşturduğu aletsel kayıtlardan hesaplanır. Yeryüzündeki bir noktanın tanımlanmasıdır[5]. Episantr

aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli olarak hissedildiği noktadır. Aslında bu , bir noktadan çok bir alandır. Depremi dış merkez alanı depremin şiddetine bağlı olarak çeşitli büyüklüklerde olabilir. Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometreyle de belirlenebilir. Bu nedenle "Episantr Bölgesi" ya da "Episantr Alanı" olarak tanımlanması daha uygun bir tanıma olmaktadır[9].

Odak Derinliği: Hposantr ve episantr arasındaki düşey uzaklık olarak tanımlanır[5].

Eşşiddet (İzoseit) Eğrileri: Aynı şiddetle sarsılan noktaları birbirine bağlayan noktalara denir[9].

Depremsüresi: Depremi kuvvetlice hissedildiği süre olup, bir anlamda yırtılma süresiyle ilişkili bir büyüklüktür[16].

Tablo 2.2’de fay yakınında kuvvetli sarsıntıının süresi depremin büyüklüğüne bağlı olarak verilmiştir. Odak noktasına yakın yerde artan deprembüyüklüğü ile depremin süresinin de arttığı tabloda gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Fay Yakınındaki Kuvvetli Sarsıntıının Süresi

Depremin büyüklüğü	Süresi (sn)
5.5	10
6.5	17
7.0	25
7.5	40
8.0	60
8.5	90

Yer ivmesi: Deprem dalgalarının yapılar üzerindeki etkilerini denetleyen temel bir büyüklüktür. Depremsırasında yapıya etkiyen sismik yatay kuvvetin büyüklüğü;

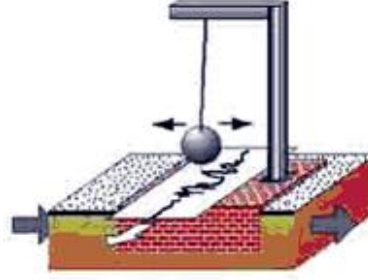
$$F = m \cdot a \quad (2.1)$$

ile belirlenmektedir.

Burada; F; yapıya etkiyen yatay sismik kuvvet, m yapının kütlesi (kg), a; yer ivmesinin yatay bileşeninin maksimum değeri-yerçekimi ivmesi; g cinsinden ($1g=9.8m/s^2$) değerini ifade etmektedir. Deprem sırasında yapıya etkiyen sismik yatay kuvvetin büyüklüğü yer ivmesinin değeriyle orantılıdır[16].

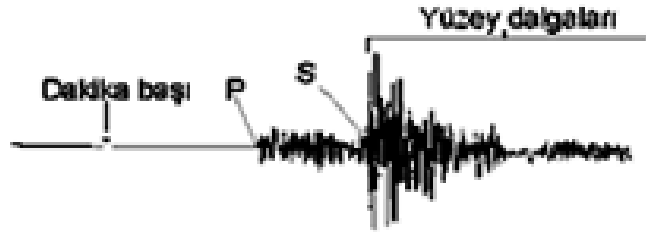
Sis mograf ve Sis mogram Sis mik sözcüğü Yunanca'da "titreyen Dünya" anlamına gelen "seis mos" sözcüğünden türetilmiştir[10]. Bu sözcükten de sismograf ve sis mogram sözcükleri türetilmiştir.

Depremlerin kayıt edilmesi için kullanılan cihazlara sis mograf adı verilir. Sis mograf, prensip olarak bir tür sarkaçtır[6, 11]. Şekil 2.17'de sis mograf cihazı gösterilmektedir.



Şekil 2.17 Sis mograf Cihazı

Sis mografın kaydettiği, zamana karşı sis mik dalgaların değişimini gösteren kayıtlara da sis mogram adı verilir[6, 11]. Şekil 2.18'de sis mogram kayıtları gösterilmektedir.



Şekil 2.18 Sis mogram Kaydı

2.2.9. Depremlerin Sınıflandırılması

Depremler oluş zamanlarına ve şiddetlerine göre üç sınıfa ayrılırlar; bunlar öncü depremler, artçı depremler ve ana depremlerdir. Ana deprem meydana gelen büyük depremdir.

Büyük bir deprem olmadan önce olan küçük sarsıntılara "öncü depremler" denilmektedir. Büyük bir depremin oluşundan sonra da belki birkaç yüz adet küçük deprem olmayaya devam etmektedir. Sonrasında büyük bir deprem olmadıkça küçük

depremlerin öncü olduğunu anlamak mümkün değildir[16]. Bu küçük depremler "artçı depremler" olarak isimlendirilir ve büyük depremin oluşumuna göre bunların şiddetinde ve sayısında azalış görülmür[9]. Dünyada yıllık yaklaşık olarak öncü artçı ya da bağımsız 65,000 adet büyüklü küçüklü deprem meydana gelmekte, fakat çok az bir kısmı insanlar tarafından hissedilebilmektedir (Tablo 2.3).

Tablo 2.3 Magnitüdlere Göre 1 Yılda Tüm Dünyada Yıllık Ortalama Deprem Sayısı (USGS ten)[8]:

Tanım	Magnitüd	Yıllık Ortalama
Çok Çok Şiddetli (Great)	8 >=	1
Çok Şiddetli (Major)	7 - 7.9	18
Şiddetli (Strong)	6 - 6.9	120
Orta Şiddette (Moderate)	5 - 5.9	800
Hafif (Light)	4 - 4.9	6,200 (tahmini)
Çok Hafif (Minor)	3 - 3.9	49,000 (tahmini)
Çok Çok Hafif (Very Minor)	< 3.0	Magnitüd 2 - 3: günde yaklaşık 1,000 Magnitüd 1 - 2: günde yaklaşık 8,000

2.2.10. Dünya Deprem Bölgeleri

Deprem herhangi bir yerde ve herhangi bir zamanda oluşabilir. Genel olarak depremlerin kabuğu oluşturan levhaların sınırlarında oluştuğu söylenebilir. Dünyanın çeşitli yerlerinde benzer nitelikte depremlerin tekrarlandığı gözlenmiştir ve bu kesikler hep levha sınırlarıdır. Depremlerin yoğun olarak gözleendiği bölgeler yeryüzünde üç ana kuşak oluşturur.

1. Kuşak (Pasifik Deprem Kuşağı): Şili'den kuzeye doğru Güney Amerika kıyıları, Orta Amerika, Meksika, ABD'nin batı kıyıları ve Alaska'nın güneyinden Aleutian Adaları, Japonya, Filipinler, Yeni Gine, Güney Pasifik Adaları ve Yeni Zelanda'yı içine alan en büyük deprem kuşağıdır. Yeryüzündeki büyük depremlerin %81'i bu kuşak üzerinde gerçekleşir.

2. Kuşak (Alpine): Endonezya'dan (Java-Sumatra) başlayıp Himalayalar ve Akdeniz üzerinden Atlantik okyanusuna ulaşan kuşaktır. Yeryüzündeki büyük depremlerin %17'si bu kuşakta oluşur.

3. Kuşak (Atlantik): Bu kuşak Atlantik Okyanusu ortasında yer alan levha sınırı (Atlantik Okyanus Sırtı) boyunca uzanır[8].

2.2.11. Türkiye'nin Deprem Bölgeleri

Deprem kuşakları tek bir kırık biçiminde olmayıp bir sistemi oluşturur. Bu kırık sistemleri Türkiye'yi de kesmiş durumdadır. Bunlardan en önemlisi Türkiye'nin Kuzey yöresini Batı-Doğu yönünde kat eden “Kuzey Anadolu Fay Kuşağı (KAF)”dır.

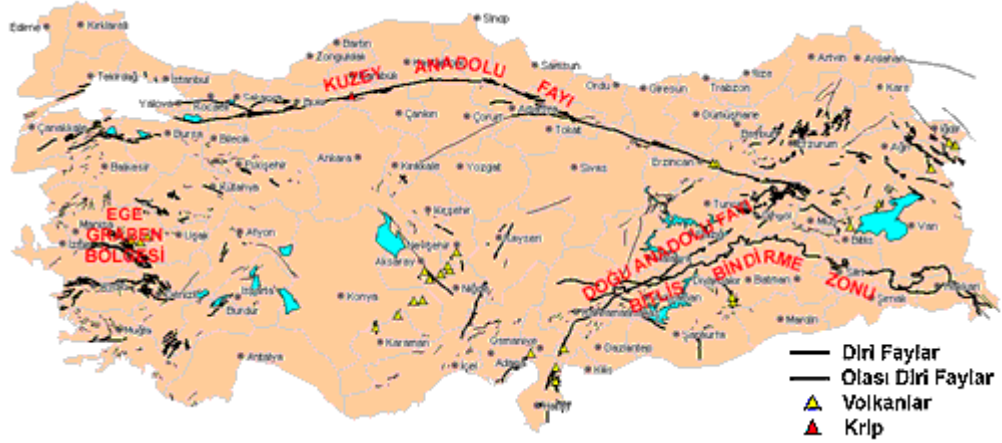
Türkiye'nin büyük bir bölümü aktif fay hatları ile çevrilmiştir. KAF, bunları içinde en önemli olanlarındandır. Şekil 2.19'da Türkiye'deki fay hatları gösterilmektedir.

Anadolu plakacılığın güneyden kuzeye doğru iten Arap plakası arasındaki kenar denizinin tamamen yutulmasından sonra Anadolu plakacılığı ile çarpışmıştır. Bu çarpışmanın sonucu olarak, yüzeyde, büyük bir olasılıkla Oligo-Miyosen sırasında eski bir Beni off zonunun belirtisi olan bir bindirme kuşağı oluşmuştur. Arap plakası kuzeye doğru hareketini sürdürdüğü için Karadeniz tabanının Doğu Pontid ada yayı altına dalmasıyla sonuçlanan ve plaka gömülmesinde yön değişimi nedeniyle ters yönlü, yani güneye dalan yeni bir Beni off zonunun oluşumu ileri sürülebilir. Kuzey Anadolu Fay zonunun gerçekte aynı yerde geçmekte var olan eski bir Beni off zonunun yüzeyindeki bir kalıntısı olduğu ve sağ yönlü, doğrultu atımlı bir fay olarak hareketini sürdürmekte olduğu kabul edilmektedir[5].

Atımsal dönemde ülkemizde kaydedilen en büyük deprem 26 Aralık 1939 Erzincan'da olmuş, gece yarısı olan depremde yaklaşık 33 000 kişi ölmüştür[8].

Türkiye'de 1900-1999 yılları arasında 149 tane hasar yapan deprem meydana gelmiş ve bu depremler 578.544 binanın yıkılması veya ağır hasara uğramasına ve 97.203 insanın ölmesine neden olmuştur. Türkiye'de ortalama her 7 ayda bir hasar yapan deprem oluşmaktadır. Hasar yapan depremler ortalama olarak her yıl 5844 binanın yıkılmasına ve 982 insanın ölmesine neden olmaktadır[13].

1996 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yayınlanan “Deprem Bölgeleri Haritası”na göre Türkiye deprem bölgeleri bakımından 5 bölgeye ayrılmıştır.



Şekil 2.19 Türkiye'deki Fay Hatları[3]

Yer ivmesinin

0.40 g ve daha büyük olması beklenen bölgeler I.

0.30-0.40 g arasında olması beklenen bölgeler II.

0.20-0.30 g arasında olması beklenen bölgeler III.

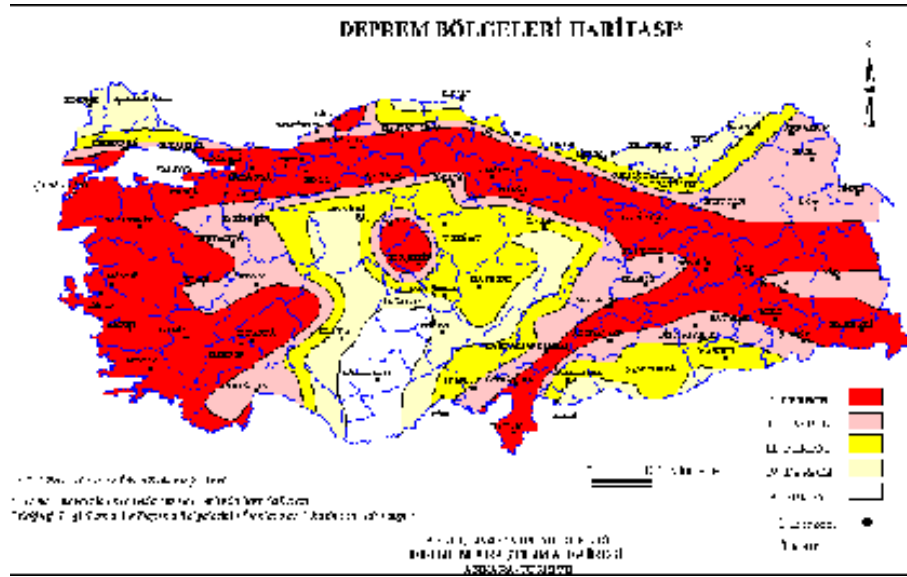
0.10-0.20 g arasında olması beklenen bölgeler IV.

0.1g'den küçük olması beklenen bölgeler V. derece deprem bölgesi olarak belirlenmiştir.

Şekil 2.20'de Türkiye'nin Deprem Bölgeleri Haritası gösterilmektedir. Kırmızı ile taralı alanlar I. Derece Deprem Bölgeleri'ni, beyaz ile taralı alanlar V. Derece Deprem Bölgeleri'ni göstermektedirler.

Türkiye'nin üçte ikisi I. ve II. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Nüfus dağılımına baktığımızda; Türkiye nüfusunun hemen hemen yarısına yakın kısmının I. derece deprem bölgesinde yaşadığı ve I. derece deprem bölgesinde yaşayan nüfus diğer bölgelere göre biraz daha fazla oranda artmaktadır[12].

Ülkemizdeki il merkezlerinin %43'ü I. derece deprem bölgesinde, %27'si II. derece deprem bölgesinde, %16'sı III. derece deprem bölgesinde, %11'i IV. derece deprem bölgesinde ve %3'ü V. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır.



Şekil 2.20 Türkiye'nin Deprem Bölgeleri Haritası[9]

Tablo 2.4' de Türkiye'de bulunan il-ilçe ve bucakların deprem bölgelerine göre dağılım yüzdeleri verilmiştir. [13]

Tablo 2.4 İl-İlçe ve Bucakların Deprem Bölgelerine Göre Dağılım Yüzdeleri

Deprem Bölgesi	İl Sayısı	(%)	İlçe Sayısı	(%)	Bucak Sayısı	(%)
I	35	43	405	48	335	49
II	22	27	176	21	152	22
III	13	16	130	15	98	14
IV	9	11	116	14	78	12
V	2	3	19	2	15	2
Total	81		846		678	

Türkiye tektonik birimlerle bağıştıırılarak 4 bölgeye ayrılabilir[5]:

- Kuzey Anadolu depremalanı
- Batı Anadolu depremalanı
- Antakya – Doğu Anadolu fayı depremalanı
- Serbest depremsahaları

Türkiye'deki deprem bölgeleri dağılımı Tablo 2.5' de yüzde ve yüzölçümü olarak verilmiştir.

Tablo 2.5 Yüzde ve Yüzölçümü Olarak Türkiye’deki Deprem Bölgeleri Dağılımı[5]

Bölge	Alan (km ²)			
	İlçe sınırlarına göre	%	Deprem haritasına göre	%
I. derece tehlikeli dep. böl.	127.911	16.5	114.734	28.4
II. derece tehlikeli dep. böl.	211.420	27.3	219.721	14.8
III. derece tehlikeli dep. böl.	222.636	28.8	223.113	28.8
IV. derece tehlikeli dep. böl.	150.404	19.4	150.304	8.6
Tehlikesiz bölge	62.452	8.0	66.951	19.4
Toplam (Çöller hariç)	774.823	100	774.823	100

Türkiye fay hatlarını bulduğu bölgelere göre bölümlere ayrıldığı gibi bölgelerin uğradıkları hasar derecelerine göre de bölgelere ayrılmıştır. Bu nedenle yapılan bölgelemeler hangi alanda ne gibi sorunlar ile karşılaşıldığını ve karşılaşılabileceğini bilmek açısından önemlidir.

Türkiye deprembakımından;

- Büyük hasara uğramış bölgeler
- Tehlikeli yer sarsıntısı bölgeleri
- Tehlikesiz bölgeler olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır[5].

2.2.12. Dünya Tarihindeki Önemli Depremler

Yeryüzünde 1900 den bu yana kaydedilen magnitüdü en büyük deprem 22 Mayıs 1960 yılında Şili’de gerçekleşmiştir. Magnitüdü kayıtlara 9.5 Mw olarak geçen bu depremde 5000 kişi yaşamını yitirmiştir. Yeryüzünde en az deprem olan kıta ise Antartika’dır[8]. Dünya tarihinde meydana gelmiş olan 10 büyük deprem Tablo 2.6’da verilmiştir.

20. yüzyılda meydana gelen büyük depremlerin çoğunun Pasifikte olduğu görülmektedir. Şili’de meydana gelen ve sisnik moment büyüklüğü (Mw) 9.5 olan depremde ölü sayısı 4000-5000 kadardır. Ortaya çıkantısına mi (dev deniz dalgaları) Hawaii, Japonya ve Filipinler’de ölümlere neden olmuştur. Alaska Depremi (1964) maksimum yüksekliği 67 metreye varantısına mi yaratmıştır ve 125 kişiden 110 u bu

nedenle ölmüştür. Sıralamada dördüncü olan 1906 Ekvador- Kolombiya Depremi'nde ölü sayısı ise sadece 1000'dir.

Tablo 2.6 Dünya Tarihinde Meydana Gelen 10 Büyük Deprem [14]

	Bölge	Tarih	Büyüklük	Enlem	Boylam
1	Şili	22.05.1960	9.5 Mw	38.2 G	72.6 B
2	Alaska	28.03.1964	9.2 Mw	61.1 K	147.5 B
3	Rusya	01.11.1952	9.0 Mw	52.7 K	159.5 D
4	Ekvator	31.01.1906	8.8 Mw	1.0 K	81.5 B
5	Alaska	09.03.1957	8.8 Mw	51.3 K	175.8 B
6	Kuril Adaları	06.11.1958	8.7 Mw	44.4 K	148.6 D
7	Alaska	04.02.1965	8.7 Mw	51.3 K	178.6 D
8	Hindistan	15.08.1950	8.6 Mw	28.5 K	96.5 D
9	Şili	11.11.1922	8.5 Mw	28.5 G	71.0 B
10	Endonezya	01.02.1938	8.5 Mw	5.25 G	130.5 D

Sonuç olarak meydana gelen çok büyük depremlerin ölümler açısından etkisi fazla olmadığı ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni bu tür depremlerin çok derinlerde veya yerleşim bölgelerini olmadığı yerlerde meydana gelmesidir [14]. Dünya tarihinde ölü sayısının en çok olduğu depremler Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7 Dünya Tarihinde Ölü Sayısının En Çok Olduğu Depremler [14]

Bölge	Tarih	Ölü Sayısı	M	Kaynak
Mısır veya Suriye	05.07.1201	1.100.000	?	NOAA
Çin, Shansi	23.01.1556	830.000	?	USGS
Çin, Tangshan	27.07.1976	* 655.000	8.0	USGS
Çin	?? ?? 1662	300.000	?	NOAA
Hindistan, Kalküta	11.10.1737	300.000	?	USGS
Suriye, Aleppo	09.08.1138	230.000	?	USGS
Çin, Xining	22.05.1927	200.000	8.3	USGS

*Resmî rakam 255.000

2.2.13. Türkiye Tarihindeki Önemli Depremler

Türkiye ve civarındaki tarihsel depremlerde en fazla ölü sayısı 115 yıllarında Antakya civarlarında meydana gelen deprem sonucunda olmuştur. Diğer depremlerde genelde aynı bölgelerde olmuştur. Bu depremler tahminlere göre

Kızıldeniz'den Hatay'a kadar uzanan ve burada Doğu Anadolu Fayı ile birleşen Ö ü Deniz Fayı üzerinde meydana gelmiştir[14]. EK A-1'de Türkiye'de meydana gelen tarihsel depremler[8], EK A-2'de ise aletsel dönemden sonra Türkiye'de meydana gelen şiddetli depremler yer almaktadır[9].

2.3 Deprem ve Jeoloji

Jeoloji kısaca yer bilimi olarak tanımlanabilir. Yunanca “Geo=Arz, Yer” ve “logos=ilişimli” sözcüklerinden alınmıştır[15]. Yer ve ilişimsözcüklerinin birleşmesiyle türetilmiş jeoloji kelimesi yerbilimi anlamına gelmektedir.

Deprem bir yer hareketidir ve jeoloji ile de yakından ilişkilidir. Yapının inşa edileceği zeminin özelliklerinin bilinmesi, yapılacak olan yapının ana kriterlerinin de sağlıklı bir biçimde belirlenmesini sağlar. Yapının tasarım kriterleri ve kullanılacak malzeme özellikleri zemin özelliklerine göre daha doğru belirlenir.

Arazi koşullarının yer hareketleri üzerindeki etkisi araştırmalarında, yüzeye yakın jeolojik birimler ile sarsıntı şiddeti arasında korelasyonlar kurmaya yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Depremler sırasında yerel zemin koşullarının yer hareketleri üzerindeki etkisini inceleyebilmek için birçok arazi davranış analizi yöntemleri geliştirilmiştir. Bu tür analizlerde zeminlerin şekil değiştirme seviyesine bağlı dinamik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir[18].

2.3.1. Zemin Grupları ve Yerel Zemin Türleri

1998'de yürürlüğe giren ABYYHY'de yapıların üzerinde yapılacakları zeminler gruplara ayrılmıştır. Yapıların inşa edileceği yerel zemin koşullarının belirlenmesi için esas alınacak zemin grupları Tablo 2.6'da, yerel zemin sınıfları ise Tablo 2.7'de verilmiştir. Tablo 2.6'daki zemin parametrelerine ilişkin değerler, zemin gruplarının belirlenmesinde yol göstermek üzere verilen standart değerlerdir. Yönetmeliğe göre zeminler dört grup altında incelenmektedirler.

Tablo 2.8'deki gruplandırılardan yola çıkarak zeminler en üst zemin tabakasının kalınlığına göre de ayrıca yerel zemin sınıfları olarak dört grup altında incelenmektedirler.

Tablo 2.8 Zemin Grupları[22]

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Relatif Sıkılık (%)	Kayma Dalga Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolul tortul kayalar 2. Çok sıkı kum çakıl 3. Sert kil ve siltli kil	- 85- 100 -	> 1000 > 700 > 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolul tortul kayalar 2. Sıkı kum çakıl 3. Çok katı kil ve siltli kil	- 65- 85 -	700- 1000 400- 700 300- 700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolul tortul kayalar 2. Orta sıkı kum çakıl 3. Katı kil ve siltli kil	- 35- 65 -	400- 700 200- 400 200- 300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları 2. Gevşek kum 3. Yumuşak kil, siltli kil	- < 35 --	< 200 < 200 < 200

ABYYHY'e göre; birinci ve ikinci derece deprembölgeleğinde, zemin gruplarının ve yerel zemin sınıflarının Tablo 2.8 ve Tablo 2.9daki tanımlara göre belirlenmesini sağlayacak yerel bilgilerin ya da gözlem sonuçlarının deprem hesap raporlarında belirtilmesi veya bu konuda yayınlanmış kaynaklara referans verilmesi zorunludur.

Tablo 2.9 Yerel Zemin Sınıfları[22]

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 2.6'ya Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Deprem yüklerini belirlemesi için esas alınacak olan spektral ivme katsayısı, $A(T)$, denklem 2.2’de verilmiştir.

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

A_0 ; etkin yer ivmesi katsayısı olup deprem bölgelerine göre değişen değerleri Tablo 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.10 Yer İvmesi Katsayısı Değerleri[22]

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

I ; bina önem katsayısı olup, Tablo 2.11’de kullanım amacına göre bina önem katsayıları belirlenmiş yapı grupları verilmiştir.

Tablo 2.11 Bina Kullanım Amacı ve Bina Önem Katsayısı[22]

Bina Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
1. Deprem sonrası kullanım 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 terminaleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetimi 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

$S(T)$; Spektrum katsayısı olup, yerel zemin koşullarına ve yapı doğal periyodu olan T ye bağlıdır. Denklem 2.3’de spektrum katsayısının hesaplanarak bulunması gösterilmektedir.

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

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

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

T_A ve T_B spektrum karakteristik periyotları olup, yerel zemin sınıflarına göre değerler almaktadırlar. Tablo 2.12’de bu değerler gösterilmektedir.

Tablo 2.12 Spektrum Karakteristik Periyotları [22]

Tablo 2.6 'ya göre Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Zemin türü ve yapısının yapıya etkileyen depremyüklerini özellikleri ile ilgili çok önemli olduğu bu sınıflama ve denklemlerden de anlaşılmaktadır. Bu nedenle yapılan incelemeler sonucunda hangi zemin sınıfında ne tür yapılaşmanın uygun olduğu belirlenebilmektedir. Bu hesaplamalar ve sınıflandırmaların uygulanmaları sayesinde, geçmişte meydana gelen birçok depremin sonucunda karşılaşılan uygun olmayan zemin-yapılaşma ilişkilerinin önüne geçilebilecektir.

2.3.2 Zemin Koşullarının Yapı Üzerindeki Etkisi

Yerel zemin koşullarının depremin yol açtığı hasara etkisi uzun zamandan beri bilinmekle beraber bu konuda alel elden ölçümlerde ve hesap çalışmalarında son 40

yılda önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Bu konuda ilk önemli bilgiler 1957 San Francisco depreminde değişik noktalarda alınan bazı ölçümlerden elde edilmiştir.

1985 Mexico City depreminde meydana gelen hasar dağılımı, sistematik davranış üzerinde yerel koşulların etkisini açık bir şekilde ortaya koymuştur. Genellikle 0.04 g değerinden düşük olan taban kayası pik ivme değerleri, eski bir göl yatağında yer alan kalın kil tabakalarında yaklaşık 5 misli büyümeyle maruz kalmış ve periyodları arazi periyoduna yakın yapılarda çok büyük hasarlara yol açmıştır. 1989 Loma Prieta depreminde de hasarın büyük çoğunluğu yumuşak zemin tabakalarının yer aldığı San Francisco-Oakland bölgesinde meydana gelmiş ve buralarda spektral ivmelerin yakınlardaki kayalık bölgelere göre 2-4 defa büyüdüğü gözlenmiştir. Bütün bu gözlemler, depreme dayanıklı tasarımı için yerel zemin koşullarının dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Yerel zemin koşullarının yapılara gelecek depremyükleri üzerindeki etkisi, depreme dayanıklı yapı şartnamelerinde, basit zemin sınıflandırmalarını esas alan bir arazi sistematik katsayısı ile dikkate alınmaktadır. Belirli bir inşaat sahası için kullanılacak değer, arazi zemin koşulları hakkındaki bilgilere ve mühendislik değerlendirmelerine göre seçilmektedir[18].

2.3.3. Deprem Sırasında Ortaya Çıkan Zemin Farklılaşmaları

Deprem olan bölgede, deprembelirli bir büyüklükte oluşmuş ise, hasar yapmakta ve arazide fay denen kırıkların meydana gelmesine neden olmaktadır. Genel olarak fayın sahada oluşabilmesi için, depremin magnitudünün 6'dan büyük olması gerekmektedir[5].

Deprem sonrası hasar bölgelerinde yapılan araştırmalarda, episantrdan veya fay hattından uzaklaştıkça hasarın azalarak son bulduğu görülmektedir. Bununla beraber episantr sahasından veya fay hattından eşit uzaklıktaki bölgelerde yapı tekniği bakımından aynı sayılabilecek binalarda hasar durumlarının çok farklı olduğu izlenmiştir. Deprem sonrası hazırlanan izoseist haritalarında şiddeti düşük az hasarlı bölgeler içinde veya tamamen dışında yerel olarak fazla hasarlı büyük deprem şiddetinin olduğu bölgeler görülmüştür. Yapılan araştırmalar sonucunda deprem hasarı dağılımının zemindeki yapı farklılıklarından ve özelliklerinden ileri geldiği kabul edilmiştir[5].

2.3.4 Deprem Hasarları ve Zemin Koşullarının Etkisi

Deprem merkezde oluşan yer değiştirme'nin neden olduğu bir dalga hareketidir. Bu titreşi yapıya ulaşmadan önce bir çok zemin tabakalarından geçer. Bundan dolayı yapının oturduğu zemin özellikleri deprem dalgalarını azaltabilir veya arttırabilir. Şekil 2. 'de zayıf zemin koşullarının neden olduğu göçme durumuna örnek verilmiştir.

Bazı binaların tamamen yıkılmış olmasının ilk nedeni, uygunsuz yer seçimidir. Bu tür durumlarda, her ne kadar sismik yönetmeliklere harfi harfine uyulmuş ve inşa halinde çok dikkatli kontroller de yapılmış olsa, binaların yıkımının önüne geçilemez[17].

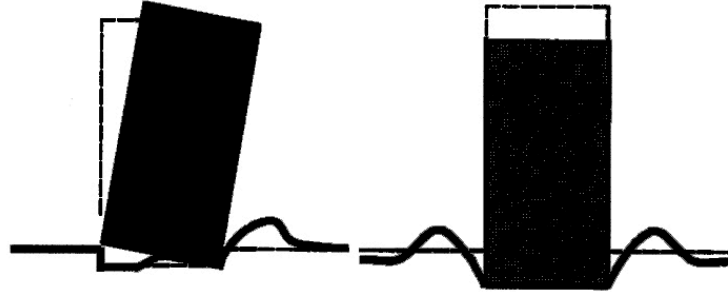
Kötü yer seçiminin örnekleri şöyle sıralanabilir[17]:

- Bina'nın aktif bir fay hattı üzerine inşa edilmesi; örnek olarak, bazı depremlerde yıkılan binaların bir bölümünün tam fay hattı üzerine inşa edilmiş olması verilebilir.
- Bina'nın kaymaya müsait toprak üzerine kurulması, Adapazarı'nda devrilen binalar oldu bu tür yapılaşmaya bir örnektir.
- Bina'nın sahil şeridinde uygun olmayan toprak üzerine kurulması; bu durum kıyının bir kısmının üzerindeki bina ile birlikte kayması ve çökmesi nedeni ne neden olmaktadır, 17 Ağustos depremi sonrasında Değirmente'de bu durum gözlemlenmiştir.

Zemin koşullarının deprem hasarına etkisi [5];

- Zemindeki yapı farklılıkları ve titreşi özellikleri,
- Zeminin oturması,
- Zeminin sıvılaşması,
- Toprak kaymaları ve kaya düşmelerine elverişli sahalara,
- Yeraltı suyunun derinliği,
- Forasyon sınırları,
- Fayların konumu,

gibi faktörlere bağlıdır.



Şekil 2.21 Zayıf Zemin Koşullarının Neden Olduğu Göçme Durumu[33]

Zemindeki yapı farklılıkları ve titreşim özellikleri; episantır bölgesinden veya fay hattından kilometrelerce uzakta bulunan bölgelerde beklenmeyen deprem hasarının oluşması zeminlerin dinamik yapısının incelenmesi gerekliliğini meydana getirmektedir. Şekil 2.21’de zayıf zemin koşullarının neden olduğu göçme durumu gösterilmektedir. Zeminlerin dinamik yapısının incelenmesinin sonucu olarak; sert zemin tabakaları üzerindeki sahalarda az katlı yapılar çok hasar, yüksek yapılarda daha az hasar görürken, kalın yumuşak zemin tabakaları üzerindeki sahalarda, çok katlı yapılar çok hasara, az katlı yapılarda daha az hasar gördükleri bilinmektedir. Çünkü, yumuşak zeminler sert zeminlere nazaran daha uzun periyotla, daha büyük deplasmanla ve daha uzun süre titreşimi yapacaklardır.

Depremlerin neden olduğu zemin oturmaları; depremlerin kohezyonsuz zemin tabakalarının sıkışmasına ve zeminin oturmasına neden olduğu bilinmektedir. Birçok depremlerde bu durum gözlenmiştir. Örneğin, 1964 Alaska ve Ngata depremlerinde 1-1,5 m bulan oturmalar olmuştur[5].

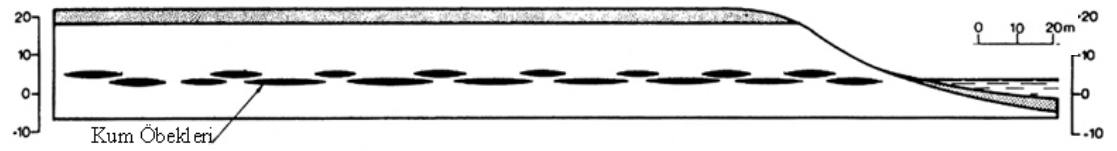
Zemin sıvılaşması(Liquefaction); kumkil gibi gevşek malzemeden oluşan katmanların deprem sırasında sıvıların çalkalanmasına benzer bir özellik göstermesidir[8]. Şekil 2.22’de sıvılaşma oluşumu gösterilmektedir. Suyu doymun kumtabakalarının sıvılaşması sonucu, yapılarda büyük hasarlar görülmektedir. Bu durumda zemin yüzündeki yapılar önemli ölçüde zemin içine bataabilmekte veya zemine gömülü yapılar yüzerek zemin yüzüne çıkabilmektedir. 1964 Ngata depreminde şehrin alçak bölgelerindeki kum tabakalarının sıvılaşması sonucu yapılarda büyük hasar meydana gelmiş binalar yana yatmıştır[5].

1964 Ngata (Japonya), 1967 Mıdurnu Vadisi, 1970 Gediz, 1989 Lorna Prieta (Kaliforniya), 1995 Kobe (Japonya), 1998 Ceyhan – Misis ve 1999 İzmit körfezi

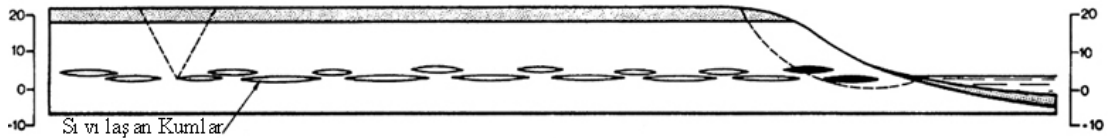
depremleri zemin sıvılaşmasının olduğu en çarpıcı örneklerdir. Sıvılaşmış zeminlerdeki yapılar suda yüzen gemilere benzerler.

17 Ağustos 1999 İzmit körfezi depreminde, Adapazarı kent merkezindeki hasarın büyük olmasının nedeni sıvılaşmadan ileri gelmiştir. Sıvılaşma sonucu kent merkezinde, Kavaklı caddesi, Sakarya caddesi ve binaların zemin katları zemin içine gömül müşlerdir. Diğer yandan bir çok binada yan yatmalar ve devrilmeler olmuştur. Binalar temellerinden sökülerek devrilmiş ve komşu binaların üzerine doğru yatmaya başlamışlardır. Farklı yönlere doğru yan yatma ve devrilmeler, bazı binaların ayakta kalmasını sağlamıştır.

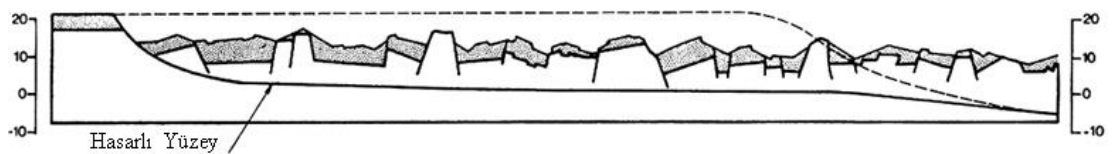
Ayrıca, benzer küçük boyutta sıvılaşma olayları, Akyazı, Düzce ve Göl yaka'da gözlenmiştir[19]. Şekil 2.23'de 17 Ağustos Depremi'nde meydana gelen sıvılaşma olayı sonucu oluşan hasar görülmektedir. 17 Ağustos 1999 depreminin ardından, Mimarlar Odası İzmir Şubesi tarafından hazırlanan deprem raporunda, İzmit, Gölçük-Yalova hattında kıyıya yakın bütün alanların suya doymuş gevşek zemin olduğu, özellikle çok katlı yapılaşmaya uygun olmadığı, bu kuşakta çok katlı yapılaşmanın zemin ve temel problemlerini çözen tekniklerle inşa edilmesi gerektiği belirtilmiştir[23].



Toprağın Depremden Önceki Görünüşü



Toprağın Deprem Sırasındaki Görünüşü



Toprağın Aşınma Sonundaki Görünüşü

Şekil 2.22 Deprem Sırasında Zeminde Meydana Gelen Sıvılaşmanın Oluşumu [21]

ABYYHY' nin 12.2.2 maddesi uyarınca, bütün deprem bölgelerinde, yeraltı su seviyesinin zemin yüzeyinden itibaren 10 metre içinde olduğu durumlarda, Tablo 2.7'de (D) grubuna giren zeminlerde Sıvılaşma Potansiyeli'nin bulunup bulunmadığının, saha ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve sonuçların belirlenmesi zorunludur[22].



Şekil 2.23 17 Ağustos Depreminde Meydana Gelen Sıvılaşma Olayı[33]

Toprak kaymaları ve kaya düşmesine elverişli sahalarda; depremler sırasında oluşan toprak kaymaları ve şev göçmelerinde, su ile doyguna hale gelen zeminler kayma satırları üzerinde hareket etmeye hazır durumda iken, depremtitreşimleri o anda, olayı çabuklaştırarak gerçekleşmesine neden olmaktadır. 6 Eylül 1975 Lice depreminde Yağlı Köyü'ndeki ağır hasar, deprem neticesi oluşan kaya düşmelerinden meydana gelmiştir.

Yeraltı suyunun derinliği; zemindeki yeraltı suyunun varlığı ve su tablasının seviyesi deprem hasarının büyümesinde önemli bir etken olarak görülmektedir. Yeraltı su seviyesi 10 m veya daha derinde ise seviyenin değişmesi şiddet etmez. Yüzeğe daha yakın seviyelerde değişir ve bu su seviyesi yükselirse şiddet oranı da artar.

Formasyon sınırları; yüzey tabaka altındaki sağlam zemin topografyasının şekli, kalınlığı ve değişik formasyon sınırlarına rastlayan sahalarda depremler hasarının arttığı görülmüştür. Çünkü bu sahalarda iki ayrı formasyonun birleştiği zayıf zonlardır. Depreminde davranışları birbirinden farklı olacak ve üstünde bulunan yapılara da farklı olarak yansıtacaktır.

Faylanma ve fayzonunda hasar; aktif olarak bilinen faylı bölgeler, deprem sırasında daha kolay deformasyona uğramakta ve sonunda hasarın artmasına neden

olmaktadır. Birçok yerlerde fayın geçtiği yönde hasarın arttığı görülmüştür. Fakat, zeminlerin homojen bulunması ve yapı tipleri ile olan ilişkileri yönünden fayla olan uzaklık ile orantılı olarak hasarın da azalacağı söylenebilir. 28.3.1970 Gediz depreminde, fay hattına çok yakın bulunan Aşıklıpaşa Köyü'nde hasar az iken, daha uzaktaki köylerin tamamen yıkıldığı gözlenmiştir. 1976 Çaldıran Depreminde de aynı durumlar izlenilmiştir[5].

2.4 Deprem ve Yapı

Yağmur, kar gibi bir doğa olayı olan depremaçıkalandazarar veremeyen bir hareket iken, düzensiz ve dayanıksız yapıların içerisinde iken gerçekleşen bir depremin sonucunda büyük felaketler yaşanlabilmektedir. Bu nedenle deprem ile yapı arasındaki bağlantıların ve ilişkilerin neler olduğunun iyi bilinmesi gerekmektedir.

2.4.1. Depremin Yapıya Etkisi

Deprem dalgalarının yapıda oluşturduğu tepki dinamik bir olaydır. Yapının dinamik özellikleri kütle, kütle dağılımı, yapının geometrisi ve kullanılan malzemeye göre değişir. Yapı davranışı ve yapıyı depremde etkileyecek kuvvetleri mario tasarımıdan etkilenir.

Zeminin sistmik hareketleri bir yapıya rüzgâr etkisi gibi zarar vermez, daha çok yapı kütlelerinin titreşiminden kaynaklanan atalet kuvvetlerini oluşturur. Kütledeki artış, depremtasarımına ilişkini ki olumsuz etki meydana getirir. Bunlar, yüklerde artışa ve kolonlar, duvarlar gibi düşey öğelerin burkulmasına ve yıkılmasına neden olmalarıdır[47]. Depremden kaynaklanan yer ivmelenmesi yapının kütleleriyle çarpıldığında, binaya etkileyen yatay sistmik kuvvet elde edilmektedir[17].

2.4.2. Deprem Hareketleri Karşısında Yapıda Hasara Neden Olabilecek Etkiler

Deprem hareketi karşısında, depremyüklerinin etkisiyle binada kalıcı hasara neden olabilecek bazı seçi myanlılıkları vardır. Bunları, zemin seçi mindeki yanlılıklar, bina tasarımı sırasındaki yanlılıklar, malzeme seçi mindeki yanlılıklar ve uygulaması sırasında yapılan yanlılıklar şeklinde sıralandırmak mümkündür. Bu kriterler, tezin ilgili bölümlerinde ayrı ayrı ele alınıp incelenmiştir.

2.4.3. Deprem Esnasında Yapı Bileşenlerinin Davranışları

Deprem yükü altındaki yapının davranışlarının belirlenmesi ve buna bağlı olarak depreme dayanıklı yapı düzenlenmesinde, yapıyı oluşturan elemanlarının davranışlarının bilinmesi önemlidir. Depremdeki davranışlarına göre yapı bileşenleri;

- Üst Kabuk
- Yan Kabuk
- Alt Kabuk (Temel)
- Ayırıcılar (İç Duvar Ve Döşeme)
- Taşıyıcı Sistemler (Kolon, Kiriş, Perde)

olarak üzere 5 grupta incelenebilir. Bu bileşenler ve depremkarşısındaki davranışları ileriki bölümlerde detaylı olarak ele alınacaktır.

2.4.3.1. Üst Kabuk

Çatısı olan binalarda, özellikle çatı kalın duvarlarının büyük bir çoğunluğu, kalın duvarı yapı ile ankre edilmiş ve hatıl yapılmalıdır. Yapılarda ağır çatıdan kaçınılmalı; toprak dolgu çatıya müsaade edilmemelidir.

2.4.3.2. Alt Kabuk (Temel)

Yapı depremetkisini ilk önce temelden alır ve diğer elemanlarına iletir. Bu nedenle yapıya uygun ve taşıma gücü yüksek temel seçimi yapının depremkarşısındaki davranışını önemli yönde etkileyecektir.

Bir çok yerleşim bölgesinde 9-10 kata varan bitişik nişan yapılarında, binalarında gerekli boşluk (dilasyon) bırakılmadığı için binaların birbirlerine çarpmaları sonucu yıkılmaları meydana gelmiştir.

2.4.3.3. Ayırıcılar (İç Duvar Ve Döşeme)

Dış ve iç duvarlarında ısı izolasyonu yapılmış olan binalarda, bütün yapı elemanları taşıyıcı sisteme sağlam olarak ankre edilmiştir.

Döşeme plakları yükü yatay yükü karşılayan elemanlara, özellikle kendi düzlemlerindeki kuvvetlerle dağıtırlar. Döşemelerin düzlemleri dışına eğilimleri önemlidir. İki düşey elemanı bağlayan kirişin eğilime karşı mukavemetinin

çok küçük olması bütün sistemin davranışına önemli bir etki de bulunabilir[20]. Döşemeler esas itibarıyla düşey yükleri taşırlar. Fakat yatay deyişim etkisi göstermeleri ve taşıyıcı sistemin bütün yatay taşıyıcı elemanları ile uygun olması gerekmektedir. Döşemeler, etkiye deprem yüklerini düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle dağıtılmasını sağlamalı, yeterli rijitlik ve dayanıma sahip olmalıdırlar.

2.4.3.4 Taşıyıcı Sistemler (Kolon, Kiriş, Perde)

Kolonlar yapıların asal taşıyıcı elemanlarıdır. Doğru projelendirilmiş ve doğru olarak uygulanmış bir binada, yatay rijitlik sadece, uygun kesit boyutlarına ve donatıya sahip kolon elemanları ile sağlanabilir. Ancak kolon kesit boyutlarının küçük tutulması gibi nedenlerle kolonlar deprem sırasında yeterli enerji tüketebilme kapasitesine sahip olamamaktadır[68].

Depremsırasında kolonlardaki basınç kuvvetinde genellikle küçük miktarda artma ve azalma olur. Buna karşılık depremdolayısıyla meydana gelen eğilme momenti, düşey yüklerden dolayı meydana gelen eğilme momentinden daha etkili olabilir. Bu genellikle en çok kolon uçlarını etkiler bunu engellemek için etriye aralığı azaltılır. Depremlerde en çok zarar gören bölge kiriş-kolon birleşim yerleridir ve hasarların büyük bir kısmı burada oluşur.

Perdeler; büyük depremlere genellikle perdeler plastik şekil değiştirmelerle yatay kuvvetlerin dinamik etkisine karşı koyar. Özenli bir şekilde düzenlenen perdeler, toplam göçmeyi önledikleri gibi, yapısal olmayan hasarların sınırlandırılmasında faydalıdır. Toptan kaymanın önlenmesi için donatının kesitte düzgün olarak dağıtılması önerilir. Temelin dönmesi durumunda ise genellikle rijit hareket haki m olacağı için depremen erjisinin perde tarafından yutulması ve perdenin sünekliği söz konusu olmaz.

2.5 Bölüm Sonuçları

Yeryüzü bugünkü şeklini alancıya kadar sürekli hareket etmiş ve biçim olarak değişim uğramıştır. Nasıl ki dünyada kıtalarının bugünkü yerleşim şekli ile 500 yıl önceki yerleşim şekli farklılık gösteriyorsa, ilerde de dünya bu hareketliliğine devam

edecek ve bundan 500 yıl sonrası için de kıtaların yerleşmiş şekli bugünkünden farklı olacaktır.

Depremi'nin özelliklerini ve yapılara olan etkilerini bilmek, daha sonraki tasarımlar için bir kaynak teşkil etmektedir. Yapının depreme dayanıklı olabilmesi için uygun zemine uygun şartlar ile inşa edilmesi gerekmektedir. Günümüz teknolojisi her türlü zemin üzerinde depreme dayanıklı yapı yapılabilecek gelişmişlikte olsa dahi, belirli şartları sağlamamış bir yapı bu konuda tehlike arz edebilir.

