

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

84937

**YÜKSEK BİNA
TAŞIYICI SİSTEMLERİ**

Mimar Osman Bürgehan AYSU

**F.B.E. Mimarlık Anabilim Dalı Mimarlık Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Danışmanı : Prof. Hakkı ÖNEL

İSTANBUL, 1999

84937

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışmanın Yöntemi	2
1.3. Çalışmanın Kapsamı	3
2. GENEL YAKLAŞIMLAR.....	4
2.1. Yüksek Yapının Tanımı	4
2.2. Yüksek Bina Yapısal Konseptleri.....	6
3. RÜZGAR ETKİLERİ	12
3.1. Tasarım Yaklaşımları.....	12
3.2. Rüzgarın Doğası	14
3.2.1. Tanım	14
3.2.2. Genel rüzgar çeşitleri	15
3.2.2.1. Hakim rüzgarlar (prevailing winds).....	15
3.2.2.2. Mevsim rüzgarları (seasonal winds).....	16
3.2.2.3. Yerel rüzgarlar (local winds).....	16
3.3. Rüzgarın Karakteristikleri.....	17
3.3.1. Yükseklikle bağıntılı rüzgar hızı varyasyonları	17
3.3.2. Rüzgarın türbülans özelliği	18
3.3.3. Rüzgar yüküne olasılık yaklaşımı.....	19
3.3.4. Anafor dağılımı fenomenası (Vortex-shedding)	20
3.3.5. Rüzgarın dinamik doğası	22
3.3.6. Bina kabuğunu etkileyen basınçlar	23
3.3.6.1. Tanım	23
3.3.6.2. Basınç ve emisyon kuvvetlerinin dağılımı	24
3.3.6.3. Yerel bina kabuğu yükleri ve toplam tasarım yükleri.....	25
3.4. Tasarım Sırasında, Rüzgar Yüküne Karşı Alınabilecek Önlemler.....	26
3.4.1. Tanım	26
3.4.2. Değişik plan formları ve etkileri ve bina üzerinde alınabilecek önlemler	27
3.4.3. Aspect ratio	30
3.4.4. Aktif damping sistemleri.....	31
3.5. Bölüm Özeti	32
4. DEPREM ETKİLERİ	33
4.1. Depremin Tanımı	33
4.1.1. Depremin doğası.....	33
4.1.2. Sismograf	34
4.1.3. Depremlerin şiddeti ve büyüklük ölçeği	35

4.1.3.1.	Deprem şiddetinin ölçeği	35
4.1.3.2.	Deprem büyüklüğü	36
4.1.4.	Deprem tasarımı	37
4.1.5.	Deprem tasarımında belirsiz noktalar ve alınması gereken önlemler	39
4.2.	Binaların Depremlerle Etkileşimi	41
4.3.	Deprem Sırasında, Yüksek Yapıların Davranışı	42
4.3.1.	Tanım	42
4.3.2.	Yüksek yapıların, depremle etkileşimi	43
4.3.3.	Zemin özelliklerinin etkileri	45
4.3.4.	Binanın damping özellikleri	46
4.3.5.	Bina hareketi ve çeşitli etkileri	47
4.3.6.	Deprem yarattığı yatay kaymalara ve harekete karşı alınabilecek önlemler	48
4.4.	Deprem Tasarımı Teknikleri	48
4.4.1.	Binanın plan şeması	49
4.4.2.	Strüktürel simetri	49
4.4.3.	Karmaşık özelliklere sahip binalar	50
4.4.4.	Yatay yüklere dayanıklı sistemler	51
4.4.5.	Diyaframlar	54
4.4.6.	Duktilite	55
4.4.7.	Taşıyıcı olmayan bölmeler ve yapı elemanları	55
4.4.8.	Binanın temeli	55
4.4.9.	Depremden kaynaklanabilecek zararları önleyebilecek sistemler	55
4.4.10.	Taşıyıcı sistemin devamlılığı	56
4.5.	Bölüm Özeti	57
5.	YÜKSEK YAPI TAŞIYICI SİSTEMLERİ	59
5.1.	Tanım	59
5.2.	Taşıyıcı Sistem Olarak Yüksek Bina	59
5.2.1.	Düşey yüklere dayanan yapı elemanlarının hiyerarşisi	61
5.2.2.	Yatay yüklere dayanan yapı elemanlarının hiyerarşisi	62
5.3.	Çelik Taşıyıcı Sistemler	65
5.3.1.	Yatay yüklere dayanıklı, çelik taşıyıcı sistemler	66
5.3.1.1.	Yarı-Rijit bağlantılı çerçeve sistemleri	67
5.3.1.2.	Rijit çerçeve sistemleri, moment çerçeve sistemleri (Rigid frames)	69
5.3.1.3.	Diagonal kuşaklanmış çerçeveler (Braced frames)	71
5.3.1.4.	Düzensiz kafes-kiriş sistemleri (Staggered truss systems)	72
5.3.1.5.	Eksantrik diagonal kuşaklama sistemleri (Eccentric bracing systems)	74
5.3.1.6.	Rijit ve diagonal kuşaklanmış çerçevelerin birlikte kullanımı (Interacting system of braced and rigid frames)	76
5.3.1.7.	Askı-gergi ve kuşak kafes-kiriş sistemleri (Outrigger and belt truss systems)	77
5.3.1.8.	Çerçevenilmiş tüp sistemleri (Framed tube systems)	80
5.3.1.9.	Kafes-kirişli tüp sistemleri (Trussed tube systems)	83
5.3.1.10.	Birleştirilmiş tüp sistemleri (The bundled tube)	86
5.3.1.11.	Yüksek verimli yüksek yapı sistemleri (High-efficiency structures)	87
5.3.1.11.1.	Kafes-kirişli mega çerçeve sistemleri (Trussed mega frames)	87
5.3.1.11.2.	Süper çerçeve sistemi (Super frame system)	88
5.3.2.	Düşey yüklere dayanıklı çelik sistemler	88
5.3.2.1.	Çelik çerçevesiz döşeme sistemleri	89
5.3.2.1.1.	Tek yönlü kiriş sistemi (One-way beam system)	90
5.3.2.1.2.	İki yönlü kiriş sistemi (Two-way beam system)	90
5.3.2.1.3.	Üç yönlü kiriş sistemi (Three-way beam system)	91

5.3.2.1.4.	Karma, çelik-beton döşeme sistemleri (Composite steel-concrete floor systems)	91
5.3.2.2.	Çelik kolonlar	93
5.4.	Betonarme Taşıyıcı Sistemler	94
5.4.1.	Yatay yüklere dayanıklı, betonarme taşıyıcı sistemler	94
5.4.1.1.	İki yönlü, kirişsiz döşeme ve kolonlar (Column and two-way slab systems)	95
5.4.1.2.	Kirişsiz döşeme ve perde duvar sistemi (Flat slab and shear walls)	97
5.4.1.3.	Kirişsiz döşeme, perde duvar ve kolonlar (Flat slab, shear walls, and columns)	97
5.4.1.4.	Çift perde duvar ve kiriş sistemi (Coupled shear walls)	98
5.4.1.5.	Rijit çerçeve sistemi (Rigid frames)	99
5.4.1.6.	Geniş aralıklarla yerleştirilmiş çevre tüp sistemi (Widely spaced perimeter tube)	99
5.4.1.7.	Gusseli kirişli rijit çerçeve sistemi (Rigid frame with haunch girders)	100
5.4.1.8.	Bina çekirdeğinden destekli sistemler (Core-supported structures)	101
5.4.1.9.	Perde duvar-çerçeve birlikteliği (Shear wall-frame interaction)	102
5.4.1.10.	Çerçeve tüp sistemleri (Frame tube structures)	104
5.4.1.11.	Diagonal tüp sistemi (Exterior diagonal tube)	105
5.4.1.12.	Modüler veya birleştirilmiş tüp sistemi (Modular or bundled tube)	106
5.4.2.	Düşey yüklere dayanıklı, betonarme taşıyıcı sistemler	108
5.4.2.1.	Betonarme döşeme sistemleri	108
5.4.2.1.1.	Duvar veya kirişler üzeri tek yön döşeme (One-way slab on beams or walls)	109
5.4.2.1.2.	Tek yön nervürlü döşeme ve kirişler (One-way pan joists and beams)	109
5.4.2.1.3.	Ana taşıyıcı kirişler ve kirişler üzeri tek yön döşeme (One-way slab on beams and girders)	110
5.4.2.1.4.	İki yönlü kirişsiz döşeme (Two-way flat plate)	110
5.4.2.1.5.	İki yönlü mantar döşeme (Two-way flat slab)	111
5.4.2.1.6.	Kaset döşeme (Waffle flat slab)	111
5.4.2.1.7.	Gusseli kirişler ve nervürlü döşemeler (Haunch girder and joist system)	112
5.4.2.2.	Betonarme kolonlar	112
5.5.	Karma Taşıyıcı Sistemler	113
5.5.1.	Karma taşıyıcı yapı elemanları	114
5.5.1.1.	Karma döşemeler	115
5.5.1.2.	Karma taşıyıcı kirişler	116
5.5.1.3.	Karma kolonlar	116
5.5.1.4.	Karma perde duvarlar	117
5.6.	Bölüm Özeti	118
6.	ÖRNEK PROJELER	120
6.1.	Şikago' da Yüksek Bir Ofis Yapısı	120
6.2.	Şikago' da Yüksek Bir Otel Yapısı	124
6.3.	Şikago' da Yüksek Bir Apartman Yapısı	127
6.4.	Şikago' da Çok Amaçlı (Multi-Use) Bir Yüksek Yapı	130
7.	SONUÇ	142
7.1.	Rüzgar Yükleri	143
7.2.	Deprem Yükleri	144
7.3.	Taşıyıcı Sistemler	146
7.4.	Çalışmanın Sonunda Varılan Sonuçlar	146
KAYNAKLAR		148

EKLER.....	150
EK 1. En Eski Yüksek Yapılar.....	151
EK 2. Bir Şehrin Gelişimi : New York.....	152
EK 3. Dünyanın En Yüksek Kuleleri.....	153
(Yüksekliklerine göre sınıflandırılmıştır)	
EK 4. 1990'LÜ Yıllardan Örnekler.....	154
EK 5. Dünyada En Yüksek İlk 100 Bina.....	155
ÖZGEÇMİŞ.....	157



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Yüksek binanın yapısal konsepti.....	6
Şekil 2.2	Yapı kesme yükü (shear) ve eğilme yükü (bending) dayanımı.....	7
Şekil 2.3	Yapı plan formları.....	8
Şekil 2.4	Kolon yerleşimi ve Eğilme Dayanıklılık İndeksi (Bending Rigidity Index (RBI)).....	9
Şekil 2.5	Yüksek bina kesme kuvveti (shear) sistemleri.....	10
Şekil 3.1	Basınç farkları.....	14
Şekil 3.2	Rüzgar sirkülasyon şeması.....	15
Şekil 3.3	Rüzgar hız eğrisi şeması.....	17
Şekil 3.4	Guadalupe adasının yarattığı bulut anaforları / uydu fotoğrafı.....	18
Şekil 3.5	Rüzgar hız ve etki şeması.....	19
Şekil 3.6	Rüzgarın, basitleştirilmiş, iki boyutlu akış şeması.....	21
Şekil 3.7	Anafor dağılımı (Vortex-shedding) fenomeni.....	21
Şekil 3.8	Bina üzerinde oluşan değişik pozitif basınçlar.....	24
Şekil 3.9	Basınç ve emisyon kuvvetlerinin dağılımı.....	25
Şekil 3.10	Değişik plan formları ve anafor dağılım verimi yüzdeleri.....	28
Şekil 3.11	Rüzgar etkisiyle bina davranışı.....	29
Şekil 3.12	Rüzgarın devirme kuvvetinin şeması.....	30
Şekil 3.13	Aktif damper sistemleri.....	31
Şekil 4.1	Yer hareketini ölçen konsept sismograf şeması.....	34
Şekil 4.2	Modified Mercalli ölçeği.....	35
Şekil 4.3	El Centro, California depreminin kayıtları.....	37
Şekil 4.4	Northridge, California depreminin kayıtları.....	38
Şekil 4.5	Deprem kuvvetlerinin şematik prezantasyonu.....	43
Şekil 4.6	Plan düzensizlikleri.....	50
Şekil 4.7	Bina cephesindeki düzensizlikler.....	52
Şekil 4.8	Yatay yüklere dayanıklı sistemler.....	53
Şekil 4.9	Diyaframın örnekleri.....	54
Şekil 5.1	Yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin malzeme kullanımı ve yük farklarına göre sınıflandırılması.....	59
Şekil 5.2	Yüksek yapının, oluşan yüklerle etkileşimi.....	60
Şekil 5.3	Yüksek binayı etkileyen yükler.....	61
Şekil 5.4	Düşey yüklere dayanan yapı elemanlarının hiyerarşisi.....	62
Şekil 5.5	Bina üzerinde oluşan yatay yüklerin yarattığı kesme kuvvetlerinin prezantasyonu.....	63
Şekil 5.6	Yatay yükler sebebiyle oluşan kesme kuvvetlerine dayanan sistemler.....	64
Şekil 5.7	Kolon-kiriş vidalanmış ve kesme kuvvetine dayanıklı bağlantı detayı.....	68
Şekil 5.8	Serbest ve oturtulmuş kiriş bağlantı detayları.....	68
Şekil 5.9	Momente dayanıklı çerçeve sistemin yatay yüklerle etkileşimi.....	70
Şekil 5.10	Kuşaklanmış çerçeve sisteminde oluşan deformasyonlar.....	71
Şekil 5.11	Kuşaklama sistemlerinin çeşitleri ve diyagonaller üzerindeki yatay kesme kuvvetlerinin yük yolları.....	72
Şekil 5.12	Düzensiz kafes-kiriş sistemleri.....	73
Şekil 5.13	Eksantrik diyagonal kuşaklama sistemi.....	75
Şekil 5.14	Rijit çerçeve ve diyagonal çekirdek kuşaklamasının plan şemaları.....	77
Şekil 5.15	Askı-gergi ve kuşak kafes-kirişleri.....	78
Şekil 5.16	First Wisconsin Center, Milwaukee.....	79
Şekil 5.17	Çerçevenilmiş tüp sistemi.....	81
Şekil 5.18	Çerçevenilmiş tüp sisteminde gözlenen kesme kuvveti yetersizliği.....	82
Şekil 5.19	Yakın yerleştirilmiş diyagonal kolonlara sahip tüp sistemli bina.....	83

Şekil 5.20	Diyagonal kuşaklamalı tüp sistemleri.....	84
Şekil 5.21	John Hancock Tower, Chicago.....	85
Şekil 5.22	Şikago’ da ki Sears Tower binası.....	87
Şekil 5.23	Çelik döşeme sistemleri.....	89
Şekil 5.24	Çelik taşıyıcı sistemlerde, tek yönlü kiriş sistemi.....	90
Şekil 5.25	Çelik taşıyıcı sistemlerde, iki yönlü kiriş sistemi (nervürlü döşemeye benzer bir sistem).....	90
Şekil 5.26	Çelik taşıyıcı sistemlerde, üç yönlü kiriş sistemleri (nervürlü döşemeye benzer bir sistem).....	91
Şekil 5.27	Karma döşeme sistemleri.....	92
Şekil 5.28	Yerçekimi yükünü taşıyan çelik kolon örnekleri.....	93
Şekil 5.29	Betonarme taşıyıcı sistemler.....	95
Şekil 5.30	Döşeme ve kolonların oluşturduğu, yatay yüklere dayanıklı sistemler.....	96
Şekil 5.31	Kirişsiz döşeme ve perde duvar sistemi.....	97
Şekil 5.32	Geniş aralıklarla yerleştirilmiş çevre kolonlarının oluşturduğu tüp bina	100
Şekil 5.33	Çekirdekten destekli bina örnekleri.....	101
Şekil 5.34	Perde duvar-çerçeve kombinasyonuna pratik örnek.....	103
Şekil 5.35	Diyagonal kuşaklanmış betonarme tüp sistemini gösteren şematik görünüş (New York, Third Avenue, 50 katlı ofis binası).....	106
Şekil 5.36	Betonarme tüp sistemi ve özellikleri.....	107
Şekil 5.37	Tek yön döşeme.....	109
Şekil 5.38	Tek yön nervürlü döşeme ve kirişler, kaydırılmış nervür kirişleri.....	109
Şekil 5.39	Ana taşıyıcı kirişler ve kirişler üzeri tek yön döşeme, nervürlü döşeme.....	110
Şekil 5.40	İki yönlü kirişsiz döşeme.....	110
Şekil 5.41	İki yönlü kolon başlıklı ve düşük panelli mantar, kirişsiz döşeme	111
Şekil 5.42	Kaset döşeme.....	111
Şekil 5.43	Gusseli kirişler ve nervürlü döşeme sistemi.....	112
Şekil 5.44	Karma düşey taşıyıcı elemanlar.....	114
Şekil 5.45	Japon karma inşaat detayları.....	115
Şekil 5.46	Çelik tüp içi dolgu beton karma kolon şeması.....	117
Şekil 5.47	Çelik plakalı karma perde duvarlar.....	118
Şekil 6.1	Ofis binasının kat planları.....	121
Şekil 6.2	Ofis binasının kesit ve görünüşü.....	122
Şekil 6.3	Ofis binasının perspektifleri.....	123
Şekil 6.4	Otel binasının plan şeması.....	124
Şekil 6.5	Otel binasının kesitleri ve görünüşleri.....	125
Şekil 6.6	Otel binasının perspektifleri.....	126
Şekil 6.7	Apartman binasının plan şeması.....	127
Şekil 6.8	Apartman binasının kesit ve görünüşü.....	128
Şekil 6.9	Apartman binasının perspektifleri.....	129
Şekil 6.10	Çok amaçlı yüksek yapı vaziyet planı (+50 feet ve +40 feet kodu).....	131
Şekil 6.11	Çok amaçlı yüksek yapı alış-veriş ve yaya kademesi (+40 feet kodunda).....	132
Şekil 6.12	Çok amaçlı yüksek yapı otopark katları.....	134
Şekil 6.13	Çok amaçlı yüksek yapı ofis katları planları.....	135
Şekil 6.14	Çok amaçlı yüksek yapı otel yatak katı, servis katları ve otel gök lobisi planı.....	136
Şekil 6.15	Çok amaçlı yüksek yapı apartman lobi ve 43 katlı apartmanın tipik kat planı.....	137
Şekil 6.16	Çok amaçlı yüksek yapının fonksiyonel kesiti ve görünüşleri.....	138
Şekil 6.17	Çok amaçlı yüksek yapının perspektifleri.....	139
Şekil 6.18	Çok amaçlı yüksek yapının perspektifleri.....	140
Şekil 6.19	Çok amaçlı yüksek yapının perspektifi.....	141

ÖZET

Bu tezin amacı, dünyada 1850'li yıllardan sonra başlayan ve Türkiye'de, özellikle İstanbul'da birkaç yıl önce başlayan yüksek yapı üretimini anlayabilmek amacıyla yüksek yapıların tanımı, yüksek binalar üzerinde dominant yüklerin belirlenmesi, kısa ve öz olarak yüksek yapı tasarım sürecinde etkili olan her türlü faktörü incelemek, yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin tasarımında etkili olan faktörleri belirlemektir ve mimari açıdan yüksek yapı taşıyıcı sistemleri hakkında bilgi sağlamaktır.

Yüksek yapılar bulundukları bölgeye ekonomik, sosyal, kültürel, teknolojik, şehirselle avantajlar ya da dezavantajlar sağlar. Altyapısı kuvvetli, çevreye ve şehirselle yapıya uygun yüksek yapılar, yapının gereksinimleri karşılanarak uygulanırsa, bölgeye bir çok yarar sağlar. Bunun tersi sorunlara sebep olur.

Yüksek yapı tasarımı coğrafik etkilere duyarlıdır. Coğrafik etkiler rüzgar ve deprem yükleri olarak ele alınabilir. Bu yükler yüksek yapının geometrisini, boyutlarını, fonksiyonunu ve yapının taşıyıcı sistemini etkiler. Yüksek yapının taşıyıcı sisteminin verimli, ekonomik ve optimum bir düzeyde tasarlanması gerekir.

Bu çalışmada, gerekli verilerin elde edilebilmesi için, kaynaklardan ve Illinois Institute of Technology, Şikago'da yapılan gözlem ve çalışmalardan yararlanılmıştır. Bu çalışmada yüksek yapının tanımı belirlenmiş, yüksek yapıyı etkileyen yükler belirlenmiş, bu yüklere dayanıklı taşıyıcı sistemler yapı malzeme ve türlerine göre sınıflandırılmıştır ve örneklerle desteklenmiştir.

Sonuçta, yüksek binayı etkileyen dominant yükün rüzgar yükü olduğu, deprem yükünün ise ikincil bir düzeyde etkili olduğu anlaşılmıştır. Yüksek yapının taşıyıcı sistem tasarımının bu bulguların bilincinde tasarlanması gerektiği, ekonomik, verimli ve optimum bir yüksek yapı taşıyıcı sistemi tasarımı için yüksek yapının, olumlu olumsuz her faktörünün bir bütünün parçası olarak düşünülmesi gerektiği ve yüksek yapının uygulanabilirliğinin, ekonomikliğinin ve verimliliğinin başarılı bir taşıyıcı sistem tasarımı sayesinde sağlandığı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Yüksek Bina, Taşıyıcı Sistemleri, Tasarım Kriterleri, Rüzgar Yükleri, Deprem Yükleri.

ABSTRACT

Tall building production has started in 1850's in the world. It has started a few years ago in Turkey, especially in Istanbul. The purpose of this research is; to define the tall building, to define the dominant loads on the building, to observe shortly all the factors that are important during the design phase of the tall building, to define the factors that have effects on the design of structural system of the tall buildings, and to provide knowledge about the tall building structural systems from an architectural point of view for understanding the design and construction phase of the tall building production in the world and in Turkey.

Tall buildings provide economical, social, cultural, technological and urban advantages or disadvantages to the area that they are built. Tall buildings that fit to urban structure, environment and that have strong infra structure support provides lots of advantages. The opposite creates lots of problems.

Tall buildings are sensible to geographic effects and factors. Geographic effects can be considered as wind loads and seismic loads. Those loads have major effects on the geometry, function, proportions and the structural system of the tall building. Tall building structure has to be designed and calculated at an economical, efficient and optimum level.

To provide the necessary data for this research, references are used, observations and projects have been developed at Illinois Institute of Technology, Chicago. In this research, definition of the tall building is given, loads effecting the tall building are defined, structural seystems resisting those defined loads are separated to structural material categories and are supported by example case study projects.

As a conclusion, wind load is noticed as the dominant load effecting the tall building, while the seismic load is noticed as the secondary dominant load. It is concluded that the tall building structural siystems has to be designed with the knowledge of those loads. To achieve an economical, efficient and optimum structure all the factors has to be considered as a part of the whole design process and it is concluded that applicability, efficiency and economy of the tall building is provided by a successful structural system design.

Keywords: Tall Building, Structural Systems, Design Criteria, Wind Loads, Seismic Loads.

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Dünyadaki ekonomik değişimler, şehirleşme ve nüfus artışı yüksek yapılara karşı bir ihtiyaç oluşturmuştur. Aslında yüksek yapı kavramı yeni bir kavram değildir. Tarihte, o zaman için yüksek sayılan bir çok yapı ve anıtle karşılaşabiliriz. Günümüzdeki yüksek yapı anlayışının tek farkı fonksiyonel değişimlerdir. Tarihte anıt niteliği taşıyan yüksek yapılar, günümüzde yaşam mekanları olarak tasarlanmaktadır.

Yüksek yapı tasarımı, beraberinde bir çok sorunu da gündeme getirir. Ölçek olarak bakıldığında, 100 katlı bir yüksek yapı, küçük bir kasaba nüfusunun barındığı mekan haline gelebilir. Böyle bir nüfusu barındıracak yüksek yapıların bulunduğu bölgelerin, bu yapının doğuracağı çevresel ve şehrsel sorunları karşılayabilir nitelikte olması gerekmektedir. Alt yapı, trafik, şehrsel ölçekteki oransızlıklar, sosyal ve kültürel değişimler ve farklılıklar gibi sorunlar, yüksek yapının üretimiyle birlikte artan sorunlardır. Bu yüzden, yüksek yapının bulunacağı bölgenin şehrsel planlaması ve çevresi böyle bir yükü kaldıracak nitelikte olmak zorundadır. Yüksek yapı üretildiği bölgede devamlı sorun yaratmaz. İyi bir şehrsel planlamaya sahip bir bölgede üretilen yüksek yapı bu bölgeye bir çok katkıda bulunur ve sorunlar yerine sosyal, kültürel ve ekonomik avantajlar sağlar.

Son birkaç yılda, İstanbul’ da bir çok yüksek yapı inşa edilmiştir. Belki Türkiye’ nin ekonomik durumu bu yapıların üretilmesi için elverişlidir fakat yetersiz bir planlama ile üretilen bu yapılar, coğrafi, çevresel ve şehrsel açıdan, avantajlar yerine sorunlar doğurmaktadır.

Yüksek yapı tasarımında önemli olan bir diğer faktör ise, yapının, etkileneceği ve karşılaşacağı yükler karşısında dayanıklı olması ve ayakta durmasıdır. Yüksek bir yapının inşa edildikten sonra çökmesi veya tamir edilemeyecek hasarlar görmesi, ekonomik çevresel ve hayati sorunlar yaratır. Bir kasaba nüfusu kadar nüfus barındıran bir yapının çökmesi bir faciaya sebep olacaktır ve tamir edilemeyecek hasarlar bu binanın kullanım dışı kalmasına ve sonuç olarakta daha büyük ekonomik ve çevresel zararlara yol açacaktır.

Bu çalışmanın amacı, yüksek yapılarda karşılaşılan yüklerin belirlenmesi, sınıflandırılması ve yüksek yapının, bu yükler karşısındaki dayanımını sağlayacak taşıyıcı sistemlere mimari açıdan bir yaklaşım sağlamak ve yüksek yapı tasarım sürecini belirlemektir.

1.2. Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışma kişisel gözlemlere, kaynaklara ve bu çalışmanın hazırlanması sürecinde Illinois Institute of Technology, Şikago’ da yapılan araştırmalara dayanmaktadır.

Yüksek yapı tasarımına başlamadan önce yüksek yapının tanımını ve çevreden ne şekilde etkilendiğini belirlemek gerekmektedir. Yapılacak araştırmalarla ve kaynaklardan yararlanılarak, yüksek yapının tanımı ve çevreden ne şekilde etkilendiği belirlenecektir.

Yüksek yapı tasarımını ve sistemlerini etkileyen yerel problemler yanı sıra, yüksek yapının karşılaması ve dayanması gereken bir çok faktör vardır. Bunlardan dominant olanları rüzgar ve deprem yükleridir. Yüksek yapı taşıyıcı sisteminin bu iki yüke ve yerçekimi sebebiyle oluşan düşey yüklere karşı dayanıklı olması gereklidir.

Rüzgar ve deprem yükleri, yüksek yapı üzerinde istenilmeyen etkilere sahiptir. Rüzgar, günün 24 saati binayı etkisi altında tutmaktadır. Deprem yükleri de rüzgar yükleri gibi istenilmeyen etkilere sahiptir. Yapılan araştırmalarla, yüksek binaları etkisi altında tutan rüzgar ve deprem yükleri belirlenmeye ve yarattığı etkiler saptanmaya çalışılacaktır.

Yüksek yapıların üzerinde etkili olan iki tür yük dağılımı vardır. Bunlar, yatay ve düşey yük dağılımlarıdır. Yapılan araştırmalarla bu yüklerin kaynakları ve bina üzerindeki dağılımları belirlenmeye çalışılacaktır. Belirlenen yük çeşitleri kullanılarak, bu yüklere dayanan taşıyıcı sistemler sınıflandırılmaya çalışılacaktır.

Bu çalışma kapsamında, yapılacak araştırmalar sınıflandırılırsa;

1. Yüksek yapının tanımı ve yüksek yapıyı etkileyen yüklerin belirlenmesi.
2. Bu yükler kapsamında, yüksek yapının tasarımı sırasında seçilebilecek yapı malzemelerinin belirlenmesi, yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin kategorize edilmesi ve araştırma sürecinde yapılan örnek projelerin sergilenmesi.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Çalışma aşağıda belirtildiği gibi altı bölümden oluşmaktadır.

Birinci Bölümünde: Çalışmanın amacı, yöntemi ve kapsamı anlatılmaktadır.

İkinci Bölümde: Yüksek yapı tasarımına genel yaklaşımlar ve yüksek yapı yapısal konsepti anlatılmaktadır. Yüksek yapının tanımı ve yapının strüktürel olarak nasıl algılanması gerektiği belirlenmiştir.

Üçüncü Bölümde: Yüksek yapı üzerinde dominant etkilere sahip rüzgar yükü anlatılmaktadır. Rüzgar yükü yüksek yapı taşıyıcı sistemi, yapı elemanları ve kullanıcıları üzerinde istenilmeyen etkilere sahiptir. Bu bölümde bu etkiler ve konseptler anlatılmaktadır.

Dördüncü Bölümde: Yüksek yapı üzerinde diğer dominant etkiye sahip deprem yükü anlatılmaktadır. Deprem yükü, aynen rüzgar yükünde de olduğu gibi, yüksek yapı taşıyıcı sistemi, yapı elemanları, bina temli ve kullanıcılar üzerinde istenilmeyen etkilere sahiptir. Bu bölümde bu etkiler ve konseptler anlatılmaktadır.

Beşinci Bölümde: Belirlenen yük dağılımları ve yük türlerine göre yüksek yapı taşıyıcı sistemleri anlatılmaktadır. Yüksek yapı taşıyıcı sistemleri malzemeler ve yüklere göre sınıflandırılmış ve günümüzde kullanılan bir çok sistem kategorize edilmeye çalışılmıştır.

Altıncı Bölümde: Yüksek yapı taşıyıcı sistemlerine örnek sayılabilecek araştırma projeleri sergilenmektedir. Bu projeler, mimari açıdan fonksiyonel sorunlarıyla, çözümleriyle ve taşıyıcı sistem seçimi olarak incelenmiştir ve örnek proje olarak, okuyucuyu bilgilendirmek amacıyla sergilenmiştir.

Yedinci Bölümde: Bu çalışma sonucunda varılan sonuçlar ve görüşler anlatılmaktadır. Yüksek yapının tasarım süreci gözden geçirilmektedir ve tasarım sürecinde dikkat edilmesi gereken noktalar belirlenecektir.

2. GENEL YAKLAŞIMLAR

2.1. Yüksek Yapının Tanımı

Mısır'daki Giza piramitleri, Tikal'daki Maya tapınakları, Guetamala ve Hindistan'daki Kutab Minar gibi tarihi yüksek yapılar, tarih içinde, insanların yüksek yapı inşa etme isteğinin artarak devam ettiğinin örnekleridir. Bu yapılar, yaşanacak mekanlar yerine tapılacak birer anıttır. Buna karşın, günümüzdeki yüksek yapılar, hızlı bir şekilde artan şehirleşme ve nüfus artışına bir çözüm olarak görülmektedir. Aynı zamanda, düşey ölçekteki brüt aşırılık, bu binaların, tarihte olduğu gibi, anıt niteliğine sahip olmalarını sağlamaktadır. Bu binaların geçmişte tapınakken günümüzde yaşanabilir alanlar olması, basitçe fonksiyon değişikliği, bu binaların öz dayanıklılık ve kuvvet gereksinimlerini değiştirmemiştir. Yapısal gereksinimler aynıdır fakat yapı malzemeleri ve bina üretim metotları farklıdır.

Eski yapıların tasarımında yapının taşıyıcı sisteminin davranışı ve özelliği önemsizdi. Yapıların dolu oluşu ve bu sebeple ortaya çıkan kütsel ağırlık yapının yeterince sağlam ve kuvvetli olmasını sağlıyordu. Buna karşın, günümüzdeki yüksek yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan yapı elemanlarının yoğunluğu ve ölçüleri şaşılabacak şekilde azdır ve estetik prensipler, yeni yapı sistemleri ve emlak marketi sayesinde yapı elemanlarının yoğunluğu ve ölçüleri daha da azalmaktadır. Bu yüzden, yüksek yapı teknolojisinin eğilimi, yapının kabuğu ve içinde kullanılan yapı elemanlarının miktarındaki azalma olarak algılanabilir.

Başarılı bir yüksek bina tasarımı, mekanik ve elektrik, taşıyıcı sistem ve mimari çözümlerin yarattığı karşıt gereksinimleri ekonomik olarak tatmin etmelidir. Taşıyıcı sistem açısından, bir yapı yüksekliği nedeniyle, tasarımda, inşaatta ve kullanımda diğer alçak örneklerine nazaran zorlu koşullar doğuruyorsa, yüksek yapı olarak tanımlanır. Bu zorlu koşullar bina üzerindeki çeşitli yükler, rüzgar, yer çekimi, deprem, binadaki hareketli ve hareketsiz yükler, binanın tasarımını etkilemeye başladığı zaman anlaşılır. Örneğin, binanın taşıyıcı sistemine ve yapı elemanlarına zarar gelmemesi için binanın tasarımı sırasında hesaplanan kuvvet, dayanıklılık ve katılık dışında binaya etki eden rüzgar, deprem yükleri de göz önüne alınmalı ve hesaplanmalıdır. Yüksek olmayan binalarda rüzgarın yarattığı yük zarar verici olmamasına karşın yüksek binalarda bu yükler deprem yükünden daha fazla olmaktadır. Kuvvetli fırtınaların olduğu zamanlarda da, rüzgarın üst katlarda yarattığı salınım frekansı, binada

alışan veya yaşayan insanların rahatını bozmaması ve psikolojik olarak hareketi algılayıp güvensiz hissetmemeleri için belirli limitler içinde tutulmalıdır.

Yüksek yapının bir çok farklı tanımını vardır. Bazı kaynaklara göre, bulunduğu şehirsel evre içerisinde ve çevresindeki binalara göre daha yüksek ve dominant bir niteliğe sahip olan her bina yüksek yapıdır. Örneğin, 80 katlı binalardan oluşan bir şehirsel alanda, bu binaların yüksek yapı niteliği kalmaz. Bu binalar arasında birde 140 katlı bir bina varsa, o bina yüksek yapı olarak adlandırılır. Başka bir kaynağa göre de, itfaiyenin yangın merdiveninin ulaşamadığı yüksek katlara sahip olan bina yüksek yapı olarak adlandırılır. Yüksek yapının gerçek ve bir çok profesyonel açısından tanımını ise şöyledir; çok katlı bir bina, rüzgar, basınç, deprem gibi yükler karşısında özel bir çözüm gerektiriyorsa, yüksek bina olarak adlandırılır.¹

Günümüzde yüksek yapı mimarisinin eğilimi, karmaşık ve değişken detaylara sahip giydirme cephe sistemi kullanarak, tamamen bütün bir mekansal form yaratmaktır. Bu eğilimin amacı, tasarlanan yüksek binayı şehirsel mekanda göze çarpar kılmak ve aynı zamanda, binanın i mekanlarını, binada çalışan veya yaşayan insanlara, çarpıcı ve etkileyici olacak şekilde tasarlamaktır. Genelde, ortaya çıkan mimari ve taşıyıcı sistem tasarımı, karmaşık olmaktadır. 1970 li yıllara kadar, mühendisler, binanın mimarisi üzerinde büyük etkiye sahiplerdi. Günümüzde, bilgisayarın sağladığı engin analitik destek sayesinde, özellikle deprem bölgelerinde, mühendislerin binaların mimarisi üzerindeki etkileri azalmıştır. Serbest form mimari, temel alınan taşıyıcı sistemlerin incelenmesini veya mühendisin, temel sistemleri uyarlamasını ya da yeni bir sistem icat etmesini gündeme getirmiştir.

Bir yüksek binaya ait, birden çok ve uygulanabilir taşıyıcı sistem zmne ulaşmak ne kadar imkansız olsa da, ortaya çıkan temel tasarımı, bu sistemin, binanın fonksiyonel ve genel gereksinimlerini karşılayışına dayanmaktadır. Bu yüzden, taşıyıcı sistemlerin optimizasyonu, diğer bina gereksinimleri ile birlikte bir bütün içinde olmalıdır.

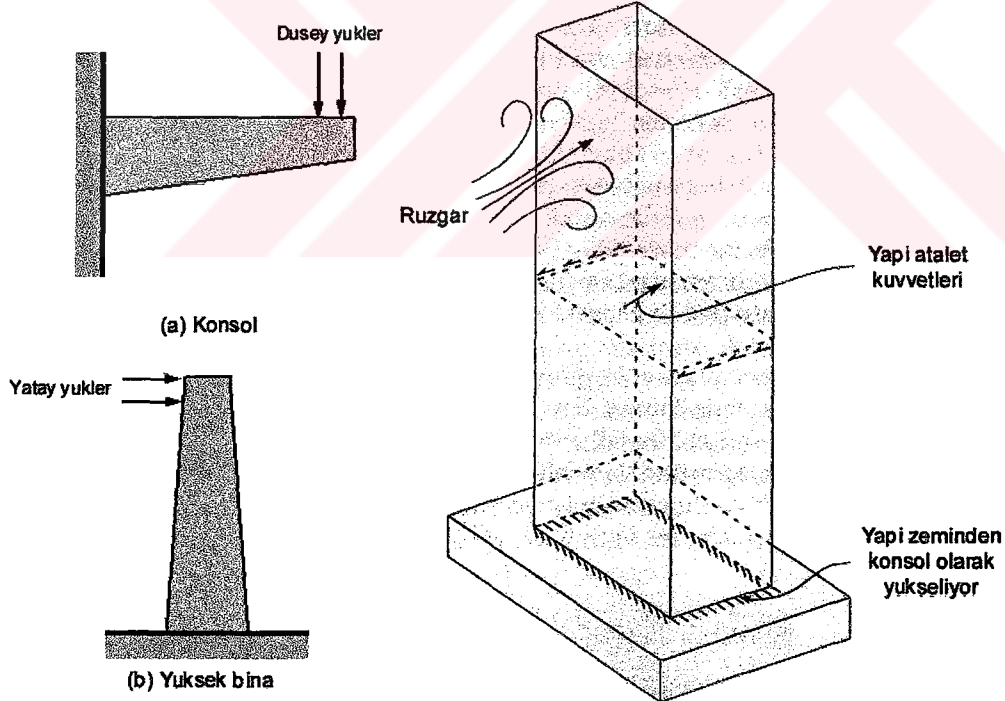
Yüksek yapının formu, binanın rüzgar ve deprem etkileri karşısında davranışını etkilemektedir, fakat zamanımızda, çok az mühendis binanın formu üzerinde değişiklik yapabilir. Eğer mühendislere bu hak tanınsaydı, mimarinin anlamını kalmaz ve bütün yüksek yapılar kare, dikdörtgen, yuvarlak veya prizma formunda olurdu. Günümüzde, mühendislerin

¹ Council on Tall Buildings and Urban Habitat, "Architecture of Tall Buildings", s: 8, 1995.

görevi, mimarın tasarladığı forma uyan, optimum bir taşıyıcı sistem kullanmak veya yaratmaktır.

2.2. Yüksek Bina Yapısal Konseptleri

Dar, yüksek bir binanın taşıyıcı sistemini oluşturmak için, o binanın, yeryüzüne bağlı bir konsol kirişi gibi davrandığını, konsept olarak algılamak gerekir (Şekil 2.1). Rüzgar ve atalet yükleri gibi binayı yatay etkileyen yükler, yapı üzerinde kırılma, salınım ve eğilme etkileri yaratır. Yapı, bu yüklere karşı dayanıklı olan bir taşıyıcı sisteme sahip olmalıdır. Yapı, kesme (shear) yükü etkisi altındayken, kırılmamalı, ve elastik limiti aşmamalıdır (Şekil 2.2). Yapı, eğilme (bending) yükü etkisi altındayken, rüzgar, deprem ve yerçekimi yüklerinin oluşumu sonucu, devrilmemeli, kolonlar, oluşan gerilme yükü etkisinde, kırılmamalı ve aynen kesme yükünde olduğu gibi elastik limiti aşmamalıdır (Şekil 2.2). Özellikle deprem bölgelerinde olan yapılar, depremin oluşturduğu yükler etkisinde, düşey taşıyıcılığını kaybetmemelidir.

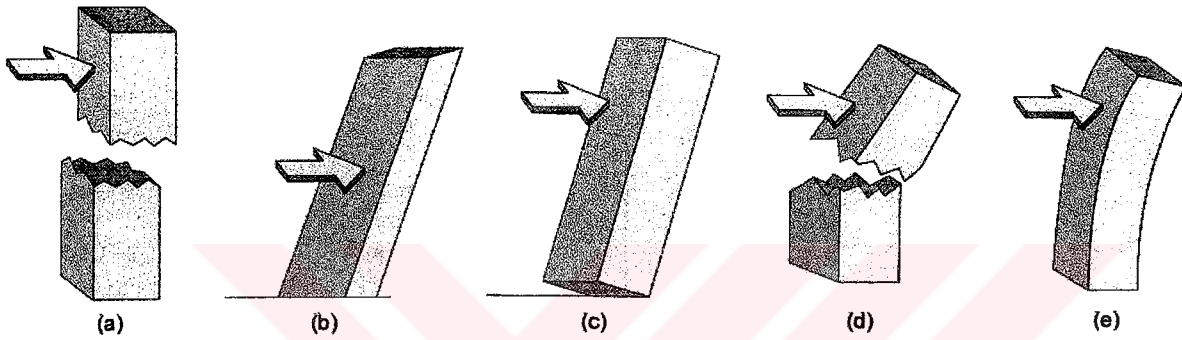


Şekil 2.1 Yüksek binanın yapısal konsepti; yüksek bina yerden yükselen bir konsol gibi davranmaktadır ve konsol sistemde olduğu gibi yüklerin dağılımı çok önemlidir.

Taşıyıcı sistem kesme (shear) ve eğilme (bending) yükleri etkisi altındayken, yapıda salınım ve hareket başlar. Eğer bina belirlenen ve hesaplanan limitlerin dışında bir sallanma

frekansına sahipse, binada bulunan insanların rahatı bozulur ve, daha da önemli olarak, aşırı salınım ve hareketten oluşan yükler binanın yapı elemanları üzerinde yıkıcı bir etki bırakır.

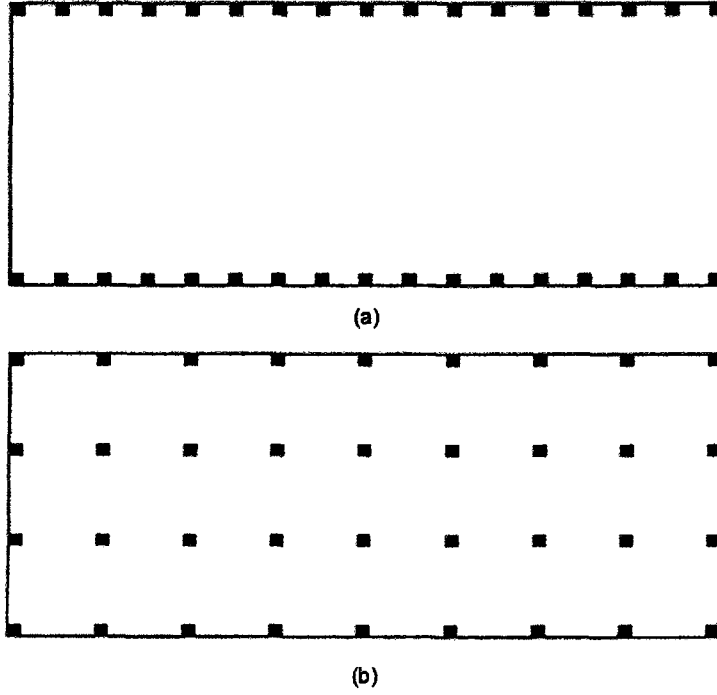
Eğilme (bending), kesme (shear) ve vibrasyona dayanabilecek mükemmel bir taşıyıcı sistem, yapının geometrik merkezinden ideal uzaklıkta yerleştirilmiş düşey devamlılığı sağlayan sistemdir. Belki de betonarme bir baca ideal bir örnek olabilir ya da rasyonel süper yüksek bir bina formu için etkileyici bir mühendislik modeli olarak düşünülebilir. En iyi çözüm için yapılan tüm çalışmalar, betonarme bacanın ideal formunu pratik bir iskelet sisteme dönüştürmekte yatar.²



Şekil 2.2 Yapı kesme yükü (shear) ve eğilme yükü (bending) dayanımı: (a) yapı kırılmamalı; (b) yapı kesme yükü altında aşırı eğilmemeli; (c) yapı devrilmemeli; (d) kolonlar eğilme yükü etkisiyle taşıyıcılığını kaybetmemeli; (e) yapı eğilme yükü altında esneklik limitini aşmamalı.

Yapının yeryüzüne nazaran bir konsol kiriş gibi davrandığı düşünülürse, tüm kolonların, tasarlanan planın en uç noktalarında olması gerektiği gerçekçi bir teoridir. Bu noktaya deyinilirse, Şekil 2.3(a)' de gösterilen plan, Şekil 2.3(b)' de gösterilen plana tercih edilecektir. Her bina planı bu şekilde olmayacağına göre, taşıyıcı sistem çözümünde, eğilme (bending) yüküne karşı kolonların pozisyonun ve kolonların nasıl davrandığının incelenmesi şarttır. Taşıyıcı sistemlerin verimini açıklayabilmek için, ilk kez Progressive Architecture dergisinde yayınlanan, iki veriyi inceleyeceğiz. Bu veriler; Bending Rigidity Index (Eğilme Dayanıklılık İndeksi (BRI)) ve Shear Rigidity Index (Kesme Dayanıklılık İndeksi (SRI)). Eğilme yüküne karşı, dört ana köşesinde kolon olan kare bir bina, en verimli form ve düzendir. Bu plan en yüksek eğilme dayanıklılık verimine sahip olduğu için bu formun Bending Rigidity Index (Eğilme Dayanıklılık İndeksi) değeri 100 olarak kabul edilir (Şekil 2.4(a)). BRI, bu plan formunda kullanılan ve merkezden bir bütün olarak davranan dört ana kolonun toplam atalet momentidir.

² Bungle S. Taranath, "Steel, Concrete, & Steel Design of Tall Buildings", s: 4, 1997



Şekil 2.3 Yapı plan formları: (a) kolonlar en köşe ve en geniş yüzeyde ve yalnızca dış bölüme yerleştirilmiş; (b) kolonlar tekdüzen ve eşit aralıklarla binanın tümünde yerleştirilmiş.

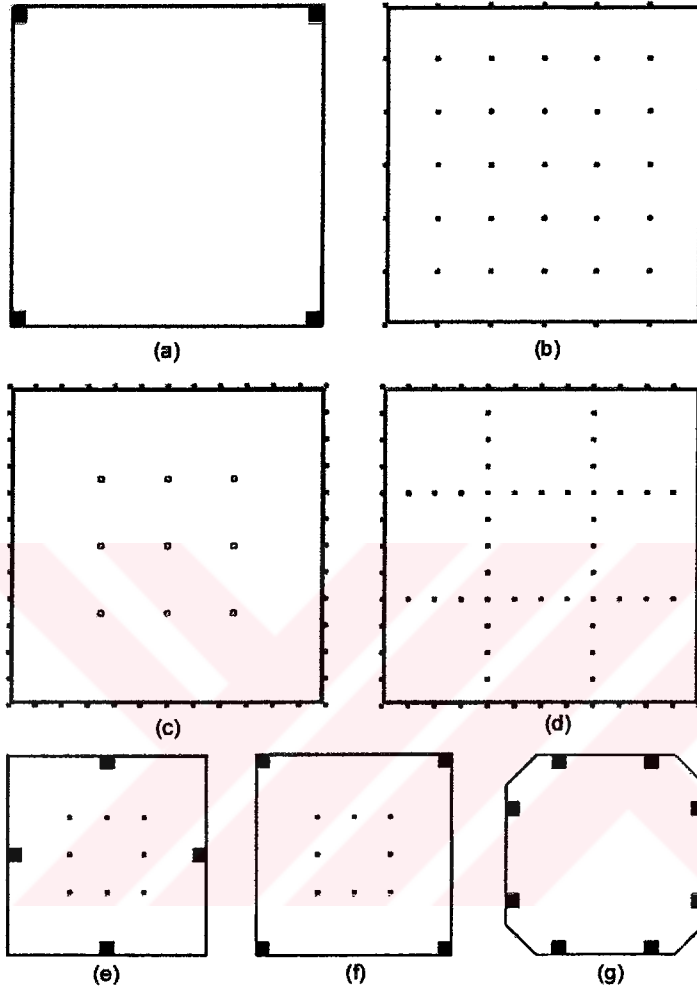
Empire State Building gibi geçmişte yapılan uygulamalarda, tüm kolonlar yan yüklere (rüzgar, deprem) karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanıyordu. Bu binada kolonlar düzenli aralıklarla yerleştirildiğinden BRI si 33 olarak belirlenmiştir (Şekil 2.4(b)).

1980 ve 1990 lı yılların modern bir binası, dışta yakın aralıklarla yerleştirilmiş kolonlar ve bina merkezine (elevator core) uzanan geniş açıklığa sahipti. Bu sistem tüp, "Tube", sistemi olarak adlandırılır. Yalnızca dış kolonlar yan yüklere dayanırsa, binanın BRI sı 33 olur. New York' taki *World Trade Center* binası bu sisteme bir örnektir (Şekil 2.4(c)).

Chicago' da *Sears Tower* binasında tüm kolonlar yan yüklere dayanmaktadır. Bu sistem, basitçe, birleştirilmiş tüp, "Bundle Tube", olarak adlandırılır. Bu binanın da BRI sı 33 tür (Şekil 2.4(d)).

Citicorp Tower binasındaki tüm kolonlar yan yüklere dayanmaktadır, fakat kolonların köşelere değil de kenar ortaylara yerleştirilmiş olması, binanın BRI' ını 31' e düşürmüştür (Şekil 2.4(e)). Eğer kenar ortaylardaki dört kolon köşelere yerleştirilmiş olsaydı, binanın BRI sı 56' ya yükselecekti. Binanın merkezinde düşey yükleri karşılayan sekiz kolon bulunduğundan, BRI değeri tam 100 olamıyor (Şekil 2.4(f)).

Houston, Texas' ta tasarlanan Bank of Southwest Tower binasının planı ideal Eğilme Dayanıklılık İndeksine (BRI) yaklaşmıştır. Bu binanın BRI değeri 63 tür. Ofislerde güzel bir manzara sağlanması amacıyla, köşede bulunan kolonlar teorik olarak ikiye bölünmüş ve köşelerden uzaklaştırılmıştır (Şekil 2.4(g)).³



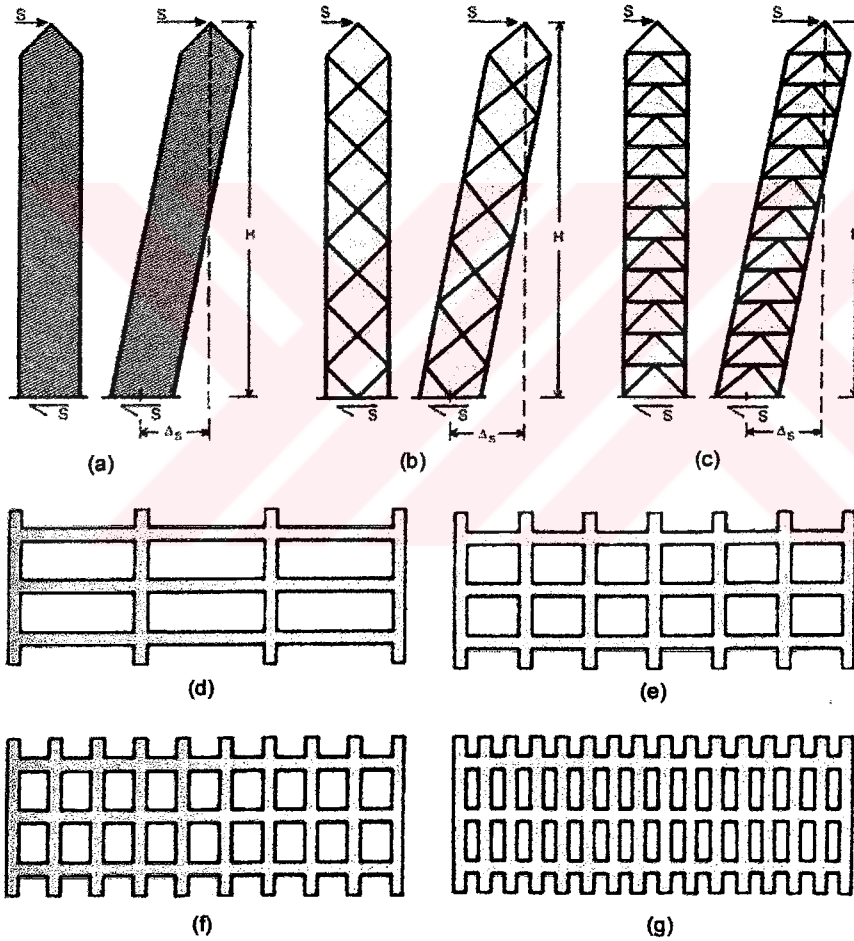
Şekil 2.4 Kolon yerleşimi ve Eğilme Dayanıklılık İndeksi (Bending Rigidity Index (BRI)): (a) köşe kolonlu kare bina, BRI=100; (b) 1930 ların geleneksel binası, BRI=33; (c) modern tüp bina, BRI=33; (d) *Sears Tower*, BRI=33; (e) *City Corp Tower*, BRI=33; (f) köşe kolonlu ve merkezi kolonlu bir bina, BRI=56; (g) *Bank of Southwest Tower*, BRI=63.

Kolonların yapının diğer taşıyıcı sistemleriyle bir bütün halinde davranışını sağlamak için, kolonların verimli bir kesme dayanıklılık sistemiyle (shear-resisting system) bağlanması

³ Bungale S. Taranath, "Steel, Concrete, & Steel Design of Tall Buildings", s: 5-6, 1997

gerekir. Bunu anlayabilmek için bazı örnek ve bu örneklerin Shear Rigidity Index' ine (Kesme Dayanıklılık İndeksi (SRI)) bakalım.

En ideal kesme sistemi bir plaka ya da boşluksuz bir duvardır. Bu sistemin SRI' si 100 dür (Şekil 2.5(a)). İkinci sistem ise, 45 derece açılardan oluşan diyagonal ağ sistemidir (diyagonal web system). Bu sistemin SRI' si 62.5 tir (Şekil 2.5(b)). Şekil 2.5(c)' de diyagonal ağ sistemine benzer, yatay bağlantılarında bulunduğu ve daha çok malzemenin kullanıldığı, tipik kuşaklama sistemidir (bracing system). Bu sistemin SRI değeri, kuşakların açısına bağlıdır. Eğer 45 derece kullanılırsa, SRI değeri 31.3 olur.



Şekil 2.5 Yüksek bina kesme kuvveti (shear) sistemleri: (a) kesme kuvveti duvarı (shear wall) sistemi; (b) diyagonal ağ sistemi (diyagonal web system); (c) diyagonal ve yatay kuşaklardan oluşan ağ sistemi; (d-g) sabit çerçeveler (rigid frames).

Yan yüklere dayanacak bir kuşaklama sistemi (bracing system) tasarlarken, rüzgar tasarımı ve deprem tasarımı arasındaki ayrımı iyi belirlemek gerekir. Yan yüklere dayanacak kuşak sisteminin tasarımı sırasında, imar planında belirlenen koşullar ya da binanın bulunacağı

bölgenin özel koşulları araştırılıp (zemin testi, vb.), rüzgar veya deprem sebebiyle oluşabilecek yatay yüklerden hangisinin dominant olduğu belirlenmeli ve tasarım bu yönde geliştirilmelidir. Buna rağmen, depremin şiddeti tam olarak belirlenemeyeceğinden, binanın deprem tasarımı, yapının depreme dayanıklılığı dışında yapı elemanlarında sınırlama ve özel detay çözümleri gerektirir. Bu yüzden, yüksek deprem riski bulunan alanlarda, tasarım sırasında yapılan araştırmalar rüzgar yükünün daha önemli olduğunu gösterse de, yapıya, deprem tasarımının gerektirdiği taşıyıcı sistem ve detay çözümü artı rüzgar yüküne karşı çözümler uygulanmalıdır. Deprem riski arttıkça, bina taşıyıcı sistemi çözümündeki detay ve gereksinimlerde artmaktadır.⁴

Şekil 2.5(d)' de gösterildiği gibi, en genel kesme sistemi, sabit şekilde birleştirilmiş çerçeve sistemidir. Bir sistemin SRI si ölçülerek bulunan verim değeri, o sistemi oluşturan parçaların uzunluk ve derinliklerine bağlıdır. Şekil 2.5(e), Şekil 2.5(f) ve Şekil 2.5(g)' de gösterildiği gibi, yakın aralıklı yerleştirilmiş kolon sisteminden oluşan bir çerçeve, kare bir binanın dört yüzünde kullanıldığı zaman, o binanın kesme kuvveti dayanıklılık değeri yüksek olur ve eğilme konfigürasyon verimi iki katına çıkar. Sonuçta ortaya çıkan sistem, bir çok yüksek binada genel olarak kullanılan, Tüp, "Tube", sistemi olarak adlandırılır. Chicago' da ki Sears Tower ve New York' taki World Trade Center, bu sisteme referans, iki örnektir.

⁴ Bungale S. Taranath, "Steel, Concrete, & Steel Design of Tall Buildings", s: 7-9, 1997

3. RÜZGAR ETKİLERİ

3.1. Tasarım Yaklaşımları

Yüksek yapılarda rüzgar, bina sahibini, mimarı ve mühendisleri ilgilendiren, çeşitli problemler yaratır. Binanın yüksekliği arttıkça, rüzgarın bina üzerindeki etkisi de artmaktadır. Statik rüzgar yükleri, binanın yüksekliğinin karesi oranında artar. Bu yükler sebebiyle, 1980' li ve 1990' lı yıllarda inşa edilen 300 metre yüksekliğindeki binalar, 1940' lı yıllarda inşa edilen 61 metrelik binalardan 25 kat daha dayanıklı olmak zorundadır. Rüzgarın hızı yükseklik arttıkça artar ve rüzgarın yarattığı basınç yükleri de rüzgarın hızının karesi oranında artar.

Yüksek yapıların rüzgar tasarımı, şu iki bilgiye dayanır; (1) taşıyıcı sistemin tasarımı sırasında dikkate alınması gereken toplam rüzgar etkileri, (2) binayı oluşturacak elemanların ve dış cephe kabuğunun özelliklerinin belirlenmesi için binanın bulunduğu bölgenin yerel rüzgar etkileri ve çeşitleri. Genelde, yerel ve toplam rüzgar etkilerini belirlemek için gereken aerodinamik bilgi, bu iki veriyle belirlenemez. Gerekli aerodinamik bilgiler, rüzgar tüneli testi kullanılarak bulunmalıdır. Genel plan formlarına sahip yüksek bina projeleri ve çevredeki binalar tarafından etkilenmeyecek yüksek binalar için daha önce elde edilen aerodinamik bilgileri kullanılabilir. Eğer iki bina arasındaki uzaklık, iki binanın taban ölçülerinin ortalamasının 6 ila 8 katı oranındaysa, binaların birbiri üzerinde yaratacağı rüzgar etkileri hesaplanmaz. Aynı geometriye sahip iki kare bina, aralarındaki uzaklık dikkate alınmasa da, verimli sayılır ve birbirini etkilemez.

Binanın rüzgar tasarımı yapılırken, binanın bulunduğu çevre faktörleri; çevredeki binalar, arazinin topografyası ve iklim, incelenmelidir. Rüzgarın binanın üst katlarında yarattığı salınım, gözle görülemez fakat binada bulunanlar açısından rahatsız edici bir faktör olabilir. Günümüzde, rüzgarın etkisiyle zarar gören çok az yüksek bina vardır. Buna rağmen, yeni inşa edilen ve hafif cephe kaplamalarına sahip, kuvvetli yapı malzemelerinin kullanıldığı, iskelet sistemli modern yüksek binalar, 1940' lı yılların yığma, doğal ağırlığı olan binalarına nazaran, rüzgardan daha çok etkilenmektedir. Eski binaların sahip olduğu bu ağırlık, rüzgar yüklerinin hesaplanmasını zorunlu kılmamıştır. Eski binalarda, rüzgarın yarattığı salınım ve sarsıntı hissedilmeyecek kadar azdır. Bunun aksine, modern ve hafif yüksek binaların üst katlarında, odaların ,hissedilecek bir biçimde, sarsıldığı, avizelerin sallandığı, kitapların devrildiği, ve bardaktaki suyun dahi döküldüğü görülmüştür. Eğer rüzgar bina üzerinde bükülme etkisi

yaratıyorsa, binada bulunan kişiler dışarıdaki çevre binaların hareket ettiğini düşünür ve uyum bozukluğu gibi psikolojik zorluklarla karşılaşabilirler. Daha kuvvetli fırtınalar sırasında bina üzerinde oluşan çekme ve itme basınçları, camların kırılmasına, dolayısıyla, yayaların yaralanmasına ve hatta ölmesine sebep olabilir. Rüzgarın etkisiyle, binanın çeşitli yapısal elemanlarının korkutucu ve rahatsız edici sesler yaratması çok rastlanan bir sorundur.

Yüksek yapının plan formu, bu yapının rüzgara karşı davranışında ana faktördür. Değişik formlar rüzgar etkisi altında değişik davranışlar sergiler. Mimarın belirlediği plan formuna uyarak, binayı rüzgara karşı dayanıklı kılacak bir taşıyıcı sistem çözülebilir. Fakat, bu formun, rüzgar yükü altında, verimli olup olmadığı sorgulanmalıdır. Binalar, aerodinamik etkilerin değişimi sebebiyle belirgin dinamik yüklerden etkileniyorlarsa, esnek olarak adlandırılırlar. Binanın yüksekliği, dar kenar ölçüsünün 6 katından fazlaysa, bu bina esnek sayılır ve rüzgar yükleri hesaplanmalıdır. Aynı gereksinim, eğer binanın hesaplanan doğal salınım frekansı 1 Hz' den fazlaysa da sağlanmalıdır.

Ulaşılması zor ana amaç, binanın yüksek katlarında oluşan bu sorunları kabul edilebilir limitler içerisinde tutmaktır. Kabul edilebilir limitlerin belirlenebilmesi zordur çünkü, günümüzde, insan psikolojisinin bu etkileri ne ölçüde ve ne limitlerde algıladığı ve rüzgarın doğasının nitelikleri yeni yeni anlaşılmaya başlanmıştır. Mühendisler, binayı stabil hale getirmek için taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların ölü yüklerini arttırmak yerine, yeni, hafif elemanlardan oluşan sistemler icat etmeye çalışmaktadırlar. Binanın düşey yüklerinin hesabı kolaydır. Hareketsiz yükler değişmez. Hareketli yükler ise yavaş yavaş değişir. Fakat rüzgarın hızı, yönü ve şiddeti her an değişmektedir. Rüzgarın yükü, hiç bitmeyen bir deprem gibi düşünülebilir. Rüzgarın binalar üzerinde üç ana etkisi vardır; (1) kaldırma, (2) sürüklenme, (3) bükme. Bu etkilerin azaltılması için *Damping Sistemi* iyi bir çözüm olarak düşünülebilir. Yüksek binalarda, rüzgara karşı dayanıklılığı arttırmak için, aşağıdaki faktörler kullanılmalıdır.

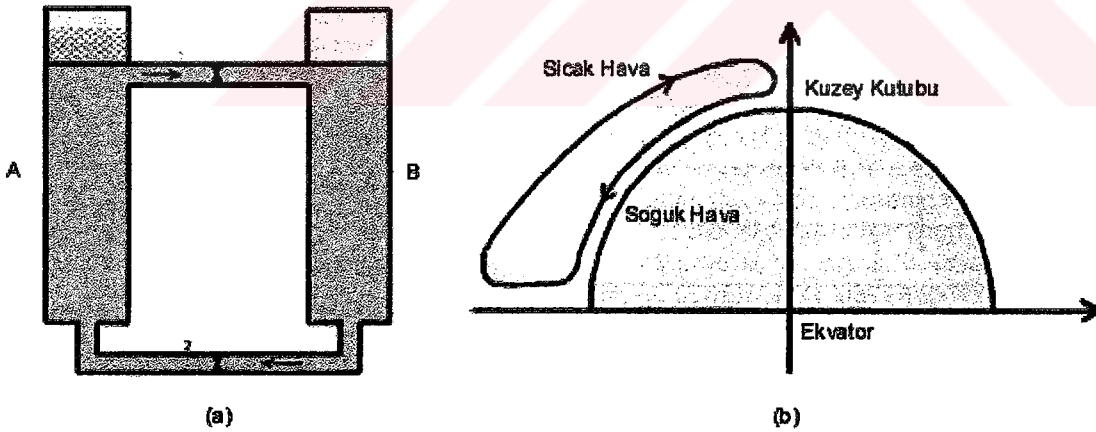
- Yüksek binaların kuvvet ve satabilite gereksinimleri.
- Taşıyıcı sistemi oluşturan malzemelerin ve bağlantı detaylarının, değişken ve şiddetli rüzgar yükleri sebebiyle yorulması.
- Aşırı rüzgar yükü dolayısıyla oluşan bina sarsıntı ve salınımı, bina içi bölmelerinin ve bina cephe kabuğunun çatlamasına, mekanik sistemlerin ve kapıların ayarlarının bozulmasına ve kalıcı deformasyonlar sebep olabilir.
- Salınım ve sarsıntının frekansı ve miktarı, binada bulunanları rahatsız edebilir.

- Yüksek bina üzerindeki rüzgar yükünün, binadan kurtulduktan sonra yön ve hız değiştirmesi, çevre binalar üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir.
- Yayalar üzerindeki etki.
- Rahatsız edici sesler.

3.2. Rüzgarın Doğası

3.2.1. Tanım

Rüzgar terimi, genelde, atmosferin yatay hareketinden oluşan hava hareketi olarak tanımlanır. Düşey veya düşeye yakın hava hareketleri ise *akım* olarak adlandırılır. Rüzgarlar, güneşin ısı enerjisinin homojen bir biçimde yayılmaması, kara ile deniz arasındaki termal değişkenlik nedeniyle oluşan sıcaklık farklılıkları ve bu farklılıkların yarattığı değişken basınçlar dolayısıyla oluşur (Şekil 3.1 (a)). Yakın bölgeler arasındaki sıcaklık farkı arttıkça zaman, sıcak hava yükselme eğilimi gösterir ve soğuk havanın üzerine çıkar. Havanın yer değiştirmesi rüzgarı ana nedenidir (Şekil 3.1 (b)). Bu şekilde oluşan rüzgarlar, dünyanın rotasyonu sayesinde ortaya çıkar (Şekil 3.2 (a,b)).⁵

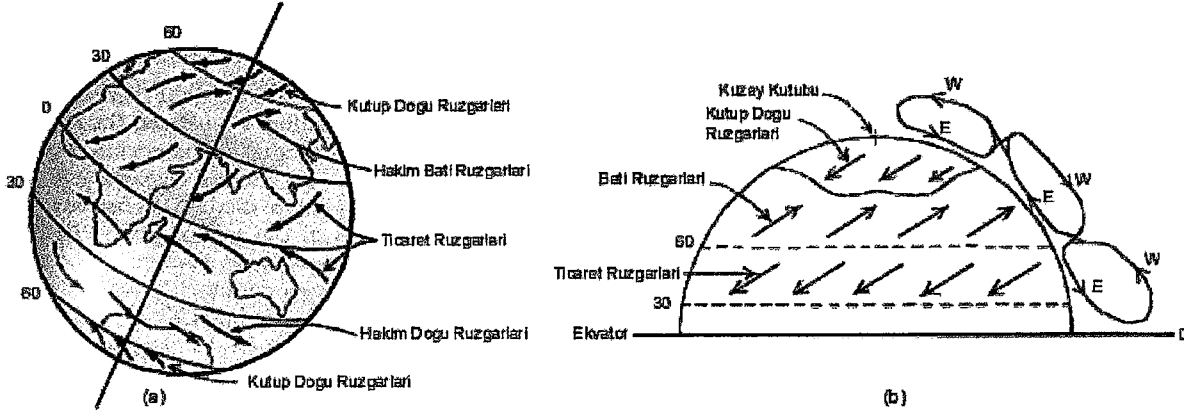


Şekil 3.1 Basınç farkları; (a) iki sıvı tüpü arasındaki sıcaklık farklılıkları dolayısıyla oluşan sirkülasyon şeması. “Physics of Air”, W. J. Humphreys, 1940, (b) atmosferik sirkülasyonun, basitleştirilmiş, şeması.

Rüzgarın hareketi üç boyutludur. Yatay hareket, düşey hareketten daha fazladır. Yer düzeyinde oluşan yatay rüzgar hareketi, düşey hareketle başlayıp belirli bir yüksekliği erişir. Bu yükseklikten sonra yatay rüzgar yer düzeyinde oluşan hareketten etkilenmez. Bu

⁵ Emil Simiu, Robert H. Scanlan, “Wind Effects on Structures”, s: 20, 1996

yükseklikteki rüzgar hızına *yokuş rüzgar hızı (gradient wind speed)* denir. Bu rüzgar oluşumu, genel olarak, 458 metreden sonra oluşur ve bu oluşumlar mühendisleri düşündürmektedir.⁶



Şekil 3.2 Rüzgar sirkülasyon şeması; (a) dünya rüzgarlarının sirkülasyonu, (b) meridyensel sirkülasyon modeli, “General Meteorology”, H. R. Byers, 1944.

