T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK YAPILARDA GÜNCEL TASARIM YAKLAŞIMLARI

NEŞE ATASOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. ZEHRA CANAN GİRGİN

İSTANBUL, 2014

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK YAPILARDA GÜNCEL TASARIM YAKLAŞIMLARI

Neşe ATASOY tarafından hazırlanan tez çalışması 24.04.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Zehra Canan GİRGİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Zehra Canan GİRGİN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Seda TÖNÜK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde gerçekleştirilen bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında, gün geçtikçe büyük uygulama alanı gören yüksek yapıların taşıyıcı sistemleri, güncel yüksek yapı örnekleri ve birleşimleri konularındaki çalışmaları kapsamaktadır. Bu çalışma ile aynı zamanda, yüksek yapıların tasarımının Türkiye'de her yönü ile anlaşılması, yönlenilmesi ve tasarımcıların bu konu ile ilgili bilgilendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu tezi tamamlamam konusunda büyük özveriyle bana destek olan ve yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Zehra Canan GİRGİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm desteğini ve sevgisini her zaman hissettiğim ve bu çalışmayı bitirmem konusunda manevi gücünü hissettirdiği için aileme yürekten teşekkür ederim. Her konuda bana destek veren ve yanımda olan, tüm hayatım boyunca emeklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Beyazıt ATASOY'a, annem Zahide ATASOY'a ve ağabeyim Enis ATASOY'a gönülden teşekkür ederim.

Tezimi hazırlarken gösterdikleri anlayış için öncelikle Keten İnşaat A.Ş. firması ve çalışanlarına, tez kapsamında her türlü bilgisini paylaşan ve desteğini eksik etmeyen Y. Mimar Özden Öz'e, bu zorlu çalışma sürecimde beni varlıklarıyla mutlu eden arkadaşlarım, Zeynep Uğur İSLAM, Sinem AKAR, Duygu ODACIOĞLU, Timur ÖZ'e çok teşekkür ederim.

Nisan, 2014

Neşe ATASOY

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

ÇİZELGE LİSTESİ xiii

ÖZET xv

ABSTRACT xvii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 1
1.3 Hipotez 2

BÖLÜM 2

DÜNYADA YÜKSEK YAPILARIN GELİŞİMİ 3

2.1 Yüksek Yapı Tanımı 3
2.2 Yüksek Yapılara Geçiş Evresi 5
2.3 Dünya'da Yüksek Yapıların Taşıyıcı Sistem Gelişimi 7
2.4 Yüksek Yapı Tasarımında Zaman İçindeki İstatiksel Değişimler 20
2.5 Türkiye'de Yüksek Yapılar 24
2.6 Geleceğin Yüksek Yapıları 28

BÖLÜM 3

YÜKSEK YAPI TASARIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER 30

3.1 Yapının Kullanım Amacı 31
3.2 Çekirdek Planlaması ve Düşey Taşıma 32
3.2.1 Çekirdek Planlaması 32

3.2.2 Düşey Taşıma 36
3.3 Yapı Formu 41
3.3.1 Rüzgar ve Etkileri 41
3.3.2 Rüzgar ve Yüksek Yapıda Form İlişkisi 43
3.4 Narinlik ve Yanal Yerdeğiştirmelerin Sınırlandırılması 54
3.4.1 Tasarımda Rüzgar ve Deprem Etkisi 55
3.4.2 Sönümleme Sistemleri 58
3.5 Yangın Dayanımı 70
3.6 Rötre ve Sünme Etkisi 75
3.7 Çarpma ve Ani Dinamik Yükleme Sonucu Hasar Durumu 76
3.8 Yüksek Yapılarda Sürdürülebilirlik 79

BÖLÜM 4

GÜNCEL YÜKSEK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLER 83

4.1 Genel 84
4.2 Tüp Sistemler 86
4.2.1 Çerçeve Tüp Sistem 86
4.2.2 Kafes Tüp Sistem 90
4.2.3 Tüp İçinde Tüp Sistem 93
4.2.4 Demet Tüp Sistem 95
4.3 Şaşırtmalı Kafes Sistem 96
4.4 Rijit Katlı Sistem 99
4.5 Diagrid Sistem 106
4.6 Dinamik Formlu Yapılar 112
4.6.1 Eğik Formlu Yüksek Yapılar 112
4.6.2 Burulmuş Yüksek Yapılar 114

BÖLÜM 5

GÜNCEL YÜKSEK YAPI ÖRNEKLERİ 118

5.1 Rijit Katlı Sistem ile Uygulanmış Yapı Örnekleri 118
5.2 Diagrid Sistem ile Uygulanmış Yapı Örnekleri 141

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER 155

KAYNAKLAR 159

ÖZGEÇMİŞ 180

SİMGE LİSTESİ

V	Zeminden z yüksekliğindeki hız
B	Yapının kısa kenar uzunluğu (genişliği)
V_r	Referans rüzgar hızı
z_r	Rüzgar sınır seviyesinin yüksekliği
z	Toprak yüzeyinden yükseklik
α	Katsayı
d	Betonarme çekirdek kalınlığı
$N_{dG, dV, dM}$	Diagrid modülün elemanlarında oluşan normal kuvvetler
N_G	Yapı ağırlığı
$N_{G1, G2, G3}$	Modülün tali birleşimlerine gelen ara kuvvetler
M_w	Eğilme momenti
M_O	Richter ölçeğine göre deprem büyüklüğü
h	Yapı kat yüksekliği
H	Yapı yüksekliği
V_w	Kesme kuvveti
f_y	Çelikte akma gerilmesi
f_u	Çelikte maksimum çekme dayanımı
Δ	Tepe yerdeğiştirmesi
F	Kuvvet
f	Çelikte gerilme düzeyi
HK	Hemen Kullanım performans düzeyi
CG	Can Güvenliği performans düzeyi
$Ø_{HK}$	Hemen Kullanım performans düzeyine ait plastik dönme miktarı
$Ø_{CG}$	Can Güvenliği performans düzeyine ait plastik dönme miktarı
T	Yapının hakim periyodu (1. mod değeri)
W	Yapıya etkiyen yatay yük (rüzgar, deprem)

KISALTMA LİSTESİ

AMD	Active Mass Damper (Aktif Kütle Sönümleyiciler)
ASCE	Minimum Design Loads for Buildings and Other Strucutures
BIWT	Building Integrated Wind Turbines (Bina Entegre Rüzgar Türbinleri)
BUWT	Building Mounted Wind Turbines (Bina Monte Rüzgar Türbinleri)
CPV	Panel PV Sistem
CTBUH	Council on Tall Buildings and Urban Habitat
DC	Doğru akım
EN81-72	Safety Rules for the Construction and Installation of Lifts
HAWTs	Horizontal Axis Wind Turbines (Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri)
ICC	International Commerce Center
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MIT	Massachusetts Institue of Technology
PV	Fotovoltaik
SOM	Skidmore, Owings and Merrill
SPSW	Steal Plate Shear Wall (Çelik Kesme Plakalar)
SWFC	Shanghai World Financial Center
TLCD	Tuned Liquid Column Damper (Sıvı Kütle Kolon Sönümleyiciler)
TLD	Tuned Liquid Damper (Sıvı Kütle Sönümleyiciler)
TMD	Tuned Mass Damper (Pandül Tipi Kütle Sönümleyiciler)
TSD	Tuned Sloshing Damper (Bariyerli Sıvı Kütle Sönümleyiciler)
VAWTs	Vertical Axis Wind Turbines (Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 A Blok görünüm 3
Şekil 2. 2 2011 yılına kadar dünyada bulunan yüksek yapıların mimari yüksekliğe göre yükseklik sınıflandırması 4
Şekil 2. 3 2011 yılına kadar dünyada bulunan yüksek yapıların kullanılan en son katına göre yükseklik sınıflandırma 4
Şekil 2. 4 2011 yılına kadar dünyada bulunan yüksek yapıların en yüksek noktasına göre yükseklik sınıflandırması 5
Şekil 2. 5 Nasmyt'in derin çukur kazma makinası ve yüksek yapılarda kullanılan ilk derin temel örneği (1898) 5
Şekil 2. 6 Otis kardeşler tarafından önerilen yolcu asansörü ve E. V. Haughwout Building (New York, 1857) 6
Şekil 2. 7 Temsili büyük Chicago yangını (1871) 7
Şekil 2. 8 Home Insurance Building (Chicago, 1885, yıkım-1931) 8
Şekil 2. 9 Monadnock Building (Chicago, 1889-1893), 8. kısmi kat planı ve görünüşleri 8
Şekil 2. 10 Monadnock Building (Chicago, 1889-1893) iç mekan modellemesi 9
Şekil 2. 11 The Reliance Building (Chicago, 1895) 9
Şekil 2. 12 Flatiron Building (Manhattan, 1902) 10
Şekil 2. 13 Ingalls Building (Cincinnati, 1903) 10
Şekil 2. 14 Hardy Cross'un Moment Dağıtım Yöntemi için tipik bir uygulama 11
Şekil 2. 15 Chrysler Building (New York, 1930) 11
Şekil 2. 16 Seagram Building (New York, 1958) ve kompozit kolon detayı 12
Şekil 2. 17 (a) DeWitt Chestnut Apartment (Chicago, 1965), (b) 1000 Lake Shore Drive (Chicago, 1964) ve (c) The Water Place (Chicago, 1976) 12
Şekil 2. 18 (a) John Hancock Center (Chicago, 1970, (b) 780 Third Avenue (New York, 1983) 13
Şekil 2. 19 Brunswick Building (Chicago, 1965) ve 7.2 m yüksekliğindeki transfer kirişine gelen normal kuvvetlerin değişimi 14
Şekil 2. 20 One Shell Plaza (Houston, 1971) 14
Şekil 2. 21 (a) Sears Tower (Chicago, 1973), (b) One Magnificent Mile (Chicago, 1983) 15
Şekil 2. 22 Rijit kat ve çalışma prensibi 16
Şekil 2. 23 U.S Bank Center, boykesit ve planı (Milwaukee, 1973) 16
Şekil 2. 24 Waterfront Palace ve planı (Brisbane, 1990) 16

Şekil 2. 25 Delta Bow Valley Otel görünüş ve boykesitleri (Calgary, 1980) 17
Şekil 2. 26 Taj Mahal Hotel (Mumbai, 1990), boykesit ve planı..... 17
Şekil 2. 27 Shukov Tower (Polibino, 1896)..... 18
Şekil 2. 28 (a) Sir Norman Foster tarafından Humana Headquarters yarışması için tasarlanan yapı, (b) *IBM Building* (Pittsburgh, 1960)..... 18
Şekil 2. 29 Swiss Re Building (London, 2004) 19
Şekil 2. 30 (a) Hearst Tower (New York, 2006), (b) Guangzhou Financial Tower (Guangzhou, 2010), (c) Capital G. ate (Abu Dhabi, 2011), (d) Canton Tower (Guangzhou, 2010) 19
Şekil 2. 31 Sino Steel International Plaza (Tianjin) 20
Şekil 2. 32 Yıllara göre yükseklik değişimi 20
Şekil 2. 33 2013 yılında tamamlanan yapıların (a) bölgesel, (b) işlevsel ve (c) taşıyıcı sistem malzemesine göre oransal değişimleri..... 21
Şekil 2. 34 2000 yılından itibaren her yıl tamamlanan en yüksek yapı grafiği 22
Şekil 2. 35 2004'e kadar olan verilere göre taşıyıcı sistemde kullanılan çelik miktarının kat adedi ile değişimi 22
Şekil 2. 36 1961-2010 dönemi inşa edilen yüksek yapıların taşıyıcı sistem dağılımı .. 23
Şekil 2. 37 Dünya'nın en yüksek 200 yapısının kıtalara göre dağılımı..... 24
Şekil 2. 38 Ulus İşhanı (Ankara, 1954), Ceylan International Oteli (İstanbul, 1975) ve İstanbul Harbiye Orduevi (İstanbul, 1983)..... 25
Şekil 2. 39 (a) Mertim Kulesi (Mersin, 1987), (b) Yapı Kredi Plaza (İstanbul, 1995).... 25
Şekil 2. 40 Sabancı Center (İstanbul, 1993), İş Bankası Genel Müdürlük Binası (İstanbul, 2000) Tat Kuleleri (İstanbul, 2000) 26
Şekil 2. 41 Diamond of İstanbul (İstanbul) 26
Şekil 2. 42 (a) Mistral Tower Bayraklı 1 (İzmir), (b) Sapphire (Ankara) ve (c) Skyland (İstanbul)..... 27
Şekil 2. 43 Exen Yapı (İstanbul, inşaat aşamasında)..... 27
Şekil 2. 44 Spine Tower (İstanbul, 2013)..... 27
Şekil 2. 45 Bionic Tower (Shanghai), Millennium Tower (Tokyo) 28
Şekil 2. 46 Russia Tower (Moskova)..... 28
Şekil 2. 47 Dubai City Tower (Dubai)..... 29
Şekil 2. 48 (a) X-Seed 4000 Tower, (b) Holonic Tower (Tokyo) ve (c) SkyCity1000 (Tokyo) 29
Şekil 3. 1 CTUH'a göre yüksek yapılarda işlev tanımı..... 31
Şekil 3. 2 Yapı maliyetinin dağılımı..... 31
Şekil 3. 3 İşlevin malzeme değişimi 32
Şekil 3. 4 (a) Ortalama kat adedi-betonarme taşıyıcı elemanların birim alanda kalınlık değişimi, (b) Çelik yapıda birim alana gelen ağırlığın kat adedi ile değişimi 33
Şekil 3. 5 Çekirdekte bulunan tipik tuvalet ve holü..... 35
Şekil 3. 6 Çekirdekte bulunan tipik mekanik oda ve şaftı..... 36
Şekil 3. 7 Kone firmasının yüksek yapılarda kat adetlerine göre farklı asansör tipleri ile düşey taşıma düzenlemesi..... 37
Şekil 3. 8 Tipik asansör şaftı..... 39
Şekil 3. 9 (a) ASCE 7-05'de tarif edilen rüzgar yoğunluk profili ve (b) Anemometre tarafından ölçülen tipik bir rüzgar hızı kaydı 42
Şekil 3. 10 A.B.D ve Türkiye için 80 m'de ortalama rüzgar hızı haritaları 43

Şekil 3. 11 Aerodinamik mühendisliğinde rüzgarın altı önemli bileşeni ve yapıya etki eden boyuna ve enine rüzgarın şematik gösterimi 43
Şekil 3. 12 Yapıya etkiyen gerilmeler, girdap etkisi ile yapının rüzgara dik hareketi .. 44
Şekil 3. 13 Yüksek yapılarda rüzgar hızı ile ilgili çözümler 45
Şekil 3. 14 A, B ve C için, planlardaki konumlandırma ve rüzgar tünel testlerinden görünüş 46
Şekil 3. 15 (a) Taban eğilme momenti, (b) Burulma momenti değişimi 46
Şekil 3. 16 Farklı yapı planları ve yerdeğiştirme oranları 47
Şekil 3. 17 (a) Burj Khalifa (Dubai, 2010), (b) Kingdom Tower (Jeddah, inşaat aşamasında) ve (c) Russia Tower (Moskova, inşaat aşamasında) 48
Şekil 3. 18 (a) Infinity Tower (Dubai, 2013), (b) Turning Torso (Malmo, 2005), (c) Chicago Spire Tower (Chicago, İnşa edilmeyecek) ve (d) Shanghai Tower (Shanghai, 2014) 48
Şekil 3. 19 (a) Shanghai World Financial Center (Shanghai, 2008) ve (b) Kingdom Center (Riyadh, 2002) 49
Şekil 3. 20 (a) Aqua Tower (Chicago, 2009), (b) Absolute Tower (Ontario, 2012).....50
Şekil 3. 21 Boyu 33-64 m arasında değişen rüzgar tüneli 51
Şekil 3. 22 Binalara rüzgar türbinleri entegrasyon yöntemleri 52
Şekil 3. 23 Bina monte rüzgar türbinleri için entegrasyon yöntemleri 52
Şekil 3. 24 Indigo Building (Portland, 2009) ve monte rüzgar türbinleri.....52
Şekil 3. 25 Kat adedi-periyod değişimi ve farklı periyodlu yapılarda spektral ivmelerin göreli değişimi 55
Şekil 3. 26 Rüzgar ve deprem kuvvetleri zaman değişimi 56
Şekil 3. 27 Yüksek yapılarda taban kesme kuvveti katsayısının periyod ile değişimi.. 58
Şekil 3. 28 Yüksek yapılardaki sönümleme sistemlerinin sınıflandırılması 59
Şekil 3. 29 Asahi Beer Tower (Tokyo, 1989) ve Sonic City Tower (Ohmiya, 1988) 61
Şekil 3. 30 Abenobashi Terminal Building (Osaka, 1914)..... 62
Şekil 3. 31 Wells Fargo Bank (San Francisco, 1966) ve Art Hotels Sapporo (Hokkaidoi 1996) 62
Şekil 3. 32 Island Tower Sky Club Tower (Fukuoka, 2008) 63
Şekil 3. 33 (a) World Trade Center (New York,1970,1971) ve (b) Seafirst Tower (Columbia, 1985)..... 64
Şekil 3. 34 Petronas Twin Towers (Kuala Lumpur, 1995)..... 64
Şekil 3. 35 Torre Major (Mexico City, 2003), sönümleyici detayları 65
Şekil 3. 36 *St Francis Shangri- La Place* (Mandaluyong City, Filipinler, 2009)..... 65
Şekil 3. 37 Hancock Tower (Boston, 1977)..... 66
Şekil 3. 38 Shin Yokohama Prince Hotel Tower (Yokohama, 1992)..... 67
Şekil 3. 39 One Wall Centre (Vancouver, 2001) kesit ve 48. kat planı 69
Şekil 3. 40 Hotel Sofitel (Tokyo, 1994) 69
Şekil 3. 41 Herbis Building (Osaka, 1997) 70
Şekil 3. 42 Kyobashi Siewa Building (Agarofinei,1989) 70
Şekil 3. 43 Beton ve türevlerinde yangında eksenel şekildeğiştirmelerin değişimi ve yapı elemanlarının davranışı 71
Şekil 3. 44 Yangın sırasında kompozit kolonda eksenel şekildeğiştirme-zaman değişimi 71
Şekil 3. 45 Dairesel kesitli boş ve kompozit kolonun yangın dayanımı 72

Şekil 3. 46 Normal ve yangına dayanımlı çeliklerin akma dayanımlarının karşılaştırması ve yapı örneği 72
Şekil 3. 47 (a) Bush Lane House (London, 1976) ve (b) US Steel Tower (Pittsburgh, 1970) 73
Şekil 3. 48 (a) Hotel De Las Artes (Barcelona, 1994) ve (b) Hong Kong Bank (Hong Kong, 1986) 74
Şekil 3. 49 İntumesan boya uygulaması 74
Şekil 3. 50 New York Times Tower (New York, 2007) 75
Şekil 3. 51 Düşey taşıyıcı elemanlarda 30 yıl boyunca katlara göre değişen elastik, rötre ve sünme şekildeğiştirmeleri 75
Şekil 3. 52 (a) Alfred P. Murrah Federal Building (Oklahoma, 1977) ve (b) World Trade Center (New York, 1970-71) 77
Şekil 3. 53 Ani dinamik yüklemelerde yüksek yapılarda oluşan ilave kesit tesirleri ... 77
Şekil 3. 54 Yüksek yapılarda ani çarpmalar sonucu oluşan etki 78
Şekil 3. 55 HSBC binası çarpma öncesi ve sonrası (İstanbul, 1998) 78
Şekil 3. 56 Two International Finance Center (Hong Kong, 2003)'da ani dinamik etkiler sonucu hasar durumu 79
Şekil 3. 57 Taşıyıcı sistem malzemesi-kat adedi-CO_2 tüketim grafiği 80
Şekil 3. 58 Jeotermal enerjinin çalışma prensibi 80
Şekil 3. 59 Editt Tower 81
Şekil 4. 1 Home Insurance Building (Chicago, 1885), Sears Tower (Chicago, 1973) Sino Steel International Plaza (Tianjin) 83
Şekil 4. 2 2000'li yıllardaki yüksek yapı sınıflandırması'den değiştirilerek derlenmiştir 84
Şekil 4. 3 2000'li yıllardaki yüksek yapı sınıflandırması'den değiştirilerek derlenmiştir 84
Şekil 4. 4 Çerçeve tüp sistemin yerdeğiştirmesi ve kutu planın eşdeğer idealleştirilmesi 87
Şekil 4. 5 World Tarde Center (New York, 1971-2001), 1.2 m kolon aralıklı, iç ve dış mekan görünüşleri 88
Şekil 4. 6 Farklı planlar için zemindeki gerilmelerin ideal yayılma durumu 89
Şekil 4. 7 Örnek serbest formlu tüp sistem planları 89
Şekil 4. 8 World Trade Center (New York, 1970-71), ön üretimli elemanlar 89
Şekil 4. 9 Sky City Tower (Wangcheng, tasarım aşamasında), ön üretimli elemanlar 90
Şekil 4. 10 Çerçeve tüp sisteme mega çaprazların eklenmesiyle yanal yerdeğiştirmelerdeki azalma 90
Şekil 4. 11 John Hancock Center görünüm ve planlar (Chicago, 1969) 91
Şekil 4. 12 Renaissance Tower (Dallas, 1974) plan ve tipik birleşim detayı 91
Şekil 4. 13 Farklı kolon yerleşimleri ile mega çapraz sistem görünüşü 92
Şekil 4. 14 Time Square Tower (New York, 2004) 92
Şekil 4. 15 Çerçeve+çekirdek ve tüp içinde tüp sistemde yanal yüklerin paylaşımı ... 93
Şekil 4. 16 One Shell Plaza (üst), Two Shell Plaza ve planları (alt) (Houston, 1971) ... 94
Şekil 4. 17 *181* West Madison Street Tower (Chicago, 1990) 94
Şekil 4. 18 Demet tüp tipi taşıyıcı sistem 95
Şekil 4. 19 Sears Tower (Chicago, 1973) 95
Şekil 4. 20 Sky City (Wangcheng, inşaat aşamasında) 96

Şekil 4. 21 Kafes kiriş ve kolon-alt başlık birleşim detayı 97
Şekil 4. 22 (a) Şaşırtmalı kafes sistem planı, (b) Şaşırtmalı kafes sistemin düzenlemesi, (c) Perspektif görünüm, (d) Yatay yüklerin izlediği yol 97
Şekil 4. 23 Ön üretimli döşeme sistemi ve birleşim detayı 98
Şekil 4. 24 Şaşırtmalı kafesli 30 katlı yapıda oluşan plastik şekildeğiştirmeler 98
Şekil 4. 25 Rijit kat ve çerçeve kafes yerleşimi 99
Şekil 4. 26 Kenar kolonlara (a) Rijit (b) Mafsallı birleşim ve çekirdekte eğilmeden oluşan normal gerilmelerin yayılışı 100
Şekil 4. 27 Rijit katın düzenleme durumları (z=H, z=0.75H, z=0.5H, z=0.25H), eğilme momenti ve yanal yerdeğiştirmeler 100
Şekil 4. 28 (a) İki farklı yükseklikte konumlanmış rijit kat (b) Tek başına çekirdeğin eğilme momenti diyagramı (c) Rijit katların eğilme momentine etkisi (d) Sistemin nihai eğilme momenti diyagramı 101
Şekil 4. 29 (a) Tek rijit kat, (b) İki rijit kat, (c) Üç rijit kat, (d) Dört rijit kat 102
Şekil 4. 30 Tek rijit katlı çelik ve betonarme yapı planları 102
Şekil 4. 31 Tipik rijit kat birleşimleri ve mekanik kat 103
Şekil 4. 32 Northeast Asia Trade Tower (Songdo, 2011) 105
Şekil 4. 33 Swiss Re Building diagrid modülü bir araya gelişi 106
Şekil 4. 34 Kafes tüp ve diagrid sistem modülleri 106
Şekil 4. 35 60 ve 80 katlı yapılar için aynı ve farklı açılardaki diagrid sistem 107
Şekil 4. 36 Köşe kolonlu ve köşe kolonsuz diagrid sistemli yapılar 108
Şekil 4. 37 60 katlı değişken açılı diagrid yüksek yapılar 108
Şekil 4. 38 Göreli yanal rijitlik değişimi 109
Şekil 4. 39 Düşey yüklerin diagrid modül çaprazına etkisi 110
Şekil 4. 40 Üç yapı için uygun diagrid modül araştırması 111
Şekil 4. 41 Düzensiz formlu diagrid sistem için tipik detaylar 111
Şekil 4. 42 Düzenli dikdörtgen planlı diagrid sistem için tipik detay 111
Şekil 4. 43 Songdo Northeast Trade Tower (Songdo, 2011), Milan Fiera (Milano), Al Raha Residential Tower 112
Şekil 4. 44 Yapının kütle merkezi boyunca eğilme momentinin minimizasyonu 113
Şekil 4. 45 Songdo Northeast Trade Tower (Songdo, G.Kore, 2011) 114
Şekil 4. 46 Prizmatik ve bükülmüş katı yapılar 114
Şekil 4. 47 Görsel olarak burulmuş, taşıyıcı sistemi ise burulmamış yapı 115
Şekil 4. 48 Al Raha Beach Tower (Dubai, inşaat aşamasında) yapısı ve burulma için farklı seçenekler (a) burulan formu izleme (b) radyal kolon düzenleme (c) burulma yönüne dik düzenleme 115
Şekil 4. 49 Farklı yükseklikteki burulmuş kafes tüp ve 69^{o} açılı diagrid modüllü diagrid sistemin sistemlerde oluşan maksimum yanal yerdeğiştirme grafiği 117

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3. 1 Çekirdek konumlandırılma tipleri....34
Çizelge 3. 2 Dünyada ve Türkiye'deki yüksek yapı örneklerinde çekirdek düzenlemeleri....35
Çizelge 3. 3 Çekirdek ve bölgeleme prensibine göre asansör düzenlemeleri.... 38
Çizelge 3. 4 Dünyadan yüksek yapı örnekleri ve çekirdek düzenlemeleri....40
Çizelge 3. 5 Çeşitli aerodinamik köşe değişimleri ve yapı örnekler.... 50
Çizelge 3. 6 Rüzgar enerjisi eldesi-mimari entegrasyon ile tasarlanmış yüksek yapı örnekleri.... 53
Çizelge 3. 7 Rüzgar nedeniyle oluşan ivmeler ve kullanıcı konforu.... 56
Çizelge 3. 8 Çin Yapı Yönetmeliğin'de rijit katlı yapılarda performans seviyeleri.... 56
Çizelge 3. 9 Puente Hills depreminde (M_W=7.1) farklı yapılarda ölçülen süneklik.... 58
Çizelge 3. 10 Bazı yüksek yapılarda narinlik ve taşıyıcı sistem.... 59
Çizelge 3. 11 Taipei Building (Taipei, 2004), Sport City Tower (Qatar, 2006)....66
Çizelge 3. 12 TSD ve TLD tipi kullanılmış yapı örnekleri.... 68
Çizelge 3. 13 Jeotermal enerji kullanılan yüksek yapı örnekleri....81
Çizelge 3. 14 Fotovoltaik (pv) paneller ile enerji üreten bazı yüksek yapı örnekleri... 82
Çizelge 4. 1 Bazı yüksek yapılarda kalıp planı ve kirişleri....86
Çizelge 4. 2 Farklı açılarda 60 katlı kafes tüp sistem ve çelik ağırlıkları....91
Çizelge 4. 3 Çepeçevre kafes düzenleme örnekleri....103
Çizelge 4. 4 Rijit kat kafesi düzenleme çeşitleri....104
Çizelge 4. 5 Rijit kat kafesi-betonarme çekirdek birleşim detayları.... 105
Çizelge 4. 6 İki yüksek yapı için sabit ve değişen açılarda taşıyıcı sistem verimliliği karşılaştırması....108
Çizelge 4. 7 Diagrid modülde oluşan kesit tesirleri.... 110
Çizelge 4. 8 Güncel diagrid sistem yüksek yapılarda tipik diagrid birleşim detayları 112
Çizelge 4. 9 Al Raha Beach Tower için farklı taşıyıcı sistem denemeleri.... 116
Çizelge 5. 1 Rijit katlı güncel yüksek yapılar.... 118
Çizelge 5. 2 Jin Mao Tower....119
Çizelge 5. 3 Cheung Kong Tower....121
Çizelge 5. 4 TIF Tower.... 123
Çizelge 5. 5 Taipei 101 Tower....125
Çizelge 5. 6 SWF Center.... 127
Çizelge 5. 7 Caja Madrid....129
Çizelge 5. 8 ICC....131
Çizelge 5. 9 Jinta Tower....133

Çizelge 5. 10 Federation Tower..... 135
Çizelge 5. 11 Shanghai Tower..... 137
Çizelge 5. 12 Ping Ann Finance Center..... 139
Çizelge 5. 13 Güncel diagrid sistemli yapılar..... 141
Çizelge 5. 14 Swiss Re Tower..... 142
Çizelge 5. 15 Hearst Tower.....144
Çizelge 5. 16 Cocoon Tower.....146
Çizelge 5. 17 Leaning Tower.....147
Çizelge 5. 18 Guangzhou Tower.....149
Çizelge 5. 19 Leadenhall Tower.....152
Çizelge 5. 20 Türkiye'deki bazı yüksek yapılar.....154

ÖZET

YÜKSEK YAPILARDA GÜNCEL TASARIM YAKLAŞIMLARI

Neşe ATASOY

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zehra Canan GİRGİN

Yüksek yapı tarihinde 19. yy'ın ortalarında derin temel sistemlerinin geliştirilmesi, asansörün keşfi ve çeliğin ekonomik biçimde elde edilmesi yüksek yapı inşaatına zemin hazırlamıştır. Özellikle 19. yy'ın son çeyreğinde Chicago'daki büyük yangından sonra yüksek yapı inşaatı konusunda radikal bir değişim olmuştur. İlk zamanlarda demir elemanlar+yığma taşıyıcı sistem, karma olarak uygulanmış, devamında yapılar tamamen çelik sistem olarak yükselmeye başlamıştır. 1960'larda tüp sistemlerin geliştirilmesi, yüksek yapılarda gerçek bir devrim olmuş daha yüksek ve ekonomik yapı inşaatının önü açılmıştır. Tüp sistemlerden uzunca bir süre yararlanılmış, günümüzde de kullanılmaktadır. 20. yüzyılın sonlarından başlayarak, özellikle ikonik amaçlı yapılar ve en yükseğe çıkma yarışı ön plana çıkmıştır. Bunun gereği olarak rijit katlı yapılar, diagrid sistemler ve bunların dinamik formlu tasarımları çok uygulanmaktadır. Geçmişte yüksek yapılarda malzeme olarak sadece çelik kullanılırken günümüzde kompozit üretim ağırlık kazanmıştır, keza büro işlevli yüksek yapılar yerini karma işleve bırakmıştır. Mimari tasarım, taşıyıcı sistem ve asansör sistemlerindeki yenilikler, sürdürülebilirlik açısından enerji tasarrufu ve enerji kazanımı, yüksek yapılarda üzerinde çalışılan konular arasındadır.

Yüksek yapılarda çok önemli olan rüzgar etkisi; formdaki değişimler ile girdap olgusunun azaltılması, olası en yüksek rüzgar hızlarının belirlenmesi ve kullanıcı konforu alanlarında ayrıntılı araştırmalara konu olmaktadır. Sismik etkilerin de önemli olduğu yerlerde ise performansa dayalı analizler gerçekleştirilmektedir. Salınımın kontrolu çok önemli bir konu olduğu için, rüzgar ve deprem için ilave sönümleme

sistemlerinden de yaygın olarak yararlanılmaktadır. Yapının sözkonusu olabilecek tüm rüzgar etkilerini ve en ekstrem deprem düzeyi hariç tüm depremleri elastik sınırlar içinde karşılaması istenmektedir. Tez kapsamında günümüz yüksek yapıları, özellikle taşıyıcı sistemleri ve birleşimleri açısından detaylı olarak föylerde incelenmiştir. Tez, aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır :

Çalışmanın Birinci Bölümünde, çalışmanın amaç ve kapsamı belirtilmiştir.

İkinci Bölümde; yüksek yapıların tanımı, yüksek yapılara geçiş dönemi ve o dönemdeki teknolojik gelişmeler verilmiştir. Dünyada yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin gelişimi ve zaman içindeki istatiksel açıdan değişimleri üzerinde durulmuş, ayrıca Türkiye'deki yapılardan yüksek yapılara geçişe tarihsel olarak kısaca değinilmiştrir.

Üçüncü Bölümde; servis çekirdeği planlaması ve düşey taşıma, etkin yüksek yapı formları, rüzgar ve deprem etkileri, narinlik ve yanal yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması, salınım kontrol sistemleri, yangın koruyucu önlemler ve ani dinamik yükleme sonucu oluşan hasar durumlarını içeren yüksek yapı tasarımına etki eden faktörler incelenmiştir.

Dördüncü Bölümde; yüksek yapılarda güncel yüksek yapıların taşıyıcı sistemleri incelenmiştir. Tüp sistemler, rijit katlı sistemler ve diagrid sistemin çalışma prensipleri, genel özellikleri, rüzgar ve depreme karşı gösterdikleri davranışlar ve detay çözümleri ele alınmıştır.

Beşinci Bölümde; dünyadan güncel yüksek yapı örnekleri incelenmiştir. Yapıların taşıyıcı sistemleri, birleşim detayları ve davranışları incelenmiştir.

Altıncı Bölümde; çalışmada incelenen konulardan varılan sonuçlar sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek yapılarda taşıyıcı sistem, yüksek yapılarda mimari, yüksek yapılarda salınım kontrol, tüp sistem, rijit kat, diagrid sistem.

ABSTRACT

CURRENT DESIGN APPROACHES FOR HIGH RISE BUILDINGS

Neşe ATASOY

Department of Architecture Programme

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Zehra Canan GİRGİN

Historically, to construct the high rise structures became possible by the innovative developments such as deep foundation system, invention of lift and economic production of steel. Especially after the big fire destroying Chicago in the last decade of 19th century, a radical decide had been taken for the transition to high-rise structure. In the first period, while iron and masonry were used together in structural system, afterwards the high-rise structures were started to be built as steel frames. In 1960's the invention of tube systems became to construct possible taller and more economical structures. Tube systems have been commonly applied for a long time. They are still used nowadays in the world but since late 20th century, increasingly growing taller construction aim transformed to iconic structures and a competition to construct the highest one. For this reason, the diagrid systems, supertall structures with core-outriggers-mega frame systems and their dynamic forms come into prominence. While the structural material is only steel in the past, composite structural systems are generally used nowadays. Mixed-use tall buildings instead of office type single-function tall buildings are currently applied. The developments in lift systems, architectural design as well as sustainability concept by energy save/gain are under consideration in current supertall and megatall buildings.

Wind effect is very important in tall buildings and detailed analyses are carried out to minimize the vortex effect through form modifications, to predict max. wind loads and to reduce and control the drift. Performance based design are executed in earthquake

prone areas. Utilization of damper systems is under consideration to control the drift due to wind and earthquake-induced motions. The structure should resist to all the strong winds in the long period and all the possible earthquakes in elastics limits except an extreme earthquake. In this thesis, some current skyscrapers are investigated with structural systems and connection details.

The First Chapter presents the purpose and scope of the study.

In the Second Chapter; the definition of high structures, the transition phases to tall buildings are explained. Furthermore, the development of new structural systems and the developments within time statistically are emphasized. In addition, the historical transition from low-rise to high-rise buildings in Turkey are given.

In the Third Chapter; the factors affecting the design of high rise buildings were discussed. The planning of service core and vertical circulation, building form, wind/earthquake effects, aspect ratio and minimization of drift, damper systems, fire protection in tall buildings and the effects of sudden dynamic loadings topics are focused.

In the Fourth Chapter; the structural systems in tall, supertall and megatall buildings are examined. Structural principles of tube systems (framed tube, bundle tube, tube-in-tube systems), outrigger truss+belt truss systems and diagrid systems are expressed.

Current tall buildings were compared in the Fifth Chapter. Stuctural systems, connection details, wind and earthquake performances are investigated.

Conlucions of the thesis are expressed in the in the Sixth Chapter.

Keywords: Structural system in tall buildings, architectural design in tall buildings, deflection control in tall buildings, tube system, outrigger+belt truss, diagrid system.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Yüksek yapılar, teknolojik gelişmelere paralel olarak, mimari tasarımdan mekanik tasarıma kadar sürekli gelişme içindedir. Doğru form, malzeme, taşıyıcı sistem seçimi, uygun birleşimler ve gerekirse sönümleyiciler ile salınım sınırlandırılarak bugün 800 m yüksekliğinde yapılar inşa edilebilmektedir. Bu çalışmada; geçmişten günümüze yüksek yapılarda, mimari tasarım, düşey taşıma, taşıyıcı sistem düzenlemeleri, birleşimler, yangın ve sürdürülebilir tasarım konuları incelenmiş, ayrıca dünyadan güncel yüksek yapı örnekleri verilmiştir.

Bu araştırma, güncel yüksek yapıların mimari düzenlemesi, deprem ve rüzgar yüklerine karşı alınan önlemler ve taşıyıcı sistem konularını kapsamaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Yüksek yapı tarihinde bir dönüm noktası olan tüp sistemlerin geliştirilmesinin ardından, yüksek yapılar hızlı bir gelişme göstermiştir. Yüksek yapılar dünyada; çelik, betonarme ve kompozit sistem olarak inşa edilmektedir. Dünyada yüksek yapılardaki artış eğiliminin sonucu olarak Türkiye'de de son yıllarda hızlı gelişen bir yüksek yapı sektörü mevcuttur ve genellikle betonarme olarak çekirdek+çerçeve sistem uygulama alanı bulmaktadır; betonarme tüp sistem uygulamaları da mevcuttur. Dünyada ise tüp sistemler halen uygulanmakta; ancak diagrid sistemler, çok yüksek yapılarda rijit katlı sistemler, ve özellikle ikonik yapılarda bu sistemlerin dinamik formlu uygulamaları ön plana çıkmaktadır.

Bu araştırmada; literatür ışığında yüksek yapıların etkin tasarımı incelenmiştir. Yüksek yapılarda, az katlı yapılara göre çok daha kompleks mekanik, mimari ve taşıyıcı sistem düzenlemeleri sözkonusudur. Tezin amacı, Türkiye'deki yüksek yapıların gelişimi açısından, dünyada güncel yapı sistemleri ile teknolojilerinin incelenmesi ve tanıtılmasıdır. Anılan amaçla bu çalışmada; mimari ve taşıyıcı sistem düzenlemeleri, düşey taşıma, narinlik ve yapı stabilitesi, salınım kontrol, sürdürülebilirlik ve yangın üzerine detaylı bir araştırma yapılmış; ayrıca proje bazında farklı güncel taşıyıcı sistem uygulamaları incelenmiştir.

1.3 Hipotez

Bu araştırmada, yüksek yapı kavramı ve tarihsel gelişimi, yüksek yapılarda mimari planlama ve çekirdek çözümleri, salınım ve kontrol, geçmişten günümüze kadar kullanılan farklı taşıyıcı sistemler ve birleşimleri ile bunların günümüzde uygulama bulan örnekleri detaylı incelenmiş, avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur.

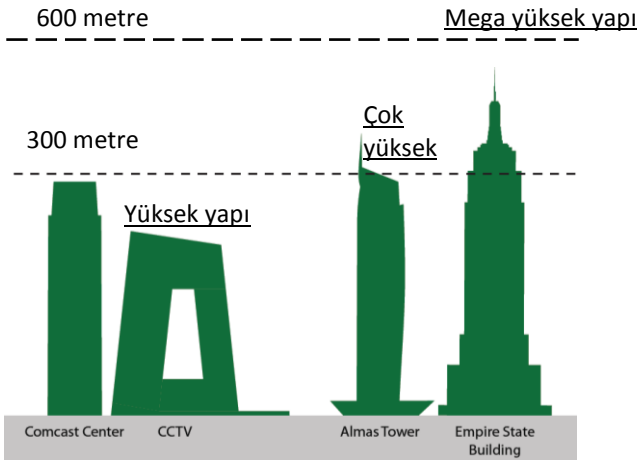
Günümüzde öne çıkan rijit katlı yapılar ve diagrid sistemler ile bunların dinamik formları, özellikle yapısal davranış açısından tercih nedenleri ve uygulama sınır şartları ile araştırılmıştır. Rijit katlı sistemler ile daha yüksek, diagrid sistemler ile daha serbest formların tasarımının mümkün olduğu, sözkonusu sistemler ile daha hafif, düşük salınımlı ve ekonomik çözümler elde edildiği görülmüştür.

BÖLÜM 2

DÜNYADA YÜKSEK YAPILARIN GELİŞİMİ

2.1 Yüksek Yapı Tanımı

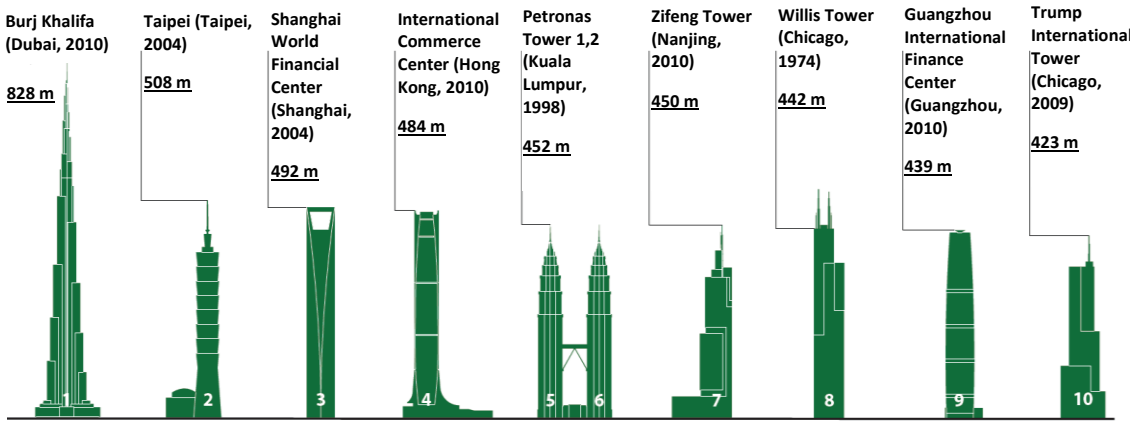
Yapıların hangi yükseklik/kat adedinden sonra yüksek yapı veya gökdelen olarak adlandırılacağına dair genel bir fikir birliği yoktur. Yapı yüksekliklerinde, açık-hava yaya girişinden itibaren, anten ve bayrak direğini ihmal ederek, bina tepesine kadar olan mimari/taşıyıcı sistem yüksekliği esas alınır. CTBUH'a göre, en alt seviyedeki açık-hava yaya girişinden itibaren 14 kat/50 m ve üzeri yapılar, yüksek yapı (*tall building*), 300 m'den yüksek yapılar, çok yüksek yapı (*supertall building*) ve 600 m'den yüksek yapılar ise mega yüksek yapı (*megatall*) olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.1). Emporis Standartları'na göre, 12 kat/35 m ve üzeri yapılar yüksek yapı (*high-rise building*), 100 m ve üzeri çok katlı yapılar gökdelen (*skyscraper*) olarak isimlendirilir [1], [2].



Şekil 2. 1 A Blok görünüm [2]

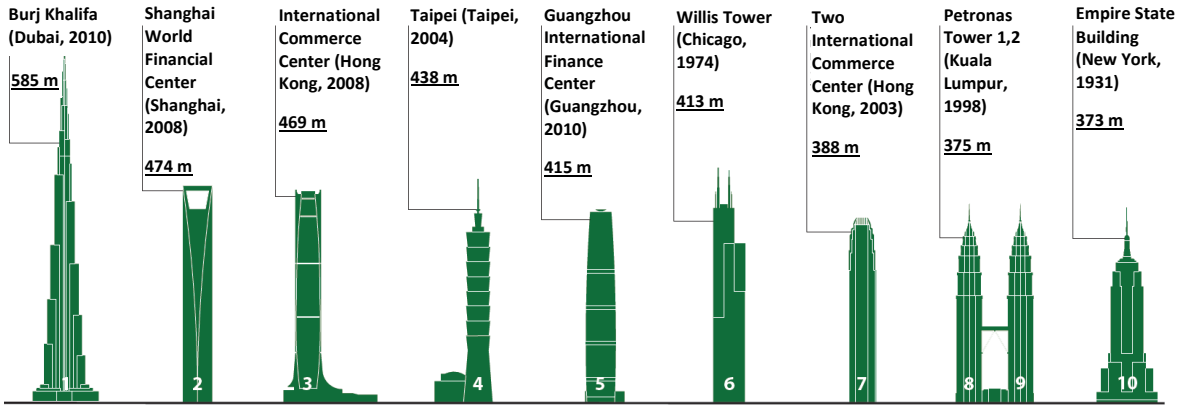
CTBUH'a göre yapı yükseklikleri, *mimari yüksekliğe*, *kullanılan en yüksek kata* ve *yapının en yüksek noktasına göre* üç kategoride sınıflandırılabilir [2]:

• ***Mimari yüksekliğe göre:*** *Y*apının en alçak noktasından (açık-hava yaya girişinden) itibaren, yapının en üst noktasına (kule gibi yükselmek dahil, antenler, bayrak direkleri ve diğer teknik ekipmanlar hariç) kadar olan yüksekliktir (Şekil 2.2) [2].



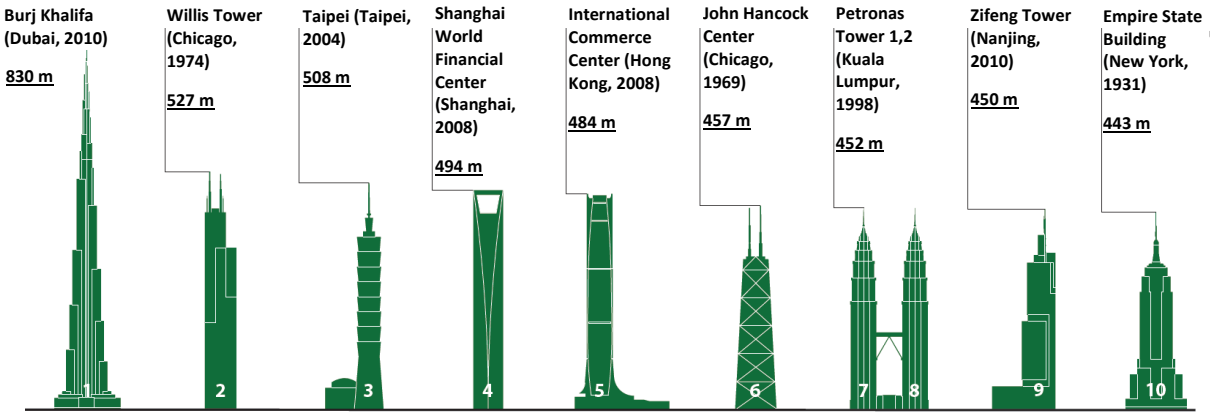
Şekil 2. 2 2011 yılına kadar dünyada bulunan yüksek yapıların mimari yüksekliğe göre yükseklik sınıflandırması [2]

• ***Kullanılan en son kata göre*****:** Yapının en alçak noktasından (açık-hava yaya girişinden) itibaren, yapının kullanılan en son katına kadar olan yüksekliktir (Şekil 2.3) [2].



Şekil 2. 3 2011 yılına kadar dünyada bulunan yüksek yapıların kullanılan en son katına göre yükseklik sınıflandırması [2]

• ***Yapının en yüksek noktasına göre*****:** Yapının en alçak noktasından (açık-hava yaya girişinden) itibaren yapının en yüksek noktasına (antenler, bayrak direkleri ve diğer teknik ekipmanlar dahil) kadar olan yüksekliktir (Şekil 2.4) [2].

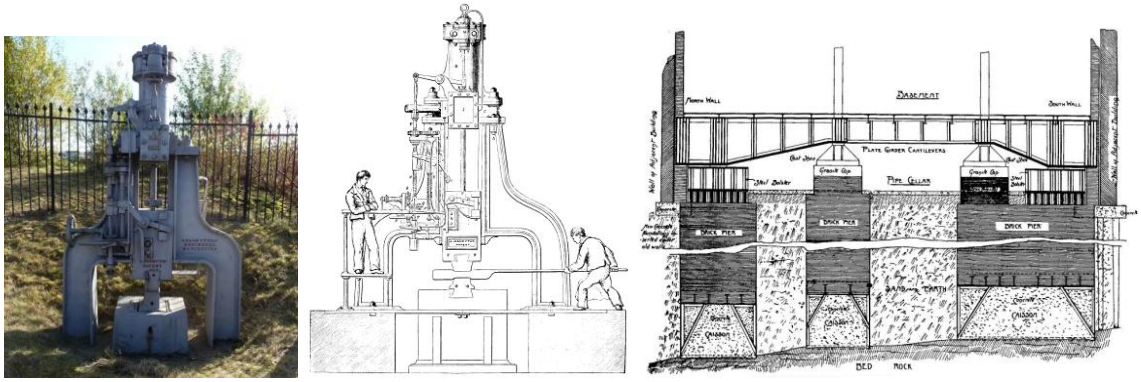


Şekil 2. 4 2011 yılına kadar dünyada bulunan yüksek yapıların en yüksek noktasına göre yükseklik sınıflandırması [2]

2.2 Yüksek Yapılara Geçiş Evresi

Yüksek yapıların ortaya çıkışı; ekonomik, kültürel ve sosyal nedenler ile doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda teknolojik gelişmelerin hızlı bir şekilde ortaya çıkması ile yüksek yapı tasarımı ve uygulaması başlamıştır.

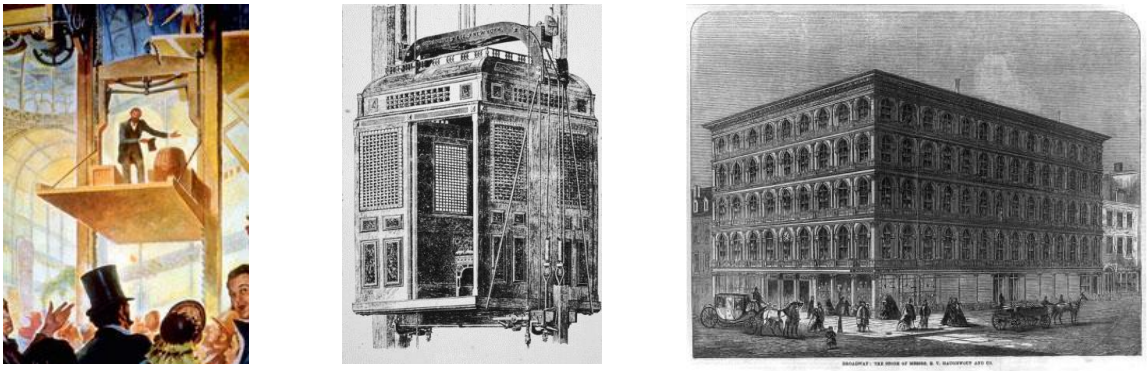
İlk gelişmelerden bir tanesi, derin temel kullanımında olmuştur[1]. Modern derin temel prensipleri ve detaylarının geliştirilmesi, James Nasmyt (1808-1890) tarafından **1843** yılında olmuştur. Buharla kazık çukuru açma sistemi (21 m derinliğe 5 dk'da inilmiştir) ile zayıf taşıma kapasiteli zeminlerde derin temelli yüksek yapı inşaatı uygulamasını mümkün kılmıştır (Şekil 2.5) [3], [4].



Şekil 2. 5 Nasmyt'in derin çukur kazma makinası ve yüksek yapılarda kullanılan ilk derin temel örneği (1898) [4], [5], [6]

[1] İlk kullanımının, Roma İmparatorluğu döneminde olduğu ve Vitruvious (M.Ö 59) tarafından detaylarının çizildiği bilinmektedir.

Yüksek yapıların gelişiminde diğer bir önemli adım, asansörün taşıma aracı olarak kullanılmaya başlanmasıdır[1]. **1854**'de Elisha Graves Otis (1811-1861) tarafında, konforlu yolcu asansörünün ilk tasarımı (platform üzerinden ipler ile kontrol edilen asansör) tanıtılmıştır (Şekil 2.6). Geliştirilen asansör ilk defa, 5 katlı *E.V. Haughwout Building* (New York, 1857) yapısında kullanılmıştır (Şekil 2.6). Almanya'da Werner von Siemens firmasının ilk elektrikli asansörü geliştirmesi (1880), yüksek yapı tarihinde çok önemli bir rol oynamıştır [7], [8]. Ayrıca, Bessemer Konventörünün geliştirilmesiyle (**1856**) çeliğin ekonomik biçimde üretilmesi mümkün olmuştur.



Şekil 2. 6 Otis kardeşler tarafından önerilen yolcu asansörü ve E. V. Haughwout Building (New York, 1857) [8], [9], [10]

Chicago yangını **(1871),** farklı bir yön kazandırması açısından yüksek yapı tarihinde önemli bir yere sahiptir (Şekil 2.7). Bu yangında, 9 km^2 çapında alan yok olmuş ve yüzlerce kişi hayatını kaybetmiştir. Şehirde bulunan çok sayıda ahşap yapı, yangının büyümesine neden olmuştur [11]. Yangından sonra şehir, tekrar yapılanma dönemine geçmiştir. Şehir merkezinde ofis ihtiyacı, ekonomik barınma olanakları ve arsa fiyatlarındaki artış; yapıların daha hızlı, ekonomik ve yeni taşıyıcı sistemler ile inşa edilmesine neden olmuştur. Yeni yapılar, yangına dayanıklı demir-çelik iskeletli ve çok katlı olarak inşa edilmeye başlanmıştır.

[1] 1850'de Henry Waterman, ilk karşıt ağırlıklı asansörü icad etmiştir.

Şekil 2. 7 Temsili büyük Chicago yangını (1871) [12]

Bu gelişmeler, yüksek yapı sistemlerinin inşa edilebilmesine olanak sağlanmıştır. Yüksek yapıların tarihsel sürecinde taşıyıcı sistemlerdeki gelişimin önemi büyüktür. Dolayısıyla, bu bölümde kısaca anlatılan yüksek yapılarda taşıyıcı sistemin gelişimi konusu 4. Bölümde detaylı olarak incelenecektir.

2.3 Dünya'da Yüksek Yapıların Taşıyıcı Sistem Gelişimi

Dünya'da oluşan ekonomik krizler ve buna bağlı yüksek yapı inşaat patlamalarına göre yüksek yapı tarihi, üç dönemde incelenmektedir. Sözkonusu dönemlerin anlatımı, [1], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32] ve [33] kaynaklarından yararlanılarak oluşturulmuştur.

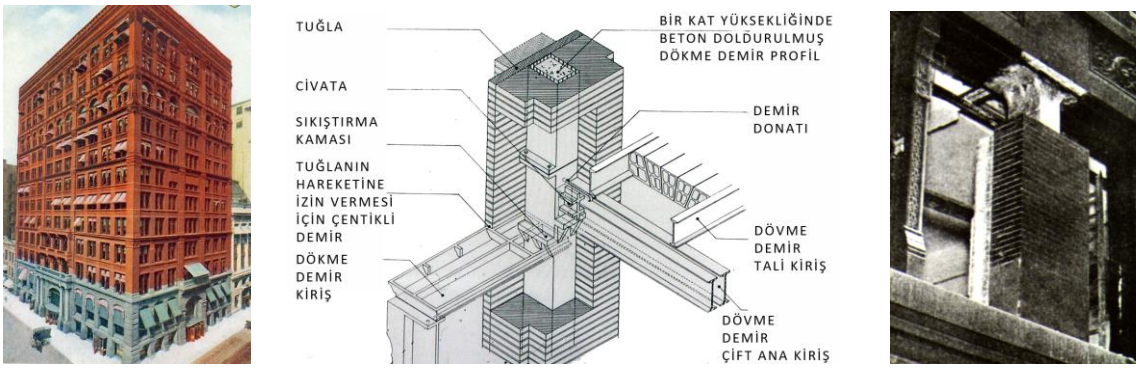
• Yığma yapının yerine, yapısal çelik çerçeve sistemin yığma yapı içinde kullanılmasıyla *Birinci Dönem* **(1880-1940)** başlamıştır. Bu dönemde çelik çerçeve, perçinli çelik birleşimler, çelik çaprazlı çerçeve sistemler gelişme göstermiştir. Yüksek yapılar, **19**. **yy'**daki hızlı ekonomik büyüme ve artan nüfus yoğunluğu nedeniyle özellikle A.B.D'de gelişme göstermiştir.

İlk yüksek yapı, yapısal çelik[1] ile ilk defa uygulanan; 55 m yüksekliğinde, 12 katlı, *Home Insurance Building*[2] (Chicago, **1884**-1931)'dir. Yapıda, ağırlıklı olarak dökme ve dövme

[1] Yapısal çelik, ana bileşen olan demir ile; karbon, silisyum, manganez, alüminyum, bakır, krom, nikel, molibden, bor, vanadiyum, vb. gibi minör elementlerden oluşur. Bu minör elementlerin tipleri ve oranları çelik cinsine göre değişir. En önemlisi olan karbon; çeliğin dayanımı ve sertliğini arttırırken sünekliğini azaltır, bu nedenle karbon yüzdesi % 0.2-2.1 ile sınırlandırılmıştır.

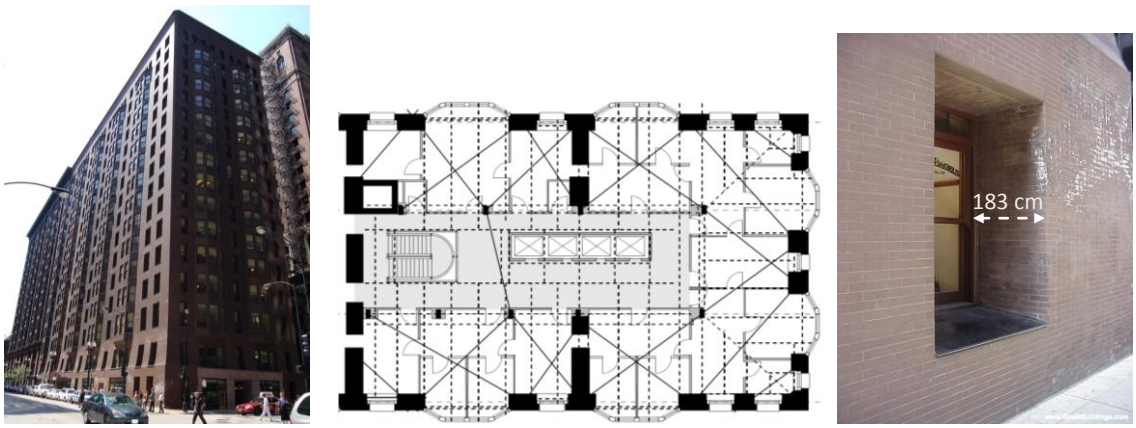
[2] Dökme demir kolonlar ve hadde dövme demir kirişler 6. kata kadar iskelet sistemi oluştururken, 7-10. katlar arasında çelik kirişler kullanılmıştır. Yapıya etkiyen yatay yüklerin büyük bölümünü ilk iki katı oluşturan granit blok ve tuğla duvarlar taşımaktadır.

demir olsa da yapısal çeliğin kullanıldığı ilk yapı olmuştur. Böylece yapının ağırlığı, aynı yükseklikteki bir yığma yapıya göre üçte iki oranında azalmıştır (Şekil 2.8).



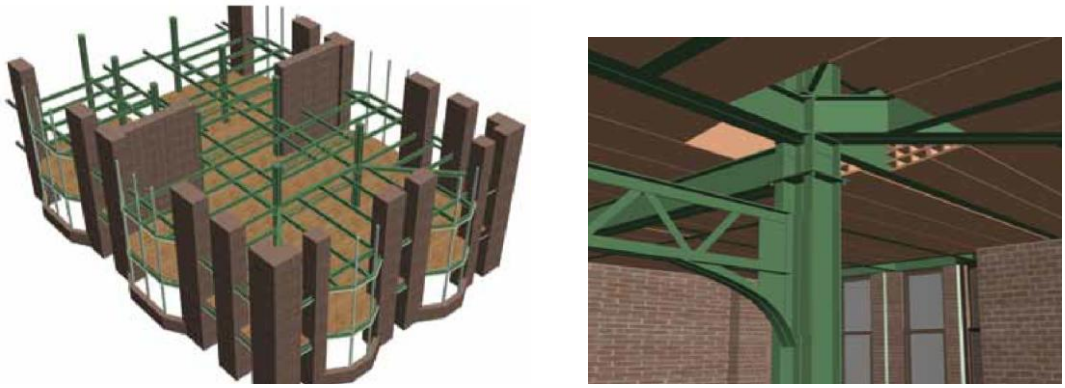
Şekil 2. 8 Home Insurance Building (Chicago, 1885, yıkım-1931) [34], [35], [36]

Yığma sistemli ilk en yüksek yapı 65 m yüksekliğinde, 16 katlı *Monadnock* (Chicago, **1891**) yapısıdır (Şekil 2.9 ve 2.10). Taşıyıcı tuğla duvar kısımlar[1] , alt katta 183 cm, üst katlarda ise 46 cm genişliğindedir. Rüzgar etkisine karşı demir kolon, kiriş ve çaprazları ile çerçeve düzeninde desteklenmiştir, dolayısıyla karma bir sistemdir. Yapı, inşa edildikten sonra, Chicago'nun zayıf zemin özelliklerine dayanamayarak ilk önce 20 cm, daha sonra zemin kotundan toplam 71 cm aşağıya gömülmüştür. Devamında yine Chicago'da benzer biçimde yapılan başka yapıların da zemin şartlarına dayanamaması bu yapı tipinin sonunu hazırlamıştır.



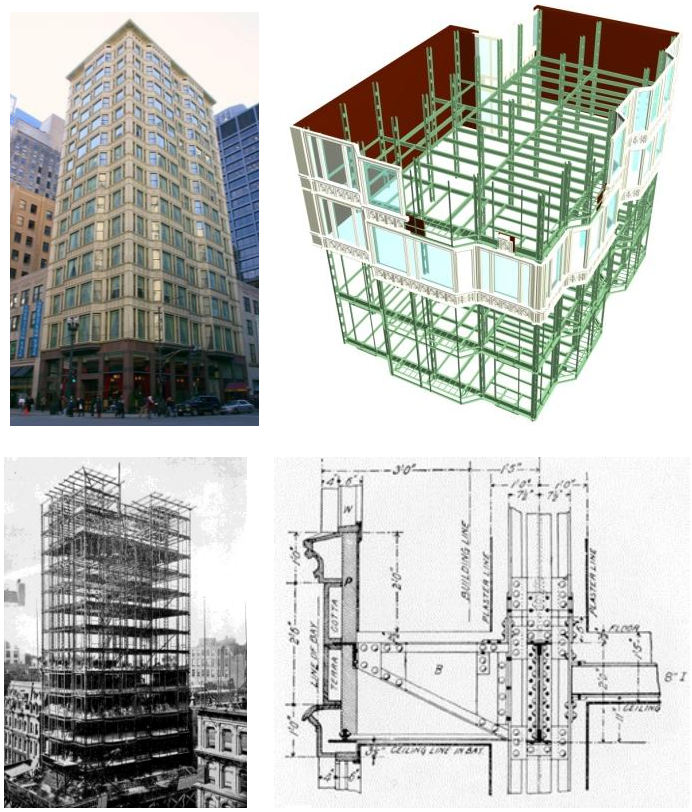
Şekil 2. 9 Monadnock Building (Chicago, 1889-1893), 8. kısmi kat planı ve görünüşleri [37], [38], [22]

[1] Yığma yapıda yatay ve düşey yükler, yapay yada doğal blokların bir bağlayıcı harç ile oluşturdukları duvarlar ile taşınır. Çekme dayanımının çok düşük olması sonucu çekme gerilmelerinin en az düzeyde tutulması gerekliliği nedeniyle yapı ağırlığının fazlalığı, büyük temel sistemi ihtiyacı ve alt katlardaki duvar kalınlığının fazlalığı nedeniyle kullanılabilir alanın azalması bu sistemin en önemli sakıncalarıdır.



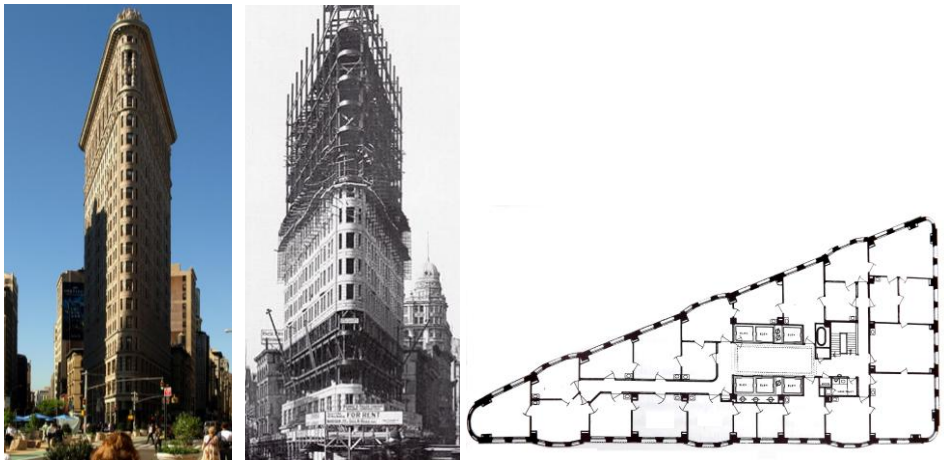
Şekil 2. 10 Monadnock Building (Chicago, 1889-1893) iç mekan modellemesi [22]

Yüksek yapı tarihinde, tamamı yapısal çelik çerçeve olup cam cephenin ilk defa kullanımı, *Reliance Building* (Chicago, **1895**)'dir. Günümüze kadar ulaşmış olan yapı, 15 katlı ve 61.6 m yüksekliğindedir (Şekil 2.11).



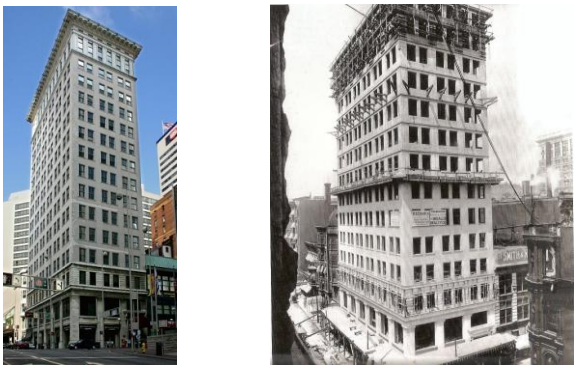
Şekil 2. 11 The Reliance Building (Chicago, 1895) [39], [40], [41], [42]

86.8 m yüksekliğinde ve 22 katlı *Flatiron Building* (Manhattan, 1902) yapısı, çekirdek yerleşimi ile mondern yüksek yapı tanımının ilk örneği olmuştur (Şekil 2.12). İlk çelik iskeletli yapılardan bir tanesi olup birleşimler perçinlidir.



Şekil 2. 12 Flatiron Building (Manhattan, 1902) [43]

Betonarme ilk yüksek yapı, 15 katlı *Ingalls Building* (Cincinnati, **1903**)'dir[1]. Betonarme tercihinin nedeni, çeliğe göre daha ucuz ve yangına dayanıklı olmasıdır. Bu yapı, yüksek yapıların betonarme olabilirliği konusundaki tabuları yıkmıştır (Şekil 2.13).

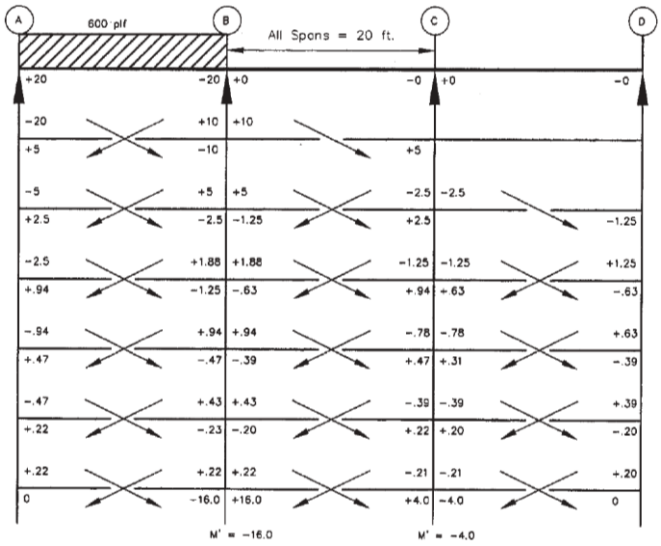


Şekil 2. 13 Ingalls Building (Cincinnati, 1903) [44], [45]

Yapı mühendisi Hardy Cross (1885-1959), yüksek yapı tarihinde önemli bir yere sahiptir. **1930**'lu yıllarda taşıyıcı sistemlerin statik analizi için, pratik elle hesap yöntemi geliştirmiş[2] ve böylece yüksek yapıda oluşacak kesit tesirleri ve yerdeğiştirmeleri hesaplamak daha kolay hale gelmeye başlamıştır. Bu yöntem 1935-1960 yıllarında yüksek yapıların güvenli tasarımı için aktif şekilde kullanım bulmuştur (Şekil 2.14).

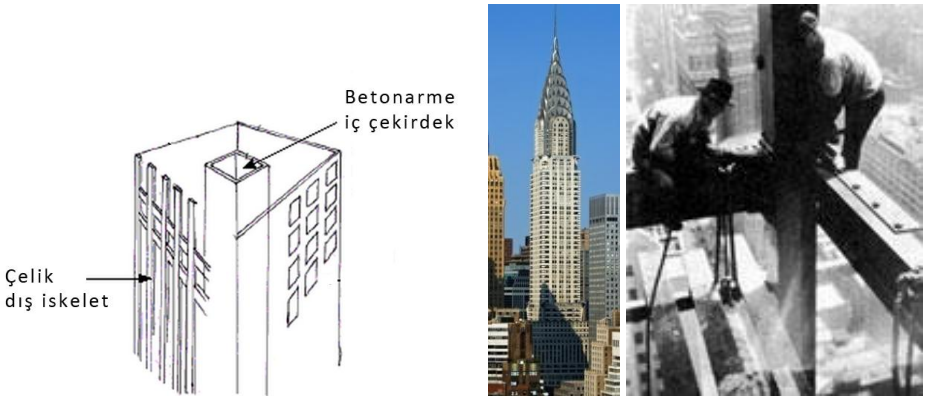
[1] Kare kesitli nervürlü donatılar kullanılmıştır, betonarme dış perde duvar kalınlığı 200 mm'dir. İlk on kat için 760x860 mm, üst katlarda ise 300x300 mm boyutlarında kare kesitli kolonlar kullanılmıştır.

[2] *Analysis of Continuous Frames by Distributing Fixed-End Moment* isimli 10 sayfalık elle analiz kitapçığı ile tanıtmıştır.



Şekil 2. 14 Hardy Cross'un Moment Dağıtım Yöntemi için tipik bir uygulama [46]

282 m yüksekliğinde, 77 katlı *Chrysler Building* (New York, **1930**)[1], çelik çerçeve sistem ve betonarme çekirdeğin birlikte kullanıldığı ilk yüksek yapılardandır (Şekil 2.15).

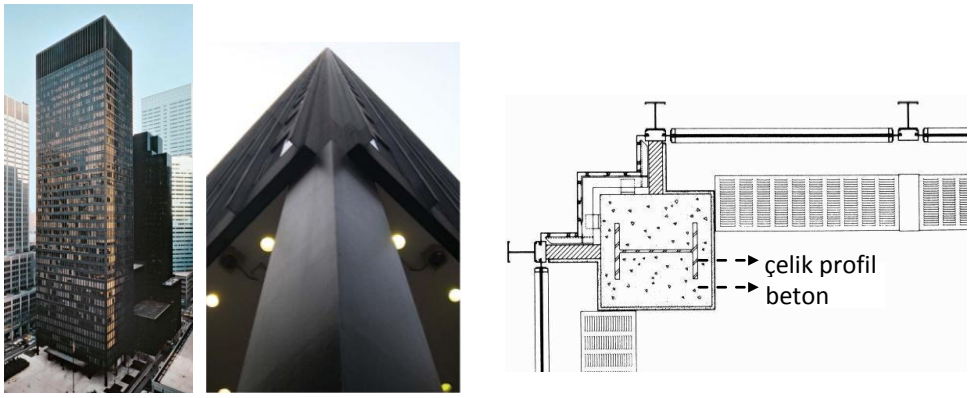


Şekil 2. 15 Chrysler Building (New York, 1930) [19], [47]

• *İkinci Dönem* **(1940-1980)**, II. Dünya Savaşı ve ekonomik krizlerin yaşandığı bir dönem olmuştur. Buna rağmen; çerçeve tüp, kafes tüp, demet tüp, tüp içinde tüp ve rijit katlı sistemlerinin keşfedildiği ve yüksek yapı inşaatlarının sayıca ve yükseklik olarak arttığı bir dönem olmuştur.

Kompozit kolonun ve yüksek dayanımlı bulonun ilk kullanıldığı yapılardan biri, 157 m yüksekliğinde 38 katlı, *Seagram Building* (New York, **1958**)'dir (Şekil 2.16).

[1] İç kısımda betonarme çekirdek, dış kısımda çelik çerçeve sistem mevcuttur.



Şekil 2. 16 Seagram Building (New York, 1958) ve kompozit kolon detayı [48]

Bu dönemdeki en önemli gelişme, **Dr. Fazlur Khan**'ın (1929-1982) **1961**'de yüksek yapılar için yeni bir taşıyıcı sistem tipi geliştirmiş olmasıdır. *Tüp sistem (Framed tube system)* olarak isimlendirdiği taşıyıcı sistem ile kolonları yapının dış cephesine toplamış, böylece çekirdek ile dış kolonlar arasında düşey taşıyıcı elemanların olmadığı, iç kısmı ferah ve serbest yüksek yapı tasarımı gerçekleştirmiştir. Bu yeni sistemi ilk defa, 1963'de inşaatına başlanan, 120 m yüksekliğinde, 43 katlı betonarme *DeWitt Chestnut Apartment*'da (Chicago) uygulanmıştır (Şekil 2.17.a). Dış kolonların 1.6 m aks aralıkları ile sıralandığı yapıda, kirişler 0.6 m yüksekliğindedir. Khan, daha sonra, tüp içinde tüp (1965), kafes tüp sistem (1970) ve demet tüp sistemi (1973) geliştirmiştir.

1960'lar yüksek dayanımlı betonun kullanılmaya başlandığı yıllardır. Dönemin en yüksek dayanımlı betonu (C40), 180 m yüksekliğinde, 55 katlı, *1000 Lake Shore Drive'*un (Chicago, 1964) alt katlarında kullanılmıştır (Şekil 2.17.b). Daha sonra *The Water Place* (Chicago, 1976) yapısında ise C60 kullanılmıştır (Şekil 2.17.c).

(a) (b) (c)

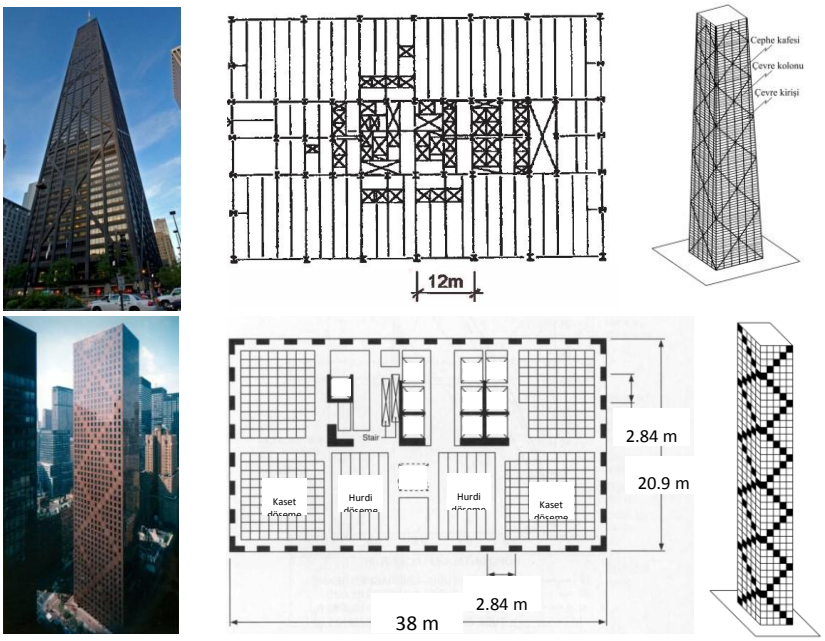
Şekil 2. 17 (a) DeWitt Chestnut Apartment (Chicago, 1965), (b) 1000 Lake Shore Drive (Chicago, 1964) ve (c) The Water Place (Chicago, 1976) [49], [50], [51]

1960-1970'lerde yüksek yapıların analizi, tasarımı ve uygulaması konularında yeni gelişmeler olmuştur. The Cray Computer tarafından geliştirilen yeni yöntemler sayesinde, *John Hancock* (Chicago, 1969) ve *Sears Tower* (Chicago, 1973) gibi yeni taşıyıcı sistemli yapıların değerlendirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, ön üretimli elemanlar ve modüler yapı çerçeve sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Rüzgar mühendisliği alanında Western Ontario Üniversitesinden A. Davenport ve N. Isyumov, yüksek yapılarda rüzgar etkisini azaltacak çalışmalar gerçekleştirmiştir. Diğer önemli bir gelişme, geoteknik mühendisliği alanında, C. Baker tarafından zayıf zeminler için uygun temel sistemlerinin geliştirilmesi olmuştur.