Depremi'nin farklı parametrelerinin kombinasyonları ile oluşması, her depremin kendine özgü özelliklerinin olduğunu göstermektedir. Deprem hareketine tekrarlı olarak maruz kalan bölgelerde yapı taşıyıcı sisteminin ve bileşenlerinin bölge şartlarına uygun olarak seçilmesi ve detaylandırılmalarının düzgün bir biçimde yapılması gerekmektedir. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımı en basit tasarım kriterleri olan, dayanım rijitlik, süneklik, süreklilik, göçme modu ve uygun geometriye göre proje hazırlanmalı, daha sonra diğer kriterler ile yapının deprem etkilerine karşı tasarlanması gerekmektedir.

3. DEPREME DAYANIKLI YÜKSEK YAPI TASARIMI

Günümüz teknolojisindeki gelişme ve artan nüfus yoğunluğu daha çok barınma ve yaşama mekanı ihtiyacı doğurmaktadır. Artan ihtiyaç karşısında arazi alanı azalmakta ama buna karşılık her geçen gün yaşam mekanına olan talep artmaktadır. Bu ve bunlar gibi birçok etken binaların mimari malanda maksimum kullanıma sahip olmaları gerekliliğini doğurmuş ve böylelikle yüksek yapı ve çok katlı yapı kavramları gelişmiştir. Metropoliten ve kalabalık şehirlerin büyük bir kısmının halen aktif olan deprem bölgelerinde bulunmaları nedeniyle depreme dayanıklı yüksek bina tasarımı kavramı gün geçtikçe daha da önem kazanmaya başlamıştır.

Depreme dayanıklı olarak kabul edilen bir yapı, depremin şiddetine göre çeşitli ölçülerde hasar görebilir. 1 Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe giren “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”(ABYYHY)’e göre depreme dayanıklı bina tasarımı ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarında oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacıyla binaların kısmen ya da tamamen göçmesini önlenmesi, olarak belirtilmiştir.

Her yapı çeşitli yükler etkisindedir ve yine her yapı, bu yükleri taşıyan, zemine aktaran bir taşıyıcı sisteme sahip olmak zorundadır. Bu yüklerden bir tanesi depremyükü olduğu için yapı, depremyüküne karşı ayakta kalabilecek dayanımda olmalıdır. Binanın ömrü boyunca inşa edildiği bölgede oluşabileceği tahmin edilen en şiddetli deprembüyüklüğü göz önünde bulundurularak tasarımı yapılan bir binanın depreme dayanımından söz edilebilir.

3.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Kavramı

Deprem Bölgeleri Haritası’na göre, Türkiye’nin %2’sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusunun %5’inin depremtehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %8’i ve barajların %3’ünün deprem bölgesinde

bulunduğu bilinmektedir. Tüm bu veriler doğrultusunda, Türkiye’de depreme dayanıklı yapı tasarımının öneminin ve gerekliliğinin büyüklüğünün tartışılmaz olduğu bir gerçektir.

15000’in üzerinde kayıp ve 30000 kişinin yaralanması ile sonuçlanan 17 Ağustos İzmit ve ardından meydana gelen 12 Aralık Düzce depremlerinde yaralanma ve kayıpların tamamına yakınının yıkılan binalar nedeniyle olduğu gözlenmiştir. Mevcut binaların yaklaşık %70’i yıkılmış ya da ağır hasar görmüştür.

Yapı henüz tasarım aşamasındayken, yapının ekonomik ömrü boyunca karşılaşılabileceği maksimum deprem şiddeti göz önünde bulundurularak alınması gerekli bazı önlemler vardır. Bu önlemler tedbir mahiyetinde olup, hem yapının tasarım hem de yapı m sırasında alınmalıdır. Yapıların yapı m kriterleri minimum deprem yönetmelikleri kriterleri çerçevesinde olmalıdır. Yayımlanan deprem yönetmeliklerinin ana amacı; can kaybını, milli servetin zarar görmesini ve yapının göçmesini önlemektir.

Depreme dayanıklı yapı hangi cins malzeme ile yapılmış ve hangi taşıyıcı sistemi olursa olsun bazı genel hususlara ve ayrıntılara dikkat etmek gerekir. Yapıların planı kare ya da dikdörtgen şeklinde olmalıdır, bu formlar deprem etkisi karşısında gereken direnci sağlayabilmektedirler. Yapının taşıyıcı elemanlarının boyutları birbiri ile orantılı olmalıdır. Katlarda duvar ve kolonlar eşit yayılı bir şekilde dağıtılmalıdır. Duvarlar ve kolonlar her katta üst üste gelmeli ve temelden çatıya kadar kesintisiz devam etmelidir. Yapı elemanları birbirlerine çok iyi bağlanmalıdır.

Bir yapının biçimi, başka bir deyişle şekli, boyutları ve öğelerinin geometrik düzeni, depremsırasındaki davranışı üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Mimari biçim sistematik tasarım açısından oldukça önemlidir[47]. Tasarlanmış olan mimari form uygulanacak olan taşıyıcı sistemin türünü, taşıyıcı sistem türü de deprem etkisindeki yapının davranışını belirler; ayrıca mühendislik detaylarındaki birçok hata tasarımı yanlışlarından kaynaklanmaktadır. Mimari tasarım sistematik kuvvetlerin bazı strüktürel öğelere veya bağlantılara etkiyen yükün boyutunu belirlemektedir. Bu nedenle de mimari tasarım esnasında formun yapıya ve diğer kriterlere uygun seçilmesi gerekli bir davranış olmaktadır.

Yapıların yatay kuvvetler etkisi altında davranışının bilinmesi, tasarımda taşıyıcı sistemin bu davranışa uygun olarak belirlenmesini sağlar. Deprem yapının

temelinden üst yapıyı sarsarak etkiler. Yapı, taşıyıcı sistemi bu harekete karşı koyacak şekilde tasarlanmalıdır. Depreme dayanıklı yapı tasarımının ana amacı, deprem etkilerine karşı koyabilecek ölçüde mukavemet, rijitlik ve süneklik özellikleri olan bir yapı üretmektir, bu özelliklere sahip bir yapı, depremde istenilen davranışı gösterebilir.

Mari olarak düzgün tasarlanmış bir yapı, deprem etkilerine karşı kendi doğal biçimi ile birlikte daha rahat karşı koyabilir, hesapları daha kolay yapılabilir. Yine düzgün tasarlanmış bir yapı gerektiği zaman, güçlendirme projesi uygulaması daha rahat tasarlanabilir.

3.1.1. Depreme Dayanıklı Yapıların ve Yapı Malzemelerinin Genel Özellikleri

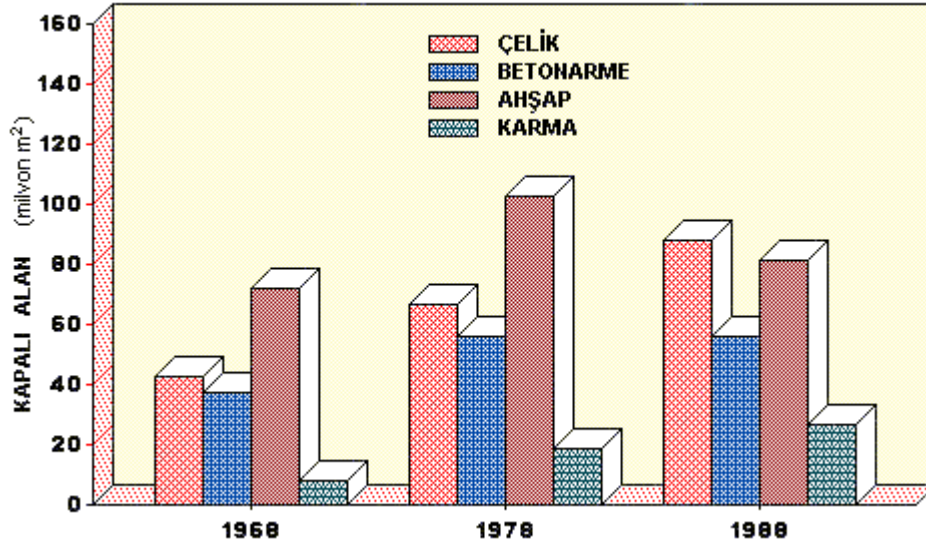
Türkiye’de son on yılda 13 Mart 1992 Erzincan depremi ile başlayan önemli depremlerden 17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri, deprem ve yapı ilişkisi, yapısal sorunlar ve çözümleri konularının gerekliliğinin anlaşılması bakımından örnek olmuşlardır. Bu depremler sonucu gözlenen hasar görme ya da göçme şekilleri temel yapı m kriterlerinin gündeme gelmesine neden olmuşlardır.

Taşıyıcı sistem seçimine malzeme seçimi ile başlamak yanlış düzenlemelere götürür. “Depreme dayanıklı malzeme” diye bir kavramın olmayışı bunun bir nedeni dir. Her malzemenin belirli özellikleri, dayanımları vardır. Malzemeler bu özelliklerine uygun kullanıldıkça, taşıyıcı sistemi etkileyen başka etkenlere olduğu gibi depreme de dayanıklı bir yapı inşa etmek mümkün olur. Yüksek yapı inşasında yapı malzemesinde seçimiçelik, betonarme veya karma yapı arasında bir seçimdir.

Depreme dayanıklı çok katlı yapı üretiminde uzun yıllardan beri en çok kullanılan malzemeler beton ve çeliktir. Türkiye’de daha çok kullanılan betonarme, çeliğe oranla, özellikleri daha az belirgin ve üretimi daha az kontrol altında olan bir malzemedir. Bununla birlikte, belirli minimum koşulların sağlanması halinde, betonarmenin de depreme dayanıklı yapıların üretiminde güvenilirliği kanıtlanmış bir malzeme olduğundan söz edilebilmektedir[29].

Deprem hareketinin sürekli yaşandığı ülkelerden bir tanesi olan Japonya’da geleneksel yapı malzemesi olan ahşap kullanım en yaygın malzeme olması na rağmen, 20. yüzyılın sonlarına doğru yapılarda çelik kullanımının fazlaştığı ve aynı

zamanda kompozit taşıyıcı sistemlerin kullanımının da hızla yaygınlaştığı Şekil 3.1'deki grafikte görülmektedir.



Şekil 3.1 Taşıyıcı Sistem Malzemesine Göre Yapı Türleri (Japonya) [44]

Bunun nedeni, çeliğin deprem kuvveti gibi yatay yükler karşısında gösterdiği mukavemet ve malzemenin özelliklerinden dolayı sağladığı süneklik gibi davranışlardır.

3.1.1.1. Betonarme Taşıyıcı Sistemin Depreme Karşı Davranışı

Beton; ekonomi, fonksiyon ve şekil verme özellikleri, yangın ve zamanla ortaya çıkacak arızalara karşı direnç gibi bir çok yönden uygun malzeme olması nedeniyle çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Perde tüp sistemleri gibi daha uygun yapı sistemleri ile sabit yükün olumsuz etkisi, betonarme yapıların yüksekliği için bir sınırlandırma olmaktan çıkmıştır [34]. Düşey ve yatay yükler kiriş ve kolonlar yardımıyla zemine aktarılır. İyi projelendirilip, malzeme ve işçiliğine gereken önem gösterildiğinde depreme en dayanıklı yapı tipleridir, genellikle orta hasarla depremi depremi geçiştirebilirler. Fakat, özellikle malzeme ve işçilik hataları sonucunda beklenen davranışı gösteremekte ağır hasar görmekte veya yıkılmaktadırlar. Adapazarı ve İzmir depremlerinde görüldüğü üzere deprem bu yapılarda hiçbir zaman hatayı kabul etmemektedir. Hasar görme durumları, depremin büyüklüğüne göre kolon-kiriş bağlantı yerlerinde, özellikle kolonlarda, merdiven boşluklarında,

as mlen döşemelerde ve dolgu duvarlarla çerçeve sistemleri ayrı çalıştığı için birleşimyerlerinde çatlamlar ve yıklmalar şeklinde görülür.

Betonarme yüksek yapılarda yükseklik sınırının Kaliforniya'da kaldırılmasına rağmen donatı çeliği kolon-kiriş birleşimlerinde moment dayanımını kaybetmeden büyük dönmelere imkan verecek şekilde düzenlense de aşırı bir donatı yoğunluğu yüzünden gerekli süneklik elde edilememektedir.

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında ortaya çıkan yetersizlikler, aşırı çatlak ve deformasyonlar şeklinde belirmekte, başlıca aşağıdaki nedenlere dayanmaktadır[33]:

- Projelendirme hataları; En yaygın projelendirme hatası, uygun olmayan taşıyıcı sistemseçimini ve donatı düzenlemesi şeklinde göze çarpmaktadır.
- Yapım ve malzeme kusurları; Yapım kusurları kapsamında düşük nitelikli betonarme betonu, donatının eksik ya da hatalı yerleştirilmesi başta gelmektedir. Hazır beton üretimi, istenilen kaliteye ulaşılmasını sağlamakta ve sorunu büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır.
- Kullanım kullanıma amacının değişmesi; Genellikle binaların kullanımına özen gösterilmemektedir. Betonun yerleştirilmesi sırasında gerekli sıkıştırma/vibrasyon yapılması ve uygun olmayan karışım oranları korozyonun başta gelen nedenidir.

Bu nedenlerin bir ya da birden çoğunun bir araya gelmesi hasarla, daha da kötüsü göçme ile sonuçlanmaktadır.

Yapı çeliği ile karşılaştırıldığında betonun malzeme özellikleri, daha düşük dayanım sünme ve büzülme gibi bazı belirgin farklılıklar göstermektedir. Bunlar, zamana bağlı boyut değişimi, yeterli mukavemeti sağlayabilmek için daha büyük kesit gereksinimidir. Rijitliği daha büyük olan betonarme elemanlarda, dönme miktarları azalmakta, özellikle çelik yapılarda önem kazanan döşeme titreşimleri ve yerel stabilite problemleri önemli ölçüde ortadan kalkmaktadır.

Betonarme yapılarda zayıf zemin koşullarında; yapının ağırlığı mümkün olduğu kadar azaltılarak temellerin masrafı azaltılmalıdır. Çelik ya da kompozit konstrüksiyonla karşılaşıldığında, beton, yüksek yapılarda uygun yapı taşıyıcı sistemlerinin geliştirilmesi ne daha geniş imkanlar sağlamaktadır.

3.1.1.2 Çelik Taşıyıcı Sistemin Depreme Karşı Davranışı

Yüksek yapılarda çeliğin ilk kullanılışı 1889 yılında Paris'te inşa edilen Eiffel Kulesi'ne dayanmaktadır.

Çeliğin yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılması nın nedenlerinden bazıları; inşaat hızının yüksek olması, planda istenen kısa ve uzun açıklıklara, çeşitli şekillere kolayca uyuşması, inşaat maliyeti, projede yapılabilecek tadilat ve düzenlemelere imkan tanıması, uygun olmayan zemin koşullarında yapı ağırlığının az olması nedeniyle, temelin sorunsuz ve ekonomi içinde inşa edilmesi, olumsuz hava şartlarından çok fazla etkilenmesi şeklinde özetlenebilir[34]. Şekil 3.2'de İngiltere'deki çelik çerçeveli yapılarda maliyet değişimi yıllara göre verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere çelik, maliyeti ucuzlayan bir malzemedir. Buna karşın, çelik yangına dayanımı düşük bir malzeme olduğu için kullanımı sırasında ek yalıtım ihtiyacı duyulmaktadır.

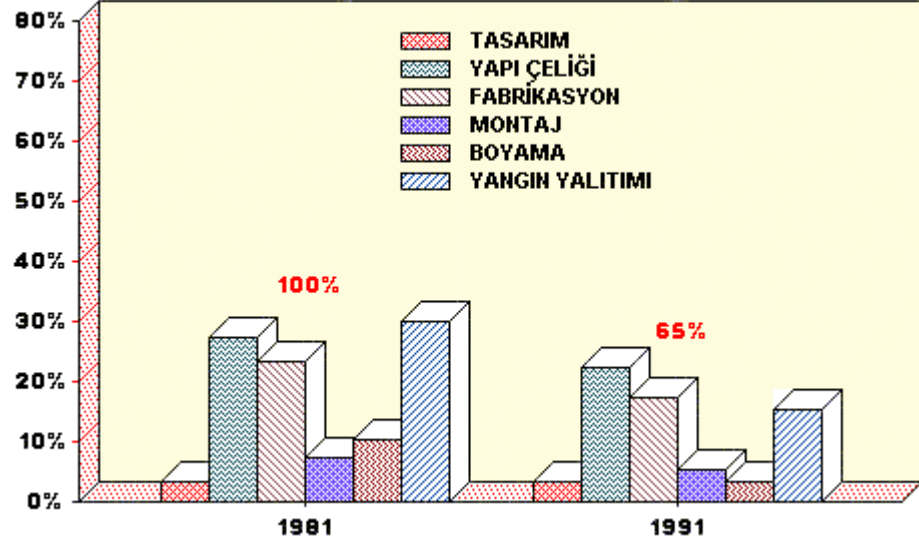
Popov (1983-1984) tarafından geliştirilen yatay kuvvetlere dayanımı çin tespit edilen düşey kafes kirişlerinde di yagonal elemanların eksantrik (ekseni düğüm noktasından geçmeyecek) şekilde bağlanarak sistemin deprem enerjisini yutma kapasitesini artırma yarayan sistemin kullanılmasıyla çelik taşıyıcı sistemler burkulma yapmadan çok büyük enerji yutarak depremi zararsız atlatacağıdır.

1985'te meydana gelen Mexico City depreminde 107 betonarme yapıda göçme, 36 yapıda ise büyük hasar görülmesine rağmen, sadece 9 çelik yapıda göçme olurken, birinde önemli hasar meydana gelmiştir. Dünyada bulunan ülkelerde deprem bölgelerinde inşa edilen deprem bölgelerinde yüksek yapılarda %93.3 oranında çelik ya da betonarme+çelik taşıyıcı sistem kullanılmıştır[32].

Yapılan araştırmalar (Bayülke, 1989) yumuşak zeminlerde inşa edilen çok katlı yapının 200-300 kilometre uzakta olacak şiddetli depremin yer hareketinden etkilenebileceğini ortaya koymuştur. Mersin gibi 3 ve 4. deprem bölgelerinde inşa edilen yüksek yapıların çelik yapılması uygun olacaktır[32].

Taşıyıcı sistemler için kullanılan çelik malzeme yapı çeliği veya yapısal çelik olarak isimlendirilir. Yapıları taşıyıcı sisteminde yapı çeliği kullanarak diğer malzemelerle yapma olanağı olmayan çok değişik geometri ve formlarda yapı tasarımı yapılabilir. Ayrıca çok katlı yapıların taşıyıcı sisteminin çelik yapılmasıyla alan ve yükseklikte kazanımlar sağlanabilir[33].

Çelik diğer malzemelere oranla yükün artmasıyla birlikte geometrik büyüklükleri en az artan bir malzemedir. Yapı ağırlığının azalması halinde yapıya gelen deprem kuvveti de azalacaktır. Çelik yapılarda yapı ağırlığı, betonarme yapılara göre yaklaşık % 50 daha az olduğundan yapıya etkiyen deprem kuvveti aynı oranda azalacaktır[33].



Şekil 3.2 Çelik Çerçevesel Yapılarda Maliyet Değişimi (İngiltere)

Çelik sünek (düktil) bir malzemedir. Betonarme göre onsekiz kat daha sünektir. Süneklik elastik davranışın üzerindeki şekil değiştirme enerji yutma yeteneği sağladığından bu özellik dinamik yükler altında önem kazanmaktadır.

3.1.1.3 Karma (Kompozit) Taşıyıcı Sistemin Depreme Karşı Davranışı

Kompozit taşıyıcı sistem hem çeliğin hem de betonarmenin kullanılmasıyla elde edilen bir sistemdir.

Yüksek bir binada ideal bir kombinasyonla betonun aksenal yükleri taşıması ve çeliğin yatay yüklere karşı gerekli mukavemeti sağlaması temin edilebilir.

3.1.2 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımları

Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesi şiddetli depremin ($M = 6.5-7.0$) enerjisinin elastik olmayan deformasyonla tüketilmesi [27]. Yapıların elastik deformasyonlarla enerji tüketimi çok sınırlıdır. Enerji tüketimi elastik limit ötesiindeki kalıcı şekil değiştirme ile sağlanmaktadır. Elastik şekil değiştirme limiti

ötesinde kopmadan önce olan kalıcı şekil değiştirmenin elastik limit şekil değiştirmesine oranı “süneklik” olarak tanımlanmaktadır. Bu oranın yüksek olduğu yapı elemanları ve yapılar “sünek yapı” olarak tanımlanmaktadır. Kopmadan önce büyük kalıcı uzamalar yapan malzeme çeliktir. Çelik kopmadan önce %10-20 kadar uzayabilmektedir. Betonarme yapıda deprem enerjisi tüketimi donatının kopmadan önce uzaması ile sağlanmaktadır[27].

Yapının deprem etkisi altındaki davranışında, yapı ağırlığı, taşıyıcı elemanların konumu, boyutları, zemin durumu gibi etkilerin yanı sıra mimari tasarımında etkileri olmaktadır. Yapılarda burulma tesirlerinin oluşması için planda yapı mümkün olduğunca simetrik yapılmalıdır. Yapıların boy kesitte de simetrik yapılmasında fayda vardır.

Bir yapıda, sağlıklı bir depremdavranışı şu üç özgenin bulunmasını gerektirir: yeterli dayanım, yeterli süneklik ve yeterli yanal rijitlik

Dayanım Taşıyıcı yapının ve ayrı ayrı her bir yapı elemanının, yapıyı etkileyeceği düşünülen tasarım yüklerinin neden olacağı zorlamaları hiçbir hasar yaratmadan taşıyabilecek yeteneğe sahip olmasıdır.

Süneklik Taşıyıcı yapı elemanlarının, taşıma kapasitelerinde önemli bir eksilme olmadan büyük plastik deformasyonlar yapabileceği yeteneğidir.

Yanal Rijitlik Yapının başta deprem olmak üzere yatay yükler altında yapacağı yanal ötelenmelere karşı koyabilme yeteneğidir[36].

Depreme karşı güvenliğin sağlanmasında, taşıyıcı sistemin tasarımı niyi yapılması çözümlerinden daha önemlidir. Bu amaç doğrultusunda tasarımda dikkat edilmesi gereken noktaları şu şekilde sıralamak mümkündür[24]:

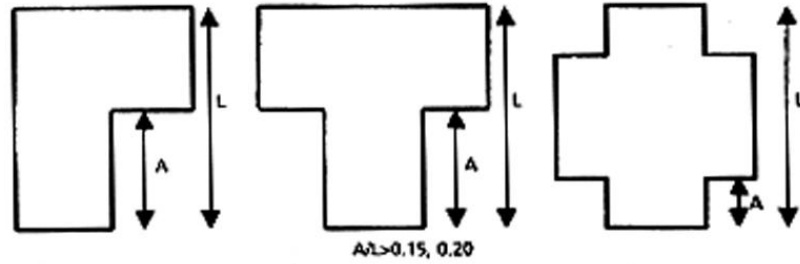
3.1.2.1. Geometri

Bir binanın deprem dayanımı büyük ölçüde mimari tasarım aşamasında belirir. Taşıyıcı sistemde belirlenince binanın deprem dayanımı şekillenmiş olur. Uygun olmayan bir mimariye sahip bir binayı depreme dayanıklı duruma getirmek çok zordur. Özellikle taşıyıcı sistem düzensizlikleri bu açıdan önem kazanmaktadır.

Basit ve düzenli yapıların yapımı kolay, yapım sırasında hata yapma olasılığı azdır. Bu tür yapıların depremdaki davranışını tahmin etmek ve buna göre bir çözümlenme

yapmak daha kolaydır. Karmaşık ve düzensiz yapıları modellemek ve ek olarak ortaya çıkan burulma etkisini göz önüne almak uzun işlemler gerektirir[24].

Plan şekli H, L, T ve Y olan binalar, meydana gelen depremlerde önemli hasar görmektedirler. Bu nedenle binanın mümkün olduğunca simetrik bir plan formuna sahip olması uygundur.



Şekil 3.3 Planda Düzensiz Formlar [47]

Planda sadece simetrinin olması da her zaman yeterli olmayabilir, basitliğin de bulunması gerekir. Bunun yanında yapı, uygun oranlara sahip olmalıdır. Şekil 3.3’de planda düzensiz formlar gösterilmektedir. Binanın dış kısmına ve binaya bağlı olarak düzenlenen merdiven ve asansörler, rijitlik merkezini simetri merkezinden kenara çektikleri için ek burulma meydana getirirler. Simetri sadece plandaki şekille değil, taşıyıcı sistemdeki ayrıntılarla da sağlanmalıdır. Ayrıca, depremsırasında perde ve kolonlarda meydana gelen hasar elemanlarının dayanım ve rijitliklerini değiştirir ve statik konumda simetrik olan yapı, dinamik durumda burulma etkisine maruz kalabilir.[24]

3.1.2.2 Süreklilik

Taşıyıcı sistemde plan ve düşeyde bulunan elemanların dayanımlarının düzgün ve sürekli olarak düzenlenmesi davranışı olumlu yönde etkiler. Kolon ve kirişlerin planda düzgün dağıtılması, sistemin belirli bölgelerinin aşırı zorlanmasını önler. Bütün kolon ve perdeler temel den çatıya kadar sürekli olmalıdır. [24]

3.1.2.3 Rijitlik

Rijitlik; deformasyona (yer değiştirme ve dönme) karşı gösterilen dirençtir. Başka bir tanımla, Yapının başta deprem olmak üzere yatay yükler altında yapacağı yanıl otelenmelere karşı koyabilme yeteneğidir[36]. Aynı yük altında daha az deformasyon

yapan eleman diğeri ne göre daha rijittir. Tasarımcı, yapıda kullandığı düşey taşıyıcı elemanların mümkün olduğunca rijit olmasına özen göstermeli; gerektiği zaman perde duvar kullanmalı yada kolon kesitlerini yeterince büyütmelidir.

Elemanlarının rijitliklerinin de ani değişiklikler göstermeden devam etmesini gerekmektedir. Temellerde yapılan özel düzenlerle binaların yer hareketine karşı yalıtılması da esas olarak yumuşak zemin kat ilkesine dayanmakta ise de, yumuşak katlı binaların aksine bu tür düzenlerin başarı ile uygulandığı bilinmektedir. [24]

Yapının rijitliğini arttırarak, depremden meydana gelecek şekil ve yer değiştirmeleri azaltmak mümkündür. Böylece, taşıyıcı sistemle ona bağlı bulunan taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasar azaltılabilir.

Taşıyıcı sistemde yanıl rijitlik kazandıracak bazı yeni elemanlar eklenirse, yapının genel davranışı birdenbire rahatlar; depremkuvvetlerinin çok büyük bir bölümü yeni rijitlik elemanları tarafından alındığından, var olan çerçeve elemanlarında oluşan zorlanmalar büyük ölçüde azalır ve bu elemanlardan birçoğunun taşıdığı dayanım yeterli duruma gelir[53].

3.1.2.4 Göçme Mıdu

Depremetkisine karşı boyutlanmada kesitler öngörülen etkilere karşı koyacak şekilde boyutlandırılırken, özellikle düşey taşıyıcıların dayanımını kaybederek tüm sistemlerin göçmesinden veya burkulma gibi ani göçmeden uzak kalınması istenir. Bu amaçla kuvvetli bir deprem durumunda, sistemin elastik ötesi davranışı göz önüne alınarak göçme durumunun incelenmesi gerekir. Genel olarak bir birleşim bölgesinde kolon yerine kirişlerin kesitlerinde plastik mafsall oluşarak güç tükenmesini ortaya çıkması tercih edilir. Ancak, kiriş kesitlerinin katlar arasında fazla değişmesi, bunun yanında kolon kesitlerinin üst katlara doğru küçülmesi veya açıklıkların büyük olması gibi koşullar bu özelliğin her zaman sağlanmasını engeller. Böyle bir durumda deprem yükleri arttırılarak boyutlanma yapılması bir çözüm olabilir[24].

3.1.2.5 Süneklik ve Dayanım

Dayanım yapıyı oluşturan elemanların belirli bir dayanıma sahip olmalarıdır. Öçüsü “taşıma gücü”dür[26].

Deprem etkileri genellikle zemin kat seviyesinde en büyüktür. Bu katın kendi yatay yükü yanında üst katlardaki yatay yükleri de taşıması gerekir. Kullanışekli ve bazı mîmari nedenlerden zemin katta hacimlerin geniş, taşıyıcı elemanların narin ve bölme duvarlarının naz olması istenir. Bu amaçla zemin katlarda düşey taşıyıcı eleman yoğunluğu tanımlanabilir. Düşey taşıyıcı elemanların kesit alanlarının toplam zemin kat alanına oranı; zemin katlarda düşey taşıyıcı eleman yoğunluğu olarak tanımlanabilir. Bu yoğunluk 10-20 katlı çerçevesel çelik yapılarda %1 civarında ve perde çerçevesel betonarme yapılarda %2 civarındadır[24]. Bu yoğunluk dikkate alınarak tasarımın yapılması uygundur olacaktır.

Depreme dayanıklı olmaları bakımından, bütün yapılar için gerekli bir takım genel özellikler vardır. Bunlar, yapının ağırlığı, esnekliği ve sünekliği ile ilgili özelliklerdir. Depreme dayanıklı olarak tasarlanan yapı hafif olmalıdır. Depremlerde yapılara gelen yükler yapının ağırlığı ile ilgilidir. Ağır yapıya gelen deprem yükleri daha büyüktür[25].

Yapı esnek olmalıdır. Yapı deprem yükleri geldiği zaman hareket ederek salınmalar yapmalıdır. Eğer yapı deprem yükleri altında salınmalar yaparsa depremin gücü yapıyı yıkmadan harcanmış olacaktır[25].

Yapı sünek olmalıdır. Sünek bir malzeme lastik gibi kopmadan önce uzayan bir malzemedir. Sünek yapılar ise yıkılmadan önce çok büyük salınmalar yapan ve çok hasar görse bile kolay kolay yıkılmayan yapılardır[25]. Süneklik ise; bir malzemenin yapının taşıma kapasitesinde bir azalma olmadan büyük deformasyon yapabilme özelliğidir. Betonarme yapı elemanlarının sünekliği uygun boyutlandırma ve donatı detayıyla sağlanır[26].

Bir yapının çelik ya da ahşap olması, yapıya kendiliğinden depreme dayanıklılık kazandırılmaktadır. Örneğin, çelik bir yapı olan Vagon Fabrikası 17 Ağustos 1999'da Adapazarı'nda yıkılmıştır. Yapı malzemesi ne olursa olsun, yalnız düşey yükler için tasarlanmış yapıların depreme dayanıklılığı garanti edilemez. Sadece düşey yükleri taşıyacak şekilde tasarlanmış bir yapı ile düşey yüklerin yanında yatay yüklerin de taşıyacak şekilde tasarlanmış bir yapı arasındaki fark, depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda uzman olan bir mühendis tarafından kolayca anlaşılabilir. Bu fark yan yana duran iki yapıdan biri yıkılırken diğeri nispeten az ya da orta hasarlı olması ile de anlaşılabilir[28].

Ana kitleye girintili, çıkıntılı olarak bağlı olan yapılarda, yatay kuvvetler nedeni ile olumsuz etkiler meydana gelmektedir. Şayet bu tür marnari den vazgeçilemiyor ise girintiler ana kitleden derzler ile ayrılmalıdır.

Yapı yüksekliği boyunca düşey taşıyıcı elemanlarda süreklilik sağlanmalı, ani rijitlik değişimlerinden kaçınılmalıdır. Yapı yüksekliği boyunca yapı alanının küçülmesine izin verilebilir ancak bu alan değişimi ani olduğu takdirde; gerilme yığılmaları olması nedeni ile sakınca teşkil etmektedir.

Yapı rijitliğini arttıran perdeler, planda her iki yönde simetrik olarak yerleştirilmelidir. Aksi halde kütle merkezi ile rijitlik merkezi çakışmayacağı için burulma tesirleri oluşacaktır.

Yapı yüksekliği boyunca kısa kolon ve yumuşak kat oluşumuna izin verilmelidir.

Tasarlanacak yapıya komşu olan parseldeki binaların yükseklikleri, konumu, deprem yükleri altındaki davranışı belirlenmeli, çekilme etkilerinin oluşmasına özen gösterilmelidir.

Yapının deprem yüklerine göre yapısal analizinde önce uygun bir hesap modelinin seçilmesi gerekmektedir. Hesap modelinde yapısal davranışa uygun kabuller yapılabilir.

Ülkemizde yürürlükte olan deprem şartnamesinde, temel üst kotundan itibaren toplam yüksekliği 75 m'yi geçmeyen, taşıyıcı sistemi düzenli yapıların deprem hesabının eşdeğer statik yüklere göre yapılacağı, taşıyıcı sistemi düzenli olmayan yapılarda güvenilir dinamik bir hesap yönteminin kullanılabileceği, ancak bu halde bulunan deprem etkilerinin eşdeğer statik yüklere göre bulunan etkilerinin %70'inden az olamayacağı belirtilmektedir.

Taşıyıcı sistemi için seçilen hesap modeli karışık olmalıdır. Depreme dayanıklı yapı tasarlamak ve üretmek için basit, fakat; yapısal davranışa uygun hesap modeli seçilmelidir. Depreme dayanıklı olarak tasarlanan yapıların üretiminde malzeme ve işçilik kontrolüne, tasarımdaki detayların imalata uygulanıp uygulanmadığına özen gösterilmelidir. [31]

3.1.3 Yapı Periyotları İle Zemin Periyotları Arasındaki İlişki

Yapının bir gidiş bir gelmesi belli bir süre içinde olur. Bu süre yapının periyodunu belirler; yapının cinsi ve kat adedine bağlıdır; kolay kolay değişmez. Genellikle yapı ne kadar çok katlı ise titreşim periyodu da o kadar uzun olur.

Yapıların periyotları olduğu gibi oturdukları zeminin de bir sallanma periyodu vardır. Zeminin de bir defa gidiş-gelmesi belli bir zaman içinde olur. Bu periyot kayalık zeminlerde daha küçük (saniyede daha çok gidiş gelme hareketi olur), yumuşak zeminlerde daha büyük olur (saniyede daha az gidiş gelme hareketi olur). Birbirlerinden farklı olan zeminlerin periyotları da, birbirlerinden farklı olacaktır. Örneğin, kayalık ve sert zeminlerde bu sallanma saniyede 8-10 kere olabilir. Öeyandan yumuşak, kolay kazılan, derin kil tabakalı, kumlu ve dolgu zeminlerde bu sallanma daha yavaş olur, saniyede 1-3 kere gibi.

Deprem sırasında ortaya çıkan şok, sarsıntı, dalgaları yer kabuğu ve yüzeyinde yayılırlar. Bu yayılma sırasında geometrik olarak giderek büyüyen dalgaların şiddetinin azalması yanında dalgaların geçtikleri ortamlardan enerji kaybı ile sönüme uğramaları sonucunda yer hareketinin niteliği giderek değişmektedir.

Önce yer hareketi içindeki yüksek frekanslı, kısa periyotlu titreşimler fazla uzaklara gidemezdir. Uzaklara kadar gidebilen sarsıntı dalgaları daha küçük frekanslı, uzun periyotludur. Çok katlı yapıların doğal titreşim periyotlarının uzun oluşu dikkate alınırsa genel olarak çok katlı yapıların “uzak” depremlerden daha çok etkilenecekleri hemen anlaşılacaktır. Bu duruma bir örnek; 1967 Adapazarı Depremi’nde Ankara’daki zeminin İmar ve İskan Bakanlığının 10 katlı binasının bodrum kat kolonunda çatlama oluşmasıdır. Ayrıca 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremi sonrasında da kilometrelerce uzaklıktaki Avcılar’ın büyük hasar görmesi de aynı nedenden ötürü gerçekleşmiştir.

Depremlerde olan yer hareketinin periyot kapsamı üzerinde etkili olan bir başka faktör de yerel zemin koşullarıdır. Yumşak zeminler, genç dolgular üzerindeki deprem kuvvetli yer hareketinin büyük genliğe sahip olduğu periyot aralığı ile yüksek yapıların doğal titreşim periyotları bölgesi çakışmaktadır.

Yüksek yapıların uzakta olan depremlerden ve yumuşak zeminlerdeki deprem yer hareketinden etkilenecekleri ve bu zeminlerdeki yer hareketinin daha sert olan kayalık zemine göre daha büyük olacağı bilinen bir gerçektir. Bugün deprem bölgesi

olarak görünmeyen yerlerde yapılacak bir çok katlı yapı eğer depreme karşı gerekli önlemler alınmamış ise birkaç yüz kilometre uzakta olan bir depremden ciddi ölçüde hasar görebilecektir.

Uzaktan etkilenecek bölgeler için genel olarak denilebilir ki; uzun periyotlu yapıları kısa periyotlu zeminler üzerine, kısa periyotlu yapıları ise uzun periyotlu zeminler üzerine yapmak yerinde olacaktır[5].

3.1.4 Deprem Yönetmelikleri

Tarihte ilk olarak MÖ 2000 yıllarında Babil Kralı Hammurabi'nin uyguladığı bilinen Hammurabi Kanunları'nda[30] karşılaşılan inşaa yasası zaman ve yapı mşekillerinin farklılaşmasıyla bugüne kadar değişerek gelmiştir. İlk inşaa yönetmeliği olan bu kanuna göre;

“Eğer bir müteahhidi n sağla myapmadığı bir binanın çökmesi ile bina sahibi hayatını kaybederse, müteahhit ölüm cezasına çarptırılır. Eğer bina sahibinin oğlu hayatını kaybetmişse, müteahhidi n oğlu ölüm cezasına çarptırılır. Eğer bina sahibinin kölesi hayatını kaybetmişse müteahhit aynı değer de bir köleyi bina sahibine verir. Eğer müteahhidi n sağla myapmadığı binanın çökmesi sonucunda, bina sahibinin malları zarar görmüşse müteahhit binayı tekrar yapmalı ve bina sahibinin tüm zarar ve ziyanını karşılamalıdır. Bir binanın inşaat kurallarına uyul madan yapılmış bir duvarı çökerse, müteahhit tüm masrafları kendisi ödemek ve duvarı sağlamlaştırmak zorundadır.”[30]. Şekil 3.4’de Hammurabi Kanunları gösteril mektedir.

Günümüzde uygulanan depreme dayanıklı yapı yönetmeliklerindeki şartlar asgari şartlar olup, bu yönetmeliklerin amacı; milli servetin ve insan hayatının korunmasıdır. Yönetmelikler binanın kısmen de olsa hasar görmesine izin ver mektedirler.

Türkiye’de depreme dayanıklı yapı tasarımı için hazırlanan yönetmelikler şu ana kadar birçok kere değişikliğe uğramıştır. Bunlar ilk kez 1939 Erzinan deprem felaketinin ardından yürürlüğe konmuştur. Erzinan depreminden sonra 1998’de son düzenlemenin yapılmasına kadar, Türk yasaları birçok kez yeniden gözden geçirilmiştir. Türkiye’de yürürlükte olan son yönetmelikler, 1994 Amerikan yasası ile oldukça benzeş mektedir[17].



Şekil 3.4 H a m m u r a b i Kanunları [30]

Tüm depremlerin aynı özellikleri taşıması ve/veya her bölgede aynı hesap modelinin kullanılmasını tüm tasarımların aynı yöntem kullanılarak uygulanmasını engellemektedir. Yönetmeliklerin ve tasarım yöntemlerinin başlıca işlevleri, bütün bu belirsizliklere karşın, depreme dayanıklı tasarımla ve ölçütlerinin, dolaylı yollardan da olsa, sağlanmasını gerçekleştirmek olmalıdır [29].

3.1.4.1. 1998 ABYYHY' de Tanımlanan Düzensizlikler

1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)'te binalar, öncelikle düzenli ve düzensiz binalar şeklinde ikiye, düzensiz binalarda, kendi içinde;

a) Planda Düzensizlik Durumları

b) Dişey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

olmak üzere yine iki gruba ayrılmıştır. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2' de düzensizlik durumları gösterilmektedir [22]:

Tablo 3.1 Handa Düzensiz Öan Yapılar

Düzensizlik	Tanı m	Önlem
A1) Burulma düzensizliği	Bir katta % 5'lik yatay kuvvet dış merkezliği altında öteleme ve burulma sonucu oluşan en büyük relatif yer değiştirme oranının 1.2'den büyük olması ($n_{bi} > 1.2$)	$n_{bi} > 1.2$ ise, ek dış merkezlik artırılır $n_{bi} > 2.0$ dı na mık hesap yapılır
A2) 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	Planlardaki her iki doğrultudaki çıkıntıların bu doğrultudaki yapı boyutunun % 20'sinden fazla olması ($a_x > l_x/5$; $a_y > l_y/5$)	
A4) Taşıyıcı sistem elemanlarının paralel olma düzensizliği	Yatay yükleri taşıyan elemanların yapıya depremin etkidiğinin kabul edildiği eksenlere paralel olması	Dikey doğrultudaki deprem etkisinden bulunan iç kuvvetler birleştirilir

Tablo 3.2 Düşeyde Düzensiz Öan Yapılar

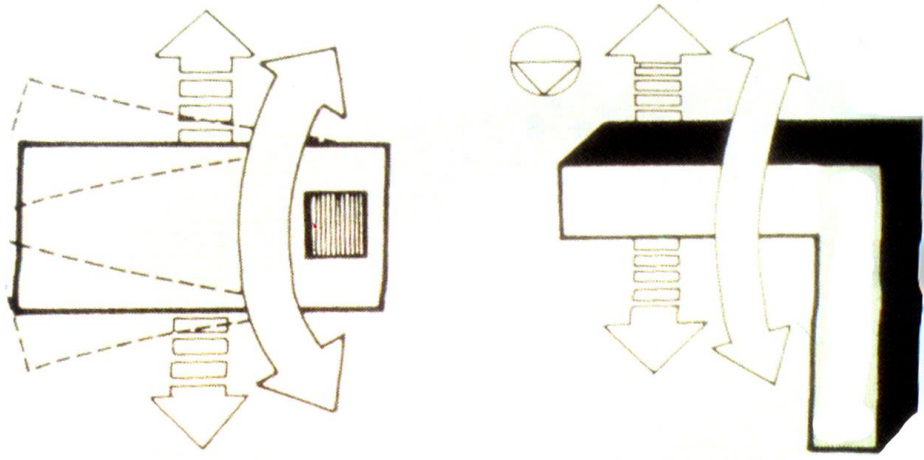
Düzensizlik	Tanı m	Önlem
B1) Dayanım (zayıf kat) düzensizliği	Bir katın etkili kesme alanının (kolon+perde+0.15xkargir duvar alanı) üst katınki ne oranının 0.80'den küçük olması ($n_{ci min} < 0.80$)	$0.60 < n_{ci min} < 0.80$ ise, R katsayısı $1.25 \times n_{ci min}$ ile büyütülür $n_{ci min} < 0.60$ olması na izin verilmediği için, kolon ve perde kesitleri artırılarak bu oran büyütülür
B2) Rijitlik (yumuşak kat) düzensizliği	Bir katta % 5'lik yatay kuvvet dış merkezliği altında oluşan orta la na relatif yer değiştirme oranının 1.5'dan fazla olması ($n_{ki} > 1.50$)	Di na mık hesap yapılır
B3) Süreksizlik düzensizliği	Yatay yük taşıyan düşey elemanların alt katlarda deva met nemesi	Kolon konsola oturmaz Perde kirişe mesnetlenmez. Kolonun iki ucundan mesnetli kirişe oturma sı durumunda veya perdenin iki ucunda kolona oturma sı durumunda iç kuvvetler % 50 arttırılır

- **Planda Düzensizlik Durumları:**

Burulma (A1) Düzensizliği

ABYYHY'nin 6.3.1. maddesinde, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreceli kat ötelenişinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreceli ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu, şeklinde ifade edilmektedir[22].

% 5'lik dış merkezlikle etkiyen deprem kuvveti etkisinde her katta en büyük relatif kat yer değiştirmesinin ortalama kat yer değiştirmesine oranı 1.20'den büyüktür.

