

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK BİNALARIN TAŞIYICI
SİSTEMLERİNİN MİMARİ FORM VE YAPISAL
DAVRANIŞ AÇISINDAN İNCELENMESİ



Eralp KAYA

Temmuz, 2021
İZMİR

YÜKSEK BİNALARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN MİMARİ FORM VE YAPISAL DAVRANIŞ AÇISINDAN İNCELENMESİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı**

Eralp KAYA

Temmuz, 2021

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ERALP KAYA, tarafından **DOÇ.DR. TANER UÇAR** yönetiminde hazırlanan **“YÜKSEK BİNALARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN MİMARİ FORM VE YAPISAL DAVRANIŞ AÇISINDAN İNCELENMESİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Taner UÇAR

Yönetici

Doç.Dr. Onur MERTER

Jüri Üyesi

Doç.Dr. A. Vefa ORHON

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tezimin her aşamasında çalışmalarımı özenle takip ederek bana olan yardımını asla esirgemeyen, değerli bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaşan, gece gündüz her zaman en kısa sürede yardımcı olabilmek için her şeyi yapan kıymetli danışman hocam Sn. Doç.Dr. Taner UÇAR’a tüm katkılarından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisansımın ders aşamasında ve sonrasında yardımlarını esirgemeyen Sn. Doç.Dr. Ahmet Vefa ORHON’a ve bilgi birikimime büyük katkı sağlayan, akademik hayatımı şekillendirmeme yardımcı olan ve destekleyen tüm DEÜ Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı hocalarıma teşekkürü bir borç bilir, sevgilerimi sunarım.

Eralp KAYA

YÜKSEK BİNALARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN MİMARİ FORM VE YAPISAL DAVRANIŞ AÇISINDAN İNCELENMESİ

ÖZ

Çalışmada yüksek binaların mimari form ve taşıyıcı sistem ilişkisinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle yüksek binalar için yükseklik sınırları incelenmiştir. Dünyanın ve Türkiye'nin en yüksek yüz binasının kullanım amacı, yapım yılı, kat sayısı ve yükseklikleri araştırılarak bu parametrelerin istatistiksel analizi yapılmıştır. Türkiye'deki ortalama yükseklik, dünya ortalamasının oldukça altındadır. Yüksek binalarda kullanılan taşıyıcı sistemler ağırlıklı olarak yapısal açıdan incelenmiş ve incelenen taşıyıcı sistemler kullanılarak inşa edilmiş yüksek binalardan örnekler verilmiştir. Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin aerodinamik tasarımında dikkate alınan rüzgar yükleri ve deprem yer hareketi etkisinde tasarımına yönelik özel kurallar incelenmiştir. Dünyanın en yüksek on binasının mimari formu irdelenmiş, yatay kuvvetlere karşı tasarımda alınan önlemler cephe formu ve taşıyıcı sistem açısından değerlendirilmiştir. İncelenen yüksek binaların mimari formları, çalışma kapsamında tasarlanan ve analizleri gerçekleştirilen yüksek binalar için fikir niteliğinde olmuştur. Farklı formlara sahip otuz katlı üç adet betonarme yüksek binanın deprem tasarımı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği çerçevesinde Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hesaba katılan yeterli titreşim modu sayısı ve bu modların periyotları hesaplanmış, ayrıca ilk üç moda ait mod şekilleri elde edilmiştir. Tasarlanan yüksek binaların DD-2 deprem yer hareketi etkisinde (X) ve (Y) doğrultularında taban kesme kuvveti katsayıları ve en büyük tepe yerdeğiştirmesi değerleri hesaplanarak deprem davranışları değerlendirilmiştir. Yüksek binaların mimari formunun ve bina yüksekliği boyunca kat planında yapılan değişikliklerin, binaların hem modal özelliklerini hem de depremin elastik dayanım talebi ile en büyük yatay ötelenmeleri etkilediği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Yüksek binalar, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Mod Birleştirme Yöntemi, mimari form, modal davranış, deprem tasarımı

INVESTIGATION OF STRUCTURAL SYSTEMS IN HIGH-RISE BUILDINGS IN TERMS OF ARCHITECTURAL FORM AND STRUCTURAL BEHAVIOR

ABSTRACT

In this study, the purpose is to investigate the relationship between the structural systems and architectural forms in high-rise buildings. According to that purpose, the height limit for high-rise buildings is primarily investigated. The number of stories, construction year, and function of the highest buildings in the World and Turkey are studied and statistical analyses are conducted. The average high-rise building height in Turkey is found to be quite less than that of in the World. The structural systems in high-rise buildings are mainly examined and high-rise buildings with those structural systems are presented. Wind loads used in aerodynamic design and special requirements related to seismic design of high-rise buildings are investigated. The architectural form of the highest ten buildings in the World is studied and the precautions for lateral loads are examined in terms of facade form and structural system. The architectural form of the studied high-rise buildings is an inspiration idea for the buildings that are designed and analyzed. Three reinforced concrete buildings with different architectural forms and the same height are seismically designed according to Turkey Building Earthquake Code employing Mode Superposition Method. Natural modes to be considered in analyses, periods of these modes, and the first three mode shapes are studied. Base shear force coefficients and the maximum lateral top displacements of the case study high-rise buildings subjected to DD-2 earthquake ground motion are calculated in (X) and (Y) directions. Thereby, the seismic behavior of the considered high-rise buildings is evaluated. As a result, the differences in floor plans through building height and architectural form are found to affect the modal characteristics, as well as maximum lateral displacement and earthquake elastic strength demand.

Keywords: High-rise buildings, Turkey Building Earthquake Code, Mode Superposition Method, architectural form, modal behavior, seismic design

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Literatürde Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	4
BÖLÜM İKİ – YÜKSEK BİNA TANIMLARI VE KRONOLOJİK GELİŞİM.....	10
2.1 Yüksek Binanın Tanımı.....	10
2.1.1 Dünyada Yüksek Bina Tanımları	10
2.1.2 Türkiye’de Yüksek Bina Tanımları	11
2.2 Yüksek Binaların Kronolojik Gelişimi.....	14
2.2.1 Dünyanın En Yüksek 100 Binası.....	16
2.2.2 Türkiye’nin En Yüksek 100 Binası	20
2.2.3 Dünyanın ve Türkiye’nin En Yüksek 100 Binasının Karşılaştırılması ...	24
BÖLÜM ÜÇ – YÜKSEK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN DIŞ YÜKLER ETKİSİNDE TASARIMI	25
3.1 Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Düşey Yükler.....	25
3.2 Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Yatay Yükler	26
3.2.1 Yüksek Binaların Tasarımında Kullanılan Rüzgar Yükleri	27

3.2.1.1 Rüzgar Hızı	28
3.2.1.2 Rüzgar Basıncı	32
3.2.1.3 Binalara Etkiyen Rüzgar Yükleri	36
3.2.1.4 Rüzgar Kaynaklı En Büyük İvmeler ve Yerdeğiştirmeler	41
3.2.1.5 Vorteks (Girdap) Titreşimleri	41
3.2.1.6 Rüzgar Kuyruğu Etkileri	43
3.2.1.7 Rüzgar Tüneli Deneyleri	43
3.2.2 Deprem Etkisi Altında Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı	44
3.2.2.1 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği	44
3.2.2.1.1 Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımda Esas Alınacak Deprem Yer Hareketleri	44
3.2.2.1.2 Standart Deprem Yer Hareketi Spektrumları	45
3.2.2.1.3 Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu	47
3.2.2.1.4 Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumu	48
3.2.2.1.5 Deprem Yer Hareketlerinin Zaman Tanım Alanında Tanımlanması	49
3.2.2.2 İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği	50
3.2.2.2.1 Tasarımda Esas Alınacak Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	50
3.2.2.2.2 Deprem Tasarım Spektrumları	51
3.2.2.2.3 Zaman Tanım Alanında Deprem Etkisi	53
3.3 Deprem Etkisi Altında Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar	54
3.3.1 Tasarım Aşaması I: DD-2 Deprem Yer Hareketi Altında Ön Tasarım (Boyutlandırma)	57
3.3.1.1 Tasarım Aşaması I İçin Taşıyıcı Sistem Modellemesi	58
3.3.1.2 Tasarım Aşaması I İçin Kullanılacak Yük Birleşimleri	62
3.3.2 Tasarım Aşaması II: DD-4 veya DD-3 Deprem Yer Hareketi Altında KK veya SH Performans Hedefi İçin Değerlendirme (İyileştirme)	64
3.3.3 Tasarım Aşaması III: DD-1 Deprem Yer Hareketi Altında GÖ veya KH Performans Hedefi İçin Değerlendirme (İyileştirme) – Son Tasarım	65
3.4 Özel Etkiler	65

BÖLÜM DÖRT – BETONARME VE ÇELİK YÜKSEK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ..... 67

4.1 Taşıyıcı Sistemlerin Sınıflandırılması	67
4.1.1 Çerçeve Sistemler	69
4.1.2 Perde Duvarlı Sistemler	71
4.1.3 Çerçeve ve Kafesli/Perde Duvarlı Sistemler	74
4.1.4 Çekirdek Sistemler.....	77
4.1.5 Dıştan Destek (Outrigger) Sistemler	81
4.1.6 Asma Sistemler.....	83
4.1.7 Tüp Sistemler.....	85
4.1.7.1 Çerçeve Tüp Sistemler.....	86
4.1.7.2 Kafesli Tüp Sistemler	88
4.1.7.3 Diagrid Sistemler	89
4.1.7.4 Tüp İçinde Tüp Sistemler.....	92
4.1.7.5 Modüler (Demet) Tüp Sistemler.....	93
4.1.8 Mega Rijit Katlı Sistemler	95
4.2 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) Kapsamında Tipik Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemleri	97

BÖLÜM BEŞ - YÜKSEK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN VE MİMARİ FORMLARININ DÜNYANIN EN YÜKSEK 10 BİNASI ÜZERİNDEN İNCELENMESİ 100

5.1 Giriş	100
5.2 Dünyanın En Yüksek 10 Binası	101
5.2.1 Burj Khalifa	101
5.2.1.1 Burj Khalifa Mimari Özellikler	101
5.2.1.2 Burj Khalifa Taşıyıcı Sistem Özellikleri.....	104
5.2.2 Shanghai Tower	107
5.2.2.1 Shanghai Tower Mimari Özellikler	107
5.2.2.2 Shanghai Tower Taşıyıcı Sistem Özellikleri	111

5.2.3 Makkah Royal Clock Tower.....	116
5.2.3.1 Makkah Royal Clock Tower Mimari Özellikler.....	116
5.2.3.2 Makkah Royal Clock Tower Taşıyıcı Sistem Özellikleri.....	118
5.2.4 Ping an Finance Tower	119
5.2.4.1 Ping an Finance Center Mimari Özellikler	120
5.2.4.2 Ping an Finance Center Taşıyıcı Sistem Özellikleri	123
5.2.5 Lotte World Tower	126
5.2.5.1 Lotte World Tower Mimari Özellikler	126
5.2.5.2 Lotte World Tower Taşıyıcı Sistem Özellikleri.....	128
5.2.6 One World Trade Center	130
5.2.6.1 One World Trade Center Mimari Özellikler.....	130
5.2.6.2 One World Trade Center Taşıyıcı Sistem Özellikleri.....	133
5.2.7 Guangzhou CTF Finance Center	135
5.2.7.1 Guangzhou CTF Finance Centre Mimari Özellikler	135
5.2.7.2 Guangzhou CTF Finance Centre Taşıyıcı Sistem Özellikleri.....	138
5.2.8 Tianjin CTF Finance Center	139
5.2.8.1 Tianjin CTF Finance Centre Mimari Özellikler	140
5.2.8.2 Tianjin CTF Finance Centre Taşıyıcı Sistem Özellikleri	142
5.2.9 Citic Tower	146
5.2.9.1 CITIC Tower Mimari Özellikler.....	146
5.2.9.2 CITIC Tower Taşıyıcı Sistem Özellikleri.....	148
5.2.10 Taipei 101	151
5.2.10.1 TAIPEI 101 Mimari Özellikler.....	151
5.2.10.2 TAIPEI 101 Taşıyıcı Sistem Özellikleri.....	153
5.3 Dünyanın En Yüksek 10 Binasının Taşıyıcı Sistem ve Mimari Formunun Değerlendirilmesi	155

BÖLÜM ALTI – MİMARİ FORMUN YÜKSEK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN YAPISAL KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ – SAYISAL UYGULAMALAR..... 157

6.1 Giriş	157
-----------------	-----

6.2 Tasarlanan Yüksek Binaların Mimari ve Taşıyıcı Sistem Özellikleri.....	158
6.3 Yüksek Binaların Deprem Etkisi Altında Tasarımı	162
6.3.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri ve Modelleme.....	162
6.3.2 Mod Birleştirme Yöntemi ile Doğrusal Deprem Hesabı	165
BÖLÜM YEDİ – SONUÇLAR	180
KAYNAKLAR	187



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 CTBUH yüksek bina sınıflandırmaları.....	11
Şekil 2.2 Dünyanın en yüksek 100 binasının fonksiyon grafiği.....	16
Şekil 2.3 Dünyanın en yüksek 100 binasının yapım yılı, yükseklik ve kat sayısı grafiği	17
Şekil 2.4 Türkiye'nin en yüksek 100 binasının fonksiyon grafiği.....	20
Şekil 2.5 Türkiye'nin en yüksek 100 binasının yapım yılı, yükseklik ve kat sayısı grafiği.....	21
Şekil 3.1. Çevredeki yapıların ortalama rüzgar hızı profiline etkisi.....	30
Şekil 3.2. $S_L(z, f)$ 'nin frekans ile değişimi.....	32
Şekil 3.3 $C_q(z)$ 'nin bina yüksekliği (z) ile değişimi ($C_t = 1.0$).....	34
Şekil 3.4 Dikdörtgen kesitli binalar için basınç katsayısı bölgeleri.....	35
Şekil 3.5 Dikdörtgen kesitli binalarda rüzgar yüklerinin düşey doğrultuda değişimi..	39
Şekil 3.6 Dairesel kesitli binalarda rüzgar akımı.....	40
Şekil 3.7 Vorteks yüklerinin oluşumu.....	42
Şekil 3.8 Yatay elastik tasarım ivme spektrumunun.....	48
Şekil 3.9 Ana Marmara Fayı'na uzaklıklar.....	53
Şekil 3.10 BA bağ kirişli (boşluklu) perdeler.....	60
Şekil 4.1 Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin sınıflandırması	67
Şekil 4.2 Çerçeve sistemler.....	68
Şekil 4.3 Çerçeve sistemlerin farklı plan formları.....	69
Şekil 4.4 Çaprazlı çerçeve formları.....	70
Şekil 4.5 Çerçeve sistemli ilk yüksek binalar.....	71
Şekil 4.6 Perde sistemler.....	72
Şekil 4.7 Perde duvarlı sistem çeşitleri.....	72
Şekil 4.8 Perde duvarlı sistem farklı plan formları.....	73
Şekil 4.9 Metropolitan Tower.....	74
Şekil 4.10 Ataşehir-Tekfen toplu konutları görünüm ve kat planı.....	74
Şekil 4.11 Çerçeve ve perde sistemlerin yatay yük etkisindeki davranışı.....	75
Şekil 4.12 Çerçeve ve kafesli/perde duvarlı sistemlerin plan şemaları.....	76

Şekil 4.13 One Liberty Place.....	76
Şekil 4.14 Ege Perla binaları.....	77
Şekil 4.15 Çekirdek sistemlerin farklı plan formları.....	78
Şekil 4.16 Amerikan Bankası Kulesi.....	80
Şekil 4.17 Sabancı Center kuleleri görünüş ve kat planı.....	80
Şekil 4.18 Bayraklı Tower görünüş ve kat planı.....	80
Şekil 4.19 Dıştan destek (outrigger) sistem.....	81
Şekil 4.20 Dıştan destek (outrigger) sistemde iç kuvvet dağılımı.....	82
Şekil 4.21 Taipei 101 Binası.....	82
Şekil 4.22 Taipei 101 taşıyıcı sistem modeli.....	83
Şekil 4.23 Folkart Towers binası ve dıştan destek sistemi.....	83
Şekil 4.24 BMW Yönetim Binası.....	84
Şekil 4.25 BMW Yönetim Binası'nın taşıyıcı sistem modeli.....	85
Şekil 4.26 Çerçeve tüp sistem perspektif görünüş ve şematik plan.....	86
Şekil 4.27 Çerçeve tüp sistemler plan formları.....	87
Şekil 4.28 Çerçeve tüp sistemin basınç ve gerilme dağılımı.....	87
Şekil 4.29 One Shell Plaza.....	88
Şekil 4.30 Çerçeve tüp ve kafes tüp sistemin karşılaştırılması.....	89
Şekil 4.31 John Hancock Center.....	89
Şekil 4.32 Kafes tüp ve diagrid sistemin cephedeki farkı.....	90
Şekil 4.33 60 ve 80 katlı binalarda sabit ve değişken açılı diagrid sistemler.....	91
Şekil 4.34 Swiss Re binası.....	92
Şekil 4.35 Modüler (demet) tüp sistem farklı plan formları.....	93
Şekil 4.36 İki ve dokuz modüllü tüp sistem çekme ve basınç dağılımları.....	94
Şekil 4.37 Willis (Sears) Kulesi.....	94
Şekil 4.38 Mega rijit katlı sistem yapı bileşenleri.....	95
Şekil 4.39 Shanghai Kulesi.....	96
Şekil 5.1 Burj Khalifa Binası ve esinlenilen çöl bitkisi.....	101
Şekil 5.2 Burj Khalifa vaziyet ve zemin kat planı.....	103
Şekil 5.3 Burj Khalifa kat planları.....	103
Şekil 5.4 Burj Khalifa temel sistemi.....	104
Şekil 5.5 Burj Khalifa Binası yapım aşamaları.....	105

Şekil 5.6 Burj Khalifa binası üst kısımdaki çelik konstrüksiyon.....	105
Şekil 5.7 Burj Khalifa Binası'nın rüzgar tüneli deneyleri.....	106
Şekil 5.8 Vinç Çeşitleri.....	107
Şekil 5.9 Shanghai Tower kat planları.....	109
Şekil 5.10 Shanghai Tower çift cidarlı giydirme cephe sistemi.....	110
Şekil 5.11 Shanghai Tower iç strüktürü ile çift cidarlı cephe sistemi birleşimi.....	110
Şekil 5.12 Shanghai Tower cephesi için düşeyde daralma ve yatayda dönme deney oranları	111
Şekil 5.13 Shanghai Tower temel yapım aşaması.....	111
Şekil 5.14 Shanghai Tower kat planı.....	112
Şekil 5.15 Shanghai Tower taşıyıcı sistemi.....	113
Şekil 5.16 Shanghai Tower birleşim detayları.....	113
Şekil 5.17 Shanghai Tower kütle sönümleyici.....	114
Şekil 5.18 Shanghai Tower taç tasarımı.....	114
Şekil 5.19 Shanghai Tower kalıp sistemi.....	115
Şekil 5.20 Makkah Royal Clock Tower tasarım aşamaları.....	116
Şekil 5.21 Makkah Royal Clock Tower çelik konstrüksiyon.....	118
Şekil 5.22 Makkah Royal Clock Tower üst bölüm fonksiyonları.....	119
Şekil 5.23 Ping an Finance Center plan şemaları.....	120
Şekil 5.24 Ping an Finance Center kesit şemaları.....	122
Şekil 5.25 Ping an Finance Center Kule tepesi tasarımları.....	122
Şekil 5.26 Ping an Finance Center strüktürel sistem elemanları ve birleşimi.....	123
Şekil 5.27 Ping an Finance Center mega kuşak kafes detayları.....	124
Şekil 5.28 Ping an Finance Center rüzgar tüneli deneyi.....	125
Şekil 5.29 Ping an Finance Center yapım aşamaları.....	125
Şekil 5.30 Lotte World Tower kat planları.....	128
Şekil 5.31 Lotte World Tower kesit ve görünüş.....	128
Şekil 5.32 Lotte World Tower taşıyıcı sistemi.....	129
Şekil 5.33 Lotte World Tower temel planı ve yapımı.....	130
Şekil 5.34 One World Trade Center kat planları.....	131
Şekil 5.35 One World Trade Center anten tasarımı.....	133
Şekil 5.36 One World Trade Center yapım aşaması.....	134

Şekil 5.37 One World Trade Center taşıyıcı sistem modeli ve görünüşleri.....	134
Şekil 5.38 One World Trade Center döşeme sistemi.....	135
Şekil 5.39 Gaunzhou CTF Finance Centre vaziyet planı.....	136
Şekil 5.40 Guanzhou CTF Finance Centre şematik kat planları ve kesiti.....	138
Şekil 5.41 Guanzhou CTF Finance Centre temel yapım aşaması.....	139
Şekil 5.42 Guanzhou CTF Finance Centre taşıyıcı sistemi.....	139
Şekil 5.43 Tianjin CTF Finance Centre şematik kat planları ve kesiti.....	142
Şekil 5.44 Tianjin CTF Finance Centre merkezi çekirdeğin 3D modeli.....	143
Şekil 5.45 Tianjin CTF Finance Centre taşıyıcı sistemi.....	144
Şekil 5.46 Tianjin CTF Finance Centre rüzgar tüneli deneyi ve tasarım yaklaşımları	145
Şekil 5.47 Tianjin CTF Finance Centre yapım aşamaları.....	145
Şekil 5.48 CITIC Tower tasarımı ve “Zun” şekli.....	146
Şekil 5.49 CITIC Tower Kesit, zemin kat ve son kat plan şeması.....	148
Şekil 5.50 CITIC Tower Binası’nın kolon ve perde duvar elemanlarının şematik planı	149
Şekil 5.51 CITIC Tower taşıyıcı sistem elemanları.....	150
Şekil 5.52 CITIC Tower rüzgar testi deneyleri.....	150
Şekil 5.53 Taipei 101 şematik kat planı ve kesiti.....	151
Şekil 5.54 Taipei 101 Taşıyıcı sistemi.....	153
Şekil 5.55 Taipei 101 kütle sönümleyici ve rüzgar testi.....	154
Şekil 6.1 YB-1’in kat planı ve YB-2 ilk 15. kat planı.....	159
Şekil 6.2 YB-2 binasının 16.–22. kat planı.....	160
Şekil 6.3 YB-2 binasının 23.–30. kat planı.....	161
Şekil 6.4 YB-3 binasını kat planı.....	161
Şekil 6.5 Farklı deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım spektrumları	163
Şekil 6.6 YB-1’in ilk üç mod şekli.....	168
Şekil 6.7 YB-2’in ilk üç mod şekli.....	169
Şekil 6.8 YB-3’ün ilk üç mod şekli.....	170
Şekil 6.9 Örnek binaların 15. seviyesinde ilk üç mod şekli.....	171
Şekil 6.10 Örnek binaların 16. kat seviyesinde ilk üç mod şekli.....	172

Şekil 6.11 Örnek binaların 22. kat seviyesinde ilk üç mod şekli.....	173
Şekil 6.12 Örnek binaların 23. kat seviyesinde ilk üç mod şekli.....	174
Şekil 6.13 Örnek binaların 30. kat seviyesinde ilk üç mod şekli.....	175
Şekil 6.14 Tasarlanan yüksek binaların üç boyutlu görüntüsü.....	176



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Bina kullanım sınıfları.....	13
Tablo 2.2 Bina kullanım sınıflarına ve S_{DS} 'ye göre deprem tasarım sınıfları.....	13
Tablo 2.3 Deprem tasarım sınıflarına göre bina yükseklik sınıfları.....	14
Tablo 2.4 Dünyanın en yüksek 100 binası.....	18
Tablo 2.5 Türkiye'nin en yüksek 100 binası.....	22
Tablo 3.1. z_0 ve z_{min} uzunlukları.....	29
Tablo 3.2 Dikdörtgen kesitli binalar için $C_{p,1}$ ve $C_{p,10}$ katsayıları.....	35
Tablo 3.3 Dairesel kesitli binalarda basınç dağılımını kontrol eden parametreler.....	41
Tablo 3.4 Strouhal sayısının kesitin derinlik/genişlik (d/b) oranına göre değişimi.....	42
Tablo 3.5 F_S yerel zemin etki katsayıları.....	46
Tablo 3.6 F_1 yerel zemin etki katsayıları.....	47
Tablo 3.7 Kısa periyot ve 1,0 saniye periyot için zemin katsayısı.....	52
Tablo 3.8 Deprem tasarım sınıfları (DTS).....	55
Tablo 3.9 Bina kullanım sınıfları (BKS) ve bina önem katsayıları (I).....	55
Tablo 3.10 Yüksek süneklik düzeyine sahip yüksek bina taşıyıcı sistemleri ve simgeleri.....	56
Tablo 3.11 Süneklik düzeyi karma yüksek bina taşıyıcı sistemleri ve simgeleri.....	57
Tablo 3.12 BA taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları.....	59
Tablo 3.13 Hareketli yük kütle katılım katsayısı.....	61
Tablo 3.14 Yüksek binalar için performans hedefleri ve uygulanacak tasarım/değerlendirme yaklaşımları.....	64
Tablo 5.1 Burj Khalifa bilgileri.....	102
Tablo 5.2 Shanghai Tower bilgileri.....	108
Tablo 5.3 Makkah Royal Clock Tower bilgileri.....	117
Tablo 5.4 Ping an Finance Center bilgileri.....	121
Tablo 5.5 Lotte World Tower bilgileri.....	127
Tablo 5.6 One World Trade Center bilgileri.....	132
Tablo 5.7 Guanzhou CTF Finance Centre bilgileri.....	137
Tablo 5.8 Tianjin CTF Finance Centre bilgileri.....	141
Tablo 5.9 CITIC Tower bilgileri.....	147

Tablo 5.10 TAIPEI 101 bilgileri.....	152
Tablo 6.1 Deprem yer hareketi düzeylerine ve yatay elastik tasarım spektrumlarına ait veriler	163
Tablo 6.2 DTS = 1 ve BYS = 1 için performans hedefleri ve tasarım/değerlendirme yaklaşımları	164
Tablo 6.3 BA taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları.....	165
Tablo 6.4 Hesaba katılan yeterli titreşim modu sayısı.....	166
Tablo 6.5 Hesaba katılan yeterli titreşim modlarına ait periyotlar (s).....	167
Tablo 6.6 Tasarım depremi etkisinde hesaplanan taban kesme kuvvetleri ve katsayıları	178
Tablo 6.7 İlk üç mod için tasarım depremi etkisinde hesaplanan taban kesme kuvvetleri ve katsayıları	178
Tablo 6.8 En büyük tepe yatay yerdeğiştirmesi değerleri (m).....	179

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

İnsanlığın temel gereksinimlerinden biri olan barınma ihtiyacı ilk insanlık tarihinden beri bulunmaktadır. İnsanlar daha sonraları binaları sadece barınmak amaçlı değil; ibadet amaçlı, savunma amaçlı, ölen kral ya da dönemin önemli insanlara anıt amaçlı da kullanmışlardır. Bu durum binaların sadece yatayda genişlemesine değil aynı zamanda düşeyde de yükselmesine yol açmıştır. Yapılan büyük ve yüksek dini binalar tanrının kudretini, yüksek surlar ve kaleler savunmanın güçlü olduğunu, büyük ve yüksek anıtlar ve mezarlar yapıldığı kişinin büyüklüğünü ve kudretini göstermiştir.

19. yüzyılda dayanımı yüksek yeni yapı malzemelerinin bulunması ile binaların daha yüksek yapılabilme ihtimali ortaya çıkmıştır. Binaların yatayda genişlemesi yerine düşeyde yükselmesinin başlıca sebeplerinden birisi artan şehir popülasyonlarında arsa değerlerinin çok yükselmesi ve yeterli arazinin bulunmamasıdır. Teknolojinin gelişmesi, yapısal analiz ve tasarım yöntemlerinin gelişmesi, asansörün ve klimanın bulunması ile birlikte yüksek binaların sayısı giderek artmıştır. Yapısal tasarımında rüzgar ve deprem yüklerinin en etkili faktör olduğu bu yüksek binalar, hızlı yapım yöntemleri, yüksek yatay rijitliğe ve sünekliğe sahip taşıyıcı sistemleri ve teknolojik donanımları ile günümüzde ülkeler tarafından ekonomik ve teknolojik güç gösterimi açısından önemli binalar olarak kabul edilmektedir.

Çevresindeki binalara göre daha yüksek ve daha teknolojik donanım içeren yüksek binaların dikkat çekici ve gösterişli imajı, bu bina türünün ülkelerin prestij simgesini haline gelmesine neden olmuştur. Ülkeler daha yüksek ve gösterişli binalar yapabilmek amacıyla mimarlık ve yapı mühendisliği alanındaki çalışmalarının bir kısmını yüksek binaların taşıyıcı sistemlerinin tasarımının araştırılması ve geliştirilmesi üzerine yoğunlaştırmıştır.

Yüksek bina tanımı ve bu tür binalara ait yükseklik sınırlandırması oldukça göreceli kavramlardır ve yapıldığı döneme göre de değişmektedir. Genel olarak 2000’li yıllardan önce 50 m ve üzeri yüksekliğe sahip binalar “yüksek bina”, 100 m ya da 150 m’den yüksek binalar ise “gökdelen” olarak kabul edilirken, bu yükseklik değerleri günümüz için ortalamanın oldukça altında kalmıştır. Ülkeler arasında farklılık gösteren yüksek bina sınıflandırmaları ülkemizde de yönetmelikler arasında bile farklılık göstermektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne (TBDY, 2018) göre yüksek binalar deprem tasarım sınıfına göre sınıflandırılmıştır. Bu durum yüksek binaların yükseklik sınıflandırmasının yapıldığı bölgenin deprem tehlikesine göre değişkenlik gösterdiğini belirtmektedir.