F. Khan tarafından **1970**'lerin başlarında geliştirilen *kafes tüp sistem* ile daha yüksek yapıları daha ekonomik biçimde inşa etmek mümkün olmuştur. Böylece ilk defa bu sistem kullanılarak, *John Hancock Center* (Chicago, **1970**)[1] ile 344 m yükseklik ve 100 kata ulaşılmıştır (Şekil 2.18.a). Kafes tüp çelik yapılar, sonraları betonarme olarak da denenmiştir. 173 m yüksekliğinde 50 katlı, *780 Third Avenue* (New York, 1983)[2], kafes tüp sistem ile betonarme olarak inşa edilmiş ilk yapıdır (Şekil 2.18.b).

(a)

(b)

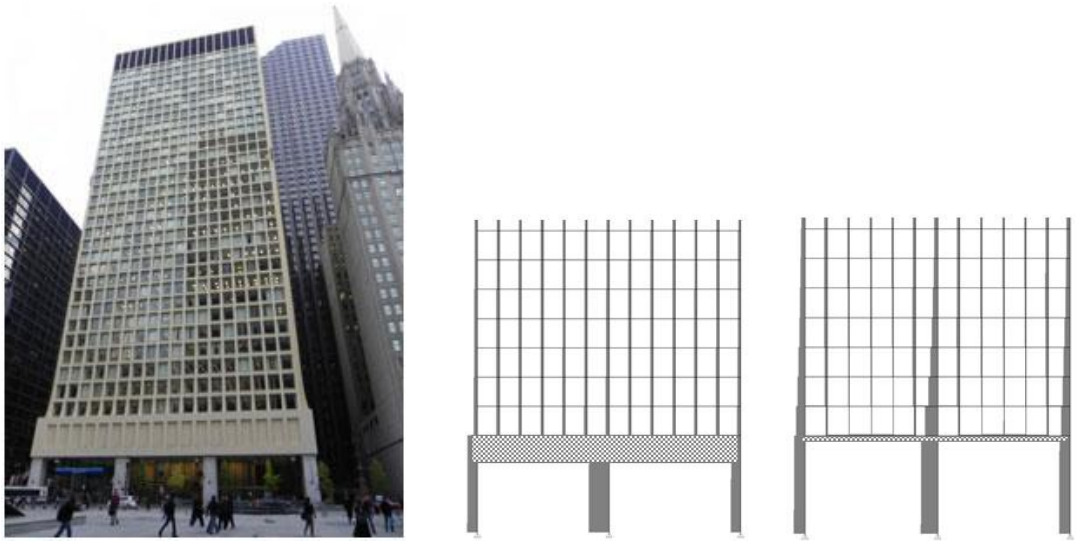


Şekil 2. 18 (a) John Hancock Center (Chicago, 1970, (b) 780 Third Avenue (New York, 1983) [52], [53], [54], [55]

[1] Grade 250 çeliği kullanılmıştır. Taşıyıcı sistemin tüm elemanları, yapma kesitli I profildir. En kalın plaka 152 mm ve en büyük kolon boyutu da 915x915 mm'dir.

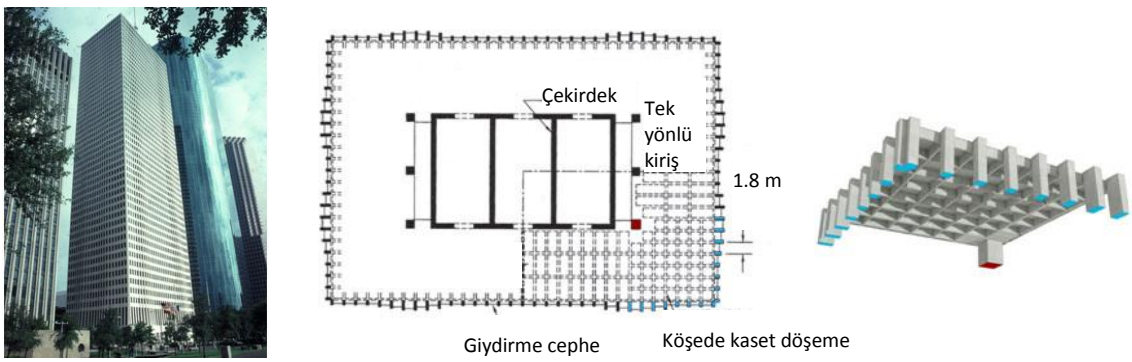
[2] Çevre kolonlar, alt katlarda 610x475 mm, üst katlarda 406x356 mm'dir.

DeWitt Chestnut Apartment'ın ardından, 1964'de inşaatına başlanan betonarme 35 katlı, *Brunswick Building* (Chicago)'da iç mekanların ofis olarak değerlendirilecek olması ve açık alanlar istenmesi üzerine Khan, yapıyı *tüp içinde tüp* ismini verdiği yeni sistem ile tasarlamıştır. Sık aralıklı kolonlar dış tüpü oluştururken, çekirdekteki betonarme perde duvarlar iç tüpü meydana getirmiştir. Cephede 2.84 m aralıklı kolonlar, zemin kat seviyesinde transfer kirişi ile sayıca azaltılmış, zemin kat 15.5 m aralıklı kolonlar ile geçilmiştir (Şekil 2.19).



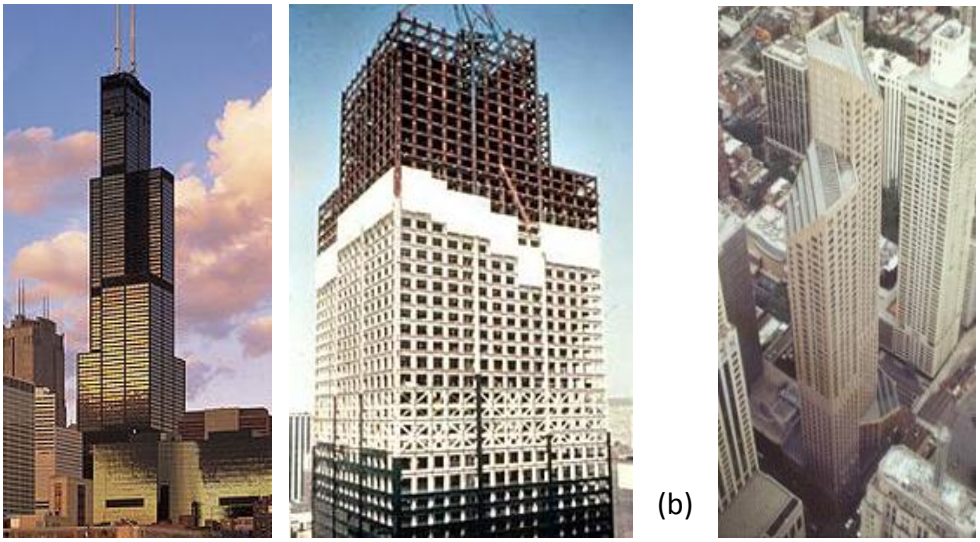
Şekil 2. 19 Brunswick Building (Chicago, 1965) ve 7.2 m yüksekliğindeki transfer kirişine gelen normal kuvvetlerin değişimi [25]

52 katlı *One Shell Plaza* (Houston, **1971**), hafif agregalı beton (C40) ile inşa edilmiştir. O dönem dünyadaki en yüksek betonarme yapılardan biri olan yapı, tüp içinde tüp sistemin ilk örneklerindendir (Şekil 2.20). Yapı, aynı zamanda halen hafif agreganın kullanıldığı en yüksek yapıdır.



Şekil 2. 20 One Shell Plaza (Houston, 1971) [26]

Khan tarafından geliştirilen diğer bir tüp sistem çeşidi, farklı modüler çerçeve tüp sistemlerin bir araya geldiği *demet tüp sistemdir*. Demet tüp sistemin yüksek yapılarda ilk uygulaması, 108 katlı 442.1 m yüksekliğinde, çelik, *Sears Tower* (Chicago, **1973**) yapısıdır (Şekil 2.21.a). Betonarme olarak tasarlanan ilk örneklerden biri ise, 57 katlı, 205 m yüksekliğindeki *One Magnificent Mile* (Chicago, 1983)'dır (Şekil 2.21.b).

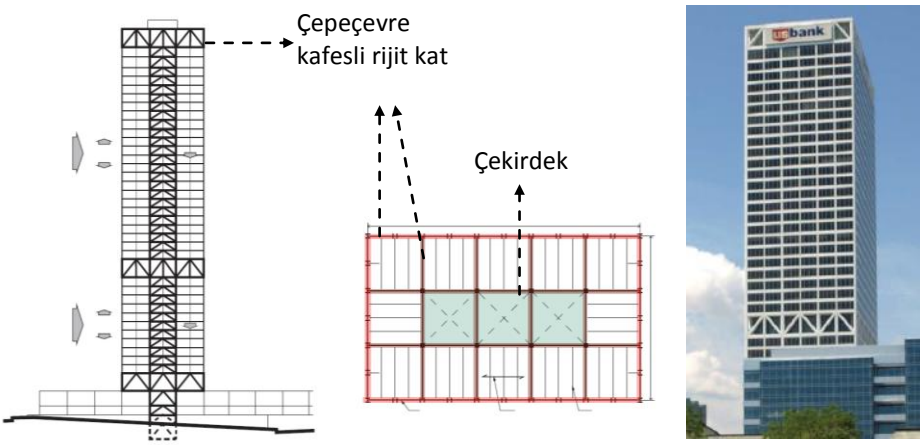
(a)  (b)

Şekil 2. 21 (a) Sears Tower (Chicago, 1973), (b) One Magnificent Mile (Chicago, 1983) [56], [57], [18]

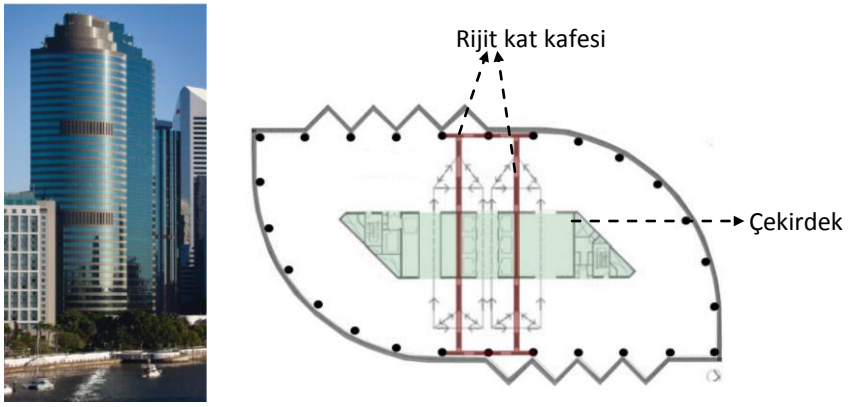
Yüksek yapılarda yanal yerdeğiştirmeyi azaltarak kat sayısını arttırmayı amaçlayan diğer bir sistem, bir veya birden fazla kata kafes sistemlerin eklendiği *rijit katlı sistem*lerdir (Şekil 2.22). Rijit katın ilk uygulamalarında, rijit kat kafesi (*outrigger truss*)+çepeçevre kafes (*belt truss*) birlikte uygulanmıştır. 183 m yüksekliğinde, 42 katlı çelik, *U.S Bank Center* (Milwaukee, **1973**) ilk örneklerindendir (Şekil 2.23). 162 m yüksekliğinde, 40 katlı betonarme, *Waterfront Palace* (Brisbane, Australia, 1990) ise, rijit kat kafesinin tek başına uygulandığı ilk yapılardan olmuştur[1] (Şekil 2.24).

[1] Son 40 yılda yüksek yapılarda kullanılmasına rağmen, tarihte kullanımı çok eskilere dayanır. Yelkenlilerin direklerinde rüzgar etkisine karşı kullanılmıştır. Yüksek yapılardaki çekirdek, yelkenli direğine benzetilebilir. Rijit katın kafes sistemi, yelkenlilerdeki gibi, çekirdeğe gelen momenti kuvvet çifti olarak (basınç ve çekme) çevre kolonlara aktarmaktadır, aksi durumda çekirdek ankastre konsol çubuk gibi çalışacaktır.

Şekil 2. 22 Rijit kat ve çalışma prensibi [58], [27]



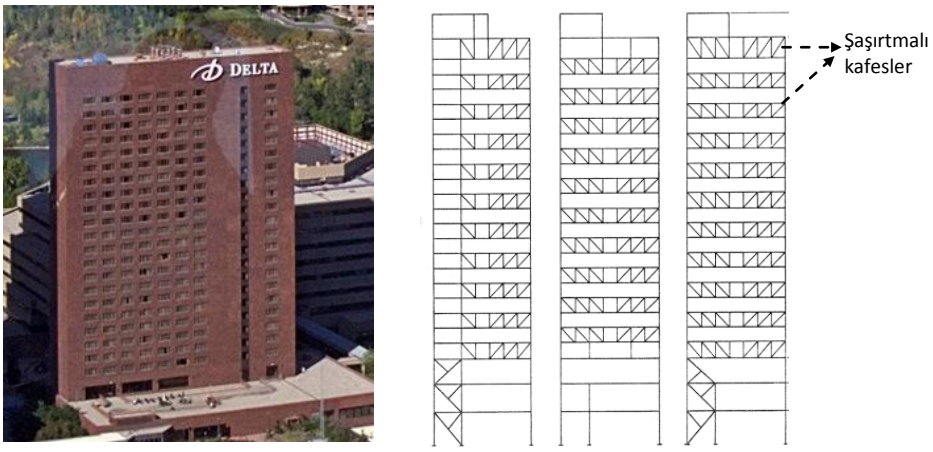
Şekil 2. 23 U.S Bank Center, boykesit ve planı (Milwaukee, 1973) [27]



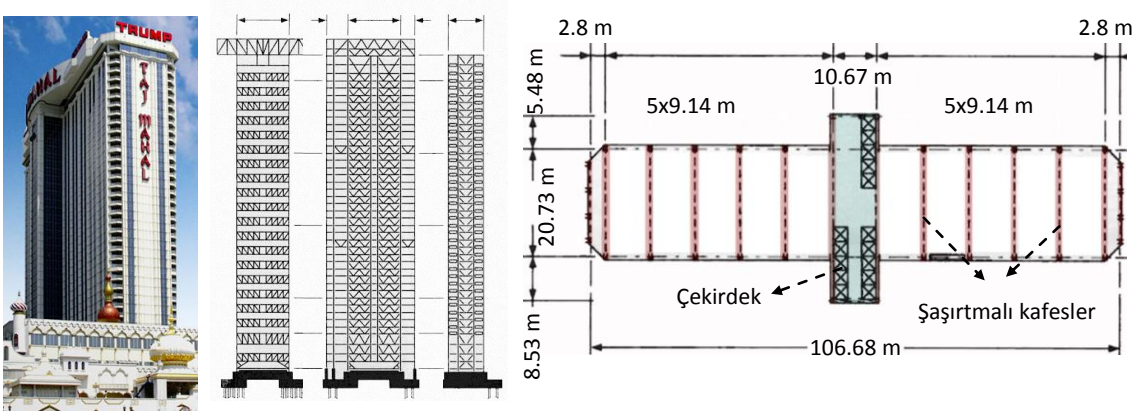
Şekil 2. 24 Waterfront Palace ve planı (Brisbane, 1990) [27]

Şaşırtmalı kafes sistemin (*staggered truss*) ortaya çıkışı, 1960'lı yıllarda MIT'in orta yükseklikteki yapılar için geliştirdiği ekonomik bir çözüm yöntemi ile olmuştur. Yüksek yapılardaki ilk uygulamalarından birisi, 25 katlı ve 98 m yüksekliğinde *Delta Bow Valley*

Inn (Calgary, **1980**)[1] olmuştur (Şekil 2.25). 42 katlı, 128 m yüksekliğindeki *Taj Mahal Hotel* (Mumbai, 1990) (Şekil 2.26) ve Edminton'daki bazı oteller, ilk kullanıldığı yapılar arasındadır.



Şekil 2. 25 Delta Bow Valley Otel görünüş ve boykesitleri (Calgary, 1980) [59], [29]

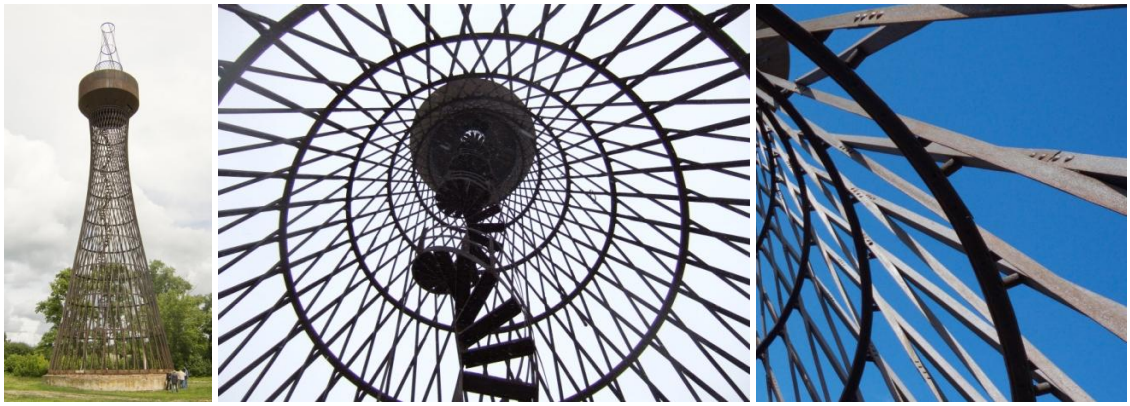


Şekil 2. 26 Taj Mahal Hotel (Mumbai, 1990), boykesit ve planı [60], [21], [31]

Yüksek yapılarda, çaprazların yanal rijitliğe olan katkısı daha iyi anlaşılmış, merkezi ve dış merkez çapraz uygulamaları yapılmıştır. Taşıyıcı sistemi cephede konumlandırılmış, *diagrid sistem* olarak isimlendirilen yeni bir sistemin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Diagrid sistem, yüksek yapılar için yeni bir sistem olmasına rağmen, kullanımı eski yıllara kadar uzanmaktadır. Yüksek yapıda ilk çapraz kullanımı, Rus mühendis Vladimir Shukov (1853-1939) tarafından gerçekleştirilmiştir. Tasarlayıp inşa ettiği, 37 m

[1] Merkeze yerleştirilmiş çekirdek, 8.23 m uzunluğunda ön üretimli döşeme elemanları ve çelik çerçeve sistemden oluşmuştur. Kafes açıklığı, 16 m olup, merdiven çevresinde 11.4 m'ye kadar düşmektedir. Şaşırtmalı kafes sistemin çaprazları, boru kesitli seçilmiş, alt ve üst başlıklarında W250 profili kullanılmıştır, birleşimleri kaynaklıdır.

yüksekliğinde, çelik hiperboloid formdaki *Shukov Tower* (Polibino, 1896) mühendis ve mimarlar için ilham kaynağı olmuştur (Şekil 2.27). 20. yüzyılda Diagrid sistemin yeniden keşfi, bu dönemin en önemli gelişmelerinden olmuştur. Günümüz yapılarındaki ilk örneği, Curtis&Davis'in tasarımı, 13 katlı *IBM Building* (Pitsburg, 1960)'dir (Şekil 2.28.b).



Şekil 2. 27 Shukov Tower (Polibino, 1896) [61], [62], [63]

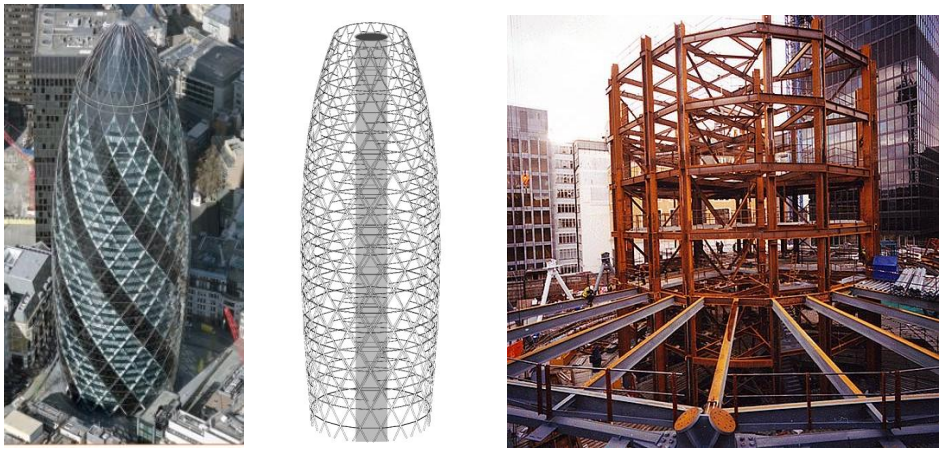
- *Üçüncü Dönem* **(1980-Günümüz)** yüksek yapılarda; taşıyıcı sistem malzemelerinin mekanik büyüklüklerinde artışların olduğu, statik hesapların bilgisayar programı ile yapıldığı, salınım kontrol uygulamalarının geliştiği, ön tasarımda rüzgar tüneli testlerinden yararlanıldığı bir dönem olmuştur; aerodinamik davranış belirlenerek yapılar bu yönde şekillendirilmiştir.

(a) (b)

Şekil 2. 28 (a) Sir Norman Foster tarafından Humana Headquarters yarışması için tasarlanan yapı, (b) *IBM Building* (Pittsburgh, 1960) [64], [28]

Diagrid sistemin günümüzdeki formu, yüksek yapılarda ilk defa **1980**'lerde Sir Norman Foster tarafından, *Humana Headquarters* Yarışması'nda önerilmiştir (Şekil 2.28.a).

2000'li yıllarda ise, 180 m yüksekliğinde, 41 katlı *Swiss Re Building* (London, 2004) çelik sistem olarak inşa edilmiştir (Şekil 2.29) (Ayrıca Bkz. Bölüm 5).



Şekil 2. 29 Swiss Re Building (London, 2004) [65], [66]

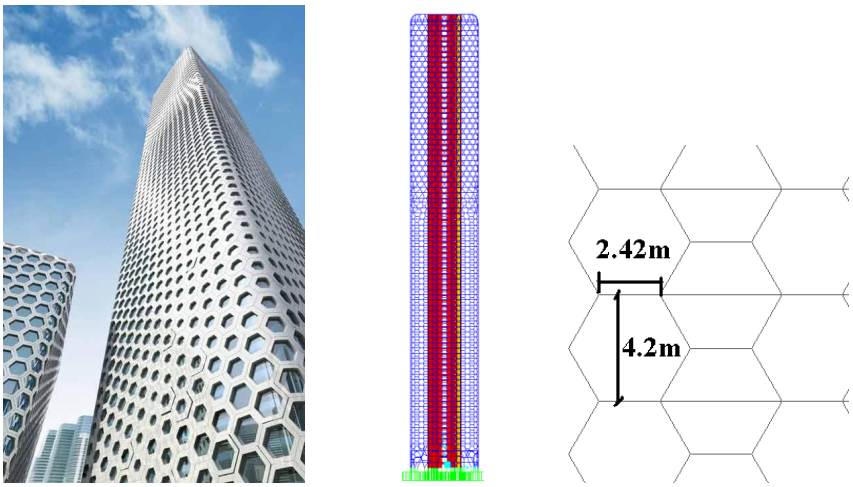
Diagrid sistem ile inşa edilmiş diğer önemli yapılar, 183 m yüksekliğinde, 46 katlı *Hearst Tower* (New York, 2006); 438.6 m yüksekliğinde, 103 katlı olan *Guangzhou Financial Tower* (Guangzhou, 2010); 160 m yüksekliğinde 35 katlı *Capital Gate* (Abu Dhabi, 2011) ve 600 m yüksekliğinde 37 katlı, *Canton Tower* (Guangzhou, 2010)'dır (Şekil 2.30.a, b, c ve d) (Ayıca Bkz. Bölüm 5).

(a) (b) (c) (d)

Şekil 2. 30 (a) Hearst Tower (New York, 2006), (b) Guangzhou Financial Tower (Guangzhou, 2010), (c) Capital Gate (Abu Dhabi, 2011), (d) Canton Tower (Guangzhou, 2010) [67], [68], [69], [70]

Yüksek yapılarda son geliştirilen sistem, *Hexagrid Sistem*'dir. Hexagrid sistem, diagrid sistemin üçgen birimleri yerine, altıgen birimlerin cephede konumlanması ile oluşturulur. İlk tasarımı ve uygulamaya başlaması 83 katlı 358 m yüksekliğinde, *Sino Steel Tower* (Tianjin, inşaat aşamasında)'dır (Şekil 2.31). Yapı, merkezde bulunan

betonarme çekirdek ve cephede çelik altıgen birimlerden oluşmaktadır. Taşıyıcı sistem açısından diagrid sistem kadar etkin olmasa da daha fazla ışık ve engelsiz alan, estetik görünüm, cephede standart cam boyutları gibi avantajları vardır.

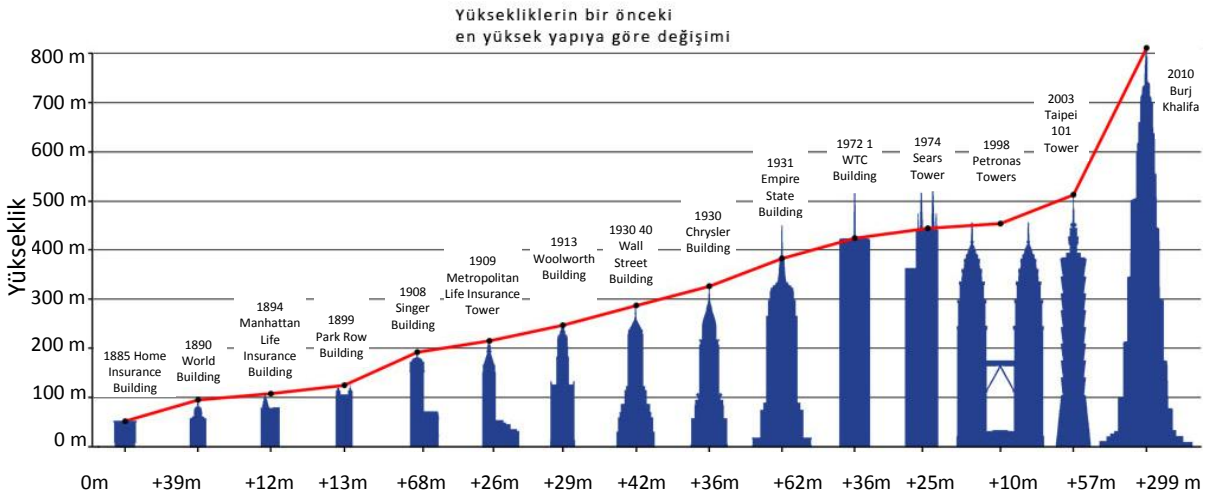


Şekil 2. 31 Sino Steel International Plaza (Tianjin) [33]

2.4 Yüksek Yapı Tasarımında Zaman İçindeki İstatiksel Değişimler

Yüksek yapı tarihi, *Home Insurance Building* (Chicago, 1885) yapısının inşa edilmesiyle başlamıştır. Bu tarihten itibaren günümüze kadar yükseklik oldukça artmıştır.

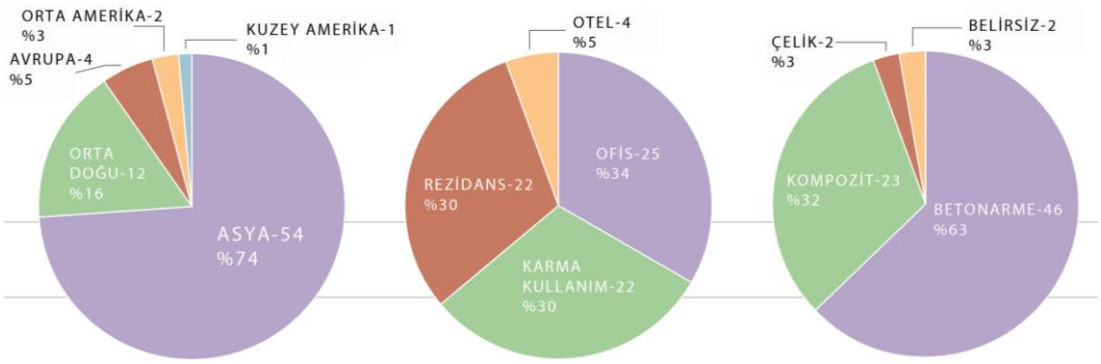
Çelik ve betonarme olarak inşa edilen yüksek yapılar, yükseklik ve yıllara göre Şekil 2.32'de verilmiştir. Buna göre; 1908-1972 döneminde yükseklik sabit eğim ile, *Burj Khalifa* (2008) ile de ani bir artış göstermiştir.



Şekil 2. 32 Yıllara göre yükseklik değişimi [71]

2013 yılında tamamlanan 200 m'den yüksek yapıların bölge, işlev ve taşıyıcı sistem malzemesine göre oranları incelendiğinde (Şekil 2.33),

- Asya, % 74 ile en çok yüksek yapı inşa edilen bölge olmuştur.
- % 34 ile ofis, en çok kullanılan işlev olurken konut % 30 ile takip etmektedir.
- Malzeme açısından, betonarme % 63 ile ilk sırada iken, ikinci sırada % 32 ile kompozit gelmektedir.



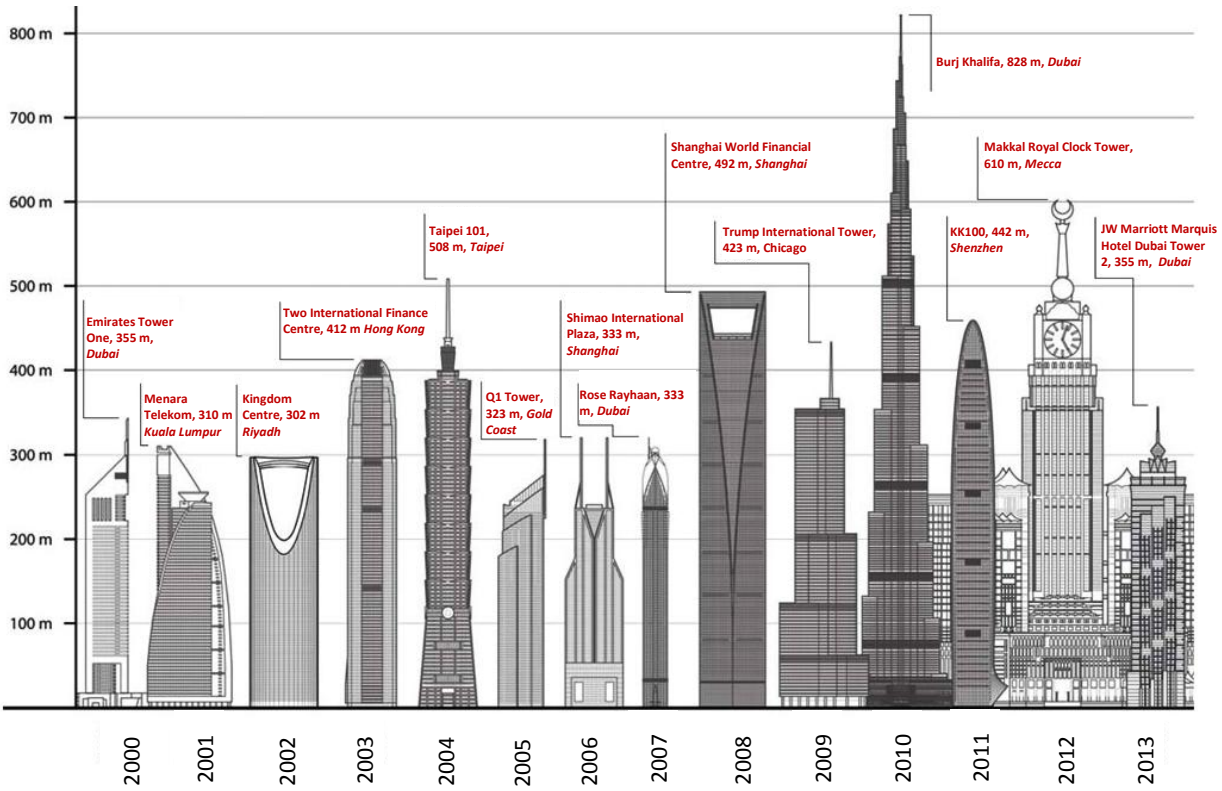
(a) (b) (c)

Şekil 2. 33 2013 yılında tamamlanan yapıların (a) bölgesel, (b) işlevsel ve (c) taşıyıcı sistem malzemesine göre oransal değişimleri [72]

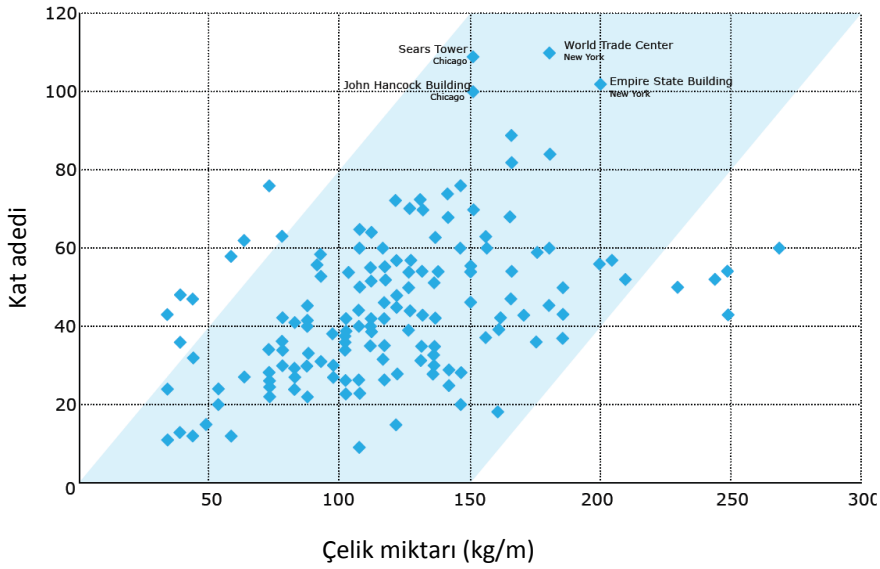
2000'den itibaren, 2003'de *Two International Finance Tower* ile 2008'de *Shanghai World Financial Tower* ile ve 2010'da *Burj Khalifa* ile yüksekliğin sıçradığı yıllardır. Burj Khalifa'nın diğer yüksek yapılar ile arasındaki açık fark mevcuttur (Şekil 2.34) [73].

Katlara göre kullanılan çelik miktarı incelendiğinde, Fazlur Khan'ın tasarımı olan *Sears Tower* ve *John Hancock Building* en ekonomik tasarımlardır. Empire State Building'den bu yana taşıyıcı sistemlerdeki gelişimin ifadesi olarak, çelik miktarı aynı kat adedi için 200 kg/m'den 150 kg/m'ye inmiştir (Şekil 2.35).

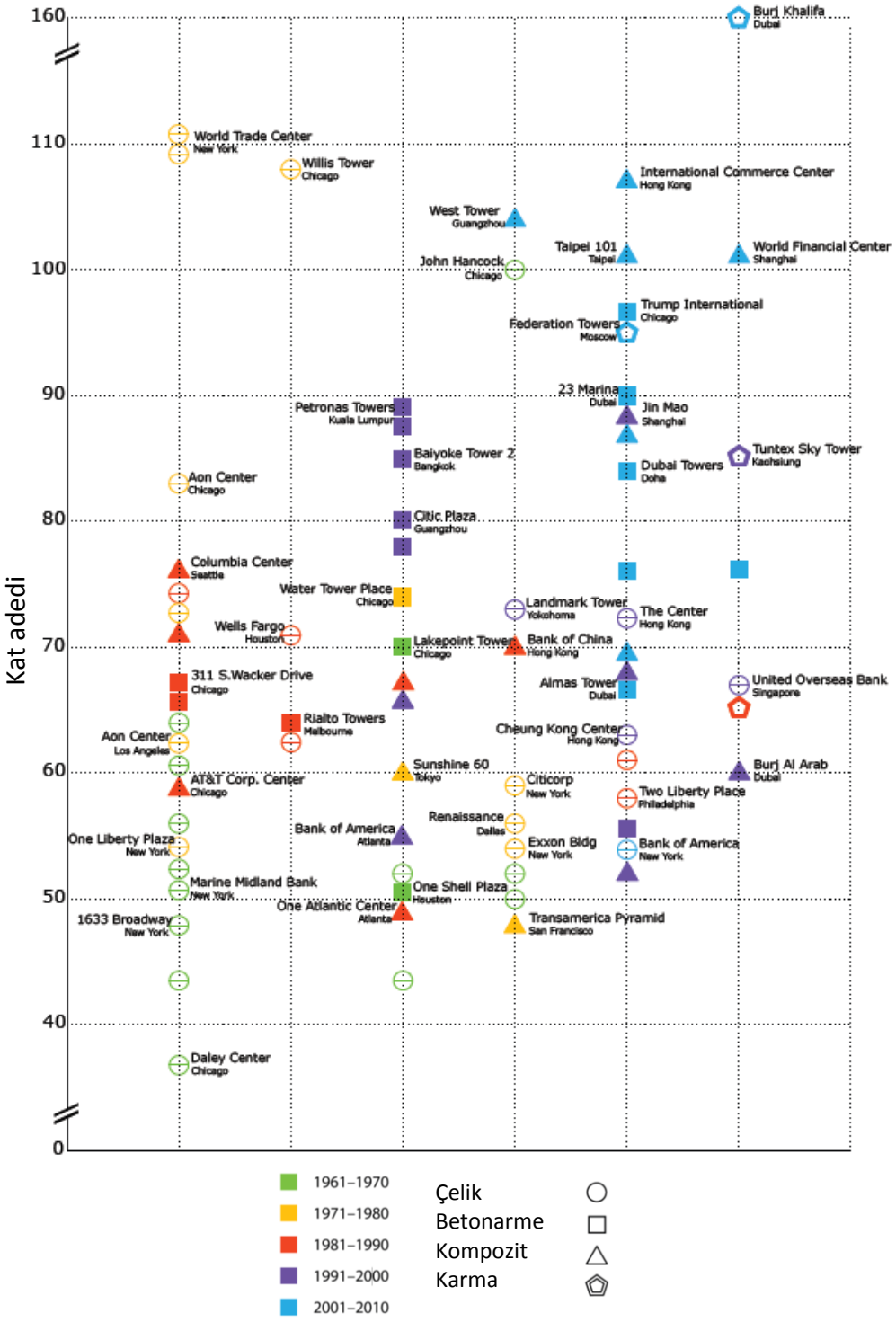
1960-2010 döneminde, 160 kata kadar çıkılmıştır (Şekil 2.36). Yüksek yapı rekabetinde A.B.D ve Uzak Doğu ülkelerine, Dubai ve Doha eklenmiştir. 2000'li yıllara kadar kullanılan yapı malzemesi çelik iken, 2000'li yıllardan sonra kompozit ve betonarme ağırlık kazanmıştır. 1960-2010 yılları arasında toplamda 75 yapı bazında, 1990'a kadar tüp sistem ile inşa edilen yapılar yaygın iken 2000'li yıllarda, çepeçevre kafesli rijit katlı sistemler % 73 oranında kullanılmıştır [74].



Şekil 2. 34 2000 yılından itibaren her yıl tamamlanan en yüksek yapı grafiği [73]



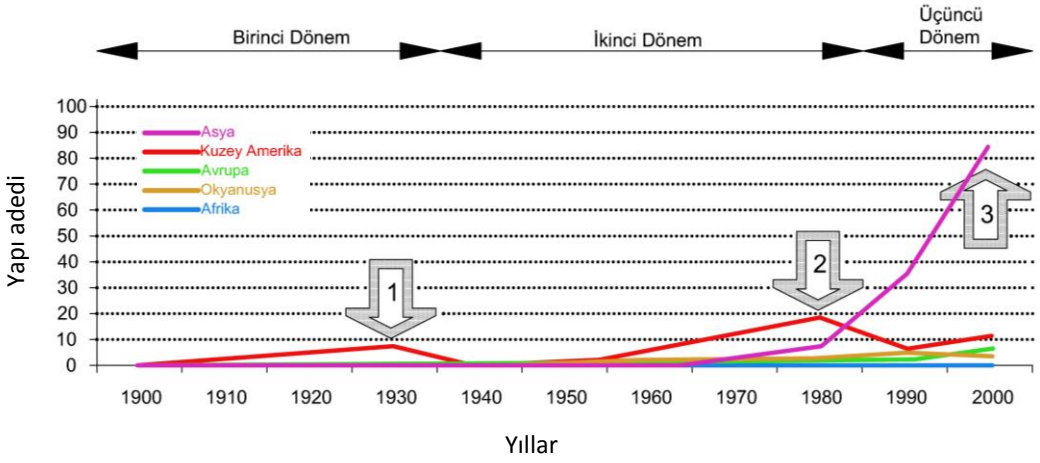
Şekil 2. 35 2004'e kadar olan verilere göre taşıyıcı sistemde kullanılan çelik miktarının kat adedi ile değişimi [74]



Şekil 2. 36 1961-2010 dönemi inşa edilen yüksek yapıların dağılımı [74]

Ekonomik durum ve yükseliş dönemlerine göre yüksek yapılar, genelde üç döneme (Birinci, ikinci ve üçüncü Altın çağ dönemleri) ayrılmaktadır. Birinci dönem (1880-1940), çelik ve demir çerçeve sistemin masif yığma duvarların içine gömülmesi ile başlayan dönem olmuştur. 1884 yılında Home Insurance Building'de çelik çerçeve sistemin ilk

defa kullanılmasından sonra *Chrysler Building* (1930) ve *Empire State Building* (1931) ile birinci yükselişe ulaşılmıştır. İkinci dönemde, A.B.D'de *World Trade Center* (1972-1973) ile başlayarak, *Sears Tower* (1973) ve *Petronas Towers* (1998) gibi yapılarla ikinci yükselişe ulaşılmıştır. Üçüncü dönemde ise, Dubai'de *Burj Khalifa* ile en verimli döneme ulaşılmıştır (Şekil 2.37) [13].



Şekil 2. 37 Dünya'nın en yüksek 200 yapısının kıtalara göre dağılımı [13]

2.5 Türkiye'de Yüksek Yapılar

Türkiye'de yüksek yapılar, II. Dünya Savaşı sonrasında ortaya çıkmıştır. Bu gecikmenin nedenlerinden birisi, Türkiye'nin önemli bir bölümünün birinci derece deprem kuşağında bulunmasıdır [54].

1950-1970 tarihleri arasında 25 katı geçmeyen çeşitli yüksek yapılar yapılmıştır. 13 katlı olan *Ulus İşhanı* (Ankara, 1954), Türkiye'nin ilk yüksek binası olarak kabul edilmektedir (Şekil 2.38).

1975-1985 döneminde kat sayıları artış göstermiştir. 23 katlı *Ceylan International Oteli* (İstanbul, 1975), 28 katlı *İstanbul Harbiye Orduevi* (İstanbul, 1983) örnek verilebilir (Şekil 2.37) [54].

Şekil 2. 38 Ulus İşhanı (Ankara, 1954), Ceylan International Oteli (İstanbul, 1975) ve İstanbul Harbiye Orduevi (İstanbul, 1983) [75], [76], [77]

1985-1990 döneminde, teknolojik ve ekonomik gelişmeler sonucu yüksek yapı inşaatı artmaya başlamıştır.

Yüksek yapıların Türkiye'de inşa edilen ilk örneği, 52 katlı ve 176.8 m yüksekliğinde, *Mertim Kulesi* (Mersin, 1987)'dir. Yapı, betonarme olarak tüp içinde tüp sistem ile uygulanmıştır. Diğer bir örnek, 120 m yüksekliğinde 24 katlı, *Yapı Kredi Plaza* (İstanbul, 1995)'dir (Şekil 2.39).

(a)

(b)

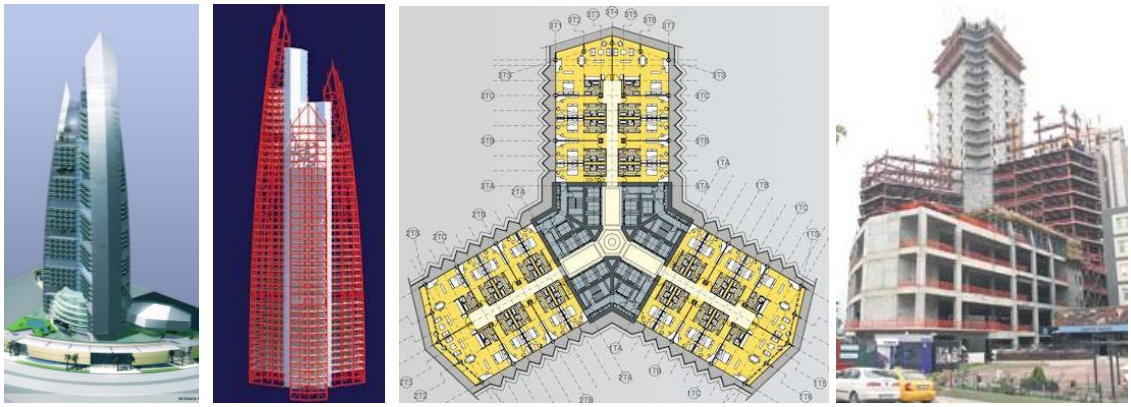
Şekil 2. 39 (a) Mertim Kulesi (Mersin, 1987), (b) Yapı Kredi Plaza (İstanbul, 1995) [78], [79]

1990-2000 ve sonrasında; 158 m yüksekliğinde, 39 katlı *Sabancı Center* (İstanbul, 1993); 224 m yüksekliğinde, 52 katlı *İş Bankası Genel Müdürlük Binası* (İstanbul, 2000), 170 m yüksekliğinde, 46 katlı *Şişli Plaza* (İstanbul, 2007) ve 143 m yüksekliğinde, 34 katlı *Tat Kuleleri* (İstanbul, 2000) dönemin önemli yapıları olmuştur (Şekil 2.40).

Şekil 2. 40 Sabancı Center (İstanbul, 1993), İş Bankası Genel Müdürlük Binası (İstanbul, 2000), Tat Kuleleri (İstanbul, 2000) [80], [81], [82], [83]

2000 ve sonraları, yüksek yapıların oldukça fazla inşa edilmeye başladığı dönem olmuştur. Halen devam etmekte olan ve 270 m üzerine çıkan birçok yapı bulunmaktadır. Diamond of İstanbul[1] (Şekil 2.41), Sapphire Ankara[2], Mistral Tower Bayraklı 1[3] ve Skyland[4] yapıları örnek verilebilir (Şekil 2.42).

Önümüzdeki yıllarda da artarak devam etmesi beklenen yüksek yapılarda "Yüksek Yapılar için Rüzgar ve Deprem Yönetmelikleri"nin en kısa sürede tamamlanarak yürürlüğe girmesi gerekmektedir.



Şekil 2. 41 Diamond of İstanbul (İstanbul) [84]

[1] 53 katlı, 270 m olması öngörülen projenin taşıyıcı sistemi; betonarme çekirdek ve 3 adet çelik çerçeve sistemden oluşan Türkiye'nin ilk çelik-betonarme karma sistem gökdeleni olma özelliğine sahiptir.

[2] 60 katlı, 260 m yüksekliğinde olacak yapının 2016 yılında tamamlanması öngörülmektedir.

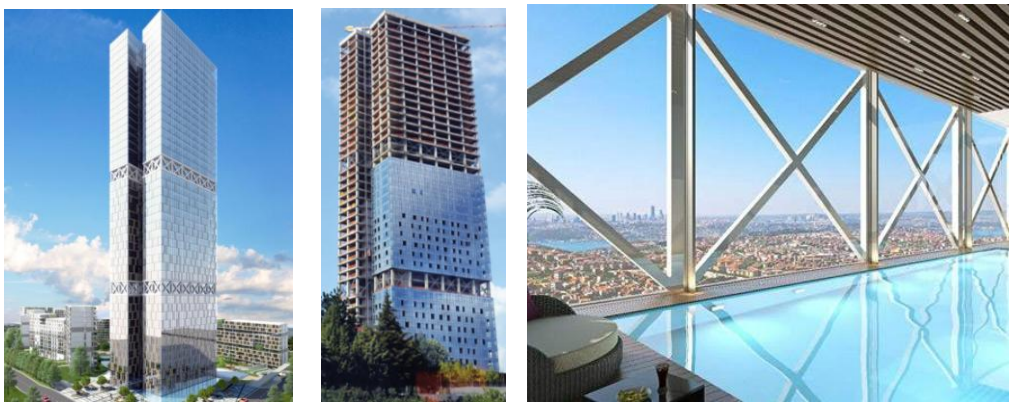
[3]İzmir'de, 45 katlı olarak 220 m yüksekliğinde inşa edilmektedir, bitiş tarihi olarak 2014 öngörülmektedir.

[4] İnşaatı devam etmektedir. 46 kat ve 287 m yükseklik ile Türkiye'nin en yüksek yapısı olması planlanmaktadır.

(a) (b) (c)

Şekil 2. 42 (a) Mistral Tower Bayraklı 1 (İzmir), (b) Sapphire (Ankara) ve (c) Skyland (İstanbul) [85], [86], [87]

Türkiye'de, çepeçevre kafes kullanılan nadir yapılardan olan *Exen Yapısı* (İstanbul, inşaat aşamasında), 160 m yüksekliğinde 44 katlıdır (Şekil 2.43).



Şekil 2. 43 Exen Yapı (İstanbul, inşaat aşamasında) [88]

Spine Tower (İstanbul, 2013) Türkiye'de C80 sınıfı beton kullanılan ilk yapı olmuştur. Yapı, çekirdek+çerçeve sistem ile tasarlanmış 201 m yüksekliğinde ve 47 katlıdır (Şekil 2.44).

Şekil 2. 44 Spine Tower (İstanbul, 2013) [89], [90]

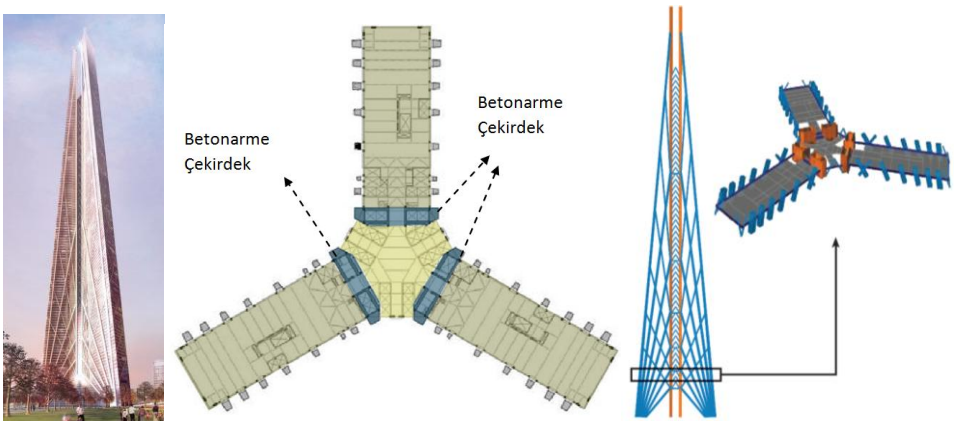
2.6 Geleceğin Yüksek Yapıları

Yeni teknolojilerin geliştirilmesi, yükseklik, kullanım alanındaki artış ihtiyacı ve buna bağlı olarak yanal yerdeğiştirmelerin azaltılması gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Mega yüksek yapılar gelecekte sayıca artması beklenmektedir. 1228 m yüksekliğinde 300 katlı, tamamı ekolojik olması planlanan *Bionic Tower* (Shanghai) ve 840 yüksekliğinde 170 katlı, *Millennium Tower* (Tokyo) son önerilen yapılardır (Şekil 2.45).

(a) (b)

Şekil 2. 45 Bionic Tower (Shanghai), Millennium Tower (Tokyo) [91], [92]

Bir diğeri, *Russia Tower* (Moskova)'dir. Yapının, 648 m yüksekliğinde ve 134 katlı olması planlanmıştır[1] (Şekil 2.46).

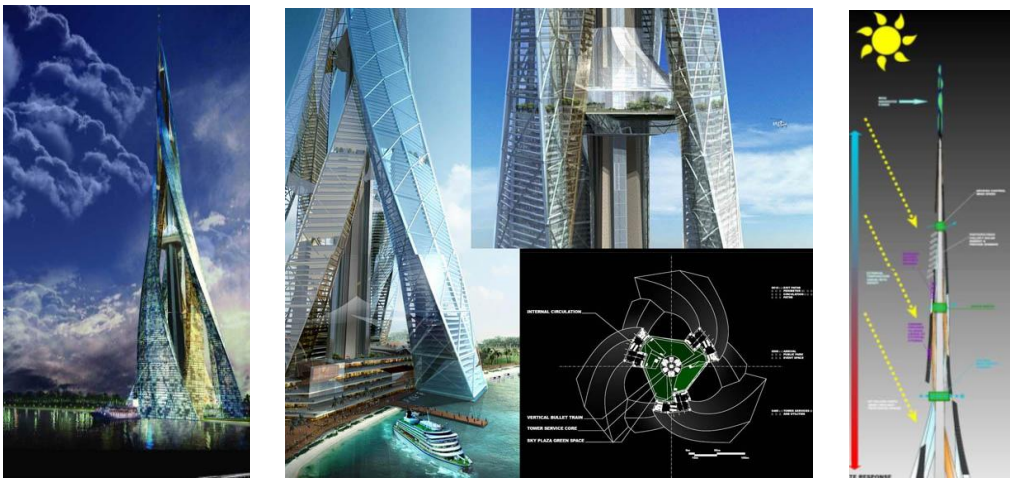


Şekil 2. 46 Russia Tower (Moskova) [93]

Planlanan yapılardan bir diğeri de, 2400 m yüksekliğinde 400 katlı, *Dubai City Tower* (Dubai)'dır. Yapı, sürdürülebilir olarak tasarlanmıştır. Merkezi bir çekirdek etrafında,

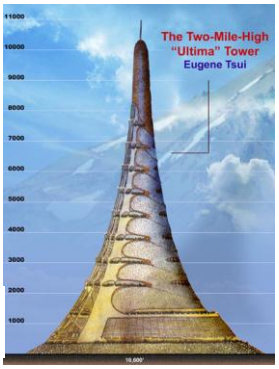
[1] Yapıda, betonarme ve çelik kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem, genel olarak üç farklı yapının tek bir yapıda birleşmesinden ve üç adet çekirdekten meydana gelmektedir. Stabilitenin sağlanması için, 12 katta bir tek katlı rijit kat kullanılmıştır.

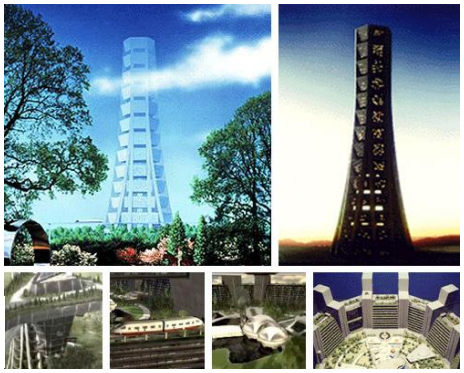
her 100 katta bir dört ayrı yapı aynı yerde kesişip sarmalanacaktır. Yanal yerdeğiştirmeleri azaltmak için sarmal form ve yükseklik ile formun doğrusal azalımı esas alınarak aerodinamik özellik kazandırılmıştır (Şekil 2.47) [94].



Şekil 2. 47 Dubai City Tower (Dubai) [94]

Diğer yapılar, Tokyo'da yapılması önerilen ancak şimdilik ütopik olan 4000 m yüksekliğinde, enerjisini güneş kaynağından karşılaması düşünülen *X-Seed 4000*; 1000 m yüksekliğinde, taban boyutu 400 m'ye ulaşan *SkyCity1000* (üç kabinli asansör tasarımı düşünülmüş ve bu yükseklikteki bir yapı için yangından doğacak riskler simülasyon ile belirlenmiştir) ve 600 m yüksekliğinde 120 katlı, *Holonic Tower'dır,* (Şekil 2.48.a, b ve c).

(a) 

(b)
(c) 

Şekil 2. 48 (a) X-Seed 4000 Tower, (b) Holonic Tower (Tokyo) ve (c) SkyCity1000 (Tokyo) [95], [96], [97]

BÖLÜM 3

YÜKSEK YAPI TASARIMINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

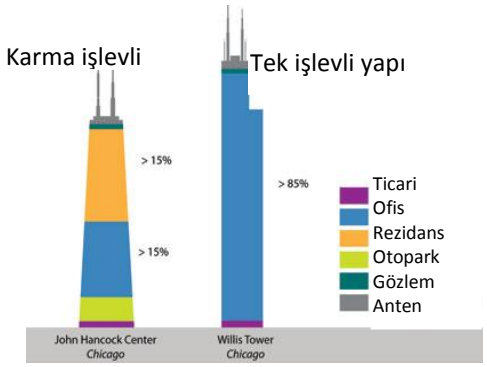
Bu bölümde, yüksek yapı tasarımına etki eden mimari, taşıyıcı sistem ve sürdürülebilirlik ile ilgili etkenler üzerinde durulacaktır. Yüksek yapı tasarımının başlangıç aşamasında mimar ve mühendislerin birlikte odaklanmaları gereken konular bulunmaktadır.

- Yapının Kullanım Amacı
- Taşıyıcı Sistemin Seçimi
- Çekirdek Planlaması ve Düşey Taşıma
- Yapı Formu
- Narinlik ve Yanal Yerdeğiştirmelerin Sınırlandırılması
- Rötre ve Sünme Etkisi
- Yangın Dayanımı
- Çarpma ve Ani Dinamik Yükleme Sonucu Hasar Durumu
- Sürdürülebilir Tasarım,

olarak özetlenebilir.

3.1 Yapının Kullanım Amacı

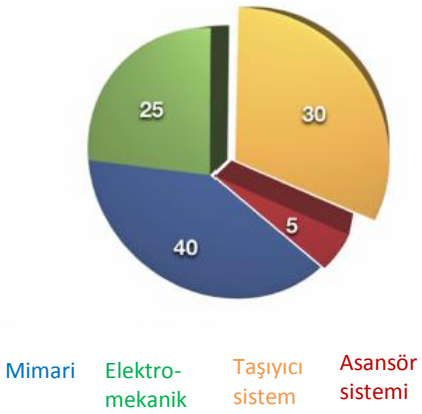
CTBUH'a göre yüksek yapılarda işlev, *tek* ve *karma* olarak ikiye ayrılmaktadır. Tek işlevli olması için yapının, toplam alanının % 85'inin aynı işlev için kullanılması gerekirken, karma kullanımlı yapıda farklı işlevler farklı oranlarda kullanılır (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1 CTUH'a göre yüksek yapılarda işlev tanımı [98]

İşlev seçimi, yüksek yapıların taşıyıcı sistem tasarımını oldukça etkilemektedir. Yapının işlev seçimi yapıldıktan sonra taşıyıcı sistem de buna göre şekillenmektedir. Konut, ofis yada otel işlevlerinden her birinin farklı ihtiyaçları bulunmaktadır.

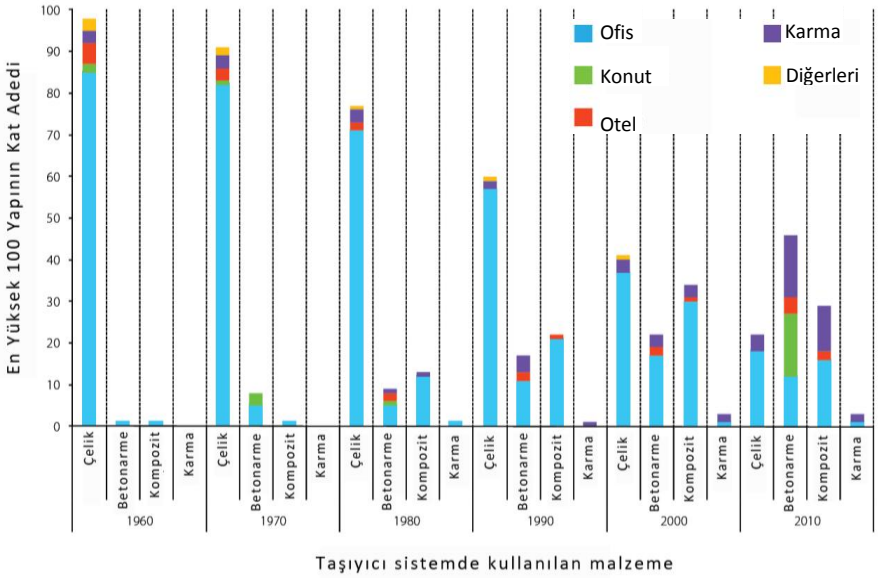
Yüksek yapı uygulamalarında, taşıyıcı sistem maliyetinin toplam yapı maliyeti içindeki oranı % 30 iken elektro mekanik sistemlerin maliyeti % 40 düzeyindedir (Şekil 3.2) [99].



Şekil 3. 2 Yapı maliyeti dağılımı [99]

1960-2010 döneminde en yüksek 100 yapı dikkate alındığında, kullanım amacı ve taşıyıcı sistem malzemesinin zamanla değişkenlik gösterdiği görülmektedir (Şekil 3.3) [74]. Çelik yapılar, adet olarak 1990'lara kadar ezici üstünlükte iken 2000'lerden sonra betonarme ve kompozit yapı inşaatında büyük artış meydana gelmiştir. 1960'larda ofis yapılarının taşıyıcı sistemi genelde çelik olurken, bu tarihten sonra kullanımı doğrusal

biçimde günümüze kadar azalmış; kompozit ve özellikle betonarme sistemler önemli oranda kullanılır hale gelmiştir. Günümüzde, konut işlevli yapılar betonarme inşa edilmekte, otel yapıları betonarme ve kompozit sistem olarak tasarlanmaktadır.



Şekil 3. 3 İşlevin malzeme değişimi [74]

3.2 Çekirdek Planlaması ve Düşey Taşıma

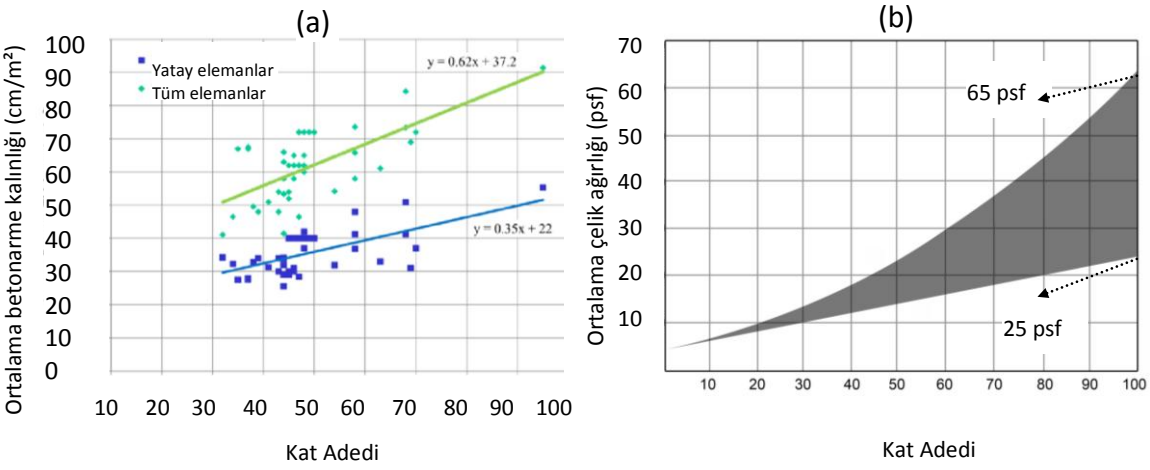
Yüksek yapılarda çekirdek planlaması; hem günlük kullanım, hem de taşıyıcı sistem kararında ana kriterdir; bu nedenle tasarımın ilk evrelerinde iyi planlanması çok önemlidir [100].

Bu bölümde çekirdeğin konumu ile içindeki elemanların (asansör ve holü, yangın merdiveni, mekanik şaft, WC) planlaması irdelenecektir.

3.2.1 Çekirdek Planlaması

Yüksek yapılar için çekirdeğin çok iyi anlaşılması ve tasarımın ilk evrelerinde iyi planlanması çok önemlidir. Yüksek yapılarda işlevsel etkinlik ve etkin taşıyıcı sistem davranışı, hayati önem taşımaktadır. Çekirdek planlaması, hem günlük kullanım, hem de taşıyıcı sistem kararında ana kriterdir. Çekirdek duvarlarının konumu, mimari ile bütünleştirilir. Tasarlanırken taşıyıcılık ve işlev dışında, maliyet ve sürdürülebilirlik de irdelenmelidir.

Betonarme ve çelik yüksek yapının taşıyıcı sistem tasarımında, farklı durumlar söz konusudur (Şekil 3.4.a ve b). Betonarme yüksek yapıda; düşey ve yatay taşıyıcı sistem elemanlarının m^2 bazında kalınlığı[1], kat adedi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Çelik yapılarda ise, birim alana gelen ağırlık[2], artan yükseklik ile geniş bir aralıkta hiperbolik olarak değişmektedir. 20 katlı bir yapıya kıyasla 80 katlı bir yapıda 2-4.5 kat, 100 katlı yapıda ise 2.5-6.5 kat artış mevcuttur. Sonuç olarak, betonarme yüksek yapılar, çeliğe kıyasla yüksekliğe daha az duyarlıdır ve çelikte olduğu gibi geniş bir aralıkta değişkenlik göstermemektedir [101]. Bu da, ekonomik yapı maliyetini oldukça etkileyen bir faktördür.



Şekil 3. 4 (a) Ortalama kat adedi-betonarme taşıyıcı elemanların birim alanda kalınlık değişimi, (b) Çelik yapıda birim alana gelen ağırlığın kat adedi ile değişimi [102], [101]

Ayrıca, yüksek yapıların döşeme ve kirişlerinde beton sınıfı genellikle C30-C50, kolon ve perdelerinde ise C50-C70 aralığındadır. Betonun emniyetle pompalanabilirlik sınırı ~400 m düzeyindedir, bundan daha yüksek yapılarda taşıyıcı sistem, çelik olarak devam etmektedir; bu anlamda kompozit yapı uygun seçim olmaktadır [101].

Çekirdek, yapı planındaki konumuna göre farklı şekillerde düzenlenebilir. Yapının merkezinde bulunan çekirdek, açık ve ışık alan mekanlar; köşelerdeki çekirdekler ise homojen bir çalışma alanı sağlar. Büyük plana sahip yapılarda çekirdek, merkeze

[1] Betonarmede : 1 cm/m^2=25 kg/m^2

[2] Çelikte : 1 psf=4.88 kg/m^2

kolayca konumlandırılırken (Chrysler Building), küçük plana sahip yapılarda kullanım alanını arttırmak için çekirdek, kenar noktalara konumlanır (Leadenhall Building) [100].

Çekirdek, yapıdaki konumuna göre,

(a) Merkezi çekirdek

(b) Atrium içerisinde çekirdek

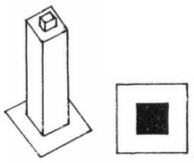
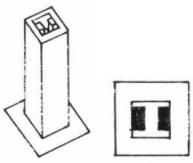
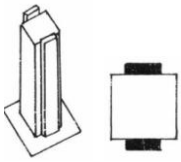
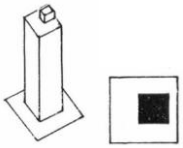
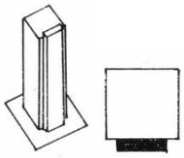
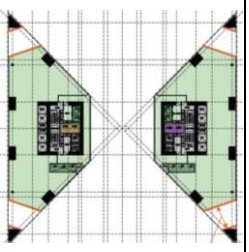
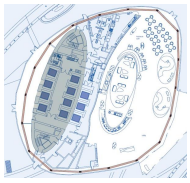
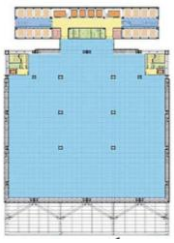
(c) Karşılıklı kenar çekirdek

(d) Dış merkezi çekirdek

(e) Kenar çekirdek, olarak sınıflandırılabilir.

Çizelge 3.1 ve 3.2'de tipik çekirdek düzenlemeleri verilmiştir. Dış merkezi (d) ve kenar çekirdek (e) tipleri, sismik açıdan etkin bölgeler için uygun değildir.

Çizelge 3. 1 Çekirdek konumlandırılma tipleri [103], [104], [105], [106], [107]

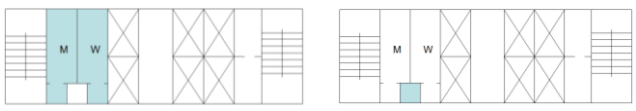
(a) Merkezi çekirdek	(b) Atrium içerisinde çekirdek	(c) Karşılıklı kenar çekirdek	(d) Dış merkezi çekirdek	(e) Kenar çekirdek
				
				
Greenland Group Suzhou Center (Kuwait, tasarım) aşamasında)	Incheon Tower (Incheon, inşaat aşamasında)	IBM Building, (Tokyo, 1989)	Leaning Tower (Abu Dhabi, 2010)	Leadenhall Tower (London, 2014)

Geleceğin yapıları açısından, merkezi (geleneksel çekirdek) yerleşimli çekirdeğin yerine, dış merkezi ve kenar çekirdek uygulamalarına doğru bir yöneliş görülmektedir. Sıcak iklimde gölge etkisini arttırmak için çekirdek güneşe bakan cepheye, soğuk iklimde ise kuzeye bakan cepheye yerleştirilmektedir. Ayrıca, çekirdek içindeki boşluklar doğal havalandırma amaçlı değerlendirilir [100].

Çizelge 3. 2 Dünyada ve Türkiye'deki yüksek yapı örneklerinde çekirdek düzenlemeleri [108], [109]

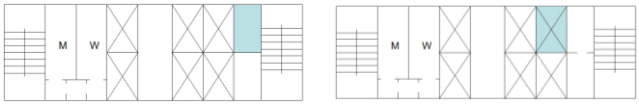
	Yapı	Çekirdek sayısı	Çekirdeğin konumu		Çekirdek Alanı (m^2)	Çekirdek / Toplam alan, (%)
			Merkezde	Dışarıda		
DÜNYA	**Sears Tower (1973)**	Tek	+		1113	22
	Bank of China (1990)	Çift	+		800	30
	Central Plaza (1992)	Tek	+		560	25
	Petronas T. 1-2 (1994)	Tek	+		530	25
	CITIC Plaza (1996)	Tek	+		480	22
	Shun Hing Square (1996)	Tek	+		570	26
	Jin Mao Tower (1999)	Tek	+		800	29
	Cheung Kong Tower (1999)	Tek	+		553	25
	Two International F. Tower (2003)	Tek	+		740	26
	Taipei 101 Tower (2004)	Tek	+		665	25
	Swiss Res Tower (2004)	Tek	+		559	23
	Hearst Tower				495	28
	Shanghai WFC (2008)	Tek	+		750	30
	Caja Madrid (2008)	Çift		+	390	23
	Guangzhou Int. F. Center (2010)	Tek	+		993	30
	Jinta Tower (2011)	Tek	+		792	26
TÜRKİYE	**Mertim (1987)**	Tek	+		240	19
	Sabancı Center 2 (1993)	Tek	+		225	31
	Sabancı Center 1 (1993)	Tek	+		225	32
	Beybi Giz Plaza (1996)	Tek	+		200	25
	Süzer Plaza (1998)	Tek	+		362	26
	Tekstilkent Plaza 1-2 (2000)	Tek	+		280	20
	Tat Tower 1-2 (2000)	Tek	+		318	32
	Metrocity Tower 1 (2000)	Tek	+		262	32
	İşbank Tower 1 (2000)	Tek	+		450	32
	Garanti Bank (2002)	Tek		+	300	20
	Sapphire İstanbul (2011)	Çift		+	264	17
	Anthill 1-2 (2010)	Tek	+		226	19
	Varyap Meridian Grand Tower 2 (2011)	Tek	+		598	34

• *Genel Tuvaletler*; servis çekirdeğinde en fazla alana ihtiyaç duyulan kısım olup planda üst üste yerleştirilir. Ayrıca, planda grup şeklinde tasarlanmaları maliyet açısından avantajlıdır. Bay, bayan, engelli ve görevlilerin kullanacağı tuvaletlerin sayısı yerel yönetmeliklere uygun, kat alanı ve insan yoğunluğu göz önünde bulundurularak hesaplanır (Şekil 3.5).



Şekil 3. 5 Çekirdekte bulunan tipik tuvalet ve holü

• *Mekanik oda ve şaftı;* havalandırma ve ışıklandırma amacıyla kullanılan bacalar, mekanik tesisat kolonları, su tesisatı, elektrik ve haberleşme kabloları gibi mekanik ve elektrik tesisatına ait donanımları içerisinde barındıran tesisat odaları ve bacalardır (Şekil 3.6) [103].



Şekil 3. 6 Çekirdekte bulunan tipik mekanik oda ve şaftı

3.2.2 Düşey Taşıma

• *Yolcu asansörü ve holü;* servis çekirdeğinde en önemli unsurlardandır. Her kata hizmet ulaştıran çekirdekler, ekonomik açıdan en geniş kullanım alanı ve kesintisiz hizmet verecek şekilde düzenlenmelidir. Yapı yükseldikçe, normal yapılardaki çözümler verimli olmaktan uzaklaşır. Öncelikle, yapının fonksiyonuna göre hizmet verilecek toplam kişi sayısı belirlendikten sonra, ihtiyaç duyulan kapasite belirlenmelidir. Oran, ofis binaları için % 15-25, otel binaları için % 5-7 düzeyindedir [103]. Az katlı yapılar için her bir asansörün her katta durması uygundur, ancak 15 kattan daha yüksek yapılar için servis çekirdeğinin oldukça büyük olmasını gerektirir, bu da ekonomik ve işlevsellik bakımından çok mümkün değildir. Çözüm için en etkili yöntem, asansör bölgelemeleri yaratarak her bir asansörün belirli katlara hizmet etmesini sağlamaktır (Şekil 3.7, Çizelge 3.3) [8].

60 kata kadar olan yapılarda, zemin katta bulunan ana terminal lobisinden tüm katlara, ara katlara transfer yapılmadan düşey taşıma sağlanması mümkündür. Ancak, 'geleneksel düzenleme' olarak adlandırılan bu sistemde, asansör şaftı diğer sistemlere göre daha büyük alan kaplamaktadır, Şekil 3.7.a'da bu düzenleme şekli verilmiştir [8].

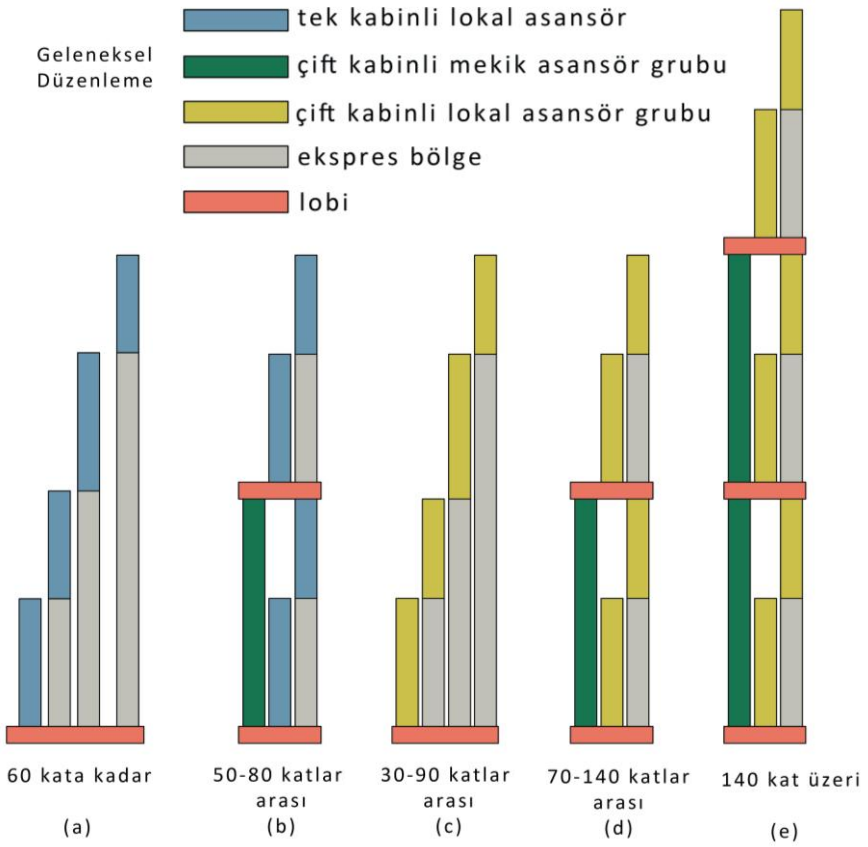
Çift kat kabinli asansörlerin[1] kullanılması durumunda, zemin kattan erişilebilen kat sayısı 90'a çıkmakta (Şekil 3.7.c) ve Şekil 3.7.a'ya göre şaft alanından yer kazancı sağlanmaktadır. 50-80 kat arasında olan yüksek yapılarda; bir transfer katı[2] (lobi), buna

[1] Aynı asansör boşluğunda tek çerçeve içinde birbirine bağlanmış, üst üste iki kabine sahip asansörlerdir.