Rüzgarın hareketi karmaşıktır. Homojen bir hızı yoktur. Rüzgar hızındaki hız değişimine *türbülans* veya *bora* denir. Solar etkileşimlerden dolayı oluşan, uzun süre içerisinde hissedilen hız değişimleri önemsizdir fakat, kısa bir zaman aralığı içerisinde oluşan ani hız değişimleri yıkıcı etkiler yaratır (Şekil 3.5 (a,b)).⁷

3.2.2. Genel rüzgar çeşitleri

Bir çok değişik rüzgar türü bulunmasına karşın, mühendisleri ve bina tasarımını ilgilendiren 3 tür rüzgar çeşidi vardır: *mevsim rüzgarları (seasonal winds)*, *yerel rüzgarlar (local winds)* ve *hakim rüzgarlar (prevailing winds)* (Şekil 3.2 (a,b)).⁸

3.2.2.1. Hakim rüzgarlar (prevailing winds)

30° Enlemlerden ekvator alçak basınç kuşağına doğru olan hava hareketine *hakim rüzgarlar* denir. Kuzey yarım kürede, ekvatora doğru esen kuzey rüzgarları, dünyanın rotasyonu sayesinde yön değiştirir ve kuzey doğu hakim rüzgarlarını oluşturur. Aynı değişim güney yarım kürede de oluşup güney doğu hakim rüzgarlarını oluşturur.

⁶ Bungale S. Taranath, “Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings”, s: 107, 1997

⁷ Bungale S. Taranath, “Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings”, s: 108, 1997

⁸ Bungale S. Taranath, “Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings”, s: 109, 1997

30° Enlemlerinden kutuplara doğru atmosfer basıncı kaybolur. Kutuplara doğru hareket eden rüzgarlar, dünyanın rotasyonu sayesinde doğuya doğru yön değiştirir. Rüzgarlar estikleri yönlerden adlandırıldıkları için bu rüzgar türüne batı hakim rüzgarları denir (Şekil 3.2 (a,b)).

3.2.2.2. Mevsim rüzgarları (seasonal winds)

Kara üzerindeki hava, okyanus üzerindeki havaya nazaran, kışın daha soğuk, yazın daha sıcaktır. Yaz boyunca, kıtalar alçak basıncın bulunduğu ana bölgelerdir. Bu süre içerisinde, rüzgar denizden karaya doğru eser. Kışın, kıtalar yüksek basıncın bulunduğu bölgeleri oluşturur ve rüzgar karadan denize doğru eser. Mevsim rüzgarları, Çin Denizi ve Hindistan'ın muson rüzgarları olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3.2 (a,b)).

3.2.2.3. Yerel rüzgarlar (local winds)

Kara ve deniz üzerinde mevsim değişikliğiyle oluşan sıcaklık ve basınç farklılıklarından dolayı, sahillere yaklaşık 48 km içerisi veya dışında, mevsim rüzgarlarına benzeyen fakat yerel etkiye sahip günlük değişimler görülür. Havanın günlük değişimi, dağlık ve yükseltili alanlarda, dağdan esen rüzgarları oluşturur. Yerel rüzgarların yarattığı diğer rüzgar türleri, yağmur fırtınalarını ve kasırgaları kapsar (Şekil 3.2 (a,b)).

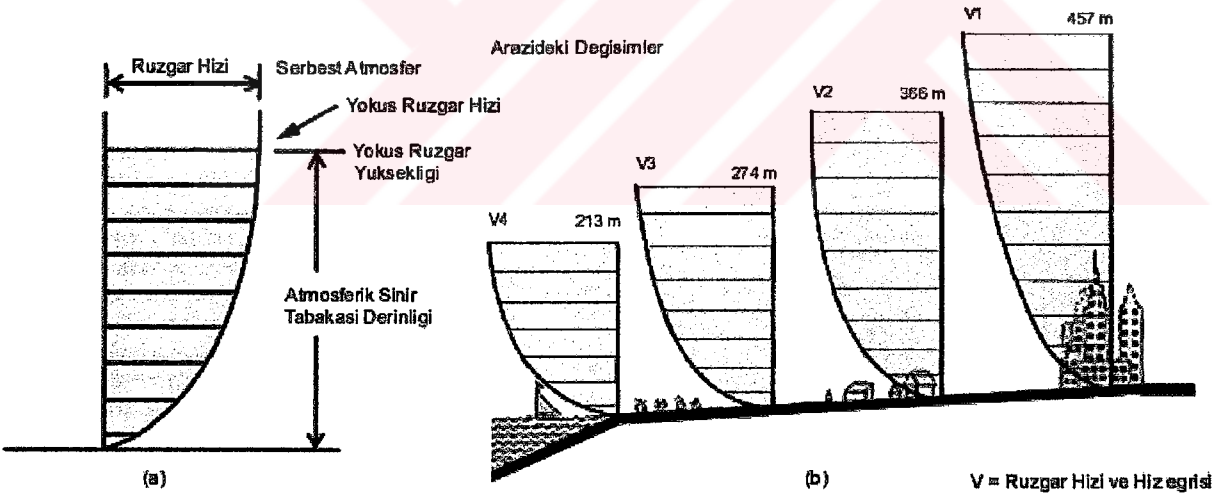
Bu üç rüzgar türü de önemlidir. Buna rağmen, rüzgar yüklerinin irdelenmesi için, hakim rüzgarlar ve mevsim rüzgarlarının karakteristikleri birlikte incelenir. Yerel rüzgarlar ise bu iki rüzgar türünden ayrı irdelenmelidir. Hakim ve mevsim rüzgarlarının yarattığı rüzgar hızındaki değişim bir kaç ay içerisinde oluşur. Buna karşın, yerel rüzgarların hız değişimi her dakika hissedilmektedir. Ani rüzgarların sebebi yerel rüzgarlardır. Yapı üzerinde en çok etkiyi yaratan, sözü edilen ani rüzgarlardır. Bunun dışında bir çok rüzgar çeşidi vardır. Rüzgar, bazı koşullarda, özel durumlar yaratır. Kasırga, hortum gibi aşırı rüzgar yüklerinin oluşumu seyrekler. Bu rüzgar yükleri yıkıcı ve zarar vericidir. Tasarım sırasında, bu tür rüzgar çeşitleri, oluşukları tekrar periyodu göze alınarak hesaplanır. Bu periyot 100 yıl, 1000 yıl veya özel bölgelerde 10 yıl olarak sınıflandırılır.

3.3. Rüzgarın Karakteristikleri

Rüzgar, çok karmaşık bir fenomendir. Rüzgarın bina ile olan etkileşimleri bir çok akış farklılıkları yaratır. Buna rağmen, anlamlı varsayımlara ulaşmak için rüzgar mühendisleri bazı basitleştirici faktörler belirlemiştir.⁹

3.3.1. Yükseklikle bağıntılı rüzgar hızı varyasyonları

Hareket eden bir sıvı ile katı bir yüzey arasında sürtünme oluşur. Sürtünme, akış yönünün tersinde oluşan bir güçtür. Sıvıların akış hızı değişkendir. Buna benzer etkileşimler, dünya ile atmosfer arasında da oluşmaktadır. Viskozite, dünya yüzeyine yakın rüzgar hızını azaltır. Rüzgarın hızı yeryüzü hizasında sıfır kabul edilir ve bu hız belirli bir yükseklikte maksimum düzeye ulaşır. Hız grafiği bir eğridir. Rüzgar hız artışının azaldığı yükseklik *yokuş yüksekliği (gradient height)* ve rüzgarın bu yükseklikteki hızına *yokuş hızı (gradient velocity)* denir. Rüzgar hızının değişimi, rüzgarın estiği bölgenin coğrafik ve tomografik özelliklerine bağlı rüzgar tipine, türbülans ve değişken rüzgar davranışlarına dayanır (Şekil 3.3 (a)).



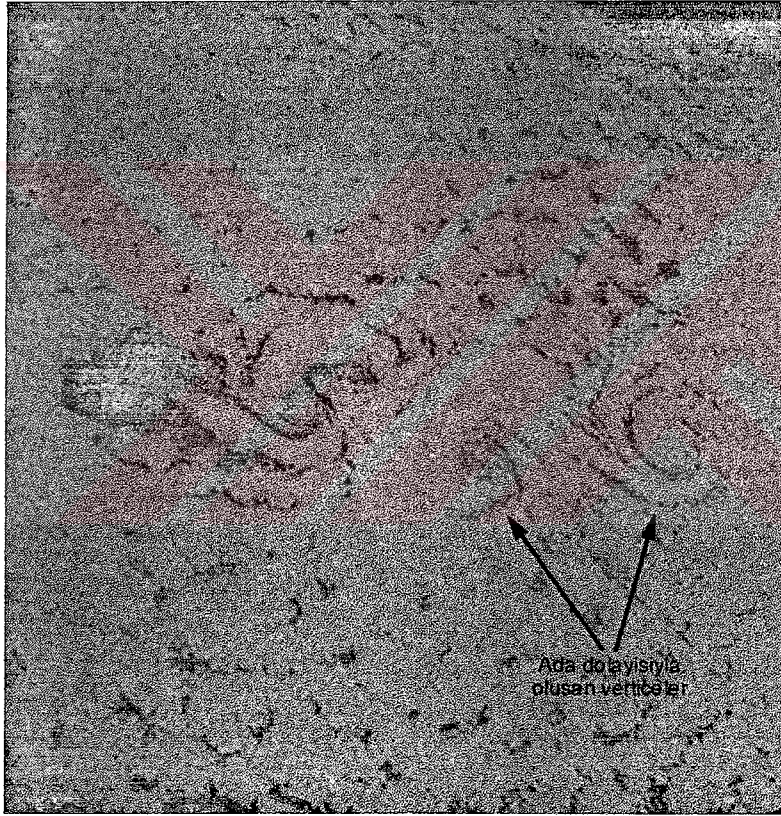
Şekil 3.3 Rüzgar hız eğrisi şeması; (a) atmosferik sınır tabakası, (b) yükseklikle bağlantılı rüzgar hız değişimleri.

Rüzgar, yer yüzünden yaklaşık 366 metre yükseklikten sonra yeryüzü sürtünme kuvvetinden etkilenmez hale gelir. Bu yüzden rüzgar hızının değişimi bu yükseklikten sonra, daha önce deyindiğimiz, yerel, hakim ve mevsimsel rüzgar tipleri dolayısıyla oluşur. Rüzgarın topografik özelliklerden etkilendiği maksimum yüksekliğe *atmosferik sınır tabakası*

(*atmospheric boundry layer*) denir (Şekil 3.3 (a,b)). Bu sınır içerisinde oluşan rüzgar hareketi türbülans yaratır.

3.3.2. Rüzgarın türbülans özelliği

Rüzgarın hareketi türbülanslıdır. Türbülansın matematiksel bir açıklaması yoktur. Rüzgarın viskozitesi suyun viskozitesinin 16' da biridir. 0.9 ila 1.3 m/s' den hızlı her rüzgar hareketi türbülanslıdır. Rüzgarın türbülansı, hava parçacıklarının, her yönde, serbestçe, hareket etmesinden kaynaklanır. Rüzgarın ortalama hızının yanı sıra, türbülans veya aniden hızlanma ve yavaşlama özelliği vardır.

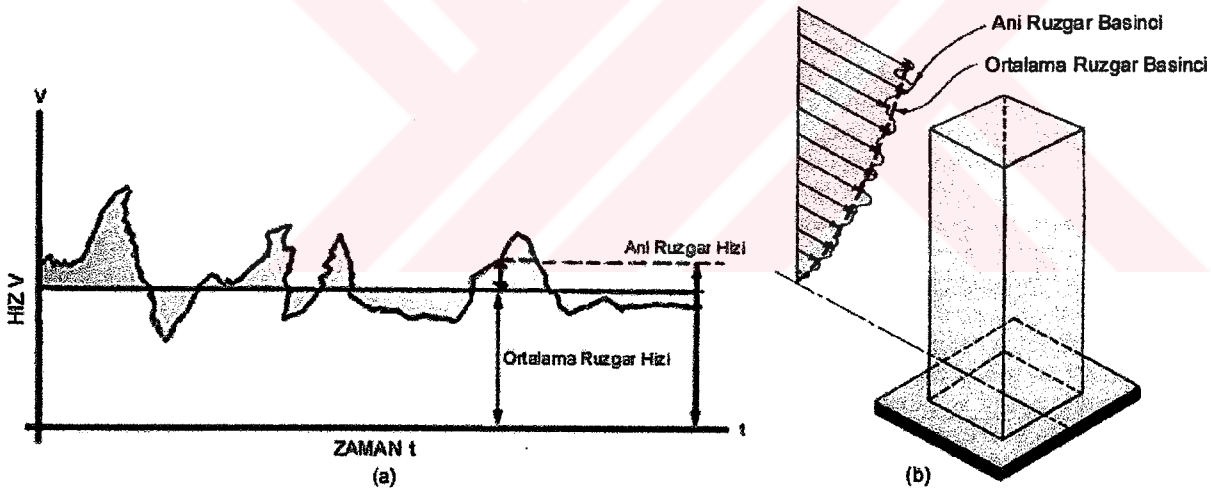


Şekil 3.4 Guadalupe adasının yarattığı bulut anaforları/uydu fotoğrafı.

Türbülansın ölçüğü ve yoğunluğu, türbülansı yaratan *anafor* (*boşlukta dönen rüzgar akımları*)' ların rotasyon hızına dayanır (Şekil 3.4). Genelde, akışın büyüklüğü, akış sırasında oluşan türbülansın ölçüsünü de etkiler. Bu kavrama göre, büyük yoğunluktaki rüzgarın hareketi, küçük yoğunluktaki rüzgarın hareketine nazaran daha çok türbülans yaratır. Rüzgarın

⁹ Bungale S. Taranath, "Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings", s: 114, 1997

değişken bir doğaya sahip olmasından dolayı, rüzgarın özellikleri statik olarak araştırılmalıdır. Rüzgarın hızının ortalaması veya averajının hesaplanması gereklidir. Rüzgar hızı devamlı değiştiği için, rüzgarın averaj hızı değişik zaman aralıkları kullanılarak belirlenmelidir (Şekil 3.5 (a)). Örneğin, bir saatlik zaman aralığında ölçülen rüzgar hızının ortalaması 13 m/s olabilir. Aynı rüzgar hızı ortalaması, zaman aralığı 1 dakikaya düşürülerek ölçülürse, rüzgar hızı 35 m/s olabilir. Yapının taşıyıcı sistemi tasarlanırken, rüzgar hızının iki içeriği olduğu düşünülebilir; (1) yükseklik arttıkça değişen ortalama rüzgar hızı, (2) türbülans hızındaki değişimler. Yapı üzerinde, rüzgarın hızındaki değişikliklerden kaynaklanan, ortalama basınç ve ani rüzgar basıncı oluşur (Şekil 3.5 (b)). Yüksek yapılar bir saniye içinde oluşan ani rüzgarlara karşı çok duyarlıdır. Tasarım için ortalama bir hız gerekiyorsa, değişken zaman aralıkları kullanılmalı ve bulunan maksimum verilere dayanılmalıdır. Tüm binalar ani rüzgarlardan etkilenmez. Binanın taşıyıcı sistemi ne kadar esnekse, ani rüzgarlarda okadar etkili olur. Binanın rüzgarla etkileşimini anlamamanın en iyi yolu *rüzgar tüneli (wind tunnel)* testinin uygulanmasıdır.



Şekil 3.5 Rüzgar hız ve etki şeması; (a) zamana bağlı, rüzgar hızındaki değişim (rüzgarın ani hız değişimi ve ortalama hız farkı), (b) ani rüzgar basıncı ve ortalama rüzgar basıncının şematik prezantasyonu.

3.3.3. Rüzgar yüküne olasılık yaklaşımı

Bir çok mühendislik bilim dallarında, oluşumların şiddeti, bu oluşumların ne aralıklarla tekrar ettiğine dayanır. Örneğin, bir bölgenin tahmin edilen yağmur yoğunluğu, yağmurun şiddetinin hangi yıl aralıklarında değişkenlik gösterdiğine dayanır. Her 10 yılda bir kere beklenen yağmur şiddeti, her 50 yılda bir beklenen yağmur şiddetinden daha az olabilir. Bu bölge için

50 yıl ve 10 yıl, yağmur şiddetin tekrar periyodudur. Rüzgar tasarımı da tekrar periyodu kavramına dayanmaktadır.

Bu kavrama göre, bir bölgede, her 50 yılda, 10 metre yükseklikte oluşan maksimum rüzgar hızının 30 m/s olduğunu varsayalım. Aynı bölgede 100 yıllık tekrar periyodu göze alındığında, rüzgar hızı 32 m/s olabilir. 30 m/s hızındaki rüzgarın 50 yıllık tekrar periyodu, bu bölge, 50 yıl içerisinde, 30 m/s rüzgar hızıyla karşılaşacak anlamına gelir. 50 yıllık tekrar periyodu, yüzde iki ($1/50 = 0.02$) olasılık demektir. O zaman, bu bölgede, bir yılda 30 m/s rüzgar hızının oluşma olasılığı %2' dir. Bir binanın 100 yıllık bir kullanım zamanı için tasarlandığını düşünelim ve rüzgar tasarımı yapılırken 50 yılda bir ölçülen, maksimum 30 m/s rüzgar hızı gereksinimlerinin karşılandığını varsayalım. Sorulması gereken soru, binanın 100 yıllık kullanım zamanı içerisinde, ne olasılıkla tasarım rüzgar hızının üzerinde bir rüzgar hızıyla karşılaşabileceği, olmalıdır. Basitçe olasılık formülü; $P = 1 - (1 - P_d)^n$ dir. (P) Olasılık yüzdesidir. (P_d) Tekrar periyodudur ve (n) binanın kullanım zamanıdır. Tasarım rüzgar hızının üzerinde bir hızla karşılaşılması olasılığı; $1 - 1/50 = 49/50$ dir. 100 yıl boyunca bu hızın aşılmaması olasılığı ise $(49/50)^{100}$ dir. Buna göre, tasarlanan rüzgar hızının, 100 yıl kullanım zamanı içerisinde aşılması olasılığı; $1 - (49/50)^{100} = 0.87 = \%87$ dir. Sonuç olarak, 100 yıl kullanım zamanı için tasarlanan binanın rüzgar tasarımı sırasında, 50 yılda bile zor karşılaşılacak bir rüzgar hızı kullanılmasına rağmen, bu rüzgar hızının 100 yılda aşılması olasılığı çok kuvvetlidir. Mühendisler göre, bir binanın taşıyıcı sisteminin, tasarlananın üzerinde bir stresle karşılaşması çok zordur, çünkü mühendisler, tasarım sırasında emniyet faktörlerini de göze alırlar ve binanın taşıyıcı sistem hesaplarına güvenlik faktörünü de eklerler.¹⁰

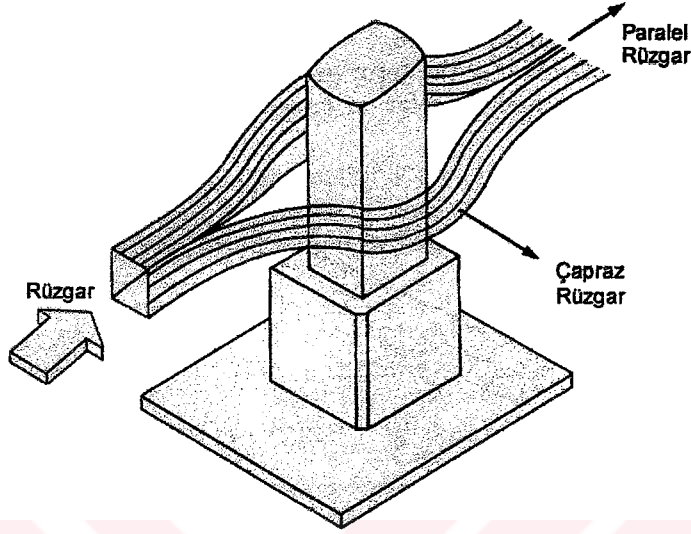
3.3.4. Anafor dağılımı fenomenası (Vortex-shedding)

Genel olarak, bir kütleyle karşılaşan rüzgar, kütle üzerinde kaldırma kuvveti ve üç dik yönde moment yaratır. Rüzgar mühendisliğinde, rüzgarın bazı kuvvet özellikleri çok az olduğundan, örneğin kaldırma kuvveti, rüzgar üç boyutlu değil iki boyutlu varsayılır (Şekil 3.6).

Paralel rüzgar, rüzgarın kendisidir. Çapraz rüzgar ise, bir çok yüksek binada daha dominant olan, paralel rüzgara dik konumdaki rüzgardır. Paralel rüzgar bina üzerinde sürüklenme etkisi yapar ve taşıyıcı sistemi inanılmaz stresler altına sokar. Çapraz rüzgar ise, daha önce

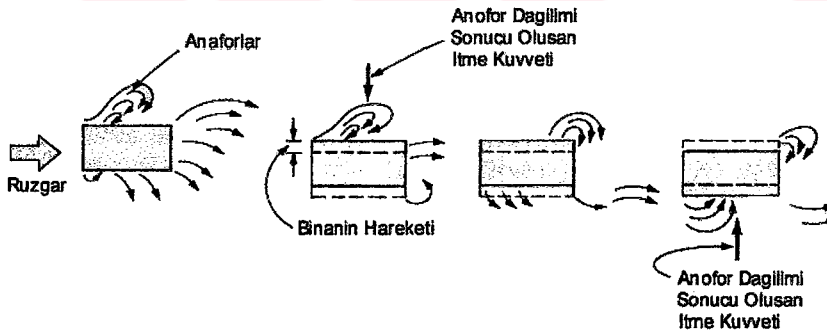
¹⁰ Bungle S. Taranath, "Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings", s: 120, 1997

bahsedilen salınım, sarsıntı, gibi bina ve insanlar üzerindeki olumsuz etkileri yaratır. Bu yüzden rüzgar tasarımı aşamasında, yüksek binalarda yaşayan insanların rahatı için, dikkate alınması gereken en önemli rüzgar etkisi çapraz rüzgar etkisidir.



Şekil 3.6 Rüzgarın, basitleştirilmiş, iki boyutlu akış şeması.

Bir binanın uygulanan rüzgar yüküne dik rüzgarlardan etkilenmesinin üç ana sebebi vardır; (1) binanın veya rüzgarın asimetrik olmasından dolayı oluşan aks dışı hareket, (2) rüzgarın türbülans özelliği, (3) binanın yan yüzeylerinde oluşan negatif basınç akımları.



Şekil 3.7 Anafor dağılımı (Vortex-shedding) fenomenası.

Silindir bir binanın yavaş bir rüzgarın etkisi altında olduğunu varsayalım. Paralel rüzgar binanın yanlarına doğru yeni akım yönü belirler. Bu oluşumda, spiral anaforların, silindirin kenarlarından, çapraz rüzgarın akış yönüne doğru dağılmasına sebep olur. Anaforlar, yavaş bir rüzgar oluşumunda, binanın kenarlarından simetrik olarak dağılırlar. Bu anaforlar, binanın üzerindeki sürüklenme kuvvetine ek projeksiyonlar olarak düşünülebilir. Anaforlar binanın

kenarlarından kurtulduktan sonra, binaya çapraz rüzgar yönünde bir itme kuvveti uygularlar. Anaforların dikdörtgen bir bina üzerinde farklı dağılımları Şekil 3.7' de gösterilmektedir.¹¹

Rüzgarın yarattığı vortex-shedding frekansı binanın doğal frekansına eşitlendiği zaman salınım başlar. Rüzgar hızındaki ufak değişiklikler bu uyumu bozmaz ve salınım devam eder çünkü vortex-shedding frekansı binanın doğal frekansı tarafından kontrol edilmektedir. Rüzgar hızında ani azalma veya artma bu uyumu bozar ve vortex-shedding frekansı tekrar rüzgarın kontrolü altına girer. Uyum hızının altında veya üstündeki rüzgar hızlarında, vortex-shedding kritik oluşumlar yaratmaz.¹²

Çapraz rüzgar etkileri çok komplekstir. İnşaat mühendisliği dalında, çeşitli rüzgar türbülanslarını, çeşitli bina şekillerini, binanın sertliğini, damping faktörlerini ve çeşitli yoğunlukları içeren analitik bir metot yoktur. Çapraz rüzgar yüklerinin bina üzerinde dominant etkiye sahip olduğu tasarımlarda, wind-tunnel (rüzgar tüneli) testi kullanılmalıdır. Rüzgar tüneli testleri sırasında dikkate alınması gereken faktörler, binanın sertliğini, taşıyıcı sistem özelliklerini ve gerekli damping faktörlerini yansıtmamanın çok zor olduğudur.

3.3.5. Rüzgarın dinamik doğası

Rüzgar akış yönünde bir objeye karşılaştığı zaman, enerjisinin birazını objeye aktarır. Transfer olan enerjinin miktarına *ani rüzgar cevap faktörü (gust response factor)* denir. Daha öncede değinildiği gibi, rüzgarın türbülansı arazinin durumuna ve ani rüzgarın yerden yüksekliğine dayanır. Dinamik rüzgar cevap faktörü, ani rüzgar frekansının binanın doğal frekansı ile nasıl uyduğuna ve binaya oranla ani rüzgarın hızına bağlıdır. Rüzgarın hızının değişken olduğu unutulmamalıdır.¹³

Rüzgarın ortalama akış hızı statik, rüzgarın ani hız değişimi ve türbülanslı akışı dinamik olarak nitelendirilebilir. Rüzgar her zaman değişken hız ve yönlerde akışa sahip olduğuna göre dinamik olarak düşünülmelidir. Rüzgarın şiddeti, rüzgarın ne ölçüde değişiklik gösterdiğine ve binanın taşıyıcı sisteminin bu değişime ne ölçülerde cevap verdiğine dayanır. Rüzgarın yarattığı, değişkenlik gösteren basınçlarda, taşıyıcı sistemin bu basınçlara karşı ne şekilde davrandığına dayanır ve statik veya dinamik olarak sınıflandırılır.

¹¹ O. B. Aysu, "High Rise Building Technologies I; Wind Loads, and Design Criteria", 1998

¹² Bungale S. Taranath, "Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings", s: 124, 1997

¹³ Symposium Proceedings, "Wind Effects on High Rise Buildings", s:54, 1970

Rüzgarın etkisiyle binanın üst katları hareket ettiği için binada bir eğilme gözlenir. Bu eğilme, önce, rüzgarın akış yönünde gerçekleşir. Sonra bina doğal, dik pozisyonuna döner ve rüzgarın aksi yönüne doğru eğilir. Bina salınımı durana kadar ileri geri hareketi devam eder. Hareket durana kadar geçen zamana *salınım periyodu* denir. Yaklaşık 214m – 427m çelik binalarda, normal salınım süresi 5 ila 10 saniye arasında değişir. Bina 10 katlı ve betonarme yığma bir bina olsaydı, beklenen salınım süresi 0.5 ila 1 saniye arasında olacaktı.

Ani rüzgarın etkisi yalnızca rüzgarın şiddetinin maksimuma ulaşması ve şiddetinin azalması için geçen zamana değil binanın salınım periyoduna da dayanır. Eğer rüzgarın hızının maksimuma ulaşması ve azalması için geçen zaman binanın salınım periyodundan az ise, rüzgarın etkisi dinamik olarak nitelendirilir. Rüzgarın hızının maksimuma ulaşması ve azalması için geçen zaman binanın salınım periyodundan daha fazla ise, rüzgarın etkisi statik olarak nitelendirilir. Örneğin, 2 saniyede yok olan ani bir rüzgarı ele alalım. Rüzgarın maksimum şiddete ulaşması ve azalması için geçen zaman 2 saniyedir. Eğer, yüksek binanın salınım periyodu 5 ile 10 saniye arasında ise, rüzgarın yaratacağı yük dinamik olarak nitelendirilir. Aynı rüzgar, salınım süresi 2 saniye olan alçak bir bina üzerinde statik etki yaratır.

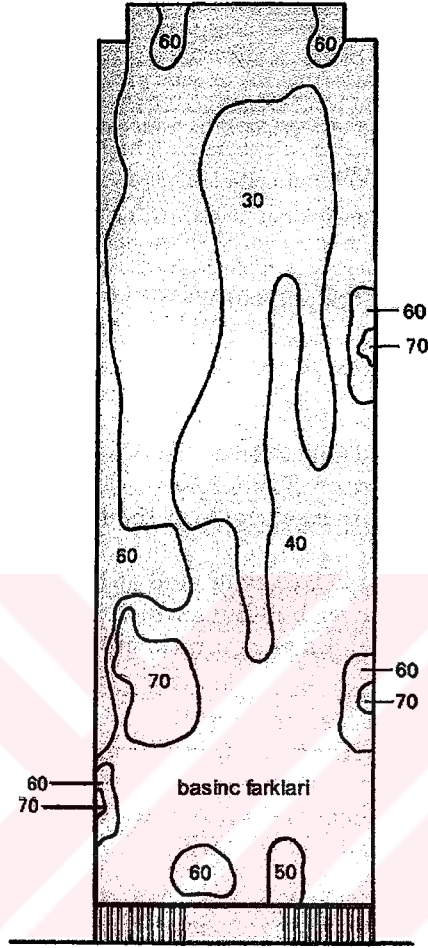
3.3.6. Bina kabuğunu etkileyen basınçlar

3.3.6.1. Tanım

Mimarlar ve mühendisler için en önemli faktörlerden biri, yan yüklere dayanıklı bir bina kabuğu tasarımıdır. Kabuk tasarımının önemi, kırılan veya zarar gören bir kabuk elemanının değiştirilmesinin çok zor ve pahalı olması ve bu elemanların yayalar için büyük tehlikeler yaratmasında yatar. Yüksek binalarda kabuk elemanlarının kırılması veya düşmesi çok rastlanan bir tehlike değildir. Rüzgar yükleri kabuk kırılmasında en büyük etkiye sahiptir. Bunun yanı sıra, solar radyasyon, kabuk taşıyıcı ve yalıtım detayları, camın tavlama, çift veya tek cam seçimindeki hatalar ve kabuğu oluşturan elemanların yorulmasından dolayı oluşan sorunlarda kabuk kırılmasına sebep olur. Camın kırılması, üretim veya transferi sırasında oluşan çizik veya çatlaklardan başlar.

Örneğin, 82 katlı *Chicago, Amaco* binasında cephe kaplaması olarak kullanılan mermer detayı çok inceydi ve zamanla mermer bükülmeye ve kırılmaya başladı, hatta bir kaç elemanın, yayalar üzerinde büyük tehlikeler yaratarak, stabilitesini kaybedip düştüğü bilinmektedir.

Binanın sahipleri, binanın tüm cephe kabuğunu değiştirmek zorunda kalmıştır. Bunun yarattığı ekonomik problemler inanılmaz boyutlardadır.



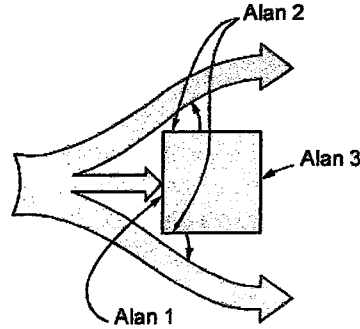
Şekil 3.8 Bina üzerinde oluşan değişik pozitif basınçlar (psf, per square foot); köşelerde oluşan basınçların bina yüzeyinde oluşan basınçlara nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

Değişik ölçü ve formlarda rasyonel kabuk tasarımları için analitik bir yaklaşım yoktur. Yapılması gereken tüm bina üzerinde en önemli basınç noktalarının belirlenmesidir (Şekil 3.8). Modern mimarinin getirdiği prizmatik olmayan, eğik detaylar ve binanın bulunduğu arazinin kendine öz özellikleri, her bina için ayrı rüzgar testlerinin yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

3.3.6.2. Basınç ve emisyon kuvvetlerinin dağılımı

Rüzgarın binanın köşelerinde yarattığı anafor akışları nedeniyle oluşan basınçlar, binanın yüzeyinde oluşan basınçlara nazaran çok daha fazladır (Şekil 3.8). Bu yüzden, büyük

fırtınalarda, binanın köşelerinde bulunan kaplama elemanları daha çok zarar görür. Bazı modeller üzerinde yapılan rüzgar tüneli testi (wind tunnel test)'nin sonuçları incelendiğinde, 3 ana basınç alanının oluştuğu görülmüştür (Şekil 3.9). Bu üç alan aşağıda tanımlanmıştır.



Şekil 3.9 Basınç ve emisyon kuvvetlerinin dağılımı.

1. Alan 1; akış yönünün tersindeki yüzeyde oluşan pozitif basınç alanı.
2. Alan 2; akış yönünün tersindeki köşelerde oluşan negatif basınç alanı.
3. Alan 3; akış yönündeki yüzeyde oluşan negatif basınç alanı.

Rüzgar tüneli testlerine göre, en yüksek negatif basınç, Şekil 3.9' da görülen alan 2' de ki akış yönünün tersindeki köşelerde oluşur. Bir bina üzerindeki rüzgar yükleri hiç bir zaman sabit değildir ve her an değişir. Alan 1' de, akış yönünün tersindeki yüzeylerde oluşan pozitif basınç, alan 2'de oluşan negatif basınçlara göre daha değişkendir. Bina tasarımında olduğu gibi, kabuk tasarımında da kabuğu oluşturan elemanların salınım periyodunu incelemek gerekmektedir. Genelde kabuk elemanlarının salınım periyodu 0.02 ila 0.2 saniye arasında değişmektedir. Bölüm 3.3.5' teki açıklamaya bakılırsa, kabuğun periyodunun, rüzgarın maksimum hıza ulaşması ve yavaşlaması için geçen zamandan daha kısa olduğu görülür. Buna göre, rüzgarın bina kabuğu üzerinde oluşturacağı yükler statik yükler olacaktır.

3.3.6.3. Yerel bina kabuğu yükleri ve toplam tasarım yükleri

Bina taşıyıcı sisteminin kuvvetini ve yoğunluğunu hesaplayabilmek için negatif ve pozitif basınçlardan oluşan toplam rüzgar yükünün bilinmesi gerekir. Bina kabuğunu oluşturacak elemanların dayanıklılığının, yoğunluğunun ve bu elemanların taşıyıcı sisteme bağlantı detaylarının çözülebilmesi için, bina kabuğu üzerinde çeşitli alanları etkileyen, yerel rüzgar

yüklerinin de ayrıca belirlenmesi şarttır. Bu iki yük belirgin olarak farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar aşağıda gösterilmiştir.¹⁴

- Yerel rüzgarlar, toplam yükten daha çok, bina yüzeyinin konfigürasyonundan etkilenir.
- Yerel yük, bina yüzeyinin her hangi alanında, her hangi zamanda oluşan maksimum yüküdür. Toplam yük ise, bina yüzeyinde, aynı zamanda oluşan yüklerin toplamıdır.
- Belirlenen rüzgar yönü ve şiddeti bağlamında yerel yükün şiddeti ve karakteri değişkendir. Belirlenen rüzgar yönü ve şiddeti bağlamında toplam yükün şiddeti ve yönü ise kesindir.
- Yerel yük, rüzgarın her an değişimine duyarlıdır. Kritik toplam yükün belirlenmesinde ise, 2 saniye veya daha fazla süren, ani rüzgar yükleri etkilidir.
- Genelde, maksimum yerel emisyon yükü, toplam emisyon yükünden daha şiddetlidir.
- Bina kabuğundan içeri sızan hava dolayısıyla oluşan iç basınçlar, yerel bina kabuğu yükleri üzerinde çok belirgin bir etkiye sahiptir. Fakat iç basınçlar, toplam yükün belirlenmesinde hiç bir öneme sahip değildir.

Bu iki farklı rüzgar yükünün hesaplanması çok önemlidir. Buna rağmen, bu güne kadar, hiç bir yüksek yapının rüzgar yükü etkisiyle yıkıldığı görülmemiştir. Diğer yandan, bina çatılarında, camlarında ve kabuk sistemlerinde büyük zararlar görülmüştür ve bu zararlar, her yıl, milyonlarca doların harcanmasına sebep olur.

3.4. Tasarım Sırasında, Rüzgar Yüküne Karşı Alınabilecek Önlemler

3.4.1. Tanım

Bu bölüme kadar tüm işlenen konular, rüzgarın özelliklerini ve yaratabileceği kritik durumları incelemekteydi. Bu bölümde tasarıma başlamadan önce ve tasarım sırasında, basit sayılabilecek, fakat önemli bir kaç faktörü inceleyeceğiz.

Rüzgar yüküne karşı alınabilecek değişik önlemler vardır. Öncelikle, binanın bulunduğu bölgeye has özellikler belirlenmelidir. Taşıyıcı sistem tasarımına girmeden önce, binanın içereceği fonksiyonlar belirlenmeli ve değişik plan formları incelenmelidir. Yapının bulunacağı arazinin ve komşu arazi ve binaların durumu, limitleri ve imar planının

¹⁴ Bungale S. Taranath, "Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings", s: 129, 1997

gerektirdiği koşullar, binanın bu fonksiyonlar kapsamında ne kadar yüksek olacağını belirler. Bu yüksekliğin gerekli olup olmadığı sorgulanmalıdır.

Binanın yükseklik ile tabanının arasındaki oranda, önemli bir faktördür. Binanın en dar tabanının ölçüsü yüksekliğe oranla 6' da 1' den daha fazlaysa bina üzerindeki rüzgar yükleri dominant sayılır ve ekstra önlemlerin alınması şarttır.

Plan şemaları geliştirildikten sonra binanın taşıyıcı sisteminin dikkatli bir biçimde seçilmesi gerekir. Taşıyıcı sistem, hem ekonomik hem de, rüzgara ve yerçekimi yüklerine karşı dayanıklı bir sistem olmalıdır. Taşıyıcı sistem hesaplamaları sırasında yalnızca tek bir sistemin değil, çeşitli sistemlerin farklı avantaj ve dezavantajları da göz önüne alınmalıdır. Mimari kaygılar daha sonra incelenmelidir çünkü binanın ayakta durması ve her türlü yüke karşı hazırlıklı olması gerekmektedir.

Rüzgarın etkileri daha önceki bölümlerde incelenmişti. Bu güne kadar hiç bir binanın rüzgar yükü dolayısıyla yıkıldığı görülmemiştir fakat üst katlardaki salınım bu binayı yaşanmaz bir mekan haline getirebilir (Şekil 3.11 (b)). Bu salınımdan dolayı yapısal elemanlar zarar görebilir ve taşıyıcı sistem yıpranır. Rüzgar yükü hesaplarının ana amacı binada oluşan salınımı minimum düzeye indirmektir.

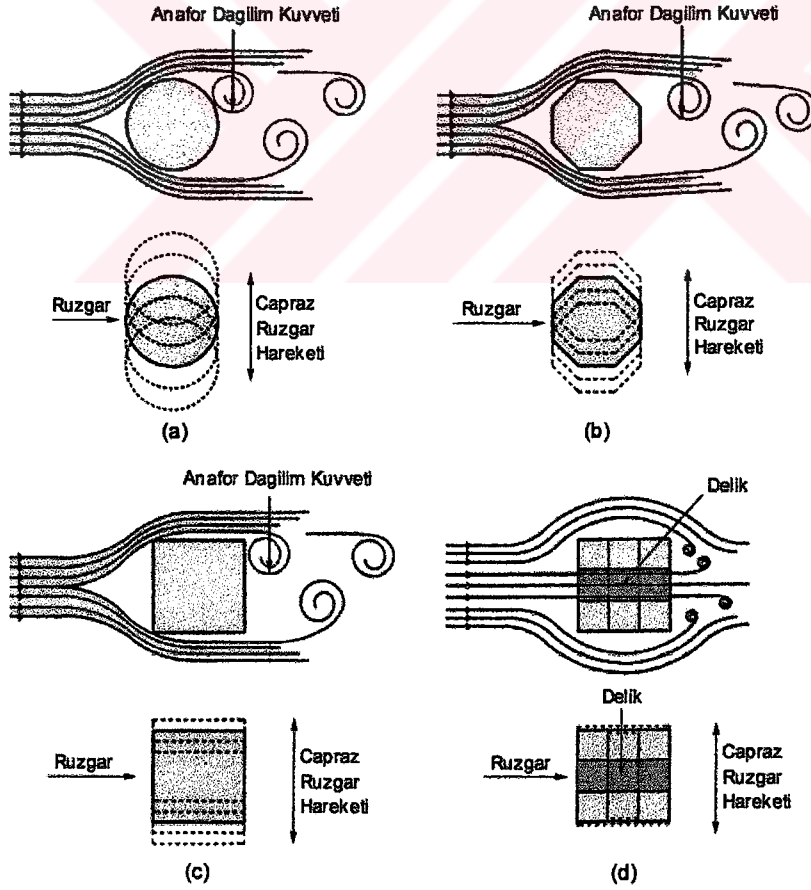
3.4.2. Değişik plan formları ve etkileri ve bina üzerinde alınabilecek önlemler

Tasarım sırasında her plan formu olasılık sayılabilir. Her plan formu, rüzgar yükleri etkisi altında değişik davranışlara sahiptir. Seçilen plan formu için bir taşıyıcı sistem çözümü ortaya çıkacaktır ve binanın, bu yüklere karşı dayanıklı olmasını sağlayacaktır. Karşılaşılan sorun binanın aerodinamik özelliklerinin ne ölçüde rüzgar etkilerine duyarlı olduğudur.

Daha önceki bölümlerde incelediğimiz vortex-shedding (anafor dağılımı) fenomenası, plan formunun ve bina yüksekliğinin etkisi altındadır. Rüzgar tüneli testleri, köşeli plan formlarının yuvarlak plan formlarına nazaran daha verimli olduğunu göstermektedir. Ana amaç, binayı etkisi altına alan rüzgarı şaşırtmaktır. Yuvarlak bir plan formunda rüzgar, hangi yönden eserse essin, binaya dik olacaktır. Buda binanın çapraz rüzgar yönünde her koşulda bir salınımının olacağını ortaya koymaktadır. Binada rüzgarın etkileyebileceği ne kadar çok yüzey varsa, binanın rüzgara karşı plan formu verimi okadar azalmaktadır. Şekil 3.10' da,

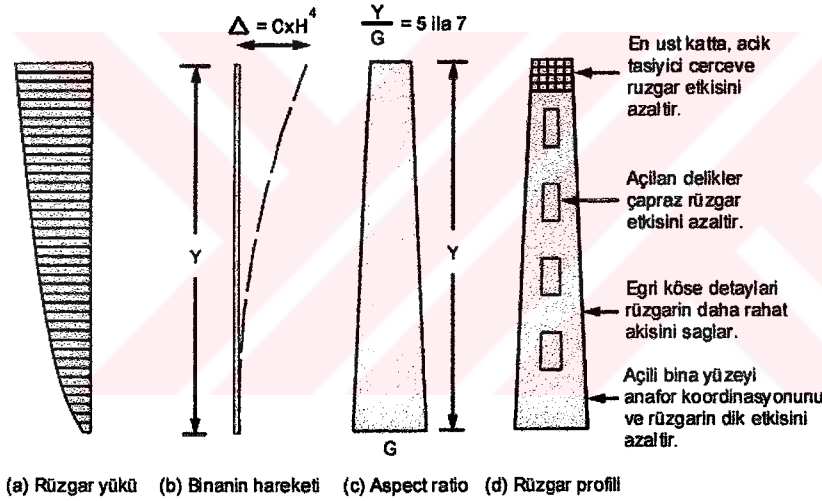
yapılan rüzgar testi sonuçlarına göre değişik plan formlarının anafor dağılım verimlilik yüzdeleri görülebilir.

Bina üzerinde çeşitli aralıklarla delikler açılabilir. Açılan delikler, rüzgarın etkileyebileceği bina yüzeyinin büyüklüğünü azaltmaktadır (Şekil 3.11 (d)). Örneğin, yelkeni yırtık bir yelkenli botu düşünelim. Yelken üzerinde rüzgarın geçebileceği bir açıklığın olması, rüzgarın yelken üzerindeki etkisini azaltmaktadır ve itiş kuvveti kaybolmaktadır çünkü rüzgarın etkileyebileceği alan azalmıştır. Şekil 3.10 (d)' de görüldüğü gibi, rüzgar binanın ortasından geçerken ters anafor dağılımı yaratır. Aynen damping sisteminde olduğu gibi, binanın çapraz rüzgar yönünde geliştirdiği harekete ters bir yük ortaya çıkmıştır. Bu yük, binanın üst katlarının, çapraz rüzgar yönündeki salınımını azaltacaktır. Açılan delikler bir kaç kat yüksekliğinde olabilir. Fonksiyonel bir açıdan bakılırsa, bırakılan boşluklar alan kaybı olarak düşünülebilir fakat, bu boşluklar, binanın rüzgara karşı dayanıklılığını ve verimini büyük ölçüde arttırmaktadır.



Şekil 3.10 Değişik plan formları ve anafor dağılım verimi yüzdeleri; (a) anafor dağılım verimi yüzdesi çok düşük 0.20, (b) anafor dağılım yüzdesi orta düzeyde 0.13, (c) a ve b' ye nazaran daha yüksek verim 0.11, (d) en yüksek anafor dağılım verimi.

Rüzgar yüküne karşı, yükseldikçe bina kullanılabilir kat alanının azaltılması da başka bir çözümdür. Yüksek yapıların yeryüzünden bir konsol kirişi gibi yükseldiğinden söz etmiştik. İdeal bir konsol sistemini incelersek, konsolun binayla birleştiği noktadaki kesitin, konsolun uç kesitine göre daha kalın tasarlanmasının sebebinin, konsolun stabilitesinin artırılması ve birleşme noktasındaki kesme kuvvetinin karşılanması olduğunu görürüz. Yüksek yapı ve yeryüzü arasında da aynı ilişki vardır. Ayrıca yüksek bir yapıdaki, asansör merkezinden bina dış cephesine kadar uzanan geniş açıklık gereksinimlerinin, bina fonksiyonlarındaki farklılıklar dolayısıyla değişkenlik göstermesi kat alanının azaltılmasına sebep olacaktır. Yükseldikçe bina kat alanının azaltılması, binanın kabuğunun eğimli olmasına sebep olacaktır ve bu eğim sayesinde rüzgarın yükü doksan derece yerine farklı açılarda binaya etki edecektir (Şekil 3.11 (d)). Eğimli yüzeyler sayesinde, bina üzerinde oluşan anafor dağılımı koordinasyonu da azalacaktır.

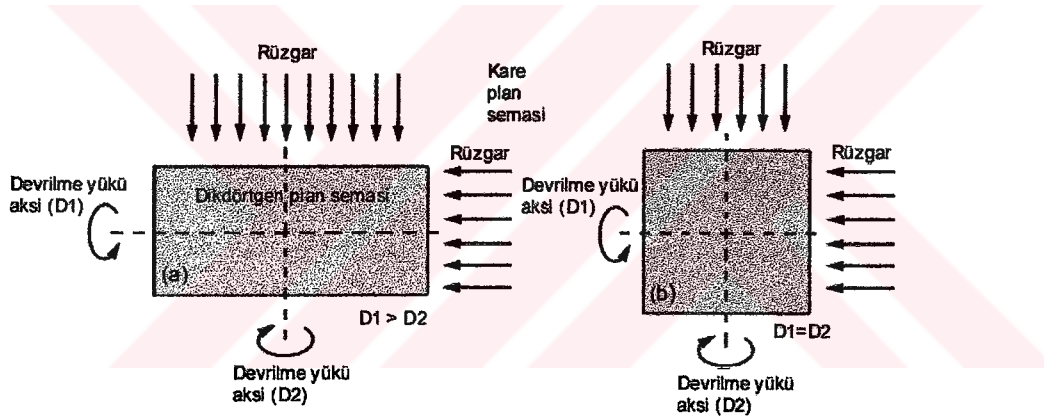


Şekil 3.11 Rüzgar etkisiyle bina davranışı; (a) rüzgar yükünün yükseldikçe artması, (b) binanın artan rüzgar yükü etkisi altında yarattığı hareket, (c) yükseklik ve taban arasındaki altın oran (aspect ratio), (d) bina yüzeyinde alınabilecek önlemler.

Aerodinamik açıdan, bina yükseldikçe rüzgar yüklerinin deforme edilmesi gereklidir. Şikago’da bulunan *Sears Tower* binasındaki geri çekilmelerin sebebi Şikago imar planı gereksinimleri ve rüzgar yükleridir. Şikago’ nun diğer bir ismi de rüzgarlı şehirdir. Şikago’ da bulunan John Hancock binasında ise eğimli yüzeyler kullanılarak rüzgarın deformasyonu sağlanmaya çalışılmıştır. Genel yüksek yapı taşıyıcı sistemlerini içeren bölümde, bina dışındaki diyagonal kuşaklardan ve ağ sistemleri gibi sistemlerden bahsedilecektir. Bu sistemler bina üzerinde etkili olan ve yan yükler olarak adlandırılan rüzgar yüklerine karşı alınan yapısal önlemlerdir.

3.4.3. Aspect ratio

Aspect ratio, binanın yüksekliği ile en dar taban ölçüsü arasındaki orandır (Şekil 3.11 (c)). Bu oran, tasarıma başlarken, binanın rüzgar etkisi altında ne tür bir davranış göstereceğini anlamak için kullanılır. Yapılan araştırmalar bu oranın 5 ila 7 arasında olması gerektiğini göstermektedir. Genelde kullanılan en verimli oran 6' dır. Şikago' da bulunan Sears Tower binasını örnek olarak alalım. Bu binanın tabanı, 69 (225 feet) metreye 69 (225 feet) metrelik bir karedir. Yüksekliği ise 443 (1454 feet) metredir. Yüksekliği taban ölçüsüne böldüğümüze 6.46 'lık bir aspect ratio ile karşılaşırız. Dikdörtgen bir binada rüzgarın etkileyebileceği en geniş yüzey dikdörtgenin geniş iki yüzeyidir. Daha önce bahsedildiği gibi, rüzgarın etkisi geniş yüzeylerde daha dominanttır. Bu yükler binayı dar kenar yönünde zorlar ve devirmek ister. Bu yüzden aspect ratio hesaplanırken binanın en zayıf ve az olan kenar ölçüsü alınmalıdır çünkü taşıyıcı sistem en çok bu yüzeyde stres altında kalacaktır (Şekil 3.12 (a,b)).

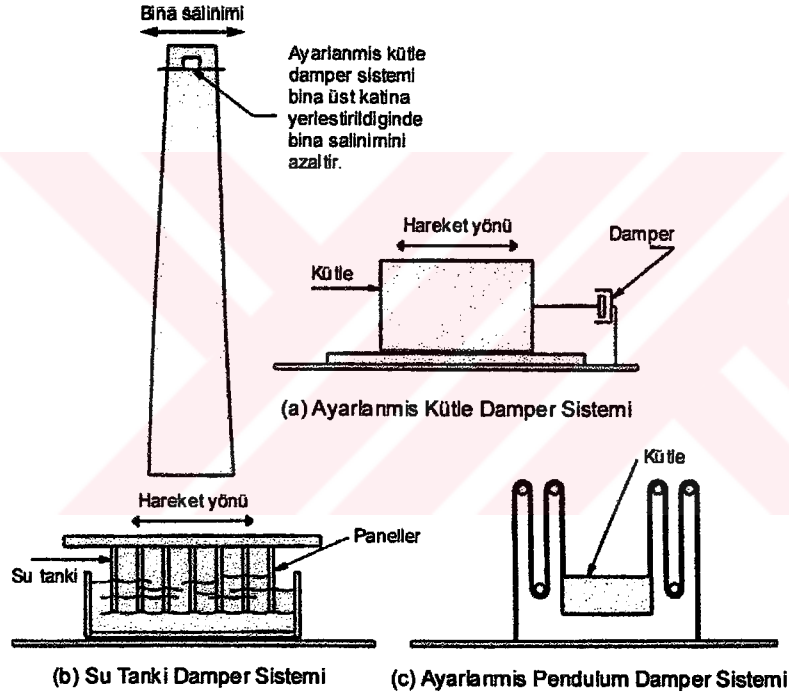


Şekil 3.12 Rüzgarın devirme kuvvetinin şeması; (a) dikdörtgen bir plan şemasında, taşıyıcı sistemin stres altına girdiği aks (D1) aksıdır, (b) kare bir plan şemasında, iki akstaki yük dağılımı eşittir.

5 ila 7 arası aspect ratio oranı aşılamaz diye bir kural yoktur. Gerekli taşıyıcı sistem çözümü verimli bir şekilde yapılabilirse, aspect ratio 10 hatta 15 dahi olabilir. Örneğin 1990 yılında tasarlanan fakat inşa edilmeyen *Miglin-Beitler Tower* yaklaşık 609 (2000 feet) metredir. Tasarlanan plan şeması 45 m x 45 m bir karedir. Binaının tabanının bu kadar az olmasının sebebi arazinin yetersiz oluşudur. Aspect ratio oranına bakılırsa, oranın yaklaşık 13.5 olduğu görülür. Şikago' nun dominant rüzgar yükleri etkisi altında, böyle bir aspect ratio oranına sahip olan bir bina günümüzdeki taşıyıcı sistem ve teknolojiyle inşa edilebilir olmasına karşın ekonomik olarak verimsiz bir tasarımdır.

3.4.4. Aktif damping sistemleri

Yüksek binalardaki damper sistemleri, her arabanın süspansiyon sistemi içinde yer alan, aşırı yaylanmayı azaltan ve damper olarak adlandırılan plastik parçayla aynı görevi görür. Bu sistemin kullanımındaki ana amaç, binanın üst katlarında oluşan salınımı azaltmaktır. Bir çok farklı damper sistemi vardır. Binaın üst katına, hareketli bir kütle yerleştirilir (Şekil 3.13 (a)). Bina sallandıkça bu kütlede hareket eder ve binanın salınım yönü aksinde bir yük oluşturur. Böylece bina salınımı iki eşit fakat zıt yönde etki eden yük tarafından sıfıra yakın bir seviyeye indirgenir. Bu yüklerden biri rüzgarın yarattığı itme kuvvetidir. Diğer yük ise damper sisteminin yarattığı yüküdür.



Şekil 3.13 Aktif damper sistemleri.

Şekil 3.13 (a,b,c)' de görüldüğü gibi farklı damper sistemleri vardır. Ayarlanmış kütle damper sistemi en basit damper sistemidir. Büyük bir kütle raylar üzerine yerleştirilir ve şekilde de görüldüğü gibi binaya teması sağlanır. Bu kütlein hareketi binanın salınım frekansına göre ayarlanır ve salınım yönüne ters bir kuvvet uygulaması sağlanır. Diğer sistemlerde aynı mantığa göre işler fakat pratik uygulamaları farklıdır. En çok kullanılan sistem Şekil 3.13 (c)' de görülen ayarlanmış pendulum damper sistemidir. Açıkça görüldüğü gibi böyle bir kütlein binanın en üst katına yerleştirilmesi için, bu katta, kütlein ağırlığını karşılayabilecek bir taşıyıcı sistem ve döşeme sistemi çözülmelidir. Bunun dışında, günümüzde bir çok yüksek binada damper sistemleri mevcuttur ve tavsiye edilmektedir.

3.5. Bölüm Özeti

Bu bölüm, rüzgarın yüksek yapılar üzerindeki etkilerine yöneliktir. Günümüzdeki teknolojinin sağladığı hafif yapı elemanları binaları, rüzgar etkilerine karşı daha duyarlı hale getirmiştir. Bunun sonucunda, binalar, rüzgarın dinamik ve statik etkileri karşısında çok dikkatli tasarlanmak durumundadır.

Rüzgarın binanın üzerindeki etkilerini anlamanın tek yolu rüzgar tüneli testleridir. Yapının bulunduğu çevre ve bölge koşulları ana faktörü oluşturmaktadır. Eğer bu koşullar iyi irdelenir ve gerekli araştırmalar ciddi olarak tamamlanırsa, binanın rüzgara karşı davranışı istenilen sınırlar içerisinde tutulabilir. Daha fazla bilgi edinmek için kaynaklar bölümündeki kitaplardan yararlanabilirsiniz.



4. DEPREM ETKİLERİ

4.1. Deprem Tanımı

4.1.1. Deprem doğası

Dünyanın çeşitli bölgelerinde her yıl binlerce can kaybına yol açan ve milyonlarca dolar mali zarar yaratan depremler oluşmaktadır. Bu zarar verici fenomena yeni yeni anlaşılmaya başlamıştır. Sahada veya laboratuvarlarda, oluşan can kaybı ve malı zararını engellemek için, binanın depremle etkileşimini analitik olarak araştıran bir çok testler ve deneyler yapılmaktadır.

Bu bölümde, yeryüzüne yakın oluşan ve taşıyıcı sistemlere büyük zararlar veren depremleri tartışacağız. Yer kabuğuna yakın depremler, yer kabuğunun deformasyonu sayesinde oluşan kuvvetlerden meydana gelir. Elastik geri tepme teorisine göre, zaman geçtikçe yer kabukta oluşan stres ve gerilme kuvvetleri artar ve bu artış maksimum noktaya geldiği zaman kaya yapısının kırılmasına veya başka bir hatta doğru kaymasına sebep olur. Bir bölgedeki kayma ve kırılmalar yakın bölgelerdeki kaya yapısını da stres altına sokar ve fay hattı üzerinde zincirleme kırılmalar ve kaymalar oluşur. Sonuç elastik gerginliğin ani geri tepmesidir. Kaya yapısında oluşan gerilme enerjisi aniden serbest kalır ve oluşumun merkezinden değişik yönlerde doğru, şok dalgaları olarak, yayılır. Serbest kalan enerjinin miktarı azsa veya kaymanın olduğu fay hattının bulunduğu bölgede bir yerleşim alanı yoksa, bu dalgalar hissedilmeden yayılır. Ancak çok hassas sismograflar bu oluşumları belirleyebilir. Eğer serbest kalan enerji gerçekten çok fazlaysa, yakın bölgelerde kaos yaratır. Yer kabuğu, büyük bir depremde bir kaç dakika, küçük bir depremde bir kaç saniye süreyle her yönde hareket eder.¹⁵

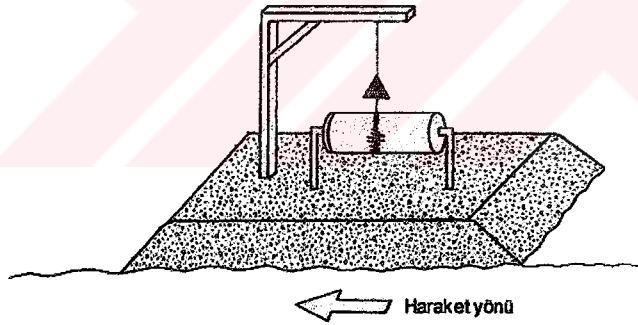
Bir çok depremin olduğu ana fay hatları bilinmektedir. Tarihte oluşan depremlerin incelenmesi, deprem fenomenasının doğasını ortaya koymaktadır. Bu yüzden, deprem tehlikesi çok az olan bölgelerde bile, taşıyıcı sistemler deprem yüklerine karşı dayanıklı tasarlanmalıdır çünkü binanın yıkılması büyük bir katastrofiye sebep olabilir.

¹⁵ Bungale S. Taranath, "Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings", s: 262, 1997

Yer kabuğu, büyüklü küçüklü, 32 km ila 241 km arasında kalınlığa sahip bir düzine katmandan oluşur. Katmanlar devamlı hareket halindedir. Bu hareket, eriyik lavın üzerinde her hafta yaklaşık bir milimetre civarında olur. Bu hareket bir tırnağın haftalık uzaması kadardır. Katmanların hareketi kıtaların kaymasına, dağların oluşumuna, volkanik patlamalara ve depremlere yol açar. Eğer iki kıtayı taşıyan katmanlar bir biriyle sürtünme halindeyse, oluşan sürtünme kuvveti bu katmanları bir birine bağlar. Bu oluşum, *California San Andreas* fay hattında gözlenebilir. Pasifik ve Kuzey Amerika katmanları devamlı sürtünme halindedir. Bu katmanlar kaydığı zaman, kuvvetler serbest kalır ve büyük depremler oluşur.

4.1.2. Sismograf

Deprem tasarımında kullanılan verilerin bulunabilmesi için, daha önce oluşan depremlerin şiddetinin bilinmesi gerekir. Sismograf, deprem şiddetini ölçen bir cihazdır. Bu cihaz yer kabuğun aşırı hareketi sırasında devreye girer. Yer kabuğunun devamlı bir hareketi vardır. Bu cihaz normal limitler içerisinde oluşan hareketlerde sabittir. Deprem, 2 yatay ve 1 düşey olmak üzere 3 bileşen kullanılarak ölçülür.¹⁶



Şekil 4.1. Yer hareketini ölçen konsept sismograf şeması.

Basit bir sismograf, yer kabuğunun aşırı bir hareketi sırasında dahi sabit olan bir penduluma bağlı bir kayıt cihazından oluşmaktadır. Kayıt cihazının altına, devamlı hareket eden ve yere ağır bir temel kütlesiyle bağlı bir tambur yerleştirilmiştir. Bu cihaz, yer kabuğu normal limitler içerisinde hareket ederken, yalnızca, düz bir çizgi kayıt eder. Eğer aşırı bir hareket oluşursa, zikzak veya dalgalanan çizgiler kayıt edilir. Bu çizgilerin yoğunluğu depremin şiddetini belirler. Günümüzde kullanılan sismograflarda yer hareketinin elektrik sinyalleri oluşturması sağlanır ve bu sinyaller kayıt edilir.¹⁷

¹⁶ Wakabayashi, Minoru, "Design of Earthquake-resistant Buildings", s: 21, 1986

¹⁷ Wakabayashi, Minoru, "Design of Earthquake-resistant Buildings", s: 21, 1986

Şekil 4.1' de gösterilen sismograf bir konsept sismografıdır. Sismografin kayıt ettiği dalgali çizgiler, yerin hareketiyle ölçeklidir. Bu tür sismograflar yalnızca yer hareketini kayıt eder. Ayrıca, tamburun damping ve periyodunu değiştirerek, yer kabuğunun hareketi sırasında oluşan hızlanma değerleri de kayıt edilebilir. Bu cihaza hızlanma değerini ölçen sismograf denir.

4.1.3. Depremlerin şiddeti ve büyüklük ölçeği

Deprem oluşumunu belirleyen iki ana ölçüm sistemi vardır. Bunlar deprem şiddeti ve deprem büyüklüğünün ölçüleridir. Deprem şiddeti, deprem oluşumu sırasında insanların ve yapıların etkileşimini belirleyen, değişken seviyelerden oluşan bir ölçektir. Deprem büyüklüğü ise depremin maksimum ölçülen büyüklük değeridir.

4.1.3.1. Deprem şiddetinin ölçeği

Deprem şiddetinin ölçeği, yer hareketinin insan duyuları üzerinde ve taşıyıcı sistemler üzerinde yarattığı etkiler tarafından belirlenen bir ölçektir ve deprem şiddetine göre seviyelendirilir.¹⁸

Şiddet Değeri	Açıklama
I	Hissedilmeyen depremler.
II	Dinlenen insanlar tarafından hissedilen depremler.
III	Bina içinde hissedilen; deprem olarak açıklanamayan hareketler.
IV	Camlar, tabaklar ve kapılar hareket etmiş; hareketsiz araçlarda hissedilen depremler.
V	Kapıların açılıp kapandığı, uyuyan insanlar tarafından hissedilen ve aynı zamanda bina dışında da etkileri olan depremler.
VI	Herkes tarafından hissedilen, yayaları etkileyen, camların ve tabakların kırıldığı depremler.
VII	Bina elemanlarının kırıldığı, ayakta durmanın zor olduğu, sürücüler tarafından hissedilen depremler.
VIII	Arabaların kontrolünün zorlaştığı, yığma yapıların zarar gördüğü depremler.
IX	Panik oluşturan, zayıf yığma yapıların yıkıldığı, normal yığma yapıların büyük zarar gördüğü depremler.
X	Çerçeve ve yığma yapıların çoğunun temelden yıkılmasına sebep olan depremler.
XI	Yer altı hatlarını oluşturan boruların kırıldığı depremler.
XII	Her şeyin zara gördüğü ve objelerin havada uçtuğu depremler.

Şekil 4.2. Modified Mercalli Ölçeği.

¹⁸ Wakabayashi, Minoru, "Design of Earthquake-resistant Buildings", s: 7, 1986

Günümüze kadar kullanılan bir çok şiddet ölçekleri vardır. Bunlardan en eskileri Gastaldi (1564) ve Pignafaro Ölçeği (1783)' dir. 1883 yılında Rossi-Forel tarafından bulunan ve 10 seviyeden oluşan ölçek, Avrupa' nın bazı bölgelerinde hala kullanımdadır. 1902 yılında bulunan Mercalli ve 1904 yılında bulunan Cancani ölçeklerinin bir birleşimi olan Mercalli-Cancani-Sieberg ölçeği ise, genel olarak Batı Avrupa' da kullanılmaktadır. 1931 yılında F. Neuman, Mercalli-Cancani-Sieberg Ölçeğini tekrardan düzenleyerek, 12 seviyeden oluşan ve Kuzey Amerika' da kullanımda olan Modified Mercalli (MM) Ölçeğini oluşturmuştur (Şekil 4.2).¹⁹

Şekil 4.2' de görüldüğü gibi, şiddet ölçeğini, görsel fenomenalar ve insan duyularının hareketi algılayışına dayanan bir ölçektir. Şiddet ölçeği, depremin yarattığı maksimum yer hareketinin ölçeğiyle bağlantılı değildir ve değişik şiddet ölçekleri arasında da gerekli bir bağlantı olmayabilir.

4.1.3.2. Depremin büyüklüğü

Bir depremin büyüklük ölçüsü, serbest kalan enerjinin büyüklüğüdür. 1935 yılında Richter tarafından belirlenen değer "M", depremin büyüklük ölçüsünü belirlemek için kullanılmaktadır. "M" değeri bir çok farklı formülle belirlenmektedir. Depremin büyüklüğü, kullanılan iki ölçüm sisteminin en kolayıdır.²⁰

Deprem şiddetinin farklı seviyeleri vardır fakat deprem büyüklüğünün tek bir değeri vardır. Haberlerde duyduğumuz veya gazetelerde okuduğumuz, 8 Richter veya 6 Richter değerleri depremin büyüklüğüdür. Her bir richter ölçeği artışı bir önceki değerden 31.6 kat daha fazladır çünkü deprem büyüklüğünü belirleyen formül logaritmik bir formüldür. Örneğin, büyüklük olarak 6 değerine sahip bir deprem, büyüklük değeri 5 olan bir depreme göre 31.6 kat daha kuvvetlidir. Her bölgeye ait değişik formüller üretilmiştir. California' da kullanılan formül ile İstanbul' da kullanılan formüller farklıdır.

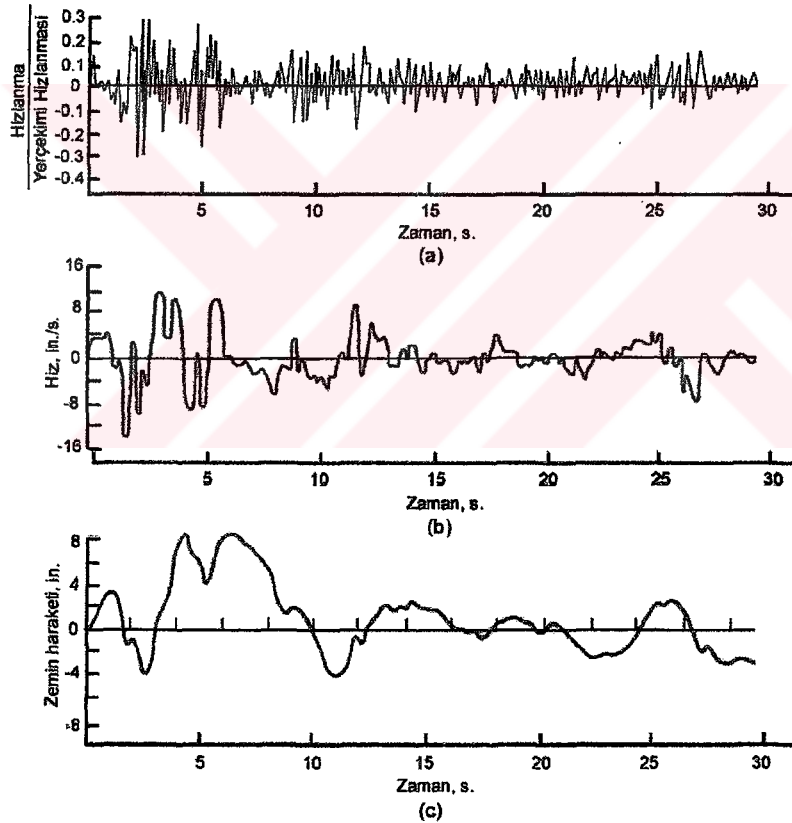
Deprem şiddeti ile büyüklüğü arasında bir bağlantı kurmak gerekirse, büyüklük olarak 6.5 değerine sahip olan bir deprem, Şekil 4.2' deki Modified Mercalli Ölçeğine göre IX veya X değerine sahip olacaktır.