Binalarda yükseklik arttıkça taşıyıcı sistemi, teknolojik detaylar ve tesisat detayları daha karmaşık hale gelmektedir. Bu tür binaların taşıyıcı sistemlerinin deprem etkisinde tasarımında genel olarak dinamik tabanlı yapısal analizler ve özel tasarım metotları kullanılmaktadır. Ülkeler daha yüksek ve daha prestijli binalar yapabilmek adına yeni yapı malzemeleri ile birlikte yukarıdaki metotları kullanarak yüksek binalara ait yeni taşıyıcı sistemler geliştirmişlerdir. İlerleyen yıllarda da yüksek binaların hem mimari hem de yapısal tasarımına yönelik farklı yapım yöntemlerinin, teknolojik yapı malzemelerin ve yeni taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesi olasıdır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın amacı insanlık tarihinden bu yana yapılan yüksek binaların yapılış amaçlarını ve yöntemlerini araştırmak, bu tür binaların taşıyıcı sistemlerini incelemek, gelişen teknoloji ile yapılan yenilikleri irdelemek, yüksek binaların mimari formu ile yapısal davranışları arasındaki ilişkiyi tasarlanan yüksek binalar üzerinden elde edilen analiz sonuçlarına bağlı olarak değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda yapılan araştırmaların ve çalışmaların detaylarını ve sonuçlarını kapsayan bu tez çalışması yedi ana bölümden oluşmaktadır.

İlk bölümünde konu ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamda özellikle 2000 yılından sonra basılan yayınlar incelenmiş, böylece literatür taramasının güncel veriler içermesine özen gösterilmiştir.

İkinci bölümde öncelikle dünyada ve Türkiye’de farklı yönetmelik ve güncel yayınlarda yer alan “yüksek bina tanımı” araştırılarak, bu tür binalara ait yükseklik sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Dünyanın ve Türkiye’nin en yüksek 100 binasının yapım yılı, kat sayısı ve yükseklik ilişkileri değerlendirilmiştir. Yüksek binaların kronolojik gelişimi incelenmiş ve dünyada yapımı tamamlanmış en yüksek 100 binanın mimari fonksiyon, yapım yılı, yükseklik ve kat sayısı gibi parametrelerinin istatistiksel analizleri yapılmıştır. Aynı araştırma Türkiye’nin en yüksek 100 bina için gerçekleştirilerek dünyanın ve Türkiye’nin en yüksek 100 binası yukarıda adı geçen parametreler cinsinden karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin dış yükler etkisinde yapısal tasarımı incelenmiştir. Taşıyıcı sisteme etkileyen düşey yükler ve özel etkiler kısaca açıklanmış, yüksek binaların aerodinamik tasarımı ile deprem etkisi altında tasarımına ise oldukça detaylı bir biçimde verilmiştir. Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin rüzgara karşı tasarımında kullanılacak minimum rüzgar yüklerine ilişkin genel hükümler İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği (İYBRY, 2009) kapsamında incelenmiş ve farklı mimari formlara sahip yüksek binalara etkileyen rüzgar yüklerinin analitik hesabı açıklanarak vorteks titreşimleri, rüzgar kuyruğu etkileri ve rüzgar tüneli deneyi gibi özel durumlara da değinilmiştir. Deprem etkisi altında yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımına yönelik uygulanacak kurallar ise TBDY (2018) ve İYBDY (2008) kapsamında değerlendirilmiştir. Tasarımında esas alınacak deprem yer hareketleri ve bunlara ait standart ivme spektrumları ayrı ayrı incelenmiş ve yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkisi altında tasarımı yönelik özel kurallar açıklanmıştır. Bu bölümde son olarak farklı tasarım aşamaları için yüksek bina taşıyıcı sisteminin modellenmesi ve öngörülen performans hedefleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde betonarme (BA) ve çelik yüksek bina taşıyıcı sistemleri incelenmiştir. Bu taşıyıcı sistemlerin özellikle yapısal özellikleri ve yatay yükler etkisinde davranışları ön plana çıkartılmıştır. İncelenen taşıyıcı sistemler kullanılarak inşa edilmiş yüksek binalardan örnekler verilmiştir.

Beşinci bölümde yüksek bina taşıyıcı sistemleri ve kullanılan mimari formlar dünyanın en yüksek 10 binası özelinde incelenmiştir. Bu binaların mimari form ile taşıyıcı sistem ilişkisi irdelenmiş, yatay kuvvetlere karşı alınan önlemler cephe formu ve taşıyıcı sistem açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca binaların yapım aşamalarına ait detaylar ve çeşitli görseller sunulmuştur. Bu bölümde incelenen mimari formlar bir sonraki bölümde tasarlanan yüksek binalar için fikir niteliğinde olmuştur.

Çalışmanın altıncı bölümde, bir önceki bölümde incelenen binaların formları temel alınarak farklı mimari formlara ve kat planlarına sahip üç adet BA yüksek bina tasarlanmıştır. Bu binaların taşıyıcı sistemlerinin deprem tasarımı TBDY (2018) kuralları çerçevesinde Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hesaba katılan yeterli titreşim modu sayısı ve bu modların periyotları hesaplanmış, ayrıca ilk üç moda ait mod şekilleri farklı kat seviyeleri (kat planında değişimlerin yapıldığı katlar) için çizilmiştir. Böylece yüksek binaların mimari form ve kat planı değişiminin binaların doğal serbest titreşim mod şekillerine ve modal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca incelenen yüksek binaların DD-2 deprem yer hareketi etkisinde (X) ve (Y) doğrultularında taban kesme kuvveti katsayıları ve en büyük tepe yerdeğiştirmesi değerleri hesaplanarak deprem davranışları değerlendirilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde ise tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen araştırmaların ve analizlerin sonuçlarına bağlı değerlendirmeler yapılmıştır.

1.2 Literatürde Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Köksoy (2001) tarihsel gelişim açısından yüksek binaların taşıyıcı sistemlerini, teknolojik gelişimlerini ve bu tür binalara etkileyen dış yükleri araştırmıştır. Taşıyıcı sistem sınıflandırmaları yapılmış ve taşıyıcı sistem elemanları incelenmiştir.

Giydirme cephelerin tanımları ve tarihsel gelişimi değerlendirilmiş, sınıflandırmaları yapılarak açıklanmıştır. Giydirme cephe sistem tasarımında strüktürel düzenlemelere değinilmiş ve dış duvarların detaylandırılması açıklanmıştır. Sekiz adet binanın mimari özellikleri açıklanmış taşıyıcı ve giydirme cephe sistemleri incelenmiştir.

Yüksek binaların tanımları yapılmış, ortaya çıkış nedenleri ve tarihsel gelişimi irdelenmiştir. Yüksek binaların şehir planlamasındaki yerine değinilmiş ve mimari tasarım kriterleri incelenmiştir. Binalarda düşey sirkülasyon, tesisat, cephe, güvenlik sistemleri detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Taşıyıcı sisteme etkileyen yükler ve sistemde kullanılan malzemelerden bahsedilmiş ve taşıyıcı sistemlerin sınıflandırmaları yapılmış, döşeme ve temel sistemleri ile birlikte incelenmiştir (Bal, 2003).

Çok katlı yüksek yapı tanımları yapılmış, gelişim süreçleri 19. yy ve 20. yy tarihlerinde incelenmiştir ve ortaya çıkma nedenleri sosyal nedenler ve teknik gelişmeler başlıkları altında değerlendirilmiştir. Proje alanının doğal verilere, ekonomik verilere, yasal gerekliliklere, servis ağlarına göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Yüksek binaların fonksiyonları, formları ve plan geometrileri irdelenmiştir. Taşıyıcı sistemlerin sınıflandırmaları farklı kategoriler altında yapılmıştır. Sirkülasyon sistemleri incelenmiş, yasal sınırlamalara değinilmiştir. Giydirme cephelerin elemanları ve performans kriterleri açıklanmış, sistem çeşitleri irdelenmiştir. Dünyadan ve Türkiye’den beşer adet bina karşılaştırılmıştır (Kırkan, 2005).

Yüksek binaların dünyada ve Türkiye’de tarihsel gelişimi irdelenmiş, gelişime katkıda bulunan etkenler yüksek dayanımlı beton ve çelik üretimi, yeni tasarım kavramları, teknoloji ve yöntemler, BA yapıdaki gelişmeler, ekonomik gelişmeler, sosyal ve kültürel nedenler başlıkları altında açıklanmıştır. Şehir planlaması, taşıyıcı sistem tasarımı ve yapıya etkileyen yükler irdelenmiştir. Taşıyıcı sistem elemanları açıklanmış ve BA yüksek yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemlerin sınıflandırması yapılmıştır. Depreme dayanıklı BA yapılarda planda ve düşeyde düzensizliklerden bahsedilmiş, spektral ivme katsayısı ve hesaplamaları açıklanmıştır. BA bir yapıda

iki farklı sistem için ön boyutlandırma yapılmış ve SAP2000 programında modellenerek analizler gerçekleştirilmiştir (Işık, 2008).

Yüksek yapıların ortaya çıkış nedenleri, yüksek yapı kavramı, kültür, kent yerleşimi, çevre, nüfus, küreselleşme, sosyal ve kültürel değişim, yatay ve dikey gelişim, prestij, rekabet ve estetik başlıkları altında değerlendirilmiştir. Yüksek yapı tanımları yapılmış ve yüksek yapıların tarihsel gelişimi Amerika, Avrupa, Uzakdoğu ve Türkiye'deki örnekleri ile incelenmiştir. Yüksek yapıların çözümlenmesi fonksiyon, konstrüksiyon, form, estetik kavramları açısından değerlendirilmiştir. Estetik kavramına değinilmiş, tipolojik olarak yüksek yapılar incelenmiştir (Toprakal, 2008).

Tarihsel süreçte yapılan yüksek binalar ve yapılma nedenleri açıklanmıştır. Yüksek yapı tasarımında dikkate alınması gereken etkenlere değinilmiştir. BA, çelik ve kompozit malzeme ile yapılan yüksek yapılar irdelenmiştir. Yüksek yapılarda kullanılan taşıyıcı sistem tipleri incelenmiş, 21 adet bina malzeme, taşıyıcı sistem, fonksiyon, yükseklik, kat sayısı ve yapım yılı olarak karşılaştırılmıştır (Koç ve diğer., 2009).

Yüksek yapılarda taşıyıcısı sistemlerin tarihsel gelişimi incelenmiş, tipleri ve bunların kısıtları irdelenmiştir. Tarihsel dönemler 1880-1900, 1900-1950, 1950-1970 ve 1970 sonrası dönemler olarak ayrılmış ve bu dönemlerde cephelerde oluşan etkiler irdelenmiştir. Dönemsel olarak bina formlarının etkileri, dikey etki, yatay etki, mekanik görüntü olarak belirtilmiş ve örnekleri verilen binaların dönemsel etkileri form ve kullanılan malzemeler açısından yorumlanmıştır (Harmankaya ve Soyluk, 2010).

Yüksek yapı kavramının ortaya çıkma nedenleri ve tasarım yaklaşımlarına incelenmiş, sürdürülebilirlik ve taşıyıcı sistem tasarımlarına değinilmiştir. Taşıyıcı sistem malzemeleri ve çeşitleri örnekleri ile birlikte incelenmiştir. Yüksek yapılarda enerji yalıtım sistemleri ele alınmış, ekolojik, ekonomik, sosyal ve kültürel sürdürülebilir tasarım yaklaşımları irdelenmiştir. LEED sertifikalı yüksek yapıların

tasarım ölçütleri örnek binalar verilerek açıklanmış ve yöntem ve bulgular tartışılmıştır (Yavaşbatmaz, 2012).

Yüksek yapı tanımından, malzeme ve yükseklik açısından tarihsel gelişiminden, dönemsel olarak teknolojik gelişmelerin etkilerinden bahsedilmiştir. Kıtalara, yıllara ve malzeme ve işlevlerine göre en yüksek 100 yapıya değinilmiş, taşıyıcı sistem dağılımları irdelenmiştir. Taşıyıcı sistem sınıflandırmaları yapılmış, yapıya etkien yüklere değinilmiştir. Dünyada yapılmış 10 adet binanın taşıyıcı sistem çözümlemeleri, mimari tasarım ilişkisi incelenmiştir (Balcı, 2013).

Yüksek yapı tanımı yapılmış, yükseklik ölçme kriterlerine değinilmiş tarihsel gelişim dönemsel olarak ele alınmıştır. Taşıyıcı sistem sınıflandırılması yapılmış, sistemler örnekleri ile irdelenmiştir. Dünyanın, yapımı devam eden ve yapımı tamamlanmış en yüksek 20 yapısı taşıyıcı sistem açısından incelenmiştir. Dünyadaki yüksek yapıların taşıyıcı sistem tasarımıındaki değişimlerin yapıldıkları bölgeye, yapı fonksiyonuna ve taşıyıcı sistem malzemesine göre değıştiğı görülmüştür (Çırpı, 2013).

Yüksek yapı tanımları Yüksek Binalar ve Kentsel Yaşamlar Konseyi (CTBUH) verilerine göre yapılmış, yüksek yapılara geçiş evresinde gelişen teknolojiden bahsedilmiş, yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinin gelişimi irdelenmiştir. Türkiye'deki yüksek yapılar dönemsel olarak tasarım yaklaşımları ile ele alınmış, gelecekte yapılması beklenen yüksek yapı tasarımları incelenmiştir. Yüksek yapılara etki eden faktörler ile güncel yapılarda kullanılan taşıyıcı sistem detayları ile irdelenmiş, örnekler üzerinden açıklanmıştır (Atasoy, 2014).

Yapıldığı döneme göre yüksek yapılar incelenmiş tanımlamalar çevreye göre, mesleklere göre, malzeme ve teknolojiye göre, Yüksek Binalar ve Kentsel Yaşamlar Konseyi'ne göre yapılmış ve ülkelere göre yönetmeliklerde yer alan yüksek yapı tanımına girme sınırları açıklanmıştır. Yüksek yapılarda yapım sorunlarına değinilmiş ve uygulanan cephe sistemleri irdelenmiştir. Şantiye organizasyonu, yapım aşamaları ve kullanılan sistemler açıklanmıştır. Dünyadan ve Türkiye'den

binalar mimari ve taşıyıcı sistem özellikleri ile yapım aşamaları açısından irdelenmiştir (Gülakan, 2014).

Teknoloji teriminin çıkış noktası ve tanımlaması yapılmış, araştırma geliştirme (AR-GE) çalışmalarından ve öneminden bahsedilmiştir. İnovasyon teriminin kökeni, özellikleri ve nedenlerine değinilmiş, türleri açıklanmıştır. Yüksek yapı tanımlamaları yapılmış, Yapı sektöründeki inovatif yaklaşımlar değerlendirilmiştir. Yüksek yapılardan dünyada ve ülkemizde yapılmış toplam 12 adet bina yapı inovasyonu, mimari tasarım, taşıyıcı sistem çözümü ve uygulama, cephe sistemi, enerji tüketimi ve sürdürülebilirlik başlıkları altında irdelenmiştir ve sonuçları karşılaştırılmıştır (Bulut, 2016).

Çok katlı yapıların ortaya çıkma nedenleri, yapıya etkiyen yükler ve bu yüklere dayanım sağlayan taşıyıcı sistem elemanlarına değinilmiş, özellikle dıştan destek (outrigger) sistem hakkında detaylı araştırma yapılmıştır. Dıştan destek sistemlerin uygulanışı, yükler altında çalışma prensibi açıklanmıştır. Dıştan destek sistemlerin önceki çalışmaları ve sonuçları değerlendirilmiştir. Perde çerçeveli ve dıştan destek sistemli iki farklı yapı modeli oluşturulmuş, bu yapıların modal kütle katılım oranları, ötelenme seviyeleri, taşıyıcı elemanlarda oluşan kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri karşılaştırılmıştır (Calayır ve Dedeoğlu, 2017).

Yüksek binaların tanımı, tarihsel gelişimi ve taşıyıcı sistem çeşitleri incelenmiş, taşıyıcı sistem tasarımına etki eden faktörler belirtilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri incelenmiş, taşıyıcı sistem elemanlarının davranışlarına değinilmiştir. BA bir yüksek binanın TBDY-2016 (taslak) kriterlerine göre performans değerlendirmesi yapılmış ve alternatif taşıyıcı sistem çözümleri sunulmuştur (Dadaş, 2017).

Yüksek binaların tarihsel gelişim sürecine değinilmiş, taşıyıcı sistem sınıflandırmaları yapılmıştır. TBDY (2018) kapsamında yüksek bina tanımı yapılmış, deprem yer hareketi düzeyleri açıklanmış, performans hedefleri ve tasarım aşamaları belirtilmiştir. Deprem yer hareketi spektrumları ve doğrusal olmayan davranış

modelleri irdelenmiştir. Yapı elemanları ve malzeme özellikleri açıklanan 50 katlı bir bina tasarlanmış ve bu binanın seçilen noktadaki deprem parametreleri ile doğrusal olmayan analizi yapılmış sonuçları değerlendirilmiştir (Hothot, 2018).

Modern gökdelenler için anahtar gelişmeler üzerine yapılan araştırmada düşey sirkülasyon açısından en büyük gelişme olan asansörün icadından, BA ve çelik malzemelerin bulunmasından, iç mekanda oluşan aşırı ısınmaya ve havalandırmaya çözüm olarak klimanın geliştirilmesinden, inşaat süresini azaltmak için geliştirilen hızlı inşa yöntemlerinden, rüzgar ve deprem gibi yatay kuvvetlere karşı alınan önlemlerden ve acil durumlarda binada kaçış odalarının tasarlanmasından bahsedilmiştir (Ray ve Roy, 2018).

Cephe ve strüktür tanımları yüksek yapılar için yapılmış, tarihsel gelişimi dönemsel olarak irdelenmiştir, gelişim nedenleri nüfus, yeşil alan, teknoloji ve prestij açısından değerlendirilmiştir. Taşıyıcı sistemlerin sınıflandırmaları inşa edilmiş bina örnekleri ile incelenmiştir. Yüksek yapılarda cephelerin gelişimi, giydirme cephe türleri ve sistem detayları irdelenmiştir. İzmir'den beş adet yüksek binanın plan tasarımı, taşıyıcı sistemleri ve giydirme cephe sistemleri araştırılmıştır (Fidan, 2019).

Yüksek yapı kavramı ve yükseklik sınırları, ortaya çıkma nedenleri ve tasarım parametreleri açıklanmıştır. Beton, çelik ve BA malzemelerinin özellikleri açıklanmış, BA taşıyıcı sistem düzenlenmesinin önemine ve dikkat edilmesi gereken hususlara değinilmiştir. Taşıyıcı sistem tipleri açıklanmış, deprem tanımı, oluşumları ve türleri irdelenmiştir. Depremde bina formunun etkileri ve depreme dayanıklı yapı kavramı incelenmiştir. Depreme dayanıklı BA yapı tasarımında planda uyulması gereken kriterler burulma düzensizliği, döşeme süreksizlik düzensizliği, plan geometrisi düzensizliği, ortogonal olmama düzensizliği başlıkları altında incelenmiş ve mevcut bazı yüksek yapılar bu düzensizlikler kapsamında irdelenmiştir (Ulusoy, 2019).

BÖLÜM İKİ

YÜKSEK BİNA TANIMLARI VE KRONOLOJİK GELİŞİM

2.1 Yüksek Bina Tanımı

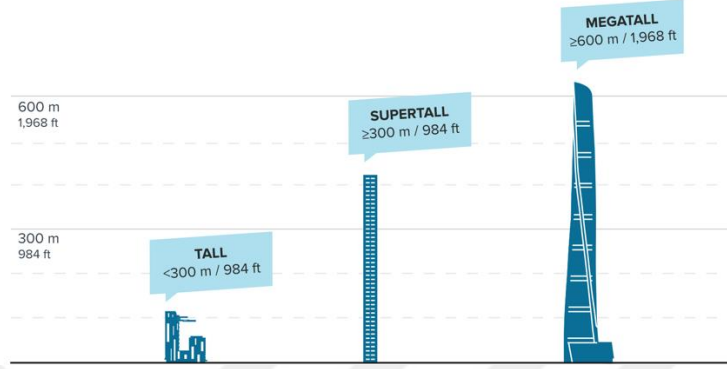
Yüksek bina tanımı için genel kabul görmüş bir sınır ya da açıklama bulunmamaktadır. Tanımlamalar yükseklik kavramının öznel olmasından dolayı yapıldığı döneme, bulunduğu ülkeye ve binanın çevredeki binalarla olan ilişkisine göre değişkenlik göstermektedir. Genellikle çevresinde bulunan binalardan daha yüksek olan ve daha üstün yapısal tasarım ve daha üstün teknoloji barındıran binalar yüksek bina olarak adlandırılmaktadır. Yapı mühendisliği açısından yüksek yapılar, yatay yükler olan rüzgar ve deprem yüklerinin düşey yüklere oranla çok daha fazla etkili olduğu yapılar olarak tanımlanmaktadır.

2.1.1 Dünyada Yüksek Bina Tanımları

Dünyada yüksek bina kavramı farklı şekillerde adlandırılmaktadır. İngilizcede yüksek binalar, yüksekliği taban alanına oranla oldukça fazla olan yapılar anlamına gelen “tall buildings” ve çevreye göre yükselen yapılar anlamına gelen “high-rise buildings” olarak adlandırılmaktadır. Almancada ise çok katlı bina anlamına gelen “hochhaus” terimi kullanılmıştır. Öte yandan yüksekliğin önemli ölçüde artması üzerine yeni tanımlar da üretilmiştir. İngilizcede “skyscraper” olarak kullanılan bu tanım gök kazıyan anlamına, Almancada “wolkenkratzer” olarak kullanılan bu tanım ise bulut kazıyan anlamına, Fransızcada “gratte ciel” olarak kullanılan bu tanım gök kazıyan anlamına gelmektedir (Toprakal, 2018). Türkiye’de önemli yüksekliğe sahip binalar için gökdelen tanımı kullanılmaktadır.

Yüksek Binalar ve Kentsel Yaşam Konseyi (CTBUH, 2020) tarafından yüksek binalar için birtakım sınıflandırmalar yapılmıştır. Bu sınıflandırmalara göre 50 m üzeri binalar yüksek bina, 300 m üzeri binalar süper yüksek bina, 600 m üzeri binalar ise mega yüksek bina olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.1). Bu sınıflandırmalarda bina yüksekliği üç farklı açıdan ele alınmaktadır. Bunlardan ilki anten ve bayrak direkleri

hariç bina tepesine kadar olan mimari taşıyıcı sistem yüksekliği, ikincisi kullanılan en yüksekteki kat yüksekliği, son olarak da binanın en üst noktasının yüksekliğidir (CTBUH, 2020).



Şekil 2.1 CTBUH yüksek bina sınıflandırmaları (CTBUH, 2020)

ASCE 7-10'da (2010), deprem tasarım sınıfları binanın risk kategorisine ve standart tasarım deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) ile 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısına (S_{D1}) bağlı olarak belirlenmekte olup genel olarak 50 m yükseklik değeri yüksek binalar için alt sınır olarak kabul edilmektedir (Kaya ve Uçar, 2019).

2.1.2 Türkiye'de Yüksek Bina Tanımları

Ülkemizde de yüksek bina ile ilgili genel bir tanım ya da sınırlama bulunmamaktadır. Yüksek bina için akademik kaynaklarda farklı tanımlamalar ve ülkelerin farklı kurumların yönetmeliklerinde değişiklikler bulunmaktadır. Ülkemizde Prof. Dr. Altan Öke'ye göre yüksek binalar dört kategoriye ayrılır:

- 1) 10-12 kata kadar olan binalar, basit taşıyıcı sistemlere sahip ve tesisat ve asansör problemleri kolaylıkla çözülebilen binalardır. İşletme aşamasında büyük sorunlar yaşanmaz ancak yine de bazı durumlarda güçlükler ve riskler ile karşılaşılabilir.
- 2) 20-25 kata kadar olan binalar, sistem ve tesisat problemleri daha büyük zorluklar içeren binalardır. Bu binalarda düşey sirkülasyon analizlerinin ve

yapının daha hafif olabilmesi için gerekli araştırmaların yapılması gerekmektedir.

- 3) 55-60 kata kadar olan binalar tamamen BA ve karma taşıyıcı sistemler kullanılarak yapılmaktadır. Bu binalarda teknik ve taşıyıcı sistemler için detaylı çalışma yapılması gerekmektedir.
- 4) 100 kata kadar olan binaların tesisat bakımından, aralarında tesisat katları olacak şekilde düşey bölümlere ayrılması gerekmektedir. Asansörler belirli katlara ulaşabilecek şekilde gruplanır ve tasarlanır. Bu asansörlerin hızları 5-6 m/sn hıza kadar yükselir.

Günümüzde 100 kattan daha fazla katlı binalar yapılabilmektedir. Ülkemizde bu yüksek binaların sınırlamalarına bakıldığında belediye, deprem ve yangın yönetmeliklerinde farklılıklar olduğu görülmektedir. Belediyelerin yönetmeliklerine bakıldığı zaman İzmir Büyükşehir Belediyesi Yüksek Yapı Yönetmeliğı (İYYY, 1996) kapsamında yüksek yapılar genel olarak etrafını, fiziksel çevre, kent dokusu ve kentsel altyapı yönünden etkileyen yapılar (binalar) olarak tanımlanmakta ve son katın tavan döşeme kotu 30,80 m’yi ve/veya bodrum kat dahil toplam kat sayısı 13’ü aşan (13. kat hariç) yapılar “yüksek yapı” sınıfına dahil edilmektedir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliğı (İİY, 2018) ve Ankara Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliğı (AİY, 2018) koşulları dikkate alındığında bina yüksekliğı 21,50 m’den veya yapı yüksekliğı 30,50 m’den fazla olan binalar yüksek bina olarak tanımlanmaktadır. Bina yüksekliğı 51,50 m’den veya yapı yüksekliğı 60,50 m’den daha yüksek olan binaların ise çok yüksek yapılar olarak tanımlandığı görülmektedir. İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğı’nde (İYBDY, 2008) yüksek yapı, tamamı yer altında bulunan ve tüm binayı çevreleyen rijit perdelerine sahip bodrum katları hariç olmak üzere, en düşük yer seviyesinden itibaren yüksekliğı en az 60 m olan bina olarak tanımlanmaktadır.

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik’de (BYKHY, 2007) bina yüksekliğı 21,50 m’den, yapı yüksekliğı ise 30,50 m’den fazla olan binalar yüksek binalar olarak sınıflandırılmıştır. TBDY’de (2018) bina yükseklik sınıfları (BYS)

deprem tasarım sınıflarına (DTS), standart tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 (spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve bu yüzdeliğe göre tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketi) için tanımlanan kısa periyot spektral ivme katsayısına (S_{DS}) ve Tablo 2.1’de gösterilen bina kullanım sınıflarına (BKS) göre belirlenmektedir (TBDY, 2018).

Tablo 2.1 Bina kullanım sınıfları

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

Tablo 2.2 Bina kullanım sınıflarına ve S_{DS} ’ye göre deprem tasarım sınıfları

DD-2 Deprem Yer Hareketi	Bina Kullanım Sınıfı	
Düzeyinde S_{DS}	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0,33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0,50 \leq S_{DS} < 0,75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0,75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Kısa periyot spektral ivme katsayısı (S_{DS}), kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s) ve kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısına (F_s) bağlıdır. Bu nedenle deprem tasarım sınıfları (DTS) binanın bulunduğu bölgenin yerel zemin

sınıfına da bağlıdır. Bina kullanım sınıfına göre de belirlenen bu deprem tasarım sınıfları için kullanılacak veriler Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.3 Deprem tasarım sınıflarına göre bina yükseklik sınıfları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17,5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10,5 < H_N \leq 17,5$	$17,5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10,5$	$10,5 < H_N \leq 17,5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

Yukarıda belirtilen veriler ve TBDY (2018) koşulları gereği DTS = 1, 1a, 2, 2a için $H_N > 70$ m olan binalar “yüksek bina” olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, DTS = 3, 3a için $H_N > 91$ m ve DTS = 4, 4a için $H_N > 105$ m olan binalar yüksek bina olarak dikkate alınmakta ve BYS = 1 olarak sınıflandırılmaktadır (Tablo 2.3). Deprem hesabı bakımından bina yüksekliği (H_N), bina tabanından itibaren ölçülen yüksekliktir ve deprem hesabı açısından toplam bina yüksekliği olarak adlandırılmaktadır (TBDY, 2018).

2.2 Yüksek Binaların Kronolojik Gelişimi

Tarihsel süreçte yapılan ilk yüksek binalar anıtsal ve dini yapılarla başlamıştır. Tarihte bilinen en yüksek yapı 147 m yüksekliğe sahip Keops Piramidi’dir. Mısır’da bulunan bu piramit uzun yıllar boyunca dünyanın en yüksek yapısı unvanını taşımıştır (Soyluk ve Harmankaya, 2010). M.Ö. 600 yılında kerpiç malzemesi ile yapılan 90 m yüksekliğindeki Babil Kulesi antik çağlarda yapılmış olan yüksek yapılara örnektir. İskenderiye Feneri ise M.Ö. 282 yılında 140 m yüksekliğinde inşa edilmiş antik bir yüksek yapıdır. Roma İmparatorluğu’nun ikiye bölünmesi ile yüksek binalarda

duraksama görüşmüştür. Bu bölünme sonrasında kilise mimarisinde farklılıklar görülmüştür. Batıda serbest çan kuleleri, doğuda haçvari planlı bazilikalılar yapılmaya başlanmıştır. Sonrasında gotik mimari ile birlikte dünyanın en yüksek katedralleri yapılmıştır. Gotik mimaride tuğla kullanılarak yapılan ilk yapı Ulm Katedrali'dir ve bu yapı 162 m'yi aşan yüksekliği ile günümüzde de dünyanın en yüksek kilisesidir (Kırkan, 2005).

1880-1900 yılları arasında yapılar yüksek binalar teknolojik yenilikler ile donatılmış ancak geçmişten gelen yığma yapı kültürü devam ettirilerek kullanılmaya devam etmiştir. Bu dönemde çelik malzemesinin bulunması ile birlikte hafif çelik çerçeveli binalar yapılmaya başlanmıştır. Kalın kagir duvarlarla yapılan yığma sistemlerden ziyade çelik çerçeveli binalar daha hafif ve daha küçük taşıyıcı sistem elemanlarına sahiptir. Dönemin binaları çelik çerçeveler ile yapılsa da cepheleri geleneksel sistemi yansıtmaları adına taş veya “terra cotta” malzemesi ile kaplanmıştır (Harmankaya ve Soyluk, 2010). 1885 yılında Chicago’da yapılan 55 m yüksekliğindeki Home Insurance binası CTBUH (2020) tarafından dünyanın ilk çelik taşıyıcı sistemli yüksek binası olarak kabul edilerek tescillenmiştir.