[2] Transfer katı, geleneksel sistemde düşey taşımayı sağlamak ve bölgeler arası geçişi sağlamak için dağıtım katıdır [8].

hizmet eden ekspres asansörler[1] ve belli katlar arasında çalışan tek kabinli asansör gruplarının oluşturduğu sistem, yapı ihtiyacını karşılamaktadır (Şekil 3.7.b).

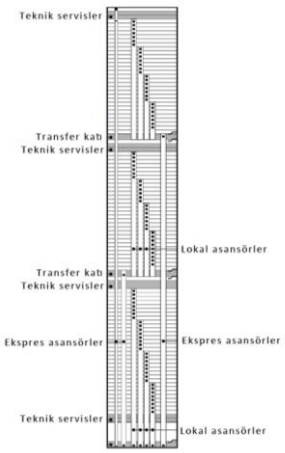
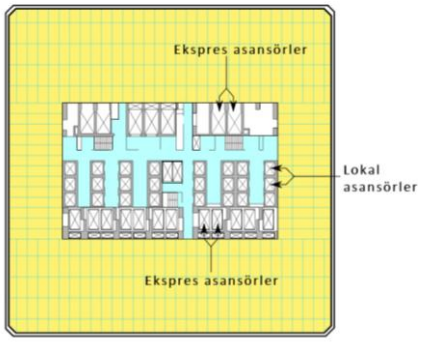
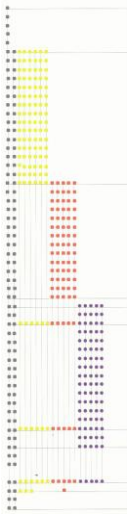
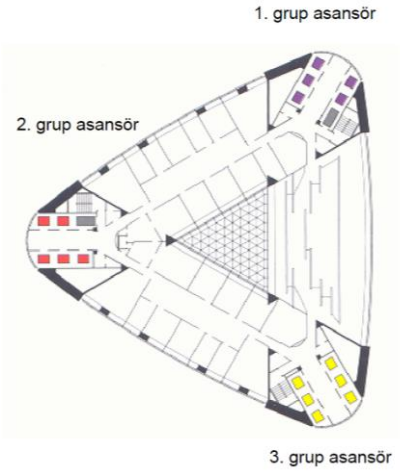
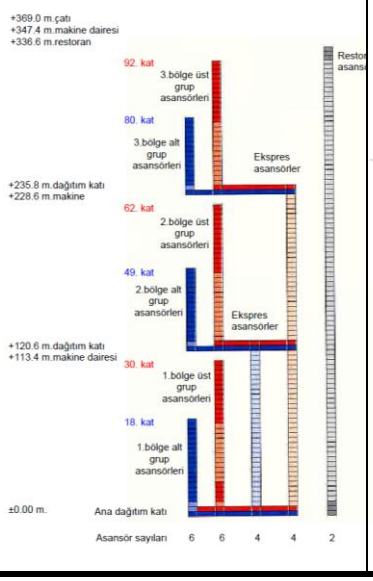
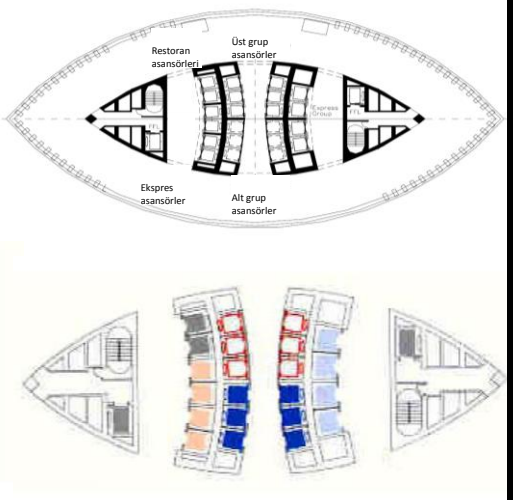
Lokal asansörlerin çift kabinli olması, kat sayısının 140'a kadar çıkmasını sağlamıştır (Şekil 3.7.d). 140 kat ve üzeri binalarda ise iki transfer katı olan ve çift kabinli lokal asansörlerin kullanılması uygundur. Çift kabin uygulamasının ilk örneği, *Two International Finance Center* (Hong Kong, 2003)'dir. Dolayısıyla, yeni yapım asansör düzenlemeleri sayesinde, yapıların kat adetleri arttığı halde asansör şaft alanlarında bir büyüme olmadığı görülmektedir [8].



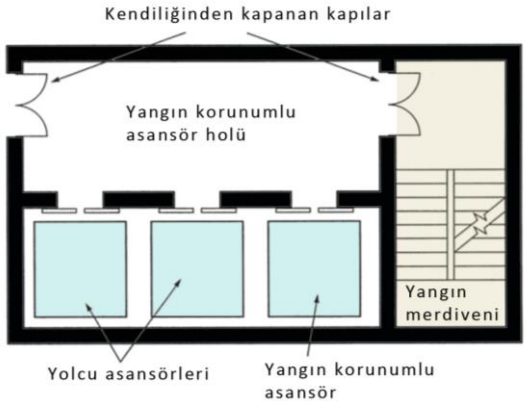
Şekil 3. 7 Kone firmasının yüksek yapılarda kat adetlerine göre farklı asansör tipleri ile düşey taşıma düzenlemesi [8]

[1] Yolcuları ana dağıtım ve transfer katları arasında taşıyan, tek veya çift kat kabinli, geniş ve hızlı asansörlerdir [8].

Çizelge 3. 3 Çekirdek ve bölgeleme prensibine göre asansör düzenlemeleri [8], [110]

World Trade Center (New York, 1970-71) 110 kat		
Commerzbank (Frankfurt, 1997) 56 kat		
Millennium Tower (Frankfurt, 1999) 92 kat		

• *Yangın asansörleri*, insanların yangın sırasında hızlı, kolayca ve güvenli bir şekilde zemine inmelerini sağlamak için kullanılan yöntemdir. Bunun yanında, günlük yolcu transferlerinde bazı özel önlemler alınarak kullanılmaktadır. Yüksek yapılarda, yangın kaçışının özellikle günümüzde önemi çok artmıştır. Yangındaki riskler, yükseklik ve yapı büyüklüğü ile doğru orantılı şekilde artar. Riskler, yapının daha küçük bölümlere ayrılması ile azaltılabilir; ancak alanların sınırlandırılması modern mimaride çok istenmeyen bir olgudur (Şekil 3.8).



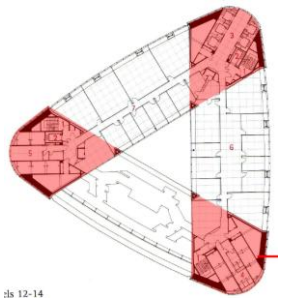
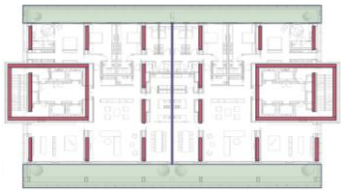
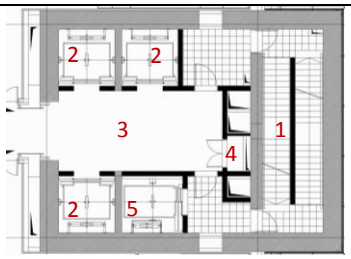
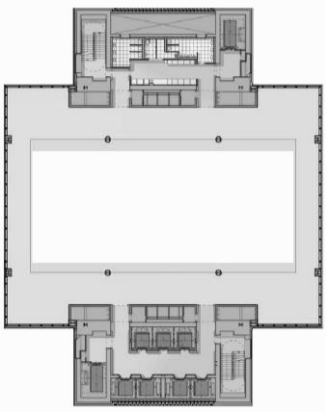
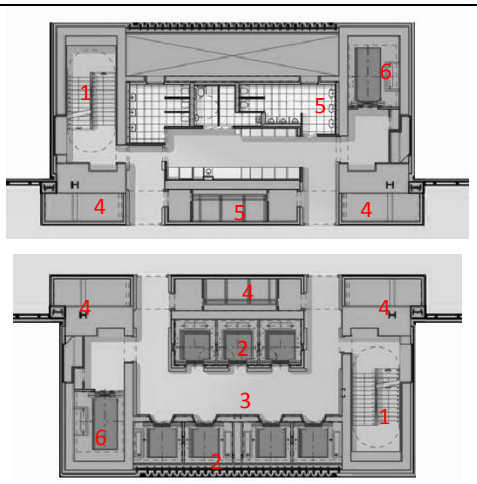
Şekil 3. 8 Tipik asansör şaftı [8]

Yangın asansörü için gereksinimler, EN 81-72'de ele alınmıştır. Buna göre, asansörlerin boyutları en az 1.1m genişlik/1.4 m derinlik, kapı genişliği, en az 0.8 m ve yük kapasitesi, 0.63 t olmalıdır. Elektrik donanımı, yangından sonra en az 90 dk. aktif kalacak şekilde tasarlanmalıdır. Asansörlerde kullanılan tüm malzemelerin, yangına dayanımlı ve tavandan kaçış için portatif merdivenli kapak olması gerekmektedir [8].

• *Yangın merdivenleri*, yüksek yapılarda yatay transfer koridorlar (yangın koridorları), iki ayrı yangın merdivenini (yangın dayanımlı ve basınçlandırılmış merdivenler) belirli ve sınırlandırılmış mesafede birbirine bağlamalıdır. 300 m'den yüksek yapılarda, yangın merdivenlerini kullanarak yangın kaçışı 1-3 saat sürmektedir. Dolayısıyla, sadece merdivenler ile tam bir boşaltım düşünülemez, yerine asansörlü boşaltım ile takviye yapılmalıdır. Buna karşılık günümüz güncel yüksek yapılarında merdiven ile boşaltım, yapının kendi içinde bölgeler yaratarak yangın asansörlerine ulaşım için kullanılmaktadır. Sonuç olarak, günümüzde merdiven ile boşaltım sistemi tehlike geçene kadar bölgesel olarak kullanılmaktadır. Taipei Tower, zeminden başlayan ve her 8 katta bir devam eden boşaltım sistemine sahiptir [111].

• *Servis asansörü ve antresi*, yüksek yapılarda yük taşımak için kullanılır ve en az bir adet bulunması gerekmektedir. Boyut olarak, yolcu asansörlerinden büyük olması beklenmektedir. Genellikle, iç mekan ölçüleri, genişlik 1.3-2.3 m genişlik/3.5-5.8 m derinlikte ve 0.75-6 t taşıma kapasitesine sahip olmalıdır. Çizelge 3.4'te dünyadan yüksek yapılardaki çekirdek düzenleri verilmiştir.

Çizelge 3. 4 Dünyadan yüksek yapı örnekleri ve çekirdek düzenlemeleri [107], [112]

Commerzbank (Frankfurt, 1997)			1.Yangın merdiveni 2.Servis asansörü 3.Asansör holü 4.Merdiven basınçlandırma kanalı 5.Teknik hacim 6.Mekanik şaft
Saphire Tower (İstanbul, 2011)			1.Yangın merdiveni 2.Yolcu asansörü 3.Asansör holü 4.Mekanik şaftlar 5.Servis ve yangın asansörü
Caja Madrid (Madrid, 2008)			1.Yangın merdiveni 2.Yolcu asansörü 3.Asansör holü 4.Mekanik şaft 5.WC'ler 6.Servis asansörü

3.3 Yapı Formu

Yapı formunun düzenlenmesinde en önemli faktörlerden biri, rüzgar etkisidir. Bu bölümde rüzgar ve rüzgarın yapı üzerindeki etkileri irdelenecektir.

3.3.1 Rüzgar ve Etkileri

Yeryüzündeki pürüzlülük veya kısaca sürtünme (yapılar, ağaçlar vb), rüzgar enerjisini mekanik türbülansa dönüştürür. Türbülansın düşey ve yatay hız bileşeni mevcuttur, rüzgar hızı zemine yaklaştıkça sürtünme ile azalır. Zeminden uzaklaştıkça rüzgar, zemin pürüzlülüğünün fonksiyonu olarak genellikle artar; 300-350 m yükseklikte sürtünme ihmal edilir düzeydedir, bu seviyeden itibaren rüzgar hareketi bölgesel ve mevsimsel rüzgarların etkisindedir[1]. Çevredeki nesnelerin (ağaçlar, arazi şekli, yapılar) etkisi ne kadar fazla ise maksimum rüzgar hızı da o kadar yüksekte oluşur (Şekil 3.9). Rüzgar hızının yükseklik ve pürüzlülük ile ilgili değişimi şu şekilde verilir [58]:

$$V= V_r\,(z/z_r)^{1/\alpha} \qquad (3.1)$$

V= zeminden z yüksekliğindeki hız

V_r= referans rüzgar hızı

1/α= Katsayı, yüksek yapıların olduğu şehirlerde 0.143, az katlı şehirlerde 0.2, engelsiz açık araziler için 0.087 olarak tanımlanır.

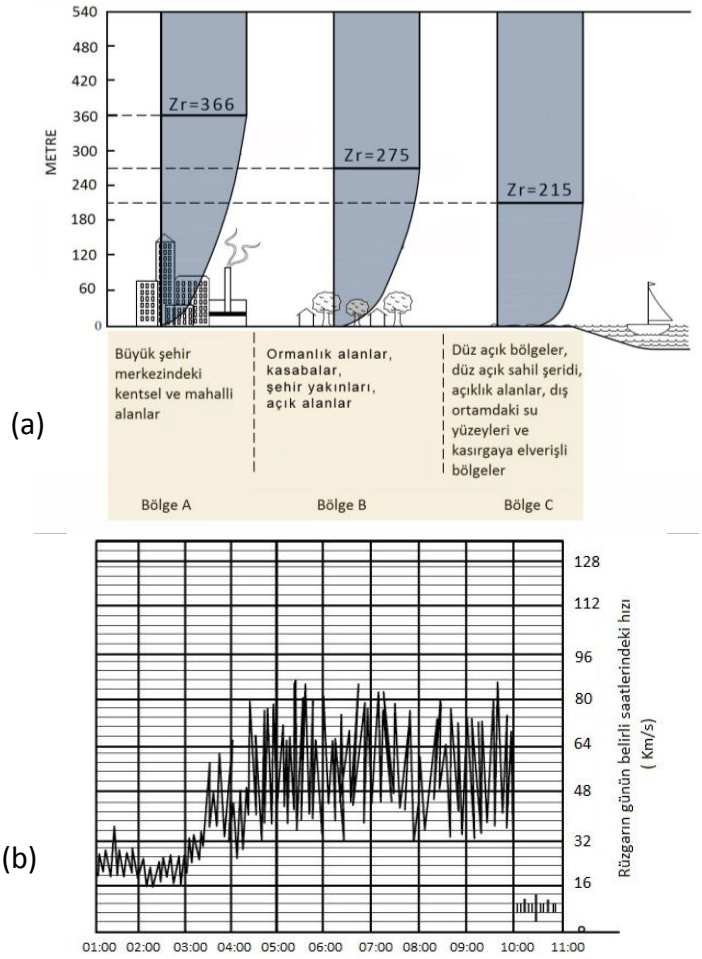
z_r= sınır seviyesinin yüksekliğini tarif eder, bu değer pürüzsüzlüğe bağlı olarak değişir, sırası ile 366 m, 275 m, 215 m'dir.

z= toprak yüzeyinden yükseklik

[1] Yapıların tasarımında dikkate alınması gereken üç tip rüzgar mevcuttur :
E*gemen Rüzgarlar:* Düşük basınçlı ekvator kuşağına doğru hareket eden yüzeye yakın hava hareketidir.

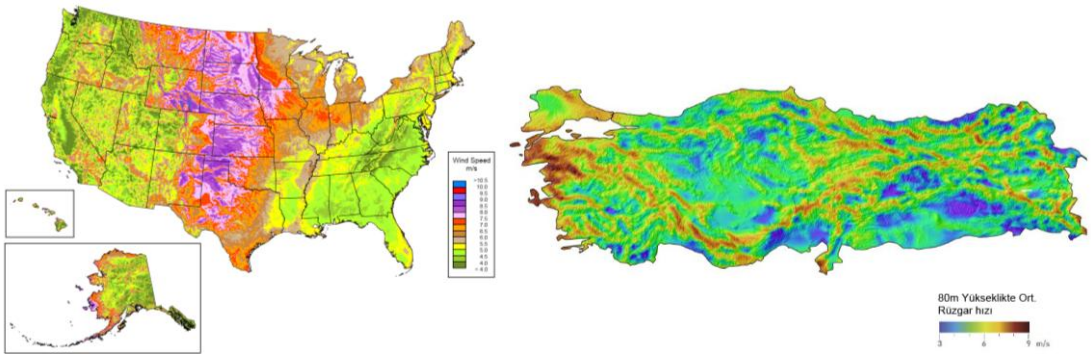
Mevsimsel Rüzgarlar: Basınç farklılıklarından dolayı oluşan hava hareketlerinin sonucudur. Arazi üzerinden esen rüzgar, yakın okyanusların üzerinde oluşan rüzgara kıyasla yazın daha sıcak kışın ise daha soğuktur. Yaz boyunca, daha serin olan okyanuslardan esen rüzgar ile kıtalar, düşük basıncın etkisine girer. Kış aylarında ise, yüksek basınçlı rüzgar, kıtalardan daha ılık okyanuslara doğru hareket eder.

Bölgesel Rüzgarlar: Bölgesel olarak esen kasırgalar ve fırtınalar olarak tanımlanır. Sıcaklık ve basınçtaki günlük değişimlerden kaynaklanan rüzgarlardır. Bu değişimler engebeli yüzeylerde oluşur, vadi ve dağlarda esintilere neden olur [58].



Şekil 3. 9 (a) ASCE 7-05'de tarif edilen rüzgar yoğunluk profili ve (b) Anemometre tarafından ölçülen tipik bir rüzgar hızı kaydı [58]

Rüzgar bölgeleme haritaları, bölgeler ve ülkeler için rüzgar hızı ve yönü gibi bilgileri içerir. A.B.D rüzgar bölgeleme haritası, 80 m yükseklikte tahmini yıllık ortalama rüzgar hızını göstermektedir. Yüksek yapıların tasarımında ise ayrıca 50 m yükseklikte ölçülen rüzgar haritaları kullanılmaktadır (Şekil 3.10) [113].

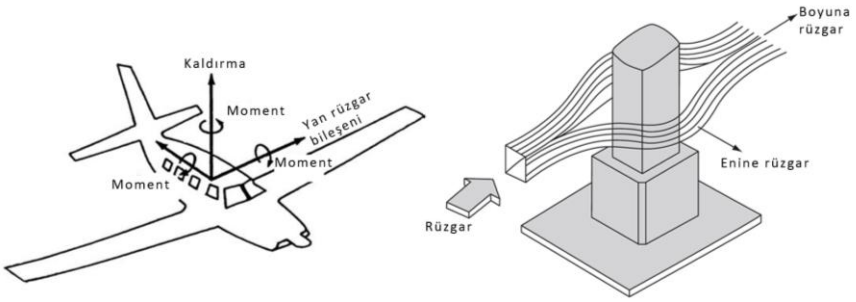


Şekil 3. 10 A.B.D ve Türkiye için 80 m'de ortalama rüzgar hızı haritaları [114], [113]

Kasırga etkisinin söz konusu olmadığı durumlarda rüzgar yükü olarak klasik biçimde 500 yıllık dönüş periyodu esas alınır.

3.3.2 Rüzgar ve Yüksek Yapıda Form İlişkisi

• Rüzgarın etkisi, rüzgar hızına, yapı formu ve yüzey biçimine bağlıdır. Rüzgara göre tasarlanan yapı, çevresinden bağımsız olarak düşünülemez; çevresindeki yapılar, konumları, arazi biçimlenmesi vb. faktörler, rüzgar hızı ve yapıya etki biçiminde önemli bir role sahiptir. Rüzgarın cisimlere etkisi, birbirine dik üç doğrultuda sözkonusu olsa da yapılarda rüzgarın düşey bileşeni, yatay doğrultudaki boyuna ve enine bileşenleri yanında daha az önemlidir (sadece çatılarda yapı elemanlarını kaldırma kuvvetine neden olur). Yüksek yapılarda enine yöndeki bileşen, boyuna yöndekinden daha kritiktir (Şekil 3.11).

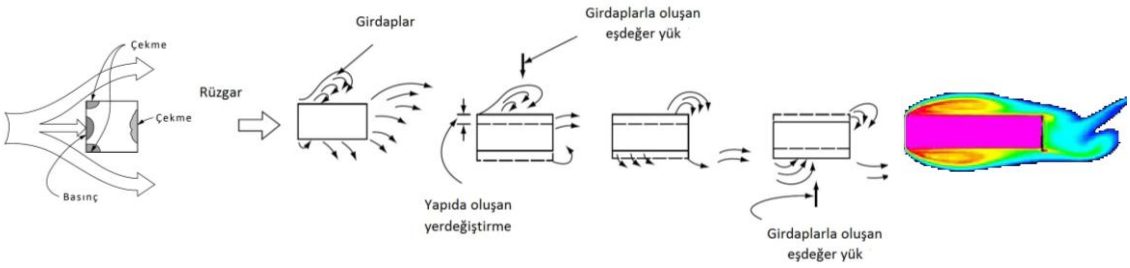


Şekil 3. 11 Aerodinamik mühendisliğinde rüzgarın altı önemli bileşeni ve yapıya etki eden boyuna ve enine rüzgarın şematik gösterimi [58]

Rüzgarın doğrudan etki ettiği yüzeyde basınç, arka ve yan yüzeylerde ise girdap biçiminde yüksek hızla esen hava akımı nedeni ile çekme gerilmeleri oluşabilir (Şekil 3.12). Girdap ile oluşan çekme gerilmeleri, cephe malzemelerinde dışarı yönde fırlama ve yayaları tehlikeye sokan durumlara neden olmanın yanısıra en ekstrem durumda enine doğrultudaki titreşim periyodunun yapı periyodu ile çakışması yapıyı rezonansa[1] sokabilir. 70-110 km/h hızla düzenli esen rüzgar akımına maruz prizmatik bir yapının yan yüzeyinde simetrik biçimde girdaplar oluşur (Şekil 3.12). Ancak artan

[1] Yapıya veya herhangi bir cisme dışarıdan uygulanan dinamik hareketin periyodu, yapının hakim periyoduna ne kadar yaklaşırsa resonans riski de o kadar artar.

hızlarda çift taraflı girdaplar bu defa dönüşümlü oluşmaya başlar, bu da yapının rüzgar yönüne dik yönde yerdeğiştirmesine neden olur.



Şekil 3. 12 Yapıya etkiyen gerilmeler, girdap etkisi ile yapının rüzgara dik hareketi [58]

Daha hafif ve daha yüksek yapılarda rüzgar nedeni ile rezonans riskinin ortadan kaldırılması kadar rüzgardan dolayı oluşan salınımı sınırlandırmak da önemlidir. Aksi durumda güçlü esen rüzgar, yapının üst katlarında bulunan insanlarda psikolojik ve fiziksel sorunlara neden olabilir. 40 kat ve üzeri yapılar için rüzgardan dolayı oluşan dinamik etki önem kazanmaya başlar. Rüzgar kaynaklı salınım, üst katlarda konfor etkisini bozmaması için ivme, 10-30 mg düzeyinde kalmalıdır. Yapı formu ile ilgili sık rastlanan durumlar ve bazı önlemler aşağıda özetlenmiştir :

- Çevre yapılardan daha uzun bir yapı, daha fazla rüzgar yüküne maruz kalacak ve yaya seviyesinde rüzgarın yoğunlaşmasına neden olacaktır, çevre yapılar ile aynı seviyede ise ani rüzgar hızı artışı oluşmaz (Şekil 3.13.a ve b),

- Yüksek yapının zemin seviyesinde rüzgar hızı artar, açıklık bırakmak, rüzgar hızını azaltır (Şekil 3.13.c ve d),

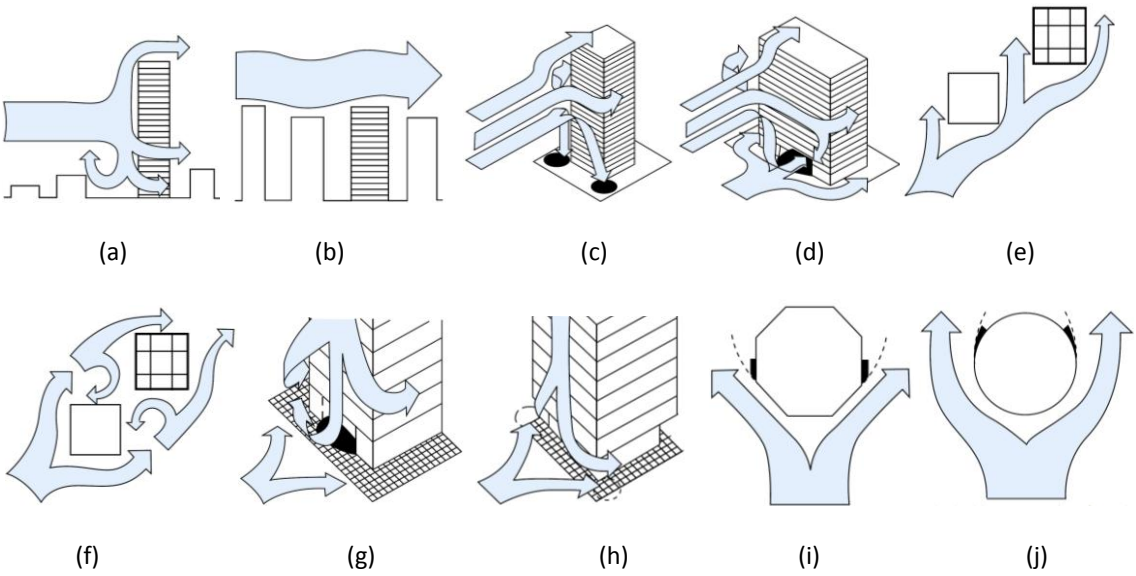
- Rüzgar yönü, yapının diyagonaline denk düşecek biçimde yapıyı konumlandırmak, rüzgar hızını azaltır (Şekil 3.13.e ve f),

- Gömülü girişler, kapı seviyesinde rüzgar hızını azaltır (Şekil 3.13.g),

- Yapıda zemin seviyesindeki geri çekmeler, rüzgar yoğunluğunu daha iyi veya daha kötü yönde S ve H değerlerine bağlı olarak etkileyebilir (Şekil 3.13.h),

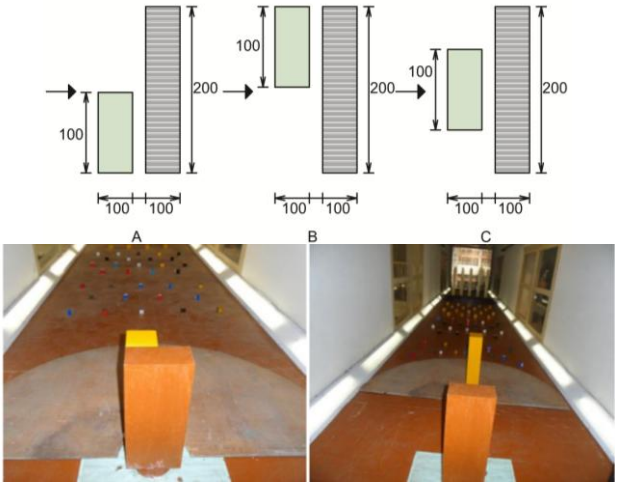
- Çokgen yüzeyli yapılar rüzgardan oluşan basıncı, yaya seviyesi de dahil, azaltabilir, (Şekil 3.13.i),

• Dairesel planlı yapılar, rüzgar basıncı ve türbülanstan en az seviyede etkilenir, ancak rüzgarın yapıdan ayrılma noktalarında, çokgen yüzeylilerde de, cephede oluşan çekme kuvvetine dikkat edilmelidir (Şekil 3.13.j) [58].

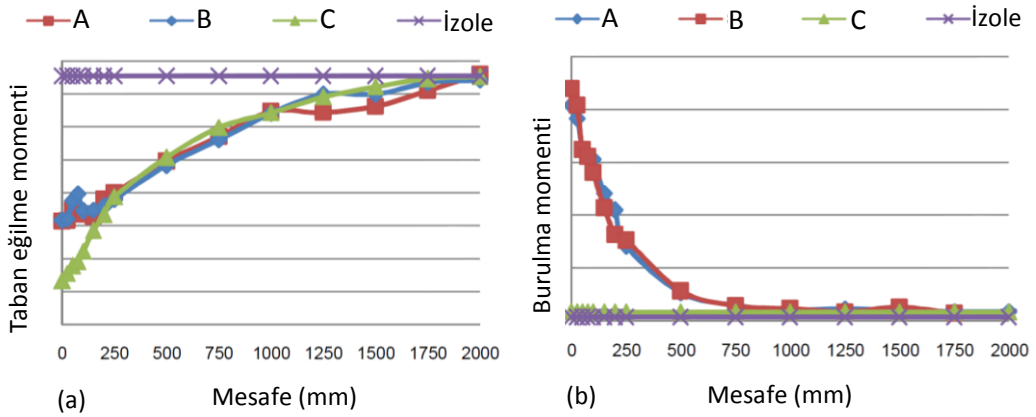


Şekil 3. 13 Yüksek yapılarda rüzgar hızı ile ilgili çözümler [58]

• Bir yüksek yapının açık alanda olması veya farklı yükseklikte yapılar ile birlikte bulunması arasında önemli farklar bulunmaktadır. Komşu yapıların etkisi, genellikle *(interference effect)* rüzgar etkileşimi olarak adlandırılır. Bu etki, 1930'lu yıllardan beri araştırma konusu olmasına rağmen, 1965 yılında İngiltere'de bundan dolayı yıkılan soğutma kuleleri nedeniyle konu üzerindeki araştırmalar artmıştır. Açık alanlarda bu etki daha belirgin hissedilirken, kamusal alanlara doğru azalmaktadır [115].



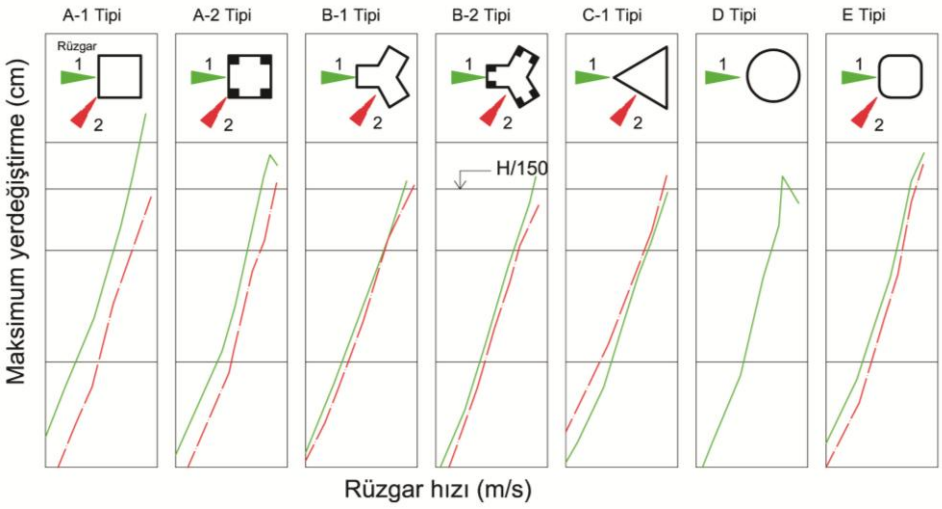
Şekil 3. 14 A, B ve C için, planlardaki konumlandırma ve rüzgar tünel testlerinden görünüş [116]



Şekil 3. 15 (a) Taban eğilme momenti, (b) Burulma momenti değişimi [116]

Kushal vd. [116]'nin araştırmasında iki yapı arasındaki rüzgar etkileşimi 100 m yüksekliğindeki yapıda üç farklı durum için incelenmiştir. A durumunda diğer yapı, incelenen yapının sağ tarafına, B'de sol tarafına, C durumunda ise yapının orta hizasına yerleştirilmiştir (Şekil 3.14). Model yapılar, 15 m uzunluğunda rüzgar tünelinde test edilmiştir. Diğer yapının olmaması durumunda incelenen yapının tabanında eğilme momenti etkisi maksimumdur. Olması durumunda, dik mesafe azaldıkça, incelenen yapının taban eğilme momenti hiperbolik olarak azalır. Aradaki mesafe diğer yapının rüzgar yönündeki boyutunun 20 katına ulaştığında ise, iki yapı arasındaki etkileşim neredeyse kaybolmaktadır. İncelenen yapıdaki burulma momenti, diğer yapı tam ortada olmadığı sürece azalan dik mesafe ile artmaktadır, tam ortada olması (simetrik) durumunda ise etkilenmemektedir (Şekil 3.15.a ve b).

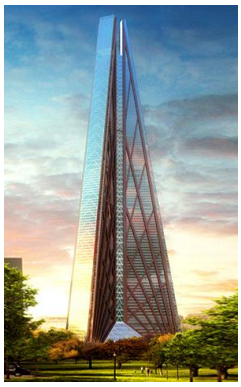
600 m yüksekliğinde 8 farklı yüksek yapı planı için, rüzgarın geliş açısına göre yerdeğiştirmeler incelendiğinde (Şekil 3.16), kare planlı bir yüksek yapıda, rüzgar ve girdap etkisi ile oluşan tepe yerdeğiştirmelerini azaltmak için, etkin rüzgarın yapı köşesine etkiyecek biçimde yapının konumlanması gereklidir [117]. Üçgen planda ise, rüzgarın uç kısımdan değil, yan yüzeyden etkimesi ve çekirdeklerin uç kısımlarda konumlanması durumunda yerdeğiştirmelerde büyük artış olacağı görülmektedir.



Şekil 3. 16 Farklı yapı planları ve yerdeğiştirme oranları [117]

• 300 m'den yüksek, dikdörtgen veya kare planlı, narinliği>8 olan yüksek yapılar; aeroelastik[1] kararsızlıklara duyarlı hale gelmektedir. Rüzgar etkisinin azaltılması açısından formlarda*; yükseklik ile doğrusal azalım, sarmal form, açıklık eklemek, köşe ve yüzeyde biçim değişimi* gibi aerodinamik düzenlemeler yapılmaktadır. Bu düzenlemeler;

• *Formun yükseklik ile doğrusal azalımı:* Üst katlara doğru azalan kesit tesirlerine paralel biçimde yapı enkesiti düzenli olarak azaltılır. Böylece, yapının toplam ağırlığı ve rüzgarın etki ettiği alan da azalmaktadır. *Burj Khalifa* (Dubai, 2010) *Kingdom Tower* (Jeddah, 2018) ve *Russia Tower* (Moskova, 2022) güncel örnekleridir (Şekil 3.17.a, b, c).

(a) (b) (c) 

Şekil 3. 17 (a) Burj Khalifa (Dubai, 2010), (b) Kingdom Tower (Jeddah, inşaat aşamasında) ve (c) Russia Tower (Moskova, inşaat aşamasında) [118], [119], [120]

[1] Aeroelastisite, bir akışkan içinde hareket eden esnek, katı br yapının üzerine etki eden yapısal, aerodinamik ve ataletsel kuvvetlerin birbiriyle etkileşimini inceleyen bilim dalıdır.

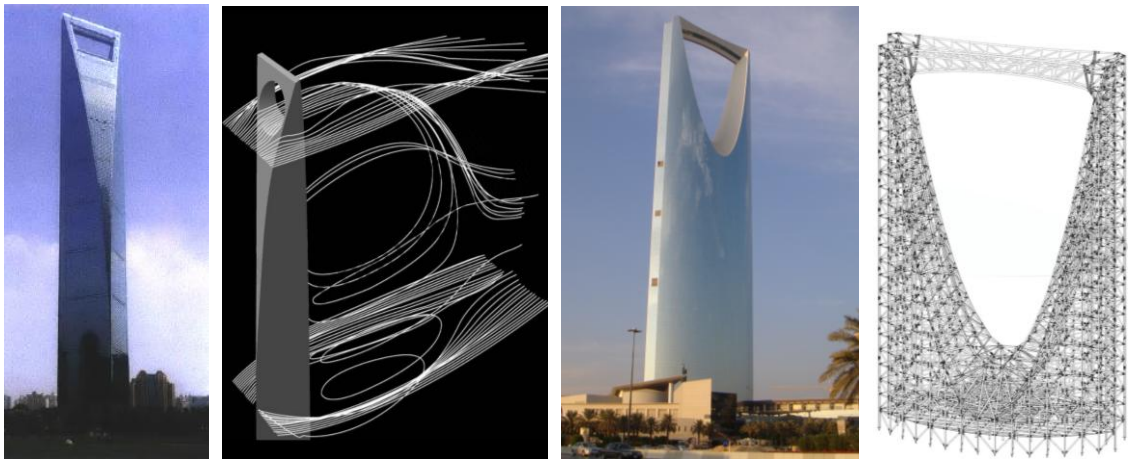
• *Sarmal form:* Plan, yapı yüksekliğince belli açılarla düşey eksen etrafında döndürülür. Simülasyonlar ve rüzgar tüneli testleri ile değerlendirildiğinde; sarmal form, aynı ölçülere sahip dikdörtgen planlı yapıya göre aerodinamik yapısı ve rüzgarın farklı açılardan etkimesi nedeni ile daha iyi aerodinamik performans göstermekte [121], yapı yüksekliğince oluşan girdap etkisi azalmaktadır [122].

Betonarme 80 katlı, *Infinity Tower* (Dubai, 2013) ile 54 katlı T*urning Torso* (Malmö, 2005), düşey ekseni etrafında 90° burulan tipik yapı örnekleridir. 56 katlı *Chicago Spire Tower* (Chicago, inşa edilmeyecek) ise tabandan tepeye 209^{o} dönmektedir. Shanghai Tower (Shanghai, 2014)'ın rüzgar tüneli testlerinde rüzgar etkisinin % 24 azalacağı belirlenmiştir (Şekil 3.18).

(a) (b) (c) (d)

Şekil 3. 18 (a) Infinity Tower (Dubai, 2013), (b) Turning Torso (Malmo, 2005), (c) Chicago Spire Tower (Chicago, İnşa edilmeyecek) ve (d) Shanghai Tower (Shanghai, 2014) [123], [124], [125], [126]

• *Açıklık eklemek:* Özellikle yapının üst seviyelerinde açıklık eklemek, dikdörtgen planlı (narinliği 8) bir yapıda, yapı genişliğinin her dış yüzeyinde % 1.5 oranında açılan açıklıklar, rüzgarın yapı salınımına etkisini % 20-25 azaltabilmektedir. Ancak, açıklığın alt seviyelerde yerleştirilmesi durumunda, yerdeğiştirmeleri azaltma konusundaki etkinliği azalmakta, girdabın periyoduna etki ederek konfor açısından negatif sonuçlar doğurabilmektedir. *Shanghai World Financial Center* (Shanghai,2008)'da tepedeki rüzgar basıncının azaltılması için, 50 m yüksekliğinde boşluk bırakılmıştır (Şekil 3.19.a) [121]. Diğer bir örnek, *Kingdom Center* (Riyadh, 2002)'dır (Şekil 3.19.b).

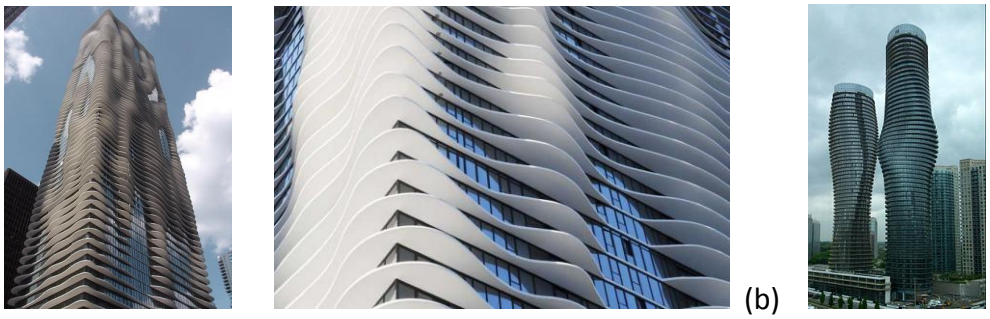


(a) (b)

Şekil 3. 19 (a) Shanghai World Financial Center (Shanghai, 2008) ve (b) Kingdom Center (Riyadh, 2002) [127], [128], [129]

• *Köşe ve yüzeyde biçim değişimi:* Rüzgar tüneli testleri sonuçlarına göre; yuvarlatılmış, kademeli, kesik köşeler ve dalgalı yüzeyler, yapıya etkiyen rüzgar ve yanal yerdeğiş-tirmeleri önemli derecede azaltmaktadır. 82 katlı 262 m yüksekliğindeki *Aqua Tower* (Chicago, 2009)'daki (Şekil 3.20.a) yuvarlatılmış köşeler, sadece rüzgar etkisini azaltmamış aynı zamanda ek sönümleyici sistemler kullanmaya gerek kalmamıştır. Diğer bir örnek, *Absolute Tower* (Ontario, 2012)'dır, 180 m yüksekliğinde 56 katlı yapıda hem sarmal form hem de dalgalı yüzey uygulanmıştır (Şekil 3.20.b).

(a)



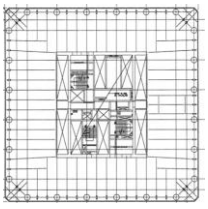
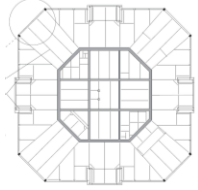
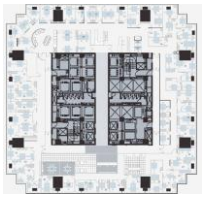
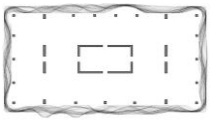
(b)

Şekil 3. 20 (a) Aqua Tower (Chicago, 2009), (b) Absolute Tower (Ontario, 2012) [130], [131], [132]

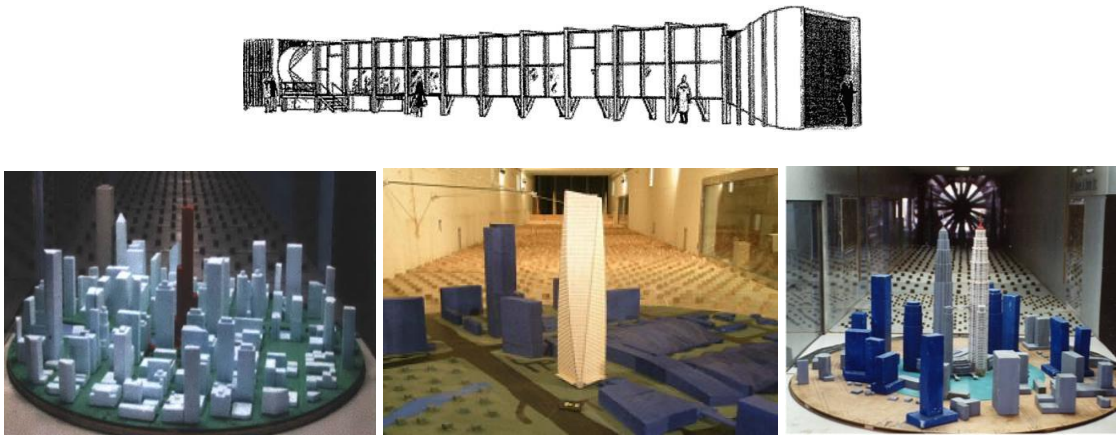
Köşeleri açıklıklı plan, sürtünmeyi azaltmaktadır; kesik köşeli plan durumunda ise % 20-40'a varan azalma gözlenmiştir, etkinlik yuvarlatılmış yüzeyde daha da artmaktadır. Kesik köşeli veya köşelerde açıklık bulunan planlarda girdap etkinliği azalmaktadır. Altıgen veya sekizgen plan formuna dönüşmesi durumunda, rüzgar etkisinde önemli azalma oluşmaktadır. Narinliği 10 olan ve yapı genişliğinin % 5'ini

geçmeyen köşe çekilmeleri, rüzgar etkisinin sönümlenmesinde oldukça etkili olurken, girdaplara karşı çok verimli değildir. Sonuç olarak, yapı planlarındaki köşeler ne kadar fazla olursa, yapının rüzgar etkisi ile yapacağı hareket de o kadar az olmaktadır. Ayrıca, eliptik veya yuvarlak planlı yapılarda, aynı ebatlı dikdörtgen planlı bir yapıya kıyasla rüzgar, % 20-40 oranında daha az etki etmektedir [122]. Tipi bazı yapı planları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3. 5 Çeşitli aerodinamik köşe değişimleri ve yapı örnekler [122], [133], [134], [135], [131], [130], [136], [137]

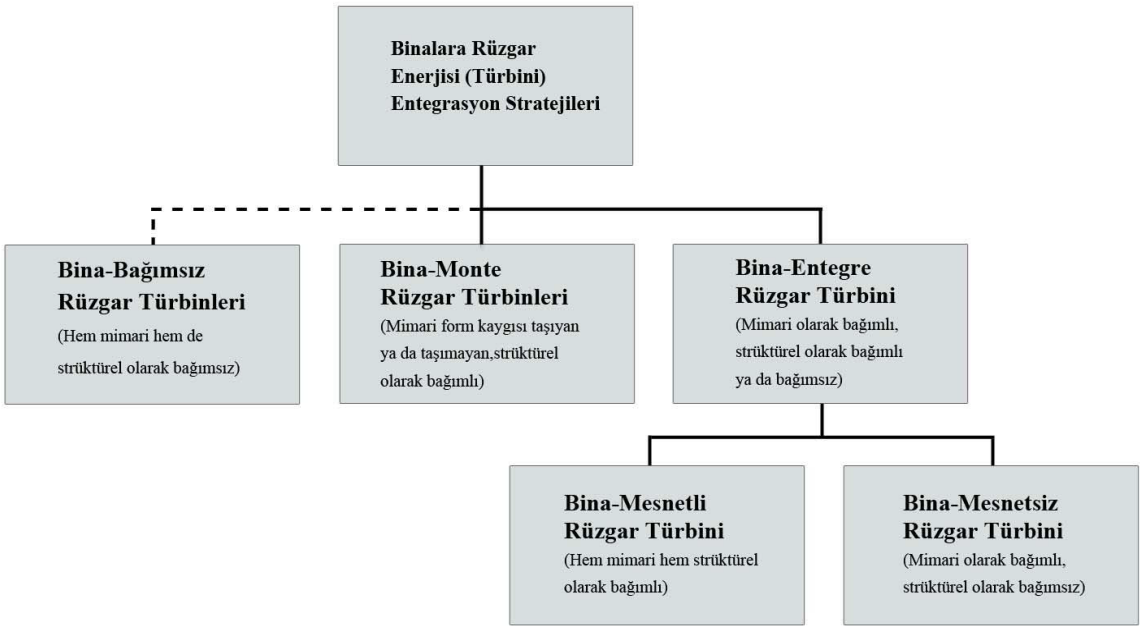
TİPİK YAPI PLANLARI				
Kare	Kesik köşeli	Köşelerde açıklıklar	Köşelerde çekilme oluşan plan	Yuvarlatılmış köşeli ve dalgalı yüzeyler
Cheung Kong Center (Hong Kong, 1999)	Jin Mao Tower (Shanghai, 1999)	Pearl River (Guangzhou, 2012)	Taipei 101 Tower (Taipei, 2004)	Aqua Tower (Chicago, 2010)
				

- *Yüksek yapılarda rüzgar tüneli testi*, gerek yapıya etkiyecek rüzgar yüklerini belirlemek, gerekse rüzgarın hakim yönüne göre yapının formu ve konumunu belirlemek amacıyla, planlama aşamasındaki tasarımcıya önemli katkı sağlamaktadır. Ancak tek dezavantajı, pahalı ve zaman alan bir yöntem olmasıdır. Tayfun riski olmayan bölgelerde 22 ve daha fazla katlı yapılarda, tayfun riski varsa 10 kat ve üzeri için uygulanmaktadır [138]. Test sisteminde uzun bir tüp ve ucunda güçlü rüzgar üreten fan bulunur. Ölçeklendirilmiş yüksek yapı, çevresindeki yapılar ile birlikte modellenir, üzerine tasarım rüzgarı etkitilir (Şekil 3.21).



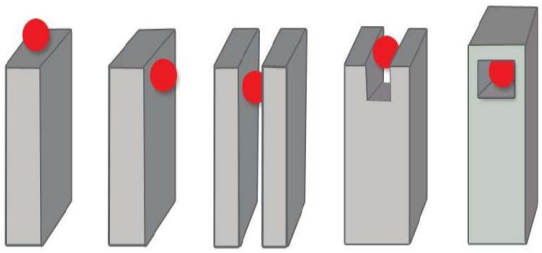
Şekil 3. 21 Boyu 33-64 m arasında değişen rüzgar tüneli [58]

- *Rüzgardan elektrik enerjisi üretimi*, özellikle son yıllarda güncel bir konu haline gelmiştir. Yapıların çatısına rüzgar türbini yerleştirmek bir çözüm iken günümüzde yapıya entegre, yapı mimarisinin bir parçası olan yüksek yapılar da inşa edilmektedir. Türbinler; bina-bağımsız, bina-monte ve bina-entegre şeklinde 3 grupta incelenebilir (Şekil 3.22) [139].

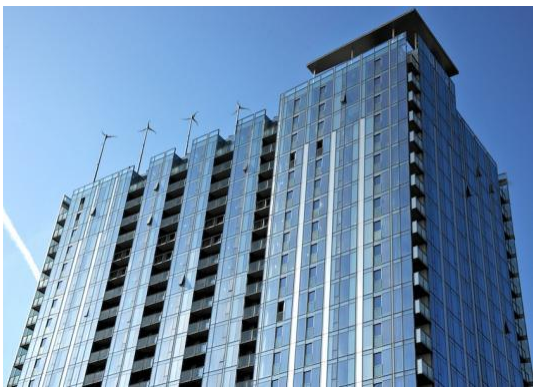


Şekil 3. 22 Binalara rüzgar türbinleri entegrasyon yöntemleri [139]

Bina monte rüzgar türbinleri (Building Mounted Wind Turbines-BUWT); yeni yapılan veya mevcut bir yapıya uygulanabilir. Bina monte rüzgar türbinleri, yapıyı kule olarak kullanmaktadır ve yapıya farklı şekillerde monte edilebilmektedir (Şekil 3.23). *Indigo Building* (Portland, 2009) bu türbinlerin uygulandığı yapılardandır (Şekil 3.24).



Şekil 3. 23 Bina monte rüzgar türbinleri için entegrasyon yöntemleri [140]



Şekil 3. 24 Indigo Building (Portland, 2009) ve monte rüzgar türbinleri [141], [142]

Bina entegre rüzgar türbinleri (Building Integrated Wind Turbines-BIWT), yüksek yapıların tasarım aşamasında, yapının bir parçası olarak entegre edilen elemanlardır [143]. *Bina mesnetli rüzgar türbinleri* ve *bina mesnetsiz rüzgar türbinleri* olarak ikiye ayrılır. *Castle House* (London, 2010), *Pearl Riwer Tower* (Guangzhou, 2011), *Bahrain World Trade Center* (Manama, 2008), *Lighthouse Tower* (Dubai, 2012) ve *The Clean Technology Tower* (Chicago, inşaat aşamasında) bina entegre rüzgar türbinlerinin tipik örneklerindir (Çizelge 3.6).

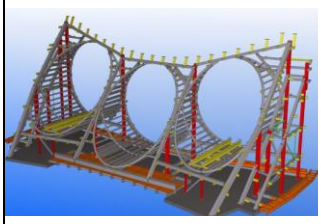
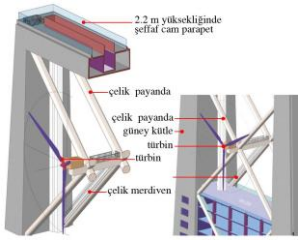
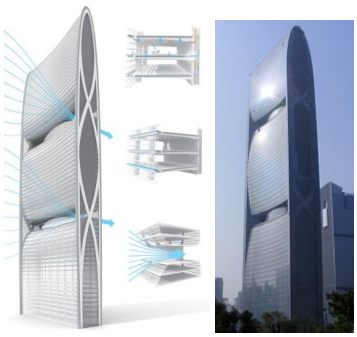
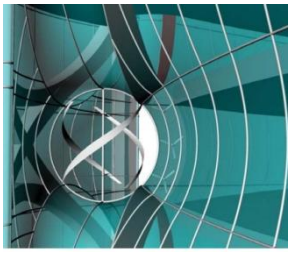
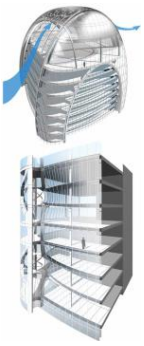
Başlıca iki tip rüzgar türbini mevcuttur:

Yatay eksenli rüzgar türbinleri (HAWTs), kendi dönüş eksenine paralel esen rüzgar enerjisini kullanabilmektedir.

Düşey eksenli rüzgar türbinleri (VAWTs), her yönden esen rüzgar enerjisini kullanabilmektedir. Bunun yanında, yapı boyunca oluşan yatay ve düşey akımların oluşturdukları rüzgarları da karşılayabilmektedir.

Rüzgar türbinleri yapının taşıyıcı sistemine dinamik etki uygular, bu nedenle yapı ve türbin birleşim bölgelerinde sönümleme sistemi oluşturulmalıdır [143]. Ayrıca elektrik jeneratörleri gibi yardımcı elemanlar için ek alanlar, türbinler arasında manyetik alan ve ses için izolasyon gereklidir [150].

Çizelge 3. 6 Rüzgar enerjisi eldesi-mimari entegrasyon ile tasarlanmış yüksek yapı örnekleri [144], [145], [146], [147], [148], [149], [150]

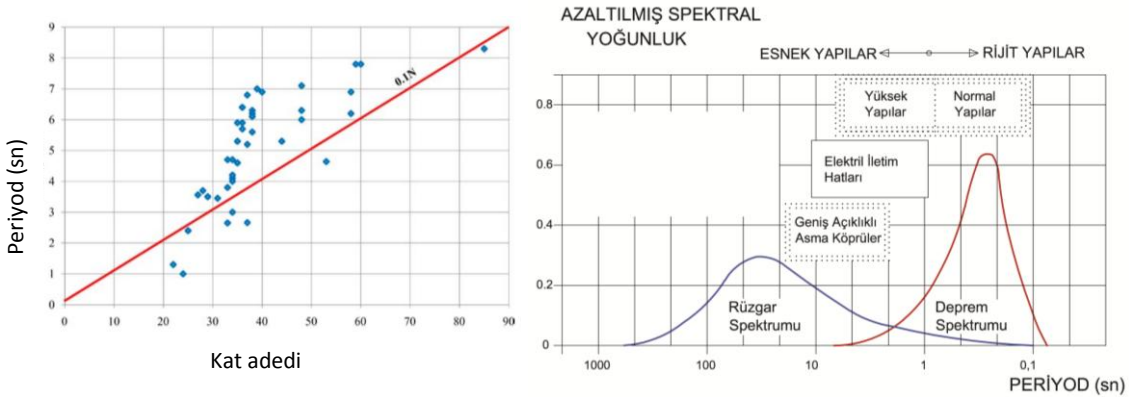
<table>
<tr><td rowspan="2">HAWTs</td><td>The World Bahrain Center
(Manama, 2008)</td><td>Castle House
(London, 2010)</td><td>Lighthouse Tower
(Dubai, 2012)</td></tr>
<tr><td>
 </td><td>
  </td><td>
  </td></tr>
<tr><td>Her biri 29 m çapında, 3 adet yatay eksenli rüzgar türbini ile yapının elektrik enerjisi ihtiyacının % 11-15’i karşılanır.</td><td>Her biri 7 m çapında, 3 adet yatay eksenli rüzgar türbini yerleştirilmiştir.</td><td>3 adet yatay eksenli rüzgar türbini ile yapının elektrik ihtiyacının % 3.9-5’u sağlanmaktadır.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">VAWTs</td><td>Pearl Riwer Tower
(Guangzhou, 2011)</td><td colspan="2">The Clean Technology Tower
(Chicago, inşaat aşamasında)</td></tr>
<tr><td>  </td><td colspan="2">
 
  </td></tr>
<tr><td>Yapının belirli yüksekliklerinde 4 adet düşey eksenli rüzgar türbini mevcuttur.</td><td colspan="2">Yapının yuvarlatılmış köşeleri ve en üst noktasına bir adet düşey eksenli rüzgar türbini yerleştirilmiştir.</td></tr>
</table>

3.4 Narinlik ve Yanal Yerdeğiştirmelerin Sınırlandırılması

Yapıların gittikçe daha yüksek yapılması ve narinlikteki[1] artışlar sonucu, salınımı kontrol etmek için farklı arayışlara girilmiştir. Günümüzde yüksek dayanımlı ve daha hafif malzemelerin kullanımı, yanal yerdeğiştirmeleri negatif etkilemektedir. Yerdeğiştirmelerin azaltılması için yanal rijitliğin arttırılması gereklidir, oysa malzeme açısından rijitlikte büyük değişiklikler sözkonusu değildir[2]. Bu durumda taşıyıcı sistemde yenilikler ve gerektiğinde sönümleme sistemleri kullanılması önemli hale gelmektedir. Bu bölümde, rüzgar ve deprem açısından tasarımda dikkat edilmesi gereken durumlar açıklanacaktır.

3.4.1 Tasarımda Rüzgar ve Deprem Etkisi

Yapıya etkiyen yanal kuvvetlerin (rüzgar, deprem) karakteri birbirinden farklıdır. Depremin en etkin olduğu aralık az ve orta katlı yapılar iken rüzgarın etkin olduğu yapılar yüksek yapılardır (Şekil 3.25). Diğer taraftan az katlı yapılarda T=0.1*N bağıntısı ile hesaplanan yapı periyodu yüksek yapılarda farklılaşmaktadır (Şekil 3.25). Bu kısımda, deprem ve rüzgarın yapı tasarımına olan etkisi incelenecektir.

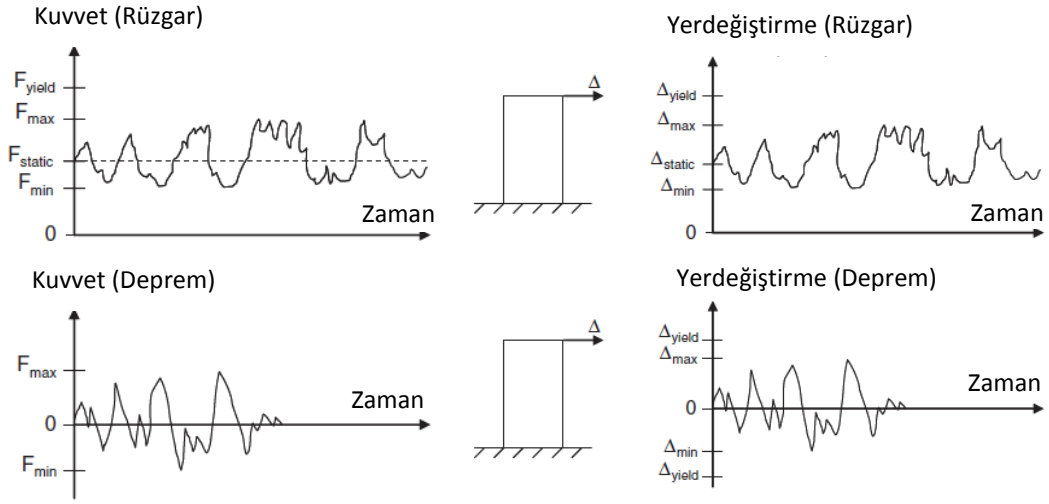


Şekil 3. 25 Kat adedi-periyod değişimi ve farklı periyodlu yapılarda spektral ivmelerin göreli değişimi [101], [151]

[1] Yapı yüksekliği/yapı kısa kenar genişliği

[2] Üretim sürecindeki değişimler ile malzeme dayanımlarında sağlanan artışa karşılık elastisite modülü sabit kalmıştır veya çok az değişmiştir. Örneğin, yapısal çeliğin günümüzde 170-690 MPa dayanımına karşılık elastisite modülü aynıdır. Beton dayanımı günümüzde C130'lara kadar çıkmış olsa da elastisite modülündeki artış ancak 25-30 GPa düzeyinde kalmaktadır.

• Rüzgar etkisi, yapı ömrü boyunca, büyüklüğü değişken ama depremden farklı olarak sürekli mevcuttur (Şekil 3.26). Farklı büyüklük ve dönüş periyotlarına göre hazırlanmış rüzgar haritalarına göre tasarım yapılır. Dönüş periyodu 50 yıl, 100 yıl, esiş süresi 3 sn (tayfun ve hortum etkisi) ile 1 saat arasında olan farklı rüzgar etki durumları dikkate alınır. Bu durumlara ait, tepedekien fazla basınç gerilmesi ve girdap nedeni ile zemine yakın kısımlarda oluşacak en fazla çekme gerilmesi belirlenerek taşıyıcı sistem hesapları yapılır. Keza, cephe kaplaması da ekstrem şartlara kırılmadan, yerinden kopmadan dayanım göstermelidir. Yapı, rüzgar etkisini her zaman elastik sınır içindeki şekildeğiştirmeler ile karşılamalıdır. Kullanıcı konforu açısından üst katlardaki ivme, yönetmeliklerde 10 yıllık dönüş periyodu için genellikle 10-15 mg (konut) ve 20-25 mg (ofis) ile sınırlandırılır [152] (Çizelge 3.7). Tepe yerdeğiştirmesi, çok yüksek yapılar hariç Δ=H/500 (oran olarak 1/500 veya % 0.2) esas alınır. Çok yüksek yapılarda ise, yönetmeliklerin kabul ettiği sınır genellikle H/1000, keza göreli kat ötelemesi de h/1000'dir.



Şekil 3. 26 Rüzgar ve deprem kuvvetleri zaman değişimi [153]

Çizelge 3. 7 Rüzgar nedeniyle oluşan ivmeler ve kullanıcı konforu [101]

İvme algısı	
Konfor derecesi	İvme seviyesi
Hissedilmez	< 5 mg
Hissedilebilir	< 5 mg – 15 mg
Can sıkıcı	< 15 mg- 50 mg
Çok can sıkıcı	< 50 mg – 150 mg
Dayanılmaz	> 150 mg

• Deprem ise, sık sık sözkonusu olan bir olgu değildir, bölgenin sismik aktivitesine uygun belirli dönüş periyotlarına göre tanımlanır. Çok yüksek ve önemli yapıların, 50 yılda oluşma olasılığı % 10 olan depremi (dönüş periyodu 475 yıl)[1] tamamen elastik sınırlar içinde karşılayacağı, 50 yılda oluşma olasılığı % 2 olan (dönüş periyodu 2475 yıl) ekstrem depremde ise kontrollu plastik şekildeğiştirmelerin oluşacağı kabul edilir. Son dönemde en yüksek yapıların yapıldığı Çin'deki Yönetmeliğe göre performans seviyeleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3. 8 Çin Yapı Yönetmeliğin'de rijit katlı yapılarda performans seviyeleri [154]

Deprem seviyesi		Sık oluşan deprem	Orta sıklıkta depremler	En şiddetli deprem
Dönüş periyodu		50 yıl	475 yıl	2475 yıl
Performans seviyesi		Hasar yok / ihmal edilebilir hasar	Az hasar, onarılabilir	Önemli hasar düzeyi, Göçme yok
Taşıyıcı sistem davranışı		Hasar yok, hiç bir elemanda elastik sınır aşılmaz.	Hafif hasar durumu. Taşıyıcı sistem başlangıç dayanımı ve rijitliğini büyük ölçüde korur.	Ciddi hasar durumu. Birleşimlerde, süper kolonlarda[2],çekirdekte kesme kuvvetinden kaynaklanan hasar mevcut. Kısmi,tümüyle göçme yok.
Göreli kat ötelemesi sınırı		h/500; h/2000	h/200	h/100
ELEMAN PERFORMANSI	Çekirdek	Elastik o Arttırılmış deprem yükleri o Malzeme emniyet gerilmeleri	<u>Rijit katlarda</u> o Arttırılmış deprem yükleri o Malzeme emniyet gerilmeleri <u>Diğer katlarda</u> o Deprem yükleri o Malzeme maks. dayanımı	Plastik mafsal dönmeleri: o Alt katlarda $Ø<Ø_{HK}$ o Diğer katlarda $Ø<Ø_{CG}$ Kesme kuvveti ≤ Maks. kesme kuvveti kapasitesi
	Bağ Kirişi		o Plastik mafsal oluşumuna izin verilir.	Plastik mafsal dönmeleri: $Ø<Ø_{CG}$ ve $Ø\leq 0.02$ rad
	Süper Kolon		Elastik o Arttırılmış deprem yükleri o Malzeme emniyet gerilmeleri	Plastik mafsal dönmeleri: o Alt katlarda $Ø<Ø_{HK}$ o Diğer katlarda $Ø<Ø_{CG}$ Çelikte $f_y< f < f_u$
	Çepeçevre Kafes		Elastik o Arttırılmış deprem yükleri o Malzeme emniyet gerilmeleri	Elastik Çelikte $f < f_y$
	Rijit Kat Kafesi		o Deprem yükleri o Malzeme maks. dayanımı	Plastik mafsal dönmeleri: $Ø<Ø_{CG}$, çelikte $f < f_u$
	Kritik Birleşimler		Elastik, o Arttırılmış deprem yükleri o Malzeme emniyet gerilmeleri	Sonlu eleman analizleri gerekli , Çelikte $f \leq f_y$

[1] Gumbel bağıntısından hareketle olasılıklar ve dönüş periyodları

Aşılma olasılığı	Süre (Yıl)	Dönüş Periyodu (Yıl)
% 50	100	144
% 10	50	475
% 10	100	950
% 5	100	1950
% 2	50	2475
% 1	100	9950

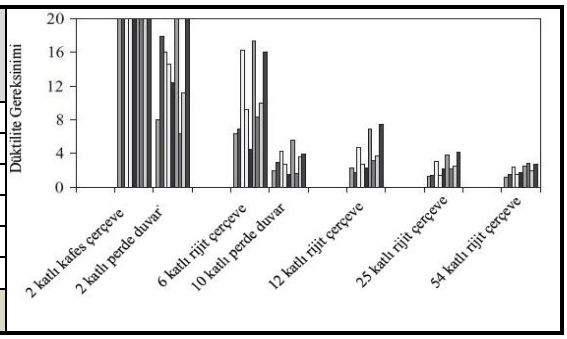
[2] Süper kolon: Kesit alanları normalden çok büyük olan betonarme veya kompozit kolonlardır.

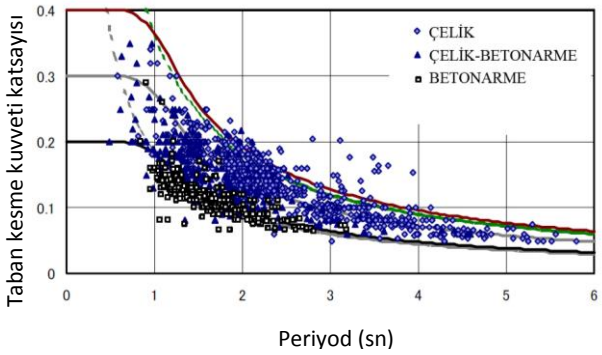
Çin Yönetmeliğinde, en büyük depremde göreli kat öteleme oranı[1] 1/100 (% 1) ile sınırlanır (Çizelge 3.8). Bu yönetmeliğe göre, çekirdek ile süper kolonların bağlantısını sağlayan çepeçevre kafes ve çekirdek içine gömülen kiritik çelik birleşimlerdeki gerilmeler en büyük depremde bile elastik sınırlar içinde kalmalıdır. Sözkonusu kritik bileşimlerin sonlu eleman analizleri gereklidir.

Deprem açısından, yüksek yapılar gibi 1. mod periyod değeri 3 sn ve daha uzun esnek yapı sistemlerinde, kısa periyotlu (0.2-1 sn) rijit yapılara kıyasla, deprem sırasında taban kesme kuvveti katsayısı[2] ve süneklik istemi daha azdır (Çizelge 3.9, Şekil 3.27).

Çizelge 3. 9 Puente Hills depreminde (M_W=7.1) farklı yapılarda ölçülen süneklik [155]

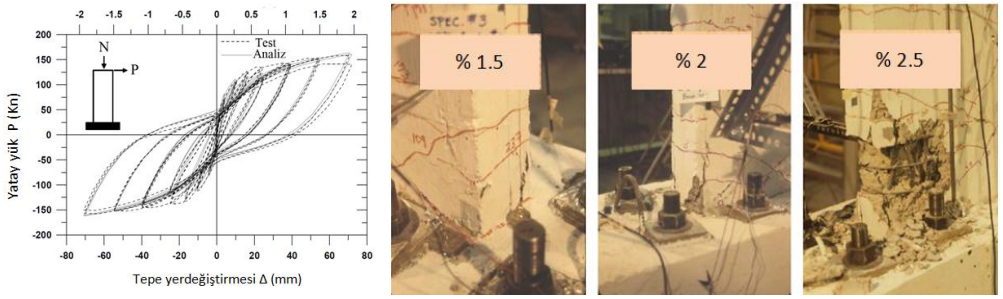
Yapı çeşidi	Yapı periyodu (sn)	Deprem taban kesme kuvveti katsayısı
2 katlı kafes çerçeve	0.30	0.20
2 katlı perde duvar	0.30	0.40
6 katlı rijit çerçeve	1.0	0.20
10 katlı perde duvar	1.0	0.40
12 katlı rijit çerçeve	2.0	0.20
25 katlı rijit çerçeve	4.0	0.10
54 katlı rijit çerçeve	6.0	0.05





Şekil 3. 27 Yüksek yapılarda taban kesme kuvveti katsayısının periyod ile değişimi [157]

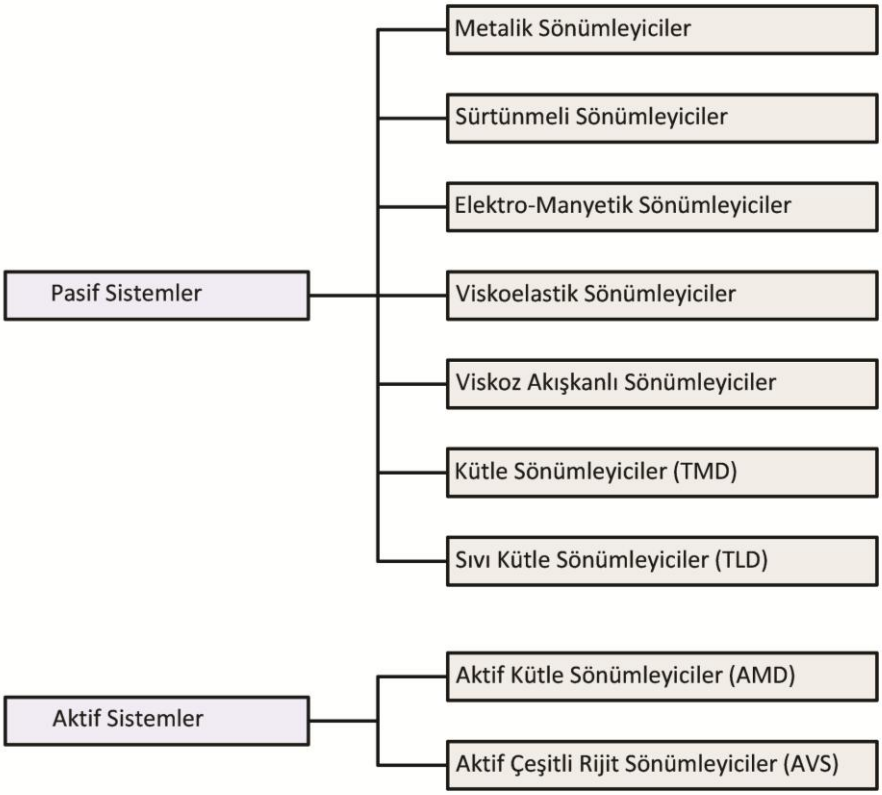
[1] Sabit düşey yükler için tersinir yükler etkisinideki tipik yük-göreli yerdeğiştirme oranı eğrisi [156]



[2] Taban kesme kuvveti/yapı ağırlığı oranı

3.4.2 Sönümleme Sistemleri

Genel olarak yapıda alınan önlemler, yapının birleşim detaylarında sönümleyiciler kullanmak yada yapının kütlesini ek kütleler ile arttırmaktır. Sönümleme sistemleri, aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılır (Şekil 3.28). Pasif sönümleyicileri harekete geçirmek için dışarıdan enerji ihtiyacı yoktur, ekonomiktir. Aktif sönümleyiciler için ise "aktif kontrol" mekanizması ve rüzgar/deprem yüklerine karşı harekete geçirmek için enerji kaynağı gereklidir. Aktif sistemler, pasif sistemlere göre daha etkilidir; ancak, pasif sistemler güvenilirlik ve ekonomik açıdan daha yaygın uygulanmaktadır.



Şekil 3. 28 Yüksek yapılardaki sönümleme sistemlerinin sınıflandırılması [102]

Salınım kontrolu açısından, taşıyıcı sistemi cephede olan yüksek yapılar (tüp sistem) için, narinliğin 6-7 aralığında kalması amaçlanır. Bu oranın 8'den büyük olduğu çelik yapılarda ilave sönümleyici sistemler düşünülmelidir. Merkezi betonarme çekirdekli yapılarda narinlik 10-15'dir [17], narinliği 20 olan betonarme *Highcliff Apartment Building* (Hong Kong, 2003)'de rüzgar etkisi için tepede sönümleyici yerleştirilmiştir. Bazı yapılar için narinlik oranları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3. 10 Bazı yüksek yapılarda narinlik ve taşıyıcı sistem [158], [159], [160], [17]

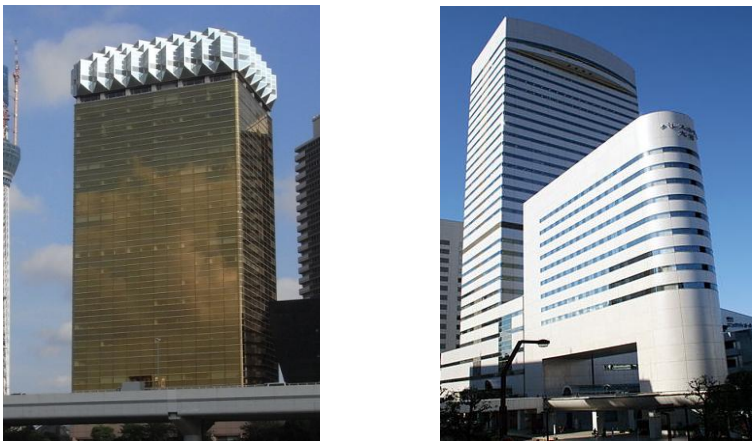
Yapı		Yükseklik, Kat Adedi	Narinlik	Malzeme	Taşıyıcı Sistem
Empire State Building (New York, 1931)		381 m 102 kat	**9.3**	Çelik	Rijit Çerçeve +Çekirdek
John Hancock (Chicago, 1970)		344 m 100 kat	**6.6**	Çelik	Kafes Tüp
Sears Tower (Chicago, 1973)		445 m 108 kat	**6.4**	Çelik	Demet Tüp
Amoco Building (Chicago, 1973)		346 m 83 kat	**6.0**	Çelik	Çerçeve Tüp
780 Avenue (New York, 1983)		174 m 50 kat	**8**	Betonarme	Kafes Tüp
Petronas Towers (Kuala Lumpur, 1998)		451 m 88 kat	**8.6**	Kompozit	Çekirdek+ Çepeçevre Kafesli 2 Rijit kat
Jin Mao Tower (Shanghai, 1999)		421 m 88 kat	**8.6**	Kompozit	Çekirdek+ Çepeçevre Kafesli 3 Rijit kat
Trump World Tower (New York, 2001)		262 m 72 kat	**11**	Betonarme	Tüp+Çepeçevre Kafesli 1 Rijit kat
Highcliff Apartment Building (Hong Kong, 2003)		252 m 73 kat	**20**	Betonarme	Çekirdek+Perde
Hearst Tower (New York, 2006)		183 m 46 kat	**4.94**	Çelik	Çekirdek+Diagrid
Shanghai World Financial Center (Shganghai, 2008)		492 m 101 kat	**8.50**	Kompozit	Çekirdek+ Çepeçevre Kafesli 7 Rijit kat
Guangzhou International Finance Center (Guangzhou, 2010)		438 m 103 kat	**10.11**	Kompozit	Çekirdek+Diagrid
One Madison Park (New York, 2011)		188 m 51 kat	**12**	Betonarme	Çekirdek+Perde

Kareem vd. [152]'nin araştırmasında, 1997'den sonra Japonya'da yapılması planlanan 45 m'den yüksek yapılarda metalik sönümleyici ve kütle sönümleyici daha ağırlıklı olarak yer almaktadır. Ayrıca aktif sistemlerden hibrid kütle sönümleyici kullanımı artmaktadır. Yükseklikleri 45 m'yi geçen yapıların % 27'sinde aktif sönümleyici kullanılması planlanmıştır, bu kullanım 45 m'den daha az olan yükseklikler için % 21'dir.