¹⁹ Wakabayashi, Minoru, "Design of Earthquake-resistant Buildings", s: 8, 1986

²⁰ Wakabayashi, Minoru, "Design of Earthquake-resistant Buildings", s: 9, 1986

4.1.4. Deprem tasarımı

Taşıyıcı sistemin depreme dayanıklı olmasını sağlamak için geçmişte olan yer hareketlerinin kayıtlarının kullanılması, deprem şiddetinin ölçeğini en iyi şekilde belirleyen faktördür. Şekil 4.3' de, California El Centro depreminin kayıtlarını görebiliriz. Şekil 4.3 (a)' da görülen yer hızlanma şiddeti çok kısa bir zaman aralığında kuvvetli bir salınım oluşturmuştur. Bu salınımı kuvvetli bir hızlanma aralığı izlemiştir ve salınım yavaş yavaş azalmıştır. Şekil 4.3 (b,c)' de aynı depremin yarattığı yer salınıminin hızını ve yer hareketini görebiliriz. Kayıt edilen maksimum yer hızlanması yaklaşık 0.33 g dir. "g", 32 ft/s^2 (9.75 m/s^2)' lik yerçekimi değeri dolayısıyla oluşan hızlanmadır. Maksimum yer hareket hızı 13.7 in/s (0.348 m/s) ve maksimum yer hareketi 8.3 in (211 mm)' dir.



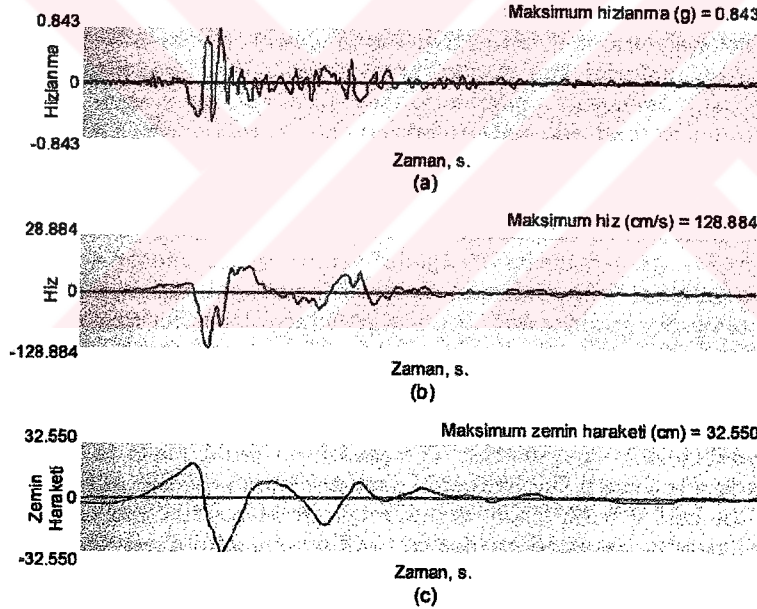
Şekil 4.3. El Centro, California depreminin kayıtları; (a) hızlanma / zaman grafiği, (b) hız / zaman grafiği, (c) yer hareketi / zaman grafiği.

Şekil 4.4' te, 1994 yılında California Northridge' te meydana gelen depremin, kayıt edilmiş hızlanma, hız ve hareket grafiklerini görebiliriz. Yer hızlanmasının, hızının ve hareketinin maksimum değerleri 0.843 g, 50.39 in/s (1.28 m/s), ve 12.81 in (325.5 mm) dir.²¹

²¹ Bungale S. Taranath, "Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings", s: 270, 1997

En büyük zararın, deprem sırasında oluşan, maksimum yer hızlanması olduğu düşünülse de, taşıyıcı sistemlerin depremle etkileşimini belirleyen bir çok deprem özelliği vardır. Bunlar: (1) büyüklük ölçeği, (2) binanın bulunduğu arazinin fay hattından uzaklığı ve (3) arazi ve arazinin zemin özelliklerine bağlı olan (1) maksimum hareket, (2) zaman ve (3) frekanstır.²²

Depremi nerede, ne zaman ve ne şiddette olacağını ve oluşacak yer hareketinin karakteristiklerini belirlemek imkansızdır. Mühendis, tasarım sırasında, yer sarsıntısını tahmin etmek zorundadır. Bunun en basit yolu deprem bölgelerinin deprem haritaları kullanılarak belirlenmesidir. Bu haritalar bölgelerin jeolojik durumunu ve o bölgede oluşan tarihi depremleri içermektedir. Taşıyıcı sistemin depreme karşı ne ölçüde dayanıklı olmasının gerektiğini anlamanın detaylı yöntemi, binanın bulunacağı arazide, zemin testlerinin yapılmasıdır. Detaylı raporlar, geçmişte bu bölgede oluşan depremleri, arazi yakınında bulunan fay hatlarını ve zeminin gerilme ve stres özelliklerini içermektedir.



Şekil 4.4 Northridge, California depreminin kayıtları; (a) hızlanma / zaman grafiği, (b) hız / zaman grafiği, (c) yer hareketi / zaman grafiği.

Deprem kuvvetleri, binanın bulunduğu arazinin temelden salınımından oluşur. Zeminin salınımı yatay ve dikey olmak üzere bir çok atalet kuvvetleri yaratır. Eğer binada konsol sistemleri kullanılmıyorsa, düşey atalet kuvvetleri göz önüne alınmayabilir çünkü düşey olarak taşıyıcı sistem, yerçekimine karşı yeterince dayanıklı olmak zorundadır ve bu

²² Bungale S. Taranath, "Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings", s: 271, 1997

dayanıklılık güvenlik faktörlerini de içermektedir. Kütle ile hızlanmanın çarpımına eşit olan yatay kuvvetler ise, maksimum hareketin olduğu anda meydana gelen atalet kuvvetlerinden ve salınımın maksimum devri sırasında sıfır hız sebebiyle oluşan atalet kuvvetlerinden meydana gelir. Bu oluşum, bina deprem ile etkileşim halindeyken gözlenir. Sanal deprem tasarımlarında, taşıyıcı sistem elastik bir sistem olarak analize edilir. Buna rağmen büyük bir deprem oluşumu sırasında taşıyıcı sistemin elastik limitlerinin aşılabacağı bilinmektedir.

4.1.5. Deprem tasarımında belirsiz noktalar ve alınması gereken önlemler

Bir çok taşıyıcı sistem probleminde, taşıyıcı sistemin karşılaması gereken hareketli veya hareketsiz yükleri kesin olarak hesaplayabiliriz. Bir çok test kullanılarak, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların kuvvet ve özellikleri belirlenmiştir. Mekanik teoriler ve dijital medyanın kullanımıyla, taşıyıcı sistemi etkileyecek momentler, kesme kuvvetleri ve diğer kuvvetler kesin olarak belirlenebilir. Geometrik özellikler ve yapı elemanlarının özellikleri sayesinde, bu kuvvetlere karşı taşıyıcı sistemin direnci bulunabilir. Yeterli ve detaylı veriler kullanılarak, taşıyıcı sistemin yıkılmasına karşı gerçekçi bir güvenlik faktörü elde edilebilir.

Rüzgar yükü hesaplanırken, o bölgeye ait rüzgar verileri ve maksimum rüzgar hızları bilinmektedir. Rüzgar tasarımında maksimumların aşılması çok zordur. Bu yüzden rüzgar tasarımı sırasında taşıyıcı sistemin rüzgarın etkisi altında ne tür bir davranış göstereceği bilinebilir. Deprem yükleri bunun tam aksidir. Elimizde yeterli tarihi datalar bulunsun da depremin ne şiddette, ne büyüklükte, ne zaman oluşacağı ve ne kadar süreceği belirlenemez. Binanın kullanım zamanı sürecinde bir bölge için belirlenen deprem yükleri, bina kullanım süreci içerisinde meydana gelebilecek gerçekçi bir depremin oluşturacağı deprem yükleriyle karşılaştırıldığında, belirlenen yüklerin ve etkilerin gerçekçi olmadığı görülmektedir. Deprem tasarımının sağlıklı yapılabilmesi için en gerçekçi metot, depremin yaratabileceği yüklerin belirsiz olduğunu varsaymak, bina maliyetini çok az arttırarak veya diğer mimari elemanların özelliklerini değiştirip maliyeti sabit tutarak, taşıyıcı sistemi gerekenden daha dayanıklı tasarlamaktır.

Taşıyıcı sistemin karşılaştığı deprem yükleri, zeminin hareket etmesinden kaynaklanan moment kuvvetleridir. Aşağıdaki faktörler, bu kuvvetlerin büyüklüğünü belirleyen fonksiyonlardır.²³

²³ Bungale S. Taranath, "Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings", s: 273, 1997

- Binanın kütleliliği.
- Binanın dinamik özelliğini oluşturan damping, vibrasyon periyodu ve bina şekli gibi fonksiyonlar.
- Zemin hareketinin şiddeti, süresi ve frekansı ve bina temelini etkilemesi.

Binanın bulunduğu araziye ait zemin vibrasyon şiddeti, inşaat mühendisliği açısından, önemlidir. Zemin vibrasyon şiddeti, serbest kalan enerji, binanın depremin olduğu merkezden uzaklığı ve bina temelini kalınlık ve yapı elemanları özelliklerinin bir fonksiyonudur. Olasılık teorisi kullanılarak, depremin büyüklüğünü oluşturan serbest kalan enerjinin miktarı belirlenebilir. Binanın bulunacağı arazinin tabanını oluşturan kaya yapısının vibrasyonu ölçülerek ve matematiksel metotlar kullanılarak, binanın deprem merkezinden olan uzaklığının yaratacağı salınım etkileri bulunabilir. Buna rağmen gelecekte oluşabilecek bir deprem için bu varsayımların yapılması, bilinmeyen verilerin çokluğu sebebiyle olanaksızdır. Tasarım sırasında kullanılan ve temel bilinen varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.²⁴

1. Zemin hareketi, fay hattına yaklaştıkça artar ve fay hattı merkezinden uzaklaştıkça kaybolur.
2. Zemin hareketi, derin yumuşak zemin yapısının bulunduğu alanlarda, uzun bir periyot karakterine sahiptir. Yüzeye yakın yumuşak zemin yapısının bulunduğu alanlarda ise, bu hareketi, kısa süreli periyot karakteri sergilemektedir.
3. Toprak yapısındaki genişleme ve büyümeler, kaya tabakası hareketinin şiddeti ve frekansına bağlıdır.

Binanın taşıyıcı sisteminin statik olarak dayanıklılığı belirlenirken, bilinmeyen veriler sebebiyle taşıyıcı sistemin stres altındaki elastisitesinin aşılacağı düşünülerek, hesaplanan elastisitenin üzerine güvenlik faktörleri de eklenmelidir.

1971 yılında San Fernando depreminde ve oluşan diğer depremlerde bazı hastanelerin yıkılması ve bu hastanelerin yardım için kullanılmak yerine insanlara mezar olması, günümüzde deprem hesaplamaları yapılırken, binanın fonksiyonunun da göz önüne alınması gerektiğini ortaya koymuştur. Hastaneler dışında, deprem sırasında yıkılmaması gereken diğer

²⁴ Bungale S. Taranath, "Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings", s: 274, 1997

önemli binaların deprem hesaplamaları da normal verilerin çok üstünde veriler kullanılarak yapılmalıdır.

4.2. Binaların Depremlerle Etkileşimi

Binanın değişik özellikleri, binanın depreme karşı nasıl bir davranış sergileyeceğini belirler. Bu özelliklerden en önemlileri binanın kütleliliği, serbest vibrasyon periyodu ve, binanın vibrasyonu etkileyen, damping veya rezonans yaratan faktörlerdir. Bu özellikler, binanın deprem sırasında karşılayabileceği yükleri ve deprem sırasında oluşacak yükler altında meydana gelebilecek zararları belirler. Bunlara ek, depreme karşı direnci sağlayan yapı elemanları, deprem sırasında, güvenlik limitleri içerisinde davranış göstermeli ve aşırı stres ve gerilme yükleri etkisi altında kalmamalıdır. Böyle bir oluşum binanın yapı elemanlarının ki bunlar taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlardır, kırılmasına veya zarar görmesine sebep olur.²⁵

Depremi doğasının ve taşıyıcı sistemin hesaplanabilir dinamik özelliklerinin bilinmesi sayesinde, binanın depreme karşı hem doğal davranışını hem de yüklerin büyüklükleri hesaplanabilir. Bu hesaplamalar, bina formlarının yarattığı zorluklar ve depremin yaratabileceği yüklerin belirsiz olmasından dolayı çok komplekstir. Buna rağmen, günümüzdeki yapım teknolojilerinin depremle olan etkileşiminin bilinmesi, analitik araştırmaların yapılabilmesi ve geçmişte olan büyük depremlerin kayıtlarının bulunması, hesaplamalar için gerekli verilerin elde edilmesini ve yaklaşık bir sonuca ulaşılmasını sağlamaktadır.

Bina taşıyıcı sisteminin tasarımı, teorik bir yaklaşımdan daha çok günlük yaşamda elde edilen deneyimlere dayanmaktadır. Bir çok etki altında kalan fakat büyük zararlar görmeyen taşıyıcı sistemler, gelecekte yapılacak binalara örnek teşkil etmektedir. Zarar görmüş veya yıkılmış binaların araştırılması da, gelecekte yapılacak hataları önlemektedir. Bu araştırmalar, deprem dışında yangın, yerçekimi, rüzgar, iklim ve bina fonksiyonu gibi binayı etki eden diğer kuvvetler ve fonksiyonlar açısından da önemlidir. Deprem sırasında hiç bir bina, zarar görmeden, bu kuvvetlerle dayanamaz. Bu yüzden oluşabilecek hasarların binanın ne bölümünde ve ne ölçüde oluşacağını tasarlanması gerekir. En büyük hasar binanın tümünün veya binanın bir kısmının yıkılması olacaktır. Göze alınması gereken zarar, binada bulunanlara zarar vermeyecek veya binanın yıkılmasına sebep olmayacak bazı bina

²⁵ Ambrose, Vergun, "Seismic Design of Buildings", s: 7, 1985

alanlarının kullanım dışı kalmasıdır. Kırılmış camlar, sıkışmış kapılar veya kırılmış plasterler kabul edilebilir zararlardır.²⁶

Depremi oluşturduğu çoğu zarar, binanın taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında gözlenmektedir. Sanal olarak, binanın taşıyıcı sisteminin zarar görmediğini fakat binanın içinin yıkıldığını düşünebiliriz. Bu yüzden, deprem yükleri hesaplanırken, taşıyıcı sistemin yanı sıra binanın iç yapı elemanlarının da zarar göreceği düşünülmeli ve önlemlerin alınması şarttır. Bina deprem yüklerine karşı tasarlanırken, taşıyıcı sistemi tasarlayan mühendis dışında binanın diğer mekanik ve kullanılabilir alanlarını tasarlayan mühendis ve mimarlarda tasarım sürecinde bulunmalıdır.

4.3. Deprem Sırasında, Yüksek Yapıların Davranışı

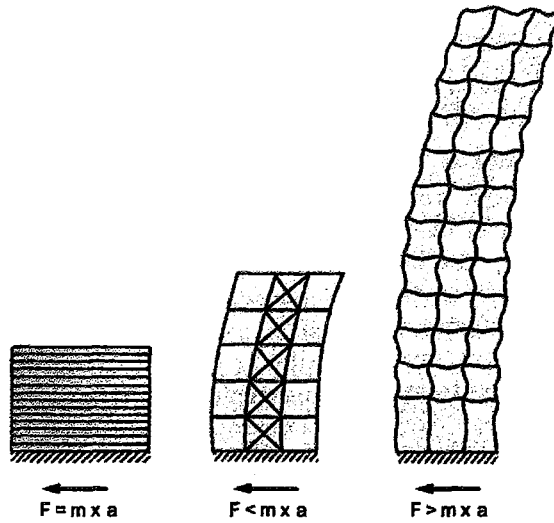
4.3.1. Tanım

Deprem, yüksek yapı üzerinde, vibrasyon yaratır. Yüksek yapıların karşılaştığı en büyük problem vibrasyondur. Deprem yükleri binayı, rüzgarın yarattığı çarpma yüklerine benzer yüklerin binayı dıştan etkileyişinin aksine, salınımın yarattığı atalet kuvvetleriyle, içeriden etkiler. Bina kütlelerinin artışı, deprem tasarımında istenilmeyen iki faktöre sebep olur. Bunlardan biri, kuvvetlerin artışı, diğeri ise, ağırlıktan dolayı artan düşey kuvvetler ve bu kuvvetlere karşı bir kuvvet yaratması gereken taşıyıcı elemanların aşırı basınç altında kalması ve yatay yüklerin artışıyla, taşıyıcı elemanların elastik limitinin aşılması sonucu, kolonların ve duvarların kırılması veya çatlamasıdır. Bu fenomena $p-\Delta$ etkisi olarak bilinir. Düşey kuvvetler arttıkça, $p-\Delta$ fenomenasından kaynaklanan bina hareketi de artar. “p” düşey basınç, “Δ” ise hareket mesafesidir. Deprem oluşumunda binanın yıkılmasına sebep olan kuvvetler düşey yüklerden meydana gelir. Deprem kuvvetleriyle binaların devrilmesi, az görülen bir oluşumdur. Deprem yükleri binanın salınımına sebep olur. Yüksek bina deprem tasarımlarında, mühendisleri daha çok, yüklerin büyüklüğü, dinamik deformasyonların dağılımı ve bu oluşumların maksimum süreçleri ilgilendirir. Hareketin maksimum süreci önemli bir ölçü olmasına rağmen, deprem tasarımında bu ölçü pek kullanılmaz.

²⁶ Ambrose, Vergun, “Seismic Design of Buildings”, s: 8, 1985

4.3.2. Yüksek yapıların, depremle etkileşimi

Deprem sırasında yüksek yapılar, genelde, alçak yapılara göre farklı davranış sergiler. Oluşan atalet kuvvetleri, binanın kütleliliğine, zemin hareketinin hızlanmasına, bina temelini türüne ve taşıyıcı sistemin dinamik karakterine dayanır (Şekil 4.5). Eğer, binanın taşıyıcı sistemi ve temeli tamamen sabit olsaydı, binanın deprem sırasında sahip olacağı hareket hızlanma değeri zemin hareket hızlanma değeriyle aynı olacaktı. *Newton*' un kuvvet kuramına göre kuvvet (F), ağırlık (m) ve hızlanma (a)' nın çarpımına eşittir. Formül olarak $F = m \times a$ ' dir. "m", binanın kütleliliğinden kaynaklanan ağırlığıdır. "a", zemin hareketinin hızlanma değeridir ve "F", oluşan atalet kuvvetini simgelemektedir. Çok az deforme olan ve deformasyon sayesinde yükleri absorbe eden bir taşıyıcı sistem için beklenen atalet kuvveti (F), bina ağırlığının (m) zemin hareket hızlanma değeriyle (a) çarpımından az olmalıdır. Formül olarak $F < m \times a$ olmalıdır. Yüksek binalar, alçak binalara göre daha esnektir ve oluşan hareket hızlanma değerleri daha azdır. Fakat, uzun süre zemin hareketine maruz kalan ve doğal salınım frekansı, zemin hareket dalga frekanslarına yaklaşık eşit olan bir yüksek binada oluşan kuvvetler, alçak bir binada oluşacak kuvvetlerden çok daha fazladır. O zaman, binada oluşan yatay yüklerin büyüklüğü, yalnızca zemin hareket hızlanmasının bir faktörü değil, aynı zamanda binanın taşıyıcı sisteminin ve temelini depremle etkileşiminden de etkilenir. Deprem yarattığı zemin hareketleriyle binanın davranışı arasındaki ilişki, binanın salınım periyoduna da dayanmaktadır.



Şekil 4.5. Deprem kuvvetlerinin şematik prezantasyonu.

Deprem sırasında 30 katlı bir binanın davranışını örnek alalım. Zeminin hareketi her yönde ve üç boyutlu olmasına karşın, bir birine dik olan yükler önemlidir. Bu yükler, genelde farklı

periyotlara sahiptir ve bu periyotlar 0.5 saniyeden daha az ise kısa-periyotlu yükler, 0.5 saniyeden fazla olan her periyot ise uzun-periyotlu yükler olarak sınıflandırılırlar. Binanın frekansı (T_1), binanın taşıyıcı sisteminin yoğunluğu, binanın ağırlığı ve binanın damping karakteristiklerinin bir fonksiyonudur ve binanın taşıyıcı sistemine ve kullanılan malzemelere göre 0.05 çarpı binanın katsayısı ile 0.30 çarpı binanın kat sayısı arası değişmektedir. Çeliğin taşıyıcı sistem elamanı olarak kullanıldığı bir binanın yaklaşık frekansı $0.15N'$ dir. "N", binanın kat sayısıdır. Tipik bir, 30 katlı çelik binanın frekansı, 0.15×30 , yani 4.5 saniye olacaktır. Diğer maksimum frekansları simgeleyen T_1 ve T_3 , T_1 değerinin yaklaşık üçte birine veya beşte birine eşittir.²⁷

Bu yüzden, 30 katlı çelik bir bina için T_1 ve T_3 maksimum frekansları, yaklaşık 1.5 ve 0.9 olacaktır. Depremi ilk bir kaç saniyesinde zemin hareketi maksimum noktaya ulaşır. Bu oluşum, binanın davranışı üzerinde çok az etkiye sahip, kısa bir periyotla meydana gelir. Kısa-periyot, 0 ile 0.5 arası değişmektedir. Bunun yanı sıra, depremin bitişine yakın oluşan uzun-periyotlu oluşumlar, binanın depreme karşı davranışı üzerinde büyük etkilere sahiplerdir.

Depremi olduğu merkez fay hattından uzaklaştıkça, depremin şiddeti ve büyüklüğünün yarattığı kuvvetler azalmaktadır. Zemin hareketinin şiddetinde gözlenen azalma, alçak frekanslı oluşumlara nazaran, yüksek frekanslı oluşumlarda daha fazla seviyelerde meydana gelir. Zemin hareketinin şiddetindeki azalmanın sebebi bilinmemektedir fakat böyle bir oluşumun gerçekleştiği bilinmektedir. Zemin hareketinin şiddetindeki azalma, yüksek binaların tasarımında çok belirgin bir faktördür çünkü yüksek binalarda, uzun-periyotlu yükler, kısa-periyotlu yüklere nazaran daha zor absorbe edilmektedir. Bu yüzden, 50 katlı bir binanın zemin hareketinden gördüğü zarar, 1 katlı bir binanın göreceği zarardan daha fazladır.

Şikago gibi, rüzgarın dominant olduğu bölgelerde depremin yaratacağı yükler çok önemli değildir. Depremi maksimum 30 saniye sürdüğünü varsayalım. Bunun yanı sıra rüzgar binayı devamlı etkisi altında tutmaktadır ve binanın taşıyıcı sistemini, daha önce tartıştığımız, bir çok yük etkisi altında bırakmaktadır. 100 katlı bir bina depreme maruz kaldığında, deprem yüklerinin en üst katta hissedilişine kadar deprem bitmiş olacaktır. Fakat rüzgarın etkisi binanın kullanım süresince etkisini gösterecektir. Bir başka fenomenada, depremin ve maksimum rüzgar yüklerinin, aynı anda binayı etkilemesidir. Hesaplamalar yapılırken böyle

²⁷ Bungale S. Taranath, "Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings", s: 278, 1997

bir olasılık düşünülmez çünkü deprem tasarımı ve rüzgar tasarımı, daha çok, olasılık teorisine dayanmaktadır. Olasılık teorisi, bir binanın kullanım süreci içerisinde bu yüklerle ne olasılıkta, ne yüzdede karşılaşabileceğini belirler. Bu iki oluşumun aynı anda meydana gelmesi, olasılık olarak, sıfıra yakındır.²⁸

4.3.3. Zemin özelliklerinin etkileri

Binayı etkileyen ve zemin hareketlerine sebep olan deprem dalgalarının yarattığı yüklerin etkileri, binanın bulunduğu bölgenin zemin yapısına bağlıdır. Binanın temelini bulunduğu zemin yapısı, binanın dayanıklılığını, kaya katmanlarında oluşan depremlere karşı arttırabilir. Tahmin edilmesi ne kadar zor olsa da, temel zeminini oluşturan toprak katmanları, binanın frekansına yaklaşık frekanslara sahip olabilir. Ortalama bir yüksekliğe sahip olan yüksek binaların frekansları 0.10 ila 1.0 saniye arasındadır. Yüksek ve yüksekliklerinden dolayı daha esnek olan binaların frekansları ise 1 ila 5 saniye arsında değişir. Yakın bölgelerde oluşan depremlerin yarattığı kısa-periyotlu salınımlar, sert ve kaya yapısına sahip bir zemin tarafından, uzak bölgelerde oluşan depremlerin yarattığı uzun-periyotlu salınımlara nazaran daha kolay iletilir. Uzak bölgelerde oluşan depremlerin yarattığı salımlar, sert ve kaya yapısına sahip zemin tarafından absorbe edilir. Yumuşak zemin yapısına sahip olan bölgelerde, bu oluşumun tersi gözlenir.

Bina, depremin yarattığı zemin hareketlerinden dolayı vibrasyona girerken, binanın salınım periyodu zemin tarafından aktarılan salınım periyoduna eşitlenirse, binanın hareket hızlanması artacaktır. Binanın hareket hızlanmasındaki artış *rezonans* olarak adlandırılır. Zeminin doğal periyodu 0.5 ila 1 arasında değişmektedir. Bu yüzden, bina ile zeminin periyotlarının uyuşması rastlanabilecek bir oluşumdur. 1985 yılında *Meksiko City*' de meydana gelen depremde bir çok 5 ila 10 katlı bina rezonansa girmiş ve yıkılmıştır. Eğer, tasarım sürecinde zeminin salınım frekansı belirlenebilirse, binanın salınım frekansının belirlenen frekanstan farklı olması sağlanmalıdır. Bu yüzden, bina tasarımında zemin testlerinin yapılması en sağlıklı çözümdür. Bu testlerin genel içeriği aşağıdaki gibidir.²⁹

- Zemin yapısının dağılımı ve katman derinlikleri.
- Kaya yapısının derinliği.

²⁸ O. B. Aysu, "High Rise Building Technologies II ders notları", 1998

²⁹ David J. Dowrick, "Earthquake Resistant Design", s: 94, 1987

- Zemin suyu durumu.
- Zemin dayanıklılık testleri.
- Zeminin periyodunun belirlenmesi.
- Zeminin dinamik davranışına dayanan, yoğunluk testleri gibi testler ve laboratuvar testleri.

4.3.4. Binanın damping özellikleri

Binanın damping özelliği, binanın tasarımında kullanılan taşıyıcı sisteme, kullanılan bağlantı detaylarına, yapı malzemelerine ve binanın taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının özelliklerine dayanır. Damping, kritik damping yüzdesi olarak ölçülür.

Dinamik bir sistemde kritik damping, salınımı engelleyecek minimum damping miktarıdır. Bu oluşumu, verilen örnekle gözümüzde canlandırabiliriz. Çok gergin bir telin su tankının içine daldırıldığını düşünelim. Tel, bir kaç kere salınır ve durur. Eğer su tankına, suyun viskozite değerinden daha büyük bir viskozite değerine sahip bir sıvı konulursa, telin salınımı daha kısa bir süre sürecektir. Sıvının viskozite değerini arttırarak, telin bir kere bile sallanmadan orijinal pozisyonunu koruyacağını görebiliriz. Telin vibrasyonunun görülmediği minimum viskozite değeri, kritik değere eşit olarak düşünülebilir. Deprem yüklerinin etkisi altında bir taşıyıcı sistemin damping özelliği, aşağıdaki temel faktörlerle sınıflandırılabilir.³⁰

1. Rüzgar tarafından yaratılan ve binanın dışında oluşan damping. Havanın viskozite değeri az olduğundan, bu oluşum göz ardı edilebilir.
2. Yapı malzemelerinin viskozite değerlerinin yarattığı bina içi damping. Bu damping binanın salınım hızına orandır ve binanın doğal frekansı arttıkça, buda artar.
3. Taşıyıcı sistemin bağlantı ve destek detaylarının bulunduğu noktalarda oluşan ve sürtünmeden dolayı kaynaklanan damping. Aynı zamanda bu oluşum, *Coulomb Damping* olarakta adlandırılır. Bu damping değeri, binanın frekansı ve salınım mesafesinden etkilenmez ve sabit bir değerdir. Vidalanmış bağlantı detaylarına sahip çelik binalar, kaynak bağlantılarına sahip çelik binalara göre, daha fazla sürtünme damping değerine sahiptir. Ön germe sisteminin kullanıldığı betonarme binalarla normal betonarme binalar karşılaştırılırsa, ön germe sisteminin kullanıldığı binalar daha az sürtünme damping

değerine sahiptir çünkü ön germe sistemlerde betonun, çeşitli kuvvetler etkisiyle kırılma olasılığı daha azdır.

4. Taşıyıcı sistem, elastik olmayan aralıkta, ters etki yaratan kuvvetlerin etkisi altındayken oluşan histerik damping. Bu damping, binanın salınım mesafesi arttıkça artar fakat binanın salınım hızına bağlı değildir.
5. Binanın bulunduğu arazide oluşan enerji boşalmalarından dolayı meydana gelen radyasyon damping değeri. Radyasyon damping değeri, zeminin yoğunluk, *Poisson's Ölçeği*, kesme ve elastik modülasyon değerleri ve bina temelinin derinliği gibi faktörlerine dayanan damping değeridir.
6. Temeli çevreleyen zemin yapısının, elastik olmayan deformasyonlar sonucu yarattığı histerik damping.

Pratik hesaplamalar sırasında bir binanın dinamik analizleri yapılırken elde edilen her türlü damping değeri tek bir değerde toplanır ve bu değer, binanın viskozite damping değerini belirler. Yukarıda sınıflandırılan çeşitli damping faktörlerini, verimli bir biçimde, tek bir viskozite damping değerinde toplamak pratik bir çözüm değildir. Pratik hayatta kullanılan damping değerleri, taşıyıcı sistemin ve binanın içerdiği malzemelere ve analizlerde kullanılan tasarım kuvvetlerine dayanarak 0.02 ila 0.10 arasında değişmektedir. İnşa edilmiş binalarda yapılan damping testleri, bu değerlerin, 0.005 ila 0.075 arası değiştiğini göstermektedir.

0.1g gibi bir zemin hızlanması ki “g” yerçekiminden dolayı oluşan hızlanmadır, zayıf taşıyıcı sistemlere zarar vermeye yeterlidir. Analitik olarak 1.0g gibi bir hızlanma değeri ki yüzde yüzlük bir yerçekimi demektir, statik açıdan yatayda düşey bir yüzeye konsol olarak bağlı bir binaya denktir.

4.3.5. Bina hareketi ve çeşitli etkileri

Depremi insanlar üzerinde yarattığı etkiler, rüzgarın insanlar üzerinde yarattığı etkilerden farklıdır. Daha öncede bahsedildiği gibi, bir binanın kullanım süreci içerisinde depreme karşılaşma olasılığı, rüzgarın maksimum hızıyla karşılaşması olasılığından çok daha azdır ve

³⁰ Bungale S. Taranath, “Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings”, s: 279, 1997

depremin süresi çok kısadır. Bunun yanı sıra, bina her an rüzgarın etkisi altındadır. Deprem zedeler, binanın salınımının yarattığı güvensizlik duygusundan daha çok depremin yarattığı şoktan kurtulduklarına sevinirler. Bu yüzden, depremin yarattığı bina hareketi, insan rahatı fenomenasından daha çok bina güvenliğini ilgilendirir.

Depremin yarattığı yatay hareketler, binanın salınımı, burkulması ve aşırı yatay yükler etkisi altında kalması, binanın taşıyıcı sisteminin ve mimari elemanlarının stres altına girmemesi için hesaplanmalı ve limitler içinde tutulmalıdır. Binanın cam sistemleri, kaplama sistemleri ve taşıyıcı olmayan bölücü duvarlar, bu hareketin yaratacağı etkiler karşısında esnek olmalı ve detay çözümleri, hareket sonucu oluşacak kaymaları karşılayacak şekilde yapılmalıdır.

4.3.6. Depremin yarattığı yatay kaymalara ve harekete karşı alınabilecek önlemler

Deprem sırasında, binanın her katı farklı yatay yönlerde hareket eder. Yataydaki farklı hareket, taşıyıcı olmayan bölücü duvarların, asansörlerin, asansör boşluklarının, merdiven boşluklarının, camların ve bina kabuğunun zarar görmesine sebep olur. Çoğu zaman, özellikle esnek, momente dayanıklı çerçeve sistemli ve dar perde duvarlara sahip yüksek binaların stres ve kuvvet limitleri, kaymanın yaratacağı etkilere aktif bir kontrol sağlayamaz.

Toplam bina kayması, binanın tabanının pozisyonuna göre gözlenen maksimum yatay harekettir. Deprem sırasında, bir birine yakın binalar, örneğin sıra evler veya İstanbul’ da Barbaros Bulvarındaki apartmanlar, veya binayı oluşturan, farklı sistemlere sahip, bölümler ve modülasyonlar, farklı rezonanslara ve frekanslara sahiptir. Bu farklılıklar binaların veya bina bölümlerinin değişken hareketler sergilemesine sebep olur ve çoğu zaman, bu binalar bir birine çarparak yıkılırlar veya büyük zararlar görürler. Zemin hareketi sırasında, binaların serbestçe hareketini sağlamak için birleşme detayları itinayla çözülmeli ve mümkünse kütleler arası boşluklar bırakılmalıdır. Dilatasyon bu çözümlerden biridir. Örneğin, İstanbul Dudullu’ da ki YEDPA binası tek bir kütle gibi görünmesine karşın binayı oluşturan her modüler bölüm arasında, depremin yaratacağı hareket esnasında bu bölümlerin serbestçe salınımını sağlayacak dilatasyonlar tasarlanmıştır.

4.4. Deprem Tasarımı Teknikleri

Yerçekimi sebebiyle oluşan düşey yükler, taşıyıcı sistemin bu yüklere karşı dayanıklı olması için, taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanlarının elastik limitleri içerisinde hesaplanır.

Taşıyıcı sistemin, deprem riski yüksek olan bölgelerde beklenen maksimum yatay deprem yüklerine karşı, taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanlarının elastik limitleri içerisinde tasarlanması pratik bir çözüm değildir. Mimar, bina sahibi ve mühendisler tarafından, binanın deprem yükleri etkisiyle daha fazla zarar görmesine sebep olacak bazı faktörler tasarım problemleri olarak görülmelidir. Bu problemlerin çözümü, imar planının zorunlu kıldığı deprem yüklerinin uygulanmasından öte tasarım takımının depreme dayanıklı tasarım anlayışına bağlıdır. Bu problemlerin bazıları aşağıda belirlenmiştir.

- Binanın plan şeması.
- Strüktürel simetri.
- Karmaşık plan şemasına sahip binalar.
- Yatay yüklere dayanıklı sistemler.
- Diyaframlar.
- Ductility.
- Taşıyıcı olmayan bölmeler.
- Bina temeli.
- Depremden kaynaklanabilecek zararları önleyebilecek sistemler.
- Taşıyıcı sistemin devamlılığı.

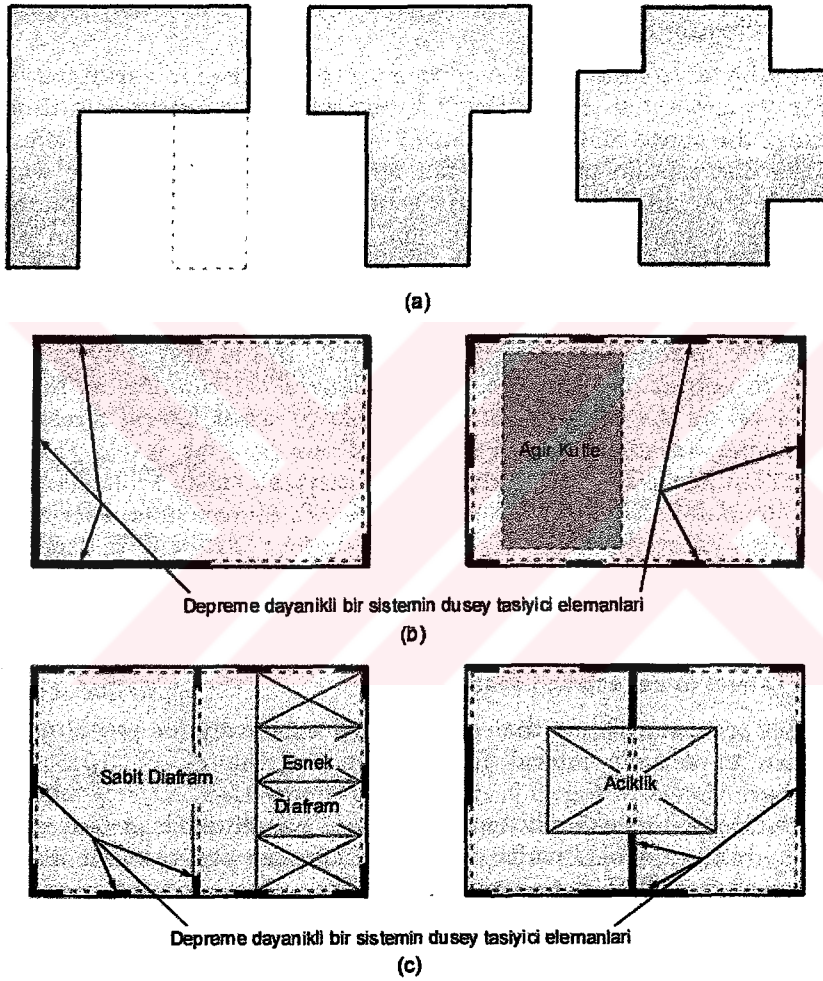
4.4.1. Binanın plan şeması

Plan şeması, binanın yatay yüklere karşı dayanımını belirleyen en büyük faktördür. Plan şemasında amaçlanan çözüm koşulsuz simetri olmalıdır. Binanın kütlesi, bölme duvarları, bina merkezi, açıklıklar ve kolonlar, binanın iki aksına göre simetrik olmalıdır. Tasarımın ilk aşamasından başlayarak, bina üzerinde etkili olacak yatay yüklerin düşünülmesi gerekir çünkü ilerideki seviyelerde ortaya çıkabilecek tasarım değişiklikleri, zaman ve para kaybına sebep olacaktır (Şekil 4.6).

4.4.2. Strüktürel simetri

Günümüze kadar elde edilen deneyimlere göre, deprem yükleri etkisi altındaki binalar arasındaki karşılaştırmalar, plan şeması simetrik olan binalar, plan şeması asimetric olan binalara nazaran daha dayanıklı ve verimli olarak belirlenmiştir. Asimetri, yüklerin dağıldığı köşelerde stres yaratır ve bükülme sonucu, taşıyıcı sistemde salınımlara sebep olur. L, T ve U gibi formlara sahip binalarda, kütleler kendi içerisinde simetri oluşturabilecek bölümlere

bölünmeli ve bu bölümler, dilatasyon gibi deprem için tasarlanan özel birleşim detaylarıyla birleştirilmelidir. Ön yüzünde büyük bir boşluk olan ve arka yüzeyi dolu olan bir binada oluşan asimetri, yatay yüklere dayanan strüktürel yapı elemanlarının eksantrik olarak yerleştirilmiş olmasından doğar. Bu asimetri, bina önüne doluluğu sağlayacak elemanlar yerleştirilerek veya arka duvarın doluluğu ayarlanarak, binanın yatay yüklere dayanım merkezini binanın ağırlık noktasına yaklaştırarak yani iyi bir planlamayla çözülebilir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Plan düzensizlikleri: (a) plan şeması düzensizlikleri, (b) kütleli farklılık ve eksantrik dağılım problemleri, (c) diyafram katılığındaki devamsızlıktan dolayı oluşan düzensizlik.

4.4.3. Karmaşık özelliklere sahip binalar

Deprem yükleri etkisi altındaki binaların performansı üzerinde çalışan kişiler, binanın depremle etkileşimi açısından, binanın formunun sahip olduğu önemi bilirler. Deprem yükleri bina üzerinde etkiliyken, binanın ölçeğinin, yüksekliğinin ve biçiminin çok büyük önemi vardır. Geometrik konfigürasyon, taşıyıcı elemanların türü, bağlantı detayları ve yapı

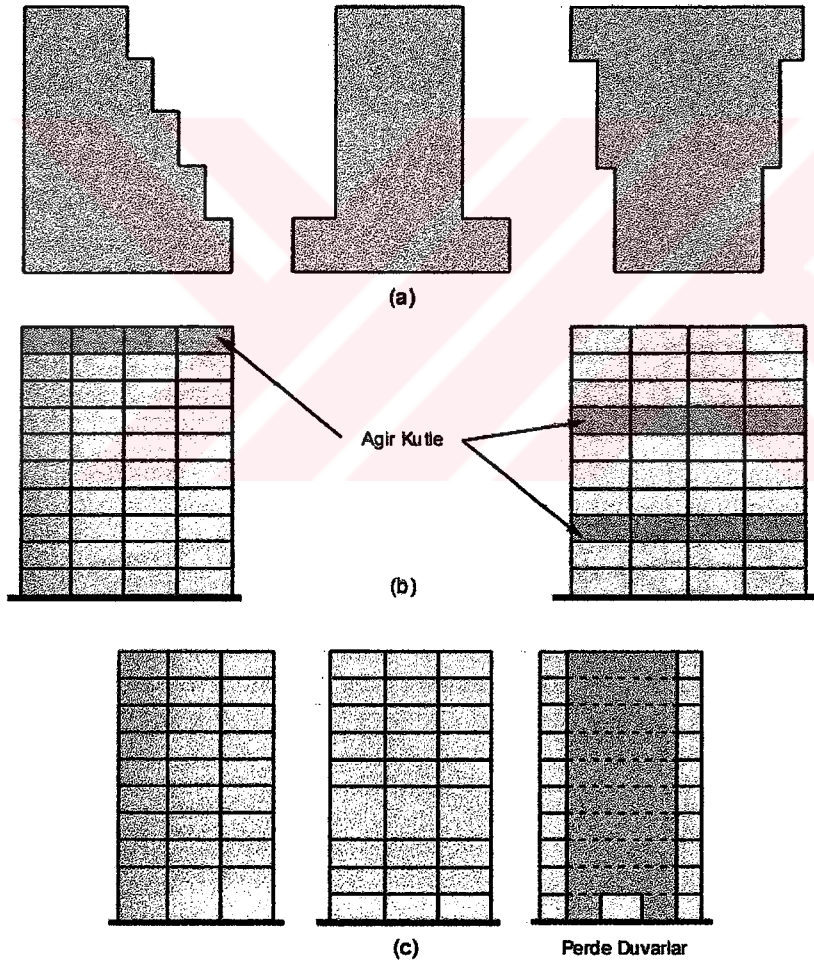
malzemeleri, binanın taşıyıcı sisteminin depremle etkileşiminde önemli olan faktörlerdir. Bir bina, plan şemasında asimetri ve düşey devamsızlık gibi özelliklere sahip ise, diğer binalarla aynı kategoriye konulamaz ve diğer binalarda kullanılan hesaplamalar bu binaya uygulanamaz. Bunun en iyi çözümü, mümkün oldukça karmaşık özelliklere sahip binalar tasarlamamaktır. Örneğin, bir binanın zemin katında dış duvar kullanmamak, binanın bu katının, binanın diğer katlarına göre aniden oluşan farklı bir katılık oranına sahip olmasına sebep olacaktır çünkü zemin katta, yalnızca kolonlar yatay yüklere dayanacaktır. Mümkün oldukça, binayı oluşturan tüm kolonların, perde duvarların ve kesme momentlerine dayanan sistemlerin bina temeline kadar devam ettirilmesi istenir. Karmaşık özelliklere sahip olan binalarda, genel olmayan dinamik karakteristiklere, yük transferlerine ve taşıyıcı sistemde, binanın katılığındaki ani değişikliklerden dolayı oluşan farklılıklara karşı özel tasarım çözümleri gerekmektedir (Şekil 4.6 ve 4.7).

4.4.4. Yatay yüklere dayanıklı sistemler

Deprem yarattığı yatay yüklere dayanacak bir kaç sistem vardır. Genel olarak kullanılan sistemler Şekil 4.8’ de gösterilmiştir. Tüm sistemler basitçe üç boyutlu çerçeve sistemine dayanmaktadır. Moment çerçeve sistemleri, perde duvarlar veya yatay diyaframlara sahip kuşaklanmış çerçeve sistemleri (braced frame system), veya bu sistemlerin birleştirilmesi, üç boyutlu çerçeve sistemlerine birer örnektir.

1. Çerçeve sisteme sahip bir bina deprem yüklerinin etkisi altında kaldığı zaman, depremin yarattığı eğilme yüklerine kolonlar ve kirişler dayanacaktır. Deprem sırasında meydana gelen, katlardaki kayma, taşıyıcı sistem bünyesinde karşılanır ve taşıyıcı sistemi oluşturan kolonlar ve kirişler kayma kuvvetleri karşısında çok fazla zarar görmez. Bunun yanı sıra, katlarda oluşan farklı kaymalar, kattan kata uzanan ve taşıyıcı sisteme sabit bir biçimde bağlı olan tesisat sistemi, merdivenler, dış duvarlar, sabit bölme duvarları ve diğer taşıyıcı olmayan yapı elemanları üzerinde yıkıcı etkilere sebep olabilir. Bu sisteme sahip binalarda, taşıyıcı olmayan iç ve dış yapı elemanları zarar görebilir fakat taşıyıcı sistem çok büyük zararlar görmez ve bina ayakta durur. Depreme dayanıklı tasarım açısından çerçeve sistemler, teorik ve ekonomik olarak, verimli sayılabilir fakat özel binalarda, oluşabilecek zararlara karşı bir kontrol sistemi kullanılmadıysa, bu sistem ekonomik bir risk olarak nitelendirilir.

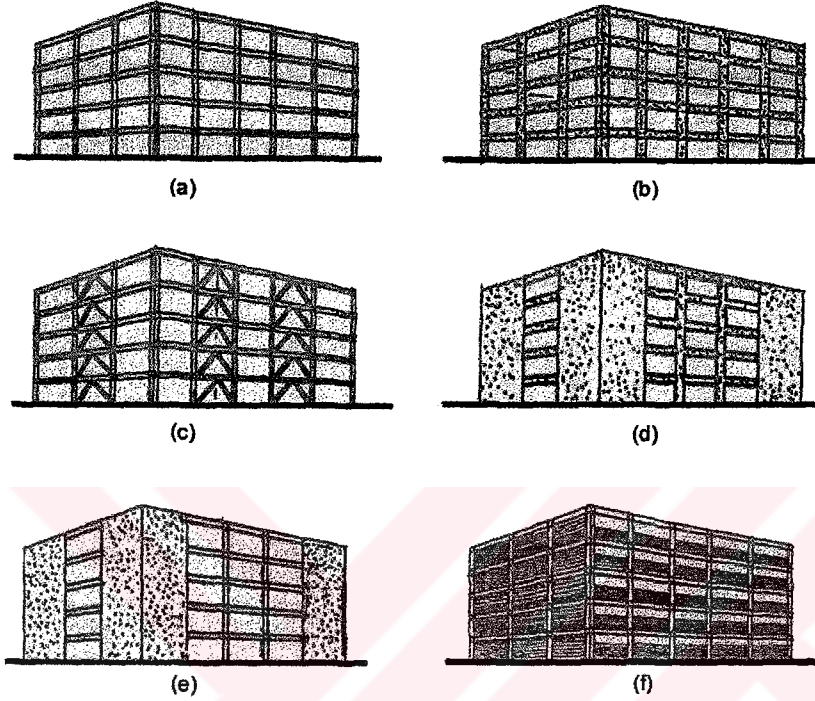
2. Perde duvarlı sistemler veya kuşaklanmış çerçeve sistemleri (braced frame systems), çerçeve sistemlerine (framed systems) göre daha sabit ve dayanıklıdır. Düşük stres limitleriyle tasarlanmış perde duvarlarda, kesme kuvvetleri dolayısıyla oluşan deformasyon azdır. Perde duvarın kullanıldığı taşıyıcı sistemler, oluşabilecek zararları sınırlamak için kullanılan en ekonomik kuşaklama (bracing) sistemidir ve bu sistem, 15 kata kadar ekonomik limitler içerisindedir. Binanın yüksekliği ile genişliği arasındaki oran, devrilme kuvvetlerinin artmasına sebep olmaya başladığı zaman ve perde duvarlarda boşluklar bırakıldığı zaman, perde duvarın verimli performansı azalmaya başlar. Ayrıca, perde duvarın temelini altındaki zemin yapısı yumuşak bir zemin yapısıysa, perde duvar, duvarın çevresindeki döşemelere ve bağlantılara zarar vererek dönebilir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Bina cephesindeki düzensizlikler; (a) geometride ani değişim, (b) kat yüklerindeki büyük farklılıklar, (c) katların sabitliğindeki büyük fark.

3. Yukarıda bahsedilen taşıyıcı sistemler birleştirilerek te kullanılabilir. Çerçeve sistem ve perde duvarlar birleştirildiği zaman, taşıyıcı sisteme çift kuşaklama sistemi (dual bracing system) denir. Ductility ve oluşan enerjiyi absorbe edecek şekilde detaylandırılmış taşıyıcı

sistem türü, minimum R_w değerini belirler. R_w değeri, binanın deprem etkileşim faktörüdür ve binanın yıkılmadan deprem yüklerine dayanabileceği maksimum ölçüdür. Bu değer, bina zemini toplam kesme kuvveti değerinin ve yatay yüklerin dağılımının hesaplanmasında kullanılır.



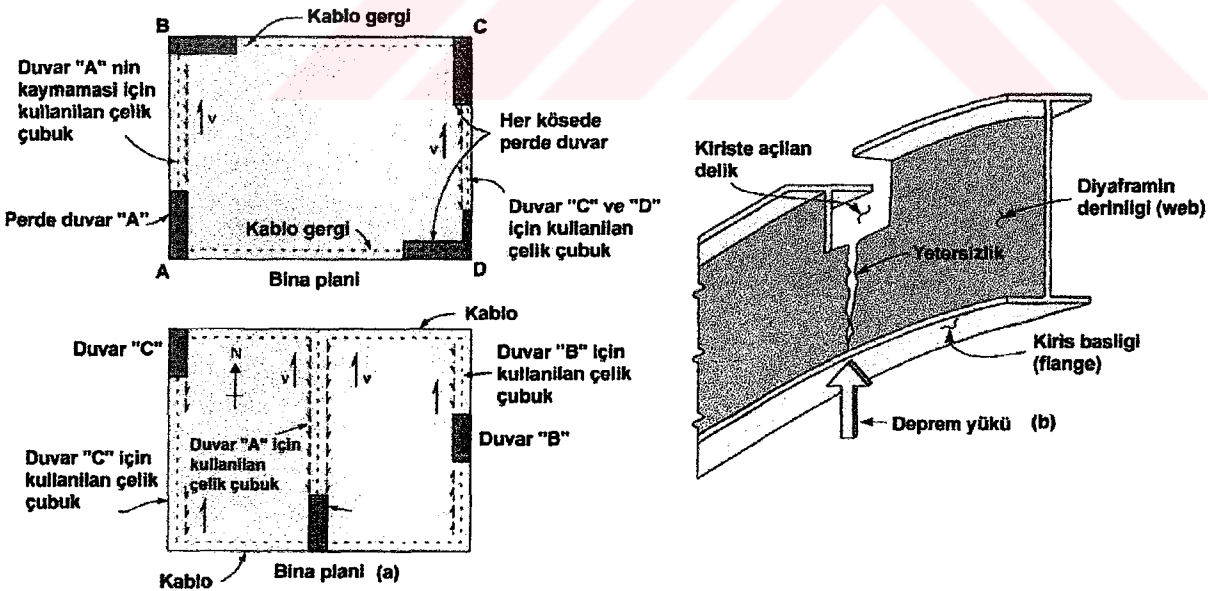
Şekil 4.8 Yatay yüklere dayanıklı sistemler; (a) çelik momente dayanıklı çerçeve sistemli bina, (b) betonarme momente dayanıklı çerçeve sistemli bina, (c) kuşaklanmış çelik çerçeve sistemli bina, (d) betonarme perde duvar sistemli bina, (e) betonarme perde duvarlı çelik çerçeve sistemli bina, (f) tuğla dış cephe kaplamalı çelik çerçeve sistemli bina.

Deprem yükleri etkisi altında binayı oluşturan bütün yapı elemanları bir uyum içerisinde çalışır ve tasarımı yapan mühendis bu konsepti iyi bir şekilde algılamalıdır. Binayı oluşturan her yapı elemanının kendine öz özellikleri vardır. Tasarımı yapan mühendis, bina üzerindeki yükleri binanın çatısından zeminine kadar çözümlemelidir ve bağlantı noktalarında oluşan stres ve kuvvetlerin, binanın bütünlüğünü bozmayacak limitler içerisinde olduğundan emin olmalıdır. Bina bir bütün olarak düşünülmeli ve oluşan yüklerin statik değil dinamik olduğu bilinmelidir. Bu yükler değişken ve tekrar eden yüklerdir ve elastik tasarım limitleri içerisinde belirlenen değerlerden daha fazla deformasyonlara neden olabilir.

4.4.5. Diyaframlar

Binanın herhangi bir katında oluşacak deprem yükleri, döşemeler ve çatı diyaframları tarafından, düşey taşıyıcı sistemlere aktarılmaktadır. Çatı ve kat deckleri veya döşemeler, oluşan kuvvetlere karşı derin bir kiriş gibi davranır. Deckler veya döşemeler, kesme kuvvetlerini taşıyan kirişlerin derinliğini (web) oluşturur. Binayı çevreleyen parapetler veya duvarlar ise, eğilme yüküne dayanan kirişlerin genişliğidir (flange). Diyafram tasarımında üç ana faktör vardır.

1. Diyafram, kesme ve eğilme streslerine karşı dayanıklı olmalı ve tek bir bütün halinde davranacak şekilde bağlanmalıdır (Şekil 4.9(a)).
2. Yükleri toplayan ve yüklerin sürüklenme kuvvetine karşı dayanan yapı elemanları, yükleri diyaframlardan, perde duvarlar gibi, yatay yüklere dayanıklı düşey taşıyıcı yapı elemanlarına transfer etmelidir.
3. Diyaframlardaki açıklıklar veya serbest köşeler, düzgün bir şekilde yerleştirilmeli ve kuvvetlendirilmelidir.



Şekil 4.9 Diyaframların örnekleri; (a) diyaframların kaymalara karşı özel bağlantılar kullanılarak güçlendirilmesi, (b) diyafram üzerinde derinlemesine açılan bir deliğin sebep olduğu sorunlar.

Yerleştirme hataları veya merdivenler, asansörler, atriumlar ve çatı aydınlatmaları gibi büyük açıklıklar problemler yaratmaktadır. Bu problemler çelik bir kirişin derinliğinde açılan

deliklerin yarattığı problemlere benzer. Buda, diyaframın yükleri doğal olarak aktarmasını engeller ve hatalara sebep olur (Şekil 4.9(b)).

4.4.6. Duktilite

Duktilite, yapı elemanlarının, sistemlerinin veya taşıyıcı sistemlerin elastik olmayan limitler içerisinde deforme olarak oluşan enerjiyi absorbe etme kapasiteleridir. Basitçe, bir malzemenin ve ya yapı elemanının kırılma, gevreklik değeridir. Depreme dayanıklı tasarım konseptinde, taşıyıcı sistemlerin yıkılmadan, kabul edilebilir deformasyon limitleri içerisinde enerjiyi absorbe etmesi amaçlanan karakteristiklerdir. Beton gibi kolay kırılabilen yapı elemanları, deprem kuvvetleri karşısında gerekli duktilite karakteristiklerine sahip olmaları için çelik donatılar kullanılarak güçlendirilmelidir.

4.4.7. Taşıyıcı olmayan bölmeler ve yapı elemanları

Statik ve dinamik analizlerin yapılabilmesi ve detayların çözülebilmesi için, taşıyıcı olmayan bölmeler, merdivenler gibi yapı elemanlarının etkileri incelenmelidir. Taşıyıcı olmayan fakat taşıyıcı sisteme sabit olarak bağlı bu yapı elemanlarının, depremin şiddeti ve kuvvetlerin dağılımı üzerinde büyük etkileri vardır. Bu elemanlar perde duvar gibi davranış gösterir fakat daha büyük devrilme momentlerinin ve yatay yüklerin etkisinde kalırlar. Bu yüzden, yeterince kuvvetli olmayan yapı elemanları büyük zararlar görür. Böyle bir oluşumun engellenmesi için taşıyıcı olmayan yapı elemanları, yatay yüklere dayanan taşıyıcı sistemden izole edilmelidir.

4.4.8. Binanın temeli

Deprem yükleri etkisi altındaki bina temelinde oluşan farklı hareketler, çoğu binaların yıkılmasına sebep olur. Bu oluşum özellikle, deprem yükleri etkisi altında oluşacak yükleri karşılayamayacak, sabit ve ağır yapılarda gözlenir. İyi bir tasarım, binanın temel elemanları arasında ve temel ile binanın taşıyıcı sistemi arasında oluşabilecek, yatay veya düşey, farklı hareketleri çözümleyen ve minimize eden tasarımdır.

4.4.9. Depremden kaynaklanabilecek zararları önleyebilecek sistemler

Gerekli deprem kuvvet şartlarını karşılayan bir tasarım, tamamen depremin yaratabileceği zararlara karşı güvenli değildir çünkü büyük bir deprem sırasında, yatay yükler sonucu

oluşacak deformasyonlar, şart koşulan değerler kullanılarak hesaplanan yüklerden kat kat fazladır. Aşağıda sıralanmış bir kaç faktör, depremin yaratabileceği zararların minimize edilmesi için yararlı olabilir.

1. Deprem sırasında taşıyıcı sistemin, taşıyıcı olmayan yapı elemanlarına zarar vermeden hareket etmesini sağlayan detaylar çözülmelidir. Tesisat, camlar, bölmeler gibi, taşıyıcı olmayan yapı elemanlarına gelebilecek zararlar büyük finansal sorunlar yaratacaktır. Böyle bir kaybı engellemek için, özel detaylar gibi, taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının, hareket eden ve esneyen taşıyıcı sistemden izole edilmesi gereklidir.
2. Camların kırılması, cam ve doğrama detaylarında, köşelerde yeterince deformasyon mesafesi bırakılarak önlenabilir.
3. Sabit ve taşıyıcı olmayan bölmelere gelebilecek zararlar, bu bölmelerin üstünde ve yanlarında, taşıyıcı sistem ile bölmeler arasındaki hareketi sağlayabilecek detaylar çözülerek önlenabilir.
4. Binanın hareketi sebebiyle tesisat sistemine gelebilecek zararlar, boruların sıcaklık farklılıklarıyla uzaması ve kısılması sonucu meydana gelen bağlantı detaylarını çözümleyen, esnek bağlantı elemanları kullanılarak önlenabilir.
5. Bölmelerin yanlara doğru devrilmesi, klozet ve kitaplıklar gibi mobilyaların duvara sabitlenmesiyle önlenabilir.
6. Betonarme merdivenlere gelen zararlar, genelde iki katın farklı hareket etmesi sonucu bağlantı noktalarının kırılması ve çatlaması sonucu oluşur. Bu oluşum, merdivenin kat döşemesiyle birleştiği alt noktalarda serbest birleşim detayları kullanarak önlenabilir.

4.4.10. Taşıyıcı sistemin devamlılığı

Taşıyıcı sistem düşey ve yatay olarak devamlılığı sağlamalıdır. Eğer yatay yükler sebebiyle taşıyıcı sistemin bazı elemanlarında kırılma veya çatlama oluştuysa, taşıyıcı sistemin diğer elemanları bu yükleri üstlenmelidir. Yükler binanın tüm taşıyıcı sisteminde eşit olarak dağıtılmalıdır. Yüklerin eşit dağıtılmaması, bazı elemanların kırılması sonucu binanın çökmesine sebep olur.

4.5. Bölüm Özeti

Bina üzerinde deprem, yatay ve düşey olmak üzere bir çok, değişken yükler yaratır. Oluşan yatay yükler rüzgar yüklerinin yarattığı yüklere benzemektedir fakat rüzgar yüklerinin belirlenmesi ve hesaplanması gibi bu yüklerin şiddeti, maksimum periyotları ve oluşacağı zamanlar tahmin edilip hesaplanamaz.

Hesaplamalarda standart ve bölgesel veriler kullanılmaktadır. Binanın bulunduğu bölgenin topografik ve sismik özellikleri ve bu bölgede, daha önce oluşan depremlerden elde edilen veriler hesaplamalarda kullanılacak deprem etki ve yüklerini belirler.

Deprem yükleri, rüzgar yüklerinin aksine, alçak binalarda daha etkilidir. Yüksek binalarda deprem, ancak deprem dalgalarının ve yüksek yapının frekansları uyduğu zaman binada rezonans oluşturur ve binanın yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya kalmasına sebep olur. Bunun dışında, depremin yarattığı zemin hareketleri, yüksek binanın elastik limitleri içerisinde absorbe edilmektedir. Bu faktörler göz önüne alındığında, belki de deprem, yüksek yapının üst katlarında, oluşacak hareketin hissedilmesi için geçecek zaman içerisinde bitmiş olacaktır. Rüzgar ise yüksek yapıları, yapıların kullanım süreçleri içerisinde devamlı etkilemektedir ve depremin yarattığı yüklerden daha büyük yüklere sebep olmaktadır. Alçak yapılarda deprem yükleri, yüksek yapılarda ise rüzgar yükleri dominant yüklerdir.

Yüksek yapı, her koşulda, düşey yüklere ve yatay yüklere karşı dayanıklı olmak zorundadır. Bu dayanıklılık sağlanırken binanın taşıyıcı sisteminin elastik limitler içerisinde tutulması gerekir. Taşıyıcı sistem ne çok sabit ne de çok elastik olmalıdır.

Yüksek yapıyı oluşturan her yapı elemanı ve sistemi, binanın depreme karşı davranışını etkilemektedir. Bina içerisinde bulunan bölme duvarları, asansör boşlukları, binanın dış kabuk sistemi, taşıyıcı sistem ve bu sistemi oluşturan yapı elemanları ve binanın fonksiyonu gibi bir çok faktör binanın deprem ile etkileşiminde önemli roller oynamaktadır çünkü bu gibi elemanların ve sistemlerin dayanıklılık birimleri, binanın deprem dayanım birimini belirlemektedir.

Bu bölümde bahsi edilen deprem özellikleri geniş bir kapsamda derlenmiş ve basitleştirilmiştir. Bu bölüm daha çok yüksek yapı tasarım süreci içerisinde gerekli olan temel

bilgileri içermektedir. Daha geniş bilgi için kaynaklar bölümündeki kitaplardan yararlanabilirsiniz.



5. YÜKSEK YAPI TAŞIYICI SİSTEMLERİ

5.1. Tanım

Yüksek yapıların tasarımında, rüzgar, deprem ve düşey yüklere karşı binanın dayanımını sağlayacak ana faktörler, binanın geometrisi ve bu geometriye uyan en verimli taşıyıcı sistemdir.

Bu sistem insan vücudunu oluşturan iskelet ve kas yapısından farksızdır. İnsan vücudu yatay ve düşey yüklere dayanıklıdır ve dengelidir, ayrıca aşırı yük artışlarına karşı elastik bir limit içermektedir. Kaslar iskelet yapısını bir birine bağlar. Taşıyıcı sistemde, insan vücudunda da bulunduğu gibi, binanın ayakta durmasını sağlayan bir iskelet sistemi vardır ve bu iskelet sistemini bağlayan yapı elemanları, insan vücudundaki kasların görevini üstlenmiştir. Taşıyıcı sistemler aşırı yük değişikliklerine karşı elastik limitlere sahip olmalıdır.

Yüksek yapıları oluşturan bir çok, farklı taşıyıcı sistem vardır. Bu sistemler kullanılacak yapı malzemelerine ve yatay ve düşey yüklere dayanacak değişik sistemler olarak sınıflandırılmalıdır (Şekil 5.1). Bu bölümde bu sistemlerin basitçe açıklamaları yapılacak ve örneklerle desteklenecektir.

Yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin malzeme kullanımı ve yük farklarına göre sınıflandırılması.

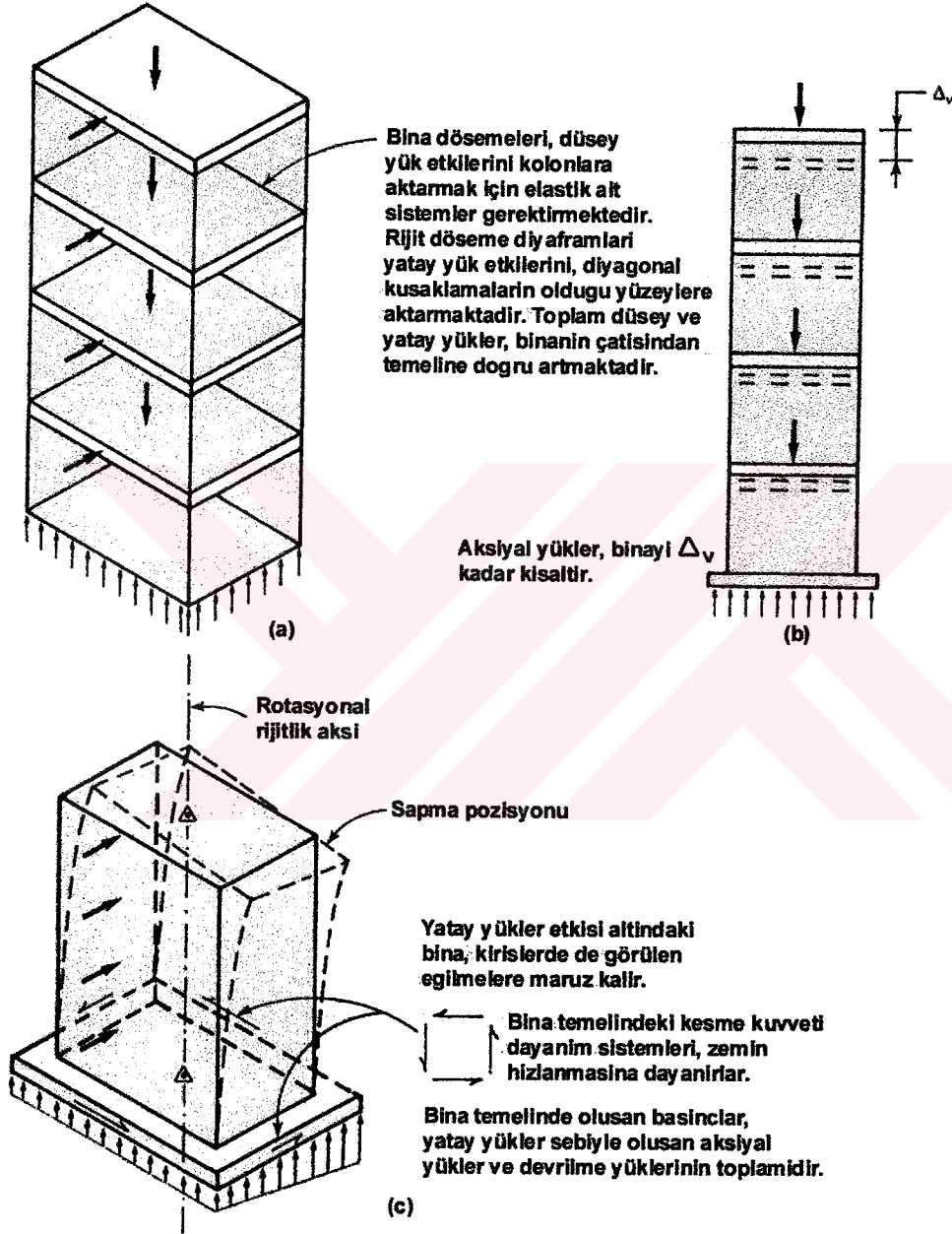
Çelik taşıyıcı sistemler,	Düşey yüklere dayanıklı çelik sistemler. Yatay yüklere dayanıklı çelik sistemler.
Betonarme taşıyıcı sistemler,	Düşey yüklere dayanıklı betonarme sistemler. Yatay yüklere dayanıklı betonarme sistemler.
Karma taşıyıcı sistemler,	Düşey yüklere dayanıklı karışık sistemler. Yatay yüklere dayanıklı karışık sistemler.

Şekil 5.1 Yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin malzeme kullanımı ve yük farklarına göre sınıflandırılması.

5.2. Taşıyıcı Sistem Olarak Yüksek Bina

Yüksek bina zemininden bir konsol gibi yükselir ve Şekil 5.2' te de gösterildiği gibi yatay ve düşey olmak üzere farklı moment ve kuvvetlerin etkisi altında kalır. Bina bu yüklere, aynen bir konsol kirişi gibi dayanmalıdır. Binanın üzerindeki hareketli ve hareketsiz yükler nedeniyle, binanın temelinde reaksiyonlar oluşur. Ayrıca bu yüklerin yanı sıra binanın temelinde, konsol eğilme momentlerinin benzeri olan fakat yüksek binalarda devrilme

momenti (overturning moment) olarak adlandırılan momentlere karşıda reaksiyonlar oluşur. Yüksek yapı bu iki farklı yük dışında, kesme, eğilme ve burkulma kuvvetlerine de karşı dayanıklı olmalıdır. Her yüksek bina bu yüklerin etkisi altında, belirli sınırlar içerisinde burkulur, kısalır ve eğilir. Şekil 5.2' de oluşan yükleri şematik olarak görebiliriz.