1900-1950 yılları arasında yapılan yüksek binalarda gelişen teknoloji ile ekonomik güç yansıtılmıştır. Geliştirilen taşıyıcı sistemler binaların cephelerinde de gösterilmiş ve bu binalarda yükseklik arttıkça cephede geri çekilmeler yapılmıştır. Amerika’da 163 m yüksekliğinde yapılan Chrysler Building ve 381 m yüksekliğinde inşa edilen Empire State Building bu dönemde yapılan yüksek binalara örnektir (Harmankaya ve Soyluk, 2010).

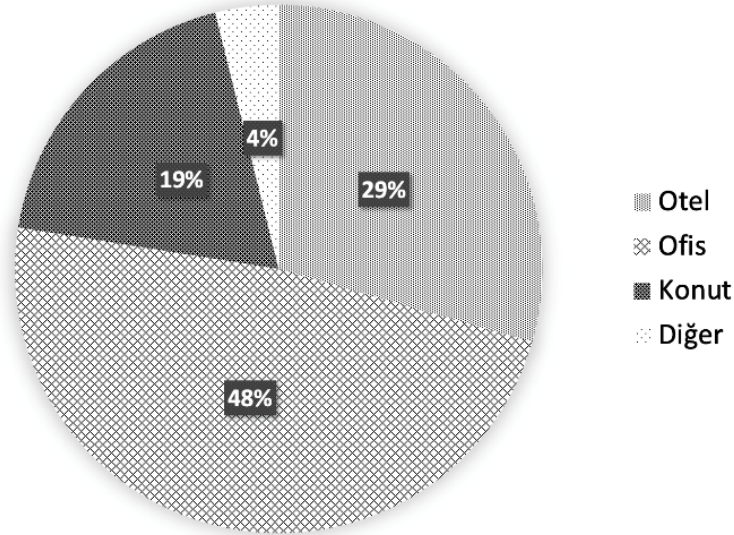
1950-1970 yılları arasında daha çok toplu konut ve büro fonksiyonları kullanılan yüksek binalarda, büro anlayışı nedeniyle kolonsuz geniş açıklıklara ihtiyaç duyulmuştur. Ofis amaçlı yapılan 194 m yüksekliğindeki Chicago Civic Center bu dönem binalarına örnektir. II. Dünya Savaşı'nın getirdiği ekonomik kriz ile dünyada daha ekonomik yapım yöntemleri arayışına girilmiş ve yüksek yapıların daha ekonomik olacağı kanaatine varılmıştır. Yerleşim olanağı açısından daha küçük arsa

alanına büyük yerleşim alanı sağlayabilen yüksek yapılar hızla gelişmiştir (Kırkan, 2005).

1970’den sonra daha mekanik görünümlü binalar yapılmaya başlanmıştır. Bu mekanik görüntü gelişen taşıyıcı sistem elemanlarının daha belirgin bir biçimde cephede sergilenmesi ile sağlanmıştır. Mimarı Normen Foster olan Hong Kong Shanghai Bank binası 180 m yüksekliği ile mekanik görünümün önem kazandığı yüksek binalara örnektir (Harmankaya ve Soyluk, 2010).

2.2.1 Dünyanın En Yüksek 100 Binası

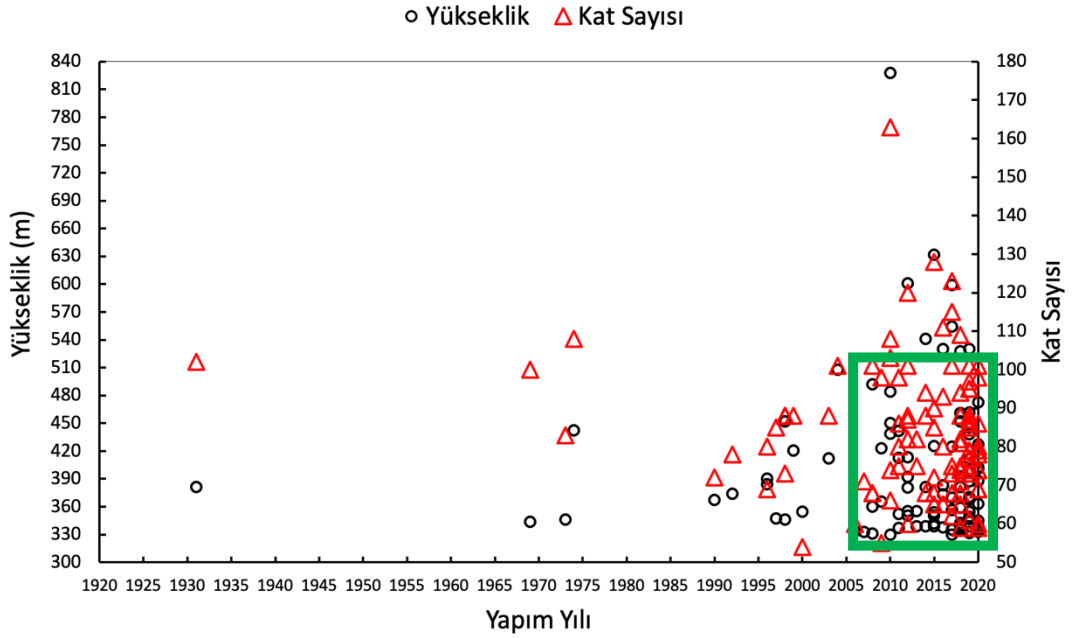
Dünyanın yapımı tamamlanmış en yüksek 100 binasının, CTBUH’dan (2020) alınan bilgileri doğrultusunda mimari fonksiyon, yapım yılı, yükseklik ve kat sayısı faktörlerinin analizleri yapılmıştır. Fonksiyon analizi sonucunda dünyanın en yüksek yüz binasında %48 ofis, %29 otel ve %19 konut fonksiyonları bulunmaktadır (Şekil 2.2). %4 oranında ise ticari mekanlar ve servis alanları bulunmaktadır.



Şekil 2.2 Dünyanın en yüksek 100 binasının fonksiyon grafiği

Dünyanın en yüksek 100 binasının yapım yılı, kat sayısı ve yükseklik ilişkisinin bulunduğu grafik Şekil 2.3’te gösterilmektedir. Yüksek binaların yoğun olarak yapıldığı yıllar (2005-2020), bu binaların kat sayısı ve yükseklikleri yeşil dikdörtgen

içerisinde gösterilmiştir. 381 m yüksekliğinde ve 102 katlı inşa edilen Empire State Binası grafikte yer alan en eski binadır. 1931 yılında inşa edilen bu binadan sonra 1969 yılına kadar yapılan hiçbir bina dünyanın en yüksek 100 binası içerisine girememiştir. 1969-1974 yılları arasında yapımı tamamlanan üç adet bina dünyanın en yüksek 100 binası listesinde yer almaktadır. Geriye kalan 96 adet bina ise 1990 yılı sonrasında yapılmıştır. Binaların yükseklikleri 330 m ile 828 m arasında değişmektedir. Kat sayıları ise 54 ile 163 kat arasında değişkenlik göstermektedir. Son yıllarda binaların yüksekliğindeki ve kat sayılarındaki artış dikkate değerdir. Bununla birlikte saçılım çok fazla değildir ve binaların kat sayısı yoğun olarak 60-100 arasındadır.



Şekil 2.3 Dünyanın en yüksek 100 binasının yapım yılı, yükseklik ve kat sayısı grafiği

Yükseklik sıralamasına göre hazırlanan dünyanın yapımı tamamlanmış en yüksek 100 binasının listesi Tablo 2.4'te gösterilmektedir. Mimari kullanım sütununda otel fonksiyonu '1', ofis fonksiyonu '2', konut fonksiyonu '3', diğer fonksiyonlar '4' ile gösterilmiştir. En yüksek bina 828 m yüksekliğinde 163 katlı olarak inşa edilen Burj Khalifa binasıdır. 2010 yılında inşa edilen binada ofis, konut ve otel fonksiyonları bulunmaktadır. Tablo 2.4'te yer alan en yüksek 10 binanın detaylı bilgiler Bölüm 5'te verilmiştir.

Tablo 2.4 Dünyanın en yüksek 100 binası

Bina No	Bina İsmi	Yapım Yılı	H_N (m)	Kat Sayısı	Mimari Kullanım
1	Burj Khalifa	2010	828	163	1, 2, 3
2	Shanghai Tower	2015	632	128	1, 2
3	Makkah Royal Clock Tower	2012	601	120	1, 4
4	Ping An Finance Center	2017	599,1	115	2
5	Lotte World Tower	2017	554,5	123	1, 2, 3, 4
6	One World Trade Center	2014	541,3	94	2
7	Guangzhou CTF Finance Centre	2016	530	111	1, 2, 3
8	Tianjin CTF Finance Centre	2019	530	97	1, 2, 3
9	CITIC Tower	2018	527,7	109	2
10	TAIPEI 101	2004	508	101	2
11	Shanghai World Financial Center	2008	492	101	1, 2
12	International Commerce Centre	2010	484	108	1, 2
13	Central Park Tower	2020	472,4	98	3
14	Lakhta Center	2019	462	87	2
15	Vincom Landmark 81	2018	461,2	81	1, 3
16	Changsha IFS Tower T1	2018	452,1	94	1, 2
17	Petronas Twin Tower 1	1998	451,9	88	2
18	Petronas Twin Tower 2	1998	451,9	88	2
19	Suzhou IFS	2019	450	95	1, 2, 3
20	Zifeng Tower	2010	450	66	1, 2
21	The Exchange 106	2019	445,5	95	2
22	Willis Tower	1974	442,1	108	2
23	KK100	2011	441,8	98	1, 2
24	Guangzhou International Finance Center	2010	438,6	103	1, 2
25	Wuhan Center Tower	2019	438	88	1, 2, 3
26	One Vanderbilt	2020	427	59	2
27	432 Park Avenue	2015	425,7	85	3
28	Marina 101	2017	425	101	1, 3
29	Trump International Hotel & Tower	2009	423,2	98	1, 3
30	Jin Mao Tower	1999	420,5	88	1, 2
31	Princess Tower	2012	413,4	101	3
32	Al Hamra Tower	2011	412,6	80	2
33	Two International Finance Centre	2003	412	88	2
34	LCT The Sharp Landmark Tower	2019	411,6	101	1, 3
35	Guangxi China Resources Tower	2020	402,7	86	1, 2
36	Guiyang International Financial Center T1	2020	401	79	1, 2
37	China Resources Tower	2018	392,5	68	2
38	23 Marina	2012	392,4	88	3
39	CITIC Plaza	1996	390,2	80	2
40	Shum Yip Upperhills Tower 1	2020	388,1	80	1, 2
41	30 Hudson Yards	2019	387,1	73	2
42	Shun Hing Square	1996	384	69	2
43	Eton Place Dalian Tower 1	2016	383,2	80	1, 2
44	Nanning Logan Century 1	2018	381,3	82	1, 2
45	Burj Mohammed Bin Rashid	2014	381,2	88	3
46	Empire State Building	1931	381	102	2
47	Elite Residence	2012	380,5	87	3
48	Central Plaza	1992	373,9	78	2
49	Federation Tower	2016	373,7	93	2, 3
50	Dalian International Trade Center	2019	370,2	86	2, 3

1: Otel

2: Ofis

3: Konut

4: Diğer (Ticari ve servis alanları)

Tablo 2.4 devamı

Bina No	Bina İsmi	Yapım Yılı	H_N (m)	Kat Sayısı	Mimari Kullanım
51	The Address Boulevard	2017	370	73	1, 3, 4
52	Golden Eagle Tiandi Tower A	2019	368,1	77	1, 2
53	Bank of China Tower	1990	367,4	72	2
54	Bank of America Tower	2009	365,8	55	2
55	St. Regis Chicago	2020	362,9	101	1, 3
56	Almas Tower	2008	360	68	2
57	Hanking Center	2018	358,9	65	2
58	Gevora Hotel	2017	356,3	75	1
59	JW Marriott Marquis Hotel Dubai Tower 1	2012	355,4	82	1
60	JW Marriott Marquis Hotel Dubai Tower 2	2013	355,4	82	1
61	Emirates Tower One	2000	354,6	54	2
62	Raffles City Chongqing T3N	2019	354,5	79	3, 4
63	Raffles City Chongqing T4N	2019	354,5	79	1, 2, 4
64	OKO - Residential Tower	2015	354,2	90	1, 3
65	The Torch	2011	352	86	3
66	Forum 66 Tower 1	2015	350,6	68	1, 2
67	The Pinnacle	2012	350,3	60	2
68	Spring City 66	2019	349	61	2
69	85 Sky Tower	1997	347,5	85	1, 2, 4
70	Shimao Hunan Center	2019	347	N/A	2
71	Aon Center	1973	346,3	83	2
72	The Center	1998	346	73	2
73	NEVA TOWERS 2	2020	345	79	3
74	875 North Michigan Avenue	1969	343,7	100	2, 3
75	Four Seasons Place	2018	342,5	74	1, 3
76	ADNOC Headquarters	2015	342	65	2
77	One Shenzhen Bay Tower 7	2018	341,4	71	1, 2, 3
78	LCT The Sharp Residential Tower A	2019	339,1	85	3
79	Comcast Technology Center	2018	339,1	59	1, 2
80	Wuxi International Finance Square	2014	339	68	1, 2
81	Heartland 66 Office Tower	2020	339	60	2
82	Chongqing World Financial Center	2015	338,9	72	1, 2
83	Mercury City Tower	2013	338,8	75	2, 3
84	Suning Plaza Tower 1	2018	338	75	1, 2, 3
85	Tianjin Modern City Office Tower	2016	338	65	2
86	Hengqin International Finance Center	2020	337,7	69	2, 3
87	Tianjin World Financial Center	2011	336,9	75	2
88	SLS Dubai	2020	336	78	1, 3
89	Wilshire Grand Center	2017	335,3	62	1, 2
90	DAMAC Heights	2018	335,1	88	3
91	Twin Towers Guiyang, East Tower	2020	335	74	2
92	Twin Towers Guiyang, West Tower	2020	335	74	1, 2
93	Shimao International Plaza	2006	333,3	60	1, 2, 4
94	LCT The Sharp Residential Tower B	2019	333,1	85	3
95	Rose Rayhaan by Rotana	2007	333	71	1
96	Jinan Center Financial City A5-3	2020	333	69	1, 2
97	The Address Residence - Fountain Views III	2019	331,8	77	1, 3
98	Minsheng Bank Building	2008	331	68	2
99	China World Tower	2010	330	74	1, 2
100	Yuexiu Fortune Center Tower 1	2017	330	68	2

1: Otel

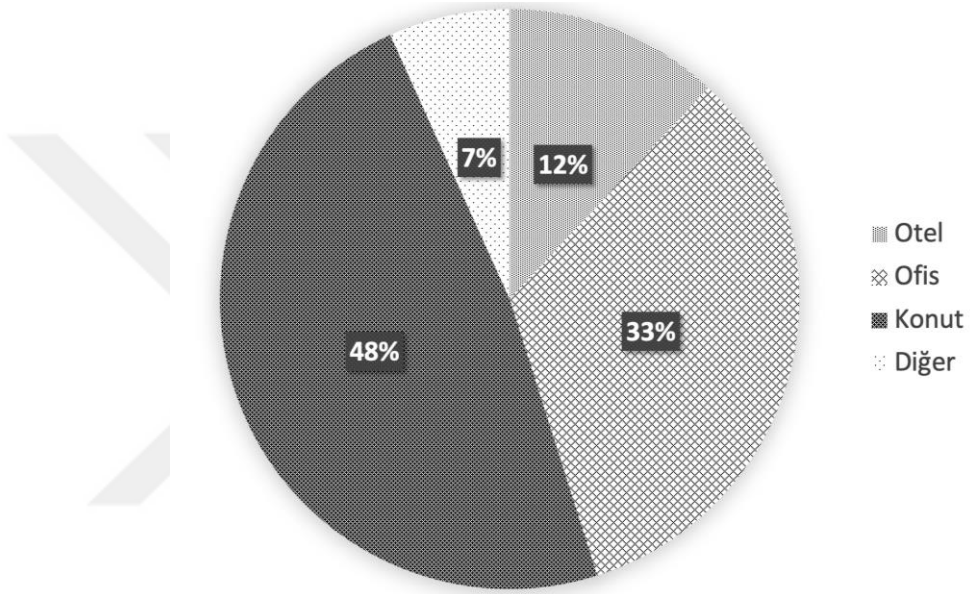
2: Ofis

3: Konut

4: Diğer (Ticari ve servis alanları)

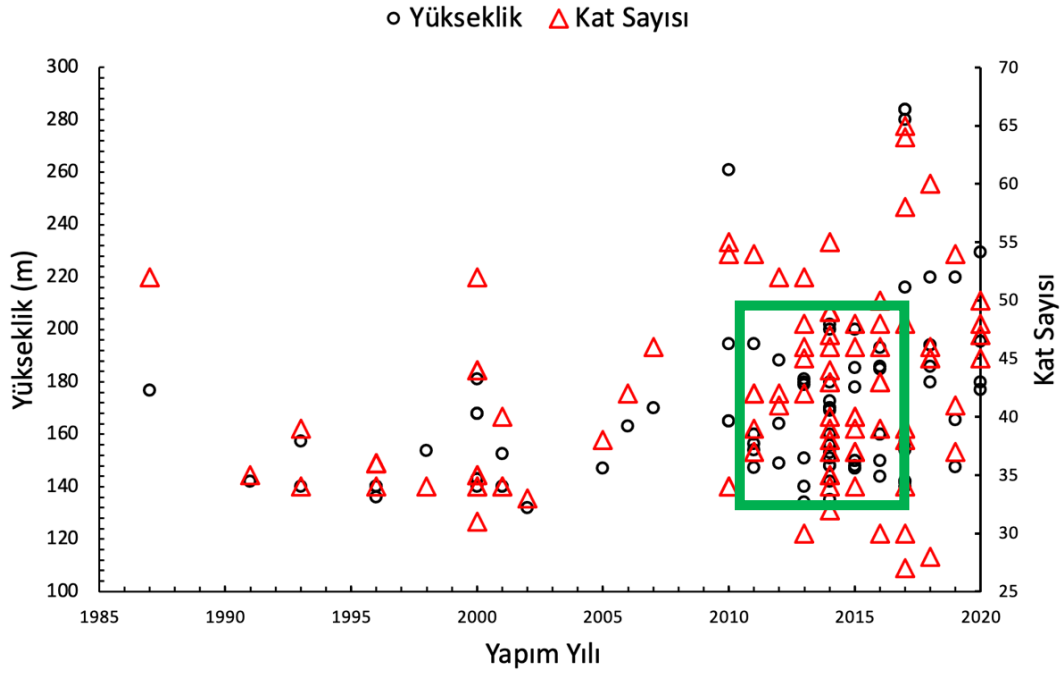
2.2.1 Türkiye'nin En Yüksek 100 Binası

Türkiye'nin yapımı tamamlanmış en yüksek 100 binasının, CTBUH'dan alınan bilgileri doğrultusunda mimari fonksiyon, yapım yılı, yükseklik ve kat sayısı faktörlerinin analizleri yapılmıştır. Fonksiyon analizi doğrultusunda Türkiye'nin en yüksek yüz binasında %48 konut, %33 ofis ve %12 otel fonksiyonları bulunmaktadır (Şekil 2.4). %7 oranında ise ticari mekanlar bulunmaktadır (CTBUH, 2020).



Şekil 2.4 Türkiye'nin en yüksek 100 binasının fonksiyon grafiği

Türkiye'nin en yüksek 100 binasının yapım yılı, kat sayısı ve yükseklik ilişkisinin bulunduğu grafik Şekil 2.5'te gösterilmektedir ve yoğunluğun olduğu bölge yeşil dikdörtgen içerisinde gösterilmiştir. 176,8 m yüksekliğinde ve 52 katlı olan Mersin Kompleks binası 1987 yılında inşa edilmiştir ve en yüksek 100 bina arasındaki en eski binadır. 1990-2000 yılları arasında yapılan altı adet bina, 2000-2010 yılları arasında yapılan 10 adet bina bulunmaktadır. Geriye kalan 84 adet bina 2010-2020 yılları arasında yapılmıştır. Kat sayıları 27 ile 65 kat arasında değişkenlik gösteren bu 100 binanın yükseklikleri ise 132 m ile 284 m arasında bulunmaktadır. Türkiye'nin en yüksek 100 binasının kat sayıları oldukça dar bir aralıkta geniş bir saçılım göstermektedir.



Şekil 2.5 Türkiye'nin en yüksek 100 binasının yapım yılı, yükseklik ve kat sayısı grafiği

Yükseklik sıralamasına göre hazırlanan Türkiye'nin yapımı tamamlanmış en yüksek 100 binasının listesi Tablo 2.5'te gösterilmektedir. Mimari kullanım sütununda otel fonksiyonu '1', ofis fonksiyonu '2', konut fonksiyonu '3', diğer fonksiyonlar '4' ile gösterilmiştir. Türkiye'nin en yüksek binaları aynı yüksekliğe (284 m) sahip Skyland ofis ve Skyland konut kuleleridir. Skyland kompleksi 3 adet kuleden oluşmaktadır. Ofis ve konut kulelerinin yanı sıra üçüncü kule Skyland otel kulesidir ve yükseklik sıralaması bakımından 26. sırada yer almaktadır. Türkiye'nin en yüksek 100 binasının kat sayıları ve yükseklikleri arasında çok önemli fark yoktur.

Türkiye'de yapımı tamamlanmış 191 adet yüksek bina bulunmaktadır. Bu binaların mimari fonksiyonları başlıca otel, ofis ve konut fonksiyonlarından oluşmaktadır. Ayrıca hükümet ve hastane binaları da bu 191 adet bina arasında bulunmaktadır (CTBUH, 2020).

Tablo 2.5 Türkiye'nin en yüksek 100 binası

Bina No	Bina İsmi	Yapım Yılı	H_N (m)	Kat Sayısı	Mimari Kullanım
1	Skyland Office Tower	2017	284	65	2
2	Skyland Residential Tower	2017	284	64	3
3	Metropol Tower İstanbul	2017	280	58	1,2,3
4	Sapphire Tower	2010	261	55	3
5	Emaar Square The Address Hotel & Residences	2020	229,4	50	1,3,4
6	İstanbul Tower 205	2019	220	54	2
7	Nurol Life	2018	220	60	3
8	Mistral Office Tower	2017	216	48	2
9	Maslak Spine Tower	2014	202	47	2,3,4
10	Folkart Tower B	2015	200	40	2,3
11	Folkart Tower A	2014	200	40	2,3
12	Elya Royal Tower	2020	195,4	45	2,3,4
13	Anthill Residence 2	2011	194,5	54	3
14	Anthill Residence 1	2010	194,5	54	3
15	Ciftci Tower A	2018	194	45	3
16	Ciftci Tower B	2018	194	45	3
17	Point Bornova	2016	193	50	2,3,4
18	Varyap Meridian A Block	2012	188,4	52	3
19	Kuzu Effect	2018	186	46	2,3
20	Ege Perla Tower A	2016	186	46	3
21	Allianz Tower	2015	185,5	40	2
22	One Tower	2016	185	48	3, 4
23	İS Bankası Tower I	2000	181,2	52	2
24	Andromeda Gold	2013	181	52	3
25	Ege Vadisi	2020	180	48	3
26	Skyland Hotel Tower	2018	180	28	1
27	Palladium Tower	2014	180	43	2
28	Varyap Meridian C Block	2013	180	45	3
29	Hilton İstanbul Bomonti Hotel & Conference Center	2013	179	48	1
30	Leopardus	2015	178	48	1, 3
31	Elmar Towers 1	2020	177	47	3
32	Mersin Complex	1987	176,8	52	1, 2
33	Ak-Asya Shopping Center & Tower	2014	172,6	55	2, 3, 4
34	Sisli Plaza	2007	170,1	46	3
35	Levent 199	2014	170	43	2
36	Ozdilek Plaza Tower A	2014	170	38	1, 2
37	Soyak Kristalkule Finansbank Headquarters	2014	169	32	2
38	Tekstilkent Plaza 1	2000	168	44	1, 2
39	Tekstilkent Plaza 2	2000	168	44	1, 2
40	YDA Center	2019	165,5	37	1, 2,3
41	Selenium Twins 1	2010	165	34	3
42	Selenium Twins 2	2010	165	34	3
43	Varyap Meridian E Block	2012	164	41	3
44	Seljuk Tower	2006	163	42	2
45	Torun Center - East Tower	2016	160	43	3
46	Torun Center - South Tower	2016	160	43	3
47	Exen Plaza	2014	160	44	2, 3
48	Sky Tower 1	2011	160	42	3
49	Portakal Çiçeği Kulesi	2011	160	37	3
50	Akbank Tower	1993	157,3	39	2

1: Otel

2: Ofis

3: Konut

4: Diğer (Ticari ve servis alanları)

Tablo 2.5 devamı

Bina No	Bina İsmi	Yapım Yılı	H_N (m)	Kat Sayısı	Mimari Kullanım
51	Emaar Square Heights Residences	2017	157	34	3, 4
52	Trump Tower 1	2011	156,3	39	3
53	Four Winds Tower A	2014	156	49	3
54	Four Winds Tower B	2014	156	49	3
55	Four Winds Tower C	2014	156	49	3
56	Four Winds Tower D	2014	156	49	3
57	Mistral Residential Tower	2017	154	38	3
58	Uprise Elite	2011	154	42	3
59	Suzer Plaza Ritz-Carlton	1998	153,7	34	1, 2
60	Torun Tower	2014	153	35	2, 3, 4
61	Polat Tower Residence	2001	152,5	40	3
62	Vega Park Tower 2	2014	151	46	3
63	Vega Park Tower 1	2013	151	46	3
64	Regnum Sky Tower	2016	150	30	2
65	Istanbloom	2015	150	46	3
66	Türk Telekom Tower	2015	150	34	2
67	Dumankaya IKON	2012	149	42	2, 3
68	42 Maslak Tower 2	2015	148	39	3
69	42 Maslak Tower 1	2014	148	39	2, 3
70	Ozdilek Plaza Tower B	2014	148	37	3
71	AND Pastel Blue Block	2019	147,6	41	3
72	Trump Tower 2	2011	147,2	37	2
73	Otokoç Plazas Tower 1	2015	147	37	2
74	Otokoç Plazas Tower 2	2015	147	37	2
75	Sun Plaza	2005	147	38	2
76	Torun Center - Office Tower	2016	144	39	2
77	Metrocity Millennium II	2000	143	35	3
78	Metrocity Millennium III	2000	143	35	3
79	TAT Tower 1	2000	143	34	1, 2
80	TAT Tower 2	2000	143	34	1, 2
81	Metrocity Millennium I	2000	143	31	3
82	Emaar Square Office Tower	2017	142,1	30	2, 4
83	Tim Towers A Blok	2017	142	39	3
84	Tim Towers B Blok	2017	142	39	3
85	Izmir Hilton Hotel	1991	142	35	1
86	Nurol Tower	2014	142	35	3
87	Nidakule Levent	2017	140	27	2
88	Nova Tower	2013	140	42	3
89	TOBB Towers 1	2001	140	34	2
90	TOBB Towers 2	2001	140	34	2
91	Sisli Elite Residence	2000	140	35	3
92	Dikmen Valley Tower 1	1996	140	36	3
93	Dikmen Valley Tower 2	1996	140	36	3
94	Dikmen Valley Tower 3	1996	140	36	3
95	Dikmen Valley Tower 4	1996	140	36	3
96	Sabancı Center 2	1993	140	34	2
97	Beybi GIZ Plaza	1996	136	34	2
98	Istanbul Marriott Hotel Sisli	2014	135	34	1
99	Next Level Office Tower	2013	134	30	2
100	Konya Hilton Hotel	2002	132	33	1

1: Otel

2: Ofis

3: Konut

4: Diğer (Ticari ve servis alanları)

2.2.3 Dünyanın ve Türkiye'nin En Yüksek 100 Binasının Karşılaştırılması

Türkiye ve dünyanın yapımı tamamlanmış en yüksek 100 binasına bakıldığında Türkiye'deki binaların konut fonksiyonuna oranı %48, dünyadaki binaların ise konut fonksiyonu oranının %19 olduğu görülmektedir. Dünyadaki binalarda %48 ofis, %29 otel fonksiyonu bulunurken Türkiye'deki binalarda %33 ofis, %12 otel fonksiyonu bulunmaktadır. Sonuç olarak dünyada yapılan yüksek binalar ağırlıklı olarak ofis çalışma alanlarını arttırmak ve otel fonksiyonu ile şehirlere dışarıdan gelen kişilerin konaklamasını sağlamak için yapılmıştır. Türkiye'de ise binanın yapıldığı şehirde yaşayan kişilere konaklama sağlamak amacıyla daha yüksek oranda konut fonksiyonu yapıldığı görülmektedir.

Yapım yıllarına bakıldığında dünyadaki en yüksek 100 binanın ağırlıklı olarak 1990'lı yıllardan sonra yapıldığı, yoğunluğun ise 2005'den sonraki yıllarda olduğu görülmektedir. Türkiye'de ise en yüksek 100 binadan 2010 yılı öncesinde 18 bina bulunmaktadır. 2010-2018 yılları arasında yoğunluk yaşanmış, 2018 yılından sonra bina sayılarındaki artış hızında azalma olduğu görülmüştür.

Dünyanın en yüksek binası Burj Khalifa 828 m yüksekliğe, Türkiye'nin en yüksek binası Skyland Tower ise 284 m yüksekliğe sahiptir. Skyland Tower dünyanın en yüksek 237. en yüksek binasıdır. Dünyada en yüksek ilk 100 binasının yüksekliği 828-330 m arasında değişmektedir. Türkiye'deki en yüksek 100 bina ise 284-132 m arasında yüksekliğe sahiptir. Türkiye, 150 m ve üzeri binalar dikkate alındığında en yüksek binalar sıralamasında dünya 14. sırada yer almaktadır (CTBUH, 2020). Dünyanın en yüksek ilk 100 yüksek binasının ortalama yüksekliği 399 m iken, Türkiye'nin en yüksek ilk 100 yüksek binasının ortalama yüksekliği ise 168 m'dir.