Bu bölümde sönümleme sistemlerinin günümüz yapılarındaki uygulamaları incelenecektir.

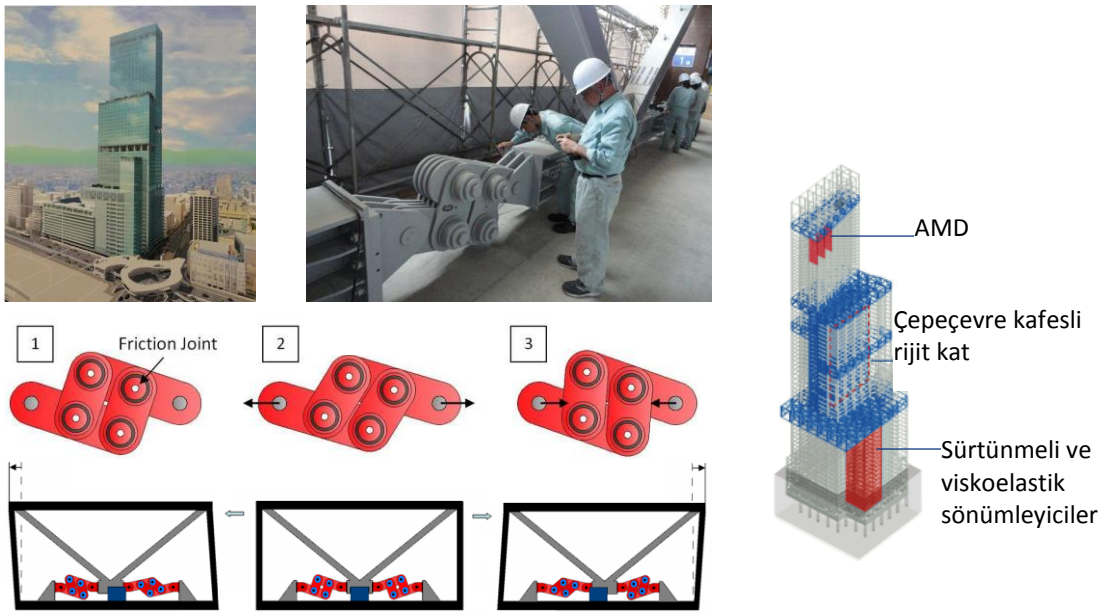
- *Sürtünmeli sönümleyiciler*, birbiri üstünden kayan, sürtünme ile enerjiyi yutan elemanlar olup birbirine yüksek dayanımlı bulonlar ile birleştirilir. Deprem açısından çok iyi davranış gösterirken rüzgardan dolayı oluşan yerdeğiştirmeler için de kullanılır. Sürtünmeli sönümleyici uygulanan yapıda, deprem sırasında gerilmeler elastik sınırlar içinde kalırken sönümleyici, lineer olmayan şekildeğiştirmeler ile enerjiyi yutar.

Geçmişteki ilk örnekler[1], *Sonic City Tower* (Ohmiya, 1988) ve *Asahi Beer Tower* (Tokyo, 1989)'dır (Şekil 2.29) [152]. En güncel örnek ise, 300 m yüksekliğinde, 60 katlı kompozit, *Abenobashi Terminal Building* (Osaka, 2014)'dir (Şekil 3.30). Sönümleyiciler, çerçeve sistemde bulunan V tipi çaprazlara birleştirilmiştir. Bu sönümleyici yanında yapının en üst noktasında ATMD (aktif kütle sönümleyici) ve alt katlarında visoelastik sönümleyici kullanılmıştır [161].



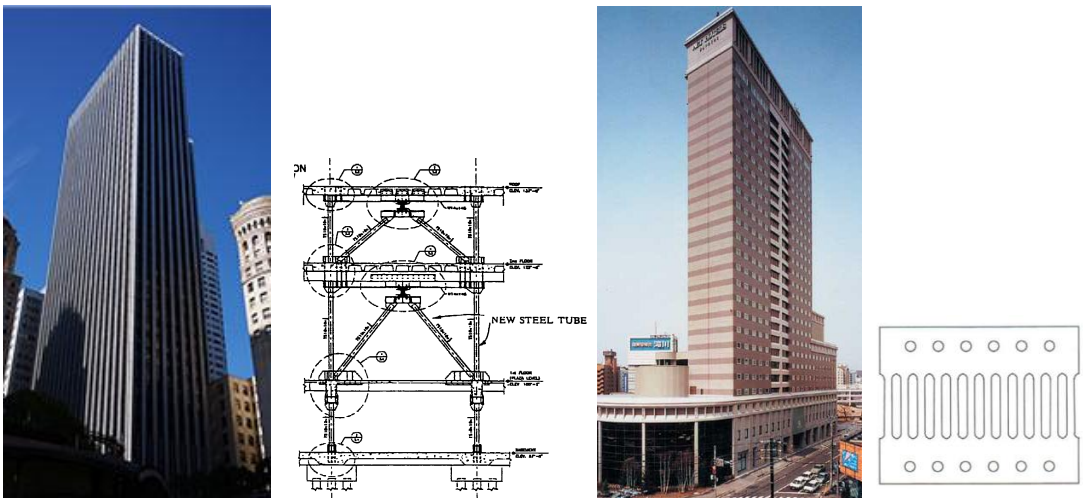
Şekil 3. 29 Asahi Beer Tower (Tokyo, 1989) ve Sonic City Tower (Ohmiya, 1988) [162], [163]

[1] *Sonic City Tower* (Ohmiya, 1988)'da x ve y yönlerinde dörder adet sönümleyici yerleştirilmiştir. *Asahi Beer Tower* (Tokyo, 1989)'da ise x ve y yönlerinde 1. ve 20. katlarda kullanılmıştır.



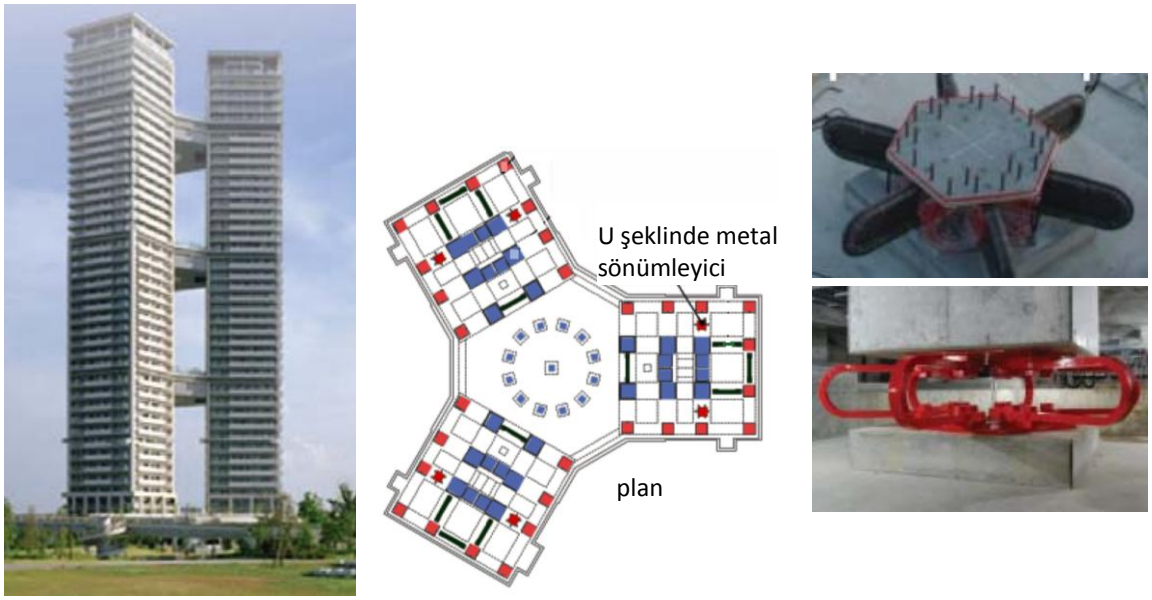
Şekil 3. 30 Abenobashi Terminal Building (Osaka, 1914) [164], [165], [161]

• *Metalik sönümleyiciler,* metaldeki lineer olmayan şekildeğiştirmeler ile enerji yutar. Sismik aktiviteye etkin bir çözüm olarak son yıllarda kullanımı oldukça artmıştır. Erken örneklerinden bir tanesi *Wells Fargo Bank* (San Francisco, 1966)'dır ve yapının Chevron çaprazlarında uygulanmıştır. Diğeri ise, 96 m yüksekliğinde, 26 katlı *The Art Hotels Sapporo* (Hokkaido, 1996)'dur; 490 MPa dayanımlı, 2000 sönümleyici plaka yerleştirilmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3. 31 Wells Fargo Bank (San Francisco, 1966) ve Art Hotels Sapporo (Hokkaidoi 1996) [166], [167], [168]

En güncel uygulamalardan birisi, rüzgar ve deprem yüklerinin etkin olduğu bölgede uygulanmıştır. Yapı, 145 m yüksekliğinde, 42 katlı *Island Tower Sky Club Tower* (Fukuoka, 2008)'dir (Şekil 3.32). Yapıda, metal sönümleyicilerin yanında diğer pasif sönümleyiciler de uygulanmıştır.

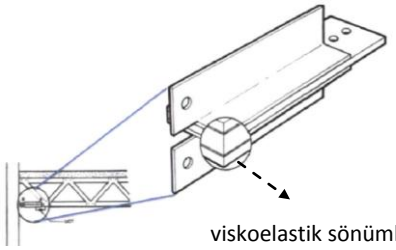


Şekil 3. 32 Island Tower Sky Club Tower (Fukuoka, 2008) [169]

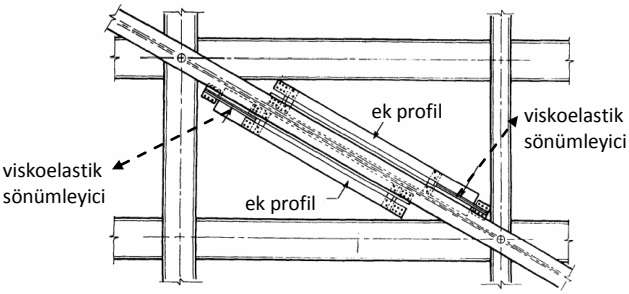
• *Viskoelastik sönümleyiciler,* Wang [121] tarafından yapılan araştırmaya göre, büyük periyotlarda, yerdeğiştirme ve ivmeyi % 17.9-21.4 oranında azaltabilmektedir. Özellikle, viskoelastik malzeme olan kauçuk, camsı yada kopolimer malzemelerin, çelik plakalar arasına yerleştirilerek yanal yüklerin enerjisini kayma şekildeğiştirmeleri ile yutar. Betonarme ve çelikte aynı düzeyde etkindir. Sistem, deprem ve rüzgar yükleri etkin bölgelerde uygulanabilmektedir.

İlk tasarlanan ve geliştirilen viskoelastik sönümleyici, *World Trade Center* (New York, 1970-1971)'da uygulanmıştır; 10000 adedi R tipi kafes kirişlerin birleşim bölgesine yerleştirilmiştir (Şekil 3.33.a). Diğer erken bir örnek, *Seafirst Tower* (Columbia, 1985)'dir, sönümleyiciler çaprazlarda kullanılmıştır (Şekil 3.33.b) [170].

(a)



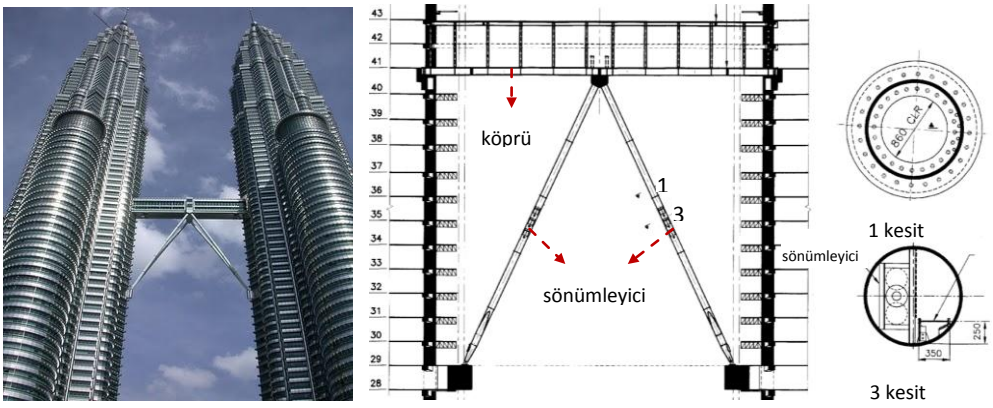
(b)



Şekil 3. 33 (a) World Trade Center (New York,1970,1971) ve (b) Seafirst Tower (Columbia, 1985) [121], [171], [170]

• *Viskoz akışkanlı sönümleyiciler,* deprem ve rüzgar etkisi ile ortaya çıkan enerjiyi ısı enerjisine dönüştürür. Paslanmaz çelik tüp içindeki silikon sıvı, bir piston ile küçük deliklerden geçerek silindirik odacıktan diğer odacığa iletilirken enerji yutulur, böylece % 20-50 oranında sönümleme sağlanır [172]. Yüksek katlı yapılar esnek karakterli olduğu için diyagonal veya chevron tipi çaprazlar ile uygulanır. Rüzgar etkisi altında çok ufak salınımlarda sönümleyici yeterli performans sergileyemeyebilir.

İlk kullanımı *San Bernardino Country Medical Center* (California, 1993)'da olmuştur. Yüksek yapıda ilk kullanımlardan bir tanesi, *Petronas Twin Towers* (Kuala Lumpur, 1995)'da olmuştur. İki yapıyı bağlayan köprüde 12 adet sönümleyici kullanılmıştır [152] (Şekil 3.34).

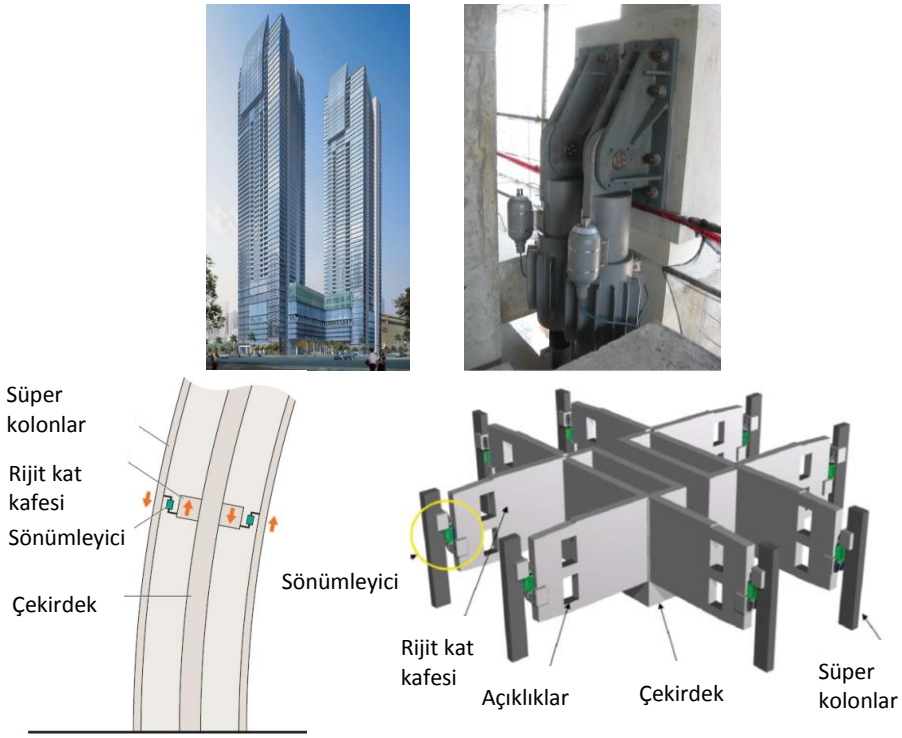


Şekil 3. 34 Petronas Twin Towers (Kuala Lumpur, 1995) [173], [152]

Kullanıldığı en önemli ve özel yapılardan birisi, rüzgar ve depremin etkin olduğu bölgede bulunan, 57 katlı *Torre Mayor Tower* (Mexico City, 2003)'dır. İlk defa, bir kafes tüp sistemde viskoz akışkanlı sönümleyici, mega çaprazlar ile kullanılarak altı kat (20 m) birden geçilmiştir [1] (Şekil 3.35).

Şekil 3. 35 Torre Major (Mexico City, 2003), sönümleyici detayları [174]

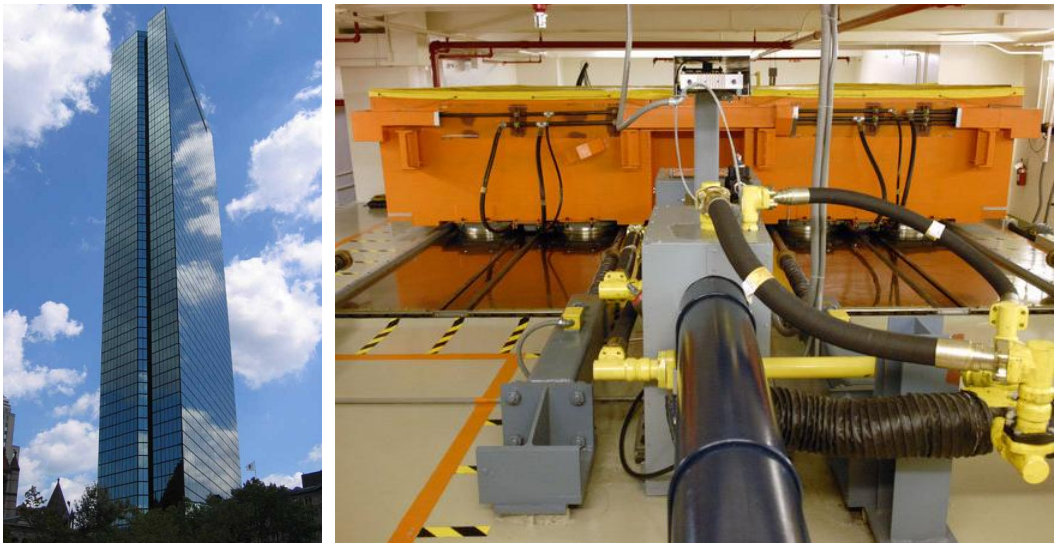
Günümüzde kullanıldığı yapı, 60 katlı, 210 m yüksekliğinde, *St Francis Shangri- La Place* (Mandaluyong City, 2009)'dır. İki katlı rijit kat, çevre kolonlara sönümleyiciler ile birleşmektedir [175]. Yapıda, % 5-11 oranında sönümleme sağlanmıştır (Şekil 3.36).



Şekil 3. 36 *St Francis Shangri- La Place* (Mandaluyong City, Filipinler, 2009) [175]

[1] Yapıda, toplam 98 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır, bunlardan 24 adedi büyük sönümleyiciler olup 5700 kN eksenel kuvvete göre boyutlandırılmıştır ve yapının uzun cephesinde konumlandırılmıştır. Mega çapraz uzunluklarının 20 m'yi geçmesi istenmiştir. Küçük sönümleyiciler ise 2800 kN'a kadar dayanım göstermektedir.

• *Pandül tipi kütle sönümleyiciler (TMD),* zıt yönde atalet kuvveti oluşturarak rüzgar ve deprem salınımını azaltır. En iyi performans için, yerdeğiştirmelerin en fazla olduğu binanın üst noktasına yakın konuma yerleştirilir ve kütlenin periyodu genellikle yapı periyodu ile benzeşir. En erken örneklerden birisi, *Hancock Tower* (Boston, 1977)'dır [152] (Şekil 3.37). Yapının 58.katında zıt yönde iki adet 5.2mx5.2mx1m boyutlu kütle sönümleyici mevcuttur.

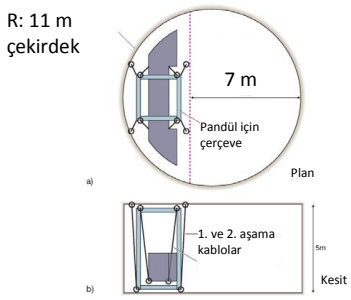
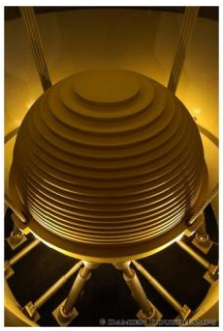


Şekil 3. 37 Hancock Tower (Boston, 1977) [176], [177]

Taipei 101 Tower (Taipei, 2004)'de (Çizelge 3.11), rüzgar ve deprem salınımına karşı, çelik plakalardan oluşmuş 725 t ağırlığında küre biçimli sönümleyici, 87-91 katları arasında konumlandırılmıştır. Üstten dört çift kablo ile asılmış, alttan 8 adet viskoz sönümleyici ile birleştirilmiştir. Yapı ağırlığının % 0.26 oranı ve kabloların uygun uzunluğu ile yapının doğal periyoduna yakın bir periyod yakalanmış ve yanal yerdeğiştirmeler, % 30-40'a kadar azaltılabilmiştir [178].

Diğer bir örnek ise, *Sport City Tower* (Qatar, 2006)'dir; çekirdeğe yerleştirilmiş 140 ton ağırlığında TMD bulunmaktadır (Çizelge 3.11) [179].

Çizelge 3. 11 Taipei Building (Taipei, 2004), Sport City Tower (Qatar, 2006) [178], [179]

Sport City Tower (Qatar, 2006)	
Taipei Building (Taipei, 2004)	

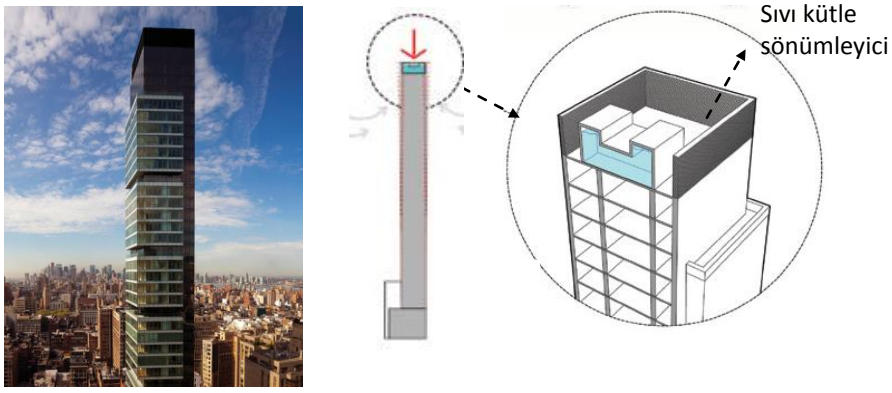
- *Sıvı kütle sönümleyiciler (TLD),* su tankı içindeki suyun yatay yükler altında çalkalanması sonucu, oluşan atalet kuvvetleri ile yapıyı dengeye getirmeye çalışmaktadır ve daha ziyade rüzgar yüklerine karşı kullanılmaktadır. Erken örneklerden birisi, 149 m yüksekliğinde *Shin Yokohama Prince Hotel Tower* (Yokohama, 1992)'dir; 9 adet 2 m çapında tank yerleştirilmiştir (Şekil 3.38) [152].

Şekil 3. 38 Shin Yokohama Prince Hotel Tower (Yokohama, 1992) [180], [152]

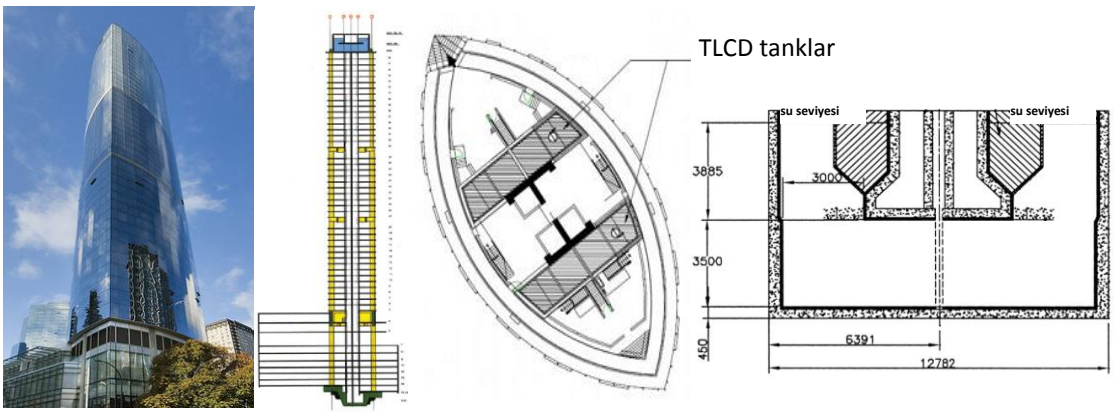
Güncel TSD uygulama, *One Rincon Hill* (California, 2008)'da yapının en üst noktasına 50000 lt'lik tank yerleştirilmiştir. Ara noktalarda bulunan perdeler, su akışını düzenleyen modüller şeklinde tasarlanmıştır. *Marine Bay Sands* (Singapore, 2011) yapısının en üst noktasında 150 m uzunluğunda havuz ve altında 50 m ara ile kullanılan bariyerlerde hareketine izin veren detaylar kullanılmıştır. TLD kullanılan örnek ise, *One Madison Park* (New York, 2011)'dır (Çizelge 3.12).

Enerji yutumunu arttırmak açısından bariyerler de kullanılmaktadır (TSD-*Tuned Sloshing Damping*). TLD ve TSD tipi sönümleyicilerin çalışma prensibi TMD tipine göre daha basit ve ekonomiktir. TSD tipinin yer gereksinimi TLD'ye göre daha azdır, dolayısıyla daha ekonomiktir.

Çizelge 3. 12 TSD ve TLD tipi kullanılmış yapı örnekleri [181], [182], [183]

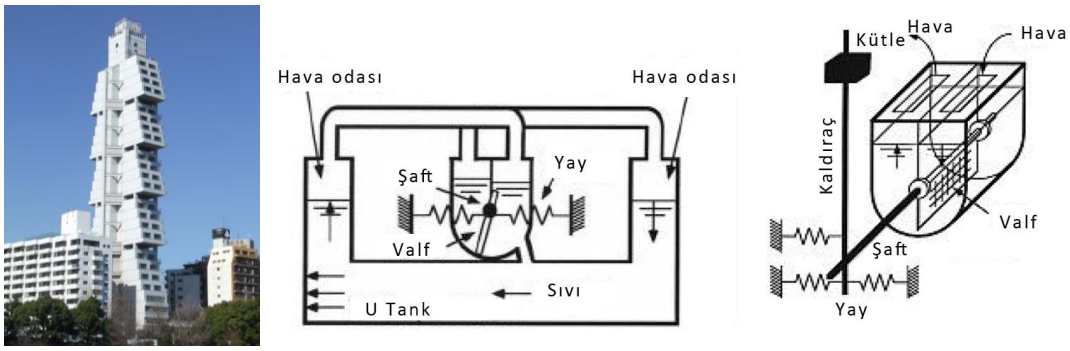
One Rincon Tower (California, 2008) TSD sönümleyici	
Marine Bay Sands (Singapore, 2011) TSD sönümleyici	
One Madison Park (New York, 2011) TLD sönümeyici	

• *Sıvı kütle kolon sönümleyiciler (TLCD),* sıvı kütle sönümleyicilerin modifiye edilmiş biçimidir. Rüzgar ve deprem etkin bölgelerde kullanıma uygundur. Güncel yapı, sismik açıdan etkin bölgede inşa edilen eliptik planlı narinliği 7 olan, *One Wall Centre* (Vancouver, 2001)'da kullanılmıştır. İki adet su tankı, yanal yerdeğiştirmeyi kontrol etmek için 48. kata yerleştirilmiş ve her bir tank; 16 m uzunluk, 4.5 m genişlik/8 m yüksekliktedir, 230 t su içermektedir (Şekil 3.39) [184].



Şekil 3. 39 One Wall Centre (Vancouver, 2001) kesit ve 48. kat planı [185]

Diğer bir örnek, deprem bölgesinde bulunan 26 katlı, *Hotel Sofitel* (Tokyo, 1994)'dır. Sönümleyici, U şeklinde tank, bir çift hava odası ve periyod ayarlama ekipmanlarından oluşmaktadır. Tank, yatay yönde hareket ettiği zaman, içindeki sıvı hem yatay hem de düşey yönde hareket eder. Sinüzoidal dalgalanan[1] basınç, U tanktaki suyu uyararak şaft ve valflarda hareket oluşmasını sağlamaktadır (Şekil 3.40) [152].



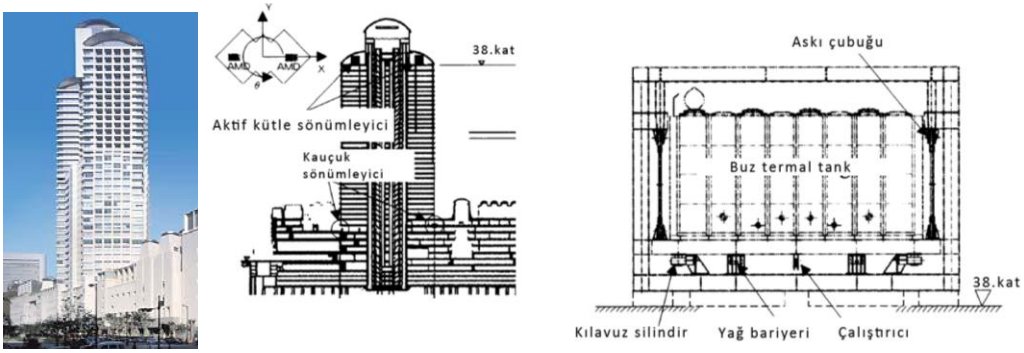
Şekil 3. 40 Hotel Sofitel (Tokyo, 1994) [152]

- *Aktif sönümleme sistemleri*, başlayan salınımın sensör tarafından algılandığı ve sinyallerin bilgisayarda işlenerek salınımın kontrol edildiği sistemlerdir. Yüksek yapılarda ilk kullanımına, güçlü rüzgar ve deprem yüklerinin etkin olduğu bölgede, 189 m yüksekliğinde 40 katlı *Herbis Building* (Osaka, 1997)[2] ve 11 katlı *Kyobashi Siewa Building* (Agarofinei, 1989)[3] örnek verilebilir (Şekil 3.41, 3.42) [152].

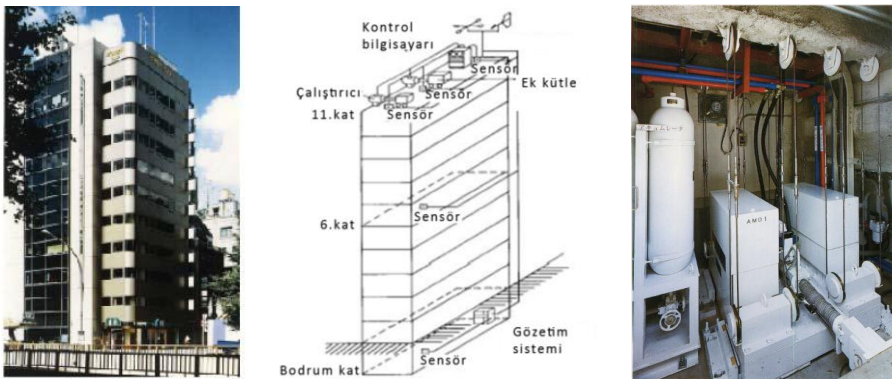
[1] Sinüzoidal dalgalar, belli frekanslarla tekrar eden, belli genlikler arasında gidip gelen dalgalardır.

[2] 38. katta 2 adet 15 t'luk aktif sönümleyici uygulanmış, yatay yüklere karşı ve burulmaya karşı dayanım sağlamaktadır [186].

[3] Bu yapı, aktif sismik izolasyonun tam anlamıyla uygulandığı ilk yapıdır. İki adet AMD mevcuttur. Bunlardan 4 t ağırlığında ilki, yatay hareketi azaltmak için kullanılırken, ikincisi 1 t ağırlığında olup rüzgar



Şekil 3. 41 Herbis Building (Osaka, 1997) [186]



Şekil 3. 42 Kyobashi Siewa Building (Agarofinei,1989) [187]

3.5 Yangın Dayanımı

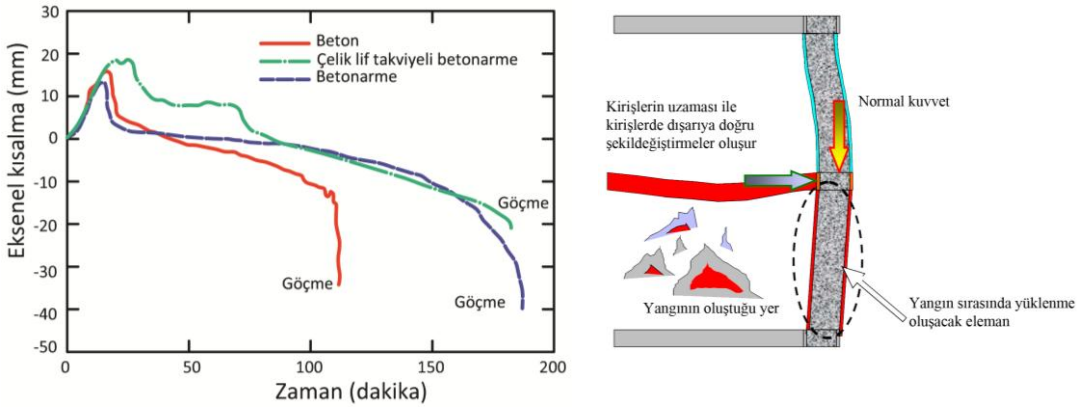
Yüksek yapılarda yangın çıkış nedenleri; elektrik/mekanik tesisat, patlama, çıplak ateş ve deprem kaynaklı yangınlar şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu bölümde konuya, malzeme ve taşıyıcı sistem açısından yaklaşılacaktır.

Yangın sırasında kirişin ısınması ve uzaması ile kolonlar dışarı doğru şekil değiştirir; bu da, malzeme dayanımını kaybetmese bile, özellikle yüksek yapıda önemli derecede artan ikinci mertebe momentleri nedeni ile göçmeyi beraberinde getirir. Taşıyıcı sistemde, beton ve türevlerinin yangın dayanımları Şekil 3.43'te tanımlanmıştır. Kolonun başlangıçtan çökmeye geldiği zaman dilimi, onun yangına dayanım süresini verir.

Çelik yapıda, yangın sırasında çökme oluşmaması için çeliğin sıcaklığı 350^{o}C'nin üzerine çıkmamalıdır. Çelik yapıda yangın dayanımı için; alçı vb. plaka ile kaplama, püskürtme

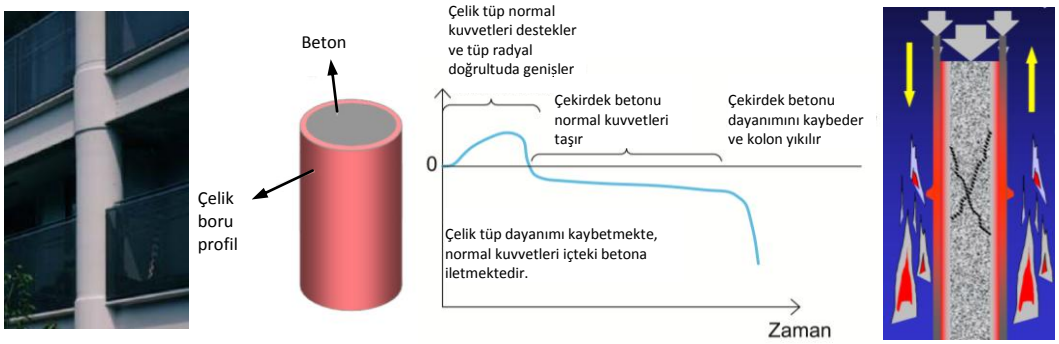
ve deprem yüklerine karşı önlem olarak uygulanmıştır. Sönümleyiciler, kablolar ile asılarak hidrolik çalıştırıcılar ile aktive edilmektedir.

beton ve türevleri ile koruma yöntemleri dışında farklı yöntemler de vardır. Bunlar aşağıda özetlenmiştir.



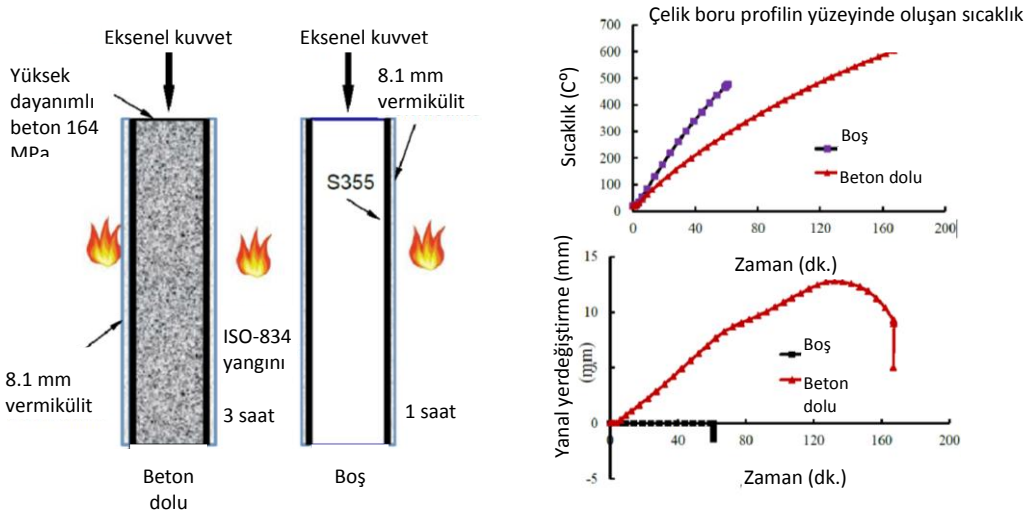
Şekil 3. 43 Beton ve türevlerinde yangında eksenel şekildeğiştirmelerin değişimi ve yapı elemanlarının davranışı [188]

• *Kompozit kullanım:* Çelik kolonların beton ile doldurulması (kompozit kolon), hem taşıma kapasitesini hem de yangın dayanımını arttırır (Şekil 3.44). Dolayısıyla, kompozit kolonlarda çelik için yangına karşı yalıtım uygulamaya gerek kalmamaktadır. Oda sıcaklığında yük, beton ve çelik tarafından taşınmaktadır; yangın durumunda çelik, yangının erken safhasında yükün çoğunu taşır. Daha yüksek derecelere ulaşıldığında çeliğin dayanımı azalırken yumuşayarak, yangına maruz kaldıktan 20-30 dk. sonra zayıf noktalar oluşur [188]. Bu aşamada, beton daha fazla yük taşımaya başlar. Devam eden yangın ile betonun dayanımı da azalır ve sonunda kolon yükü taşıyamaz hale gelir, burkulma ya da çökmeye başlar.



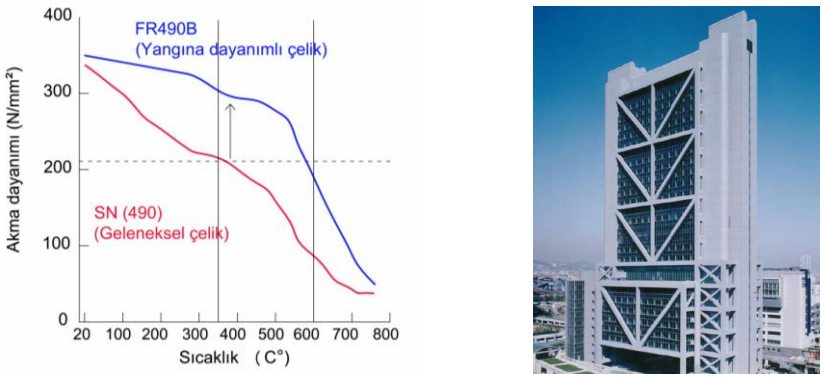
Şekil 3. 44 Yangın sırasında kompozit kolonda eksenel şekildeğiştirme-zaman değişimi [189]

Dışında hafif agregalı 8.1 mm'lik ısı yalıtımı bulunan ve normal kuvvet kapasitesinin ~% 50'sine kadar yüklenmiş dairesel çelik profil, içinin boş olması durumunda yangın sırasında yanal yerdeğiştirme yapmadan 60 dk sonunda göçmektedir. Oysa ki, beton dolu olması durumunda iki saate kadar dayanımda azalma olmadan yanal yerdeğiştirmeye devam eder ve toplam dayanım süresi üç saate ulaşır. Her iki durumun yangın sırasında gösterdikleri performans Şekil 3.45'te verilmiştir [190].



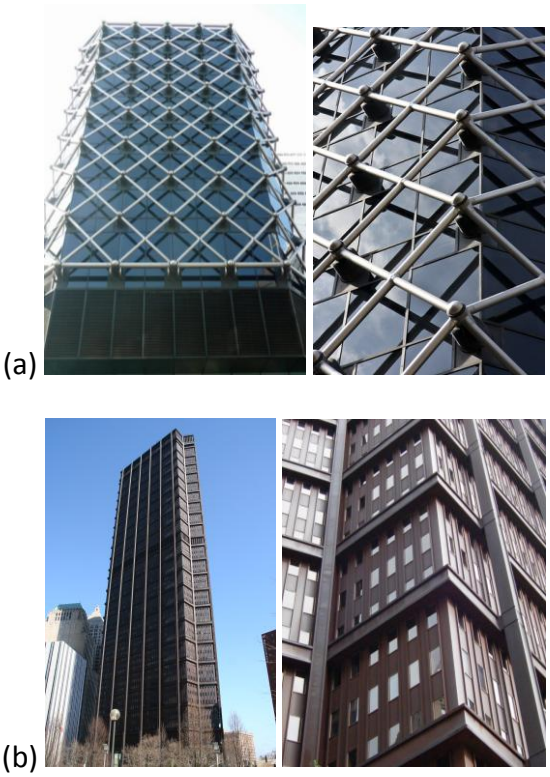
Şekil 3. 45 Dairesel kesitli boş ve kompozit kolonun yangın dayanımı [190]

- *Yangın dayanımlı çelik*: 600°C sıcaklığa ulaştığında akma dayanımının % 50'sini korumaktadır. Oysa bu sıcaklık, klasik çelik eleman için akma dayanımını pratik olarak kaybettiği sıcaklıktır (Şekil 3.46). Yangın dayanımındaki artış, Molibden (Mo), Wolfram (W), Krom (Cr), Titanyum (Ti) ve Niyobyum (Nb) mikro alaşımları ile gerçekleştirilebilir. Mikro alaşımlı çelikler, Japonya'da farklı tip yapılarda da yaygın biçimde kullanılmaktadır.



Şekil 3. 46 Normal ve yangına dayanımlı çeliklerin akma dayanımlarının karşılaştırması ve yapı örneği [189]

• *Su dolaşımı*: Taşıyıcı sistem içinde su dolaşımı, yangına karşı önemli bir koruma sağlamaktadır. Taşıyıcı sistemde, doğal ya da mekanik olarak suyun dolaşımı sağlanarak sıcak suyun soğuk su ile yerdeğiştirmesi sağlanır, böylece bölgesel ısınmalar engellenir [191]. Su dolgulu taşıyıcı sistemli yapılar A.B.D'de 40'dan fazla yüksek yapıda, kolonların yangın sırasında bölgesel ısınmasını engellemek üzere kullanılmıştır. *US Steel Tower* (Pittsburgh, 1970) ve *Bush Lane House* (London, 1976) yapıları örnek verilebilir. Dezavantaj özellik, artan korozyon hızını azaltmak için paslanmaz çelik ya da korozyonu engelleyen malzemeler kullanılmalıdır (Şekil 3.47.a ve b).



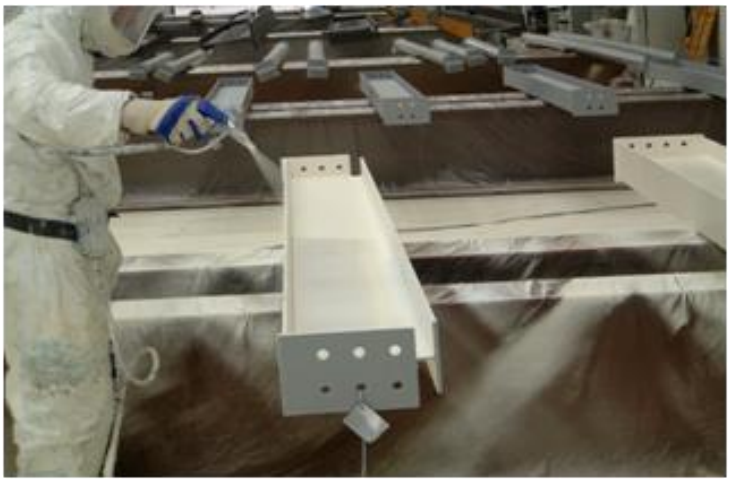
Şekil 3. 47 (a) Bush Lane House (London, 1976) ve (b) US Steel Tower (Pittsburgh, 1970) [192], [193]

• *Taşıyıcı sistemin yapının dışına alınması*: Çelik yapılarda taşıyıcı sistemin yapının dışına alınması da yangından korunma için bir çözümdür. *Hotel De Las Artes* (Barcelona, 1994) ve *Hong Kong Bank* (Hong Kong, 1986) yapılarında bu sistem ile önlem alınmıştır (Şekil 3.48.a ve b). Cephesinde çelik elemanlar olan yapılar üzerinde yapılan araştırmalar; çelik elemanların, belli havalandırma koşulları altında pencerelerden taşan alevlerden tehlikeli boyutlarda etkilenmediğini göstermiştir [54].

(a) (b)

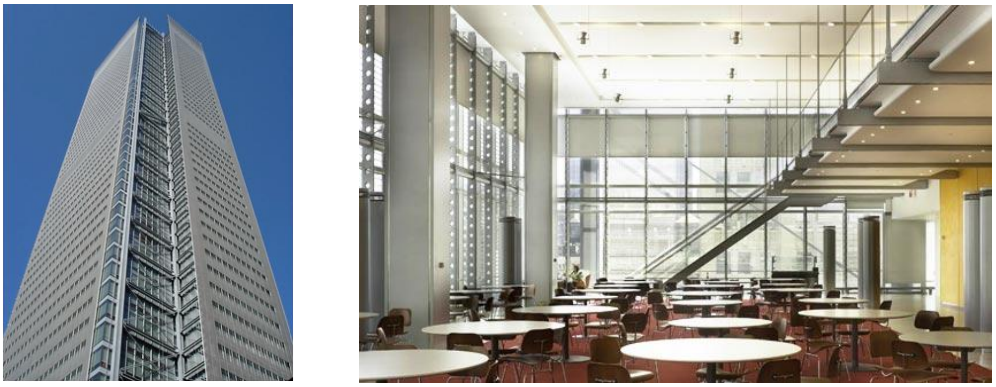
Şekil 3. 48 (a) Hotel De Las Artes (Barcelona, 1994) ve (b) Hong Kong Bank (Hong Kong, 1986) [194], [195]

- *Yangın koruyucu boya uygulaması:* Çelik yapılarda kolon, kiriş ve diğer tüm çelik bileşenler için 120 dk.'ya kadar yangın dayanımı sağlamak amacıyla, püskürtme yöntemi ile *intumesan boyalar* (polivinil asetat reçine vb) uygulanabilir. Yangın anında kimyasal reaksiyona girerek şişer ve çeliğin yüzeyindeki sıcaklığın kritik derecelere yükselmesini engeller (Şekil 3.49) [196].



Şekil 3. 49 İntumesan boya uygulaması

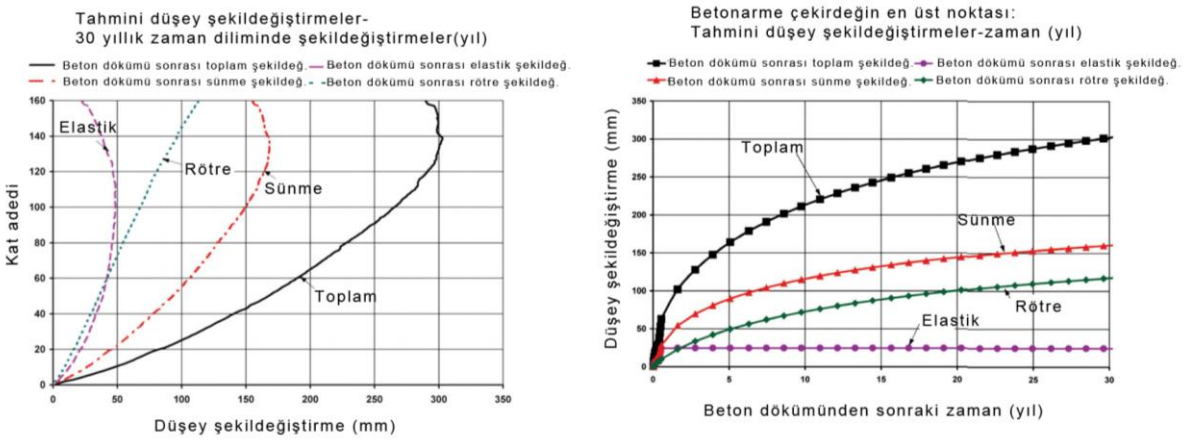
Son dönemde uygulanan örneklerinden bir tanesi, 319 m yüksekliğinde 52 katlı, *New York Times Tower* (New York, 2007)'dır. Yapı, çelik elemanlar üzerine püskürtülen intumesan boya sayesinde 120 dk.'ya kadar yangına dayanıklıdır (Şekil 3.50) [197].



Şekil 3. 50 New York Times Tower (New York, 2007) [197]

3.6 Rötre ve Sünme Etkisi

Zaman içinde kendiliğinden oluşan sünme ve rötre etkisi, basınç bölgesinde beton ve çelik arasındaki gerilme paylaşımında değişime neden olur. 30 kat veya 120 m'ye kadar yapılarda eksenel kısalmalar önemli bir sorun oluşturmaz iken (sadece pencere, cephe elemanları gibi tali bileşenlerde zaman içinde düzenlemeler gerekebilir) yapı yüksekliği arttıkça, betonarme kolon ve perdelerdeki kısalma birikimli olarak artar. Aynı eksenel gerilmeye maruz özellikle komşu elemanlardaki farklı donatı oranları farklı kısalma durumunu arttırır (yüksek donatı oranlı kolon ve düşük donatı oranlı perde elemanın komşu olması durumu). Farklı kısalma, sözkonusu düşey taşıyıcı elemanlara birleşen kiriş ve döşemelerde ikincil momentler oluşturur. Düşey taşıyıcı elemanlarda 30 yıl boyunca katlara göre değişen elastik, rötre ve sünme şekildeğiştirmeleri Şekil 3.51'de görülmektedir.



Şekil 3. 51 Düşey taşıyıcı elemanlarda 30 yıl boyunca katlara göre değişen elastik, rötre ve sünme şekildeğiştirmeleri [160]

Malzeme açısından bakıldığında çok yüksek yapılarda düşük su/çimento oranları ve yüksek dayanımlar sözkonusu olsa da kat sayısındaki fazlalık ve yüksek gerilmeler rötre ve sünme etkilerini yine de önemli hale getirir. Diğer taraftan, havadaki nem düzeyinin azalması da, düşey taşıyıcı elemanlardaki rötre ve sünme etkisini arttırır.

Çekirdeği oluşturan perdelerdeki kısalma, aynı zamanda asansör raylarının yüksek yapının hizmet ömrü boyunca bir kaç kez ayarlanmasını gerektirebilir.

3.7 Çarpma ve Ani Dinamik Yükleme Sonucu Hasar Durumu

Yüksek yapı tasarımında yapılar, genellikle rüzgar ve deprem yükleri gibi yanal yüklere karşı koymak üzere tasarlanmaktadır. Fakat, yapıya uçak veya bomba yüklü kamyon çarpması vb. durumlar, ani dinamik etkiler yaratarak göçmeye varabilen taşıyıcı sistem hasarlarına neden olabilmektedir. Hiperstatiklik düzeyi yüksek rijit birleşimli sistemler, ani eleman kayıpları nedeni ile büyük performans kayıplarına uğrasa da taşıyıcılığını devam ettirebilmelidir.

Yüksek yapıların patlama vb. ani dinamik yüklere karşı emniyetli tasarım gerekliliği, 1995 yılında amonyum nitrat yüklü kamyonun çarpması sonucu *Alfred P. Murrah Federal Building* (Oklahoma, 1977) yapısının üçte birinin çökmesinden sonra ortaya çıkmıştır (Şekil 3.52.a) [198]. Ancak asıl büyük etki *World Trade Center* (New York, 1970-71)'da[1], 11 Eylül uçak saldırısı sonucu olmuş iki bina ard arda katlar çökerek yıkılmıştır (Şekil 3.52.b).

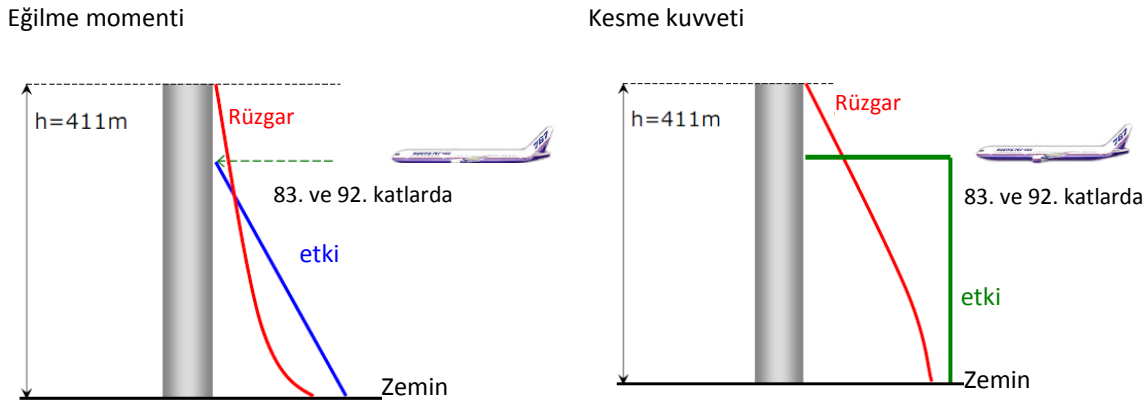
(a)

[1] World Trade Center'a 78-84. katları etkileyecek şekilde eğik çarpan uçağın deposunda 10000 galon (315 t) benzinin büyük bölümünün durduğu tahmin ediliyor.

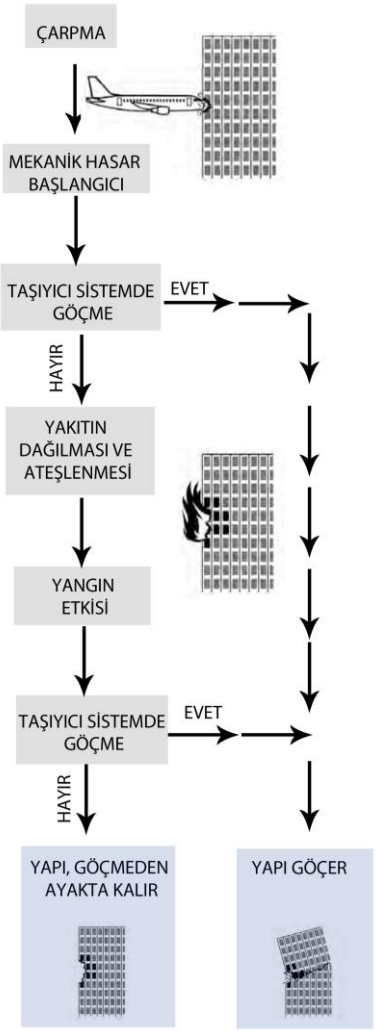
(b)

Şekil 3. 52 (a) Alfred P. Murrah Federal Building (Oklahoma, 1977) ve (b) World Trade Center (New York, 1970-71) [199], [200]

Uçak kazasında ilk etki, uçağın ağırlığı, çarptığı hız ve açıya sonraki etki, uçağın yakıt yükü ve yakıtın yapı içinde tutuşması ve dağılımına bağlıdır (Şekil 3.54). Uçak çarpması sonucunda oluşan yangın, yapının büyük bir kısmına yayılmakta ve büyük bir bulut yükselmesine sebep olmaktadır. Bu bulutun ateşleme ve yayılması, iç mekanda daha fazla yangın çıkmasına neden olur. Ayrıca yanmayan yakıtın iç mekana sızması ile de yangın büyük boyutlara ulaşabilmektedir [200]. Uçak çarpması sonucunda yüksek yapıda oluşan ilave kesit tesirleri Şekil 3.53'de verilmiştir.



Şekil 3. 53 Ani dinamik yüklemelerde yüksek yapılarda oluşan ilave kesit tesirleri [160]

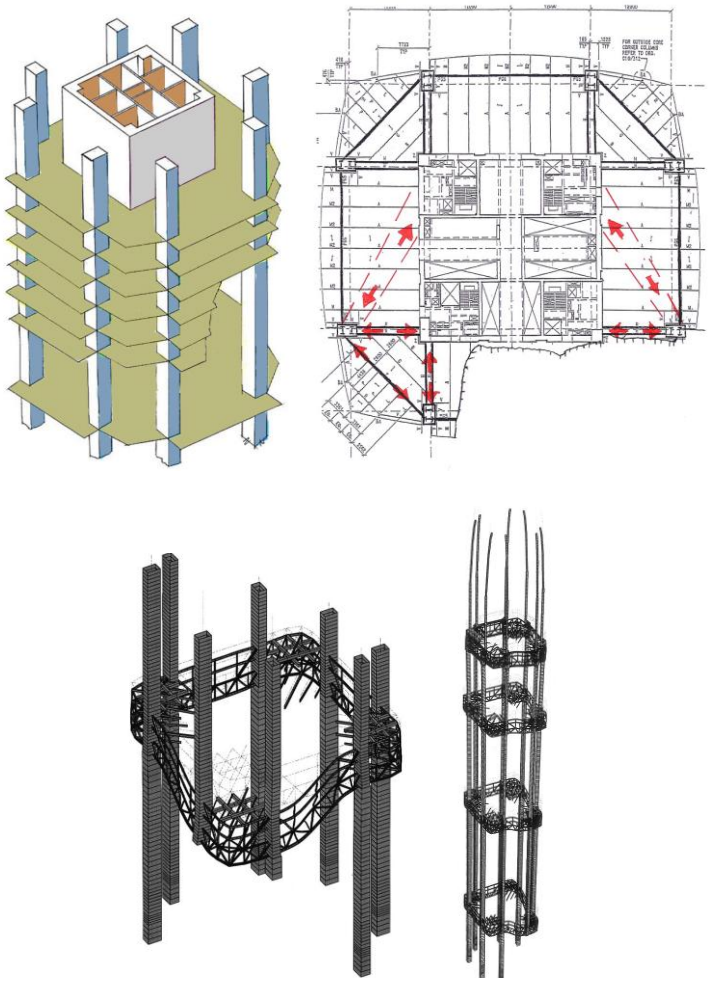


Şekil 3. 54 Yüksek yapılarda ani çarpmalar sonucu oluşan etki [200]

2003 yılında İstanbul'daki HSBC binasına yapılan amonyum nitrat yüklü kamyon saldırısında, 30 kişi yaşamını yitirmiş, 400 kişi de yaralanmıştır. Yapının camlarının tansiyonu alınmış camdan (Füzyon tekniği) tasarlanmış olması daha büyük kayıpları engellemiştir (Şekil 3.55).

Şekil 3. 55 HSBC binası çarpma öncesi ve sonrası (İstanbul, 1998) [201]

Two International Finance Center (Hong Kong, 2003) için yapılan bir araştırmada [202], 9/11 terörist saldırısının oluşması senaryosu altında, çepeçevre kafesli rijit kat ve kolon hasarları oluşması durumunda yüklerin yeniden dağılımı sonucu düşey yüklerin tamamen çekirdek tarafından taşınması esas alınmıştır. Böylece rijit kat ve ilgili kolonların göçmesi sonucunda, yapı ayakta kalmaya devam etmektedir (Şekil 3.56) .

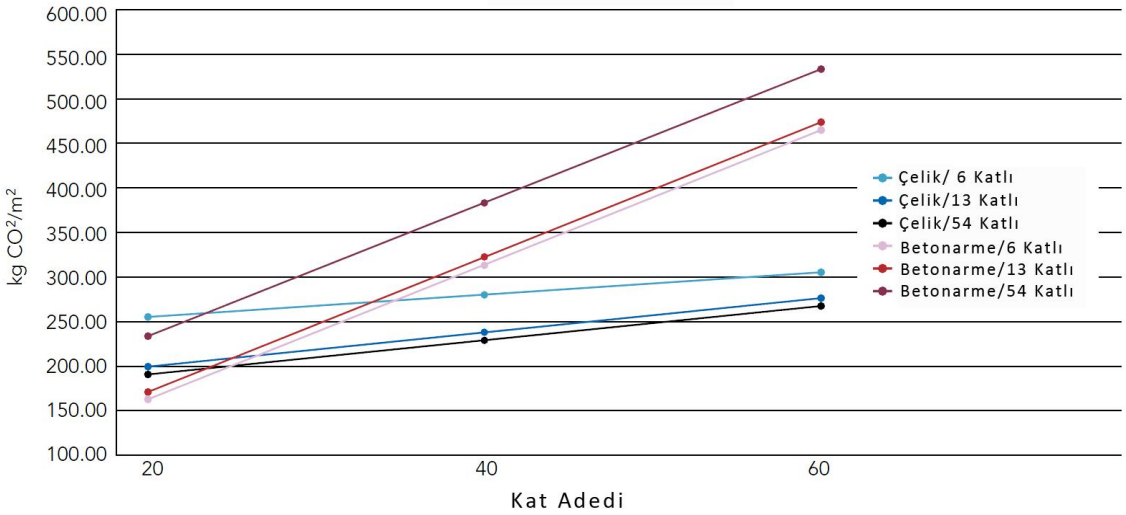


Şekil 3. 56 Two International Finance Center (Hong Kong, 2003)'da ani dinamik etkiler sonucu hasar durumu [202]

3.8 Yüksek Yapılarda Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilir yapı tasarımı; yapının yaşam döngüsü boyunca ekonomik, sosyal ve çevresel konuları içermektedir. Örneğin, yüksek yapı inşaatında kullanılan taşıyıcı sistem malzemeleri, CO_2 salınımı açısından incelendiğinde çelik yapılar için, çeliğin üretiminde yüksek enerji ihtiyacına karşılık genellikle geri dönüşümlü çelik kullanılması nedeni ile betonarmeye kıyasla daha az CO_2 salınımının sözkonusu olduğu görül-

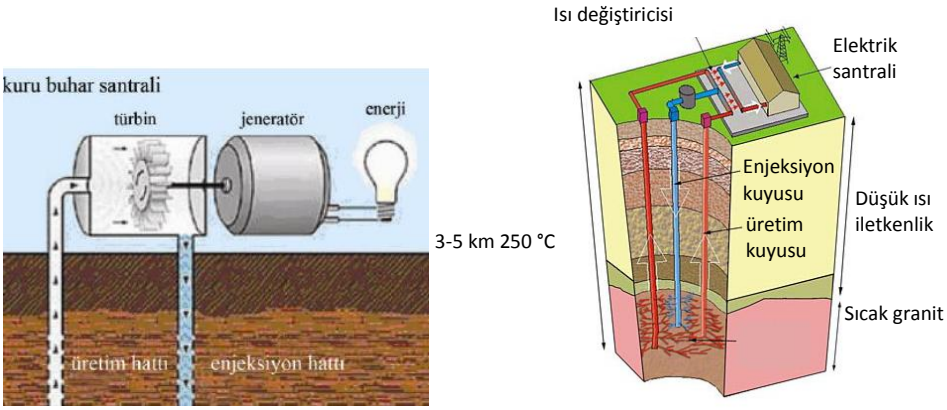
mektedir. Bu farklılığı betonarmede çimentonun, C100 ve üzeri beton sınıfı olmadıkça, atık mineral katkılar ile kısmen ikamesi olumlu yönde değiştirir (Şekil 3.57) [203].



Şekil 3. 57 Taşıyıcı sistem malzemesi-kat adedi-CO_2 tüketim grafiği [203]

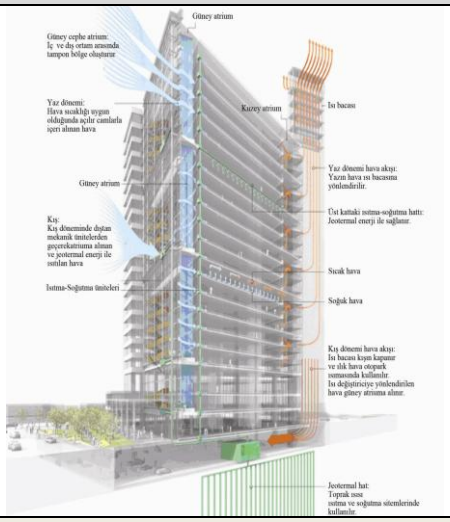
Yüksek yapılarda rüzgar dışında diğer sürdürülebilir enerji öğelerinden de yararlanılmaktadır. Bunlar aşağıda özetlenmiştir.

• *Jeotermal enerji :* Dış ortamdaki sıcaklık ne olursa olsun sürekli olarak, toprak altına uzanan jeotermal borular ile iç mekanda ısınma ve soğutma enerjisi sağlanmaktadır. Bu teknoloji yüksek yapılarda kullanım için oldukça uygundur; çünkü temel sistemindeki kazıkların, jeotermal kuyular ile birlikte çalışması sağlanarak enerji üreten cihazlara dönüştürülebilir (Şekil 3.58, Çizelge 3.13).

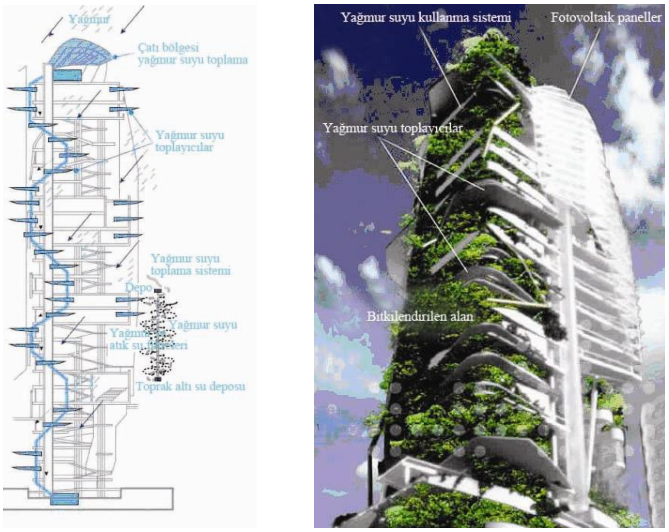


Şekil 3. 58 Jeotermal enerjinin çalışma prensibi

Çizelge 3. 13 Jeotermal enerji kullanılan yüksek yapı örnekleri [150], [143]

The Manitoba Hydro Tower (Manitoba, 2008)	The Linked Hybrid housing (Beijing, 2009)
	
125 m derinlikte 150 mm çapında olan 280 adet kuyu bulunmaktadır	110 m derinlikte 660 adet jeotermal kuyu bulunmaktadır

• *Biokütle Enerjisi :* Biokütle enerjisi birkaç farklı yoldan elde edilir. Bunlardan bir tanesi, yüksek katlı ofis yapılarında atık olarak kullanılan kağıtların biokütle yakıt olarak geri dönüştürülüp elektrik olarak kullanılmasıdır. Bu yöntemin, enerji üretmek ve atık kullanımı gibi iki önemli avantajı bulunmaktadır. Bir diğer yöntem olan düşey bahçeler[1] ise dikkat çekici bir çözüm olmaktadır (Şekil 3.59).



Şekil 3. 59 Editt Tower (tasarım aşamasında) [143]

[1] Günümüz modern mimarisine yeni bir anlayış getiren düşey bahçeler, bir yapıda bitkilendirmenin dikey olarak kullanılması ile olmaktadır.

• *Fotovoltaik (PV) Enerji* **:** Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Güneş enerjisini DC (doğru akım) elektrik enerjisine çeviren ekipman, güneş pili olarak da bilinen fotovoltaik panellerdir. PV paneller otel, ofis binası, okul, konut gibi her türlü yapıda uygulanabilir ve % 4-22 oranında verimlilik sağlanır [143]. Yağmur, güneş ve her türlü dış ortam şartlarında kullanılabilmektedir. 1992'de ilk defa çatılarda kullanılmaya başlanmasından sonra yüksek yapılarda da geniş kullanım alanı bulmuştur (Çizelge 3.14).

PV teknolojisi, yapıya birleşim açısından iki farklı gruba ayrılır:

1. Entegre sistemler

2. Panel PV sistem (CPV)

Çizelge 3. 14 Fotovoltaik (pv) paneller ile enerji üreten bazı yüksek yapı örnekleri [204], [205], [143]

CIS Tower (Manchester, 1962)	**Co-Operative Insurance Tower (Manchester, 1962)**	**The Federation of Korean Industries Building (Seoul, 2013)**
Cepheye yerleştirilen her bir panel, 7 modülden oluşmaktadır. Toplam 7244 adet 80 W'lık PV panel, 183 015 kWh enerji üretebilmektedir.	Yapıda, entegre PV sistemi kullanılmıştır. PV hücreler, ince amorf silikon film şeklinde lamine camların üzerinde kullanılmıştır.	Güneybatı ve Kuzeybatı kiriş alınlarında entegre silikon hücreler bulunmaktadır. Bu hücreler, 30° ile konumlandırılmıştır.

BÖLÜM 4

GÜNCEL YÜKSEK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLER

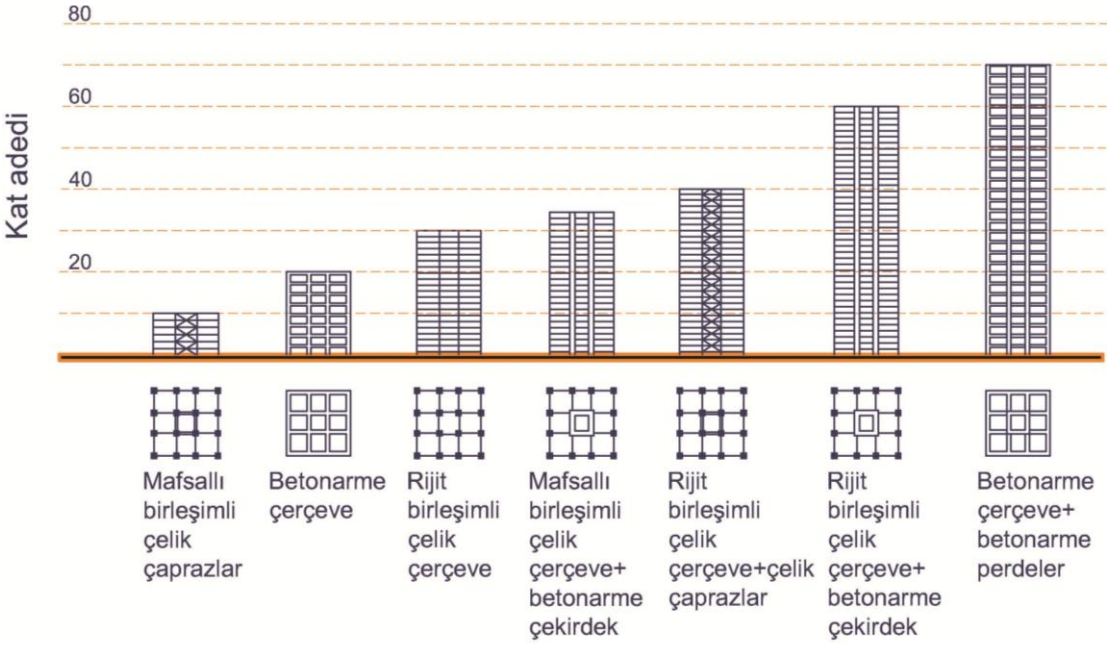
İlk yüksek yapının inşaatından -*Home Insurance* (Chicago, 1885)- günümüze dek yüksek yapılar; malzeme, taşıyıcı sistem, mimari ve mekanik tasarım, düşey dolaşım vb. açılardan büyük gelişme göstermiştir. İlk zamanların yüksek yapı taşıyıcı sistem tasarımlarında büyük emniyet faktörleri kullanarak, çok yaklaşık hesaplarla dış yüklere karşı dayanımı sağlamak yeterli iken; günümüzde bilgisayarlı kesin hesap yöntemleri ile sadece dış yükleri değil, aynı zamanda estetik açıdan görünümü de dikkate alarak tasarım gerçekleştirilmektedir. Zaman içinde yüksekliğin gittikçe artması, malzeme ve sönümleme sistemleri (Ayrıca Bkz. Bölüm 3) yanında taşıyıcı sistemde de (Şekil 4.1) yenilikleri beraberinde getirmiştir.

Şekil 4. 1 Home Insurance Building (Chicago, 1885), Sears Tower (Chicago, 1973) Sino Steel International Plaza (Tianjin) [34], [56], [33]

4.1 Genel

Son yıllarda inşa edilen yüksek yapılardaki yanal yerdeğiştirmeler, genellikle H/500, çok yüksek ve esnek yapılarda ise H/1000 ile sınırlandırılmaktadır [206]. Yapı yüksekliği arttıkça çelik yapıların hafifliği nedeni ile betonarme yapılara kıyasla yanal rijitlik ihtiyacı artar.

F. Khan, ilk yüksek yapı sınıflandırması yapmıştır. F. Khan'ın sınıflandırması ve sonraki teknolojik gelişmelerden hareketle, yeni sınıflandırma Şekil 4.2 ve 4.3'de verilmiştir.



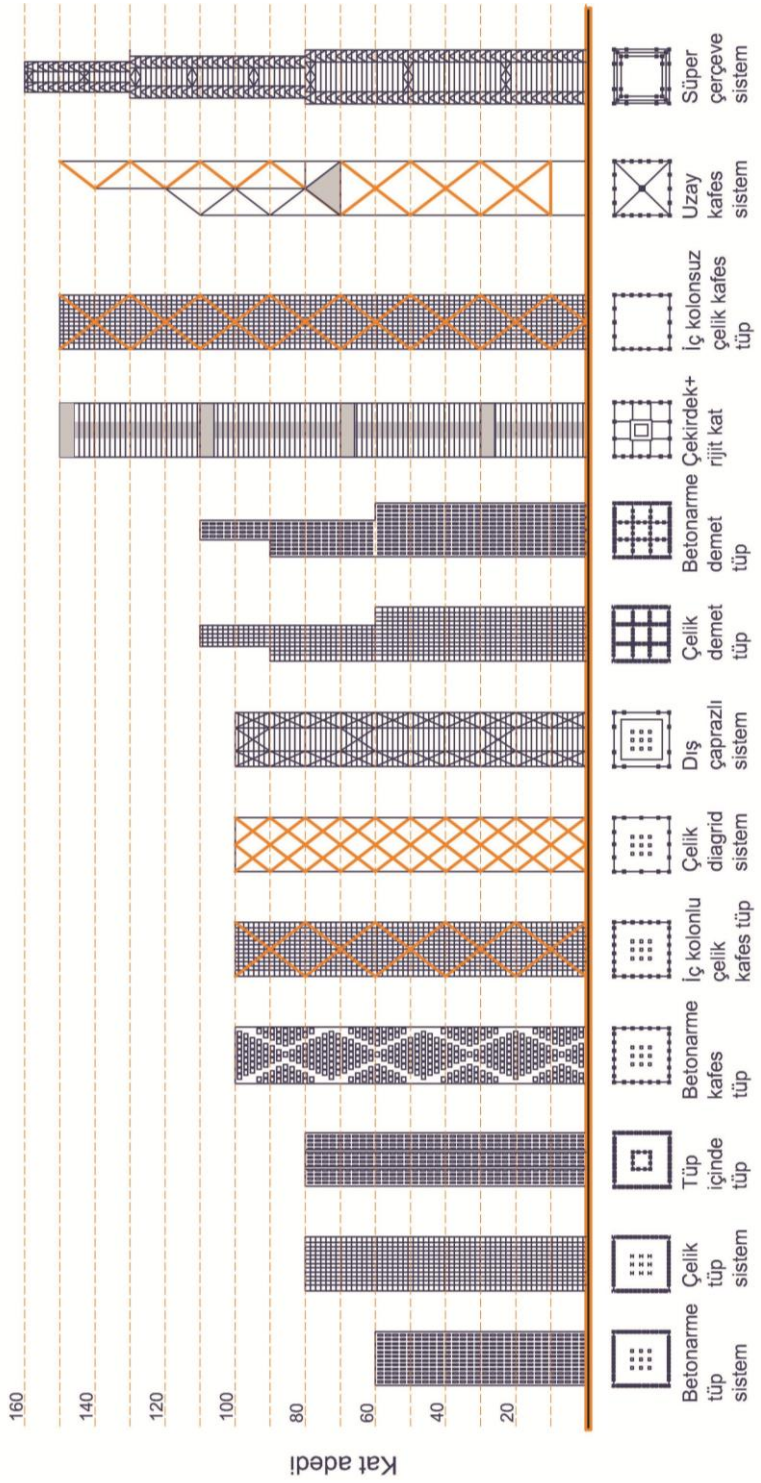
Şekil 4. 2 2000'li yıllardaki yüksek yapı sınıflandırması [207]'den değiştirilerek derlenmiştir.