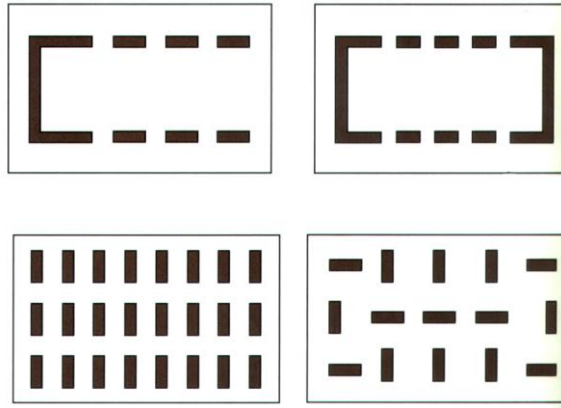


Şekil 3.5 Burulma Düzensizliğinin Gerçekleşme Biçimi[45]

Düşey elemanların rijitliklerinin sistematik dağılımı sonucu, binada rijitliği az olan taraf, çok olan tarafa göre daha çok deplasman yapar. Bu oran $2 \geq \eta_{bi}$ yi aşmamalıdır[45]. Burulma hasarının gerçekleştiği plan biçimlerine örnek Şekil 3.5'de verilmektedir. Burada çekirdeğin planda kenarda olduğu durum görülmektedir. Bu plan tiplerinden ilki dikdörtgen biçimindedir; fakat çekirdek kısım kütleli ortası yerine kısa kenara yakın bir bölgeye yerleştirilmiştir. Bu tür planlarda eğer çekirdeğin sistetrigine, yapılan hesaplar sonucunda yeterli rijitliği ve dengeyi sağlayacak eleman ya da elemanlar yerleştirilmezse bina deprem yükü etkisi ile burulma hareketine maruz kalacaktır yani uzun kenara dik doğrultuda gelen deprem yüklerinin etkisiyle binada burulma hasarı meydana gelecektir. Çekirdeğin kütle merkezine yerleştirilmesi kütleli rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin uzaklaşmasına neden olmaktadır. Diğer plan tipi ise "L" şeklindeki plan tipidir. Bu tür planlarda deprem yükleri etkisi altındaki yapı şekli itibarıyla, "L" nin iki kolu

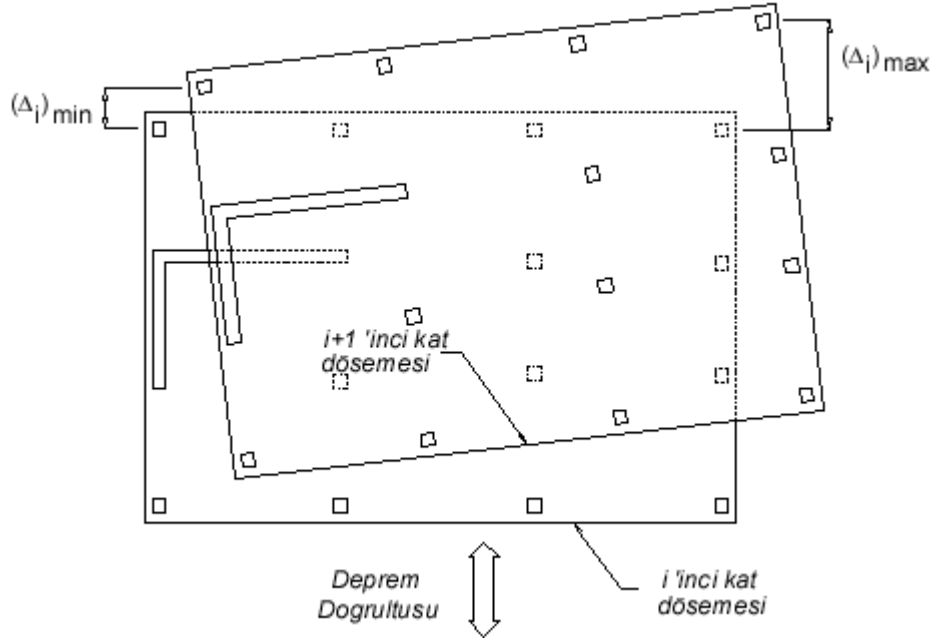
arasındaki bağlantı nedeniyle bu yüklere karşı farklı davranışlar gösterecektir. Bu kollardan bir tanesine dik yönde gelen bir deprem etkisi diğer kola yatay yönde etkiyecektir. Bu nedenle bir kol diğerinden daha rijit davranacaktır. Bunun sonucu olarak da burulma hasarı gözlemlenecektir. Şekil 3.6-a'da A1 tipi düzensizliği oluşturan ve Şekil 3.6-b'de A1 tipi düzensizliği oluşturan taşıyıcı sistem yerleşimleri gösterilmektedir. Bu tür taşıyıcı sistem yerleşimiyle yapıdaki burulma düzensizliği ortadan kaldırılabilmektedir.

$$2 \geq \eta_{bi} > 1.2 \quad (3.1)$$



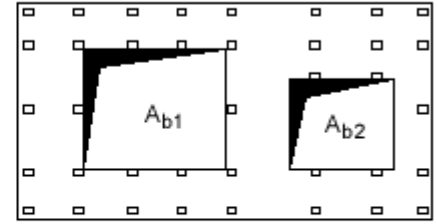
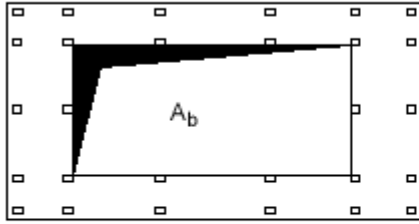
Şekil 3.6 a) A1 Düzensizliği Mevcut Planlar b) A1 Düzensizliğini Ortadan Kaldırması [48]

Yapının sadece tek bir bölümüne yerleştirilen perde duvar veya duvarlar eğer perdenin rijitliğine denk gelen başka elemanlar ile dengelenmemişse, bu perde duvar yapıya depremsırasında yararından çok zarara neden olacaktır ve yapıda burulma hasarı meydana gelmesine neden olacaktır. Bu tür sistemlerde taşıyıcı sistem mümkün olduğunca düzgün yerleştirilmeli ve gerek olmadığı durumlarda perde duvar uygulanması yapılmamalı, perde duvar uygulanması yapılacaksa da statik hesaplamalar sonucunda binanın rijitlik ve ağırlık merkezlerinin birbirine en yakın olduğu ya da mümkünse çakıştırıldığı bir çözüm bulunarak uygulanması yapılmalıdır. Şekil 3.7'de ABYYHY' de tanımlanan A1 tipi düzensizliğinin oluşma şekli görülmektedir.



Şekil 3.7 ABYYHY’de Tanımlanan A1 Tipi Düzensizlik Oluşumu[22]

Döşeme Süreksizlik (A2) Düzensizliği



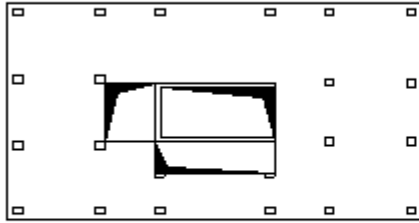
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

A2 türü düzensizlik durumu - I

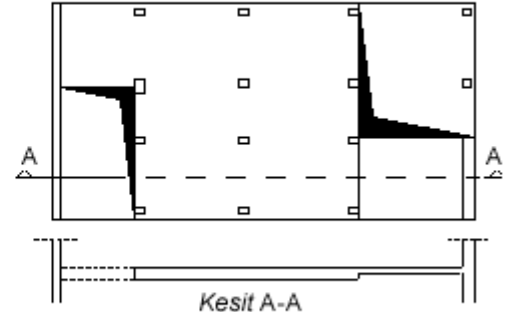
$$A_b / A > 1/3$$

A_b : Bosluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu - II



A2 türü düzensizlik durumu - II ve III

Şekil 3.8 ABYYHY’de Tanımlanan A2 Türü Düzensizlikler[22]

Döşemenin düzlemi içi rijitliği yeterli derecede büyük olmayıp, kat kesme kuvvetinin kolon ve perdelerle dağılımında, döşemenin düzlemi içi şekil değiştirmelerinin etkisi ihmal edilemeyecek düzeydedir. A2 düzensizlik durumu Şekil 3.8’de gösterilmektedir.

Herhangi bir kattaki döşemede;

I - Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3’ünden fazla olması durumu,

II - Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,

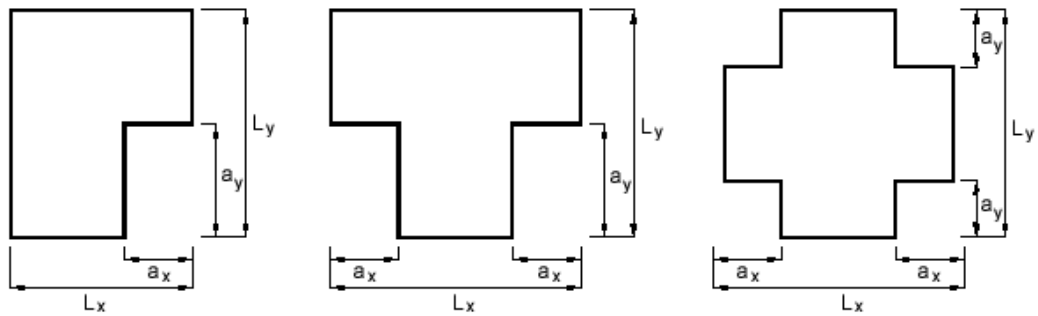
III - Döşemenin düzlemi içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu,

ABYYHY’ e göre A2 düzensizliğini oluşturan durumlarıdır[22].

Planda Girinti Ve Çıkıntı (A3) Düzensizliği

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20’sinden daha büyük olması durumudur[22]. Şekiller 3.9 ve 3.10’da A3 düzensizlik durumu verilmektedir.

Bina planda toplu bir durumda olmayıp, H, I ve T gibi şekillere sahiptir. Bu tiplerde plandaki her iki doğrultudaki çıkıntılar veya girintiler, ilgili dış boyutun % 25’ini geçmektedir.



Şekil 3.9 ABYYHY’ de Tanımlanan A3 Türü Düzensizlik [22]

A3 türü düzensizlik durumu:

$$a_x > 0.2 L_x \text{ ve aynı zamanda } a_y > 0.2 L_y \quad (3.2)$$

Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Paralel Olmama (A4) Düzensizliği

Taşıyıcı sistemlerinde, kütle ve rijitlik dağılımının yaklaşık olarak simetrik bulunduğunun kabul edilebileceği iki dik eksen takımı mevcut değildir. Şekil 3.11’de A4 türü düzensizlik oluşması durumuna örnek verilmiştir.

- **Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları:**

Betonar η binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kes η alanının, bir üst kattaki etkili kes η alanına oran

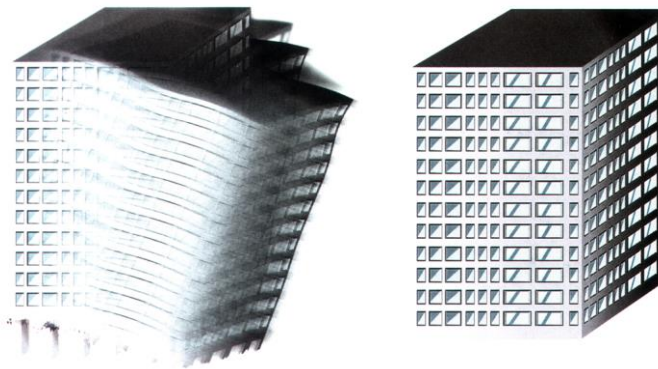
olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci} 'nin **0.80** den küçük olması durumudur[22].

$$\eta_{ci} < 0.80 \quad (3.3)$$

Bina eksenel simetrisini koruyan geri çekmeler %20'den daha büyük bir oranla ortaya çıkmaktadır. Eksenel simetrisini korumayan geri çekmeler %10'dan daha büyük oranda ortaya çıkmakta ya da toplam geri çekme %30'dan fazla olmaktadır. Tek bir geri çekme tabandan itibaren bina yüksekliğinin %15'inin daha altında (üstünde) ve geri çekme %50 (%20)'den fazladır.

Uygulamada zayıf katlı olarak nitelendirilebilecek olan yapılar, düşey taşıyıcı elemanları sadece boşluklu ve/veya boşluksuz perdelerden oluşan yapılar ile perdeli ve çerçeveli yapılar olarak düşünülebilir. Zayıf kat bakımından en elverişsiz nitelikte olan durum perdeli yapılarda, belirli bir katta perdelerin yerini kolonların alması hali dir[37].

Rijitlik (Yuşak Kat- B2) Düzensizliği



Şekil 3.12 B2 Türü Düzensizlik

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görel kat ötelenesinin bir üst kattaki ortalama görel kat ötelenesine oranı olarak tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} 'nin 1.5'ten fazla olması durumudur[22].

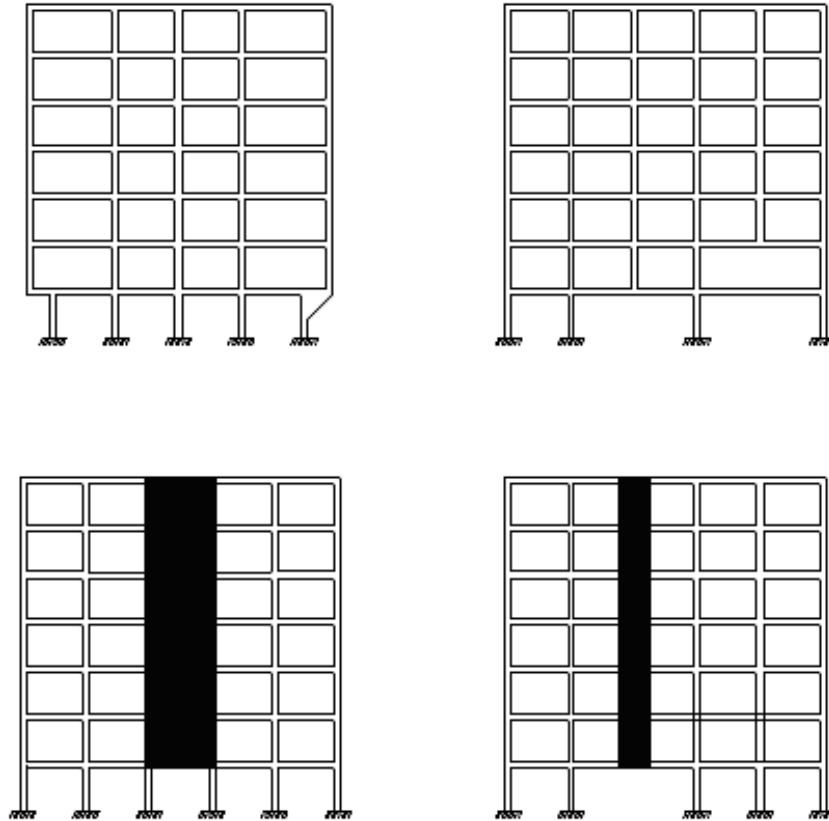
$$\eta_{ki} > 1.5 \quad (3.4)$$

Bina temel den yukarı doğru kat yanal rijitliği ve kütlesi ani bir değışiklik göstermekte veya azalmaktadır. Şekil 3.12’de B2 türü düzensizliğin üç boyuttaki tasviri gösterilmiştir[48].

Sürekli k (B3) Düzensizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonlarının üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumudur[22].

Yatay yük taşıyan düşey elemanların, binada yapılan geri çekilmeler dışında da, temelden üst kata kadar devam etmediği durum vardır(Şekil 3.13).



Şekil 3.13 B1 ve B3 Türü Düzensizlik Durumu, kolonlar- perdelerin kesilmesi[22]

Düzensizlik tanımının geometrik boyutlara bağlı olarak verilmesi doğru değildir. Kritik kesitlerin azlığı veya çokluğu yapıdaki rijitlik dağılımı ile ilgilidir. Taşıyıcı

sistem karakteristiklerine bağı olarak aynı boyutlardaki binalar daha düzenli veya daha düzensiz davranış gösterebilmektedirler[37].

3.1.4.2 Eurocode 8’de Bulunan Düzensizlikler

Eurocode olarak bilinen yönetmelikler dokuz tane olup, bazıları henüz taslak halindedir. Birleşik Avrupa için hazırlanan yönetmeliklerden EC2 ve EC8 en önemilerindendir. Tablo 3.3’de Eurocode8 Bölüm 1’in düzeni verilmiştir. Türkiye’de geçerli olan TS 500 ve Deprem Yönetmelikleri’nde yapılacak olan değişikliklerin bu yönetmelikle olabildiğince paralel olması uygulamalar açısından kolaylık sağlayacaktır [24].

Tablo 3.3 Eurocode8 Bölüm 1’in Düzeni

Bölüm	Konu
1-1.	Depremetkisi ve yapılar için genel boyutlama kuralları 1. Genel bilgiler 2. Temel esaslar ve uygunluk ilkeleri 3. Zemin koşulları 4. Depremetkisi
1-2.	Binalar için genel boyutlama kuralları 1. Genel bilgiler 2. Depreme dayanaklı binaların özellikleri 3. Yapısal çözümler 4. Güvenlik Ek A Boyutlamanın temel ilkeleri Ek B Burulma etkilerinin yaklaşık hesabı Ek C Binaların periyodu için yaklaşık formler
1-3.	Yapı malzemesine bağı olarak binalar için özel boyutlama kuralları 1. Genel bilgiler 2. Betonarme binalar 3. Çelik binalar 4. Karma binalar 5. Ahşap binalar 6. Yığma binalar Ek A Betonarme perdelerin uç elemanlarının önboyutlanması Ek B Prefabrik binalar
1-4.	Depreme karşı mevcut binaların güçlendirme ve onarım.

3.1.5 Mimarî Tasarımda Karşılaşılan Diğer Düzensizlik Durumları

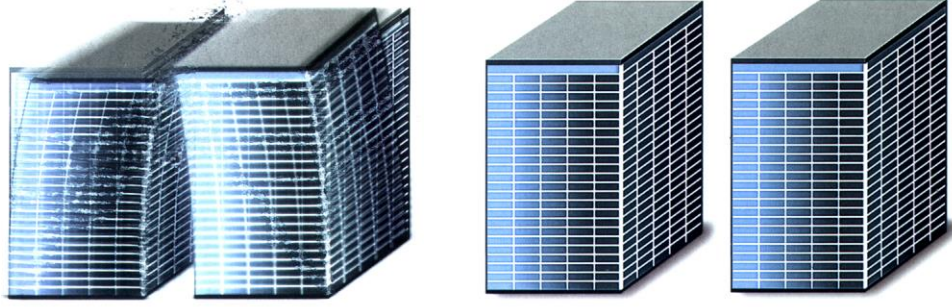
Deprem yönetmeliğinde tarif edilen bu düzensizlikler dışında; yapının konfigürasyonu, katlar arası yüksekliklerle, kütle ya da rijitlik dağılımıyla taşıyıcı sisteminin seçimiyle ve daha bir takım uygulamalarla da daha başka düzensizlikler meydana gelebilir. 1999’da meydana gelen İzmit ve Düzce Depremleri sonrasında da

birçok yapının bu tür düzensizlikler içerdikleri için ağır hasarlara maruz kaldıkları gözlemlenmiştir.

1999 İzmit depremi sonrasında, yıkılmış ya da ağır hasar görmüş binalarda İstanbul Teknik Üniversitesi ve Mimarlar Odası İzmir Şubesi tarafından yapılan incelemeler sonucunda aşağıdaki durumlar gözlemlenmiş ve iki ayrı deprem raporu hazırlanmıştır. Bu raporlar sonucunda çıkan hatalar şu şekilde sıralanabilirler[23]:

- Kolon-kiriş birleşim yerlerinde etriler ya hiç kullanılmamış ya da yeterli sıklıkla yapılmamıştır.
- Kolon ve kiriş donatı elemanlarının kenetlenme boylarının yeterli olmaması sıyrığa ve dolayısıyla da göçmeye yol açmıştır.
- Beton kalitesi ve işçiliği ile birlikte kullanılan malzemelerin de yapılara yeterli uygunlukta olmadığı gözlemlenmiştir.
- Dış ve iç duvarlarında ısı izolasyonu yapılmış olan binaların bütün yapı elemanlarının taşıyıcı sistemde sağlamankre edilmiş olması nedeniyle tamamen ya da kısmen göçtüğü gözlemlenmiştir.
- Kısa kolon kullanımı bilinçsizce uygulanmıştır.
- Bir çok yerleşim bölgesinde 9-10 kata varan bitişkin yapılar da, binalarında gerekli boşluk (dilasyon) bırakılmadığı için, binaların birbirlerine çarpmaları sonucu yıkılmaya meydana gelmiştir.
- Betonarme taşıyıcı sistemin düzensiz olması nedeniyle kirişlerin dolaylı mesnetlenmeleri ve kolonlarla eksenel birleşimleri büyük hasar ve yıkımlara neden olmuştur.
- Çatısı olan binalarda, özellikle çatı kalkan duvarlarının büyük bir çoğunluğu, kalkan duvarın yapı ile ankre edilmeden ve hatıl yapılmadan yapılmış olmasından kaynaklanmıştır.
- Arazi seçiminin hiçbir bilimsel veriye dayanmadığı ve rasgele her türlü zeminde 7-8-9-10 katlı yapıların yapıldığı ve kayıpların başlıca nedenlerinden bir tanesinin bu olduğu gözlemlenmiştir.
- Birbirine komşu iki bina arasında yeterli miktarda mesafenin bırakılmaması durumunda, depremitresi mleri sırasında iki bina birbirine çarparak hasara meydan

neden olmaktadır. Aradaki mesafe depremsırasında iki binanın birbirlerini farklı salınımlarından etkilenmelerini önleyecektir. Şekil 3.14’de deprem sırasındaki titreşimleri nedeniyle birbirlerine doğru salınım yapan iki bina görülmektedir. Aralarında yeterli mesafe bulunması halinde birbirlerine etkileri binaların göçmesi ne kadar varacak sonuçlar doğurabilmektedir.



Şekil 3.14 Birbirine Komşu İki Bina Arasında Yeterli Mesafe Bırakılması

Yapılarda sık olarak karşılaşılan diğer düzensizlik durumları şu şekilde sınıflandırılabilirler:

Plan Üzerindeki Düzensizlik

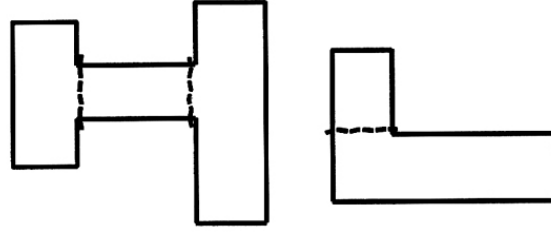
Plan üzerindeki düzensizlikler; simetrik olmayan planlar ve planda çıkıntı bulunan haller olarak iki sınıfa ayrılabilir[45].

Taşıyıcı sistemi planda simetrik olmayan binalar, yatay yüklerin etkisi altında rijitlik merkezi etrafında bir dönme hareketine maruz kalırlar. Kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmasından doğan böyle bir hareket sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarında ilave iç kuvvetler meydana gelir.

Planda iki simetri eksenli olan yapılar özellikle depremin burulma etkileri bakımından çok uygundur. Ancak yük merkezi ne uzak olan rijit elemanlar kullanıldığı takdirde, bazı simetrik olmayan yapıların da kolayca ve başarıyla depreme dayanıklı olarak projelendirilebilirler.

Yatay düzlemde L, T, U ve [] vb. tiplerde bir mimari plan gerektiren binalarda burulma hasarları meydana getirir. Girintili köşeler, gerilme-yığılma nın görüldüğü yırtıklar şeklinde davranış göstermektedir. Düzensiz formlar, kanatların serbest uçları, bağlanmış uçlardan daha az rijit olduğundan burulmayı da artırmaktadır. Şekil 3.15’de planda girinti ve çıkıntıların bulunması hali

gösterilmiştir. Asimetrik veya düzensiz planlar, hareket karşısında farklı dayanım gösteren değişik hacimler oluşturmaktadır.

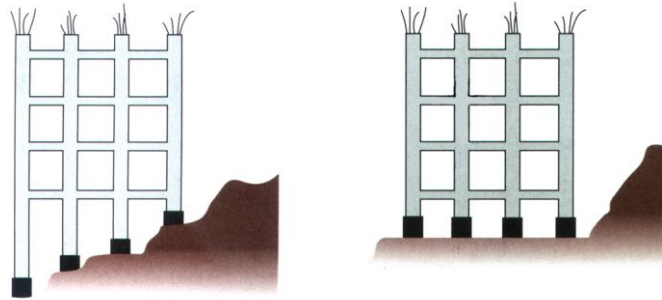


Şekil 3.15 Planda Girdi ve Çıkıntıların Bulunması Hali [33]

Örneğin “L” veya “T” şeklindeki yapının bir kanadı diğer kanadına göre daha iyi dayanım göstermektedir [47]. Bu tür yapılara etkiyen depremyükünü azaltmak için, yapı gerekli sayıda dikdörtgen planlı parçalara ayrılmalıdır. Depremyükünün geliş yönüne göre yapının parçalarının farklı tepki vermesi bu şekilde engellenebilir.

Kat Yüksekliği Düzensizliği

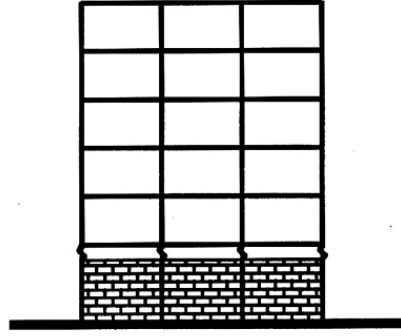
Eğimli arazi de olsa bile temeller aynı yükseklikte inşa edilmelidir. Şekil 3.16’da bu düzenlemenin sırasıyla; yanlış ve doğru uygulaması gösterilmiştir. Eğimli arazi düz hale getirilmeli yada temel seviyeleri aynı kota gelecek şekilde bina düzenlenmelidir. Binalarda düşey doğrultuda düzensiz yapılardan kaçınılmalı ve binalar derzlerle birbirinden ayrılmalıdır.



Şekil 3.16 Yapı Temelinin Eğimli Araziye Urtulması [48]

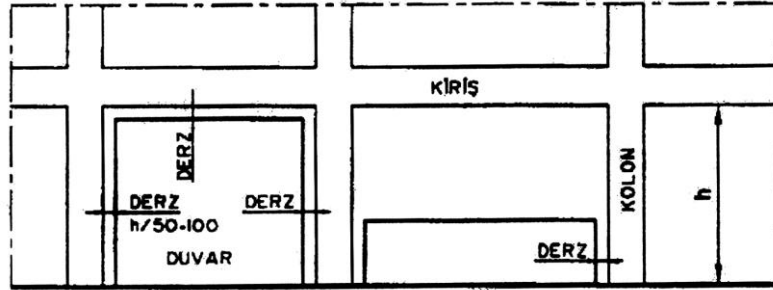
Kısa Kolon Düzensizliği

Yapılarda kısa kolon uygulamaları, daha çok havalandırma ya da içeriye ışık almanacı ile duvarın zemininden tavana kadar tamörülmesi ile meydana gelir.



Şekil 3.17 Kısa Kolon Uygulaması Sonucunda Meydana Gelen Hasar[33]

Kısa kolonların oluşmasına meydan verilmemeli; yada kısa kolonlar enine donatı ile usulünce "sarılmalı" yada duvar ile kolon arasında boşluk bırakılmalıdır. Şekil 3.17' de kısa kolon uygulaması sonucunda meydana gelen hasar gösterilmektedir.



Şekil 3.18 Yapıda Kısa Kolon Oluşumunu Önleyecek Düzenlemeler[33, 72]

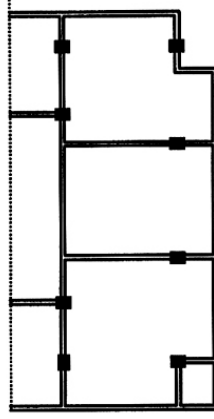
Kısa kolon oluşması için gereken derz payı Şekil 3.18' de verilmiştir. Bu tasarımla dolgu duvarların çerçeve ötelemeinden etkilenmesi önlenmiş olmaktadır.

Rijitlik Dağılımındaki Düzensizlikler

Taşıyıcı sistemi planda simetrik olmayan binalar, yatay yüklerin etkisi altında rijitlik merkezi etrafında bir dönme hareketine maruz kalırlar. Bu tür dönme hareketine meydan vermemek için taşıyıcı sistem planda mümkün olduğunca simetrik olarak yerleştirilmelidir.

Planda kolon ve perdeler dengeli ve burulma oluşturmayacak biçimde düzenlenmelidir. Planda kolonların güçlü boyutları her iki doğrultuda da dengeli bir biçimde dağıtılmalıdır[49].

Kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmamasından doğan böyle bir hareket sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarında ilave iç kuvvetler meydana gelir. Şekil 3.19' da çerçeve sistemde süreksizlik ve giriş bağlantısız kolon hali gösterilmektedir.



Şekil 3.19 Çerçeve Sistemde Süreksizlik ve Kiriş Bağlantısız Kolon Hali[33]

Düşey Süreksizlikler

Düşey taşıyıcı elemanların alt katlarda deva metmesi durumu olarak tanımlanan bu tür düzensizlikler 2 ayrı grupta toplanabilmektedir.

- Üst kat kolonlarının konsollara oturması,
- Üst kat kolonlarının kirişlere oturması,

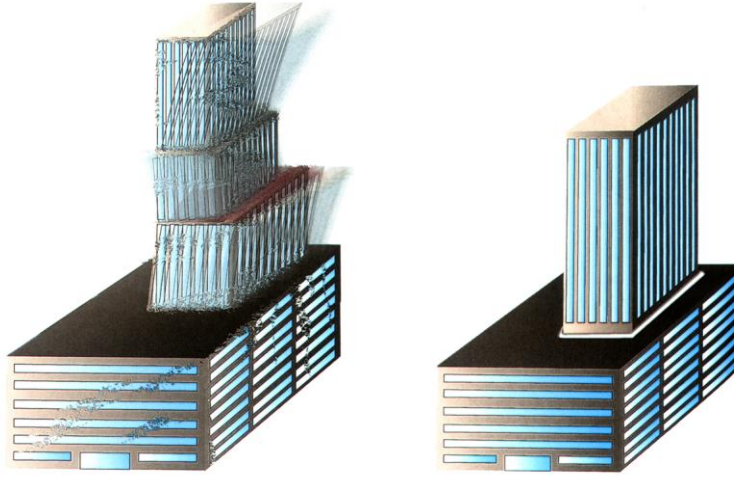
Depreme dayanıklı yapı tasarımı, “üst kat kolonlarının konsollara oturması” ve “üst kat kolonlarının kirişlere oturması”nın herhangi bir yaptırım gerektiremeyecek nitelikte olduğu söylenebilir. Verilen değerler kullanıldığı takdirde çok büyük hasarlar meydana getiremeyebilirler, ancak yine de mecbur kalınmadıkça tavsiye edilecek bir uygulama türü değildir ve bir düzensizlik çeşitidir.

Geri Çekme Düzensizliği

Genel olarak yönetmeliklerde, “Geri Çekme Düzensizliği” belirli bir kattan itibaren, aşağıya doğru, bina genişliğinin belirli bir oranda artması olarak tanımlanmaktadır. Geri çekme düzensizliği 1996 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde, Madde 6.3.1’de “B2- Düşey Geometrik Süreksizlik” başlığı altında verilmiş ve gözönüne alınan deprem doğrultusunda, taşıyıcı sistemin herhangi bir katındaki uzunluğunun bir üstteki taşıyıcı sistem uzunluğundan en az %50 fazla olması durumu olarak tanımlanmıştır.

Yükseklik Boyunca Düzensizlik Durumu

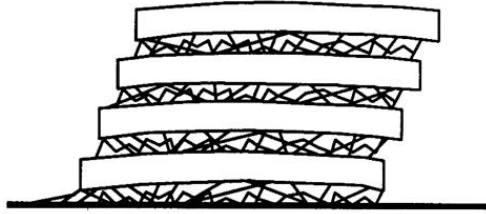
Yapıda üst katlara çıkıldıkça kat kütlelerinin giderek incelenmesi durumu yapıda yükseklik boyunca düzensizlik meydana getirir. Bu durumu telafi etmenin yolu kütle genişlikleri farklı iki yapıyı birbirinden mümkün olduğunca ayırmaktır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 Yapılarda Karşılaşılan Düşey Düzensizlik Durumu [48]

Güçlü Kiriş – Zayıf Kolon Düzensizliği

Betonarme yapılarda, genellikle kolonlar kirişlerden daha zayıf yapıldıklarından, kirişlerin döşemeyle beraber çalışmaları sonucundan ve hesap edildiklerinden daha fazla yük taşıma kapasitesi gösterdiklerinden dolayı kolonlarda hasarlar oluşmaktadır. Betonarme çerçevede hasar depremyönüne göre kolonun bir tarafında basınç, diğer tarafında çekme çatlağı şeklinde olmaktadır.



Şekil 3.21 Zayıf Kolon Güçlü Kiriş Oluşumunun Neden Olduğu Kat Göçmeleri [72]

Çerçeveli bir betonarme yapıda, kolonların moment taşıma gücü, kirişlerin moment taşıma gücünden daha büyükse, kirişlerin uçlarında mafsallaşma olduktan sonra zemin kat kolonlarının alt uçlarında olan mafsallaşma ile yıkılma mekanizmalarından biri gerçekleşir. En çok karşılaşılan yıkılma şekli ise, kolonların narin ve kirişlere göre daha az rijit ve moment taşıma güçlerinin kirişlerden az olması durumunda kolon yıkılma mekanizmasına dönüşmesi durumudur (Şekil 3.21). Çerçeveli betonarme yapılarda karşılaşılan bir diğer yıkılma biçimi ise, beton basınç mukavemeti çok düşük olduğundan, kolonlarda betonun kesme ya da basınç

mukavemeti çok düşük olduğundan, kolonlarda betonun kesme ya da basınç kırılması sebebiyle yapının çok fazla ötelenmeden olduğu yerde kolonların ezilerek yıkılmasıdır[52].

Zayıf Kat Düzensizliği

Binaların giriş katlarının mağaza, restoran, toplantı salonu, vb. amaçlarla kullanılması için bu katlarda dolgu duvarları kaldırılmış olan binalarda yıkılmalar giriş katlarında olur, bu şekilde zayıflatılmış katlara "yumuşak kat" (tehlike katı) adı verilir. Şekil 3.22’de zayıf kat düzensizliği sonucu yapıda meydana gelen hasarlara örnek verilmiştir.



Şekil 3.22 Zayıf Kat Düzensizliği Sonucu Yapıda Meydana Gelen Hasarlar[43, 44]

3.1.6 Yüksek Yapıların Depremlerdeki Davranışları ve Gördükleri Hasarlar

Duran veya sabit bir hızla hareket eden her cismi kendisini harekete geçirecek veya hızını değiştirecek herhangi bir dış kuvvete karşı ağırlığından dolayı bir direnme gösterir. Bu direnme, tesir eden kuvvete aksi yönde oluşur. Bu şekilde oluşan kuvvetlere “atalet kuvveti” denir. Yapılarda da zeminin depremde hareket etmesi, yapının ağırlığının da buna karşı direnmesi sonucu atalet kuvvetleri oluşur[25].

Zeminde olan hareket binayı bir tarafa doğru çekmeye başlar. Ancak yapı ağırlığı ile bu harekete karşı koyarak yapının tekrar eski haline gelmesini ister. Bu gidiş gelme hareketi sırasında oluşan atalet kuvvetleri ve deprem kuvvetleri yapıyı iki ucundan çekmeye başlarlar. Eğer yapıyı meydana getiren elemanlar arasında yeterli bir direnç (yapı elemanlarının yapı parçalarını bir arada tutabilme gücü) varsa yapı çatlama dan durabilir. Eğer yoksa; çatlaklar oluşmaya başlar. Etkinin devam etmesi

ile çatlaklar genişler ve yapının duvarlarının, kolonlarının parçalanıp dağılmasına ve katların birbiri üstüne çökmesine kadar varan yıkımlara neden olabilir.

Depremlerde tamamen çöken yapıların hasar mekanizmalarının anlaşılması pek kolay olmadığı için, deprem sonrası yapılan teknik incelemeler ve hasar tespitlerin genellikle orta ve ağır hasarlı yapılar üzerinde yoğunlaşılır. Bu yapılarda yapılan incelemeler sonucunda, mühendislik ve uygulama açısından yapılmış olan hatalar tespit edilebilir[68].

Depremde yapılarda meydana gelen hasarları;

- Projelendirilmede yapılan (tasarım aşamasında) yanlışlar,
- Uygulamada yapılan (yapılaşma aşamasında) yanlışlar,
- Detaylandırılarda yapılan yanlışlar,

olmak üzere alt başlıklar halinde inceleme نیز mümkündür.

Yapıların deprem kuvvetlerine dayanabilmesi ve özellikle göçme olma ması için yeterli yatay rijitliğe sahip olması gereklidir. Bu rijitliğin sağlanması amacıyla proje aşamasında birkaç basit kurala uyulması bile yeterli olabilir[68]. Yapılarda tasarım sırasında yapılan yanlışlar; deprem hesabının hiç yapılmaması, taşıyıcı sistem seçimiindeki yanlışlıklar, zemin etüdlерinin iyi yapılmaması, düğüm noktalarındaki donatı detaylarına dikkat edilmesi, filiz boyu ve ankraj boylarının yetersiz olması, kiriş ve kolon en kesitinin küçük seçilmesi, yeterli miktarda etriye konulmaması, malzeme kalitesinin kötü olması, donatılarda korozyon meydana gelmesi, zemin katlarda dükkan yapılması sebebi ile bölme duvarlarının bulunmaması halinde önlem alınmaması (yumuşak kat oluşumu), burulma etkisinin göz önüne alınmaması, bitişik binalarda kat seviyelerinin farklı olması, yapının deprem hesabında seçilen deprem kuvvetlerinin gereğinden küçük alınması, zeminin sıvılaşması, tedbirler alınmadan ve muhtemelen hesap yapılmadan konsolların ve çıkmaların yapılması, özellikle band pencere ve merdiven aydınlıklarındaki pencereler sebebi ile kısa kolon durumunun ortaya çıkması, merdiven sahanlıkları döşemelerini kat ortalarında yapılması, sıva kalınlığının gereğinden çok fazla kalın yapılması, hesap ve yapı m kontrolü eksiklikleri, kontrol ve denetim yapacak bilgili ve deneyimli elemanların eksikliği şeklinde özetlenebilir.

Yapıların yapı m sırasında yapılan yanlışlar da; donatı ile aderansı sağ layamayan çok kötü kaliteli ve projede öngörülenden düşük dayanı mlı beton yapı m ve donatı mın standartların altında bir dayanı mda oluş u, beton dayanı m mın çok düşük ol ması, projede düktiliteyi sağ lamak için öngörülen etriye sıklastırıl ması, ankraj boyları ve benzeri donatı ayrıntılarına uyul na ması şeklinde özetlenebilir[68].

Çok katlı yapılarda hasar en alt kattan başlar ve depre m in şiddetine bağı lı olarak üst katlara doğru gi derek azalan bir şekilde yayılır. Eğer yapı çok yüksek ve narin ise (minare ve fabri ka bacası gi bi) hasar ze m inde değı l de yapı mın yerden yüksekli ğ inin $1/3-2/3$ ü arasında ol ur[25].

Çok katlı yapıların depre m davranış larını Bayül ke, N(1987) aşağı daki kriterler ış ığı nda açıkl a maktadır[38]:

- Uzakt a olan şiddetli depre mler yu muşak dol gu ze m nler üzeri nde yapı l mş çok katlı yapı lar için kritik ol maktadır.
- Çok katlı yapılarda perde duvarlı siste mler yat ay yükl ere karşı he myapı mın he mde yapı içi ndeki eş yaların korun ması bakı mından çok et kilidir.
- Boş luklu perde duvarlı yapılarda perdeleri birbirine bağı layan bağı kiriş leri mafsallaş ararak depre m in enerjisini tüketebil mekte ve yapı ların depre mlerden fazla zarar gör me den ç ık masını sağ la maktadır.
- Yapı ların di na mik özellik leri (periyot ve sönüm) depre m sırasında önemli ölçüde değı ş mektedir. Depre mden önce ve sonra yapılacak periyot ölçü mleri ile yapı mın depre mden et kilen me derecesi belirlenebil mektedir.
- Yu muşak ze m nler üzerinde olan çok katlı yapılarda ze m in-yapı karş ılıklı et kilen me si öne midir ve tasarı nda mutlaka dikkate alınmalıdır.
- Çok katlı yapılarda yapı yüksekli ğ i ve planda rijitliklerin uyumlu bir biç imde dağı l ması, ani rijitlik azalmaları nın ol na ması depre m aç ısından çok öne midir.
- Tür ki ye Depre m Böl geleri Haritasında 3 ve 4' üncü Böl ge olarak belirtilen yerlerde uzakt a olan şiddetli depre mlerin et kisi beklen mektedir. Buralarda yapılacak çok katlı yapı mın ze m in durumuna göre 200-300 km uzakt a olacak şiddetli depre m in yer hareketinden et kilenebileceğı özellikle yu muşak ze m nlerde bu hareketin uzun

periyotlu yapılar için daha büyük olacağı düşünülerek depremyatay yük katsayısının seçiminde daha emmiyetli olmalıdır.

3.1.7. Hasar Türleri

Deprem sırasında yapılarda hasar çeşitli sebeplerle ortaya çıkar. Bunlardan en önemlisi, yer hareketi sonucunda taşıyıcı sistemin dayanımının sona ererek kısmi veya tamamen göçmesidir. Bunun yanında, sistemin elemanlarında büyük dayanım azalmalarının oluşması da, taşıyıcı sistemi zayıflattığı ve benzer depreme karşı koyamaz duruma getirdiği için önemlidir. Ayrıca yer hareketi; temel altı zeminini etkileyerek, zeminin taşıyıcılığının azalmasına veya temelde farklı çökmelerin oluşmasına, dolayısıyla taşıyıcı sistemde hasara sebep olabilir. Bir diğer hasar türü de zeminin sıvılaşması sonucu gerçekleşen yapı hasarlarıdır (Celep, Z., Yapılarda Deprem Sonrası Hasar Belirlenmesi Onarım Ve Güçlendirme Yöntemleri)[69].

UNDP/ UNIDO tarafından hazırlanan hasar belirleme tablosu değiştirilerek hasar dereceleri değerlendirilirken aşağıdaki sınıflandırma öngörülmüştür (Celep, Z., Yapılarda Deprem Sonrası Hasar Belirlenmesi Onarım Ve Güçlendirme Yöntemleri)[69]:

1. Yok: Taşıyıcı elemanda görünür çatlak yok. Duvar ve duvar ile çerçevenin birleşim çizgilerinde çatlak var.
2. Hafif: Duvar ve tavanda çatlaklar. Sıva dökülmesi. Taşıyıcı elemanlarda deprem dayanımını etkilemeyen küçük çatlaklar.
3. Orta: Taşıyıcı duvarlarda köşegen veya diğer çatlaklar. Kolon, kiriş ve perdelerde büyük çatlaklar.
4. Ağır: Duvarlarda ezilmeli büyük çatlaklar. Kolon, kiriş ve perdelerde küçük ayrılmalar.
5. Çok Ağır: Taşıyıcı elemanlar ve birleşim bölgelerinde çok fazla hasar ve ayrılmalar. Binanın tümünde çarpılma. Kısmen veya tamamen göçme.

Yapıda meydana gelen hasarları iki başlık altında toplamak mümkündür.

- Taşıyıcı Olan Yapı Elemanlarındaki Hasarlar: Yapının taşıyıcı sisteminde meydana gelen hasarlardır. Bu tür hasarlar müdahale gerektirirler. Yapıda hasar taşıyıcı elemanlara kadar etki nişse yapı çok büyük yatay kuvvet etkisi altında kalmış

olabilir. Bilinçli bir şekilde yapıya yapılacak müdahale ile önce hasarın yayılması engellenip daha sonra da yapı daha önceki dayanımından daha kuvvetli hale getirilebilir. Kolonlarda, kirişlerde, perde uvarlarda ve döşemelerde meydana gelen göçme, kırılma, kopma ya da çatlama olayları bu tür hasarlara örnektir.

Betonarme yapılarda kolonlar kirişlerden daha zayıf yapıldıklarından yada kirişlerin döşeme ile birlikte çalışması sonucu, tasarlanandan daha yüksekte taşıma gücüne sahip olması nedeniyle, çerçeve hasarı daha çok kolonlarda meydana gelmektedir[51].

- Taşıyıcı Olmayan Yapı Elemanlarındaki Hasarlar: Yapıda hasar bazen sadece taşıyıcı olmayan elemanlara etmiş de olabilir. Yapılarda deprem etkilerinden oluşan çatlaklar sıva çatlakları düzeyinde ise genellikle tehlikeli bir durum oluşmamakta ve yapının taşıyıcı elemanları için kritik bir durum yaratmamaktadır. Taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında çatlak çoğunlukla buta taşıyıcı olmayan elemanın üzerine oturduğu ya da taşındığı elemanda aşırı sehim sonucu oluşur. Taşıyıcı elemandaki sehim daha da arttığı durumlarda elemanın kendisinde çatlak oluşması kaçınılmazdır. Taşıyıcı elemanda oluşan çatlak daha ileri bir hasar biçimidir ve daha tehlikelidir[52].

Hasarlar MSK Şiddet Cetveline göre V- VI şiddetindeki deprem hasarları olarak belirtilmektedir[EK A-1]. Duvarda X biçiminde çatlaklar meydana geldiğinde, çatlağın yalnızca sıvada değil dolgu duvarının içinde de devam ettiği anlaşılır. Dolgu duvarlar betonarme çerçeve tarafından tam olarak çerçevelenmiş ise duvarın çatlama kayması veya burulma etkileri ile zorlanması durumları, MSK Şiddet Cetveline göre V- VI veya daha yüksek şiddetlerde, oluşabilir[52].

Ayrıca bunların dışında, yapıya ek yük getirerek depremde hasara neden olabilecek bazı uygulamalar da mevcuttur. Büyük açıklıklı kirişler, toplantı salonu gibi boşluklar, bir terasın üzerine çiçeklik yapmak için konulan toprak dolgu gibi yükler, ağır kütleler oluşturabilir. Ağır kütleler, depremitreşi esnasında civarındaki kiriş ve kolonları aşırı derecede yükleyebilir ve göçmelere neden olabilirler[50].

3.1.8 Çok Katlı Yapıların Depremlerde Gözlenniş Davranışlarına Örnekler

1964 Alaska Depremi: Richter ölçeğine göre magnitüdü 8.4'dür. Depremin en şiddetli halinin 3 dakika sürdüğü kabul edilmektedir (Steinbrugge 1970). Uzun süren depremsonucu yapılar tekrar tekrar kalıcı plastik deforasyonlar bölgesine girmiş

ve düşük devirli yorulma hasarı oluşmuştur. Bu deprem yüksek yapıların uzak depremlerden etkileneneğini ve devrilme momentlerinin çok katlı yapıların alt katlarında düşey yüklere ek olarak büyük miktarlarda depremden dolayı düşey yük oluşturabildiğini ve boşluklu perdelerde bağ kırıışlerine gelen momentlerin hızla mafsallaşmaya yol açabileceğini göstermiştir[38].

1967 Caracas Depremi (Hanson ve Degenkolb 1969): Caracas depreminde şehirde bulunan çok katlı yapılarda önemli hasar gözlenmiştir. Depremin magnitudü Richter ölçeğine göre 6.5, Caracas'a uzaklığı 50 km'dir. Vadinin içinde hasarlı çok katlı yapıların bulunduğu alanda alüvyon tabakasının derinliğini 40 m ve üstü olması na rağmen çok katlı yapı hasarı ile alüvyon tabakası kalınlığı arasında doğrudan bir ilişki bulunmamaktadır.

Bu depremde taşıyıcı sisteminde süreksizlikler olan, perdesiz çerçeveli çok sayıda çok katlı yapıda önemli hasar gözlenmiştir.

Depremsonucunda çok katlı yapıların tasarısında yapılan yanlışlar ile ilgili önemli bazı noktalar vurgulanmıştır:

- Zemin katlarında dolgu duvarlarının bile bulunmaması yapının zemin katında ani bir rijitlik değişimi yaratmakta ve bunun sonucu yapının yıkılmasına kadar varan sonuçlara yol açmaktadır.
- Çok katlı yapılarda devrilme momentleri özellikle zemin katlarda önemli miktarlara ulaşabilmektedir.
- Perde duvarlı yapılarda döşemeyi perde duvara bağlayan özel donatılara gerek vardır. Aksi halde, perde ile döşemeden perdeye kuvvet aktarılmamakta ya da perdedeki dönme döşeme ile perdenin birbirinden ayrılmasına yol açmaktadır. Bunun sonucunda perdenin yatay yükleri taşıyıcı eleman olarak çalışması mümkün olmamaktadır.
- Bu depremde de çok katlı yapılar uzak bir depremin uzun periyotlu yer hareketinden etkilenmişlerdir. Depremde yıkılan dört yapının bulunduğu bölgede rijit ve kısa periyotlu yapıların hasar görme nesi en azından bu bölgedeki yer hareketinin uzun periyotlu olduğunu göstermektedir[38].