BÖLÜM ÜÇ

YÜKSEK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN

DIŞ YÜKLER ETKİSİNDE TASARIMI

Yüksek binalardaki taşıyıcı sistem seçiminde en önemli iki etken bina fonksiyonu ve binaya etkiyen yüklerdir. Bina fonksiyonuna göre şekillenen kat planının kullanışlı olması ve taşıyıcı sistem elemanlarının bina fonksiyonuna engel olmayacak şekilde tasarlanması her bina türü için önemli bir etkendir ancak binaya etkiyen yükler yüksek binaların tasarımında daha fazla önem arz etmektedir.

Yüksek binalara etki eden yükler doğa kuvvetleri tarafından ya da insan kaynaklı kuvvetler olarak iki nedenden oluşur. Doğa tarafından oluşan kuvvetler, yer çekimi, sismik ve meteorolojik kuvvetlerdir. İnsan kaynaklı oluşan kuvvetler ise doğa tarafından oluşan kuvvetler ile bağımlıdır. Yerçekimi sonucunda oluşan bina ağırlığı, binayı kullanan insanların ağırlığı ve bina içerisinde bulunan tesisat mobilya ve benzeri araç gereçlerin ağırlığı insan kaynaklı yüklere örnektir. Binalara etki eden bu yükler düşey ve yatay yükler olarak iki ana grupta sınıflandırılır.

3.1 Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Düşey Yükler

Düşey yükler sabit ve hareketli yükler olarak ikiye ayrılır. Sabit yükler, yer çekimi kuvveti nedeniyle oluşan ve binanın kendi ağırlığı nedeniyle oluşan yüklerdir. Sabit yükler binada büyüklüğü değişmeyen yüklerdir ve bu nedenle ölü yükler olarak da adlandırılır. Bu yükler binanın taşıyıcı sistem elemanları, kaplama malzemeleri, çatı, duvar, cephe elemanları, mekanik ve tesisat sistemlerinin ağırlıklarından oluşmaktadır. Binanın taşıyıcı sisteminin seçilmesi ve elemanların boyutlandırılması için binaya etki eden yüklerin belirlenmesi gerekir ve düşey yüklerin belirlenmesi için bu yüklerin birim ağırlıkları TS 498’de verilmiştir (TS 498, 1997).

Hareketli yükler bina kullanıcılarının kendi ağırlıklarından ve gereksinimleri doğrultusunda kullandıkları mobilya, taşınabilir alet ve benzeri eşya ve sistemlerden oluşur. Hareketli yükler bina taşıyıcı sisteminin bir elemanı değildir ve insanların bina

kullanım amaçları doğrultusunda zaman içerisinde değişkenlik gösterir ve bu nedenle kesin olarak hesaplanması oldukça zordur.

Meteorolojik olaylar sonucunda binada biriken kar, buz ve yağmur yükleri yüksek binanın yapıldığı bölgeye göre ek olarak dikkat dikkate alınması gereken hareketli yüklerdir. Kar yükleri tipik olarak binanın çatı döşemesine etki eder. Bu nedenle kar yükü ihtimali olan bölgelerde yapılan binalarda çatı eğimi en önemli faktördür. Kar yükünün hesap değerleri ve çatı eğimine bağlı olarak azaltma değeri TS 498’de (1997) açıklanmıştır. Yağmur yükü, binanın çatı ve teraslarındaki giderlerin ve olukların tıkanması sonucunda önemli ağırlıklar oluşturabilir. Buz oluşumu çok farklı değişkenlerle meydana gelmektedir ve yüksek bölgelerde, nemli rüzgarların olduğu bölgelerde ve büyük su birikintilerinin etrafında görülebilir, denize yakın bölgelerde ve nehir kıyısında da oluşabilir. Buz yükünün gerekli olduğu durumlarda yeterli veri bulunmuyorsa, TS 498’e (1997) göre bütün yüzeylerin 3 cm kalınlığa sahip buz ile kaplı olduğu kabul edilir ve buzun birim hacim ağırlığı $\gamma_{buz} = 7 \text{ kN/m}^3$ alınabilir. Rüzgar ve deprem yükleri binalarda kuvvetin geliş açısına göre düşey yük oluşturabilir. Rüzgar yükleri için oluşacak basınca karşı özellikle çatıda gerekli önlem alınmalıdır.

3.2 Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Yatay Yükler

Binaya etki eden yüklerden, özellikle yüksek binalar için yatay yüklerin önemi düşey yüklerden daha fazladır. Yüksek binalarda taşıyıcı sistem seçimi ve taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasındaki en önemli etken yatay yüklerdir. Bina yüksekliği arttıkça, yatay yükler nedeniyle binanın taban eksini etrafında devrilme olasılığı yükselmektedir. Bunun yanı sıra yüksek binalarda yatay kuvvetlerden dolayı yatay yerdeğiştirmeler az katlı binalara kıyasla çok daha fazladır ve bu durum bina içerisindeki kullanıcı konforunu olumsuz yönde etkileyebilir. Bu sebeplerden dolayı binanın strüktürel dayanımı sağlamak ve yatay yerdeğiştirmeleri sınırlandırmak için en büyük etken olan yatay kuvvetler yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımında yüksek önem arz etmektedir.

3.2.1 Yüksek Binaların Tasarımında Kullanılan Rüzgar Yükleri

Günümüz yüksek binalar için en önemli yatay yüklerden biri rüzgar yüküdür. İlk yüksek binalar yığma taşıyıcı sistem ile yapılmıştır ve bu binalara rüzgar nedeniyle oluşan yatay yüklerin etkisi, ağır kagir duvarlardan oluşan taşıyıcı sistemlerinden dolayı daha düşüktür. Daha sonra BA çerçeve sistemlerle yapılan binalar, yığma binalar kadar ağır taşıyıcı elemanlara sahip olmasa da rüzgar nedeniyle oluşan yüklerden fazla etkilenmemiştir. Hafif çelik çerçeveler ve giydirme cepheler ile yapı ağırlığı azaltıldığında ise rüzgar etkisi önem kazanmıştır. Büyük ve esnek alanlar oluşturmak için kolon açıklıklarını arttırmak, bölücü duvarlar için hafif malzemeler kullanmak ve kalın kagir duvarlar yerine perde duvarlar kullanmak yapı ağırlığını ve rijitliğini azaltarak rüzgar yükünün binaya olan etkisini arttırmıştır.

Rüzgarın yükünü etkileyen bir çok faktör vardır. Binanın yapıldığı bölgenin meteorolojik faktörü bunlardan bir tanesidir. Rüzgarın hızı, doğrultusu ve şiddeti bölgeye göre değişkenlik gösterir. Bunların yanı sıra binanın yüksekliği, ağırlığı, plan şekli, düşey formu, rüzgara dik ve dik olmayan yüzeyi, cephenin pürüzlülüğü ve binanın çevresi de rüzgar yükünü etkileyen faktörlerdendir.

Tezde, yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin, yüksek bina dış cephede bulunan giydirme cephe elemanlarının ve rüzgar etkilerine maruz taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan diğer elemanların rüzgara karşı tasarımında kullanılacak minimum rüzgar yüklerine ilişkin genel hükümler İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği (İYBRY, 2009) kapsamında ele alınmıştır.

Statik ve dinamik yükler olmak üzere ikiye ayrılan rüzgar yükleri, İYBRY (2009) kapsamında binanın rüzgar etkisindeki statik ve en büyük dinamik yerdeğiştirmelerin toplamına eşit statik yerdeğiştirmeye karşı gelen eşdeğer statik yükler olarak belirtilmiştir. Yüksek bina taşıyıcı sistemine etki eden toplam rüzgar yükü, binanın tüm cephelerine etkileyen rüzgar yüklerinin vektörel toplamından ibarettir. Bu yönetmeliğe göre, yüksek bina taşıyıcı sistemine, yüksek bina dış cephe kaplamalarına ve rüzgara maruz diğer elemanlara etkileyen rüzgar yükleri $0,5 \text{ kN/m}^2$ 'den az alınamaz.

3.2.1.1 Rüzgar Hızı

Yüksek binaya etki eden toplam rüzgar hızı (V) zemin yüzeyinden ölçülen yüksekliğin (z) ve zamanın (t) fonksiyonu olarak Denklem (3.1)'deki gibi tanımlanmaktadır:

$$V(z, t) = V_m(z) + w(z, t) \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde ortalama rüzgar hızı $V_m(z)$, rüzgarın statik bileşeni olarak adlandırılmakta ve seçilen bir zaman aralığında yüksek binaya etkileyen rüzgar hızlarının ortalamasına karşı gelmektedir. $W(z, t)$ ise ortalama değer etrafındaki hız değişimlerini (türbülansı) ifade eden dinamik rüzgar hızıdır.

i) Ortalama Rüzgar Hızı (V_m)

Yüksek binanı yapıldığı bölgede ve belirli bir yükseklikteki ortalama rüzgar hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$V_m(z) = C_e(z) \times C_t \times V_b(z) \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de V_b temel rüzgar hızı, $C_e(z)$ yüksekliğin fonksiyonu olan yüzey pürüzlülük katsayısı ve C_t ise topoğrafya katsayısıdır.

Temel rüzgar hızı açık bir arazide, herhangi bir yönde yerden 10 m yükseklikte ölçülen ortalama rüzgar hızlarından 50 yıl içerisinde en az bir kere aşılma olasılığı olan rüzgar hızıdır. İstanbul Atatürk Havaalanı'nda 1 dakika ara ile yapılan rüzgar hızı ölçümleri neticesinde, İstanbul ili ve civarı için temel rüzgar hızı $V_b = 25$ m/s olarak belirlenmiştir.

$C_e(z)$ katsayısı, rüzgarın etki ettiği doğrultuda yüzey pürüzlüğünün rüzgarın ortalama hızına ve rüzgar hızının yüksekliğe bağlı değişimine yaptığı etkileri tanımlamakta ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$z > z_{\min} \text{ için } C_e(z) = 0,23(z_0)^{0,07} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (3.3)$$

$$z \leq z_{\min} \text{ için } C_e(z) = C_e \times (z_{\min}) \quad (3.4)$$

Denklem (3.3) ve (3.4)'te z_0 yüzey pürüzlülük uzunluğunu, $z_{\min}$ ise yüzey pürüzlülük katsayısının sabit olduğu en küçük yüksekliği göstermektedir. Yukarıdaki denklemlerde z_0 ve $z_{\min}$ değerlerinin her ikisinin birimi de metredir. Farklı arazi tipleri için z_0 ve $z_{\min}$ uzunlukları Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Denklem (3.2)'deki topoğrafya katsayısı (C_t) ise İstanbul'un bütün bölgeleri için aşağıdaki gibi hesaplanacaktır:

$$C_t = 1,0 + 0,001\Delta \quad (3.5)$$

Denklem (3.5)'te Δ binanın bulunduğu yerin deniz seviyesinden olan yüksekliğidir (m cinsinden).

Tablo 3.1. z_0 ve $z_{\min}$ uzunlukları

Arazi Tip No	Arazi Tipi	z_0 (m)	$z_{\min}$ (m)
0	Denize açık kıyı şeritleri	0,003	1
I	Göl çevreleri veya engebesiz düz ve geniş alanlar	0,01	1
II	Seyrek ağaçların ve yapıların olduğu ova, çayır tipi alanlar (engebe aralıkları ortalama engebe yüksekliğinin 20 katından fazla)	0,05	2
III	Köyler, banliyöler, ormanlık alanlar (engebe aralıkları ortalama engebe yüksekliğinin 20 katından az)	0,3	5
IV	Şehir merkezleri ve benzeri en az %15 oranında ortalama yüksekliği 15 m ve üzeri yapılarla kaplı alanlar	1,0	10

Arazi tipi IV ile ifade edilen şehir merkezlerinde, etrafında daha az katlı yapılar olan yüksek bir binaya etkiyen rüzgar yüklerinin hesaplanmasında, rüzgarın az katlı

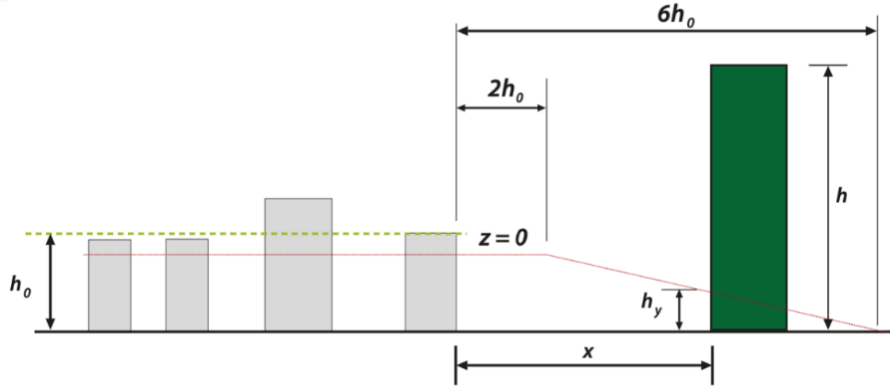
yapılar tarafından engellenmesinin etkisi, zemin seviyesini fiktif olarak yükselttilerek dikkate alınmaktadır (Şekil 3.1). Böylece yüksek binanın çevresinde bulunan diğer yapıların ortalama rüzgar hızı profiline etkisi dikkate alınmış olmaktadır. Yükseltme ile ilgili kurallar h tasarımı yapılan yüksek binanın yüksekliği ve h_y zemin seviyesini fiktif olarak yükseltmek için tanımlanan düşey mesafe olmak üzere Denklem (3.6) – (3.8)’de verilmiştir:

$$x \leq 2h_o \text{ ise } h_y = \min [0,8h_o, 0,6h] \quad (3.6)$$

$$2h_o < x < 6h_o \text{ ise } h_y = \min [1,2h_o - 0,2x, 0,6h] \quad (3.7)$$

$$x \geq 6h_o \text{ ise } h_y = \min [0,8h_o, 0,6h] \quad (3.8)$$

Yüksek binanın rüzgar hesabı normal şartlarda binaya etkiyen rüzgar profilini ve yüklerini binanın yüksekliği boyunca h_y kadar mesafeye öteleyerek yapılmaktadır. Çevredeki diğer binaların yüksekliği hakkında yeterli bilginin bulunmadığı koşullarda $h_o = 15$ m alınacaktır.



Şekil 3.1. Çevredeki yapıların ortalama rüzgar hızı profiline etkisi

ii) Dinamik Rüzgar Hızı (Rüzgar Türbülansı)

Rüzgar türbülansı olarak adlandırılan dinamik rüzgar hızı, ortalama değeri sıfır ($\mu = 0$) olan ve standart sapması (σ_w) Denklem (3.9) ile tanımlanan normal dağılımlı rastgele değişken olarak modellenir:

$$\sigma_w = k_r \times V_b \quad (3.9)$$

Yüksek binalara etki bakımından, ortalama en büyük türbülans rüzgar hızı ($\bar{w}_{\max}$), standart sapmanın 3,5 katı alınmaktadır:

$$\bar{w}_{\max} = 3,5\sigma_w \quad (3.10)$$

Türbülansın ortalama rüzgar hızına göre rölatif genliği, türbülans şiddeti $I_w(z)$ cinsinden belirlenmektedir:

$$z > z_{\min} \text{ için } I_w(z) = \frac{\sigma_w}{V_m(z)} = \left[C_t \times \ln \left(\frac{z}{z_o} \right)^{-1} \right] \quad (3.11)$$

$$z \leq z_{\min} \text{ için } I_w(z) = I_w(z_{\min}) \quad (3.12)$$

Türbülansın büyüklüğünü tanımlamakta kullanılan ikinci parametre olan türbülans uzunluğu ($L(z)$), türbülansa neden olan rüzgar dalgalarının ortalama dalga boyunu göstermekte ve Denklem (3.13) ve (3.14) kullanılarak hesaplanmaktadır:

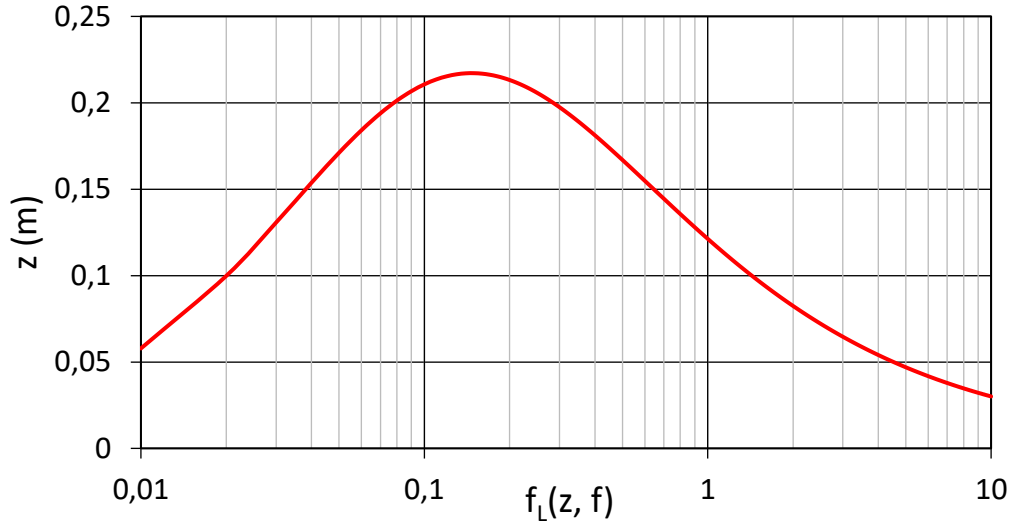
$$z > z_{\min} \text{ için } L(z) = 300 \left(\frac{z}{200} \right)^{[0,67+0,05 \ln(z_o)]} \quad (3.13)$$

$$z \leq z_{\min} \text{ için } L(z) = L(z_{\min}) \quad (3.14)$$

Frekans tanım alanında türbülans enerjisinin dağılımı, türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu $S_L(z, f)$ ile normalize edilmiş boyutsuz frekans $f_L(z, f)$ cinsinden Denklem (3.15) kullanılarak ifade edilmektedir:

$$S_L(z, f) = \frac{6,8 f_L(z, f)}{[1+10,2 f_L(z, f)]^{5/3}} = \frac{6,8 \frac{f L_z}{V_z}}{[1+10,2 f_L(z, f)]^{5/3}} \quad (3.15)$$

Denklem (3.15)'te f frekanstır (Hz). Türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun normalize edilmiş frekansa bağlı değişimi Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Şekil 3.2'de yatay eksen logaritmik ölçeklidir.



Şekil 3.2. $S_L(z, f)$ 'nin frekans ile değişimi

iii) En Büyük Rüzgar Hızı

En büyük rüzgar hızı, Denklem (3.1) ve (3. 10)'daki hızları toplamı olarak ifade edilir:

$$|V(z, t)|_{\max} = V_m(z) + \bar{w}_{\max} \quad (3.16)$$

3.2.1.2 Rüzgar Basıncı

i) Bir Noktaya Etkiyen En Büyük Rüzgar Basıncı

Rüzgar basıncı havanın yoğunluğu (ρ) ve rüzgarın hızının karesi ile orantılı olup rüzgarın 90° açı ile etki ettiği bir düzlemde z yüksekliğinde bulunan birim alana etkiyen en büyük rüzgar basıncı $q_p(z)$ Denklem (3.17) ile hesaplanmaktadır:

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \rho |V(z, t)|_{\max}^2 \quad (3.17)$$

Denklem (3.17)'de havanın yoğunluğu $\rho = 1,25 \text{ N/m}^3$ alınabilir.

Denklem (3.16), Denklem (3.17)'de yerine konulursa en büyük rüzgar basıncı için Denklem (3.18) yazılabilir:

$$q_p(z) \approx \frac{1}{2}\rho V_m^2(z) + \rho V_m(z)\bar{w}_{\max} \quad (3.18)$$

Denklem (3.10) ve (3.11)'den yararlanılarak Denklem (3.19) elde edilir:

$$q_p(z) \approx \frac{1}{2}\rho V_m^2(z) \left[1 + 2 \frac{\bar{w}_{\max}}{V_m(z)} \right] = \frac{1}{2}\rho V_m^2(z) [1 + 7I_w(z)] \quad (3.19)$$

Temel rüzgar basıncı:

$$q_b = \frac{1}{2}\rho V_b^2(z) \quad (3.20)$$

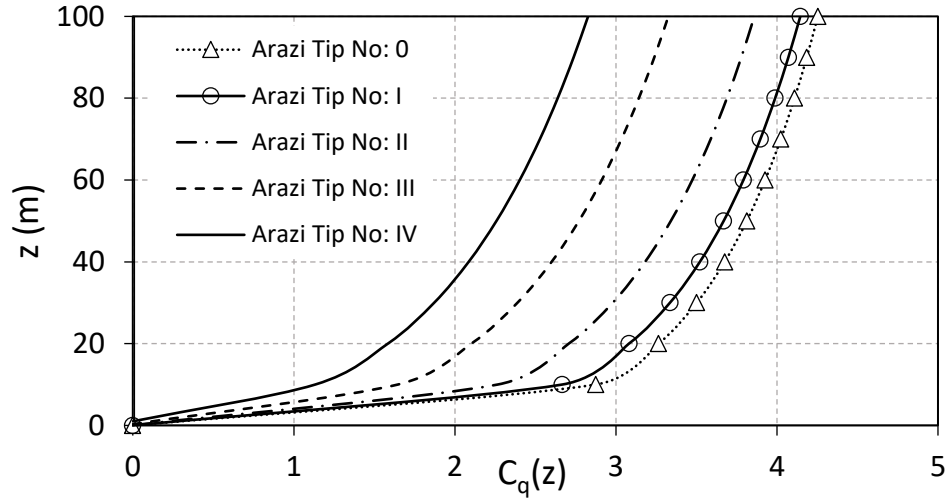
olmak üzere, en büyük rüzgar basıncı için Denklem (3.21) yazılabilir:

$$q_p(z) \approx \frac{q_b}{V_b^2(z)} V_m^2(z) [1 + 7I_w(z)] = C_q(z) q_b \quad (3.21)$$

Etkilenme katsayısı olarak adlandırılan $C_q(z)$, Denklem (3.2)'den hareketle aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$C_q(z) = \frac{V_m^2(z)}{V_b^2(z)} [1 + 7I_w(z)] = C_e^2(z) C_t^2 [1 + 7I_w(z)] \quad (3.22)$$

Tablo 3.1'de gösterilen arazi tipleri için $C_q(z)$ 'nin yükseklikle değişimi, $C_t = 1,0$ kabul edilerek, Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 $C_q(z)$ 'nin bina yüksekliği (z) ile değişimi ($C_t = 1,0$)

ii) Bir Yüzeye Etkiyen En Büyük Rüzgar Basıncı

Rüzgarın 90° açı ile etki ettiği bir düzlemde z yüksekliğinde bulunan bir yüzeye etki eden en büyük rüzgar yükü $Q(z)$, en büyük rüzgar basıncı $q_p(z)$ 'nin yüzey alanı (A) ve yüzey basınç katsayısı (C_p) ile çarpılmasıyla belirlenmektedir:

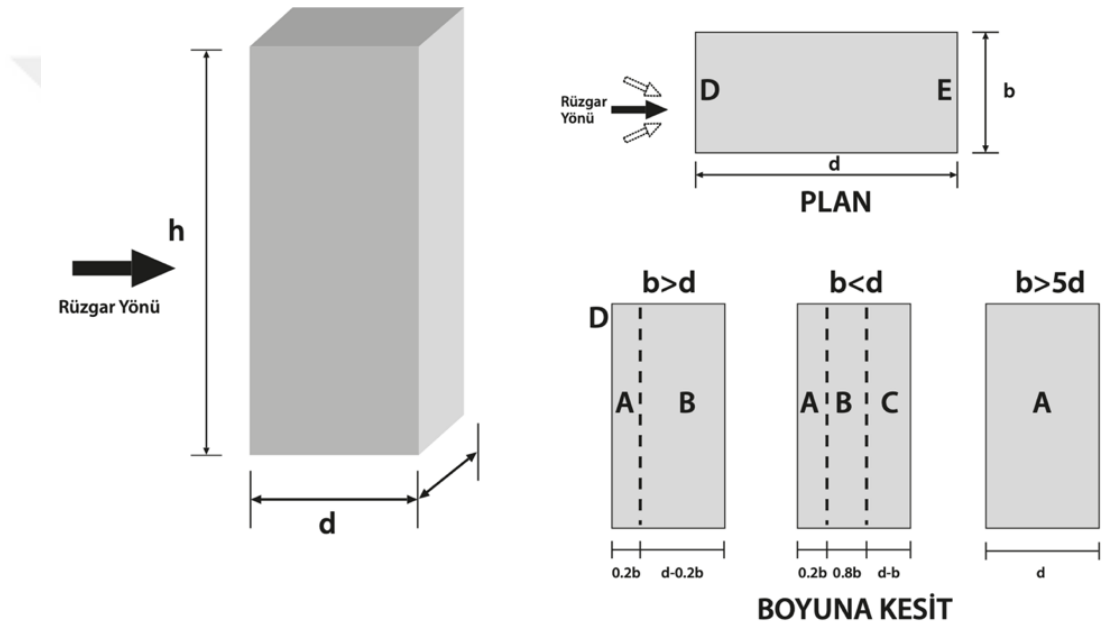
$$Q(z) = q_p(z) \times C_p \times A \quad (3.23)$$

Yüksek binaya ve yüksek binanın elemanlarına etki eden rüzgar yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak C_p katsayısının değeri ve işareti yüzeyin binadaki konumuna göre değişmektedir. (+) işaretli katsayılar yüzeyin dış normal doğrultusundaki basıncı, (-) işaretli katsayılar ise yüzeyin dış normal doğrultusundaki çekmeyi göstermektedir. C_p katsayısının değeri ise rüzgara maruz kalan yüzeyin büyüklüğüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Buna göre $A \leq 1,0 \text{ m}^2$ alanlar için $C_{p,1}$ katsayısı, $A \geq 10,0 \text{ m}^2$ alanlar için ise $C_{p,10}$ katsayısı kullanılmaktadır. Bu değerlerin arasında kalan yüzey alanları için $C_{p,A}$ katsayısı logaritmik interpolasyon kullanılarak Denklem (3.24)'te gösterildiği şekilde belirlenmektedir:

$$C_p = C_{p,1} - (C_{p,1} - C_{p,10}) \log_{10} A \quad (3.24)$$

Genel olarak, $C_{p,1}$ katsayısı yüksek binanın yapısal olmayan elemanlarına ve bağlantılarına etkiyen rüzgar yüklerinin belirlenmesinde, $C_{p,10}$ katsayısı ise yüksek bina taşıyıcı sistemine etki eden rüzgar yüklerin hesabında kullanılmaktadır.

Dikdörtgen şeklinde plana sahip binalar için binanın rüzgar yükleri açısından farklı bölgeleri Şekil 3.4'te, her bölgeye karşı gelen $C_{p,1}$ ve $C_{p,10}$ katsayıları ise Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Bu tabloda h/d 'nin ara değerlerine karşı gelen katsayılar doğrusal interpolasyonla bulunabilir ve $h/d > 5$ için $h/d = 5$ değerleri alınabilir.