Şekil 5.2 Yüksek yapının, oluşan yüklerle etkileşimi.

Her bölümde yüksek yapının bir konsol kiriş gibi olması gerektiğini vurguluyoruz fakat yüksek yapı yaşanması için tasarlanmaktadır ve strüktürel sistemin dışında kullanılabilir alanlara sahip olmak zorundadır. Yüksek yapıyı konsol kirişten ayıran en büyük özellik, bina alanın çoğunun taşıyıcı sistem dışında insanların aktiviteleri ve taşıyıcı olmayan, mekanik sistemler, camlar, merdivenler, asansörler ve bölme duvarlar gibi yapı elemanları tarafından

doldurulmasıdır. Bütün bu faktörler göz önüne alındığında, yüksek bina bir yaşam makinası olarak düşünülebilir.

Yön ^a	Kaynak
F_z	Yerçekimi Etkileri - Hareketsiz Yükler - Hareketli Yükler
F_x, F_y	Rüzgar Yükleri Deprem Yükleri
M_z	
M_x, M_y	

Yapının ve yapı elemanlarının sabit yükleri.
Zamanla değişen farklı yükler.

Binanın dış yüzeyinde oluşan rüzgar basınçları.

Deprem sonucu zeminin hareket etmesiyle meydana gelen bina hareketi; bina kütlelerinin, değişken frekansların, ve depremin şiddet girdilerinin ve binanın doğal frekansının bir fonksiyonudur.

Binanın burkulma dayanım aksına göre, F_x ve/veya F_y 'nin eksantrik olma durumundaki etkiler.

F_z 'nin eksantrik olma durumundaki etkiler.

* a_z yönü düşeydir ve x,y ve z bir birine diktir.

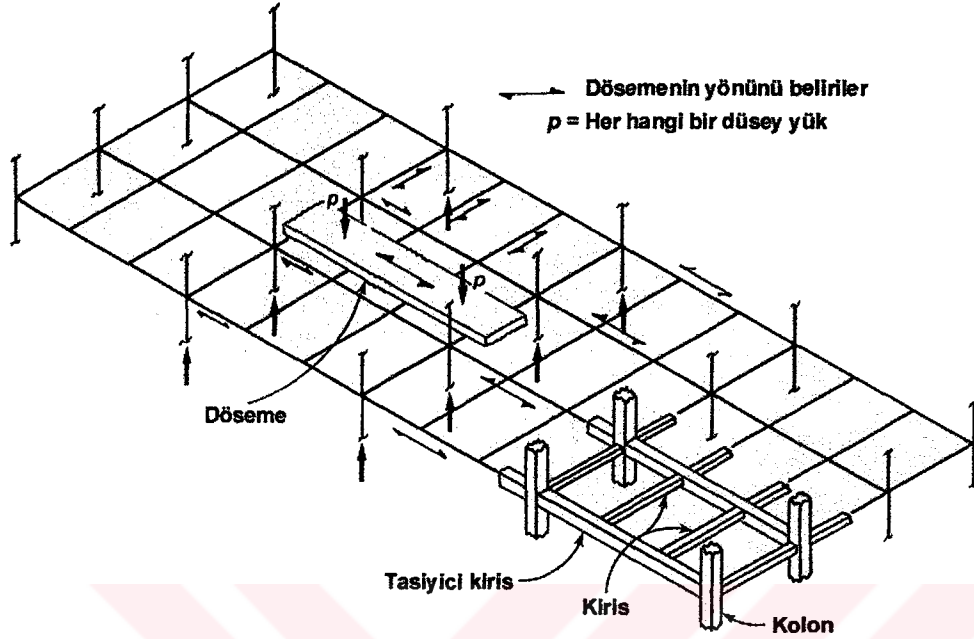
Şekil 5.3 Yüksek binayı etkileyen yükler.

Binanın her katı, yatay ve düşey yüklere dayanıklı bir alt taşıyıcı sisteme sahip olmalıdır ve bu sistem, oluşan yüklerin yarattığı etkileri hemen düşey taşıyıcı elemanlara transfer etmelidir. Binada oluşan her türlü yük, binanın ana düşey taşıyıcı elemanlarına ve oradan da binayı destekleyen temele ve zemine aktarılmalıdır. Katlarda oluşan düşey ve yatay yüklere, kolonlar ve/veya taşıyıcı duvarlar tarafından taşınan döşeme, kirişler ve ana çelik kirişler (girders) gibi yapı elemanları dayanmaktadır. Yatay yüklere daha çok, yatayda derin bir kiriş gibi davranış gösteren kat döşemeleri dayanmaktadır. Kat döşemeleri oluşan yatay yükleri, kesme, moment ve burkulma etkilerini binanın temeline aktaracak olan düşey alt taşıyıcı sistemlere transfer eder.

5.2.1. Düşey yüklere dayanan yapı elemanlarının hiyerarşisi

Şekil 5.4' te, düşey yüklere dayanan yapı elemanlarının hiyerarşisini görebiliriz. Bina katında oluşan her hangi bir yük, önce döşeme tarafından karşılanır ve döşeme, meydana gelen kuvveti döşeme kirişlerine aktarır. Ana kirişler, kolondan kolona açıklık geçerler. Döşeme kirişleri ise ana kirişe dik durumdadır ve ana kiriş tarafından desteklenirler. Döşeme kirişleri, döşemenin kendisini ve döşemenin üzerine binen yükleri ana kirişlere aktarma görevini görür. Ana kirişler aktarılan tüm yükleri desteklendikleri kolonlara transfer ederler ve kolonlar

sayesinde de yükler binanın temeline ulaşabilir. Bu sisteme benzer bir çok farklı sistemler vardır. Ana amaç, katta oluşan yükün binanın temeline aktarılmasıdır.³¹



Şekil 5.4 Düşey yüklere dayanan yapı elemanlarının hiyerarşisi.

5.2.2. Yatay yüklere dayanan yapı elemanlarının hiyerarşisi

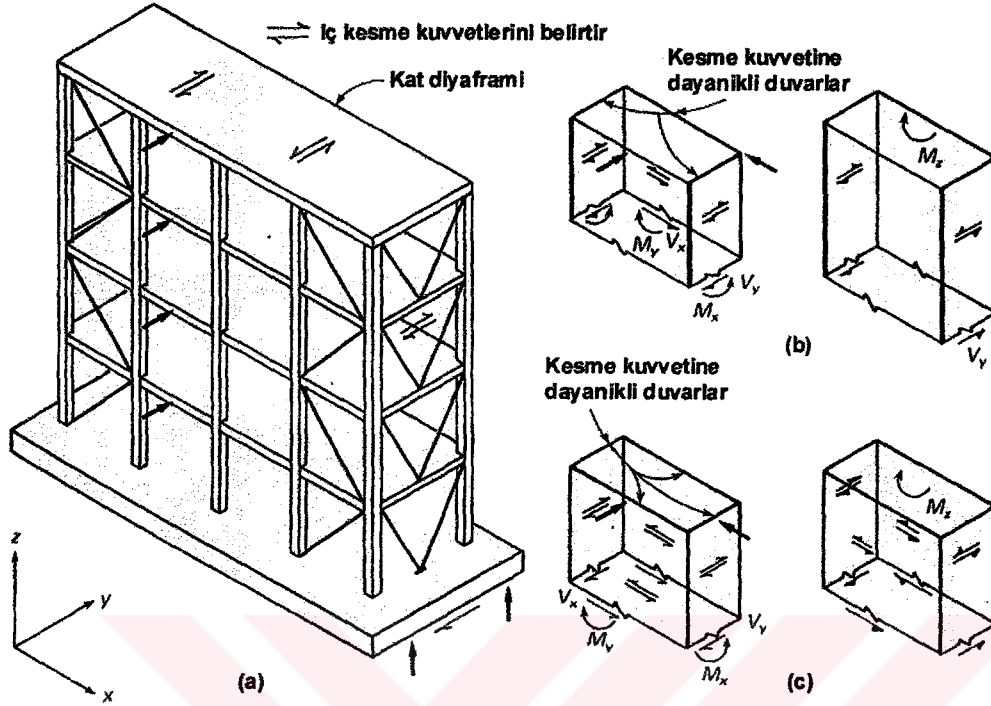
Yüksek bir bina üzerinde bir çok yatay yük oluşur. Bu yükler çeşitli sistemler kullanılarak binanın temeline aktarılmalıdır. Bunun en iyi yolu, bina üzerinde oluşan yatay yüklerin merkezinin belirlenmesi ve taşıyıcı sistem içeriğinde yatay yükleri transfer edebilecek özel sistemlerin tasarlanmasıdır.³²

Yatay yükler bina üzerinde bükülme, devrilme ve kesme kuvvetleri gibi çok farklı etkilere sahiptirler. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, özellikle rüzgar yükü, binanın en geniş yüzey alanına sahip kenarını etkilemektedir. Şekil 5.5 (a)' da görüldüğü gibi, bu yüklerin etkisi daha çok binanın geniş kenarında oluşur ve kesme, eğilme ve devrilme yükleri gibi yükler binanın dar kenarını stres altına sokar. Bu sebeple kesme kuvvetine dayanabilecek sistemler, binanın geniş kenarına dik durumda ve binanın dar kenarında yoğunlaşmalıdır. Geometrik olarak kare formuna yakın bir plan şemasına sahip binalarda, oluşan yükler her

³¹ Sol E. Cooper, "Designing Steel Structures, Methods and Cases.", s: 26, 1985

³² Sol E. Cooper, "Designing Steel Structures, Methods and Cases.", s: 27, 1985

kenarda eşit olacağından kesme kuvvetine dayanacak sistemler binanın her kenarında bulunmalıdır.



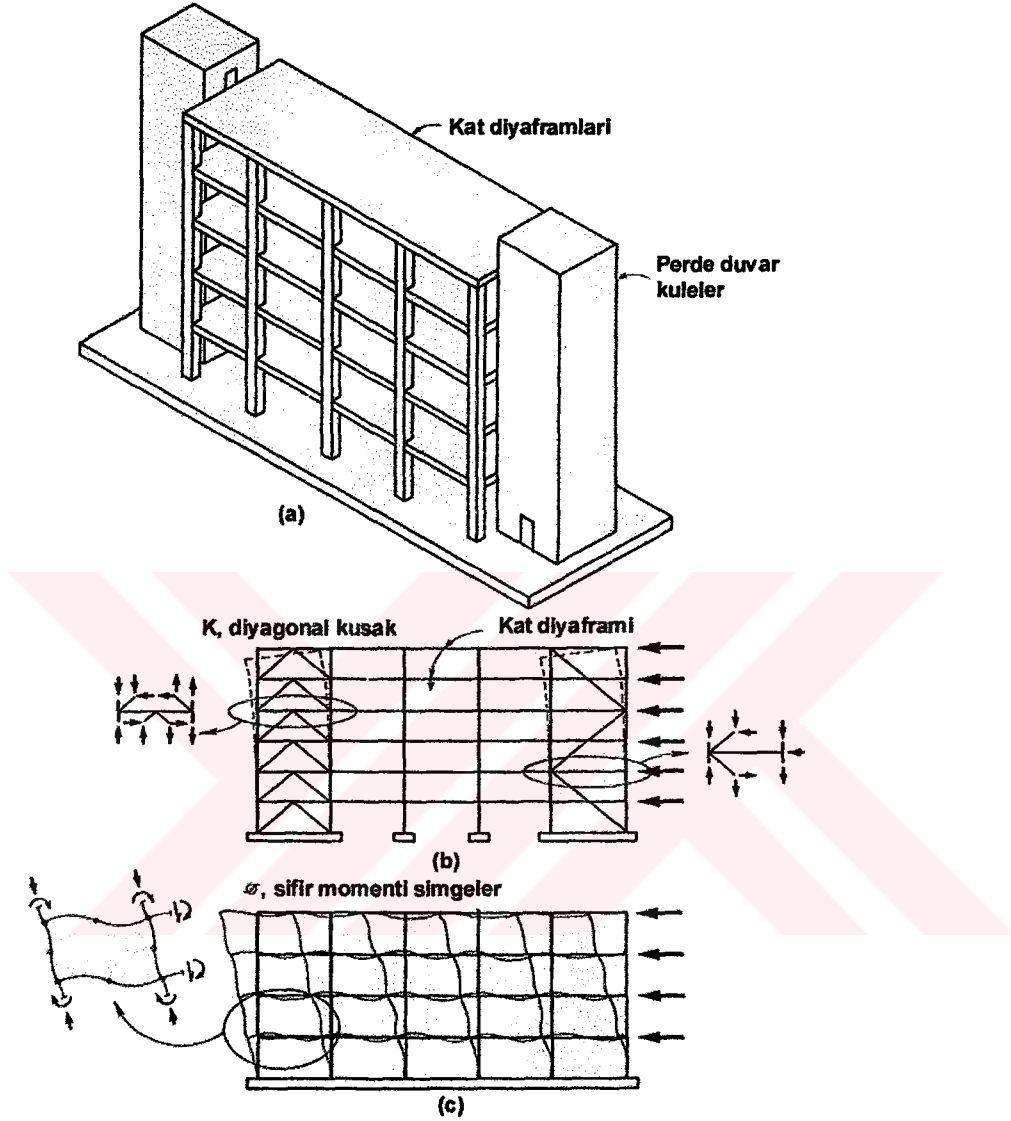
Şekil 5.5 Bina üzerinde oluşan yatay yüklerin yarattığı kesme kuvvetlerinin prezantasyonu.

Gösterilen yükler rüzgar basıncı sonucu oluşmuş yükler olabilir veya, bu yükler, depremin yarattığı yer salınımı sonucu meydana gelmiş atalet momentlerini de temsil edebilir. Her iki durumda da, bina katları yatay yönde geniş kirişlermiş gibi davranış gösterir ve kesme yüklerini, binanın dar kenarına, kesme kuvvetine dayanıklı düşey taşıyıcılara, aktarır. Şekil 5.5 (a)'da görülen kuşaklanmış kenar duvarlar, yükler etkisiyle oluşan kesme kuvvetlerini ve kesme kuvvetleri sonucu oluşan devrilme kuvvetlerini binanın zeminine aktarmaktadır. Bina temeli aktarılan tüm yükleri dengelemek zorundadır.³³

Kesme kuvvetlerinin izleyeceği yol, bu kuvvetlere dayanacak sistemin doğasına bağlıdır. Şekil 5.5 (b)'de stabilite gereksinimlerini karşılayabilecek minimum bir sistem gösterilmiştir. Bina üzerinde burkulma momenti ve, X ve Y yüklerinin yarattığı kesme kuvveti etkileri bulunmaktadır. Eğer oluşan yükler, taşıyıcı sistemin merkezinden geçmezse, M_z momenti oluşur. Tüm oluşan burkulma etkileri, yan duvarlarda oluşacak ters kesme kuvvetleri tarafından karşılanmalıdır. Şekil 5.5 (c)'de gösterilen sistemde ise binanın her dört köşesi de

³³ Sol E. Cooper, "Designing Steel Structures, Methods and Cases.", s: 29, 1985

kesme kuvvetlerine dayanıklıdır. Bu sistem, tüp taşıyıcı sistemlerin temelidir. Oluşan her türlü yatay yük karşıt yüklerle dengelenir ve bina temeline aktarılır.



Şekil 5.6 Yatay yükler sebebiyle oluşan kesme kuvvetlerine dayanan sistemler; (a) perde duvar sistemi, (b) kuşaklama sistemleri, (c) momente dayanıklı sistemler.

Düşey yüklere dayanıklı sistemler, oluşan kesme kuvvetlerini, binanın temeline farklı şekillerde aktarabilir. Şekil 5.6 (a)' da gösterilen binada, binanın iki dar köşesinde perde duvarlardan oluşan kuleler bulunmaktadır. Bu kuleler binayı oluşturan döşemeler tarafından bir birine bağlanmıştır ve bu sayede yatayda oluşan her türlü yük, nerede oluştuğu önemli olmadan, paylaşılarak binanın temeline aktarılmaktadır. Bu sistemi, günümüzde bir çok yüksek binada gözlemleyebiliriz. Genelde, yüksek binaların düşey sirkülasyonunun sağlandığı bina çekirdeği perde duvarlarla çevrilidir. Bu sayede, binanın dış kabuğunda bulunan kolon

sistemi ile binanın merkezinde bulunan perde duvarlar oluşan her türlü yükü paylaşarak binanın temeline aktarır. Bu sistem tüp içinde tüp olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 5.6 (b)' de görülen her iki kuşaklama sistemi de yüklerin transferini sağlamaktadır. Oluşturulan diyagonal kuşaklamalar yükleri vektörlerine ayırarak transfer eder. Kuşaklamalarda en önemli unsur, yapılan kuşaklamanın açısıdır. Kuşaklamanın ana amacı, yatayda oluşan kesme kuvvetlerini düşey taşıyıcılara, düşey olarak aktarması ve taşıyıcı sistemi kendi içinde oluşturduğu ters kuvvetlerle dengelemesidir. Ayrıca bu sistem bükülmeye karşı dayanıklıdır ve bu sistemin rijit olması gerekmektedir.

Şekil 5.6 (c)' de görülen sistem ise momente dayanıklı çerçeve sistemdir. Bu sistemi etkileyen yatay yükler döşeme ve kirişler tarafından karşılanır ve düşey taşıyıcılara aktarılır. Kat döşemeleri, yatay yükler etkisiyle, yatay yüzeyde derin kirişler gibi davranış gösterir. İncelediğimiz üç sistem arasında en az rijit olan sistem bu sistemdir. Oluşan yatay yükler nedeniyle her yönde deformasyonlar görülmektedir. Elastik oluşu nedeniyle deprem yüklerine karşı dayanıklıdır. Sistemin kendisi rijit olmamasına rağmen, kiriş-kolon bağlantıları rijittir ve bu yüzden kolonlarda ve kirişlerde burkulmalar ve eğilmeler ortaya çıkar. Bu deformasyonlar çok yüksek binalarda istenmeyen deformasyonlardır ve bu deformasyonları engellemek için kullanılan yapı elemanlarının ölçülerinin artırılması çözümden çok zarar getirir.³⁴

5.3. Çelik Taşıyıcı Sistemler

Çeliğin tarihçesine bakıldığında, taşıyıcı sistem olarak çeliğin normal binalarda kullanımının 1856 yıllarına kadar dayandığını görürüz. Yüksek binalarda ilk çelik taşıyıcı sistem uygulaması, 1889 yılında tamamlanan *Eiffel Tower*' da gerçekleşmiştir. Bu yapının yüksekliği 300 m (984 ft) dir. On dokuzuncu yüzyılın başlamasıyla, *Şikago*' nun şehir merkezinde ve *Manhattan*' da, 1902 yılında inşa edilen 87 m (286 ft)' lik *Flatiron* binası ile 1929 yılında inşa edilen 319 m (1046 ft)' lik *Chrysler* binası gibi bir çok, rekor yükseklikte, yüksek bina inşa edilmiştir. Yükseklik rekorlarını, 1931 yılında inşa edilen ve 381 m (1250 ft) yüksekliğinde *Empire State* binası, 1972 yılında inşa edilen ve 412 m (1350 ft) yüksekliğindeki *World Trade Center* ikiz binaları ve 1974 yılında inşa edilen ve 442 m (1450 ft)' lik bir yükseklikle, hala dünyanın en yüksek binası olarak görülen, *Şikago*' da ki *Sears*

³⁴ Sol E. Cooper, "Designing Steel Structures, Methods and Cases.", s: 30, 1985

Tower kırmıştır. *Sears Tower*' ın hala en yüksek bina sayılmasının sebebi, bu tezde de kriter olarak kullanılan, en son kullanılabilir kat yüksekliğidir. *Kualahumpur*' da inşa edilen ikiz binalar, *Sears Tower*' dan daha yüksekte bir anten yüksekliğine sahiptir ve yalnızca 12 m' lik bir farka sahiptir fakat en son kullanılabilir kat yüksekliği, *Sears Tower*' ın en son kullanılabilir kat yüksekliğinden daha alçaktır.

Tarihteki yüksek binalarda kullanılan çelik taşıyıcı sistemlerin ana amacı, yerçekimi yüklerini taşımaktır. Günümüzde binaların yüksekliklerinin artması, çelik taşıyıcı sistemlerin düşey yükler kadar yatay yüklere de dayanması gerektiğini ortaya koymuştur. Günümüzde kullanılan çelik taşıyıcı sistemler, basit çerçeve sistemlerden, outrigger sistemleri, mega çerçeve sistemleri, içten süper diyagonal kuşaklı çerçeve sistemleri gibi bir çok yaratıcı sistemlere kadar uzanan geniş bir spektruma sahiptir. Çoğu çelik sistemin betonarme uygulamaları yapılabilir.

5.3.1. Yatay yüklere dayanıklı, çelik taşıyıcı sistemler

Günümüzde, yüksek binaların yatay yüklere karşı dayanımını sağlayan bir çok çelik taşıyıcı sistem vardır. Bu sistemlerin belirgin kategorilerde sınıflandırılması çok zordur çünkü bu sistemlerin kategorize edilmesi için kullanılacak her hangi bir kriter bulunmamaktadır ve bu sistemler her binanın özelliği doğrultusunda değişkenlikler gösterebilirler. Buna rağmen, günümüzde genel olarak kullanılan ve yatay yüklere dayanıklı yüksek bina taşıyıcı sistemleri, yatay yüklere dayanımda gösterdikleri farklı etkilere göre, aşağıda ki gibi sınıflandırılabilir.

- Yarı-Rijit Bağlantılı çerçeve sistemleri (Frames with Semi-Rijit Connections)(5.3.1.1).
- Rijit çerçeve sistemleri (Rigid frames)(5.3.1.2).
- Diyagonal kuşaklanmış çerçeve sistemleri (Braced frames)(5.3.1.3).
- Düzensiz kafes-kiriş sistemler (Staggered truss systems)(5.3.1.4).
- Eksantrik kuşaklama sistemleri (Eccentric bracing systems)(5.3.1.5).
- Rijit ve diyagonal kuşaklanmış çerçevelerin birlikte kullanımı (Interacting system of braced and rigid frames)(5.3.1.6).
- Askı-gergi (konsol kafes-kiriş) sistemler ve kuşak kafes-kiriş sistemleri (Outrigger and belt truss systems)(5.3.1.7).
- Çerçevenilmiş tüp sistemleri (Framed tube systems)(5.3.1.8).
- Kafes-kirişli tüp sistemleri (Trussed tube systems)(5.3.1.9).
- Birleştirilmiş tüp sistemleri (The bundled tube)(5.3.1.10).

- Yüksek verimli yüksek yapı sistemleri (High-efficiency structures)(5.3.1.11).

5.3.1.1. Yarı-Rijit bağlantılı çerçeve sistemleri

Yarı rijit bağlantı, adlandırıldığı gibi, tamamen rijit ve basit bağlantılı sistemler arasında rotasyonel bir karakter sergileyen çerçeve sistemidir. Bu sistemler, kirişlerin kolonla birleştiği noktalardaki serbest ve hareketli bağlantı detaylarıyla, açıklığın ortasında oluşan yerçekimi momentlerinde belirgin bir azalma sağlar. Buna rağmen, bu sistemler yeterince rijit olmadıkları için kirişlerle kesişen kolonlar arasındaki rotasyonu, tamamıyla, engelleyemezler. Bu sistem yoğun olarak kullanılmayan bir sistemdir çünkü tasarım sırasında, bağlantı noktalarında oluşacak kompleks etkileşimleri belirlemek çok zordur. Bu sistemlerin kullanımını sağlamak için, dünyanın çeşitli ülkelerinin kodlarında değişik bağlantı tipleri belirlenmiştir. Bu tiplerden en çok kullanılanı Tip 2 rüzgar bağlantısıdır.

Bu sisteme dair 3 değişik bağlantı detayı tipi bulunmaktadır. Farklar, kullanılan yapı elemanlarının özelliklerini, yapı elemanlarının ölçülerini ve bağlantı detaylarının kuvvetlerini içerir. Bu üç tip kısaca aşağıda sıralanmıştır.

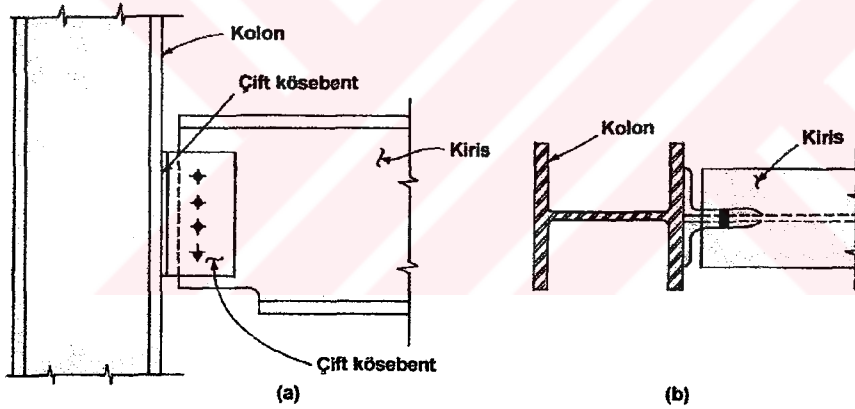
Tip 1. Bu tip, genelde, “rijit çerçeve” (devamlı çerçeve) olarak adlandırılır çünkü kolon kiriş bağlantılarında yeterli derecede rijitliği sağlayacak detaylar geliştirilmektedir. Bağlantı noktalarındaki köşebentlerin ve bayrakların rotasyonunun, sanal olarak değişmediği varsayılır ve kolonla kiriş bir birine bağlanır.

Tip 2. Bu tip, genelde, “basit çerçeve” (serbest uçlu çerçeve) olarak adlandırılır çünkü kolon kiriş bağlantıları, yerçekimi kuvvetleri esas alınarak, kesme kuvvetlerine karşı detaylandırılır. Bu sistemi oluşturan bağlantı detayları yerçekimi yükleri etkisi altındayken serbest bir şekilde hareket edebilir.

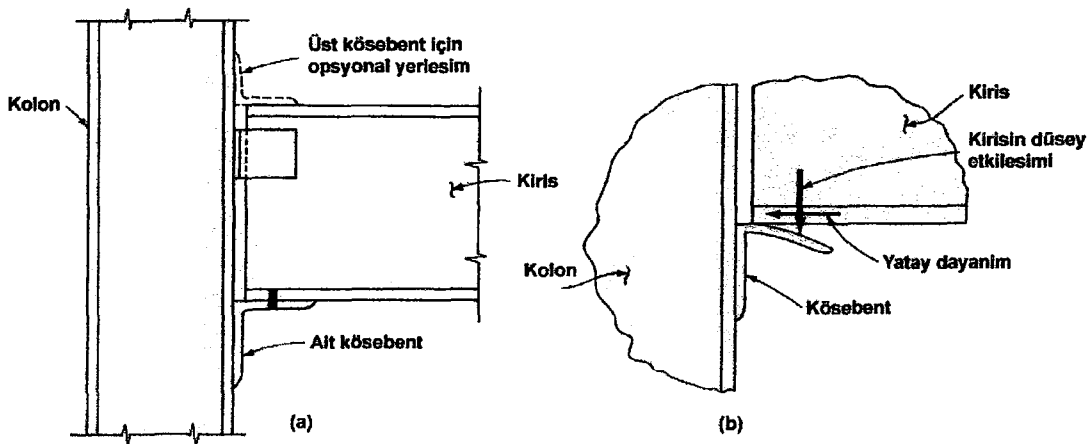
Tip 3. Bu tip, genelde, “yarı rijit çerçeve” olarak adlandırılır. Bu sistemin içerdiği kolon ve kiriş bağlantılarının moment kapasitesi, Tip 1 ve Tip 2 türü bağlantıların rijitlik ve elastiklik derecelerinin ortasında bir değere sahiptir.

Basit çerçeve sistemleri, yalnızca, tipik olarak düşeyde oluşan kesme kuvvetlerini transfer etmeleri için tasarlanır. Eğer, bu sistem deprem yüklerinin etkisi altında kalırsa ve aks çevresinde oluşan yükleri de transfer etmek için tasarlandılarsa, deprem sebebiyle oluşan

kayma kuvvetlerini de transfer ederler. Bu sistemin kolon kiriş noktalarında eğilme momentinin olmadığı varsayılır. Diğer yandan, tamamen rijit çerçeve sistemler, eğilme momentlerine ve kesme kuvvetlerine dayanan sistemlerdir. Kolonla kiriş arasındaki bağlantının hareketsiz bir bağlantı olduğu varsayılır. Yarı-rijit sistemler ise basit çerçeve sistemleriyle rijit çerçeve sistemlerinin arasında bir noktadadır. Bağlantı detayları yeterli derecede rijit ve hareketli olmalıdır. Şekil 5.7, tipik bir kolon kiriş bağlantısına örnektir. Bu bağlantıların yalnızca kesme kuvvetlerine dayandığı ve esnek olduğu varsayılır. Aslında bu sistem, oluşan momentlere de dayanıklıdır ve rotasyon sonucu oluşan bu momentlere de dayanmaktadır. Bu bağlantılar yerçekimi yükleri etkisi altındayken, bağlantıda kullanılan çelik köşebent ve bayrakların alt tarafının kolona doğru bir basınç oluşturduğu ve üst bağlantıların ise çekme etkisi altında kaldığı bilinmektedir. Bu hareketlilik düşey yönde kirişin rotasyona girmesinden dolayı oluşur ve hareket, çelik köşebentlerin ve bayrakların esnemesiyle karşılanır. Bağlantıların kırılmaması ve esnemeleri için esnek limitler içerisinde yeterince ince kesitli olmalıdırlar.



Şekil 5.7 Kolon-kiriş vidalanmış ve kesme kuvvetine dayanıklı bağlantı detayı; (a) görünüş, (b) plan.



Şekil 5.8 Serbest ve oturtulmuş kiriş bağlantı detayları (Tip 2 sistemlerine bir örnektir).

Şekil 5.8’ de gösterilen bağlantı detayı ise Tip 2 bağlantılara bir örnektir. Bağlantı noktaları sabit değildir ve çelik köşebentlere oturtulmuştur. Bu örnekte, oluşan yatay ve düşey yükler etkisi altındaki kirişin, bağlantı detayları üzerindeki hareket serbestliğini görebiliriz. Yarı-rijit çerçeve sistemleri 15 kat yüksekliğe kadar, verimli olarak kullanılabilir.

5.3.1.2. Rijit çerçeve sistemleri, moment çerçeve sistemleri (Rigid frames)

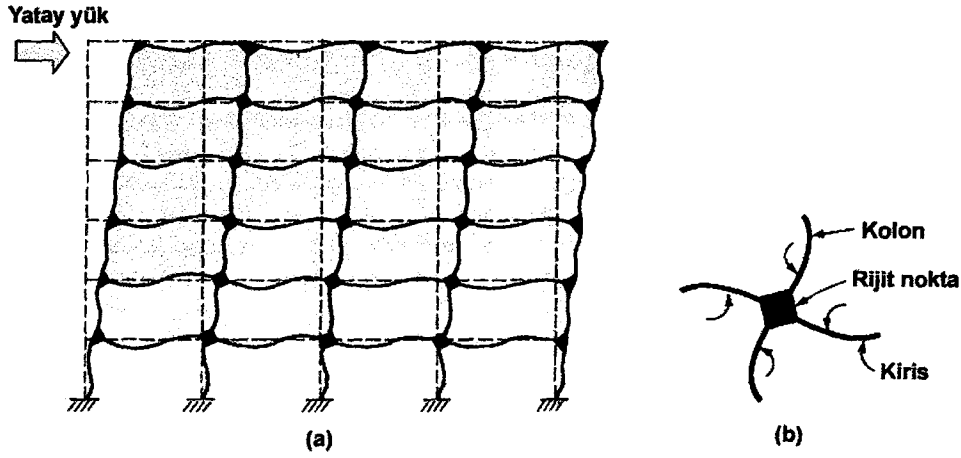
Eğer bir çerçeve sistemi oluşturan kolon kiriş birleşim detayları yeterince rijitliğe sahipse, bu sistem rijit çerçeve sistemi olarak adlandırılır. Kolon ve kiriş, oluşan deformasyonlarda bir bütün halinde eğilir veya rotasyona girer. Rijit çerçeve taşıyıcı sistemine sahip bir yüksek bina, momente dayanıklı bağlantılara sahip kolon ve kirişlerden oluşur. Yatay yüklere dayanım kolonların, kirişlerin ve bağlantıların eğilmeye karşı dayanımıyla sağlanır. Çerçevenin devamlılığı da, kirişlerin geçtiği açıklığın ortasında oluşan pozitif momentleri azaltarak, taşıyıcı sistemin yerçekimi yüklerine karşı daha verimli bir davranış göstermesini sağlar.

Şekil 5.9’ da, yatay yüklerin etkisi altında kalan bir momente dayanıklı çerçeve sisteminin tipik deformasyonunu görebiliriz. Esnemelerin ve eğilmelerin yön değiştirme merkezi kolonların ve kirişlerin yükseklik ve açıklık mesafelerinin ortasında gözlenir. Çerçevenin yatay yükler altında deforme olmasının ve zarar görmesinin sebebi, bu yüklerin etkisiyle sistemi oluşturan kolonların ve kirişlerin yatay yönde hareket etmesi ve kolonlarda gözlenen kısalmadır. Yatay hareketten dolayı oluşan kesme kuvvetleri, taşıyıcı sistemin toplam deformasyonunun yüzde 80 ile 90’ ını kapsamaktadır. Geriye kalan yüzde 10 ile 20 arasındaki deformasyonlar ise kolonların kısalması sonucu oluşan deformasyonlardır.

Momente dayanıklı çerçeve sistemleri mimari planlama açısından esnek olduğu için yüksek yapılarda çok avantajlar sağlar. Bu sistem, mimari planlamaya sınırlama getirilmeden, binanın dış yüzüne veya içine yerleştirilebilir.

Momente dayanıklı çerçeve sistemleri oluşturan yapı elemanlarının ölçüleri, yatay yükler sebebiyle oluşacak kaymayı kontrol altına almak için yapı elemanlarının kuvveti değil eğilme ve bükülmeklere karşı dayanımıyla belirlenir. Yatayda gerçekleşen kaymalar, kolonun ve kirişin eğilme ve bükülmelerine dayanmaktadır. Bu sistem genelde 6 m (20 ft) ile 9 m (30 ft) arasında açıklık geçen kirişlerden ve kat yüksekliği 3.65 m (12 ft) ile 4.27 m (14 ft) arası olan kolonlardan meydana gelmektedir. Verilen ölçülerde görüldüğü gibi kirişin geçtiği açıklık

değeri kat yüksekliğinden fazladır. Bu da, kirişin atalet momenti kolonun atalet momentinden açıklık ile yükseklik arasındaki oran kadar fazla olmalıdır. Etkili bir momente dayanıklı çerçeve sistemi, bu oranlar sağlanabilirse oluşturulabilir.



Şekil 5.9 Momente dayanıklı çerçeve sistemin yatay yüklerle etkileşimi; (a) yatay yüklerle etkileşim şeması, (b) bağlantı detaylarının rijit olması sebebiyle, kolon ve kirişlerde oluşan eğilme ve burkulmalar.

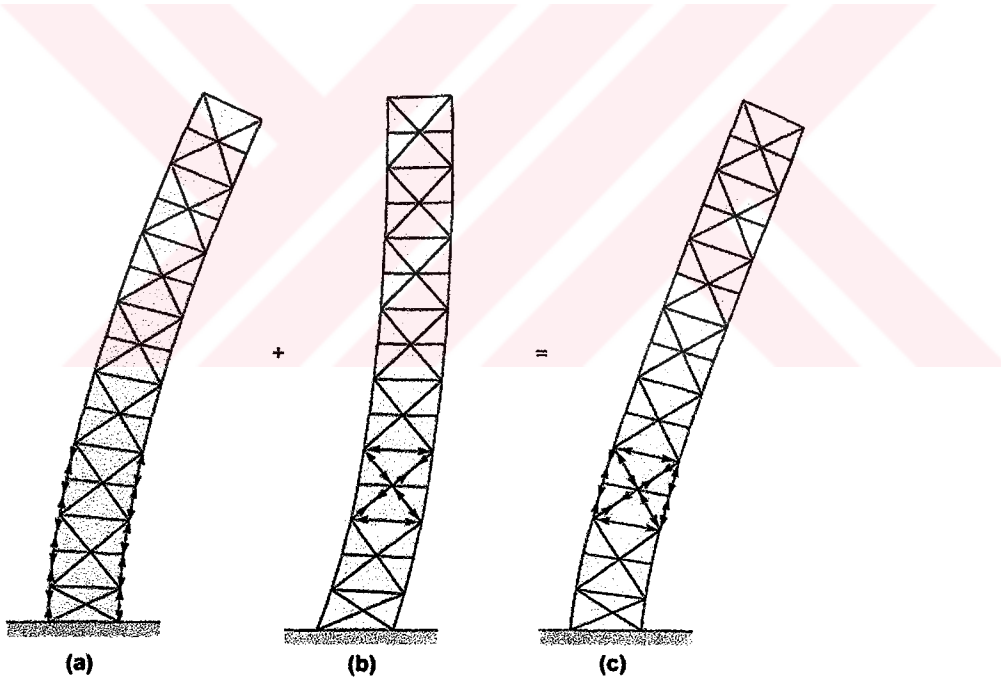
Yüksek binalarda bu sistem, 30 kat yüksekliğe kadar verimli bir sistem olarak kullanılabilir. 30 katın üzerinde ki binalarda verimsiz olmasının sebebi, yüksek yapıyı oluşturan yapı elemanlarının esnekliğinden kaynaklanan, momente dayanımdaki azalmadır.

Momente dayanıklı çerçeve sistemlerde, bağlantı detayları önemli tasarım elemanlarıdır. Bağlantılarda oluşan rotasyon yatay kaymalar sonucu oluşan deformasyonların belirgin bir kısmını karşılamaktadır. Ayrıca, bağlantıların kuvveti de, özellikle deprem yüklerine karşı dayanıklı olması için tasarlanan çerçeve sistemlerde önemli olan bir faktördür.

Bu sistem 1994 yılında Northridge depremine kadar çok kullanılmaktaydı. Fakat bu depremde yaklaşık 200 momente dayanıklı çerçeve sistemli bina yıkıldı ve zarar gördü. Deprem 6.7 şiddetindeydi. Bu yıldan sonra bu sistemin depreme karşı dayanımının az olduğu anlaşılmıştır. Deprem sırasında bağlantı detayı olarak kullanılan kaynaklanmış üst ve alt flanjlarda kopmalar meydana geldi. Bu zararlara bir çok faktörün etki etmiş olmasına rağmen, basit bağlantı detaylarının, deprem yükleri etkisi altında yetersiz olduğu anlaşılmıştır.

5.3.1.3. Diyagonal kuşaklanmış çerçeveler (Braced frames)

Rijit çerçeveli sistemler 30 kattan yüksek binalar için verimli bir sistem değildir çünkü binanın hareket etmesi sonucu, kolonların ve kirişlerin eğilmesi sebebiyle ortaya çıkan zararlı kesme kuvvetleri kat kaymalarının çok büyük değerlerde olmasına sebep olur. Kuşaklanmış çerçeveler, rijit çerçeve sistemlerinin, bu sistemde oluşan kolon ve kiriş eğilmelerini elemine ederek, verimini artırır. Eğilmeleri engellemek için rijit çerçeve sistemine, diyagonal kuşaklar, bir başka deyimle X kuşakları veya şevron kuşaklar, bir başka deyimle K kuşakları gibi kuşaklama elemanları eklenir. Kuşaklama sistemlerde, çeşitli sebeplerle oluşan yatay yükler kolonlar yerine kuşaklamalar tarafından absorbe edilir. Kuşaklama sistemleri, meydana gelen yatay yükleri vektörlerine ayırır ve bu yükleri düşey yüklermiş gibi kolonlara aktarır. Böylece kolonlar yatay yükleri düşey yüklermiş gibi karşılar. Ayrıca kuşaklama sistemleri, bir nevi taşıyıcı sistemin yatay ve düşey elemanları, ters yönde yükler yaratarak dengeler ve kitler.

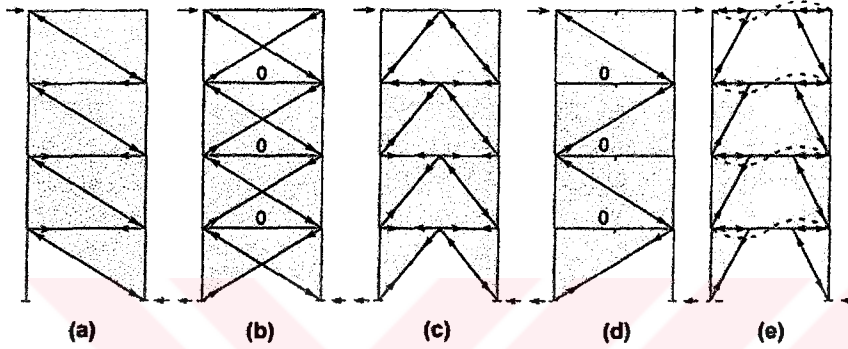


Şekil 5.10 Kuşaklanmış çerçeve sisteminde oluşan deformasyonlar; (a) elastik deformasyon, (b) kesme deformasyonu, (c) birleştirilmiş deformasyon.

Basitçe, kuşaklanmış çerçeveler yatay yüklere kolonların ve kuşakların akslarından, yerden konsollaşmış bir düşey kafes kiriş gibi dayanırlar. Kolonlar devrilme kuvvetleri karşısında kablo görevi görür. Yatay yükler rüzgar yönünde bulunan kolonlarda gerilme, aksi yöndeki kolonlarda ise basınç yaratır. Kuşaklamalar ve kirişler ise, kafes kirişte kesme kuvvetlerine dayanan diyagonaller gibi davranış gösterir ve yatay kesme kuvvetlerini absorbe eder.

Kuşaklamalar, yük yönüne göre gerilir veya basınç altında kalır ve sistemin değişik yükler etkisi altında bütün olarak davranmasını sağlar. Şekil 5.10' da oluşan deformasyonlar sonucu taşıyıcı sistemin davranışı görülebilir.

Çeşitli kuşaklama sistemleri vardır ve bu sistemlerin farklı karakterleri bulunmaktadır. Bir sistemde oluşan kesme kuvvetlerinin transfer yolu ve şekli izlenmelidir. İki ana tür kuşaklama sistemi vardır. Bunlar eksantrik ve konsantrik olarak ikiye bölünür. Şekil 5.11' de bu sistemler görülebilir.



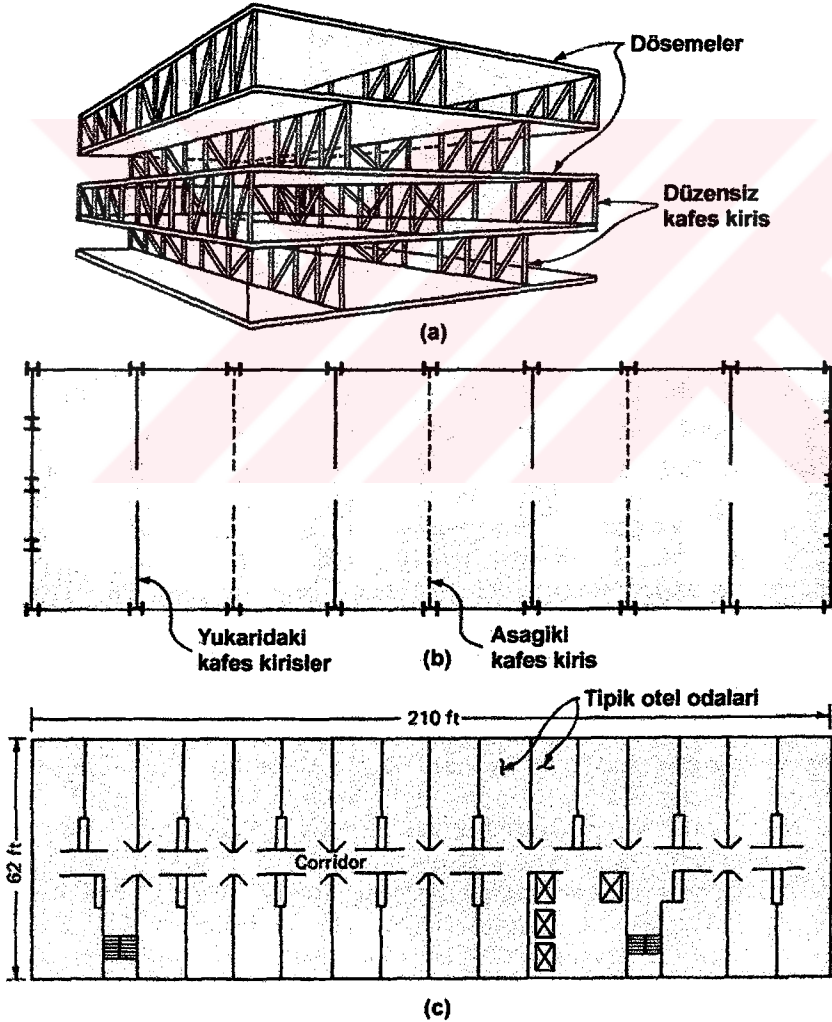
Şekil 5.11 Kuşaklama sistemlerinin çeşitleri ve diyagonaller üzerindeki yatay kesme kuvvetlerinin yük yolları; (a) tek-diyagonal kuşaklama, (b) X kuşaklama, (c) şevron, K, kuşaklama, (d) tek-diyagonal (alternatif kuşaklama yönü), (e) dirsek kuşaklama sistemi.

Kuşaklama sistemleri, bina dışında olduğu kadar bina içinde de kullanılabilir. Binanın çekirdeği kuşaklama sistemden oluşabilir fakat mimari planlama açısından çeşitli sorunlar yaratır. Örneğin her katta asansörün kapısı aynı yerde açılmak zorundadır, fakat kuşaklama sistemlerinin kullanımı, bazı alanlarda yetersiz kapı yükseklikleri yaratabilir. Bu yüzden, böyle durumlarda, mimari planlamanın çok dikkatli yapılması gerekmektedir. Bunun dışında, dış kabukta kullanılan kuşaklama sistemi, yalnızca, binanın pencere modülasyonu üzerinde sorunlar yaratır, fakat bu sistemin yalnızca dışta kullanılması, mimari planlamada da büyük rahatlıklar ve geniş açıklıkların kolonsuz geçilmesini sağlar.

5.3.1.4. Düzensiz kafes-kiriş sistemleri (Staggered truss systems)

Bir çok apartman ve otel tipi yüksek binaların taşıyıcı sistem, 18.3 m x 45.75 m (60 ft x 150 ft) eninde, 61 m (200 ft) uzunluğundadır. Bu yapıların plan şemaları, çift taraflı, merkezi koridorlardan oluşur. Bu koridorlar, 1.83 m (6 ft) ile 2.43 m (8 ft) aralığındaki genişliklere sahiptir. Massachusetts Institute of Technology' de, 1960' lı yılların ortasında yapılan bir

çalışmada, yüksek ve dar bir taşıyıcı sisteme sahip olan binaların çerçeve sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. MIT’ de yapılan bu çalışmalar sonucu, düzensiz kafes-kiriş sistemler, bu tür binalarda kullanılabilecek en verimli sistem olarak belirlenmiştir. Bu sistemde, kat yüksekliğindeki kafes kirişler, binanın dar kenarlarında kolonlar arasında yerleştirilmektedir. Kafes-kirişler her katta farklı pozisyonlarda tasarlanmaktadır. Bunun sebebi ise, apartman yapılarının kat planlarının, bina boyunca farklılık göstermesidir. Şekil 5.12’ de kafes-kirişlerin, plan şemasına uyularak, nasıl yerleştirildiğini görmekteyiz. Bu taşıyıcı sistemde kat döşemeleri, oluşan yatay yükleri, binanın eninde ana taşıyıcılar gibi davranarak kafes-kirişlere aktarırlar. Bu sayede kafes-kirişler, oluşan yatay yüklere dayanan ana taşıyıcı yapı elemanlarıdır ve yatay yükleri, direkt yükler olarak kolonlara aktarırlar. Transfer edilen yükler etkisiyle, kolonlarda eğilmeler gözlenmez.



Şekil 5.12 Düzensiz kafes-kiriş sistemleri; (a) otel odalarını gösteren plan şeması, (b) plan şemasında kafes kirişlerin yerleştirilmesi, (c) kafes-kirişlerin yerleşimlerinin perspektifi.

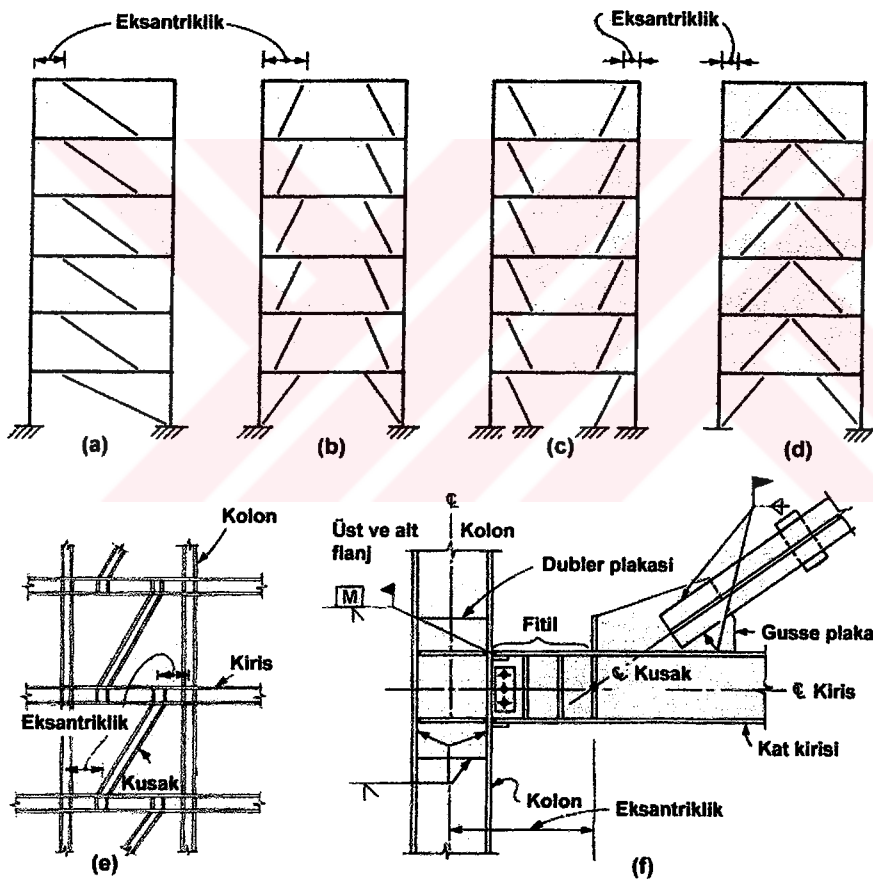
Binanın koridoruna gelindiğinde, kafes-kirşleri oluşturan diyagonal kuşaklar kesilir. Binanın bu bölgelerinde oluşan kesme kuvvetleri, kafes-kirişin alt ve üst başlığı tarafından karşılanır. Taşıyıcı sistem çapında gerekli olan açıklıklar, diyagonal kuşaklamalar giderilerek sağlanabilir. Her koşulda kirişin alt ve üst başlığı, kesme kuvvetlerine dayanacaktır. Dünyada bu sistemin ilk defa kullanıldığı bina, 1967 yılında tamamlanan, St. Paul, Minnesota' da inşa edilen konut projesidir. 1967 yılından bu yana bu sistem, dar ve uzun yüksek yapılarda başarılı bir biçimde kullanılmaktadır.

Kafesli-kiriş sistemler, taşıyıcı sistemde direkt stres oluşturan yatay ve düşey yüklerin çoğuna dayandığı için katı olmak zorundadır. Bu sistemin katılığından dolayı, katlardaki kaymayı engelleyecek ekstra yapı elemanlarının eklenmesi gerekmez ve tüm çerçeve içeriğinde, yüksek dayanımlı çelik kullanılabilir. Bu sistem genelde, 35 ila 40 katlı binalarda kullanılmaktadır. Kirişlerin verimli çalışabilmesi için, sistemde kullanılan açıklıkların geniş olması gerekir yani açıklıkların minimum 13.72 m (45 ft) olması gerekmektedir. Düzensiz kafes-kiriş sistemlerinde kullanılan çelik miktarı, momente dayanıklı bir çerçeve sistemde kullanılan çelik miktarından yüzde 30 ila yüzde 40 oranında daha azdır. Kafes kirişler binanın çevresindeki kolonlar tarafından desteklendiği için, binanın içinde kolon veya temel gereksinimleri ortadan kalkar. Bu sistem yalnızca dikdörtgen plan şemalarında kullanılmaz, yuvarlak veya eğimli plan şemalarına da uygulanabilir.

5.3.1.5. Eksantrik diyagonal kuşaklama sistemleri (Eccentric bracing systems)

Konsantrik diyagonal kuşaklama sistemlerinin kuvvet ve katılık özellikleri mükemmele yakındır. Bu yüzden rüzgar yükleri dominant yatay yükleri oluşturuyorsa, bir çok yüksek binada kendi başlarına veya momente dayanıklı çerçeve sistemleriyle beraber kullanılmaktadır. Deprem yüklerinin dominant yükler olduğu bölgelerde ise, diyagonal kuşaklama sistemleri, elastik olmadıkları için çok zayıf özellikler gösterir. Eksantrik diyagonal kuşaklama sistemleri, bu sistemin sahip olduğu kuvvet ve katılık özellikleriyle, momente dayanıklı çerçeve sistemlerinin elastik olmayan davranışını birleştirmeye yönelik, ideal bir sistemdir. Bu sistemin eksantrik olarak adlandırılmasının sebebi, kolon ile kiriş arasında ve kiriş ile kuşaklama arasındaki eksantrik bağlantılardır. Eksantrik kiriş elemanı, kuşaklama sisteminde bükülmelere sebep olacak yüklerin oluşumunu bir fitil gibi davranış göstererek engeller. Kirişin eksantrik olan bölümü, diğer yapı elemanlarının eğilmesi ve basınç altında bükülmesinden önce, oluşan tüm kesme kuvvetlerine dayanır ve esner. Bu sayede sistem, büyük ölçüde elastik olmayan deformasyonlar etkisi altında bile dayanımını

korur. Rüzgar yükleri veya küçük deprem yükleri etkisi altında eksantrik diyagonal kuşaklama sistemlerinin katılığı korunabilir çünkü bu yükler etkisiyle oluşabilecek eğilmeler veya bükülmeler, sistemin bir bütün halinde elastik olarak çalışmasıyla engellenir. Eksantrik diyagonal kuşaklama sistemlerinde gözlenen deformasyonlar, konsantrik diyagonal kuşaklama sistemlerinde gözlenen deformasyonlardan daha fazladır. Buna rağmen, eksantrik kuşaklama sistemini oluşturan ve fitil görevi gören bağlantıların uzunluklarının kısa olması, fitillerde, eğilme ve kesme kuvvetleri sonucu oluşan deformasyonların sisteme etkisinin önemsiz olmasını sağlar. Bu yüzden, tüm pratik uygulamalarda, eksantrik diyagonal kuşaklama sistemlerinin elastik katılığı, konsantrik sistemlerin elastik katılığından az olarak düşünülmez.



Şekil 5.13 Eksantrik diyagonal kuşaklama sistemi; (a-d) genel kuşaklama türleri, (e) görünüş, (f) detay.

Şekil 5.13’ te gösterilen diyagonal kuşaklamalara bakalım. Gösterilen kuşaklamalar yatay yüklerin etkisi altındadır. Kolonlarla kirişlere bağlı kuşaklamalar moment bağlantılarına sahiptir. Bu sayede kuşaklama davranışı sağlanmış olunur. Kuşaklamada oluşan kuvvetler kirişlere yatayda, aksiyal yükler olarak, düşeyde ise, kirişin yüksekliğinde kesme stresleri olarak transfer edilir. Kirişin eksantrik bölümünün ve kolonla olan moment bağlantısının

eğilmelere karşı yeterli olduğu düşünülürse, bir yetersizlik sırasında kirişin yüksekliğinde oluşabilecek bir bükülme, kirişin yüksekliğinin kesme kuvvetlerine karşı dayanımıyla giderilecektir. Bu kuvvetlerin giderilmesi, ancak eksantrik kiriş bölümünün yeterli katılığa sahip olmasıyla engellenebilir.

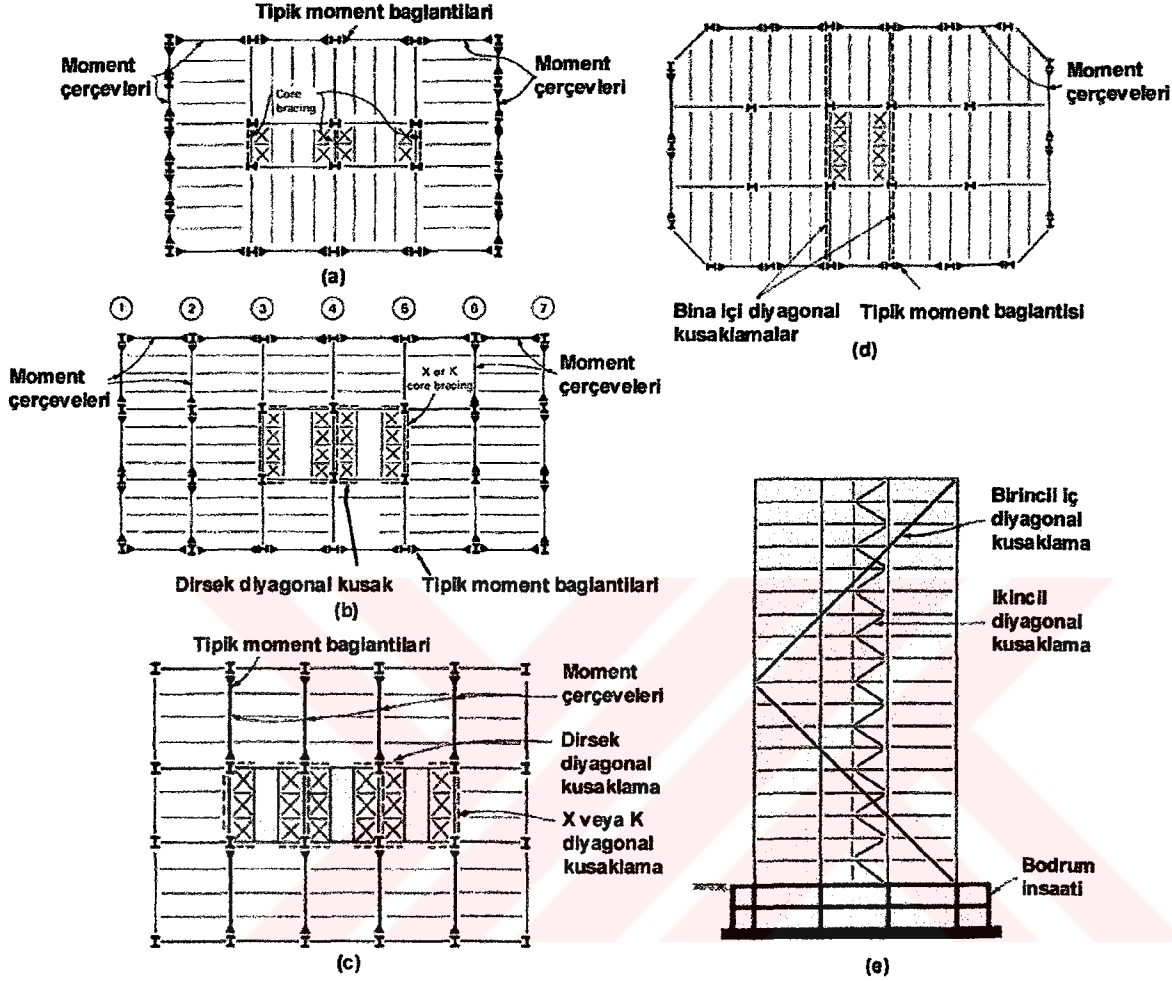
5.3.1.6. Rijit ve diyagonal kuşaklanmış çerçevelerin birlikte kullanımı (Interacting system of braced and rigid frames)

Eğer yatay yüklere dayanan diyagonal kuşaklamalar binanın çekirdeğine hapsedildiyse, 10 ila 15 kat yüksekliğe sahip binalarda bile ağır kolonlar ortaya çıkar çünkü kuşaklama için müsait derinlik sınırlıdır. Buna ek olarak, bina çekirdeğini destekleyen kolonların altında meydana gelebilecek deprem kuvvetleri, binanın temelinde problemler yaratabilir. Böyle durumlarda, rijit çerçeve sistemleri ve bina çekirdeği diyagonal kuşaklamalarının birlikte kullanılması, ekonomik bir taşıyıcı sistem çözümü olarak görülebilir. Sistemin çerçeve gibi çalışması için derin kirişler ve moment bağlantıları gerekmesine rağmen, bina içi planlamasında ortaya çıkan kolaylıklar bu sistemin kullanımını cazip kılmaktadır. Çoğu zaman parapetlerin yüksek olması ve bina dışında yakın yerleştirilmiş kolonların bulunması, mimari açıdan kabul edilebilir sistemlerdir çünkü bina dışında kullanılan yakın yerleştirilmiş kolonlar sayesinde bina içinde kolon bulunmayacaktır ve parapetler yüksek tasarlanarak havalandırma sistemleri çözülebilecektir. Şekil 5.14 (a)' da bu sisteme örnek bir plan şeması gösterilmiştir.

Bina çevresine yerleştirilen çerçeve sisteme bir alternatif olarak, bina çekirdeğinin kuşaklanması ile bir dizi iç çerçeve sistemi de kullanılabilir. Bu düzen Şekil 5.14 (b)' de gösterilmiştir. 1,2,6 ve 7 numaralı akslarda kullanılan çerçeve sistemleri, 3, 4 ve 5 numaralı akslarda bulunan çekirdek kuşaklamasıyla birlikte çalışmaktadır. Başka bir çözümde, Şekil 5.14 (c)' de görüldüğü gibi, çekirdek kuşaklamalarıyla çevre kolonların moment bağlantılarıyla bağlanmasıdır. Bu durumda çerçeveyi oluşturan tali kirişler, dış kolonların askı-gergi sistem gibi çalışmasını sağlayarak kolonların eğilme momentlerine dayanmasını sağlamaktadır.

Aspect Ratio' su 5 veya daha büyük olan yüksek binalarda, moment çerçeve sistemleriyle, yalnızca çekirdekte kullanılan kuşaklama sistemlerinin birlikte kullanımıyla oluşturulan bu taşıyıcı sistem verimini kaybeder ve ekonomik olmaktan çıkar. Böyle durumlarda, Şekil 5.14 (d)' de görüldüğü gibi, binanın mimarisini etkilemeyecekse, kuşaklamaların bina bütününde,

bina yüzeyinden bina yüzeyine yerleştirilmesi gerekmektedir. Eğer bina mimarisi etkileniyorsa, bu kuşaklamalar bina içine taşınmalıdır.



Şekil 5.14 Rijit çerçeve ve diyagonal çekirdek kuşaklamasının plan şemaları; (a) bina çevresine yerleştirilen çerçeve sistem ve kuşaklanmış bina çekirdeği, (b) bina içinde ve çevresinde kullanılan çerçeve sistem ve kuşaklanmış bina çekirdeği, (c) bina içi çerçeve sistemleri ve kuşaklanmış bina çekirdeği, (d) bina içinde kullanılmış iç kuşaklama ve dış çerçeve sistemi, (e) bodrum inşaatı, birincil ve ikincil kuşaklamaları gösteren bina kesiti.

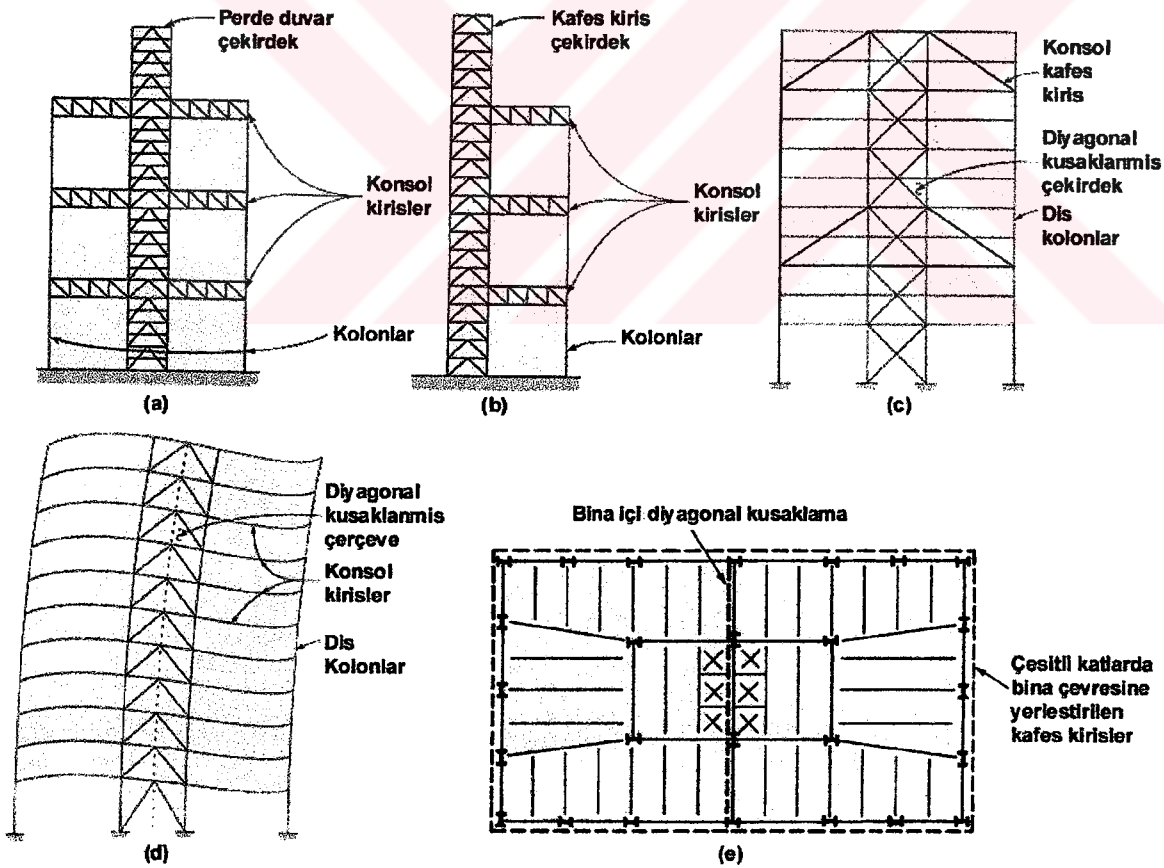
Yukarıda bahsedilen tüm sistemler kendi başlarına veya birbirleriyle ve moment bağlantılı çerçeve sistemlerle birlikte kullanılabilir. Bu sistemin ekonomik olarak kullanılması için, bu sistemi oluşturan yapı elemanlarının katılıkları ve diğer özellikleri dikkatlice belirlenmelidir. Bu sistem 40 katlı binalara kadar kullanılabilir.

5.3.1.7. Askı-gergi ve kuşak kafes-kiriş sistemleri (Outtrigger and belt truss systems)

Günümüzde yüksek yapı taşıyıcı sistemleri tasarımlarında, rüzgar yüklerinin yarattığı bina hareketlerinin yüksek yapının taşıyıcı sisteminde fazla çelik tonajı kullanılmadan kabul

edilebilir limitler içerisinde tutulabilmesi için, yaratıcı sistem şemaları geliştirilmektedir. Taşıyıcı sistem tasarımında, taşıyıcı sistem elemanlarından tam kapasite yararlanabilmek için belirli teknikler kullanılırsa, çelik tonajında ve maliyetinde büyük kazançlar sağlanabilir. Bu amaçla, günümüze kadar bir çok rüzgara dayanıklı kuşaklama sistemi tasarlanmıştır. Kuşak kafes-kiriş sisteminin diğer bir adı da çekirdek askı-gergi sistemidir. Bu sistemde, binayı etkileyen devrilme momentlerine dayanımı arttırmak için, kolonların aksiyal katılıklarından yararlanılmaktadır.