Günümüz yapılarında kullanılan kiriş-döşeme sistemleri ve açıklıkları;

- Betonarme yüksek yapılarda döşeme sistemlerinde çift doğrultuda (dal) ve tek doğrultuda çalışan (hurdi) nervürlü döşeme sistemleri mevcuttur. Kiriş uzunluğu 3-8 m, açıklık cinsinden kiriş yüksekliği L/15-L/20 aralığında değişir [206]. Ayrıca düz döşeme, mantar döşeme, kaset döşeme ve ardgermeli döşeme tipleri de kullanılır.

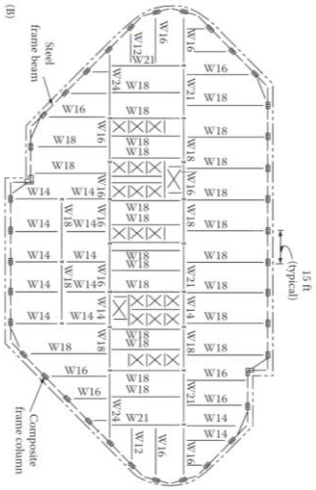
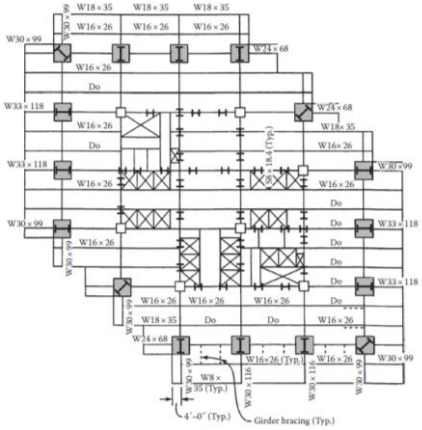
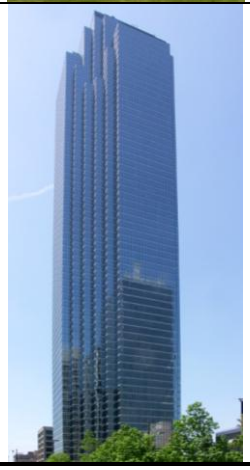
- Çelik yapılarda kalınlığı L/15-L/30 aralığında olan kayma kamalı kompozit döşemeler kullanılır. Kompozit döşemenin yanısıra, kayma kamaları ile birlikte ön üretimli döşeme elemanları da tercih edilir. Kirişler geniş başlıklıdır; kaynaklı yapma kirişlerin yanısıra

pratik tesisat yerleşimi açısından R-kirişler, petek kirişler ve Vierendeel kirişler kullanılır. Hadde profiller, 12 m'ye kadar ekonomik çözüm verirken 12 m'nin üzerinde daha hafif sistemler seçilmelidir, Çizelge 4.1 [206].



Şekil 4. 3 2000'li yıllardaki yüksek yapı sınıflandırması [207]'den değiştirilerek derlenmiştir

Çizelge 4. 1 Bazı yüksek yapılarda kalıp planı ve kirişleri [208], [209]

GÜNCEL YÜKSEK YAPILARDA KULLANILAN KİRİŞ TİPLERİ		
America Tower (Houston, 1983)		
Dallas Main Center (Dallas, 1985)		

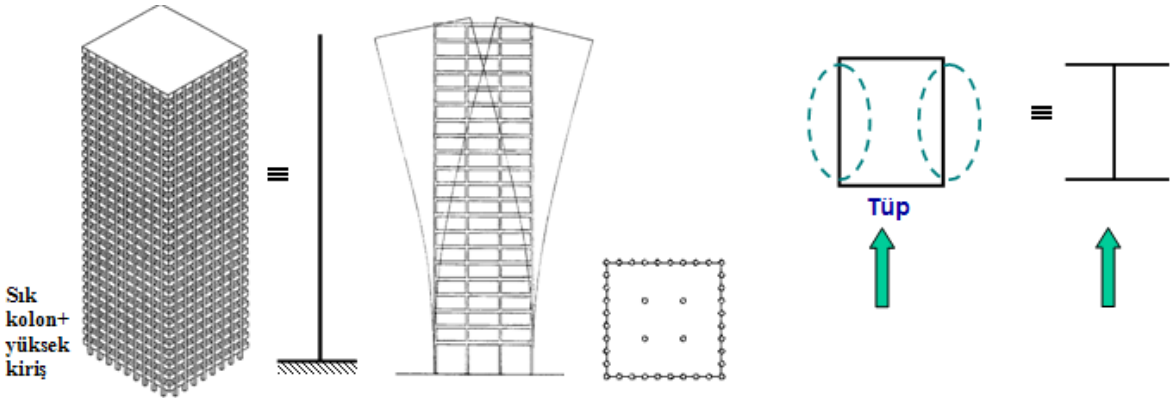
4.2 Tüp Sistemler

Rijit veya yarı rijit düğüm noktalı çerçeve tipi yapıların yükseklik sınırlaması, artan yükseklikliklerde yanal rijitlik ihtiyacı ve mekanın etkin kullanım isteği çerçeve sistemlerin yerine yeni arayışlar getirmiştir. Bu bağlamda, taşıyıcı sistem tipi olarak en önemli değişim şüphesiz ki tüp sistemler ile başlamıştır. F.Khan'ın 1960'ların başında geliştirdiği "Tüp Sistem" fikri ilk olarak, çerçeve tüp sistem olarak 43 katlı *DeWitt-Chestnut Apartment Building* (Chicago, 1963) inşa edilmiştir. Bunu, diğer tüp çeşitleri (kafes tüp sistem, demet tüp, tüp içinde tüp) ve farklı sistemler takip etmiştir.

4.2.1 Çerçeve Tüp Sistem

İç kolonların en az düzeyde olduğu, rijit birleşimli çepeçevre sık kolonlar ve yüksek kirişlerin oluşturduğu bir taşıyıcı sistemdir. Kolon yerleşimi planda, tipik bir kutu kesit

biçimindedir. Yapı esas olarak tüp kesitli ankastre bir konsol elemana benzerdir (Şekil 4.4). Yanal yükler altındaki davranışı konsol davranışı olarak idealleştirilirse de gerçekte, çerçeve ve konsol kirişin bir birleşimidir. Yerdeğiştirmeler, eğilme ve kayma nedeni ile oluşur; yanal yerdeğiştirmeleri % 70 çerçeve davranışı, % 30 konsol davranışı yönetir [210]. Artan yükseklik ile birlikte yanal yerdeğiştirmelerin azaltılması gereklidir; rijitliği arttırmak için çepeçevre yüksek kirişler düzenlenir ve gerekirse sönümleyici sistem eklenir. Yanal kuvvetlerin etkidiği doğrultudaki kolonlar (*gövde*) kesme kuvvetlerine karşı koyarken, dik yöndekiler (*başlık*) devrilme momentinin büyük bir kısmını taşır (Şekil 4.4). Az sayıdaki iç kolon sadece düşey yüklere çalışır.

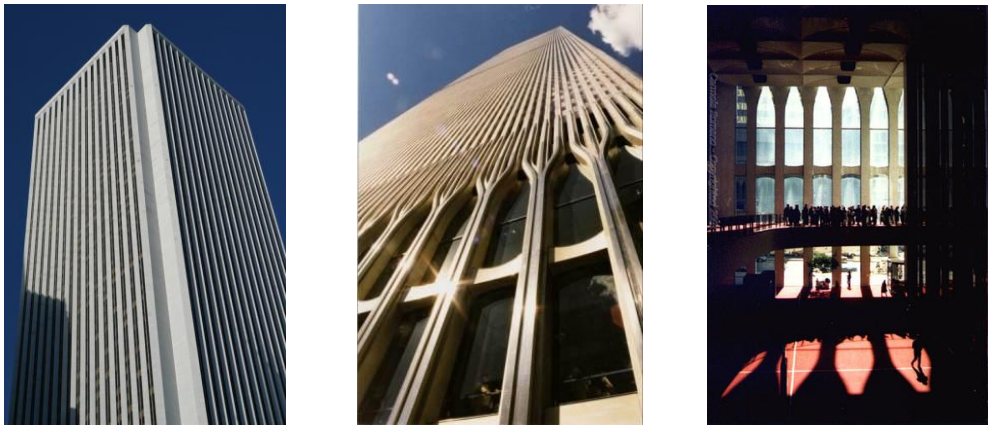


Şekil 4. 4 Çerçeve tüp sistemin yerdeğiştirmesi ve kutu planın eşdeğer idealleştirilmesi

Çerçeve tüp sistemin kayma rijitliğini, rüzgar doğrultusundaki kolonlar sağlar; sistemin yanal yükler etkisindeki kayma rijitliği göreli olarak düşüktür. Bu nedenle, yanal yüklerden dolayı eğilme öncesi düzlem kesitler, eğilme sonrası düzlem kalamaz; dolayısıyla Bernoulli-Navier hipotezi geçerli değildir, normal gerilmelerin dağılımı deforme olur (*shear lag*)[1]. Özellikle köşelerde, artan normal gerilmeler nedeni ile

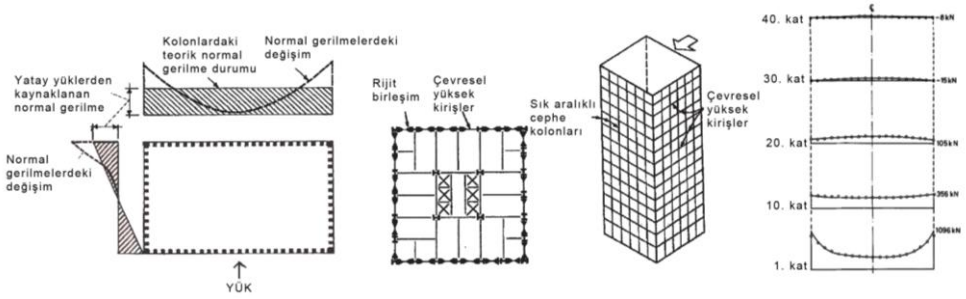
[1] Tüp sistemlerde, son derece önemli olan bu olgu şu şekilde tanımlanabilir : Kutu kesitli plan, I kesit analojisi ile düşünülürse (a); yanal yükler doğrultusundaki çevre kolonlarda (gövde bölgesi) oluşan normal gerilmeler, kayma deformasyonu nedeni ile hiperbolik değişime uğrar (b). Devrilme momentini alan, yanal yüke dik çevre kolonlarda (başlık bölgesi) oluşan normal gerilmeler ise parabolik değişime uğrar. Çok katlı yapıların alt katlarında özellikle köşe kısımlarda basınç gerilmelerinde artış, daha üst katlara doğru ise, bu defa tam tersi, orta kolonlarda negatif gerilmeler (çekme gerilmeleri) sözkonusudur (c). Yapının 1. modu alt katlardaki pozitif gerilme artışını ön plana çıkarırken, 2. modda negatif gerilme artışı daha ön plana çıkar. Kayma rijitliğinin az olduğu çerçeve tüp sistemlerde her iki gerilme durumu da etkindir.

zemine daha fazla gerilme aktarılır. Zemin özellikleri zayıf olan tasarımlarda gayri ekonomik temel tasarımı ortaya çıkar. Çözüm olarak, çerçeve tüp sistemlerde sık yerleştirilen kolonlar (1-3 m aralık) ve yüksek kirişler ile kayma rijitliği arttırılmak zorundadır. İç mekanın en fazla kullanımı sözkonusudur, ancak sık kolonlar iç mekanın yeterince ışık almasını engeller (Şekil 4.5).



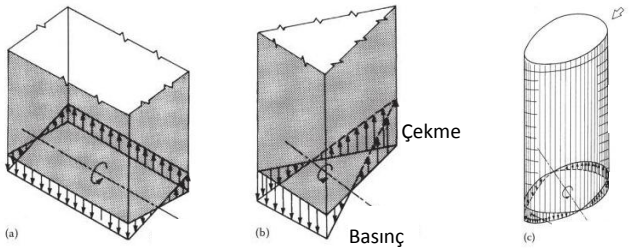
Şekil 4. 5 World Tarde Center (New York, 1971-2001), 1.2 m kolon aralıklı, iç ve dış mekan görünüşleri [211], [212]

Çerçeve tüp sistemde, narinlik 5-7 olmalıdır. Geçmişte sadece ortogonal formlar kullanılmışsa da, günümüzde farklı plan tipleri de uygulanmaktadır (Şekil 4.6 ve 4.7). Düzgün olmayan ve köşeleri çok girintili-çıkıntılı planlar, sistemin etkinliğini azaltmaktadır. Çerçeve tüp sistem için uzun kenar boyu/kısa kenar boyu oranı tercihen <2 olmalıdır [198]. Plan bazında yukarı doğru azalan enkesitli yapılarda maliyet, ~% 15 daha fazla olsa da normal gerilme dağılımındaki deformasyon daha azdır. Daha sonra geliştirilen kafes tüp, demet tüp, tüp içinde tüp, şaşırtmalı kafes sistem, diagrid sistem

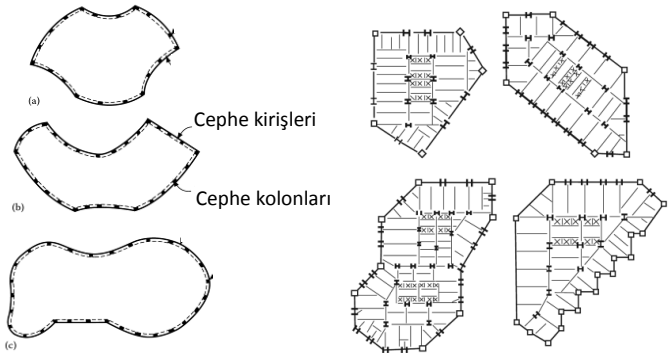


Boş Tüp , izometrik görünüm, şematik plan, tabanda ve 40 kat yükseklik boyunca normal gerilmelerdeki değişim [54]

gibi çözümlerde normal gerilme dağılımındaki deformasyon (*shear lag*) sorunu ortadan kalkmıştır.

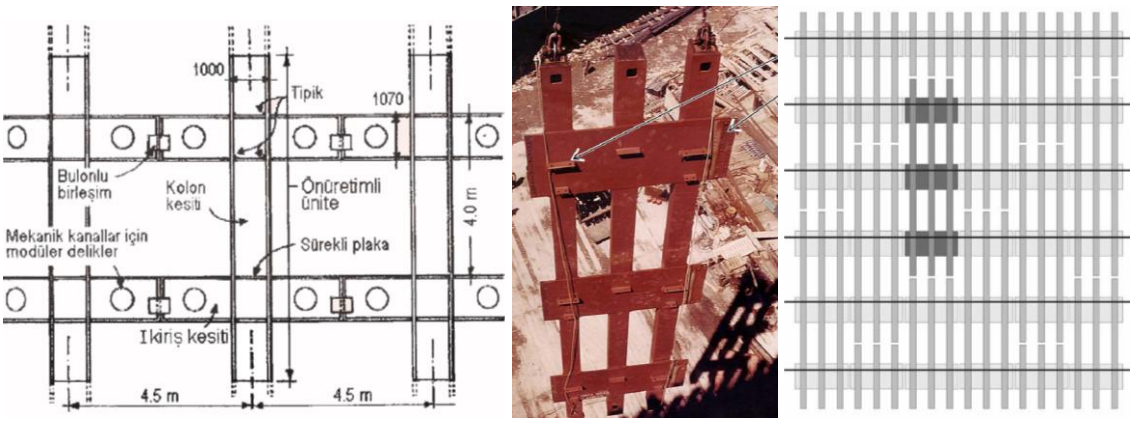


Şekil 4. 6 Farklı planlar için zemindeki gerilmelerin ideal yayılma durumu [198]

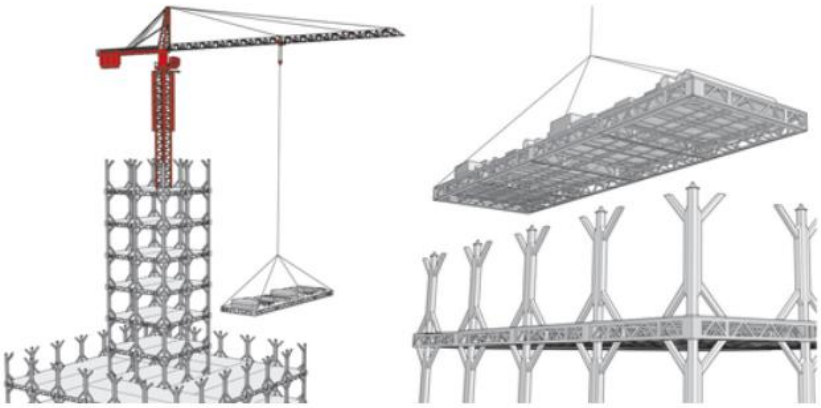


Şekil 4. 7 Örnek serbest formlu tüp sistem planları [198]

Çelik tüp sistemlerde, inşaata hız kazandırmak için şantiyede bir kaç katın ön üretimli paneller biçiminde montajı yapılır (Şekil 4.8 ve 4.9), bu durumda kolonlar M=0 noktasından birleştirilir. World Trade Center inşatı sırasında, 3 kat yüksekliğinde, 4 m genişlikli ön üretimli kolon-kiriş panellere şantiyede bulonlu montaj yapılmıştır.



Şekil 4. 8 World Trade Center (New York, 1970-71), ön üretimli elemanlar [53]

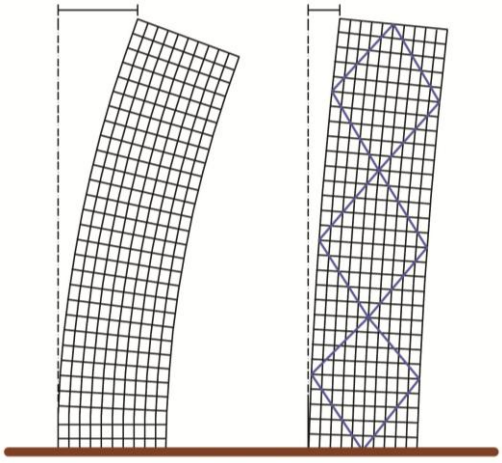


Şekil 4. 9 Sky City Tower (Wangcheng, tasarım aşamasında), ön üretimli elemanlar [213]

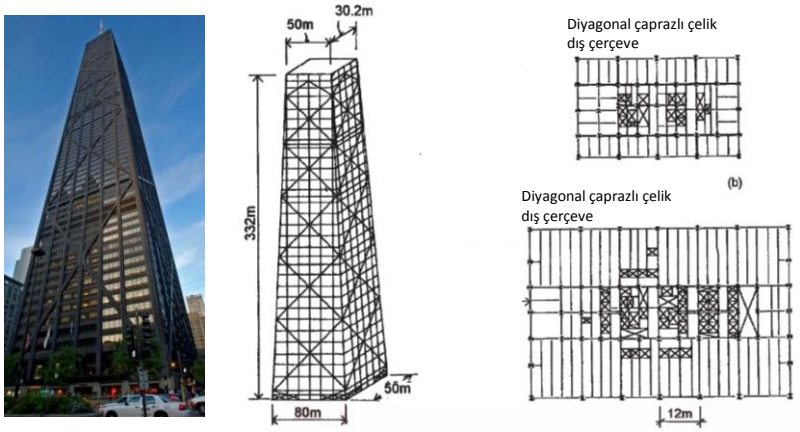
4.2.2 Kafes Tüp Sistem

Tüp kavramının gelişmeye başladığı 1960'lardan sonra yapı yükseklikleri, çerçeve tüp sistemin etkin olamayacağı kadar yükselmiştir. Bu durumda çözüm olarak, F.Khan'ın önerisi ile, çerçeve tüp sistemin cephesine 45^{o} açılı mega çapraz elemanlar eklenmesi ile sistem dev bir kafese (Truss Tube) dönüştürülmüş, dış yükler eğilme momentinden ziyade normal kuvvetlerle temele aktarılabilmiştir. Artan eğilme ve kayma rijitliği ile cephedeki kolon aralıkları arttırılmış, daha yüksek ve daha ekonomik yapılar inşa edilebilmiştir; bu da, sistemi tercih edilir kılmıştır (Şekil 4.10). Yapının yanal yerdeğiştirmesi tipik bir konsol ankastre çubuğunkine benzer.

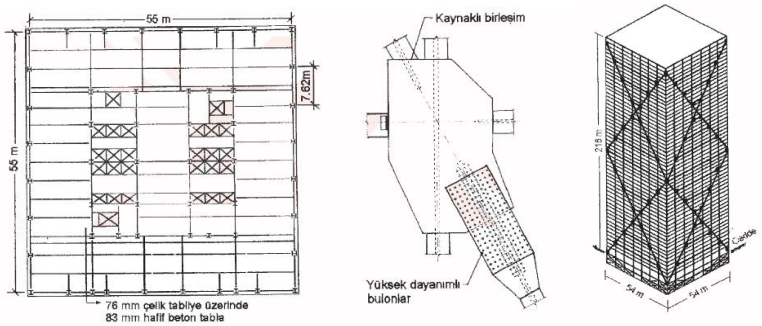
İlk örneği, F.Khan'ın tasarımı *John Hancock Center* (Chicago, 1969)'da çelik tüketimi sadece 46 000 t'dur [214]. Diğer yapı örnekleri Şekil 4.11 ve 4.12'te verilmiştir.



Şekil 4. 10 Çerçeve tüp sisteme mega çaprazların eklenmesiyle yanal yerdeğiştirmelerdeki azalma



Şekil 4. 11 John Hancock Center görünüm ve planlar (Chicago, 1969) [54]

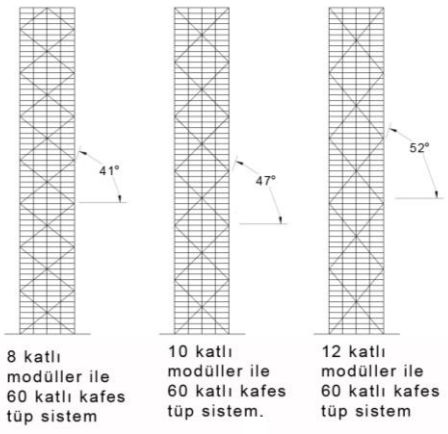


Şekil 4. 12 Renaissance Tower (Dallas, 1974) plan ve tipik birleşim detayı [54]

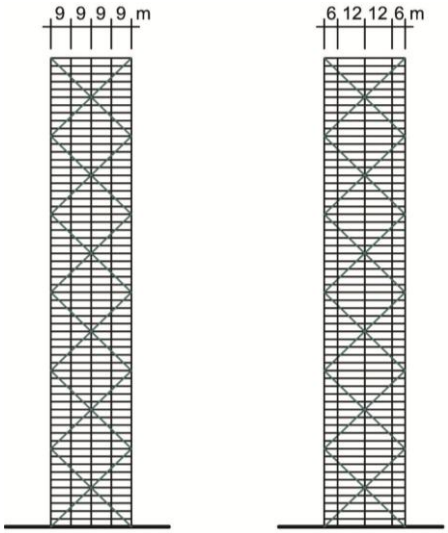
Mega çaprazların düzenlenme açılarına göre ekonomikliğinin incelendiği bir çalışmada, Chicago için, AEI/ASCE'de tanımlanan rüzgar yüklerine göre, 60 katlı ve H/500 oranını sağlayan tasarımlar içinde; 47^{o} açılı, 10 katlı mega çapraz modülün en ekonomik çözümü verdiği görülmüştür (Çizelge 4.2) [215].

Çizelge 4. 2 Farklı açılarda 60 katlı kafes tüp sistem ve çelik ağırlıkları [215]

Maga çapraz modülü	Çapraz Açısı	Çelik ağırlığı (ton)	
8 katlı	41 °	4127	
10 katlı	47°	**4113**	
12 katlı	52°	4185	

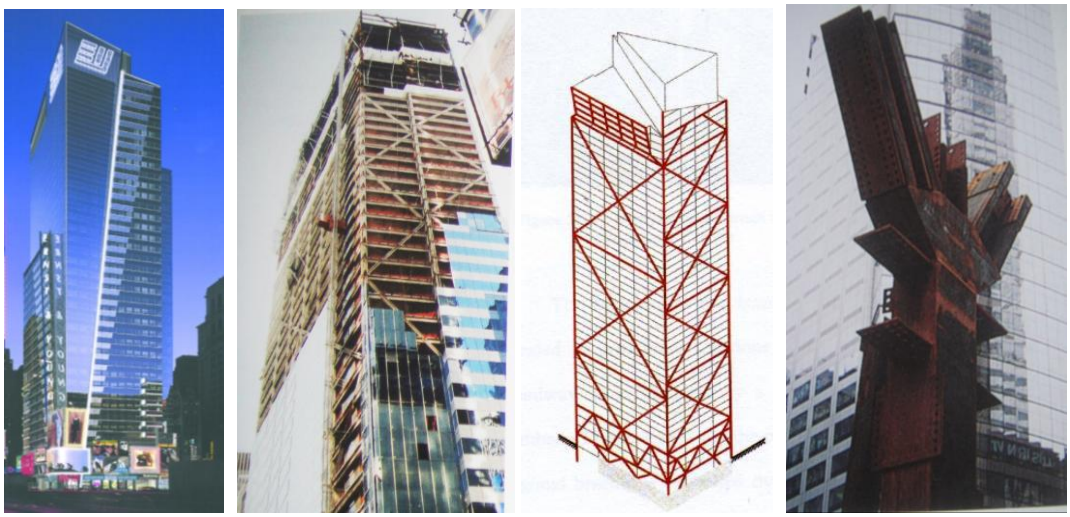


Ayrıca, 60 katlı yapıda, kolonların 9 m aralıklı yerleştirilmesi ile ortalarda 12 m, köşelerde 6 m yerleştirilmesi arasında 5 mm yerdeğiştirme farkı mevcuttur. Kolon aralığı köşelerde azaldıkça sistemin yanal rijitliği artmakta, dolayısıyla yanal yerdeğiştirme azalmaktadır. Birinci yapıda yanal yerdeğiştirme 44.0 cm diğer yapıda ise 43.5 cm'dir (Şekil 4.13).



Şekil 4. 13 Farklı kolon yerleşimleri ile mega çapraz sistem görünüşü [215]

Güncel nadir olarak kafes tüp sistem ile inşa edilen yapılara örnek çelik, 221 m yüksekliğinde 47 katlı, *Time Square Tower* (New York, 2004)'dır. Kolonlar, cephede 3 m aralıklar ile konumlandırılmıştır. Kirişler, 13.4 m uzunluktadır ve yapının 25. katında çepeçevre kafesli rijit kat kullanılmıştır (Şekil 4.14) [216].



Şekil 4. 14 Time Square Tower (New York, 2004) [216]

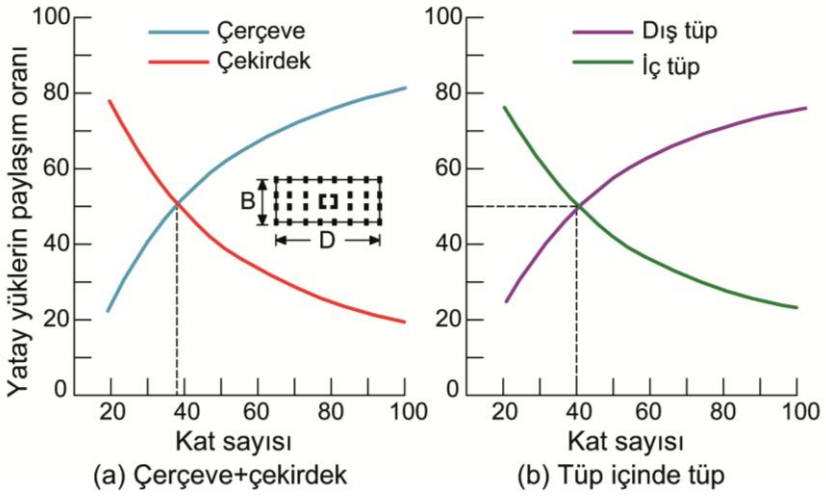
4.2.3 Tüp İçinde Tüp Sistem

Sistem, iki çerçeve tüpün iç içe kullanılmasıyla oluşturulmaktadır. Tüp içinde tüp sistemde normal gerilme yoğunluklarının etkisi azalır. Kolon aralığı genelde, 3.0-4.5 m arasında değişmektedir. Yapının yükselmesi ile kolon aralıkları daha da fazla olabilmektedir [17]. Kompozit sistem ile 75 kat ve 306 m'ye kadar, betonarme ile 65 kat ve 214 m'ye kadar yapılar ekonomik olmaktadır. Dış tüp, iç tüp ile birlikte çalışarak tüp sisteme ek rijitlik ve dayanımı sağlar. Sistem, hem çekirdek hem de çerçeveli tüp sistem davranışını birarada gösterir; iç tüp, düşey yüklerin yanında yanal yükleri de paylaşır [217]. Yüksek burulma dayanımına sahip dış tüp sistem, simetrik olmayan plan şekillerinde oldukça avantaj sağlamaktadır.

Tüp içinde tüp sistem ile çerçeve+çekirdek sistemli yapılar karşılaştırıldığında şu sonuçlara ulaşılmaktadır (Şekil 4.15) [217]:

- Yatay yüklerin paylaşımında 40 kata kadar çekirdek, çerçeveden daha hakim iken; bundan sonra, çerçevenin payı çekirdeğe kıyasla çok baskın duruma geçmektedir. Çekirdeğin etkinliğinin azalmasının temel nedeni, artan kat adedi ile birlikte konsol ankastre eleman yerdeğiştirmesi yapmasıdır.

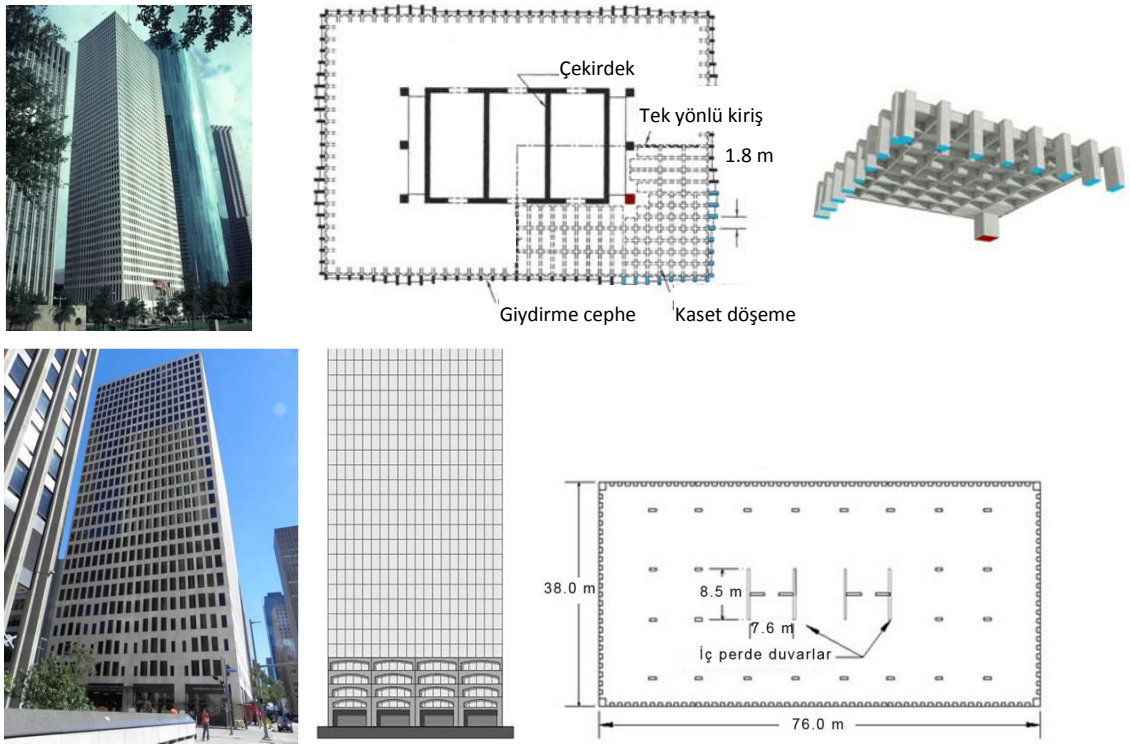
- Tüp içinde tüp sistemde 40 kata kadar yanal yükleri büyük ölçüde iç tüp alırken, bundan sonra kat sayısı arttıkça dış tüp daha hakim olur.



Şekil 4. 15 Çerçeve+çekirdek ve tüp içinde tüp sistemde yanal yüklerin paylaşımı [217]

Tüp içinde tüp sistemin ilk örneklerinden olan 52 katlı *One Shell Plaza*'da (Houston, 1971) (Şekil 4.16), hafif agregalı betonarme taşıyıcı sistemde artan sünme etkisi ve

farklı eksenel kısalmalar oluşması endişesi ile tüm düşey taşıyıcı sistem elemanları, aynı normal gerilmelere maruz kalacak şekilde tasarlanmıştır. Aynı dönem, *Two Shell Plaza* (Houston, 1972)'da (Şekil 4.16) tüp içinde tüp sistem ile inşa edilmiştir. Ara kolonlara gelen normal kuvvetlerin etkisi dört katta guseli kirişler ile kademeli alınarak zemin kattaki kolon sayısı azaltılmışır.



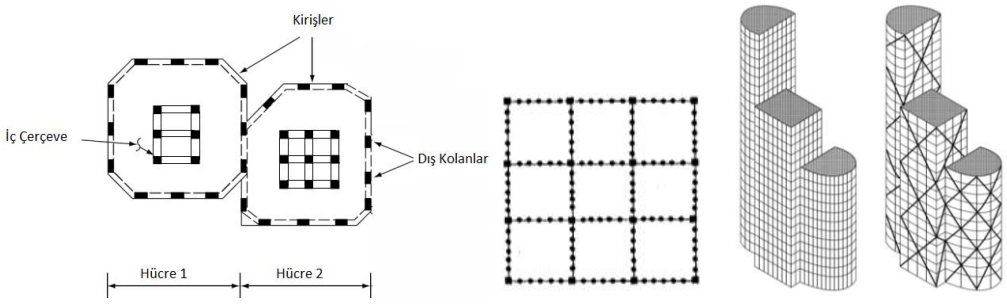
Şekil 4. 16 One Shell Plaza (üst), Two Shell Plaza ve planları (alt) (Houston, 1971) [26]

Diğer bir tüp içinde tüp sistem ile güncel uygulamalardan kompozit yapı, 207 m yüksekliğinde 50 katlı, *181 West Madison Street Tower* (Chicago, 1990)'dır (Şekil 4.17).

Şekil 4. 17 *181* West Madison Street Tower (Chicago, 1990) [218]

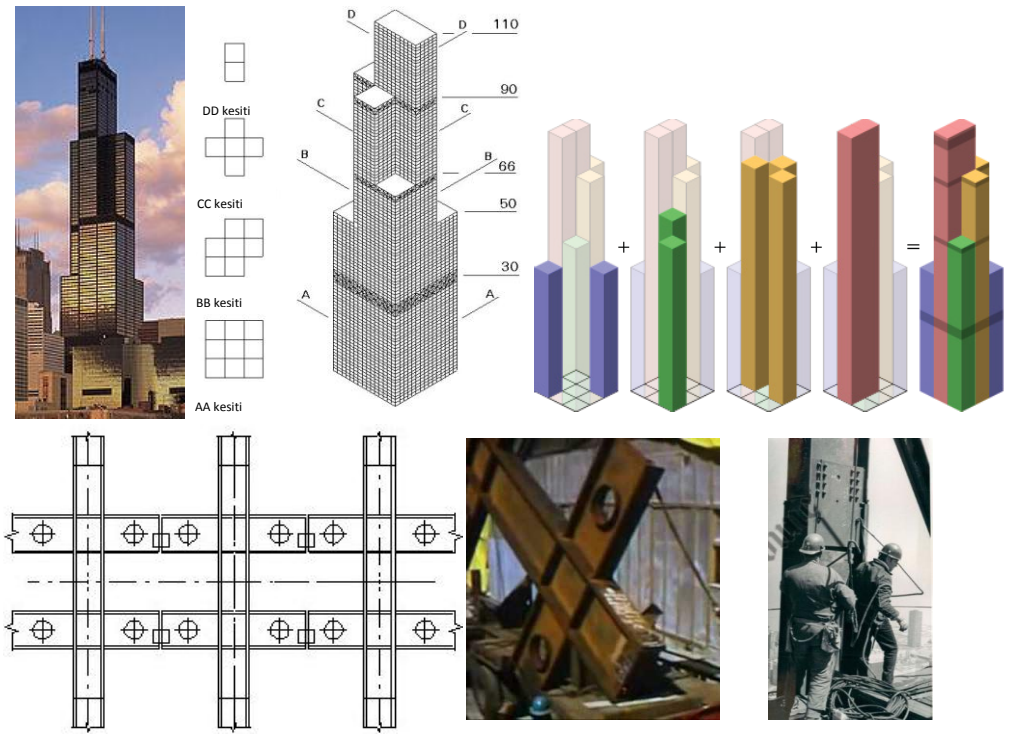
4.2.4 Demet Tüp Sistem

İki veya daha fazla tekil tüp sistemin tek bir tüp içinde birleştirilmesinden oluşur (Şekil 4.18). Yapının yanal yerdeğiştirmesi ve artan kayma rijitliği ile normal gerilmelerdeki deformasyon azalır [58].

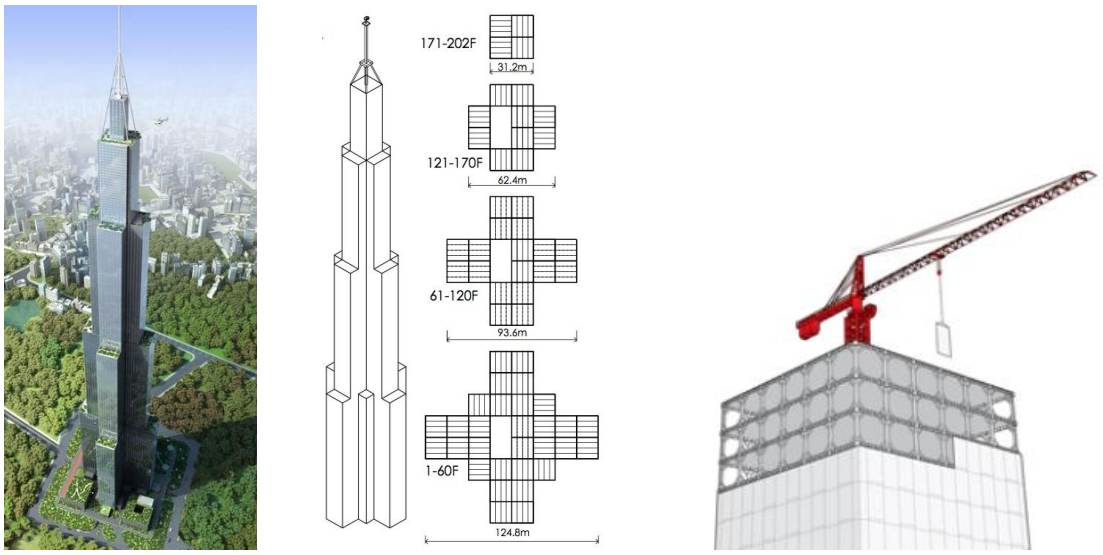


Şekil 4. 18 Demet tüp tipi taşıyıcı sistem [58]

Çerçeve tüp sisteme göre, demet tüplerde kolon aralıkları daha fazladır, yapı daha fazla ışık alabilir ve iç mekan tasarımı fazla etkilenmez. Plan olarak her türlü kapalı form, demet tüp oluşturmak için kullanılabilir. En uygun plan şekli kare, en az etkin olan ise üçgendir. F.Khan'ın tasarımı 110 katlı, *Sears Tower* (Chicago, 1973) ilk demet tüp sistemdir (Şekil 4.19). En güncel örnek ise, 220 katlı ve 838 m yüksekliğinde *Sky City Tower* (Wancheng, tasarım aşamasında)'dır (Şekil 4.20).



Şekil 4. 19 Sears Tower (Chicago, 1973) [56], [57], [219]



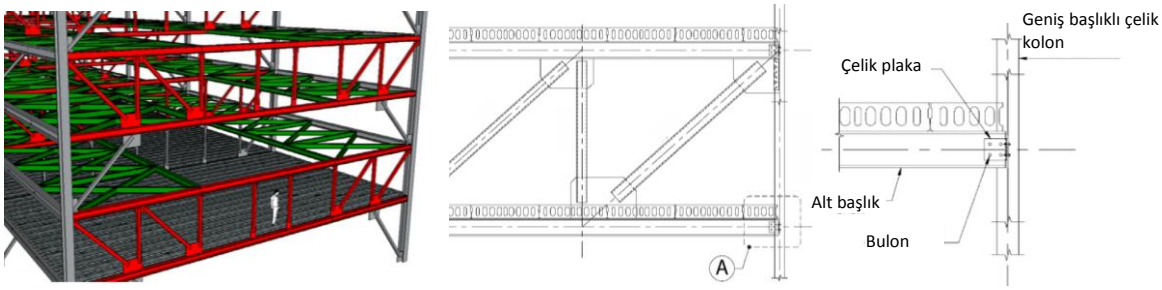
Şekil 4. 20 Sky City (Wangcheng, inşaat aşamasında) [213]

4.3 Şaşırtmalı Kafes Sistem

Şaşırtmalı kafes sistemli (*Staggered Truss*) bir yapıda kafes kirişler kat yüksekliğinde olup, yapının enine yönde şaşırtmalı olarak düzenlenir. Sistem ilk defa, 1967'de Minnesota'da bir konut projesinde uygulanmıştır [54]. Düşük sismik aktivitesi olan bölgelerde 35-40 kata kadar uygulanır; yapı, dikdörtgen plan ile sınırlı değildir. Göreli kat öteleme oranının sınırlandırılması için kullanılacak çelik miktarı oldukça azalır [220]. Verimlilik açısından kafeslerin uzunluğu yeterli olmalıdır, min. 13-14 m alınabilir, kafesin üst ve alt başlıklarının etkin tasarımı için kafes yüksekliği/açıklık oranı tipik olarak 1/6 seçilir. Yanal yükler, döşeme sisteminin diyafram davranışı ile kafeslere, oradan da kenar kirişler vasıtası ile dıştaki kolonlara eksenel kuvvet olarak aktarılır, eğilme momenti oluşmaz. Bu nedenle kolonların zayıf ekseninden kafese birleştirilmesi uygundur. Ancak sistemde, düşey yüklerden kaynaklanacak zayıf eksen etrafındaki eğilme momentlerinin de minimize edilmesi gereklidir. Önlem olarak;

- Alt başlık çubuklarının üst başlık çubuklarından biraz daha uzun olması ile kafeslere ön sehim verilebilir.

- Kafes alt başlığının kolona birleştirildiği bulon deliğinde önce boşluk bırakılarak düşey yükler altında harekete izin verilir, sonra öngermeli bulon ile birleşim tamamlanır (Şekil 4.21).



Şekil 4. 21 Kafes kiriş ve kolon-alt başlık birleşim detayı

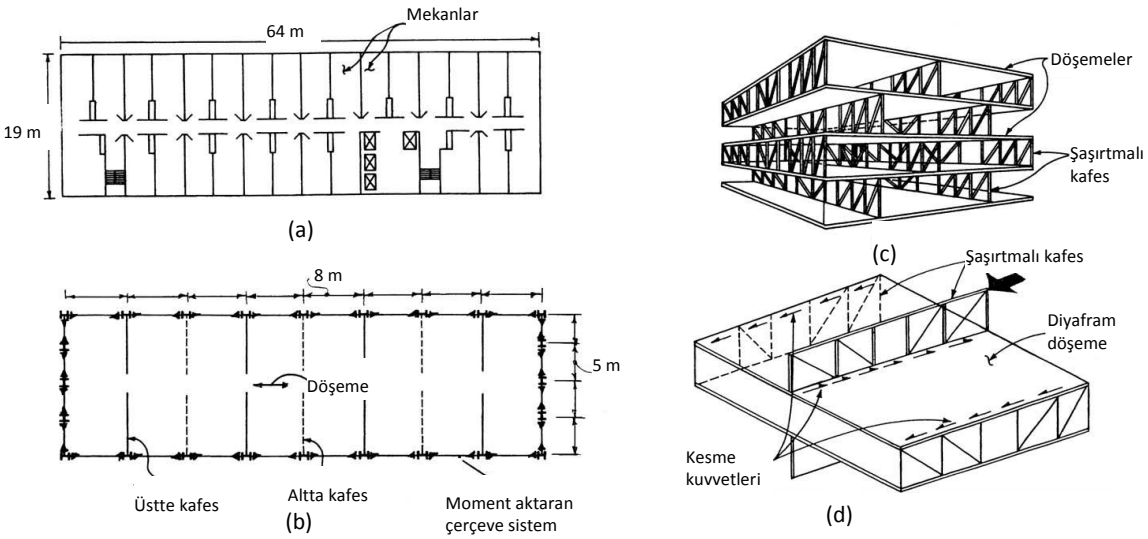
• Diğer iki çözümden birinin uygulanamaması durumunda kolonun zayıf ekseni için de eğilmeye göre hesap yapılır.

Bu sistemin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

• Yapıda iç kolonlar ve bunların temellerine de gerek kalmaz. Dolayısıyla maliyet azalır.

• Düşey yükler açısından yükler, klasik bir çerçeve sistem gibi tasarlanır. Kafeslerin aynı boy ve tipte olması ön üretimli maliyetlerini azaltması açısından tercih edilir.

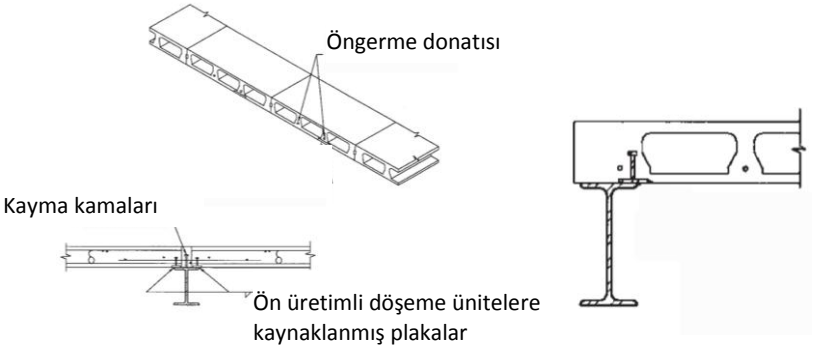
• Kafeslerin çaprazları, koridor hizasında kaldırılır; bu durumda o bölgedeki kesme kuvveti, üst ve alt başlık çubukları tarafından taşınabilir. Tipik kat planları ve şaşırtmalı kafes sistem düzenlemeleri Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4. 22 (a) Şaşırtmalı kafes sistem planı, (b) Şaşırtmalı kafes sistemin düzenlemesi, (c) Perspektif görünüm, (d) Yatay yüklerin izlediği yol [220]

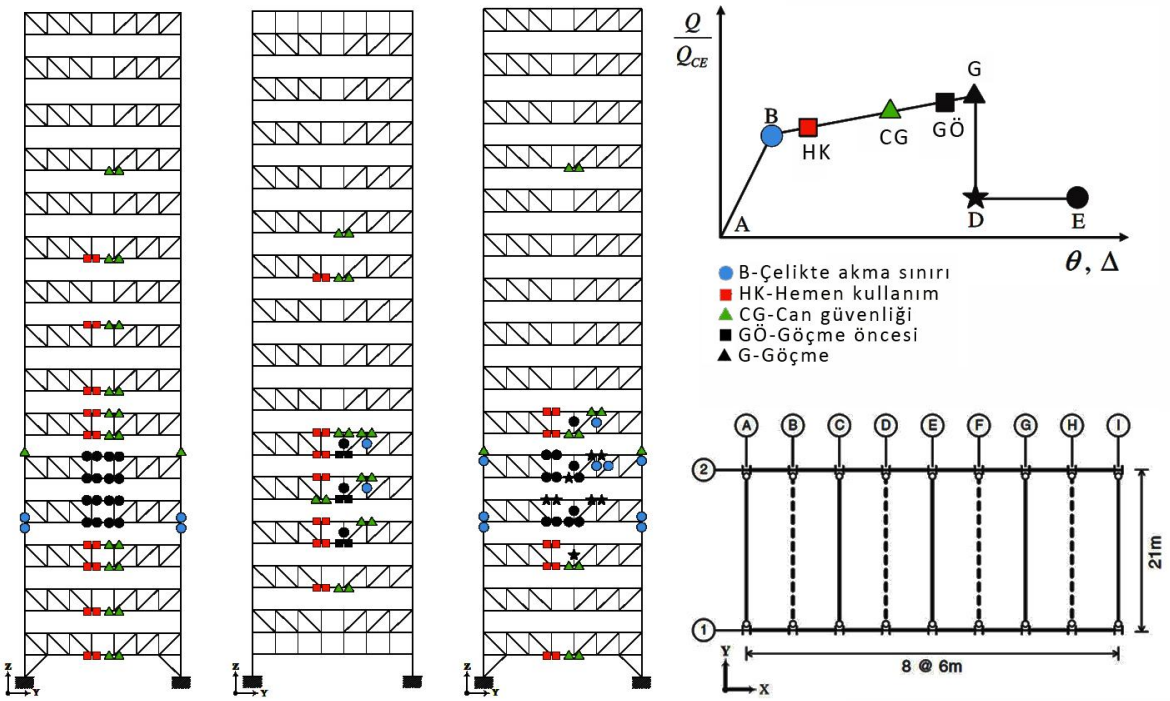
Yatay yükler, döşemenin diyafram hareketi ile alt kat kafeslerinin üst başlık çubukları ve üst kat kafeslerinin alt başlık çubukları tarafından ortaklaşa iletilir. Döşemenin

diyafram hareketi ve iletimi için ön üretimli döşeme elemanları kullanıldığında (Şekil 4.23), döşemenin ilettiği kesme kuvvetini alacak birleşimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için kayma kamaları kullanılmakta yada genellikle çelik sac levha kafese kaynaklanmalıdır.



Şekil 4. 23 Ön üretimli döşeme sistemi ve birleşim detayı

Kim vd. [221] tarafından yapılan araştırmada, şaşırtmalı kafes sistem uygulanmış 30 katlı bir yapının, deprem+rüzgar etkisinde performansı incelenmiş, plastik şekildeğiştirmeler ve göreli kat öteleme oranındaki artışın 8-11. kat aralığında yoğunlaştığı görülmüştür (Şekil 4.24).



Şekil 4. 24 Şaşırtmalı kafesli 30 katlı yapıda oluşan plastik şekildeğiştirmeler [221]

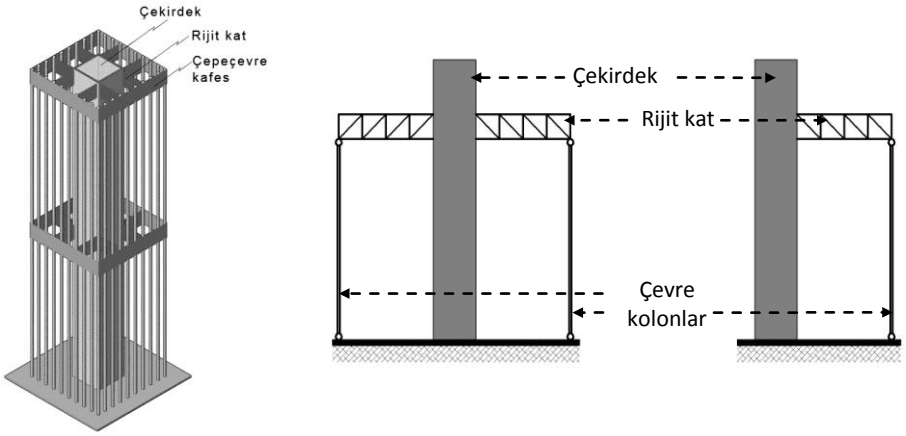
4.4 Rijit Katlı Sistem

Yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerinde diğer bir uygulama *rijit katlı sistemler*'dir.

Rijit kat uygulamasının iki öğesi mevcuttur;

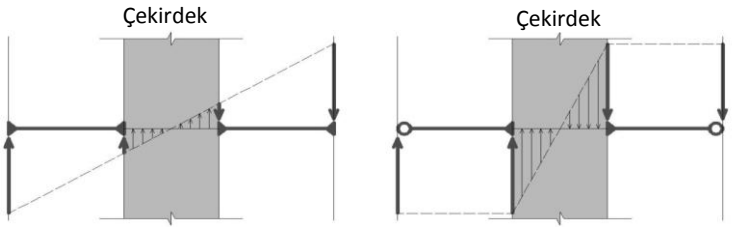
- Merkezi betonarme/çelik çekirdek ile dış kolonlar arasında genellikle simetrik düzenlenmiş rijit kat kafesi (*outrigger truss*) ve çepeçevre kafes sistem (*belt truss*) bulunur (Şekil 4.25).

- Deprem etkin bölgelerde, sistemin simetrik tasarlanması ve çekirdeğin ortada olması önemlidir, depremin önemli olmadığı durumda çekirdek kenarda da konumlanabilir (Şekil 4.25).



Şekil 4. 25 Rijit kat ve çerçeve kafes yerleşimi

- Rijit kat; yatay yükler altında, konsol ankastre çekirdeğin eğilmesine karşı koymakta; çekirdeğin tepe yerdeğiştirmesi, dönmesi, mesnette ve yükseklik boyunca eğilme momenti değişimini önemli ölçüde azaltmakta, eğilme rijitliğini arttırmaktadır. Ancak, rijit kat düzenlemesinin kayma rijitliği açısından bir katkısı yoktur. Yatay yüklerin moment etkisi, çekirdek+kafes'e mafsallı ve simetrik biçimde birleşen dış kolonlarda kuvvet çiftine (çekme ve basınç) dönüşerek karşılanmaktadır. Kenar kolonlara birleşim mafsallı olduğu, kenar kolonlara sadece eksenel kuvvet aktarılacağı için daha fazla eğilme momenti taşıyacak olan çekirdekten daha etkin olarak yararlanılır, aynı zamanda daha ekonomik sonuç verir (Şekil 4.26). Azalan çekme gerilmeleri nedeniyle maliyetli temel sistemi önlemlerine (kazıklı radye sistem vb) gerek kalmamaktadır, daha ekonomik ve hızlı çözüm mümkündür. Günümüzde yüksek yapılardaki rijit katlar genellikle iki katlı olmaktadır.



Şekil 4. 26 Kenar kolonlara (a) Rijit (b) Mafsallı birleşim ve çekirdekte eğilmeden oluşan normal gerilmelerin yayılışı [222]

- Rijit katlardan kenar kolonlara oradan da zemine aktarılan çekme gerilmeleri zeminden ayrılma olgusuna karşı düşey yüklerden gelen basınç gerilmeleri ile dengelenmelidir. Aksi durumda gayri ekonomik kolon tasarımı sözkonusu olur.

- Rijit katın oluşturulacağı optimum yüksekliğin belirlenmesi için aşağıdaki varsayımlar yapılarak, rijit kat konumunun yerdeğiştirme ve eğilme momentlerine olan etkisi, 4 farklı yükseklik durumu için Şekil 4.27'de incelenmiştir. Yapılan varsayımlar şunlardır:

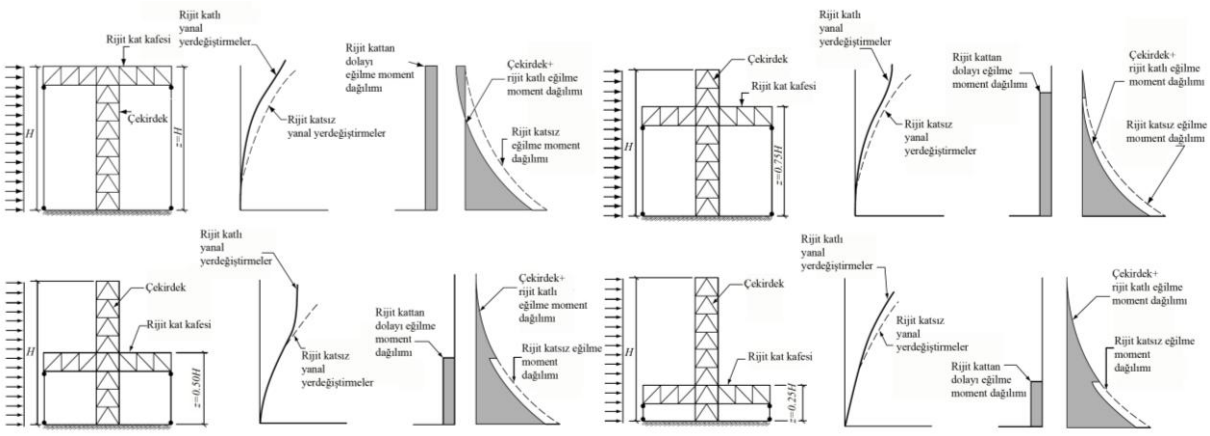
- Yapı prizmatiktir, çekirdek ve çevre kolonların enkesit alanı ve atalet momenti sabittir.

- Dış kolonlar, temel ve kafes sisteme mafsallı birleşmektedir.

- Yanal yükler, tüm yapı yüksekliği için eşittir.

- Çekirdek, zemine ankastre mesnetlenmiştir.

Rijit katın en üst katlarda konumlanması, çekirdeğin konsol ankastre eleman benzeri yerdeğiştirmesini azaltır, ancak biçimini değiştirmez. Oysa orta katlarda konumlandırma, sistemin çerçeve davranışına yaklaşmasını sağlar.



Şekil 4. 27 Rijit katın düzenleme durumları (z=H, z=0.75H, z=0.5H, z=0.25H), eğilme momenti ve yanal yerdeğiştirmeler [58]

Eşit yanal yük değişimi varsayımı için analiz sonuçlarına göre[1]; rijit katın yapı yüksekliğince iki farklı yükseklikte konumlanması durumunda, eğilme momentinde oluşacak azalma şematik olarak Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

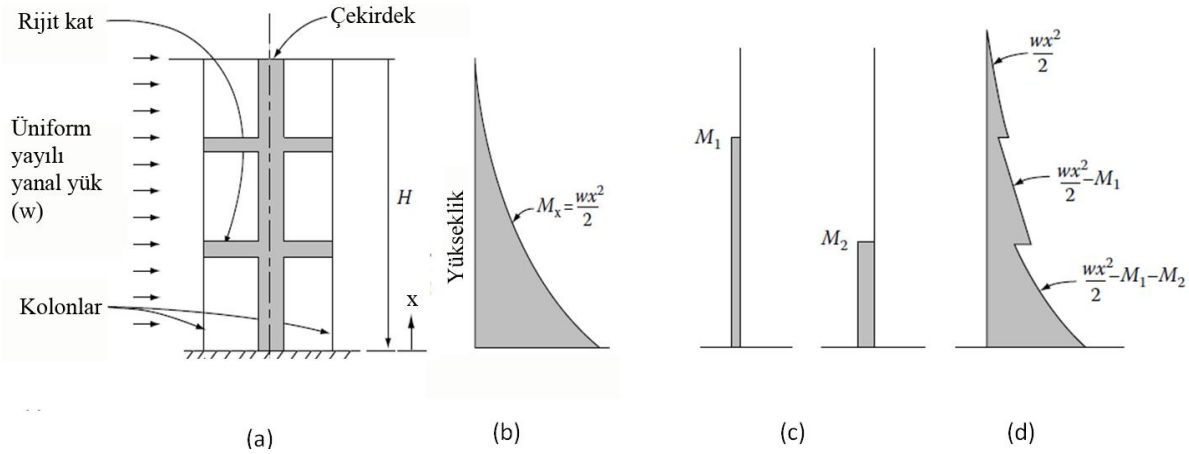
- Rijit katın en etkin yerleştirme yüksekliği z=0.55 H (~ H/2) olarak bulunmuştur
- İki rijit kat için H/3 ve 2H/3
- Üç rijit kat için H/4, H/2, 3H/4 uygundur (Şekil 4.29).

Daha fazla rijit katın optimum performans uygulaması için, rijit kat adedi n olmak üzere, aşağıdaki bağıntı önerilebilir. Bu öneri, çelik yapılar için önerilse de betonarme yapılar için de geçerli olacağı düşünülebilir. Düzenleneceği katlar pratik olarak;

$$N/(n+1),\ 2N/(n+1),\ 3N/(n+1),\ 4N/(n+1),\ \ldots,\ nN/(n+1) \qquad (4.1)$$

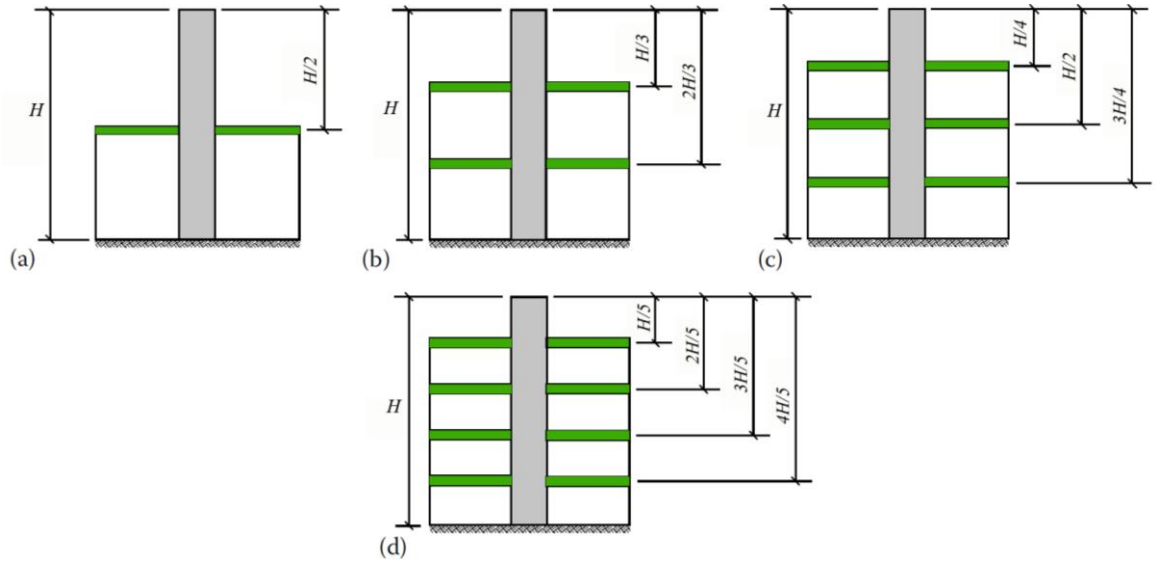
ilişkisi ile bulunabilir.

Örnek: N=80 katlı bir yapı için 4 adet rijit kat düzenlenirse ideal yerleşimler 16, 32, 48, ve 64. katlardır [58].



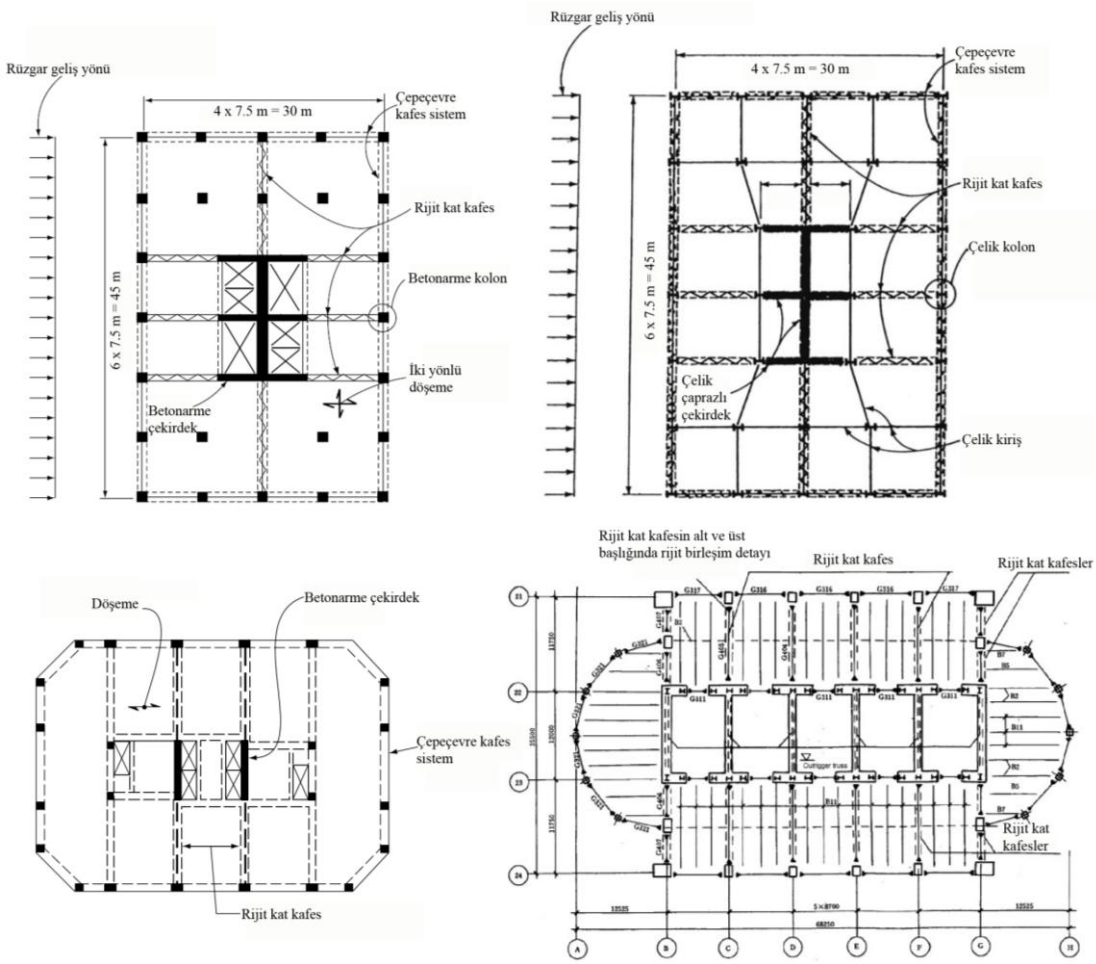
Şekil 4. 28 (a) İki farklı yükseklikte konumlanmış rijit kat (b) Tek başına çekirdeğin eğilme momenti diyagramı (c) Rijit katların eğilme momentine etkisi (d) Sistemin nihai eğilme momenti diyagramı [58]

[1] Pratikte bu varsayım çok geçerli değildir, yamuk (rüzgar) veya üçgen yük (deprem) dağılımı sözkonusudur. Ayrıca kolon ve çekirdek kesit alanları da sabit değildir. Rijit katın ~H/2 yükseklikte yapılması en etkin durum olarak tepe yerdeğiştirmesini % 25-50 daha fazla azaltmasına rağmen, estetik açıdan uygulamalarda tepede yapılabilmektedir.



Şekil 4. 29 (a) Tek rijit kat, (b) İki rijit kat, (c) Üç rijit kat, (d) Dört rijit kat [58]

Uygulamada tipik rijit kat yerleşimleri ve tek rijit katlı betonarme/çelik yapı planlarına bazı örnekler Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4. 30 Tek rijit katlı çelik ve betonarme yapı planları [58]

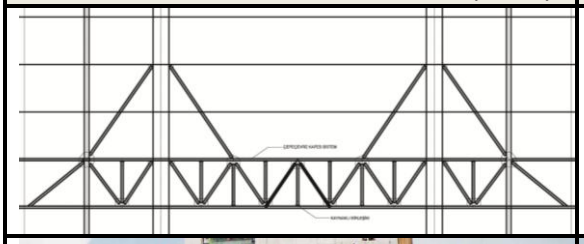
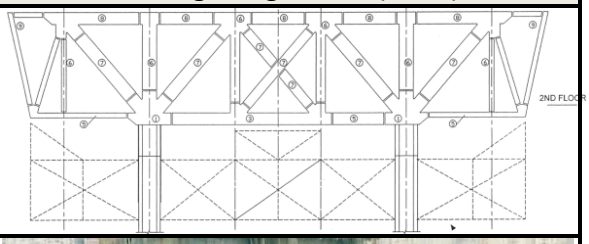
Rijit kat düzenlenmesinin bazı zorlukları da mevcuttur.

- Rijit kat için, mekanik katlar tercih edilse de mekanik tesisatın düzenlenmesinde güçlük yaratabilir (Şekil 4.31).

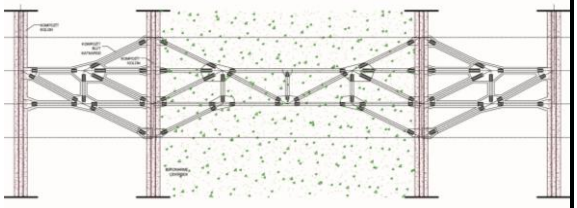
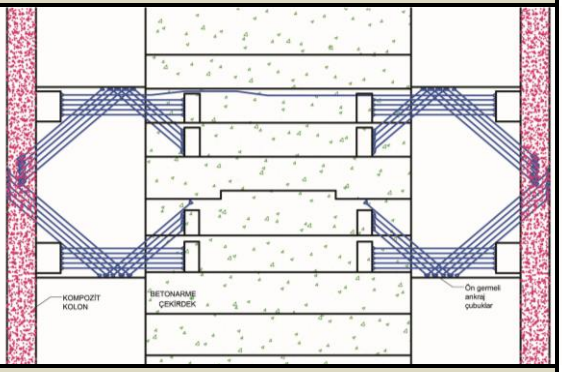
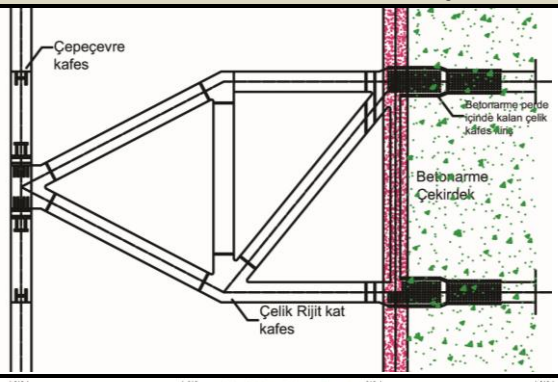
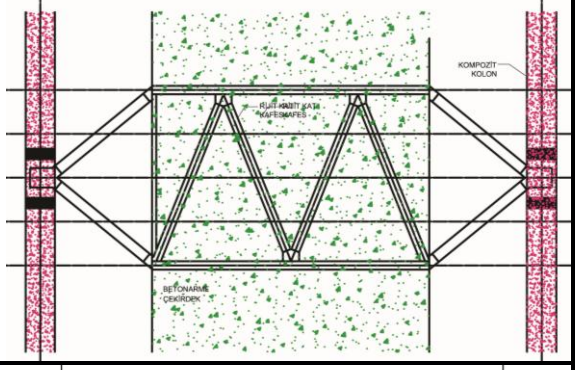
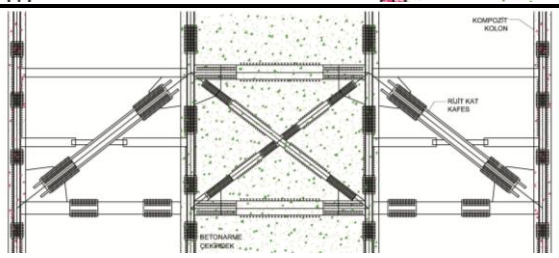
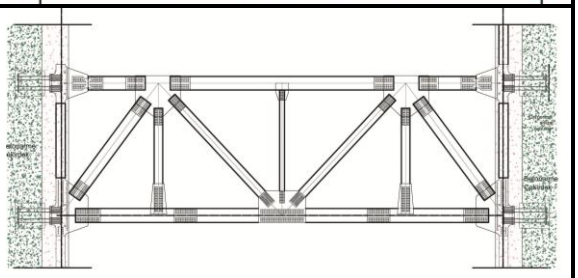
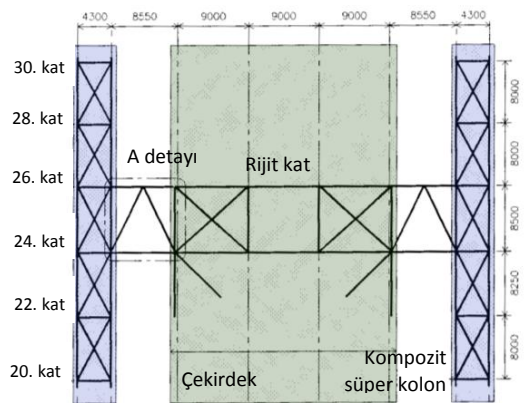
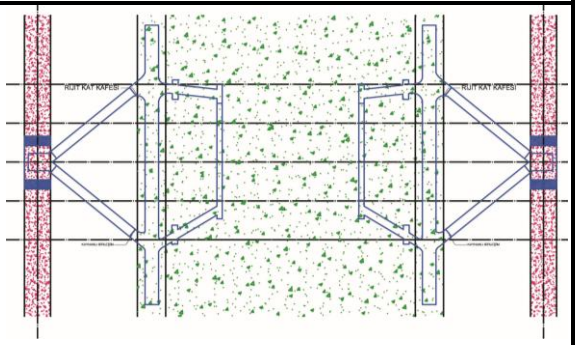
Şekil 4. 31 Tipik rijit kat birleşimleri ve mekanik kat [223], [224]

- Betonarme çekirdek ile çekme/basınca çalışan dış kolonlar arasında klasik olarak düzenlenen kafes kirişlerin betonarme çekirdeğe rijit olarak birleştirilmesi gereklidir, bu birleşimler özel detaylar ve zorluklar içermektedir. Tipik birleşim düzenlemeleri, Çizelge 4.3'te, Çizelge 4.4'te ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

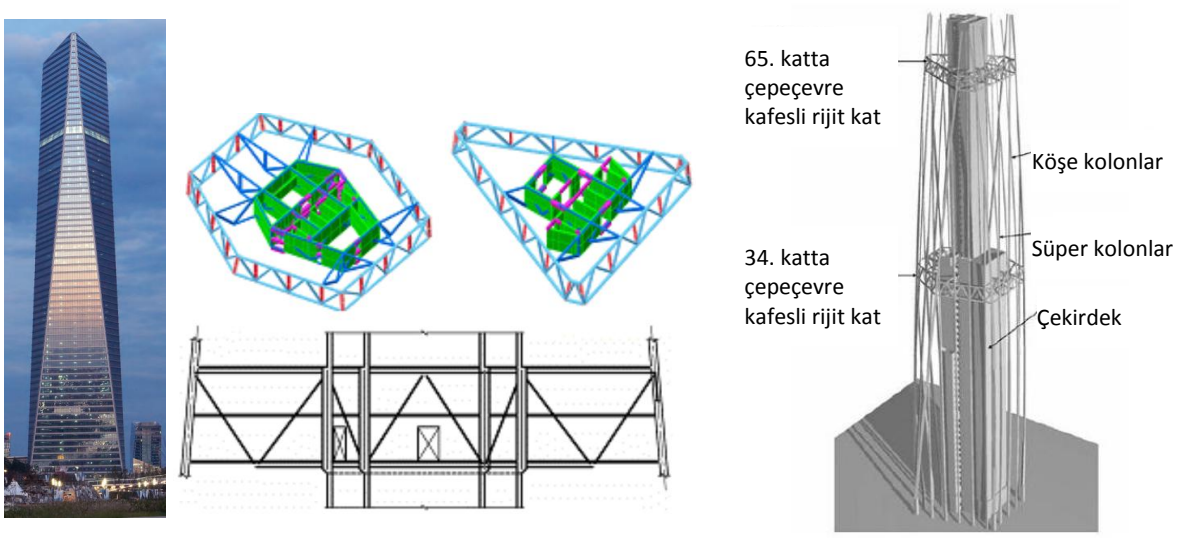
Çizelge 4. 3 Çepeçevre kafes düzenleme örnekleri

Two International Finance Center (2003)	Cheung Kong Tower (1999)
	

Çizelge 4. 4 Rijit kat kafesi düzenleme çeşitleri (tez kapsamında yeniden çizilmiştir)

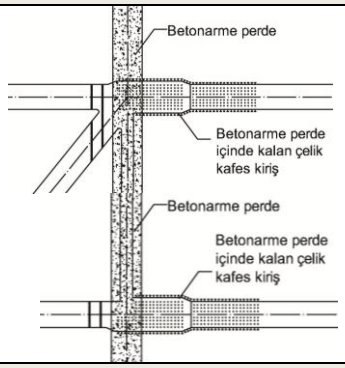
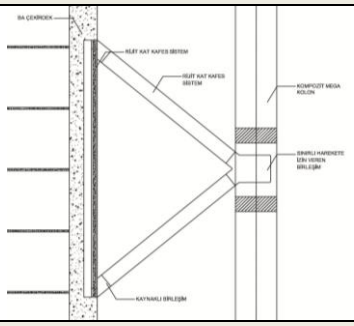
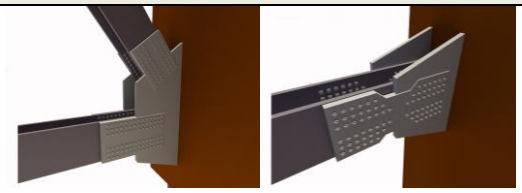
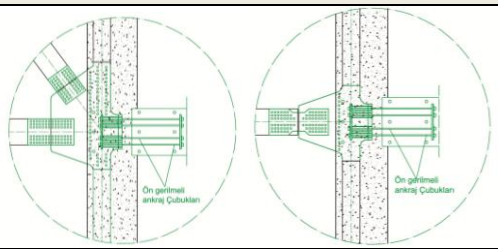
<table>
<tr><th>KOMPOZİT RİJİT KAT KAFESİ</th><th>YERİNDE ÖNGERMELİ RİJİT KAT KAFESİ</th></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><th colspan="2">ÇELİK RİJİT KAT KAFESİ</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

Güncel yüksek yapılara tipi bir örnek, 68 katlı 305 m yüksekliğinde, *Northeast Asia Trade Tower* (Songdo, 2011)'dır (Şekil 4.32).