Şekil 3.4 Dikdörtgen şeklinde plana sahip binalar için basınç katsayısı bölgeleri

Tablo 3.2 Dikdörtgen şeklinde plana sahip binalar için $C_{p,1}$ ve $C_{p,10}$ katsayıları

	A (yan yüz)		B (yan yüz)		C (yan yüz)		D (ön yüz)		E (arka yüz)	
h/d	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$
5	- 1,2	- 1,4	- 0,8	- 1,1	- 0,5	—	+ 0,8	+ 1,0	- 0,7	—
1	- 1,2	- 1,4	-0,8	- 1,1	- 0,5	—	+ 0,8	+ 1,0	- 0,5	—

3,2,1,3 Binalara Etkiyen Rüzgar Yükleri

i) Dikdörtgen Plan Geometrisine Sahip Yüksek Binalara Etkiyen Rüzgar Yükleri

Dikdörtgen şeklinde bir plan formuna sahip yüksek binaya etki eden toplam rüzgar yükü (F), dış yüzeylere etkiyen yüklerin (F_{ex}), iç yüzeylere etkiyen yüklerin (F_{in}) ve yan yüzlere etkiyen sürtünme yüklerin (F_{fr}) toplamı olarak hesaplanır:

$$F = F_{ex} + F_{in} + F_{fr} \quad (3,25)$$

Binanın dış yüzeylerine etkiyen yükler Denklem (20) kullanılarak hesaplanabilir:

$$F_{ex} = C_s C_d \sum q_p(z_e) C_{pe} A_{ex} \quad (3,26)$$

Denklem (3,26)'da toplama işlemi bütün dış yüzey alanları üzerinden yapılacaktır, Bu denklemde C_s yük korelasyon katsayısı, C_d dinamik rezonans katsayısı, $q_p(z_e)$ dış yükseklik z_e 'deki en büyük basınç, C_{pe} dış basınç katsayısı ve A_{ex} referans dış yüzey alanıdır,

C_s katsayısı kullanılarak en büyük rüzgar yüklerinin binanın yüzeyinde bulunan her noktada aynı anda (tam korelasyonlu) etki etmediği göz önüne alınmaktadır, C_d katsayısı ise, dinamik rüzgar yüklerinin etkisinde yüksek binanın dinamik davranışı ve rezonans nedeniyle yerdeğiştirmelerde meydana gelen artışı göz önüne almak için kullanılmaktadır, C_s ve C_d katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_s = \frac{1+7I_w(z_r)\sqrt{B^2}}{1+7I_w(z_r)} \quad (3,27)$$

$$C_d = \frac{1+7I_w(z_r)\sqrt{B^2+R^2}}{1+7I_w(z_r)\sqrt{B^2}} \quad (3,28)$$

$$\text{veya } C_s C_d = \frac{1+7I_w(z_r)\sqrt{B^2+R^2}}{1+7I_w(z_r)} \quad (3,29)$$

Denklem (3,27) – (3,28)’deki bağıntılarda z_r metre cinsinde referans yüksekliği (toplam bina yüksekliğin %60’ı olarak alınabilir), $I_w(z_r)$ referans yükseklikteki türbülans şiddetini, B^2 korelasyon katsayısını ve R^2 ise rezonans faktörünü ifade etmektedir, Yukarıda verilen bağıntılar, rüzgar etkidiği doğrultudaki titreşimlere birinci modun hakim olduğu dikdörtgen plan şekline sahip binalarda kullanılmalıdır,

Korelasyon katsayısı, b binanın rüzgara dik doğrultudaki genişliği, h binanın yüksekliği ve $L(z_r)$ referans yükseklikteki ($z_r = 0,6h$) türbülans uzunluğu olmak üzere Denklem (3,30) kullanılarak hesaplanabilir:

$$B^2 = \left\{ 1 + 0,9 \left[\frac{b+h}{L(z_r)} \right]^{0,63} \right\}^{-1} \quad (3,30)$$

Rezonans faktörü Denklem (3,31) ile hesaplanır:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} S_L(z_r, f_0) R_h(\eta_h) R_b(\eta_b) \quad (3,31)$$

Bu denklemde δ yüksek binanın birinci serbest titreşim moduna karşı gelen logaritmik azalım katsayısını, f_0 yüksek binanın birinci doğal titreşim frekansını (Hz), $S_L(z_r, f_0)$ türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun z_r ve f_0 ’daki değerini, $R_h(\eta_h)$ ve $R_b(\eta_b)$ sırasıyla düşey ve yatay doğrultudaki aerodinamik kabul fonksiyonunlarını göstermektedir,

Logaritmik azalım katsayısı (δ), binanın birinci serbest titreşim moduna karşı gelen sönüm katsayısına (ξ_0) bağlı olarak Denklem (3,32) ile hesaplanır:

$$\delta = \frac{2\pi\xi_0}{\sqrt{1-\xi_0^2}} \approx 2\pi\xi_0 \quad (3,32)$$

Birinci modun hakim olduğu bina titreşimleri için $R_h(\eta_h)$ fonksiyonu Denklem (3,33)’teki gibidir:

$$R_h(\eta_h) = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}) \quad (3,33)$$

Bu denklemde η_h Denklem (3,34) kullanılarak hesaplanır ve $\eta_h = 0$ ise $R_h(\eta_h = 0) = 1$ alınır:

$$\eta_h = \frac{4,6h}{L(z_r)} f_L(z_r, f_o) \quad (3,34)$$

Birinci modun hakim olduğu bina titreşimleri için $R_b(\eta_b)$ fonksiyonu Denklem (3,35) kullanılarak hesaplanır:

$$R_b(\eta_b) = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}) \quad (3,35)$$

η_b , Denklem (3,36) kullanılarak hesaplanır ve $\eta_b = 0$ ise $R_b(\eta_b = 0) = 1$ alınır:

$$\eta_b = \frac{4,6b}{L(z_r)} f_L(z_r, f_o) \quad (3,36)$$

Binanın iç yüzeylerine etkiyen yükler Denklem (3,37) kullanılarak hesaplanabilir:

$$F_{in} = \sum q_p(z_i) C_{pi} A_{in} \quad (3,37)$$

Denklem (3,37)'de toplama işlemi bütün iç yüzey alanları üzerinden yapılacaktır, Bu denklemde $q_p(z_i)$ iç yükseklik z_e 'deki en büyük basınç, C_{pi} iç basınç katsayısı ve A_{in} referans iç yüzey alanıdır,

İç basınç katsayıları bina yüzündeki açıklıkların boyutlarına ve sıklığına bağlı olarak değişmektedir, Binanın bir yüzündeki açıklıklar diğer yüzündeki açıklıkların en az iki veya daha fazla katı ise, binanın o yüzü iç basınçlar açısından hakim yüz olarak kabul edilmektedir, Analizlerde pencere ve kapı boşluklarının açık olarak dikkate alınmaktadır,

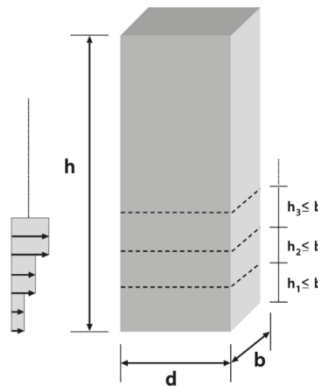
İç basınç katsayıları açıklık oranına bağlı olarak belirlenmektedir, Bir yüzeydeki açık alanların toplamı diğer yüzeylerdeki açık alanların toplamının en az iki katı ise $C_{pi} = 0,75 \times C_{pe}$; bir yüzeydeki açık alanlar diğer yüzeylerdeki açık alanların toplamının en az üç katı ise $C_{pi} = 0,90 \times C_{pe}$ alınmaktadır, Burada C_{pe} hakim yüzdeki dış basınç katsayısını belirtmektedir, Değişken basınç katsayısına sahip bölgelerde bulunan açık alanlarda C_{pe} katsayıları alan-ağırlıklı ortalama alınarak hesaplanmaktadır,

Binanın yan yüzlerine etkiyen sürtünme yükleri C_{fr} sürtünme katsayısı ve A_{fr} referans yan yüzey alanı (referans sürtünme alanı) olmak üzere Denklem (3,38) kullanılarak hesaplanabilir:

$$F_{fr} = \sum q_p(z_e) C_{fr} A_{fr} \quad (3,38)$$

Pürüzsüz yüzeyler için $C_{fr} = 0,01$, pürüzlü yüzeyler için $C_{fr} = 0,02$ ve çok pürüzlü yüzeyler için $C_{fr} = 0,04$ alınmaktadır, Sürtünme alanları rüzgar doğrultusundaki dış yüzeylerden oluşmaktadır, Düşey duvarlar için, sürtünme alanı rüzgar yönündeki toplam düşey duvar alanı kadardır,

Binaya etkiyen toplam rüzgar yükleri hesaplarken yüksek bina Şekil 3,5'te gösterildiği gibi düşey doğrultuda bölümlere ayrılır ve her bölüme gelen yükler ayrı ayrı belirlenir, Dikkate alınan bölümlerin yüksekliği (h_i) rüzgara dik doğrultudaki bina genişliğinden (b) fazla olmayacaktır, Yatay doğrultuda ise rüzgar yüklerin üniform yayıldığı kabul edilecektir,



Şekil 3,5, Dikdörtgen kesitli binalarda rüzgar yüklerinin bina yüksekliği boyunca değişimi

ii) Dairesel Plan Geometrisine Sahip Yüksek Binalara Etkiyen Rüzgar Yükleri

Daire şeklinde bir plan formuna sahip yüksek binalara etki eden rüzgar yükleri, dikdörtgen şeklinde plan formuna sahip yüksek binalara etki eden rüzgar yükleri ile benzer şekilde hesaplanabilir, Aralarındaki tek fark basınç katsayısı C_p 'nin hesabındaki değişikliktir:

$$C_p = C_{p,o} \psi_\alpha \quad (3,39)$$

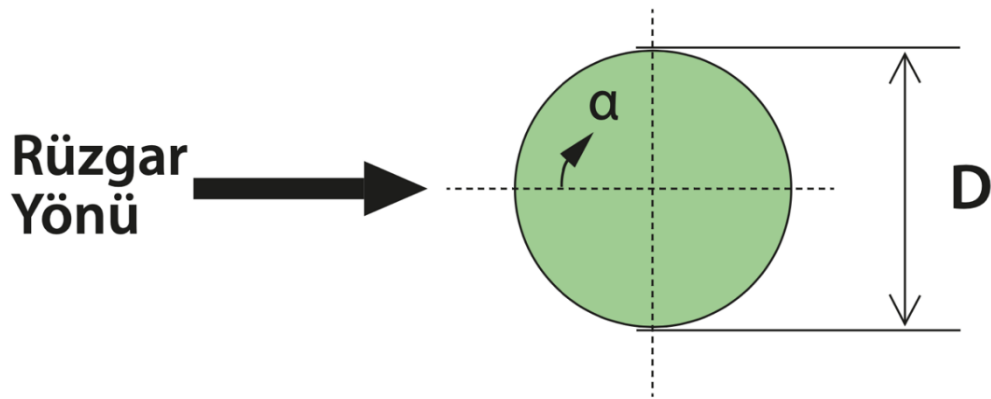
Denklem (3,39)'da $C_{p,o}$ uç etki (*end-effect*) olmaksızın hesaplanan basınç katsayısı, ψ_α ise uç etki faktörüdür,

Uç etki faktörü, dairesel kesitli binalarda Şekil 3,6'da gösterilen α açısına bağlı olarak Denklem (3,40) – (3,42)'deki bağıntılardan bulunur:

$$0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min}: \psi_\alpha = 1,0 \quad (3,40)$$

$$\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_A: \psi_\alpha = \psi_A + (1 - \psi_A) \cos \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}} \right) \right] \quad (3,41)$$

$$\alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ: \psi_\alpha = \psi_A \quad (3,42)$$



Şekil 3,6, Dairesel kesitli yüksek binalarda rüzgar akımı

Yukarıdaki denklemlerde bulunan $\alpha_{\min}$ ve α_A katsayıları minimum basınç ve akımın ayrılma noktalarına karşı gelen α değerleridir (Tablo 3,3),

Tablo 3,3 Dairesel kesitli binalarda basınç dağılımını kontrol eden parametreler

$\alpha_{\min} (^{\circ})$	$C_{p0,\min}$	$\alpha_A (^{\circ})$	$C_{p0,A}$
75	- 1,5	105	- 0,8

iii) Dikdörtgen veya Dairesel Kesitli Olmayan Yüksek Binalara Etki Eden Rüzgar Yükleri

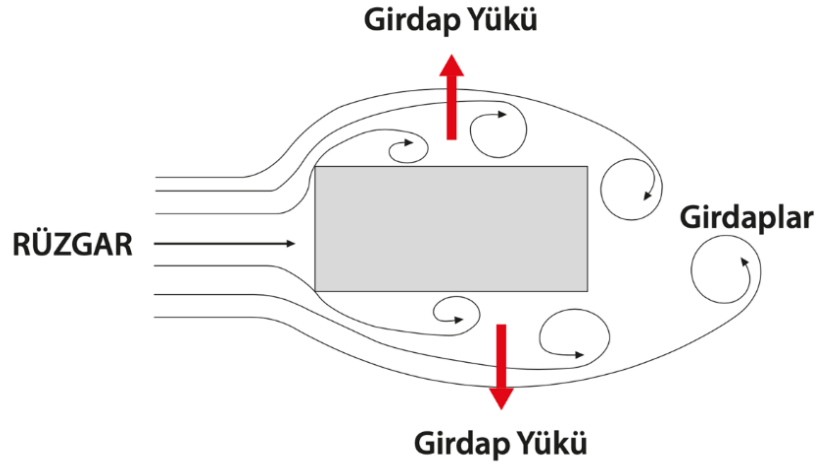
Dikdörtgen veya daire şeklinde plan formuna sahip olmayan yüksek binalara etkiyen rüzgar yüklerinin hesabı için kapsamlı analizler yapılmalıdır, Bu analizler, literatürde kabul edilmiş yöntemler kullanarak veya özel tipteki yüksek binalar için rüzgar tüneli deneyleri ile yapılabilir,

3,2,1,4 Rüzgar Kaynaklı En büyük İvmeler ve Yerdeğiştirmeler

Rüzgar etkisi nedeniyle yüksek binada oluşan en büyük yerdeğiştirmeler hesaplanırken, yukarıda açıklanan rüzgar yükleri yüksek binaya eşdeğer statik yük olarak uygulanmaktadır, Yüksek binada rüzgar etkisiyle oluşan titreşimlerinin dinamik özelliklerinin de dikkate alınması gerektiğinde (örneğin, yüksek bina kullanıcılarının konforu açısından en büyük kat ivmelerin belirlenmesi gerektiğinde) detaylı dinamik analiz gerekmektedir, Titreşimlere sebep olan türbülans yükleri rastgele yükler olduğundan ve istatistiki yöntemlerle (örneğin, güç spektral yoğunluk fonksiyonu kullanılarak) tanımlanabildiğinden dinamik analizler genellikle “Gelişigüzel Titreşim Teorisi” (*Random Vibration Theory*) yöntemleri kullanarak yapılmaktadır,

3,2,1,5 Vorteks (Girdap) Titreşimleri

Rüzgarın neden olduğu hava akımı binanın yan cepheleri etrafından geçerken Şekil 7’de şematik olarak belirtildiği türde vorteksler (girdaplar) oluşmaktadır, Vorteks titreşimleri değişken olarak önce binanın bir yan yüzünde, sonra diğer yan yüzünde oluştuğu için bunların neden olduğu dinamik yükler de değişken yönlü olup rüzgar akış yönüne 90° açıda etki ederler, Vorteks kaynaklı yükler, çok belirgin ve dar bir frekans bandında etki ettiği için sinüzoidal yük olarak açıklanabilir,



Şekil 3,7 Yüksek binalarda vorteks yüklerinin oluşumu

Vorteks yüklerinin frekansı, yüksek binanın rüzgara dik doğrultusundaki doğal frekansına yakın ise binanın bu doğrultusunda büyük genlikli titreşimler oluşabilir, $h/d_{\min} < 6$ ve $V_{cr} > 1,25V_m(H)$ olması durumlarında vorteks titreşimleri ihmal edilebilir, h binanın yüksekliğini, $d_{\min}$ binanın rüzgara dik doğrultudaki en kısa boyutunu, $V_m(H)$ binanın tepe katı seviyesindeki ortalama rüzgar hızını (m/s), V_{cr} ise aşağıda Denklem (3,43) ile tanımlanan kritik rüzgar hızını (m/s) göstermektedir:

$$C_p = \frac{b f_{oy}}{S_t} \quad (3,43)$$

Denklem (3,43)'te, b rüzgarın geldiği yüzdeki bina genişliğini, f_{oy} binanın rüzgara dik doğrultudaki doğal frekansını (Hz), S_t ise Strouhal sayısını belirtmektedir, Daire şeklinde plan formuna sahip binalar için Strouhal sayısı 0,18'dir, Enkesiti keskin köşelere sahip dikdörtgen şeklinde forma sahip olan binalar için Strouhal sayısı kesitin derinlik/genişlik (d/b) oranına bağlı olarak değişmektedir ve Tablo 3,4'te verilmiştir, d/b 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir,

Tablo 3,4 Strouhal sayısının kesitin derinlik/genişlik (d/b) oranına göre değişimi

d/b	1	2	3	3,5	5	10
S_t	0,12	0,06	0,06	0,15	0,11	0,09

Vorteks titreşimlerinin rezonans tipi titreşimler olmasından dolayı, genlikleri çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir, Yukarıdaki kriterlere bağlı olarak vorteks oluşması ihtimaline karşılık, yüksek binaya aerodinamik elemanlar veya vorteks titreşimlerinin genliğini azaltan sönüm sistemleri eklenmelidir, Vorteks titreşimlerinin oluşturacağı en büyük ivme ve yerdeğiştirmelerin belirlenmesi için literatürde çeşitli hesap metotları bulunmaktadır, Daha detaylı analizler için uzman kişilerden yardım alınması önerilmektedir,

3,2,1,6 Rüzgar Kuyruğu Etkileri

Yüksekliği, genişliğinden 4 katı veya daha fazla ve diğer bir yüksek binanın arkasında bulunan yüksek binalar, önde bulunan yüksek binanın rüzgar akışında yaptığı etkiler sebebiyle ekstra türbülans etkileri ile karşılaşır, Rüzgar kuyruğu etkileri olarak tanımlanan bu etkiler aşağıdaki iki koşuldan birinin sağlandığı durumlarda dikkate alınmayabilir:

- İki bina arasındaki yatay mesafenin, önde bulunan yüksek binanın rüzgara dik doğrultudaki genişliğinin 25 katından daha fazla olması durumunda,
- Arkada yer alan yüksek binanın doğal titreşim frekansının 1,0 Hz'den daha fazla olması durumunda,

Rüzgar kuyruğu etkileri dikkate alınması gerektiği durumlarda çözüm amaçlı rüzgar tüneli analizleri yapılabilir veya bir uzmana danışılabilir,

3,2,1,7 Rüzgar Tüneli Deneyleri

Mimarisi, yapısal karakteristikleri veya yapıldığı bölge nedeniyle (örneğin geometrisi, yüksekliği, kesiti, kullanılan malzeme, bulunduğu mevki veya çevresindeki yapılar gibi) alışılmışın dışında olan yüksek binaların rüzgar davranışının ortaya çıkarılabilmesi amacıyla genellikle rüzgar tüneli analizleri yapılmaktadır.

Rüzgar tüneli deneyi gerektiren bina tipleri aşağıda sıralanmıştır:

- Yüksekliği fazla olan ve düzgün olmayan enkesite sahip binalar,

- Doğal titreşim frekansı küçük olan çok esnek binalar ($f < 1,0$ Hz),
- Vorteks titreşimlerine, kuyruk çarpımlarına vb, aerodinamik stabilite problemleri maruz kalabilecek binalar,
- Bina kullanıcılarının konforunu bozacak ölçüde titreşim yapması beklenen binalar,
- Taşıyıcı sistemine ve taşıyıcı sistem elemanlarına etkileyen rüzgar yüklerinin çok daha detaylı analiz ve hesaplama yapılması gereken binalar,

3,2,2 Deprem Etkisi Altında Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı

Çalışmada, deprem etkisi altında yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımına yönelik uygulanacak kurallar TBDY (2018) ve İYBDY (2008) kapsamında değerlendirilmiştir,

3,2,2,1 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

Çalışmanın bu bölümünde betonarme (BA) ve çelik yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin deprem tasarımında dikkate alınacak deprem yer hareketleri ve uygulanacak özel kurallar Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) çerçevesinde ele alınmıştır,

3,2,2,1,1 Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımında Esas Alınacak Deprem Yer Hareketleri, TBDY (2018)'de tasarımda dikkate alınmak üzere tanımlanan deprem yer hareketi düzeyi aşağıda açıklanmıştır:

i) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

Göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketidir ve spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 olduğu çok seyrek deprem yer hareketini tanımlamaktadır, DD-2 deprem yer hareketinin tekrarlanma periyodu 2475 yıldır,

ii) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

Tekrarlanma periyodu 475 yıl olan ve spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir, Bu deprem yer hareketi düzeyi standart tasarım deprem yer hareketi olarak adlandırılmaktadır,

iii) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %50 (buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan sık deprem yer hareketidir,

iv) Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

DD-4 deprem yer hareketi düzeyi, tekrarlanma periyodu oldukça az (43 yıl) olan ve spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 olduğu çok sık deprem yer hareketini tanımlamakta ve servis deprem yer hareketi olarak da nitelenmektedir,

Yukarıda tanımlanan deprem yer hareketi düzeylerine ait deprem verileri (en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yer ivmesi (PGV) ve kısa periyot ile 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayıları) internet ortamından erişilebilen Türkiye Deprem Tehlike Haritaları aracılığıyla gösterilmiştir,

3,2,2,1,2 Standart Deprem Yer Hareketi Spektrumları, Deprem yer hareketi spektrumları, kısa periyot ile 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak ve belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak standart biçimde %5 sönüm oranı için tanımlanabilir, Ayrıca deprem tehlike analizleri gerçekleştirilerek sahaya özel deprem yer hareketi spektrumları elde edilebilir, Bununla birlikte bu deprem yer hareketi spektrumlarının ordinatları, aşağıdaki paragraflarda tanımlanan elastik tasarım spektrumu ordinatlarının % 90'ından küçük olmamalıdır,

TBDY (2018)'de verilen harita spektral ivme katsayıları, dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu $[(V_S)_{30} = 760 \text{ m/s}]$ esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesiyle elde edilmiştir, Harita spektral ivme katsayıları birbirine dik iki yatay doğrultudaki ((X) ve (Y) doğrultuları) deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelmektedir, Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S) ve 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1), Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında tanımlanmıştır, S_S ve S_1 katsayıları spektrumun kısa periyot bölgesi ve 1,0 saniye periyot için ayrı ayrı verilen yerel zemin etki katsayıları (sırası ile F_S ve F_1) kullanılarak Denklem (3,44) ve (3,45) aracılığıyla tasarım spektral ivme katsayılarına dönüştürmektedir:

$$S_{DS} = S_S \times F_S \quad (3,44)$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 \quad (3,45)$$

Denklem (3,44) ve (3,45)'te S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, S_{D1} ise 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı olarak tanımlanmaktadır, F_S ve F_1 yerel zemin etki katsayıları, yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Tablo 3,5 ve 3,6'da verilmiştir, Harita spektral ivme katsayılarının ara değerleri için lineer enterpolasyon yapılabilir,

Tablo 3,5 F_S yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,50$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,00$	$S_S = 1,25$	$S_S \geq 1,50$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 3,6 F_1 yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
ZD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
ZE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Denklem (3,44) ve (3,45) kullanılarak hesaplanan kısa periyot ve 1,0 saniye periyot tasarım spektral ivme katsayılarına ve periyoda bağlı olarak yatay ve düşey elastik tasarım ivme spektrumları tanımlanmıştır, Diğer bir ifadeyle yatay ve düşey elastik tasarım ivme spektrumları, tasarım spektral ivme katsayılarının ve doğal titreşim periyodunun fonksiyonu olarak standart biçimde tanımlanmış analitik eğrilerdir,

3,2,2,1,3 *Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu*, Yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri [$S_{ae}(T)$], dikkate alınan deprem yer hareketi düzeyi için yerçekimi ivmesi [g] cinsinden aşağıdaki analitik fonksiyonlar ile tanımlanmıştır:

$$S_{ae}(T) = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3,46)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (3,47)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (3,48)$$

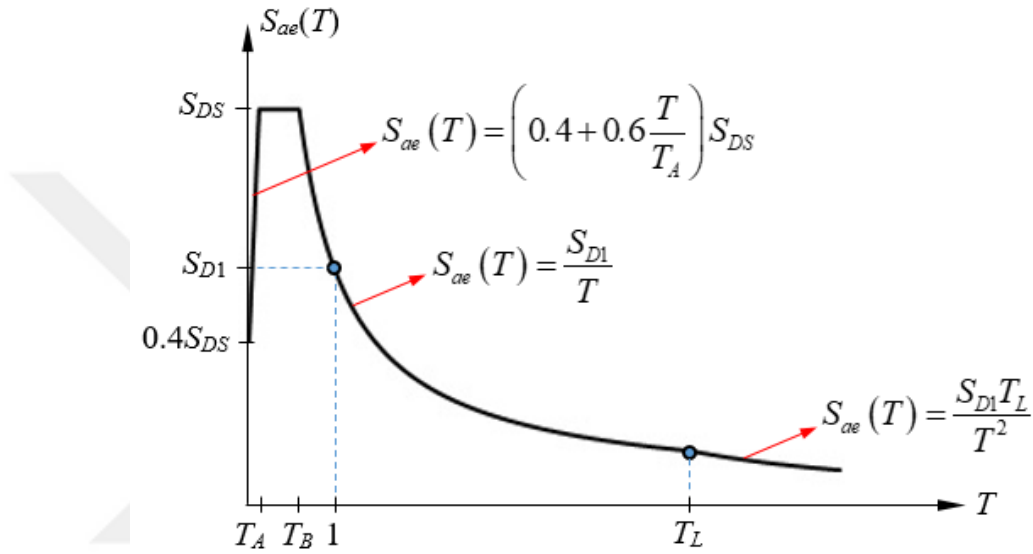
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (3,49)$$

Denklem (3,48) ve (3,49)'da elastik tasarım ivme spektrumunun sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ s olarak hesaplanacaktır, T_A ve T_B yatay elastik tasarım ivme spektrumunun köşe periyodlarıdır ve tasarım spektral ivme katsayılarına bağlı olarak Denklem (3,50) ve (3,51) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3,50)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3,51)$$

TBDY (2018)'de yer alan yatay elastik tasarım ivme spektrumunun tipik şekli Şekil 3,8'de gösterilmiştir,



Şekil 3,8 Yatay elastik tasarım ivme spektrumunun

Yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri $[S_{de}(T)]$, dikkate alınan deprem yer hareketi düzeyi için doğal açısal frekansa $[\omega \text{ (rad/s)}]$ ya da doğal titreşim periyoduna bağlı olarak Denklem (3,52) kullanılarak elde edilebilir:

$$S_{de}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{\omega^2} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}(T) \quad (3,52)$$

3,2,2,1,4 Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumu, Düşey elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri $[S_{aeD}(T)]$, göz önüne alınan deprem yer hareketi düzeyi için yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve taşıyıcı sistemin doğal

titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi $[g]$ cinsinden Denklem (3,53) – (3,55) ile tanımlanmaktadır:

$$S_{aeD}(T) = \left(0,32 + 0,48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_{AD}) \quad (3,53)$$

$$S_{aeD}(T) = 0,8 \times S_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD}) \quad (3,54)$$

$$S_{aeD}(T) = 0,8 \times S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} \leq T \leq T_{LD}) \quad (3,55)$$

Denklem (3,53) – (3,55)’te yer alan T_{AD} ve T_{BD} düşey elastik tasarım ivme spektrumun köşe periyotları, sırasıyla T_A ve T_B yatay elastik tasarım ivme spektrumunun köşe periyotlarının $1/3$ ’ü olarak hesaplanmaktadır, Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu (T_{LD}) yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodunun (T_L) yarısı olarak alınabilir ($T_{LD} = 3$ s),

Yatay elastik tasarım ivme spektrumundan farklı olarak düşey elastik tasarım ivme spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesi tanımlanmamıştır ve düşey spektrum sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu ile sonlanmaktadır,

3,2,2,1,5 Deprem Yer Hareketlerinin Zaman Tanım Alanında Tanımlanması, BA ve çelik yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkisi altında tasarımında kullanılmak üzere deprem yer hareketlerinin zaman tanım alanında tanımlanması yoluna da gidilebilir, Bu durumda analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, zaman tanım alanında ölçeklendirilmesi veya spektral uyum sağlayacak şekilde dönüştürülmesi gerekmektedir,

Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan deprem hesabında kullanılacak deprem yer hareketi kayıtlarının seçimi belirli kriterler dikkate alınarak yapılmalıdır, Bunlar arasında tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklüklerinin kullanılması, fay uzaklıkları ve mekanizmaları ile yerel zemin koşullarının dikkate alınması önem arz etmektedir,

Yüksek binanın yapıldığı bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu gerçek deprem yer hareketi kayıtları öncelikli olarak tercih edilecek, yeterli sayıda ve nitelikte gerçek deprem yer hareketi kaydının bulunmadığı durumlarda ise zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları kullanılabilir. Bir veya iki boyutlu deprem hesabı için kullanılacak deprem yer hareketi kayıtlarının ve üç boyutlu deprem hesabı için seçilecek deprem kaydı takımlarının (iki yatay bileşen ve bir adet düşey bileşen) sayısı en az 11 olacaktır, Ayrıca, aynı depreme ait kayıt veya kayıt takımı sayısı üçü geçmemesi gerekmektedir,

3,2,2,2 İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği

Ülkemizde yüksek binaların deprem tasarımına yönelik ilk yönetmelik olan İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY, 2008), temel ilke olarak yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkileri altında performansa göre tasarımını esas alır, Buna tasarım yaklaşımına göre, belirli bir deprem yer hareketi etkisinde taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek yapısal hasar sayısal olarak tahmin edilmektedir, Ayrıca bu hasarın her bir eleman için çeşitli deprem yer hareketi düzeylerinde yüksek binalar için önceden tanımlanmış olan performans hedefleri ile uyumlu olacak şekilde önceden belirlenmiş hasar düzeyi sınırlarının altında kalıp kalmadığı kontrol edilebilmektedir, Eleman düzeyinde hesaplanan hasar, şiddetli depremlerde genel olarak taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerine karşı gelmektedir ve bu nedenle performansa göre tasarım yaklaşımı, doğrusal olmayan (nonlinear) hesap yöntemleri ve Şekildeğiştirmeye Göre Tasarım yaklaşımı ile yakından ilişkilidir, İYBDY (2008) kapsamında sınırlı deprem hasarının öngörüldüğü performans hedefleri için, Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı kapsamında doğrusal hesap yöntemlerine de müsaade edilmektedir,

3,2,2,2,1 Tasarımda Esas Alınacak Deprem Yer Hareketi Düzeyleri, Yüksek binaların performansa göre tasarımında esas alınmak üzere tanımlanan deprem yer hareketi düzeyleri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

i) D1 Deprem Düzeyi

D1 deprem düzeyi, yüksek binaların servis ömürleri boyunca meydana gelme olasılığı oldukça fazla olan ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini tanımlamaktadır, D1 deprem düzeyindeki deprem yer hareketinin 50 yılda aşılma olasılığı %50 olup ve tekrarlanma periyodu 72 yıldır, D1 deprem düzeyi TBDY (2018)'de tanımlanan DD-3 deprem yer hareketi düzeyine karşılık gelmektedir,

ii) D2 Deprem Düzeyi

D2 deprem düzeyi, oluşma olasılığı oldukça seyrek olan ancak etki bakımından şiddetli bir deprem yer hareketlerini ifade etmektedir, D2 düzeyindeki deprem yer hareketinin 50 yılda aşılma olasılığı %10 olup tekrarlanma periyodu ise 475 yıldır, D2 deprem düzeyi, TBDY (2018)'de standart tasarım deprem yer hareketi (DD-2) düzeyine karşılık gelmektedir,

iii) D3 Deprem Düzeyi

İYBDY (2008) kapsamında yüksek binaların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketidir, D3 düzeyindeki bu çok seyrek deprem yer hareketinin 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 2475 yıldır, D3 deprem düzeyi, TBDY (2018)'de tanımlanan DD-1 deprem yer hareketi düzeyinin karşılığıdır,

3,2,2,2 Deprem Tasarım Spektrumları, İYBDY (2008) kapsamında dikkate alınan üç farklı deprem yer hareketi düzeyleri için kısa doğal titreşim periyoduna ($T = 0,2$ s) ve 1,0 saniye doğal titreşim periyoduna karşı gelen %5 sönümlü yatay deprem spektral ivme değerleri (S_S ve S_1), referans zemin koşulu $[(V_S)_{30} = 760$ m/s] için İstanbul İli Deprem Tehlikesi Haritaları'nda ilçe düzeyinde verilmiştir, Referans zemin dışındaki zemin sınıfları için kısa periyot ve 1,0 saniye periyot için elastik spektral ivme değerleri (sırası ile S_{MS} ve S_{M1}), zemin etkisi parametreleri F_a ve F_v 'ye bağlı olarak Denklem (3,56) ve (3,57) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$S_{MS} = S_S \times F_a \quad (3,56)$$

$$S_{M1} = S_1 \times F_v \quad (3,57)$$

F_a ve F_v zemin etkisi parametreleri Tablo 3,7’de tanımlanmıştır, Bu tabloda verilen zemin sınıfları İYBDY (2008)’de açıklanmaktadır, Arada kalan S_S ve S_1 değerleri için lineer enterpolasyon yapılabilir,

Tablo 3,7 Kısa periyot ve 1,0 saniye periyot için zemin katsayısı

Zemin Sınıfı	Kısa periyot zemin katsayısı (F_a)					1.0 saniye periyot zemin katsayısı (F_v)				
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,50$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,00$	$S_S = 1,25$	$S_1 \leq 0,10$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,30$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	2,4	1,7	1,2	0,9	0,9	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.									