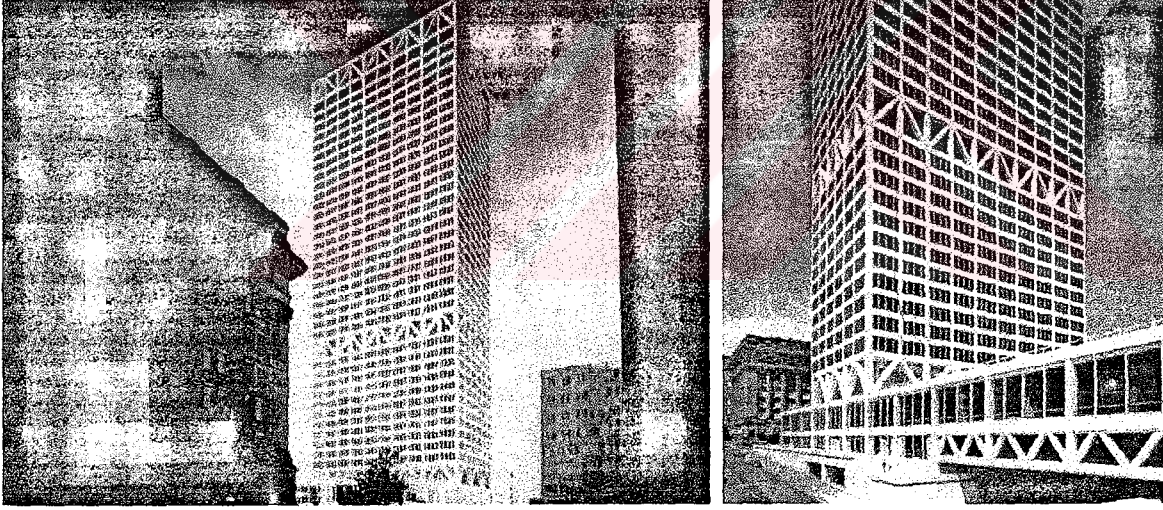
Bu verimli sistem, merkezi bir çekirdekten (bu çekirdek kuşaklanmış çerçevelerden veya perde duvarlardan oluşabilir) ve çekirdeği bina çevresindeki kolonlara bağlayan kirişler veya konsol kafes-kirişlerden (outrigger, askı-gergi sistemleri) meydana gelir. Bina çekirdeği, çekirdeğin iki yanına da uzanan konsol kafes-kirişler kullanılarak, bina merkezine yerleştirilebilir veya, yalnızca bir yönde konsol kafes-kirişler kullanılarak, binanın dış kenarlarından birine yerleştirilebilir (Şekil 5.15 (a-b)).



Şekil 5.15 Askı-gergi ve kuşak kafes-kirişleri; (a) merkezi çekirdek sistemi, (b) merkezi olmayan çekirdek sistemi, (c) konsol kafes-kirişler gibi davranış gösteren diyagonaller, (d) konsol kafes-kiriş gibi davranış gösteren kirişler, (e) bina çevresine yerleştirilen kafes-kiriş plan örneği.

Yatay yükler bina üzerinde etkili olduğu zaman, dış kolonlara bağlı konsol kafes-kirişler bina çekirdeğinin rotasyonunu engellemeye çalışır ve bu sayede, binanın çekirdeğinde oluşan yatay sapmaların ve momentlerin, bu sistemin kullanılmadığı bir bina çekirdeğinde oluşan yatay sapmalar ve momentlerden daha az olması sağlanır. Bu sistemin amacı, taşıyıcı sistem düşey bir konsol gibi esnediği zaman, yatay yüklerin etkili olduğu yöndeki kolonların gerilmesi ve aksi yöndeki kolonların basınç altında kalması sağlanarak, taşıyıcı sistemin etkili derinliğinin artırılmasıdır.

Konsol kafes-kirişlerinin transfer ettiği yüklere dayanımı arttırmak için konsol kafes-kirişlerin uçlarına yerleştirilen kolonlar dışında bina çevresinde başka kolonlarda kullanılabilir. Bu tür bir tasarımın etkili olabilmesi için, taşıyıcı sistemde konsol kafes kirişlerin bulunduğu katlarda, binanın dış kenarlarına yüksek parapet kirişleri veya kuşak kafes-kirişleri yerleştirilmelidir (Şekil 5.15 (e)). Yerleştirilen kuşak kafes-kirişler, oluşan yükleri yerleştirildikleri katta dengelerler.



Şekil 5.16 First Wisconsin Center, Milwaukee.

Konsol kafes-kirişlerinin ve kuşak kafes-kirişlerinin esnemelere ve kesme kuvvetlerine karşı dayanıklı olmalarını sağlamak için, bu kirişler iki kat yüksekliğinde tasarlanmaktadır. Aynı zamanda, konsol kafes-kirişlere alternatif olarak, çeşitli katlar arası uzanan ve konsol kafes-kirişler gibi davranış gösteren diyagonal kuşaklamalarda tasarlanabilir (Şekil 5.15 (c)). Ayrıca, başka bir alternatif olarak, konsol kafes-kirişler gibi davranış gösterecek ve bina çekirdeğine ve istenirse binanın çevre kolonlarına moment bağlantılarıyla bağlanmış kirişlerde kullanılabilir (Şekil 5.15 (d)). Bütün bu durumlarda bilinmesi gereken ana nokta, konsol kafes-kiriş sistemlerinin, taşıyıcı sistemin esnemeye karşı dayanımını arttırdığı fakat

taşıyıcı sistemin, bina çekirdeği tarafından taşınması gereken kesme kuvvetlerine karşı dayanımını arttırmadığıdır. Şekil 5.16' da bu sistemin kullanıldığı *First Wisconsin Center, Milwaukee* binası gösterilmiştir. Bu sistem 50 kat yüksekliğe kadar, verimli olarak kullanılabilir.

5.3.1.8. Çerçevenilmiş tüp sistemleri (Framed tube systems)

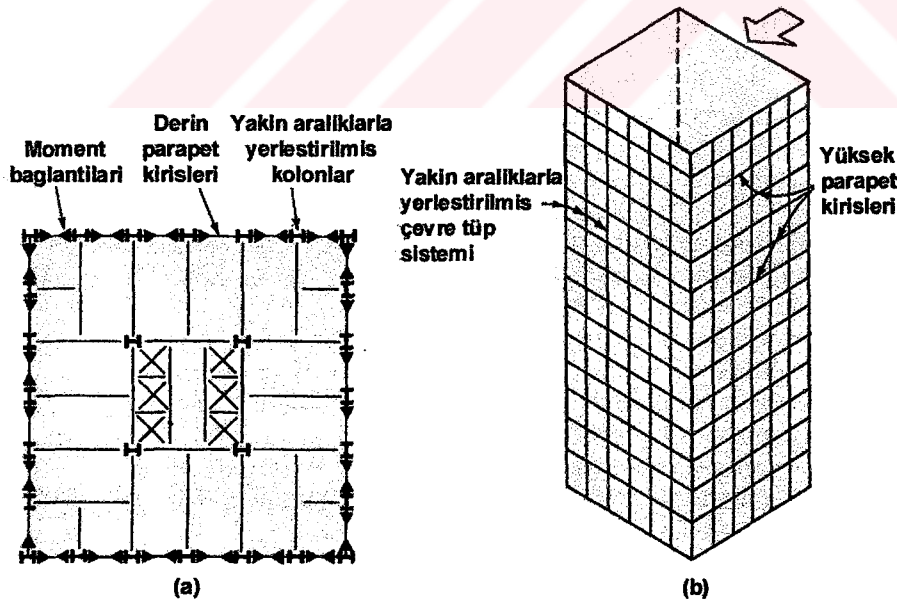
Basitçe bu sistem, binanın dış çevresini tamamen yatay yüklere dayanıklı kılan üç boyutlu bir sistemdir. Günümüzde, bilinen en yüksek beş binanın dördünde tüp sistemleri kullanılmıştır. Bunlar, Şikago' da 110 katlı *Sears Tower*, 100 katlı *John Hancock Building* ve 83 katlı *Standard Oil Building (Amaco)*, ve New York' taki 110 katlı *World Trade Center* binalarıdır. İlk uygulanan tüp sistem konsepti, mimari ve mühendislik firması olan Skidmore, Owings & Merrill (SOM)' da çalışmakta olan Dr. Fazlur Khan tarafından bulunmuştur. Bu sistemin ilk uygulaması, Şikago' da 43 katlı bir apartman binasında gerçekleştirilmiştir.

Yatay yüklere karşı tüp sistemlerinin bulunması, yüksek yapıların tasarımında bir devrim yaratmıştır. Günümüzde, 50-60 kata arası tasarlanan ve inşa edilen çoğu yüksek bina, değişik biçimler kullanılarak tüp sistemlerden oluşmaktadır. Bu sistemde, binanın dış çevresine, bir birine yakın bir çok kolon yerleştirilir ve bu kolonlar her katta derin parapet kirişleriyle bağlanır. Bina üzerindeki tüm yatay yükler, bina dışında bulunan tüp sistemi sayesinde karşılandığı için binanın içi ve çekirdeği büyük kolonlardan ve diyagonal kuşaklamalardan arındırılmıştır. Bu sayede, binanın kullanılabilir kat mesafesi artmaktadır. Bu mesafe binanın çekirdeğinden cephe kaplamasına kadar olan mesafedir ve bir binanın verimliliğini, bina içinde kullanılan çekirdek yapının bu alana olan oranı belirler. Mimari olarak bu sistemin tek dezavantajı, kullanıcıların manzaralarının, bu kolonlar yüzünden, kısıtlanmasıdır.

Bu sistem binanın çevresine yerleştirildiği zaman, binanın dış yüzeyi, boşluklar bırakılmış bir perde duvar gibi davranmaktadır. Bu sistemin çalışması, dış yüzeye mümkün oldukça yakın mesafede kolonların yerleştirilmesi ve bu kolonların derin parapet kirişleriyle bağlanmasıyla sağlanır. Bu kolonlar pratikte, 3.05 m (10 ft) ila 6.1 m (20 ft) aralıklarla yerleştirilmelidir. Parapet kirişinin yüksekliği de, 0.90 m (3 ft) ila 1.52 m (5 ft) arası olmalıdır. Tüp sistem yalnızca çeliğe yönelik bir taşıyıcı sistem değildir. Betonarme veya karma yapı malzemeleri kullanılarak da üretilir.

Bu sistemin mimari açıdan tutulmasının sebebi, dışta yerleştirilen kolonların arasına, camların modüler bir şekilde yerleştirilebilmesidir. Kullanılan camların aynı ölçülerde ve modüler oluşu, bina maliyetinde ve inşaat hızında kazançlar sağlar. Çeliğin yapı malzemesi olarak belirlendiği binalarda, kolonların daha geniş aralıklarla yerleştirilmesini sağlayan başka bir tüp sistemi de, diyagonal kuşaklanmış tüp sistemidir. Bu sistemde X veya K diyagonal kuşaklamalar kullanılabilir. Aynı amaca betonarme binalarda ulaşmak için, diyagonaller gibi davranış gösteren dolgu panelleri kullanılabilir. Bu sistem, cam modüllerinin diyagonallerle, benzer şekilde, doldurulmasından meydana gelir. Başka bir sistem ise, birkaç tüp sisteminin bir birine bağlanmasıdır. Bu sisteme de birleştirilmiş tüp sistemi (The bundle tube system) denir.

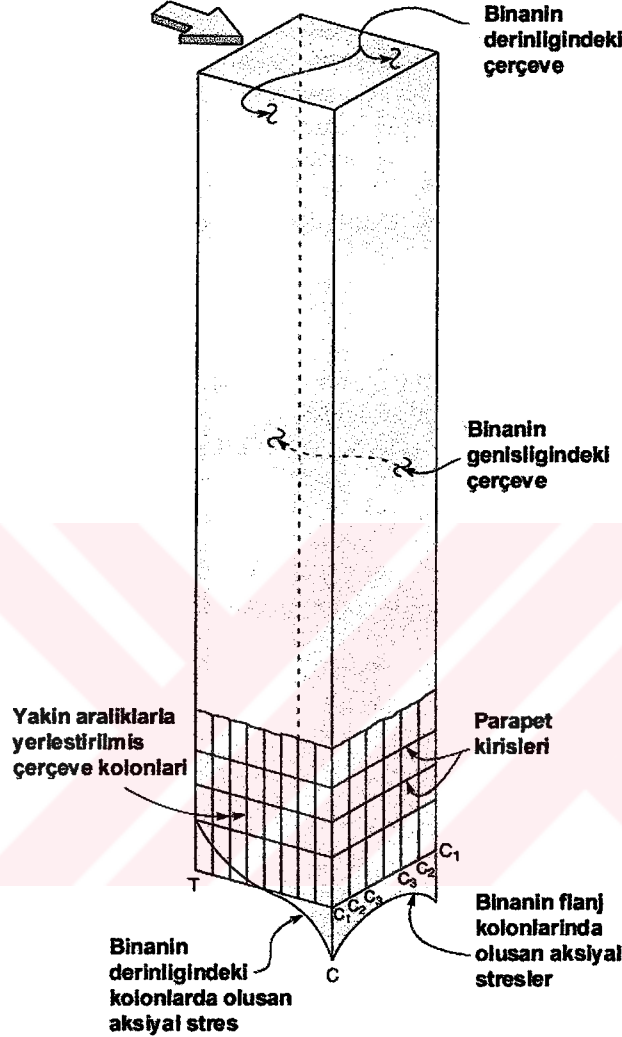
Daha öncede bahsedildiği gibi, bu sistemin ana amacı, binanın dış yüzeyini perde duvarmış gibi davranır hale getirmektir. Bina içinde ve genelde çekirdekte bulunan kolonlar, binanın üzerindeki düşey yerçekimi yüklerini karşılamak için tasarlanmaktadır ve bu yükler ana taşıyıcılarla ve döşemeler sayesinde binanın dışına aktarılmaktadır. Binanın dışında bulunan ve kolon ile kiriş arasında moment bağlantılarının kullanıldığı yakınca yerleştirilmiş kolon sistemi, bina üzerinde etkili olan yerçekimi ve yatay yükleri binanın temeline aktarmaktadır. Momentler ve kesme kuvvetleri binanın dışında karşılanır. Bu sistem örnek olarak, Şekil 5.17' deki 50 katlı yüksek yapıyı inceleyebiliriz.



Şekil 5.17 Çerçevenilmiş tüp sistemi; (a) çerçevenilmiş tüp sisteminin şematik planı, (b) bu sistemin izometrik perspektifi.

Bu sistem 70 kata kadar verimli olarak kullanılabilir. Binanın aspect ratio' su arttıkça, sistemin verimi düşmektedir. En ideal kolon mesafeleri, 3 m (10 ft) ile 4.6 m (15 ft) arasındadır. Buna

rağmen, New York' ta bulunan World Trade Center binasında kullanılan mesafeler 1.0 m (3.8 ft)' e kadar inebilmiştir. Bu binanın sahip olduğu yükseklik, bu açıklık mesafelerinin azalmasına ve kullanılan parapet kirişlerinin ölçülerinin artmasına sebep olmuştur.



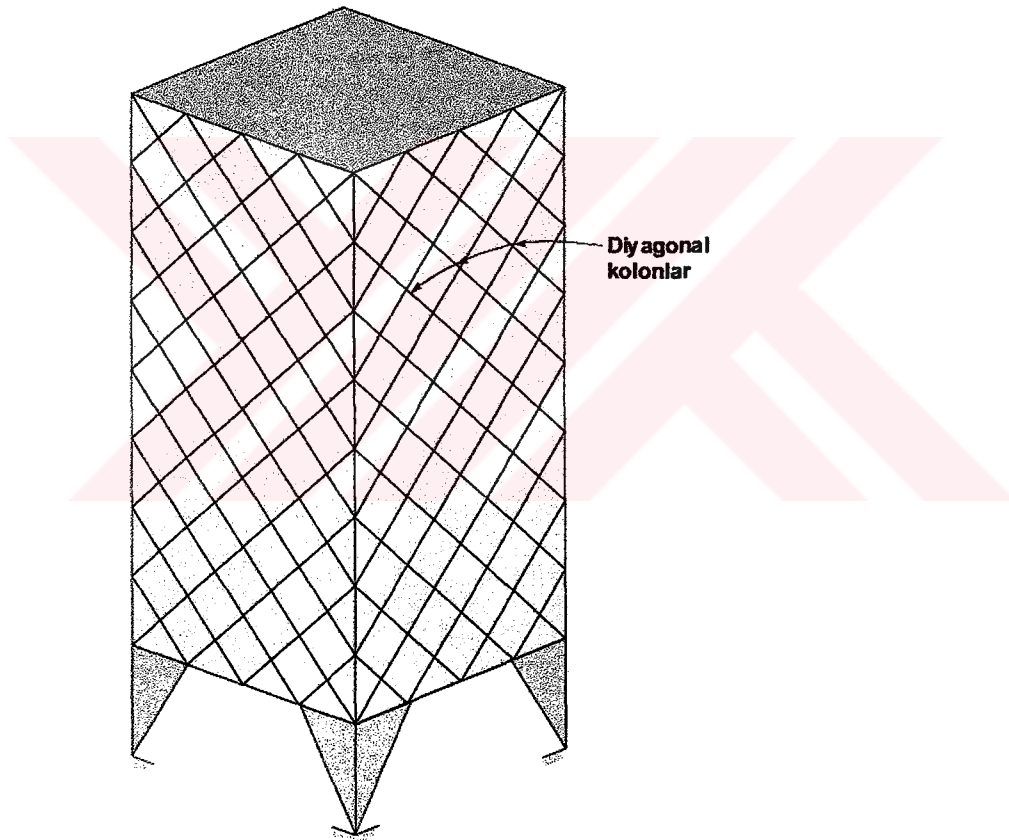
Şekil 5.18 Çerçevelenmiş tüp sisteminde gözlenen kesme kuvveti yetersizliği.

Çerçevelenmiş tüp sistemlerinde, kesme kuvvetine karşı yetersizlikler görülmektedir. Bütün yükler, diğer sistemlerde de olduğu gibi, dış kolonlarda yoğunlaşmaktadır. Bu sebeple, binanın yüzeyindeki kesme kuvveti diyagramlarına bakıldığında, binanın kenar kolonlarındaki stresin arttığı ve ortada bulunan kolonlarda ise stresin azaldığı görülmektedir. Bu oluşuma kesme kuvveti etkileşimi denir. Bu etkileşim nedeniyle, çerçeve sistemde, üniform olmayan eğilmeler ve esnemeler görülmektedir. Şekil 5.18' de görüldüğü gibi, ilk deformasyon, yatay yüklere paralel olan kenarlarda meydana gelir. Şekilde görülen kolon T' de gerilme, kolon C' de ise basınç gözlenir. Kolonların her birinin parapet kirişleriyle birleştirilmiş olması ve yük dağılımının farklı olması, her kirişte ve kolonda oluşan aksiyal stresin farklı olmasına sebep

olur. Yatay yüklere paralel olan kenarlarda oluşan kesme kuvvetleri, köşe kolonlara verimli bir şekilde aktarılamaz. Bu oluşumu gidermenin bir yolu, New York' taki *World Trade Center* ' dade görüldüğü gibi, kolon aralıklarının azaltılmasıdır.

5.3.1.9. Kafes-kirşli tüp sistemleri (Trussed tube systems)

Kafes-kirşli tüp sistemleri, çerçevelenmiş tüp sisteminin potansiyelini arttırarak, kolon açıklıklarının daha fazla olmasını ve çerçevelenmiş tüp sisteminin daha yüksek binalarda kullanılmasını sağlar. Kafes-kirşli tüp sistemleri, çerçevelenmiş tüp sistemlerinin dış yüzeyine diyagonal kuşaklamalar eklenerek elde edilir. Bu kuşaklamalar, çerçevelenmiş tüp sistemde gözlenen kesme kuvveti etkileşimini de giderir.

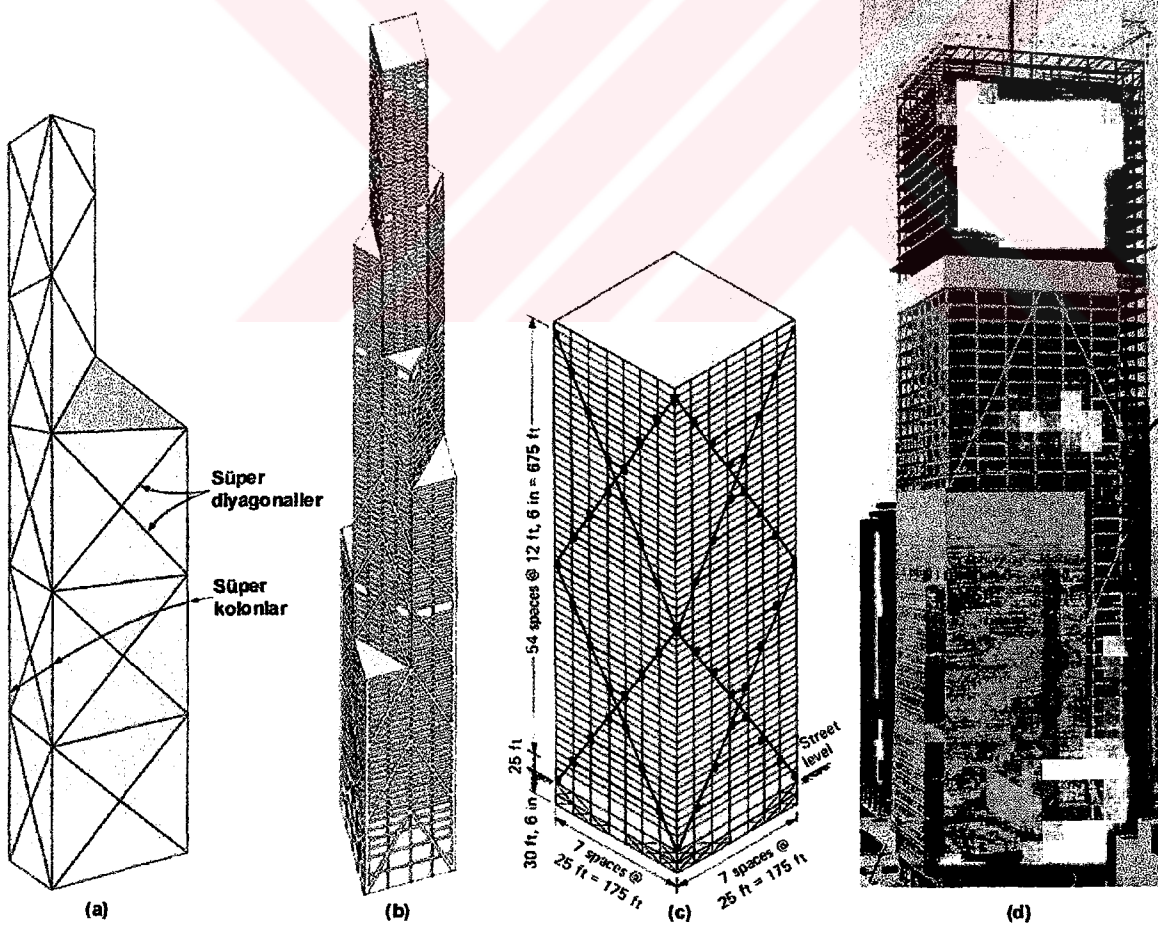


Şekil 5.19 Yakın yerleştirilmiş diyagonal kolonlara sahip tüp sistemli bina.

Çerçevelenmiş tüp sistemleri, rüzgara paralel kenarlarda oluşan kesme kuvvetleri, köşe kolonların çevresinden, verimli bir biçimde aktarılamadığı için esnektir. Sistemin verimli olarak çalışabilmesi için tüp, oluşan yatay yüklere, basınç ve gerilme kuvvetleri altında üniform yük dağılımlarıyla tepki veren düşey bir konsol gibi dayanmalıdır. Çerçevelenmiş tüp sistemlerinde kiriş ve kolon tasarımları, bunların aksiyal etkileri yerine eğilme etkileriyle

hesaplanır. Bu etkiler, 70 kata kadar olan ve doğru oranlara sahip binalarda fazla gözlenemez fakat 3 m ila 4.5 m aralıklarla yerleştirilmiş kolonlara sahip ve 100 ila 110 kat yüksekliğinde olan çerçevelenmiş tüp sistemli binalarda büyük sorunlar yaratır. Bunun sonucu olarak, kolon ve kirişler istenilmeyen büyüklüklere ulaşır. Daha da ötesi, oluşan deformasyonların yalnızca %25' i konsol davranışındandır. Geriye kalan %75 deformasyonlar kesme kuvvetleri sonucu köşe kolonlarda oluşan aksiyal yüklerin, bina çevresindeki kolonlarda bulunan aksiyal yüklerden daha fazla olmasından dolayı meydana gelir. Bu oluşum ideal bir çerçevelenmiş tüp sisteminde istenmeyen bir oluşumdur. Kafes-kirişli bir tüp sistem, bütün bu oluşumların üstesinden gelmektedir.

En verimli kafes-kiriş tüp sistemi, düşey kolonlar yerine iki yönde de diyagonal kolonlar kullanılarak elde edilir (Şekil 5.19). Bu sistem popüler bir sistem değildir çünkü pencere modülasyonunun sağlanması çok zordur ve istenmeyen detaylar ortaya çıkar.



Şekil 5.20 Diyagonal kuşaklamalı tüp sistemleri; (a) çok katlı diyagonallere sahip tüp bina, (b) süper diyagonallere sahip döndürülmüş kare plan şemalı tüp bina (Mahjoub Elnimeri, IIT tarafından yazılmış bir makaleden alınan bina örneği), (c) *First International Plaza*, şematik diyagonal kuşaklama, (d) *First International Plaza*, fotoğraf.

Şekil 5.20 (a,b)' de gösterilen diyagonal kuşaklamalı tüp sistemleri en çok kullanılan sistemlerdendir. Aynı zamanda bu sistem, çerçevenmiş tüp sistemlerinin verimini arttıran en ideal sistemdir. Bu uygulama, köşe kolonlarla aynı noktalarda birleşen, minimum sayıda ve binanın her yüzeyinde bulunan diyagonal kuşaklamalardan oluşmaktadır. Bina'nın her yüzeyinde bulunan bu kuşaklamalar, üç boyutlu devamlılığı sağladıkları ve binanın dışını, yatay yüklere karşı dayanıklı kıldıkları için tüp sistem olarak adlandırılırlar.



Şekil 5.21 John Hancock Tower, Chicago.

Bina'nın yüzeylerinde bulunan ve kolonlarla kesiştirilmiş diyagonal kuşaklamalar, yatay yüke paralel ve yatay yüke dik olan yüzeylerde oluşan kesme kuvveti yetersizliğini ortadan kaldırırlar. Bu sistem bir tüp sistem olmasına karşın, çerçevelerde oluşan eğilmeleri ortadan kaldırarak, diyagonal kuşaklı sistemler gibi davranış gösterirler. Sonuçta, kolon aralıkları daha geniş ve parapet kirişlerinin ölçüleri daha az olabilir. Bu da, mimari planlama açısından daha büyük pencere sistemlerinin kullanılabilirliği anlamına gelir. Kuşaklanmış tüp sistemleri, aynı zamanda oluşan yerçekimi yükleri açısından da verimlidir çünkü kuşaklamaların aksiyal yük

transferi sayesinde, oluşan düşey yükler stresin arttığı kolonlardan stresin az olduğu kolonlara transfer edilir ve yükler dengelenir.

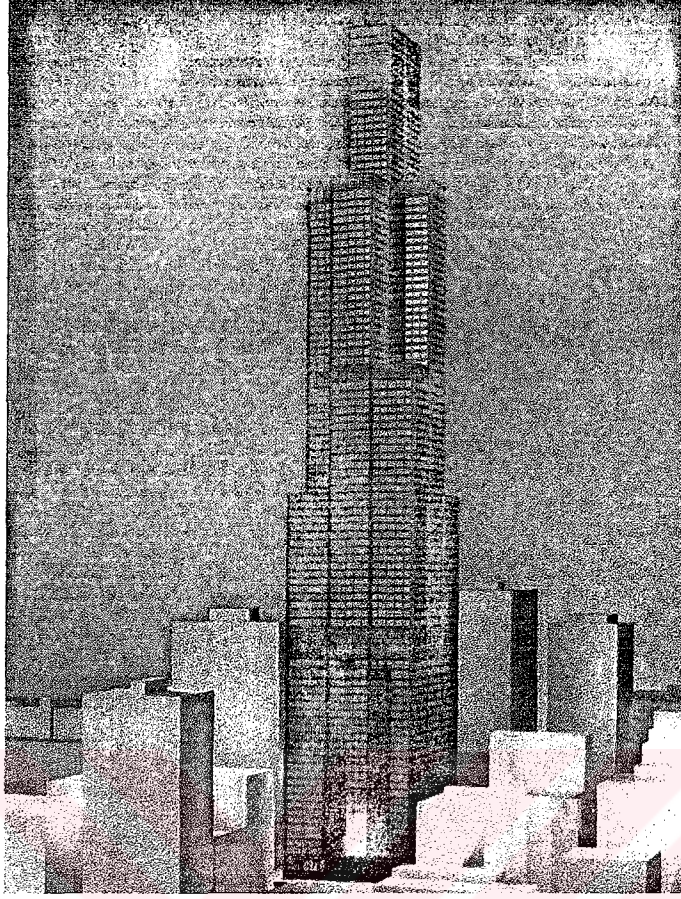
Kafes-kirşli tüp sistemleri betonarme veya karma binalarda da kullanılabilir. Pencere boşluklarının, diyagonal kuşaklama biçimi izlenerek doldurulması, binanın kuşaklanmış bir tüp sistem gibi davranmasını sağlayacaktır. Aynen kuşaklamalarda olduğu gibi dolgular, bina üzerinde oluşan yükleri tüm kolonlarda eşitleyecek ve oluşan kesme kuvveti yetersizliklerini ortadan kaldıracaktır.

Bu sistemler, çerçeve sistemlerin ötesinde, 100 ila 110 katlı binalarda kullanılabilir. Şekil 5.20 (c-d)' de görülen Dallas' ta ki First International Plaza (56 katlı ofis binası), Şekil 5.21' de görülen Şikago' da ki John Hancock Center (100 katlı çok kullanımlı bina) ve New York' ta ki CityCorp Center (yaklaşık 60 katlı bir ofis binası) bu sistemin kullanıldığı örneklerdir.

5.3.1.10. Birleştirilmiş tüp sistemleri (The bundled tube)

Bundan önceki bölümde, dikdörtgen, kare ve çeşitli plan tipli, prizmatik düşey tübüler sistemlerden söz ettik. Bu sistemlerde en verimli formlar kare ve dikdörtgen formlarıdır. Üçgen formlu tüp sistemler ise en az verimliliği olan sistemlerdir. Tüp sistemlerinin burkulma etki ve momentlerine dayanıklı olması, asimetrik formların taşıyıcı sistem çözümlerinde büyük katkılar sağlar. Fakat düşey devamlılığı olmayan ve düşey ofset içeren sistemlerde büyük bir verim düşüşü gözlenir. Birçok hücreden oluşan birleştirilmiş tüp sistemleri, verim kaybolmadan düşey ofsetlerin kullanımını sağlar.

Birleştirilmiş tüp sistemi, çerçevelenmiş tüp sisteminde imkansız olan, geniş aralıklı kolon konfigürasyonunun uygulanmasını sağlar. Prensipde kapalı olan her forma birleştirilmiş tüp sistemi uygulanabilir. Bu sistem binaların 110 kata kadar yükselmelerini sağlar ve kolon aralıkları genişletilip, parapet kirişlerinin kesit ölçüleri de azaltılabilir. Bu sistemin kullanıldığı bir çok yüksek yapı vardır. Bunlardan en önemlileri Şikago' da bulunan ve dünyanın en yüksek yapısı olan Sears Tower (Şekil 5.22) ve Texas, Houston' da bulunan Four Allen Center dir. Sistemin özellikleri diğer tüp sistemlere benzemektedir. Birleştirilmiş tüplerin bina içerisinde kalan kolonları, düşey yüklerin daha verimli aktarılmasını sağlar ve çerçevelenmiş tüp sistemlerde karşılaştığımız kesme kuvveti yetersizliği, binanın bir çok hücreden oluşması nedeniyle giderilmektedir.



Şekil 5.22 Şikago’ da ki Sears Tower binası.

5.3.1.11. Yüksek verimli yüksek yapı sistemleri (High-efficiency structures)

Gün geçtikçe insanoğlunun yükselme isteği de artmaktadır. Dünyada yüksek yapı üretimi bir yarış haline gelmiştir. Bu yarış ise yeni sistemlerin icat edilmesini veya eski sistemlerin birlikte kullanılarak veriminin artırılmasını gündeme getirmektedir. Günümüzde, en son kullanıma giren Kafes-kirişli Mega Çerçeve (Trussed Mega Frame) ve Süper Çerçeve (Super Frame) taşıyıcı sistemleri, geçmişte sahip olunan sistem bilgilerinin bir bütününe ortaya koymaktadır.

5.3.1.11.1. Kafes-kirişli mega çerçeve sistemleri (Trussed mega frames)

Bu taşıyıcı sistem, kafes-kirişli tüp sistemlerine benzemektedir. Bu sistem, bina boyunca, yalnız köşe kolonlarının kullanımı ve bu kolonların diyagonal kuşaklarla bir birine bağlanmasından oluşur. Bina içindeki kolon veya perde duvarlar yalnızca düşey yükleri ve kendi yüklerini karşılar. Bina çapındaki her türlü yük binanın köşelerindeki düşey taşıyıcılara transfer edilmektedir. Diyagonal kuşaklamalar yüklere karşı aksiyal bir biçimde davranır ve

yükleri vektörlerine ayırır. Bu sayede oluşan yatay yükler köşelerdeki kolonlara aktarılır. Aynı şekilde, bina üzerinde ve her katta oluşan düşey yüklerde, bu sayede, binanın köşe kolonlarına aktarılır. Bina bir bütün olarak davranır ve taşıyıcı sistem, yeterli miktarda elastik veya rijit tasarlanabilir. Bu sistem 150 kat yüksekliğe kadar kullanılabilir.

5.3.1.11.2. Süper çerçeve sistemi (Super frame system)

Bu taşıyıcı sistem, askı-gergi sistemlerine benzemektedir. Binanın her köşesinde, kendi içerisinde çalışan düşey kafes-kiriş kolonları yerleştirilir. Bu kolonların içi kullanılabilir mekanlardır. Kafes-kiriş kolonlar, kafes-kirişler kullanılarak bir birine birleştirilir. Fransa, Paris’ te bulunan Eiffel Tower, bu sisteme bir örnektir. Bu sistemin tek farkı, Eiffel Tower’ ın aksine, iç mekanlarının kullanılabilir olması ve bina içerisinde hiçbir taşıyıcının olmayışıdır. Bina çapında oluşan tüm yükler, bina köşelerinde kurulan kafes-kiriş sistemli kolonlara aktarılmaktadır. Bu sistem 160 kat yüksekliğe kadar kullanılabilir.

5.3.2. Düşey yüklere dayanıklı çelik sistemler

Döşeme sistemlerinin birincil görevi, düşey yükleri toplayıp, kolonlar veya duvarlar gibi düşey taşıyıcı sistemlerine aktarmalarıdır. Döşeme sistemlerinin ikincil görevi ise, diyafram davranışı gösterip, yatay yüklere dayanmaları ve bu yükleri yatay yüklere dayanıklı taşıyıcı sistemlere aktarmalarıdır. Döşeme sistemlerinin fonksiyonları sıralanırsa; (i) tesisatlar, havalandırma, aydınlatma ve sprinklerlar gibi taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının ve sistemlerinin desteklenmesi, (ii) yangın sebebiyle oluşabilecek zararlara karşı koruma sağlamak, (iii) sesin dağılımını engellemek.

Bina çapında oluşan yerçekimi yükleri iki türdür. Bunlar statik ve dinamik yüklerdir. Statik yük hareketsiz yük olarak, dinamik yük ise hareketli yük olarak nitelendirilir. Hareketsiz yükler bina kapsamında, taşıyıcı sistemin kendi yükünden bina içi aydınlatma elemanlarının yüküne kadar geniş bir alanı kapsar. Hareketli yükler ise, bina kapsamında devamlı değişkenlik gösteren, bina fonksiyonuna bağlı olan canlı nüfus yoğunluğundan kullanılan mobilyalara kadar geniş bir alanı içerir. Devamlı değişkenlik gösterdiği için hareketli yüklerin belirlenmesi zordur. Kuzey Amerika’ da, bir ofis binasında hareketli yüklerin belirlenmesi için canlı yükler olarak 50 psf (per square foot (2394 Pa)) değeri ve bölme duvarları gibi değişkenlik gösterebilen yapı elemanlarının yük değerleri olarak 25 psf (958 Pa) değeri kullanılmaktadır. Bu yükler, bina kullanıcılarının gereksinimleri ve bina fonksiyonu bilindiği

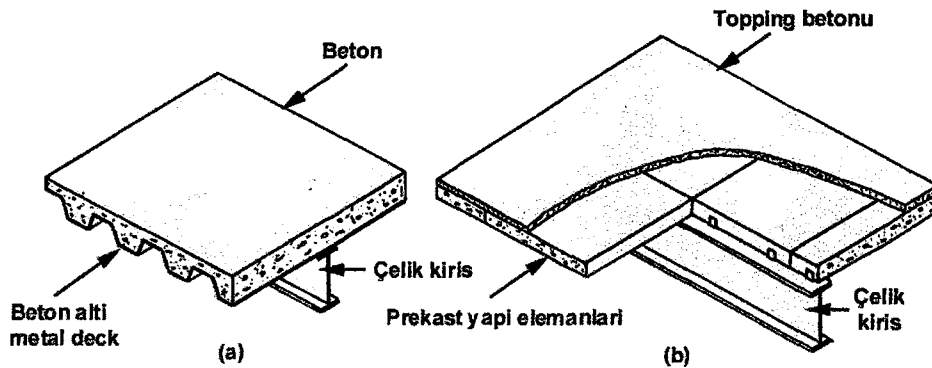
zaman daha kolay saptanır. Kullanılan yük değerleri ülkelere ve şehirlere göre değişkenlik gösterebilir.

Düşey yüklere, bir anlamda yerçekimi yüklerine, dayanacak taşıyıcı sistem elemanlarının ilk önce kendi yüklerini ve daha sonra belirlenen yükleri taşıyabilecek kapasitede olması gerekir. Binada hesaplanan yük değerlerinin bir anda gerçekleşmesi olasılığı yaklaşık sıfırdır.

Düşey yükleri taşıyan sistemlerin ve binanın tüm taşıyıcı sistemini etkileyen başka bir faktörde, belirlenen yüklerin binanın bir noktasında yoğunlaşmasıdır. Bu yoğunlaşma yük aktarımlarının homojenliğini bozar ve taşıyıcı sistemin davranışını bozar. Bu tür yükler binanın frekansı, salınımı gibi faktörleri olumsuz etkilemektedir. Eğer bina fonksiyonu nedeniyle, binanın çeşitli yerlerinde, yük yoğunlaşması gözlenecekse, binanın düşey yüklere dayanacak sistemlerinin de, bu yüklerin bilincinde tasarlanması gerekir.

5.3.2.1. Çelik çerçevesli döşeme sistemleri

Çelik çerçevesli döşeme sistemleri, çeliğin çerçeve sistemi olarak kullanıldığı tali kirişlerden, kirişlerden ve ana kirişlerin taşıdığı betonarme döşemelerden oluşur. Döşeme ise, genellikle tek yönlü olmak üzere, 10 cm ile 18 cm arasında kesitlere sahip betonarme panellerden veya değişken kalınlığa sahip, fakat minimum 6 cm olması gereken ve metal deckler üzerine dökülen betondan oluşur (Şekil 5.23 (a)). Bir başka sistem ise, çelik kirişlerin üzerine yerleştirilen prekast yapı elemanların ince bir beton toppingle kaplanmasından oluşur (5.23 (b)).

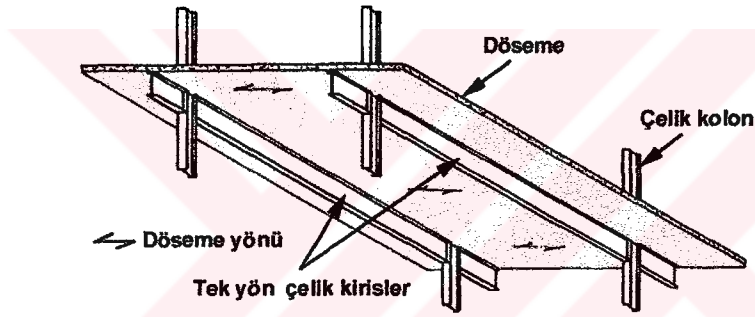


Şekil 5.23 Çelik döşeme sistemleri; (a) metal deck üzeri beton, (b) prekast yapı elemanlarının kullanıldığı ve üzerinde beton topping kullanılan döşeme sistemi.

Çelik taşıyıcı sistemlerden birine sahip bir binada, maliyeti ve bina ağırlığını arttıran en önemli faktör döşemenin ağırlığıdır. Kısa açıklıklı ve ince kesitli bir döşeme sistemi, en verimli sistemdir. Uzunluğu fazla, kısa mesafeli yerleştirilmiş kirişler tarafından desteklenen kısa açıklıklı bir döşeme, bu verimi sağlayabilir.

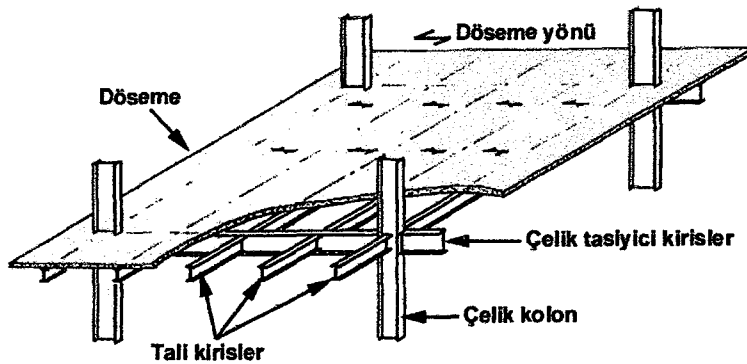
5.3.2.1.1. Tek yönlü kiriş sistemi (One-way beam system)

Bu sistemde, dikdörtgen aks sistemlerine yerleştirilmiş kolonların desteklediği ve aks sisteminin uzun açıklığına yerleştirilmiş çelik kirişler, kirişlere dik pozisyonda ve kısa açıklığa yerleştirilmiş döşemeyi taşımaktadır (Şekil 5.24). Yatay yüklere dayanımı arttırmak amacıyla bu kirişler, rijit çerçeve ve diyagonal kuşaklanmış taşıyıcı sistemlerde bölme duvarlarının bulunduğu akslarda yüksek tasarlanabilir.



Şekil 5.24 Çelik taşıyıcı sistemlerde, tek yönlü kiriş sistemi.

5.3.2.1.2. İki yönlü kiriş sistemi (Two-way beam system)



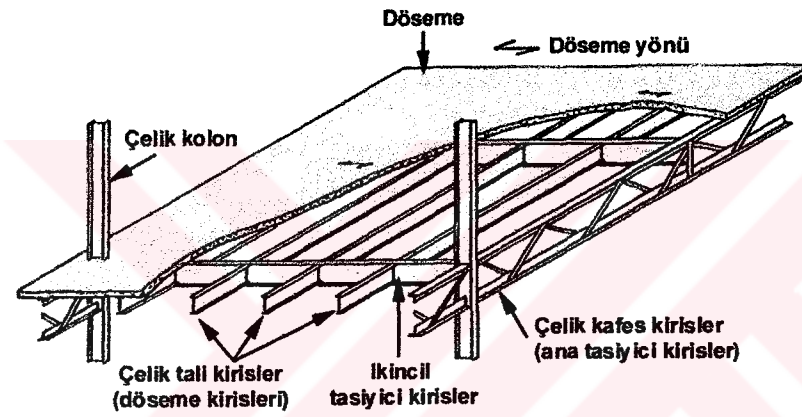
Şekil 5.25 Çelik taşıyıcı sistemlerde, iki yönlü kiriş sistemi (nervürlü döşemeye benzer bir sistem).

Tali kirişlerden ve kirişlerden oluşan iki yönlü çelik çerçeve sistemi, kolon aralıklarının iki yönde geniş olması gereken binalarda kullanılır. Döşeme, iki yönden de desteklenmektedir.

(Şekil 5.25). Bu sistem kapsamında uzun açıklıkların bulunduğu akslara tali kirişler, kısa açıklıklara da taşıyıcı kirişler yerleştirilmelidir çünkü taşıyıcı kirişlerin desteklediği yük daha fazladır. Buna karşın, tali kirişlerin desteklediği yük daha azdır.

5.3.2.1.3. Üç yönlü kiriş sistemi (Three-way beam system)

Taşıyıcı kirişlerden, kirişlerden ve tali kirişlerden oluşan üç yönlü kiriş sistemi, bina içi kolonlarının istenmediği binalarda, kolon aralıkları gerçekten çok genişse kullanılabilir. Bu sistemde, kolonlar arası açıklıkları geçen ve birincil yükleri destekleyen ana kirişler, ikincil kirişler ve tali kirişler kullanılmaktadır (Şekil 5.26).

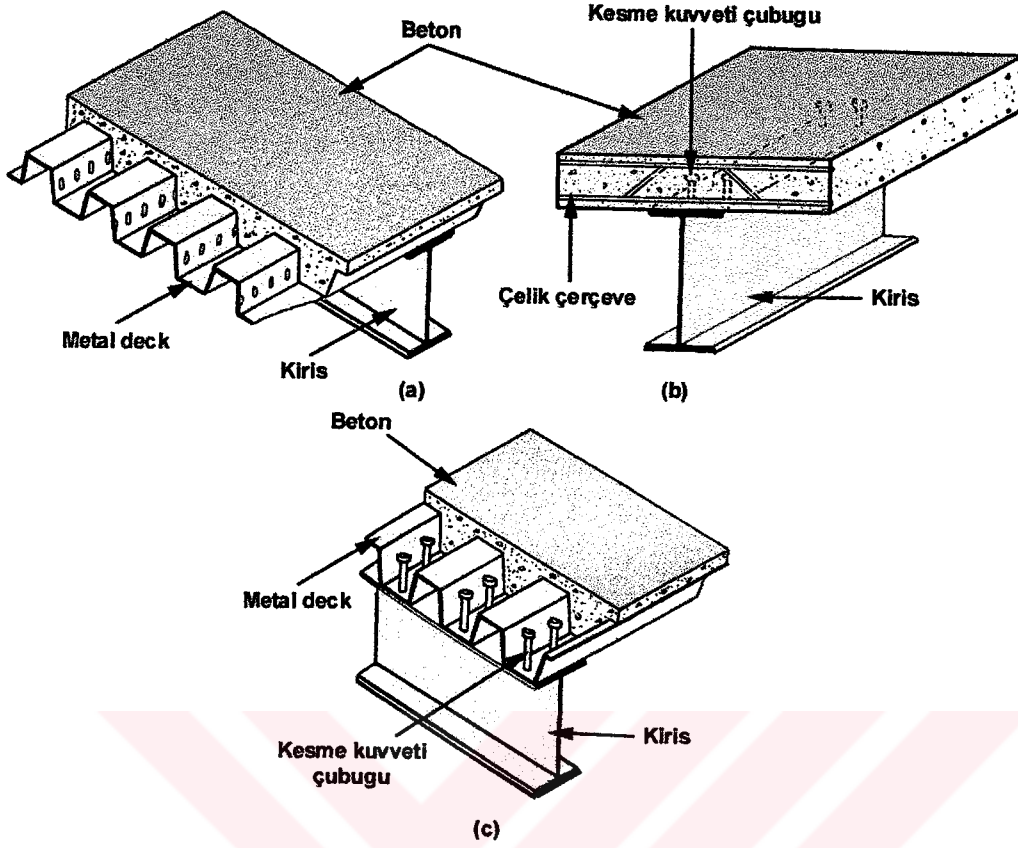


Şekil 5.26 Çelik taşıyıcı sistemlerde, üç yönlü kiriş sistemleri (nervürlü döşemeye benzer bir sistem).

5.3.2.1.4. Karma, çelik-beton döşeme sistemleri (Composite steel-concrete floor systems)

Çelik yapı elemanlarının beton kat döşemelerini desteklemek için kullanılması, bu iki sistemin birlikte, karma bir sistem olarak kullanılmasını mümkün kılmıştır. Karma sistemlerde, çelik yapı elemanları beton döşemelere kesme bağlantılarıyla bağlanmıştır. Bu sayede beton döşeme, basınca dayanıklı bir kiriş falanjı gibi davranış gösterir.

Bu sisteme metal deck sistemi denir. Kirişlerin üzerinde girintili çıkıntılı metal levhalar yerleştirilmektedir. Bu levhaların üzerine topping betonu dökülür. Bu beton kesitin en az olduğu bölgede minimum 6 cm olmalıdır. Metal levhalar, beton toppingin donatısı olarak görev görür (Şekil 5.27 (a)).



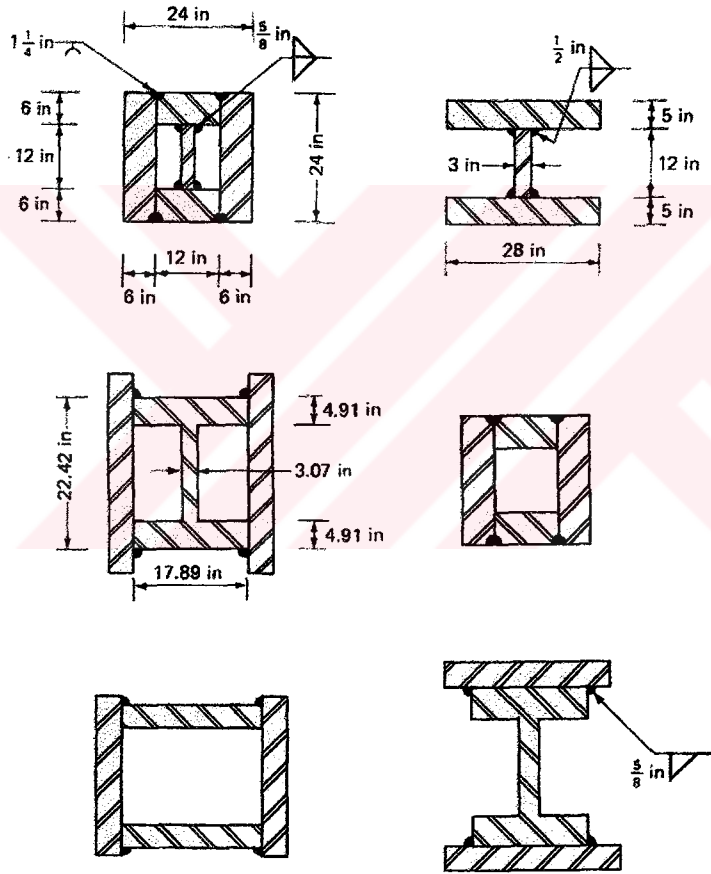
Şekil 5.27 Karma döşeme sistemleri; (a) çelik deckli karma döşeme, (b) karma çerçeve döşeme sistemi, (c) karma çerçeve ve metal dek sistemi.

Aynı zamanda döşemeler, kirişlerle karma bir biçimde davranış gösterecek şekilde de tasarlanabilir. Kirişler arası açıklık geçen döşeme, köşebentler, donatılar ve kanal şekilli kesme bağlantıları ile birlikte kullanılarak, döşemeden ve kirişlerden yararlanılan bir sistem meydana getirebilir. Bu sisteme karma döşeme çerçeve sistemi denir (Şekil 5.27 (b)). Çelik ve betonun karma kullanımı, yüksek binalarda en çok kullanılan ve en verimli döşeme sistemi olarak kabul edilen metal deck sistemini yaratmıştır. Bu sistemde yapılan en son ekler, bu sistemin verimini daha da arttırmıştır. Metal deckler üzerine kaynaklanan ve mesnet donatıları olarak adlandırılan donatılar, malzeme farklılıkları ve oluşan yükler etkisiyle farklı davranış gösteren çelik ve betonun bir birleriyle en verimli etkileşimi yaratmalarını sağlamıştır (Şekil 5.27 (c)).

Metal deck sistemlerinin kullanılmasının ana amaçları, üretimin hızlanması, kalıp işçiliğinin ortadan kalkması ve maliyette sağladığı yararlardır. Günümüzde tasarlanan bir çok yüksek yapıda, karma sistem olan metal deck sistemi kullanılmaktadır.

5.3.2.2. Çelik kolonlar

Taşıyıcı sistemin en önemli elemanlarından olan kolonlar, bina üzerinde oluşan her türlü yükü, binanın temeline aktarma görevini üstlenirler. Kirişler ve kuşaklamalar, tüm yükleri kolonlara aktarmaktadır. Kolonlar kesme kuvvetlerine ve momentlere, basınca ve gerilmeye karşı dayanıklı olmalıdır. Kolonun tasarlandığı malzeme ve kolonun kesiti, bu kolonun ne kadar yük taşıyabileceğini belirler. Bina yükseldikçe kolonun sahip olduğu kesitte azalmaktadır. Bunun nedeni, yükseldikçe kümülatif yüklerin azalmasıdır. Yani, kolonun taşıması gereken toplam yük, bina yükseldikçe azalır ve zemin katlara yaklaştıkça artar.



Şekil 5.28 Yerçekimi yükünü taşıyan çelik kolon örnekleri.

Çelik malzemeler kullanılarak bir çok kolon tasarlanabilir. Şekil 5.28’ de, yerçekimi yüklerine dayanan çeşitli kolon kesitleri görülmektedir. Bu şekillerin dışında, çeşitli çelik profilleri de kullanılabilir.

5.4. Betonarme Taşıyıcı Sistemler

Çelik ve karma sistemler gibi betonarme sistemlerde, yüksek yapı tasarımlarına uygun bir çok taşıyıcı sistem içermektedir. Beton, daha çok basınç kuvvetine çalışan bir yapı malzemesidir. Betonun içine yerleştirilen çelik, betonun çekme kuvvetlerine karşıda dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, betonarme sistemlerde karma sistemler olarak düşünülebilir. Fakat, betonarmenin getirdiği bir çok özellik bu sistemlerin ayrı bir kategoride ele alınmasını mecburi kılmıştır.

Yüksek yapı tarihinde bir çok yapı betonarme sistemler kullanılarak inşa edilmiştir. Çeliğin kullanıma girmesi, çeliğin basınç ve gerilme kuvvetlerinin ikisine de dayanıklı olması çeliğin kullanımını arttırmıştır çünkü o zamanlar, betonun kuvveti azdı. Günümüzde yüksek kuvvetli betonun kullanıma girmesi, yüksek yapılarda betonarme sistemlerin kullanımını tekrar gündeme getirmiştir. Yüksek yapılarda çeliğin kullanımı inşaat maliyetini ve inşaat zamanının azaltmaktadır fakat yatay yüklerin etkili olduğu bölgelerde, çelik sistemlerin daha esnek olduğu ve istenmeyen salınım ve hareketlerin belirdiği gözlenmiştir. Buna karşın beton, binanın daha rijit ve kütsel olmasını sağlamaktadır. Betonarme bir yüksek yapının salınım frekansı, çelik bir yapının salınım frekansına göre daha azdır. Rüzgar yükleri gibi yüklerin bina kullanıcıları üzerindeki psikolojik etkileri göz önüne alınırsa, betonarme binalar tercih edilir. Günümüzde kullanılan beton yoğunluğu 24000 psi (Per square inche)' a kadar çıkmıştır. Mühendislerin en son kullandıkları teknikler, beton ile çeliğin birlikte kullanıldığı karma sistemlerdir. Bu karışım betonun rijitliğini ve kütselliğini ve çeliğin ise esnekliğini ve dayanıklılığını birleştirerek, en verimli sistemleri oluşturur.

5.4.1. Yatay yüklere dayanıklı, betonarme taşıyıcı sistemler

Çelik sistemlerde de olduğu gibi betonarme sistemlerinde katagorize edilmesi zordur. Şekil 5.29'de, bina yüksekliğine göre uygulanabilecek taşıyıcı sistemler sıralanmıştır. Yükseklik sınırlaması, düzgün oranlara sahip binalarda mantıklı bir sıralama olmasına rağmen, bina üzerindeki yatay yükler (rüzgar ve deprem), düşey yükler ve binanın geometrisi bina kapsamında kullanılacak taşıyıcı sistemi belirleyen ana unsurları oluşturmaktadır. Bir çok zaman bu sistemler, binanın özelliklerin uygun bir sistem tasarlanabilmesi için birlikte kullanılabilir. Bir sistem diğerinin eksikliklerini giderebilir.

Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemleri		
No :	Sistem	Uygulanabilir Kat Sayısı
		0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
1	Kirişsiz döşeme ve kolonlar	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
2	Kirişsiz döşeme ve perde duvar sistemi	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
3	Kirişsiz döşeme, perde duvar ve kolonlar	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
4	Çift perde duvar ve kirişler	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
5	Rijit çerçeve sistemi	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
6	Geniş aralıklarla yerleştirilmiş çevre tüp sistemi	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
7	Gusseli kirişli rijit çerçeve sistemi	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
8	Bina çekirdeğinden destekli sistemler	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
9	Perde duvar – çerçeve	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
10	Perde duvar – nervürlü kiriş sistemi	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
11	Yakın yerleştirilmiş çevre tüp sistemi	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
12	Çevre tüp ve çekirdek sistemi	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
13	Diagonal tüp sistemi	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
14	Modüler veya birleştirilmiş tüp sistemleri	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120

Şekil 5.29 Betonarme taşıyıcı sistemler.

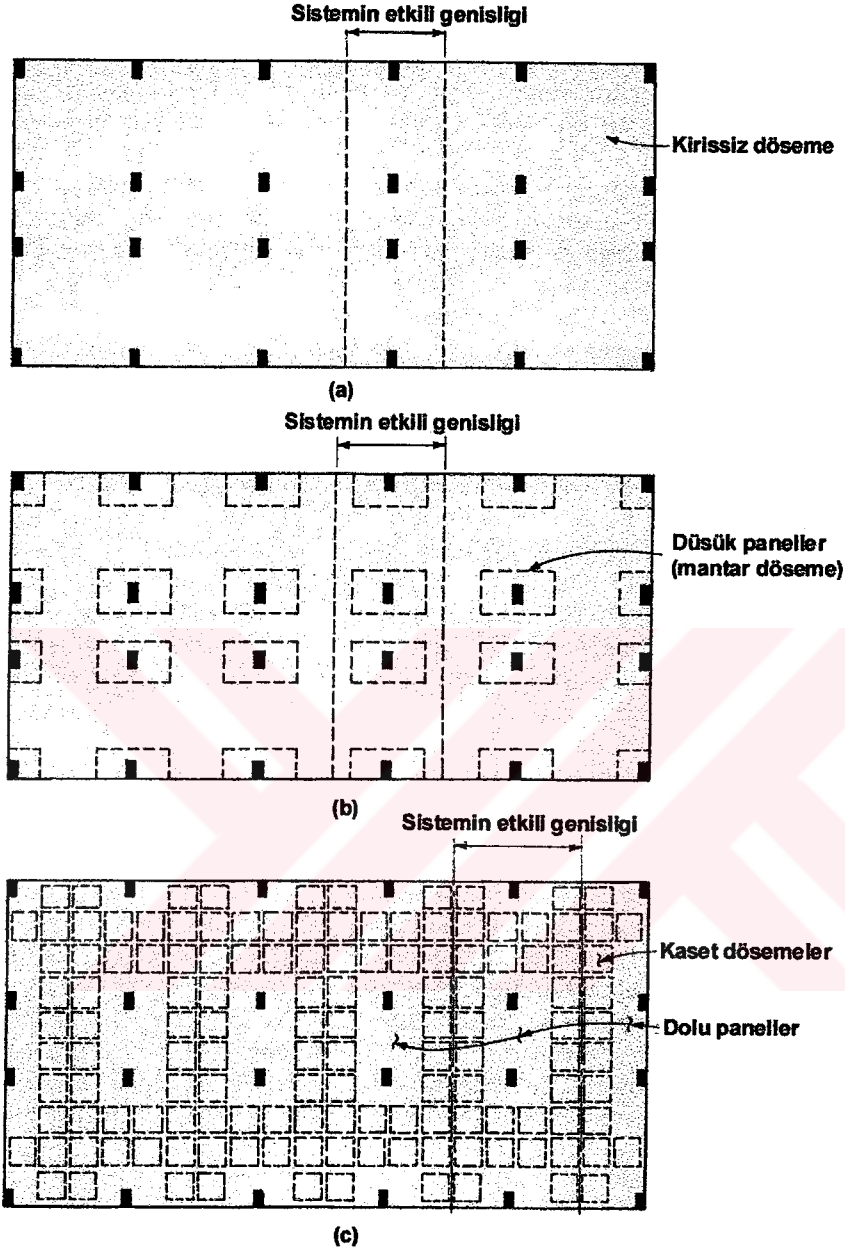
Şekil 5.29' ye bakılırsa, 14 değişik betonarme sistem görülebilir. Bu sistemlerden ilki, çok basit bir taşıyıcı sistem olan kolon ve döşeme sistemidir. Bunun yanı sıra tüp sistemleri ise, çok yüksek ve geniş planlı yüksek binalar için kullanılabilir. Bölüm 5.3.1 ve Bölüm 5.5.1' de anlatılan bir çok sistem betonarme yapılar içinde geçerlidir.

5.4.1.1. İki yönlü, kirişsiz döşeme ve kolonlar (Column and two-way slab systems)

Genelde yüksek bina beton döşemeleri, kirişsiz döşeme, düz döşeme veya kaset döşemelerin kullanıldığı, iki yönlü döşeme sisteminden meydana gelir. Düz döşeme sisteminde döşeme, homojen bir kalınlığa sahiptir ve kolonlarca çerçevelenmiştir. Döşemelerin kolonlarla birleştikleri noktalardaki kesme ve moment yüksek olduğu durumlarda, kirişsiz döşeme sistemlerinin bu kuvvetlere karşı dayanımı, mantar döşemeler veya düşük döşemeler kullanılarak artırılır. Kaset döşeme sistemi, iki yönde ve bir birine dik tali kirişlerden oluşur. Kolonla döşemenin birleştiği yerlerde kasetleme yapılmaz çünkü bu sayede moment ve kesme kuvveti kapasitesi aktarılmaktadır. 10 katlı yapı yüksekliklerine kadar bu üç sistemden her hangi biri, yatay yüklere dayanacak sistemler olarak tasarlanabilir.

Yatay yüklere dayanımda Şekil 5.30' de gösterilen şekiller iki ana etkiye sahiplerdir. Birincisi, katlıklarından dolayı yatay yükleri, eğilme miktarlarına oranlı olarak düşey elemanlara aktarırlar. İkincisi ise, katlıklarına bağlı olarak, kolonların düşey hareketini ve rotasyonunu engellerler. Bu sistemde kullanılan verimli döşeme kalınlığı, kolonlar arası

uzaklıklara, kolonların aspect ratio'larına ve sistemin dayanması gereken hareketli, hareketsiz, yatay ve düşey yüklere bağlıdır. Bu sistemlerde kolonlar arası kiriş olmamasına rağmen, döşemenin belirlenen kalınlığı kolon-kiriş çerçeve etkisini sağlayacaktır.



Şekil 5.30 Döşeme ve kolonların oluşturduğu, yatay yüklere dayanıklı sistemler; (a) kirişsiz döşeme, (b) mantarlı veya düşük panelli kirişsiz döşeme, (c) iki yönlü kaset döşeme sistemi.

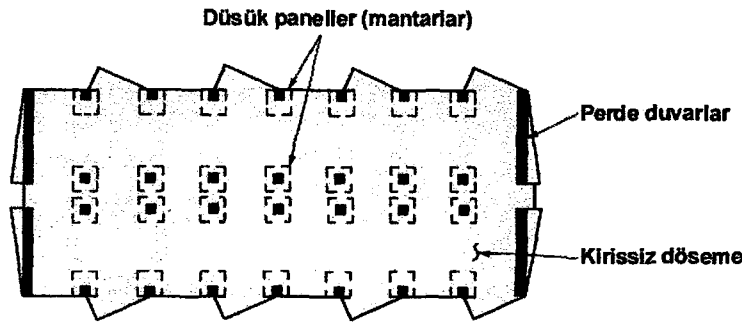
Bu sistemlerin tasarımında önemli olan başka bir faktörde, kolon ile döşemenin birleştiği noktalarda oluşan stres konsantrasyonudur. Birleşim noktalarında, özellikle yatay yüklerin etkisiyle oluşan ve lineer olmayan davranışlar, betonun kırılmasına ve çeliğin kopmasına sebep olabilir. Birleşim noktalarında bu problemlerle karşılaşmamak için, kesme kuvvetlerine

dayanıklı detay çözümleri sağlanmalıdır. Bu sistem, 3 ve 4 numaralı deprem bölgeleri gibi yüksek riskli bölgelerde kullanılmamalıdır.

Bu sistemin mimari olarak bir çok avantajı vardır. Döşemenin tamamen kirişsiz olması, bina içi asma kat kullanımını ortadan kaldırır ve bina içi istendiği gibi bölünebilir. Kirişli döşemelerde kafa kurtarma mesafesinin sağlanması ortadan kalkar. Kat yüksekliği minimum gereksinimleri karşılayacak şekilde hesaplanabilir. Sistemde kiriş kalıplarının bulunmaması, bina maliyetinden ve zamandan kazanç sağlar.

5.4.1.2. Kirişsiz döşeme ve perde duvar sistemi (Flat slab and shear walls)

10 kattan fazla yüksekliğe sahip binalarda, yatay yüklere karşı kolon ve döşemelerin kullanıldığı çerçeve sistemleri yeterli değildir. Kirişsiz döşemelerin sağladığı avantajlar, yatay yüklere dayanacak birincil taşıyıcı yapı elemanları olarak perde duvarlar kullanılarak da sağlanabilir. Perde duvarlar, tek yönlü panel şeklinde, kapalı poligonlar şeklinde, boşluklu veya bunların üçünü içeren bir şekilde olabilir. Perde duvarların Şekil 5.31’ de, basit, ortogonal bir oryantasyonla yerleştirildiği görülmektedir. Bu sistemlerde unutulmaması gereken en önemli faktörler, yatay yüklerin etkili olduğu yönlerin tespit edilmesi ve bina üzerinde burkulma etkilerinin hesaplanması sonucu perde duvarın şekil ve oryantasyonunun belirlenmesidir. Perde duvar mimari açıdan tasarlanırken, büyük ve bağlantısız açıklıklardan kaçınılmalıdır. Bu sistem, 10 ila 20 kat yükseklikteki binalarda kullanılabilir.



Şekil 5.31 Kirişsiz döşeme ve perde duvar sistemi.

5.4.1.3. Kirişsiz döşeme, perde duvar ve kolonlar (Flat slab, shear walls, and columns)

Döşeme ve perde duvar sistemlerinin uygulanabilir kat yüksekliği, kolonların ve döşemelerin çerçeve davranımı eklenerek artırılabilir. Bu sistem daha çok, apartman, otel veya kondiminyum (alçak, bir çok müstakil dairenin bulunduğu apartman)’ larda kullanılır ve

Bölüm 5.4.1.2’ de bahsedilen sistemle aynı davranışları gösterir. Tek fark, yatay yüklerin etkileri hesaplanırken, kolon ve döşemenin yarattığı çerçeve davranışının da hesaba katılmasıdır. Çoğu apartman ve otel plan dökümlerinde, devrilme momentlerine karşı çerçeve sisteminin dayanımı, perde duvarlar tarafından karşılanan dayanımın yüzde 10 ila 20’ sinden çok değildir. Bu yüzden, hesaplamaları yapan çoğu mühendis, çerçeve sisteminin yatay yüklere karşı payını hesap dışı bırakıp yalnız perde duvarların dayanımını hesaplamaktadırlar. Eğer kullanılan herhangi bir sistemden tam bir verim sağlanması gerekiyorsa, sistemi oluşturan tüm elemanlar ve faktörler hesaplamalara eklenmelidir.

5.4.1.4. Çift perde duvar ve kiriş sistemi (Coupled shear walls)

İki veya daha fazla perde duvar döşemeler ve kirişler tarafından birleştirildiği durumlarda, sistemin sahip olduğu toplam katılık ve dayanım, her bir perde duvarın yalnız başına kullanıldığı sistemlerde hesaplanan toplam katılık ve dayanım değerinin üstündedir. Bunun sebebi, birleştirme görevi gören döşeme veya kirişlerin, perde duvarın tek başına sahip olduğu konsol davranışını ortadan kaldırması ve sistemin karma bir ünite olarak çalışmasını sağlamasıdır.

Böyle bir perde duvar sistemi, yatay yüklerin etkili olduğu bölgelerde, 40 kat yüksekliğe kadar uygulanabilir. Buna karşın, Şekil 5.31’ de görülen yüzeysel perde duvarlar, yatay yükleri yalnızca kendi yüzeylerinde taşırlar. Bu yüzden, iki ortogonal yönde de perde duvar kullanılmalıdır. Bazı ince uzun binalarda bu imkansızdır. Böyle durumlarda yatay yükler, binanın uzun kenarında kolon ve döşemelerden oluşan bir çerçeve sistem tasarlanarak karşılanabilir. Kolonların ve perde duvarlarının plan dökümü, yatay yükler etkisiyle oluşabilecek burkulma etkileri de düşünülerek tasarlanmalıdır.

Bina çekirdeğinin perde duvarlar kullanılarak oluşturulması, binanın kiralanabilir alanın artmasında büyük etkiye sahiptir çünkü bina çekirdeği, hem yatay yüklere hem de düşey yüklere karşı gerekli dayanımı sağlar hale gelir ve gereksiz alan kaybı ortadan kalkar. Kapalı poligon şeklinde tasarlanmış perde duvarlar, oluşabilecek burkulma, eğilme, kesme ve moment kuvvetlerine karşı dayanımda en verimli tasarımlardır fakat kapalı poligon şekilli bu perde duvarlarda, bırakılacak olan boşlukların kuvvetlendirilmesi ve desteklenmesi gereklidir.