Şekil 4. 32 Northeast Asia Trade Tower (Songdo, 2011) [225]

Çizelge 4. 5 Rijit kat kafesi-betonarme çekirdek birleşim detayları

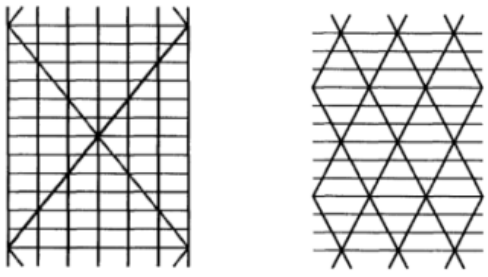
CEUNG KONG TOWER	
	
TWO INTERNATIONAL FINANCE CENTER	
	
CAJA MADRID	
	

4.5 Diagrid Sistem

Diagrid sistem, yapının dış kabuğunda eğik kolonlar ve kirişlerin üçgen birimler oluşturacak biçimde dış yüzeye yerleştirilmesi ile oluşturulan yüksek yapı taşıyıcı sistemidir. Diagrid taşıyıcı sistem, tekrar eden modüllerden oluşur. Her modül (Şekil 4.33), birbiri üzerine yerleştirilerek çok katlı yapılar oluşturulmaktadır. Yapı, konsol ankastre kafes sistem olarak çalışır; dolayısıyla, dış yüklere büyük ölçüde normal kuvvet ile karşı koyar.

Şekil 4. 33 Swiss Re Building diagrid modülü bir araya gelişi [226]

Bu taşıyıcı sistem ile yanal rijitlik arttırılmış, estetik açıdan yenilikçi tasarımlara imkan sağlanmıştır. Sistem, yanal yerdeğiştirme ve burulmaya karşı gösterdiği dayanımdan dolayı dikkat çekmiştir. Kafes tüp sisteme kıyasla düşey yükler açısından da çok etkindir (Şekil 4.34). Rijit katlı sistemlere kıyasla sistemin kayma rijitliğinin yüksek olması önemli bir avantajdır. Bu sistemde, rijit katlı sistemlerden farklı olarak kesme kuvvetini karşılayacak çelik veya betonarme güçlü bir çekirdek gereksinimi yoktur. Özellikle yerdeğiştirmeleri yanal rijitliğin yönettiği narinlik oranı 5-7 olan (örneğin 42-60 katlı) yapı tasarımı için etkin bir taşıyıcı sistem tipidir.



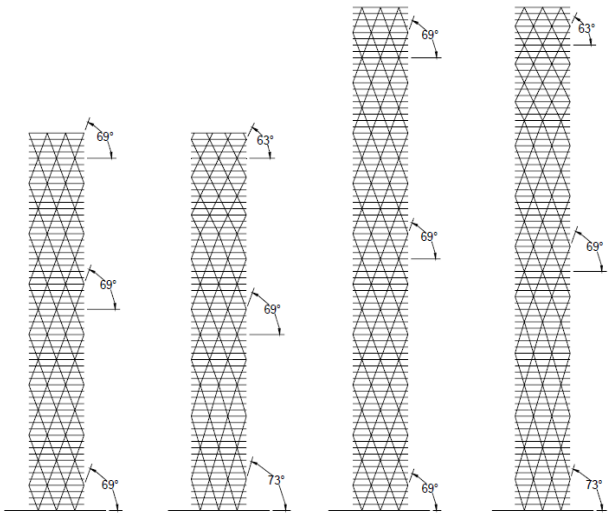
Şekil 4. 34 Kafes tüp ve diagrid sistem modülleri

Güçlü bir deprem açısından taşıma gücünün erken tükenmemesi için diagrid sistem elemanları BRB olarak tasarlanmalıdır. Aksi durumda, oluşan plastik mafsallar tüm sisteme yayılamadan, alt katlardaki elemanlar burkularak sistem göçer.

Yüksek hiperstatiklik derecesi nedeniyle gerilmelerin yeniden dağılımı için çok uygun bir sistem olduğundan, terörist ve patlama gibi ani dinamik etkilere karşı da güvenli bir sistemdir.

Yapılan bir çalışmada [226], rüzgar yüklerinin etkin olduğu New York'da taban alanı 36 m x 36 m, tipik kat yüksekliği 3.9 olan 40, 50, 60, 70 ve 80 katlı diagrid sistem yapılarda narinlik oranı 4.3-8.7 için, tepe yerdeğiştirmesi H/500 sınırları içinde en ekonomik kesit boyutlarını veren gridal geometri araştırılmıştır. Buna göre;

- Sabit açılı tasarım açısından incelendiğinde; 40, 50 ve 60 katlı yapılarda 63^{o} açılı 6 katlı modüller, 60 kat ve üzeri olan yapılarda, 69^{o} açılı 8 katlı modüller en etkin tasarımı sağlamıştır. 40-60 katlı yapılarda sabit açılı tasarım, değişken açılı tasarıma göre daha etkilidir. Çünkü, alt katlarda daha dik açıların kullanımı eğilme rijitliğini arttırırken, kayma rijitliğini negatif etkilemektedir ve bu azalma özellikle daha az katlı yapılarda eğilme rijitliğindeki artıştan daha önemli olmaktadır. Narinliği<7 olan yapılarda sabit açılı tasarım kademeli açı değişimine göre daha ekonomik sonuç vermektedir. Çünkü yüksek yapılarda eğilme rijitliği, kayma rijitliğine göre daha çok önem kazanmaktadır (Şekil 4.35) [226]. Narinliği>7 olan 80 katlı yapılarda ise, kademeli açı değişimi sabit olana kıyasla daha ekonomik sonuç vermektedir (Çizelge 4.6).

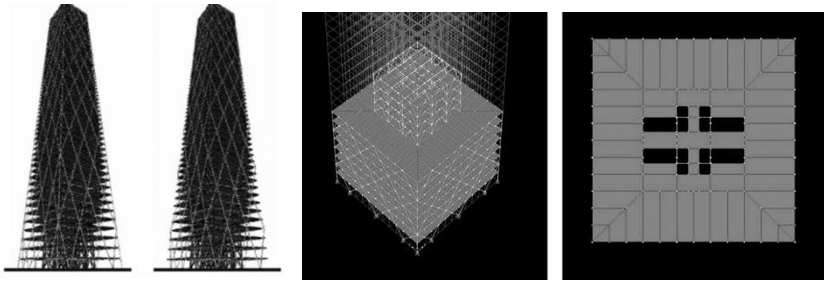


Şekil 4. 35 60 ve 80 katlı yapılar için aynı ve farklı açılardaki diagrid sistem [226]

Çizelge 4. 6 İki yüksek yapı için sabit ve değişen açılarda taşıyıcı sistem verimliliği karşılaştırması [226]

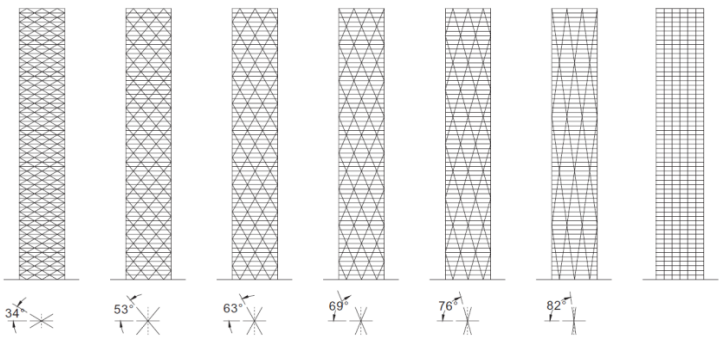
Diagrid Sistem	Yükseklik/ Genişlik	Açı Konfigürasyonu	Çelik Kütlesi (ton)
60 katlı	6.5	Sabit Açı (69°)	3520
		Değişken Açılar (73°, 69° ve 63°)	4104
80 katlı	8.7	Sabit Açı (69°)	15611
		Değişken Açılar (73°, 69° ve 63°)	11574

Diagrid sistemde, değişken açıların ve köşe kolonların tasarıma etkisi (Boston'da olduğu varsayılarak, III. Kategori, rüzgar hızı 177 km/h olarak alınmıştır) 60 katlı, 240 m yüksekliğinde 36 mx36 m taban alanlı (H/B= 6.7), çekirdek alanı toplam alanın % 25'i olan bir yapıda incelenmiştir [24]. Yapı, köşe kolonlu ve köşe kolonsuz olarak iki ayrı şekilde (Şekil 4.36) ve elemanları optimum 63° açıya göre tepe yerdeğiştirmesi oranı H/500'i (0.48 m) sağlayacak biçimde boyutlandırılmıştır. Yapılan analizlerde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 4. 36 Köşe kolonlu ve köşe kolonsuz diagrid sistemli yapılar [24]

60 katlı farklı açılarda model üzerinden yapılan araştırmada, tüm farklı açılardaki diagrid sistemli yapıların çerçeve tüpten daha iyi yanal yerdeğiştirmeye davranışı göstermiştir (Şekil 4.37).



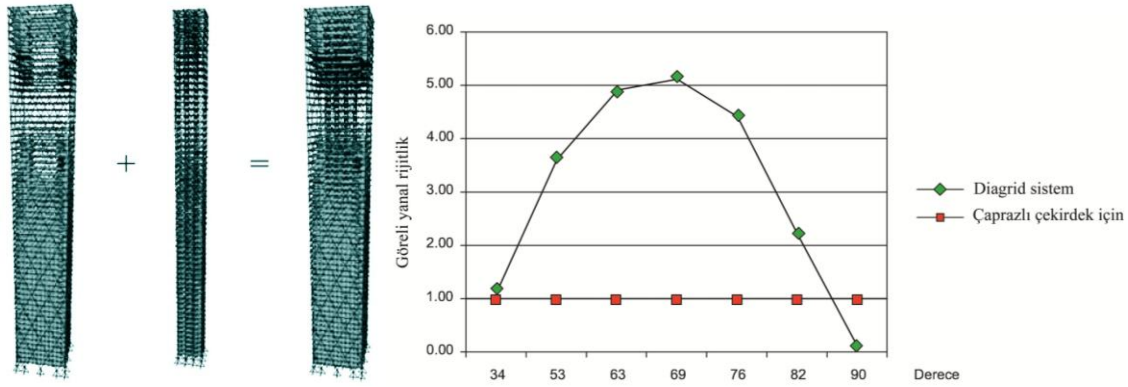
Şekil 4. 37 60 katlı değişken açılı diagrid yüksek yapılar [24]

• 63^{o} sabit açılı tasarımda, köşe kolonların olmaması durumunda, olması durumuna göre daha büyük boyutlu elemanlar gerekmektedir ve toplam çelik ağırlığı % 10 artmaktadır.

• Köşe kolonlu 60 katlı sistemde 1.mod periyod değeri 90^{o} açı (tüp sistem) için 7.95 sn iken, 63^{o}'lik açıda en yüksek rijitlik ile en küçük periyod değerine ulaşılmakta ve 3.66 sn olmaktadır. Köşe kolonsuz durumda periyod değerleri genel olarak artmaktadır ancak bu durum için de 69^{o}'lik açı 3.73 sn ile ideal çıkmaktadır. Dolayısıyla tepe yerdeğiştirmeleri de bu duruma uygundur.

• 60 katlı yapı bazında, ilk 18 katta eğilmeye çalışan elemanların kesitleri kesmeye çalışanlardan % 30-50 daha büyük çıkarken, 18 kattan sonra kesme kuvveti tasarıma hakim olmaktadır.

• Çekirdeğin çaprazsız olarak, sadece düşey yükleri taşıyacak biçimde tasarlanması mümkündür, çünkü çekirdek düzenlemesi yanal rijitliğe ancak % 15-20 düzeyinde katkı sağlamaktadır.



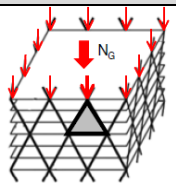
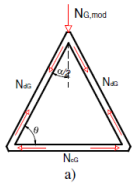
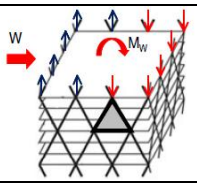
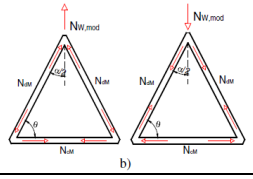
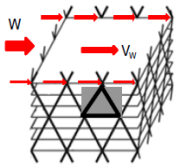
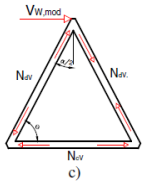
Şekil 4. 38 Göreli yanal rijitlik değişimi [24]

Düşey yüklerden dolayı basınç tipi büyük normal kuvvetlere, rüzgar ve deprem etkisiyle ise büyük taban momenti ve kesme kuvveti etkisine maruz yapıda (Çizelge 4.6) üçgen birimlerin tasarımında iki tip durum sözkonusudur. Kuvvet aktarımı ve gerilme yayılışı buna göre değişmektedir.

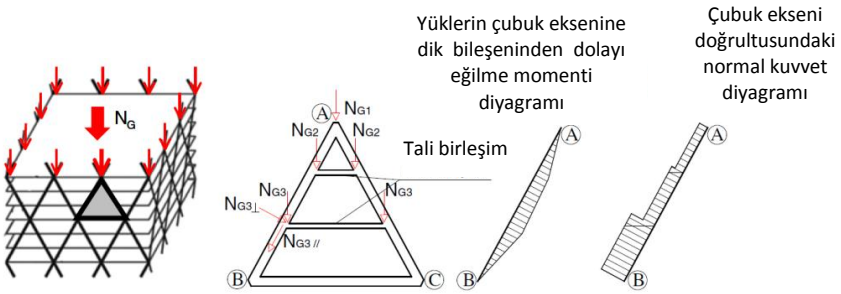
• Düşey yükler etkisiyle tüm eğik kolonlar basınca çalışırken, rüzgar ve deprem etkisi ile doğrultuya dik kenarlar basınç veya çekme tipi normal kuvvetlere, paralel doğrultudaki kenarlar ise kesme kuvveti yanında, eğilme momenti nedeni ile çekme ve basınç

kuvvetlerine maruz kalır. Üçgen birimlerde oluşan eksenel kuvvetler, yönleri ile birlikte Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 7 Diagrid modülde oluşan kesit tesirleri [109]

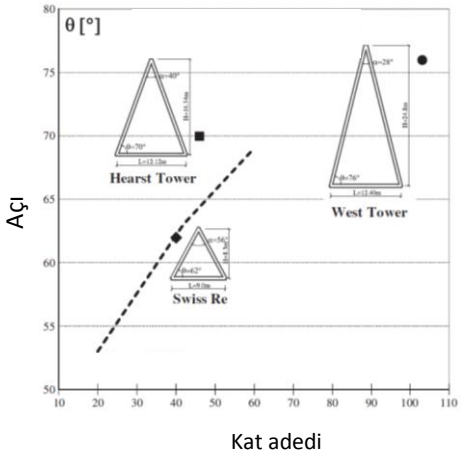
Etki	Diagrid modül	Modüle etki eden kuvvetler
Normal kuvvet		
Eğilme momenti		
Kesme kuvveti		

• Kuvvetlerin üçgen birimin ara noktalarından da iletildiği durum: Bu durumda üçgen birimlerde sadece normal kuvvet değil, değişken eğilme momenti ve kesme kuvveti de oluşur (Şekil 4.39), tam kafes çalışmasını engelleyen bir durumdur.



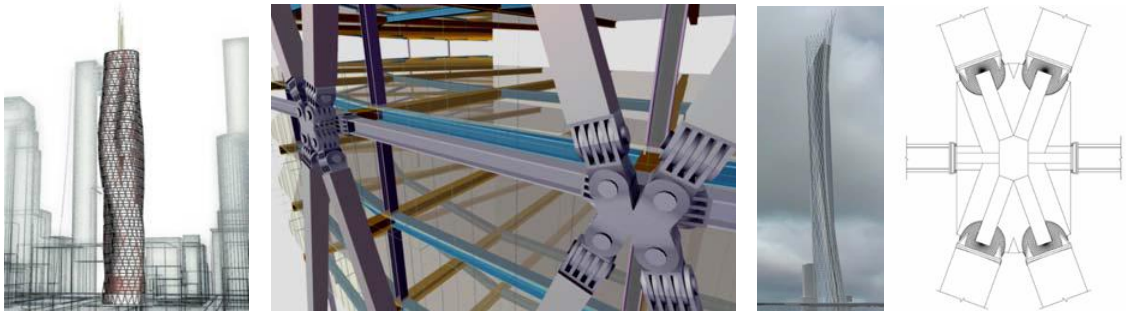
Şekil 4. 39 Düşey yüklerin diagrid modül çaprazına etkisi [109]

Üç farklı yapının diagrid modüllerinin açı araştırması yapıldığında yaklaşık olarak üç farklı yapı da ideal açıları ile H/500 kriterine yakın bir değeri sağladıkları görülmektedir (Şekil 4.40).

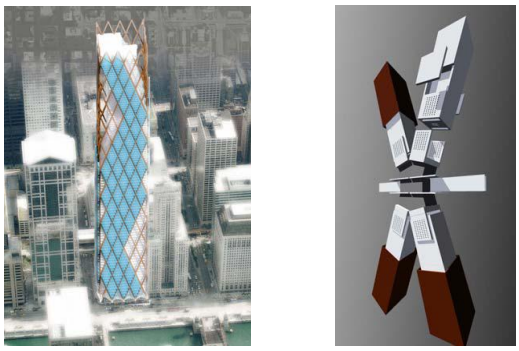


Şekil 4. 40 Üç yapı için uygun diagrid modül araştırması [109]

Prizmatik olmayan, amorf gövdeli yapıların tasarımında yukarıda belirtilen kuvvetlerin dışında üçgen birimlerin düzlemine dik doğrultuda kuvvetler ortaya çıkar. Bu durumda üçgen birimlerin, çevre kirişleri ile düzlemi için ve düzleme dik yönde harekete karşı rijit biçimde tutulması ve buna uygun birleşimlerin tasarlanması gereklidir (Şekil 4.41, 4.42). Yapının düşey aksının değişken olması, normal kuvvetlerin ikinci mertebe momentlerine ve kirişlere normal kuvvet etki etmesine de neden olacaktır. Güncel diagrid sistemli yapıların tipik diagrid birleşim detayları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

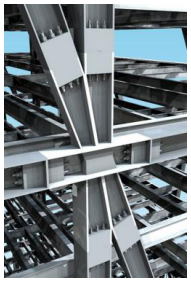
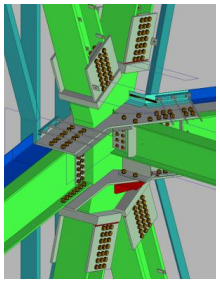


Şekil 4. 41 Düzensiz formlu diagrid sistem için tipik detaylar [226]



Şekil 4. 42 Düzenli dikdörtgen planlı diagrid sistem için tipik detay [226]

Çizelge 4. 8 Güncel diagrid sistem yüksek yapılarda tipik diagrid birleşim detayları

Leadenhall Tower	Swiss Re Tower	Hearst Tower	Cocoon Tower	Guangzhou I. Finance Center
				

4.6 Dinamik Formlu Yapılar

4.6.1 Eğik Formlu Yüksek Yapılar

Prizmatik olmayan yüksek yapı tasarımında en önemli sorun, her katta değişen döşeme sistemi yerleşimi için çözüm üretmektir. Eğimli forma sahip yüksek yapıda eğimli servis çekirdeği dolayısıyla eğimli asansörler tasarlamak da mümkündür, ancak ekonomik açıdan geleneksel sistemlere göre oldukça büyük bir bütçe gereklidir. Eğimli yapıdaki yenilikçi arayışlarda, taşıyıcı sistem ve asansörün yaratıcı ve ekonomik biçimde çözümlenmesi amaçlanmaktadır [227]. Bazı eğik formlu yapılar Şekil 4.43'te verilmiştir.

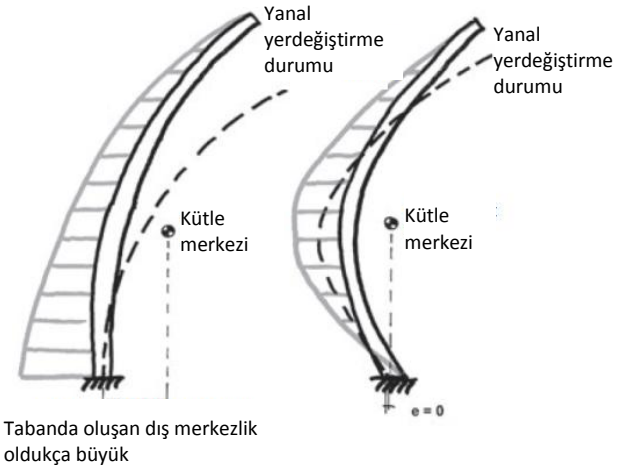
Şekil 4. 43 Songdo Northeast Trade Tower (Songdo, 2011), Milan Fiera (Milano), Al Raha Residential Tower [227]

Eğimli yüksek yapılarda, düşey yüklerden dolayı taban eğilme momentleri ve tepe yerdeğiştirmeleri artar, bu artış deprem ve özellikle rüzgar etkisi ile daha da fazlalaşır. Artan eğilme momenti haricinde, kirişlerde çekme/basınç tipi normal kuvvetler de oluşur. Diagrid sistemler, eğik yapılar için en uygun ve ekonomik sistemdir.

Diğer taraftan uygun çözümler olarak :

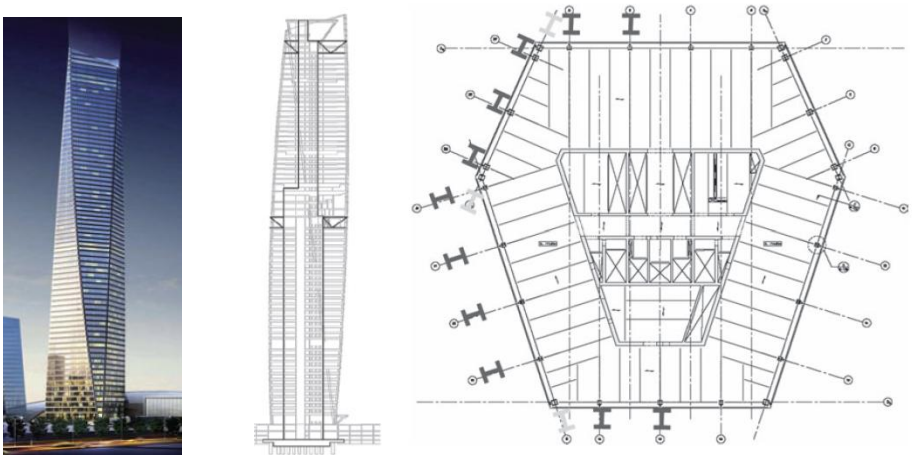
- Yapıya, devrilme momentleri minimum olacak biçimde form ve eğim verilebilir. Örneğin, kütle merkezi düşey doğrultuda o yapının mesneti ile kesişirse, tabanda eğilme momenti oluşmaz (Şekil 4.44).

- Simetrik kolon düzenli simetrik yapılarda eğik kolon etkisi ve taban eğilme momenti azalır.



Şekil 4. 44 Yapının kütle merkezi boyunca eğilme momentinin minimizasyonu [227]

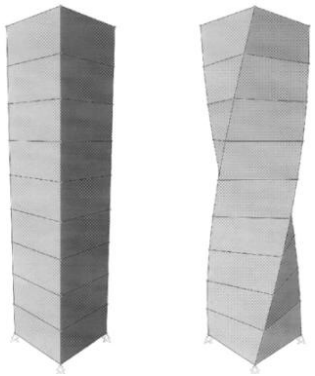
Songdo Northeast Asia Trade Tower (Songdo, G.Kore) (Şekil 4.45) bu koşullara dikkat edilerek tasarlanmış bir yapıdır. Yapı hacmi; iki tek eğrilikli yüzey, iki eğimli yüzey ve iki dikey yüzey ile çevrilidir. Yapının ön ve arka cepheleri eğriseldir. Yapı, zeminde trapezoidal formdan başlayıp tepede ters üçgen form ile bitmektedir. Kütle merkezi taban seviyesinde çekirdek ekseni ile çakışır, düşey yüklerden dolayı oluşan taban eğilme momenti çok düşüktür.



Şekil 4. 45 Songdo Northeast Trade Tower (Songdo, G.Kore, 2011) [227]

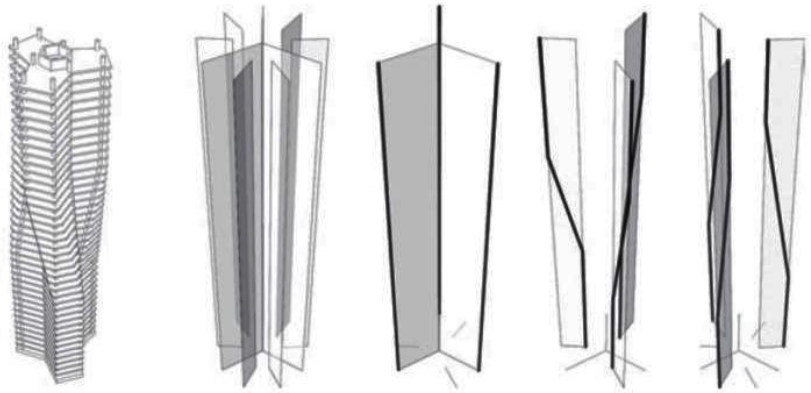
4.6.2 Burulmuş Yüksek Yapılar

Teorik olarak bakıldığında aynı atalet momentine sahip konsol ankastre iki katı formun birisi sabit tutulup, diğeri kendi etrafında 90^{o} döndürüldüğünde (Şekil 4.46), atalet momenti aynı kaldığından, tepe yerdeğiştirmeleri değişmez; ancak katı form yerine çerçeve sistem sözkonusu olduğunda durum farklılaşır, formdaki burulma yanal rijitliği azaltır.



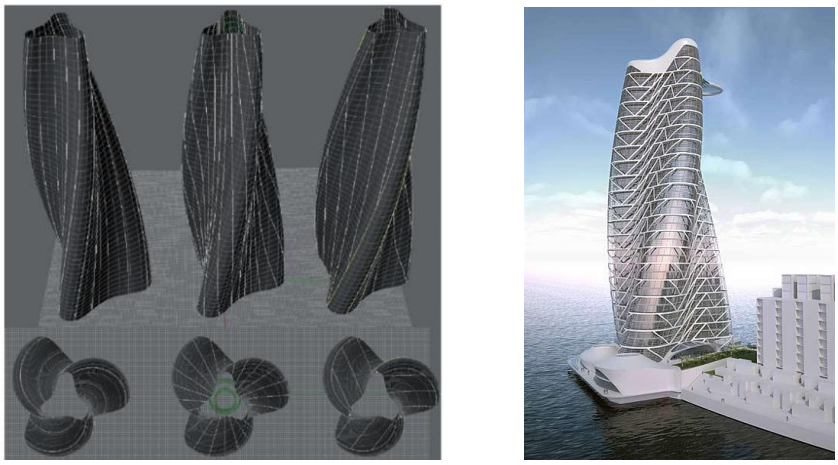
Şekil 4. 46 Prizmatik ve bükülmüş katı yapılar [228]

Genel olarak, burulma rijitliğini arttırmak için çelik bir yapıda çevresel çelik çaprazlar tercih edilir. Burulan yüksek yapılarda, pratik nedenlerden dolayı çekirdek düşey olarak tasarlanmalıdır. Ancak, çekirdek ve yapının dış cephesi arasında her katta planda oluşan değişimler kullanışsız alanlara neden olmaktadır, çözümlerden birisi dairesel çekirdek kullanmaktır [228]. Burulmuş form, radyal doğrultuda düzenlenmiş kolonlar ile oluşturulduğunda; taşıyıcı sistem gerçekte burulmadığı, çekirdek formu sabit kaldığı için en uygun çözümü sağlar (Şekil 4.47).



Şekil 4. 47 Görsel olarak burulmuş, taşıyıcı sistemi ise burulmamış yapı [227]

Abu Dhabi'de inşa edilecek *Al Raha Beach Tower* (Şekil 4.48) için yapılan bilgisayar analizlerinde; burulan formu izleme (1), radyal düzenlenmiş kolonlar (2) ve kolonların burulma yönüne dik düzenlenmesi (3) durumları, kesit tesirleri ve dönmeler açısından incelenmiştir (Çizelge 4.9).



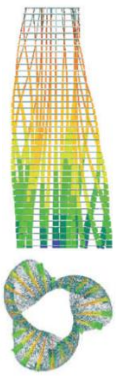
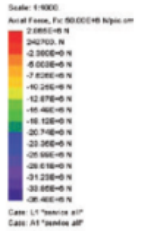
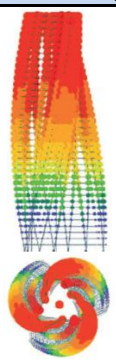
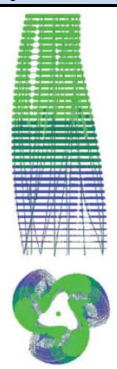
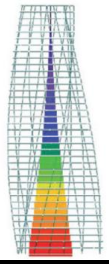
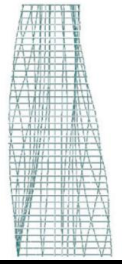
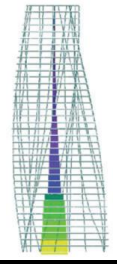
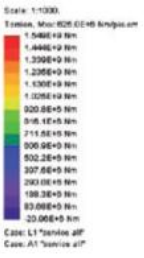
Şekil 4. 48 Al Raha Beach Tower (Dubai, inşaat aşamasında) yapısı ve burulma için farklı seçenekler (a) burulan formu izleme (b) radyal kolon düzenleme (c) burulma yönüne dik düzenleme [227]

- Normal kuvvetler açısından bakıldığında 1. ve 3. çözümlerde 2.'ye kıyasla büyük normal kuvvetler ortaya çıkmıştır. Radyal düzenlenmiş, kolonlu ve sabit çekirdekli çözüm en iyi sonucu vermiştir.

- Düşey yüklerden dolayı dönmeler 1. çözümde en fazla çıkmıştır, özellikle üst katlarda yoğunlaşmaktadır. 3. çözüm daha uygun, 2. çözüm ise en uygun çözümü vermiştir.

- Çekirdekteki burulma etkisi yine 1. çözümde en fazladır, en uygun olanı 2. çözümdür.

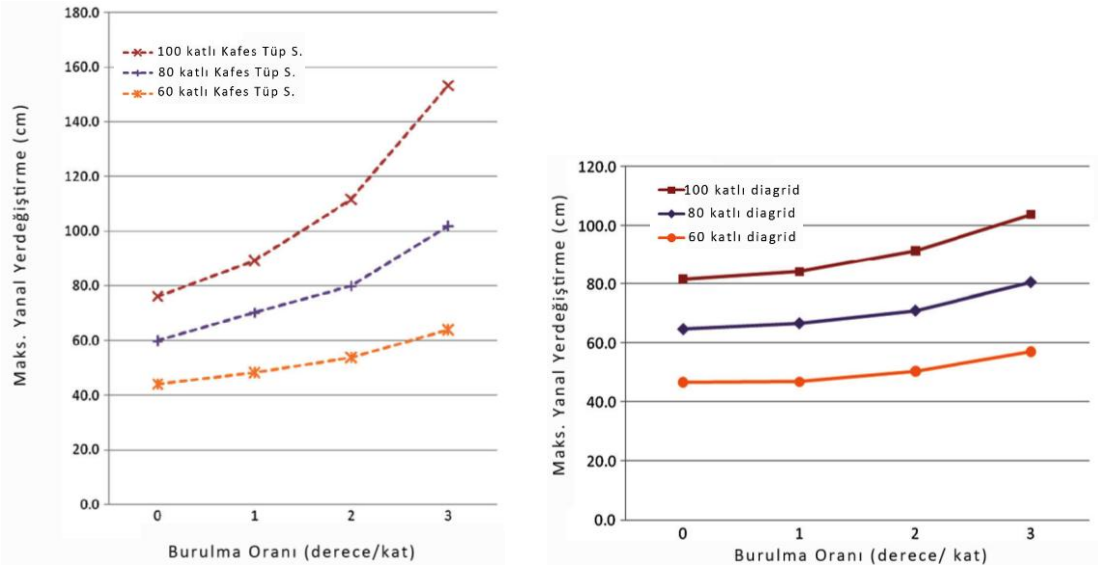
Çizelge 4. 9 Al Raha Beach Tower için farklı taşıyıcı sistem denemeleri [227]

Burulan formu izleme (burulmuş çekirdek ve kolonlar) (1)	Radyal kolonlar (2)	Kolonların burulma yönüne dik düzenlenmesi (3)	Etkiler
Kolonlarda oluşan normal kuvvet			
			
Düşey yüklerden dolayı açısal yerdeğiştirmeler (dönmeler)			
			
Çekirdekteki burulma			
			

• Kafes tüp sistemde, burulma oranı arttıkça yanal rijitlik azalmaktadır. Örneğin burulmamış iken sistemin en fazla yanal yerdeğiştirmesi 44.0 cm iken, her katta 1^{o}, 2^{o} ve 3^{o} burulmuş durumda yanal ötelemeler sırasıyla 48.3 cm, 53.8 cm ve 63.9 cm'dir. Yapıya burulma verildiğinde, çepeçevre düşey kolonlar burulma yönüne eğilir, burulma oranı arttıkça yapının yanal rijitliği azalır, tepe yerdeğiştirmeleri artar (Şekil 4.51). Burulma ile mega çaprazların açıları da değişir [228].

• Benzer durum diagrid sistemde de gözlenir. Chicago'da 36 m x 36 m taban alanlı (iç çekirdek merkezde ve 18 mx18 m), tipik kat yüksekliği 3.9 m, narinlik oranı 6.5 olan 60,

80, 100 katlı diagrid sistemin (Şekil 4.49) tasarımında rüzgar hızı 145 km/h alınmış [228] , en fazla yanal yerdeğiştirme oranı H/500 olarak öngörülmüştür. Bilgisayar analizlerinde burulma açısı ile tepe yerdeğiştirmelerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 4. 49 Farklı yükseklikteki burulmuş kafes tüp ve 69^{o} açılı diagrid modüllü diagrid sistemin sistemlerde oluşan maksimum yanal yerdeğiştirme grafiği [228]

BÖLÜM 5

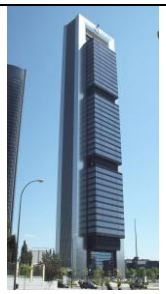
GÜNCEL YÜKSEK YAPI ÖRNEKLERİ

Bu bölümde; rijit katlı, diagrid sistemli ve dinamik formlu yüksek yapılar özellikle taşıyıcı sistemleri göz önüne alınarak geçmişten günümüze doğru incelenecektir.

5.1 Rijit Katlı Sistem ile Uygulanmış Yapı Örnekleri

Bu bölümde rijit katlı 11 adet yapı (Çizelge 5.1), taşıyıcı sistem ve detayları bakımından incelenmiştir.

Çizelge 5. 1 Rijit katlı güncel yüksek yapılar

Jina Mao Tower	Cheung Kong Tower	Two I. Finance Center	Taipei Tower	Shanghai World Financial Center	Ping Ann Tower
 Caja Madrid	International Commerce C.	Jinta Tower	Federation Tower	Shanghai Tower	

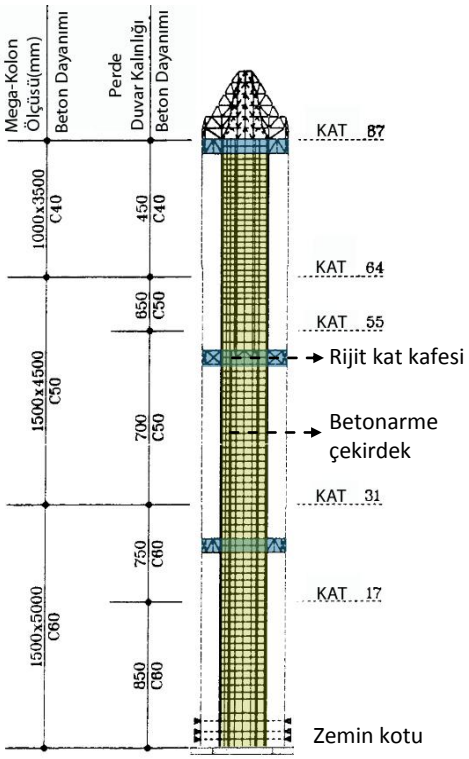
Çizelge 5. 2 Jin Mao Tower [229], [230], [134], [231]

JIN MAO TOWER (1998)

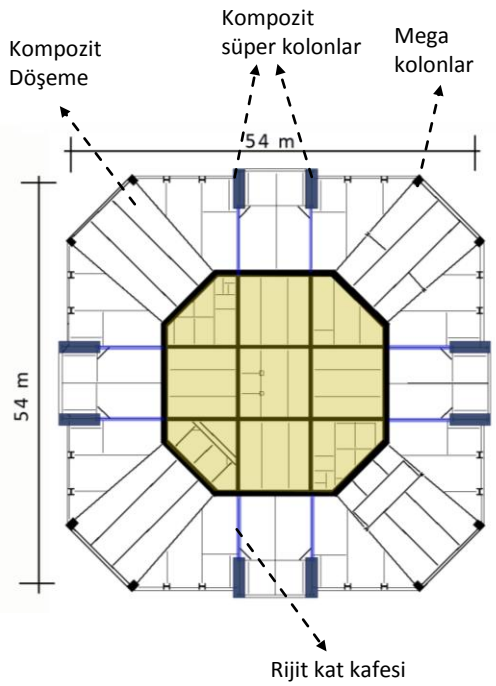
Shanghai, Çin

Mimari Tasarım	SOM
Taşıyıcı S. Müh.	SOM
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çerçeve + Çekirdek + Rijit Kat Kafesi/Karma
Narinlik	8
Anten H. Yükseklik	421 m, 88 kat
Maks. tepe yerdeğ.	H/850,
Zemin Sınıfı	79 m'de ana kaya
Temel Sistemi	Radye temel (4 m) +Kazıklar (83.5 m)
Rijit Kat	Çelik, 3 adet, h:8m (2 kat)
Döşeme	Kompozit, 15.5 cm
Kirişler	Çelik, 9-13 m, 4.5 m aralık
Süper Kolonlar	Kompozit, 150 cmx500 cm 100 cmx350 cm, C60-C40
Çekirdek	Betonarme, 27 mx27 m, d: 45-85 cm
Beton Dayanımı	C40-C60
Maliyet /Kull. alanı	202.8 €/m² (58 715 000 €/289.500 m²)

Taşıyıcı sistem, zayıf zemin şartlarında sismik etkiler ve güçlü rüzgar/tayfun hızlarına (200 km/h, 3000 yıllık dönüş periyodu için H/575) dayanacak biçimde tasarlanmıştır. 100 yıllık dönüş periyodu, 10 dk. esiş süresi için tasarım rüzgarında tepede 3.6 kN/m^2 basınç mevcuttur. Rijit kat kafesi ve süper kolonlar, 100 yıl içinde oluşma olasılığı % 10, dönüş periyodu 950 yıl olan depremde (M_o=7, Richter ölçeği) elastik sınırlar içinde kalacak şekilde tasarlanmıştır (H/1160, h/1160). Düşey yükler, bütün düşey taşıyıcı elemanlar ile karşılanırken; yatay yükler rijit kat ve süper kolonlar ile çekirdek tarafından taşınmaktadır. Süper kolonların, kenar doğrultusuna dik etkiyen yanal yükler için 4'ü, diagonal doğrultu için hepsi çalışmaktadır. Kesme kuvvetinin büyük bölümü çekirdek tarafından karşılanmaktadır. Yanal etkilerden dolayı süper kolonlarda oluşan çekme gerilmeleri, düşey yüklerden gelen basınç ile dengelenmiştir.

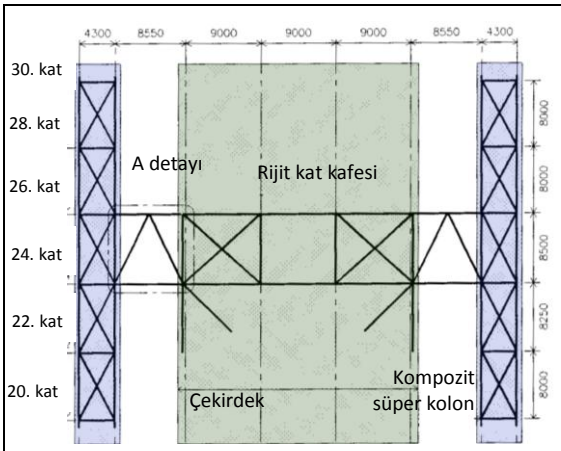


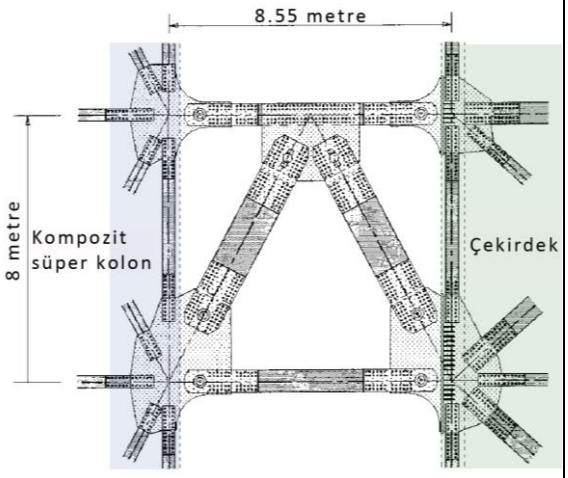
Taşıyıcı sistem



Tipik kat planı

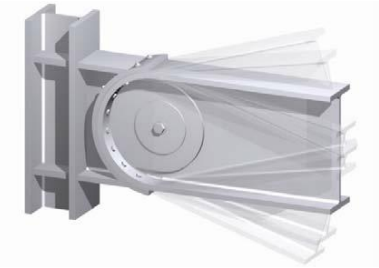
Çizelge 5. 2 Jin Mao Tower (devamı)





Tipik rijit kat kafesi, A detayı

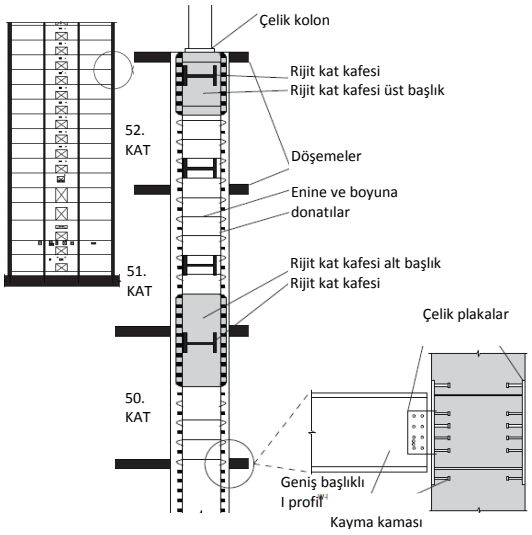
Yapının servis ömrü boyunca betonda oluşacak sünme ve rötreden dolayı düşey yerdeğiştirme olacağı, bu durumda özellikle betonarme çekirdek ve çelik kat kafesleri arasında istenmeyen göreli hareket olacağı öngörülmüştür. Bu amaçla ve depreme karşı aşağıdaki şematik birleşim detayı kullanılmıştır.



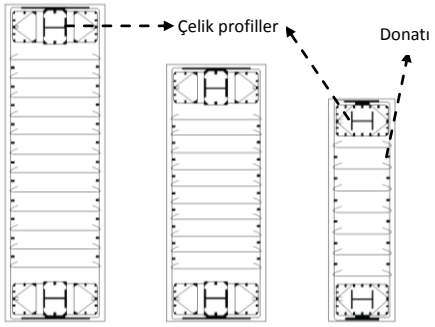
Birleşimin şematik detayı

Bulonlar, inşaat tamamlandığı zaman sabitlenmiştir. Birleşim, göreli yerdeğiştirmelerde dönerek sistemin zorlanmasına neden olmayacaktır.

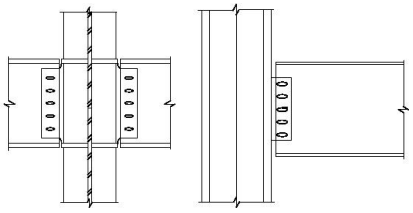
Orta şiddetli depremlerde rijit davranır, şiddetli depremde ise kontrollu dönerek enerji yutar.



Çekirdek, perde duvar ve çekirdek-kiriş detayı



Kompozit süper kolon enkesitleri



Mega kolon-kiriş bileşimi

İnşaat aşamasından görünüş

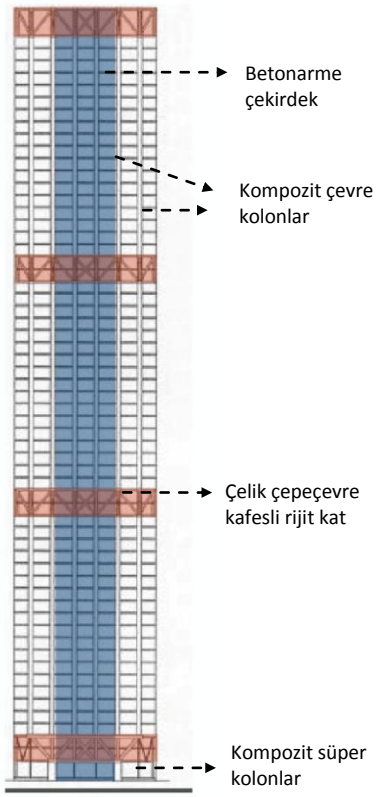
Çizelge 5. 3 Cheung Kong Tower [133], [232]

CHEUNG KONG TOWER (1999)

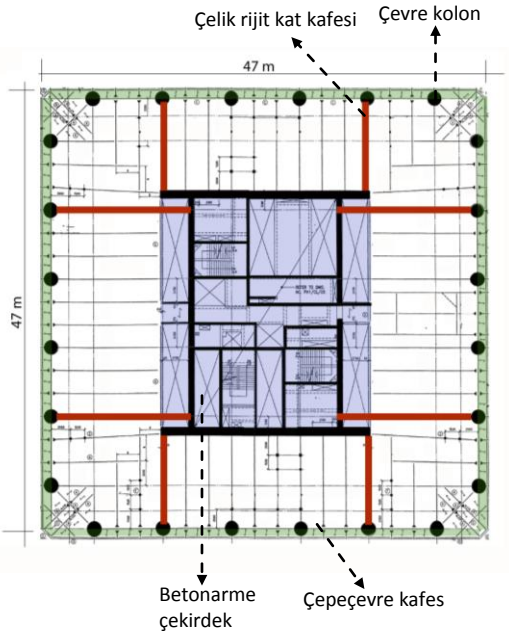
Hong Kong, Çin

Mimari Tasarım	Leo A. Daly
Taşıyıcı S. Müh.	Paul Y. Downer Venture
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çerçeve + Çepeçevre Kafesli Rijit Kat/ Karma
Anten H. Yükseklik	290 m, 63 kat
Narinlik	6
Zemin Sınıfı	26 m'de ana kaya
Temel Sistemi	Çekirdekte radye temel (5 m), fore kazık (R: 1.5m), süper kolonlarda 6 m çapında tekil temel
Rijit Kat	Çelik, 4 ad., h:8.75m (2 kat) Dikmeler kutu, diagonaller I kesitli
Döşeme	Kompozit, 13 cm (mekanik katlar, 15-20 cm), C40
Kirişler	Çelik, 11-14 m, 4 m aralık, H<60 cm
Süper Kolonlar	Kutu (230 x215 cm) ve Bodrum katta dairesel kesitli kolon (R: 250 cm) Çevre kolon, R: 142-96 cm kompozit, 7 m aralık, C60
Çekirdek	Betonarme, 22 m x 27 m, 150-80 cm /60-40 cm, C60

Yapının tasarımında yanal yük olarak sadece rüzgar esas alınmıştır. Yapının sönüm oranı % 1 alınmış, yapının eğilme 1. modu 7.6 ve 5.7 sn, burulma modu 2.4 sn olarak hesaplanmıştır. Salınım, kullanıcı konforu açısından, üst katlarda ~10 mg olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Yatay etkilerin ortaya çıkaracağı kesme kuvvetini tümüyle çekirdek karşılamaktadır. İki katlı 4 adet rijit kat, aynı zamanda mekanik kat olarak kullanılmıştır. Rijit katı oluşturan kafes sistemin dikmeleri, üst ve alt kat dairesel kolonları ile aynı akstadır. Zemin kat seviyesinde 8 ad. süper kolon ile başlayan çevre kolon sistemi 2. katta rijit katı takiben 24 kolona dönüşmektedir. Her kolon rijit katın dikmeleri ile aynı hizadadır. Çekirdeğin her katı 2-3 günde dökülmüştür. Kompozit dairesel süper kolonlara her 3 katta bir beton dökülmüştür. Kompozit kolon kullanımı tek başına 1 saat yangın



Taşıyıcı sistem



Tipik kat planı

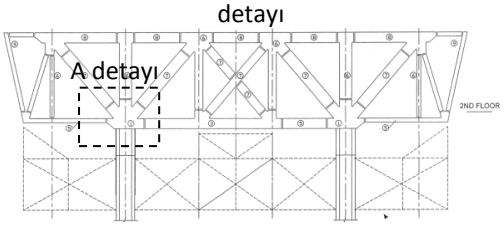
Çizelge 5. 3 Cheung Kong Tower (devamı)

dayanımı sağlamaktadır. Sadece rijit kat kafesi elemanlarına koruyucu boya uygulanmıştır.

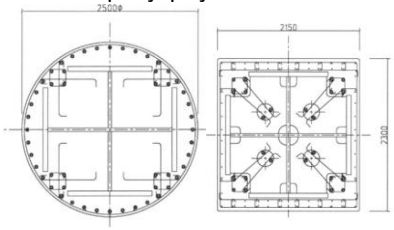
Rijit kat ve çepeçevre kafes görünüşü

Döşeme kirişlerinin çekirdeğe birleşimi

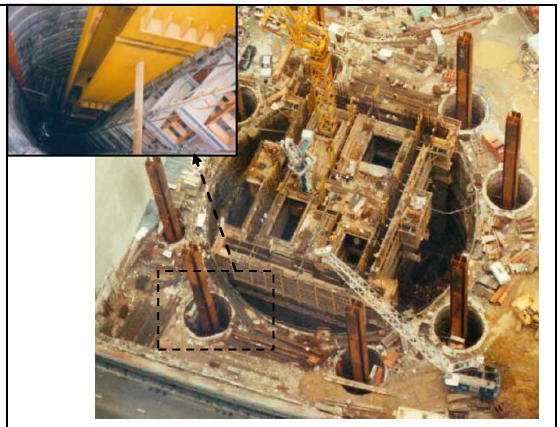
Çepeçevre kafes-süper kolon (A detayı) birleşim detayı



Tipik çepeçevre kafes

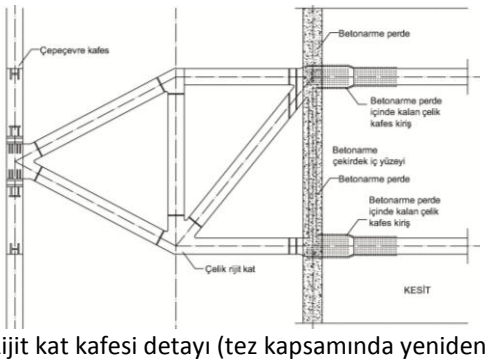


Bodrum ve zemin katta bulunan süper kolonlar



Süper kolona ait haçvari enkesitli profillerin 6 m çapında tekil temel içine yerleştirilmesi

Süper kolon birleşimi



Rijit kat kafesi detayı (tez kapsamında yeniden çizilmiştir)

Çizelge 5. 4 TIF Tower [202], [233], [234]

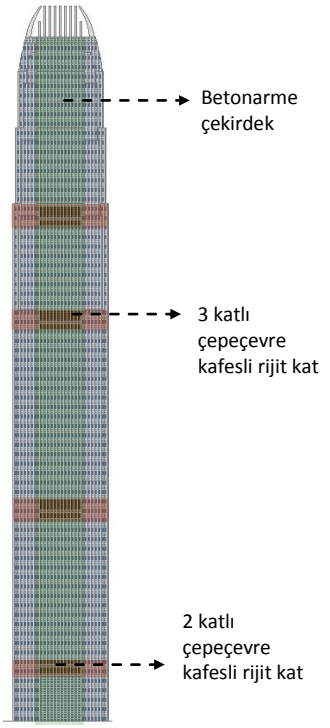
TWO INTERNATIONAL FINANCE CENTER (2003)

Hong Kong, Çin

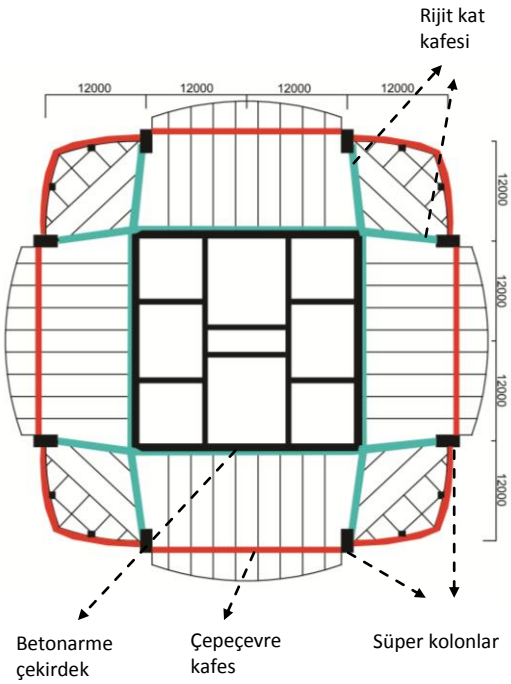
Mimari Tasarım	Cesar Pelli
Taşıyıcı S. Müh.	Arup
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çerçeve + Çepeçevre Kafesli Rijit Kat/ Karma
Narinlik	8.6
Anten H. Yükseklik	412 m, 88 kat
Zemin Sınıfı	15 m'de anakaya (kireçtaşı)
Temel Sistemi	Radye temel (6.5 m), 72 ad. betonarme kazık (R:3 m)
Rijit Kat	Kompozit, 4 adet, h: 8.4 m (2, 3 kat)
Döşeme	Kompozit, 12.5 cm
Süper Kolonlar	Kompozit, 230 x 350 cm/100 x 75 cm
Kirişler	Çelik, 24 m, 90 cm (ana k.), 11.4-13.5 m, 46 cm (tali k.)
Çekirdek	29 m x 27 m, d:150, 125 cm
Beton Dayanımı	C60, C45
Maliyet /Kull. alanı	461.9 €/ m^2 (85 822 000 €/185 805 m^2)

Yapı planı, zeminde 57x57 m, üst katlara gidildikçe 39x39 m'ye kadar azalmaktadır. Taşıyıcı sistem, üç adet çepeçevre kafesli rijit kat (33., 55., ve 67. katlar), betonarme çekirdek, sekiz adet süper kolon ve köşelerde standart kolonlardan oluşmaktadır. Standart köşe kolonlar, sadece düşey yükleri taşımaktadır. Rüzgar açısından dairesel plan daha maliyetli olacağı için, yerine test sonuçlarına göre dairesel plana en yakın sonuç veren yandaki form tercih edilmiştir.

Yapının 30. katı bittiğinde meydana gelen 11 Eylül saldırıları üzerine, bu yapıda da ayrıntılı ani dinamik yükleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçta sadece rüzgar yüklerine çalışan mega kolonlarda oluşacak hasarın yapıda göçmeye neden olmayacağı sonucuna varılmıştır.

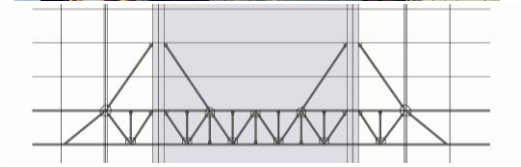


Taşıyıcı sistem



Tipik kat planı

Çizelge 5. 4 TIF Tower (devamı)



Çepeçevre kafes

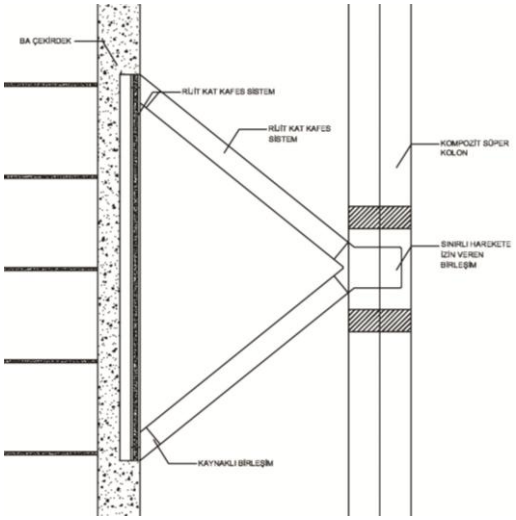
Rijit kat kafesi ile betonarme çekirdek birleşimi

İnşaat sırasında olası tayfun etkisi ve rölatif hareketlere karşı, süper kolon-rijit kat kafesi birleşimlerine bir seri şim yerleştirilmiştir. Şimler aynı zamanda inşaat sonrası çekirdek betonundaki sünme ve rötre nedeni ile kısalma sonucu oluşacak göreli düşey deformasyonlara karşı etkilidir. İstenen sayıda şim, küçük krikolar yardımı ile çıkartılabilir.

Süper kolon detayı

Çepeçevre kafes görünüşü

Rijit kat kafesi görünüşü



Rijti kat kafesi, çekirdek-süper kolon birleşim detayı (tez kapsamında yeniden çizilmiştir)

Çizelge 5. 5 Taipei 101 Tower [235], [236], [136], [237]

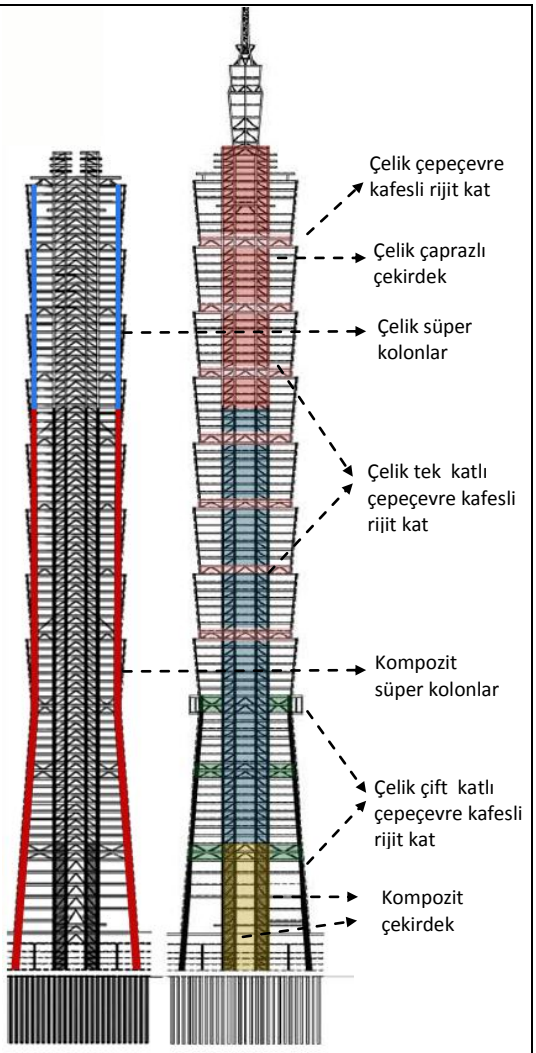
TAIPEI 101 (2004)

Taiwan, Çin

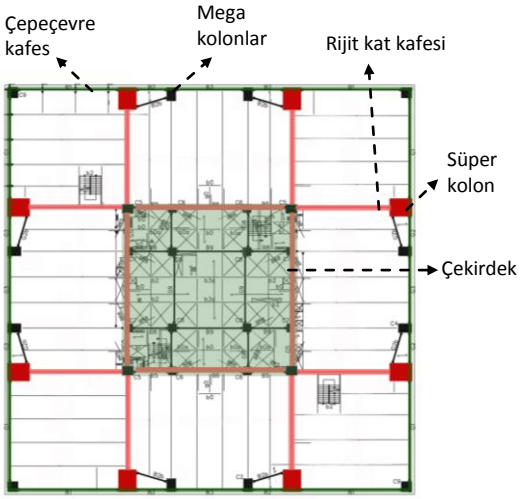
Mimari Tasarım	C.Y. Lee Partners
Taşıyıcı S. Müh.	Thornton Tomasetti
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çerçeve + Çepeçevre Kafesli Rijit Kat/Karma
Narinlik	7.2
Anten H. Yükseklik	450 m, 101 kat
Zemin Sınıfı	Sırasıyla; kil, dolgu, kumtaşı
Temel Sistemi	Radye (3 m)+380 ad., 200 ad., ~80 m kazık (R: 200 cm)
Rijit Kat	8 katta bir çelik, 3 ad., 2 kat, h: 8.4m 8 ad., 1 kat, h:4.2m
Döşeme	Kompozit, 13.5, 20.0 cm (mekanik katlarda)
Kirişler	I profil, 120 cm, 10.5 m
Süper Kolonlar	Kompozit ve çelik. C70 240 x 300 cm/160 x 200 cm
Çekirdek	62. kata kadar Λ ve V çelik çaprazlı Kompozit kolonlar: 120 x 120 cm / 90 x 90 cm
Maliyet /Kull. alanı	915.8 €/m^2 (177 121 000 €/193.400 m^2)

Yapının tasarımında rüzgar ve deprem esas alınmıştır. Simetrik yapının 1.mod periyod değeri 6.21 sn'dir, yapının doğal sönümü % 5 kabul edilmiştir. Analizlerde 50 yıllık dönüş periyodu için gerilmelerin elastik sınırlar içinde kalacağı (göreli kat öteleme oranı ~1/600), 950 yıl (maks. yer ivmesi 0.4 g) için plastik şekildeğiştirmelerin oluşacağı, en fazla göreli kat öteleme oranının ~1/120 (toplam tepe yerdeğiştirmesi ~H/350) olacağı belirlenmiştir.

Çepeçevre kafesli rijit katlar, her 8 veya 10 katta bir konumlandırılmıştır. Çelik çaprazlı kompozit çekirdek, yapıya yüksek kayma dayanımı sağlar. Çekirdeğin içindeki kiriş-kolon birleşimleri,moment aktaran birleşim şeklindedir. Normal kolonlar sadece düşey yükleri taşımaktadır.

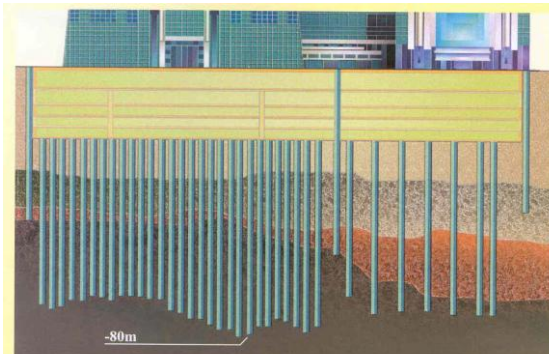


Taşıyıcı sistem

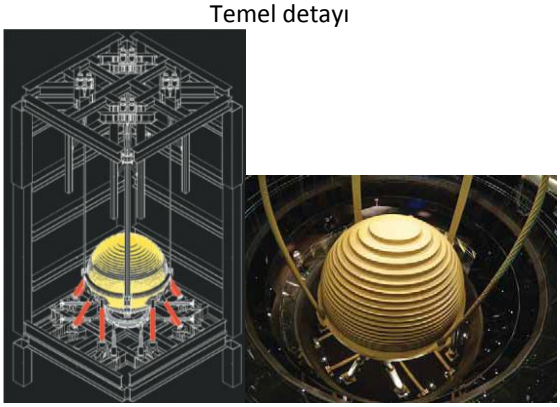


Tipik kat planı

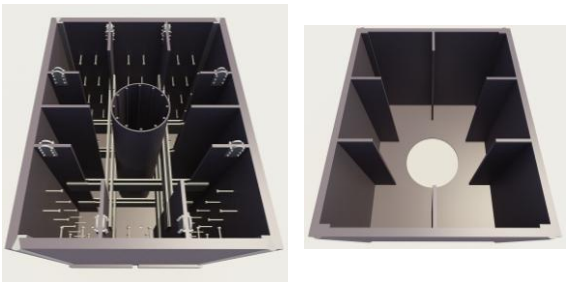
Çizelge 5. 5 Taipei 101 Tower (devamı)

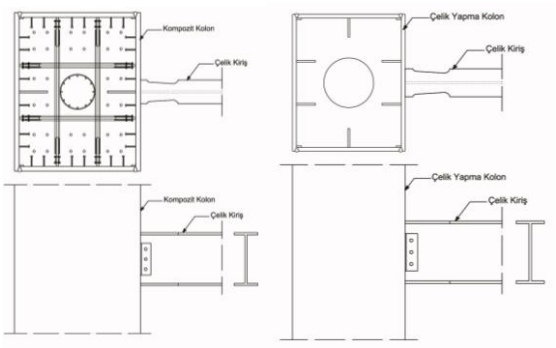


Temel detayı

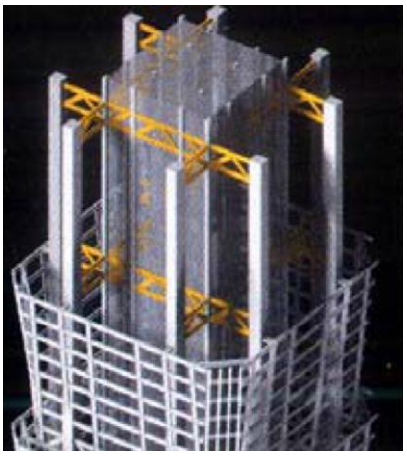


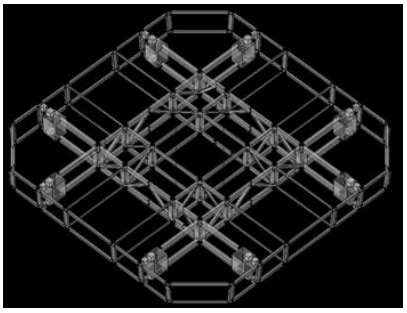
87-91.katları arası 800 ton TMD, salınımı kontrol eden TMD sönümleyici, yapının üst bölgesinde ve 4 kat yüksekliğindedir, kablolar ile asılmıştır.

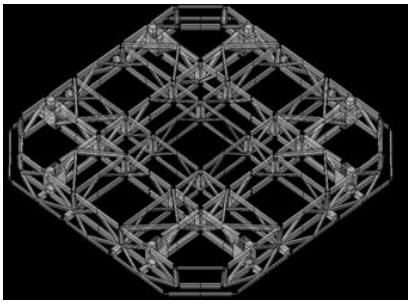




Kompozit süper kolon ve mega kolon detayları. Plastik şekildeğiştirmelerin oluşacağı yer için özel inceltilmiş kesitli kiriş (tez kapsamında yeniden çizilmiştir).







Tek ve çift katlı transfer kat perspektifleri

Süper kolonlar ve çekirdek kolonları 62. kata kadar beton ile doldurularak kompozit hale getirilmiştir. 62. katın üzerinde taşıyıcı sistem, çelik sistem olarak devam eder.

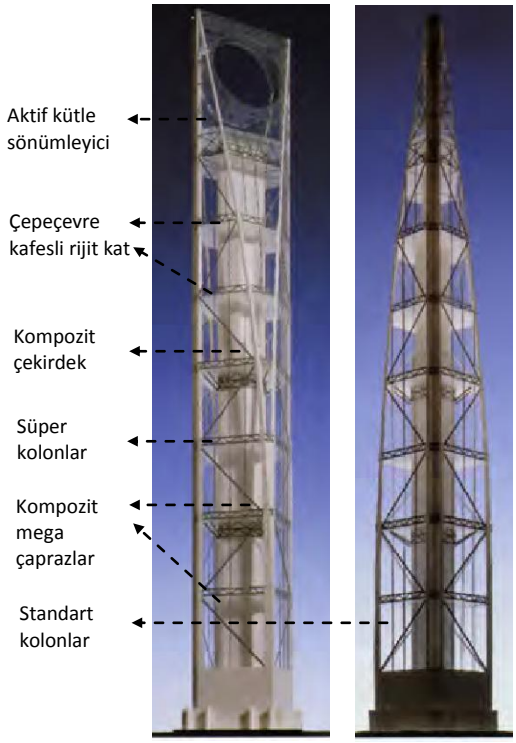
Çizelge 5. 6 SWF Center [238], [239], [127], [240]

SHANGHAI WORLD FINANCIAL CENTER (2008)

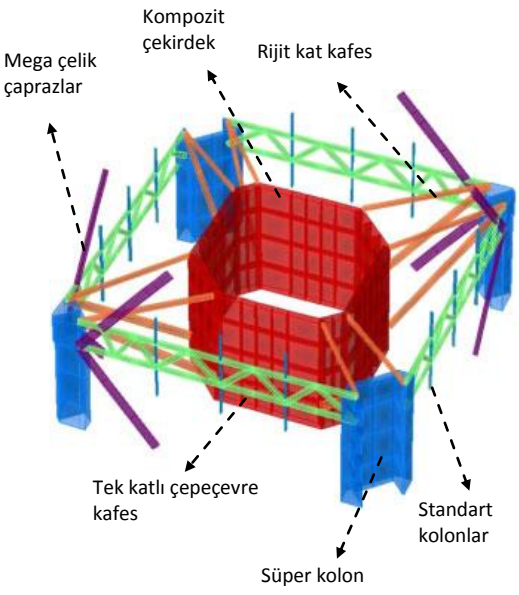
Shanghai, Çin

Mimari Tasarım	Kohn Pedersen Fox Ass.
Taşıyıcı S. Müh.	Leslie E. Robertson A.
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çerçeve + Çepeçevre Kafesli Rijit Kat /Karma
Narinlik	8.5
Anten H. Yükseklik	492 m, 101 kat
Maks. tepe yerdeğ.	1/524
Zemin Sınıfı	Killi Kum+79 m'de anakaya
Temel Sistemi	Radye (2 m), 200 ad. çelik sürtünme kazığı, 78 m uzunluk
Yapısal Çelik Miktarı	13 000 t
Sönümleyici	Aktif kütle s. (150 ton)
Rijit Kat	Kompozit, 7 ad., 3 kat, h: 14.10 m, C40
Döşeme	Kompozit, 15 cm
Kirişler	Çelik, 12 m, 3.6 m aralık
Süper Kolonlar	Kompozit, 600 x 325 cm
Mega Çaprazlar	Kompozit, 12 kat, h:56 m kutu profil içine beton
Çekirdek	Çaprazlı betonarme, C40
Maliyet/Kull. alanı	348.11 €/m^2 (132 840 000 €/381 600 m^2)

Deprem açısından etkin bir bölgede (MMI=7,8) yapılacak yapı için, çok zayıf zemin koşulları ($V_s \leq$ 140 m/s) ve anakayanın 80 m derinlikte olması tasarımı şekillendirmiştir. Salınıma karşı rijit ama zemine aktarılan gerilmelerin azaltılması için daha hafif bir yapı ve daha ince bir çekirdeğin gerekliliği; tasarımcıları kompozit mega çaprazlı, betonarme çekirdek, çepeçevre kafesli rijit katlı ve kompozit süper kolonlu bir tasarıma yönlendirmiştir. Kutu kesitli mega çaprazlara beton doldurularak burkulmaya ve yangına karşı dayanım arttırılmıştır. Yapının eğilme 1. modu 8.4 sn'dir; sönüm yüzdesi % 3.7 olarak ölçülmüş, tasarım depreminde oluşacak plastik şekildeğiştirmeler sonucu % 8.2'ye kadar çıkacağı belirlenmiştir. 7 ve 8 şiddetindeki depremde göreli kat öteleme oranları sırası ile



Taşıyıcı sistem



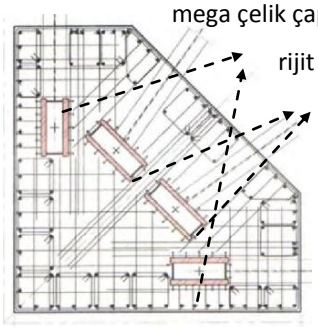
Kısmi taşıyıcı sistem

Çizelge 5. 6 SWF Center (devamı)

dökülmektedir*.

Yapı, 90. kattan itibaren tamamen çelik sistem olarak daha ekonomik ve hızlı inşa edilmiştir. Sürdürülebilir tasarım çerçevesinde iç mekanda geri dönüştürülebilir malzemeler seçilmiştir.

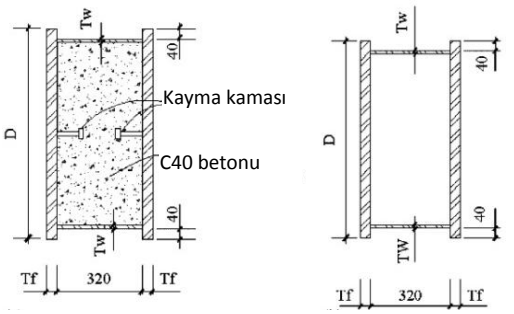
mega çelik çaprazlar



Süper kolon görünüşü-A detayı

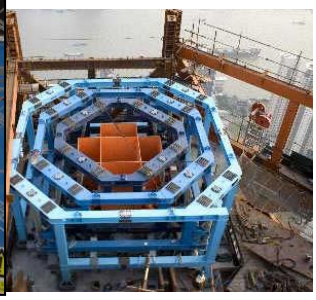
**MMI : Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Ölçeği*
MMI=7 (Çok güçlü deprem) : Ayakta durmak zordur; mobilyalar kırılır; iyi tasarlanmış ve inşa edilmiş yapılarda hasar ihmal edilebilir düzeydedir; alelade ama iyi yapılmış yapılarda hafif ve orta derece hasar; kötü tasarlanmış veya inşa edilmiş yapılarda inemli hasar; bazı bacalar kırılır; hareket halinde arabalardaki kişiler tarafından hissedilir.
MMI=8 (Yıkıcı deprem) : Özel tasarlanmış yapılarda hafif hasar; alelade büyük yapılarda önemli hasar ve kısmi çökme. Kötü yapılmış yapılarda büyük hasar. Ev ve fabrika bacaları, sütunlar,abideler, duvarlar yıkılır. Ağır mobilyalar oynar.
**Yapının 1/50 ölçekli prototipi laboratuvar ortamında test edilmiştir, buna ait sonuçlardır.*

(a) (b)



(a) Mega çaprazlar ve rijit kat kafesi detayı, (b) Çepeçevre kafes detayı

Döşeme ve mega çapraz birleşimi



Rüzgar etkisine karşı tepede açıklık bırakılmıştır, ayrıca rüzgar ve sismik etkilere karşı 90.katta aktif kütle sönümleyici yerleştirilmiştir.