Yatay deprem etkisi için elastik tasarım ivme spektrumları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$S_{ae}(T) = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}\right) S_{MS} \quad (T \leq T_0) \quad (3,58)$$

$$S_{ae}(T) = S_{MS} \quad (T_0 \leq T \leq T_S) \quad (3,59)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T} \quad (T_S \leq T \leq T_L) \quad (3,60)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (3,61)$$

Denklem (3,60) ve (3,61)’de elastik tasarım ivme spektrumunun sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu İstanbul ili için $T_L = 12$ s’dir,

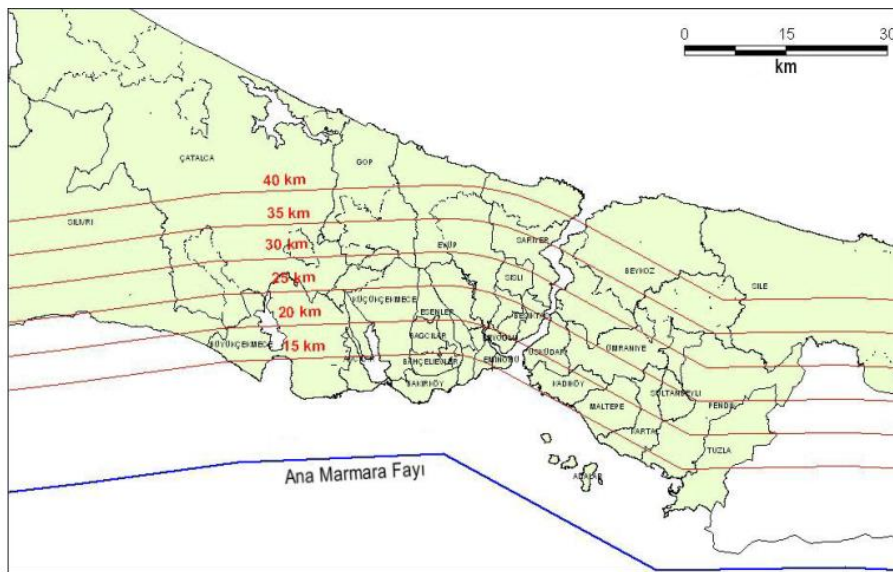
Yatay elastik tasarım ivme spektrumunun T_0 ve T_s köşe periyotları ise Denklem (8) ile hesaplanmaktadır:

$$T_0 = 0,2T_s \quad (3,62)$$

$$T_s = \frac{s_{M1}}{s_{MS}} \quad (3,63)$$

Spektral şekli TBDY (2018)'de verilen yatay elastik tasarım ivme spektrumu ile aynı olan bu tasarım spektrumunun yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu TBDY (2018)'deki spektrumun iki katıdır, Ayrıca İYBDY (2008)'de yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumu ve düşey elastik tasarım ivme spektrumu tanımlanmamıştır,

3,2,2,2,3 Zaman Tanım Alanında Deprem Etkisi, Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesaplarında, en az yedi deprem yer hareketi takımı seçilecek ve öngörülen senaryo depremine ait parametreler ile uyumlu gerçek deprem yer hareketlerine ait ivme kayıtları kullanılacaktır, İstanbul için bu akselerogramların seçiminde, yatay atımlı deprem kaynak mekanizması, moment büyüklüğü 7 ile 7,5 arasında değişen ($7,0 < M_w < 7,5$) ve B veya C yerel zemin sınıfı dikkate alınacaktır, Deprem mesafesi olarak ise, tasarımı yapılan yüksek bina ile Ana Marmara Fay Hattı arasındaki en kısa uzaklık alınacak ve bu uzaklık değeri Şekil 3,9'daki harita esas alınarak belirlenecektir,



Şekil 3,9 Ana Marmara Fayı'na uzaklıklar

İstenilen sayıda gerçek deprem yer hareketlerine ait ivme kaydının olmadığında, deprem yer hareketi benzeşimleri ve elastik tasarım spektrumu ile uyumlu yapay deprem yer hareketleri alınabilir, Her iki yatay deprem doğrultusu için farklı ivme kaydı kullanılmalıdır; aynı akselerogram birbirine dik yatay deprem doğrultuları için kullanılamaz, Deprem yer hareketi simülasyonları faylanma mekanizması, fayın yırtılma özellikleri, depremin kaynağı ve kayıt istasyonu arasındaki ortamın jeolojik yapısını dikkate alan fiziksel bir model kullanılarak gerçekleştirilmelidir, Bina konumu ile Ana Marmara Fay hattı arasındaki en kısa mesafenin 15 km'den daha az olduğu durumlarda yakın alan ve direktivite etkilerinin göz önüne alabilmek için en az üç deprem yer hareketi takımı simülasyonla belirlenmesi gerekmektedir,

BA ve çelik yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkisi altında tasarımında kullanılmak üzere seçilecek veya üretilecek yapay deprem yer hareketi kayıtlarının sağlaması gereken diğer özellikler İYBDY (2008)'de açıklanmıştır,

3,3 Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Deprem Etkisi Altında Tasarımı İçin Özel Kurallar

TBDY (2018)'de deprem etkisi altında tasarımda binalar deprem hesabı bakımından bina yüksekliği (H_N) esas alınarak sekiz bina yükseklik sınıfına (BYS) ayrılmıştır, H_N bina tabanından itibaren ölçülen yüksekliktir, Rijit bodrum kat perdelerinin yüksek binayı en az üç taraftan çevrelemesi ve kat planında birbirine dik eksenlerinin her birinin doğrultusundaki hakim titreşim modunda, bodrum katlar dahil binanın tamamı için hesaplanan doğal titreşim periyodunun ($T_{p,tüm}$), bodrum kat kütleleri dikkate alınmadan aynı doğrultuda hesaplanan doğal titreşim periyoduna ($T_{p,üst}$) oranının 1,1'den küçük olması durumunda bina tabanı, bodrum perdelerinin üst kotunda yer alan kat döşemesi seviyesinde, aksi taktirde temel üst kotunda tanımlanmaktadır,

Yukarıda açıklanan yükseklik tanımı esas alınarak ve deprem tasarım sınıfına (DTS) göre yapılan sınıflandırma sonucunda TBDY (2018)'de $BYS = 1$ olarak belirtilen binalar, “yüksek binalar” olarak isimlendirilmiştir, Buna göre deprem

tasarım sınıfı $DTS = 1, 1a, 2, 2a$ için $H_N > 70$ m olan binalar, deprem tasarım sınıfı $DTS = 3, 3a$ için $H_N > 91$ m olan binalar ve deprem tasarım sınıfı $DTS = 4, 4a$ için $H_N > 105$ m olan binalar, yüksek bina olarak tanımlanmaktadır, Görüldüğü gibi S_{DS} değeri arttıkça (deprem yer hareketinin şiddeti arttıkça) bina yüksekliğini belirleyen alt sınır küçülmektedir, Yukarıdaki tanımlarda geçen deprem tasarım sınıfları (DTS), TBDY (2018)'de verilen bina kullanım sınıflarına (BKS) ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi (standart tasarım deprem yer hareketi) için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına (S_{DS}) bağlı olarak Tablo 3,8'de açıklanmıştır, Yönetmelikte tanımlanan bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları ise Tablo 3,9'da listelenmiştir,

Tablo 3,8 Deprem tasarım sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi	Bina Kullanım Sınıfı	
Düzeyinde S_{DS}	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0,33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0,50 \leq S_{DS} < 0,75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0,75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Tablo 3,9 Bina kullanım sınıfları (BKS) ve bina önem katsayıları (I)

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

Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin, süneklik düzeyi yüksek BA veya süneklik düzeyi yüksek çelik taşıyıcı sistemler olarak düzenlenmesi esastır, Buna göre yüksek bina taşıyıcı sistemleri TBDY (2018)'de **A12, A13, A14, A15, B12, B13** ile belirtilen süneklik düzeyi yüksek BA taşıyıcı sistemlerden veya **C12, C14, C15** olarak ifade edilen süneklik düzeyi yüksek çelik taşıyıcı sistemler ile tasarlanacaktır, Yukarıda geçen simgelerin kısa açıklamaları Tablo 3,10'da verilmiştir,

Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin süneklik düzeyi sınırlı sistemler ve süneklik düzeyi karma sistemler olarak düzenlenmesine izin verilmemektedir, Tek istisnai durum DTS= 4 olan yüksek binalar **A21, A22** ve **C21, C22** simgeleri kullanılarak belirtilen süneklik düzeyi karma BA ve çelik taşıyıcı sistemler ile de tasarlanabilir, Bu simgelerin kısa açıklamaları Tablo 3,11'de verilmiştir, Yüksek bina BA taşıyıcı sistemlerinde B420C veya B500C kalitesi dışında nervürlü donatı çelikleri kullanılmayacaktır,

Tablo 3,10 Yüksek süneklik düzeyine sahip yüksek bina taşıyıcı sistemleri ve simgeleri

Simge	Taşıyıcı Sistem
A12	Bağ kirişli (boşluklu) BA perdeler
A13	Boşluksuz BA perdeler
A14	Moment aktaran BA çerçeveler ve bağ kirişli (boşluklu) BA perdeler
A15	Moment aktaran BA çerçeveler ve boşluksuz BA perdeler
B12	Moment aktaran ön üretimli çerçeveler <u>ve</u> yerinde dökme bağ kirişli (boşluklu) BA perdeler
B13	Moment aktaran ön üretimli çerçeveler <u>ve</u> yerinde dökme boşluksuz BA perdeler
C12	Dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler
C14	Moment aktaran çelik çerçeveler ile dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya bağ kirişli (boşluklu) BA perdeler
C15	Moment aktaran çelik çerçeveler ile merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya boşluksuz BA perdeler

Tablo 3,11 Süneklik düzeyi karma yüksek bina taşıyıcı sistemleri ve simgeleri

Simge	Taşıyıcı Sistem
A21	Süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran BA çerçeveler ve süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) BA perdeler
A22	Süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran BA çerçeveler ve süneklik düzeyi yüksek boşluksuz BA perdeler
C21	Süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) BA perdeler
C22	Süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya süneklik düzeyi yüksek boşluksuz BA perdeler

Yüksek binaların tasarımı, üç aşama ile yapılmaktadır, Tasarım Aşaması I, DD-2 deprem yer hareketi altında ön tasarımdan (boyutlandırmadan) ibarettir, Tasarım Aşaması II ise DD-4 veya DD-3 deprem yer hareketi düzeyleri etkisinde Kesintisiz Kullanım (KK) veya Sınırlı Hasar (SH) performans hedefleri için değerlendirmeden oluşmaktadır, Tasarım Aşaması III, DD-1 deprem yer hareketi etkisinde Göçmenin Önlenmesi (GÖ) veya Kontrollü Hasar (KH) performans hedefleri için değerlendirme (iyileştirme) aşaması olup, genel olarak tasarımın son aşamasıdır, Tasarım Aşaması II ile Tasarım Aşaması III'ün sıraları değiştirilebilir, Bu tasarım aşamaları aşağıda kısaca açıklanmıştır,

3,3,1 Tasarım Aşaması I: DD-2 Deprem Yer Hareketi Altında Ön Tasarım (Boyutlandırma)

Tasarımın bu aşamasında DD-2 standart tasarım depremi yer hareketinin etkisi altında KH performans hedefini sağlamak amacıyla yüksek bina taşıyıcı sisteminin Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ile boyutlandırması (ön tasarımı) gerçekleştirilmektedir,

DGT yaklaşımda temel olarak öngörülen performans hedefi için, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere önceden belirlenen taşıyıcı sistem

süneklik kapasitesine karşı gelen azaltılmış deprem yükleri belirlenmekte ve bu deprem yükleri esas alınarak doğrusal deprem analizi yapılmaktadır, Bu analizin sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarının azaltılmış iç kuvvetleri (kesit tesirleri) belirlenmektedir, Deprem etkisi altında belirlenen azaltılmış iç kuvvetler gerekli durumlarda dayanım fazlalığı katsayıları da dikkate alınarak, diğer yük etkilerinden oluşan iç kuvvetlerle birleştirilerek dış yüklerin dayanım talepleri elde edilmektedir, Taşıyıcı sisteme elemanlarının dayanım talepleri, seçilen performans hedefi için belirlenmiş olan eleman iç kuvvet kapasiteleri (dayanım kapasiteleri) ile karşılaştırmakta ve deprem hesabı sonucunda hesaplanan etkin görelî kat ötelemeleri izin verilen sınırlara göre kontrol edilmektedir, Eleman dayanım taleplerinin malzeme özellikleri ve kesit boyutları dikkate alınarak hesaplanan dayanım kapasitelerinin altında olduğu ve etkin görelî kat ötelemelerinin müsaade edilen sınırların altında kaldığı gösterilerek tasarımın bu aşaması tamamlanmaktadır, Belirtilen koşulların sağlanmaması durumunda taşıyıcı sistem eleman kesitleri değiştirmekte ve analiz tekrarlanarak sonuca gidilmektedir,

3,3,1,1 Tasarım Aşaması I İçin Taşıyıcı Sistem Modellemesi

DGT kapsamında yüksek bina taşıyıcı sistemleri üç boyutlu olarak modellenecek, birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkisi daima dikkate alınacak ve düşey deprem etkisi de göz önünde bulundurulacaktır, Sönüm oranı, aksi belirtilmediği sürece, %5 alınacaktır, Kiriş ve kolonlar, çubuk sonlu elemanları olarak modellenecek ve bunlara ait etkin kesit rijitlikleri Tablo 3,12'ye göre belirlenecektir, BA elemanların etkin kesit rijitliği çarpanları, sadece deprem etkisini içeren yük birleşimleri giren yükler altındaki analizlerde uygulanacaktır,

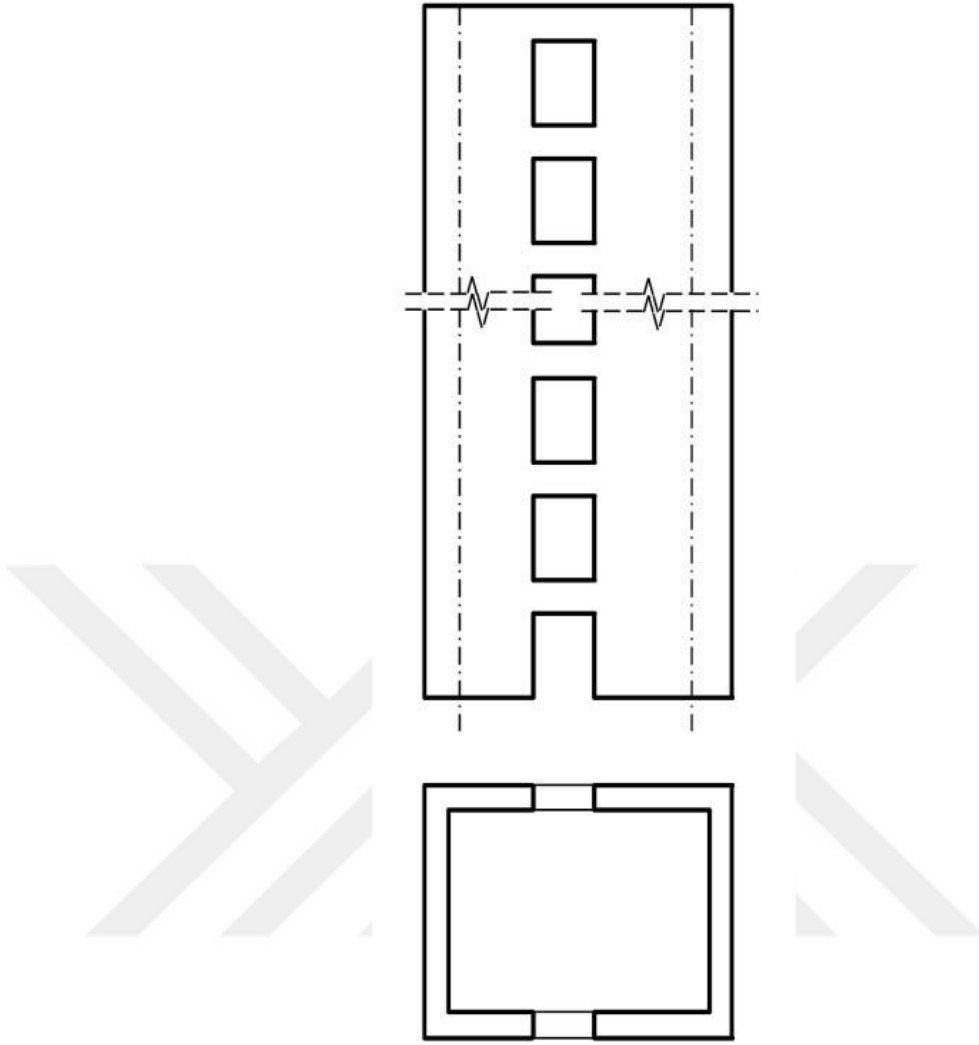
Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin süneklik düzeyi sınırlı sistemler ve süneklik düzeyi karma sistemler olarak düzenlenmesine izin verilmemektedir, Tek istisnai durum DTS = 4 olan yüksek binalar **A21**, **A22** ve **C21**, **C22** ile nitelendirilen süneklik düzeyi karma BA ve çelik taşıyıcı sistemler ile de tasarlanabilir, Bu simgelerin kısa açıklamaları Tablo 3,11'de verilmiştir,

Tablo 3,12 BA taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları

BA Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma
Perde	0,50	0,50
Bodrum perdesi	0,80	0,50
Döşeme	0,25	0,25
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0,25	1,00
Bodrum perdesi	0,50	1,00
Döşeme	0,25	1,00
Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0,15	1,00
Çerçeve kirişi	0,35	1,00
Çerçeve kolonu	0,70	1,00
Perde (eşdeğer çubuk)	0,50	0,50

BA bağ kirişli (boşluklu) perdeler, iki boşluksuz perdenin kesme dayanımı oldukça yüksek kısa boylu bağ kirişleri ile bağlanarak yük etkisinde tek bir perde olarak çalıştığı düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır, Bu tür perdelerin yük etkisinde yapısal davranışı, konsol olarak çalışan boşluksuz perdeler ile moment aktaran çerçeveler arasındadır, Bağ kirişli perdeyi oluşturan perde parçalarının enkesitleri dikdörtgen veya genellikle yüksek bina çekirdeklerinde olduğu gibi U veya C şeklinde tasarlanabilir (Şekil 3,10), Çubuk eleman olarak modellenen bağ kirişlerinin eğilme ve kesme etkisindeki etkin kesit rijitlikleri Tablo 3,12'ye göre belirlenecektir,

Yüksek bina taşıyıcı sistem elemanlarının çubuk, levha (membran) veya kabuk olarak modellenmesi halinde tekil düğüm noktalarına atanan kütleler, ilgili düğüm noktasına bağlı sonlu elemanların etkili alanlarındaki yayılı kütlelerin bileşkeleri olarak belirlenmektedir, Sonlu eleman düğüm noktalarına atanan tekil kütleler, iki yatay ötelenme veya ek olarak düşey öteleme serbestlik derecelerine karşı gelecek şekilde tanımlanmaktadır,



Şekil 3,10 BA bağ kirişli (boşluklu) perdeler

Herhangi bir sonlu elemana ait düğüm noktası j 'ye etki eden tekil kütle $m_j^{(S)}$ Denklem (3,64) kullanılarak hesaplanacaktır:

$$w_j^{(S)} = w_{G,j}^{(S)} + n \cdot w_{Q,j}^{(S)} = g \cdot (m_{G,j}^{(S)} + n \cdot m_{Q,j}^{(S)}) \quad (3,64)$$

Burada sonlu $w_{G,j}^{(S)}$ ve $w_{Q,j}^{(S)}$ eleman düğüm noktası j 'ye etkiyen bileşke sabit yükü (G) ve hareketli yükü (Q) tanımlamaktadır, Denklem (3,64)'te bulunan hareketli yük kütle katılım katsayıları (n), binanın kullanım amacına bağlı olarak Tablo 3,13'te listelenmiştir,

Tablo 3,13 Hareketli yük kütle katılım katsayısı

Binanın Kullanım Amacı	η
Depo, antrepo, vb.	0,8
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0,6
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0,3

Kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak modellendiği durumlarda kat kütleleri, kütle merkezindeki düğüm noktasında düzlem içi üç bağımsız rijit hareket serbestlik derecesine karşı gelecek şekilde tanımlanmaktadır, Bağımsız serbestlik dereceleri, iki yatay öteleme serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi olarak seçilmektedir,

Deprem yer hareketinin yüksek binaya etkisindeki ve taşıyıcı sistemin rijitlik ve kütle dağılımındaki olası belirsizlikleri göz önünde bulundurmak üzere ek dışmerkezlilik etkisi tanımlanmaktadır, Kat döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak modellenen yüksek binalarda, kat kütle merkezinde tanımlanan kat kütlesi esas alınarak her bir deprem doğrultusunda deprem hesabı yapılacaktır, Bu deprem hesabına ilave olarak kat kütle merkezine etkiyen yatay deprem yükleri, göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar ötelenerek deprem hesabı tekrarlanacaktır,

Kat döşemeleri kendi düzlemleri içindeki yerdeğiştirmelere ilişkin serbestlik derecelerini içermek üzere iki boyutlu levha (membran) sonlu elemanlar ile modellenen yüksek binalarda deprem hesabı dışmerkezlilik etkisi olmaksızın yapılarak döşemelerde ve diğer taşıyıcı sistem elemanlarında iç kuvvetler (kesit tesirleri) ve yerdeğiştirmeler belirlenecektir, Dış merkezlilik etkisinin gözönüne alınabilmesi için düzlem içi sonlu eleman serbestlik dereceleri için rijit diyafram varsayımı yapılarak kat kütle merkezleri %5'lik ek dışmerkezlilik kadar kaydırılacaktır, Ek dışmerkezliğin düşey taşıyıcı elemanlara etkisini belirlemek amacıyla rijit diyafram modellemesini esas alan bir deprem hesabı daha yapılacaktır,

3,3,1,2 Tasarım Aşaması I İçin Kullanılacak Yük Birleşimleri

Yüksek bina taşıyıcı sistem elemanlarının ön tasarımında (boyutlandırmasında) kullanılmak üzere deprem etkisini de içeren yük birleşimleri Denklem (3,65) ve (3,66) kullanılarak elde edilmektedir:

$$G + Q + 0,2S + E_d^{(H)} + 0,3E_d^{(Z)} \quad (3,65)$$

$$0,9G + H + E_d^{(H)} - 0,3E_d^{(Z)} \quad (3,66)$$

Denklem (3,65) ve (3,66)'da G sabit yükü, Q hareketli yük etkisini, S kar yükünü, H ise yatay zemin itkisini simgelemektedir, $E_d^{(H)}$ doğrultu birleştirilmesi uygulanarak bulunmuş yatay deprem etkisi, $E_d^{(Z)}$ (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas düşey deprem etkisidir,

Yatay deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin deprem hesabının Mod Birleştirme Yöntemi ile gerçekleştirilmesi halinde, yatay düzlemde birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularında tanımlanan depremlerden oluşan deprem etkileri Denklem (3,67) ve (3,68)'de gösterildiği gibi birleştirilmelidir:

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0,3E_d^{(Y)} \quad (3,67)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0,3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (3,68)$$

Burada $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$ sırasıyla (X) ve (Y) doğrultularındaki depremin etkileri altında tasarıma esas yatay deprem etkisidir,

Yatay deprem etkisinde yüksek bina taşıyıcı sistemin deprem hesabının zaman tanım alanında gerçekleştirilmesi halinde, yatayda birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki deprem bileşenleri birlikte eş zamanlı olarak tanımlandığından, $E_d^{(H)}$ bu hesap sonucunda doğrudan elde edilmekte ve doğrultu birleştirilmesine gerek kalmamaktadır,

DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a olarak sınıflandırılan ve aşağıdaki elemanları içeren yüksek binalarda $E_d^{(Z)}$ deprem etkisi düşey elastik ivme spektrumu kullanılarak Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanacaktır, Bu hesapta yüksek binanın taşıyıcı sistemi için $R/I = 1$ ve $D = 1$ alınacaktır (R taşıyıcı sistem davranış katsayısı, I bina önem katsayısı, D ise dayanım fazlalığı katsayısıdır),

- i) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü $L_{kiriş} \geq 20$ m olan kirişleri bulunan binalar,
- ii) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü $L_{konsol} \geq 5$ m olan konsolları içeren binalar,
- iii) Kirişlere oturan kolonları bulunan binalar,
- iv) Düşey doğrultuya göre eğimli kolonları olan binalar,

Yukarıda belirtilen elemanların dışındaki taşıyıcı sistem elemanlarında ve yukarıdaki tanımın dışında kalan binalarda $E_d^{(Z)}$, özel bir hesap yapılmaksızın, Denklem (3,69) ile yaklaşık olarak hesaplanabilir:

$$E_d^{(Z)} \approx \frac{2}{3} S_{DS} G \quad (3,69)$$

I, Aşama deprem hesabı yapılmadan önce yüksek binanın yapım aşamalarını da göz önüne alan bir düşey yük ve rüzgar hesabı ile BA binalarda sünme hesabının yapılması gerekmektedir,

Tasarım Aşaması I'de gerçekleştirilen deprem hesabında, DD-2 deprem yer hareketi altında Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak veya zaman tanım alanında Mod Toplama Yöntemi ile üç boyutlu doğrusal hesap yapılacaktır, Azaltılmış iç kuvvetlerin Eşdeğer Taban Kesme Kuvveti'ne göre büyütülmesi, yüksek binaların I, Aşama deprem hesabında Denklem (3,70) ile tanımlanan minimum taban kesme kuvvetine ($V_{t,min}$) göre yapılacaktır:

$$V_{t,min} = 0,04 \cdot \alpha_H \cdot m_t \cdot S_{DS} \cdot g \quad (3,70)$$

Burada m_t yüksek binada baza ve kulenin bulunduğu üst bölümün toplam kütesini, S_{DS} DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, α_H ise Denklem (3,71) – (3,73) ile hesaplanan katsayıyı göstermektedir:

$$\alpha_H = 1,0 \quad H_N \leq 105 \text{ m} \quad (3,71)$$

$$\alpha_H = 2,05 - 0,01H_N \quad 105 \text{ m} < H_N \leq 155 \text{ m} \quad (3,72)$$

$$\alpha_H = 0,5 \quad 155 \text{ m} < H_N \quad (3,73)$$

3,3,2 Tasarım Aşaması II: : DD-4 veya DD-3 Deprem Yer Hareketi Altında KK veya SH Performans Hedefi İçin Değerlendirme (İyileştirme)

Tasarımın bu aşamasında, ön tasarımı (boyutlandırması) tamamlanmış olan yüksek binanın Tablo 3,12'ye göre normal performans hedefi için DD-4 deprem yer hareketi altında KK performans hedefini gerçeklemek üzere, DGT yaklaşımı kullanılarak deprem performansı değerlendirmesi yapılmaktadır. Aynı tabloya göre DTS = 1a, 2a için öngörülen ileri performans hedefi için DD-3 deprem yer hareketi altında SH performans hedefini gerçeklemek üzere, Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ile deprem performansı değerlendirmesinin yapılması da gerekmektedir. Bu performans değerlendirmesi sonucunda gerekli görülürse taşıyıcı sistemin ön tasarımı iyileştirilecek ve performans değerlendirmesi tekrarlanacaktır,

Tablo 3,14 Yüksek binalar için öngörülen deprem performansı hedefleri ve uygulanacak tasarım/değerlendirme yaklaşımları

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	–	–
DD-3	–	–	SH	SGDT
DD-2	KH	DGT	KH	DGT
DD-1	GÖ	SGDT	KH	SGDT

ŞGDT yaklaşımında mevcut veya ön tasarımı tamamlanmış yüksek bina taşıyıcı sistem elemanlarının nonlinear modelleme teknikleri ile uyumlu iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntıları belirlenmektedir. Yüksek binalar için öngörülen deprem performans hedef(ler)i ve bunlarla uyumlu olarak seçilen deprem yer hareket(ler)i

etkisi altında, taşıyıcı sistemin statik analizi veya zaman tanım alanında dinamik artımsal yöntemlerle hesabı yapılmaktadır, Bu analizin sonucunda BA elemanların doğrusal olmayan sünük davranışına ait şekildeğiştirme talepleri ile gevrek davranışına ait iç kuvvet (kesit tesiri) talepleri elde edilmektedir, Hesaplanan doğrusal olmayan şekildeğiştirme ve dayanım talepleri, öngörülen performans hedef(ler)i için tanımlanmış bulunan şekildeğiştirme ve dayanım kapasiteleri ile karşılaştırılmaktadır, Mevcut yüksek binalar için, şekildeğiştirme ve dayanım taleplerinin bunlara karşı gelen kapasitelerin altında kaldığı veya bu kapasiteleri aştığı gösterilerek şekildeğiştirmeye göre değerlendirme tamamlanmaktadır, Yeni yapılacak veya güçlendirilecek yüksek binalar için şekildeğiştirme ve dayanım talepleri, bunlara karşı gelen kapasitelerinin altında ise ŞGT göre tasarım tamamlanmakta, tersi durumda ise eleman kesitleri değiştirilip deprem hesabı yeniden gerçekleştirilerek tekrar performans değerlendirmesi yapılmakta ve bu şekilde ŞGT sonuçlandırmaktadır,

3,3,3 Tasarım Aşaması III: DD-1 Deprem Yer Hareketi Altında GÖ veya KH Performans Hedefi İçin Değerlendirme (İyileştirme) – Son Tasarım

Son tasarım olarak nitelendirilen bu tasarım aşamasında, önceki tasarım aşamaları tamamlanmış bulunan yüksek binanın Tablo 3,12'e göre DD-1 deprem yer hareketi altında normal performans hedefi olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ) ve ileri performans hedefi olarak KH deprem performans hedeflerini sağlamak üzere ŞGDT yaklaşımı ile deprem performansı değerlendirmesi yapılmaktadır, Yapılan bu değerlendirmenin sonucunda gerekli görülürse yüksek bina taşıyıcı sisteminin tasarım iyileştirilmekte ve değerlendirme işlemi tekrarlanarak nihai tasarıma ulaşılmaktadır,

3,4 Özel Etkiler

Toprak kayması, çarpma, patlama ve yangın gibi birtakım etkiler binanın taşıyıcı sistemine zarar verebilir ve bu durum binanın taşıyıcı sistem dayanımını azaltabilmektedir, Bu tür etkilerin zamanı ve büyüklüğü belirlenemez ancak öngörülebilir seviyede önlem alınması gerekmektedir, Toprak kayması, binanın

etrafındaki arazi koşulları ile ilgili olması sebebiyle daha öngörülebilir bir durumdur ve bu durum karşısında yapılan istinat duvarlarının konumlarının ve boyutlarının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir, Çarpma, patlama ve yangın gibi etkiler istenmeyen olaylar veya bilinçli olarak binaya zarar vermek isteyen kişiler tarafından oluşabilmektedir, Özellikle yüksek binalarda geçmişte yaşanan birtakım olaylar bu duruma karşı önlemler alınması gerektiğini açıkça göstermektedir, Yangın etkisi karşısında ısı ve duman dedektörleri, mekanik su sistemleri ve kaçış odaları gibi önlemler alınmakta, can kaybı ve yangının bina taşıyıcı sistemine etkisi azaltılmaktadır, Çarpma ve patlama etkileri binalarda yüksek bir ısıнын açığa çıkmasına neden olmaktadır, Bu durum çelik ve ahşap taşıyıcı sistemli binalar için oldukça risklidir, Yüksek binalara yapılan saldırılar sonucunda çarpma ve patlama etkilerine önlem olarak çelik yapıların kolonları beton malzemesi içine gömülü olarak inşa edilmektedir, Beton malzemesi sıcaklığa ve basınca dayanımı sayesinde çarpma, patlama ve yangın etmenlerinin binaya etkisi azaltılmaktadır,



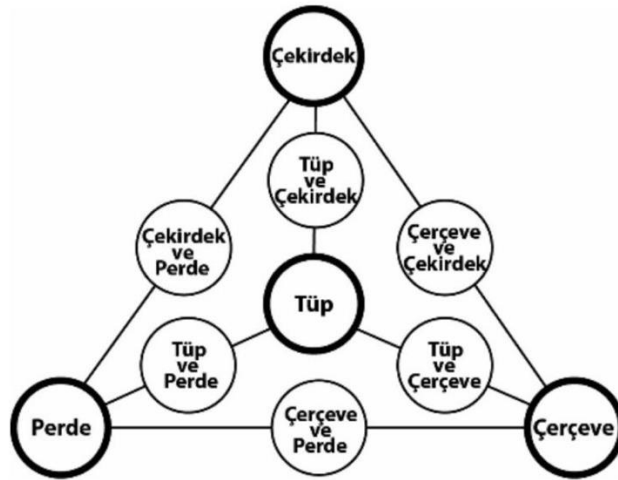
BÖLÜM DÖRT

BETONARME VE ÇELİK YÜKSEK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ

Yüksek binalar 19. yüzyıl öncesinde yığma yapı sistemi ile yapılmaktaydı ancak yığma yapılarda bina yüksekliği arttıkça zemin taşıyıcı duvarların kalınlığı artmakta ve bina daha ağır bir hal almaktadır. Duvar kalınlığının artması mimari açıdan kullanım alanlarını da azaltmaktadır. 19. yüzyıl sonrasında yeni yapı malzemelerinin geliştirilmesi ile birlikte yığma sistemler rijitlik, süneklik ve dayanım açısından yerini daha üstün sistemlere bırakmıştır. Özellikle çelik ve beton malzemelerinin bulunması ve yapı analiz ve tasarım metodlarının gelişmesi ile yüksek binaların sayısı giderek artmaktadır.