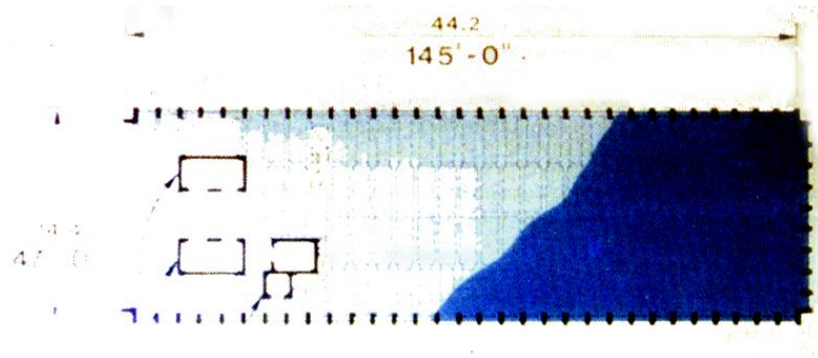
1971 San Fernando Depremi: Bu depremde çok sayıda çok katlı yapıda deprem sırasında yapının ivmesi zemin, orta ve en üst katlarda kaydedilmiştir. Bu kayıtların değerlendirilmesi ile çok katlı yapıların deprem davranışları konusunda çok yararlı bilgiler toplanmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- Alınan kayıtların değerlendirilmesinden matematik modelleme yöntemleri ve bilgisayarlı çözüm yolları ile yapıların deprem davranışları yeterli biçimde belirlenebilmiştir.
- Çelik çok katlı yapılar için kuvvetli depremi vme kayıtlarından hesaplanmış yapı periyotları Yönetmeliklerde verilen periyotların iki katı daha büyük olmuştur.
- Bütün yapıların deprem sonrası çevrel titreşim periyotları deprem öncesi titreşim periyotlarından uzun olmuştur. Bu da yapılarda depremsırasında kalıcı etkiler olduğunu göstermektedir.
- Çok katlı yapıların en üst katlarında ya da çatısında büyük düşey ivmeler oluşabilmektedir.
- Depremde yapılarda oluşan yatay ötelemler yönetmelik hesap yükleri ne göre oluşması beklenen yatay ötelemlerin 2-4 katı daha büyük olmuştur.
- Farklı boyutlardaki yapılar arasında bırakılacak derzler gerçek deprem ötelemleri göz önüne alınarak bırakılmalıdır. Yapı içindeki eşyalar da katlar arasında olabilecek en büyük ardışık ötelemelere dayanabilecek biçimde tasarlanmalıdır.
- Kolonlar mutlaka elastik bölgede kalmalı mafsallaşma giriş uçlarında olmalıdır.
- Bir depremsonrasında yerinden çıkıp çevresine zarar verebilecek ya da can kaybına yol açacak mekanik ve elektrik donanımı ve diğer taşıyıcı olmayan yapı elemanları için özellikle önlenmelidir.
- Çok katlı yapının çevresindeki alçak yapılara çarpmasını önleyecek önlemler alınmalıdır.
- Özellikle köşe kolonları olmak üzere bütün kolonların tasarımı iki eksenli eğilme etkilerine göre yapılmalıdır.

- Yükseklik/ Derinlik oranı 4’den büyük olan yapılarda yüksek modların etkileri önem kazandığından tasarımda dikkate alınmalıdır[38].

1972 Managua Depremi: Bu depremde Managua şehrinde depremin merkezinde bulunan biri betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli diğeri ise perde duvar çekirdekli çerçeve sistemli iki çok katlı yapının depremde gördükleri hasarlar farklı olmuştur. Perde duvarlı yapıda mimari ve taşıyıcı olmaayan sistem hasarı çok sınırlı kalırken, çerçeveli yapıda mimari ayrıntılar ve yapı içindeki eşyalar çok ağır hasar görmüştür. Bu depremde çok katlı yapılar depremin merkezinde yer almışlardır. Depremin magnitüdü Richter ölçeğine göre 5.6 şiddetinde, depremde ölçülen maksimum yer ivmesi 0.4 g civarında olmuştur.

Depremde aynı alan içerisinde konşu iki yapının deprem karşısındaki davranışları büyük farklılıklar göstermişlerdir(Şekil 3.23 ve 3.24). Bu yapılar “Banco Central De Nicaragua” ve “Banco De America”dır. Depremde birbirine çok yakın olan bu iki çok katlı yapıdan perde duvarı olan Banco De America’da hasarın sadece çerçeveli olan Banco Central De Nicaragua’ya göre çok az olması yapı içindeki eşyaların korunması için çok katlı yapıların daha rijit olan perde duvarlı olarak yapılması ve yapının yanal ötelenmelerinin sınırlanarak yapı içindeki eşyanın korunması gerektiği ortaya çıkmış ve perde duvarlar ile bunun sağlanabileceği anlaşılmıştır.



Şekil 3.23 Banco Central De Nicaragua Binası Tipik Kat Planı[45]

Çok katlı yapıların perde duvarlı ya da perde duvarlı çerçeveli olarak yapılması gerektiği bu depremin sonucunda kesin bir geçerlilik kazanmıştır (Berg 1973) [38, 45].



Şekil 3.24 Banco Central De Ncaragua ve Banco De America Binaları[45]

1985 Meksiko Gty Depremi: Richter ölçeğine göre 8.1 büyüklüğünde olan bu depremin merkezinden 350 km uzakta olan Meksiko Gty'deki çok katlı yapılarda büyük hasar ve yıkılmıştır. Bu hasarda yine kentin üzerinde yer aldığı zeminin yapısı ile çok katlı yapıların dinamik özellikleri ve depremin uzak deprem oluşu etkili olmuştur. Depremde yıkılan yapıların he n en hepsi eski göl yatağı üzerindedir. Göl yatağı üzerinde alınan ivme kayıtlarında süre 5 dakikadır ve hakim periyot çok uzundur. Meksiko depremi çok uzakta olan depremin yarattığı uzun periyotlu yer hareketinin yine çok uzun periyotlu hareketleri büyüten yumuşak zeminlerde bulunan uzun periyotlu yapıların üzerinde etkili olması sonucu büyük hasara yol açmıştır.

Bu deprem sonucunda yapılan incelemeler sonucunda çok katlı yapıların deprem davranışlarından ayrıntılı olarak incelenebilmiştir. Bu incelemelerden bir takım sonuçlar elde edilmiştir. Bunlardan bazıları şu şekildedir: Uzakta olan şiddetli depremler yumuşak dolgu zeminler üzerinde yapılmış çok katlı yapılar için kritik olmaktadır. Çok katlı yapılarda perde duvarlı sistemler yatay yüklere karşı yapının ve yapı içindeki eşyaların korunması bakımından etkili olmaktadır. Boşluklu perde duvarlı yapılarda perdeleri birbirine bağlayan bağ kirişleri mafsallaşarak depremin enerjisini tüketebilir ve yapıların depremlerden fazla zarar görmekten çıkmasını sağlamaktadır. Yumşak zeminler üzerinde olan çok katlı yapılarda zemin-yapı karşılıklı etkileşmesi önemlidir ve tasarımda mutlaka dikkate alınmalıdır. Çok katlı

yapılarda yapı yüksekliği ve planda rijitliklerin uyumlu bir biçimde dağılımı, ani rijitlik azalmalarının olma ması deprema çısından çok önemlidir[38].

3.2 Yüksek Yapı Kavramı

İnsanlık çağlar boyunca çeşitli sebeplerden dolayı yapıları ihtiyaç duymuş, koruma, yaşama, tapınma gibi çeşitli eylemler dolayısıyla farklı yapı türleri ortaya çıkarmıştır. Değişik amaçlarla yapılan bu yapılar uzun yıllar tek veya birkaç katlı olarak gelişmiştir. Daha sonraları ise tapınma ve yüceltme isteği ile yapılarda yükselmeler başlamıştır.

3.2.1. Yüksek Yapı Tanımı

İnsanoğlunun yükselme tutkusunun bir sonucu olan yüksek yapılaşma, ilk çağlardan itibaren, var olan tekniklerin kullanımıyla başlamış, zaman içinde gelişen teknoloji ve değişen ihtiyaçlar sonucunda bugün kullanılan tanımla “yüksek yapı kavramı”nın gelişmesini sağlamıştır. Yüksek yapı, çeşitli nedenlerden dolayı değişik biçimlerde tanımlanmaktadır. Tanımlamalardaki farklılıkların nedenleri arasında uygulanan ülke, kullanılan malzeme, kat sayısı sayılabileceği gibi tanımlayan bilim dallarının, yapı mühendisliği, mimarlık gibi, farklı olması da yer almaktadır.

Yüksek yapı kavramını çeşitli tanımlar ile açıklamak mümkündür:

- Yüksek yapı; yüksekliği ile çevresindeki binalardan farklı bir tasarım, konstrüksiyon ve kullanım koşulları oluşturan bina dır[40].
- Yüksek yapılar, yapı mühendisliği açısından bakıldığında, en üst kat döşemesinin, yapının oturduğu zemin yüzeyinden yüksekliği 22 m ve daha fazla olan yapılardır. Bu üst sınırı aşan yapılarda, yatay yüklerin (deprem rüzgâr) taşınması düşey yüklere oranla daha fazla önem kazanmaktadır (Özden 1998)(Tanaçan, L., Coşkun, E, Yüksek Yapıların Tasarım Sorunları)[55].
- Yüksek yapı, genel olarak yakın ve uzak çevresini, fiziksel çevre, kent dokusu ve her türlü kentsel alt yapı yönünden etkileyen bir yapı (bina) türüdür[56].
- Çok katlı yapılar, kat sayısı 8-10 ve daha çok olan binalar olarak tanımlanabilir[38].

- Türkiye’de İmar Yönetmelikleri’nde 10 kat veya daha çok katlı bina yüksek bina olarak tanımlanır.

Çalışma kapsamında, bu tanımlamalar ışığı altında, yüksek yapı ile eşdeğer kabul edilecek kavramlar; yüksek bina, çok katlı bina, çok katlı yapı ve yeri geldiğinde kullanılacak olan gökdelen ifadeleridir. Çalışmada yüksek yapı olarak bahsi geçecek olan yapıların kat adedi yine bu tanımlamalara dayanılarak 8 kat ve üzeri kabul edilmiştir.

Yüksek yapılarla ilgili uluslararası bir kuruluş olan “Council on Tall Building and Urban Habitat” tarafından, çelik çerçeve ve asansör unsurlarının birleştiği, Chicago’da 1883-1886 arasında inşa edilen Home Insurance Building (Mimar William Le Baron Jenney), dünyanın ilk gökdeleni kabul edilmiştir[54].

19.yy’ın sonlarında ABD’de yapılmaya başlanan, çevresindekilere göre önemli ölçüde yüksek ilk binalar, “Skyscraper” diye adlandırılmıştır. “Skyscraper” deyimi yerine Fransızca’da “Gratte-Gel”, Almanca’da “Hochhaus” ve “Wolkenkratzer” deyimi kullanılmıştır. İngilizce’de ise “Tall Building”, “High Rise Building” deyimi kullanılmaktadır[54]. Literatürde bugün daha sık kullanılan tanımlama “Tall Building” ve “High Rise Building” dir.

Altan Öke bir panelde yüksek yapıları şu şekilde kategorilere ayırmıştır[57]:

I. Kategori: Yüksek olmayan 8-12 kat arası yapılardır. Bugün teknolojinin gelişmesine paralel olarak kalfaların imal edebildikleri ve Türkiye’de en çok örneği görülen yapılardır.

II. Kategori: 12-20 kat arası iken, biraz yukarılara çekerek 25 kata kadar zorlanabilen, 12-25 kat arası yapılardır.

III. Kategori: 25 ile 50-55 kat sınırı arasındaki yapılardır, bu yapılar özel tedbirlerin alınmaya başlandığı yapı türleridir.

IV. Kategori: yapılar 55-75 kat sınırı arasındaki yapılardır.

V. Kategori: 75 katın üzerindeki yapılar, “süper gökdelen” olarak adlandırılırlar. Kat adedi 70-110 arasında değişen yapılardır.

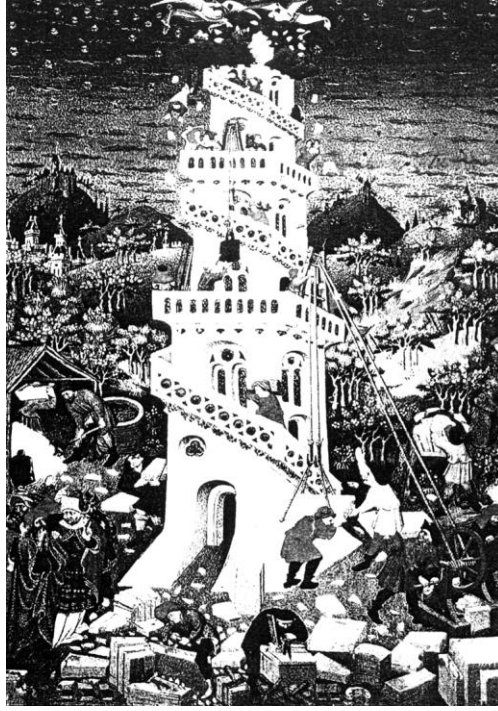
Bu sınıflandırmaya göre Altan Öke, gökdelen kelişiminin III. kategoriden, yani 25 kat sınırının üzerinden itibaren kullanılmasının, diğer alt kategoriler içinde ise yüksek yapı tanımlanmasının daha doğru olacağını belirtmektedir[57].

3.2.2. Yüksek Yapıların Ortaya Çıkma Nedenleri

Yüksek yapıların gelişme nedenleri günümüzde genel olarak şehirlerde kullanılan sahaların azalması, buna paralel olarak kullanılacak arsa fiyatlarının artması, bunun sonucu olarak da arsadan maksimum kazanç temin etme isteği, teknik imkanların artması ve yüksek binaların yapımının artık zor olmaması, firmalar arasındaki rekabet dolayısıyla firmaların büyüklüklerini, içinde çalıştıkları binalarla reklam etme arzusu ve şehir nüfuslarının sürekli artması nedeniyle, merkezlerdeki iş yerlerinin, artan çalışan insan oranında genişletilmesinin artık zeminde değil, binaların yükseltilmesiyle mümkün olduğu gerçeği, şeklinde açıklanabilmektedir[58].

Geçmişte ise yüksek yapıların inşaa nedenleri daha farklı olup; genel deîbadet, kule ve mezar yapılarında örneklerine rastlanmaktadır. Tarihin en eski yapılarından biri olan Mısırlılar'ın kralları Keops'u gömüp, hazinesini saklamak için taştan yaptıkları piramit (MÖ 2600), 146 m yüksekliği ile yüksek yapılarındaki dir. İskenderiye Feneri (MÖ 282) ise Grekler için bir dünya harikası olup, 140 m yüksekliğindeki bu yapı 1200 yıl boyunca dünyanın en yüksek yapısı olma ünvanını taşımıştır. Yüksek yapı inşasının ilk olarak dini ve anıtsal yapılarda kullanılmış, zamanla teknolojinin ve yapı m sistemlerinin gelişmesiyle diğer yapı türlerinde de kullanılmaya başlanmıştır[40].

Mısır'daki Keops Piramidi, Babil'deki Etenanki Kulesi(Şekil 3.25), Atina'daki Akropol, Roma'daki Petersdom Paris'teki Eyfel kulesi benzeri yüksek yapıların kategorik olarak dışında ifade edilen gökdelenlerin ilk örnekleri, 19. Yüzyılın sonlarında Chicago'da ortaya çıkmış, bundan sonra da ticari yönden dünya şehri olan New York ile Chicago arasında; “gök mimarlarının” yükselme rekoru kırma mücadelesi kıyasıya bugüne kadar devam etmiştir[57].



Şekil 3.25 Babil Kulesi'ne Atılır Betimleme[30]

İlk örnekleri ABD'de 19. yüzyılın başında ortaya çıkan ve giderek dünya şehirlerinin sembolü haline gelen “Yüksek Yapı” tipinin ortaya çıkarak biçimlenmesinde etken olan faktörleri; teknolojik gelişmeler, kültürel nedenler, sosyal nedenler, ekonomik nedenler, planlama kararları ve yönetmelikler, moda akımları ve biçim arayışları olarak gruplandırılabilir.

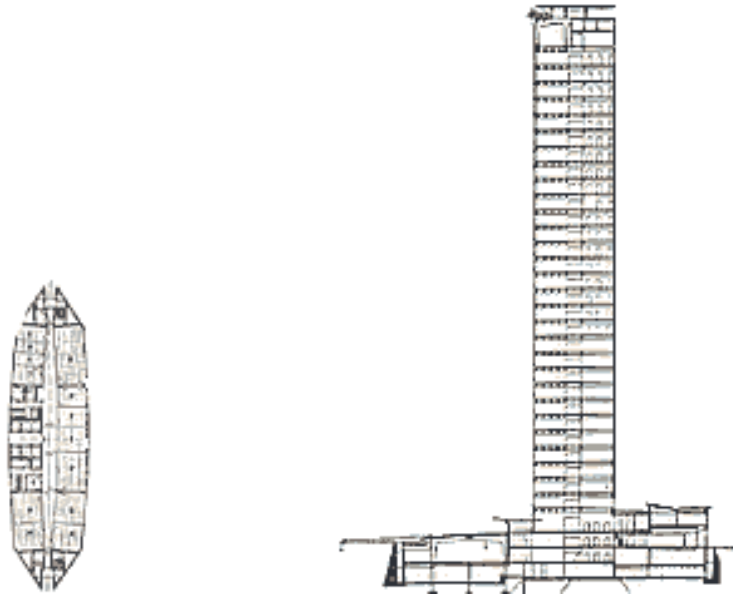
Başlangıçta, daha çok büro binaları olarak tasarlanan yüksek yapılardaki düşeyde görülen gelişme, 1. ve 2. Dünya Savaşları sonunda konut ihtiyacının hızla artış göstermesiyle birlikte toplu konut fikrini ortaya çıkarmıştır. İş hayatının gelişmesi ve firmaların birbirine yakın mesafelerde çalışması gerekliliği, iş merkezlerinin şehirlerin belirli bölgelerinde yoğunlaşmasında ve dolayısıyla bu bölgelerde yüksek yapıların oluşmasında etken olmuştur.

20. Yüzyıl'da hızlı kentleşme, kentlerin nüfusunun artmasına neden olmuş, kentlerdeki bu hızlı yoğunluk artışına çözüm olarak da yüksek bina düşüncesi gelişmiştir. En alt katlarda işyerleri ve bürolar, en üst katlarda da konut birimleri bulunmasının, trafiğin çözümlemesinde de pozitif katkılarda bulunabileceği düşünülmüştür.

Dünyanın her yerinde yaşanan köyden kente göç, şehirleşmeye paralel olarak hızlı artış gösteren nüfus yoğunluğu, yapı malzemelerinde hissedilir bir yetersizliğe neden olmuş, bilişsel gelişmeler, yapı malzemesindeki ve yapı teknolojisiindeki teknik aşamalar geniş olanaklar yaratmış, bunların sonucunda çok katlı yapıların düşeyde yükselebilecek olanakları artmıştır. Endüstri devrimi ile birlikte teknolojik gelişmeler hızlanmış ve yüksek binaların yapımında kullanılabilecek güçlü ve sağlam malzemelerin üretilmeye başlanmasıyla da, bu alandaki gelişmeler sergilenmeye başlamıştır ve hızlı bir şekilde yayılmıştır.

3.2.3. Dünyada Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi

Yüksek yapılar, öncelikle Amerika'da daha sonra Avrupa ve Uzakdoğu ülkelerinde kendini göstermiştir. Amerika'daki yapılaşma bir yükseklik savaşı halini almış, yüksek yapı gücü belirleyen bir kıstas olmuştur. Amerika'da çok uzun yıllar yüksek yapı alanında butür rekabetler yaşanırken, Avrupa'da 1960'lı yıllardan sonra yüksek yapı kavramı gündeme gelmeye başlamış ve 30-50 katlı binaların yapımı başlamıştır. Avrupa'daki yüksek yapıların ilk örneklerinden İtalya'da Pirelli, Calfa, Velasca; İngiltere'de Vickers Tower; Almanya'da Mannesmann Hochhaus sayılabilir. Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'de Pirelli Binası'nın plan, kesit ve bir fotoğrafı gösterilmektedir.,



Şekil 3.26 Pirelli Binası'nın Planı ve Kesiti [77]



Şekil 3.27 Pirelli Binası, İtalya, 1978 [78]

Avrupa’da, Amerika’da olduğu gibi bir yükseklik yarışı görülmemiş, dünyanın en yüksek 100 binası arasına Avrupa’dan sadece 2 bin girmiştir. Bunlar, Varşova’da 1955 yılında yapılan Palac Kultury Nauki binası ile Paris’teki 229 m yüksekliğindeki 64 katlı Mîne- Montparnasse büro binasıdır. Tablo 3.4’de yüksek yapıların son on yılda gelişimi gösterilmektedir.

Tablo 3.4 Yüksek Yapıların Bölgelere Göre Son 10 Yılda Gelişimi [53]

#	Bölgeler		Yapılar	Yüzde
1	Asya		1,810	32.62 %
2	Kuzey Amerika		1,734	31.25 %
3	Avrupa		909	16.38 %
4	Orta Doğu		494	8.90 %
5	Okyanusya		336	6.06 %
6	Güney Amerika		213	3.84 %
7	Afrika		52	0.94 %

Tablo 3.5 Yüksek Yapıların Bölgelere Göre Dağılımları (Tüm Kriterlere Göre) [44]

#	Bölgeler		Yapılar	Yüzde
1	Kuzey Amerika		17,925	51.39 %
2	Avrupa		5,947	17.05 %
3	Asya		5,531	15.86 %
4	Orta Doğu		2,084	5.97 %
5	Okyanusya		1,639	4.70 %
6	Güney Amerika		1,352	3.88 %
7	Afrika		402	1.15 %

Avrupa'nın en önemli yüksek yapılarına örnek olarak, 240 m yüksekliğindeki 1940-1950 yılları arasında inşa edilmiş olan Moskova Devlet Üniversitesi, 1974 yılında yapılmış 205 m yüksekliğindeki Paris Tour Fiat binası ve asma sistemi ile inşa edilmiş 100 m yüksekliğindeki Münih BMW binası verilebilir (Tablo 3.5).

Uzakdoğu ülkeleri de yüksek yapıların hızla çoğaldığı ülkeler arasında gelmektedir. Bu çoğalma ile birlikte Asya'daki yüksek bina sayısı da hızla artmaktadır. Bu yapılara örnek olarak, 1968 yılında Tokyo'da yapılan 230 metre yüksekliğindeki Shin Yuku Mitsu ve 1988'de Hong-Kong'da yapılan 369 m 1,209 ft yüksekliğindeki Bank Of China binaları verilebilir. Bank of China binası, 1992'de tamamlanan Central Plaza'dan önce, 1989-1992 yılları arasında Asya ve Hong-Kong'un en yüksek yapısı ünvanına sahip bir binaydı[44]. Bu yapı değişik tasarımıyla literatürlerdeki güncelliğini halen korumaktadır. Şekil 3.28'de Bank of China Binası gösterilmektedir.



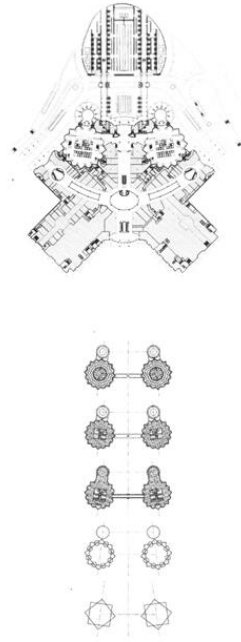
Şekil 3.28 Bank of China, Hong-Kong [44]

Halen yükseklik olarak dünyanın en yüksek yapısı Kuala Lumpur'daki 1992-1998 yılları arasında inşa edilmiş olan Petronas Kuleleridir. Bu yapı Kuala Lumpur'un en ünlü yapısıdır. Post modern bir tarz ile inşa edilmiş olan 88 katlı bu yapı, yapı sınıırı olan 452 m yüksekliği ile 442 m yüksekliğindeki Sears Binası'nı geride bırakmıştır. Sears Binası halen dünyanın en yüksek yapıları arasında Petronas Kuleleri'nden

sonra gelmektedir ve 108 kat ile dünyanın en çok kat adedine sahip olan yapısıdır. Şekil 3.29 ve 3.30’da Kuala Lumpur’daki Petronas Kuleleri gösterilmektedir.



Şekil 3.29 Petronas Kuleleri’nin Gece Silüeti [44]



Şekil 3.30 Petronas Kuleleri’nin Plan Şeması [92]

3.2.4 Türkiye’de Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi

Türkiye’de çok katlı yapıların 1950’li yıllara doğru gündeme geldiği görülmektedir. Avrupa’da 1960’larda başlayan yüksek yapıların üretiminin hızlanması sürecinden kısa bir süre sonra Türkiye’de de yüksek yapılar yapılmaya başlanmıştır. Türkiye’de

yüksek yapıların yapı mına başlanması nın nedenlerini n başında, şirketlerin i māj yarat m arzusu, güç ve zenginlik göstergesi yarat m arzusu gel di ği söylen mektedir. İ nār kurallarına göre yüksek yapı yapı m yasak ol masına rağmen, bazı özel koşulların zorlanması sonucu özellikle Ankara ve İstanbul'da yüksek yapılar yapılabilm iştir. Tablo 3.6 da istatistiklere geç m iř olan İstanbul'daki yüksek yapılar ve sayıları veril miştir. Şekil 3.31'de Türkiye'nin en yüksek yapısı olan İş Bankası Kulesi-1 gösteril mektedir.



Şekil 3.31 Türkiye'nin En Yüksek Yapısı Olan İş Bankası Kulesi-1 [54]

Tablo 3.6 İstatistiklere Geç m iř Olan İstanbul'daki Yüksek Yapıların Rakam sal Olarak Karşı lı ğı [44]

474	Çok Katlı Yapılar
34	Al çak Katlı Yapılar
16	Kiliseler
13	Ca miler
10	Saraylar
6	Düş üntü l mekte Oan Kuleler
4	Kal eler
3	Anıtlar
2	Stadyu mlar
2	Havaalanı Kulesi
1	Tel evi zyon Kulesi

Türkiye'de 1970'lerin ortalarına kadar da 25 katı geç meyen binalar yapılm ş, 1975-1985 yılları arasında kat sayılarında sınırlı da olsa artışlar dikkati çek miştir. 1985 yılından bugüne kadar olan sürede ise yüksek yapı proje ve uygulamalarında ciddi bir artış gözlen mektedir.

İstanbul dünyada da yüksek yapı inşası bakımından aktif olan şehirler sıralamasında ilk on içerisinde yer almaktadır (Tablo 3.7). Bu da göstermektedir ki Türkiye’de özellikle İstanbul’da yüksek yapılaşma engellenemeyecek bir hızla gelişmektedir. Bu nedenle, yüksek yapıların yapı m kriterlerini iyi bilmesi ve konu ile ilgili eğitimin verilmesi nin Türkiye için zorunlu bir uygulama olması uygun bir davranış olacaktır.

Tablo 3.7 Dünyada Yüksek Yapı İnşasında En Aktif Olan Şehirler [44]

#	Şehir	Yapılar
1.	New York	4,015
2.	Chicago	1,337
3.	Toronto	1,110
4.	Hong Kong	1,073
5.	Londra	791
6.	Buenos Aires	657
7.	Vancouver	489
8.	İstanbul	474
9.	Shanghai	451
10.	Sydney	421
(sadece yüksek yapılar için)		

3.2.5 Yüksek Yapıya Etkiyen Yükl er

Yüksek yapılara etkiyen yükler diğer yapı türlerinde olduğu gibi yatay ve düşey yükler olmak üzere başlıca iki gruba ayrılmaktadırlar. Taşıyıcı sistem yapıyı etkileyen dış yüklere karşı yeterli güvenlikte olmalıdır. Statik dinamik deprem yüklerine karşı yeterli dayanım gösterebilmelidir. Yüksek yapılarda yatay yüklerin (deprem ve rüzgar yükleri) etkisi oldukça büyüktür. Yüksek yapılarda ve diğer yapılarda taşıyıcıları meydana getiren elemanlar aynıdır. Fakat yüksek yapılarda kullanılan taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılmasında etkili olan yükler, normal yapılardakinin aksine yatay yüklerdir. Yapının kat yüksekliği arttıkça yatay yüklerin etkileri artmakta ve böylelikle taşıyıcı sistem elemanlarının yapıyı etkileyen yüklere karşı gösterdikleri tepkiler kat sayısı az olan yapılardan farklı olmaktadır (Ayris, S., Yüksek Yapıların Gelişimine Toplu Bakış)[55]. Yüksek yapıların sist em tasarı mını açıklığa kavuşturacak olan plan şemasıdır. Strüktürel sistem üzerindeki yatay yüklerin etkisi plan şemasının belirlenmesi aşamasında dikkate alınmalıdır.

Yatay kuvvetlerin düşey yüklere oranla yüksekliğe göre daha hızlı artması nedeniyle; taşıyıcı sistemde yatay yer değiştirmeler (ötelemler) oluşur. Belirli bir

yükseklikten sonra, yapı mukavemetinin yanı sıra, yatay yüklere karşı yeterli rijitlik de sağlanmalıdır[40] Şekil 3.32’de yatay yük etkisindeki çok katlı yapıda kritik yükler ve deformasyonlar gösterilmektedir.

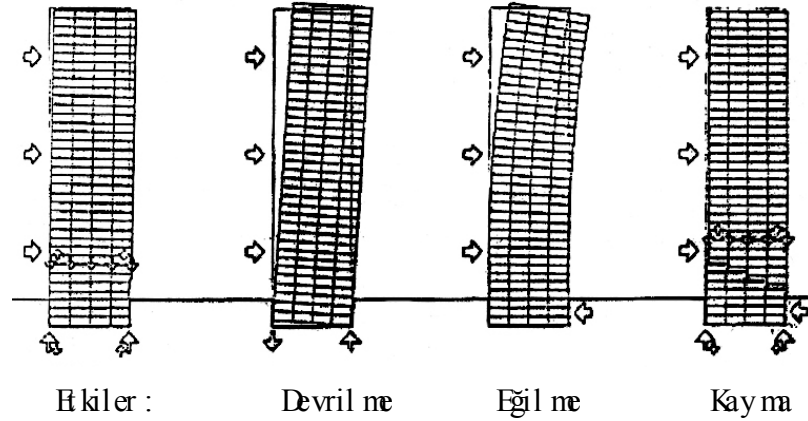
Tüm yapılar kullanımsüreleri boyunca sabit yükler, dinamik yükler gibi değişik dış yüklerin etkisi altında kalmaktadırlar. Yapılara etkiyen yükleri çeşitli kategoriler altında sınıflandırmak mümkündür.

Hareketliliklerine göre yükleri,

- Sabit Yükler; Yapının öz ağırlığı gibi,
- Dinamik (Hareketli) Yükler; Rüzgar, deprem gibi,

olmak üzere ikiye ayırmak mümkün olduğu gibi, etki yönlerine göre de yine ikiye ayırmamız mümkündür. Bunlar;

- Düşey Yükler; Yapının öz ağırlığı
- Yatay Yükler; Rüzgar, deprem vb.



Şekil 3.32 Yatay Yük Etkisindeki Çok Katlı Yapıda Kritik Yükler ve Deformasyonlar [40]

Çok katlı yapı taşıyıcı sistemi, yatay kullanımlarını içeren döşeme sistemleri ile bunları taşıyan ve yapıyı saran düşey taşıyıcı kolon ya da duvar sistemlerinden oluşmaktadır.

Taşıyıcı sistem tasarımı, sistem elemanlarının boyut hesabında yatay yüklerin payı, düşey yüklerin taşınması için gerekli olandan öteye geçmemelidir. Bu nedenle, yükseklikle artan deprem ve rüzgar kuvvetlerinin karşılanması, artan eleman boyutları ile değil, taşıyıcı sistemin etkinliği ile sağlanmalıdır.

Çok katlı yapı nın taşıyıcı sistem tasarımı nda, taşıyıcı sistemin düşey ve yatay yükler altında davranışı ve etkinliği önemli olmakla birlikte, mimari, mekanik ve sıhhi donanım sistemlerinin çözülmesi nin gerekliliği de etkili olmaktadır. Mimari istekler arasında özellikle işlevsel çözüm strüktürel etkinlik, estetik, yapı m kolaylığı, ekonomi etkenleri yer alırken, mühendislik açısından da çok katlı yapılarda önem kazanan mekanik ve sıhhi donanım sistemlerinin strüktürel planlama ile birlikte çözülmesi istenmektedir.

Bina yüksekliği arttıkça, tüm bu etkilerin de hızla artacağı görülmektedir. Bu artma, basit kiriş şeklindeki büyük açıklıklı bir yapıya göre çok daha olumsuzdur. Konsol ve basit kirişlerde “M” en büyük momentler, “p” etkiyen düzgün yayılı yük, “I_a” açıklık olmak üzere;

$$\text{Konsol da} \quad M = p I_a^2 / 2 \quad (3.5)$$

$$\text{Basit kirişte} \quad M = p I_a^2 / 8 = p (I_a / 2)^2 / 2 \quad (3.6)$$

şeklinde dir.

Alçaktan orta yüksekliktekilere kadar binalar, normal olarak düşey yüklere göre tasarlanır, sonra yatay yüklere göre mukavemeti kontrol edilir. Yükseklik arttıkça, yatay kuvvet çalışması öne geçer. Yukarıdan aşağıya, düşey yük için gerekli strüktür ağırlığı, kat sayısına göre hemen hemen lineer olarak artar. Buna karşılık yatay kuvvetlere mukavemet için gerekli malzeme miktarı, yüksekliğe oranla çok hızlı artış gösterir[40].

Alçak katlarda yatay yük için ek malzeme gerekmediği halde, belli bir yükseklikten (15 kat) başlayarak bu hızla artmakta, 80 katta iki katına yükselmektedir.

Depremlerde yapılara zaman içinde değişen dinamik kuvvetler etkir. Bu kuvvet;

$$F = n \alpha(t) \quad (3.7)$$

olarak tanımlanabilir.

Burada;

n = yapı nın kütlesi,

$\alpha(t)$ = deprem yer ivmesinin deprem süresi içinde değişimidir ve yapı dinamik özelliklerine bağlıdır.

Değişik periyot ve sönümlü yapılarda bir depremin kuvvetli yer hareketinin yaratacağı en büyük deprem ivmesi, hız ya da ötelenmesini veren mukabele spektrumları, depremlerde yapılara çok büyük elastik yüklerin etkiğini gösterir. Ancak yapıların elastik yük taşıma gücü sınırlıdır[39].

3.2.6 Çok Katlı Yapıların Dinamik Özellikleri

Yapıların en önemli dinamik özelliği doğal titreşim periyodudur. Periyot yapının ağırlığı ve taşıyıcı sisteminin yatay yüklere karşı rijitliğine bağlıdır. Çok katlı yapıların titreşim periyodu yapının kat adedine ve taşıyıcı sistemine göre değişmektedir.

Örneğin, 10 katlı ($N = 10$) çerçeve taşıyıcı sistemli bir yapının 1. nci mod titreşim periyodu 1.0 saniye alınabilir. Eğer yapı nci taşıyıcı sistemi perde duvarlı ise periyot daha kısalmaktadır (0.7 saniye gibi).

Çok katlı yapıların kat adetleri kadar doğal titreşim periyotları bulunmakla birlikte bunların ilk birkaç tanesi önemlidir. Çünkü yüksek modlardaki titreşimlerin gerektirdiği enerji çok büyük olduğu için yapılar çoğunlukla ilk birkaç ya da en çok beş modda titreşim yaparlar, ya da yaptıkları titreşim bu ilk birkaç moddaki titreşimlerin süperpozisyonundan oluşur.

Yapıyı titreştiren kuvvetlerin düzeyi arttıkça yapının periyodu uzar. Bu yapının rijitliğinin doğrusal olmadığını gösterir. Deprem sırasında etkiyen kuvvetler depremin şiddeti ile ilgilidir. Bu bakımdan hafif bir depremden sonra periyot artışı yapıda çatlaklar yapacak kadar şiddetli bir depremden sonra olacak artıştan daha az olacaktır. Yapı periyodunda depremanında %100'e varan artışlar olmakta bu ise yapının depremsonrası periyodunu %50 kadar artırılmaktadır.

Yapıların periyotları ve kütle ve rijitlik arasında

$$T \approx \sqrt{m/k} \quad (3.8)$$

gi bi bir ilişki vardır. Yapı periyodundaki bir artış tümü ile yapı nın yay katsayısı (k), yatay yükler altında ötelenenin ters fonksiyonudur, azalması yani rijitliğin azalması nın bir sonucudur[38].

Yapıların taşıyıcı sistemlerini düşey yüklerin yanı sıra deprem yüklerini de güvenli ke karşılayabilmesi gerekmektedir. Bu etki genel olarak dinamik karakterdeki depremkuvveti i çin eşdeğer statik yöntemi n kullanılması ile hesaplanır. Ancak; depremetkisinin oldukça önemli olduğu yüksek yapılarda, yapı nın deprem yükü altındaki davranışı, yapı dinamiğinin ilkeleri kullanılarak daha ayrıntılı bir şekilde belirlenmelidir.

Hesaplarda E depremyükleri ile, Gsabit ve Qhareketli yükler;

$$1.0G + 1.0Q + 1E \quad (3.9)$$

$$0.9G + 1.0E \quad (3.10)$$

şeklinde birleştirilebilir. İkinci denklem düşey yükün yatay yükü taşı nı da faydalı etkisi dduğu zaman kullanılır[34].

Çok katlı yapıların dinamik özelliklerinden dolayı yapıların doğal titreşim periyodunun depremd e yapı ya gelen yer hareketi nin hakim titreşim periyodu ile olan ilişkisi de önemlidir. Gelen hareketin hakim periyodu ile yapı nın doğal titreşim periyodu birbirine yakın ise rezonans oluş nı ta ve yapılarda hasar büyü mektedir[38].

Deprem yüklerini n belirlenmesinde ve ilgili kesit zorlarını n bulunmasında; yapı nın taşıyıcı sisteminin düzenli veya düzensiz olması önemlidir. Deprem etkisindeki yapılarda meydana gelen etkiler, esas olarak yapı dinamiğinin ilkelerini kullanan dinamik hesap yöntemi kullanılarak hesap edilebilir. Ancak depremetkisi bazı durumlarda eşdeğer statik yüklere çevrilerek hesap basitleştirilebilir. Eşdeğer statik yöntemi aşağıdaki durumlarda uygulanabilir:

- a) Bütün depremböl gelerinde yüksekliği 75 mden az olan düzenli yapılarda,
- b) 1. ve 2. derece depremböl gelerindeki 30 m veya 10 kattan fazla olmayan düzensiz yapılarda[34].

Hesap Yöntemleri:

Hesap yöntemleri 2 ana bölüm altında toplanabilir:

- Dinamik yöntemler
- Statik yöntemler

Dinamik yöntemler, “Zaman Artırım Yöntemi” ve “Mod Superpozisyonu” olmak üzere 2 ana başlık altında incelenebilir. “Zaman Artırım Yöntemi”nde belirli bir deprem kaydı na bağlı olarak küçük zaman aralıklarında integrasyon yapıp gerekli büyüklükler elde edilmektedir. “Mod Superpozisyonu” yönteminde ise, yapının ilk birkaç özel titreşim modu incelenerek deprem sırasındaki davranışın bunların superpozisyonu ile elde edilebileceği varsayılır.

Yaklaşık olmasına karşın uygulamada en çok kullanılmakta olan yöntem “Statik Eşdeğer Yükler Yöntemi”dir. Bu yöntemde, bölgenin, yapının ve zeminin belirli özellikleri göz önünde tutularak fiktif statik yatay yükler hesaplanır ve bunların deprem etkilerini temsil ettikleri varsayılır. Bu yöntem gerçekte mod superpozisyonunun basitleştirilmiş bir biçimi olup hermen tümyönetmeliklerde temel hesap yöntemi olarak verilmektedir. Depreme dayanıklı yapıların % 90-95’inin tasarısında bu yöntemin kullanıldığı söylenebilir (Özmen, G, Depreme Dayanımlı Çok Katlı Yapılarda Tasarım Ve Üretimlikleri)[29].

Yönetmeliğin esasını oluşturan “eşdeğer statik yöntem” çerçevesinde yapıya etkiyen toplam depremkuvvetini belirleyen depremkatsayısı;

$$C = C_0 KSI \quad (3.11)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Bağıntıdaki katsayılar, sırası ile, bölge, yapı tipi, spektrum ve yapı önem katsayılarıdır. Günümüzde modern depremyönetmeliklerinde (3.11) bağıntısı yerine;

$$C = C_0 SI/ R \quad (3.12)$$

(R = Süneklik Oranı)

şeklinde bir bağıntı kullanılmaktadır. Bu ikinci bağıntıda süneklik oranı-olması gerektiği şekilde-paydada yer almakta, böylece K katsayısının yapaylığı ortadan kaldırılarak depremden yapı davranışında en önemli etkenin yapının sünekliği, ya da

bir başka ifade ile enerji yutabilme kapasitesi olduğu açıkça vurgulanmaktadır. Ayrıca ikinci bağıntıdaki C_0 katsayısı doğrudan maksimum yer ivmesini karakterize eden bir nitelik kazanmakta ve birinci bağıntıdaki C_0 katsayısının yaklaşık dört katı olan bir değer almaktadır (Aydınoğlu, N.Y., Kalite Güvenilirliği Açısından Türkiye’de Depreme Dayanıklı Tasarım Ve Yapım Sorunları) [29].

Eşdeğer Statik Hesap Yöntemi

Yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında kullanılacak eşdeğer statik yükleri toplam F_0 ;

$$F_0 = C W \quad (3.13)$$

şeklinde belirlenir. Burada W yapının ağırlığı, F_0 ise yapının taban kesme kuvvetidir. Deprem katsayısı C_0 ise aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$C_0 = K S I \quad (3.14)$$

Burada C deprem bölgesi katsayısı, I yapı önem katsayısı, S yapının dinamik katsayısını (spektrum katsayısını) ve K da yapı tipi katsayısını göstermektedir. S yapı dinamik katsayısı:

$$\frac{1}{|0.8 + T - T_0|} \quad (3.15)$$

denklemi ile hesaplanır. Burada T saniye olarak yapının birinci moduna ait doğal periyodu ve T_0 zeminin hakim periyodudur. Bir veya iki katlı her türlü yapıda $S=1.0$ olarak alınır. Beton türünden yapılarda daha gerçekçi bir hesap yapıldığında, yapı dinamik katsayısının hesabında kullanılacak doğal periyot:

$$\frac{0.09H}{\sqrt{D}} \quad (3.16)$$

Perde duvarlı yapılar için;

$$T=0.05 N \quad (3.17)$$

Çelik ve betonarme yapılar için

$$T=0.10 \cdot N \quad (3.18)$$

olarak hesaplanabilir. Burada H binanın üst seviyesinden ölçülen yüksekliği (m), D yatay yükler doğrultusunda binanın genişliği (m) ve N binanın temel seviyesi üstündeki kat sayısıdır.

Toplam yapı ağırlığı olan W

$$W = \sum_{i=1}^N W_i \quad (3.19)$$

$$W = G + nQ \quad (3.20)$$

olarak hesaplanır. Burada W kat ağırlığı, G ve Q söz konusu kattaki sabit ve hareketli yüklerin toplamıdır. Deprem meydana gelmesi ile bütün katlarda tam hareketli yükün bulunmasının beraberce ortaya çıkmasının olasılığının çok küçük olacağı düşünülerek gibi bir hareketli yük azaltma katsayısı öngörülmüştür.

Bu katsayı; okul, hastahane, konut, işyeri gibi binalarda 0.30 alınır.

Kat düzeylerinde uygulanacak F_i eşdeğer statik yükleri:

$$F_i = (F - F_t) \cdot \frac{W_i h_i}{\sum_{i=1}^N W_i h_i} \quad (3.21)$$

olarak alınır.

$$F_t = 0.004 F \left(\frac{H}{D} \right)^{1/2} < 0.15F \quad (3.22)$$

$$\left(\frac{H}{D} \right) < 3 \text{ ise } F_t = 0 \quad (3.23)$$

Dinamik Hesap Yöntemi

Dinamik hesap için taşıyıcı sistemi temsil edecek bir model kurulur. Bu modelde kütle kat seviyelerinde toplanarak, katların sadece ötelenme yer değiştirilmesi yapılabileceği kabul edilebildiği gibi düğüm noktasında dönme serbestlik derecesi de öngörülebilir. Hesaba esas olacak deprem spektrumları olarak yapay olarak

geliştirilmiş uygun özel hesap spektrumları kullanılabilir[34, 40].

3.2.7. Taşıyıcı Sistemin Düzenlenmesinde Dikkat Edilecek Noktalar

Yönetmelikte verilen kurallar deprem durumunda bina içindeki insan hayatının korunmasına, hasarın sınırlı tutulmasına ve önemli yapılarıdaki faaliyetin devam etmesine yöneliktir. Bunun için taşıyıcı sistemin düzenlenmesinde aşağıdaki özelliklerin ortaya çıkmasına özen gösterilir.

a. Taşıyıcı sistemin basitliği: Taşıyıcı sistem deprem etkilerinin meydana geldiği yerden zemine, açık ve dolaysız yollardan iletilmesi sağlanmalıdır. Bu tür basitlik durumunda, taşıyıcı sistemin modellenmesi, çözümlenmesi, boyutlanması, donatı düzeninin oluşturulması ve inşa edilmesi çok daha az belirsizlik içerir ve bu tür bir yapının deprem davranışının belirlenmesi çok daha güvenilirdir.

b. Düzgünlük ve simetri: Taşıyıcı sistem elemanlarının planda düzgün dağıtılması, atalet kuvvetlerinin kısa yoldan dolaysız olarak iletilmesini sağlar. Gerekli olduğu zaman bina planda parçalara bölünerek bu özellik sağlanabilir. Düşey kesitte de düzgünlük sağlanarak, gerilme-yığılmaları ve büyük süneklik ihtiyacı ortadan kaldırılabilir. Plandaki kütle dağılımına uygun olarak oluşturulacak, dayanım ve rijitlik dağılımı ile kütle ile rijitlik arasındaki dış merkezlik en düşük düzeye indirilir.

c. Her iki doğrultuda yeterli dayanım ve rijitlik: Yatay deprem etkisi iki doğrultuda etkir. Bu sebepten binanın herhangi bir doğrultuda gelecek deprem etkisine dayanıklı olması gerekir. Bu husus binada birbirine dik iki doğrultuda yeterli dayanım oluşturularak sağlanabilir. Bunun gibi yeterli rijitlik sağlanarak yer değiştirmelerin ve ikinci nertebe etkilerinin sınırlı kalması sağlanır.

d. Yeterli burulma dayanım ve rijitlik: Elemanlar yanal dayanım ve rijitlik yanında, yeterli burulma dayanım ve rijitliğine de sahip olmalıdır. Bunun için taşıyıcı sistemin ana elemanlarının bina dış çevresine yakın yerleştirilmesi uygundur. Bu suretle burulma etkisi ile elemanların düzgün olmaları için zorlanması önlenir.

e. Döşemelerin düzlenmesi içinde rijit diyafram etkisi: Elemanların döşemeleri; taşıyıcı sistemin deprem davranışında, deprem kuvvetlerini toplanması, dağıtılması ve sistemin beraber çalışması bakımından önemli bir rol oynar. Bu nedenle, özellikle

kar naşık ve düzgün ol mayan düşey ele manların bul unması durumunda, döşe menin di yafram etkisi öne mli ol ur. Farklı yatay rijitliğe sahip (kar na) siste mlerin kull anılması durumunda da siste min büt ünlüğü döşe melerin di yafram etkisi ile sağ lanmaktadır.

f. Yeterli te nел: Temelin ve üst yapıya bağlantısının yeterli seviyede düzenlenmesiyle, büt ün binanın depre metkisinde düzgün bir şekilde zorlanması ve ek etkilerin oluş mması sağlanır. Çok farklı rijitliğe sahip kolon ve perdelerden oluş an binada, büt ün elemanları birleştiren rijit bir te nел yapılması uygundur[24].