Çepeçevre kafes ve rijit kat kafesi görünüşü

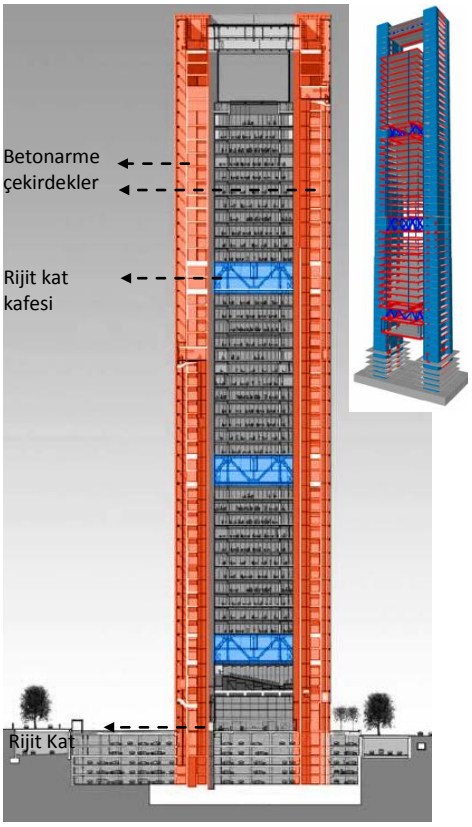
Çizelge 5. 7 Caja Madrid [112], [241], [242]

CAJA MADRID (2008)

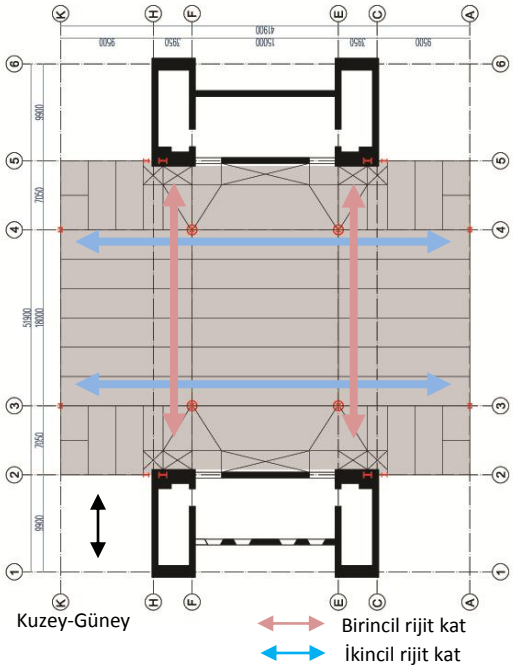
Madrid, İspanya

Mimari Tasarım	Foster and Partners
Taşıyıcı S. Müh.	Halvorson and Partners
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Betonarme Çekirdekler +Rijit Kat Kafesi/ Karma
Narinlik	6.0
Anten H. Yükseklik	250 m, 45 kat
Maks. tepe yerdeğ.	
K-G Doğrultusu	30 cm (H/800)
D-B Doğrultusu	19 cm (H/1300)
Zemin Sınıfı	20 m Tosco kili
Temel Sistemi	Radye temel (5 m)
Rijit Kat	Çelik, 3 ad., h:10m, 2 kat
Döşeme	Kompozit, 15 cm, 1., 12 ve 24. katlarda, 22.5 cm
Kirişler	Çelik, 13.5 m, 3 m ara
Kolonlar	İç kolon: dairesel kompozit 4 ad.; dış kolon: çelik
Çekirdekler	2 x 10mx23m, d: 120-30 cm
Maliyet /Kull. alanı	111.13 €/ m^2 (12 225 000 €/110 000 m^2)

Taşıyıcı sistem, iki betonarme çekirdek ve üç adet 2 kat yüksekliğinde rijit kattan oluşur. Yapı rijit kat kafesleri ile 3 ayrı bölüme ayrılır, her rijit kat kafesi üstte bulunan 12 katın düşey yükü ile rüzgar yüklerini çekme ve basınç kuvveti olarak çekirdeğe iletir. Kat kafeslerinin her biri, herhangi bir kafesin zarar görmesi durumunda, diğer kafes o kafesin 12 katını da taşıyacak biçimde tasarlanmıştır (en alttaki kafes hasara uğrarsa üstteki kafes, ortadaki veya üstteki kafes hasara uğrarsa altındaki kafes yükünü alacaktır). Rijit kat kafesleri, doğu-batı doğrultusunda birincil, kuzey-güney doğrultusunda ikincil kafeslerden oluşur. Doğu-batı yöndeki kafesler rüzgar ve düşey yüklerden oluşan büyük etkilere maruzdur. Sistemdeki dört adet iç ve dört adet dış kolonun hiç biri temele kadar inmez, yükler zemin katta çekirdeğe aktarılır. Tepedeki ivmeler 20-25 mg'yi aşmayacaktır. Ayrıca betonarme çekirdekteki rötre ve sünme etkisine karşı, çekirdeğe bitişik kolonlarda düşey harekete izin veren mesnet detayı geliştirilmiştir.

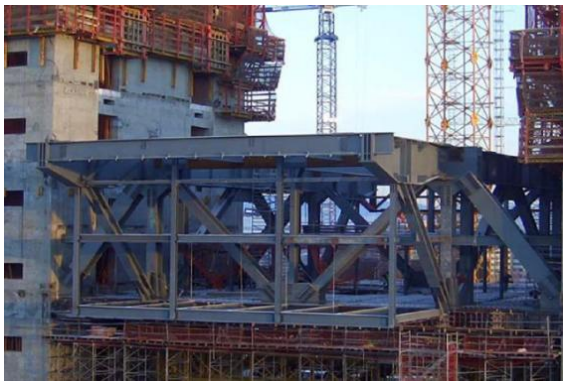


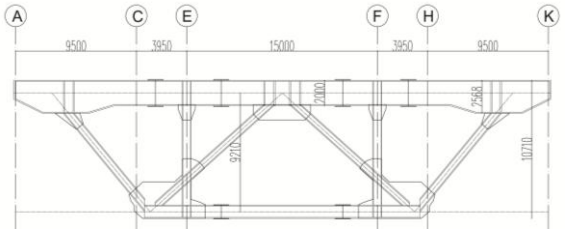
Taşıyıcı sistem



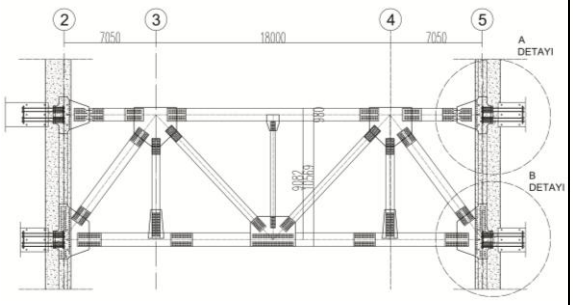
Tipik kat planı

Çizelge 5. 7 Caja Madrid (devamı)

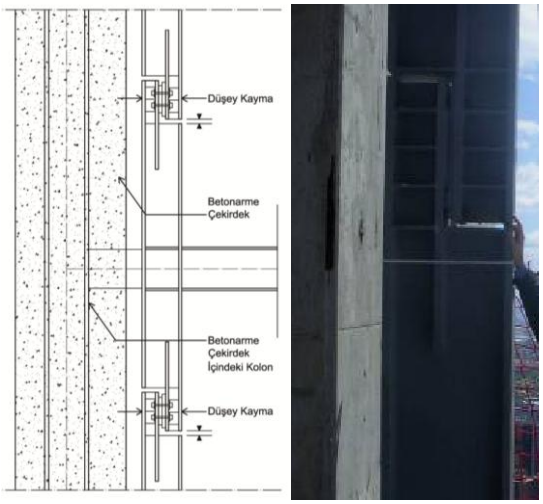




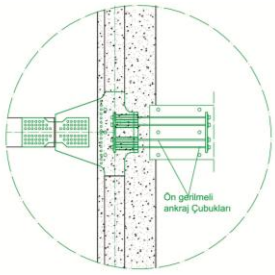
İkincil rijit kat kafesi (tez kapsamında yeniden çizilmiştir)



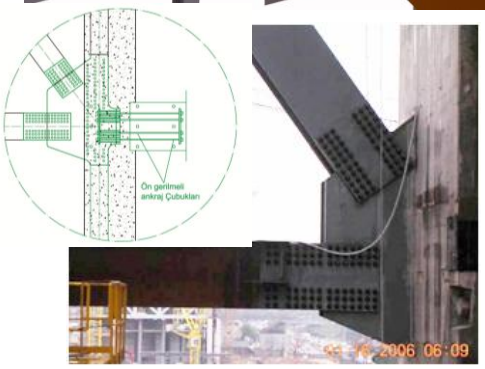
Birincil rijit kat kafesi (tez kapsamında yeniden çizilmiştir)



Çekirdeğe bitişik kolonlarda düşey harekete izin veren mesnetlenme biçimi



Rijit kat kafesi, A detayı (tez kapsamında yeniden çizilmiştir)



Rijit kat kafesi, B detayı (tez kapsamında yeniden çizilmiştir)

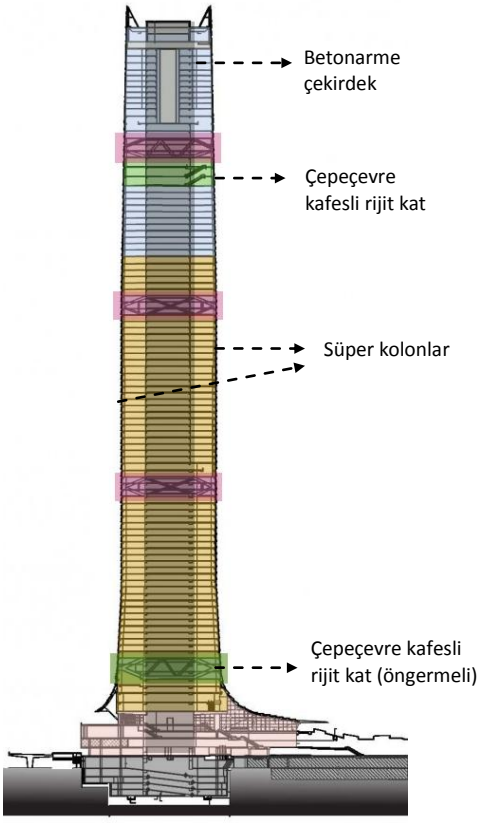
Çizelge 5. 8 ICC [243], [244], [245], [246]

INTERNATIONAL COMMERCE CENTER (2010)

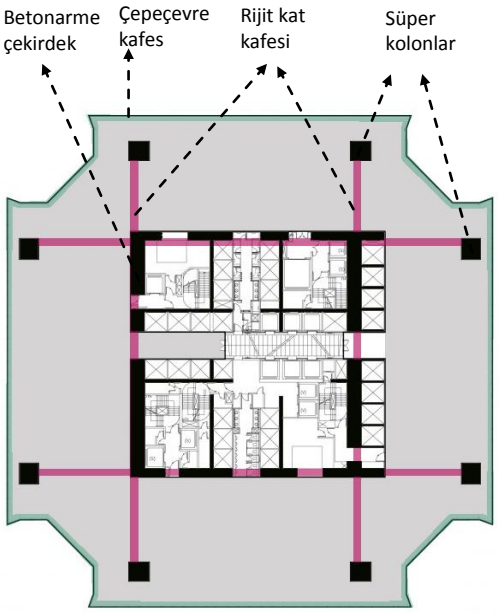
Hong Kong, Çin

Mimari Tasarım	Kohn Pedersen Fox A.
Taşıyıcı S. Müh.	Arup
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çerçeve + Çepeçevre Kafesli Rijit Kat /Karma
Narinlik	8.2
Anten H. Yükseklik	490 m, 108 kat
Zemin Sınıfı	Dolgu + 90 m'de anakaya
Temel Sistemi	Radye temel (9m)
Yapısal Çelik Miktarı	30 000 t
Rijit Kat	Çelik, 3 ad., 3 kat, h:12.2 m Çelik tendonlar+ betonarme, 1 ad., 5 kat, h: 22.2 m
Döşeme	Kompozit, 12.5 cm
Süper Kolonlar	Çelik, 350 x 285 cm, Kompozit, 60. kata kadar C 90
Kirişler	Çelik, 16 m, 3 m aralık
Çekirdek	Betonarme, dış d: 200 cm, iç d: 60 cm, C90
Beton Dayanımı	60. kata kadar C90, üst katlar ve diğer bölümlerde C45, 60

Taşıyıcı sistem, merkezi çekirdek, sekiz adet mega kolon ve dört adet rijit kattan oluşur. İlk rijit kat öngermeli, diğerleri ise ön üretimli uygulanmıştır. Rijit katlar, 6., 42., 78. ve 100. m'lerde konumlandırılmıştır. Rijit kat ve süper kolonlar arasındaki yanal yerdeğiştirmelere izin veren detaylar üretilmiştir.



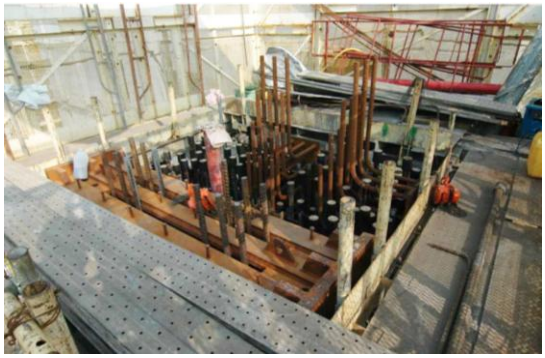
Taşıyıcı sistem



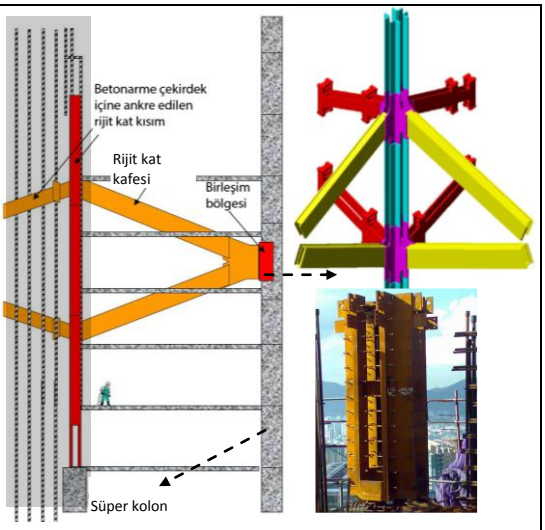
Tipik kat planı

Çizelge 5. 8 ICC (devamı)

Rijit kat kafesi ve süper kolon birleşim detayı



Süper kolon beton öncesi görünüş



Çelik rijit kat kafesi birleşim detayı

Öngermeli rijit kat kafesi-çekirdek birleşim detayı

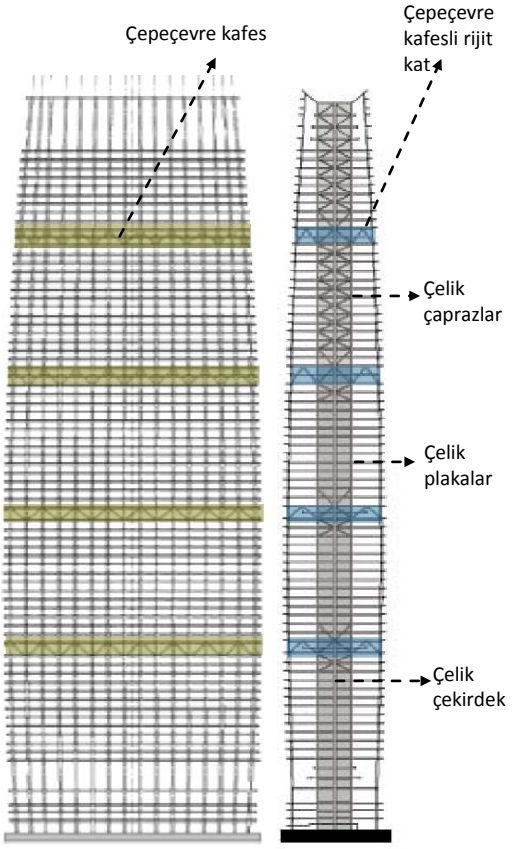
Çizelge 5. 9 Jinta Tower [247], [248] , [249]

JINTA TOWER (2011)

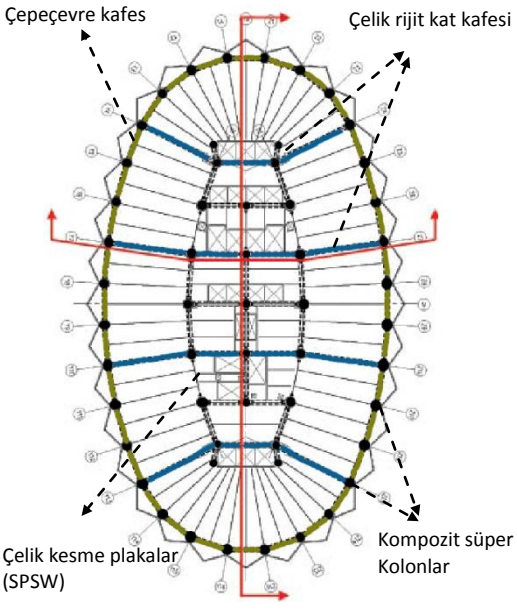
Tianjin, Çin

Mimari Tasarım	SOM
Taşıyıcı S. Müh.	SOM
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çelik Çaprazlı Çekirdek + Çepeçevre Kafesli Rijit Kat /Karma
Narinlik	8
Anten H. Yükseklik	330 m, 74 kat
Zemin Sınıfı	60 m'de anakaya
Temel Sistemi	Radye (4m), C40 +kazıklar (R:80cm), 60 m uzunluk
Rijit Kat	Çelik, 4ad., 1 kat, h: 8.40 m
Döşeme	Kompozit, 12 cm
Süper Kolonlar	Kompozit, R: 170x70 cm, C60, 6.5 m aralık
Kirişler	Geniş başlıklı I profil, 13 m h: 450 mm, 3.25 m aralık,
Çekirdek	Çelik çaprazlı+çelik kesme plakaları
Beton Dayanımı	C80, C60
Maliyet /Kull. alanı	310.4 €/m^2 (63 300 000 €/203 900 m^2)

Yapı, rüzgar ve deprem yüklerine göre tasarlanmıştır. Rüzgar açısından 50 yılda oluşma olasılığı % 63.5 olan rüzgar esas alınmıştır (cephedeki rüzgar basıncı 0.5 kN/m^2), göreli kat öteleme oranı sınırı 1/400'dir. En üst kattaki maks. rüzgar ivmesi için Standart sınırlaması olan 28 mg'nin altında kalınmıştır. Deprem açısından maks. yer ivmesi 0.15 g, göreli kat öteleme oranı 1/300 ile sınırlandırılmıştır. 50 yılda oluşma olasılığı % 2 olan deprem etkisine karşı, rijitlik ve enerji yutma kapasitesinde artış için çelik plakalı perde elemanlar (SPSW) kullanılmıştır ve sadece tasarım depreminde basınç diyagonali boyunca burkulabileceği kabul edilmiştir (Bu durumda çekmeye çalışan kısım, kesme kuvvetine tek başına çalışır).

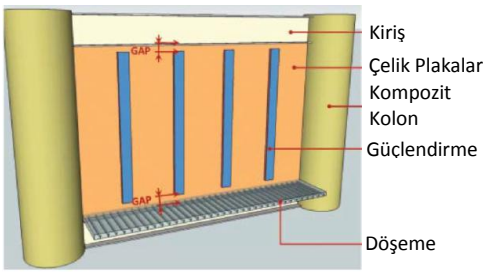


Taşıyıcı sistem

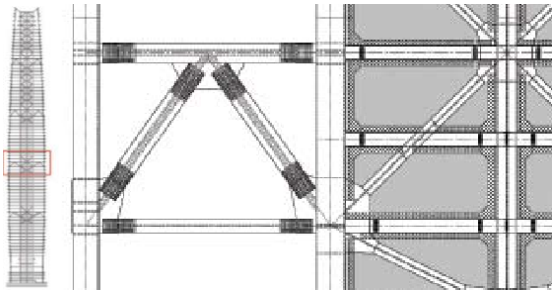


Tipi kalıp planı

Çizelge 5. 9 Jinta Tower (devamı)

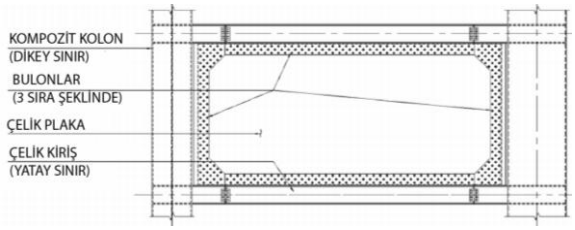


Çelik plakalı perde

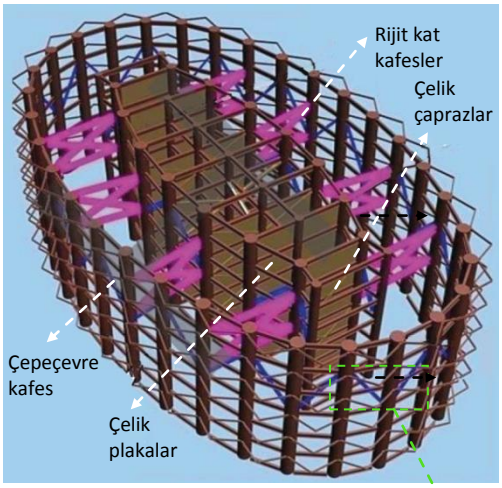


Rijit kat kafesi-çekirdek-çelik plakalar birleşimi

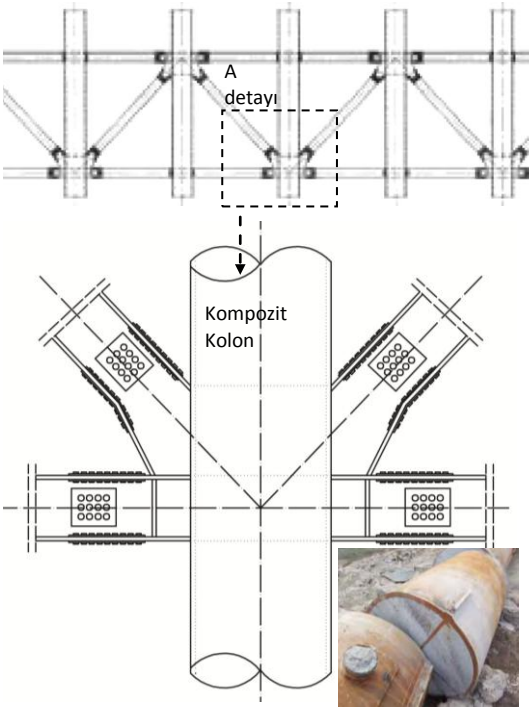
Elemanların etkin çalışması için düşey yüklerin etkisi minimize edilmiştir. 43.kattan en üst kata kadar çekirdekteki çelik plakaların yerini merkezi çelik çaprazlar almıştır.Yapı, bu sistemin kullanıldığı en yüksek yapıdır.



Rijit kat kafesi, çelik çaprazlı plaka ve çelik plaka detayı



Taşıyıcı sistem perspektifi



Çepeçevre kafes görünüşü ve A detayları

Kompozit kolon-kiriş birleşim detayı

Çizelge 5. 10 Federation Tower [250], [251], [252], [253], [254]

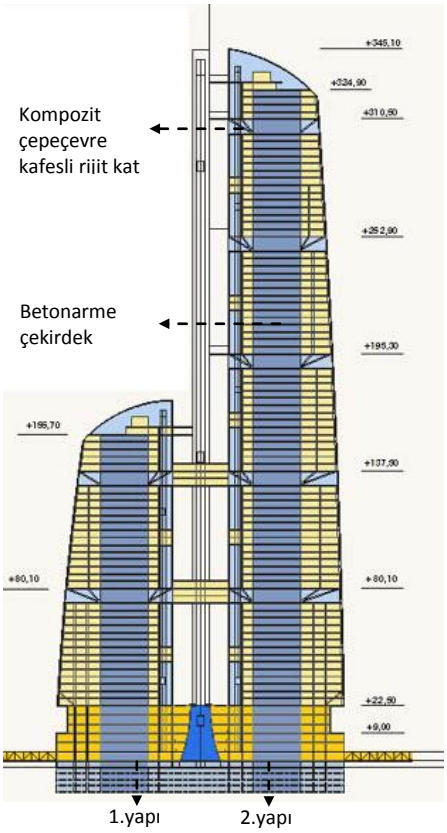
FEDERATION TOWER (2011)

Moskova, Rusya

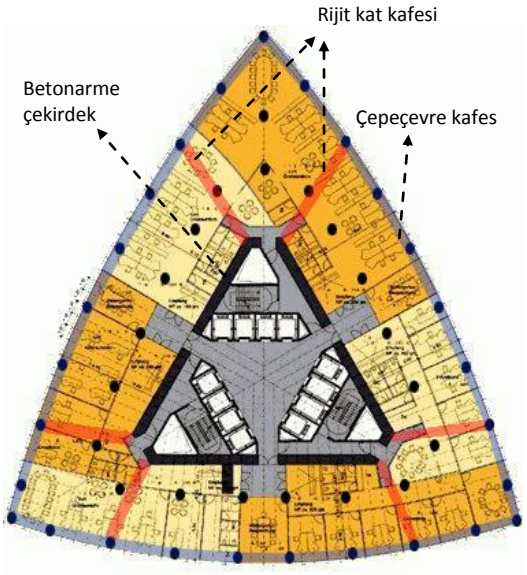
Mimari Tasarım	Gensler
Taşıyıcı S. Müh.	Thornton Tomasetti
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çerçeve + Çepeçevre Kafesli Rijit Kat /Karma
Narinlik	6
Anten H. Yükseklik	2. yapı, 345 m, 121 kat
Temel Sistemi	Radye temel
Yapısal Çelik Miktarı	5500 ton
Rijit Kat	Kompozit, 7 adet, 2-3 kat, h: 13 m
Döşeme	Kompozit, 15 cm, 14 m
Kolonlar	Kompozit, R: 80 cm
Maliyet /Kull. alanı	174.71 €/m^2 (73 904 000 €/423 000 m^2)

Taşıyıcı sistem; betonarme çekirdek, çerçeve sistem ve çepeçevre kafesli rijit katın birlikte çalışmasından oluşur. Rijit kat+çepeçevre kafesler sadece çekirdek ve kolon içine mesnetlenmemiş, aynı zamanda bir üst ve alt kata da kısmen uzanarak ankre edilmiştir. Yapının tamamı (kafesler de dahil) kompozit olarak inşa edilmiştir. Rusya'da yüksek dayanımlı beton teknolojisinin (B90) ilk defa kullanıldığı yapıdır. Yük dağılımı konusunda sadece yüklerin tek bir yoldan iletilmesi değil, sürekliliği bozmadan alternatif yol izlemeleri de sağlanmıştır. Bu nedenle rijit katlar bir kat alt ve üst katlara kadar uzamaktadır. Bu sayede rüzgar yüklerinden gelebilecek beklenmedik yükler karşısında, yapının daha iyi davranış göstermesi sağlanmıştır.

Yapı, iki farklı yapı olarak tasarlanırken belli kotlarda köprüler ile bağlanmıştır.

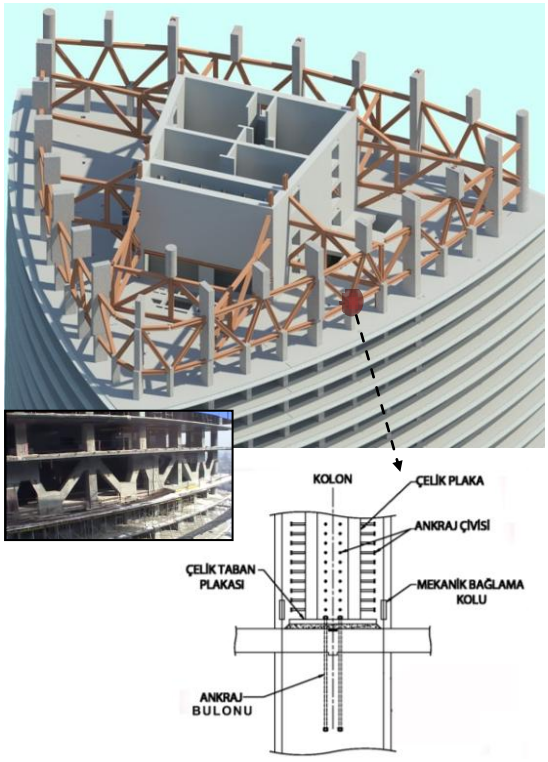


Taşıyıcı sistem



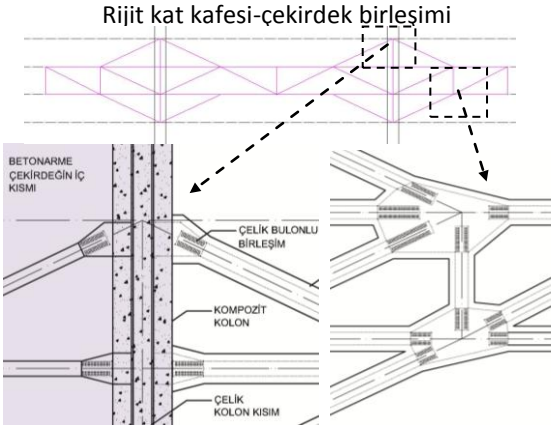
Tipik kat planı

Çizelge 5. 10 Federation Tower (devamı)

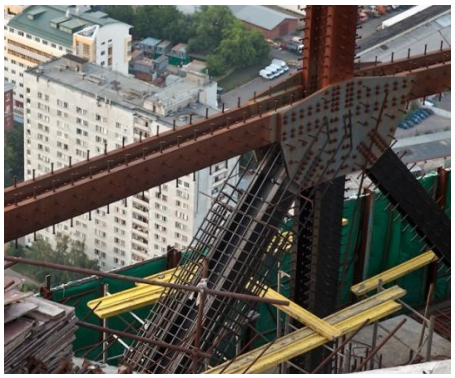


2. yapının 61. katta rijit kat+çepeçevre kafes perspektifi- rijit kat kafesi alt başlık detayı

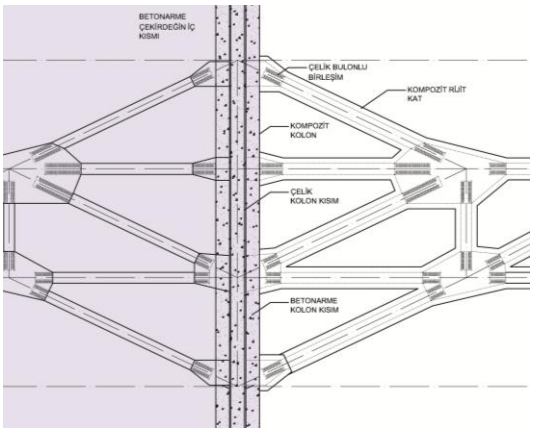
Rijit kat kafesi-çekirdek birleşimi



Kompozit rijit kat kafesi birleşim detayları



Çepeçevre kafesli rijit kat, kayma kamaları ve beton dökümü öncesi görünüm



Rijit kat kafesi-çekirdek birleşim detayı (tez kapsamında yeniden çizilmiştir)

Çizelge 5. 11 Shanghai Tower [255], [256], [257], [258]

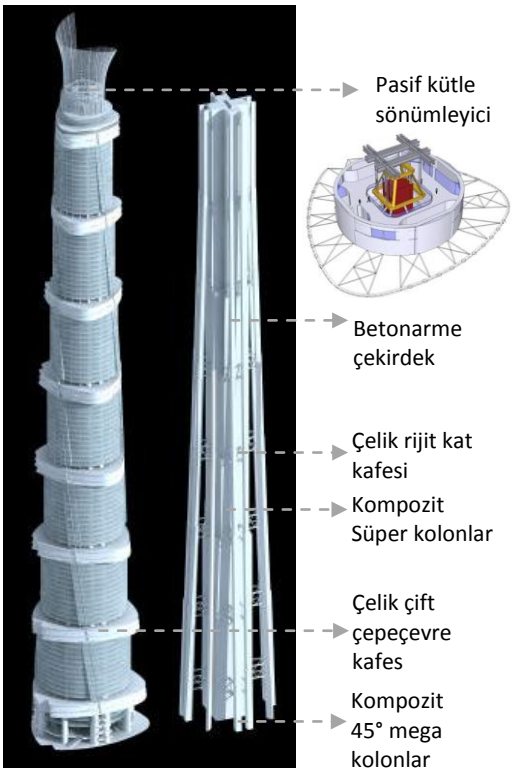
SHANGHAI TOWER

(İnşaat Aşamasında)

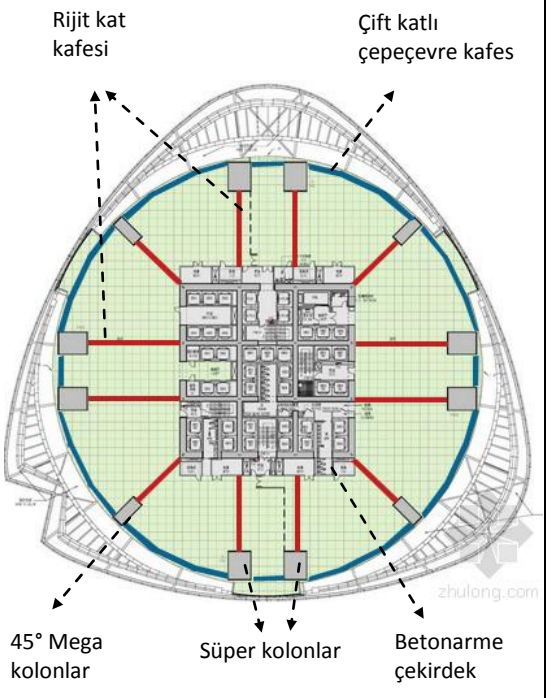
Shanghai, Çin

Mimari Tasarım	Gensler
Taşıyıcı S. Müh.	Thornton Tomasetti
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çerçeve + Çepeçevre Kafesli Rijit Kat/Karma
Narinlik	7.5
Anten H. Yükseklik	632 m, 121 kat
Zemin Sınıfı	Killi kum+79 m'de anakaya
Temel Sistemi	Radye temel (6m)+ 2000 ad., 56 m derin fore kazık
Rijit Kat	Çelik, 8 adet 2 kat, h: 9.9 m
Döşeme	Kompozit, 15 cm, 18-20 m
Süper Kolonlar	Kompozit, 530 x 370 cm/ 240 m x 190 cm
45° Mega Kolonlar	Kompozit, 530 x 190 cm
Çekirdek	Betonarme, d (dış):120-60 cm, d (iç): 90-50 cm
Maliyet/Kull. alanı	579.8 €/ m^2 (243 542 000 €/420 000 m^2)

Yapının rüzgarlı ve aktif deprem bölgesinde olması, zayıf bir zemine oturması ve ayrıca LEED Gold sertifikasına aday olması tasarımı şekillendirmiştir. Kulenin ana taşıyıcı sistemi çekirdek, 8 süper ve 4 mega kolonlu çerçeve sistem ve 8 adet çepeçevre kafesli iki katlı rijit kattan oluşmaktadır. Yanal yüklere karşı dayanımı iç kısımdaki silindirik kule sağlamaktadır. Çin Yönetmeliğine göre dönüş periyodu 2475 yıl olan en şiddetli deprem için CG seviyesi (göreli kat öteleme oranı : 1/100) esas alınmış; çepeçevre kafesler tamamen, rijit kat kafesleri ise büyük ölçüde elastik sınırlar içinde kalacak şekilde boyutlandırılmıştır. Ayrıca çekirdeğe ve süper kolonlara birleşim gibi kiritik çelik birleşimler elastik sınırlar içinde kalacaktır, bunun için sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Cam cephede ısıl şekildeğiştirmelere karşı düzenli aralıklar ile ganleşme derzleri oluşturulmuştur.

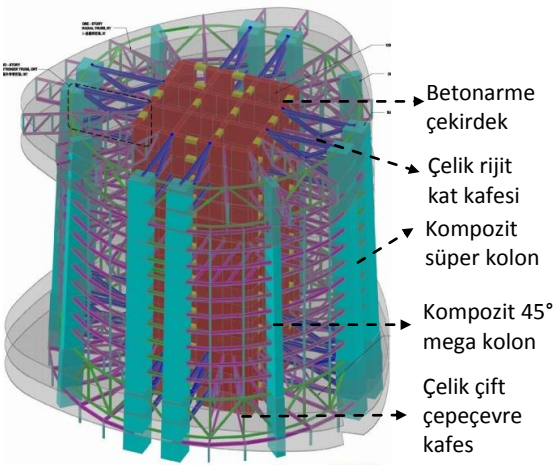


Taşıyıcı sistem

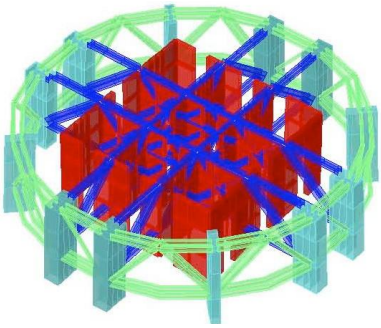


Tipik kat planı

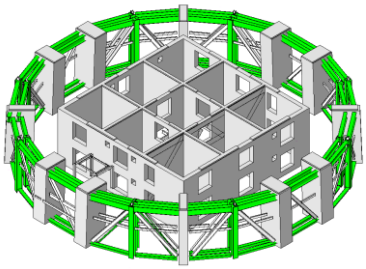
Çizelge 5. 11 Shanghai Tower (devamı)



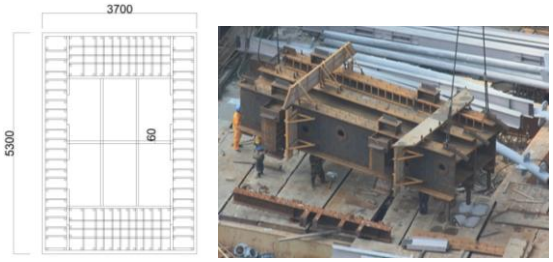
Taşıyıcı sistem kısmi perspektifi



Çelik rijit kat kafesleri perspektifi



Çelik çepeçevre kafes perspektifi



Süper kolon parçasının görünümü ve enkesiti

Rijit kat kafesi ve süper kolon birleşimi

Çift çepeçevre kafes birleşim detayı

Süper kolon-kiriş birleşim detayı

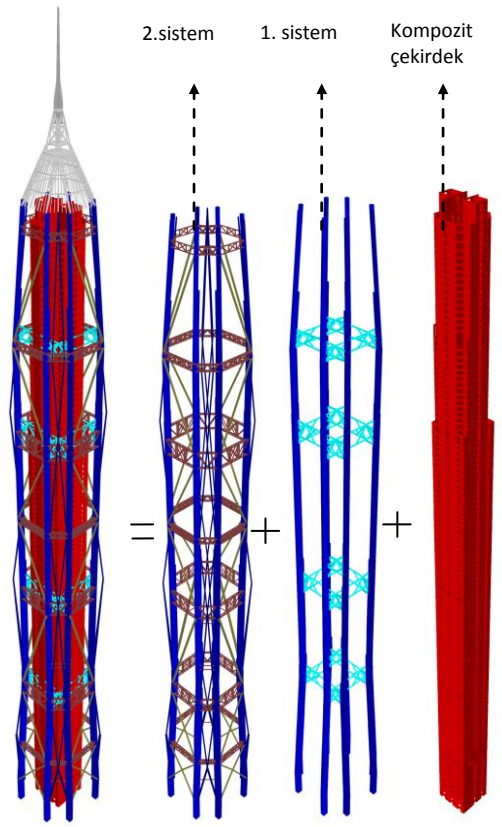
Çizelge 5. 12 Ping Ann Finance Center [259], [260], [261]

PING ANN FINANCE CENTER
(İnşaat Aşamasında 2015)

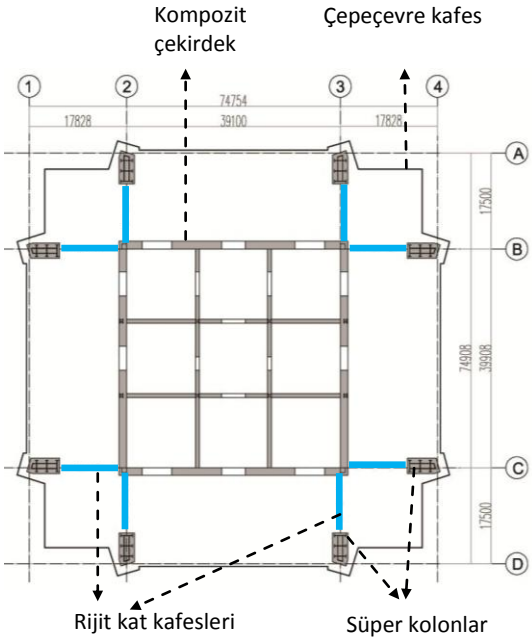
Shenzen, Çin

Mimari Tasarım	Kohn Pedersen Fox A.
Taşıyıcı S. Müh.	Thornton Tomasetti
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çerçeve + Çepeçevre Kafesli Rijit Kat/Karma
Narinlik	8.9
Anten H. Yükseklik	660 m, 115 kat
Maks. tepe yerdeğ.	H/775
Zemin Sınıfı	Kil+ 30 m'de anakaya
Temel Sistemi	Radye (3-5m)+30 m'de Kazık (5-7m), süper kolonlarda: radye (3-5 m) +30m'de (7-9m)
Rijit Kat	Çelik, 3 ad., 1 kat, h: 5 m Çelik, 4 ad., 2 kat, h: 13m
Döşeme	Kompozit, 15 cm, 17.8 m
Süper Kolonlar	Kompozit, 650 x 320 cm/ 290 x 140 cm, C70
Çekirdek	Kompozit, d: 150-80 cm
Beton Dayanımı	C30
Maliyet /Kull. alanı	159.90 €/ m^2 (74 939 000 €/468 600 m^2)

Yapı; kare planlı, deprem rüzgar yükleri için tasarlanmıştır, iki taşıyıcı sistemden oluşur. Birincil taşıyıcı sistem; kompozit çekirdek, dört seviyede çelik rijit kat kafesi ve 8 adet süper kolonun birleşiminden oluşur; yanal yüklere karşı dayanım sağlar. İkincil sistem; süper kolonlu mega çerçeve, çepeçevre kafes sistem ve diagonal/chevron mega çaprazlardan oluşur;yanal yerdeğiştirmeleri azaltır. Düşey yükler; çekirdek, süper kolonlar ve sadece düşey yüke çalışan küçük boyutlu kolonlar ile taşınır. Düşey yük kolonlarından gelen kuvvet, çepeçevre kafes tarafından toplanır ve süper kolonlara iletilir. Sadece 50 yılda oluşma olasılığı % 2 olan depremde (dönüş periyodu 2475 yıl) birleşimlerde ve süper kolonların boyuna donatılarında akma oluşabilir, daha kısa dönüş periyotlu depremlerde elastik sınırlar içinde kalınmalıdır. Düşey yük kolonları ile çepeçevre kafesin alt başlık birleşimi düşeyde hareket edebilir.

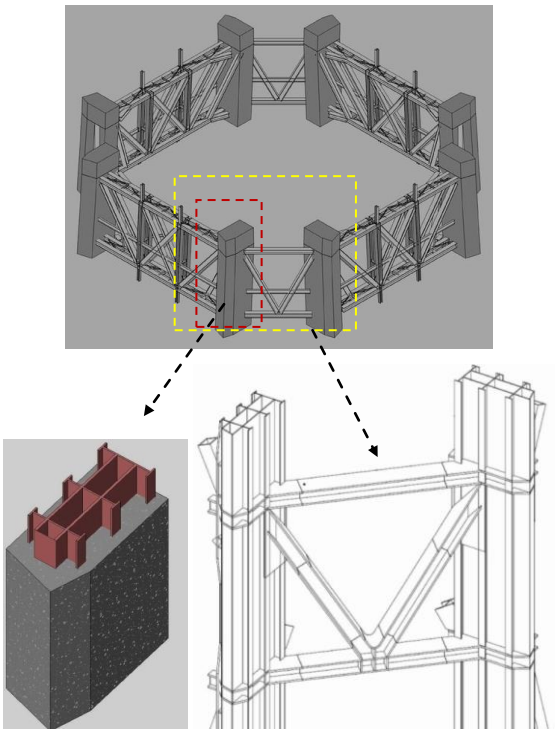


Taşıyıcı sistem



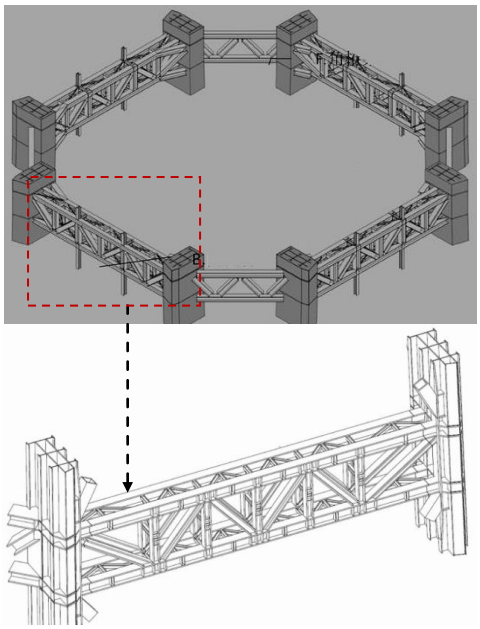
Tipik kat planı (tez kapsamında yeniden çizilmiştir)

Çizelge 5. 12 Ping Ann Finance Center (devamı)

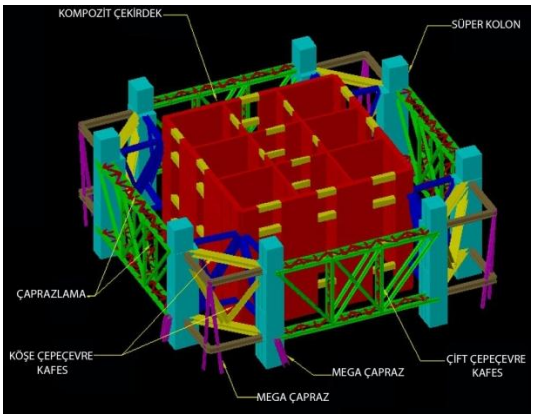


Süper kolon, iki katlı rijit kat kafesi üst başlık detayı

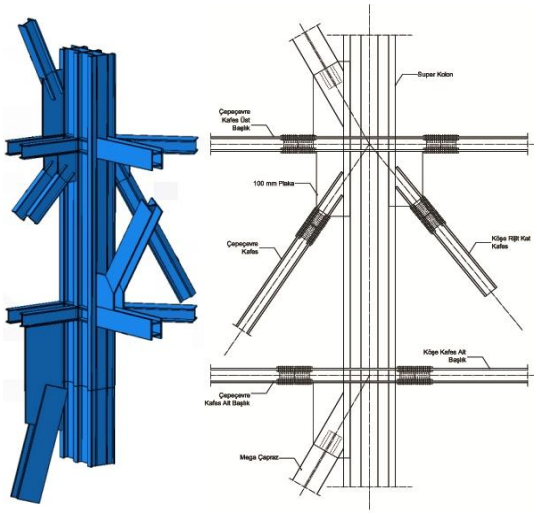
Süper kolonlarda kullanılan boyuna donatılar en şiddetli depremde akabilecek, böylece enerji yutabilecek şekilde tasarlanmıştır. Donatı oranı tabanda % 6, tepede % 4'düzeyindedir.



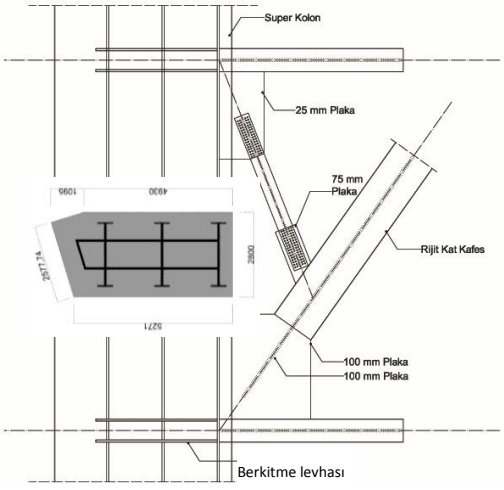
Tek katlı rijit kat kafesi detayı



Kısmi taşıyıcı sistem detayı



Süper kolon, çepeçevre kafes ve mega diyagonal birleşimi (tez kapsamında yeniden çizilmiştir)



Süper kolon ve rijit kat kafesi detayı (tez kapsamında yeniden çizilmiştir)

5.2 Diagrid Sistem ile Uygulanmış Yapı Örnekleri

Diagrid sistemler en güncel yüksek yapı sistemlerinden birisidir. Dünyada çok fazla örneği olmamasına rağmen oldukça yüksek ve estetik yapılar uygulanmaya başlamıştır. İncelenecek yapılar Çizelge 5.13'de verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 5.20'de Türkiye'de uygulama bulmuş önemli yapılara kısaca değinilmiştir.

Çizelge 5. 13 Güncel diagrid sistemli yapılar

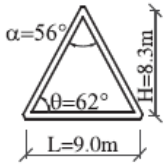
Swis Re Tower	Hearst Tower	Cocoon Tower
Leaning Tower	Guangzhou Internatiional Finance Center	Leadenhall Tower

Çizelge 5. 14 Swiss Re Tower [262], [263], [264], [265], [266], [267]

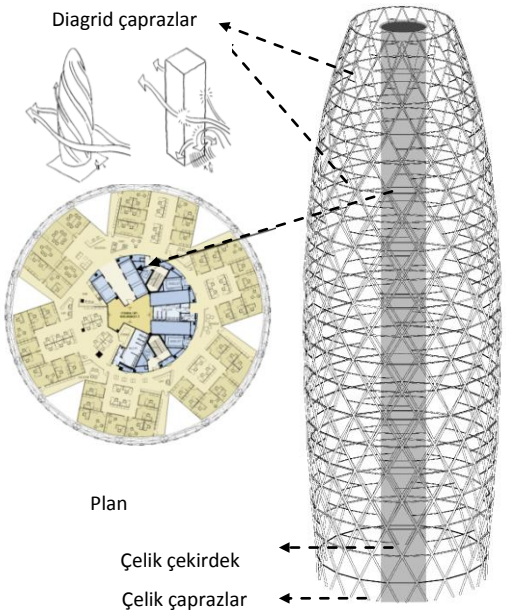
SWISS RE TOWER (2004)

Londra, İngiltere

Mimari Tasarım	Foster and Partners
Taşıyıcı S. Müh.	Arup
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çelik Çekirdek + Diagrid Sistem/ Çelik
Narinlik	6.00
Anten H. Yükseklik	180 m, 41 kat
Maks. tepe yerdeğ.	39.6 cm
Zemin Sınıfı	Kil+ 27 m'de anakaya
Temel Sistemi	Radye + 333 adet, 27m derinlikte R: 750 mm kazık
Yapısal Çelik Miktarı	70 358 t
Diagrid Modülü	Boru profil, Alt katlarda R:508 mm - t: 40-32 mm Üst Katlarda R: 273 mm- t: 12.5 mm Modül: 8.30 x 9.00 m
Döşeme	Kompozit, 16 cm
Mega Kolonlar	Kompozit, 10. kata kadar
Kirişler	Çelik, geniş başlık, 540 mm, 14 m
Çekirdek	Çelik, R: 25 m
Maliyet /Kull. alanı	614.2 €/ m^2 (39 600 000 €/64 470 m^2)

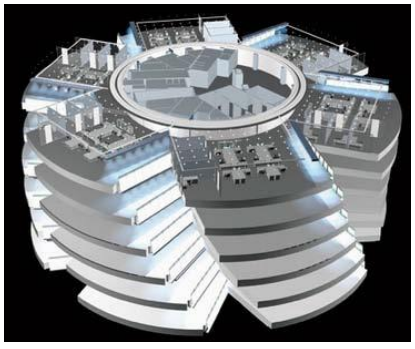


Yapı, rüzgar yüklerine karşı salınım ve girdap etkisini azaltmak için aerodinamik formda tasarlanmıştır. Kat planları yangın dayanımı açısından 6 parçaya bölünmüş ve her katta döşeme sistemi 5° dönerek değişmektedir. Klasik bir çerçeve sisteme kıyasla yapı, % 20 daha ekonomiktir. Diagrid sistem, yanal yüklere karşı dayanım sağlar, çekirdek ise sadece düşey yüklere dayanım için tasarlanmıştır. Diagrid sistem ile daha geniş açıklıklı tasarım mümkün olmuştur. Diagrid sistemde 360 düğüm noktası mevcuttur. Çift cephe sistemi uygulanmış, % 40 enerji tasarrufu sağlanmıştır.



Taşıyıcı sistem

Yapının çelik çekirdek sistemi

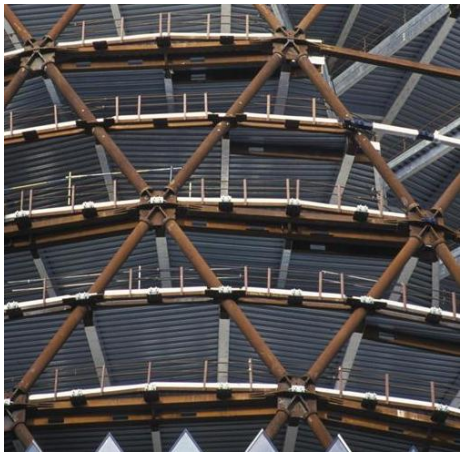


Yapının her katta 5° kayan döşeme sistemi

Çizelge 5. 14 Swiss Re Tower (devamı)

Diagrid tipik birleşim detayı

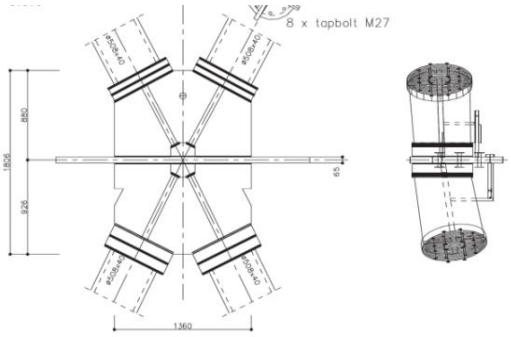
Döşeme ve diagrid birleşimi



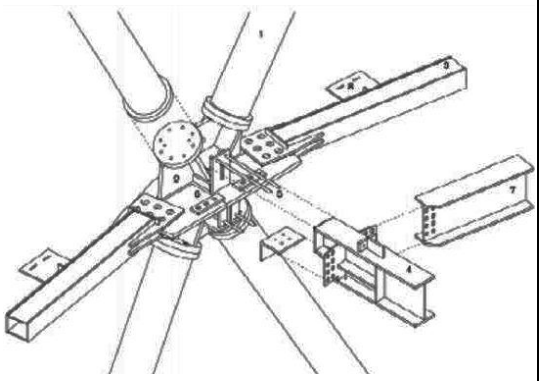
Diagrid ve kiriş sistemi

Diagrid üçgen modülü

Diagrid orta birleşim detayı



Diagrid birleşimi



Cephe birleşim detayı

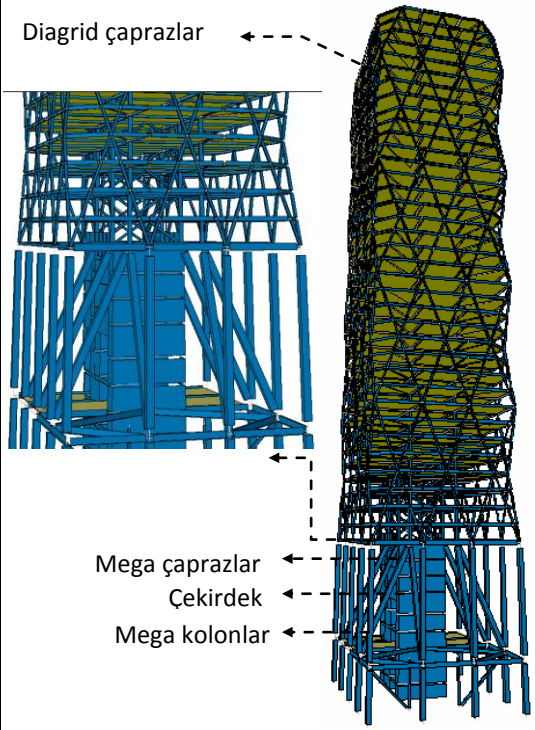
Çizelge 5. 15 Hearst Tower [67], [268], [269], [270], [271]

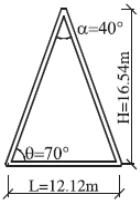
HEARST TOWER (2006)

New York, A.B.D

Mimari Tasarım	Foster and Partners
Taşıyıcı S. Müh.	WSP Cantor Seinuk
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Kompozit ve çelik çekirdek + Diagrid/ Çelik
Narinlik	4.94
Anten H. Yükseklik	183 m, 46 kat
Maks. tepe yerdeğ.	1/500
Zemin Sınıfı	Kaya 3 - 9 m'da
Temel Sistemi	Kısmi radye temel ve Fore kazık
Yapısal Çelik Miktarı	10 480 t
Döşeme	Kompozit, 15 cm
Mega Kolonlar	10. kata kadar Kompozit, 110 x 110 cm, (t=0.1 cm), 10 m aralık
Mega Çaprazlar	Kompozit, 110 x 110 cm, (t=0.1 cm), 10 m aralık
Kirişler	Çelik, 12m
Kompozit Çekirdek	40x14 m, d: 60 - 40 cm
Maliyet /Kull. alanı	646.66 €/m^2 (51 733 000 €/80 000 m^2)

19.yy sonlarında inşa edilmiş tarihi yapı, etkileyici bir tasarım ile çok katlıya dönüştürülmüştür. Yapı, dikdörtgen prizma formundadır. Mega kolonlar, kompozit çekirdek (betonarme duvarlar içine mesnetlenmiş çelik çaprazlar) ve mega çaprazlar yapıyı temel seviyesinden 10. kata kadar desteklemektedir, devamında yanal yerdeğiştirmeleri azaltmak için çelik çaprazlı çekirdek ve diagrid sistem etkindir. Her üçgen modül ve düğüm noktaları dört katta bir konumlanmıştır, elemanları geniş başlıklı I tipi hadde profilidir, iki tip köşe düğüm noktası detayı mevcuttur. Yapı, klasik çerçeve sisteme göre % 20 daha az çelik kullanımı ve çeliğin geri dönüştürülebilir olması nedeni ile "Gold LEED" sertifikası almıştır. Dış cephedeki köşelerde, "kuş ağzı" denilen girintiler yapılarak köşedeki konsol alanları azaltılmıştır.

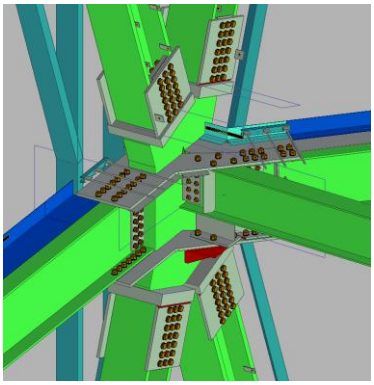


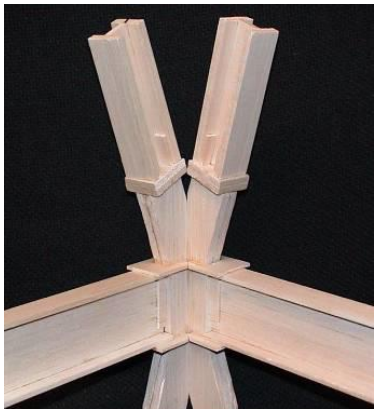


I Profil Çelik Alt Katlarda (W14x370), Üst Katlarda (W14x132) ,12.25x16.54 m Taşıyıcı sistem

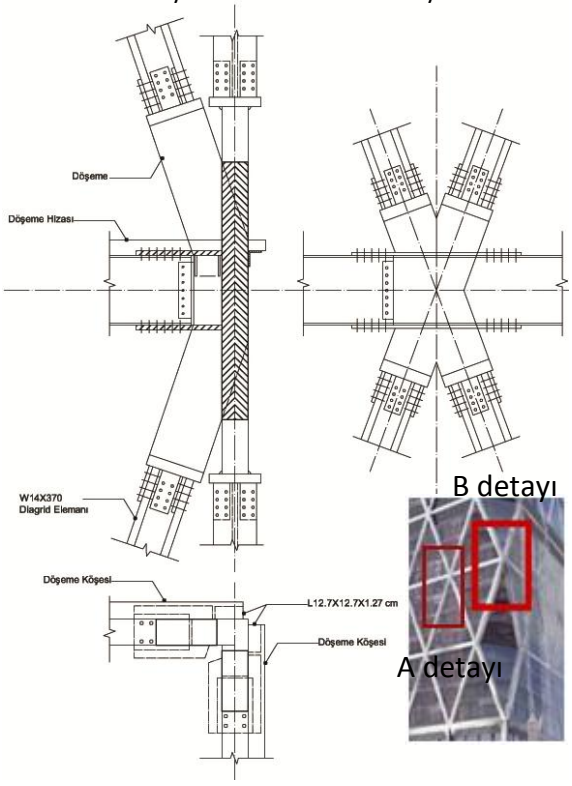
Tipik kat planı

Çizelge 5. 15 Hearst Tower (devamı)



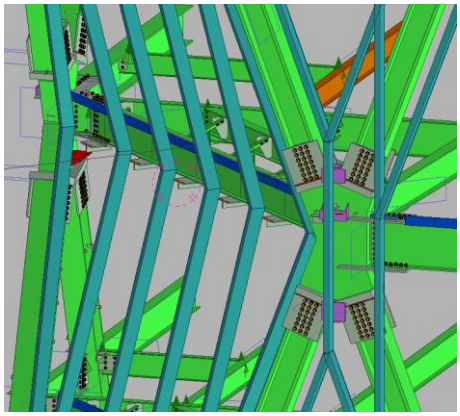


A detayı B detayı



Köşe birleşim detayı

Mega kolon ve mega çapraz birleşimi



Birleşim detayı

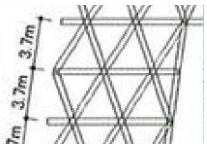
Diagrid modülü montajı

Çizelge 5. 16 Cocoon Tower [272], [273], [274], [275]

COCOON TOWER (2008)

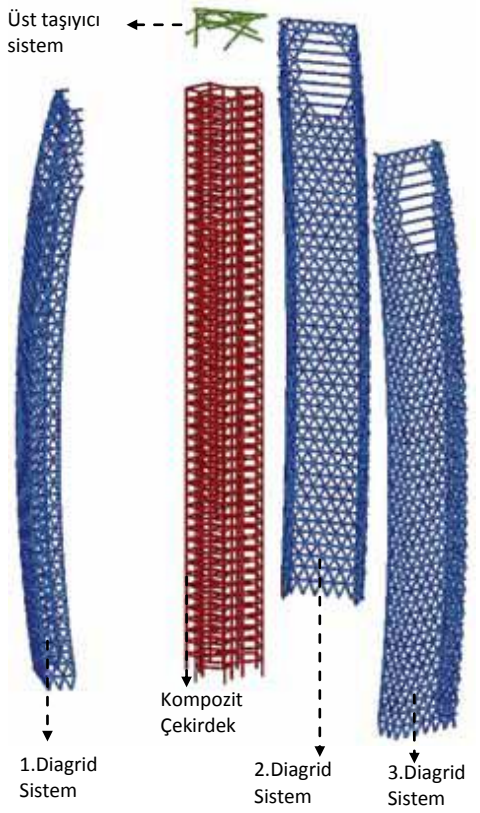
Tokyo, Japonya

Mimari Tasarım	Paul Noritaka Tange
Taşıyıcı S. Müh.	Arup
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çelik çekirdek + Diagrid /Çelik
Narinlik	5.1
Anten H. Yükseklik	204 m, 50 kat
Temel Sistemi	Radye (3.8 m) + Beton kazık
Sönümleyici	6 ad. Viskoz akışkanlı sönümleyici
Diagrid Modülü	I çelik profil, 400x400 mm

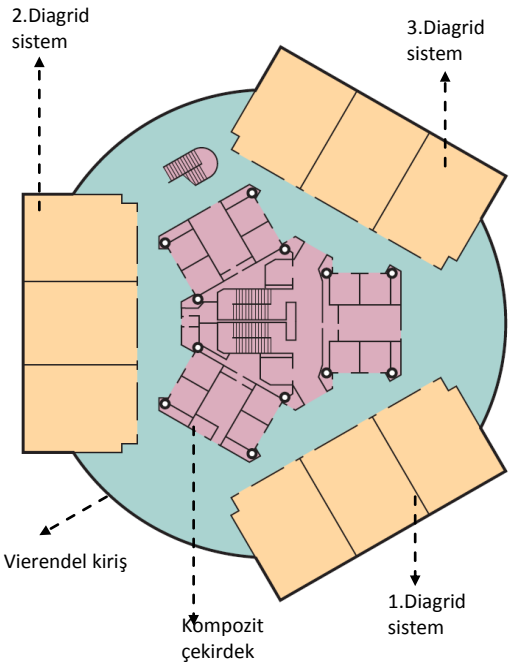


Döşeme	Kompozit, 15 cm
Kolonlar	Beton dolu boru profil
Kirişler	Çelik, h: 500 m, 16 m uzun
Çekirdek	Çelik çaprazlı çerçeve

Taşıyıcı sistem, üç adet eliptik rijit çelik diagrid sistem ve çelik çaprazlı çerçeve çekirdekten oluşur. Bu üç diagrid sistem temelde ve üst noktada birbirine rijit birleştirilmiştir, dolayısıyla ara katlarda eğilmeden dolayı açısal yerdeğiştimeler artar. Dıştaki diagrid sistemde yerdeğiştirmeler eğilme, içteki çekirdekteki yerdeğiştirmeler kesme kuvveti bazlıdır. İçteki çekirdeğe birleşen kirişler diagrid sistemi burkulmaya karşı korumaktadır. Çekirdek, çelik çaprazlı çerçeve sistemdir. Bodrum katlar, tümüyle kompozittir. Sismik yüklere karşı, 15 kattan 39. kata kadar her katta çekirdeğe, çekirdeğin kayma yerdeğiştirmelerini azaltmak ve enerji yutmak üzere, 6 adet vizkos sönümleyici yerleştirilmiştir. Aerodinamik formlu eliptik diagrid sistemler, yatay yüklerden dolayı oluşan oluşan kesme kuvvetlerini ve devrilme momentlerini etkili bir şekilde temele iletmektedir. Cephe sistemi için vierendeel kiriş sistemi oluşturulmuştur.

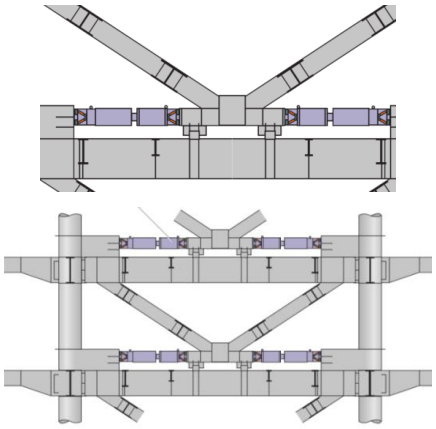


Taşıyıcı sistem

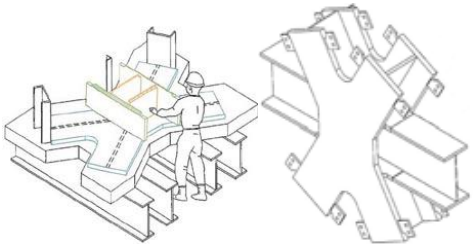


Tipik kat planı

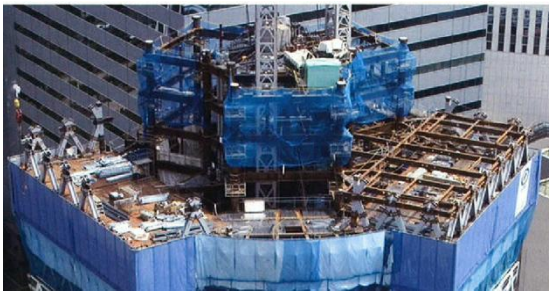
Çizelge 5. 16 Cocoon Tower (devamı)



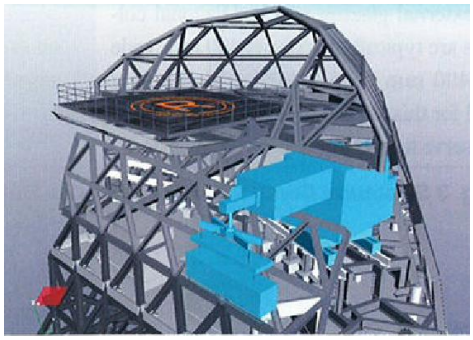
15-39. katlar arasında bulunan viskoz sönümleyici yerleşimi ve detayı



Diagrid sistemde şematik birleşim detayı

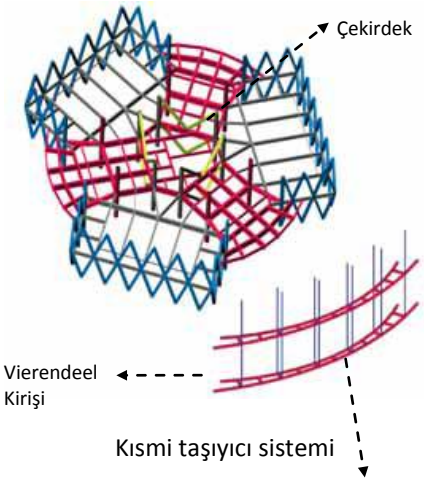


İnşaat aşaması



Açılıp kapanır çatı 55 km/h rüzgar hızına göre tasarlanmıştır, ancak hız 110 km/h hız da sorun oluşturmayacaktır.

Diagrid birleşim detayı



Kısmi taşıyıcı sistemi

Cephe sistemi için vierendeel kiriş sistemi oluşturulmuştur

Birleşim detayı

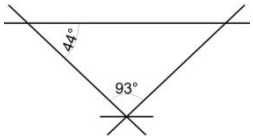
Köşe birleşim detayı

Çizelge 5. 17 Leaning Tower [276], [277]

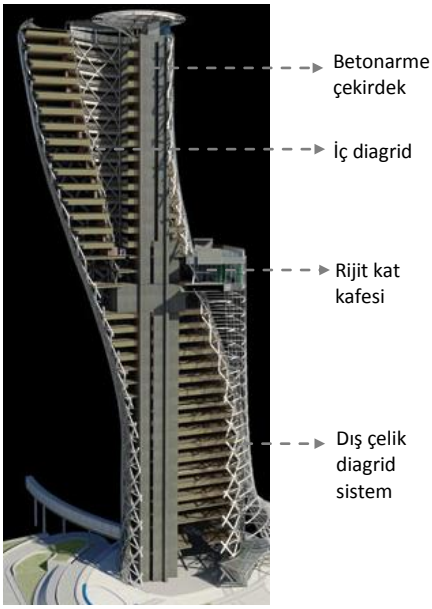
LEANING TOWER (2010)

Abu Dhabi, Birleşik Arap Emirlikleri

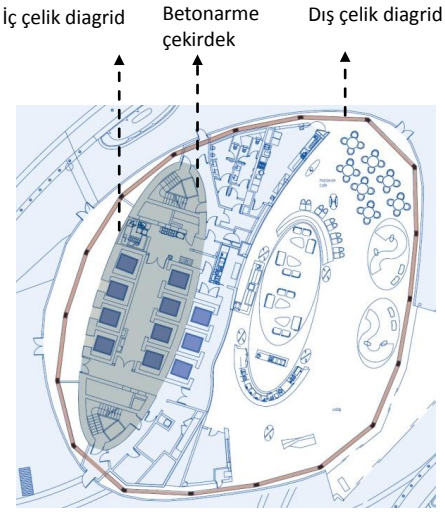
Mimari Tasarım	RMJM Dubai
Taşıyıcı S. Müh.	Al Habtoor Engineering
Taşıyıcı Sistem	Çekirdek + İç ve Dış diagrid/Karma
Narinlik	4.2
Anten H. Yükseklik	160 m, 55 kat
Yapı Eğiklik Derecesi	18°
Zemin Sınıfı	Kum + 30 m'de anakaya
Temel Sistemi	Radye Temel (2.5m) + 490 ad. 20 - 30m derinlikte 1 m çapında kazık
Diagrid Modülü	Çelik, Kutu Profil, dış/iç diagrid t: 80-40 mm, kaynaklı, 1 kat yüksekliğinde Modül: 6.00 x 6.00 m
Döşeme	Kompozit, 15 cm
Kirişler	I profil, 12 m aralıklı
Çekirdek	Betonarme
Maliyet /Kull. alanı	482.1 €/m^2 (25 600 000 €/53 100 m²)



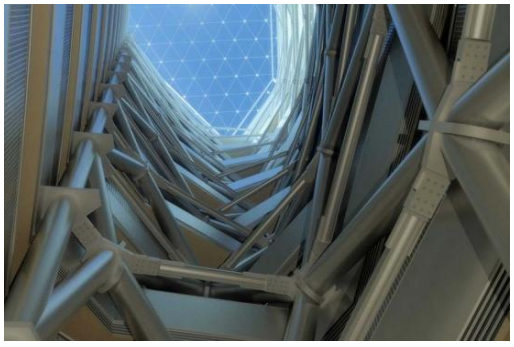
Taşıyıcı sistem zayıf zemin şartlarında şiddetli deprem ve rüzgar hızlarına dayanacak biçimde tasarlanmıştır. Yapı, betonarme çekirdek, iç ve dış çelik diagrid sistemin 18° ile çevrelenmesinden oluşur. Diagrid birleşim noktaları, döşeme hizalarında bulunur ve cephe sistemini de taşıması için tasarlanmış dolayısıyla kullanılan çelik miktarının azaltılması sağlanmıştır. Ayrıca 17. katta rijit kat uygulanmıştır. İç diagrid sistem, düşey yükleri çekirdeğe iletmek için katkı sağlarken dış diagrid sistem, düşey ve yatay yükleri taşımaktadır.