5.4.1.5. Rijit çerçeve sistemi (Rigid frames)

Betonarme binalar, kolon kiriş ve döşeme birleşimlerindeki devamlılıktan dolayı avantajlıdır. Kolonlara direkt olan bağlanmış çerçeve sistemlerde, bu bağlantılar rijit olarak kabul edilir. Yatay yükler dolayısıyla oluşan eğilme momentlerini ve kesme kuvvetlerini taşıyan kirişlerin yüksekliği büyük olmalıdır. Bunun sonucunda binanın yüksekliği de artar.

Deprem yükleri göz önüne alındığında, deprem riski yüksek olan bölgelerdeki binalarda, kiriş ve kolonların birleştiği noktaların detaylandırılmasına büyük önem verilmelidir. Kolonun kirişin yüksekliği kadar olan bağlantı noktası, büyük kesme kuvvetlerinin etkisi altındadır. Kontrolsüz diyagonal çatlamların olmaması ve betonun dağılmaması için bağlantı detaylarına, yatay bağlar yerleştirilmelidir.

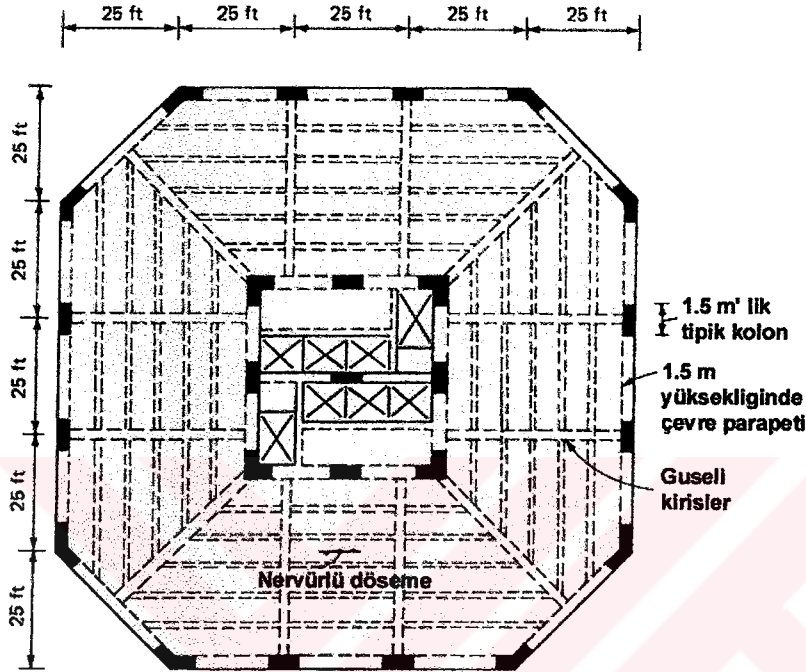
Düşey ve yatay yüklere dayanıklı rijit çerçeve sistemler, yüksek bina tasarımlarında en çok kullanılan sistemdir çünkü rijit çerçeve sistemlerinde, tüm sistemlerde de taşınması gereken yerçekimi yüklerini kolonlar ve kirişlerin sahip olduğu katılık ve dayanıklılık karşılamaktadır. Rijit çerçeve sistemleri, perde duvar sistemleri kadar katı ve rijit değildirler. Bu yüzden deprem sonucu oluşabilecek yükler ve zararlar karşısında dayanıklı ve daha az hassa olarak nitelendirilirler.

Rijit çerçeve sistemleri, bu sistemi oluşturan kolonların ve kirişlerin esnekliği ve birleşim noktalarında olabilecek rotasyonlar sonucu meydana gelen sistem esnekliğiyle karakterize edilir. Çerçevenin kuvveti ve katılığı, kolon ve kiriş ölçülerine oranlıdır ve kolon aralığına ters oranlıdır. Bina içine yerleştirilecek çerçeve sistemleri, binanın kiralanabilir alanının azalması sebebiyle popüler bir sistem değildir. Bina içindeki döşeme kirişleri, genellikle, uzun açıklıklar geçer ve yüksekliği sınırlıdır. Buna karşın, bina çevresinde kullanılan kirişlerin bu dezavantajları yoktur. En verimli çerçeve sistemi, bina çevresinde yakın aralıklarla yerleştirilmiş kolonların ve bina çevresinde yüksek kirişlerin kullanımıyla sağlanabilir.

5.4.1.6. Geniş aralıklarla yerleştirilmiş çevre tüp sistemi (Widely spaced perimeter tube)

Bina terminolojisinde “Tüp (Tube)” terimi, bina çevresine 2.5 m (8 ft) ila 4.5 m (15 ft) aralıklarla yerleştirilmiş yakın aralıklı kolonların ve yüksek parapet kirişlerinin oluşturduğu sisteme denir. Tüp sisteminin özellikleri, dolgun bir planlamaya sahip binalarda, yakın aralıklı kolonlar yerine, geniş aralıklı kolonlar yerleştirilip ve bu kolonlar derin parapet kirişleriyle

bağlanarak ta elde edilir. Şekil 5.32' de gösterilen 28 katlı ofis binası, bu sisteme bir örnektir. Bu binada yatay yüklere dayanım, binanın çevresine 7.62 m (25 ft) aralıklarla yerleştirilmiş ve 1.5 m (5 ft) genişliğinde olan kolonlarla, bu kolonları birbirine bağlayan 1.53 m (5 ft) yüksekliğe sahip parapet kirişleriyle elde edilen bir çerçeve sistemi tarafından sağlanmıştır.



Şekil 5.32 Geniş aralıklarla yerleştirilmiş çevre kolonlarının oluşturduğu tüp bina.

5.4.1.7. Gusseli kirişli rijit çerçeve sistemi (Rigid frame with haunch girders)

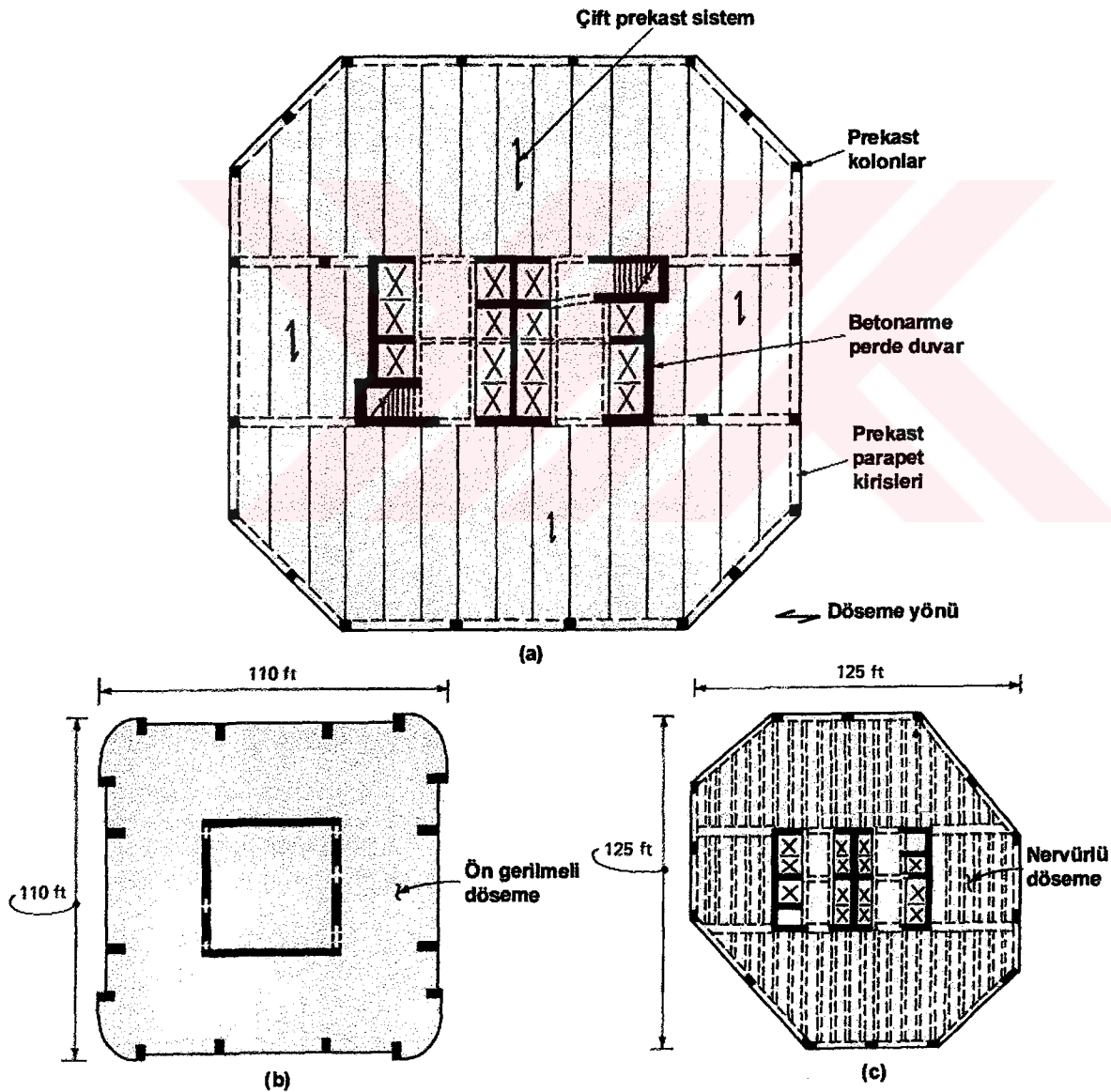
Rijit çerçeve sisteminin dezavantajlarından biri, rijit çerçeveyi ekonomik hale getirmek için gerekli olan kirişler yüksekliğidir. Bina çevresine yerleştirilen rijit çerçeve sistemlerinde, kat yüksekliği değiştirilmeden yüksek kirişler kullanılabilir. Bina çevresine yerleştirilen kısa aralıklı kolon sistemi, Mimari açıdan da kabul edilebilir olabilir.

Genelde ofis binalarında, iç kolonlar kullanılmadan binanın çekirdeğinden bina dışına, 12.19 m (40 ft) mesafeli açıklıklar bulunmaktadır. Böyle açıklıklara sahip binalarda rijit sistemin ekonomik olarak tasarlanabilmesi için, kiriş yüksekliklerinin, yaklaşık 0.91 m (3 ft) olması gerekir. Eğer ön gerilmeli (post tensioned) kirişler kullanıldıysa, bu ölçü azaltılabilmektedir. Kirişlerin derinliğinin artması, bina kapsamında istenmeyen bir çok faktöre sebep olur. Binanın kat yüksekliği artar ve buna bağlı olarak binanın toplam yüksekliği değişir. Yüksekliğe bağlı olarak, kullanılacak perde duvar hacmi artar, binanın net hacmi arttığı için soğutma ve ısıtma sistemleri ekstra yüklerin etkisi altında kalır ve bina maliyeti artar. Gusseli

kiriş sistemi (haunch girder), kat yüksekliği arttırılmadan yatay yüklere dayanım için gerekli olan kiriş katılığını sağlar. Şekil 5.32' de görülen binanın kiriş sistemi, gusseli kirişlerden ve nervürlü döşeme sisteminden oluşmaktadır.

5.4.1.8. Bina çekirdeğinden destekli sistemler (Core-supported structures)

Genelde perde duvarlar, düşey sirkülasyonun olduğu bina çekirdeğinin çevresine, kapalı bir poligon formuyla yerleştirilir. Kare, dikdörtgen veya değişken formlu perde duvar kutularının bina düşey sirkülasyonu birlikte kullanılmasının birkaç sebebi vardır.



Şekil 5.33 Çekirdekten destekli bina örnekleri; (a) prekast döşemeli perde duvar çekirdek sistemi, (b) ön gerilmeli kirişsiz döşemeli perde duvar çekirdek sistemi, (c) nervürlü döşemeli perde duvar çekirdek sistemi.

Düşey sirkülasyonun olduğu bölgelerde döşemeye bir çok delik açılır ve sistemin dayanımı azaltılmış olur. Eğer perde duvar, boşlukların bırakıldığı düşey sirkülasyon bölgelerinde uygulanırsa, döşemelerde bırakılan boşluklar güçlendirilmiş olacaktır.

Genelde ofis binalarında kiralanabilir alanların çokluğu önemlidir. Yüksek binalarda düşey sirkülasyonun olduğu alanlar net alan olarak kayıptır. Perde duvarların bu bölgelerde kullanımı, bina kullanımını etkilemez. Ayrıca perde duvarlar bina çekirdeğinin çevresine yerleştirildiğinde, binanın içinde ekstra düşey taşıyıcılar elemine edilir.

Perde duvarlar her türlü yüke dayanıklıdır; düşey yükler, yatay yükler, kesme kuvvetleri ve iki yönde de eğilme momentleri ve perde duvarda bırakılan boşluklar güçlendirildiği zaman iki yönde de oluşan burkulma momentleri. Perde duvarı çevreleyen taşıyıcı sistemler betonarme veya çelik sistemlerden oluşabilir. Perde duvar betonarme veya çelik düşey ve yatay sistemlerle çevrelendiği zaman, perde duvarın katılığı diğer sistemlerinkinden daha fazla olacaktır. Eğer binanın çevresi yakın aralıklarla yerleştirilmiş kolon ve yüksek parapet sisteminden farklı bir sistem içeriyorsa, bina üzerinde oluşacak tüm yatay yükler bina çekirdeğini oluşturan perde duvarlar tarafından karşılanacaktır. Şekil 5.33 (a,b,c), çekirdek düzenlemelerine örnek olarak gösterilmiştir.

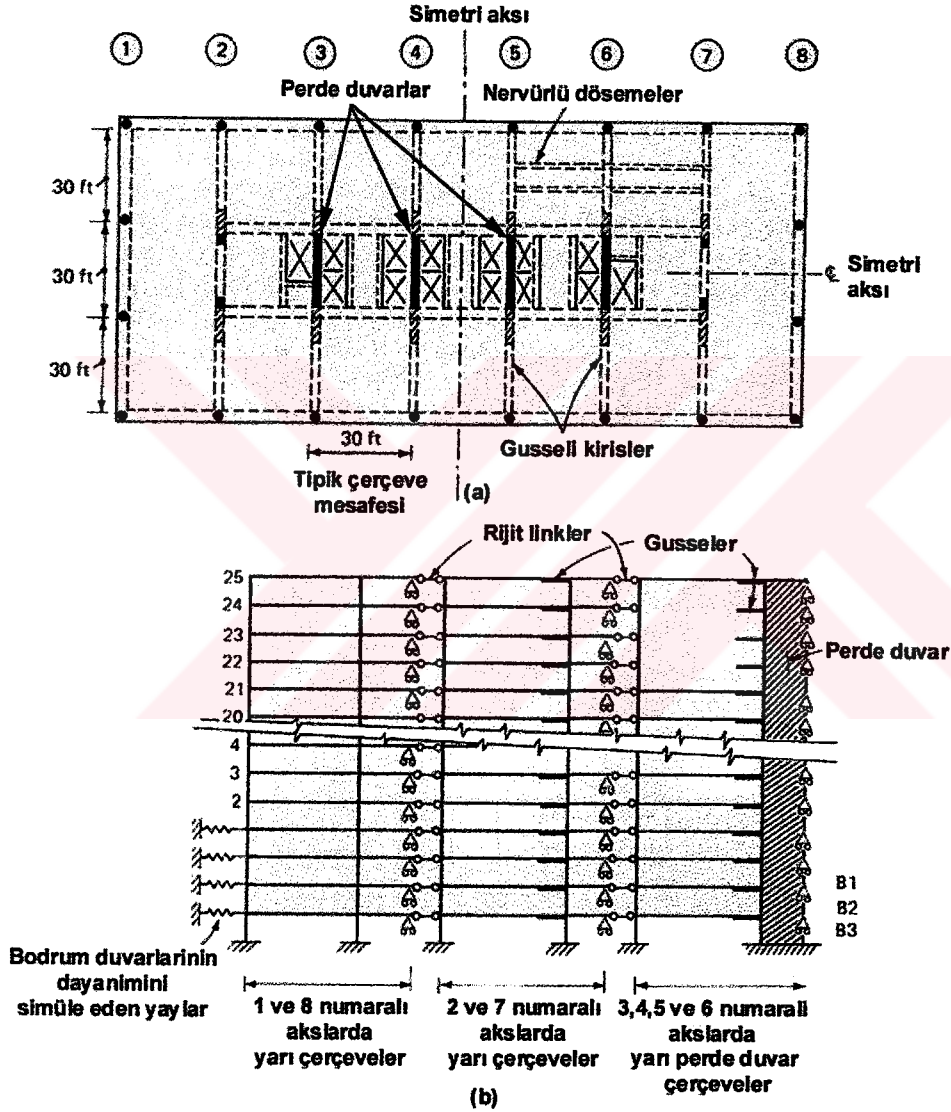
5.4.1.9. Perde duvar-çerçeve birlikteliği (Shear wall-frame interaction)

Yatay yüklerin dayanımında en popüler sistem bu sistemdir. Bu sistem çok farklı binalarda uygulanabilir ve 10 kattan 50 kata veya daha yüksek binalar için kullanılabilir. Bu sistemde gusseli kirişlerin kullanımıyla 70 ila 80 katlı binalar tasarlanabilir.

Kesme kuvveti etkisiyle çerçeve sistemlerde bir eğilme gözlenir. Aynı eğilme konsol gibi davranan perde duvarlarda da gözlenmektedir. Yatay yük etkisi sonucu oluşan eğilmelerin böyle uyuşması bu iki sistemin birlikte kullanımını sağlamaktadır. Moment çerçevelerinin lineer hareketiyle, perde duvarların parabolik hareketi birleştirildiği zaman sistemin toplam katılığı artmaktadır çünkü binanın üst katlarında çerçevenin hareketi perde duvar tarafından karşılanır ve binanın alt katlarında perde duvarın hareketi çerçeve tarafından karşılanır. Yakın yerleştirilmiş çevre kolon ve yüksek parapetli çerçeve sistemleri eğilme dayanımı gösteren bir perde duvar gibi davranış gösterdiğinden, bu iki sistem arasında ayırım yapmak çok zordur. Bunun gibi bir çok boşluk bırakılmış perde duvarda, çerçeve sisteminin kesme kuvvetleri

altında gösterdiği davranışı sergileyebilir. Birleştirilmiş sistemin toplam rijitliği, bu iki sistemin deformasyonlarına bağlıdır. Bu sistemin verimli çalışabilmesi için;

- Perde duvar ve çerçevenin kütleliliğinin bina yüksekliği boyunca aynı olması gerekir.
- Eğer kütlelilik değişkense, bina yüksekliği boyunca iki sistemin toplam kütleliliğinin değişmemesi gerekir.



Şekil 5.34 Perde duvar-çerçeve kombinasyonuna pratik örnek, (a) tipik kat planı, (b) binanın genişliğinde oluşan rüzgar yüklerine karşı analitik iki boyutlu model.

Pratikte, mimari ve fonksiyonel gereksinimlerin taşıyıcı yapı elemanlarının konfigürasyonunu etkilemesi, yukarıda belirtilen durumların sağlanmasını imkansız kılar. Yüksek bir binada çerçevenin ve perde duvarların geometrisinin aynı olması imkansızdır. Örneğin, asansörlerin

durduğu katlarda perde duvarlarda boşluklar bırakılır ve çerçeve kolonları bina yükseldikçe küçülmektedir, ayrıca binanın geometrisi de mimari açıdan farklılıklar gösterir.

Bu sistemin doğasının anlaşılabilmesi için Şekil 5.34' te gösterilen plan şemasına bakalım. Binanın eninde oluşan yatay yüklere dayanım üç tip çerçeve sistemi tarafından karşılanmaktadır. (i) 1 ve 8 numaralı akslardaki dış çerçeveler, (ii) 2 ve 7 numaralı akslardaki iki gusseli giriş çerçeveler, ve (iii) 3' ü ile 6' 1 aksları arasındaki akslara yerleştirilmiş perde duvar-gusseli giriş çerçeveler. Binanın genişliğindeki yatay yüklere dayanım ise, birincil olarak, dış kolonların çerçeve davranışı ve yüksek parapet girişleri tarafından sağlanmaktadır.

Binanın taşıyıcı sistem analizlerinin yapılabilmesi için binanın iki simetri aksı olduğu varsayılır (Şekil 5.34 (a)). Yatay yük analizleri, benzer çerçeveler kümelenerek ve bilgisayar modelinde binanın bir yarısı kullanılarak yapılabilir. Şekil 5.34 (b)' de, rüzgar yüklerinin binanın genişliğindeki etkilerinin analizinin yapılabilmesi için kullanılan iki boyutlu bilgisayar modelini görebiliriz. Bu modelde, yatay yüklere dayanımı göstermek amacıyla, 8 çerçeve sisteminden yalnız 3 eşit olanı kullanılmıştır ve çerçevelerin davranışının simüle edilebilmesi için her çerçevenin yarısı gösterilmiştir. Şekil 5.34 (b)' de gösterildiği gibi, yatay yüklerin basitleştirilmesi, her çerçevenin sonunda oluşan düşey harekete dayanımı sağlayarak başarılmıştır. Binanın bodrum katlarında kullanılan yaylar, zemin-taşıyıcı sistem etkileşimlerinin ve bodrum kat duvarlarının yatay yüklere dayanımını simüle etmek amacıyla kullanılmıştır. Şekil 5.34 (b)' de gösterilen çerçeveler arası rijit linkler, her çerçevede oluşan yatay hareketleri her katta sabit tutarak kat döşemesinin diyafram etkisini simüle etmektedir. Bu sistemin kullanıldığı bir çok bina vardır. Bu binalardan biri Dallas, Texas' taki *Lone Star Towers* (54 kat ve 200 m (655 ft) yüksekliğinde) binasıdır.

5.4.1.10. Çerçeve tüp sistemleri (Frame tube structures)

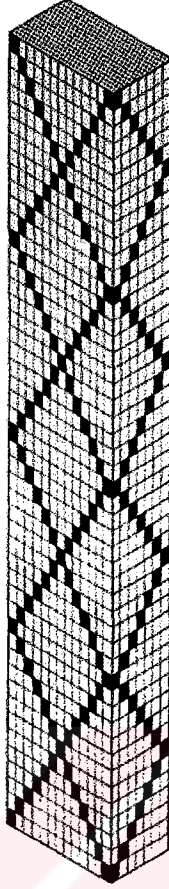
Tüp konsepti yüksek ve dar binalar için kullanılan verimli bir çerçeve sistemidir. Bu sistem yakın aralıklarla yerleştirilmiş kolonlardan ve bu kolonları birleştiren yüksek parapet girişlerinden oluşur. Ortaya çıkan sistem dev bir düşey konsol gibi çalışır ve rüzgara paralel ve dik yüzeylerdeki kolonlar arası büyük ayırım, bu sistemin verimli olmasını sağlar. Yalnız başına tüp konseptinin, katılık ve vibrasyon sınırları gereksinimlerini karşılayacağı garanti edilemez. Sistem kolonlarındaki aksiyal sapmaların ve kolonların ve parapetlerin eğilme ve kesme kuvvetleri altındaki deformasyonlarının binada oluşturduğu hareket ve kaymalar, uygulanan tüp sisteminin elastik ve geometrik özelliklerine bağlıdır. Tasarım sırasında yatay

yükler sonucu istenilmeyen eğilme ve kaymalar gözlemlendiği zaman, sisteme diyagonal kuşaklamaların eklenmesi gerekir.

Tüp sistemi kullanılarak ulaşılabilir ekonomik bina yüksekliği bir çok faktöre dayanmaktadır. Bu faktörlerin bazıları kolon aralığı ve ölçüleri, çevre parapet kirişlerinin yükseklikleri ve binanın eninin genişliğine oranıdır. Bu sistem 40 kat yükseklikten daha fazla yüksekliklerde tasarlanmak istendiği zaman, dikkatlice analiz edilmelidir.

5.4.1.11. Diyagonal tüp sistemi (Exterior diagonal tube)

Skidmore, Owings & Merrill' de mühendislik görevi yapmış Fazlur Khan 1972 yılında, betonarme binalarında çelik taşıyıcı sistem modelleri kullanılarak tasarlanabileceğini fark etmiştir. Tüp binalarda oluşan kesme kuvveti yetersizliğine çözümler bulmak için yaptığı çalışmalar, diyagonal tüp sistemini bulmasıyla sonuçlanmıştır. Bu prensibin uygulandığı en güzel örnek Şikago' da ki *John Hancock* binasıdır (Şekil 5.21). Fakat bu bina çelik taşıyıcı sistemin kullanıldığı bir binaydı. Khan aynı prensipleri uygulayarak, 3.04 m (10 ft) aralıklarla yerleştirilmiş yakın aralıklı kolon sisteminden ve bu sistemde bazı cam boşlukların doldurulması sonucu ortaya çıkan diyagonal tüp sistemini tasarlamıştır. Bu yolla tasarlanan betonarme diyagonallerinde, kolonlar ve kirişler üzerinde oluşan kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerini elemine eden bir tüp oluşturduğunu keşfetmiştir. Bu sistem kullanılarak, bu keşiften ancak 15 yıl sonra günümüzde hala kullanılan iki bina tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bunlardan biri New York' ta Third Avenue' de bulunan 50 katlı bir ofis binasıdır. Diğeri ise Şikago' da Michigan Avenue üzerinde bulunan çok maksatlı yüksek binadır. New York' ta bulunan ofis binasının taşıyıcı sistemi, çerçevelemiş ve kafes kuşaklı tüp sisteminin perde duvarlarla kombine kullanımından oluşmaktadır. Çerçeve tüp, kafes-kiriş tüp ve perde duvar sisteminin üçü de, yatay ve düşey yükleri taşıyacak kapasitede tasarlanmıştır. Binanın yüksekliği 173.73 m (570 ft) olmakla beraber aspect ratio oranı da 8:1 gibi normal olmayan bir orandır. Cam boşlukların doldurulması sayesinde oluşturulan diyagonal kuşaklamaların iki amacı vardır. Birincisi, diyagonaller oluşan kesme kuvveti yetersizliği faktörünü ortadan kaldırır, ikincisi ise, bina dışında oluşan yükleri dengelemeleri ve bu sebeple oluşan farklı kolon kısaltmalarını ortadan kaldırmalarıdır. Tüp sisteme diyagonallerin eklenmesi, daha ekonomik, verimli ve katı bir taşıyıcı sistemin oluşturulmasını sağlamıştır. Bu binanın sematik görünüşü Şekil 5.35' te gösterilmiştir.

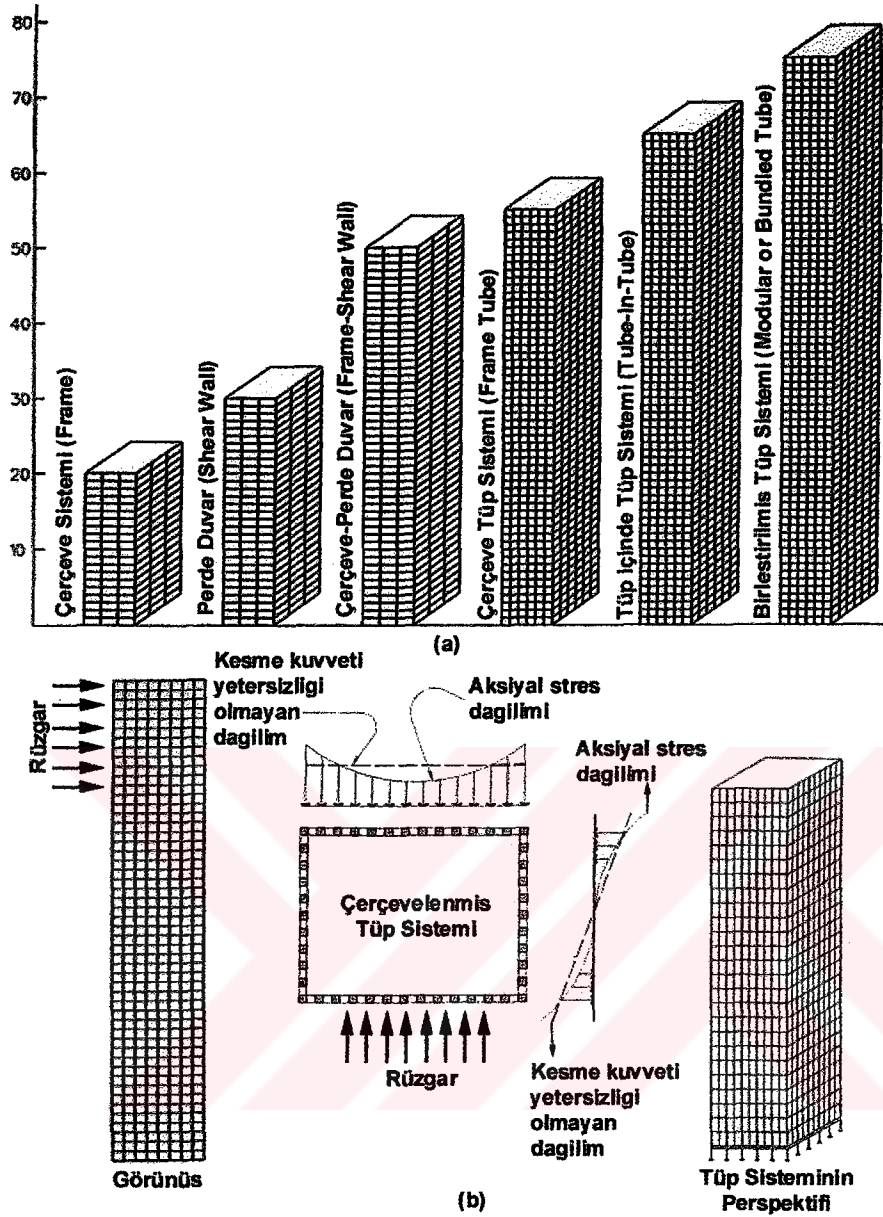


Şekil 5.35 Diyagonal kuşaklanmış betonarme tüp sistemini gösteren şematik görünüş (New York, Third Avenue, 50 katlı ofis binası).

Diyagonal kuşaklı betonarme tüp sistemine örnek başka bir binada, Şikago’ da inşa edilmiş olan 60 katlı çok amaçlı yüksek binadır. Bina iki tüp sistemden oluşmaktadır. Tasarımı yapan mühendis ve mimarlara göre kullanılan diyagonallerin ana amacı, bina içini çok amaçlı kullanım için daha serbest bir açıklık yaratmaktır. Bu sayede bina içinde çekirdek dışında ki, bu çekirdek düşey sirkülasyonun olduğu alandır ve perde duvarlardan oluşmaktadır, hiçbir kolon kullanılmamıştır. Şikago’ da bulunan bu binada taşıyıcı sistem dışa vurulmuştur.

5.4.1.12. Modüler veya birleştirilmiş tüp sistemi (Modular or bundled tube)

Betonarme birleştirilmiş tüp sistemini oluşturan konseptler, Bölüm 5.3.1.10’ da tartışılan konseptlerle aynıdır. Bu sistem, tüp sistemlerde oluşan kesme kuvveti yetersizliği etkilerini azaltmak için iki veya daha çok tüpün birleştirilmesinden oluşur. Çelik taşıyıcı yapı elemanlarından oluşan bir bina olmasına rağmen Şekil 5.22’ de görülen *Sears Tower*, bu sisteme örnek olarak alınabilir. Bu sistemin uygulandığı binalarda dıştan diyagonal tüp sistemi veya yakın yerleştirilmiş kolonlardan oluşan tüp sistemleri kullanılabilir.



Şekil 5.36 Betonarme tüp sistemi ve özellikleri; (a) betonarme tüp sistemlerinin uygulanabilecekleri yükseklikler ve türleri, (b) tüp sistemlerde gözlenen kesme kuvveti yetersizliği ve yük dağılımları.

Şekil 5.36 (a)' da gösterilmiş olan betonarme tüp sistem yükseklikleri ve sistemlerinin özellikleri yaklaşık aynıdır fakat yatay ve düşey yüklere dayanım farkları nedeniyle değişik yüksekliklerde kullanılırlar. Şekil 5.36 (b)' de gösterilmiş olan kesme kuvveti yetersizliği özellikleri, tübüler sistemleri etkileyen ana faktörlerden biridir. Fazlur Khan' ın bulduğu, tüp sistemlerin diyagonal kuşaklanması ve daha öncede kullanılan kafes-kirişli tüp sistemleri, kesme kuvveti yetersizliği faktörünü ortadan kaldırmaktadır. Kesme kuvveti yetersizliği, sistemi oluşturan kolonlar üzerinde oluşan aksiyal yük dağılımlarının eşit olmayışından kaynaklanmaktadır. Kullanılan diyagonal kuşaklama veya kafes-kiriş destekler, bu sistemde yük dağılımını dengeler ve kolonlar arası farklı kısalma ortadan kalkar.

5.4.2. Düşey yüklere dayanıklı, betonarme taşıyıcı sistemler

Bir yüksek yapının ekonomik olabilmesi için o yapıya uygun bir döşeme sisteminin seçilmesi gerekir. Yapılan bazı döşeme seçimleri mimaridir. Örneğin, apartman binalarında küçük ve kalıcı kat alanı bölüntüleri gereklidir, bu yüzden daha kısa döşeme açıklık sistemleri mümkündür. Buna karşın, modern bir ofis binasında geçici ve daha geniş kat alanı bölüntüleri gereklidir, bu yüzden daha uzun döşeme açıklık sistemleri gereklidir. Döşeme sistemlerinin seçimini etkileyen diğer faktörler ise döşemenin amaçlanan yapısal ve taşıyıcı sistem olarak performansındır. Örneğin, döşemenin yatay yüklere dayanımda katkısının olması veya inşaatın hızlı ilerlemesi için çabuk inşa edilebilen bir döşemenin seçimi gibi.

Betonarme kolonlar içinde aynı özellikler geçerlidir. Mimari kaygılar, istenilen düşey taşıyıcıların pozisyonlarını ve kapsamını belirleyebilir. Örneğin, bir apartman binasında her 9 m (30 ft) veya 4.5 m (15 ft)' de bir kolonlar yerleştirilerek bir çerçeve sistemi kurulabilir. Apartman plan şemasındaki kat bölüntülerinin ufak hacimlerden oluşması kolon yerleşimlerini pek etkilemez. Buna karşın, bir ofis binasında bina içinde kiralanabilir alana etkisi olmaması ve kat alanının rahat düzenlenebilmesi için kolon istenmez. Böyle durumlarda, seçilen taşıyıcı sisteme de bağlı olarak, kolonların binanın dış yüzeyinde ne ölçülerde olacağı ve kapasitesinin ne olacağı belirlenir. Günümüzde yüksek kuvvetli betonun kullanıma girmesi, kolonların daha dayanıklı ve ince kesitli olmasını sağlamıştır. Bu da, inşaatın hızlı ilerlemesini ve malzemeden sağlanacak ekonomik yararları gündeme getirmiştir.

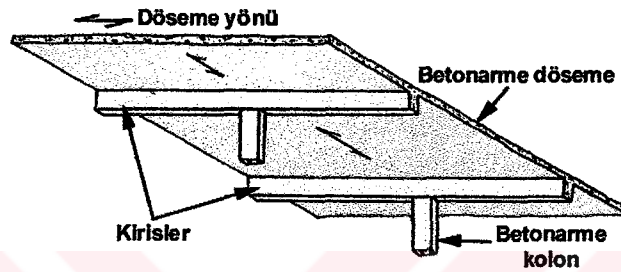
Günümüzde bilinen betonarme yüksek binalar şunlardır; Executive House, Şikago (1959); Marina City, Şikago (1962); Place Victoria, Montreal (1964); 1000 Lake Shore Drive, Şikago (1964 ve 7500 psi beton); Lake Point Tower, Şikago (1968); One Shell Plaza, Houston 1970; Water Tower Place, Şikago (1975 ve 9000 psi); 311 South Wacker, Şikago (1989).

5.4.2.1. Betonarme döşeme sistemleri

Betonarme döşeme sistemleri iki kategoride ele alınabilir. Bunlardan biri, döşemenin, döşemeyi destekleyen kirişler veya duvarlar arasında tek yönde açıklık geçmesinden oluşan tek yönlü sistemdir. Diğeri ise, döşemenin iki ortogonal yönde de açıklık geçtiği iki yönlü sistemdir. İki sistemde de, döşeme içine yerleştirilen negatif moment donatıları ve mesnet donatıları sayesinde bina içi desteklemeler üzerinde devamlılık sağlanır.

5.4.2.1.1. Duvar veya kirişler üzeri tek yön döşeme (One-way slab on beams or walls)

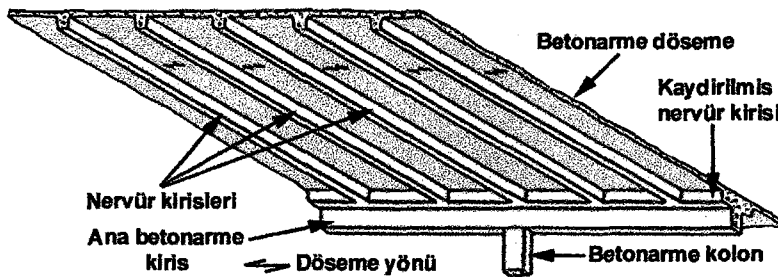
Bu sistemde maksimum 20 cm (8 in) kalınlığa kadar olabilen betonarme döşeme, maksimum 7.4 m (24 ft) aralıklarla yerleştirilmiş kirişler veya duvarlar üzerinde, basit bir kalıp ve donatı düzeni gerektirerek açıklık geçmektedir (Şekil 5.37). Bu sistem, donatı açısından ve kullanılan beton miktarı açısından ağır ve verimsizdir. Bu sistem daha çok yüksek apartman binalarında kullanılır ve bölünmeden birkaç açıklık geçiyorsa ön gerilmeli sistemlere kadar uzanan geniş bir çeşitlilik gösterir.



Şekil 5.37 Tek yön döşeme.

5.4.2.1.2. Tek yön nervürlü döşeme ve kirişler (One-way pan joists and beams)

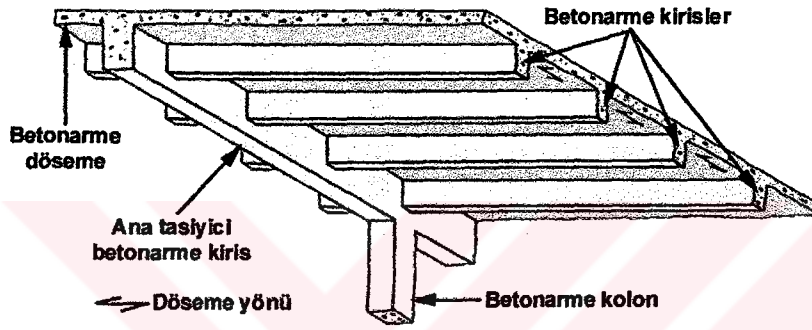
İnce ve hasır donatılı betonarme döşeme, yükleri kolonlara transfer eden ana kirişler arasında açıklık geçen ve yakın aralıklarla yerleştirilmiş nervür kirişlerinin üzerine döşenir (Şekil 5.38). Döşeme minimum 6 cm (2.5 in) olabilir. Nervür kirişleri ise 15 cm (6 in)' den 51 cm (20 in)' e kadar yüksekliğe sahip olabilir ve 51 cm (20 in) ila 76 cm (30 in) aralıklarla yerleştirilir. Karma bir biçimde çalışan döşeme ve tali kirişler, yakın aralıklarla yerleştirilmiş "T" şekilli kirişler gibi davranış gösterir. Bu sistem 12.3 m (40 ft) açıklıklar için kullanılabilir.



Şekil 5.38 Tek yön nervürlü döşeme ve kirişler, kaydırılmış nervür kirişleri.

5.4.2.1.3. Ana taşıyıcı kirişler ve kirişler üzeri tek yön döşeme (One-way slab on beams and girders)

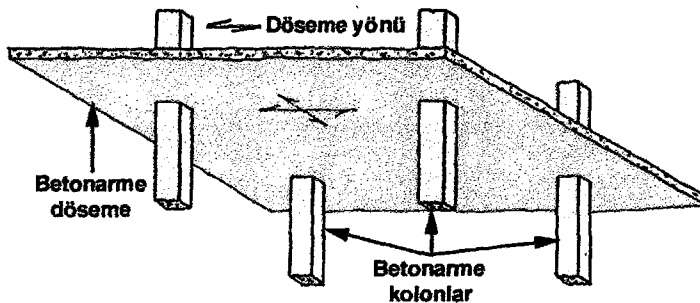
Bu sisteme de nervürlü döşeme denebilir. Bu sistemde döşeme, oluşan yükleri kolonlara transfer eden ana taşıyıcı kirişler tarafından taşınan yakın aralıklarla yerleştirilmiş kirişlerin üzerine döşenmiştir (Şekil 5.39). Kısa bir açıklık geçen döşeme, 7.6 cm (3 in) ila 15 cm (6 in) arasında kalınlıklara sahip olabilir. Bu sistemle 14 m (46 ft) açıklıklar geçilebilir. Bu sistemin avantajları geniş açıklıkların geçilebilmesi ve iki yönlü yatay yüklere dayanıklı rijit çerçeve sistemleriyle olan uyumluluğudur.



Şekil 5.39 Ana taşıyıcı kirişler ve kirişler üzeri tek yön döşeme, nervürlü döşeme.

5.4.2.1.4. İki yönlü kirişsiz döşeme (Two-way flat plate)

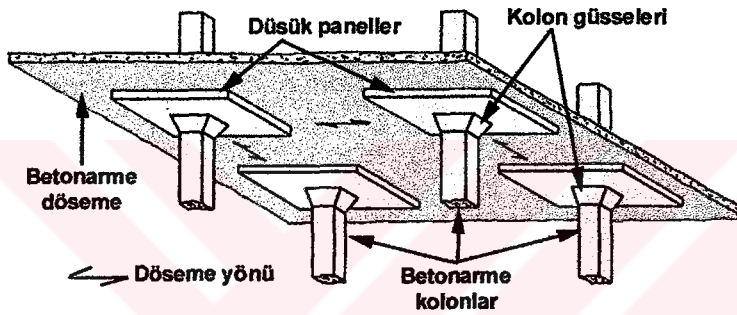
Bu sistemde, homojen bir kalınlığa sahip döşeme kolonlar veya duvarlar tarafından taşınmaktadır (Şekil 5.40). Bu sistem, normal donatılar kullanılarak 8 m (26 ft) açıklıklar ve ön gerilmeli bir şekilde 11 m (36 ft) açıklıklar geçebilir. Bu sistem basitliğinden dolayı, kullanılan kalıp işleri ve donatı miktarı açısından en ekonomik sistemdir. Döşemenin homojen bir kalınlığa sahip olması, kolon ve duvarların istenilen yerlere, serbestçe yerleştirilmesini sağlar. Sistemin kirişsiz olması ve tavanda, temiz bir kalıp işçiliği sayesinde sağlanabilecek asma tavansız bitiş, minimum kat yüksekliğinin kullanılabilmesini sağlar.



Şekil 5.40 İki yönlü kirişsiz döşeme.

5.4.2.1.5. İki yönlü mantar döşeme (Two-way flat slab)

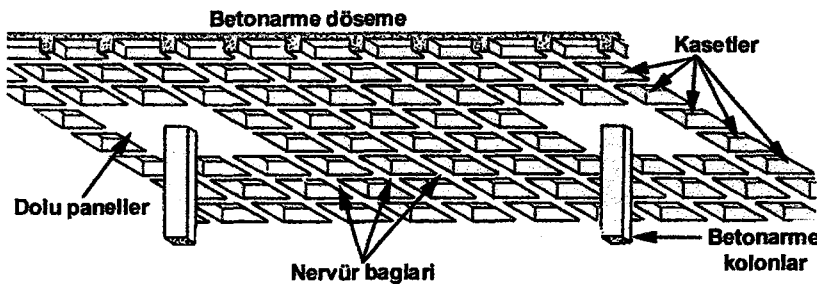
Bu sistemin kirişsiz döşemeden tek farkı kolon ile döşemenin birleştiği yerlerde kolon gusselerinin veya düşük panel döşemelerin kullanılmasıdır (Şekil 5.41). kolon gusseleri, sistemin kesme kuvvetlerine dayanımını ve düşük panellerle kullanıldığı zaman, kesme ve negatif moment dayanımını arttırmaktadır. Bu yüzden gusseli kolonlu ve düşük panelli sistemler ağır yükler altında ve daha geniş açıklıkların geçilmesi açısından, kirişsiz döşemeden daha verimlidir. Bu sistemde kullanılan beton ve donatı miktarı da, kirişsiz döşemelerde kullanılan beton ve donatı miktarından daha azdır. Bu sistem kare veya kareye yakın aksları olan binalarda kullanılır.



Şekil 5.41 İki yönlü kolon başlıklı ve düşük panelli mantar, kirişsiz döşeme.

5.4.2.1.6. Kaset döşeme (Waffle flat slab)

Bu sistemde betonarme döşeme, kare akslar üzerinde, yakın aralıklarla yerleştirilmiş nervür bağlarının oluşturduğu kiriş sisteminin ve kolonla döşemenin birleştiği yerlerde dolgu paneller oluşturularak taşınır (Şekil 5.42). Bu yüzden bu sisteme kaset döşeme denir. Bu sistemde kolon ve döşeme noktalarında oluşan negatif moment ve kesme kuvvetlerini gidermek amacıyla düşük panel görevi gören dolgu plakalar yerleştirilmiştir. Her bir kaset genişliği 76 cm (30 in)' e kadar olabilir ve kaset derinliği de 50 cm (20 in)' e kadar olabilir.

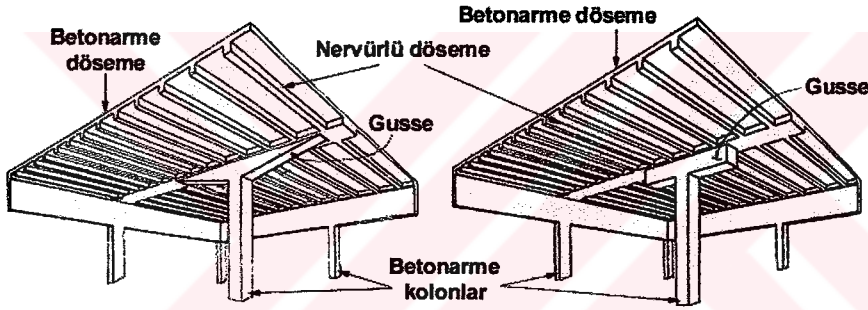


Şekil 5.42 Kaset döşeme.

Bu sistem enteresan bir geometri oluşturduğu için, çoğu zaman tavan bitişi gerektirmez ve asma tavan kullanılmaz.

5.4.2.1.7. Gusseli kirişler ve nervürlü döşemeler (Haunch girder and joist system)

Yüksek ana taşıyıcı kirişlerin kullanıldığı döşeme sistemlerinde, ana taşıyıcı kirişlerin yüksekliği bina içi kullanım alanlarını kısıtlamakta ve bu yüzden kat yüksekliğinin artmasına sebep olmaktadır. Kat yüksekliğinin artması dışına havalandırma sistemi ve tesisat sistemlerinin geçişi de engellenmiş olur. Kuzey Amerika’ da geniş kullanımda olan gusseli kirişler, bina kat yüksekliğinde kazançlara ve bina net kat hacminin azaltılarak gereksiz harcamaların yapılmamasını sağlar (Şekil 5.43). Gusseli kirişlerin kullanımı dışında, bu döşeme sistemi nervürlü döşeme sisteminin özelliklerine sahiptir.



Şekil 5.43 Gusseli kirişler ve nervürlü döşeme sistemi.

5.4.2.2. Betonarme kolonlar

Kolonlar, bütün yükleri bina temeline aktaran taşıyıcı sistem elemanıdır. Bina çapında oluşan tüm düşey yükler kolonlar tarafından karşılanır. Betonarme kolonların çelik kolonlarda pek fazla farkı yoktur. Beton basınca çalışır ama çekme karşısında zayıftır. Bu sebeple beton malzemeli kolonlara donatılar yerleştirilerek betonun çekmeye karşı dayanıklı olması sağlanır. Betonarme kolonlarda kullanılan donatılar şakul demirlerinden ve etriyelerden oluşur. Etriyelerin görevi yatay yüklere dayanımı arttırmak ve şakul demirlerine bir birine bağlamaktır. Böylece kolon yatay, düşey yüklere ve çekmelere dayanıklı olur. Betonun ölçüsü betonun basınca dayanımıyla belirlenir.

Binanın çatısından zeminine kadar yükler kümülatif olarak artar. Her katta hesaplanan çeşitli yükler toplanarak zemindeki kolon gereksinimleri belirlenir. Bu yüzden bina yükseldikçe kolonların kesitleri de inceler. Belirlenen yükler kolonun ölçülerini saptamaktadır.

1980 yılı yüksek performanslı betonun kullanıma girdiği yıldır. Yüksek performanslı beton, karışımında kullanılan microsilica sayesinde oluşmuştur. Yüksek bir binada kullanılan betonun hafif, kuvvetli ve dayanıklı olması gereklidir. Şikago’ da bulunan *Marina City* binalarında hafif beton kullanılmıştır. Günümüzde kullanılan yüksek kuvvetli beton 18000 psi olarak kullanımdadır. 18000 psi’ dan daha yüksek değerlere de ulaşılmıştır ve kullanılmıştır. Yüksek kuvvetli betonun kullanımı kolon kesitlerinin azalmasını ve yüklere dayanımın artmasını sağlar. Bu sayede, hem donatı açısından hem de kullanılan beton açısından ekonomi sağlanmış olur.

Betonarme kolonlarda gözlenen en büyük sorun kolonların yükler altında kısılmasıdır. Bu kısılmalar detay çözümü gerektirecek şekilde büyük ölçülerde gerçekleşmez. Genelde bir inçin (inche) milyonda biri kadar gerçekleşir. Bu kısılmalar her katta belirlenir. Eğer tasarlanan sistemde hesaplanan kısılmalar limitleri aşıyorsa, başka sistem çözümleri, malzeme değişimi veya diyagonal kuşaklamalar gibi, kullanılan sistemin dayanımını arttıracak taşıyıcı sistem ekleri düşünülmelidir. Basitçe, betonun mikro yapısını yoğunlaştırmaya yüksek kuvvetli veya performanslı beton denir.

5.5. Karma Taşıyıcı Sistemler

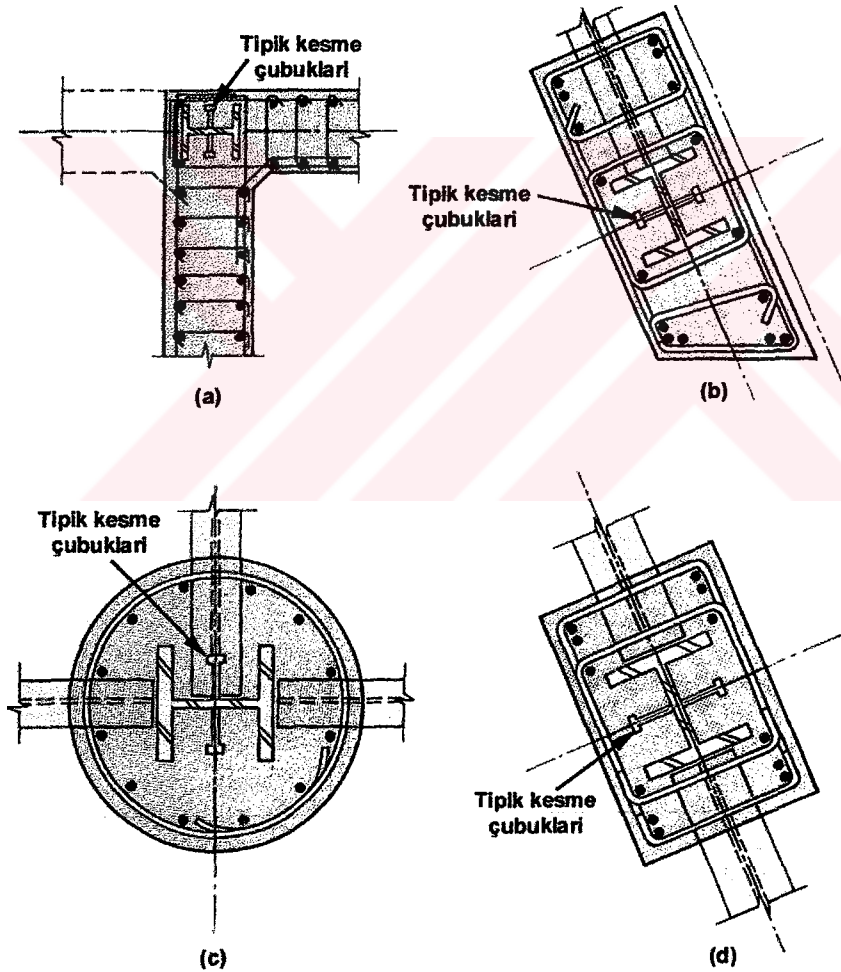
Geniş bir açıdan bakıldığında zaman, tüm yüksek binalar karma sistemli binalardır çünkü fonksiyonel bir bina, yalnızca çelik ve betonun kullanımıyla inşa edilemez. Örneğin, çelik malzeme taşıyıcı sistemin kullanıldığı yüksek yapılarda, döşeme sistemlerinde beton kullanılmaktadır. Beton yapılarda ise donatı olarak çeliğin kullanımı betonarmeyi yaratır ve bir ölçüde binayı karma sistemli bir bina konumuna sokar. Karma yapıların gerçek tanımı, beton malzemenin çelik malzemelerle kullanımıyla yaratılan yeni sistemlerdir.

En eski karma yapı, taşıyıcı çelik kirişler ve döşemeyle kiriş arasında kesme kuvveti mesnetlerinin bulunduğu betonarme döşemeler kullanılarak inşa edilmiştir. Bu sisteme karma döşeme sistemi dendi ve ilk köprü inşaatlarında kullanıldı. Bu sistemin binalara adapte olması çok zaman almamıştır. Dünyanın çeşitli bölgelerindeki mühendisler, yapı çeliğiyle betonarmeyi karıştırarak düşey taşıyıcı sistemler elde etmişlerdir. 1960’ tan günümüze yüksek kuvvetli betonun kullanıma girmesi, betonarme bir kolonun çelik bir kolondan daha ekonomik olduğunu ortaya koymuştur. Kullanılan beton malzemenin basınç değerleri 7000 psi (48.3 Mpa) ile 19000 psi (131 Mpa) arasında değişmektedir. Kuzey Amerika’ da yapılan çalışmalar, karma bir kolonun çelik bir kolondan 4 ila 5 kere daha ekonomik olduğunu ortaya koymuştur.

Betonun ekonomik karakterinin, betonun katılığı ve yangın açısından dayanımından doğan karakteristikleriyle birleşimi ve çeliğin kuvveti, inşaat sırasındaki üretim hızı, hafifliği ve geniş açıklıkları geçebilme kapasitesi ile betonun karakteristiklerinin birlikte kullanımı, bu iki malzemenin oluşturduğu yeni sistemleri yaratmıştır.

5.5.1. Karma taşıyıcı yapı elemanları

Karma sistemleri anlayabilmek için, bina taşıyıcı sistemi kapsamında düşey ve yatay yüklere dayanımlı yapı elemanlarının karma sistemler haline nasıl getirildiğini anlamak gerekir (Şekil 5.44).



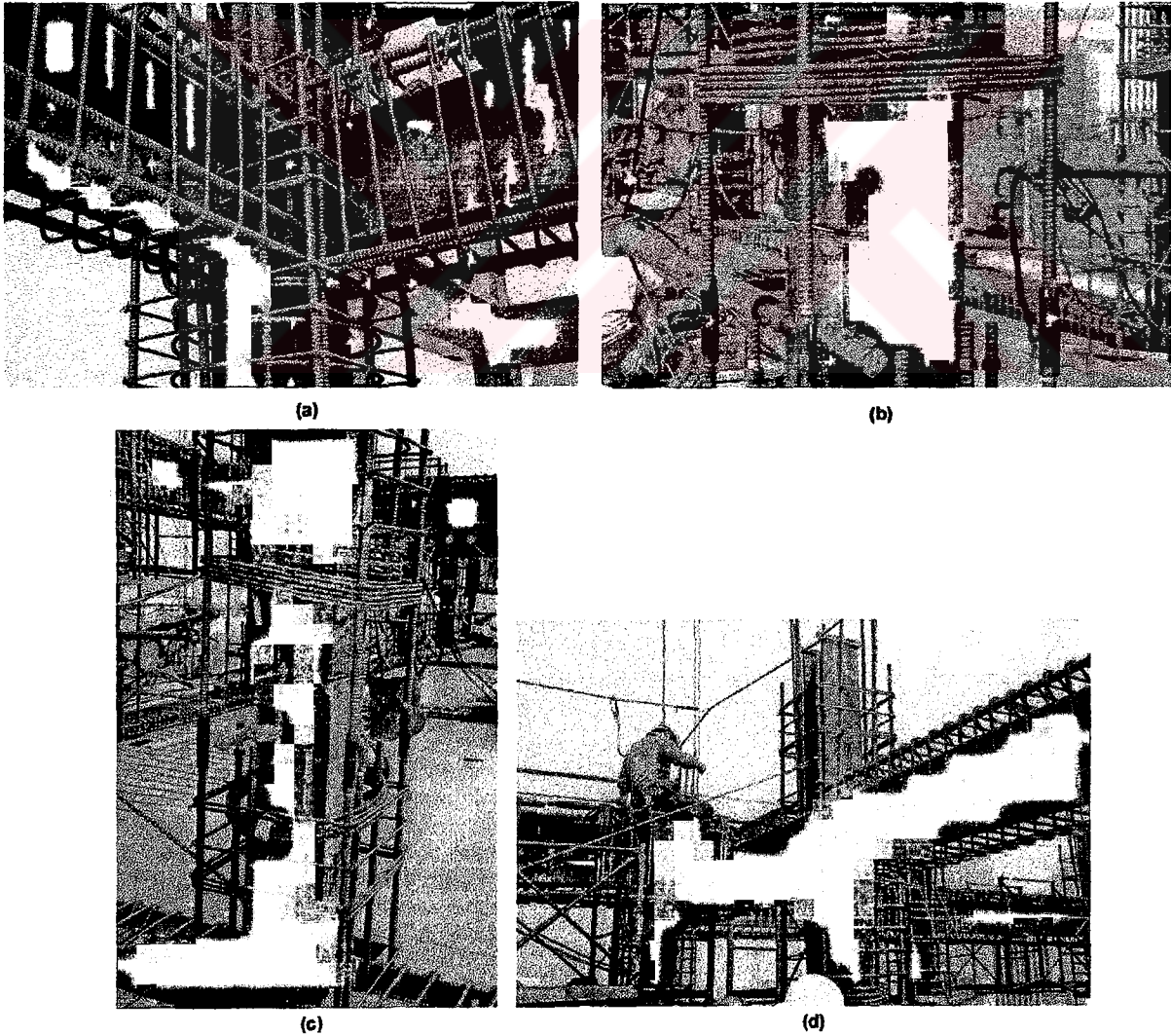
Şekil 5.44 Karma düşey taşıyıcı elemanlar; (a) karma perde duvar, (b) karma köşe kolonu, (c) tipik dairesel kolon, (d) tipik dikdörtgen kolon.

- Karma döşemeler.
- Karma taşıyıcı kirişler.
- Karma kolonlar.

- Karma diyagonal kuşaklamalar.
- Karma perde duvarlar.

5.5.1.1. Karma döşemeler

Yüksek çelik sistemli binalarda, kuvvetli, hafif (16 ila 20 gauge) metal decklerin beton topping ile kullanımı standart döşeme sistemi haline gelmiştir. Bölüm 5.3.2.1.4' te, karma döşeme sistemlerinin tanımı ve örnekleri görülebilir. Topping betonu sertleştiği zaman, betonun altında bulunan metal deck betonun donatısı olarak gerilme kuvvetlerine dayanmaktadır ve betonda basınca çalışır. Sonuçta ortaya çıkan döşeme, düşey yapı elemanlarını saran ve düşey yükleri ve yatay yükleri taşıyıcı kirişlere aktaran bir sistem oluşturur. Bu sistem aynı zamanda, çelik kirişlerin kiriş başlığı görevini de görür.



Şekil 5.45 Japon karma inşaat detayları; (a) kiriş-kolon birleşimi, (b,c) kaynaklanmış bağlantıları olan karma kolonlar, (d) genel görünüş.

5.5.1.2. Karma taşıyıcı kirişler

Kolonlara rijit bir biçimde bağlı olan çelik kirişlerin oluşturduğu tipik çelik moment çerçeve sistemlerini düşünelim. Bölüm 5.3.1.2' de gösterildiği gibi, çerçevenin katılığı, çerçeveyi oluşturan kirişlerin katılığına bağlıdır. Bunun sebebi, tipik olarak 7.6 m (25 ft) ila 10.67 m (35 ft) aralıklarla yerleştirilmiş kolonlara sahip ve kat yüksekliği 3.81 m (12.5 ft) ila 4.12 m (13.5 ft) olan bir çerçeve sistemini oluşturan kolonlar, kirişlere göre daha katıdır. Bu sistemlerde, yatay yükler etkisiyle oluşan kat hareketlerini azaltmanın tek yolu kirişlerin katılığının artırılmasıdır. Çerçeve kirişleri karma bir şekilde üretilmemesine rağmen, pratikte yüksek deprem riski olan bölgelerde, her 12 inçte bir kesme kuvveti mesnetleri kullanmak gereklidir. Kesme mesnetleri, diyaframların kesme kuvveti transferini sağlar ve kirişin atalet momentini artırır. Buna rağmen, kirişin tüm atalet momenti artmaz çünkü yükler karşısında kiriş eğilmeye devam eder. Beton gerilmeler karşısında yetersiz olduğu için, karma atalet momentine yalnızca kirişin pozitif momentli bölümünde güvenilebilir. Karma kirişlerde kirişin içine çelik elemanlar yerleştirilir ve katılığı artırılmaya çalışılır (Şekil 5.45).

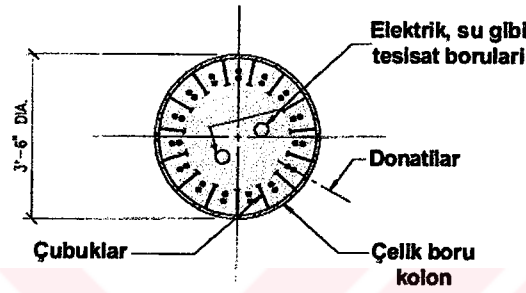
5.5.1.3. Karma kolonlar

Karma bina sistemlerinde iki çeşit kolon kullanılır. Birinci tip, çelik çekirdekli ve yüksek kuvvetli betonarme zarf sistemidir. İkinci tip ise, büyük çelik boruların veya tüplerin içinin yüksek kuvvetli betonla doldurulmasından oluşur.

Birinci tipte, kullanılan çekirdek çeliğin görevi bina üzerindeki taşıyıcı sistem yüklerini veya zarf olarak kullanılan betonarme ile birlikte, bina üzerinde oluşan yatay, düşey yükler ve eğilme ve kesme kuvvetlerine karşı dayanımı sağlamaktır. Konsept olarak, eğer çelik çekirdek donatılarla yer değiştirseydi, karma bir kolonun davranışı betonarme bir kolonun davranışına benzeyecekti. İşte bu konsept, birinci tip karma kolonların aksiyal yük ve moment kapasitelerinin etkileşim diyagramlarını çözmek için kullanılır.

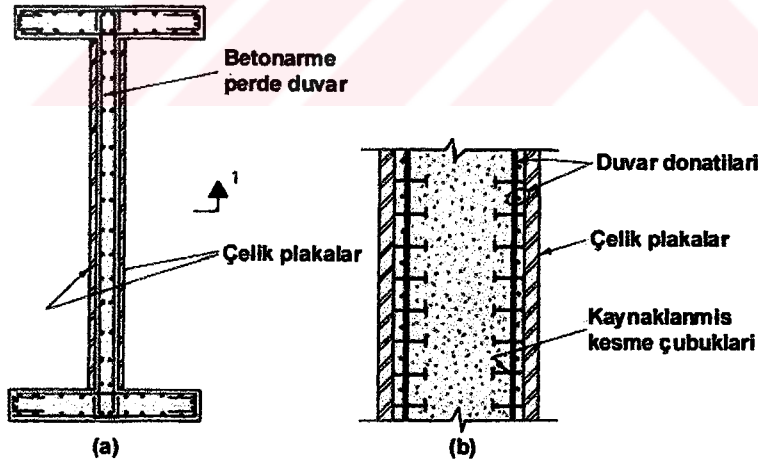
Bina dış yüzeyinde kullanılan kolonların betonarme zarf tekniğiyle üretilmesi en çok kullanılan sistemdir (Şekil 5.46 (c)). Çünkü kullanılan kalıpların her kat döküldükten sonra sökülüp tekrar kullanımı kolay ve ekonomik bir yoldur. Japonya dışındaki ülkelerde, iç kolonlar için bu sistem çok az kullanılır. İç kolonların değişken formları, kalıp işçiliğini artırır ve kalıpların sökülüp tekrar kullanımı çok zordur (Şekil 5.45).

İkinci tip karma kolonlar, çelik tüp veya boruların yüksek kuvvetli beton ile doldurulmasından oluşur. Tipik olarak bu sistemde düşey ve yatay donatılar gerekmez. Bu sistem oluşturulması gereken bir kalıp sistemi gerektirmediği için hem dış hem de iç kolonlarda kullanılabilir. Bu sisteme örnek olarak *Two Union Square Building* gösterilebilir. Bu binada, bina çekirdeği düşey yüklerin %40' ını ve yatay yüklerin tümünü karşılamaktadır. Bina çekirdeği 4 tane 3 m (10 ft) çaplı çelik tüplerden ve 19000 psi (130 Mpa) dolgu betondan oluşmaktadır (Şekil 5.46). Kolonun içinde tesisat ve elektrik gibi sistemlerin karşılanabilmesi için borular bırakılmıştır.



Şekil 5.46 Çelik tüp içi dolgu beton karma kolon şeması.

5.5.1.4. Karma perde duvarlar



Şekil 5.47 Çelik plakalı karma perde duvarlar; (a) plan, (b) kesit.

Normal betonarme sistemlerde ve çelik sistemlerde olduğu gibi, perde duvarlar bina çekirdeğine yerleştirilir. Duvarlar genelde C veya I şeklindedir (Şekil 5.47 (a)). Perde duvarların yakın flanjlari, eğilmeye karşı katılığı arttırmak için link kirişleriyle birleştirilir. Eğer kirişler diyagonal donatılarla güçlendirilmezse, oluşan kesme kuvvetleri etkisiyle büyük zarar ve kırılmalarla karşılaşılabilir. Deprem riskinin yüksek olmadığı bölgelerde, kesme duvarlar çelik kirişlerle birleştirilir. Perde duvarların karma olabilmesi için perde duvarın

donatısı olarak çelik plakalar kullanılmaktadır. Bir anlamda Büyük bir I veya C profil yaratılmış olur. Karma kolon sistemlerinde de olduğu gibi kesme kuvvetlerine karşı kesme kuvveti çubukları kullanılmaktadır (Şekil 5.47 (b)).

5.6. Bölüm Özeti

Her çeşit binada olduğu gibi, yüksek yapının da oluşan çeşitli yükler karşısında dayanımını, uyumunu ve ayakta durmasını sağlayan tek faktör yapının taşıyıcı sistemidir. Bu bölümde de belirlendiği gibi, bir çok farklı sistem arasında tasarlanan yapıya uyan belki de bir tek sistem bulunacaktır. Her yüksek yapının özellikleri, yapının yüksekliği, oranları, fonksiyonu, bulunduğu bölge ve bulunduğu bölgeye dayalı olarak yapıyı etkileyebilecek rüzgar, deprem ve hava koşulları gibi çevre faktörlerine göre değişkenlik gösterir.

Yüksek yapı taşıyıcı sistem tasarımında iki tür yapı malzemesi kullanılmaktadır. Bu malzemelerin oluşturduğu sistemler çelik taşıyıcı sistemler, betonarme taşıyıcı sistemler ve bu iki malzeme türünün birlikte kullanıldığı karma sistemlerden meydana gelmektedir. Bu bölümde kategorize edilen taşıyıcı sistemler ana taşıyıcı sistemlerdir ve her sistemin kendine has özellikleri ve kullanım koşulları bulunmaktadır. Çeşitli taşıyıcı sistem gereksinimleri karşısında, bu sistemleri birleştirerek farklı sistemleri elde etmek mümkündür.

Taşıyıcı sistem seçiminde en önemli faktörlerden biri, bina fonksiyonun belirlediği plan şemasıdır. Plan şeması binanın geometrisini oluşturmaktadır. Geometrik olarak çalışan bir binaya uygun bir taşıyıcı sistem bulunamaması imkansızdır. Bina geometrisindeki devamlılık taşıyıcı sisteminde ekonomik ve verimli çalışmasını sağlayacaktır.