3.2.8 Depre me Dayanıklı Yüksek Yapı Tasarı mında Kull anılan Taşı yıcı Siste mler

Çok katlı yapıların he m ekono mik he m de depre me dayanıklı olarak üre tilebil mesi için geçerli olan taşı yıcı siste mlerin ana ilkeleri saptanmış olup uzun süredir uygulanmaktadır. Depre me dayanıklı yüksek yapı tasarı mında kull anılan taşı yıcı siste mler aşağı da veril mektedir (Öz nen, G, 1991, Depre me Dayanıklı Çok Katlı Yapılarda Tasarı m Ve Üre tim ilkeleri) [29]:

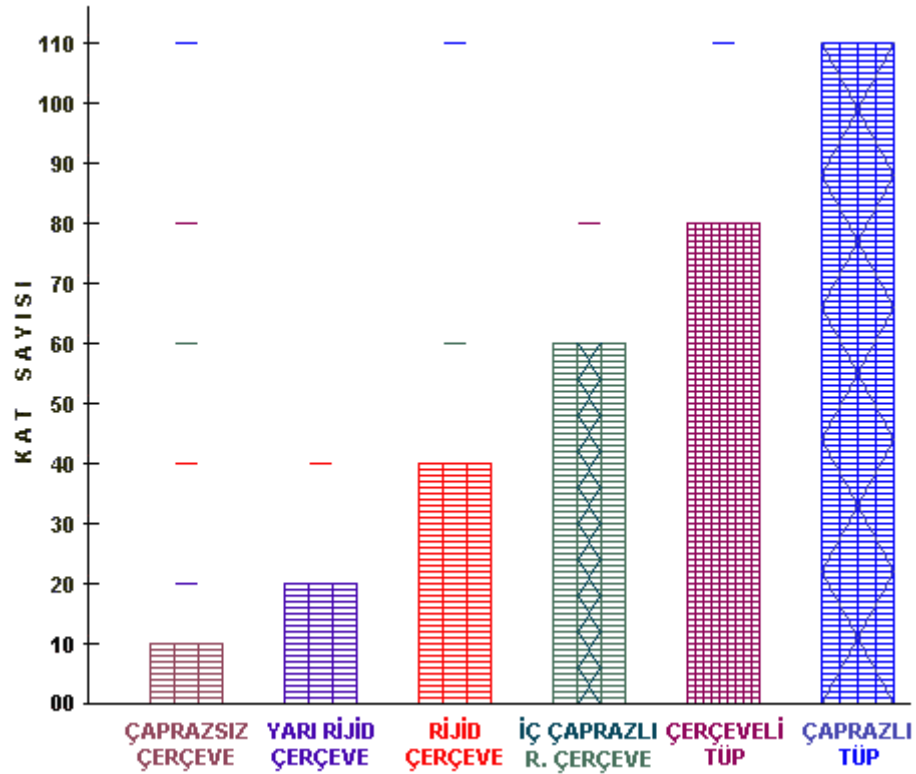
- Çerçvelerden oluş an siste mler
- Perde veya kut u siste mler
- Perde ve çerçvelerden oluş an siste mler
- Tüp siste mler
- Tüp, perde ve çerçvelerden oluş an siste mler

Tasarlanmış ve uygulanmış yüksek binalar incelenecek olursa, pek çok yüksek binanın çerçve ve perde duvarlı ve tübüler sistenli olduğu görölür[32]. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de, çok katlı yapı tasarı mında en çok kull anılan taşı yıcı sistem perde (çekirdek) ve çerçvelerden oluş an sistemlerdir. Bu tür sistemler; mi nari işlevler ile uyum içinde olup, bu bakı mdan öne mli sakıncalar doğur mazlar, tasarı mları kolay ol ur ve gerekli rijitlik ve sünekli ğ sağ layarak depre m etkilerine başarı ile karşı koyabilirler[40]. Şekil 3.33 ve Tablo 3.8’de çok katlı yapıların yapı m sistemleri ve yaygın olarak uygulanan en fazla kat sayıları veril mektedir.

Tablo 3.8 Kat Adedine Göre Yapısal Sistem Davranışları[88, 89]

Yapısal Sistem	KAT ADEDİ		Sismik Davranış
	Büro Yapıları	Konut, Okul, vs.	
Çerçeve yapıları	15' e kadar	20' ye kadar	Çok iyi
Perde-çerçeve yapı	40' a kadar	70' e kadar	İyi
Tek tüplü yapılar	40' a kadar	60' a kadar	Çok iyi
İç içe tüp yapılar	80' e kadar	100' e kadar	İyi

Çok katlı yapı tasarımı nda seçilecek yapı sistemi mümkün olduğunca basit ve üretimi herkes tarafından kolay anlaşılabilir bir sistem olmalıdır. Taşıyıcı sistemi basit olan yapıların yüklere karşı dayanımlarının, karışık olanlara oranla çok daha yüksek olduğu görülmektedir.



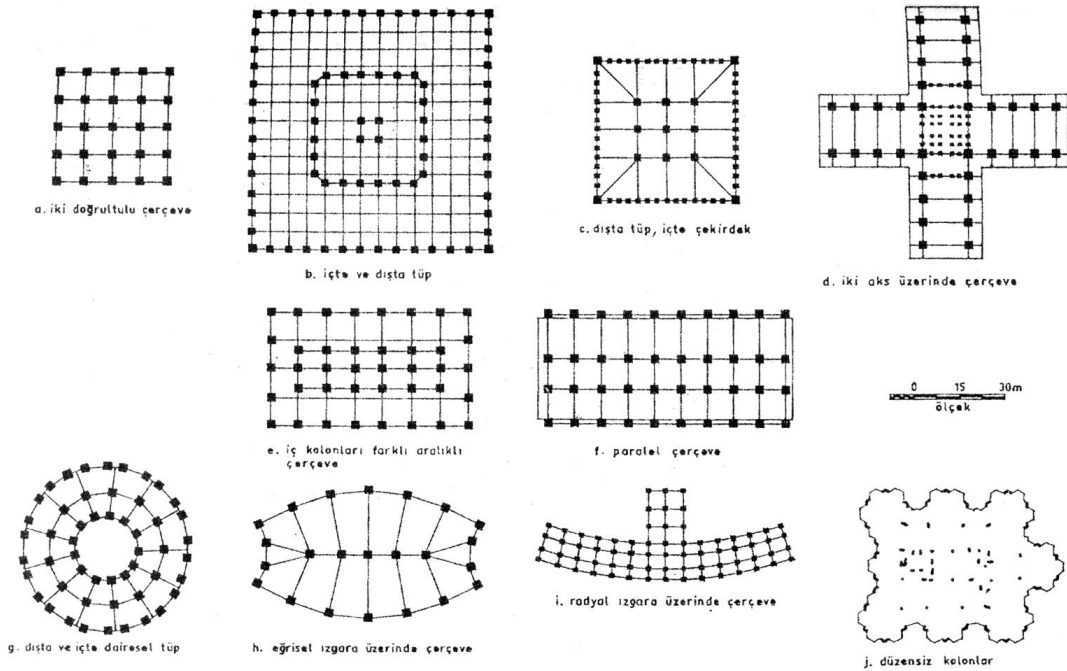
Şekil 3.33 Çok Katlı Yapıların Yapı m Sistemleri ve Kat Sayıları[73]

Çok katlı yapı üretiminde sıkça kullanılan, sadece perdelerden oluşan kutu sistemlerin de belli oranda sünekliklerinin bulunduğu kanıtlanmıştır. Bu süneklik,

geniş ölçüde, perdeleri birleştiren bağ kirişlerinin yarattığı hiperstatiklikten kaynaklanmaktadır. Perdeler arasında bağ kirişi bulunmasa bile, döşemelerin belirli bölümleri kiriş gibi çalışarak benzer bir davranış oluşturabilmektedir. Böylece, gerekli donatı önlemlerinin alınması koşuluyla, sadece perdelerden oluşan sistemlerin de, depreme dayanıklı yapı tasarımıyla güvenle kullanılabilecekleri sonucu çıkmaktadır (Özmen, G, 1991, Depreme Dayanıklı Çok Katlı Yapılarda Tasarım Ve Üretimlikleri) [29].

3.2.8.1. Çerçevelerden Oluşan Sistemler

Çerçeveler kolon ve kirişlerin rijit bağlanmalarıyla oluşturulan en basit taşıyıcı sistem örneğidir. Ancak sınırlı yüksekliklerde tek başlarına kullanılabilirler. Çok katlı yapıda diğer sistemlerle birlikte kullanılmaları genellikle daha uygun olmaktadır [40].



Şekil 3.34 Çerçeveli Yapı Sistemleri [40]

Kat adedi ne bağlı olarak çerçeve tipi taşıyıcı sistemlerin uygulanma alanında; 60 kata kadar düzlem çerçeveli tipte binalar inşa edilmişse de ekonomik olarak bu taşıyıcı sistemlerin yüksekliğini 10-15 kat ile sınırlamak daha uygundur. Yapı yüksekliği arttıkça, kolon ve kiriş boyutları hızla büyümeye başlar.

Çerçeveler düşeydeki konularına göre iki alt bölümde incelenebilir[40]:

- Düzlemsel çerçeveler
- Uzaysal çerçeveler

Şekil 3.34’de çeşitli çerçeveli yapı sistemleri verilmiştir.

Düzlemsel Çerçeveler

Aynı düşey düzlem içindeki kolon ve kirişlerden oluşan sistemlerdir. Kiriş ve kolonlar, düşey ve yatay yükleri birlikte taşırlar.

Kat kiriş ve döşemeleri, düşey yük momentlerine ek olarak, yatay yüklerden oluşan momentleri de aktarırlar. Kolonlar ise düşey yüklerden oluşan normal kuvvetler ve genellikle küçük olan düşey yük momentlerinin yanı sıra, yatay kuvvetlerin doğurduğu momentleri de iletirler. Rijit çerçeve, yatay yüklere, kolon ve kirişlerin eğilmesiyle karşı koyar. Çerçevelerin taşıma gücü, çerçeveyi oluşturan kiriş ve kolonların mukavemetine bağlıdır[40].

Uzaysal Çerçeveler

Birbirine paralel olan ve yatay kirişlerle birleştirilen çok sayıdaki düzlemsel çerçeveden oluşan sistemler, çok katlı yapılarda kullanıma oldukça geniş alan olan uzay çerçeve tipini oluştururlar. Bu tür çerçevelerde kolonlar, genellikle birbirine dik düzlem çerçevelerin ortak elemanı olarak çalışırlar ve yatay yükleri tüm sistem birlikte karşı koyar. Uzay çerçeveler, düzlem çerçevelere göre daha yüksek dereceden hiperstatik ve daha rijit sistemlerdir[40].

Moment Dayanımı/ Rijit Çerçeve

Moment dayanımı çerçeve, elemanlarının eğilme dayanımına bağlı olarak yatay yüklere dayanım gösteren, belli bir ızgara formunda, birbirine rijit olarak bağlanmış yatay ve düşey elemanlardan oluşmaktadır.

Moment dayanımı çerçeveler ~20-30 kata kadar olan yapılar için uygundur. 20-30 kattan yüksek yapılarda eleman oranları ve malzeme giderleri artmaktadır.

Japonya’da ilk moment dayanımı çerçeve, 1960’lı yıllarda kullanılmıştır. Bu tür çerçevelerin kullanıma yönelik olarak sistematik teknolojisinin geliştirilmesi fazla uzun sürmemiştir. Sistemik yüklere göre tasarlanan çerçeveler, elastik koşullar altında

yüklendiği zaman, elemanlardaki stabilite kadar bağlantılarının yeterliliği ve düktilite faktörlerine de gerek duymaktadır. Moment dayanımı çerçeveler, elastik olmayan sınırlar içindeki performans yeteneklerinden dolayı, sismik bölgeler için oldukça uygun strüktürlerdir. Bir veya daha fazla elemanı, zarar görse dahi, kalan elemanlar sistemi ayakta tutabilmektedir. Bu sistem sismik yüklere karşı tasarlandığında, kolonların kirişlerden daha güçlü olması(güçlü kolon zayıf kiriş teorisi) gerekmektedir[40].

3.2.8.2 Perde veya Kütü Sistemler

Perde duvarlar dolu ya da kafes şeklinde oluşturulabilir. Duvarlar ya tek düşey düzlem elemanları, ya da çeşitli şekillerde birleştirilerek çekirdekler şeklinde düzenlenir.

Depremde binaların yıkılması genellikle kat arası relatif deplasmanların, beklenenden büyük olması sonucu, kolonların yıkılmasından ileri gelmektedir. Bu yüzden yatay depremyükleri kiriş ve kolonlardan ibaret çerçeveler yerine, birbirine dik her iki depremyönünde de, betonarme perdeleret taşıtılırsa, perdelerin rijitliği nedeni ile, kat arası relatif deplasmanlar küçülür ve böylece hasar ihtimali azalır(Özgen, A, 1992)[32].

Perde ve çekirdeklerin planda simetrik ya da asimetrik yerleştirilmesine göre çalışma şekilleri de değişir. Simetrik yerleştirmede, yatay yüklerin bileşkesi, rijitlik merkezinden geçmekte olan sistemde yalnız eğilme ve kesme etkileri doğar. Asimetrik yerleştirmede ise, yatay yüklerin bileşkesi, katların rijitlik merkezinden geçmez; bir dış merkezlik doğar. Bunun sonucu eğilme ve kayma etkilerinin yanı sıra, burulmalar da oluşur. Bu durumda sistem burulma momentlerini de taşımaktadır.

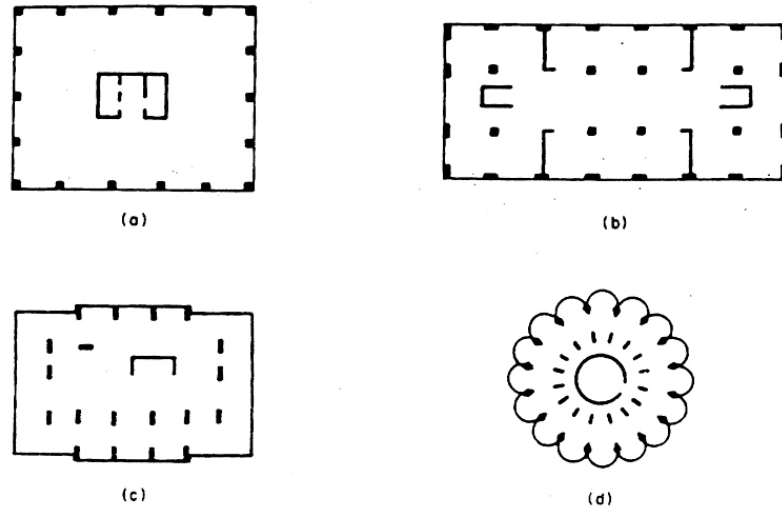
Çok katlı yüksek binalardaki çekirdekler, çelik betonarme ya da her iki malzemenin birlikte kullanılmasıyla yapılmaktadırlar. Çelik çekirdeklerde yatay yüklere karşı kararlılık düşey kafes kiriş şeklindeki verev bağlantılı virendel çerçeve ile sağlanır. Betonarme çekirdekler ise yükleri taşımaya ek olarak bölme duvarı işlevini yerine getirir (ÖZGEN A, ÖZGEN K, Çok Katlı Binaların Taşıyıcı Sisteminde Çekirdeklerin Düzenlenmesi) [55].

3.2.8.3 Perde ve Çerçevelerden Oluşan Sistemler

Çerçeve taşıyıcı sistemlerin çoğu perdelerin yardım olmaksızın yatay yükleri taşımak için gerekli istekleri karşılayacak etki de projelenebilir. 8-10 kata kadar elverişli olan çerçeveler artan yükseklik ve kat sayılarında yetersiz kalmaktadır. Artan bina yüksekliğine karşılık yanal ötelenmelerinde artması, tek başlarına çerçeve sistemlerin kullanımı daha da olumsuzlaştırmaktadır[32]. Şekil 3.35’de yüksek katlı yapılarda kullanılan tipik betonarme perde-çerçeve sistemlerden örnekler verilmiştir.

Bir kolonile bir perde arasında mevcut olan ayırıcı özellikler şu şekilde özetlenebilir: [31] Bir perdenin bir kolona kıyasla atalet momenti çok daha fazladır (büyük atalet momenti veren eksene göre), [40] Perdenin büyük boyutu buna bitişen kirişlerin açıklığına nazaran ihmal edilemez. Bir perdenin atalet momenti normal olarak bir kolonunkinden 50 defa daha fazla ve büyük boyutu en az 1.50m olmalıdır[61].

Perde duvarların kullanıldığı sistemlerin aşırı rijitliği nedeniyle yanal ötelenmeler çok küçüktür. Çerçeveye göre sünekliği az olan perde duvarlar, tek başlarına kullanıldıklarında, aşırı rijitlik nedeniyle zaman zaman hasara yol açmaktadır.



Şekil 3.35 Yüksek Katlı Yapılarda Kullanılan Tipik Betonarme Perde-Çerçeve Sistemler [71]

Çerçeve-perde duvarlardan oluşan karma sistemler, uygun ve gerektiği şekilde seçilerek kaydıyla deprem etkilerine karşı en etkin ve uygun düzenleri oluştururlar.

Birlikte kullanıldıkları zaman, çerçeve perdenin (aşırı rijitliğini azaltarak), perde ise çerçevenin (sünekliğini sınırlayarak), sınırlarını ortadan kaldırılmaktadır[32]. Çerçeve-perde çalışması, özellikle deprem bölgelerindeki çok katlı yapılarda büyük önem kazanmaktadır. Çerçevelerdeki yüksek süneklik oranı, deprem etkilerinin daha küçük olması gibi önemli bir üstünlük sağlar (Çakıroğlu, Özmen, 1973). Ancak tek başlarına çerçeveler yetersiz kalmakta ve büyük yatay yer değiştirmelerin sonucu, taşıyıcı sistem dışında kalan yapı elemanlarında hasarlar ve çatlaklar oluşmaktadır.

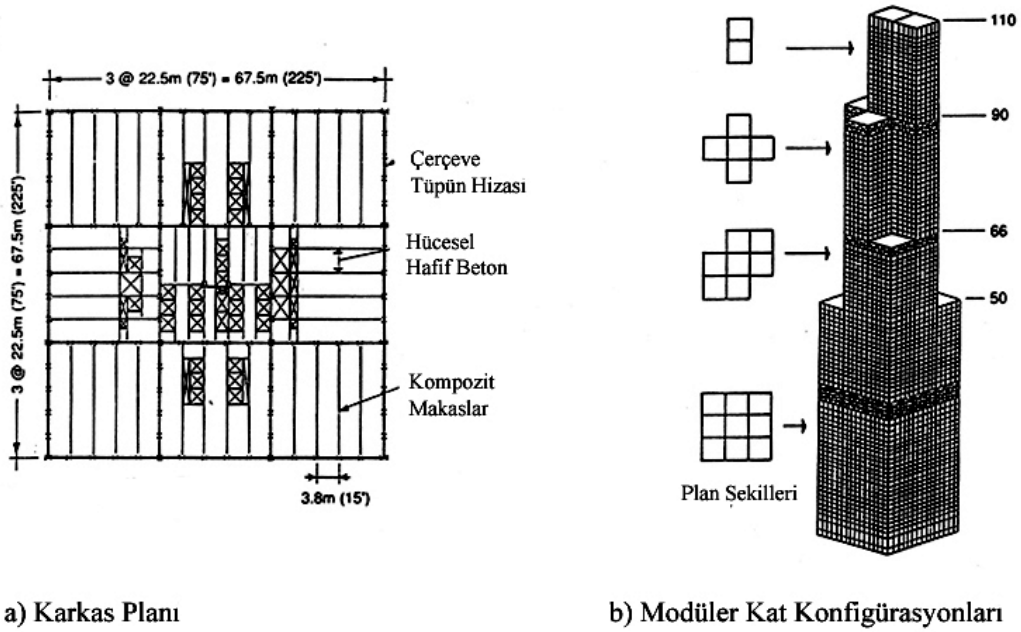
Ancak, perde sistemler de tek başlarına kullanıldıklarında, üst katlarda büyük olan eğilme momentleri nedeniyle, bu katlarda oturan bina kullanıcıları psikolojik rahatsızlık duymaktadır. Ayrıca, perdelerin rijitliği deprem etkilerinin büyümesine yol açar. Bu nedenle, artan bina yüksekliklerinde büyük yatay etkiler ekonomik olarak perde ve çerçeve sistemlerin birlikte kullanılmasıyla karşılanmaktadır. Bu sistemde perdeler yatay yüklerin çoğunu karşılayarak çerçevelere yardımcı olmakta, çerçeveler ise perdelerin büyük rijitlik etkisini azaltarak ve bütün sistemin süneklik oranını artırarak, yatay etkilerin kısmen azalmasını sağlamaktadır (Ersoy, 1992, Özmen, 1989)[32].

3.2.8.4 Tüp Sistemler

Yatay yüklerin bina cephelerinde oluşturulan sık aralıklı kolonların yüksek gövdeli kirişlerle birleştirilmesiyle meydana getirilen sistemlerle yatay yükleri karşılamak tüp sistemlerin ana ilkesidir. Bina cephesindeki sık aralıklı kolon ve yüksek gövdeli kirişler, yapının mimari fonksiyonunu bozmayacak ve kat yüksekliğinin artmasına neden olmayacaktır[32].

Tüp yapı sistemleri tektüp, içiçetüp ve birleştirilmiş tüp olarak bölümlendirilir. Tek tüp yapı sisteminde bina cephesi çerçeve-tüp olarak yapılır veya asansör ve servis çekirdeğinde bir perde-tüp teşkil edilir. İçiçetüp sisteminde cephedeki çerçeve-tüp ile orta kısımda perde-tüp bir arada kullanılır. Birleştirilmiş tüp sisteminde ise iki den fazla çerçeve-tüp bir arada kullanılır(Çıtıptıoğlu, E., Boz, T., Çok Katlı Betonarme Yapıların Yatay Yük Analizi İçin Modellenmesi) [60].

Tübüler sistem en iyi örneklerden birisi olarak 1974 yılında yapı m t a m a n l a n m ş olan Sears Tower verilebilir. M o d ü l e r t ü p s i s t e m i i l e i n ş a e d i l m i ş o l a n y a p ı , h a l e n d ü n y a n ı n e n y ü k s e k y a p ı l a r ı a r s ı n d a i l k s ı r a l a r d a d ı r (Ş e k i l 3.36).



a) Karkas Planı

b) Modüler Kat Konfigürasyonları

Şekil 3.36 Sears Tower, 1974[70]

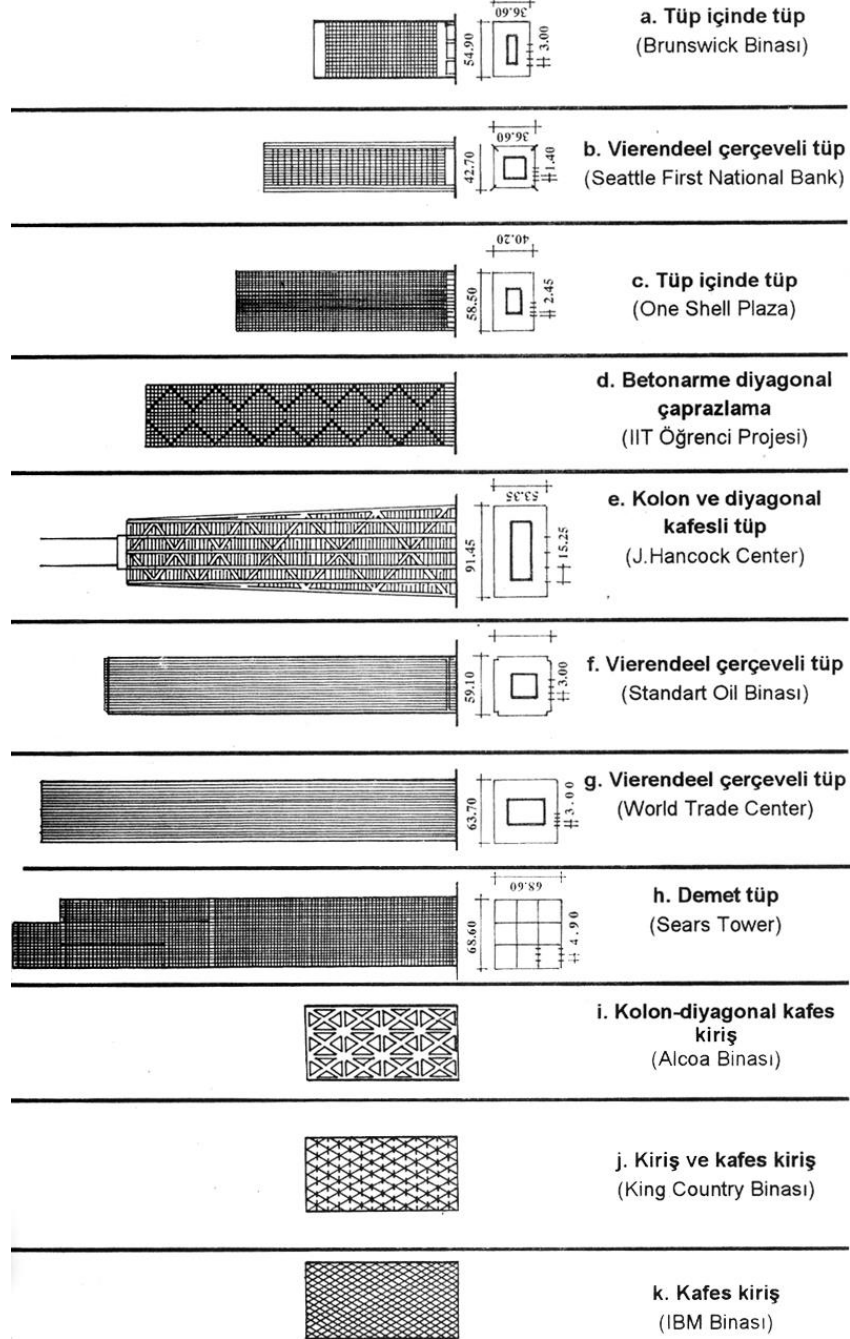
Tübüler sistemler, yapı m k o l a y l ı ğ , e k o n o m i , i ş l e v s e l v e s t r ü k t ü r e l e t k i n l i k m i n a r i ç ö z ü m ü n o l u ş t u r u l m a s ı n d a s a ğ l a d ı ğ o l a n a k l a r v e d e p r e m k u ş a ğ ı ü z e r i n d e k i b ö l g e l e r d e d e u y g u l a n a b i l i r l i ğ a ç ı s ı n d a n , ç o k i ş l e v l i y ü k s e k b i n a l a r d a e n i d e a l s t r ü k t ü r s i s t e m i n i o l u ş t u r m a k t a d ı r l a r [29].

Tübüler sistemlerde, strüktür sistemi zeminde ankastre konsol kiriş biçiminde çalışmakta ve bina çevresindeki kolonlar bina çevresini saran kirişlerle birleştirilerek bir tüp oluşturulmaktadır. Bu sistemler; çok işlevli yüksek binalarda işlevsel ve strüktürel etkinlik yanında, ekonomi ve bina formunun oluşturulmasında da önemli kolaylıklar sağlamaktadır[40]. Tüp sistemleri;

- Çerçeve tüp
- Kafes kiriş-diagonal elemanlı tüp
- Tüp içinde tüp
- Modüler tüp ya da demet tüp,

şeklinde sınıflandırmak da mümkündür(Şekil 3.37).

Çok işlevli yüksek binalarda hem işlevsel hem de strüktürel açıdan ideal çözümü çin tübüler strüktür sistemi ile birlikte piramit formdan yararlanılabilmektedir. Strüktür sistemi kafes kiriş-diagonal elemanlı bir tüptür. Çok işlevli yüksek binaların öncüsü olan John Hancock Center strüktürel açıdan olduğu kadar, büro alanını azaltarak konut ve ticaret işlevlerini arttırmaktadır.

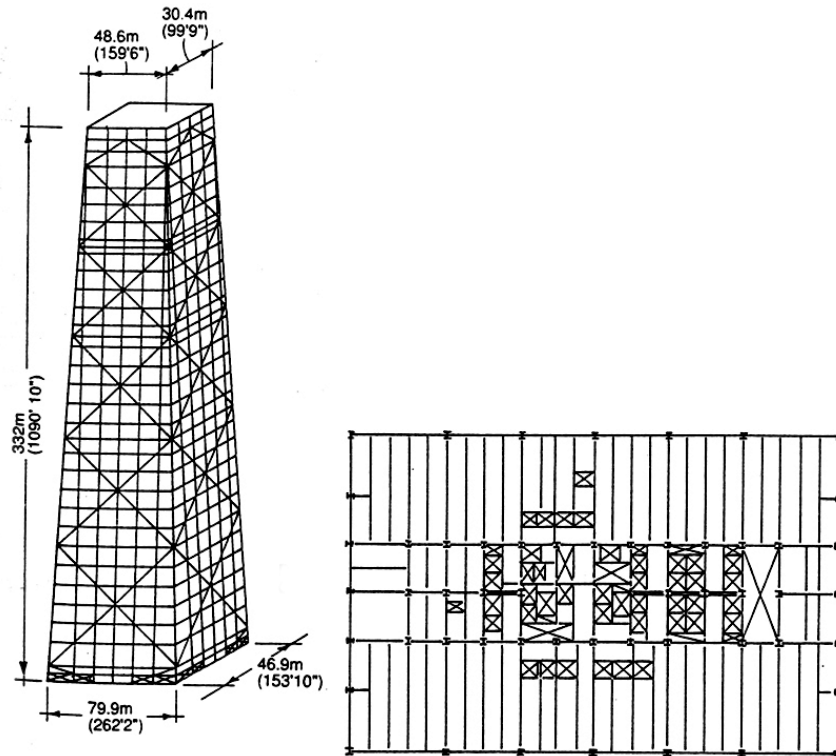


Şekil 3.37 Bugüne Kadar Uygulanmış Tüp Sistem Örnekleri ve Uygulanan Yapılar[40]

Tübüler sisteme bir diğer örnek olarak “One Magnificent Mile” Binası gösterilebilir. ABD’nin Şikago kentinde, yapı 1983’te tamamlanan, 202 m yükseklikteki “One Magnificent Mile” binasında strüktür sistemi, betonarmeden yapılmış altıgen biçiminde, yükseklikleri farklı üç tüpten oluşan bir demet tüptür. Binanın Kuzeyinde yer alan tüp 57, Güney tüpü 49, ve Batı tüpü 22 katlıdır.

Ayrıca Şikago’da Mışgan Gölü yakınında biri 59, diğeri 12 katlı iki kuleden oluşan çok işlevli “Onterie Center” Binası da önemli bir tübüler sistem örneğidir. Taşıyıcı sistemi betonarmede çerçeveli tüptür. Yüksek kulelerin cephesinde pencere boşluklarının doldurulması ile oluşturulan diyagonal düzendeki paneller hem taşıyıcı sistemin tübüler davranışını güçlendirmekte hem de farklı bir mimari çözüm oluşturmaktadır[29].

Tübüler sisteme örnek olarak çaprazlamalı tüp ve kolonun birlikte uygulandığı Chicago’daki John Hancock Building Binası verilebilir. Sistemin ana karakteristiği yayılı yükü eşit olarak tüm strüktüre dağıtmasıdır. Alın kirişleri kolonlar arasındaki düşey yükleri taşımakta ve döşeme tepkilerini önleyen bir bağgibi davranmaktadır. Bu şekilde diyagonellerin yük dağıtan ana sistem olması sağlanmıştır[74]. Şekil 3.38’de John Hancock Building Binası’nın plan ve perspektifi gösterilmektedir.



Şekil 3.38 John Hancock Building Binası [70]

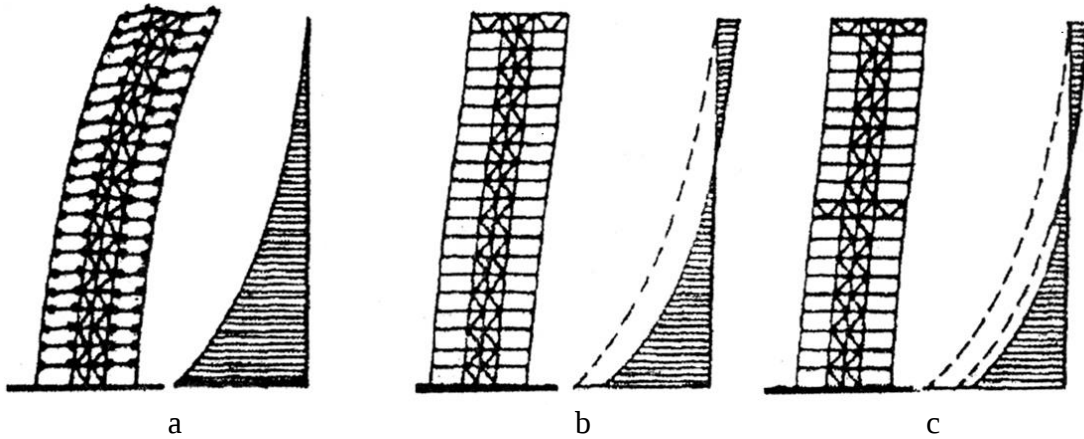
3.2.8.5 Tüp, Perde ve Çerçevelerden Oluşan Sistemler

Yüksek yapıya ilişkin cephe çerçevelerinin bir “delikli tüp” şeklinde tasarlanması ve yapılması ile elde edilen çok daha etkin sistemlerdir. Bir tüp sistemi her kat düzeyindeki ana taşıyıcı kirişler ve kolon tipi elemanlardan oluşmaktadır ve aralarda pencere boşlukları bulunmaktadır. Böylece sistem üzerine gelen yatay ve düşey yükleri, bünyesinde bulundurduğu tüm yapısal elemanlarıyla birlikte, üç boyutlu bir bütün şeklinde çalışarak zemine aktarır[40].

Bu sistemlerin dışında depreme dayanıklı yüksek yapı tasarımı için kullanılan başka sistemler de mevcuttur. Bunları da şu şekilde özetlemek mümkündür:

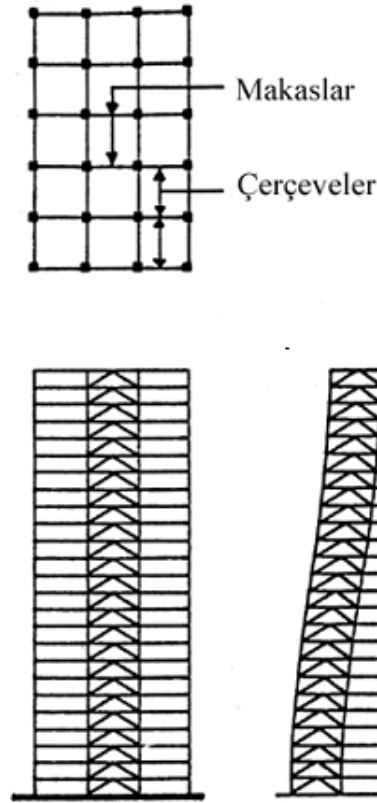
Çekirdek ve Kafes Kiriş Kuşaklı-Başlıklı Sistem

Bütün yapıyı üstten örten bir ızgara şapka bulunur. Dış kolonlar çekirdeğe mafsallı ya da rijit olarak bağlanmaktadır. Mafsallı bağlantılarda dış kolonların yalnızca düşey yükleri, çekirdeğin tüm yatay etkileri taşımasına karşılık rijit bağlantı durumunda dış kolonlar yatay yükün bir kısmını karşılayarak çekirdeğe yardımcı olmaktadır. Şekil 3.39 ve 3.40’da sistemlerin yatay yük altındaki davranışları görülmektedir.



- a) Başlıksız Sistem
- b) Başlıklı Sistem
- c) Başlıklı Ve Kuşaklı Sistem

Şekil 3.39 Başlıklı ve Kuşaklı (Izgara) Sistemin Yatay Yük Altında Davranışı[40]



Şekil 3.40 Makaslar ve Çerçevelerin Birlikte Çalıştığı Sistem ve Sistemin Yatay Yük Altındaki Salınımı [70]

Çekirdekli Sistemler

Büro binaları ve ticari amaçlı binalarda, mümkün olduğunca büyük ve geniş alanlara gereksinim vardır. Mekanın bölünmesindeki esneklik geçici ya da hareketli bölmelerle sağlanır. Bu durumda bina içine perde duvar yerleştirmek güçtür. Ancak yatay yükleri karşılamak için yine de perdeler gereklidir. Bu nedenle büro binalarında perdelerin birleştirilmesiyle oluşturulan çekirdek ya da çekirdekler kullanılır. Böylece düşey sirkülasyon ve enerji kullanımlarını (asansörler, merdivenler, mekanik ve sıhhi donanım..vb) içeren düşey taşıyıcı elemanlar ortaya çıkar.

Yatay yüklere karşı yeterli mukavemetin kazanılması amacıyla çekirdekte kalıplar ve mekanik-sıhhi donanımı için bırakılan açıklıkların mümkün olduğunca küçük olması yararlı olmaktadır.

3.2.9. Deprem Dayanıklı Yüksek Yapı Tasarımında Taşıyıcı Olmayan Elemanların Etkisi

Yapı elemanları; taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Yapının kolonları, kirişleri ve döşemeleri taşıyıcı kısımlardır; dolgu duvarları, kapıları, pencereleri, sıvaları ise taşıyıcı olmayan kısımlardır.

Taşıyıcı olmayan elemanlar, taşıyıcı elemanlara bağlı iseler deprem sırasındaki hareketlerine katılırlar. Bu katılımı sırasında taşıyıcı elemanların hareketi sınırlayıcı bir etkileri varsa aralarında bir etkileşim doğacaktır(Yörülmez, M, 1991, Mimarî Tasarım ve Deprem Mühendisliği)[29].

Yapısal eleman dışında kalan her şey yapısal olmayan elemanlar sınıfına girmektedir. Yapısal olmayan elemanlar bir bina sisteminde mimari olan bütün elemanları (pencereler, kapılar, asma tavanlar, bölücü paneller, merdivenler, mobilyalar vs.), mekanik, elektrik ve tesisat elemanları (asansör, aydınlatma, borular, havalandırma kanalları, güvenlik sistemleri, yangın koruma sistemleri, haberleşme sistemleri) kapsamaktadır[53].

Yapısal olmayan elemanlarda oluşan hasarlar temel olarak 2 şekilde olmaktadır[53]:

- Yapının farklı bir hareket karşısında kalmasından veya bükülmesinden,
- Elemanların düzlemi içinde veya dışında fazla gerilme veya titreşimden meydana gelmektedir.

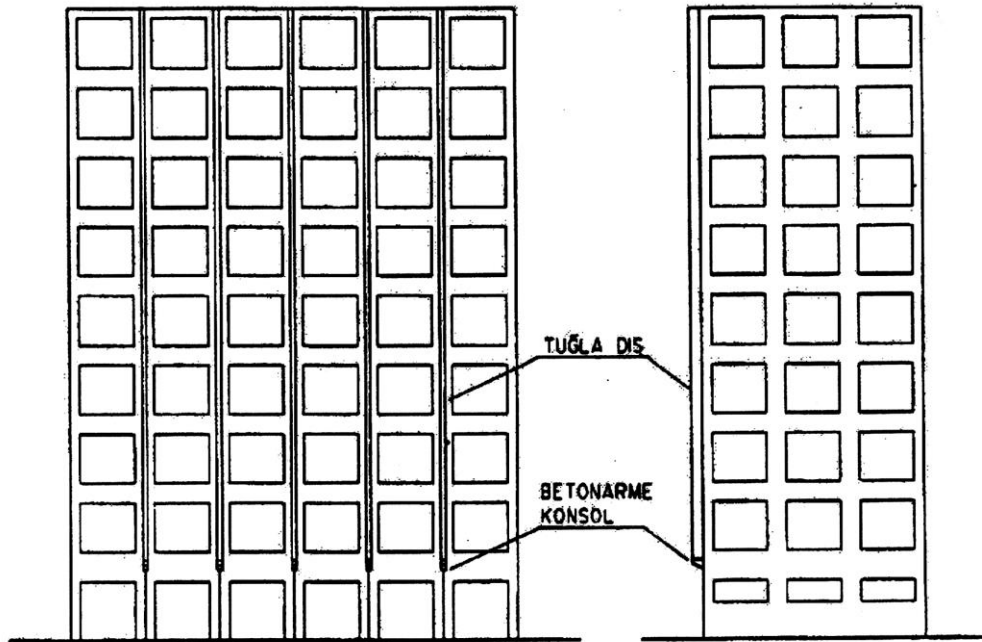
Yapısal elemanlar gibi, yapısal olmayan elemanların da dinamik kuvvetlere karşı esnek olmaları gerekmektedir. Çünkü sadece binanın esnek olması yapısal olmayan elemanların hasar görmesini engellemez. Yapısal olmayan elemanlar binanın strüktürüne hiçbir yük getirmezken, dinamik ve statik kuvvetler karşısında binanın yapısal kısımlarına büyük hasarlar vermektedirler.

Dolgu Duvarlar: Binalardaki ayrılmayı yalıtıma gibi nedenlerle yapılan dolgu duvarlar bu bakımdan büyük öneme sahiptir. Ayrım ya da yalıtım nedeniyle yapılan dolgu duvarların da belirli bir rijitliği vardır. Bu duvarların getireceği ek rijitlik iskelet yapı hesaplamalarında ihmal edilir. Ancak bunların olumsuz tasarlanıp plan ve kesitte kötü dağılımları, taşıyıcı sistemdeki şekillendirme bozuklukları gibi yapıya

etkir ve binanın depremdeki davranışını bozabilirler (Yorulmaz, M, 1991, Mimarî Tasarım Ve Deprem Mühendisliği [29].

Bölücü Paneller: Yapılarda panellerin zig-zag bir şekilde konması panellere gelecek yük açısından yapının stabilitesini sağlamaktadır. Belirli aralıklarla panelleri yere tespitinin yapılması gerekmektedir. Belirli yüksekliklerden sonra ise bölücü panellerin yıkılmasını için üçgen girişlerle 45 derecelik açılarda her iki yönde tavana bağlanması devrilmesi için uygun bir alternatif olmaktadır[53].

Dış Cephe Kaplamaları: İç ve dış duvarlarda karo mozaiik mermir vb. kaplamalar duvarlara harç ile bağlanmakta, harçların çekme ve aderans dayanımları ve kopma birim deformasyonları sınırlı olmaktadır. Yapının depremden katlar arasında büyük ardışık yatay ötelemler yapması ile kaplama malzemeleri duvara bağlayan harcın aderans dayanımının ve kopma birim deformasyonunun aşılması ile bu ağır kaplama malzemelerinin yerinden düşerek yapı içindeki ve dışındaki insan ve eşyalara zarar verne olasılığı vardır.

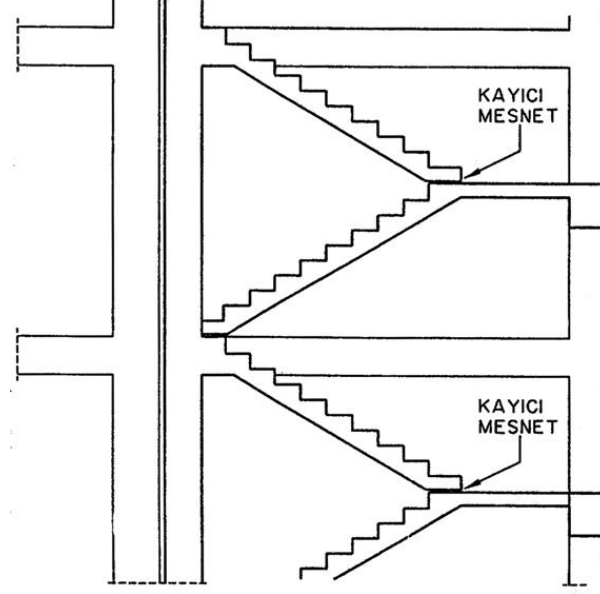


Şekil 3.41 Dış Cephe Kullarılan Delikli Tuğladan Yapılmış Ağır Kaplamalar

En sık karşılaşılan hata, yapının dış cephesindeki yapı yüksekliği boyunca delikli tuğladan yapılmış dış şekliindeki süsler görünmektedir (Şekil 3.41). Böyle bir yapıda şiddetli bir depremden yapının alt katı ile üst katı arasında metre boyutunda öteleme

farklılıkları olabilir. Bu tip bir uygulamada duvarın şiddetli bir depremde yıkılarak çevreye zarar vermemesi için belli aralıklarla kat seviyelerinde bağlanması ve burkulma boyutunun kısıtlanması gerekir[33, 53, 72].

Merdivenler: Yapıyı oluşturan çerçevelerin içinde yer alan diyagonal elemanlar olarak depremde oluşan kuvvetlerden pay almaktadırlar.



Şekil 3.42 Merdivenlerde Deprem Hasarını Önleyecek Ayrıntılar[53]

Merdivenlerin bulunduğu çerçeveler diğer yapı çerçevelerine göre daha rijit olduklarından bu çerçevelere çok daha büyük yatay kuvvet gelmektedir. Yapı güvenliği açısından merdivenlerin hasarını önlemek için ya merdivenler yapıdan derzlerle ayrılmış bloklar halinde düşünülmesi ya da merdiven kirişi Şekil 3.42'deki gibi bir uçundan kayıcı mesnetli olarak deprem etkisine karşı oluşacak hasarların önlenmesi sağlanmalıdır[53].

Pencereler: Pencere camlarının kasalara kayıcı bir biçimde takılması, kasalar yatay ötelenme ile deforme olsalar bile cam sıkıştırmayacaklarından, camın kırılması önlenecektir. Yüksek yapılarda, bir deprem sırasında cam patlaması olmasının kalırdan geçenler için çok büyük tehlike oluşturacağı göz önünde bulundurulmalı ve bu tehlikeyi engellemek için gereken tüm çözümler uygulanmalıdır.