Taşıyıcı sistem

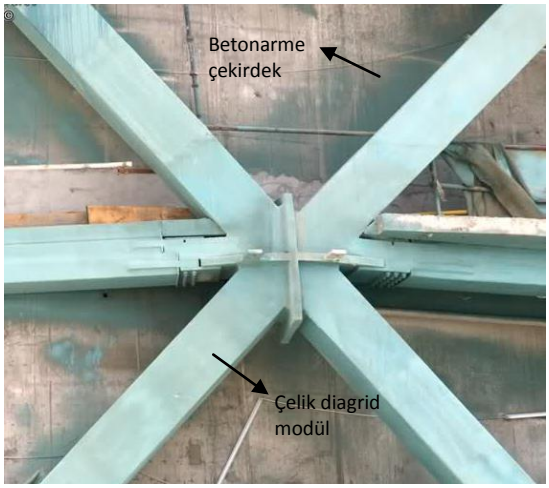


Zemin kat planı



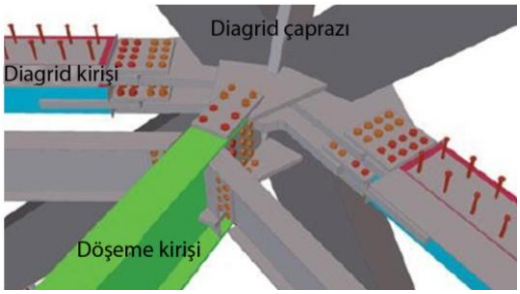
Yapının her katında 5° kayma

Çizelge 5. 17 Leaning Tower (devamı)

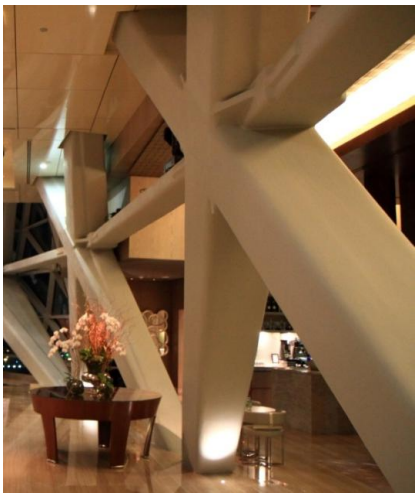


Dış diagrid birleşim detayı

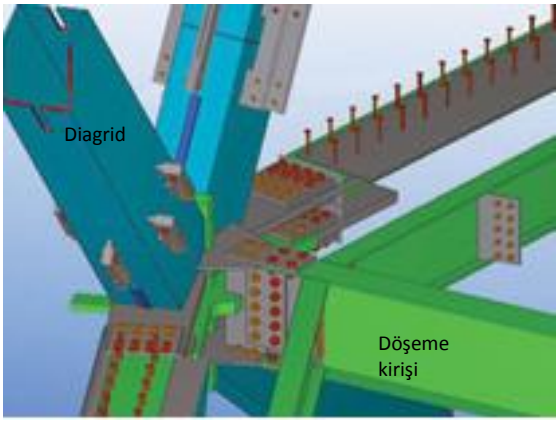
İnşaat aşamasından görünüş



Döşeme ve diagrid detayı



İç diagrid detayı



Döşeme ve diagrid sistem detayı

15 tonluk birleşim detayı

Çizelge 5. 18 Guangzhou Tower [278], [279], [280]

GUANGZHOU INTERNATIONAL FINANCE CENTER (2010)

Guangzhou, Çin

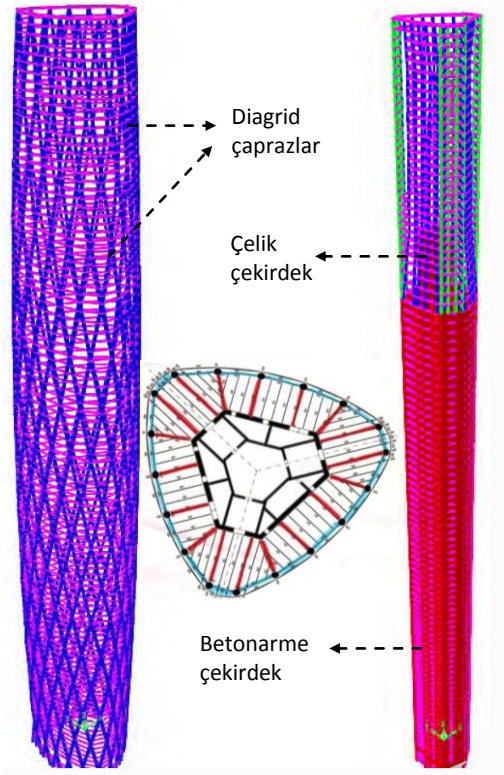
Mimari Tasarım	Wilkinson Eyre
Taşıyıcı S. Müh.	Arup
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Betonarme Çekirdek + Diagrid/Karma
Narinlik	10.11
Anten H. Yükseklik	438 m, 103 kat
Maks. tepe yerdeğ.	960 mm
Zemin Sınıfı	28 m'de anakaya
Temel Sistemi	Radye Temel + Fore kazık
Diagrid Modülü	

Boru çelik profil, içleri 60 MPa beton ile dolu 1800x55mm/ 700x20mm

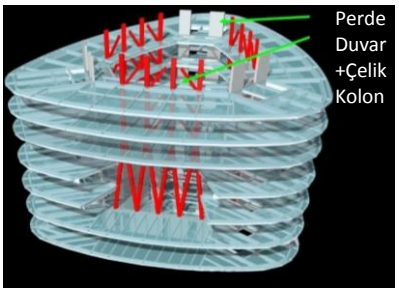
Modül: 12.40 x 24.80 m, h: 6 kat

Döşeme	Kompozit, 13 cm
Kirişler	I profil, 78 cm, 2-2.5 m, 14 m uzunluk
Çekirdek	Kompozit, d: 60-85 cm
Maliyet /Kull. alanı	204.6 €/m^2 (51 150 000€/250 095 m²)

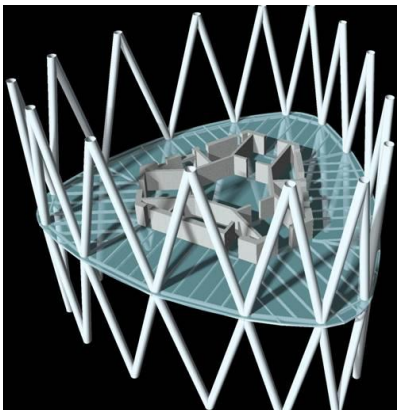
Yapının yanal ve düşey yüklere karşı koyan sistemi, dış çeperde üçgen modülleri 6 kat yüksekliğindeki diagrid sistem ve içte kesik üçgen biçimli beto-narme çekirdek mevcuttur. Diagrid sistem yatay yüklere karşı etkin biçimde çalışmaktadır. Çekirdek, yatay yüklerin büyük bir kısımını karşılar. 70. kata (otelin başlangıç katı) kadar betonarme olarak devam eden çekirdek, çaprazlı çelik çerçeve ile sonlanır. Yapı planı zemin katta 60mx60m iken, üst katlarda 43.5mx43.5m'ye kadar azalır. Diagrid sistemi oluşturan çaprazlar, yapısal çelik olup içleri C60 betonu ile doldurularak hem yangına dayanım hem de stabilite artışı sağlanmıştır. Yapı, düşük karbon salınımı ve sürdürülebilir yapı özelliklerine sahiptir. Üçgenimsi oval formlu aerodinamik yapısı ile rüzgar salınımını azaltmaktadır, kriter olarak H/500 esas alınmıştır.



Taşıyıcı sistem ve kalıp planı



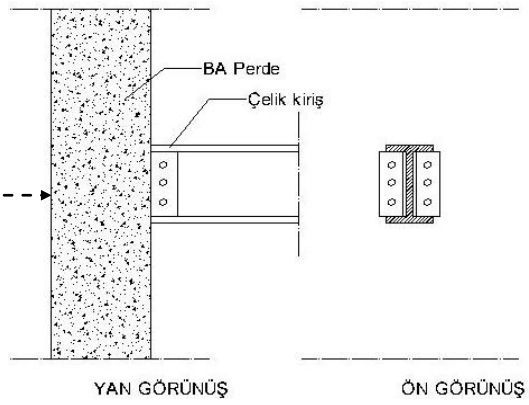
Çekirdeğin betonarmeden çeliğe geçişi



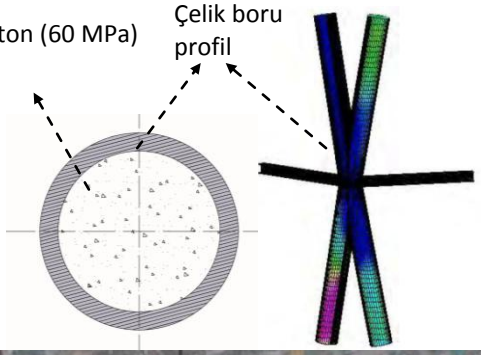
Kısmi taşıyıcı sistem

Çizelge 5. 18 Guangzhou Tower (devamı)

Döşeme-kiriş birleşimi



Döşeme-kiriş birleşimi



Diagrid eleman detayı

Diagrid ek yeri detayı

Diagrid detay

Diagrid-döşeme detayı

İç galeri mekanının taşıyıcı sistem

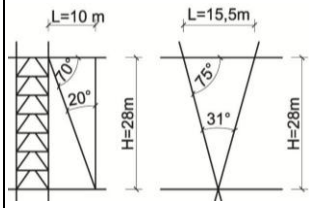
Çizelge 5. 19 Leadenhall Tower [281], [282], [283], [284], [105], [285]

LEADENHALL TOWER
(İnşaat aşamasında)

Londra, İngiltere

Mimari Tasarım	Rogers Stirk Harbour
Taşıyıcı S. Müh.	Arup
Taşıyıcı Sistem/Malz.	Çelik Çekirdek + Diagrid Sistem/Çelik
Narinlik	5.2
Anten H. Yükseklik	224.5 m, 50 kat
Zemin Sınıfı	Kil+ 27 m'de anakaya
Temel Sistemi	Radye Temel (2.7 m)+ Fore Kazık
Sönümleyici	Uzun bazı kirişlerde pasif sönümleyici

Diagrid Modülü



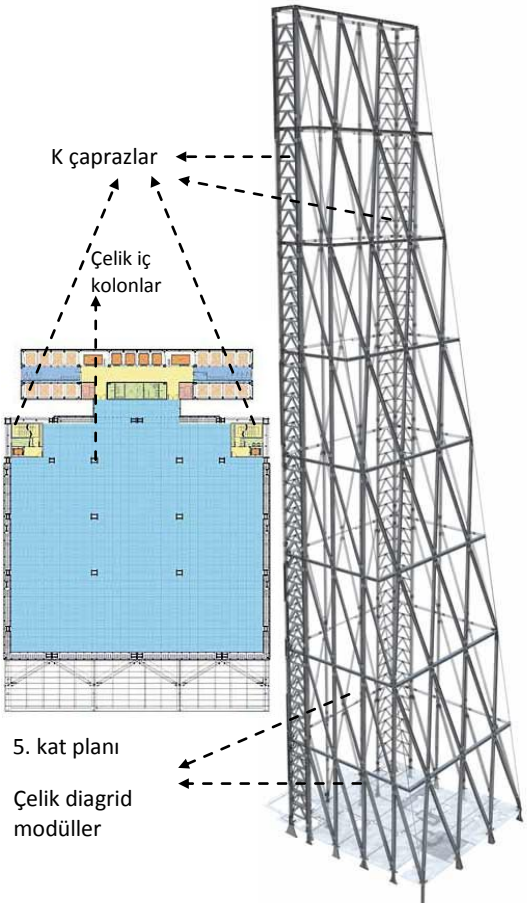
Çelik, I Profil

Modül: 15.5x28 m

Döşeme	Kompozit, 15 cm
Kirişler	Çelik, 700 mm
Çekirdek	Çelik çaprazlı çerçeve
Maliyet /Kull. alanı	61.39 €/m^2 (51 832 500 €/ 84 424 m^2)

Yapıda yükseldikçe azalan boyutları ile aerodinamik özellikte üçgen bir form oluşturulmuştur. 48mx43m'lik ofis alanı 16 mx10.5m aralıklı min. sayıda iç kolon geçilmiştir. Cephedeki diagrid form, her biri 28 m yüksekliğinde ve yedi katlı 8 ad. modülden oluşmaktadır. Ayrıca iki çekirdek, Chevron çaprazlı çerçeve olarak oluşturulmuştur. Yapıda rüzgar salınımına karşı pasif sönümleyiciler de kullanılmıştır. Geniş açıklık geçen mega çerçevede rüzgar nedeniyle ivme büyüklükleri standartların oldukça altında gerçekleşmiştir. Isıl hareketlere karşı bazı katlardaki uzun kat kirişlerinin uçlarında uzama/kısalmadan doğacak yatay harekete izin veren mesnetler oluşturulmuştur.

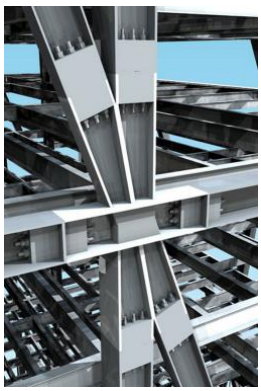
Londra kiline oturacak yapıda kolon ayaklarının eksenleri kazıklar ile kesişememiş bu nedenle kazıkların üst kısmında kirişli 2.7 m kalınlığında radye temel düzenlenmiştir.

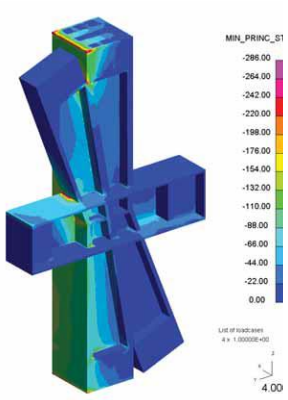


Taşıyıcı sistem

Diagrid sistemden görünüm ve zemin kattaki birleşimler (alttaki resim)

Çizelge 5. 19 Leadenhall Tower (devamı)





Her bir düğüm noktasında 6 eleman birleşmektedir, en az üç doğrultuda 60 000 kN'a varan normal kuvvetler aktarılmaktadır. Ayrıca, ekonomik tasarım açısından, ön üretimli birleşimlerin düğüm noktasından biraz ötede oluşturulmasına karar verilmiştir, böylece birleşimlerin tamamlanması için çalışma alanı artmıştır. Çok sayıda bulon yerine çapı 76 mm'e varan öngermeli bulonlar kullanılmış, böylece kapasitede artış, hız ve ekonomi sağlanmıştır. Birleşim kaynaklı plakalarla tamamlanmıştır.

6x3m 30 tonluk diagrid birleşim detayı

K çapraz detayı

Orta çekirdek çapraz detayı

Çekirdekte yer alan K çapraz detayı

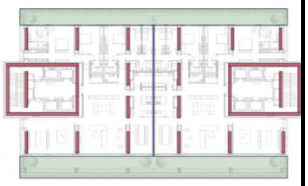
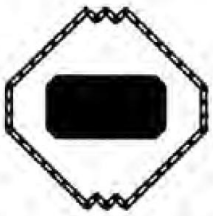
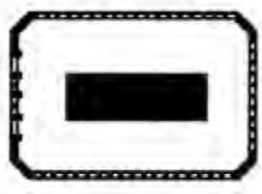
K çapraz-kolon birleşim detayı

Diagrid modül zeminde birleşim detayı

İç çaprazların birleşim detayı

Türkiye'de de son yıllarda hızlı gelişen bir yüksek yapı sektörü mevcuttur ve genellikle betonarme çekirdek+çerçeve sistem uygulama alanı bulmaktadır; betonarme tüp sistem uygulamaları da mevcuttur. Dünyada ise tüp sistemler halen uygulanmakta; ancak diagrid sistemler, çok yüksek yapılarda rijit katlı sistemler, ve özellikle ikonik yapılarda bu sistemlerin dinamik formlu uygulamaları ön plana çıkmaktadır. Türkiye'den bazı yüksek yapı örnekleri Çizelge 5.20'de verilmiştir.

Çizelge 5. 20 Türkiye'deki bazı yüksek yapılar [78], [54]

Saphire (İstanbul, 2011-66 katlı, 236 m). Taşıyıcı sistem, 2 adet kenarlarda konumlanmış betonarme çekirdek ve çerçeve sistemden oluşur. Yapıda C60 betonu kullanılmıştır. Perde kalınlıkları, 0.4-0.8 m aralıklarında değişir.		
İş Kuleleri (İstanbul, 2000-50 katlı, 181.2 m). Taşıyıcı sistem, tüp içinde tüp sistem, dış kolonlar (0.6 x 0.9m), kirişler 0.35 m'dir. İç çekirdek, 0.6 m genişliğinde perde duvarlardan oluşur.		
Varyap Meridian Grand Tower 2 (İstanbul, 2011-61 katlı, 244 m). Yapıda, yüksek dayanımlı C60 betonu kullanılmıştır. Ortada konumlanmış betonarme çekirdek ve çerçeve sistemden oluşmuştur. Kolonlar, 1.0 x 1.3 ve 0.6 x 1.0 m boyutlarındadır. Perde kalınlıkları 1.3 m ye kadar ulaşmaktadır.		
Mertim (Mersin, 1987-52 katlı, 176.8 m). Tüp içinde tüp sistem, çevre kolonlar (1.45 x 0.45 m), kolonlar iki kolon arası mesafede 1.775 m konumlandırılmıştır. Betonarme çekirdek, 0.5 m kalınlığında perdelerden oluşur. Çekirdeği ve dış tüp sistemi birbirine bağlayan kirişler, 0.70 x 0.45 m'dir.		

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

İlk yüksek yapı olarak kabul edilen Home Insurance Building (Chicago, 1884) ile başlayan süreçte, malzeme ve taşıyıcı sistemlerdeki gelişmelere paralel olarak günümüze dek, prestij, şehir merkezlerindeki arsa maliyetlerinin yükselmesi ve teknolojik gelişmelerin yapı sektörüne yansıması yüksek yapıların yüksek yapıların gelişmesine sebep olmuştur. F.Khan'ın 1960'larda ilk defa tüp sistemi tanıtmış olması ve devamında önerdiği kafes tüp, tüp içinde tüp ve demet tüp gibi yenilikçi sistem çözümleri yapı yüksekliklerinde artış, salınımda ve maliyetlerde azalmayı beraberinde getirmiştir. 2000'lere gelindiğinde yüksek yapıların tasarımında estetik ve sürdürülebilirlik kavramları yeni bileşenler olarak ortaya çıkmış bu bağlamda daha çok uluslararası örnekler incelenmiştir.

Bu tezden çıkan sonuçlar maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir :

Dünya'da yüksek yapıların gelişimi

- 1908-1972 döneminde yüksek yapı yükseklikleri sabit eğim ile artmış, Burj Khalifa (2008) ile ani bir değişim göstermiştir.

- 1960-2010 yılları arasında toplam 75 yüksek yapı incelendiğinde, 1990'a kadar tüp sistem ile inşa edilen yapılar yaygın iken 2000'li yıllarda, rijit katlı sistemlerin % 73 oranında kullanıldığı görülmektedir. Çelik yapılar, adet olarak 1990'lara kadar ezici üstünlükte iken 2000'lerden sonra betonarme ve kompozit yapı inşaatında büyük artış meydana gelmiştir. Sayıca yüksek yapı inşaatında, Uzak Doğu 1990'lardan itibaren öne geçmiştir.

Yüksek yapı tasarımınına etki eden faktörler

- 30 kat veya 120 m'nin üzerindeki yüksek yapılarda, düşey taşıyıcı elemanlardaki sünme ve rötrenin eksenel yerdeğiştirmeleri arttırıcı etkisi için önlem alınmalıdır.

- 140 kat ve üzeri binalarda ise iki transfer katı olan ve çift kabinli lokal asansörlerin kullanılması uygundur.

- Düşey ve yatay taşıyıcı sistem elemanlarının ağırlığı, betonarme yüksek yapıda yükseklik ile doğru orantılı artarken, çelik yapıda hiperbolik olarak ve gittikçe geniş bir aralıkta değişmektedir (Örneğin 100 katlı bir çelik yapıda, 20 katlıya kıyasla 2.5-6.5 kat artış mevcuttur).

- Son yıllarda rüzgarın salınım ve girdap etkisinin azaltılması amacıyla formlar üzerinde önemli estetik değişimler yapılmaktadır. Ayrıca rüzgarın, rüzgar türbinleri ile sürdürülebilir amaçlı kullanımı mevcuttur.

- Merkezi (geleneksel çekirdek) yerleşimli servis çekirdeğinin yerine, sismik açıdan etkin olmayan yerlerde, dış merkezi ve kenar çekirdek uygulamalarına doğru bir yöneliş görülmektedir. Ayrıca, çekirdeğin yeri iklim koşullarına göre belirlenmeye başlamıştır.

- Salınım kontrolu açısından, taşıyıcı sistemi cephede olan yüksek yapılar (tüp sistem) için, narinliğin 6-7 aralığında kalması amaçlanır. Bu oranın 8'den büyük olduğu çelik yapılarda ilave sönümleyici sistemler düşünülmelidir. Merkezi betonarme çekirdekli yapılarda ise narinlik 10-15'dir.

- Uzakdoğu'daki çok yüksek yapılarda, rüzgarın tüm dönüş periyotları ve 50 yılda oluşma olasılığı % 10 olan depremin (dönüş periyodu 475 yıl) tamamen elastik sınırlar içinde karşılanması esastır. 50 yılda oluşma olasılığı % 2 olan depremde (dönüş periyodu 2475 yıl) ise plastik şekildeğiştirmelere, yapıda Can Güvenliği (CG) düzeyi ve göreli kat öteleme oranı olarak 1/100 sağlanmak üzere izin verilir; bu durumda rijit katlı sistemlerde çepeçevre kafes ve beton içine gömülen çelik birleşimlerin elastik sınırlar içinde kalması zorunludur.

- Rüzgar için; dönüş periyodu 50 yıl, 100 yıl, esiş süresi 3 sn (tayfun ve hortum etkisi) ile 1 saat arasında olan farklı etki durumları dikkate alınır. Kullanıcı konforu açısından üst katlardaki ivme, yönetmeliklerde 10 yıllık dönüş periyodu için genellikle 10-15 mg

(konut) ve 20-25 mg (ofis) ile sınırlandırılır. Tepe yerdeğiştirmesi sınırı, çok yüksek yapılar hariç H/500; çok yüksek yapılar için ise, genellikle H/1000, göreli kat ötelemesi de h/1000'dir.

- Yüksek yapılar gibi periyodu 3 sn ve daha uzun esnek yapı sistemlerinde, kısa periyotlu (0.2-1 sn) rijit yapılara kıyasla, azalan taban kesme kuvveti katsayısı nedeni ile, deprem sırasında süneklik istemi daha azdır.

Güncel yüksek yapılarda taşıyıcı sistemler

- Çerçeveli tüp sistemde yanal yerdeğiştirmeleri % 70 çerçeve davranışı, % 30 konsol davranışı yönetir. Tüp içinde tüp sistemde, 40 kata kadar yanal yükleri büyük ölçüde iç tüp alırken, bundan sonra kat sayısı arttıkça dış tüp daha hakim olur.

- Kafes tüp sistemler incelendiğinde, rüzgar yüklerine göre tasarlanmış 60 katlı sistemde 47^{o} açılı, 10 katlı mega çapraz modül en ekonomik çözümü vermektedir.

- Şaşırtmalı kafes sistemler, düşük sismik aktivitesi olan bölgelerde 35-40 kata kadar uygulanır; yapı, dikdörtgen plan ile sınırlı değildir. Kafeslerin uzunluğu min. 13-14 m, yükseklik/açıklık oranı tipik olarak 1/6 seçilir.

- Rijit katlı sistemlerde, yatay yüklerin moment etkisi, dıştaki süper kolonlarda kuvvet çiftine dönüşür. Süper kolon birleşiminde dönmeye izin verilmesi sadece çekirdeğin eğilme momenti kapasitesinin artması ile ekonomik çözüme olanak sağlamaz, aynı zamanda çekirdek ile dış kolon arasında zaman içindeki farklı eksenel hareketler (rötre, sünme vb) nedeni ile yapıda ilave kesit zorları ve çatlakların oluşmasını da engeller. Dış kolonlara gelen çekme kuvveti düşey yüklerden gelen basınç tipi normal kuvvet ile dengelenmelidir. Yapının kayma rijitliği tek başına çekirdek ile sağlanmak zorundadır.

- Diagrid sistemler, yanal yerdeğiştirme ve burulmaya karşı rijitliği nedeniyle dikkat çekmiştir. Kafes tüp sisteme kıyasla düşey yükler açısından da çok etkindir. Rijit katlı sistemlere göre kayma rijitliğinin yüksek olması önemli bir avantajdır, bu sistemde çelik veya betonarme güçlü bir çekirdek gereksinimi yoktur.

- Sabit açılı diagrid sistemlerde; 40, 50 ve 60 katlı bazında 63^{o} açılı 6 katlı modüller, 60 kat ve üzeri yapılarda, 69^{o} açılı 8 katlı modüller en etkin tasarımı sağlamıştır. Narinliği <7 olan yapılarda, sabit açılı tasarım kademeli açı değişimine göre, narinliği <7 olan 80

katlı yapılarda ise kademeli açı değişimi sabit olana kıyasla daha ekonomik sonuç vermektedir.

- Amorf formlu diagrid sistemlerde düşey aks değişkendir, bu durumda üçgen birimlerde düzlemine dik kuvvetler sözkonusudur. Ayrıca normal kuvvetler, ikinci mertebe momentleri ve kirişlerde normal kuvvete neden olacaktır.

- Dinamik formlu yapılarda yapıya, devrilme momentleri minimum olacak biçimde form ve eğim verilebilir.

- Burulmuş form, radyal doğrultuda düzenlenmiş kolonlar ile oluşturulduğunda; taşıyıcı sistem gerçekte burulmaz, çekirdek formu sabit kalır, en uygun çözüm sağlanır. Bu tür yapılarda dairesel çekirdek uygulaması tercih nedenidir.

- Yüksek yapılarda formda burulma oranı arttıkça yapının yanal rijitliği azalır, tepe yerdeğiştirmeleri artar.

- Yüksek yapılarda son geliştirilen Hexagrid Sistem taşıyıcılık açısından diagrid sistem kadar etkin olmasa da daha fazla ışık ve engelsiz alan, estetik görünüm, cephede standart cam boyutları gibi avantajları vardır.

<u>Türkiye'de yüksek yapılar konusunda da aşağıdaki sonuçlara varılmıştır</u>

- Günümüzde Türkiye'de yüksek yapıların gittikçe arttığı görülmektedir. Ancak yüksek yapı tasarımında hala resmi bir rüzgar ve deprem yönetmeliğinin, rüzgar bölgelendirme çalışmalarının olmaması, keza form tasarımlarında aerodinamik formların kullanılmıyor olması önemli eksikliklerdir ve bu eksikliklerin hızla giderilmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

[1] Günel, M. ve Ilgın, H.E., (2010). Yüksek Binalar Taşıyıcı Sistem ve Aerodinamik Form, I. Baskı, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliği, Ankara.

[2] Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Criteria for the Defining and Measuring of Tall Buildings, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=zvoB1S4nMug%3D&.., 17 Mart 2013.

[3] Temellerin tarihi ile igili bilgilerin alındığı web sitesi, http://www.geoforum.com/info/pileinfo/view_process.asp?ID=56, 16 Nisan 2013.

[4] Hall Conservation, Nasmyth Steam Hammer ile ilgili bilgilerin alındığı web sitesi, http://www.hallconservation.com/?portfolio=nasmyth-steam-hammer-eccles-lancashire-private-owners, 23 Ocak 2013.

[5] Wikipedia, Derin temeller ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6e/Caissons%2C_1898.jpg, 4 Ocak 2013.

[6] Wikimedia, Nasmyth Steam Hammer ile ilgili çizimin alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/PSM_V38_D349_The_nasmyth_steam_hammer.jpg, 23 Ocak 2013.

[7] Wikipedia, Chicago yangını hakkında bilgi alındığı web sitesi, http://en.wikipedia.org/wiki/Great_Chicago_Fire, 10 Şubat 2013.

[8] Valente, J. M. S. D., Tall Buildings and Elevators, https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1253357/1/Thesis_Final.pdf, 27 Ocak 2013.

[9] Otis asansör fotoğrafının alındığı web sitesi, http://einestages.spiegel.de/static/entry/willkommen_im_killerkaefig/22702/otis_elevator.html?o=position-ASCENDING&s=0&r=48&a=3063&of=9&c=1, 24 Şubat 2013.

[10] Elisha Graves Otis asansörün alındığı web sitesi,https://www.asme.org/getmedia/be22e49b-0638-4551-ae8c-

295f34f44611/Elisha_Graves_Otis-Elevator-01.jpg.aspx?width=340, 27 Aralık 2013.

[11] Lepik, A., (2008). Skyscrapers, Revised Edition, TBB Banska Bystrica, Slovakia.

[12] Chicago yangını hakkında fotoğrafın alındığı web sitesi, http://wertel.blogspot.com/2010/10/great-chicago-fire.html, 23 Şubat 2013.

[13] Lee, J., (2011). The Role of the Aerodynamic Modifications of the Shapes of Tall Buildings, Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology, Civil and Environmental Engineering, Boston.

[14] Ellis, A.R ve Billington, D.P., (2003). "Construction History of the Composite Framed Tube Structural System", Proceeding of the First International Congress on Construction History, 20-24 Ocak 2003, Madrid.

[15] Korom, J., (2008). The American Skyscraper 1850-1940 A Celebration of Height, 1st Edition, Branden Books, Boston.

[16] Işık, M., (2008). Çok Katlı Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[17] Sarkisian, M., (2012). Designing Tall Buildings Stucture as Architecture, First Edition, Routledge, New York.

[18] Ali, M., (2001). "Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jin Mao", Electronic Journal of Structrual Engineering, 1: 2-14.

[19] Chrysler Building ile ilgili teknik bilgi ve fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.cbsforum.com/cgi-bin/articles/partners/cbs/search.cgi?template=display&dbname=cbsarticles&key2=chrysler&action=searchdbdisplay, 23 Mayıs 2013.

[20] Betonun tarihsel gelişimi ile ilgili bilgilerin alındığı web sitesi, https://fp.auburn.edu/heinmic/ConcreteHistory/Pages/timeline.htm, 1 Haziran 2013.

[21] Kowalczyk, R. M., Sinn, R. ve Kilmister, M. B., (1995). Structural System for Tall Buildings Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 3, McGraw-Hill, Pennsylvania.

[22] Leslie, T., (2013), The Monadnock Building Technically Reconsidered, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=QTHEtdBy72I%3D&tabid=53&language=en-US, 20 Şubat 2014.

[23] Leslie, T., Building Without Walls: Curtain Wall Development in Chicago Architecture of the 1890s, http://www.arct.cam.ac.uk/Downloads/ichs/vol-2-1921-1936-leslie.pdf, 24 Şubat 2013.

[24] Moon, K., Connor, J. J. ve Fernandez, J. E. (2007). "Diagrid Structural Systems for Tall Buildings: Characteristics and Methodology for Preliminary Design", The Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol. 16.2:205-230.

[25] Princeton University resmi web sitesi, http://khan.princeton.edu/khanBrunswick.html, 1Ocak 2014.

[26] One Shell Tower ile ilgili bilgi ve fotoğrafların alındığı web sitesi, http://khan.princeton.edu/khanOneShell.html, 24 Şubat 2013.

[27] Choi, H.S., Ho, G., Joseph, L. ve Mathias, N., (2012). Outrigger Design for High-Rise Buildings:An output of the CTBUH Outrigger Working Group, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, First Edition, Chicago.

[28] Moon, K. S., (2005). Dynamic Relationship Between Technology Architecture Tall Buildings, Doktora, Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, Massachusetts.

[29] Stringer, D.C., (1982). "Staggered Truss and Stub Girder Framing Systems in Western Canada", Canadian Structural Engineering Conference, Canada.

[30] Wexler, N. ve Lin, F.B., (2003). Staggered Truss Framing Systems, Third Edition, American Institute of Steel Construction, Chicago.

[31] Cohen, M., (1986). "Design Solutions Utilizing the Staggered-Steel Truss System", Engineering Journal/American Institute of Steel Construction, 4: 97-106.

[32] Vladimir Shukhov ile ilgili bilgilerin alındığı web sitesi, http://www.e-architect.co.uk/articles/diagonal_structures.htm, 11 Şubat 2013.

[33] Fu, X.Y., Gao, Y., Zhou, Y. ve Yang, X., (2012), Structural Design of Sino Steel International Plaza, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=dksEC%2FkVc8o%3D&tabid=3949&language=en-US, 30 Ocak 2013.

[34] Home Insurance Building ile ilgili detay fotoğrafın bulunduğu web sitesi, http://www.bu.edu/av/ah/fall2008/ah382/lecture19/Picture24.jpg, 20 Şubat 2013.

[35] Home Insurance Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://chicagopubliclibrary.tumblr.com/post/197902876/chicago-home-to-the-first-skyscraper-the-home, 19 Şubat 2013.

[36] Columbia Universitesi resmi web sitesi, Home Insurance Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.columbia.edu/cu/gsapp/BT/BSI/HISTORY/homein-1.jpg, 19 Şubat 2013.

[37] Wikipedia, Monadnock Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Monadnock.jpg, 24 Şubat 2013.

[38] Wikimedia, Monadnock yapısı ile ilgili fotoğraf, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/Monadnock_Detail_of_North_Corridor.JPG, 10 Haziran 2013.

[39] The Reliance Building Detay fotoğrafının alındığı web sitesi, http://intranet.arc.miami.edu/rjohn/Spring2000/New%20slides/Chicago%20style/Reliance%20Building2.jpg, 24 Şubat 2013.

[40] Wikipedia, The Reliance Building fotoğrafının alındığı web sitesi, http://en.wikipedia.org/wiki/File:2010-03-03_1872x2808_chicago_reliance_building.jpg, 24 Şubat 2012.

[41] The Reliance Building taşıyıcı sistemi hakkında 3b fotoğrafı, http://architecturefarm.files.wordpress.com/2010/05/final-second.jpg, 24 Şubat 2013.

[42] The Reliance Building ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://architecturefarm.wordpress.com/2010/05/17/old-chicago-skyscraper-of-the-week-reliance/, 24 Şubat 2013.

[43] Wikimedia, Filatron Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Typical_floor_of_the_Flatiron_Building.jpg, 24 Şubat 2013.

[44] Wikipedia, Ingalls Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ingalls_building_cincinnati_2004.jpg, 20 Şubat 2013.

[45] Ingalls Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://c1038.r38.cf3.rackcdn.com/group1/building7228/media/xzvd_ingall_construction.jpg, 23 Mayıs 2013.

[46] Weingardt, R.,(2005), Hardy Cross A Man Ahead of His Time, https://engineering.purdue.edu/~ce573/Documents/HardyCross.pdf, 21 Şubat 2013.

[47] Ingalls Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www2.needham.k12.ma.us/nhs/cur/Baker_00/2002_p5/Baker-p5-cm_cm/The%20Chrysler%20Building, 23 Mayıs 2013.

[48] Seagram Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://highrise.bk.tudelft.nl/pdf/Seagram_Building_(Mies_van_der_Rohe)_final.pdf, 23 Mayıs 2013.

[49] The Skyscraper Center, Dewitt-Chestnut Apartments ile ilgili bilgi ve fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.skyscrapercenter.com/chicago/the-plaza-on-dewitt/, 24 Şubat 2013.

[50] Chicago Architecture, 1000 Lake Shore Plaza ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.chicagoarchitecture.info/Building/993/1000-Lake-Shore-Plaza.php, 5 Mayıs 2013.

[51] Wikimedia, Water Tower Place ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Water_Tower_Place_060527.jpg, 225 Aralık 2012.

[52] Emporis resmi web sitesi, 780 Third Avenue yapısı ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://ewcg.com/wp-content/gallery/g_780third/e_780third_1200.jpg, 9 Nisan 2013.

[53] 780 Third Avenue yapısı ile ilgili plan çizimlerini alındığı web sitesi, http://www.loopnet.com/Listing/17841653/780-Third-Avenue-New-York-NY/#, 1 Hazira 2013.

[54] Sev, A., (2001)., Türkiye Ve Dünya'da Yüksek Binaların Mimari Tasarım ve Taşıyıcı Sistem Açısından Analizi, Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[55] John Hancock Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://stuartlichtman.com/wp-content/uploads/2013/05/Hancock-BLDG-2.jpg, 14 Ekim 2013.

[56] Wikimedia, Sears Tower ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/ba/Sears_Tower_ss.jpg/200px-Sears_Tower_ss.jpg, 12Ekim 2013.

[57] Sears Tower ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/searstower1_skyscraper.html, 12 Ekim 2013.

[58] Taranath, B. S., (2010). Reinforced Concrete Design of Tall Buildings, First Edition, Taylor and Francis Group, Florida.

[59] Wikimedia, The Delta Bow Valley ile ilgili fotoğraf, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Delta_Bow_Valley_from_Calgary_Tower.jpg, 19 Şubat 2013.

[60] Taj Mahal yapısı ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.cheapatlanticcity.com/images/trumptajpic1.jpg, 29 Mart 2013.

[61] Wikipedia, Shukhov Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://en.wikipedia.org/wiki/File:World_First_Hiperboloid_structure_by_Vladimir_Shukhov.jpg, 8 Nisan 2013.

[62] Wikipedia, Shukhov Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Worlds_First_Hyperboloid_in_Polibino_photo_by_Arssenev.jpg, 17 Mart 2013.

[63] Wikipedia, Shukhov Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Worlds_First_Diagrid_Hyperboloid_by_Shukhov_1896.jpg, 17 Mart 2013.

[64] Structuremag, IBM Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.structuremag.org/article.aspx?articleID=401, 21 Şubat 2012.

[65] Swiss Re Tower ile ilgili inşaat fotoğraflarının ve teknik bilgilerin olduğu web sitesi, http://www.epab.bme.hu/oktatas/2009-2010-2/v-CA-B-Ms/FreeForm/Examples/SwissRe.pdf, 3 Mayıs 2012.

[66] Swiss Re ve Hearst Tower ile ilgili fotoğrafların bulunduğu web sitesi, http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=93413779, 21 Şubat 2013.

[67] Hearst Tower hakkında bilgi ve inşaat fotoğraflarının alındığı web sitesi, http://www.popularmechanics.com/technology/engineering/architecture/2591931, 9 Mart 2012.

[68] Guangzhou Finacial Tower ile ilgili fotoğrafın bulunduğu web sitesi, http://vincentloy.files.wordpress.com/2010/02/52698820201001021803250888.jpg, 21 Şubat 2013.

[69] Leaning Tower ile ilgili inşaat fotoğraflarının olduğu web sitesi, http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=35462010, 9 Eylül 2012.

[70] Canton Tower ile ilgili inşaat fotoğraflarının olduğu web sitesi, http://atuxedocat.files.wordpress.com/2010/11/canton-tower.jpg, 9 Eylül 2012.

[71] Council on Tall Buildings and Urban Habitat resmi sitesi, Tall Buildings In Numbers, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=M7nXrLx8g0M%3D&.., 14 Aralık 2012.

[72] Council on Tall Buildings and Urban Habitat resmi sitesi, Tall Buildings In Numbers, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=Bj14RQcNyis%3d&tabid=1108&language=en-US, 12 Ocak 2014.

[73] Council on Tall Buildings and Urban Habitat resmi sitesi, http://www.ctbuh.org/tbin/2013/year_end_review/tallest_average.php, 12 Ocak 2014.

[74] Council on Tall Buildings and Urban Habitat resmi sitesi, Tall Buildings In Numbers, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=rlKQFdZyhwg%3D&.., 10 Kasım 2012.

[75] Mimarlarodası Ankara, Ulus İşhanı ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.mimarlarodasiankara.org/?id=1482, 19 Kasım 2013.

[76] Ceylan İntercontinental ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.destination360.com/middle-east/turkey/istanbul/ceylan-intercontinental-istanbul.jpg, 22 Kasım 2013.

[77] Harbiye Orduevi ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.panoramio.com/photo_explorer#view=photo&position=6628&with_photo_id=8099138&order=date_desc&user=307217, 19 Kasım 2013.

[78] Mertim Yapısı ile ilgili fotoğradın alındığı web sitesi, http://www.ustay.com/images/projeler/buyuk/metropol2.jpg, 17 Kasım 2013.

[79] Yapı Kredi Plaza ile ilgili fotoğradın alındığı web sitesi, http://justcanada.net/dosyalar/editor/image/c16d40c6c22c8a43bc32a2c1b4f8de7c.jpg, 17 Kasım 2013.

[80] Sabancı Center ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.haberler.com/haber-resimleri/855/sabanci-center-in-isiklari-iklim-degisimine-3488855_2423_o.jpg, 2 Şubat 2014.

[81] İşbankasu Kuleleri ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.mailce.com/wp-content/uploads/2013/08/i%C5%9Fbankas%C4%B1-binas%C4%B1-620x465.jpg, 2 Şubat 2014.

[82] Şişli Plaza ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.osmanlielektronik.com.tr/ReferansResim/%C5%9Fi%C5%9Fli%20plaza.jpg, 2 Şubat 2014.

[83] Tat Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.endem.com.tr/uploads/projects_p/20070725110347.JPG, 2 Şubat 2014.

[84] Diamond of İstanbul ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=431275&page=31, 13 Kasım 2013.

[85] Mistral Tower ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1271363, 24 Kasım 2013.

[86] Sapphire Ankara ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1611250, 24 Kasım 2013.

[87] Skyland ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://konutprojeleritv.com/wp-content/uploads/skyland-istanbul.jpg, 12 Ocak 2014.

[88] Exen Yapısı ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.urbika.com/imgs/projects/large/3867_exen-istanbul.jpg, 2 Şubat 2014.

[89] Spine Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.sapagroup.com/companies/Sapa%20Building%20System%20TR/Referanslar/Spine%20Tower/spine_FS_03.jpg, 20 Şubat 2014.

[90] Spine Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://f1208.hizliresim.com/10/b/bqrz7.png, 20 Şubat 2014.

[91] Bionic Tower ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=346688, 12 Mayıs 2013.

[92] Millennium Tower ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://skfandra.files.wordpress.com/2010/11/foster2.jpg, 20 Mayıs 2013.

[93] Halvorson, R. A., Warner, C. ve Lang A., (2009), Direct Analysis Method Case Study- Addressing Stability for the Russia Tower, http://www.halvorsonandpartners.com/newssheets/2009-ASCE-DM-RussiaTower.pdf, 12 Aralık 2013.

[94] Dubai City Tower ile ilgili bilgilerin ve fotoğrafların alındığı web sitesi, http://forum.skyscraperpage.com/showthread.php?t=156619, 23 Aralık 2013.

[95] X- Seed Tower ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://econews.com.ua/wp-content/uploads/2012/02/X-Seed-4000-.jpg, 2 Ocak 2012.

[96] Holonic Tower ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.fgautron.com/weblog/wp-content//holonic-tower.jpg, 12 Mayıs 2013.

[97] Sky City 1000 Tower ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://skyscraperpage.com/cities/?buildingID=3767, 12 Mayıs 2013.

[98] Council on Tall Buildings and Urban Habitat resmi sitesi, https://www.ctbuh.org/TallBuildings/HeightStatistics/Criteria/tabid/446/language/en-GB/Default.aspx, 12 Mayıs 2013.

[99] Elnimeiri, M. ve Almusharaf, (2010). "The Interaction between Sustainable Structures and Architectural Form of Tall Buildings", International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, (1:1): 35-41.

[100] Trabucco, D., (2010), Historical Evolution of the Service Core, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=MPz7iYQzsEo%3D&tabid=2566&language=en-US, 27 Aralık 2013.

[101] Rizk, A.S.S., (2010), Structural Design of Reinforced Concrete Tall Buildings, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=dR0eJRVy8Vg=, 3 Mayıs 2013.

[102] Ali, M. M. ve Moon, S. K., (2007). "Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects", Architectural Science Review, V. 50.3: 205-223.

[103] Demirtaş, B., (2007). Yüksek Binalarda Servis Çekirdekleri Ve Düşey Sirkülasyon Sistemleri Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[104] Leaning Tower ile ilgili detay fotoğrafının olduğu web sitesi, http://www.capitalgate.ae/pdf/CG_BROCHURE_APR2012.pdf, 2 Temmuz 2012.

[105] Leadenhall Tower hakkında inşaat fotoğraflarının olduğu web sitesi http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=273712&page=13, 19 Mayıs 2012.

[106] Incheon Tower ile ilgili bilgilerin alındığı web sitesi, http://thornton.s3.amazonaws.com/content_files/160/Incheon_Tower_Overview.pdf, 2 Eylül 2013.

[107] Wimer, R., Baker, W., Nagis, M., ve Mazeika, A., (2012), Greenland's Suzhou Center, (http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=myhMvl4N%2BcQ%3D&tabid=1090&language=en-GB)

[108] Sev, A. ve Özgen, A., (2009)."Space Efficiency in High-Rise Office Buildings", METU JFA, (26:2): 69-89.

[109] Mele, E., Toreno, M., Brandonisio, G. ve Luca, D. L., (2012). “Diagrid Structures For Tall Buildings: Case And Design Considerations”, The Structural Design of Tall and Special Buildings, 23: 124-145.

[110] Yüksek yapılarda çekirdek düzenlemesi ile ilgili bilgilerin alındığı web sitesi, http://www.sefindia.org/rangarajan/CoreDesign.pdf, 19 Nisan 2013.

[111] Yüksek yapılarda asansörler ile ilgili teknik bilgilerin alındığı web sitesi, http://www.deerns.com/documents/Brochures/Elevator%20planning%20for%20high%20rise%20buildings_DEF.pdf, 11 Ekim 2013.

[112] Halvorson and Partners Structural Engineers resmi web sitesi, Torre Caja Madrid, http://www.halvorsonandpartners.com/newssheets/caja-madrid.pdf, 12 Mayıs 2013.

[113] A.B.D rüzgar haritasının alındığı web sitesi, http://www.windpoweringamerica.gov/wind_maps.asp, 8 Ekim 2013.

[114] Türkiye rüzgar haritasının alındığı web sitesi, http://www.onurenerji.com.tr/wp-content/uploads/2011/09/turkiye-ruzgar-haritasi.png, 4 Ekim 2013.

[115] You, K.P., Kim, M. Y. ve Uoy, J. Y., (2014). “Interference Effect Tall Building to Fluctuation Wind Load”, Advanced Materials Research, 871: 9-14.

[116] Kushal, T., Ahuja, A. K. ve Chakrabarti, A., (2013). “Effect of Interference on Wind Loads on Tall Buildings”, Journal of Academia and Industrial Research, 1(12): 758- 760.

[117] Ilgın, E. H., (2006). A Study on Tall Buildings and Aerodinamic Modifications Against Wind Excitation, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Ankara.

[118] Burh Khalifa ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://1.bp.blogspot.com/-3Kd8DQwXd44/UYbiwCFYn_I/AAAAAAAAAPI/h_kx39wxXFE/s1600/Burj+Khalifa.JPG, 29 Aralık 2013.

[119] Kingdom Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://thornton.s3.amazonaws.com/project_content_images/7789/kingdom_1_main.jpg, 29 Aralık 2013.

[120] Russia Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://img228.imageshack.us/img228/3576/41731swu3.jpg, 29 Aralık 2013.

[121] Nnamani, N., (2012). Strategies for Mitigating Wind-Induced Motion in Tall Buildings through Aerodinamic and Damping Modifications, Massachusetts Institute of Technology, Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts.

[122] Amin, J.A., ve Ahuja, A.K., (2010). “Aerodinamic Modifications to the Shape of the Buildings: A Review of the State-of-the-Art”, Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), 11: 433-450.

[123] Infinity Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://longhornsandcamels.files.wordpress.com/2013/02/dsc_3603.jpg, 29 Aralık 2013.

[124] Wikipedia, Turning Torso, http://en.wikipedia.org/wiki/Turning_Torso, 14 Ekim 2011.

[125] Chicago Spire ile ilgili fotoğrafın bulunduğu web sitesi, http://straubhomes.com/wp-content/uploads/2009/12/Chicago-Spire.jpg, 14 Mayıs 2013.

[126] Shanghai Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://gingert.net/images/shanghaitower/04.jpg, 29 Aralık 2013.

[127] Shanghai World Financial Centre ile ilgili teknik bilgilerin olduğu web sitesi, http://www.dillinger.de/imperia/md/content/dillinger/publikationen/stahlbau/referenzfolder/shanghai_world_financial_center_-_englisch.pdf, 6 Eylül 2012.

[128] Wikimedia, Kingdom Centre Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/KingdomCentre.JPG, 22 Mayıs 2013.

[129] Kingdom Trade Centre ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.seacad.com/Gallery/KINGDOM%20TRADE%20CENTRE%20~%20RIYADH.jpg, 5 Mayıs 2013.

[130] Aqua Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://homeinnovationdesign.com/wp-content/uploads/2011/04/aqua-tower_New..jpg, 23 Mayıs 2013.

[131] Aqua Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://ad009cdnb.archdaily.net/wp-content/uploads/2009/12/1259785806-typical-floor-planaqua-credit-sga-5.jpg, 23 Mayıs 2013.

[132] Absolute Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.e-architect.co.uk/images/jpgs/canada/absolute_towers_mississauga_mad130808_1.jpg, 29 Aralık 2013.

[133] Man, W.W.R., Development of the Hilton Hotel Site and Nearby Properties in Central District Hong Kong, http://bst1.cityu.edu.hk/e-learning/building_info_pack/tall_building/ckc_const.pdf, 2 Ekim 2012.

[134] Jin Mao Tower hakkında taşıyıcı sistem bilgilerinin olduğu web sitesi, http://kittybayer.files.wordpress.com/2012/05/jin_mao_book.pdf, 30 Ocak 2012.

[135] Wikimedia, Pearl River Tower ile ilgili fotoğrafının alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9b/PearlRiverTower_Jan.jpg, 14 Haziran 2013.

[136] Poon, D.C.K, Shieh, S.S., Joseph, L.M. ve Chang, C.C., (2002), The Sky's Limit, http://www.modernsteel.com/Uploads/Issues/December_2002/2002_12_taipei.pdf, 7 Haziran 2012.

[137] Emporis resmi web sitesi, Taipei 101 Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.emporis.com/images/show/383867-Large.jpg, 29 Aralık 2013.

[138] Foreman, C., (2004), Wind Tunnel Testing High-Rise Building, http://www.arabianbusiness.com/wind-tunnel-testing-high-rise-buildings-206110.html, 7 Ekim 2013.

[139] Günel, M. H. ve Ilgın, H. E., (2008). "Bir Mimari Tasarım Kriteri Olarak Rüzgar Enerjisinin Kullanımı", Ege Mimarlık Dergisi, 2 (65): 6-15.

[140] Campbell, N., Stankovic, S., Graham, M., Parkin, P., Dujvendik, M. V., Gruiter, T. D., Behling, S., Hieber, J. And Blanch, M., (2001). "Wind Energy For The Built Environment (Project WEB) ", European Wind Energy Conference 8 Exhibition, Copenhagen.

[141] İndigo Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://downtowndevgrp.com/sites/default/files/styles/portfolio_1_col/public/12west2.jpg?itok=1IQnvG-0, 25 Mayıs 2013.

[142] İndigo Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://assets.sustainablebusinessoregon.com/articles/ZGF_TwelveWest_web*280.jpg?v=1, 4 Mayıs 2013.

[143] Demir, N., (2011). Yüksek Yapılar ve Sürdürülebilir Enerji, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[144] Bahrain World Trade Center ile ilgili bilgi ve fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.greendesignetc.net/Buildings_09/Bulding_Wu_Kevin_paper.pdf, 14 Haziran 2013.

[145] Lightgouse Tower ile ilgili bilgi ve fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.bustler.net/images/uploads/holcim_africa_08_03b.jpg, 14 Haziran 2013.

[146] Lighthouse Tower ile ilgili fotoğraf, http://exploredia.com/wp-content/uploads/2012/11/Lighthouse-Tower.jpg, 14 Haziran 2013.

[147] Pearl River ile ilgili fotoğraf, http://www.bryanchristiedesign.com/uploadfiles/5760128_pearl_river.jpg, 15 Haziran 2013.

[148] Castle House ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://intelligenttravel.nationalgeographic.com/files/2007/09/castleaerial_2.jpg, 26 Aralık 2013.

[149] İnhabitat resmi web sitesi, , The Clean Technology Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://inhabitat.com/smooth-operator-the-clean-technology-tower/, 2 Aralık 2013.

[150] Cangelli, E. ve Fais, L., (2012). "Energy and Environmental Performance of Tall Buildings: State of Art", Advances in Building Energy Research, Vol. 6: 36-60.

[151] Deprem ile ilgili grafiğin alındığı web sitesi, http://www3.nd.edu/~nathaz/research/zhou/tba_intro.html, 2 Eylül 2013.

[152] Kareem, A., Kijewski, T. ve Tamura, Y., (1999). "Mitigation of Motion of Tall Buildings with Spesific Examples of Recent Application", Wind and Structures, 2: 201-251.

[153] Hart, G., (2005). “The Structural Design of Tall and Special Buildings”, The Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol 14: 473-486.

[154] Xia, J, Poon, D. ve Mass, D., (2010), Case Study: Shanghai Tower, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=a1ppDY9UeqM%3D&tabid=1090&, 13 Aralık 2013.

[155] Naeim, F. ve Graves, R. W., (2005). “The Case for Seismic Superiority of Well-Engineered Tall Buildings”, The Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol 14: 401-416.

[156] Peer Pasific Eartquake Engineering Research Center resmi web sitesi, http://peer.berkeley.edu/tbi/wp-content/uploads/2010/09/PEER-ATC-72-1_report.pdf, 2 Şubat 2013.

[157] Sugano, T, ve Tateno, T., 82007), Time History Response Analysis of High Rise Building and Performans Evaluation, http://www.bcj.or.jp/c20_international/cooperation/src/Presentation3_2.pdf , 2 Şubat 2013.

[158] One Madison Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web stesi, http://farm7.staticflickr.com/6198/6069778841_ccb1d9a369_b.jpg, 26 Haziran 2013.

[159] Garlock, M. E., ve Adriaenssens, S., (2010), Truth in Tall Buildings, http://khan.princeton.edu/463.pdf, 25 Temmuz 2013.

[160] Alexander, S., (2007), Tall Buildings fort he 21st Century, http://www.tuhh.de/sdb/vortraege/WS_2007_08/Tall%20Buildings_Stuart_%20Alexander_.pdf, 25 Eylül 2013.

[161] Abenobashi Building ile ilgili bilgi ve fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.abeno.project-takenaka.com/abeno_e/saigai/sai-01.php, 2 Şubat 2014.

[162] Wikimedia, Asahi Beer Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/4/4b/Asahi_Beer_and_Sky_Tree.jpg, 11 Mart 2013.

[163] Wikimedia, Omiya Somic City ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5f/Japanese_Omiya_Sonic_City.jpg/395px-Japanese_Omiya_Sonic_City.jpg, 2 Kasım 2013.

[164] Abenobashi Terminal Building ile ilgili bilgi ve fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.damptech.com/tallest%20building%20in%20japan.html, 24 Temmuz 2013.

[165] Mualla, I.H., Nielsen, L.O., Sugisawa, M., ve Suzuki, Y., (2012). “Large Capacity Dampers for Buildings and Structures”, 15th World Conference on Earthquake Engineering, September 24-28 2012, Lisbon.

[166] Art Hotels Sapporo ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.kumagaigumi.co.jp/tech/works/hotel/imges/hot03_2.jpg, 11 Mart 2013.

[167] Wells Fargo Bank ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.aviewoncities.com/buildings/sf/44montgomerystreet.htm, 23 Aralık 2013.

[168] Wells Fargo Bank ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.funvisis.gob.ve/archivos/www/terremoto/Papers/Doc028/doc028.htm, 23 Aralık 2013.

[169] Nashmira, A., (2011), Vibration Control of a Tower Complex Connected by Sky Gardens, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=MUZwL7uRs7Y%3D&tabid=749&language=en-US, 23 Aralık 2013.

[170] Kwork, K. C. S. ve Samali, B., (1995). "Use of Viscoelastic Dampers in Reducing Wind- and Earthquake Induced Motion of Building", Engineering Structures, 17: 639-654.

[171] Seafirst Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e0/Columbia_center_from_smith_tower.jpg, 13 Aralık 2013.

[172] Özcan, S. (2009). Viskoz Akışkanlı Sönümleme ve Sismik Taban Yalıtım Sistemlerinin Performans Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversites, FBE Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Programı, İstanbul.

[173] Thornton, C. H., Hungspruke, U. ve Joseph, L. M., (1997). "Design of the World's Tallest Buildings Petronas Twin Towers at Kuala Lumpur City Centre", The Structural Design of Tall Buildings, 6: 245-262.

[174] Taylor, P.,D., Mega Brace Seismic Dampers for the Torre Mayor Project at Mexico City, http://www.taylordevices.eu/pdfs/Mega%20Brace%20Seismic%20Dampers-Taylor.pdf, 11 Mart 2013.

[175] Smith, R. J. ve Willford, R., (2007). "The Damped Outriggers for Tall Buildings", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 16: 501-517.

[176] Hancock Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.warrenre.com/blog/files/2009/01/boston-john-hancock-tower.jpg, 12 Aralık 2013.

[177] Hancock Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://cache.boston.com/news/special/audio_slideshows/hancock/mass_tune_damper/soundslide/custom/282_0803_jht_m_9_or_c.jpg?cache=180315, 12 Aralık 2013.

[178] Breukelman, B., Tuned Mass Damper Application to the Taipei 101, http://www.waterfordmgmt.com/school/Articles/TMD%20mathematics.pdf, 12 Ekim 2013.

[179] Meinhardt, C., (2008). "Increase of a High Rise Building Damping Behaviour by Applying Large Scale Tuned Mass Dampers", 17th Congress of IABSE, 2008, Chicago.

[180] Shin Yokohama Prince Hotel Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.japanmeetings.org/cms/content/images/venue/.thumb_360/14100_11_1.jpg, 12 Aralık 2013.

[181] One Rincon Hill ile ilgili bilgi ve fotoğrafların alındığı web sitesi, http://wirednewyork.com/forum/showthread.php?t=18301, 19 Kasım 2013.

[182] One Madison Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://archpaper.com/news/articles.asp?id=5261, 29 Ekim 2013.

[183] Marina Bay Sand Tower ile ilgili teknik bilgi ve fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.ctbuh.org/TallBuildings/FeaturedTallBuildings/ArchiveJournal/MarinaBaySands/tabid/1766/language/en-US/Default.aspx, 24 Şubat 2014.

[184] Roderick, C., (2012). Vibration Reduction of Offshore Wind Turbines Using Tuned Liquid Column Dampers, Yüksek Lisans, Massachusetts Institute of Technology, Mechanical Engineering, Massachusetts.

[185] Irwin, P.A. ve Breukelman, B., Recent Applications of Damping Systems for Wind Response, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=rUQYlYFZKKk%3D&tabid=486&language=en-US/, 12 Ocak 2014.

[186] Higashino, M, Kaneko, H., ve Yamamoto, M., (2004), The Development of Structural Control Technologies at Takenaka, http://e-book.lib.sjtu.edu.cn/nascc2004/data/contents/NASCC%20PDF%20files/DevStructCntrlTakenaka.pdf, 25 Mayıs 2013.

[187] Onario, F., S., Tipologie di Difesa dalle Azioni Sismiche, http://e-http://www.strutturista.com/2009/06/tipologie-di-difesa-dalle-azioni-sismiche-controllo-attivo-semi-attivo-passivo-ibrido/, 25 Mayıs 2013.

[188] Kompozit kolonlar ile ilgili bilgilerin alındığı web sitesi, http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/ctu-n6_eng.pdf , 15 Haziran 2013.

[189] Shafii, F. ve Bukowski, R., (2006). “Report of the Joint TG50-W014 Workshop on Tall Buildings and Fire”, The International Council of Research and Innovation in Building and Construction, Georgia.

[190] Liew, R. J. R., (2012). “Concrete Filled Steel Tube with High Strenght Materials for High-Rise Construction”, 9th World Congress, Singapore.

[191] Goode, M., G., (2004), Fire Protection of Structural Steel in High-Rise Buildings, http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build04/PDF/b04047.pdf, 25 Mayıs 2013.

[192] Bush Lane House ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.mimoa.eu/projects/United%20Kingdom/London/Bush%20Lane%20House, 19 Haziran 2013.

[193] Wikimedia, US Steel Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bf/Pittsburgh-pennsylvania-usx-tower.jpg, 2 Temmuz 2013.

[194] Hotel De Las Artes ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://s.libertaddigital.com/fotos/galerias/ranking-rascacielos-mas-altos-de-espana/hotel-de-las-artes-barcelona.jpg, 4 Mayıs 2013.

[195] Wikimedia, Hong Kong Bank ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/HK_HSBC_Main_Building_2008.jpg, 4 Mayıs 2013.

[196] İntumesan boyalar ile ilgili bilgilerin alındığı web sitesi, http://www.himerpa.com/Prod/List.aspx?cid=54,54, 10 Temmuz 2013.

[197] New York Times Building ile ilgili bilgi ve fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.steelconstruction.info/The_New_York_Times_Building,_New_York, 2 Şubat 2014.

[198] Taranath, B.S., (2012). Structural Analysis and Design of Tall Buildings-Steel and Composite Construction, First Edition, Taylor and Francis Group, Florida.

[199] Wikipedia, Alfred P. Murrah Federal Building ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://en.wikipedia.org/wiki/Alfred_P._Murrah_Federal_Building, 11 Ocak 2013.

[200] Schuler, D., Action on High-Rise Buildings due to Aircraft Impact and Assessment of Structural Safety for such Hazard, http://www.bbs-ing.ch/files/publ/schuler_aircraftimpact.pdf, 24 Mayıs 2013.

[201] HSBC Binası ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.turkiyeturizm.com/news_detail.php?id=10147#.UxG1E_l_siU, 24 Mayıs 2013.

[202] Luong, A., Gibbons, C., Lee, A. ve MacArthur, J., (2004), Two International Finance Center, http://tr.scribd.com/doc/24863406/Two-International-Finance-Centre, 3 Nisan 2012.

[203] Werner, W., (2012), Optimization of Stuctural Embodied Energy And Carbon, http://www.modernsteel.com/Uploads/Issues/April_2012/042012_optimization.pdf, 4 Aralık 2012.

[204] Co-Operative Insurance tower fotoğrafı, http://www.timepass.info/image.axd?picture=2012%2F2%2FCIS-solar-panels.jpg, 20 Haziran 2013.

[205] Federation of Korean Industries Head Office ile ilgili fotoğraflar, http://www.worldarchitecturenews.com/index.php?fuseaction=wanappln.showprojectbigimages&img=2&pro_id=13160, 16 Haziran 2013.

[206] Jayachandran, P., (2009), Design of Tall Buildings Preliminary Design and Optimization, http://www.wpi.edu/Images/CMS/VF/tallbuidings3.pdf, 2 Temmuz 2013.

[207] Ali, M. ve Moon, (2007). "Structrual Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects", University of Sidney, 50.3: 205-223.

[208] Wikipedia, America Tower fotoğrafının alındığı web sitesi, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ee/AmericaTowerHoustonTX.JPG, 23 Mayıs 2013.

[209] Dallas Main Center ile ilgili fotoğrafının alındığı web sitesi, http://www.skyscrapercenter.com/images/albums/userpics/10002/Da002.jpg , 23 Mayıs 2013.

[210] Tucker, J., B., (1985). "Superskyscrapers: Aiming for 200 stories", High Technology 5, Vol1: 50-63.

[211] World Trade Center ile ilgili bilgilerin alındığı web sitesi, http://farm1.staticflickr.com/157/343079640_dccbe21a06.jpg, 1 Temmuz 2013.

[212] World Trade Center ile ilgili bilgilerin alındığı web sitesi, http://911research.wtc7.net/wtc/arch/wtcsunup.jpg, 1 Temmuz 2013.

[213] Sky City Tower ile ilgili bilgi ve fotoğrafların alındığı web sitesi, http://www.metalocus.es/content/en/blog/sky-city-broad-group, 3 Ekim 2013.

[214] John Hancock Center ile ilgili bilgilerin alındığı web sitesi, http://www.galinsky.com/buildings/bigjohn/, 1 Temmuz 2013.

[215] Moon, K. S., (2011). "Sustainable Structural Systems and Configurations for Tall Buildings", ASCE, 196-203.

[216] Shmerykowsky, M. J., (2001), Times Square Tower, http://www.modernsteel.com/Uploads/Issues/December_2001/0112_01_5timessquare.pdf, 20 Şubat 2014.

[217] Gambhir, M.,L., Earthquake Resistance of Structural Systems for Tall Buildings, e Core, http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/8_vol5_491.pdf, 27 Aralık 2013.

[218] 181 West Madison Street Tower ile ilgili fotoğrafın alındığı web sitesi, http://www.skyscrapercenter.com/images/albums/userpics/10002/Ch0041.jpg, 27 Aralık 2013.

[219] Kowalczyk, R. M., Sinn, R. ve Kilmister, M. B., (1995). Structural System for Tall Buildings Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 3, McGraw-Hill, Pennsylvania.

[220] Taranath, B. S.,(2005). Wind and Eartquake Resistant Buildings/Structural Analysis And Design, First Edition, Marcel Dekker, New York.

[221] Kim, J., Lee, J. H. ve Kim, Y. M., (2007). "Inelastic Behaviour of Staggered Truss Systems", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 16:85-105.

[222] Schuller, W., (1993) Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistemleri, 1. Basım, YTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı İşliği, İstanbul.

[223] American Institute of Steel Construction resmi web sitesi, http://www.modernsteel.com/SteelInTheNews/index.php?m=201203&paged=2,5, 8 Ocak 2014.

[224] Moon, K. S., (2010). "Integrated Design and Construction of Tall Buildings", Journal of Architectural Engineering, 16: 47-53.

[225] Willford, R. S. M., (2008). "Damped Outriggers for Tall Buildings", The Arup Journal, 3: 15-21.

[226] Moon, K. S., (2009), Design And Construction Of Steel Diagrid Structures, http://www.nordicsteel2009.se/pdf/72.pdf, 5 Mayıs 2012.

[227] Scott, D., Farnsworth, D., Jackson, M. ve Clark, M., (2007). "The Effects Of Complex Geometry On Tall Towers", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 16:441-455.

[228] Moon, K. S., (2012). "Studies on Various Structural System Design Options for Twisted Tall Buildings and Their Performances", The Structural Design of tall and Special Buildings,10.1002: 1-6.

[229] Jin Mao Tower hakkında inşaat fotoğrafının olduğu web sitesi, http://www.flickr.com/photos/rmeiklej/2334046901/sizes/l/in/photostream/, 23 Nisan 2012.

[230] Korista, D. S., Sarkisian, M. P. ve Abdelrazaq, A. K., (1995), Jin Mao Tower's Unique Structural System, http://ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=TMr6il%2FyUZ4%3D&tabid=486&language=en-US/, 23 Nisan 2012.

[231] Sarkisian, M. Mathias, N., Long, E., Mazeika, A., Gordon, J. ve Chakar, J., (2006), Jin Mao Tower's Influence on China's New Innovative Tall Buildings, http://ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=9Wv9upvzgCI%3D&tabid=486&language=en-US/, 30 Ocak 2012.

[232] Cheung Kong Center ile ilgili fotoğrafların alındığı web sitesi, http://jalinoos.com/maghalam/papers/Co20121119181915.pdf, 2 Ekim 2012.

[233] Man, W.W.R., Construction of Two IFC, http://bst1.cityu.edu.hk/e-learning/building_info_pack/tall_building/ifc2_const.pdf, 18 Mart 2012.

[234] Emporis resmi web sitesi, Two International Finance Center ile ilgili teknik bilgilerin olduğu web sitesi, http://www.emporis.com/building/two-international-finance-centre-hong-kong-china, 2 Mart 2012.

[235] Chang, C.C., Structural Design of Taipei 101 Tower, http://www.sefindia.org/rangarajan/Taipie101BuildingAnalysis.pdf, 12 Ekim 2012.

[236] Fan, H., Li, Q.S., Tuan, A.Y. ve Xu, L., (2008). "Seismic Analysis of The World's Tallest Building", Journal of Constructional Steel Research, 65:1206-1215.

[237] Taipei Tower ile ilgili inşaat fotoğraflarının ve teknik bilgilerin olduğu web sitesi, http://www.archinomy.com/case-studies/671/taipei-101-a-case-study, 10 Ekim 2012.

[238] Wikipedia, Shanghai World Financial Centre, http://tr.wikipedia.org/wiki/%C5%9Eangay_D%C3%BCnya_Finans_Merkezi, 7 Ekim 2012.

[239] Katz, P. ve Robertson, L., The Shanghai World Financial Center, http://www.lera.com/files/CTBUH-SWFC-2008-Issue%20II-resized2.pdf, 4 Ekim 2012.

[240] Shanghai World Financial Centre ile ilgili bilgilerinin alındığı web sitesi, http://www.mori.co.jp/en/projects/shanghai/technologies.html, 9 Nisan 2012.

[241] Alarcon, A. ve Lakota, G., (2008). Design Challenges for the Tallest Building in Madrid, http://www.halvorsonandpartners.com/newssheets/iabse-presentation-2008-caja-madrid.pdf, 16 Nisan 2012.

[242] New Caja Madrid Headquarters ile ilgili taşıyıcı sistem bilgilerinin alındığı web sitesi, http://e-ache.com/modules/ache/ficheros/Realizaciones/Obra125.pdf, 11 Kasım 2012.

[243] Wong, R., (2008). A Construction Highlight fort he International Commerce Centre at Kowloon Station West Kowloon, http://personal.cityu.edu.hk/~bswmwong/pl/pdf/icc_full_jun_08.pdf, 30 Mayıs 2012.

[244] International Commerce Center hakkında bilgi ve fotoğrafların olduğu web sitesi, http://www.hkengineer.org.hk/program/home/articlelist.php?cat=cover&voli d=119, 8 Nisan 2012.

[245] International Commerce Center hakkında çizimlerin olduğu web sitesi, http://www.archdaily.com/250681/international-commerce-centre-kpf/icc_32-typ-office-pln/, 9 Haziran 2012.

[246] Ho, E., The Use of High Modulus Self Compacting Concrete for International Commerce Centre, http://www.devb.gov.hk/filemanager/en/content_592/3_the_use_of_high_m odulus_scc_mr_eddie_ho.pdf, 16 Mayıs 2012.

[247] Lee,S., Wang, D., Liao, Y. ve Mathias, N., (2010). Performance Based Seismic Design of a 74 Story Buckling Restrained Slender Steel Plate Shear Wall Tower, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=oGDpSIrMUqI%3D&tabid=256 6&language=en-US, 2 Ekim 2013.

[248] Sarkisian, M., Mathias, N., Wang, D., ve Lee, S., World's Tallest Steel Shear Walled Building, http://ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=e2KgCTBu8yw%3D&tabid=486&lan guage=en-US/, 2 Ekim 2013.

[249] Yaohui, Y., Junfeng, G. Ve Jing W., (2012). Tianjin Jinta Tower, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=QTfI47vOpSc%3D&tabid=401 6&language=en-US, 28 Mayıs 2013.

[250] Malmsten, B., (2009). Russia Rising, http://www.modernsteel.com/Uploads/Issues/July_2009/072009_russia_web.pdf, 18 Temmuz 2012.

[251] Thornton Tomasetti Engineering resmi web sitesi, Federation Tower Complex, http://www.thorntontomasetti.com/projects/federation_tower, 5 Şubat 2012.

[252] Federation Tower hakkında çizimlerin alındığı web sitesi, http://www.skyscraperlife.com/construction-updates/40-complex-federation-f93-f63.html, 10 Mart 2012.

[253] Federation Tower hakkında inşaat fotoğraflarının alındığı web sitesi, http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=320686&page=168, 3 Mayıs 2012.

[254] Federation Tower hakkında inşaat fotoğraflarının alındığı web sitesi, http://fotki.yandex.ru/users/loengrin53/view/510907/?page=23, 2 Mayıs 2012.

[255] Shanghai Tower ile ilgili inşaat fotoğraflarının olduğu web sitesi, http://www.gensleron.com/cities/2011/5/25/construction-update-shanghai-tower.html, 29 Mayıs 2012.

[256] Shanghai Tower ile ilgili inşaat fotoğraflarının olduğu web sitesi, http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=391698&page=276, 29 Mayıs 2012.

[257] Gensler resmi web sitesi, Shanghai Tower, http://www.gensler.com/uploads/documents/Shanghai_Tower_12_22_2010.pdf, 20 Mayıs 2012.

[258] Thornton Tomasetti Engineering resmi web sitesi, Shanghai Tower, http://www.thorntontomasetti.com/projects/shanghai_tower, 3 Mayıs 2012.

[259] Poon, D., Hsiao, L, Yi, Z., Zuo, S., Pacitto, S., Gottlebe, T., Liang, J., (2011). "Finite Element Analyses of Super Composite Column and Its Connections For Ping An International Finance Center Tower", Structures Congress, 2011, New York.

[260] Ping An Tower ile ilgili çizimlerin bulunduğu web sitesi, http://forum.skyscraperpage.com/showthread.php?t=167095&page=8, 11 Şubat 2012.

[261] Ping An Tower ile ilgili çizimlerin ve teknik bilgilerin bulunduğu web sitesi, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=UssAbhLOXPQ%3D&tabid=3963&language=en-US, 12 Şubat 2013.

[262] Swiss Re Tower ile ilgili detay fotoğrafının olduğu web sitesi, http://www.superstock.com/preview.asp?image=1801-37840&imagex=45&id=11911202&productType=3&pageStart=0&pageEnd=100&pixperpage=100&hitCount=513&filterForCat=&filterForFotog=, 4 Ocak 2012.

[263] McCain, L., (2012). Diagrid: Structural Efficiency and Increasing Popularity, http://www.dsg.fgg.uni-lj.si/dubaj2009/images/stories/Diagrid%20tehnologija.pdf, 17 Mart 2012.

[264] Swiss Re Tower ile ilgili inşaat fotoğraflarının ve teknik bilgilerin olduğu web sitesi, http://www.epab.bme.hu/oktatas/2009-2010-2/v-CA-B-Ms/FreeForm/Examples/SwissRe.pdf, 3 Mayıs 2012.

[265] Swiss Re Tower ile ilgili inşaat fotoğraflarının alındığı web sitesi, http://www.30stmaryaxe.co.uk/photo_construction.html, 9 Ekim 2013.

[266] Swiss Re Tower ile ilgili teknik bilgilerin olduğu web sitesi, http://www.greendesignetc.net/Buildings_09/Building_Shen_Yuming_paper.pdf, 10 Mart 2012.

[267] Swiss Re Tower ile ilgili teknik bilgilerin olduğu web sitesi, http://s3images.coroflot.com/user_files/individual_files/349929_YyNd9kjtpfHSb58xFtaCsDJ3S.pdf, 16 Mart 2012.

[268] Rahimian, A. ve Elion, Y., New York's Hearst Tower, http://www.structuremag.org/archives/2006-2/f-hearst-tower-feb-06.pdf, 27 Ağustos 2012.

[269] Hearst Tower hakkında bilgi ve inşaat fotoğraflarının alındığı web sitesi, http://www.siny.org/media/projects/ht.pdf, 20 Aralık 2011.

[270] Hearst Tower hakkında çizimlerin olduğu web sitesi, http://www.architectureweek.com/cgi-bin/awimage?dir=2007/0613&article=design_3-3.html&image=13491_image_7.jpg, 25 Aralık 2011.

[271] Hearst Tower hakkında bilgi ve inşaat fotoğraflarının alındığı web sitesi, http://www.sbi.se/uploaded/filarkiv/6_Mark_OConnor_Tall%20Buildings.pdf, 20 Ağustos 2011.

[272] Cocoon Tower hakkında detay birleşim fotoğrafının alındığı web sitesi, http://shotsharing.com/file/959276286/The-second-floor-lobby,Mode-Gakuen-Cocoon-Tower,-Tokyo, 11 Nisan 2012.

[273] Tange, P. N., ve Minami, M., Case Study: Mode Gakuen Cocoon Tower, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=c2hAbvHAGUQ%3D&tabid=71&language=en-US, 9 Ocak 2012.

[274] Cocoon Tower hakkında taşıyıcı sistem bilgilerinin alındığı web sitesi, http://www.epab.bme.hu/oktatas/2009-2010-2/v-CA-B-Ms/FreeForm/Examples/Cocoon.pdf, 17 Ekim 2012.

[275] Cocoon Tower hakkında detay birleşim fotoğrafının alındığı web sitesi, http://www.superstock.com/stock-photos-images/1801-45243, 26 Nisan 2012.

[276] Leaning Tower ile ilgili inşaat fotoğrafının bulunduğu web sitesi, http://www.e-

architect.co.uk/images/jpgs/dubai/capital_gate_rmjm140109_2.jpg, 23 Ekim 2012.

[277] Leaning Tower ile ilgili taşıyıcı sistem ve inşaat fotoğraflarının alındığı fotoğraflar, http://www.ctbuh.org/TallBuildings/FeaturedTallBuildings/CapitalGateTowerAbuDhabi/tabid/3380/language/en-GB/Default.aspx, 7 Şubat 2012.

[278] Gibbons, C., Hong Kong's Megatowers, http://aiahk.org/image/2006conf/pdf/presentation/KS_HK5Gibbons.pdf, 1 Mart 2012.

[279] Council on Tall Buildings and Urban Habitat resmi web sitesi, Best Tall Building- Asia and Australasia Region Guangzhou International Finance Center- Guangzhou Towards an Elegant Simplicity, http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=0yVhMdRoNiE%3D&tabid=2862&language=en-GB, 2 Ocak 2012.

[280] Guangzhou Tower hakkında inşaat fotoğraflarının alındığı web sitesi, http://personal.cityu.edu.hk/~bswmwong/contents/resources/highirise_structure_in_st_steel.pdf, 23 Aralık 2012.

[281] Leadenhall Tower hakkında inşaat fotoğraflarının olduğu web sitesi, http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=415718&page=396, 26 Ağustos 2012.

[282] Leadenhall Tower taşıyıcı sistemi ile ilgili bilgilerin olduğu web sitesi, http://www.tekla.com/international/solutions/building-construction/Documents/Tekla-global-BIM-awards-2011/bim-Leadenhall.html, 1 Ağustos 2012.

[283] Leadenhall Tower hakkında inşaat fotoğraflarının olduğu web sitesi, http://www.flickr.com/photos/welovephotos/7685571566/sizes/k/in/photostream/, 7 Mayıs 2012.

[284] Leadenhall Tower hakkında inşaat fotoğraflarının ve taşıyıcı sistem bilgilerinin olduğu web sitesi, http://www.e-architect.co.uk/london/122_leadenhall_street.htm, 6 Temmuz 2012.

[285] Leadenhall Tower hakkında inşaat fotoğraflarının olduğu web sitesi, http://www.flickr.com/photos/lumberjack_london/6877333154/sizes/o/in/photostream/, 12 Temmuz 2012.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Neşe ATASOY
Doğum Tarihi ve Yeri	:10.05.1985/Bulgaristan
Yabancı Dili	:İngilizce, Bulgarca
E-posta	:nese-atasoy@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Mimarlık	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lisans	Mimarlık	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Fen	Sağmalcılar Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2013- Halen	Keten İnşaat	Mimar
2010-2011	Bika İnşaat	Saha mimarı
2008-2010	Akropol Mimarlık	Mimar