Yüksek yapı tasarımı ve uygulamalarında önemli olan bir diğer faktörde yapının ekonomik ve verimli olmasıdır. Kullanılan taşıyıcı sistem yapının ekonomikliğini ve verimliliğini belirler. Gereksiz maliyetlere sebep verecek taşıyıcı sistem tasarımları, yapının hem verimini ve kullanımını, hem de ekonomik olmamasına sebep olacaktır. Örneğin yüksek ve rüzgar yükleri etkisi altında 100 katlı bir ofis binasının 9 m (30 ft) aralıklarla yerleştirilmiş kolon ve kiriş çerçeve sistemi kullanılarak üretilmesi, binanın kiralanabilir alanının iç kolonlar tarafından istila edilmesine, bina kullanıcılarının kabul edilebilir limitler dışındaki bina salınımlarıyla rahatsız olmasına, taşıyıcı sistemi oluşturan kolon, kiriş ve döşeme gibi yapı öğelerinin gereksiz kesitlerde olmasına, bu sebeple çok fazla çelik ve betonun kullanılmasına, binanın

gereksiz riskler etkisinde yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya kalmasına ve dolayısıyla yapının verimsiz ve pahalı olmasına sebep olacaktır.

Yüksek yapı tasarımlarında taşıyıcı sistem tasarımı, bu sebeplerden dolayı, çok önemli analiz ve araştırmalar gerektiren bir aşamadır. Yapı üzerinde oluşabilecek her türlü yük hesaplanmalı, yük dağılımları ve dağılım yolları incelenmeli, yapının maliyeti ve maliyet süresi hesaplanmalı ve, günümüzde tasarıma büyük katkılarda bulunan bilgisayar teknolojisinin kullanımıyla, yapının taşıyıcı sistem modellerine testler uygulanmalıdır.

Bu bölümde yüksek yapı taşıyıcı sistemlerine basitçe ve daha çok mimari açıdan yaklaşılmaya çalışılmıştır. Yüksek yapı taşıyıcı sistemleri hakkında daha çok bilgi gereksinimi duyuluyorsa, kaynaklar bölümündeki kitaplardan yararlanılabilir.



6. ÖRNEK PROJELER

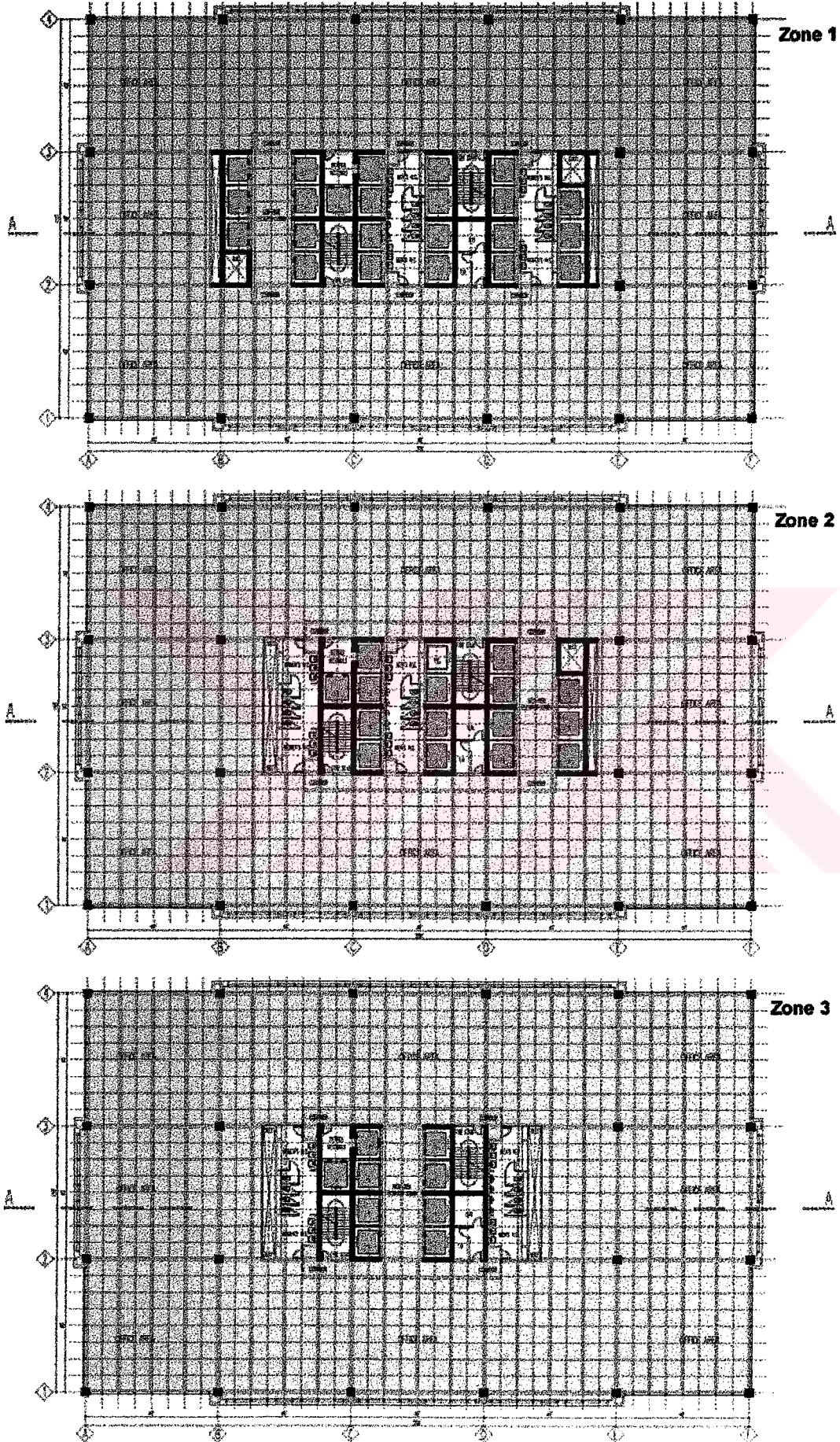
Dünya çapında yüksek yapıların çeşitli fonksiyon içerikleri vardır. Genelde yüksek yapıların çoğu apartman, otel ve ofis fonksiyonlarını içerir. Dünyada çok az sayıda olmasına karşın bu üç fonksiyondan ikisini veya tümünü de içerebilen yüksek yapılar bulunmaktadır. Bu tür yüksek yapılara çok amaçlı (Multi-Use) binalar denir. Bu üç ana fonksiyonla birlikte yüksek yapılar iletişim, rekreasyon ve uzay araştırmaları gibi çeşitli fonksiyonları da içermektedir. Örneğin Şekil 5.21’ de görülen Şikago’ da ki *John Hancock* binası, apartman, ofis, rekreasyon ve alış-veriş fonksiyonlarını içermektedir.

Bu bölümde sergilenen örnek yüksek yapı projelerin hepsi Osman Bürgehan Aysu tarafından, Illinois Institute of Technology, Şikago, Amerika’ da tasarlanmıştır. Bu projelerin yürütücüleri Prof. Joe Fujikawa ve Prof. David Sharpe’ dir.

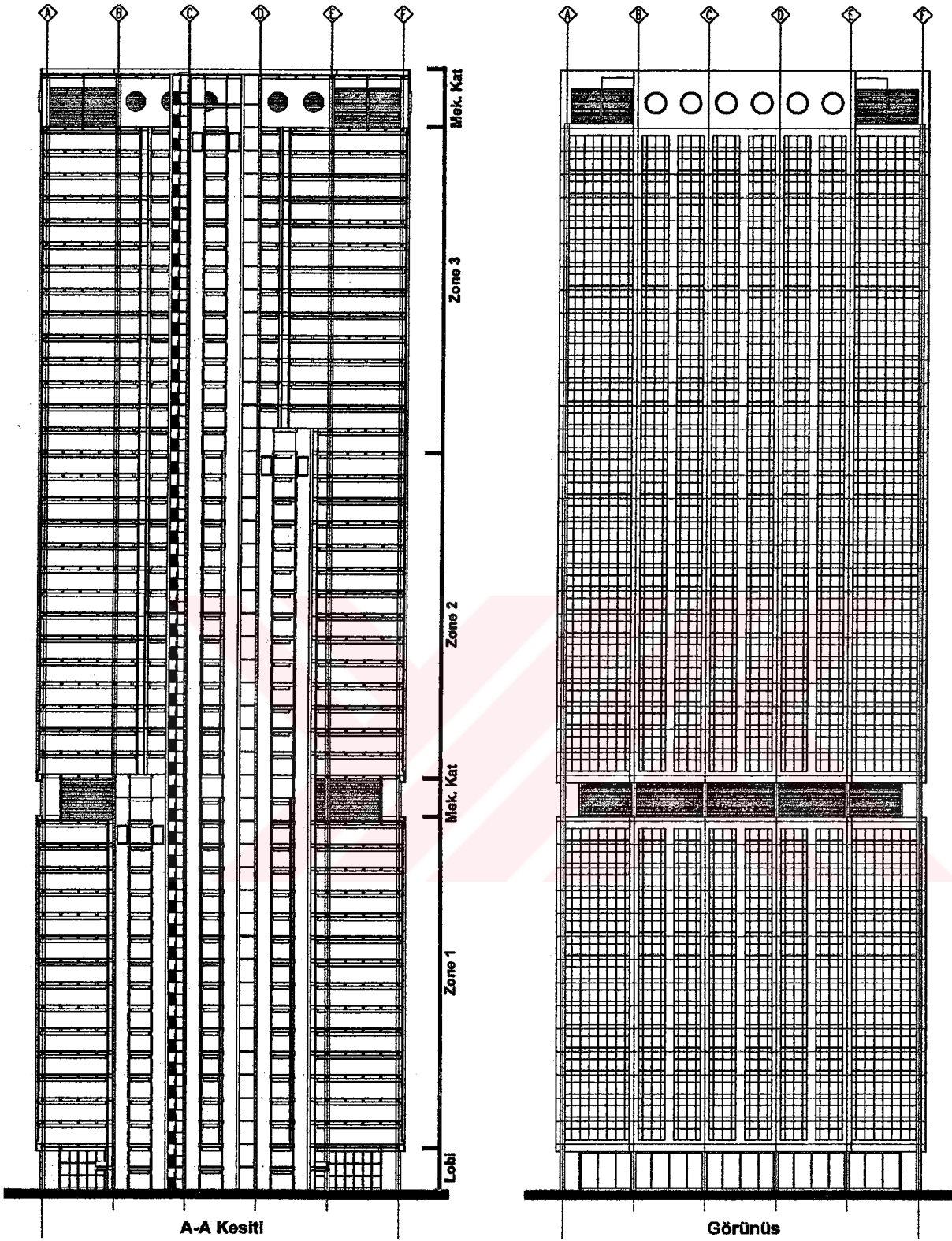
6.1. Şikago’ da Yüksek Bir Ofis Yapısı

Bu yüksek yapı tek fonksiyonlu bir ofis binasıdır. Yapının tasarımı sırasında 1.5 m (5 ft) olan bir aks sistemi seçilmiştir. Yapının taban ölçüleri 36 m (120 ft)’ ye 60 m (200 ft) dir. Ana taşıyıcı kolon ve kirişlerin açıklıkları 12 m (40 ft) dir. Normal bir ofis binasında istenen kiralanabilir temiz açıklık 12 m (40 ft) dir. Binanın taşıyıcı sistemi çerçeve sistem ve bina çekirdeğini oluşturan perde duvarların birlikte kullanıldığı bir sistemdir. Taşıyıcı yapı malzemesi karmadır. Kolonlar, daha önceki bölümde incelediğimiz çelik çekirdekli betonarme kolon sisteminden oluşmaktadır. Döşemeler, karma döşeme sistemi olan metal decklerden üretilmiştir. Kirişler, yangın korumalı I profil çelik kirişlerdir ve kat yüksekliği 3.90 m (12 ft) tir. Her 12 metrede bir ana taşıyıcı kirişleri kullanılmıştır. Sistemde, her 3 metrede bir tek yönlü döşeme sistemini oluşturan tali kirişler bulunmaktadır. Bina köşelerindeki döşeme ve kiriş sistemi her katta farklı bir yönde oluşturularak bina köşelerinin dayanıklı olması sağlanmıştır. Bu binanın planları Şekil 6.1’de, kesit ve görünüşü Şekil 6.2’ de ve perspektifi Şekil 6.3’ de görülebilir.

Yapı 42 kat kullanılabilir ofis alanı, 2 çatıda ve 2 birinci bölgenin sonunda olmak üzere 4 kat mekanik kat ve 2 kat lobiden oluşmaktadır. Soğutma kuleleri binanın çatıda bulunan, 2 kat yüksekliğindeki mekanik katındadır.



Şekil 6.1 Ofis binasının kat planları.



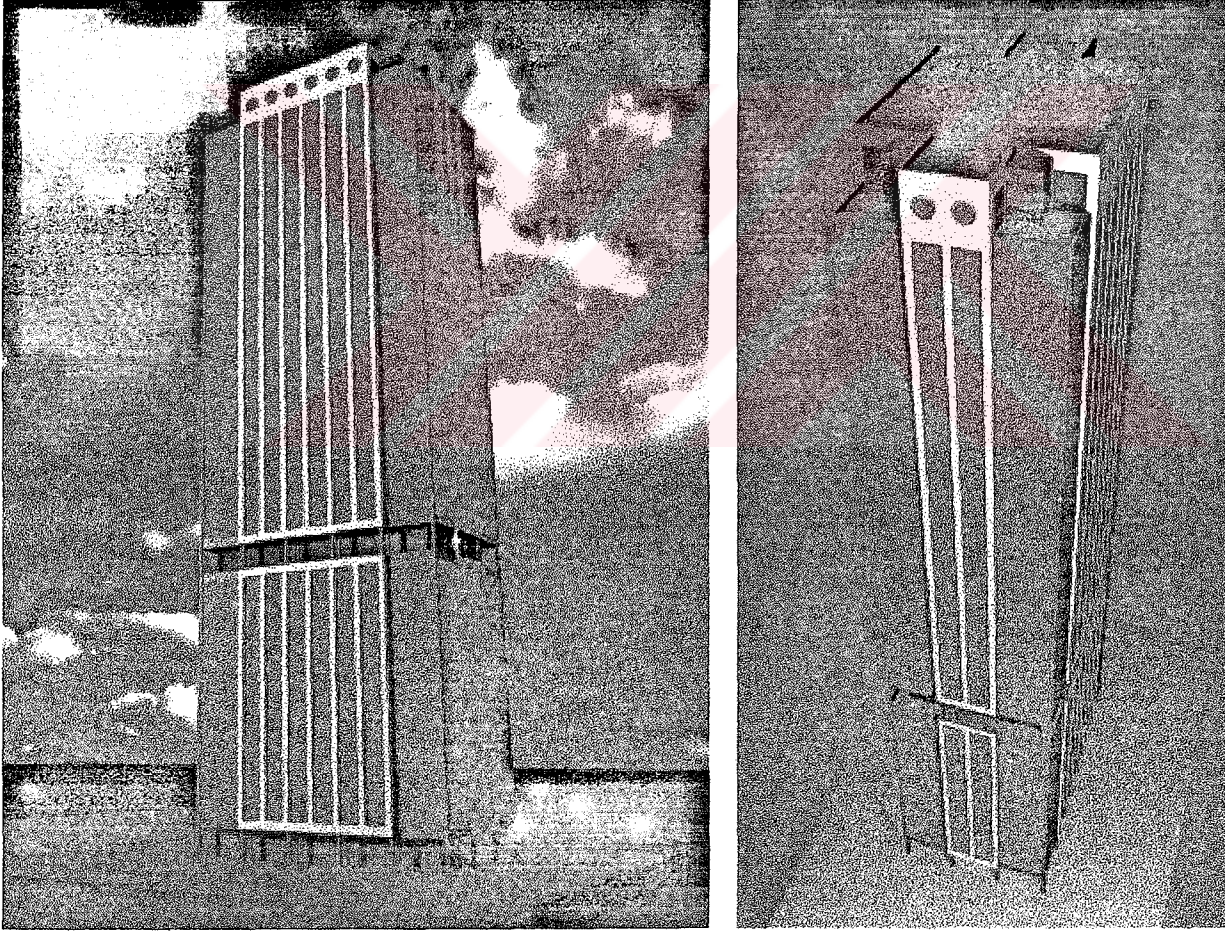
Şekil 6.2 Ofis binasının kesit ve görünüşü.

Binada düşey sirkülasyonun kesintisiz olarak çalışması için üç değişik bölge (zone) yaratılmıştır. Her bir bölgede 7, toplamda 21 asansör ve 2 servis asansörü vardır. Yüksek ofis binası tasarımlarında her 4500 m^2 (50,000 sf) için bir asansör hesaplanır. Binanın bölgelere bölünmesinin amacı, her kata eşit düzeyde sirkülasyonun sağlanabilmesidir. Örneğin bu

binada, 1 ile 14 kat arasında bölge bir servis vermektedir. 14 ile 28' inci kat arasında bölge 2 ve 29 ile 42' inci kat arasına da bölge 3 servis vermektedir. Binanın lobi katında her üç bölge asansör çekirdeklerine de erişilebilir olmak zorundadır. Her bölgeye yerleştirilen kat numaraları ile hangi asansörlerin hangi katlara hizmet verdiği gösterilir.

Binanın kat yüksekliği 3.90 m (13 ft) dir. Binanın toplam yüksekliği 189 m dir. Her katta asma döşemeler bulunmaktadır. Bunun amacı, havalandırma borularının ve aydınlatmanın sağlanabilmesidir. Aslında kullanılabilir kat yüksekliği 2.8 (9.3 ft) dir.

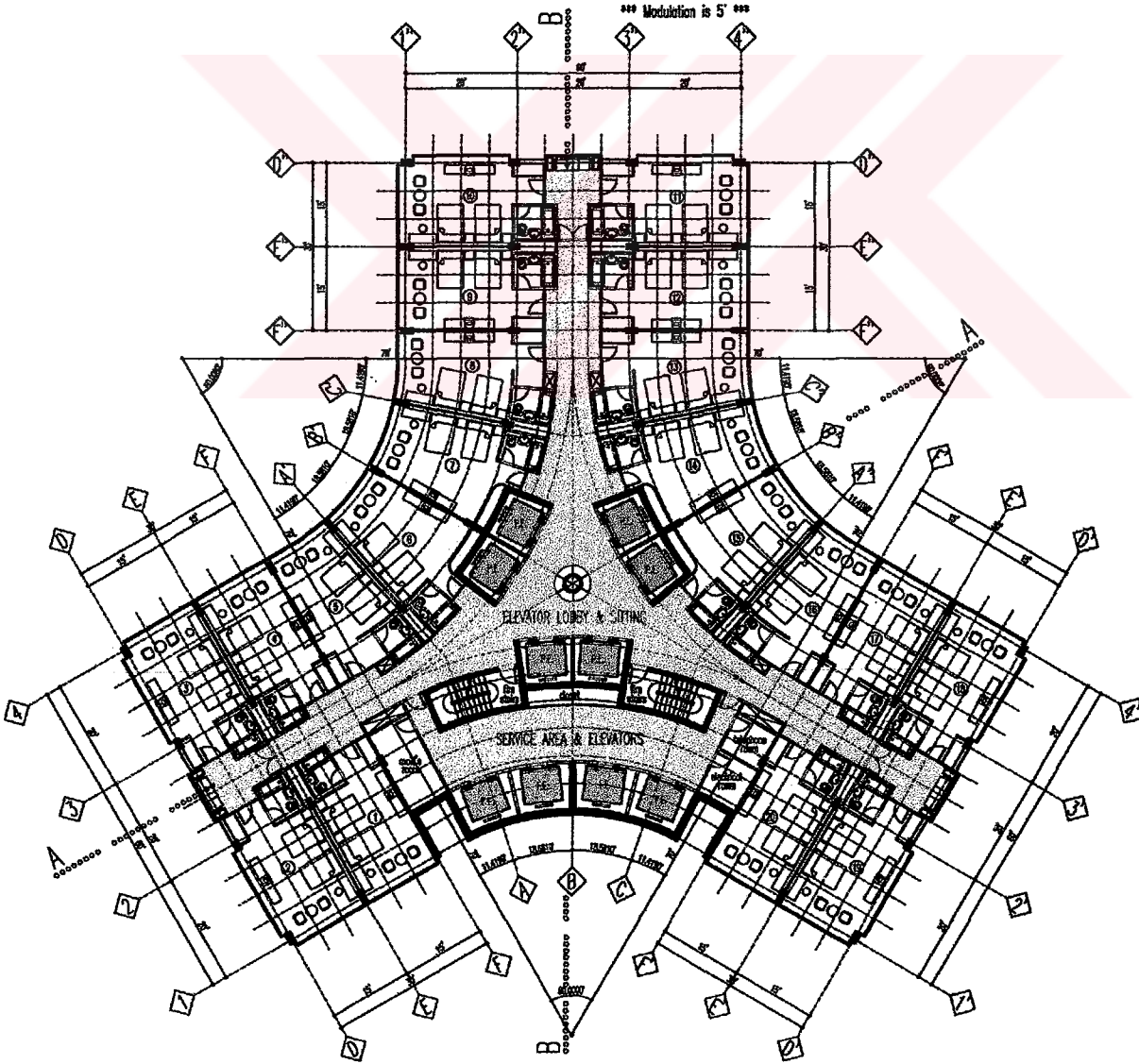
Brüt yapı alanı $93,035 \text{ m}^2$ (1,033,732 sf), bina çekirdeği toplam alanı $18,507 \text{ m}^2$ (205,637 sf) ve net yapı alanı $74,528 \text{ m}^2$ (828,094 sf) dir. Binanın alan açısından verimliliği % 80.1 dir.



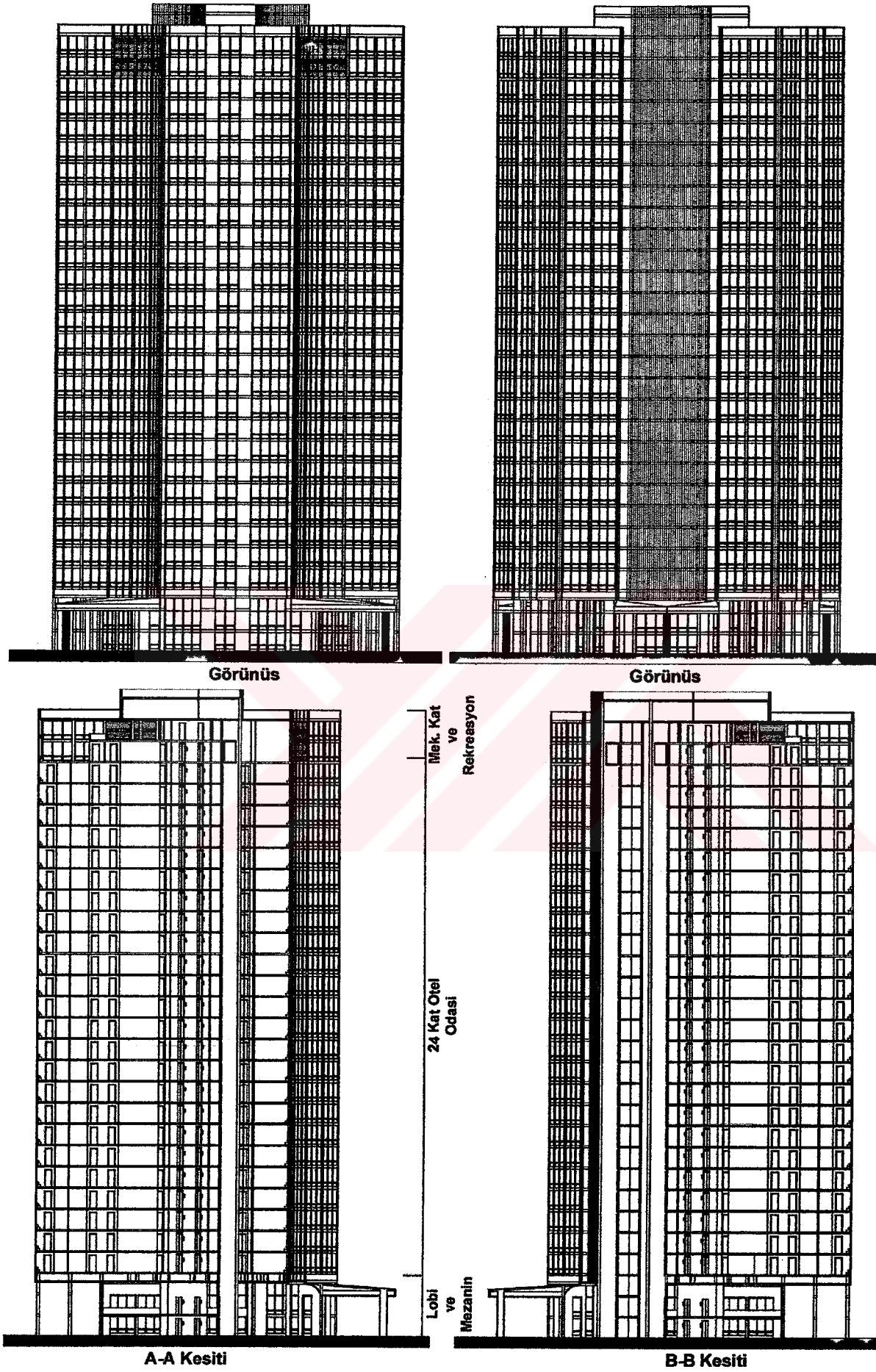
Şekil 6.3 Ofis binasının Perspektifleri.

6.2. Şikago' da Yüksek Bir Otel Yapısı

Bu yüksek yapı tek fonksiyonlu yüksek bir otel yapısıdır. Yapının tasarımı sırasında 1.5 m (5 ft) olan bir aks sistemi seçilmiştir. Aks sistemi 60 derece açılarla kesişen bir yıldız geometrisi oluşturmaktadır. Yapının taşıyıcı sistemi 4.5 m (15 ft) ve 6 m (20 ft) ölçülerinde yerleştirilmiş çerçeve sisteminden oluşmaktadır. Bu ölçülerin belirlenmesinde otel odasının minimum ve maksimum ölçüleri göze alınmıştır. Bir otel odası minimum 34 m² (375 sf), maksimum 40 m² (450 sf) olarak düşünülmüştür. Döşemeler, iki yönlü kirişsiz döşemedir ve kat yüksekliği 3 m (10 ft) dir. Yapı tamamıyla betonarmedir. Yapı otel odaları içeren 24 kat, çatıda 2 kat mekanik odalar ve rekreasyon alanları ve 3 kat lobi ve mezanin olarak toplam 29 kata sahiptir. Her kat 3 m (10 ft) olmak üzere 91 m (304 ft) dir. Bu binanın plan şemaları Şekil 6.4' te, kesitleri ve görünüşleri Şekil 6.5' te ve perspektifleri Şekil 6.6' de görülebilir.



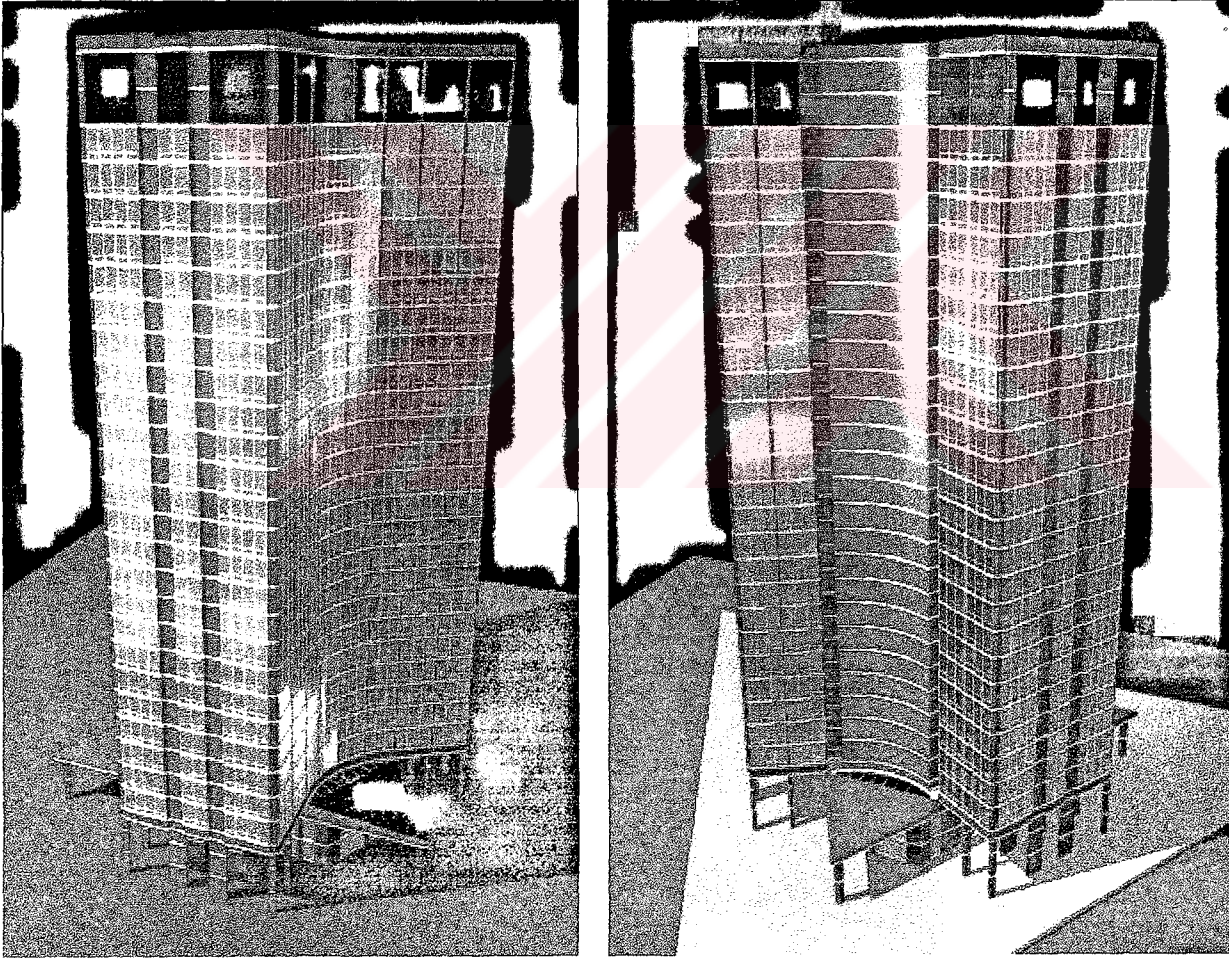
Şekil 6.4 Otel binasının plan şeması.



Şekil 6.5 Otel binasının kesitleri ve görünüşleri.

Bu binanın çok yüksek olmayışı ve geometrisinden dolayı her türlü yüke karşı dayanıklı ve yük dağılımında homojen olması, bu binada taşıyıcı sistemi ikinci plana itmektedir. Binanın çevresine dik aks sistemleri her noktada 6 m (20 ft) derinliktedir. Bu da binanın dış çerçeve sisteminin bir birinden ayrı üç değişik sistem gibi davranmasını sağlamaktadır. Bina çekirdeğinde perde duvarlar kullanılmıştır ve her türlü kesme yükü, eğilme ve devrilme momentleri bu çekirdek tarafından karşılanmaktadır.

Bu otel toplam 480 adet misafir odasına göre tasarlanmıştır. Her katta 20' şer oda bulunmaktadır. 24 kata hizmet veren 6 adet misafir asansörü ve 4 adet servis asansörü tasarlanmıştır. Pratikte her 75 odaya bir misafir asansörü hesaplanır ve 1.5 misafir asansörü için bir servis asansörü tasarlanır.



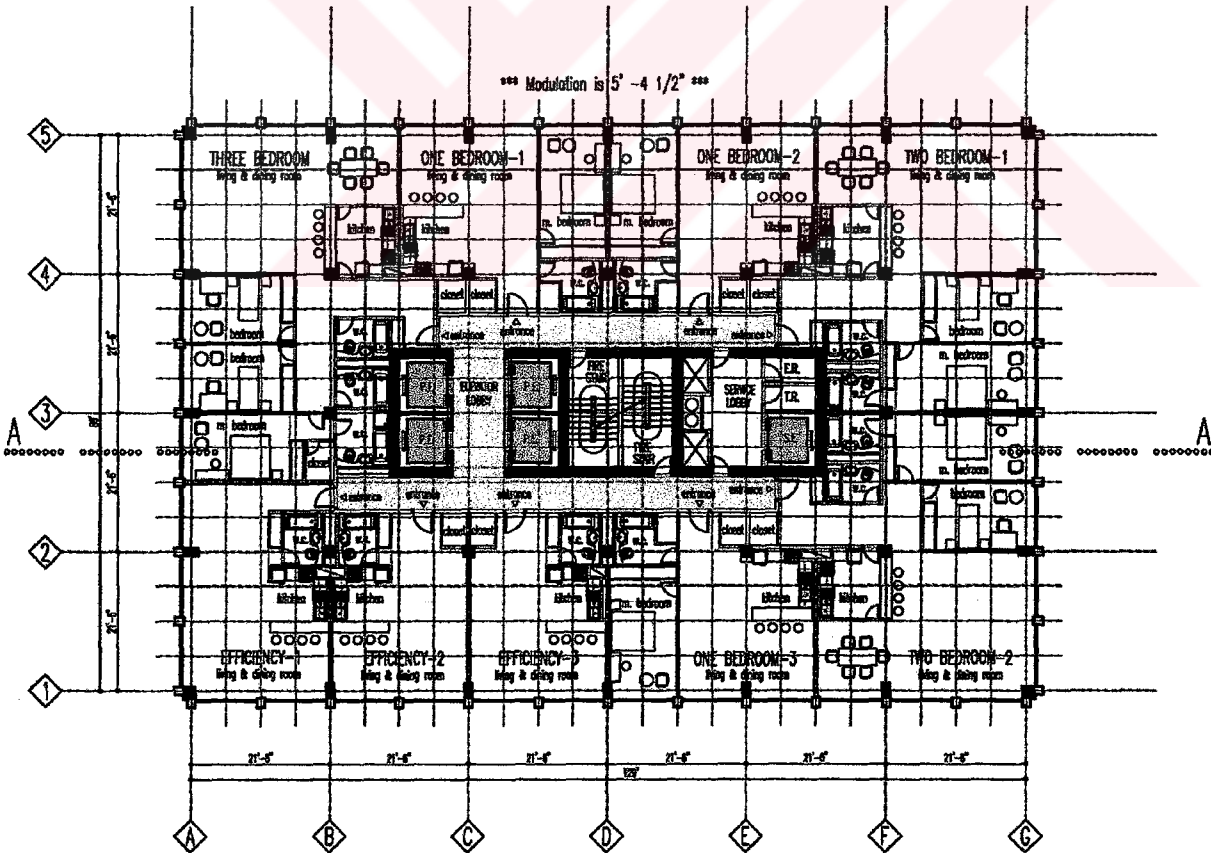
Şekil 6.6 Otel binasının Perspektifleri.

Yapının toplam brüt alanı $27,414 \text{ m}^2$ (304,607 sf) dir. Toplam 480 otel odası içerir. Net alan $19,228 \text{ m}^2$ (213,645 sf) dir. Plan şemasında binanın ortasında görülen, servis, asansör, bakım

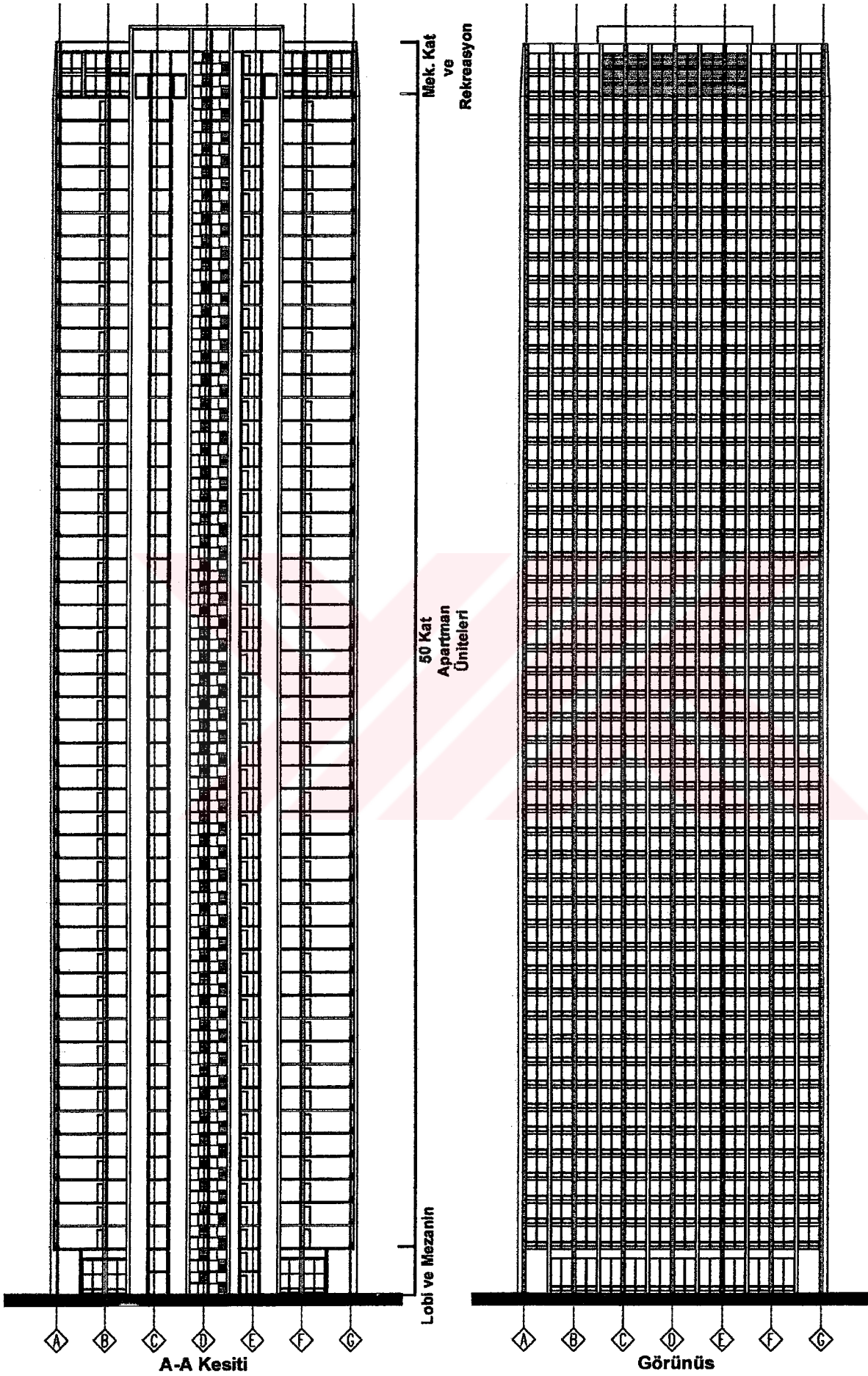
odası, mekanik ve elektrik, çöp şaftı ve merdivenleri içeren bina çekirdeği 8,186 m² (90,962 sf) dir. Binanın çekirdeğiyle alanının oranlanmasıyla ortaya çıkan verimlilik faktörü % 70 dir.

6.3. Şikago' da Yüksek Bir Apartman Yapısı

Bu yapı tek fonksiyonlu yüksek bir apartman binasıdır. Kullanılan aks sistemi 1.60 m (5.375 ft) dir. Bu aks sisteminin seçilmesini minimum oda genişliği belirlemiştir. Bir yatay odası minimum 2 modülasyondan, 3.20 m (10.7 ft) genişlikten meydana gelmektedir. Yapının taşıyıcı sistemi 6.40 m' ye 6.40 m (21 ft – 21 ft)' den oluşan çerçeve sistemidir. İki yönlü kirişsiz döşeme sistemi kullanılmıştır. Binanın çekirdeğini oluşturan perde duvarlar bina üzerinde oluşan kesme, eğilme ve devrilme kuvvet ve momentlerine dayanmaktadır. Döşeme üstünden döşeme üstüne kat yüksekliği 3 m (10 ft) dir. Bina bütünüyle betonarmedir. Bu binanın plan şeması Şekil 6.7' de kesit ve görünüşü Şekil 6.8' de ve perspektifleri Şekil 6.9' da görülebilir.



Şekil 6.7 Apartman binasının plan şeması.

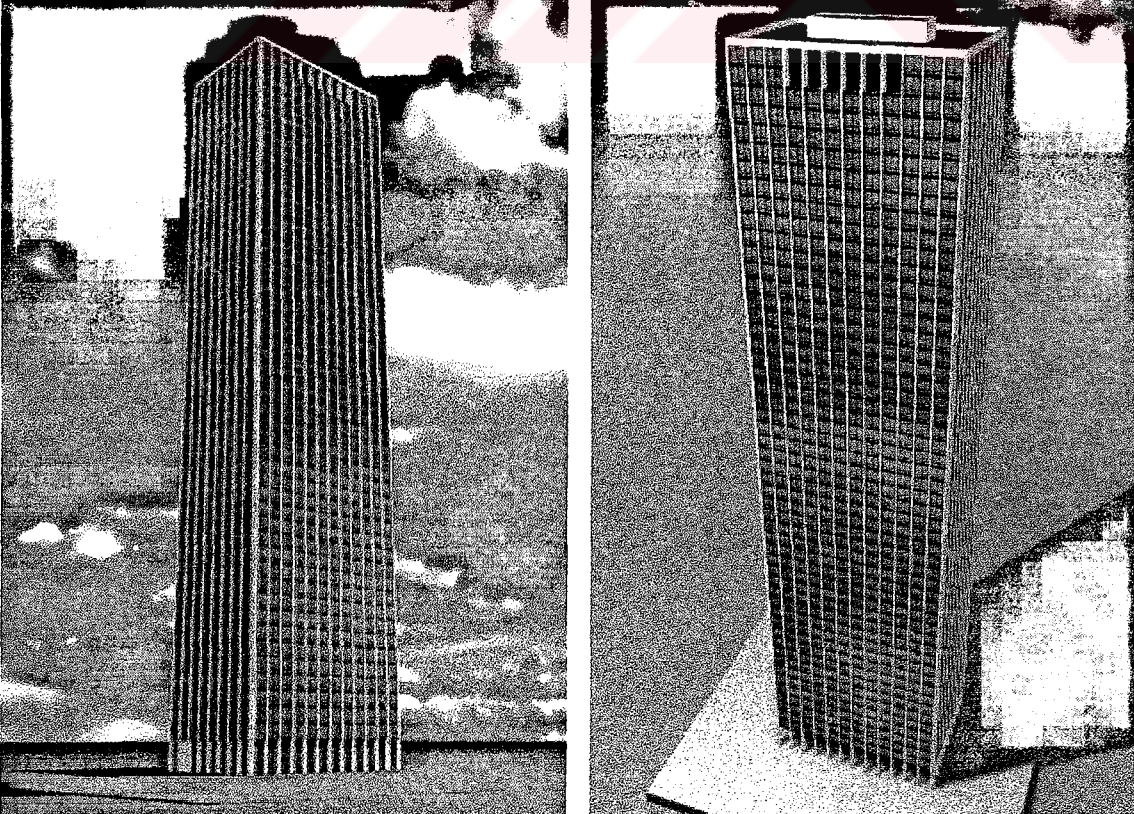


Şekil 6.8 Apartman binasının kesit ve görünüşü.

Binada toplam 450 apartman ünitesi vardır. Bunlarda 50 adeti 3 yatak odalı, 100 adeti 2 yatak odalı, 150 adeti 1 yatak odalı ve 150 adeti stüdyo olarak tasarlanmıştır. Bina 50 kat apartman ünite katları, 2 kat lobi ve mezanin ve 2 kat mekanik odaların bulunduğu ve rekreasyon alanı olarakta kullanılabilen, toplam 54 kattır. Kat yüksekliği 3 m (10 ft) ve bina yüksekliği 163.2 m (544 ft) dir.

Bu binada düşey sirkülasyonu sağlayan 4 asansör ve 1 servis asansörü vardır. Pratikte her 100 ila 125 apartman ünitesine 1 asansör gerekmektedir ve her 4 asansör için 1 servis asansörü tasarlanır. Bu sayede bütün katlara servis ve ulaşım hızlı sağlanmaktadır. Servis asansörünü olduğu bölümde çöp shaftı, elektrik odaları ve mekanik odaları bulunmaktadır. Yangın sırasında servis asansörü, itfaiyenin kullanımına sunulur. Bina çekirdeğinde 2 adet yangın merdiveni bulunmaktadır çünkü yangın sırasında servis asansörü hariç tüm asansörler devre dışı bırakılır.

Binanın toplam brüt alanı 52,337 m² (581,526 sf) dir. Net alan 43,755 m² (486,171 sf) ve toplam bina çekirdeği alanı 8,581 m² (95,354 sf) dir. Bina çekirdeği yangın merdivenlerini, havalandırma boşluklarını, elektrik ve mekanik odaları, servis asansörünü ve çöp shaftını içermektedir. Binanın alan olarak verimliliği %74' tür.



Şekil 6.9 Apartman binasının perspektifleri.

6.4. Şikago' da Çok Amaçlı (Multi-Use) Bir Yüksek Yapı

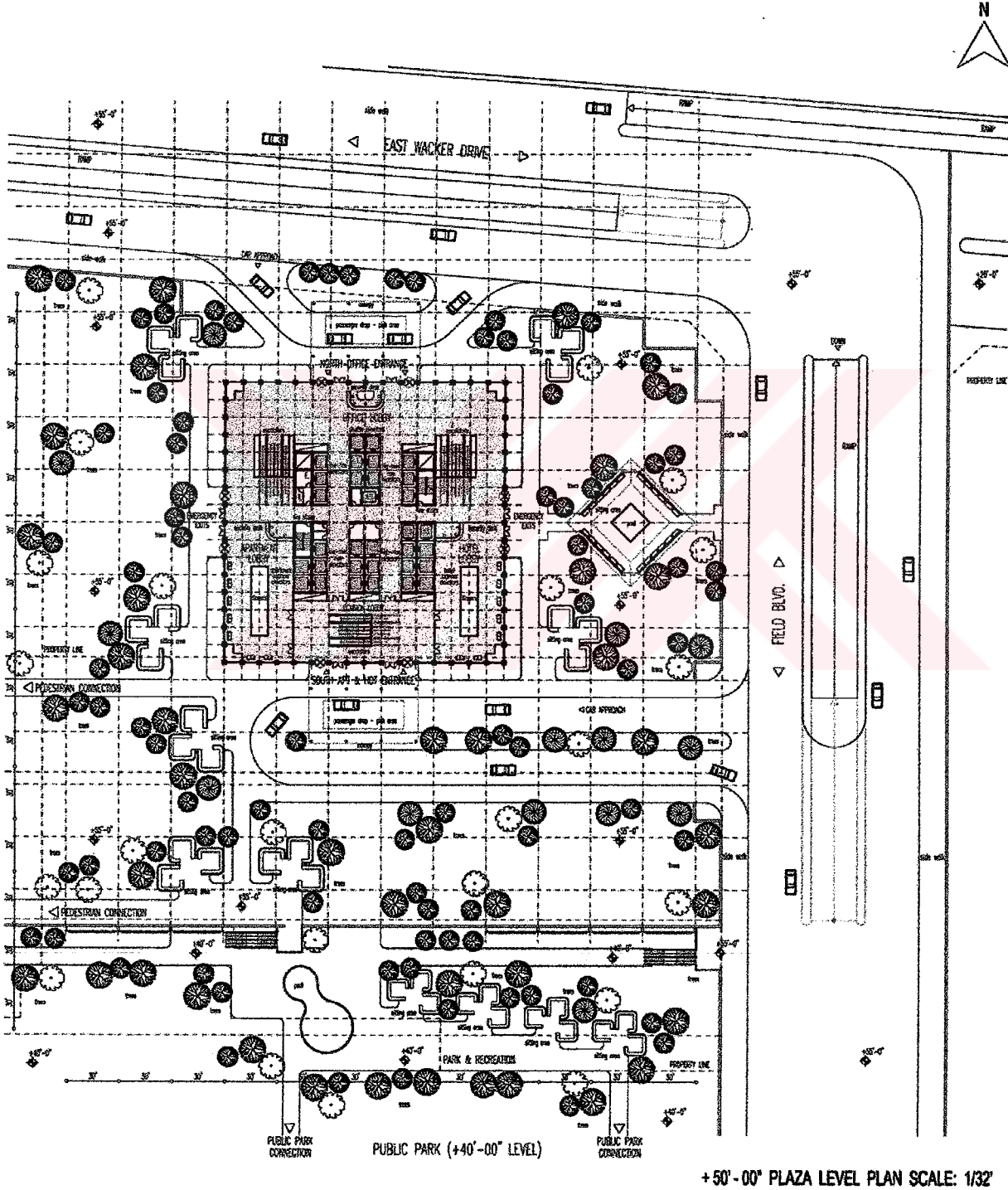
Bu yapı çok amaçlı kullanılan bir yüksek yapıdır. Çok amaçlı (Multi-Use) demek, birden çok ana fonksiyonu içeren yapı demektir. Bu bina ofis, otel ve apartman fonksiyonlarını içermektedir. Bu fonksiyonların bir arada çözülmeye çalışılması bir çok problemi beraberinde getirir. Daha önceki örneklerde görüldüğü gibi, fonksiyonlar arası farklı taşıyıcı sistem açıklıkları gerekmektedir. Ofis fonksiyonu, minimum 12 m (40 ft) kullanılabilir alan gerektiği için taşıyıcı sistem ona göre tasarlanmalıdır. Buna karşın apartman ve otelin taşıyıcı sistemleri birbirine yakın açıklıklara sahiptir. Çok amaçlı yüksek bir yapıyı taşıyıcı sisteme göre tasarlamamız gerekirse ofis fonksiyonun binanın en üstünde olması gerekir fakat ofis her an ve sürekli kullanılan bir fonksiyon türüdür. Bunun yanı sıra otel ve apartmanlarda düşey sirkülasyonun kullanımı sabah ve akşamları yoğunlaşır. Bu yüzden ofis fonksiyonu zeminden başlayarak çözülmeli bunu otel ve apartman fonksiyonlarının çözümü izlemelidir.

Bu yapının taşıyıcı sistemi 3 m (10 ft) aralıklarla yerleştirilmiş kolonlardan oluşan karma tüp sistemidir. Binanın mekanik katlarında oluşan yüklerin dengelenmesi amacıyla yatay kafes kirişler kullanılmıştır. Bu yüzden taşıyıcı sistem kafes kirişli ve perde duvar çekirdekli tüp sistemidir. Bina malzemesi çelik ve betondur. Döşemeler metal deck sistemleri kullanılarak çözülmüştür. Bina çapında geometrik form değişikliğinin bulunduğu alandaki yükler bina içine transfer edilir. Bunun sebebi aşağıda açıklanmıştır.

Oluşan fonksiyon karmaşası, bina çekirdeğinin mimari ve fonksiyonel çözümünü de zorlaştırır. Binada üst katlarda başlayan fonksiyonlara ulaşım için ekspres asansörler kullanılmalıdır. Ayrıca bu fonksiyonlara servis götürebilmek amacıyla ekspres servis asansörleri de gerekmektedir. Şikago bina koduna göre, her yüksek binada bir itfaiye asansörü bulunmak zorundadır. Bu asansör binanın en üst katına kadar ulaşmalı ve her katta durabilmelidir. Bu yapıda en üst fonksiyon apartman olduğu için apartman servis asansörü, aynı zamanda itfaiye asansörü olarakta işlev vermektedir.

Binada 1.5 m (5 ft)' lik bir modülasyon kullanılmıştır. Bu modülasyon ofis binalarında önemlidir. Şekillerde de görülebileceği gibi binanın kareden kareye bir rotasyonu vardır. Bu rotasyonlar sayesinde, otel ve apartmanda istenilen minimum 4.5 m (15 ft) ve 3 m (10 ft)' lik akslar sağlanmıştır. Binanın rotasyonu sırasında sistemin devamlılığı bozulmamış ve yük transferleri ve dengelemeleriyle binanın taşıyıcı sistemi mükemmel bir biçimde bina fonksiyonlarına uyum göstermiştir.

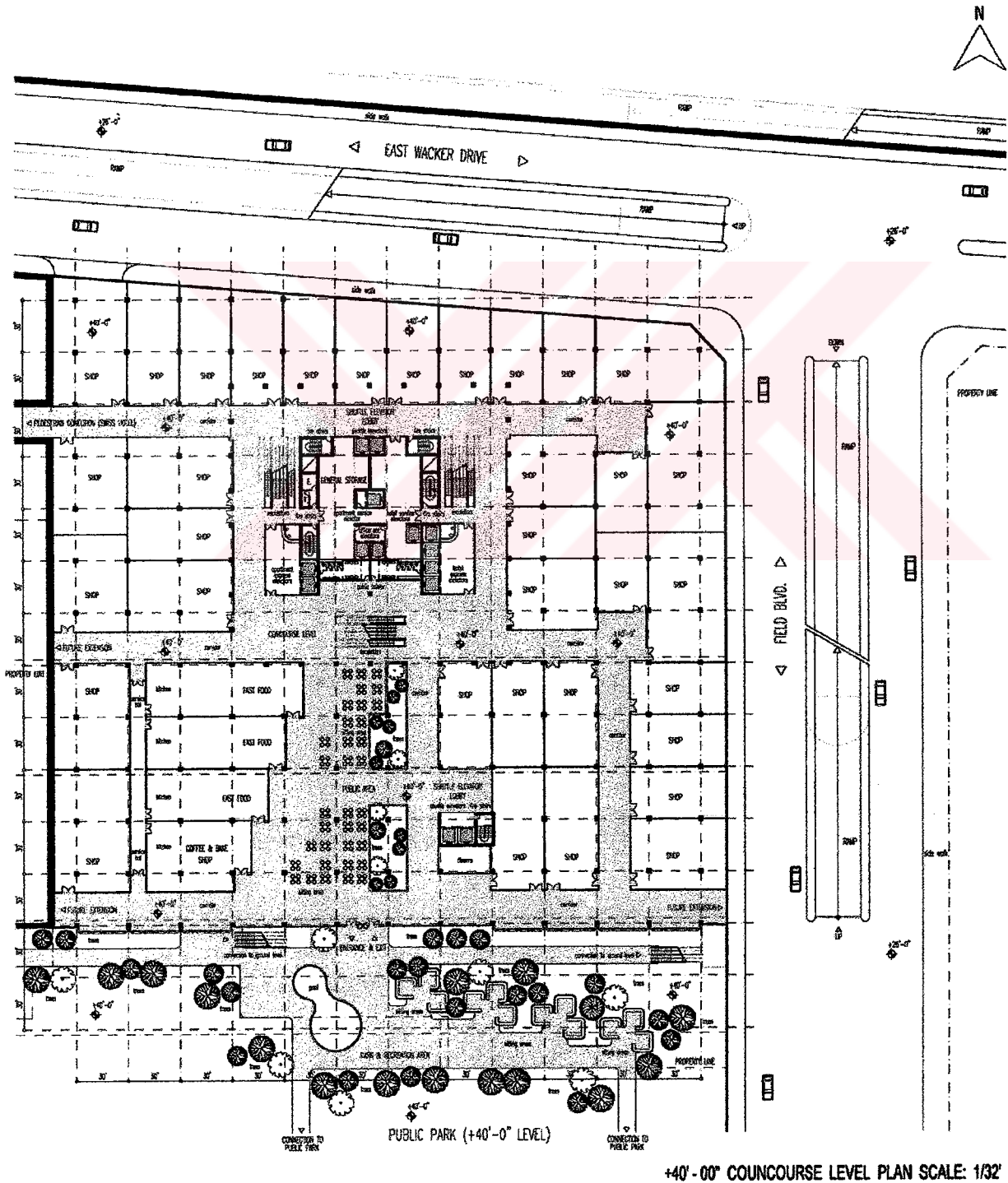
Bu yapı Şikago’ da Şikago nehrinin hemen yanındadır. Yapı East Wacker Drive üstündedir. Arazi çözümlerinde büyük sorunlarla karşılaşılmamıştır. Arazinin tek bir özelliği yer altı yaya sistemine bağlı olması ve yer seviyesinden 12 m (40 ft) yüksek olmasıdır. Vaziyet planı Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’ de görülebilir.



Şekil 6.10 Çok amaçlı yüksek yapı vaziyet planı (+50 feet ve +40 feet kodu).

Binaya iki yönden ulaşım sağlanmıştır. Ofis yaklaşımı East Wacker Drive üstündedir. Apartman ve otel fonksiyonları ise Field Bulvarı üzerinden sağlanmıştır. Bu bölgede trafik

katmanlarına bölünmüştür. Servis en alt kat olan +0 feet' ten sağlanmaktadır. Otopark giriş ve çıkışları, yalnızca arabalara ait olan +22 feet katmanından sağlanmıştır. East Wacker ve Field Bulvarının üstünde alt katmanlara yaklaşımı sağlayan rampalar vardır. Otopark katları Şekil 6.12' de görülebilir. Toplam otopark sayısı, 4 kattan oluşan, 1030 arabadır. Bu sayının %10' u özürllere ayrılmıştır. Ofis fonksiyonu 301 araba, otel fonksiyonu 150 araba ve apartman fonksiyonu 250 araba parkı gerektirmekteydi. Bu planlamada istenilenden fazla otopark sağlanmıştır.



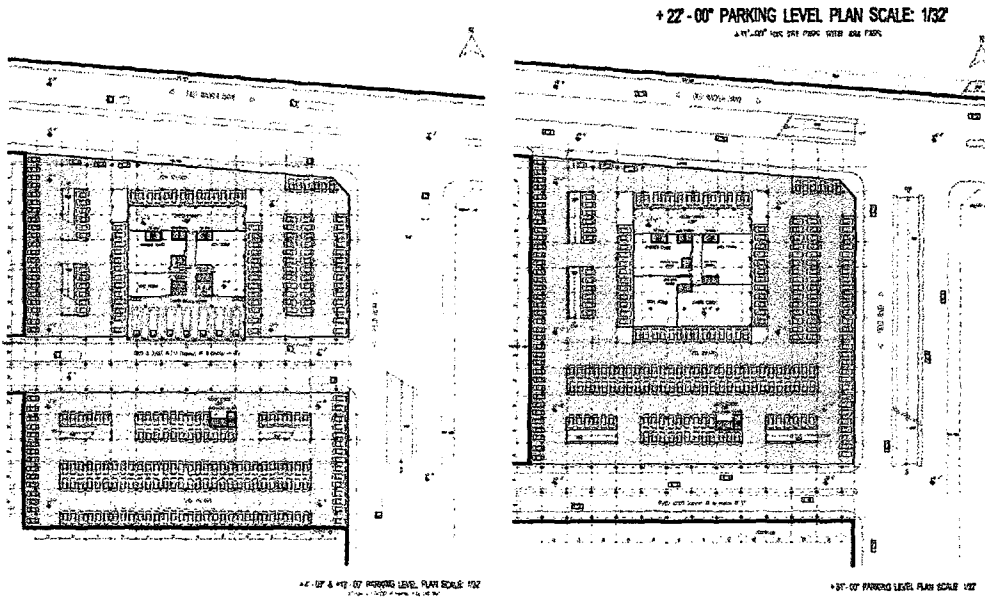
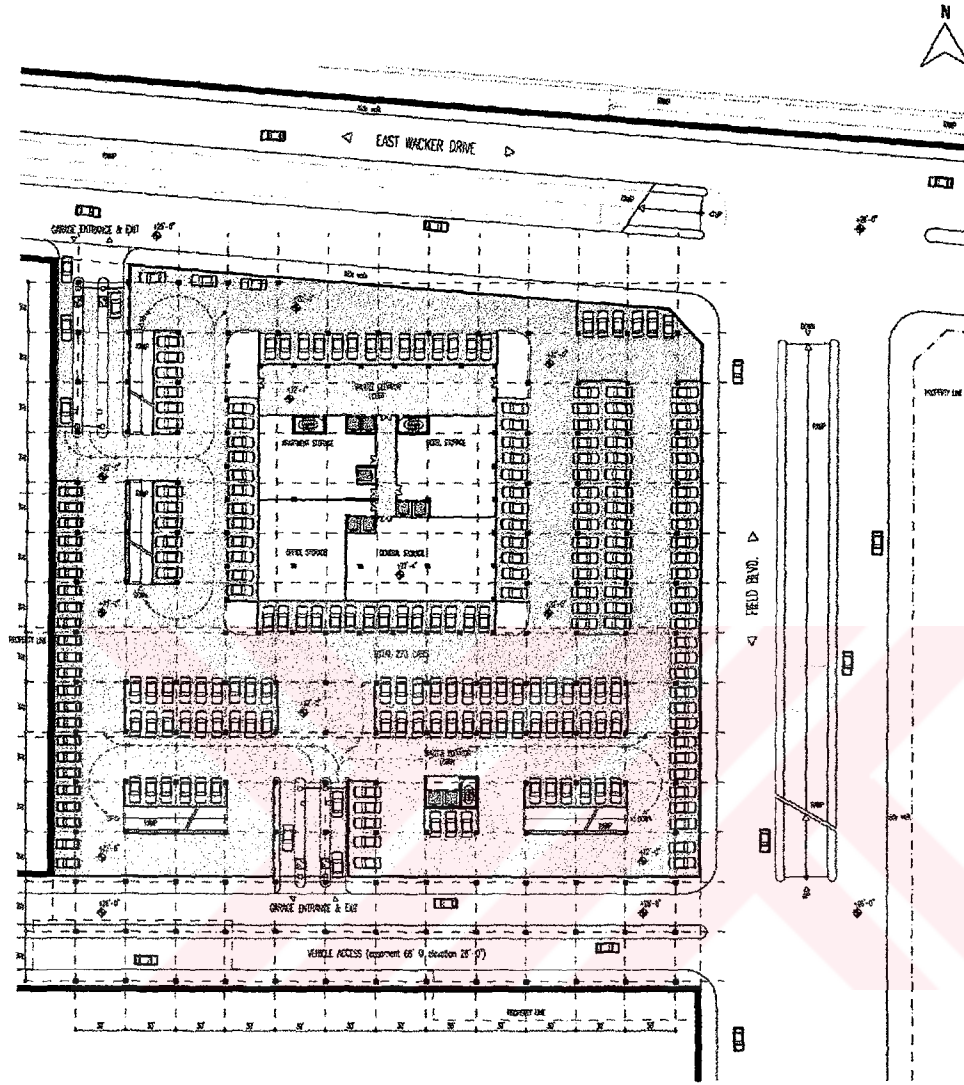
Şekil 6.11 Çok amaçlı yüksek yapı alış-veriş ve yaya kademesi (+40 feet kodunda).

Şimdi bina fonksiyonlarını gözden geçirelim. Bina 40 kat ofis fonksiyonuna sahiptir. Ofis alanı toplam 4 bölgeye bölünmüştür ve hepsi onar kat yüksekliğindedir. Kat yüksekliği 3.75 m (12.5 ft) dir. Kiralanabilir temiz açıklık, bina çekirdeği çevresine yerleştirilmiştir ve 12 m (40 ft) derinliktedir. 2 adet servis asansörü ve her bölgede 5' er adet olmak üzere 20 asansör tarafından ulaşılmaktadır. Toplan brüt alan $94,716 \text{ m}^2$ (1,052,400 sf) dir. Toplam net alan ise $72,103 \text{ m}^2$ (801,150 sf) dir. Ofis kat planları Şekil 6.13' te görülebilir.

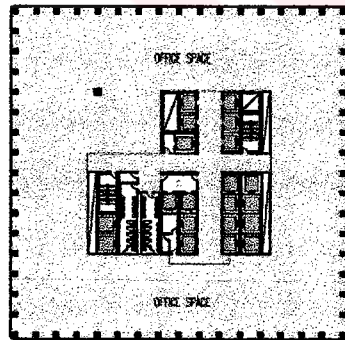
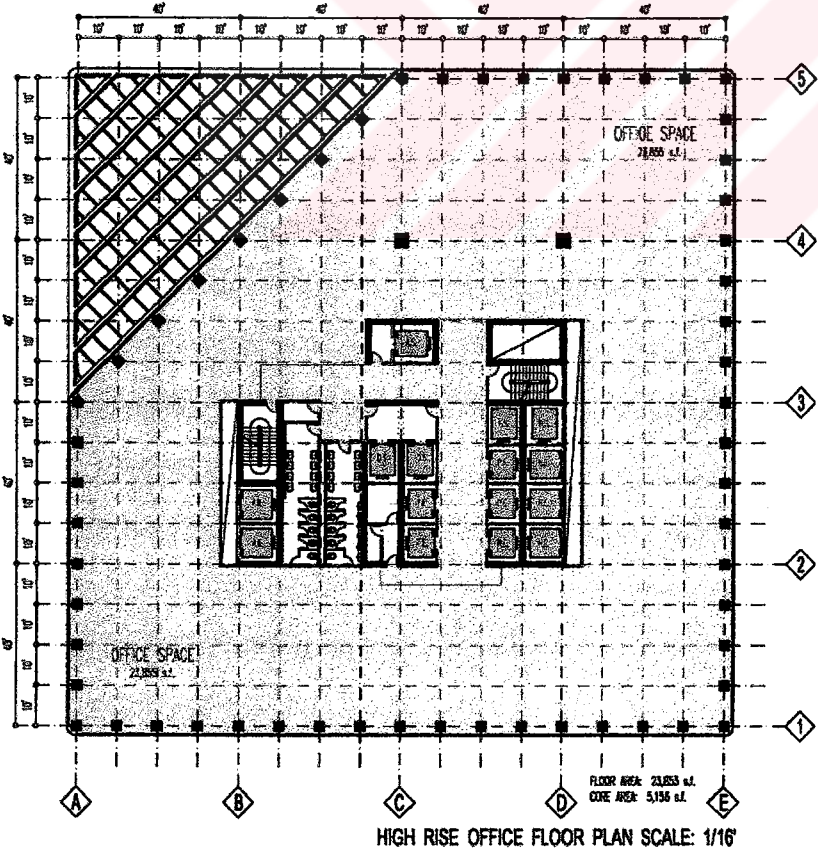
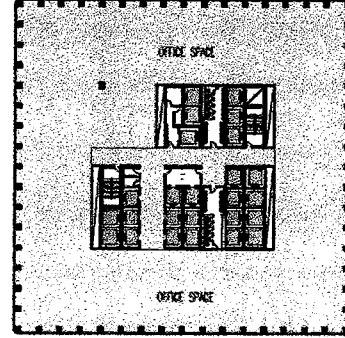
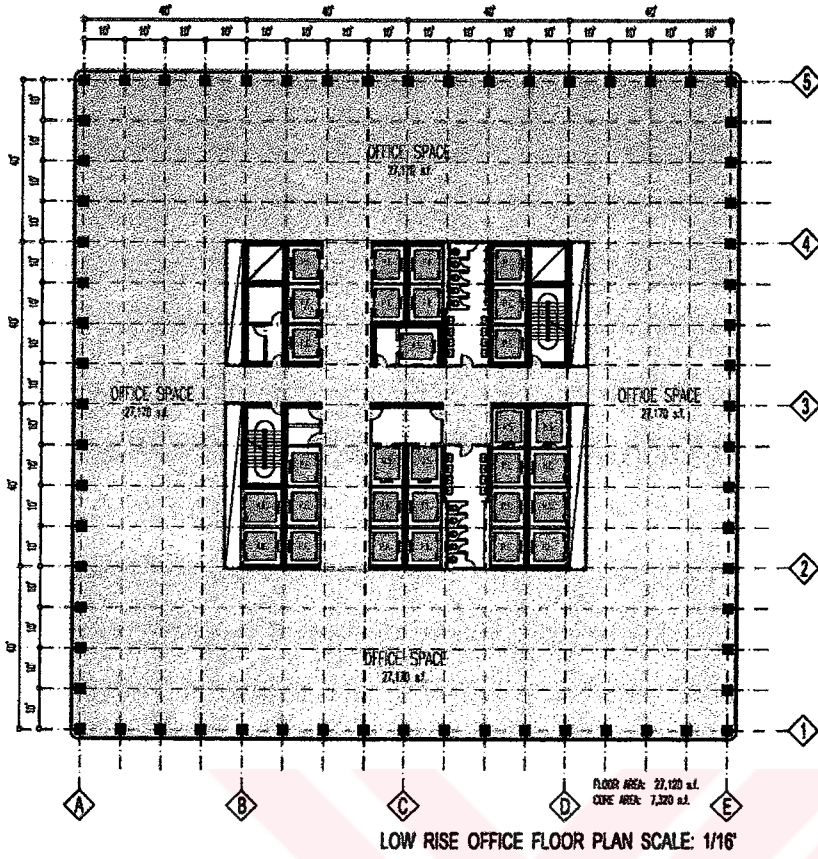
Otel fonksiyonu bir çok plan çözümü gerektirmektedir. İlk başta çözülmesi gereken, binada ofis katlarından sonra yerleştirilmiş otel gök lobisine ulaşımın sağlanması olmalıdır. Bu yüzden binanın zemininden başlayan 4 adet ekspres otel asansörü bulunmaktadır. Bu asansörler otel lobisine ulaştıktan sonra durur. Otelin 2 kat servis ve 3 kat ön servis alanı vardır. Otel fonksiyonuna servis sağlanabilmesi amacıyla, binanın zemin katından başlayan ve otel servis katında duran 2 adet ekspres servis asansörü bulunmaktadır. Otel kapsamında gereken diğer servis asansörleri ise, otel fonksiyonu içinde çözülen ve sırf otel katlarına hizmet veren 4 adet yerel servis asansörüyle sağlanmıştır. Otel toplam 448 odadan oluşmaktadır. Bu odalara hizmet veren 6 adet yerel asansör vardır ve bu asansörler ekspres asansörlerin durduğu noktadan başlayarak en son otel katına kadar hizmet verir. Pratikte her 1.5 otel asansörü için 1 adet servis asansörü ve 1 adet ekspres otel asansörü hesaplanır. Otel brüt alanı servis alanında $4,293 \text{ m}^2$ (47,710 sf), ön servis alanında $6,440 \text{ m}^2$ (71,565 sf) ve odaların bulunduğu 16 katta $29,579 \text{ m}^2$ (328,656 sf) dir. Otel net alanı ise servis alanında 3638 m^2 (40,428 sf), ön servis alanında $5,457 \text{ m}^2$ (60,642 sf) ve odaların bulunduğu toplam 16 katta $18,446 \text{ m}^2$ (204,960 sf) dir. Otel odaları toplam 16 kattan oluşmaktadır ve kat yüksekliği 3.15 m (10.5 ft) dir. Otel kat planları Şekil 6.14' te görülebilir.