4.1 Taşıyıcı Sistemlerin Sınıflandırılması

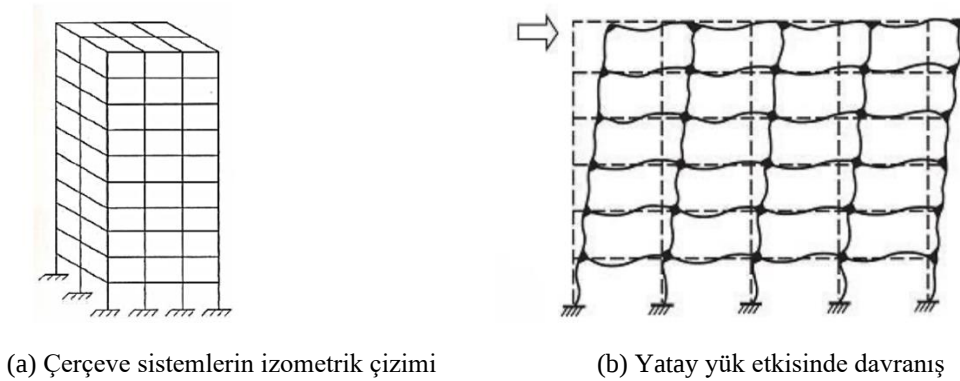
Drosdov ve Lishak (1976) yüksek bina taşıyıcı sistemlerini çekirdek, çerçeve, perde ve tüp olmak üzere dört ana başlık ve bunların kesişimi ile oluşan taşıyıcı sistemler olarak sınıflandırmıştır (Şekil 4.1). Bu sınıflandırmaya daha sonraki yıllarda asma sistemler, dıştan destek (outrigger) sistemler, ve çok parçadan oluşan çelik malzemeli mega kolon ve kirişlerden tasarlanan, gerektiğinde mega çaprazların da yer aldığı mega rijit katlı sistemler de eklenmiştir.



Şekil 4.1 Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin sınıflandırılması (Drosdov ve Lishak, 1976)

4.1.1 Çerçeve Sistemler

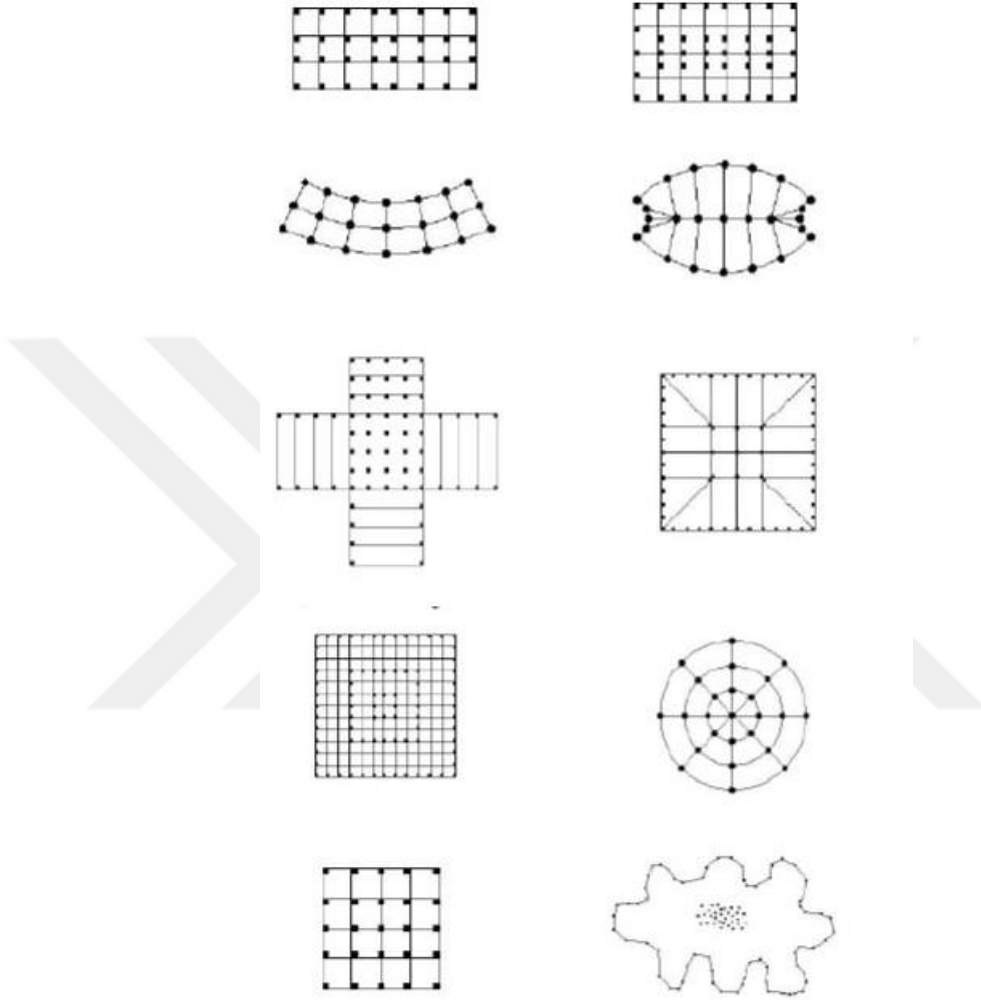
Çerçeve sistemlerde, çubuk eleman olarak adlandırılan kolon ve kirişler birbirlerine rijit bir şekilde bağlanarak bir çerçeve oluşturur. Bu sistemde yatay ve düşey yükler etkisiyle oluşan iç kuvvetler bu çerçeveler vasıtasıyla taşınır. Yatay ve düşey yükler nedeniyle oluşan etkiler, genellikle yatay doğrultuda tasarlanan kiriş ve döşemeler aracılığıyla çerçeve kolonlarına aktarılır. Bunun sonucunda çerçeve kolonlarında aksenal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momenti ve bazı durumlarda burulma momenti oluşur. BA ve çelik malzemelerle yapılabilen çerçeve sistemler yatay yüklere genel olarak kolon ve kirişlerin eğilme davranışlarıyla karşı koyar. Bu nedenle çerçeve sistemlerin dayanımı ve yatay rijitliği, sistemdeki bu çubuk elemanların eğilme dayanımlarına ve eğilme etkisindeki rijitlik değerlerine bağlıdır. TBDY (2018)'e göre $BYS = 1$ olan binalarda deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek BA çerçevelerle karşılandığı taşıyıcı sistemler kullanılamaz iken, süneklik düzeyi yüksek dışmezkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin kullanımına izin verilmektedir (Kaya ve Uçar, 2019). Üç boyutlu tipik bir çerçeve sistem ile bu sistemden çıkartılmış bir düzlem çerçevenin yatay yük etkisindeki davranışı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Çerçeve sistemler (Dadaş, 2017)

Çerçeve sistemli bir bina, tasarım ve planlama aşamasında mimari serbestlik sağlar. Bu sistemler farklı plan formlarında tasarlanabilir (Şekil 4.3). Tasarım sırasında pencere ve kapı gibi boşluklar kolaylıkla açılabilir. Bu durum cephede de istenilen tasarımların yapılabilmesi konusunda bu taşıyıcı sistemin avantajlarından biridir.

Bunun yanı sıra en büyük dezavantajlarından biri ise yatay ötelenmenin fazla olması ve bunun sonucunda bina kullanıcılarının rahatsız olması ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasara sebep olmasıdır (kullanabilirlik sınır durumu).

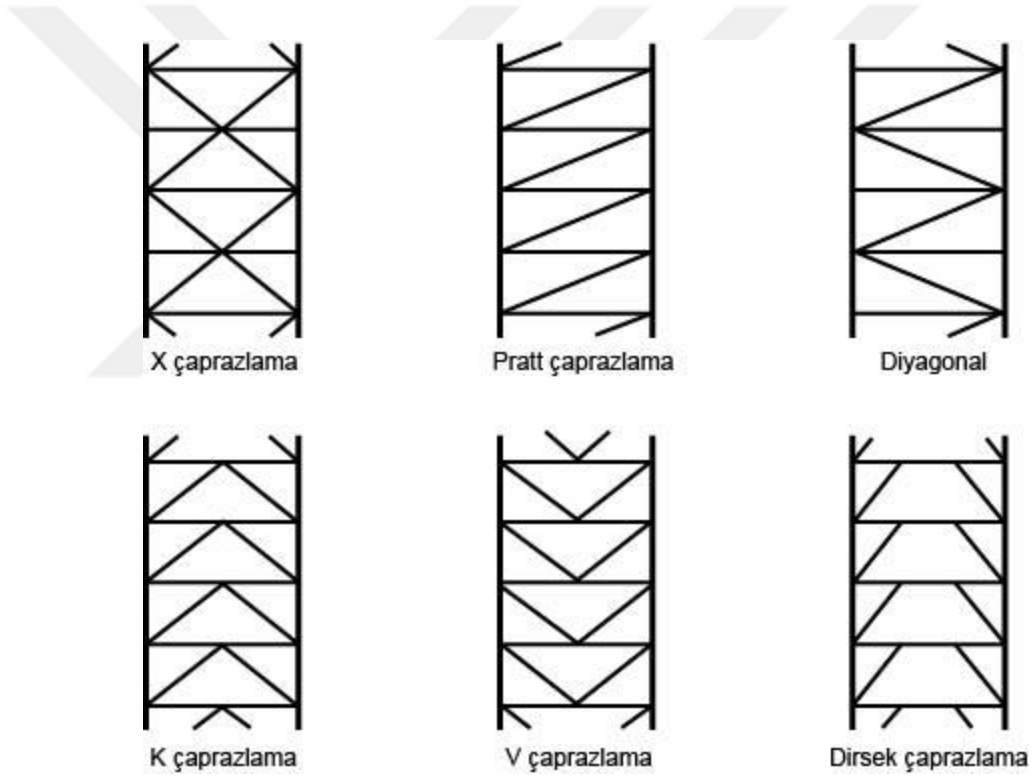


Şekil 4.3 Çerçeve sistemlerin farklı plan formları (Ulusoy, 2019)

Çerçeve sistemle yapılan binalarda kat yükseklikleri ortalama 3-5 m, kolon açıklıkları 6-9 m arasında değişkenlik göstermektedir. Bu sistemler deprem bölgelerinde belirli kat adetleri ve bina yükseklikleri ile sınırlıdır. Ülkemizde bu sınırlamalar 4-10 kat adeti ile belirlenmiştir. Bina yüksekliği arttıkça çerçeve sistemler ekonomik olmaktan uzaklaşmaktadır. Yüksek binalarda BA çerçeve sistemlerin kolon aralıkları 1,2-3,0 m olarak tasarlanmıştır. Çelik çerçeveli yüksek binalarda ise 6-10 m olarak inşa edilmiştir. Çerçeve sistemle tasarlanan yüksek binalar BA malzeme ile 20

kata kadar, çelik malzeme ile 30 kata kadar ekonomik olarak inşa edilebilmektedir (Bal, 2003).

Yatay rijitliğin yetersiz kaldığı durumlarda çerçeve sistemlere çapraz elemanlar eklenebilir. Bu çaprazlar deprem ve rüzgar gibi yatay kuvvetlere karşı binanın dayanımını da artırır. Bu sistemler ortak merkezli çerçeveler ve ayrı merkezli çerçeveler olarak ikiye ayrılır. Ortak merkezli çerçeveler X, Pratt, diyagonal, K ve V formlarında olabilir (Şekil 4.4). Çaprazlı çerçeveler yapım kolaylığı bakımından genellikle çelik malzeme ile yapılır ve 40-50 kat yüksekliğinde tasarlanabilir (Beedle ve Rice, 1995).



Şekil 4.4 Çaprazlı çerçeve formları (Köksoy, 2001)

Tamamen çelik çerçeve sistem kullanılarak yapılan ilk bina Şekil 4.5'te gösterilen Chicago'daki Home Insurance Binası'dır. Bina 12 kata ve 42 m yüksekliğe sahiptir ve Yüksek Binalar ve Kentsel Yaşam Konseyi tarafından dünyanın ilk gökdeleni olarak kabul edilmiştir (CTBUH, 2020). İlk BA çerçeve sistem ile yapılan bina ise Şekil 4.5'te gösterilen ve 1903 yılında Cincinnati'de yapılan 16 katlı Ingalls Binası'dır. Bu binanın yüksekliği 64 m'dir.



(a) Home Insurance Binası (CTBUH, 2020) (b) Ingalls Binası (ASCE, 2020)

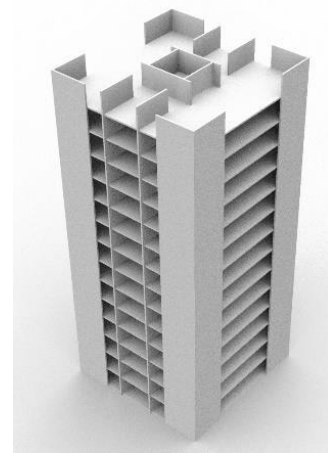
Şekil 4.5 Çerçeve sistemli ilk yüksek binalar

4.1.2 Perde Duvarlı Sistemler

Çerçeve sistemler bina yüksekliği arttıkça yatay yüklere karşı yeterli dayanımı gösteremez ve yatay yerdeğiştirmeleri fazla olur. Dayanımı arttırmak için kolon kesitleri büyütüldüğünde çerçeve sistemler ekonomik olmaktan uzaklaşır. Kolon kesitlerinin kare ya da daire şeklinde tasarlanmasındansa, bir doğrultuda ince uzun bir dikdörtgen şeklinde tasarlayarak düşey taşıyıcı sisteme dönüştürülmesi mümkündür. Bu durum doğrultusunda perde duvarlı sistemler geliştirilmiştir. Perde duvar, planda uzunluğunun genişliğine oranı en az 5-7 arasında olan düşey taşıyıcı sistem elemanıdır. Perde duvarlı sistemler, çerçeve sistemlere oranla rüzgar ve deprem gibi yatay kuvvetlere karşı daha fazla dayanıma sahiptir. Perdeler bağ kirişli (boşluklu) ya da boşluksuz olarak yapılabilir. Perde duvarlı bir sistemin uygulaması ve kirişsiz döşemeli perde duvarlı bir yüksek binanın taşıyıcı sistem modeli Rhinoceros (2019) programı ile oluşturularak Şekil 4.6’da sunulmuştur.



(a) Perde sistem uygulaması (Dadaş, 2017)

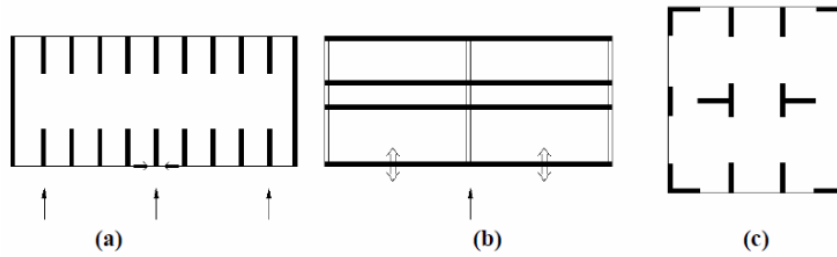


(b) Perde sistemin yapısal modeli

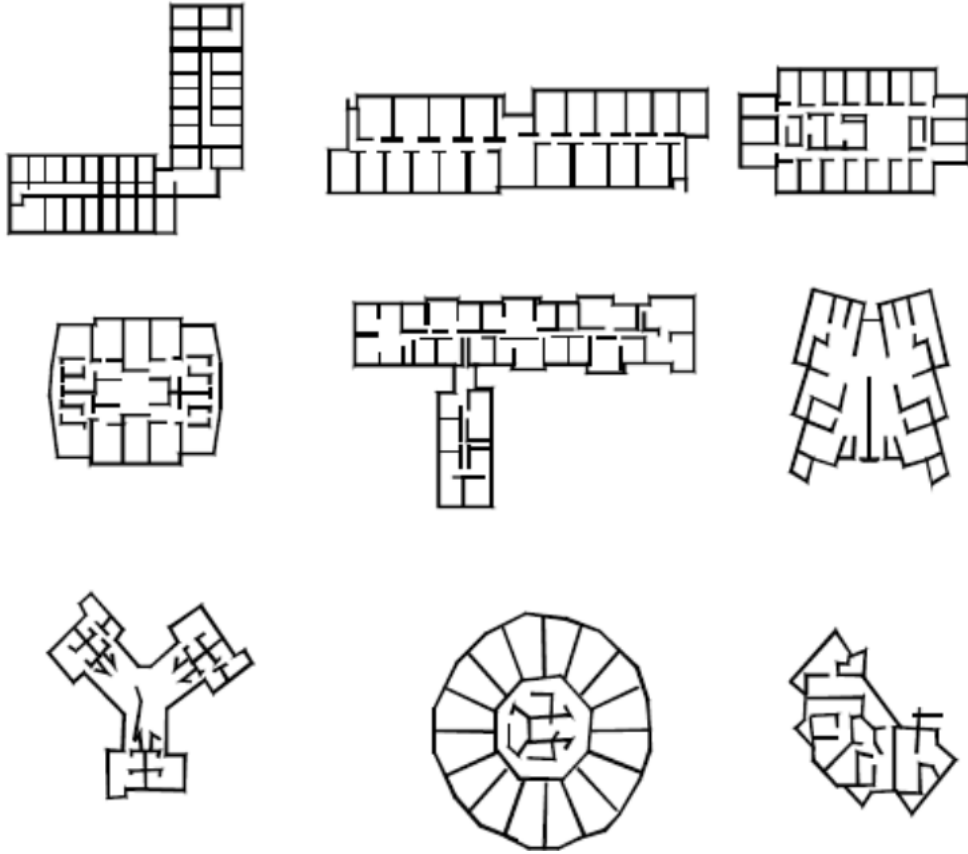
Şekil 4.6 Perde sistemler

Perde duvarlı sistemler farklı plan formlarında tasarlanabilir. Bu planlarda ise üç farklı sistem kullanılır:

- 1) **Enine doğrultuda sistem:** Perde duvarlar binanın kısa kenarına paralel olarak oluşturulur. Bu sistem ile cephe tasarımında esneklik sağlanır. Bina'nın kısa kenarı doğrultusundaki yatay yüklere, bu doğrultuda tasarlanmış perde duvarlar ile karşı koyulur (Şekil 4.7a).
- 2) **Boyuna doğrultuda sistem:** Perde duvarlar binanın uzun kenarına paralel olarak oluşturulur. Bu sistemde dış cephede bulunan perde duvarlar cephe duvarı olarak bulunur ve bu duvarlar düşey yükleri taşıırken, yatay yükleri de döşemeler aracılığıyla iç perde duvarlara aktarır (Şekil 4.7b).
- 3) **İki doğrultuda sistem:** Bu sistemde perde duvarlar iki doğrultuda düzenlenerek yerleştirilir. Diğer sistemlere oranla daha rijit olmasına karşın planlamada daha az esneklik sağlayan sistemdir (Şekil 4.7c) (Özgen ve Sev, 2000).



Şekil 4.7 Perde duvarlı sistem çeşitleri (Özgen ve Sev, 2000)

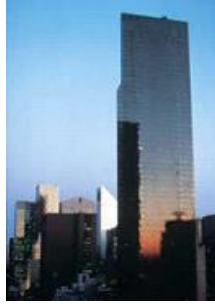


Şekil 4.8 Perde duvarlı sistem farklı plan formları (Koç ve diğer., 2009)

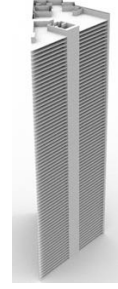
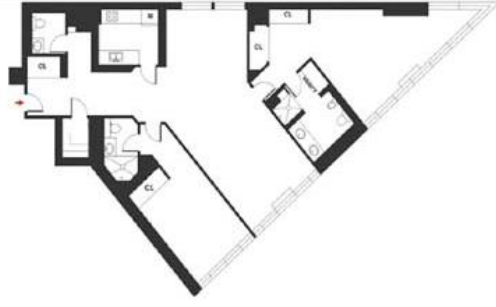
Perde duvarlı sistemler serbest planlama olanaklı, geniş açıklık oluşturan bir sistem değildir. Üst üste birbirini takip eden kat planlarının olduğu binalarda tercih edilir. Perde duvarlar genellikle 4,5-7,5 m aks aralıklarıyla yerleştirilir ve yapısal açıdan etkin ve ekonomik olarak 35 kata kadar yapılabilir. Yüksekliği daha fazla olan binalarda bu sistem rüzgar ve deprem gibi yatay kuvvetlere karşı yeterli rijitliği gösteremezler (Dadaş, 2017). Farklı geometrik plan formlarına sahip binalarda perde duvar uygulamaları Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

BA perde duvarlı sistemlerin yapısal ve mimari açıdan birçok avantajı vardır. Yüksek dayanımlı beton kullanımı, perde duvar kalınlığını azaltır ve böylece yapı net alanında artış sağlanır. Belirli kalınlıklarda oluşturulan perde duvarlar, yangına karşı güvenlik sağlar. Çelik sistemle yapılan perde duvarlardan ziyade birleşimler için cıvata veya kaynak işlemlerine gerek yoktur (Köksoy, 2001).

New York'ta bulunan 215 m yüksekliğindeki Metropolitan Tower perde duvarlı sistem ile yapılmış bir binadır (Şekil 4.9). Bina arsa şekline göre düzenlenmiş, perde duvarlar rüzgar yüküne karşı cepheye dik açılı olarak konumlandırılmıştır (Öztan Fidan, 2019). Ülkemizde ise İstanbul Ataşehir'de yapılmış olan toplu konutlar perde duvarlı sistemle inşa edilmiştir (Şekil 4.10)

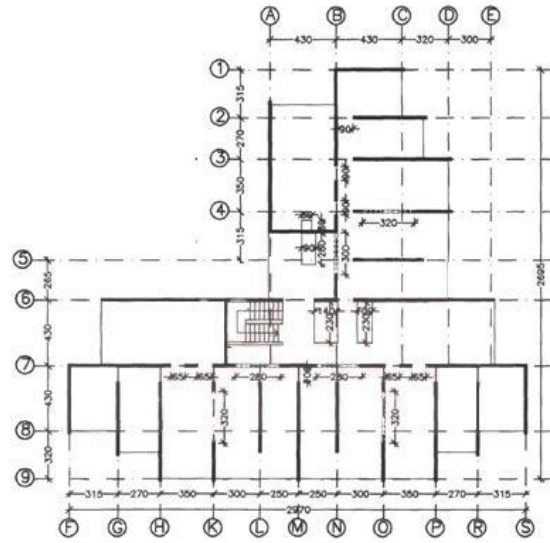


a) Perspektif ve kat planı (Öztan Fidan, 2019)



b) Taşıyıcı sistem modeli

Şekil 4.9 Metropolitan Tower

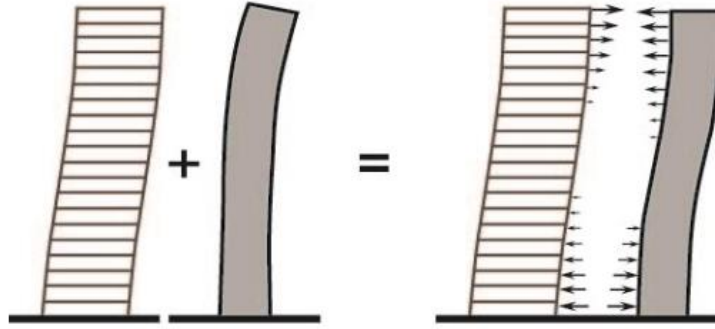


Şekil 4.10 Ataşehir-Tekfen toplu konutlarının görünüm ve kat planı (Çırpı, 2013)

4.1.3 Çerçevesiz ve Kafesli/Perde Duvarlı Sistemler

Sadece perde duvarlarla oluşturulmuş bir sistemde bina yüksekliği arttıkça taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri büyümekte ve bina süneklik kapasitesi oldukça yetersiz kalmaktadır. Sadece çerçeve sistem ile yapılmış binada da kat adeti arttıkça taşıyıcı

elemanların boyutları artar ve bina yatay rijitlik konusunda yetersiz kalır. Çerçeve ve perde duvarlı sistemler birlikte kullanılarak, çerçeve sistemlerin yetersiz rijitliğine perde duvarlar eklenir ve taşıyıcı sistem rijitlik ve süneklik açısından dengelenmiş olur. Çerçeve sistemler yatay yükler sebebiyle kayma şekil değiştirmesi yaparlar. Katlar arasındaki yerdeğiştirme o kattaki kesme kuvvetine bağlıdır. Bu nedenle çerçeve sistemlerde en büyük göreceli yatay ötelenmeler genellikle alt ve orta katlarda hesaplanmaktadır. Perdeler ise, zemine ankastre bağlı konsol bir kiriş düşünülebilir ve bu elemanlar hakim eğilme davranışı gösterir. Bunun sonucunda perde duvarlı sistemlerde en büyük yatay yerdeğiştirmeler binanın tepe noktasında ortaya çıkmaktadır (Işık, 2008). Yukarıda anlatılan davranışlar ve iki farklı sistemin birleşimi ile oluşturulan perde-çerçeve sistemlerin yatay yük etkisindeki davranışları Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

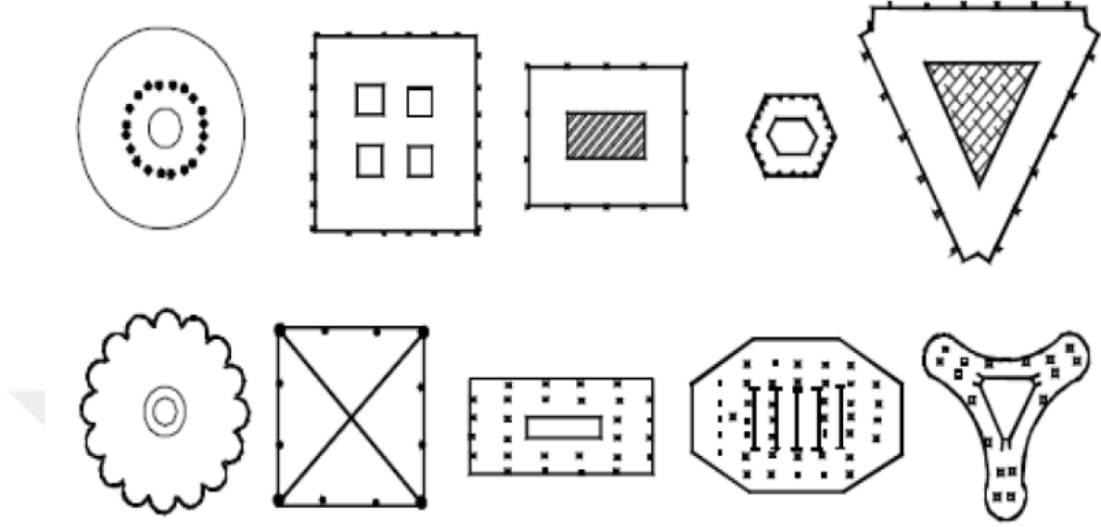


Şekil 4.11 Çerçeve ve perde sistemlerin yatay yük etkisindeki davranışları (Bal, 2003)

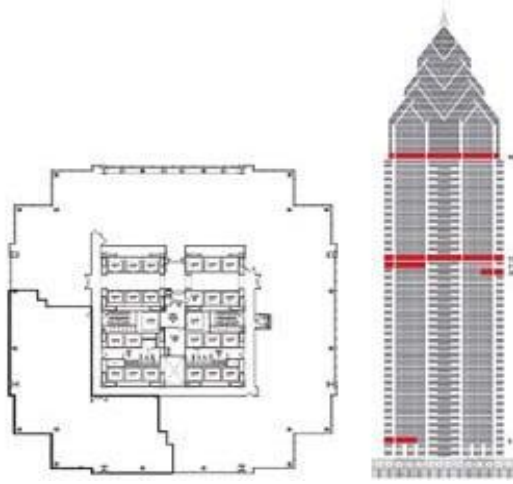
Bu tür taşıyıcı sistemler BA perde duvarlar yerine çaprazlarla oluşturulan çelik kafes sistemle de oluşturulabilir. Ancak çelik sistemin bağlantı elemanları daha fazla olduğu için uygulama kolaylığı açısından genellikle BA perde duvarlar tercih edilir. Perde-çerçeve taşıyıcı sistemli binalar genellikle 40-60 kat yükseklikte yapılabilir ancak bu kat sayısı deprem tehlikesinin ön plana çıktığı bölgelerde daha azdır. Perde-çerçeve taşıyıcı sistemler farklı plan formlarında tasarlanabilir (Şekil 4.12).