3.3 Yüksek Yapı Örnekleri

Depreme dayanıklı yüksek yapı tasarımı adlı çalışmada deprem, depreme dayanıklı yapı ve yüksek yapılar hakkında bilgi analizi yapılmıştır. Çalışmanın ana amacı olan yüksek yapıların depreme dayanıklı yapı tasarımı kriterlerinin belirlenmesi sorunu bazı örneklerle daha somut bir hal alacaktır. Bu nedenle çalışmada kapsamlı çeşitli projeleri inceleyerek projelerde düzensizlikleri içerip içermediği araştırılmıştır.

3.3.1. Metrocity Alışveriş Merkezi Ofis ve Konut Blokları Kompleksi (A B C Blokları)

Şekil 3.43 Metrocity Alışveriş Merkezi, Ofis ve Konut Blokları Kompleksi[91]

Metrocity Alışveriş Merkezi, Ofis ve Konut Blokları Kompleksi (Şekil 3.43), temel üst kotundan itibaren dilatasyon derzleri ile birbirinden ayrılan 10 adet bloktan oluşmaktadır. Bütün bloklarda, zemin kat seviyesi altında, kat yükseklikleri 5.00 m olan üç adet çarşı bodrum katı, kat yükseklikleri 3.05-3.30 m arasında değişen beş adet garaj katı olmak üzere, toplam sekiz bodrum katı bulunmaktadır. Kompleksin yol kotu altındaki kat sayısı 9, temelden çatıya kadar kat sayısı ise 42'dir. Taşıyıcı sistem tipi betonarme karkas, temel tipi radye general temeldir. Deprem anında binanın en tepe noktasında öngörülen deplasman 47 cm'dir. Kompleksin projesi Doğan Tekeli-Sami Sisa tarafından yapılmış, statik projesi ise İrfan Balıoğlu tarafından hazırlanmıştır.

A Blok'nun toplam yüksekliği, ± 0.00 kotundan itibaren 118.00 m'ye ulaşmaktadır. Bu bloğun taşıyıcı sistemi, merdiven ve asansör boşluklarını çevreleyen betonarme çekirdek perde ile çevre kolonları üzerine mesnetlenen plak, kiriş sisteminden meydana gelmektedir. Dış cephe duvarları ise kısmen prefabrik beton panel elemanlar, kısmen alüminyumgiydirne cephe elemanları şeklinde tasarlanmıştır.

B ve C Yüksek Bloklar birbirinin benzeri olup ± 0.00 kotundan itibaren toplam yükseklikleri yaklaşık olarak 120.00 m'dir. Binaların orta bölümündeki merdiven ve asansör kovası çevresinde yer alan çekirdek perde sistemi yanında, çevredeki kolonlar ve boşluklu perdeler ile plak, kiriş sistemi taşıyıcı sistemi oluşturmaktadır. Binaların dış cephe duvarları, belirli noktalarda bulunan çelik bağlantılar ile betonarme döşemeye bağlanan prefabrik beton panel elemanlardan oluşacak şekilde inşa edilmiştir.

Yüksek blokların arasında kalan ve onları çevreleyen alçak blokların bir bölümü zemin kat seviyesine kadar, diğer bir bölümü ise birinci tesisat katı ve sosyal kat seviyesine kadar yükselmektedir.

Kompleks, toplam konstrüksiyon kalınlığı 3.30 m olan radyetemel sistemi ile inşa edilmiştir. Büyükdere Caddesi'ne göre en arkada kalan J bloğu dışındaki diğer bloklar tek bir temel sistemine mesnetlenmektedir. J bloğunun temeli ise diğerlerinden dilatasyon derzi ile ayrılmış ve farklı zamanda dökülmüştür.

İTÜ Geliştirme Vakfı tarafından 22 Eylül 1999 tarihinde Yüksel Yapı Yatırım A.Ş.'ye sunulan rapora göre; 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sırasında kaba inşaatının büyük bir bölümü tamamlanmış olan Metrocity Alışveriş Merkezi, Ofis ve Konut Blokları Kompleksi inşaat yerinde incelenmiş, depremsonrasındaki durumu belirlenmiş ve söz konusu deprem ile artçı şoklarından dolayı yapıların taşıyıcı sistemlerinde herhangi bir hasar ve dunsuz etki meydana gelmediği saptanmıştır.

Metrocity Kompleksinin hesap ve tasarımlıkları belirlenirken, projenin yapı m tarihinde yürürlükte olan 1975 Türk Deprem Yönetmeliği (ABYYHY) ile 1997 yılında yayınlanarak 1998 yılından itibaren zorunlu olarak uygulanmaya başlayan yeni depremyönetmeliğinin 1995 yılı taslağı da göz önüne alınmış, ayrıca 1997 Türk Deprem Yönetmeliği ile büyük ölçüde benzer olan Amerikan Deprem Yönetmeliği (UBC 1994) kurallarına da uyulmuştur.

Metrocity Alışveriş Merkezi, TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan deprem bölgeleri haritasına göre ikinci derece deprem bölgesinde bulunduğu halde tasarımda güvenli tarafta kalacak üzere birinci derece deprem bölgesine ait olan değerler kullanılmıştır.

İTÜ Geliştirme Vakfı'nın Aralık 1999'daki raporuna göre bu ve bunlar gibi birçok değer depremyönetmeliğinde öngörülene göre güvenli tarafta kalacak şekilde hesap edilmiştir.

Çok katlı ofis ve konut bloklarının depremetkileri altındaki dinamik hesabı, 1975 ve 1997 Depremyönetmeliklerinde öngörüldüğü şekilde, mod birleştirme yöntemi ile yapılmıştır.

Söz konusu bloklarda, 1997 deprem yönetmeliğinde tanımlanan yapısal düzensizliklerden sadece B3 türü düzensizlik durumunun, binaların kat alanlarının küçüldüğü en üst dört katında bulunduğu ve tasarımda bu durumun göz önüne alındığı belirlenmiştir.

1997 depremyönetmeliğinin en önemli farklarından birini oluşturan, taşıyıcı sistem elemanlarının süreklilik düzeylerini yükseltmeye yönelik tasarım kurallarına da projede uyulmuştur.

Metrocity Alışveriş Merkezi, Ofis ve Konut Blokları Kompleksi projelerinde, söz konusu yapıların betonarme taşıyıcı sistemlerinin tasarımı 1997 Türk Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak yapılmış, ayrıca ek güvenlik sağlamak üzere, ikinci derece deprem bölgesinde yer alan söz konusu yapılar için birinci derece deprem bölgesine ait depremetkileri esas alınmıştır[79, 80, 82, 91].

Metrocity Alışveriş Merkezi'ne ait plan ve görünüşler Ek C2'de yer almaktadır.

3.3.2. Beybi Gz Plaza

Beybi Gz Plaza İstanbul Mıslak'ta Gz İnşaat A.Ş. tarafından yapılan Gz Plazalar'dan bir tanesidir. Mimari projesi Can Elgiz tarafından yapılan plazanın statik projesi İrfan Balıoğlu tarafından hazırlanmıştır. Yapı yılı 1996-1997 olan yapının zemin den yüksekliği 99.20 m'dir. Kat adedi 32, tipik kat yüksekliği 3.10 m'dir. Plazanın planı 25.00x12.90 m boyutlarındaki karşılıklı iki dikdörtgenin çekirdek ile birleşmesiyle kare formuna dönüşmüştür.

Taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve (tüp sistem) ve çekirdekten oluşmaktadır. Yapı tamolmasa da tek eksenli sistemdir. Yapıda %17 çekirdek oranı vardır, bu benzer yapılara göre oldukça düşük bir orandır. Yapının yüksekliğinin yapının dar kenarına oranı (narielik oranı) 3.96 olup perde oranı %2.3, çekirdek oranı 17.9'dur. Döşeme 40 cm kaset döşemedir. [78]



Şekil 3.44 Beybi Gz Plaza'nın Görünüşü [78]

Yapı 32 katlı ofis bloğu ve 3 katlı çarşı bloğundan oluşmaktadır. Şekil 3.44'de plazanın cadde üzerinden görünüşü, Şekil 3.45'de ise komşusu olan Spring Gz'den görünüşü verilmiştir. Yapıda çekirdek etrafındaki tüp sistemden oluşan iki adet dikdörtgen plan bir miktar şaşırtılarak sistemi bozulmuştur. Ancak yapıda kusur sayılabilecek herhangi bir düzensizlik durumu mevcut değildir [84, 93].

Plan, kesit ve temel planının detayları Ek C3'de verilmiştir.



Şekil 3.45 Beybi Gz Plaza'nın Bir Başka Görünüşü[78]

3.3.3 Gz 2000 Plaza

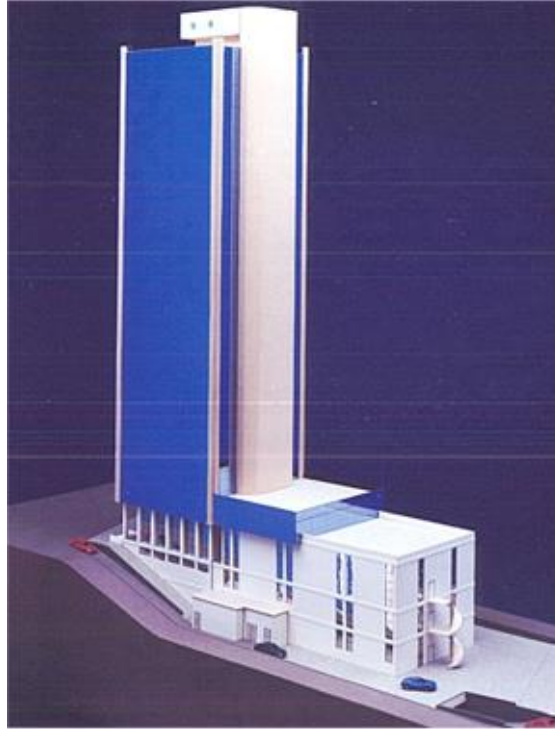


Şekil 3.46 Gz 2000 Plaza'nın Griş Cephesi[86]

Gz 2000 Plaza, Gz İnşaat A.Ş. tarafından İstanbul Mıslak'ta henüz yapılmakta olan İz Plaza'nın yanında yer almaktadır. Tasarım Can Elgiz tarafından, statik projesi İrfan Balıoğlu tarafından hazırlanmıştır. Yapı Gz İnşaat'ın tipik plan tipine uymaktadır. Yapı bir ofis binası ve yanında alçak katlı bir çarşı binasından oluşmaktadır (Şekil 3.46). Alçak katlı yapı ile yüksek katlı yapı birbirinden derz ile ayrılmıştır. Yüksek yapının zemininden yüksekliği 82.90 m olup, alçak yapının yerden yüksekliği 10.80 m'dir. Yapı yine Beybi Gz Plaza'da olduğu gibi ortada çekirdek ve çekirdeğin her iki yanındaki betonarme çerçeve-tüp sistemden oluşan iki adet dikdörtgen planlı ofis katlarından oluşmaktadır. Her iki dikdörtgen formunda hafif bir şaşırtma vardır. Bu şaşırtma plana esneklik ve estetik getirmektedir. Yapı tam olmasa da tek eksenli simetrik. Yapıda herhangi bir düzensizlik durumu bulunmamaktadır [84, 85, 93].

Plan, kesit ve temel planının detayları Ek C4'de verilmiştir.

3.3.4 Harmanlı Gz Plaza



Şekil 3.47 Harmanlı Gz Plaza'nın Maket Fotoğrafı [90]



Şekil 3.48 Hürmancı Glass Plaza[90]

Hürmancı Glass Plaza İstanbul Levent'te Glass İnşaat A.Ş. tarafından yapılmıştır. Tasarımını Can Elgiz, statik projesini ise İrfan Balıoğlu hazırlamıştır. Yapı Glass Plaza'nın narinlik oranı en yüksek olan yapısıdır(Şekil 3.48). Yapı yüksek katlı ve dar bir blok ile alçak katlı ve yatay da alanı büyük bir diğer bloğun birleşmesi ile ortaya çıkmaktadır. Yükseklikleri farklı olan bu iki kütle birbirlerinden derzler ile ayrılmaktadır(Şekil 3.47). Diğer Glass Plaza'lar'dan farklı olarak planda çekirdek kısa kenar tarafında yer almaktadır. Bu durum burulma düzensizliği olarak da tarif edilen Alt türü düzensizliğe örnek gibi görünmektedir. Yapının sadece tek bir bölümüne yakın yerleştirilen perde duvar veya duvarlar eğer perdenin rijitliğine denk gelen başka elemanlar ile dengelenmemişse, bu perde duvar yapıya depremsırasında zarar vererek yapıda burulma hasarı meydana gelmesine neden olacaktır. Hürmancı Glass Plaza'da bu durum statik hesaplamalar sırasında dikkate alınmış, yapının çerçeve olan taşıyıcı sistemi tüp sisteme dönüştürülerek binanın rijitlik ve ağırlık merkezlerinin birbirine en yakın çözüm bulunarak uygulama yapılmış ve bu düzensizlik durumu ortadan kaldırılmıştır. Çerçeve sistem olması halinde dışarıdan

gelecek yatay yüklerin % 80'ini çekirdek karşılayacakken tüp sisteme dönüştürülen yapıda dışarıdan etkiyen yatay yüklerin %80'ini tüp sistem tarafından karşılanmakta sadece % 20'lik bir etki içeriğindeki çekirdeğe etmektedir. Çerçeve sistemin tüp sisteme dönüştürülmesi tasarımı etkilemiş sadece yapının çevresindeki kolon sayısı yaklaşık iki katına çıkarılmıştır. Böylelikle tasarımı olarak plan tipi düzensiz görünen bir yapı statik hesaplar sonucunda bu düzensizlikten kurtarılmış ve depreme dayanıklı yüksek yapı haline dönüşmüştür[83, 84, 85, 93].

Plan, kesit ve temel planının detayları Ek C5'te verilmiştir.

3.3.5 İz Plaza



Şekil 3.49 İz Plaza Şantiye Alanı

İz Plaza, Gz İnşaat A.Ş. tarafından İstanbul Maslak'ta halen yapılmaktadır. Tasarımı Can Elgiz tarafından, statik projesi İrfan Balıoğlu tarafından hazırlanmıştır. Yapı yine bir ofis binası ve yanında alçak katlı bir çarşı binasından oluşmaktadır. Alçak katlı yapı ile yüksek katlı yapı birbirinden derz ile ayrılmıştır. Yüksek yapının zemininden yüksekliği 72 m'dir (Şekil 3.49). Yapı yine Beybi Gz Plaza ve Gz 2000 Plaza'da olduğu gibi ortada çekirdek ve çekirdeğin her iki yanındaki betonarme çerçeve-tüp sistemden oluşan iki adet dikdörtgen planlı ofis katlarından oluşmaktadır. Yapı tek eksenli simetrik yapıdır[83, 85, 93]. Yapıda herhangi bir düzensizlik durumu mevcut değildir.

Plan, kesit ve temel planın detayları Ek C6’da verilmiştir.

3.3.6 İçerenköy’de Bir Konut

Yukarıda verilen yüksek yapı örnekleri depreme dayanıklı yapı tasarım kriterlerine tamol msa bile olabilecek en yüksek seviyede gerek tasarım gerek hesaplamalarda uymaktadır. İstanbul İçerenköy’de incelenmiş olan konut örneği ise tasarım olarak bu kriterlere tamolarak uymamaktadır. Projesini Mimar Salih Yıldız’ın hazırladığı yapı 3 katı bodrum ve 17 katı normal kat olmak üzere toplamda 20 kattır. Yapının yerden yüksekliği 53.90 m’dir. Yapıda düzensizlik arz eden plan formunda çıkmalara sahip olması ve planın bu çıkmalardan dolayı yonca şeklini aldığıdır. Yapı ortada çekirdek ve etrafında iki daireden oluşmaktadır.

Şekil 3.50 İçerenköy’deki Konuttan Bir Cephe

Planda görüldüğü kadarıyla tamol msa da bir simetri yakalanmaya çalışılmış fakat yapının ilk üç katında mevcut olan ön cephenin pencereli ve arka cephenin sağır cephe olması plandaki bu simetri arayışını bozmuştur. Yapıda değişik olan bir diğer husus da onaylanmış olan projede ilk 6 katın ön cephesinin açık, arka cephesinin sağır cephe olması fakat sonraki 11 katın tam tersi bir şekilde ön cephesinin sağır

cephe, arka cephesinin açık cephe olmasıdır(Şekil 3.50). Bu durum projenin uygulanmasında ilk 4 kata kadar devam etmiş ve bu şekilde uygulanmıştır. Sonraki 13 kat ile ilk 4 katın planları birbirinin tam tersi istikametine yerleştirilerek düşeydeki düzensizlik daha da artmıştır. Bu durum mevcut olmayan simetriyi daha da karışık hale getirmiştir. Yapıda plan formunda simetri yakalanamadığı gibi cephede de bu simetri engellenmiştir. Yapı düşeyde düzensizlik ve A3 düzensizliklerini içermektedir.

Yapının plan, kesit ve görünüşleri Ek C6'da verilmiştir.

3.4 Bölüm Sonuçları

Geçmiş depremlerden sonra ortaya çıkan ağır yapı hasarları ve sonuçları neticesinde depreme dayanıklı yapı tasarımı'nın başlı başına bir bilim dalı olmaya başladığı görülmektedir. Depreme dayanıklı yapı, projesini belirli ilkeler ışığında gerçekleştiren mimar ve mimarın birlikte çalıştığı diğer mühendislik dallarının ortak çalışması sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Tasarım gerçekleştirecek olan mimarın, projenin uygulanacağı bölgeyi tanıması, zemin ve depremsel özelliklerini bilmesi ve yapı tasarımı aşamasında da bunları dikkate olması gerekmektedir. Mimarın tasarımı yaptığı yapıda uygulayacağı taşıyıcı sistemin, kullanacağı yapı elemanlarının özelliklerini ve yapıda kullanıma amacını bilmesi, yapının deprem karşısında göstereceği davranışlarının uygunluğu açısından önemlidir. Tasarım deprem açısından uygun olmayan yapılar deprem sırasında büyük hasar görmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı'nda yapının formu kadar önemli bir diğer kriter de uygulanacak yapı ile kullanılacak yapı malzemesinin arasındaki uyumdur. Depreme dayanıklı yapı malzemesi diye bir kavramdan söz etmek mümkün değildir; ancak yapının projesine, yapı malzemesi seçmek mümkündür. Bu seçim yapı davranışının nasıl olmasının istendiği ile alakalıdır. Her malzemenin kendine has özellikleri vardır. Yapının taşıyıcı sistemi ve tasarımı belirlendikten sonra bu yapıya uygun malzeme seçimi yapmak doğru bir davranıştır. Yüksek yapı taşıyıcı sistem malzemesi olarak en çok çelik, betonarme ve kompozit malzemeler seçilmektedir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; geçmişte meydana gelmiş olan depremler sonucunda edinilmiş bilgiler ve yapılmış çalışmaların ışığında depreme dayanıklı yapı

tasarımları açıklanmış ve incelenmiştir. Bu incelemelerin sonucunda yapının deprem hareketi karşısında uygun bir davranış sergilemesi, için gerekli olan minimum şartlar olan yeterli dayanım yeterli süneklik (düktilite) ve yeterli rijitlik ilkelerini sağlamak zorundadır.

Bu bilgiler ışığında bir yapının deprem etkisi altında sağlıklı bir davranış gösterebilmesi aşağıdaki şartları sağlaması ile mümkün olmaktadır.

- Yapının inşa edileceği zemin özelliklerinin bilinmesi zeminin depremsırasında yapıya nasıl bir etki vereceği konusunda bilgi verir. Her tür zemine yapı yapılması ve günümüz yapı sistemleri ve yapı malzemeleri ile mümkünse de uygulanması gereken bazı temel ilkeler her tür zemin için geçerlidir. Ayrıca zemin özelliklerinin bilinmesi inşa edilecek yapının özelliklerinin uygun bir biçimde seçilmesini sağlamaktadır.
- Zemin ve yapı arasında, titreşim periyotlarından kaynaklanan bir ilişki mevcuttur. Her yapının ve her zeminin kendine has belirli birer periyodu mevcuttur. Bunlar, zemin periyodu ve yapı periyodudur. Bir cismin belirli bir süre içerisinde yaptığı salınım miktarı periyot olarak adlandırılmaktadır. Depremsırasında zemin ve yapılar salınım yapmaya başlarlar. Dikkat edilmesi gereken zemin ile üzerinde bulunan yapının periyotlarının çakışmasıdır. Çakışma olduğu zaman hasar engellenemez olabilir ve göçme meydana gelebilir. Bu periyotların çakışması hali rezonans olarak tanımlanmaktadır. Yani deprem zemin ile yapı arasında rezonans olayının meydana gelmesi engellenmelidir. Yapının yüksekliği arttıkça periyotları da uzar. Zeminlerde de yumuşak zemin olara tanımlanan zemin türünün periyodu yüksektir. Bu nedenle yüksek yapıları sert (kaya) zeminler üzerinde inşa edilmeleri depremsırasında meydana gelmesi muhtemel bir rezonans olayını önleyecektir.
- Tasarlanacak projenin plan olarak mümkün olduğunca basit ve simetrik olması depreme dayanım açısından olumlu bir tercihtir. Yapı boyutları arasındaki orantısızlık ve fazla karmaşıklık yapı formları deprem kuvvetleri etkisindeki yapının davranışını etkileyecek ve yeterli dayanım sağlamasını güçleştirecektir.

Yapının planında olduğu gibi taşıyıcı sisteminde simetrik olarak yerleştirilmiş olması önemlidir. Hangi yönden geleceği belli olmayan depremyüklerine karşı

yapı aynı sağlanıktaki dayanımgösterebilmektedir. Bu nedenle geometrik şekiller arasında en çok hasar gören yapılar üçgen plan tipine sahip yapılardır. Bazen yapıların form bakımından simetrik olması ya da taşıyıcı sistemin simetrik yerleştirilmesi de depreme dayanım açısından yeterli olmayabilir. Bu durum ortogonal olma olarak adlandırılmaktadır. Yani yapının akslarının aynı düzlem üzerinde olması da bu durumun nedenidir. Bu nedenle planda simetrik olan eşkenar üçgen planlı bir yapının da depremde dayanımının yetersiz kalacağı söylenebilir. Depreme dayanım açısından ise simetrisinin mevcut olduğu daire formu en iyi formdur. En iyi ikinci form ise yine simetrisinin varlığı halinde kare formudur.

- Simetrisinin sağlanması ve basit formların tercih edilmesi nedenlerinden bir tanesi de yapının rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin çakışmasını sağlamaktır. Deprem etkisi yapının ağırlığı ile doğru orantılıdır ve yapıya deprembu ağırlık merkezinden etki etmektedir. Oysa yapının rijitlik merkezi içerisindeki taşıyıcı sistemin düzenlenmesi yerleşim şekilleri ile belirlenir ve depremyüküne vereceği tepki de bu merkezden olur. Yapının depremyükü altında alacağı etki ve bu etkiye karşılık vereceği tepkinin çakışarak yapının depremden zarar görmesinin engellenmesi amaçlanmalıdır. Bu nedenle ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi dengelenmelidir.
- Yapıya etkiyen depremyükü yapının ağırlığı ile doğru orantılı olduğundan yapı mümkün olduğunca hafif tasarlanmalıdır. Bu nedenle, yapıda kullanılacak yapı malzemelerinin seçiminde bu konuda göz önünde bulundurulmalıdır.
- Yapıda plan da olduğu gibi düşeyde de süreklilik aranmalı ve buna dikkat edilmelidir. Türkiye’de en çok hasarın alt katlarda meydana gelmesinin nedeni; bu katların mağaza restoran, otomobil galerisi vb.(yumuşak kat durumu) olarak kullanılması ağırlık ile dolgu duvarların kaldırılmasıdır. Oysa alt katlar hem kendi yükünü hem de diğer katların yükünü taşıyıp bu yükleri temele zemine ileten katlardır ve bu nedenle diğer katlardan daha kuvvetli yapılmalı gerekmektedir.

Belirli bir kattan sonra yapı taşıyıcı sisteminin birden zayıflatılması da sakıncalı bir durum meydana getirir. Bu duruma örnek de Mexico City depreminde gözlemlenmiştir. Genelde 14 katlı olan yapılarda yaklaşık 6 kattan sonra taşıyıcı

sistemin zayıflatılması, bu katlar ile üst katların arasında deprem sırasında farklı periyotlar ve tepkisel davranışlar meydana gelmesine ve iki ayrı yapı gibi davranmalarına neden olmuş, 6. kat zemin kat gibi davrandığından göçmeler bu katlarda olmuştur. Burada 6. kat yumuşak kat olarak davranmıştır. Türkiye’de ise yumuşak kat hasarları zayıf yapılan giriş katlarından dolayı giriş katlarında meydana gelmektedir.

- Planda H L, T, U, W, V vb. formlarda tasarlanmış yapılarda gerekli noktalardan yapı basit dikdörtgen parçalara ayrılmalıdır. Böylece hangi yönden etkileyeceği belli olmayan depreme karşı, her parça yeterli dayanım sade formundan dolayı sağlayacaktır. Yapının parçalara ayrılması uygun dilatasyon aralıkları ile yapılmalı ve yapılar arasında da yeterli mesafe bırakılmalıdır.
- Kat seviyeleri farklı iki yapı, deprem sırasında farklı salınımlar yapacaktır. Yapıların birbirlerine zarar vermemeleri için aralarında yeterli mesafelerin bırakılmış olması gerekmektedir. Aynı mesafe, kat seviyeleri aynı olsa dahi yapı yükseklikleri farklı yapılar arasında da yeterli miktarda bırakılmalıdır.
- Planda olduğu gibi düşeyde de L, U vb. tipteki formlardan kaçınmak en doğrusu olacaktır. Bu tip yapılarda her katın ayrı bir periyodu olacağı için yapı farklı yapılardan oluşmuş tek bir yapı gibi davranacak ve depremde yeterli dayanım sağlayamayacaktır. Düşey doğrultuda da düzensizlikten kaçınılmalı ve binalar birbirinden derzlerle ayrılmalıdır.
- Yapıya yerleştirilecek taşıyıcı sistemlerin yerlerinin tayini ve hesaplarının düzgün yapılması, yapının depreme dayanım açısından önemli bir kriterdir. Yanlış yere yerleştirilmiş bir perde duvar yapının dayanımını arttırmak yerine, tüm yapının sismetrisini dolayısıyla rijitlik merkezini bozarak yapının deprem karşısında göstereceği tepkinin olumsuz olmasına neden olarak yapının göçmesine kadar olan sonuçların meydana gelmesine neden olabilir. Taşıyıcı sistem yerleştirilmesinde yapıda burulma etkisine sebep veremeyecek biçimde düzenlene yapılmalıdır.
- Yapının taşıyıcı sisteminin temel den çatıya kadar aynı düzen içerisinde devam etmesi sağlanmalı, yapının bulunduğu arazi eğimli olsa dahi yapının temelini

aynı kotta inşa edilmesi sağlanmalıdır. Farklı kotlarda bulunan temeller farklı salınım göstereceğinden üst yapıya zarar verecektir.

- Yapının iççerisinde yapılacak giriş duvar arasındaki boşluklardan dolayısı ile kısa kolon oluşumundan kaçınılmalıdır. Duvar ya tabandan tavana kadar kesintisiz devam etmeli ya da kolonlar ile de bağlantısı kesilerek duvar serbest bırakılmalıdır.
- Yapının çatısında ağır çatı uygulamasından kaçınılmalı ve çatının yapıya tam olarak montesi sağlanmış olmalıdır. Böylece deprem yükleri altında yapı ile çatının bağımsız elemanlar olarak davranmaları önlenmiştir.
- Yapıdaki tesisat kat ve asma kat gibi uygulamalardan mümkün olduğunca kaçınılmalı ve kolon yüksekliklerini tüm katlarda tüm kolonlar için aynı olması sağlanmalıdır. Deprem yükü altında yapının bu bölümünde farklı kolon yüksekliklerinden kaynaklanan farklı tepkilerin olması muhtemeldir. Deprem sırasında tesisat katları ve galeri katlarında oluşan hasarlarla yaygın olarak karşılaşılacaktır.
- Düşeyde yapıda uygulanacak olan çıkmaların ve çekmelerin yönetmelik maddelerine uygun olarak yapılması ve bu maddelerde belirtilen oranların üzerine çıkılması yapının depreme karşı dayanım açısından önemlidir.
- Yapıda döşeme üzerinde asansör, merdiven, galeri v.b. oranlarının yönetmelikte belirtilen oranı aşmaması döşemenin dayanımını yitirmemesi ve yük iletmeme görevini yerine getirebilmesi açısından önemlidir. Döşemedeki boşlukların oranına olduğu kadar yerlerinin seçimine de gereken dikkat gösterilmelidir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı nda taşıyıcı sistem elemanlarının özellikleri kadar taşıyıcı olmayan elemanların da özelliklerine dikkat edilmesi gereklidir.

Taşıyıcı olmayan elemanlarda dikkat edilmesi gereken noktalar şu şekilde özetlenebilir:

- Yapı yüklerinin hesabı sırasında hesaba katılmayan düşey delikli tuğlalar yatay yüklerin etkisi altında göz önüne alınması gerekli tepkiler verirler. Örneğin, alt katların dükkan vb. amaçla kullanılabilmesi için kaldırılan bu duvarlar üst katta devam ettikleri için hem alt kata yük uygulamakta hem de depremsırasında üst

katların alt katlara oranla daha rijit davranmalarına neden olmakta ve bu nedenle yumuşak kat davranışı gösteren alt katlarda hasara neden olmaktadır.

Dolayısıyla projelendirmede etkileri ihmal edilen yatay yükler altında ciddi tepkiler verebilmekte ve depremde beklenmeyen sonuçlar doğurabilmektedirler. Sistemin yatay yük etkisindeyken de sorunsuz çalışabilmesi için bu elemanların da tabandan tavana kadar sürekli devam ettirilmesi uygun bir davranış olacaktır.

- Yapı elemanlarının ek yerlerinde kullanılan donatıların sıklığı, boyutu ve sayısı önemli bir konu olup, bu donatıların eksik ya da yetersiz olması durumunda yapıda ciddi hasarlar meydana gelebilmektedir.
- Yapıların dış kaplamaları için seçilen malzemeler hafif ve yapı ile uyumlu çalışabilecek malzemelerden olmalıdır. Bu nedenle, yapının dış cephesinde kullanılan mozaik, tuğla, granit vb. uygulamalardan kaçılması ve seçilen malzeme ne olursa olsun yapıda oluşacak düşey ötelenmeler ve salınım hareketi sırasında yapıya ve yapının içinde veya dışındaki insanlara zarar vermeyecek biçimde detaylandırılması gerekmektedir.
- Yapının önemli noktaları olan çekirdek yerleri iyi seçilmeli, çekirdeği oluşturan merdiven ve asansör boşlukları uygun düzenlenmelidir. Yapıda merdiven biçimleri ve rijitlikleri nedeniyle en fazla zarar gören elemanlardır.

Merdivenlerin hasar görmesinin önlenmesi deprem sırasında ve sonrasında yapının boşaltılabilmesi ve düşey sirkülasyonun devamının sağlanması için gereklidir. Bu sebep ile merdivenler ile yapının arasındaki bağlantı derzler ile koparılmalı ve böylece, merdivenler normalde yapının elemanı olarak çalışırken deprem yükleri altında yapıdan bağımsız olarak çalışmaları sağlanmalıdır.

- Deprem sırasında yatay yüklerden etkilenen bir diğer eleman da camlardır. Özellikle yüksek yapılarda camların sıkışarak patlaması oldukça rastlanan bir durumdur. Bunu önlemek için yapılarda cam ile çerçeve arasında hareket sırasında kırılmasını önleyecek kadar boşluk bırakılmalı ve gerekli detaylar çözülmelidir.
- Yapılarda kullanılan ağır teçhizatların ve donatıların deprem sırasında devrilmesi sonucu yapıda ciddi hasarlar ve yaralanmalar hatta can kayıpları meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, yapıdaki donatıların ve elektronik

teçhizatların yerlerine montelenmesi ve detaylandırılmış çözümlerinin yapılması gerekmektedir.

Gelişen teknoloji ve artan nüfus nedeni ile azalım gösteren boş yerleşim alanlarında yapıların düşeyde büyümesi kaçınılmaz bir oluşumdur. Yüksek yapılar tarihte dini, anıtsal ya da karunama amaçlı yapılar olarak inşa edilmekteyken; bugün prestij, reklam yükseklik yarışı, minimum malandan maksimum kazanç elde etme ve yerleşim birimlerine olan ihtiyacı karşılama v.b. gibi nedenler ile inşa edilmektedirler.

Dünya üzerinde varolan birçok metropoliten yerleşim biriminin aktif deprem kuşakları üzerinde yer almaları; buna rağmen, yüksek yapı inşasından ödün vermemeleri ve her geçen gün nüfus yoğunluklarının artması; depreme dayanıklı yapı alanı içerisinde, “depreme dayanıklı yüksek yapı tasarımı” olarak özel bir kavram ortaya çıkmasına neden olmuştur. Tez çalışmasında; tasarımları ve taşıyıcı sistemleri bakımından özel bir yere sahip olan yüksek yapıların, deprem yükleri de hesaba katıldığı durumdaki yapımkriterleri ve davranışları incelenmeye çalışılmıştır.

Yüksek yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımları sırasında kullanılan taşıyıcı sistemleri; çerçeve, perde, perde ve çerçeve, tüp ve yüp, perde ve çerçeve olmak üzere beş grup altında toplanabilmektedir. Yüksek bir yapı tasarlanırken; yapının kat adedine, yüksekliğine, kullanıma amacına bağlı olarak bu sistemlerden biri veya birkaç tanesi bir arada kullanılabilirler. Yapımteknikleri ve uygulamaları ve kullanılan malzemeleri dolayısıyla bu sistemler yatay yükler altında gerekli dayanım gösterebilirler. Depreme dayanıklı yüksek yapı tasarımı adlı çalışmamız kapsamında deprem ve depreme dayanıklı yüksek yapılar hakkında bilgi analizi yapılmış, depreme dayanıklı yapı tasarımı kriterleri örneklerle somut hale getirilerek açıklanmıştır.

Sonuç olarak, depreme dayanıklı yüksek yapı tasarımı; taşıyıcı sistemkriterleriyle, yapılarda kullanılan malzeme seçimiyle ve yönetmeliğiyle depreme dayanıklı yapı tasarımı konusu içinde farklı bir yere sahiptir ve ayrı bir inceleme konusudur.

4 YÜKSEK YAPILARDA DEPREME KARŞI KULLANILAN KONTROL SİSTEMLERİ

Depreme dayanıklı yapı tasarımı; yapının taşıyıcı sisteminin düzenli olarak seçilmesi, tasarlanması ve yapının yönetmelik şartlarını sağlaması ana amaçtır. Çeşitli nedenlerden dolayı gerek tasarımı aşamasında, gerekse uygulama aşamasında yönetmelikteki bu şartların yanında ilave tedbirler gerekebilir. Bu tedbirlerden bir tanesi, yapıyı depremetkilerinden mümkün olduğu kadar izole ederek, yapı ile zemin arasındaki bağ rijitliğini azaltmak, bir diğeri de sisteme deprem sırasında gelen enerjinin bir kısmını yapıya ilâve edilen elemanlara aldırıp bu elemanlarda deprem enerjisini söndürmektir. Diğer bir deyişle zeminin yapıya etkisini en az hale getirmektir. Yüksek yapıların farklı özellikleri(periyotlarının yüksek olması vb.) nedeniyle kontrol sistemlerinin kullanımları ve çeşitleri yapıların yükseklik değerleri ile sınırlıdır.

Tablo 4.1 Yapısal Korunma Sistemleri (Akhuy, 1995)[62]

Aktif Kontrol	Pasif Kontrol	
	Taban İzolasyonu	Pasif Enerji Yutucu Sistem
Aktif Kollu Sistem	Elastometrik İzolatörler	Ayarlı kütle sönmeyiciler
Aktif Kütle Sönmeyiciler	Kurşun- Kaucuk İzolatörler	Ayarlı Sıvı Sönmeyiciler
Aktif Rijitlik Değiştirici veya Sönüm Sistemleri	Enerji Yutucu Aletlerle Birlikte Elastometrik İzolatörler	Viskoelastik Sönmeyiciler
Pulse Sistemleri	Kayıcı Tipte İzolatörler	Viskoz Sönmeyiciler
	Kombi ne İzolatör Sistemleri	Sürtünmeli Sönmeyiciler
		Eğilimli Çelik Sönmeyiciler
		Yağlı Sönmeyiciler

Bir yapı, Tablo 4.1’de gösterildiği şekilde aktif veya pasif kontrol sistemleri diye adlandırılantezneldeiki tür kontrol mekanizması ile sistematik yönden kontrol edilebilir. Ancak kontrol sistemlerini aktif ya da pasif kontrol sistemleri olarak ikiye ayırmak

her zaman mümkün olabilmektedir. Bu sınıflandırmaya ilaveten aktif ve pasif kontrol sistemlerinin bir arada kullanıldığı karma kontrol sistemleri de mevcuttur.

4.1. Pasif Kontrol Sistemleri

Pasif kontrol elemanlarının bir kısmı, sisteme giren deprem enerjisinin (kinetik enerjinin) bir kısmını kendi üzerine alır, büyük bir kısmını da ısı enerjisine çevirir. Böylelikle yapıların dış yüklere karşı tepkisini azaltmış olurlar. En önemli özellikleri sisteme ilâve enerji vermezler. Pasif yapı kontrolü, izolasyonda kullanılan malzemeler ve seçilen izolasyon sistemi bakımından Sismik İzolasyon (Taban İzolasyonu) ve Pasif Enerji Sönümleyici (Yutucu) Sistemler olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir.

4.1.1. Sismik İzolasyon (Taban İzolasyonu):

Pratik olarak bir izolasyon sistemindeki temel amaç, 1990’da Buckle tarafından aşağıdaki şekilde açıklanmıştır (Soong ve Constantinou, 1994)[62]:

1. İzolasyonun etkili olabilmesi ve periyodun uzaması için esnekliğin artırılması: Periyodun artması ile yapının doğal frekansı azalacağından rijitlik de azalacak ve yapı esnekleşecektir. Bu durumda ise yapıya giren ivme ve taban kayma kuvveti de azalacaktır.
2. Yapıdaki yer değiştirmelerin pratik olarak asarlanan seviyeye indirilmesi için yapının enerji yutma kapasitesinin artırılması: Böylece yapıdaki büyük rölatif yer değiştirmeler kontrol edilebilir.
3. Deprem ve rüzgâr gibi yatay yükler altında yapının esnekliğini artırılması.

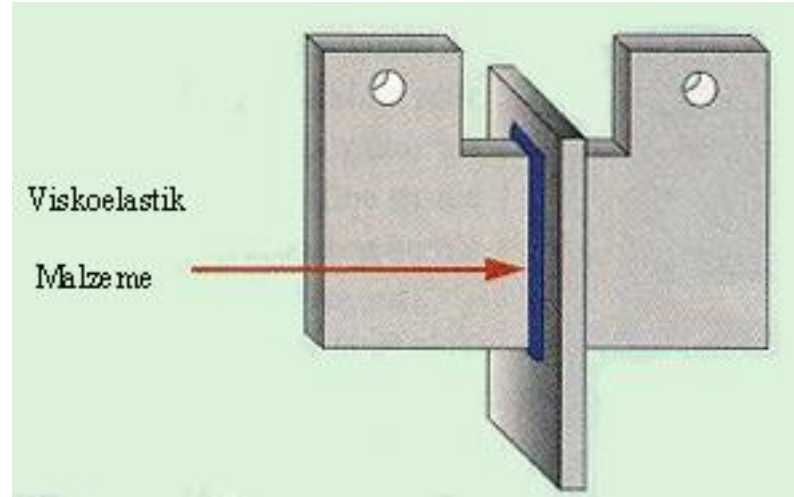
Diğer amaç ise temelden yapıya iletilen yatay ivmenin azaltılmasıdır (Akhuy, 1995)[62].

Taban izolasyonundaki diğer bir amaç, titreşimin yüksek frekansından yapıyı korumaktır. Yüksek binalar için uzun doğal periyotlarda tabanda kaldırma kuvvetleri ve büyük yer değiştirmeler nedeniyle devrilme sorunları olacağından yüksek binalara sismik izolasyon yapılması uygun olmaktadır (Griffith v.d. 1990)[62].

- **Kurşun- Kauçuk İzolatörler:** Kauçuk izolatörler üst yapı ile temel arasına yerleştirilerek, zemin titreşimlerinin yapıyı etkilememesi için üst yapıyı temelden ayırmak suretiyle yapının enerji yutma kapasitesini ve esnekliğini arttırmak ve

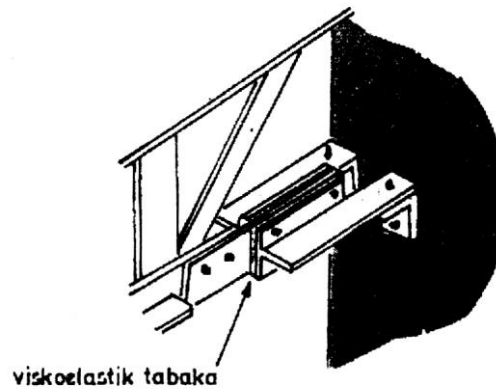
tenelden yapıya iletilen yatay ivmenin azaltılmasını sağlamak amacı ile kullanılmaktadır[62]. Her depremden sonra üzerinde kalıcı deformasyonlar oluşabilir. Bu tip elemanlar yüksek binalarda kullanılmaz.

- **Viskoelastik Sönümleyiciler:** Taban izolasyonu olarak bilinen modern sismik izolasyonda sıvı hareketi ile sönümün sağlandığı pasif enerji yutucu sönümleyicilerdir [64]. Şekil 4.1 ve 4.2’de viskoelastik sönümleyicinin detayı verilmiştir.



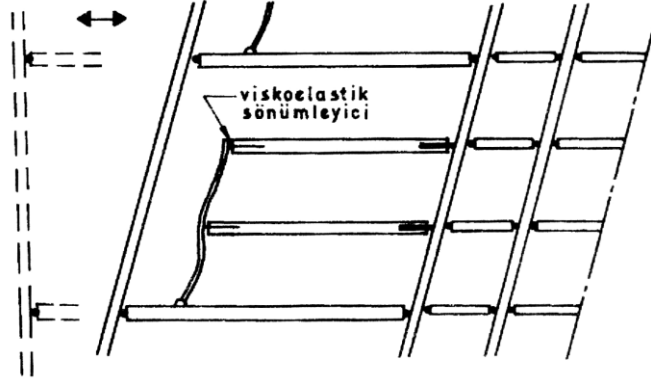
Şekil 4.1 Viskoelastik Sönümleyici Sistem Detayı

Viskoelastik sönümleyicilerin sismik kontrol amacıyla kullanımı yakın bir geçmişe sahiptir. Şekil 4.3’de viskoelastik sönümleyici sistemin yapıdaki yerleşimi ve hareketi gösterilmektedir. Sismik uygulamalar için, rüzgâr titreşimlerine karşı kontrol için gerekli olduğundan daha fazla sönüm gereklidir.



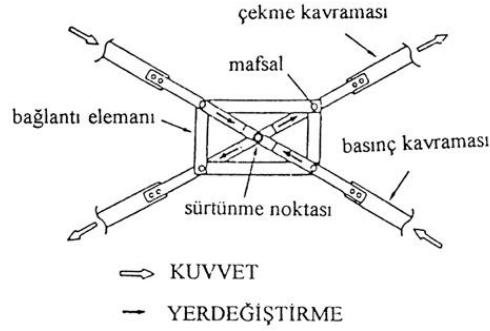
Şekil 4.2 Viskoelastik Sönümleyici Detayı

Daha geniş frekans bölgesinde enerji sönümü için daha etkili viskoelastik malzeme kullanıma gereksinimi vardır.



Şekil 4.3 Viskoelastik Sönümleyici [74]

- **Sürtünmeli Sönümleyiciler:** Titreşimin periyodu, yapının kütlesinden bağımsızdır. İzolatörlerin yanal kuvvetleri taşıyan yapı ağırlığı ile doğrudan orantılı olup, izolasyon sisteminin rijitlik merkezi ile yapının kütle merkezi üst üste düşmektedir (Şekil 4.4). Bu nedenle de, e(eksantrisite) = 0 olduğundan burulma hareketi olmamaktadır. Bu durum özellikle asimetrik yapılarda önemlidir.



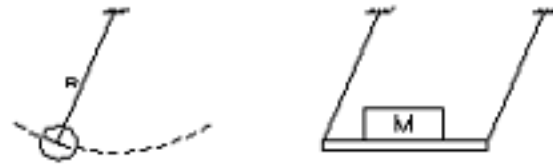
Şekil 4.4 Pall Tarafından Önerilen Sürtünmeli Sönümleyiciler[62]

$$T = 2\pi \left(\frac{W}{Kg} \right)^{1/2} = 2\pi \left(\frac{R}{g} \right)^{1/2} \quad (4.1)$$

- **Sürtünmeli Sönümleyici- Friction Pendulum Bearings:** Periyot, yapının kütlesinden bağımsızdır. Sadece izolatörün geometrisine bağlıdır. Yapı ağırlığı her ne şekilde değişirse değişsin periyot değişmemektedir. Sürtünme sönümleyici sisteme giren enerji sürtünme plakaları yardımı ile ısı enerjisine çevirirler(Şekil 4.5 ve 4.6)[63].



Şekil 4.5 Sürtünmeli Sönümleyici- Friction Pendulum Bearings



SARKAÇ HAREKETİ



SİSTEMİN TEMEL PRENSİBİ

Şekil 4.6 Sistemin Temel Prensibi Olan Sarkaç Hareketi

10-15 kata kadar yapılarda uygulamaları mümkündür. Daha yüksek yapılarda çok özel bir koşul olmadıkça, yapının periyodunu arttırdığı için uygulamaları risk taşımaktadır[87].

4.1.2 Lastik Takozlar

Lastik “yüksek sönüm” (sönüm oranı yaklaşık % 10’ dur.) olduğu için de yapıya gelen kuvvetleri azaltmaktadır. Düşey yönde büyük rijitliği ve büyük düşey yük taşıma gücü olan lastik takozlar üretilebilmektedir.

Yapı “yuşak” bir zemin üzerinde ise yer hareketinin uzun periyotlu bileşenlerinin genlikleri daha büyük olduğu için yapı periyodunu uzatmak yapıya gelecek yatay yükü artıracaktır. Bu yuşak zeminler üzerindeki yapılarda periyot uzatarak deprem yükünü azaltmak olanağı yoktur. Taban izolasyon sistemleri, az katlı binalarda etkili olurken, yapı yüksekliği arttıkça bazı problemler doğurmaktadır[39]. Bu nedenle en fazla 8-10 kata kadar uygulanmaları elverişlidir.