Apartman fonksiyonu otel fonksiyonunun bittiği kattan başlamaktadır. Apartman lobisine hizmet veren ve bina zemininden başlayan 2 adet apartman ekspres asansörü bulunmaktadır. Bu asansörler apartman gök lobisinde durur ve bu noktadan sonra 4 adet apartman yerel asansörü hizmete girer. Yerel asansörler apartman katlarının tümüne hizmet vermektedir. Daha öncede bahsettiğimiz, bina zemininden başlayan tek bir apartman servis asansörü vardır. Bu asansör binanın her katında durabilir özelliktedir ve aynı zamanda itfaiye asansörü olarak görev görür. Apartman fonksiyonunda 1 kat servis ve lobi katı bulunmaktadır. Bunun dışında 43 adet apartman ünitelerinin bulunduğu kat vardır. Toplamda 3 yatak odalı 38, 2 yatak odalı 88, 1 yatay odalı 120 ve stüdyo tipi olarak 208 üniteden oluşan 454 apartman ünitesi vardır. Her 125 oda için 1 adet yerel asansör tasarlanmıştır. Servis ve lobi katı brüt alanı $1,848 \text{ m}^2$ (20,541 sf), net alanı ise $1,575 \text{ m}^2$ (17,511 sf) dir. Toplam apartman ünite

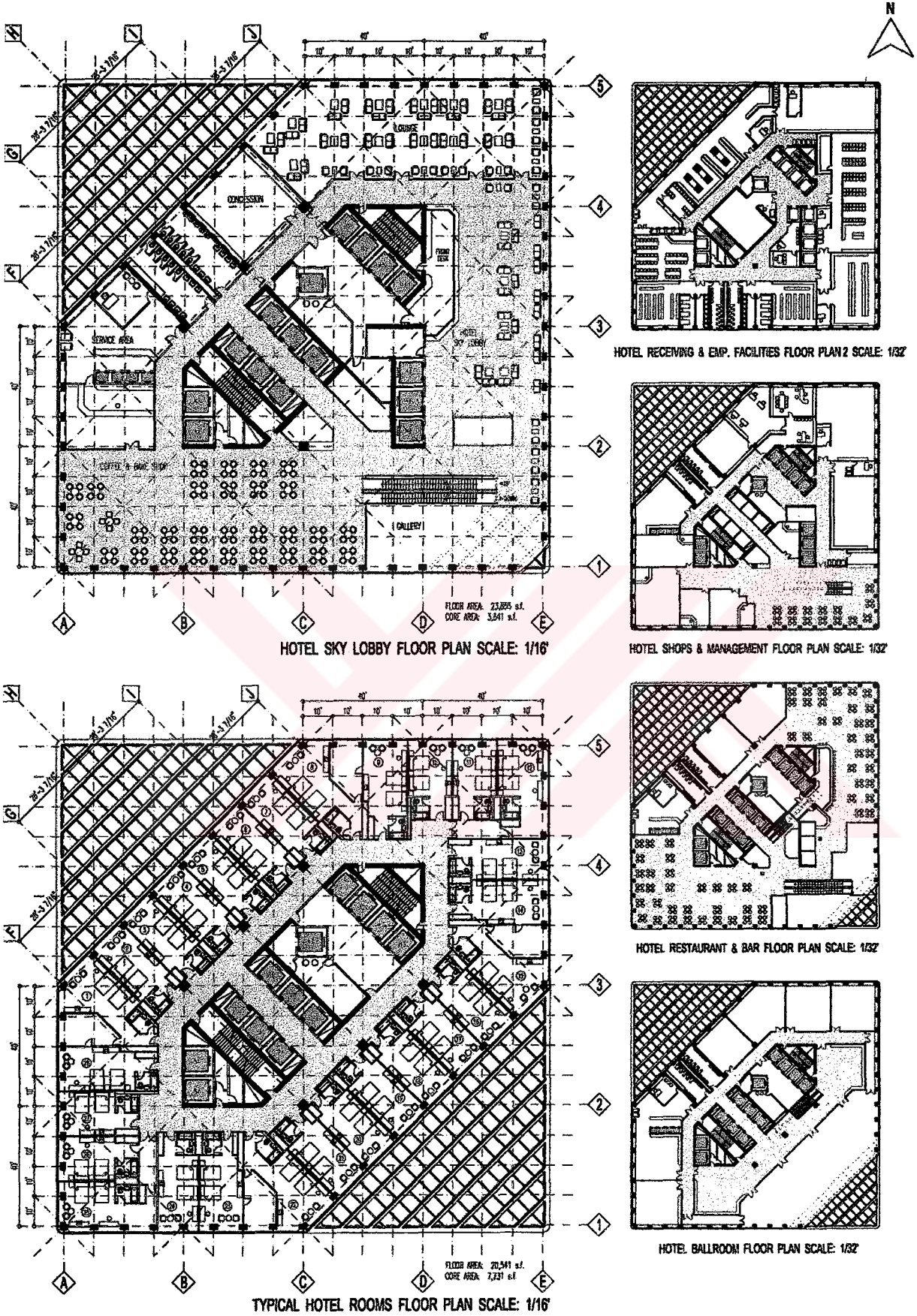
katları brüt alanı 66,680 m² (740,890 sf), net alanı ise 50,344 m² (559,387 sf) dir. Apartman kat planları Şekil 6.15' te gösterilmiştir.



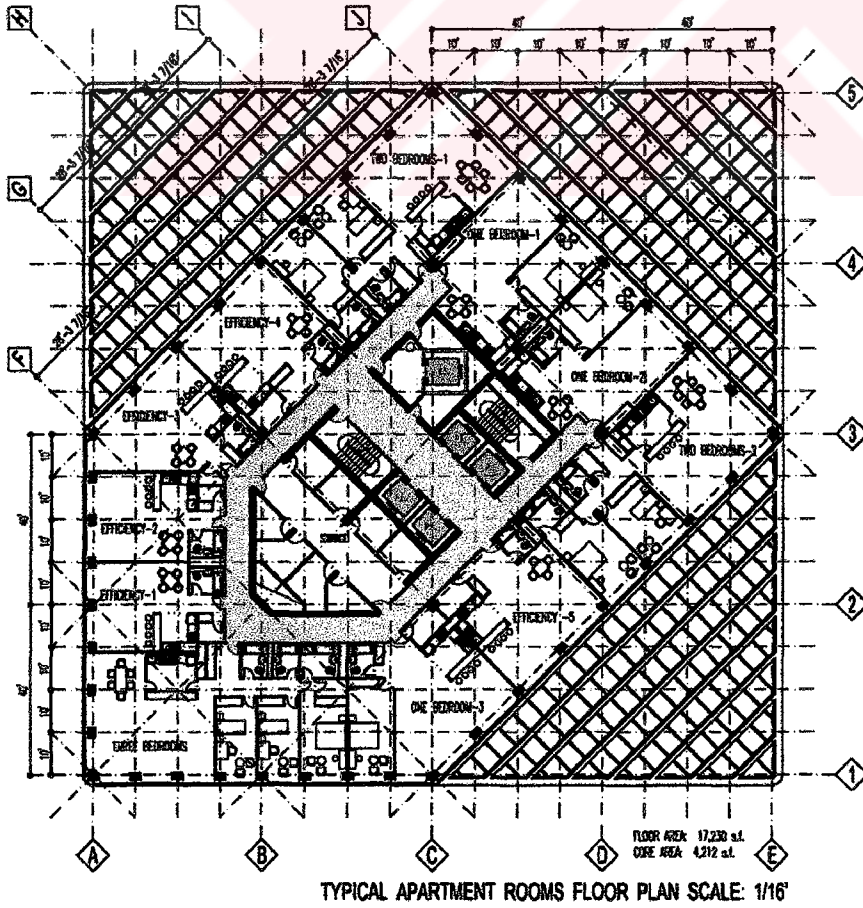
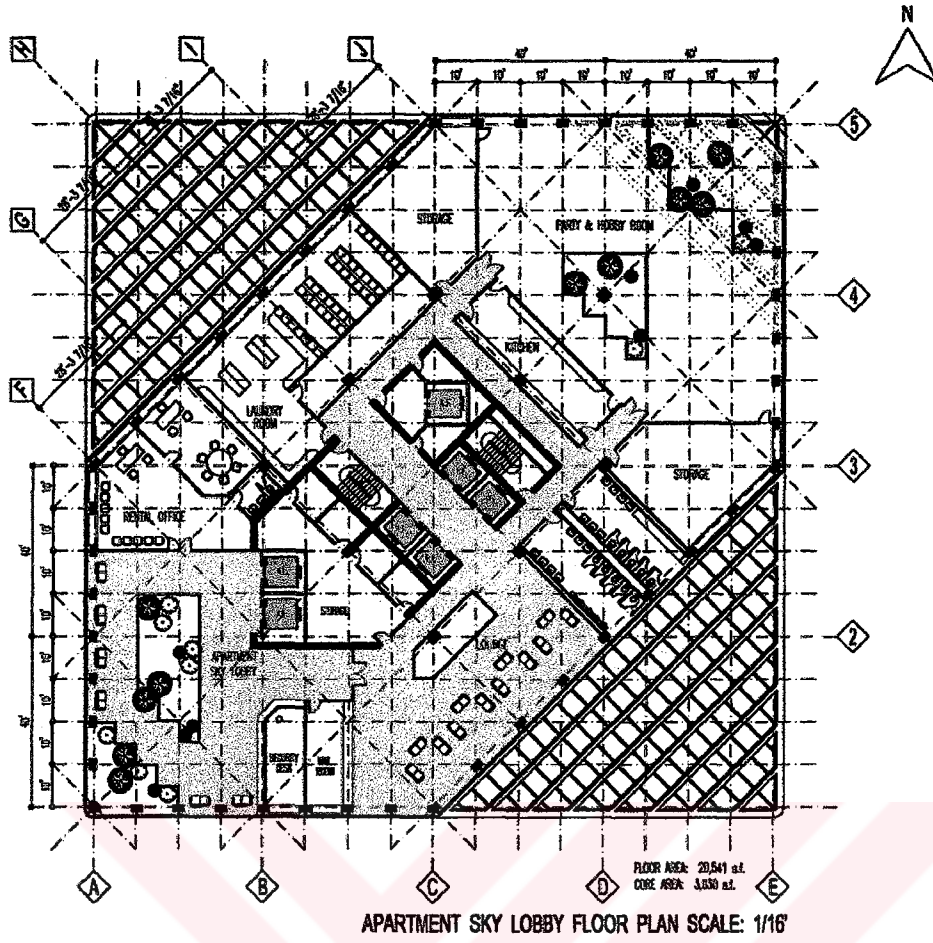
Şekil 6.12 Çok amaçlı yüksek yapı otopark katları.



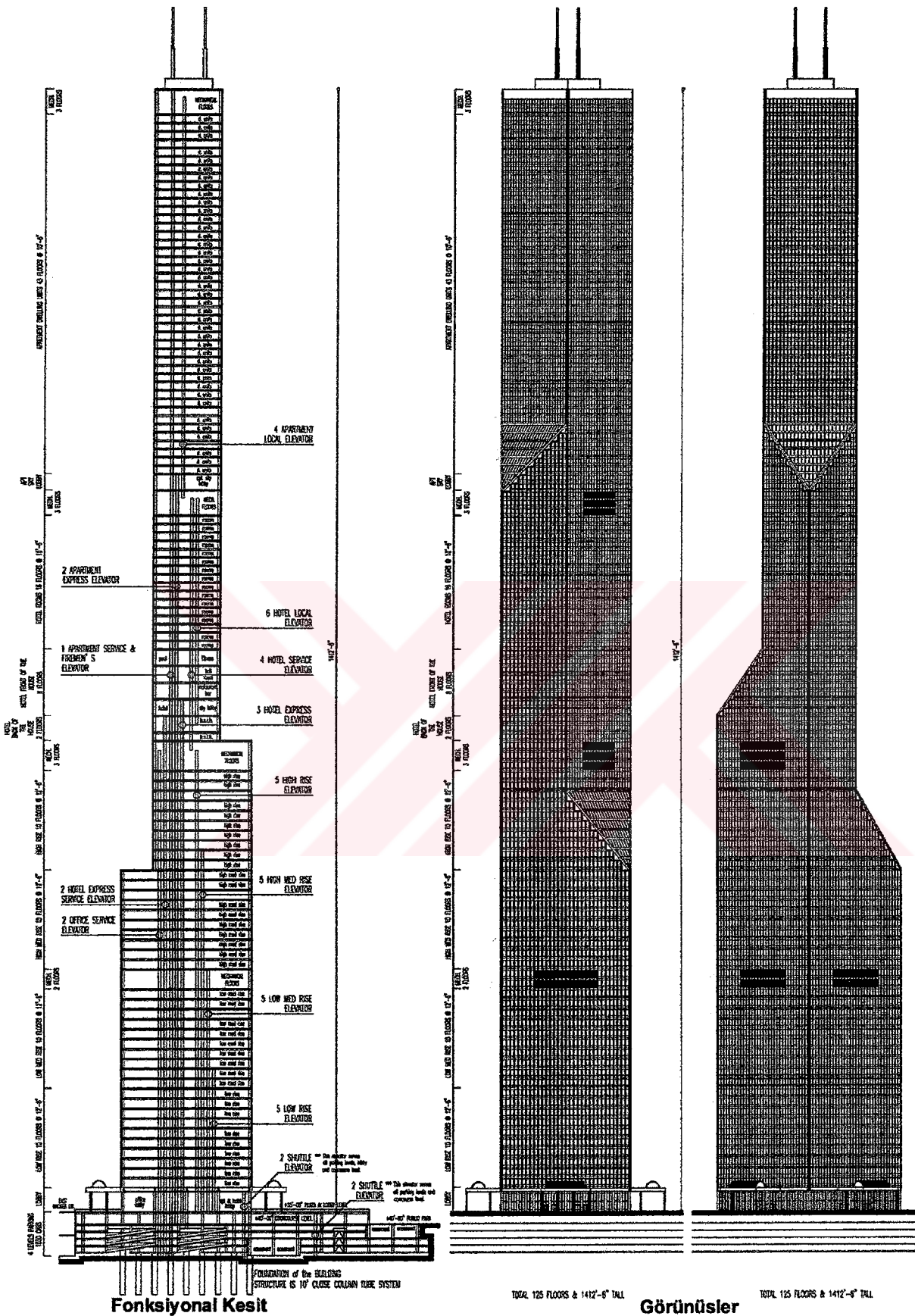
Şekil 6.13 Çok amaçlı yüksek yapı ofis katları planları (ofis fonksiyonunda 4 adet bölge vardır, her bir bölge 5 asansör içermektedir, kat yüksekliği 3.75 m (12.5 feet) olmak üzere toplam 40 kattan oluşur ve bina çekirdeği diğer fonksiyonların ekspres asansörlerini içerir).



Şekil 6.14 Çok amaçlı yüksek yapı otel yatak katı, servis katları ve otel gök lobisi planı (otel fonksiyonu 2 kat servis ve 3 kat ön servis katından ve 16 kat otel odaları katından oluşmaktadır, balo salonu ön servis katlarının en üstünde 2 kat yüksekliğindedir ve otel çekirdeği apartman fonksiyonuna hizmet veren ekspres asansörleri de içermektedir.

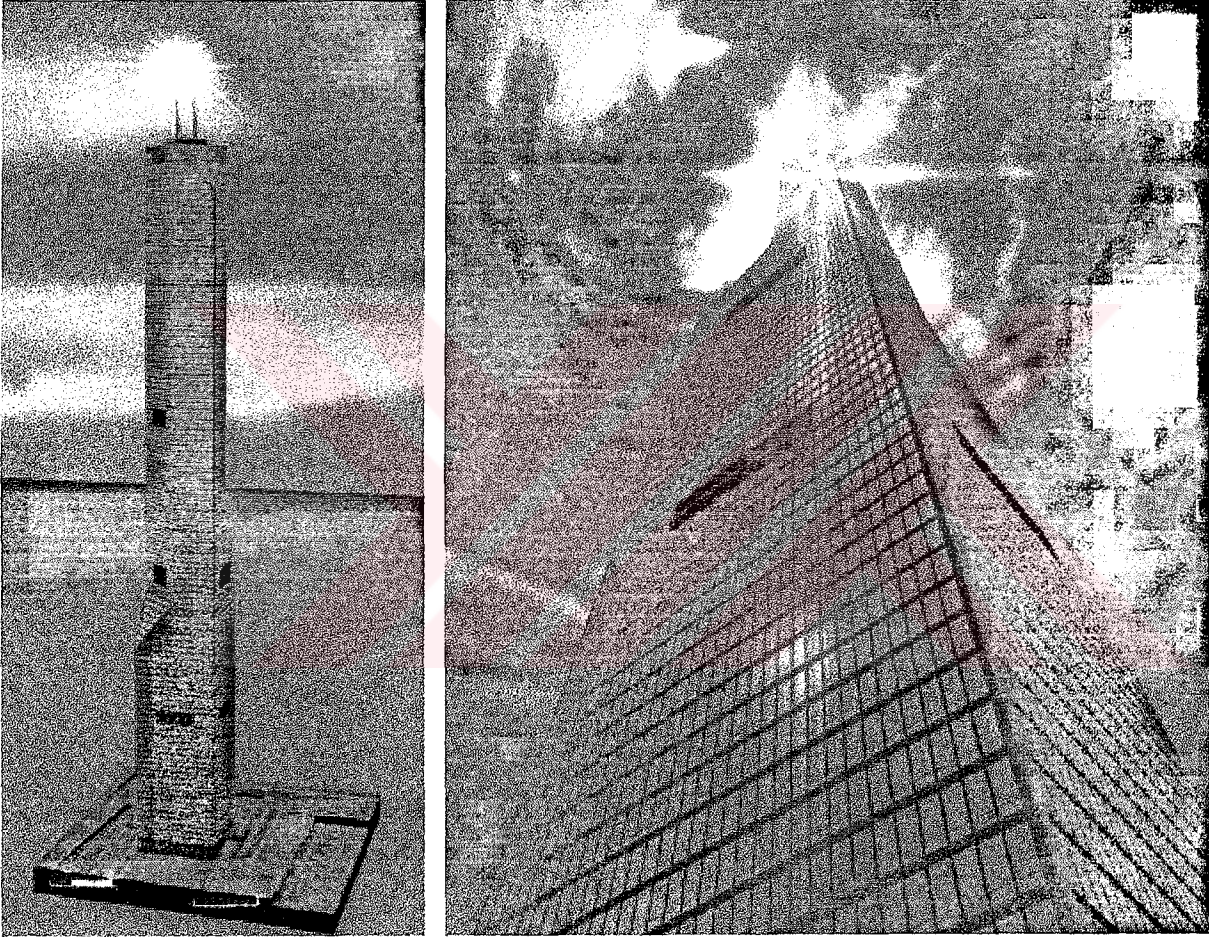


Şekil 6.15 Çok amaçlı yüksek yapı apartman lobi ve 43 katlı apartmanın tipik kat planı.



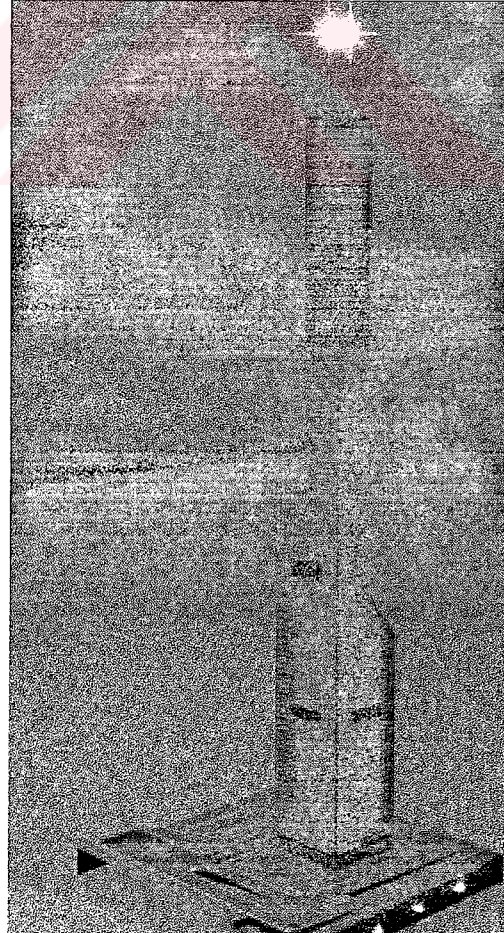
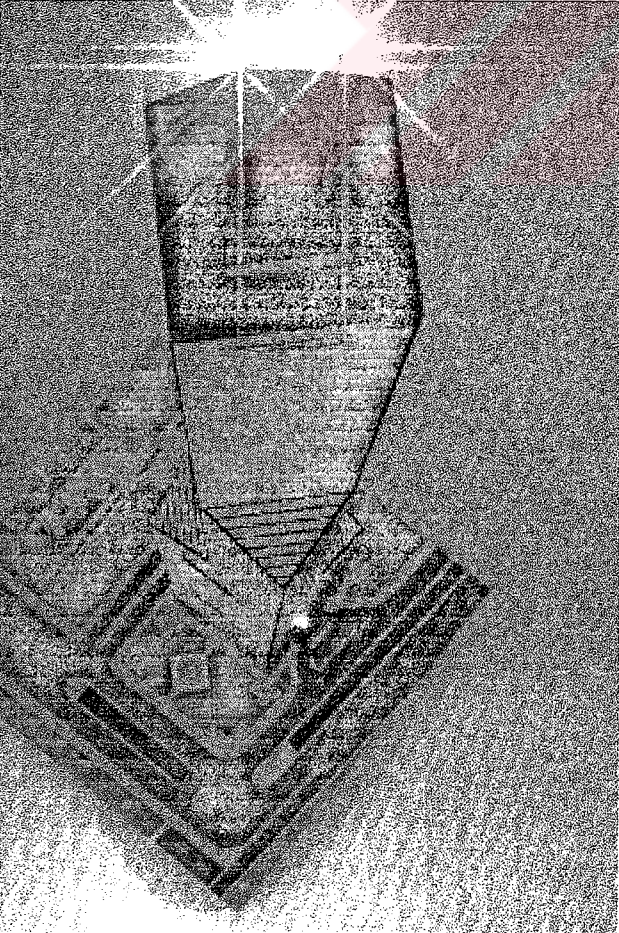
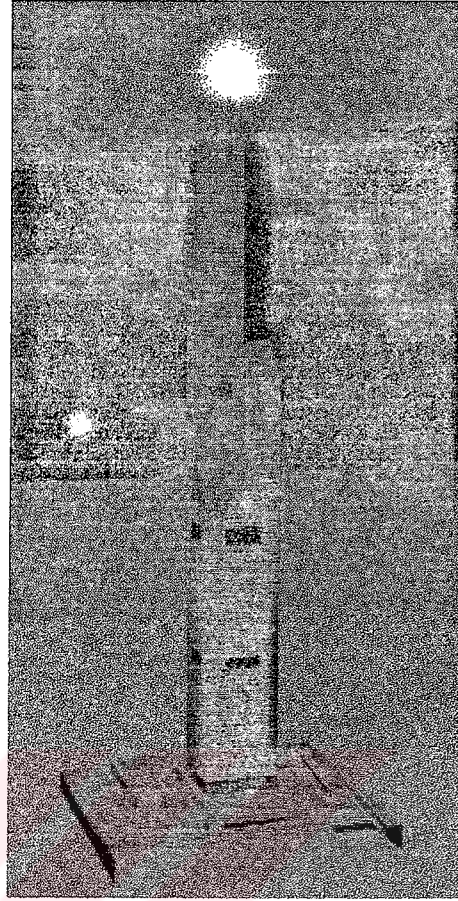
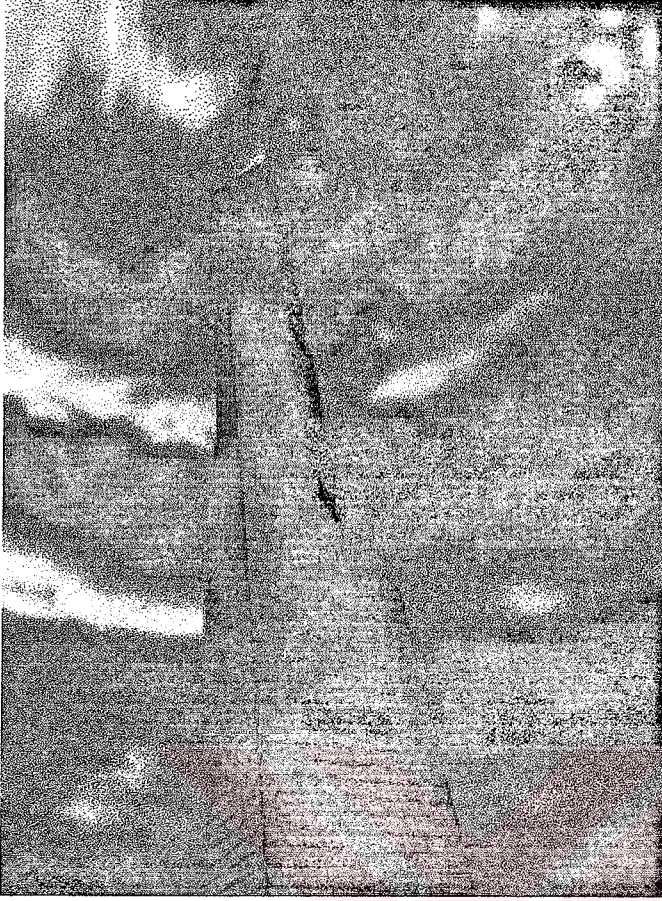
Şekil 6.16 Çok amaçlı yüksek yapının fonksiyonel kesiti ve görünüşleri (fonksiyonel kesitte bina boyunca servis veren tüm asansörlerin hizmet verdiği katlar belirlenmiştir, mekanik katların yerleri ve servis bölgeleri gösterilmiştir, bina toplam 125 kullanılabilir kattan oluşmaktadır, ofis katları 3.75 m (12.5 ft), apartman ve otel katları 3.15 (10.5 ft) tir).

Binanın çeşitli katlarında mekanik katlar bulunmaktadır. Ofis fonksiyonu bölge 2 ile bölge 3 arası 2 katlı bir mekanik kat vardır. Bu kat binanın otoparklarına ve ofis fonksiyonu bölge 1,2 ve 3'e hizmet vermektedir. Diğer bir mekanik kat, ofis fonksiyonunun sonu ile otel fonksiyonunun başlangıcı arasında, 3 kat yüksekliğindedir. Bu mekanik kat otel fonksiyonuna ve ofis fonksiyonu 4' üncü bölgesine hizmet vermektedir. Bu şekilde yerleştirilmiş, 2 ila 3 kat yüksekliklerinde 4 adet mekanik kat vardır. Mekanik katlarda havalandırma, elektrik, tesisat ve güvenlik sistemleri çözümlenmiştir (Şekil 6.16).

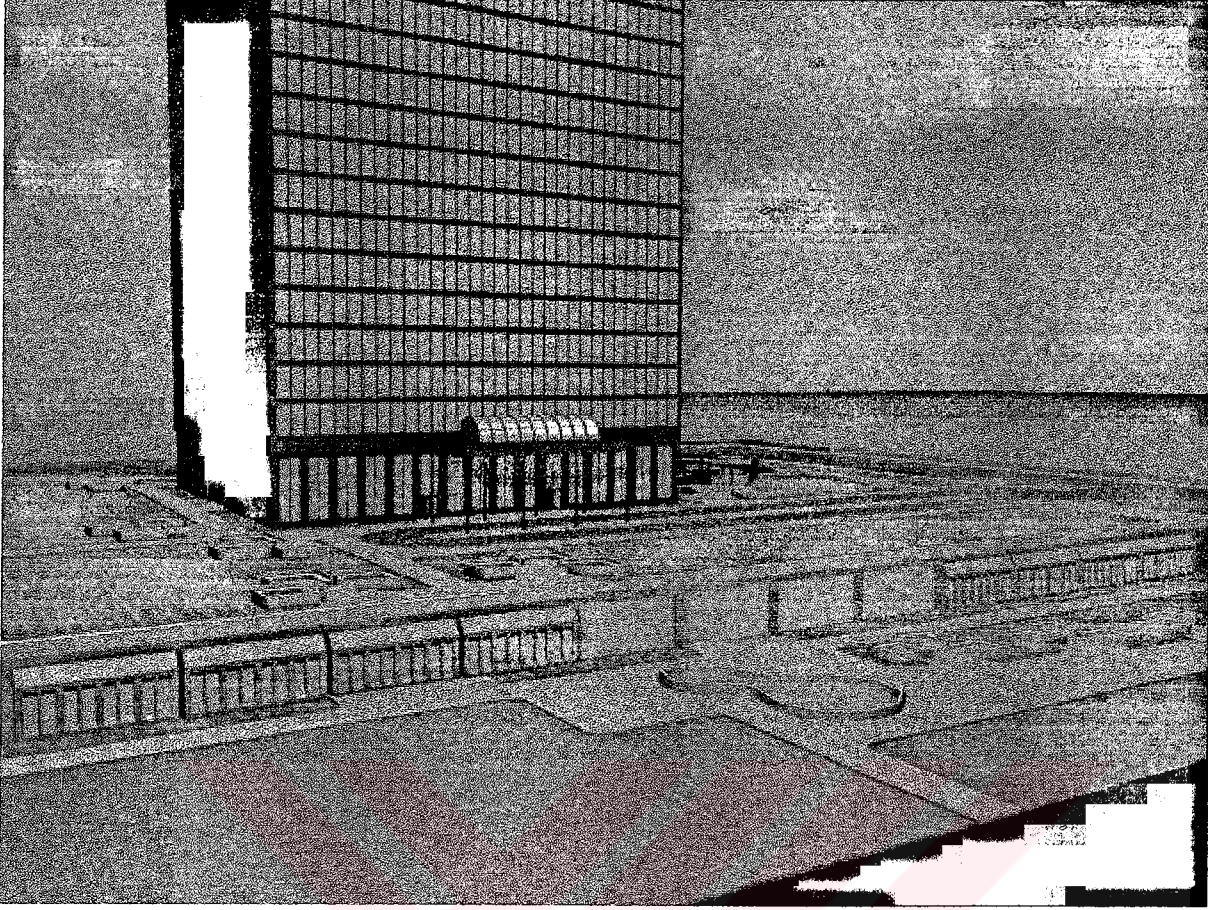


Şekil 6.17 Çok amaçlı yüksek yapının perspektifleri.

Binanın toplam yüksekliği 423.75 m (1412.5 ft)' dir ve toplam 125 kullanılabilir kattan oluşmaktadır. Otopark katlarından ulaşım ayrı asansörlerle sağlanmıştır ve yaya dolaşımının olduğu +40 ft katına açılmaktadır. Şekil 6.16' da binanın fonksiyonel kesiti ve görünüşleri görülebilir. Binanın toplam brüt alanı 203,558 m² (2,261,762 sf) ve toplam net alanı 151,567 m² (1,684,078 sf). Binanın alan açısından verimliliği % 75' dir. Binanın perspektifleri Şekil 6.17, Şekil 6.18 ve Şekil 6.19' da görülebilir.



Şekil 6.18 Çok amaçlı yüksek yapının perspektifleri.



Şekil 6.19 Çok amaçlı yüksek yapının perspektifi.

7. SONUÇ

Tarihten günümüze bir çok yüksek yapı üretilmiştir fakat bunlardan çok azı kalıcı ve başarılıdır. Yüksek yapı tasarımı bir çok faktörü kapsamaktadır. Bu faktörler, yüksek yapının fonksiyonunu, taşıyıcı sistemini, yüksekliğini, maliyetini, verimliliğini ve çevreye uyumunu etkilemektedir. Bu faktörlerden en önemlisi yapının üzerinde etkili olacak yüklerin belirlenmesi ve taşıyıcı sistemin bu verilere göre optimize edilmesi gerekir. Taşıyıcı sistemleri etkileyen bir çok yük vardır. Bu yüzden yüksek yapı tasarımı sırasında çok geniş analiz ve incelemelerin yapılması gereklidir.

Tasarım aşamasına girildiğinde binanın çevresi ve bölgesel özellikleri hakkında bilgi toplamak gerekir. Tarihi, sosyal, kültürel, coğrafi ve şehrsel veriler yapının uygulanacağı bölgeye uyup uymayacağını ve yapının fonksiyonel zorluklarla karşılaşp karşılaşmayacağını belirlemek için gereklidir.

Yapının içereceği fonksiyon seçimi çok önemlidir. Seçilen bina fonksiyonunun, o bölgeye uyup uymadığı incelenmelidir. Fonksiyon seçimindeki hatalar geri dönülemez sosyal, kültürel ve ekonomik sorunlar yaratacaktır. Ayrıca bina fonksiyonu ve plan şeması, binanın geometrisini etkilemekte ve dolayısıyla binanın taşıyıcı sistemi etkilenmektedir.

Yüksek yapı diğer alçak örneklerine benzemez. Geometrik formlar taşıyıcı sistemlerin esneklik limitlerine ve yapının bulunduğu coğrafik bölgeye bağlıdır. Teorik olarak her bir yüksek yapı için bir veya daha çok taşıyıcı sistem çözümü sağlanabilir fakat pratikte bu imkansızdır. Yapının fonksiyonuna, dolayısıyla yüksekliğine ve geometrisine, deprem ve rüzgar yükleri gibi coğrafik özelliklere göre taşıyıcı sistem tasarlanır. Yüksek yapı, bir bütün olarak düşünülmelidir.

Coğrafik veriler binanın üzerinde dominant etkiye sahiptir. Bu etkiler iki tür yük oluştur. Bu yükler aşağıda gösterilmiştir.

- Rüzgar yükleri.
- Deprem yükleri.

7.1. Rüzgar Yükleri

Yapılan araştırmalar ve bu çalışmanın sonucunda, yüksek yapıları etkileyen rüzgar yüklerinin, deprem yüklerinden daha zarar verici olduğu ortaya çıkmıştır. Rüzgar yükleri binanın bulunduğu coğrafi bölgenin özelliklerindendir. Rüzgar yükleri deprem yüklerinin aksine günün 24 saati binayı zorlamaktadır. Rüzgarın hızı sabit değildir ve çok değişken bir yapıya sahiptir. Yüksek yapının üzerinde etkili olan ve rüzgarın sebebiyet verdiği basınç ve emisyon kuvvetleri, salınımlar, salınımlar sebebiyle malzeme yorulması, sesler, hatalı kabuk tasarımlarında camların kırılması gibi bir çok ekonomik ve taşıyıcı sistemsel zararlar yaratır.

Bina salınımı gerçekten çok fazla olabilir. Tasarım sürecinde bina maksimum salınıminin bulunabilmesi için, olasılık metodu kullanılarak ve verilerden yararlanarak, rüzgarın tekrar periyodu saptanır. Rüzgar sebebiyle ve binanın yüksekliğinden oluşan sebeplerden dolayı, yüksek yapı her an salınımdadır. Bu salınımin, kullanıcıların rahatsız olmaması ve taşıyıcı sistemin aşırı stresler altında kalmaması için kabul edilebilir elastiklik limitleri içerisinde tutulması gereklidir. Rüzgar yapı üzerinde devrilme, eğilme, burkulma momentleri ve kesme kuvvetleri yaratır. Bu yükler karşısında çok rijit olan bir taşıyıcı sistem, rüzgar etkisiyle devrilebilir, kırılabilir veya yapı elemanları zarar görebilir. Çok elastik olan bir sistemde ise salınımlar, malzeme yorulmalarına ve kullanıcının rahatının bozulmasına sebep olacaktır. Rüzgar karşısında yeterli önlemler alınmamış çoğu binada, binanın üst katlarındaki apartman veya ofis gibi fonksiyonları içeren mekanlardaki suların döküldüğü, camların kırıldığı, mobilyaların devrildiği, vb. gibi bir çok istenmeyen olaylarla karşılaşmıştır.

Rüzgarın yarattığı yükler yatay yüklerden biridir. Bu yüklere dayanımı iyi olan bir bina ne çok rijit ne de çok elastik demektir. Rüzgar yüklerinin dominant olduğu bölgelerde, taşıyıcı sistemin de bu yüklere dayanacak özellikler içermesi gerekir. Örneğin Diyagonal Kuşaklanmış bir tüp sistemi yatay yükler dominant düzeyde düşünülerek tasarlanmıştır. Diyagonal Kuşaklar, oluşan yatay yükleri vektörlerine böler ve bu yükleri düşey yükler haline dönüştürerek yapının düşey taşıyıcılarına transfer eder. Ayrıca, binanın yatay ve düşey aksta rijitliliğini ve taşıyıcı sistemin devamlılığını arttırarak, bükülme ve eğilme momentlerine dayanımı arttırır. Taşıyıcı sistem seçimi bir çok analiz gerektirmektedir. Yüklerin akışları, yük akış yollarının belirlenmesi ve oluşan yük dengesizliklerinin düzgün bir dağılımının sağlanması gereklidir. Rüzgar yüklerine karşı yüksek yapı tasarımlarında, tasarlanan taşıyıcı sistemin binanın tüm genişliğinden ve eninden yararlanması gereklidir. Rüzgar bina üzerinde devirici momentler yaratır ve taban alanı ne kadar büyütülürse momentlerde azalmaktadır.

Binanın geometrisi rüzgar yüklerinin dağılımı açısından büyük önem taşımaktadır. Rüzgar binanın en geniş yüzeyinde etkili olur ve çoğu yüksek yapıda rüzgara bağlı bina salınımı, rüzgarın estiği yöne dik olan yönde gerçekleşir. Bunun sebebi rüzgarın anafor dağılımı karakteristiğidir. Bina köşelerinde kurtulan rüzgar anafor yaratır ve etkili olduğu yüzeye dik olan yüzeyde bir çekme kuvveti yaratır. Binanın iki köşesinde de aynı anda oluşan anafor dağılımları, aynen deprem yüklerinde de olduğu gibi binayı rezonansa sokar. Rüzgarın etkisi azalsa bilir bu istenmeyen salınım devam eder. Anafor dağılımlarının desenkronize edilebilmesi için bina yüksekliğinde geometrik farklılıklar yaratılmalıdır. Örneğin dönen kare plan formlarının kullanılması gibi. Rüzgar yükleri karşısında en dayanıksız yapılar yuvarlak geometrilidir yapılarıdır çünkü rüzgar binayı her yönden dik olarak etkiler ve her koşulda bina salınımına sebep olur. Buna karşın en dayanıklı geometri 1' e 1 kare formudur. Bina kapsamında rüzgar yüklerini şaşırtmanın bir çok yolu vardır. Bina yüzeyine açılacak delikler rüzgarın geçişini kolaylaştıracaktır ve bina iç yüzeyinde oluşan anafor dağılımları bina dış yüzeyindeki anafor dağılımı sebebiyle çekme kuvvetleri dengeleyerek bina salınımını azaltarak bir damper görevi görecektir. Binanın kat alanının, bina yükseldikçe azaltılması da çözüm yolları arasındadır. Bu sayede binanın ağırlık merkezi zemine doğru yaklaştırılır ve rüzgarın dominant olduğu yüksekliklerde, rüzgarın etkileyebileceği yüzeyler azaltılmış olur.

Binanın üst katlarına aktif damperlerin yerleştirilmesi ise başka bir çözümdür. Damper ler ağırlıkları ve hareket serbestlikleri sayesinde oluşan salınım kuvvetlerine ters bir kuvvet uygulamaktadır ve bina salınımı kontrol altına alınabilmektedir.

7.2. Deprem Yükleri

Deprem yükleri de rüzgar yükleri gibi coğrafi etkenlerdendir ve rüzgar yüklerine benzemektedir fakat bir çok belirgin farkları vardır. Deprem yükleri kısa sürdüğü ve tekrar periyotları çok geniş olduğu için dominant yük olarak hesaplanmaz. Kendi yüküne, hareketli, hareketsiz yüklere ve rüzgar yüklerine dayanan taşıyıcı sistemler deprem oluşumların çok fazla etkilenmezler.

Deprem yükünün hesabının zor olmasının sebebi, yüksek yapının bu yükle ne zaman, nerede ve ne şiddette karşılaşılacağı bilinmemesidir. Deprem yükleri şok dalgaları biçiminde yayılmaktadır ve bu şok dalgaları zemin yapısı tarafından iletilmektedir. Hakim bir deprem yönü yoktur. Deprem yükleri binayı her yönden, üç boyutlu yükler olarak etkileyebilir. Deprem yükünün oluşumu anlıktır ve kısa sürer. Yüksek bir yapıda, deprem sona erece kadar

yüklerin üst katlarda hissedilmediği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi yüksek yapıların rüzgar ve taşıyıcı sistem özelliklerinden dolayı bir salınım frekansının olmasıdır. Deprem oluşumunda zemin hareketi sebebiyle bina temelinden sarsılır fakat yüksek yapının düşey bir konsol gibi davranışı bu yüklerin bina üst katlarında hissedilmesini zorlaştırır. Örneğin, kurşun bir kalem yüksek bir yapı olarak düşünelim. Kalemi dibinden tutup serbestçe ve düşey pozisyonda salladığımızda, kalemin üstünün sabit bir noktada ve hareketsiz olduğunu gözlemleyebiliriz. Deprem yükleri rahatsızlıktan çok panik yaratır fakat iyi tasarlanmış bir yüksek yapı deprem yükleri oluşumunda en güvenli mekandır.

Deprem yüklerinin şok dalgaları halinde yayıldığı düşünülürse, depremin sahip olduğu bir frekans olduğu anlaşılabilir. Yüksek binalarında bir doğal periyodu ve frekansı vardır. Deprem sırasında yıkılan çoğu bina, yapı frekansı ile deprem dalga frekansının uyuşması sonucu yapının rezonansa girmesinden dolayı yıkılmıştır. Depremin sahip olabileceği frekans belirlenebilir. Yapılan zemin testleri sonucu, yapının temelini oluşturan zeminin iletim frekansı bulunabilir ve tasarım sırasında binanın frekansının bu frekansla eşit olmaması sağlanabilir.

Bina temelinde ve bina kapsamında da çeşitli önlemler alınabilir. Binanın temelinde özel süspansiyon sistemleri yerleştirilerek zemin hareketi sırasında binanın temelini, bu harekete uyumlu bir hareket sergilemesi sağlanabilir. Ayrıca binanın toplam ağırlığına ve yüksekliğine bağlı olarak bina temeli 3-5 kat boşluksuz radye temel inşa edilebilir. Bu temel kesme kuvvetlerine ve momentlere karşı dayanıklı düzeyde tasarlanmalıdır. Deprem yükleriyle bina oturduğu zemin üzerinde, ağırlık merkezinin farklı bir noktaya indirgenmesinden dolayı, serbestçe hareket eder.

Deprem yüklerinin hasar verici bir çok etkisi vardır. Rijit bağlantılı sistemlerde, bağlantıların kesme kuvvetlerine karşı yeterli düzeyde dayanıklı olmaması, deprem yükleri sebebiyle kolon ve kiriş bağlantılarının kırılmasına ve çatlamasına neden olur. Öyle ki, bu hasarlar tamir edilemeyecek düzeyde gerçekleşebilir. Yüksek bir yapıda depremin en etkili olduğu bölge binanın giriş katıdır. Bina temelini rijit oluşu ve genelde giriş katlarının kolonlardan başka bir sistem içermeyişi, tüm kesme kuvvetlerinin bina giriş katında, binanın zeminle birleştiği noktada gerçekleşmesine sebep olur. Japonya’da oluşan bazı depremlerde gözlemlenen, binaların, başka hasar görmeden zemine oturmuş olduklarıdır. Böyle bir oluşumu engellemenin tek yolu, kesme kuvvetlerine karşı binanın giriş katlarını, binanın diğer katlarıyla eşit veya daha dayanıklı tasarlanmasıdır. Bu tasarımlar bina giriş katına perde

duvarlar eklenerek veya yapı elemanlarıyla kolonların bir birine bağlanması sağlanarak gerçekleştirilmektedir.

7.3. Taşıyıcı Sistemler

Yüksek yapılarda uygulanabilecek bir çok taşıyıcı sistem vardır. Bu sistemler yapı malzemelerinin farklılıkları ve yüklere karşı dayanımlarıyla sınıflandırılır. Gün geçtikçe yeni sistemler ortaya çıkmaktadır. Bu sistemler birkaç taşıyıcı sistemin birleştirilmesiyle veya yeni yapı malzemelerinin bulunması ve bu malzemelerin kuvvet dayanımlarının artması sonucu ortaya çıkmaktadır.

Taşıyıcı sistemler yatay ve düşey olmak üzere bir çok yüke dayanmalıdır. Yüksek yapılarda dominant etkiye sahip yükler yatay yüklerdir. Günümüzde bilgisayar teknolojisinin yoğun bir biçimde kullanılması oluşan yüklerin analizlerini kolaylaştırmıştır. Bu sayede oluşturulan taşıyıcı sistem analizleri, daha verimli, ekonomik ve optimum çözümleri gündeme getirmiştir.

Yüksek bir yapının taşıyıcı sisteminin tasarlanması coğrafik etkenlerin etkisi altındadır. Dünya çapında coğrafik özellik farklılıkları bazı şehir veya ülkelerde yüksek yapı inşaatını elverişli kılmaktadır. Bu yapıların bazı şehir ve ülkelerde yoğunlaşmasının sebebi, coğrafik etkenler dışında, sosyal, kültürel, şehirselleşme, teknolojik ve ekonomik farklılıklardan da kaynaklanmaktadır.

Yüksek yapı tasarımında optimum bir taşıyıcı sistem tasarımı ana amaçtır çünkü taşıyıcı sistem yeterince dayanıklı, verimli ve ekonomik değilse tasarlanan diğer faktörler gerçekleştirilemez.

7.4. Çalışmanın Sonunda Varılan Sonuçlar

Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Yüksek yapılar ile alçak yapıların arasında büyük farklar vardır.
- Yüksek yapılarda dominant yük rüzgar yüküdür. Alçak yapılarda ise deprem dominant rol üstlenmektedir.

- Yüksek yapının coğrafik konumu tasarım sürecinde en önemli faktördür. Yüksek yapının bulunduğu coğrafik bölge özellikleri binanın geometrisini, fonksiyonunu, yüksekliğini ve taşıyıcı sistemini direkt olarak etkilemektedir.
- Yüksek yapının çevresi, fonksiyon seçimi ve geometrisi, taşıyıcı sistemin belirlenmesi açısından sağlam yaklaşımlar gerektirir.
- Yüksek yapı tasarım sürecinde hedeflenen tasarım yaklaşımları yapının maliyetini ve verimliliğini doğrudan etkiler ve tasarım sürecinde, araştırma, inceleme ve veri toplama işlevleri büyük bir özenle gerçekleştirilmelidir.
- Bina üzerinde oluşan çeşitli yükler açısından, taşıyıcı sistemin verimli, dayanıklı ve ekonomik olması gereklidir.
- Yüksek yapı taşıyıcı sistem çözümleri yapı ile bütünleşmelidir.
- Yüksek yapı taşıyıcı sistemini oluşturacak yapı malzemesi seçimi yapının gereksinimleri kapsamında gerçekleştirilmelidir.
- Taşıyıcı sistemi oluşturan her taşıyıcı sistem elemanının, yükler karşısındaki değişken davranışları bilinmeli ve taşıyıcı sistem, sistem elemanlarından maksimum bir düzeyde yararlanılarak tasarlanmalıdır.
- Yüksek yapı tasarım süreci lineer bir süreç değildir. Yapı üzerinde yapılan her mimari, mekanik ve strüktürel düzeltme dikkatle incelenmeli ve gerekirse tasarım sürecinin başına dönmelidir.
- Yüksek yapı her faktörüyle bir bütün olarak düşünülmeli ve optimum çözümlere gidilmelidir. Yapıda sağlanacak ekonomi, dayanıklılık ve verimlilik bu düşünce konseptine bağlıdır.

KAYNAKLAR

KAYNAKLAR



KAYNAKLAR

- Abdelrazaq, A.K., (1998), "Wind Engineering Considerations for High Rise Buildings", Lecture on High Rises in Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Ambrose, J. ve Vergun, D., (1985), Seismic Design of Buildings, John Wiley & Sons, New York.
- Anon, (1984), "Tall Buildings", Conference Proceedings, Singapore.
- Anon, (1980), "Structuring Tall Buildings", Progressive Architecture, December 1980.
- Anon, (1970), "Wind Effects on High Rise Buildings", Symposium Proceedings, March 1970, Northwestern University, Illinois.
- Aysu, O.B, (1998), "(Monroe, J.), High Rise Building Technologies I; Tall Buildings, Wind Loads, and Design Criteria", Research Paper, Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Aysu, O.B, (1998), "(Monroe, J.), High Rise Building Technologies II; High Rise Structural Systems", Research Paper, Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Aysu, O.B, (1998), "(Monroe, J.), High Rise Building Technologies II; Concrete Slab Systems", Research Paper, Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Aysu, O.B, (1998), "(Monroe, J.), High Rise Building Technologies II; High Performance Concrete", Research Paper, Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Aysu, O.B, (1998), "(Monroe, J.), High Rise Building Technologies II; Skyscraper", Research Paper, Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Billington, D.P. ve Goldsmith, M., (1983), Technique & Aesthetics in The Design of Tall Buildings, Proceedings of the Fazlur R. Khan Session on Structural Expression in Buildings, Annul Fall Meeting, ASCE, October 19 1983, Houston, Texas.
- Çamlıbel, N., (1993), Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Taşıma Gücü İlkesine Göre boyutlandırılması, 274, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Dowrick, D.J., (1987), Earthquake Resistant Design, John Wiley & Sons, New York.
- Dupre, J., (1996), Skyscrapers, Black Dog & Leventhal Publishers, New York.
- Ekiz, İ., (239), Yapı Statiği I, 239, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Gaylord, ve Gaylord, Structural Engineering Handbook, McGraw-Hill, Newyork.
- Goldberg, J.E., (1979), Structural Design of Tall Steel Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Monograph, SB: 53.
- Grossman, J.S., Cruvellier, M. ve Statford, B.S., (1986), "Behavior, Analysis and Construction of a Braced Tube Concrete Structure", Concrete Int., September 1986, 8(9): 32-34.

Hart, F., Henn, W. ve Sontag, H., (1978), *Multi-Storey Buildings in Steel*, Crosby, Lockwood, Staples.

Khan F.R. ve Sbarounis, J.A., (1964), "Interaction of Shear Walls and Frames", *J. Structural Division, ASCE*, June 1964, ST3: 285-335.

Merritt, F.S., *Building Design and Construction Handbook*, McGraw-Hill, New York.

Murray, T.M., (1975), "Design to Prevent Floor Vibration", *Engineering Journal-American Institute of Steel Construction*, third quarter.

Newmark, N.M. ve Rosenblueth, E., (1971), *Fundamentals of Earthquake Engineering*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey.

Rutenberg, A.V., (1974), "Analysis of Tube Structures Using Plane Frame Programs", *Proc. of Regional Conference on Tall Buildings, Bangkok, Thailand*, 397-413.

Simiu, E. ve Scanlan, R.H., (1996), *Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design*, 3. Baskı, John Wiley & Sons, New York.

Sol, E.C. ve Chen, A.C., (1985), *Designing Steel Structures; Methods and Cases*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey.

Statford, B.S. ve Coull, A., (1967), *Tall Buildings with Particular Reference to Shear Wall Structures*, Pergamon Press, New York.

Statford, B.S. ve Coull, A., (1991), *Tall Building Structures; Analysis and Design*, John Wiley & Sons, New York.

Statford, B.S. ve Taranath, B.S., (1972), "Analysis of Tall Core-Supported Structures Subject to Torsion", *Proc. Institute of Civil Engineers*, September 1972, 53: 173-187.

Statford, B.S. ve Nwaka, I.O., (1980), "Behavior of Multi Outrigger Braced Tall Buildings", *ACI Special Publication*, SP-63: 515-541.

Taranath, B.S., (1975), "Torsion Analysis of Braced Multi-Storey Buildings", *The Structural Engineer*, London.

Taranath, B.S., (1981), "Differential Shortening of Columns in High Rise Buildings", *Journal of Torsteel*.

Taranath, B.S., (1983), "A New Look at Composite High Rise Construction", *Our World in Concrete and Structures*, Singapore.

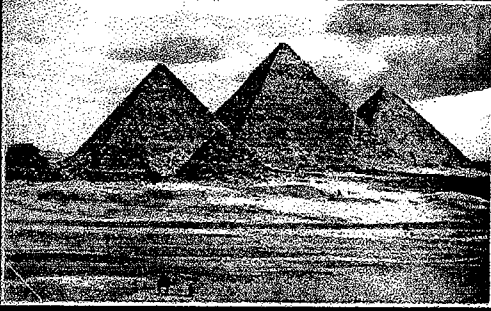
Taranath, B.S., (1997), *Steel, Concrete, and Composite Design of Tall Buildings*, 2. Baskı, McGraw-Hill, New York.

Wakabayashi, M., (1986), *Design of Earthquake Resistant Buildings*, McGraw-Hill, New York.

Wiss, J.F. ve Parmalee, R.H., (1974), "Human Perception of Transient Vibrations", *Journal of Structural Division ASCE*, Nisan 1974, 100: 773-783.



EK 1. EN ESKİ YÜKSEK YAPILAR



Great Pyramids at Giza



Shrine and ablution tank at Nataraja



The Parthenon



Great Plaza at Tikal



Cliff Palace

Gizza Piramitleri:

Soldan Mycerinus (c. 2500 B.C.), Chefren (c. 2350 B.C.)
ve 481 ft Yüksekliğinde Cheops (c. 2570 B.C.).

Parthenon:

447 – 432 B.C.

Cliff Place:

1200 A.D.

Great Plaza At Tikal:

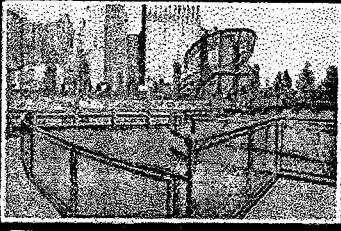
229 ft Yüksekliğinde (250 – 900 A.D.).

Shrine & Ablution Tank At

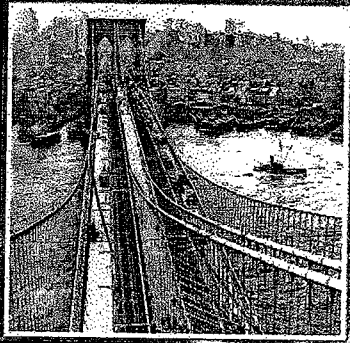
Nataraja:

150 ft yüksekliğe kadar ulaşan piramitler içermektedir.

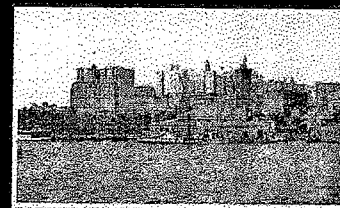
EK 2. BİR ŞEHİRİN GELİŞİMİ: NEW YORK



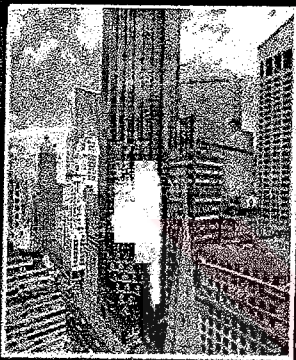
South Cove (1988)
A Sculpture by Mary Miss



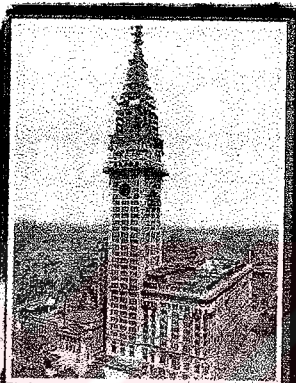
Brooklyn Bridge (1867-83)



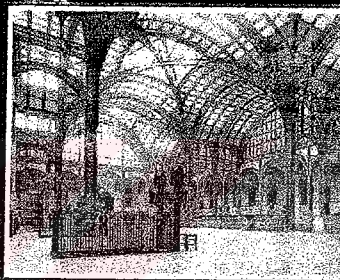
Manhattan' dan
(1898) Görünüş.



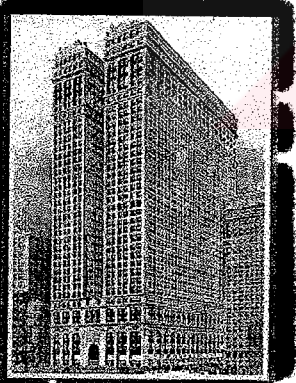
Trump Tower (1983)



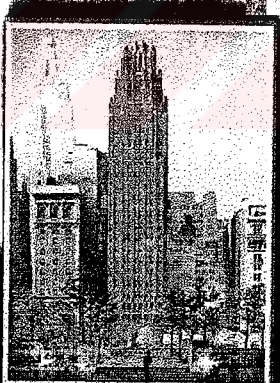
MetLife Tower
(1909)



Magnificent
Pennsylvania Sation
(1911)



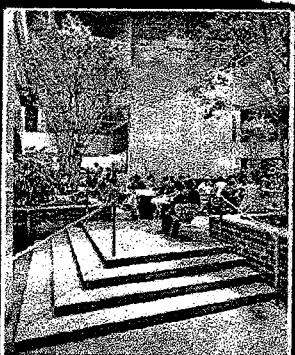
Equitable Building (1915)
909 feet



American Radiator
Building (1924)

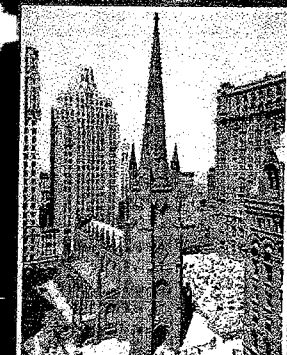


The Empire State
Building (1931) ve MetLife
Tower (1909)



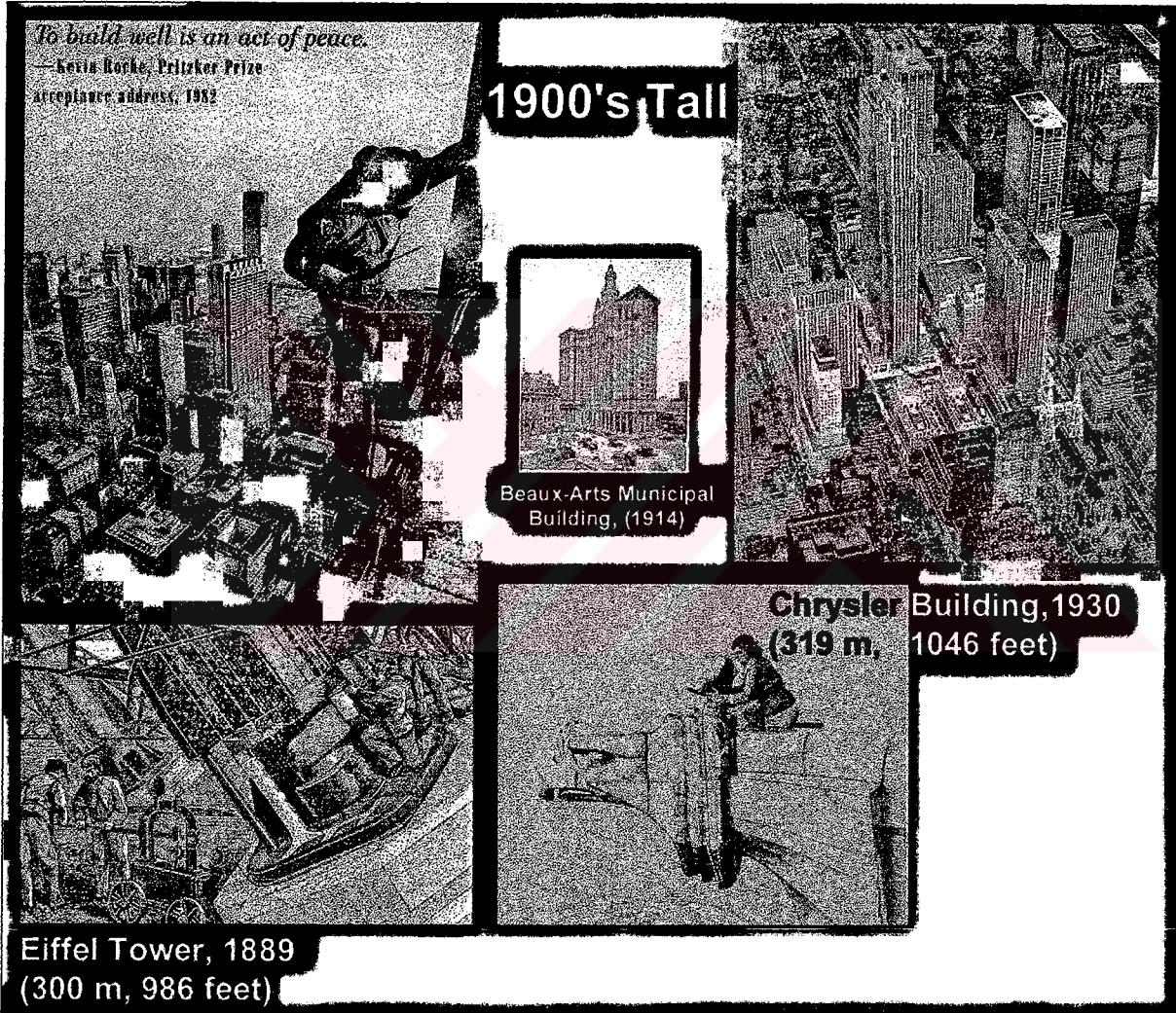
Citicorp Center (1977)

Bir Şehirin
Gelişimi: New York



Trinity Church (1846)
284 feet

TALL TOWERS OF THE WORLD (Ranked by height)

EK 4. 1900' lü YILLARDAN ÖERNEKLER

EK 5. DÜNYADA EN YÜKSEK İLK 100 BİNA

Sırası	Bina	Şehir	Yıl	Yükseklik (Feet ve Metre)
1	Petronas Tower 1	Kuala Lumpur	1996	1476/450
2	Petronas Tower 2	Kuala Lumpur	1996	1476/450
3	Sears Tower	Chicago	1974	1454/443
4	Jin Mao Building	Shanghai	UC98	1379/420
5	One World Trade Center	New York	1972	1368/412
6	Two World Center	New York	1973	1362/415
7	Empire State Building	New York	1931	1250/381
8	Central Plaza	Hong Kong	1992	1227/374
9	Bank of China	Hong Kong	1989	1209/369
10	T & C Tower	Kaoshiung	UC97	1140/347
11	Amoco	Chicago	1973	1136/346
12	John Hancock Center	Chicago	1969	1127/344
13	Shun Hing Square	Shenzhen	1996	1066/325
14	Sky Central Plaza	Guangzhou	1996	1056/322
15	Baiyoke Tower II	Bangkok	UC97	1050/320
16	Chrysler Building	New York	1930	1046/319
17	NationsBank Plaza	Atlanta	1992	1023/312
18	First Interstate World Center	Los Angeles	1990	1018/310
19	Texas Commerce Tower	Houston	1982	1000/305
20	Ryugyong Hotel	Pyongyang	1995	984/300
21	Two Prudential Tower	Chicago	1990	978/298
22	First Interstate Bank Plaza	Houston	1983	972/296
23	Landmark Tower	Yokohama	1993	971/296
24	311 South Wacker Drive	Chicago	1990	959/292
25	Jubilee St./Queens Road Central	Hong Kong	UC97	958/292
26	First Canadian Place	Toronto	1975	952/290
27	American International Building	New York	1932	950/290
28	One Liberty Place	Philadelphia	1987	945/288
29	Columbia Seafirst Center	Seattle	1985	943/287
30	40 Wall Street (Bank of Manhattan)	New York	1930	927/283
31	NationsBank Plaza	Dallas	1985	921/281
32	Overseas Union Bank Center	Singapore	1986	919/280
33	United Overseas Bank Plaza	Singapore	1992	919/280
34	Republic Plaza	Singapore	1995	919/280
35	Citicorp Center	New York	1977	915/279
36	Scotia Plaza	Toronto	1989	902/275
37	Transco Tower	Houston	1983	901/275
38	Society Center	Cleveland	1991	888/271
39	AT&T Corporate Center	Chicago	1989	885/270
40	900 North Michigan	Chicago	1989	871/265
41	Nations Bank Corporate Center	Charlotte	1992	871/265
42	One Peachtree Center	Atlanta	1992	867/264
43	Canada Trust Tower	Toronto	1990	863/263
44	Water Tower Place	Chicago	1976	859/262
45	First Interstate Tower	Los Angeles	1974	858/262
46	Transamerica Pyramid	San Francisco	1972	853/260
47	GE. Rockefeller Center	New York	1933	850/259
48	One First National Plaza	Chicago	1969	850/259
49	Commerzbank Tower	Frankfurt	UC97	850/259
50	Two Liberty Place	Philadelphia	1990	848/258
51	Messeturm	Frankfurt	1990	850/259
52	USX Tower	Pittsburgh	1970	841/256
53	Gate Tower	Osaka	1996	833/254
54	World Trade Center	Osaka	1994	827/252
55	One Atlantic Center	Atlanta	1988	820/250
56	BNI City Tower	Jakarta	1995	820/250

57	Korea Life Insurance Company	Seoul	1985	817/249
58	City-Spire	New York	1989	814/248
59	One Chase Manhattan Plaza	New York	1961	813/248
60	200 Park Avenue	New York	1963	808/246
61	Kompleks Tun Abdul Razak	Penang	1985	804/245
62	MayBank Headquarters	Kuala Lumpur	1988	799/244
63	Tokyo Metropolitan Government Bldg.	Tokyo	1991	797/243
64	Riyalto Towers	Melbourne	1985	794/242
65	Woolworth Building	New York	1913	792/241
66	Mellon Bank Center	Philadelphia	1990	792/241
67	John Hancock Tower	Boston	1976	788/240
68	Bank One Center	Dallas	1987	787/240
69	JR. Central Towers	Nagoya	UC99	787/240
70	Commerce Court West	Toronto	1973	784/239
71	Moscow State University	Moscow	1953	784/239
72	NationsBank Center	Houston	1984	780/238
73	Bank of America Center	San Francisco	1969	779/237
74	One Worldwide Plaza	New York	1989	778/237
75	Canary Wharf Tower	London	1991	777/237
76	IDS Center	Minneapolis	1972	775/236
77	Norwest Center	Minneapolis	1988	774/236
78	First Bank Place	Minneapolis	1992	774/236
79	Singapore Treasury Building	Singapore	1986	771/235
80	Shinjuku Park Tower	Tokyo	1994	764/233
81	Heritage Plaza	Houston	1987	762/232
82	Palace of Culture and Science	Warsaw	1955	758/231
83	Carnegie Hall Tower	New York	1991	757/231
84	Three First National Plaza	Chicago	1981	753/230
85	Equitable Plaza	New York	1985	752/229
86	One Penn Plaza	New York	1972	750/229
87	1251 Avenue of the Americas	New York	1972	750/229
88	Prudential Center	Boston	1964	750/229
89	Two California plaza	Los Angeles	1992	750/229
90	Gas Company Tower	Los Angeles	1991	749/228
91	MLC Center	Sydney	1978	748/228
92	Two Pacific Place/Shangri-La Hotel	Hong Kong	1991	748/228
93	1100 Louisiana Building	Houston	1980	748/228
94	Korea World Trade Center	Seoul	1988	748/228
95	Wing Lok Street – Queens Road Cent.	Hong Kong	UC97	748/228
96	Governer Phillip Tower	Sydney	1993	745/227
97	J.P. Morgan Headquarters	New York	1989	745/227
98	Two Union Square	Seattle	1989	743/226
99	333 South Hope Building	Los Angeles	1975	743/226
100	One Liberty Plaza	New York	1973	743/226

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	24.09.1974	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1986-1992	Özel Doğuş Lisesi, Acıbadem.
Lisans	1992-1996	Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü.
Yüksek Lisans	1996-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilimdalı, Yapı Programı.
Çalıştığı kurum(lar)		
	1992-1997	Bodart, Ltd. Şti.

TC. FURSE...
DOKÜMANTASYON MERKEZİ