- Enerji Yutucu Aletlerle Birlikte Elastomerik İzolatörler:
- Kayıcı Tipte İzolatörler:
- Kombineli İzolatör Sistemleri:
- Pasif Enerji Sönümleyici (Yutucu) Sistemler[62]: Depremde yapıda meydana gelen kesit tesirleri ve yer değiştirmeleri izin verilen belirli sınırlarda tutmak ve zararları kontrol edebilmek için yapının taşıyıcı elemanları (çerçeve) üzerine bazı mekanik araçlar yerleştirilerek tüm yapı yüksekliğince enerji yutulmaya çalışılarak sönüm sağlanmaktadır. Modern izolasyon sisteminde kullanılan enerji yutucu mekanizmaları aşağıdaki şekilde özetleyebilirsiniz:
- Metalik sönümleyiciler (eğilimli çelik elemanlar): ADAS, bal peteği sönümleyiciler, çan ve halter şeklindeki sönümleyiciler yapıya ilâve rijitlik ve sönüm sağlarlar.

Poli merik malzemelerde viskoelastik davranış (hareket), sıvının içindeki hava boşlukları, viskoz bir sıvıda bir pistonun hareketi, kayma sürtünmesi ya da çelikteki ezilme ile enerji kayıpları (yutulması) olmaktadır.

Eğilimli Çelik Elemanlar

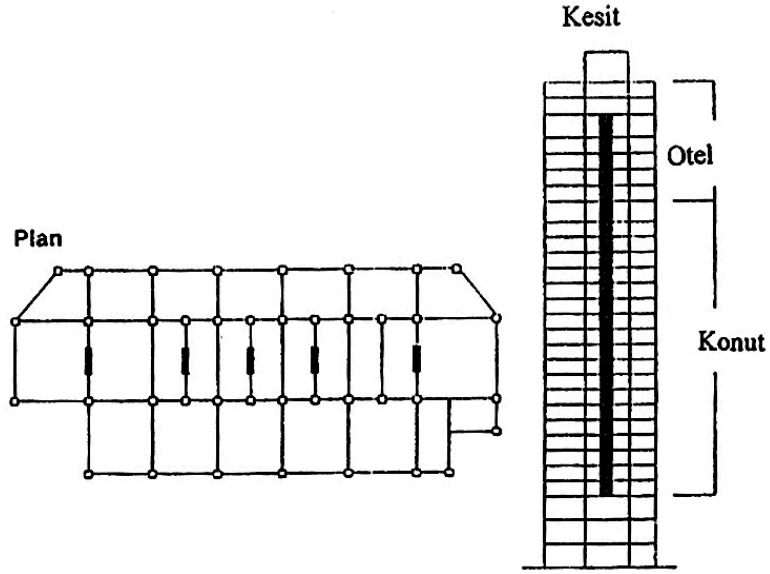
Yeni Zelanda’da geliştirilmiş, ABD’de test edilmiş ve Japonya’da uygulanmıştır. Yuşak çeliğin eğilimdeki akma özelliklerinden yararlanılarak diyagonal kollar dan basınç kolları kesişmeden, dikdörtgen şeklinde bükülebilir bir çelik çerçeve ile birleştirilmiştir. Diyagonal gerilme kollarında dikdörtgensel çelik çerçevenin elastik olmayan (inelastik) deformasyon yapması sonucu çelik çerçevelerin kayma hatlarında enerji yutulur ve sönüm sağlanarak yapının sistmik performansı artırılır.

Bir çok X şeklindeki sıkışabilen yuşak çelik plakaların birleşmesinden oluşur. Bu elemanlar yapıya yerleştirildiğinde katlar arası sürüklenme sınırlı kaldığından rijitlik

artar. Japonya’da ilave rijitlik ve sönüm elemanları ile çan şeklinde çelik araçlar geliştirilmiştir. Çelik plaklar kesme hareketine maruz kalmaktadır.

Bal peteği (Honeycomb) Sönümleyiciler

Çelik plakların bal peteği şeklinde bir araya getirilmesi ile oluşturulan ve duvarlara, kolon ve kirişlere yerleştirilen özel şekilli sönümleyicilerdir. Montajı ve bakım kolay, düşük maliyetli ve güvenli bir sistemdir (Şekil 4.7).

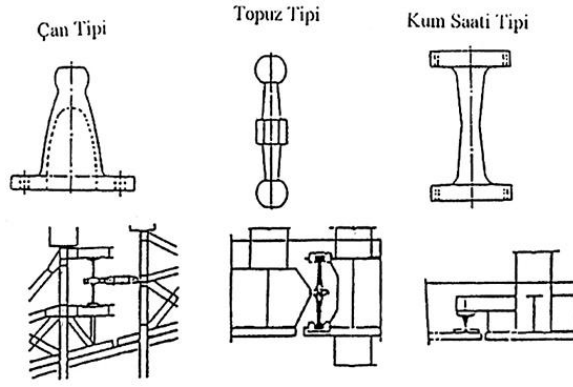


Şekil 4.7 Honeycomb Sönümleyicilerinin Plan Ve Kesitteki Yerleşim Yerleri[75]

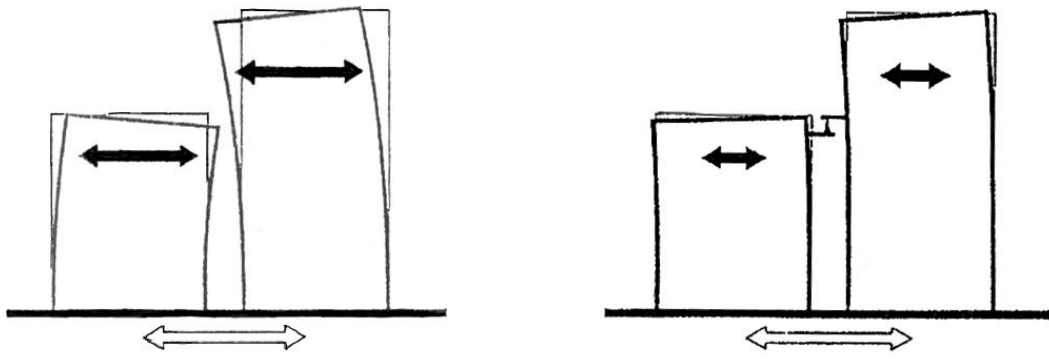
Çan ve Halter Şeklindeki Sönümleyiciler

Japonya’da Kajima Şirketi tarafından geliştirilen ve farklı türdeki yapıların birleştirilmesinde kullanılan bir sistemdir. Yumuşak çelik veya özel kauçuktan yapılan ve her yöne doğru yapının hareketini sağlayan elemanlardır. Noktasal sönümleyiciler olarak da adlandırılabilirler. Özellikle farklı yükseklikteki yanyana binaların deprem veya rüzgâr nedeniyle çarpma etkilerini önlemek için yapının belirli noktalarına yerleştirilir(Şekil 4.8).

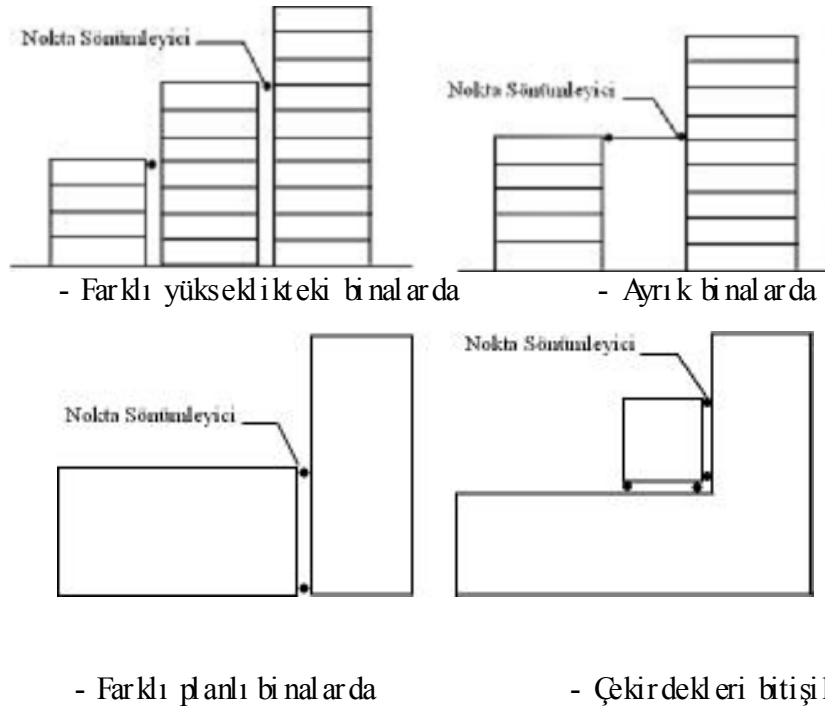
Şekil 4.9’da honeycomb sönümleyici kullanılmayan ve kullanılan yapılar arasındaki davranış farklılığı açıkça görülmektedir. Şekil 4.10’da ise nokta sönümleyicinin plan ve cephedeki uygulamaları gösterilmektedir.



Şekil 4.8 Noktasal Sönümleneyiciler [64]

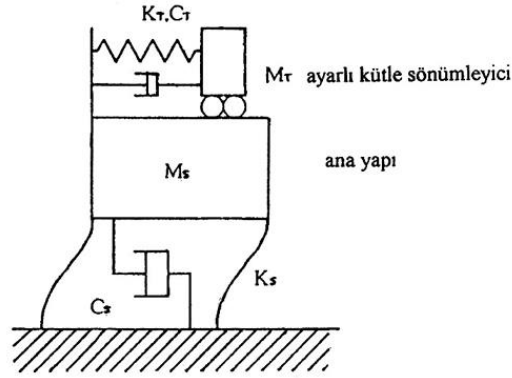


Şekil 4.9 Honeycomb Sönümleyici Kullanılmayan ve Kullanılan Yapılar Arasındaki Etkileşim Farkı [75]



Şekil 4.10 Noktasal Sönümleyicinin Plan ve Cephe Uygulamaları [64, 75]

Ayarlı kütle sönümleyiciler: En fazla kullanılan pasif kontrol elemanlarından birisidir (Şekil 4.11). Bu tip kütleler genelde binanın en üst katına veya temel seviyesine konulur. Bazı durumlarda iki kütle kullanılır. Yapının burulma titreşimlerini önlemek için birbirine dik iki doğrultuda hareket ederler [63]. Son yıllarda, yüksek dayanıklı malzemeler ve yapısal tasarıma dayalı bilgisayar sistemlerinin gelişmesi ile yapılar daha esnek ve sönümleri az olarak inşa edilmektedir. Trafik, rüzgâr, deprem dalga titreşim gibi dinamik yüksek uzun süre etkili olduğunda yapıda meydana getirecekleri olumsuz etkileri azaltılabilmektedir. Ayarlı kütle sönümleyiciler ile yatay ivme ve deplasmanlar azaltılarak yapıların güvenliği sağlanmaktadır. (Chru vd., 1994) [64].



Şekil 4.11 Ayarlı Kütle Sönümleyici [62]

ADAS (Added Damping and Stiffness) Elemanları

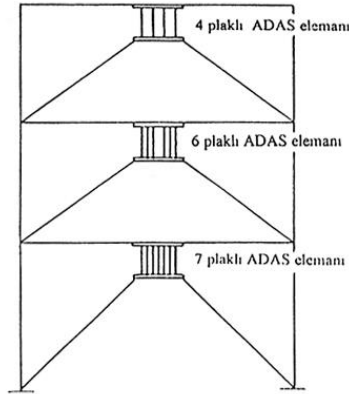
Yapıya ilave sönüm ve ilave rijitlik sağlayan ADAS aracı binanın çerçevesine yerleştirilerek üzere tasarlanan çelik plakaların birleşmesinden oluşur (Şekil 4.12 ve 4.13).

Relatif kat sürüklenmesi, aracın üst kısmının yatak olarak alt kısma göre relatif yer değiştirmesine neden olur.

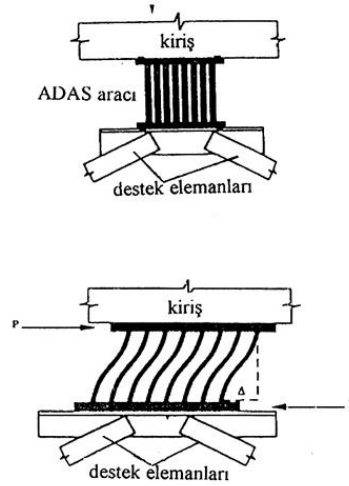
Çeliğin büyük miktarda eğilmesi ile, ADAS aracı depremsırasında önemli miktarda enerji sönümleyebilir. Bunun bazı yararları vardır:

- Enerji sönümü bu amaçla tasarlanmış olan yerlerde yoğunlaşır
- Diğer yapısal elemanlar üzerinde enerji sönümü büyük miktarda azalır

- ADAS araçları sadece yatay yüke direnen sistemin parçası olduklarından, bu araçların eğilmesi yapısal sistemin servis yükü taşıma kapasitesini etkilemez. ADAS elemanları gerektiğinde bir depremden sonra kolaylıkla yerleştirilebilir.



Şekil 4.12 ADAS Aracının Düzlem Çerçevesindeki Yerleşimi [62]



Şekil 4.13 ADAS Aracının Detayları [62]

4.2 Aktif Kontrol Sistemleri

Aktif kontrol sistemleri, yapının yüklere karşı tepkisini devamlı ölçer ve bu tepkileri kontrol kuvvetleri yardımı ile belirli bir düzeyde tutmayı sağlarlar. Kontrol kuvvetleri sistemde hazır bulundurulmuş enerji yardımıyla üretilir. Yapının rijitlik ve sönüm gibi parametrelerini kontrol algoritmasına göre kontrol kuvveti ile her an değiştirir ve bu sayede yapının dış etkilere tepkisi öngörülen limitler içinde bulunur. Bu tip yapılara dinamik bakımdan akıllı yapılar ismi verilmektedir. İlk akıllı bina 1989 yılında Japonya'da yapılan Kyobashi Seiwa Building'tir. AMD kontrol sistemi uygulanmıştır. Aktif kontrolün çok daha olumlu sonuçlar vermesine rağmen pasif kontrolün daha ucuz ve dış enerjiyi istenmesi gibi avantajları vardır. Aktif kontrol

sistemini belirgin özelliği dış kaynaklı enerjiye ihtiyaç göstermesi ve içinde bir geri besleme sistemini bulundurmasıdır[63].

1990'larda Japonya'da geliştirilen ve akıllı binalar olarak bilinen yeni kontrol metodu pasif yapı kontrolüne bir alternatif olarak sunulmuştur. Temel amaç yapıda meydana gelen ivmeleri azaltarak yer değiştirmeleri sınırlamak ve yapının güvenliğini sağlamaktır. Pasif kontrol den farklı olarak yapıda sismik harekete karşı koyabilecek kontrol kuvvetlerini üretebilmek için yedekte sürekli bir enerji hazır bulundurulmaktadır. Aktif kontrolün bir dezavantajı sismik hareket olmadığı zamanlarda da sistemin güvenliği için enerji kaynağına ihtiyaç vardır. Bu sistemin titreşimleri anında algılayarak kontrol kuvvetini üretecek olan aygıtlara (tahrik edicilere) gönderilebilecek ve gerekli kontrol kuvvetini üretebilecek çok gelişmiş cihazlara ve bilgisayar sistemlerine gereksinim duyulmasıdır.

Aktif Kontrol Sistemleri, kullanılan ilave elemanlar, dıştan verilen enerjinin sağlanması ve uygulanan yöntemlerin farklı olması nedeni ile pasif kontrol sistemlerinden ayrılmaktadır.

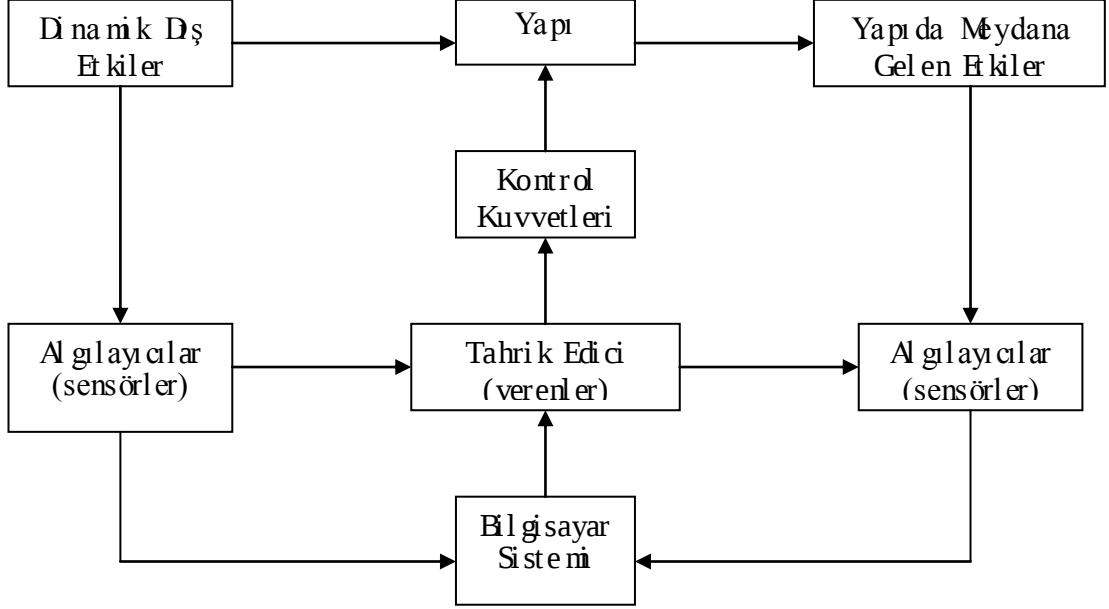
- Aktif Kollu Sistem
- Aktif Kitle Sönümleyiciler:
- Aktif Rijitlik Değiştirici veya Sönüm Sistemleri:
- Pulse Sistemleri:

Aktif kontrol mekanizması temel olarak[62];

1. Yapısal parametrelerin uygun şekilde değişiminin sağlanarak yapının davranışını kontrol altına almak için dışarıdan bir kontrol kuvveti uygulamak,
2. Yapının bünyesindeki ve zemindeki sarsıntı ve sismik hareketleri anında algılayarak uygulanacak kontrol kuvvetini üretmesi için bilgisayar sistemi ne sinyal gönderen çok hassas algılayıcı cihazların (sensörlerin) yapıya yerleştirilmesi,
3. Kontrol bilgisayarına gelen her bir sinyalin bilgisayar yardımı ile analiz edilerek gerekli kontrol kuvvetini oluşturacak olan aygıtta (veren, tahrik edici) iletilmesi için bir iletişim sistemi,
4. Kontrol kuvvetini üreten aygıtlar (verenler) tarafından bilgisayar sistemi aracılığı ile verilen sinyallere uygun olarak kontrol sisteminin harekete geçirilmesi

olarak açıklanabilir. Tüm bu işlemler kullanılan bilgisayar sistemi tarafından yaklaşık olarak saniyenin yüzde biri kadar çok kısa bir sürede gerçekleştirilmektedir.

5. Aktif kontrol sisteminin çalışma şeması Şekil 4.14’de gösterilmektedir.



Şekil 4.14 Aktif Kontrol Sisteminin Çalışma Şeması

Son yıllarda yapıların özellikle yüksek katlı binaların ve büyük açıklıklı köprülerin yatay yüklere (deprem, rüzgâr vs.) karşı olan davranışlarının kontrolü bir çok araştırmaya konu olmuş ve bu araştırmaların çoğunluğu yüksek katlı binaların deprem ve rüzgâr etkilerine karşı alınacak önlemler üzerine yoğunlaşmıştır. Yapıların aktif kontrolü için, AMD, Aktif Tendon Sistemi ve Aktif Kuşaklama Sistemi gibi sistemler geniş olarak incelenmiştir.

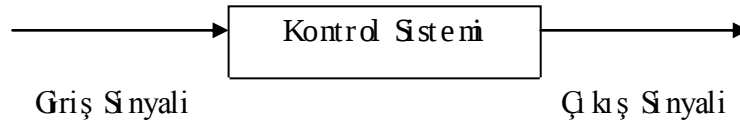
Bu kontrol sistemi rüzgâra ve orta derecedeki depreme dayanacak şekilde boyutlandırılmıştır. Yüksek şiddetteki depremlere dayanabilecek olan aktif kontrol sistemlerinin sakıncaları ise deprem şiddetine karşı koyacak olan zıt yönlü büyük çapta aktuatör kuvvetini oluşturmamanın zorluğu ve oluşturulsa bile bu kuvvetin uygulanması sebebiyle yapının stabilitesine ve taşıyıcı sistemine verebileceği hasardır. Bu sebeple bir yapının kullanımsüresi boyunca maruz kalacağı depremler göz önünde bulundurulursa etkili ve güvenilir bir aktif kontrol sisteminin sağlanması zor bir görevdir.

Aktif kontrol sisteminde kullanılan algoritmalar sistemin belirleyici en büyük özelliğidir. Temel olarak üç çeşit algoritma vardır[65]:

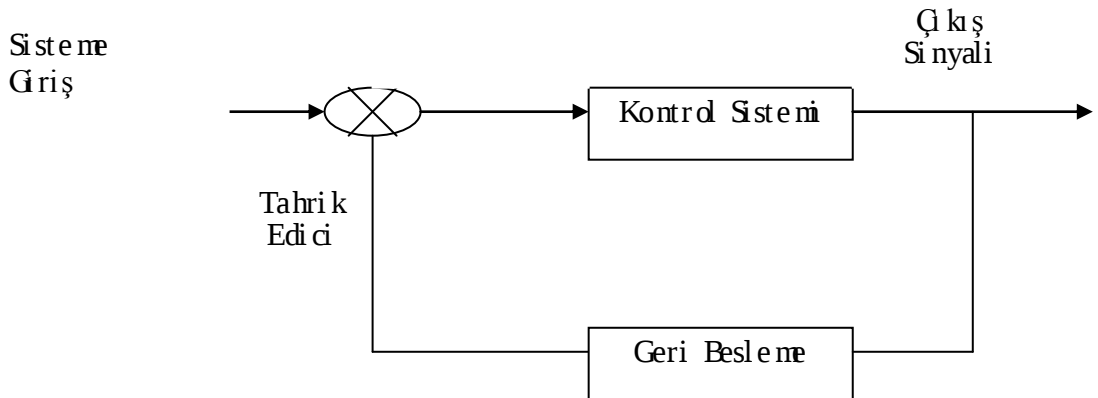
- Kapalı çevrim
- Açık çevrim
- Açık-kapalı çevrim

Kapalı çevrim algoritması sadece sensörlerin yapıya yerleştirilip yapıdaki titreşimlerin göz önüne alınması ile oluşturulur. Açık çevrim ise deprem titreşimlerinin ölçülerek yapının kontrol edilmesi esasına dayanır. Açık-kapalı çevrim ise her iki kontrol algoritmasını da değerlendirir. Pratik uygulamalarda sistemin stabilitesi ve davranışı da kontrol edilmek istendiğinden dolayı genelde kapalı çevrim ya da açık-kapalı çevrim kullanılır.

Genel olarak kontrol sistemleri; açık çevrim (geri beslemesiz: nonfeedbacak) kontrol sistemleri ve kapalı çevrim (geri beslemeli: feedbacak) kontrol sistemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Millet vd, 1988). Kapalı çevrim sistemi incelenen model ve yüklemelerde belirsizliklerin olması durumunda daha uygundur. Şekil 4.15’de açık çevrimleşmesi, Şekil 4.16’da kapalı çevrimleşmesi gösterilmektedir[62]



Şekil 4.15 Açık Çevrim Kontrol Sistemi (Yao, 1972)



Şekil 4.16 Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi (Yao, 1972)

Yüksek seviyedeki kontrol sistemleri insan beyni gibi biyolojik sistemlere benzetilebilir. Örnek Kaji na İnşaat firması nca Tokyo’da 1990 yılında inşa edilen bir yapı da kullanılan Aktif Değişken Rijitlikli Sistem(Active Variable Stiffness System AVS) dır[62, 65].

4.2.1. AVS(Active Variable Stiffness) Sistem

Bu sistem yapı da oluşan titreşimi mümkün olan en az seviyeye getirmek için yapının rijitlik oranı içinden optimum rijitliği seçerek yapının rijitliğini değiştirebilir. Deprem ile yapının frekanslarının aynı olması durumunda karşılaşılan rezonans durumundan kaçınılmasını sağlar. Rijitliğin değiştirilebilmesi için gerekli olan güç kaynağı acil elektrik güç kaynakları ile sağlanabilecek kadar azdır. Böylece, sistemin şiddetli depremlerde etkili bir şekilde rol alması gibi bir avantajı vardır.

AVS yardımı ile kolayca değiştirilebildiği ve bu şekilde yapının titreşimin karakteristiklerini umulduğu şekilde değiştirdiği görülmüştür.

Sistem deprem boyunca feedforward tipi kontrol sağlamaktadır.

AVS sistem deprem karakteristiklerinin analizinde çok başarılıdır ve tam olarak saniye gibi kısa süre içinde sistemin açılıp, kapanmasını sağlar (aç-kapan mekanizması). AVS sistem herhangi bir deprem etkisine karşı sabit bir tepki gösterir.

AVS sistemin işleyişi;

- Yer hareketini belirlemek için yerleştirilen sensörler ile deprem hareketi belirlenir
- Bu sensörlerden gelen sinyaller deprem hareketini analiz eden araçlar ile analiz edilir
- Kontrol bilgisayarı iletiyi gönderir
- Kuşaklanmanın etkinliği rijitliği değişebilen aracın aç-kapan mekanizmasıyla değiştirilir.

AVS sistem yapıların ve yapı içerisindeki önemli fonksiyonları olan ekipmanın korunması için geliştirilen sistematik kontrol sistemleri açısından büyük bir adımdır. Bu mükemmel teknik yeniliğin yanı sıra az miktarda bir güç ile AVS’nin aktif hale gelmesi ile bu sistemin şiddetli depremler boyunca etkili kontrol sağlayabildiği söylenebilir. [64]

Aktif kontrol ile ya yapının hareketi kontrol altına alınır, ya da dışarıdan enerji sağlanarak çalıştırılan bir kontrol sisteminin hareketi ile yapının hareketi düzenlenir.

Genel olarak kontrol sistemleri açık devre “feedforward” kontrol sistemleri ve kapalı devre “feedback” kontrol sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır.

Kontrol kuvvetleri ölçülen titreşimlere göre düzenleniyorsa açık çevrim kontrolü yapılmış olur. Açık-kapalı çevrimde kontrol tasarımı hem yapıdaki mukavemet değişimlerinden, hem de dış titreşimlerden yararlanır.

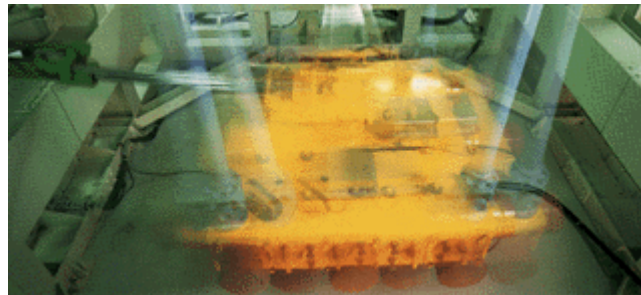
4.2.2 AMD (Active Mass Damper) Sistem

1989 yılında AMD sistem hazırlanmış ve Tokyo’da bir ofis binasına uygulanmıştır. Sistemin amacı, sık meydana gelen orta şiddetli ve az şiddetli depremlerde ve kasırga, tayfun gibi durumlarda yapıda oluşan titreşimleri azaltmaktır.

AMD tipi kontrol sistemler, kontrol kuvveti olarak yardımcı bir kütlenin ataletini kullanır. Aktiftendon tipi sistemler aktuatörün çalışmasıyla direkt bir kontrol kuvveti uygularlar. Şekil 4.17’de AMD sisteminin çalışır durumdaki konumu gösterilmektedir.

Kontrol kuvveti kullanan sistemler üç gruba incelenebilir.

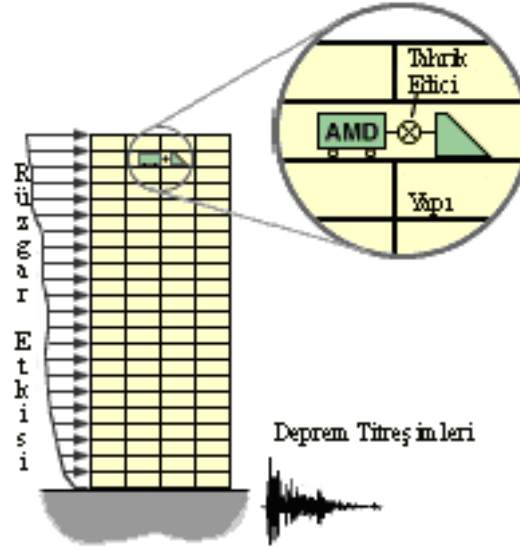
1. Aktif tipli AMD sistem
2. Değişken yapısal karakterli AVS sistem
3. Küçük bir AMD sistemi ile pasif ayarlanmış kütle sönümleyiciden oluşan TMD’nin birleşiminden oluşan karma tipli APTMD sistem



Şekil 4.17 AMD Sisteminin Çalışır Durumdaki Konumu[46]

Kyobashi Seiwa Binası’nda bu sistem uygulanmıştır. On bir katlı ve çelik taşıyıcı sistemi olan bu binanın genişliği 4.0 m, derinliği 12.45 m ve yüksekliği 32.8 m’dir.

Yapının bodrum katı kazıklı temeller üzerine oturmaktadır. Yapının en üst katında biri 4 ton ve diğeri 1 ton olan iki tane aktif kütle sönümleyicisi vardır. Bina ni ki nci aktif kütle sönümleyicisinin görevi burulma titreşimlerini azaltmaktır. Bina daki aktif kontrol sistemi şiddetli rüzgârlarda ve orta şiddetli depremlerde bina titreşimlerini azaltacak şekilde tasarlanmıştır. Bina da bulunan duyargalar 6. ve 11. kata yerleştirilmiştir (Şekil 4.18 ve 4.19). Bina da aktif kütle sürücü (Active Mass Driver, AMD) sistemi başarıyla uygulanmış ve yapının hareketleri bir dış enerji kaynağı kullanılarak sönümlemesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.18 Kyobashi-Seiwa Binası'nda AMD Sisteminin Uygulanması [46]



Şekil 4.19 Kyobashi-Seiwa Binası (1989) [46]

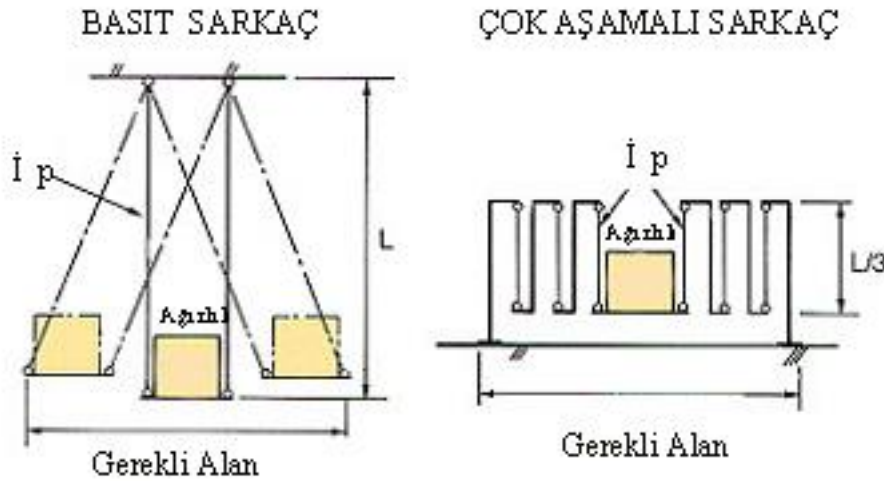
Bina yüksek bir bina ve narin şekli nedeni ile burulma oluşmasına elverişlidir. Bu nedenle, büyük şiddetteki titreşimleri kontrol etmek için ana AMD (AMD 1) yapının merkezine ve en üst kata yerleştirilmiştir. Daha küçük kütleli AMD (AMD 2) ise burulma etkilerini kontrol etmek amacıyla yapının kenarına yerleştirilmiştir. AMD sistemlerinin birlikte çalışması ile karışık salınımlar ve sarsıntılar kontrol edilebilir.

Kinetik yapılar kavramının gelişmesi, titreşimleri pasif olarak absorbe eden klasik rijit yapı anlayışı ile çakışmaktadır. Depremsırasında veya şiddetli rüzgâr esnasında yapının bir canlı gibi davranarak titreşimlere karşı koyması ve ayakta kalmayı başarabilmesi üzerine oluşturulmuş kavramdır.

Bina nı tasarımı nda kullanılan en büyük depremyer ivmesi 10 cm/s^2 kabul edilmiş, sistemin maksimum etkinliği bu ivmedeki depremlere karşı göstermesi ve kontrol edilemeyen davranışın yarısından üçte ikisine kadar olan maksimum yer ivmesi ve yer değiştirme lerin sönümlenmesi amaçlanmıştır.

4.2.3 TAD (Tuned Active Damper)

Sistem sarkaç prensibinden yola çıkılarak oluşturulmuş aktif bir kontrol sistemidir. Sistemde aynı anda birden fazla sarkaç çalışmakta ve böylece salınımı çin gereken alan azalmaktadır (Şekil 4.20).



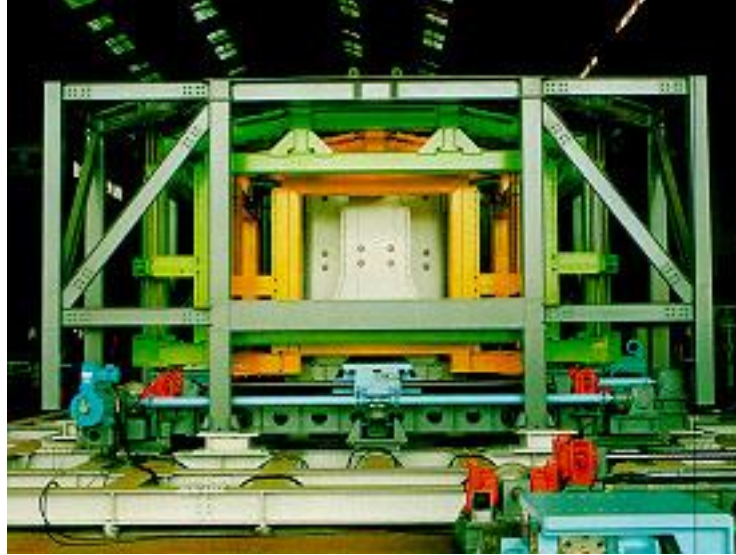
Şekil 4.20 TAD Sisteminin Çalışma Prensihi [46]

Cosmotower olarak bilinen The World Trade Center Osaka-Japonya'da bulunmaktadır (Şekil 4.21). Şubat 1995'te tamamlanmış olan yapı 252 metre yüksekliğinde ve yer üzerinden itibaren 55 katlıdır. Bina ofis ve iş merkezi olarak

hizmet vermektedir. Yapıya kontrol sistemi olarak iki adet TAD (Tuned Active Damper) eklenmiştir. Bina'nın doğal periyodu 5.9 sn'dir[46].



Şekil 4.21 World Trade Center Binası, Japonya



Şekil 4.22 World Trade Center Binasında Kullanılan Kontrol Sistemlerinden Bir Tanesi[46]

World Trade Center Binası'nda bir çift TAD kontrol mekanizması bulunmakta ve yerden gelen yüklerin yapıya hasar vermesini engellemeye yardımcı araçlardır(Şekil 4.22).

4.3 Karma İzolasyon Sistemleri

Karma sistemler, taban izolasyonu gibi pasif araçlarla aktif tendon ve kuşaklamalardan oluşan aktif sistemlerin birleşiminden oluşmaktadır.

Karma sistemlerde pasif sistemlerin ya da aktif sistemlerin tek başına kullanılması durumunda meydana gelen kısıtlamalar azalır, böylece koruma sisteminin etkinliği artar. Aktif kontrol sistemi pasif kontrol sistemi ile birlikte kullanıldığında aktif kontrol sisteminin daha randımanlı çalışmasını sağlayan kuvvete gereksinimi azalır.

APTMD (Active Passive Composite Tuned Mass Damper) Sistem

Bir AMD sistemi ile bir pasif ayarlanmış kütle sönümleyicinin birleşiminden oluşur. Deprem meydana geldiği zamanla sistemin çalışmaya başladığı zaman arasında az bir fark olmasına rağmen AMD Sistemiyle aynı etkinliğe sahiptir. Sistemin başlıca özelliği, sistemi TMD sistemin üzerine yerleştirmektir. Küçük bir AMD'nin ataleti ile oluşturulan kontrol kuvveti ile TMD'nin hareketi değiştirilir ve kontrol performansı iyileştirilir.

Bu sistem 14 katlı Ando Nishi cho Binası'nda uygulanmıştır.

Aktif kontrol aşırı titreşimlere karşı yapılarda güvenliğin sağlanması için uygulanır. Aktif kontrol ile yakın gelecekte 500 kat gibi çok yüksek katlı binalarda da güvenliğin sağlanması için kullanılması düşünülmektedir.

Pasif kontrol sistemleri ise az katlı binalara uygulanabilmektedir. Çünkü, yüksek binalarda taban izolasyon sisteminde kaldırma kuvvetleri oluşabilmekte ve bunlar da yapının stabilitesini bozabilmektedir.

Aktif kontrol yapıyı statik ve pasif seviyeden dinamik ve harekete adapte olabilir bir seviyeye getirerek oldukça etkili ve potansiyel bir değişiklik sağlar. Genel olarak yapıları yüklerle direnen elemanları bakımından iki gruba ayırabiliriz

- Ana tasarım yüklerine karşı destek sağlayan pasif elemanlar
- Yapıyı aşırı yüklerle karşı dirençli hale getirmek gibi bir fonksiyonu olan aktif elemanlar.

Sonuç olarak, deplasman kontrolünün, konforun ve emniyetin önemli olduğu yapılar ile yüksek maliyetli yapılar, nükleer enerji santralleri gibi karmaşık ve önemli fonksiyonları olan yapılarda klasik tasarım ve pasif kontrol sistemleri yetersiz kalmaktadır. Aktif kontrol sistemleri üzerine çalışmalar ise yoğun bir şekilde sürmektedir.

4.4 Bölüm Sonuçları

Yapının taşıyıcı sisteminin daha önceki bölümlerde bahsi geçen genel tasarım ilkelerine uygun olarak seçilmesi ve projelendirilmesinde bu ilkeler ışığında düzenlenmesi depreme dayanıklı yapı tasarımı ana amaçtır. Ancak her zaman yönetmelik şartlarına ve bu ilkelere göre tasarımı yapmak mümkün olmayabilir.

Projelendirilmenin kriterlere uygun tasarlanmasını dışında alternatif tedbirler de vardır. Bu tedbirler yapının projelendirilmesi sırasında uygulanabileceği gibi, mevcut yapının depreme dayanımının artırılması amacıyla ile de uygulanabilirler. Yeni yapılar ile birlikte mevcut yapıların da depreme karşı güçlendirilmesinde kullanılan yöntemlere genel olarak kontrol sistemleri denilmekte; çalışma prensipleri nedeniyle; pasif, aktif ve karma kontrol sistemleri olarak üç tür kontrol sistemi bulunmaktadır.

Bütün kontrol sistemleri aynı mantık ile; yapıları depreme etkilerine karşı korumak amacıyla tasarlanmışlardır ve yine hepsi yapıya eklenen yeni bir eleman ile bu kontrolü sağlamaktadır.

- Pasif kontrol sistemleri; taban izolasyonu ve pasif enerji sönmeyici sistemler olarak ki ana gruba ayrılmaktadır. Taban izolasyon sistemlerinde amaç yapının periyodunun arttırarak yapının dayanımını sağlamak olduğu için ve yüksek yapıların doğal periyodu zaten yüksek olduğu için, devrilme momentinin oluşması için yüksek yapılarda taban izolasyon sistemleri kullanılmaktadır. Pasif kontrol sistemleri kendi enerjilerini üretmediklerinden ve deprem yükü ile hareket ettiklerinden dolayı deprem sonrasında hareket etmezler. Bu nedenle deprem esnasında deformasyona uğramış ya da yer değiştirmiş pasif kontrol sistemlerine müdahale bazen dışarıdan krikolar yardım ile yapının tekrar eski konumuna getirilmesi ile, bazen de kontrol sisteminin değiştirilmesi ile gerçekleşmektedir. Pasif

kontrol sistemlerinin uygulanmadığı ya da uygulanmasının yetersiz kaldığı hallerde aktif kontrol sistemleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, kontrol sistemlerinin genel olarak tanıtılması amacıyla ve ayrıca yüksek yapı tanımının 8 kat ve üstündeki yapıları kapsamı dolayısıyla pasif kontrol sistemleri de genel bir bakış ile incelenmiştir.

- Aktif kontrol sistemleri; kendi enerjisini üretebilen ve deprem yüklerinin sönümlemesi için bu enerjiyi kullanarak kontrol kuvvetlerini üretebilen sistemlerdir. Aktif kontrol sistemleri dıştan verilen enerji sağlanması, bu enerjinin üretilmesi için kullanılan ek elemanlar ve çalışma prensipleri ile pasif kontrol sistemlerinden ayrılmaktadırlar. Yapının hareketini kontrol altına almak için dışarıdan kontrol kuvveti uygulanır. Bu kontrol yapıda ve sistemde bulunan bilgisayarlar yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Aktif kontrol sistemleri birçok yüksek yapıda güvenli bir biçimde kullanılabilirler. Aktif kontrol sistemlerinin kullanıldığı bu binalar “akıllı binalar” olarak adlandırılmaktadır.

Aktif kontrol sistemleri genel olarak orta ve düşük şiddetteki depremlere göre tasarlanmış olup; yüksek şiddetli bir depremesnasında üretilmesi gereken kuvvetin büyüklüğü ve yapının stabilitesinin sağlanmasının zorluğu gibi nedenlerden dolayı şiddetli depremler için uygulanmasında zorluklarla karşılaşılabilir.

- Karma kontrol sistemleri; aktif ve pasif kontrol sistemlerin uygulamaları sırasında oluşan aksaklıkları gidermek ve iki tür kontrol sisteminin de uygun düzenlenmelerinin bir araya getirecek, her iki sistemin birleşimi ile oluşturulan daha az sorun ile karşılaşılan sistemlerdir. Aktif ve pasif kontrol sistemlerinin kullanımı sırasında meydana gelen kısıtlamalar bu sistemler sayesinde azalmıştır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı sırasında klasik yapı tasarımı kriterlerinin kullanılması yetersiz kaldığı durumlarda kullanılan kontrol sistemlerine bugünün teknolojisi ile her geçen gün bir yenisi eklenmektedir. Dışarıdan müdahale edilemeyeceğinin olduğu pasif kontrol sistemlerinin getirdiği sınırlamalar aktif kontrol sistemlerinin gelişmesi ve iki sistemin beraber kullanılması ile gün geçtikçe çözülmeaktadır. Yapının deprem etkisi altında dayanımının sağlanabilmesi için gerekli olan düzenlemeler içerisinde klasik tasarımı yöntemi ile kontrol sistemleri arasında bir karşılaştırma yapılmalı ve bu karşılaştırmada sonucunda en uygun

düzenlenmenin hangi si olduğuna karar veril meli dir. Bu karar aşamasında; yapı için en ideal tasarı m ve bu tasarı mı için kontrol sistemine ihtiyaç olup ol madı ğı, yapının ön emlilik derecesi ve bu yöntemler içerisinde yapı için hem maddi hem de güvenlik açısından en uygununun hangi si ol du ğu belirlenmeli dir.

Kontrol sistemi seçi minde de yine yapı için en uygun sistem tercih edilmeli dir. Bu sistemlerin yapı da uygulanması yapının güvenli ğini sağ layıp, depreme dayanıklı yapı tasarı m kriterlerinin uygulanmasının zorunlulu ğunu ortadan kaldırdı ğı gi bi; aynı zamanda kullanılan yeni ele manlar nedeniyle başka bir açı dan yapı tasarı mna etki et mektedirler. Bunu da bir çeşit tasarı msınırlaması olarak kabul et mek mümkündür.

Bugünün teknolo jisi yapı sistemlerinin geliş mesini sağlamış ve yine bu sistemlerin daha güvenli tasarlanabil meleri için de yeni teknikler geliş mesine zemin hazırlamıştır. Teknolojinin izin ver di ği en yüksek noktaya kadar yapı yapılmakta, daha yüksekler için yapılar tasarlanmakta ve bu tasarı mların her türlü zemi nde daha güvenli bir biçimde ayakta durabil meleri için de yeni sistemler üretil mektedir. Süregelen ihtiyaçların art ması ve daha fazla güvenlik ve konfor iste ği bu sistemlere olan talebi arttıracak ve geliş melerini hızlandıracaktır.

Sonuç olarak; depreme dayanıklı yüksek yapı tasarı m; gerek yönet meli ğiyle, gerek taşıyıcı sistemi ile gerekse bu yapıların güvenlikleri ve sağ lamlılıkları için kullanılacak kontrol sistemleri ile depreme dayanıklı yapı tasarı m içerisinde çok geniş ve özel bir alana sahiptir.

KAYNAKLAR

- [1] Yeryüzü ve Deprem 2000, Boyut Yayın Grubu, İstanbul
- [2] [http:// www.ins.itu.edu.tr/t dv/yeryuzu.htm](http://www.ins.itu.edu.tr/t dv/yeryuzu.htm)
- [3] [http:// www.sayisal.grafik.com.tr/deprem](http://www.sayisal.grafik.com.tr/deprem)
- [4] Mühendislik Bülteni, 1999, İMQ Trabzon Şubesi
- [5] **Tabban, A**, 1979, Deprem ve Sorunları, TMMOB
- [6] [http:// www.nemut.nam.gov.tr/](http://www.nemut.nam.gov.tr/)
- [7] **Watt, E**, 2000, Depremler ve Yanardağlar, Tübitak Gençlik Kitapları
- [8] [http:// www.koeri.boun.edu.tr/sism/](http://www.koeri.boun.edu.tr/sism/)
- [9] [http:// www.deprem.gov.tr/](http://www.deprem.gov.tr/)
- [10] [http:// www.haberbilgi.com/guncel/deprem](http://www.haberbilgi.com/guncel/deprem)
- [11] [http:// www.seism.unr.edu/](http://www.seism.unr.edu/)
- [12] Anonim 1996, Deprem Bölgeleri Haritası, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı
- [13] **Ömen, B**, 2000, İzmit Körfezi Depremi'nin Hasar Durumu (Rakımsal Verilerle), TDV, İstanbul
- [14] [http:// www.geop.itu.edu.tr/sismoloji/bilgi/enbuyuk.htm](http://www.geop.itu.edu.tr/sismoloji/bilgi/enbuyuk.htm)
- [15] **Ketin, İ.**, 1967, Umumi Jeoloji-1, İTÜ İstanbul
- [16] **Ercan, A**, 2001, Kıran(Afet) Bölgelerinde Yer Araştırma Yöntemleri : Bilgiler ve Kurallar, İTÜ
- [17] İstanbul 2000/ Depremler Yaşamak/21. Yüzyıl İçin Öngörüler, 3 Mart 2000, TMMOB Mimarlar Odası, İstanbul Büyükşehir Şubesi, 3 Mart 2000, İTÜ Taşkılla

- [18] **Özaydın, K.**, 1996, Yer Hareketleri Üzerinde Yerel Zemin Koşullarının Etkisi ve Zemin Büyütmesi, TDV, İstanbul
- [19] <http://www.dicle.edu.tr/~dudam/depremitm>
- [20] **Çelebi, M., Erdik, M.**, 1977, Yapı Dinamiğine Giriş, Ankara
- [21] **Dowrick, D.J.**, 1977, Earthquake Resistant Design, a Wiley Interscience Publication
- [22] Anonim, 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- [23] Mimarlık Dergisi, 1999, TMMOB Mimarlar Odası, Sayı:288
- [24] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2000, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul
- [25] **Bayülke, N.**, Deprem ve Depreme Dayanıklı Yapılar, T.C. İmar ve İskan Bakanlığı, Deprem Arş. Enst. Bşk
- [26] **Yılmaz, F.**, 1998, Yüksek Binalarda Taşıyıcı Sistem Etkinliği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [27] <http://angora.deprem.gov.tr/rapor.htm>
- Bayülke, N.**, 27 Haziran 1998 Adana Ceyhan Depreminde Prefabrike Yapı Hasarı ve Değerlendirmeler, Çözümler, Öneriler
- [28] **Bayülke, N.**, 8 Ocak 2000, Depreme Dayanıklı Yapının Bedeli Yüksek Cumhuriyet Gazetesi
- [29] İstanbul Ve Deprem Sempozyumu, 1991, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, İstanbul
- [30] **Koçnetzky, D.**, 1991, Design and Construction Failures, New York
- [31] **Çatal, H.H., Ertutar, Y.**, 1990, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Ana İlkeleri, Deprem Araştırma Bülteni-68, T.C. Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı, Afet İşl. Gıl.Md., Deprem Arş. Dairesi [13] **Özmen, B.**, 2000, İzmit Körfezi Depremi'nin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle), TDV, İstanbul

- [32] Yüksek Binalar II. Ulusal Sempozyumu, 1992, İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi, Kasım İstanbul
- [33] Yapı Mlzemesi ve Deprem Semineri, 2001, Bildiriler, 14-15-16 Mart, TMMOB Mimarlar Odası, İstanbul Büyükşehir Şubesi
- [34] **Hış, A.**, 1996, Taşıyıcı Sistemi Çerçeve - Tüp Olan Bir Yapının Yatay Yükler Altındaki Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [35] Bilimve Teknik Dergisi, Ekim 1999, Sayı: 383
- [36] **Özaydın, K.**, 1996, Yer Hareketleri Üzerinde Yerel Zemin Koşullarının Etkisi ve Zemin Büyütmesi, TDV, İstanbul
- [37] **Özmen, G., Pala, S., Gülay, G., Orakdöğen, O.**, 1998, Çok Katlı Yapılarda Yapısal Düzensizliklerin Deprem Hesabına Etkisi, TDV, İstanbul
- [38] **Bayülke, N.**, 1987, Çok Katlı Yapılar Ve Deprem Deprem Araştırma Bülteni-59, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşl. Gnl. Ml., Deprem Arş. Dairesi
- [39] **Bayülke, N.**, 1993, Yapı Temellerinin Deprem Titreşimlerinden Lastik Takozlarla Yalıtım, Deprem Araştırma Bülteni-71, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşl. Gnl. Ml., Deprem Arş. Dairesi
- [40] **Özgen, A., Sev, A.**, 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Birsan Yayınevi, İstanbul
- [41] http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/quake_e/
- [42] <http://udel.edu/~joe/technicalapplication.htm>
- [43] http://www.eng.nsf.gov/engnews/2000/Earthquake_Protection/earthquake_protection.htm
- [44] <http://www.skyscraperpage.com>
- [45] **Tezcan, S.S.**, 1998, Depreme Dayanımlı Tasarım İçin Bir Mimarın Seyir Defteri, TDV, İstanbul
- [46] <http://www.nd.edu/~quake/case.studies/>

- [47] Yapı Dergisi, Şubat 2000, Sayı 219, YEM Yayınları
- [48] Atlas Dergisi, Eylül 1999, Sayı: 78, Aylık Coğrafya ve Keşif Dergisi
- [49] **Ersoy, U., Ersoy A.**, 1992, Binaların Deprem Dayanımında Mimarinin Önemi, Yapı Dergisi, Sayı 125, YEM Yayınları
- [50] **Özgen, A.**, 1989, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, MS Ü, Mimarlık Fakültesi, İstanbul
- [51] **Yılmaz, M., K.**, 1998, Betonarme Yapılarda Depremler Sonucunda Oluşan Hasarlar Ve Onarım Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [52] **Dörttepe, U.**, 2001, Betonarme Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [53] **Atlı, S.**, 2000, Yapısal Olgunlaşma Elemanlarının Depremdeki Davranışları ve Alınacak Önlemler, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [54] **Öke, A.**, 1989- Nisan, Dünyada ve Türkiye’de Yüksek Binaların Gelişmesi, Yapı Dergisi, Sayı. 89
- [55] Yüksek Binalar I. Ulusal Sempozyumu, 1-2-3 Kasım 1989, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul
- [56] İzmir Büyükşehir Belediyesi Yüksek Yapılar Yönetmeliği, 1996, İzmir
- [57] İstanbul’un Geleceği ve Cökdenler, 1991, İstanbul, Mimarlar Odası Yayınları
- [58] **Göçer, O.**, 1969, Mimarlık Dergisi, TMMOB
- [59] **Yamaç, Z.** 1998, Çok Katlı Çelik Yapılarında Döşeme Türü Kararı Etkenleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [60] Depreme Dayanıklı Yapılar, 1987, TMOOB İnşaat Mühendisleri Odası Kongresi
- [61] Binaların Yatay Kuvvetler Karşısında Davranışı : ACI/ Amerikan Beton Enstitüsü 442, Komite Raporu, 1978, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

- [62] **Zobu, Ö**, 1998, Aktif Ve Pasif Yapı Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [63] **Gözükı zı l, B B**, 2000, Deprem Etkisi Atındaki Yapıların Aktif Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [64] **Şahin, M**, 1996, Deprem Etkilerine Karşı Geliştirilen Pasif ve Aktif Kontrol Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [65] Kajima Corporation, 1991-d, Minimizing Tremors by Changing Building Stiffness AVS Active Variable Stiffness System, Seismic Response Control Series, Technical Pamphlet 91-65 E
- [66] **Çatal, H H**, 1990, Depremden Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Deprem Araştırma Bülteni-68, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İ ş l.Gnl. Ml., Deprem Arş. Dairesi
- [67] **Bayül ke, N**, 1990, Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi
- [68] <http://www.sayisalgrafik.com.tr/gazete/vol05no01/s06/no01.html>
- Kubın, J.**, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım ve Onarım / Güçlendirme Teknikleri
- [69] Deprem ve Deprem Sonrası Tedbirler, 1999, İSKİ, İstanbul
- [70] **Hanc, A, McEvoy, M, Hank, R**, 1993, Architecture and Construction in Steel, London
- [71] Design of Concrete Building For Wind And Earthquake Forces Seminar Course Manual SCM 7 (85)/1985
- [72] Yangın ve Deprem Güvenliği Açısından Malzeme ve Taşıyıcı Sistem Seçimi, 15 Aralık 1999, Seminer, TMMOB İstanbul Büyükşehir Şubesi
- [73] http://www.fatihakbay.com/ceci_kyapi
- [74] **Schuller, W, Çev. Yaman Türk, E, Özşen, G**, 1993, Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistemleri, YTÜ İstanbul
- [75] **Sakamoto, M, Kabori, T**, 1993, Research, Development and Practical Application of Structural Response Control, US/JAPAN Workshop on

Smart and High Performance Materials and Systems, May 14-15,
Tsukuba, Japan

- [76] ITU-I AHS International Conference on Earthquake, 17 August 1999, ITU
Turkey
- [77] <http://users.id.it/kiw.milano/mipire.htm>
- [78] <http://www.skyscrapers.com/english/worldmap/building/09110920/>
- [79] **Özer, E., Saygun, A.**, 1999 Eylül, Metrocity Alışveriş Merkezi, Ofis ve Konut
Blokaları Kompleksi'nin 1999 Kocaeli Depremi Sonrasındaki
Durumunun İncelenmesi ve Değerlendirilmesi Hakkında Teknik
Rapor, İ.T.Ü. Geliştirme Vakfı
- [80] **Özer, E., Saygun, A.**, 1999 Aralık, Metrocity Alışveriş Merkezi, Ofis ve Konut
Blokaları Kompleksi Projelerinin Hesap Kriterleri Hakkında Teknik
Rapor, İ.T.Ü. Geliştirme Vakfı
- [81] **Balıoğlu, İ.**, 2000, Harmanıcı-Gz Taşıyıcı Sistemle İlgili Tasarım Kriterleri,
Balıkar İnş. Müh. Ve Mış. İtd. Şi.
- [82] **Balıoğlu, İ.**, Metrocity İş Merkezi Taşıyıcı Sistemle İlgili Tasarım Kriterleri,
Balıkar İnş. Müh. Ve Mış. İtd. Şi.
- [83] **Balıoğlu, İ.**, 2002, Kişisel görüşme, Balıkar Mühendislik, İstanbul
- [84] **Sunguroğlu, İ.**, 2002, Kişisel görüşme, Gz İnşaat, İstanbul
- [85] **Özden, R.**, 2002, Kişisel görüşme, Gz İnşaat, İstanbul
- [86] <http://arsi.v.hurriyetim.com.tr/istanbul/turk>
- [87] **Hıyat, N.**, 2002, Kişisel görüşme
- [88] **Bayülke, N.**, 1984, Depremde Hasar Gören Yapıların Onarım ve
Güçlendirilmesi, T. M. M. O. B. İnşaat Mühendisleri Odası Yayınları,
Ankara.
- [89] **Ersoy, U., Gıptınoğlu, E.**, 1988, Yüksek Yapıların Tasarım ve Yapımında
İzlenecek Temel İlkeler, Ankara
- [90] <http://members.adl.com/harmanci etiket/>
- [91] **Candemir, O.**, 2002, Kişisel görüşme, Yüksel İnşaat, İstanbul

- [92] Do mus M 2000, Gökdel enler, 12. Sayı, Syf. 91-97, Ağust os-Eyl ül, 1 Nu mar a
Hearts Yay ıncılık
- [93] Arsan, S., 2002, Kışisel gör üş ne, G z İnşaat, İstanbul

Tablo B 1: MSK Şiddet Cetveli

I- Duyulmayan

(a) : Titreşimler insanlar tarafından hissedilmeyip yalnız sis mograf larca kaydedilirler.

II- Çok Hafif

(a) : Sarsıntılar yapıların en üst katlarında , dinlenmede bulunan az kişi tarafından hissedilir.

III- Hafif

(a) : Deprem ev içerisinde az kişi, dışarıda ise sadece uygun şartlar altındaki kişiler tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen hafif bir ka nyonetin meydana getirdiği sallantı gibidir. Dikkatli kişiler, üst katlarda daha belirli olan asıl mış eşyalar da ki hafif sallantıyı izleyebilirler.

IV- Orta Şiddetli

(a) : Deprem ev içerisinde çok, dışarıda ise az kişi tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen ağır yüklü bir ka nyonun oluşturduğu sallantı gibidir. Kapı, pencere ve mutfak eşyaları v.s. titrer, asıl eşyalar biraz sallamır. Ağzı açık kapılarda olan sıvılar biraz dökülür. A raç içerisindeki kişiler sallantıyı hissetmezler.

V- Şiddetli

(a) : Deprem yapı içerisinde herkes, dışarıda ise çok kişi tarafından hissedilir. Uyumakta olan çok kişi uyanır, az sayıda dışarı kaçan olur. Hayvanlar huysuzlaşmaya başlar. Yapılar baştan aşağıya titrerler, asıl mış eşyalar ve duvarlara asıl mış resimler önemli derecede sarsılır. Sarkaçlı saatler durur. Az miktarda sabit olma yan eşyalar yerlerini değiştirebilirler ya da devrilebilirler. Açık kapı ve pencereler şiddetle itilip kapanırlar, iyi kilitlenmemiş kapalı kapılar açılabilir. İyi ce dolu, ağzı açık kapılardaki sıvılar dökülür. Sarsıntı yapı içersine ağır bir eşyanın düşmesi gibi hissedilir.

(b) : Atipi yapılarda hafif hasar olabilir.

(c) : Bazen kaynak sularının debisi değişebilir.

VI- Çok Şiddetli

(a) : Deprem ev içerisinde ve dışarıda hemen hemen herkes tarafından hissedilir. Ev içerisindeki birçok kişi korkar ve dışarı kaçarlar, bazı kişiler dengelerini kaybederler. Evcil hayvanlar ağıllarından dışarı kaçarlar. Bazı hallerde tabak, bardak v.s. gibi cam eşyalar kırılabilir, kitaplar raflardan aşağıya düşerler. Ağır mobilyalar yerlerini değiştirirler.

(b) : A tipi çok ve B tipi az yapılarda hafif hasar ve A tipi az yapıda orta hasar görülür.

(c) : Bazı durumlarda nemli zeminlerde 1 cm genişliğinde çatlaklar olabilir. Dağlarda rasgele yer kaymaları, pınar sularında ve yeraltı su düzeylerinde değişiklikler görülebilir.

VI- Hasar Yapıcı

(a) : Herkes korkar ve dışarı kaçar, pek çok kişi oturdukları yerden kalkmaktaki güçlüğü çekerler. Sarsıntı, araç kullanan kişiler tarafından önemli olarak hissedilir.

(b) : Ctipi çok binada hafif hasar, Btipi çok binada orta hasar, Atipi çok binada ağır hasar, Atipi az binada yıkıntı görülür.

(c) : Sular çalkalanır ve bulanır. Kaynak suyu debisi ve yeraltı su düzeyi değişebilir. Bazı durumlarda kaynak suları kesilir ya da kuru kaynaklar yeniden akmaya başlar. Bir kısım kum çakıl birikintilerinde kaymalar olur. Yollarda heyelan ve çatlama olabilir. Yeraltı boruları ek yerlerinden hasara uğrayabilir. Taş duvarlarda çatlak ve yarıklar oluşur.

VII- Yıkıcı

(a) : Korku ve paniğe meydana gelir. Araç kullanan kişiler rahatsız olur. Ağaç dalları kırılıp düşer. En ağır mobilyalar bile hareket eder ya da yer değiştirerek devrilir. Asılı lambalar zarar görür.

(b) : Ctipi çok yapıda orta hasar, Ctipi az yapıda ağır hasar, Btipi çok yapıda ağır hasar, Atipi çok yapıda yıkıntı görülür. Boruların ek yerleri kırılır. Abide ve heykeller hareket eder ya da burkulur. Mezar taşları devrilir. Taş duvarlar yıkılır.

(c) : Dik şevli yol kenarlarında ve vadi içlerinde küçük yer kaymaları olabilir. Zeminde farklı genişliklerde cm ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Göl suları bulanır, yeni kaynaklar meydana çıkabilir. Kuru kaynak sularının akıntıları ve yeraltı su düzeyleri değişir.

IX Çok Yıkıcı

(a) : Genel paniğe Mobilyalarda önemli hasar olur. Hayvanlar rasgele öte beriye kaçar ve bağırırlar.

(b) : Ctipi çok yapıda ağır hasar, Ctipi az yapıda yıkıntı, Btipi çok yapıda yıkıntı, Btipi az yapıda fazla yıkıntı ve Atipi çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Heykel ve sütunlar düşer. Bentlerde önemli hasarlar olur. Toprak altındaki borular kırılır. Demiryolu rayları eğilip, bükülür yollar bozulur.

(c) : Düzlek yerlerde çokça su, kum ve çamur tasmaları görülür. Zeminde 10 cm genişliğine dek çatlaklar oluşur. Eğimli yerlerde ve nehir teraslarında bu çatlaklar 10 cm den daha büyüktür. Bunların dışında, çok sayıda hafif çatlaklar görülür. Kaya düşmeleri, birçok yer kaymaları ve dağ kaymaları, sulara büyük dalgalanmalar meydana gelebilir. Kuru kayalar yeniden sular, sulu olanlar kurur.

X Ağır Yıkıcı

(b) : Ctipi çok yapıda yıkıntı, Ctipi az yapıda yıkıntı, Btipi çok yapıda fazla yıkıntı, Atipi pek çok yapıda fazla yıkıntı görülür. Baraj, bent ve köprülerde önemli hasarlar olur. Tren yolu rayları eğilir. Yeraltındaki borular kırılır ya da eğilir. Asfalt ve parke yollarda kasisler oluşur.

(c) : Zeminde birkaç desimetre ölçüsünde çatlaklar oluşabilir. Bazen 1 m genişliğinde çatlaklar da olabilir. Nehir teraslarında ve dik meyilli yerlerde büyük heyelanlar olur. Büyük kaya düşmeleri meydana gelir. Yeraltı su seviyesi değişir. Kanal, göl ve nehir suları karalar üzerine taşar. Yeni göller oluşabilir.

X - Çok Ağır Yıkıcı

(b) : İyi yapılmış yapılarda, köprülerde, su bentleri, barajlar ve tren yolu raylarında tehlikeli hasarlar olur. Yol ve caddeler kullanılmaz hale gelir. Yeraltındaki borular kırılır.

(c) : Yer, yatay ve düşey doğrultudaki hareketler nedeniyle geniş yarıklar ve çatlaklar tarafından önemli biçimde bozulur. Çok sayıda yer kayması ve kaya düşmesi meydana gelir. Kum ve çamur fışkırmaları görülür.

XI- Yok Edici (Manzara Değişir)

(b) : Pratik olarak toprağın altında ve üstündeki tüm yapılar baştanbaşa yıkıntıya uğrar.

(c) : Yer yüzeyi bütünüyle değişir. Geniş ölçüde çatlak ve yarıklarda, yatay ve düşey hareketlerin yön miktarları izlenebilir. Kaya düşmeleri ve nehir yataklarındaki göçmeler çok geniş bir bölgeyi kaplarlar. Yeni göller ve çağlayanlar oluşur.

Tablo B-2: Türkiye’de Meydana Gelen Tarihsel Depremler (20. yy.’dan Önce)

Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Şiddet	Yer
BC 222		3650	2800	X	Rodos, Kıbrıs-(Tsunami)
BC 185		3600	2800	IX	Rodos, Kıbrıs
BC 69		3625	3610	IX	Antakya, Suriye
BC 26		3785	2785	IX	Baf - Kıbrıs
BC 17		3840	2750	IX	Manisa, Aydın
24 11 29		4040	2770	IX	İzmir, İzmir
60		3790	2920	IX	Pamukkale, Honaz, Deri zi
105		3890	2700	IX	Candarlı - Yunanistan
110		3700	2600	IX	İzmir, Efes
13 12 115		3625	3610	IX	Antakya
127		4060	3700	IX	Niksar, Ladık, Şuşehri
155		3630	2800	X	Rodos, Muğla, Fethiye
03 05 170		4010	2800	IX	Bandırma, Erdek, Çeşmek
177		3840	2710	X	İzmir, Sakız, Ssam
245		3625	3610	X	Antakya
253		3910	2715	IX	Bergama
325		4100	2900	IX	İstanbul
334		3625	3610	IX	Antakya, Beyrut, Kıbrıs
24 08 358		4075	2990	IX	Kocaeli, İzmir, İstanbul-(Tsunami)
427		4100	2900	IX	İstanbul, İzmir, İzmir
08 12 447		4080	2960	IX	İstanbul, İzmir
14 09 458		3625	3610	IX	Antakya ve Kuzey Suriye
25 09 478		4080	2900	IX	İstanbul
10 09 506		3625	3610	IX	Antakya, Samandağ
29 05 526		3625	3610	IX	Antakya, Samandağ
29 11 529		3625	3610	IX	Antakya
06 09 543		4035	2780	IX	Erdek, Bandırma-(Tsunami)
15 08 553		4075	2910	X	İstanbul, Kocaeli
30 09 587		3625	3610	IX	Antakya-(60.000 ölü)
688		3840	2700	IX	İzmir
715		4040	2970	IX	İzmir, İstanbul
08 04 859		3625	3610	IX	Antakya, Lazkiye

16 05 865		4100	2900	IX	İstanbul
867		3625	3610	IX	Antakya
869		4000	4400	IX	Tavşan, Erivan (12 000 d ü)
03 09 968		4115	3475	IX	Kastamonu, Çorum, Amasya
26 10 986		4100	2900	IX	İstanbul, Trakya-(Tsunami)
1045		3975	3950	IX	Erzincan
23 09 1064		4040	2890	IX	İzmir, Bandırma, İstanbul-(Tsunami)
10 08 1114		3650	3550	IX	Ceyhan, Antakya, Maraş-(Tsunami)
1268		3735	3580	IX	Kozan, Ceyhan-(60 000 d ü)
1268		3975	4040	IX	Erzincan, Erzurum (15 000 d ü)
08 08 1304		3650	2750	X	Rodos, Girit, Kıbrıs
23 09 1344		4100	2900	IX	İstanbul
03 1354		4070	2700	IX	Gelibolu, Bodrum, Marmara
20 03 1389		3840	2630	IX	İzmir ve Kilyos Adası-(Tsunami)
1458		3975	4040	X	Erzincan, Erzurum (32 000 d ü)
1462		4100	2900	IX	İstanbul
03 10 1481		3600	2800	IX	Rodos, Güneybatı Anadolu-(Tsunami)
21 12 1482		3975	3950	IX	Erzincan, Erzurum
18 08 1493		3675	2700	IX	İstanköy Adası
14 09 1509		4075	2900	IX	İstanbul, Edirne-(13 000 d ü)
17 06 1584		3975	3950	IX	Erzincan, Erzurum (15 000 d ü)
1598		4040	3540	IX	Amasya, Çorum
02 04 1647		3915	4400	IX	Van, Muş, Bitlis
23 02 1653		3790	2830	IX	Aydın
06 02 1659		4100	2900	IX	İstanbul
17 08 1668		4090	3600	IX	Amasya, Tokat-(etki alanı 380km)
10 07 1688	1100	3840	2720	X	İzmir-(15 000 d ü Tsunami)
25 05 1719		4070	2950	IX	İstanbul, İzmir, Karamürsel
04 04 1739	430	3840	2720	IX	İzmir
07 06 1751		3775	2700	X	Samsun Adası, Ege Denizi
29 07 1752	2000	4170	2650	IX	Edirne, Havsa
02 09 1754	2145	4080	2940	IX	İzmit, İstanbul
22 05 1766		4100	2900	IX	İstanbul-(Tsunami)
13 08 1822		3640	3620	X	Antakya, İskenderun-(20 000 d ü Tsunami)
18 10 1843		3625	2750	IX	Rodos, Ege Denizi-(6 000 d ü)
12 10 1845		3910	2620	X	Mıllı Adası
21 06 1846		3775	2700	IX	Samsun Adası, Söke
28 02 1851		3650	2910	IX	Fethiye, Muğla, Rodos-(Tsunami)
24 07 1852		3990	4130	IX	Erzurum

28 02 1855		4020	2900	I X	Bursa, Kemal pařa-(300 đ ü)
11 04 1855		4020	2910	X	Bursa-(etki d anı 20 km 1300 đ ü)
12 10 1856		3625	2800	X	Rodos, Karpat os, Grit-(Tsunami)
13 11 1856		3825	2625	I X	Rodos, Ege Deri zi
02 06 1859	1030	3990	4130	I X	Erzurum(15 000 đ ü)
03 11 1862	300	3840	2770	I X	Turgut lu, Mari sa
22 04 1863		3650	2800	I X	Rodos
23 07 1865	2130	3940	2620	I X	M dilli, Çanakkale, Geli bdu
07 03 1867		3910	2650	I X	M dilli-(500 đ ü)
23 04 1868		4000	4170	I X	Erzurum, Kars
02 04 1872	745	3625	3610	I X	Antakya, Samandağ-(1800 đ ü)
01 02 1873	100	3775	2700	I X	Sisam Adası, İzmir, Aydın
03 05 1875	900	3810	3010	I X	D nari, Çivril-(etki d anı 20 km 1300 đ ü)
10 1875		4020	2640	I X	Çanakkale
01 11 1875	1000	3990	4130	X	Erzurum
13 05 1876	600	3880	3050	I X	Afyonkarahisar-(çok sayı da đ ü)
29 07 1880	440	3860	2710	I X	Menemen, Enir d em, İzmir-(çok sayı da đ ü)
03 04 1881	1130	3825	2610	X	Kilyos Adası, Ege Deri zi-(4000 đ ü)
30 05 1881		3850	4330	I X	Van, Bitlis, Muş
15 10 1883	1530	3830	2630	I X	Çeř me, Ege Deri zi (1500 öl ü)
29 02 1885	1830	3720	2720	I X	Ege Deri zi
25 10 1889	2320	3930	2630	I X	M dilli, Sakız, İzmir
20 05 1890		3990	3880	I X	Refahiye, Erzincan
31 03 1893		3840	3870	I X	Malatya-(469 đ ü)
10 07 1894	1230	4060	2870	X	Prinses Adası, İstanbul
19 08 1895		3780	2780	I X	Aydın
20 09 1899	1030	3790	2810	I X	Nazilli, Aydın, Deri zi, Uşak

Tablo B-3: Türkiye’de Meydana Gelen Şiddetli Depremler (20. yy.’dan sonra)

GÜN AY YIL	Büyüklük (M)	Yer	Ölü	Yaralı	Ağır hasarlı konut	Enlem (N)	Boylam (E)	Derinlik (km)	Şiddet (MSK)
09.03.1902	5.6	Çankırı	4	-	3000	40.65	33.60	-	-
28.04.1903	6.7	Malazgirt	2626	-	4500	39.10	42.50	-	IX
10.02.1903	5.8	Zara	-	-	1500	39.90	37.80	-	-
04.12.1905	6.8	Çemişgezek	-	-	15	39.00	39.00	30	-
09.08.1912	7.3	Murte	216	466	5540	40.60	27.20	16	-
04.10.1914	5.1	Afyon- Bolvadin	400	-	1700	38.00	30.00	15	-
13.05.1924	5.3	Çaykara	50	-	700	40.00	42.00	30	-
13.09.1924	6.9	Pasirler	310	-	4300	39.96	41.94	10	-
07.08.1925	5.9	Afyon- Dinar	3	-	2043	38.10	29.80	20	IX
08.02.1926	4.7	Malas	2	-	598	36.80	27.10	30	-
18.03.1926	6.9	Firike	27	-	190	35.84	29.50	10	-
22.10.1926	5.7	Kars	355	-	1100	40.94	43.88	10	VII
31.03.1928	7	İzmir-Torbalı	50	-	2100	38.18	27.80	10	IX
18.05.1929	6.1	Sivas- Suşehri	64	-	1357	40.20	37.90	10	VII
06.05.1930	7.2	Hakkari Sınırı	2514	-	3000	37.98	44.48	70	X
19.07.1933	5.7	Derizli-Çivril	20	-	200	38.19	29.79	40	VII
15.12.1934	4.9	Bingöl	12	-	200	38.85	40.55	-	-
04.01.1935	6.7	Erdek	5	30	600	40.40	27.49	30	IX
01.05.1935	6.2	Düğer	200	-	1300	40.09	43.22	60	-
23.03.1936	4.5	Kars-Kötek	-	-	100	39.00	42.00	30	-
19.04.1938	6.6	Kırşehir	149	-	3860	39.44	33.79	10	IX
16.12.1938	4.8	Kırşehir	-	-	300	39.52	33.91	10	-
22.09.1939	7.1	İzmir-Dikili	60	-	1235	39.07	26.94	10	IX
21.11.1939	5.9	Tercan	43	-	500	39.82	39.71	80	-
26.12.1939	7.9	Erzincan	32962	-	116720	39.80	39.51	20	X-X
20.02.1940	6.7	Kayseri- Devdi	37	20	530	38.40	35.30	30	VII

13.04.1940	5.6	Yozgat	20	-	1250	40.04	35.20	30	-
10.01.1940	5	N ğde	58	-	586	38.00	34.70	-	-
10.09.1941	5.9	Van- Er d s	194	-	600	39.45	43.32	20	VII
12.11.1941	5.9	Er zi ncan	15	-	500	39.74	39.43	70	-
13.12.1941	5.7	Mu ğ a	-	-	400	37.13	28.06	30	-
23.05.1941	6	Mu ğ a	2	-	500	37.07	38.21	40	-
15.11.1942	6.1	B ğad - S ndr ğ	7	-	1262	39.55	28.55	10	VII
21.11.1942	5.5	Os mancı k	7	-	448	40.82	34.44	80	-
20.12.1942	7	N ksar- Er baa	3000	6300	32000	40.87	36.47	10	IX
11.12.1942	5.9	Çor um	25	-	816	40.76	34.83	40	-
20.06.1943	6.6	Adapazarı- Hendek	336	-	2240	40.85	30.51	10	IX
26.11.1943	7.2	Tosya- Lad k	2824	-	25000	41.05	33.72	10	IX X
01.02.1944	7.2	Bd u- Ger ede	3959	-	20865	41.41	32.69	10	IX X
06.10.1944	7	Ayv d k- Edre nit	27	-	1158	39.48	26.56	40	IX
10.02.1944	5.4	Düzce	-	-	900	41.00	32.30	10	-
05.04.1944	5.6	Mudur nu	30	-	900	40.84	31.12	10	-
25.06.1944	6.2	Ged iz- Uşak	21	-	3476	38.79	29.31	40	VII
20.03.1945	6	Adana- Ceyhan	10	-	650	37.11	35.70	60	VII
20.11.1945	5.8	Van	-	-	1000	36.63	43.33	10	-
21.02.1946	5.6	Kadı nhan- İlg n	2	-	509	38.24	31.79	60	VII
31.05.1946	5.7	Varto- H n s	839	349	1986	39.29	41.21	60	VII
23.07.1949	7	İznir- Kar abur un	1	7	824	38.57	26.29	10	IX
17.08.1949	7	Kar lıova	450	-	3000	39.60	40.60	40	IX
05.02.1949	5.2	Har mancı k	-	-	150	39.89	29.35	40	-
04.02.1950	4.6	Kı ğ	20	-	100	39.50	40.60	30	-
08.04.1951	5.7	İskender un	6	10	13	36.58	35.85	50	-
13.08.1951	6.9	Kur şurl u	52	208	3354	40.88	32.87	10	IX
03.01.1952	5.8	Hasankal e	133	-	701	39.95	41.67	40	VII
22.10.1952	5.5	M s i s	10	-	511	37.25	35.15	70	-
18.03.1953	7.4	Yeri ce- Gönen	265	336	9670	39.99	27.36	10	IX
02.05.1953	5.1	Kar abur un	-	-	73	38.51	26.55	60	-
07.09.1953	6.4	Kur şurl u	2	-	230	41.09	33.01	40	VII

18.06.1953	5.1	Edirne	-	-	323	41.55	26.55	30	-
16.07.1955	7	Aydın-Söke	23	-	470	37.65	27.26	40	IX
20.02.1956	6.4	Eskişehir	2	-	1219	39.89	30.49	40	VII
25.04.1957	7.1	Fethiye	67	-	3100	36.42	28.68	80	IX
26.05.1957	7.1	Bolu-Abant	52	100	4201	40.67	31.00	10	IX
07.07.1957	5.1	Başköy	-	-	300	39.37	40.46	60	-
25.04.1959	5.7	Köyceğiz	-	-	59	36.94	28.58	30	VII
25.10.1959	5	Hınıs	18	-	300	39.25	41.63	50	-
26.02.1960	4	Bitlis	-	-	80	38.49	41.52	40	-
10.04.1960	4.4	Germeçik	-	-	100	37.73	27.80	40	-
26.07.1960	4.6	Tokat	-	-	22	40.56	37.25	40	-
23.05.1961	6.5	Marmaris	-	9	61	36.80	28.70	70	-
10.02.1962	4	Muş	-	-	97	38.70	41.45	-	-
04.09.1962	5.3	Iğdır	1	22	-	39.96	44.13	40	-
11.03.1963	5.5	Deriçi	-	-	54	37.96	29.14	40	-
18.09.1963	6.3	Çarşamba-Yalova	1	26	230	40.77	29.12	40	VI
22.11.1963	5.1	Deriçi	-	-	298	37.07	29.68	60	-
24.03.1964	4	Sirt	1	-	100	37.95	42.00	-	-
14.06.1964	6	Malatya	8	36	678	38.13	38.51	3	VII
06.10.1964	7	Manisa	23	130	5398	40.30	28.23	24	IX
13.06.1965	5.7	Deriçi-Honaz	14	217	488	37.85	29.32	33	VII
31.08.1965	5.6	Karlıova	-	-	1500	39.30	40.79	33	-
07.03.1966	5.6	Varto	14	75	1100	39.20	41.60	26	VII
12.07.1966	4	Varto	12	-	90	39.17	41.56	-	-
19.08.1966	6.9	Varto	2394	1489	20007	39.17	41.56	26	IX
07.04.1966	4.8	Adana-Bahçe	-	-	100	37.00	35.30	-	-
22.07.1967	7.2	Adapazarı	89	235	5569	40.67	30.69	33	IX
26.07.1967	6.2	Pülümür	97	268	1282	39.54	40.38	30	VII
30.07.1967	6	Akyazı	2	40	-	40.70	30.40	18	-
07.04.1967	5.3	Adana-Bahçe	-	-	91	37.40	36.20	32	-
24.09.1968	5.1	Elazığ-Elazığ	2	40	-	39.20	40.20	8	-
03.09.1968	6.5	Amasya-Bartın	29	231	2073	41.81	32.39	5	VII
14.01.1969	6.2	Fethiye	-	-	42	36.11	29.19	22	-

03.03.1969	5.7	Gönen	1	-	20	40.08	27.50	6	-
23.03.1969	6.1	Denirdi	-	-	1100	39.10	28.40	9	VI
25.03.1969	6	Denirdi	-	-	1826	39.25	28.44	37	-
28.03.1969	6.6	Aşehir	41	186	4372	38.55	28.46	4	VII
06.04.1969	5.6	Karaburun	-	3	443	38.50	26.40	16	-
28.03.1970	7.2	Gediz	1086	1260	9452	39.21	29.51	18	IX
19.04.1970	5.9	Çavdarlısar- Kütahya	-	2	41	39.10	29.70	18	-
23.04.1970	5.7	Denirdi	-	43	150	39.10	28.70	28	-
02.07.1970	4.8	Gürün	1	-	150	38.80	36.70	19	VII
12.05.1971	6.2	Burdur	57	150	1389	37.64	29.72	30	VII
22.05.1971	6.7	Bingöl	878	700	5617	38.85	40.52	3	VII
26.04.1972	5	Ezine	-	-	400	39.50	26.30	25	-
22.03.1972	4.7	Sarıkamış	-	4	100	40.40	42.20	2	-
16.07.1972	5.2	Van	1	-	400	38.30	43.30	46	-
01.02.1974	5.2	İznir	2	20	47	38.55	27.22	31	V
06.09.1975	6.9	Lice	2385	3339	8149	38.47	40.72	32	VII
25.03.1975	5.1	Kars-Susuz	2	26	762	40.95	42.96	25	V
19.08.1976	4.9	Denizli	4	28	887	37.67	29.17	-	VI
24.11.1976	7.2	Çaldıran- Muradiye	3840	497	9552	39.12	44.16	10	IX
02.04.1976	4.8	Doğu Beyazıt	5	13	236	39.91	43.76	14	V
30.04.1976	5	Ardahan	4	-	300	41.20	42.60	-	-
25.03.1977	4.8	Lice	8	17	210	38.58	40.03	29	-
26.03.1977	5.2	Palu	8	26	842	39.34	43.50	25	-
09.12.1977	4.8	İznir	-	-	11	38.56	27.47	-	-
16.12.1977	5.3	İznir	-	-	40	38.40	27.19	24	-
14.06.1979	5.9	Foça	-	-	22	38.92	26.89	-	-
30.06.1981	4.4	Antakya	-	-	2	36.17	35.89	63	-
27.03.1982	5.2	Muş-Bulanık	-	-	424	39.23	41.90	38	-
05.07.1983	4.9	Biga	3	-	85	40.33	27.21	7	-
30.10.1983	6.8	Erzurum Kars	1155	1142	3241	40.20	42.10	16	VII
18.09.1984	5.9	Erzurum Balıke	3	35	187	40.90	42.24	10	-
05.05.1986	5.8	Malatya- Sürgü	8	24	824	37.95	37.80	10	VI
06.06.1986	5.6	Sürgü- Malatya	1	20	1174	38.01	37.91	11	-

07. 12 1988	6. 9	Kars- Akyaka	4	11	546	40. 96	44. 16	5	-
13. 03 1992	6. 8	Er zi ncan- Tunceli	653	3850	6702	39. 68	39. 56	27	VII
01. 10 1995	5. 9	D nar	94	240	4909	38. 18	30. 02	24	VII
14. 08 1996	5. 4	Çor um Amasya	-	6	707	40. 73	35. 28	12	V
27. 06 1998	5. 9	Adana- Ceyhan	146	94- 0	4000	36. 85	35. 55	23	-
17. 08 1999	7. 4	17 Ağ ust os Kocaeli	15000	32000	50000	40. 70	29. 91	20	IX
12. 11 1999 19. 17	7. 2	12 Kası m Düzce	845	4948	3395	-	-	-	-
03. 02 2002 09. 11	6. 0	Af yon- Bd vad n	42	150	-	38. 56	31. 13	-	-

Tablo G 1: Dünyanın En Yüksek İlk 100 Yapısı [50]

#	Yapılar	Şehir	Yükseklik	Kat Adedi	Yıl
1	Petronas Tower	Kuala Lumpur	452 m	88	1998
2	Petronas Tower II	Kuala Lumpur	452 m	88	1998
3	Sears Tower	Chicago	442 m	108	1974
4	Jin Mao Tower	Shanghai	421 m	88	1998
5	CITIC Plaza	Guangzhou	391 m	80	1997
6	Shun Hing Square	Shenzhen	384 m	69	1996
7	Empire State Building	New York Gty	381 m	102	1931
8	Central Plaza	Hong Kong	374 m	78	1992
9	Bank of China Tower	Hong Kong	369 m	72	1989
10	Emirates Office Tower	Dubai	355 m	54	2000
11	The Centre	Hong Kong	350 m	73	1998
12	Tuntex & Chien-Tai Tower	Kaohsiung	348 m	85	1997
13	Aon Center	Chicago	346 m	83	1973
14	John Hancock Center	Chicago	344 m	100	1969
15	Burj Al Arab	Dubai	321 m	60	1999
16	Chrysler Building	New York Gty	319 m	77	1930
17	Bank of America Plaza	Atlanta	312 m	55	1992
18	Library Tower	Los Angeles	310 m	73	1990
19	Menara Telekom	Kuala Lumpur	310 m	55	2000
20	Emirates Hotel Tower	Dubai	309 m	56	2000
21	AT&T Corporate Center	Chicago	307 m	60	1989
22	JP Morgan Chase Tower	Houston	305 m	75	1982
23	Baiyoke Tower II	Bangkok	304 m	85	1997
24	Two Prudential Plaza	Chicago	303 m	64	1990
25	Ryugyong Hotel	Pyongyang	300 m	105	1991
26	First Canadian Place	Toronto	298 m	72	1975
27	Landmark Tower	Yokohama	296 m	70	1993
28	Kingdom Centre	Riyadh	296 m	30	2001

29	Wells Fargo Plaza	Houston	296 m	71	1983
30	Bank of America Tower	Seattle	295 m	76	1985
31	311 South Wacker Drive	Chicago	293 m	65	1990
32	SEG Plaza	Shenzhen	292 m	72	2000
33	American International	New York City	290 m	66	1932
34	Cheung Kong Center	Hong Kong	290 m	62	1999
35	Key Tower	Cleveland	289 m	57	1991
36	Plaza 66	Shanghai	288 m	66	2001
37	One Liberty Place	Philadelphia	288 m	61	1987
38	Tomorrow Square	Shanghai	285 m	55	2001
39	Trump Building	New York City	283 m	71	1930
40	Bank of America Plaza	Dallas	281 m	72	1985
41	United Overseas Bank Plaza One	Singapore	280 m	66	1992
42	Republic Plaza	Singapore	280 m	66	1995
43	OUB Centre	Singapore	280 m	63	1986
44	Citigroup Center	New York City	279 m	59	1977
45	Scotia Plaza	Toronto	275 m	68	1989
46	Williams Tower	Houston	275 m	64	1983
47	Renaissance Tower	Dallas	270 m	56	1974
48	Post & Telecommunication Hub	Guangzhou	269 m	66	2002
49	Trump World Tower	New York City	269 m	72	2001
50	Al Faisaliah Center	Riyadh	267 m	30	2000
51	900 North Michigan	Chicago	265 m	66	1989
52	Bank of America Center	Charlotte	265 m	60	1992
53	SunTrust Plaza	Atlanta	265 m	60	1992
54	Hong Kong New World Centre	Shanghai	265 m	58	2001
55	Water Tower Place	Chicago	262 m	74	1976
56	Aon Center	Los Angeles	262 m	62	1974
57	Canada Trust Tower	Toronto	261 m	53	1990
58	101 Collins Street	Melbourne	260 m	50	1991
59	Transamerica Pyramid	San Francisco	260 m	48	1972
60	Bank One Plaza	Chicago	259 m	60	1969
61	GE Building	New York City	259 m	70	1933
62	Commerzbank Zentrale	Frankfurt	259 m	56	1997
63	PBCOM Tower	Makati	259 m	55	2000

64	Two Liberty Place	Philadelphia	258 m	52	1989
65	Park Tower	Chicago	257 m	67	2000
66	MesseTur m	Frankfurt	257 m	70	1990
67	U S. Steel Tower	Pittsburgh	256 m	64	1970
68	Rinku Gate Tower	Osaka	256 m	56	1996
69	Capital Tower	Singapore	254 m	52	2000
70	Highcliff	Hong Kong	252 m	72	2002
71	Osaka World Trade Center	Osaka	252 m	55	1995
72	Rialto Towers	Melbourne	251 m	63	1986
73	Wisna 46	Jakarta	250 m	46	1996
74	One Atlantic Center	Atlanta	250 m	50	1987
75	KLI 63 Building	Seoul	249 m	60	1985
76	Cityspire	New York Gty	248 m	75	1989
77	One Chase Manhattan Plaza	New York Gty	248 m	60	1960
78	RCK Tower	Bangkok	247 m	68	2001
79	Bank One Center	Indianapolis	247 m	49	1990
80	Conde Nast Building	New York Gty	247 m	48	1999
81	Met Life Building	New York Gty	246 m	58	1963
82	JR Central Towers Offices	Nagoya	245 m	51	2000
83	Shin-Kong Life Tower	Taipei	245 m	51	1993
84	Gty Gate Ramat-Gan	Ramat-Gan	244 m	67	2001
85	Menara Maybank	Kuala Lumpur	244 m	50	1988
86	Gtigroup Centre	Sydney	243 m	50	2000
87	Tokyo Gty Hall	Tokyo	243 m	48	1991
88	Four Seasons Hotel & Tower	Miami	242 m	64	2002
89	Dalian World Trade Center	Dalian	242 m	55	2000
90	Mellon Bank Center	Philadelphia	241 m	54	1990
91	Woolworth Building	New York Gty	241 m	57	1913
92	Bank of China Mansion	Qingdao	241 m	54	1999
93	John Hancock Tower	Boston	241 m	60	1976
94	Manulife Plaza	Hong Kong	240 m	52	1998
95	Chifley Tower	Sydney	240 m	50	1992
96	DoCoMo Yoyogi Building	Tokyo	240 m	33	2001
97	Moscow State University	Moscow	240 m	36	1953
98	Bank One Center	Dallas	240 m	60	1987

99	Commerce Court West	Toronto	239 m	57	1972
100	Empire Tower	Kuala Lumpur	238 m	62	1994

Şekil C2: Metrocity Alışveriş Merkezi'ne Ait Plan Ve Görünüşler

Metrocity Alışveriş Merkezi'ne ait eklerinin isimleri aşağıdaki gibidir. Şekiller ölçeksizdir.

ZEMİN KAT PLAN
BÜRO TİP KAT PLAN
A BLOK EN KESİT
B BLOK EN KESİT
C BLOK EN KESİT
BÜRO KESİTİ
BÜRO KUZEY CEPHESİ
BÜRO DOĞU CEPHESİ
VAZİYET PLAN
BOYUNA KESİT
4. BODRUM KAT PLAN

Şekil C3: Beybi Gz Haza Han, Kesit ve Temel Han

Beybi Gz Haza'ya ait eklerinin ismi aşağıdaki gibidir. Şekiller ölçeksizdir.

VAZİ YET PLAN
ZEMİN KAT PLAN
BÜRO TİP KAT PLAN
BÜRO KESİTİ
TEMEL PLAN
KALIP PLAN

Şekil G4: Gz 2000 Haza Han, Kesit ve Temel Plan

Gz 2000 Haza'ya ait eklerin ismi nheri aşağıdaki gibidir. Şekiller ölçeksizdir.

VAZİ YET PLAN
ZEMİN KAT PLAN
BÜRO TİP KAT PLAN
BÜRO KESİTİ
TEMEL PLAN
KALIP PLAN

Şekil G5: İz Haza Plan, Késit ve Te mel Plan

İz Haza'ya ait eklerin isimleri aşağıdaki gibidir. Şekiller ölçeksizdir.

VAZİ YET PLAN
ZEMİN KAT PLAN
BÜRO TİP KAT PLAN
BÜRO KESİTİ
TEMEL PLAN
KALIP PLAN

Şekil G6: İçerenköy’de Br Konut; Plan, Kesit ve Görünüşleri

İçerenköy’deki konuta ait eklerinin ismi aşağıdaki gibidir. Şekiller ölçeklidir.

- 1-6 (1-4) NORMAL KAT PLANI
- 7-17 (5-17) NORMAL KAT PLANI
- GİRİŞ KAT PLANI
- SOL YAN CEPHE
- SAĞ YAN CEPHE
- ARKA CEPHE
- ÖN CEPHE
- A-A KESİTİ
- B-B KESİTİ
- 2. BODRUM KAT PLANI
- 3. BODRUM KAT PLANI

ÖZGEÇMİŞ

17.01.1979 tarihinde Ankara’da doğan Ayşen Gümrükçü, 1995 yılında Trabzon Lisesi’nden, 1999 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü’nden mezun olmuştur. 1999 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Yabancı Diller Yüksekokulu’nda yabancı dil eğitimi aldıktan sonra 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bina Bilgisi Program’nda Yüksek Lisans çalışmasına başlamıştır.