Philadelphia’da 288 m yüksekliğinde olan One Liberty Place binası çerçeve ve perde duvarlı sistemle yapılmış bir binadır. Strüktürel çelik ile yapılmış olan binada bu sistem sayesinde kolonsuz geniş hacimler oluşturulmuştur. Oluşan hacimler Şekil

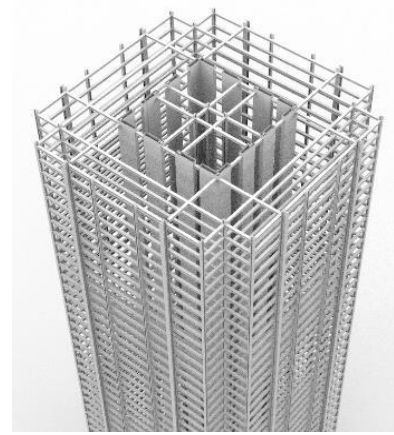
4.13a’da kat planında görülmektedir. Bu binanın Rhinoceros (2019) ortamında oluşturulmuş olan taşıyıcı sistem modeli Şekil 4.13b’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 Çerçeve ve kafesli/perde duvarlı sistemlerin plan şemaları (Koç ve diğer., 2009)



(a) Plan ve Kesit (Fidan, 2019)



(b) Taşıyıcı sistem modeli

Şekil 4.13 One Liberty Place

Türkiye’de çerçeve perde duvarlı sistem ile yapılan binalara bir örnek İzmir’deki Ege Perla Binası’dır. Konut ve ofis olarak iki farklı kuleden oluşan binaların perspektif görüşleri ve yapım aşamaları Şekil 4.14’te gösterilmiştir.



(a) İki kulenin perspektif görünüşü



(b) Konut bloğu yapım aşaması



(c) Ofis bloğu yapım aşaması

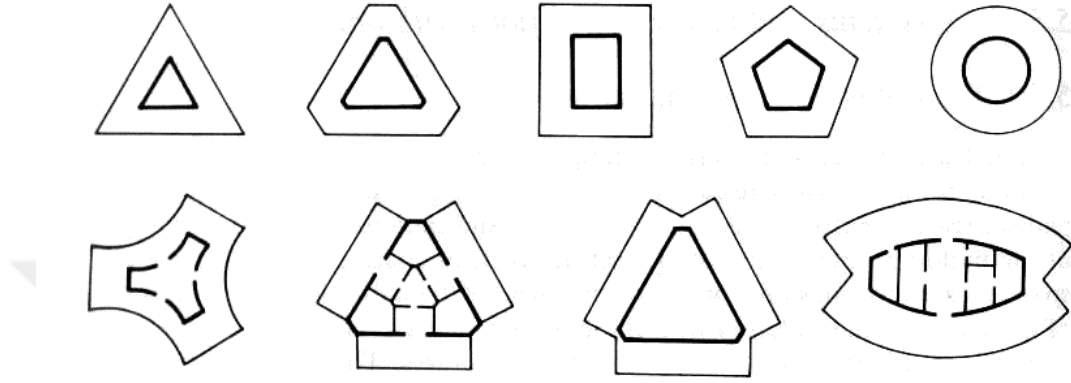
Şekil 4.14 Ege Perla binaları (Fidan, 2019)

4.1.4 Çekirdek Sistemler

Perde duvarların veya çelik kafes duvarların kapalı bir kutu formunda bir araya gelerek oluşturduğu forma çekirdek adı verilir. İki doğrultuda tasarlanan perde duvarlı sistem ile benzer davranış gösterirler. Çekirdekler genellikle içerisinde asansör, merdiven gibi düşey sirkülasyon araçlarını ve mekanik tesisatları barındıran taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Çekirdek dışında kalan alanlarda kolonsuz açıklıklar ve geniş hacimler elde edilebilir. Bu nedenle yüksek binalarda çekirdek taşıyıcı sistemlerin kullanımı yaygın olarak tercih edilmektedir. Çekirdek sistemler genellikle çerçeve taşıyıcı sistemlerle birlikte kullanılır. Bu tür taşıyıcı sistemler asma sistemler, dıştan destek sistemler ve mega çekirdek olarak mega rijit katlı sistemler ile birlikte de tasarlanabilir.

Çekirdek sistemlerin birçok avantajı vardır. Bu sistemlerin Şekil 4.15'te görüldüğü gibi farklı plan şekillerinde tasarlanabilmesi, çekirdeklerin rijit ve yangın

geçirimsizliğinin yüksek olması nedeniyle içinde düzenlenen düşey sirkülasyon araçlarının güvenli bir şekilde tasarlanabilmesi, çekirdeğin yapının herhangi bir bölümünde yapı formuna bağlı kalınmaksızın istenilen şekilde düzenlenmesi önemli avantajlardır (Köksoy, 2001).



Şekil 4.15 Çekirdek sistemlerin farklı plan formları (Fidan, 2019)

Çekirdekler kat planında simetrik olarak yerleştirilmesi yüksek binaların deprem etkisinde tasarımında önem arz etmektedir. Bu sayede yüksek binanın rijitlik özellikleri kütle merkezine göre simetrik olur ve deprem ve rüzgar gibi yatay yüklerin etkisinde perdelerde burulma momentleri oluşmaz veya büyüklükleri çok sınırlı olur. Ayrıca perdelerin eksenel basınç kuvveti ile yüklenmiş olması taşıyıcı sistemde, yatay yüklerin neden olduğu eğilme davranışı sebebiyle oluşan çekme gerilmelerinin azaltılmasını sağlar. Asimetrik yerleştirilen çekirdeklerde yatay yüklerin bileşkesi binanın rijitlik merkezinden geçmez ve bunun sonucunda perdelerde eğilme davranışının yanı sıra burulma momenti oluşur. Perdelerde açılan boşluklar, perdelerin dayanımını belirli oranda azaltmaktadır. Yapısal tasarım açısından perde boşluklarının küçük olmasına ve ayrıca perdelerin başlık bölgesinde veya yakınında olmamasına özen gösterilmelidir (Dadaş, 2017).

Çekirdekler farklı şekillerde ve planda farklı alanlarda tasarlanabilirler. Çekirdek sistemler aşağıdaki parametrelere ve düzenlemelere bağlı olarak farklı isimler alabilir (Köksoy, 2001):

- Çekirdeğin şekli;
 - o Açık çekirdek
 - o Kapalı çekirdek
 - o Yapı biçimine bağlı çekirdek
- Çekirdek sayısı;
 - o Tek çekirdek
 - o Birden fazla çekirdek
 - o Ayrık çekirdek
- Çekirdeğin yeri;
 - o İç çekirdek
 - o Çeper çekirdek
 - o Dış çekirdek
- Çekirdeklerin düzenlenmesi
 - o Simetrik
 - o Asimetrik
- Çekirdek formu ile yapı geometrisi arasındaki ilişki;
 - o Doğrudan
 - o Dolaylı

Çekirdek sistemler 20 kata kadar ekonomik olarak yapılabilir. Daha fazla kat adetinde deprem ve rüzgar gibi yatay kuvvetlere karşı yeterli dayanımı göstermezler. Çekirdekteki perdelerin kesitlerinin büyümesi ile oluşturulan mega çekirdek sistemler 40 katın üzerindeki binalarda verimli ve ekonomik olarak kullanılabilir (Fidan, 2019). Amerikan Bankası Kulesi, BA çekirdek ve çerçeve sistem kullanılarak yapılmış 58 katlı ve 366 m yüksekliğinde bir binadır (Şekil 4.16).

İstanbul'da, 39 katlı 158 metre yükseklikli ve 34 katlı 140 m yükseklikli iki ofis bloğundan oluşan Sabancı Center çekirdek sistem ile yapılmış binaya örnektir (Şekil 4.17). İzmir'de çekirdek sistem ile yapılan bir bina ise Bayraklı Tower binasıdır. Bina 97 m yüksekliğinde ofis binası olarak inşa edilmiştir (Şekil 4.18).



(a) Görünüş

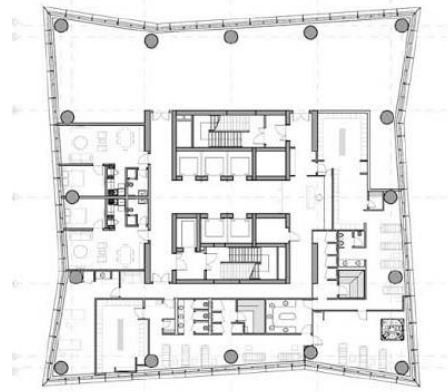


(b) Plan şeması

Şekil 4.16 Amerikan Bankası Kulesi (Yavaşbatmaz, 2012)



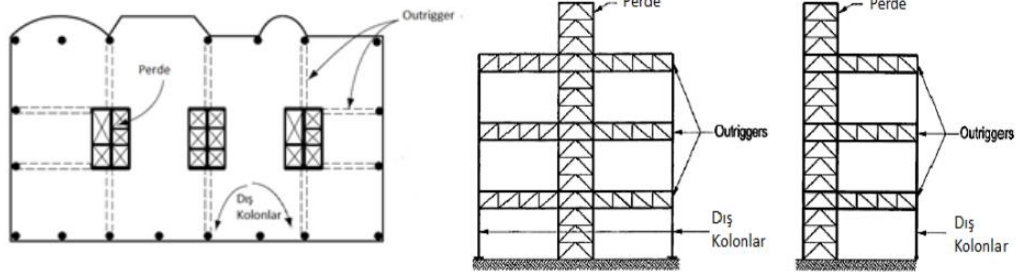
Şekil 4.17 Sabancı Center kuleleri görünüş ve kat planı (Yavaşbatmaz, 2012)



Şekil 4.18 Bayraklı Tower görünüş ve kat planı (Fidan, 2019)

4.1.5 Dıştan Destek (Outrigger) Sistemler

Yüksek binalarda taşıyıcı sistem tasarlanırken genellikle ortada perde duvarlarla veya kafes kirişlerle oluşturulan bir çekirdeği olan, plan çevresinde kolonların olduğu çerçeve sistemler tercih edilmektedir. Bu sistemlerde merkezdeki çekirdek ile dış çeperdeki kolonlar arasındaki etkileşim kirişler ve döşemeler aracılığıyla sağlanır. Bina yüksekliği arttıkça bu sistemler deprem ve rüzgar gibi yatay yüklere karşı yeterli dayanımı gösteremezler. Bu dayanımı arttırmak amacıyla, dış çeperde bulunan çerçeve kolonları ile merkez çekirdeğinde bulunan perde duvarlar arasına genellikle rijit bir şekilde bağlanmış kafes çelik çubuklardan oluşan yatay elemanlar yerleştirilir (Şekil 4.19a). Dıştan destek sistem (outrigger) olarak adlandırılan bu sistemin temel prensibi, merkezde bulunan çekirdek ile dış çeperde bulunan çerçeve kolonlar arasındaki etkileşimi sağlayan kirişler ve döşemelere ek elemanlar ile bağlantıyı güçlendirmek ve binanın yatay yüklere karşı dayanımını arttırmaktır. Dıştan destek sistem Şekil 4.19’da görüldüğü gibi simetrik bir şekilde çift taraflı ve tek taraflı olarak da uygulanabilir (Calayır ve Dedeoğlu, 2017).



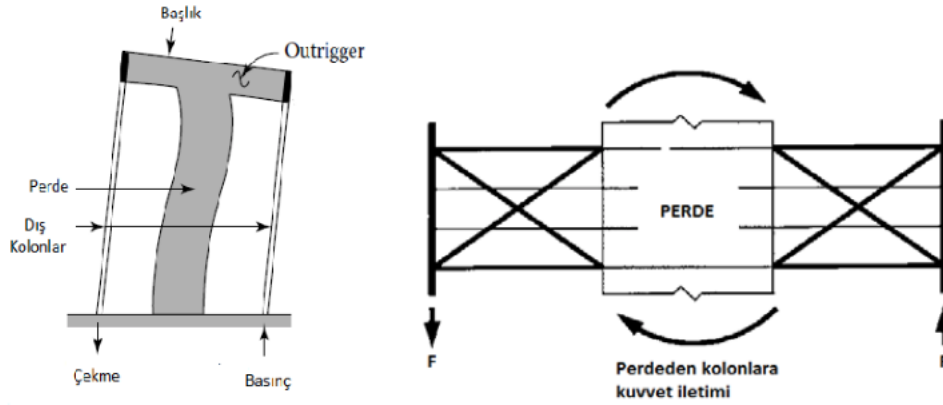
(a) Plan şeması

(b) Çift taraflı uygulama

(c) Tek taraflı uygulama

Şekil 4.19 Dıştan destek (outrigger) sistem (Calayır ve Dedeoğlu, 2017)

Dıştan destek yapının taşıyıcı sisteminde yüksek bir kiriş olarak görev yapar. Yatay yüklerin etkisiyle perdede oluşan eğilme momenti, perdelerin dış destekler sayesinde dış kolonlarla birlikte çalışması sonucunda azalacaktır. Kuvvetin dış kolonlara iletilmesi ve kolonlarda oluşan çekme ve basınç kuvvetleri Şekil 4.20’de gösterilmiştir.

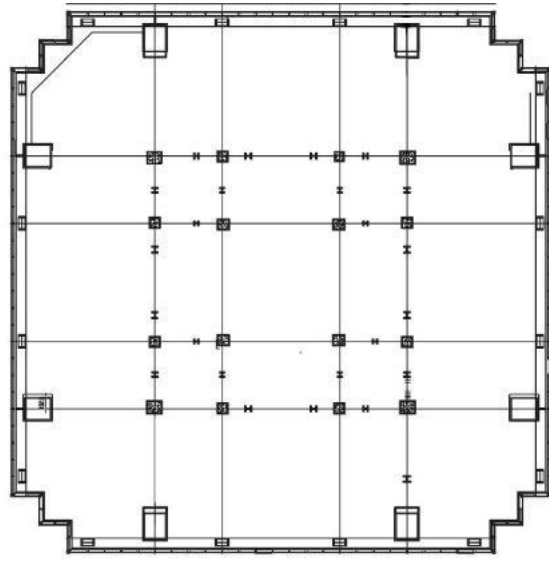


Şekil 4.20 Dıştan destek (outrigger) sistemde iç kuvvet dağılımı (Calayır ve Dedeoğlu, 2017)

Dıştan destek sistem binada birkaç kat yüksekliğinde tasarlanabilir ve bina yüksekliği boyunca 15-20 katta bir konumlandırılır. Normal katlarda mimari kullanım alanına engel olmaması amacıyla bu sistemler tesisat katlarına yerleştirilir. Bu sistemin kullanıldığı bir bina Taipei 101 binasıdır (Şekil 4.21a). 508 m yüksekliğinde yapılan bu binanın ortasında çelik kafeslerle yapılmış bir çekirdek, dış çeperinde ise toplam 8 adet mega kolon bulunmaktadır (Şekil 4.22b). Bu çekirdek ve mega kolonlar arasına 11 adet dış destek 8 farklı katta uygulanmıştır (Kourakis, 2007). Binanın Rhinoceros (2019) bilgisayar programında oluşturulan taşıyıcı sistem modeli Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



(a) Perspektif görünüş

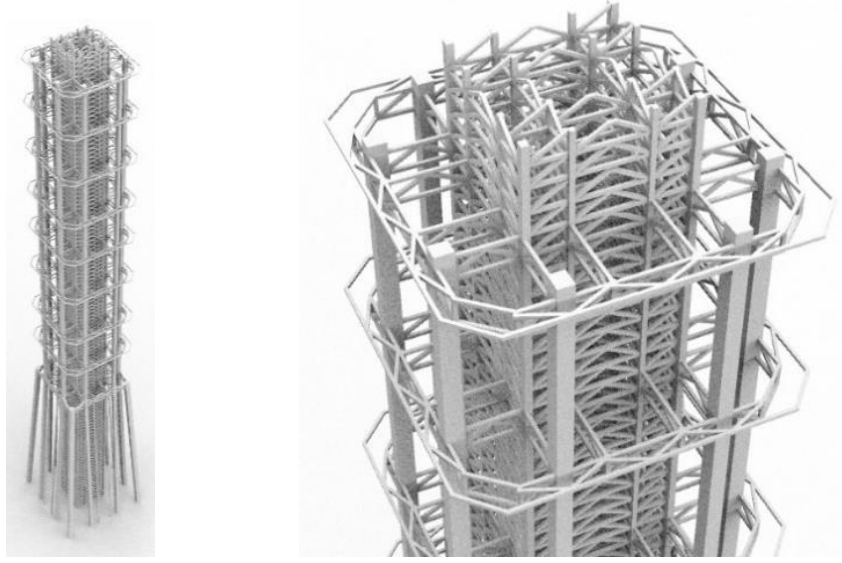


(b) Plan şeması



(c) Kesit

Şekil 4.21 Taipei 101 Binası (Poon, 2004)



Şekil 4.22 Taipei 101 taşıyıcı sistem modeli

Dıştan destek sistemlere Türkiye’den örnek bir bina olarak İzmir’de 200 m yüksekliğinde yapılmış olan Folkart Towers gösterilebilir. Ofis ve konut amaçlı iki kuleden oluşan 46 katlı yapıların 18. ve 29. katlarında her katta 4 adet olmak üzere çelik dıştan destek sistem kullanılmıştır (Fidan, 2019). Folkart Towers binaları ve bu binalarda kullanılan dıştan destek sistemler Şekil 4.23’de gösterilmiştir.



Şekil 4.23 Folkart Towers binası ve dıştan destek sistemi (Fidan, 2019)

4.1.6 Asma Sistemler

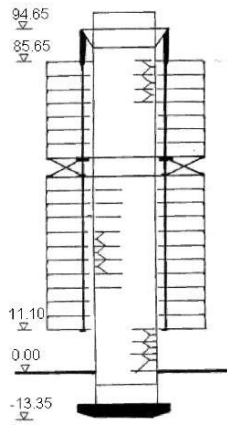
Asma sistemler, döşemelerin sırasıyla yukarıya çekilmesi ile çekirdeğe asılması mantığına dayanan bir sistemdir. Sistemin yapım aşamasında önce çekirdek oluşturulur, daha sonra zeminde hazırlanan döşemeler sırasıyla çekilir ve ilgili kata çelik kablo elemanlar kullanılarak asılır. Bu sistemde döşemeler üstten, alttan veya

ortadan asılabilir. Döşeme yükleri çelik kablo elemanlardaki çekme kuvveti ile taşınır ve bu elemanlar eğilme ve burulma etkilerinde kalmaz. Kablo sistem kullanılması sonucunda elemanların kesitlerinin küçük olması ile sistemin ekonomik olması ve kullanım alanının fazla olması sağlanır. Özellikle zemin katta geniş kullanım alanların oluşması sistemin en büyük avantajlarından biridir. Aynı zamanda döşemelerin zeminde üst üste yapılarak yukarıya çekilmesi, çekirdeğin ve askı elemanların döşemelerden bağımsız olması yapım sürecini hızlandırır. Ancak bu sistemin deprem tehlikesinin ön plana çıktığı bölgelerde uygulanmasının sakıncalı olması sistemin dezavantajlarından biridir (Çırpı, 2013).

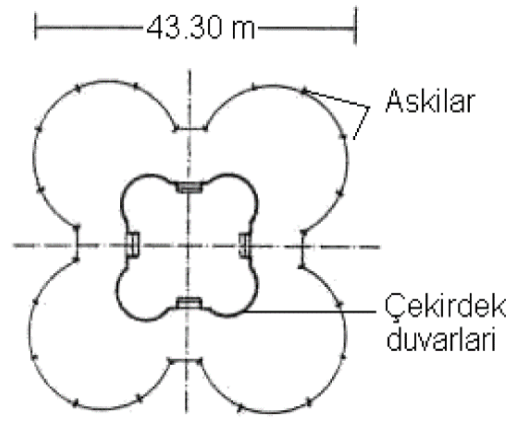
Kullanım alanlarında düşey taşıyıcı sistemin bulunmaması sonucunda mimari tasarım aşamasında kolaylık ve esneklik sağlayan asma sistemler genellikle açık mekanların yer aldığı büro ve ofislerin bulunduğu yüksek binalarda tercih edilir. Bu sistemin kullanıldığı yüksek binalar arasında en bilinen örnek 1972 yılında 100 m yüksekliğinde yapılan BMW Yönetim Binası'dır (Şekil 4.24). 23 katlı binanın kat planları yonca yaprağı şeklindedir ve binanın dört adet tübü motor silindirlerinden esinlenilerek tasarlanmıştır. BMW Yönetim Binası'nın Rhinoceros (2019) ortamında hazırlanan taşıyıcı sistem modeli Şekil 4.25'de sunulmuştur.



(a) Görünüş

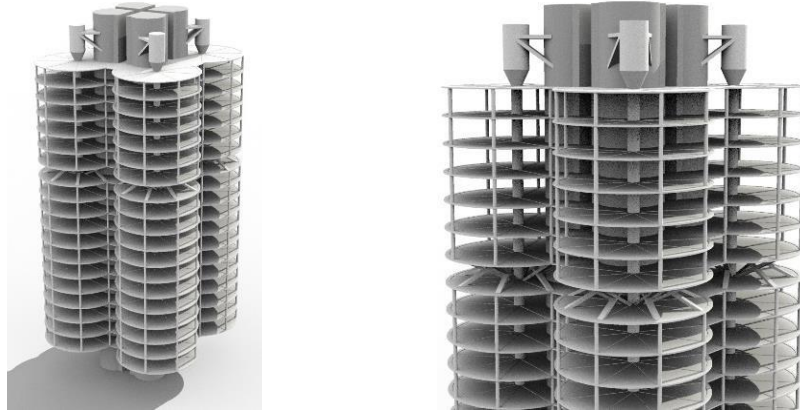


(b) Kesit



(c) Şematik plan

Şekil 4.24 BMW Yönetim Binası (Bal, 2003)



Şekil 4.25 BMW Yönetim Binası'nın taşıyıcı sistem modeli

4.1.7 Tüp Sistemler

Tüp sistemler ilk olarak 1960'lı yılların başında Fazlur Rahman Khan tarafından geliştirilen bir sistemdir. Sistem, cephede sık bir şekilde düzenlenmiş kolon ve kirişlerin merkezi çekirdeğe rijit kirişler ile bağlanmasıyla oluşur. Sistem rüzgar ve deprem gibi yatay kuvvetlere karşı sadece yükün etkilediği cephe ile değil, tüm cephe yüzeyleri ile bir bütün olarak karşı koyar. Bu nedenle bu sistemin bir kutu gibi çalıştığı varsayılır. Dış cephe yatay yüklerin çoğunu ya da tümünü karşıladığı için yapı içerisinde çekirdek dışında çaprazlamalara ya da perde duvarlara ihtiyaç duyulmaz. Tüp sistemler strüktür tasarımcıları tarafından en etkin ve en ekonomik sistem olarak gösterilmektedir. Sistemin etkinliği m^2 'ye düşen malzeme miktarının, çerçeve sistemli binalardakinin yarısına yakın olmasıyla belirginleşmektedir (Köksoy, 2001).

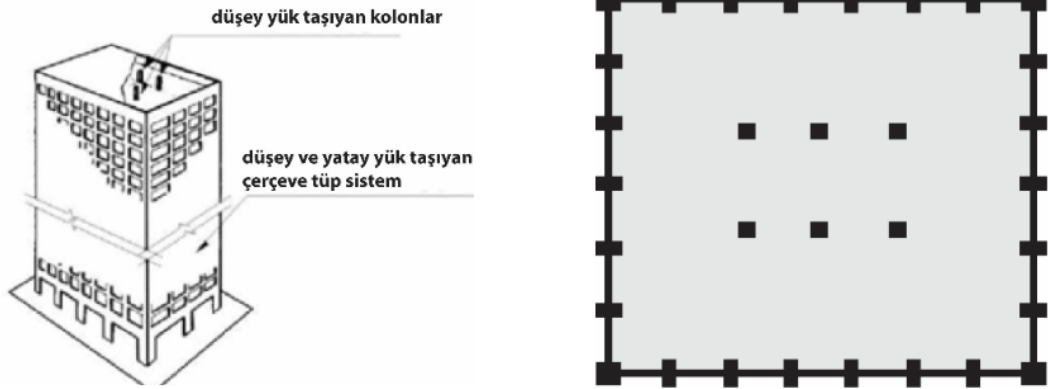
Tüp sistemler yatay yüklere iki farklı şekilde karşı koyar. Birincisi yatay yüklere paralel iki cephenin çerçeve sistemlerde olduğu kiriş ve kolonlarının eğilme davranışı ile yatay yükleri karşılamasıdır. İkincisi ise yatay kuvvetlere karşı binanın tümüyle karşı koyması ve bir konsol tüp davranışı göstermesidir (Koç ve diğer., 2009).

Sistemin en büyük strüktür malzemesinden tasarruf sağlanmasıdır. Bunun yanı sıra cephede cam ve pencerelerin, sık aralıklı yerleştirilmiş kolon ve kirişlerin arasına

yerleştirilmesi ve bunun cephe maliyetini düşürmesi de sistemin avantajlarından biridir. Sistem yatay yüklere dış cephe tübü ile karşı koyduğundan içteki servis çekirdeklerinin yerinde ve boyutlandırmalarında statik zorluklarla karşılaşmaz. Sistemin dezavantajı ise dış etkenler ve güneş ışınları nedeniyle cephenin fazla ısınmasından doğan sorunlardır. Bu durum cephede kullanılacak kaplama malzemeleri ile çözülebilir (Bal, 2003)

4.1.7.1 Çerçeve Tüp Sistemler

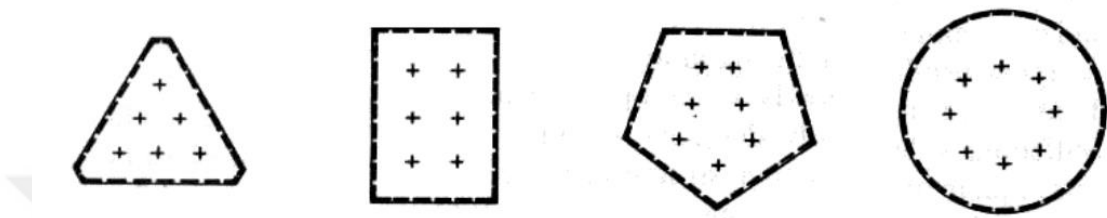
Çerçeve tüp sistemler, dış cephede sık aralıklarla yerleştirilmiş kolon ve kirişlerle içi boş bir tüp şeklinde oluşturulan bir sistemdir. Sistemde rüzgar ve deprem gibi yatay kuvvetlerin tamamı dıştaki çerçeve tarafından karşılandığından, iç kısımda perde duvar, dıştan destek ve çekirdek gibi elemanlar kullanılmadan tasarlanabilir. Çerçeve tüp sistemde dış kolon aralıkları akstan aksa 1,2-3,0 m, bu kolonları birbirine bağlayan dış cephe kirişleri ise 0,6-1,2 m arasında değişkenlik göstermektedir (Köksoy, 2001). Sistemin taşıyıcı sistem plan ve perspektif görünüşü Şekil 4.26’da gösterilmiştir.



Şekil 4.26 Çerçeve tüp sistem perspektif görünüş ve şematik plan (Hothot, 2018)

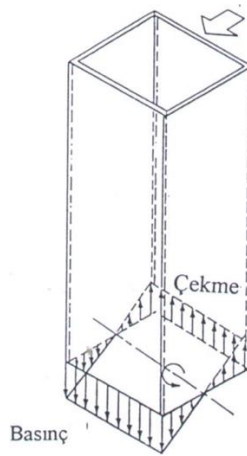
Çerçeve tüp sistemlerde yatay kuvvetlerin tamamı dış cephedeki çerçeve tarafından karşılandığı için içeride bulunan çekirdeğin mimari açıdan serbest bir şekilde tasarlanabilmesi ve binada kullanılabilir alanların artırılması sistemin avantajlarından biridir. Çerçeve tüp sistemler gibi farklı plan formlarında

tasarlanabilir (Şekil 4.27). Sistemde cephedeki pencere boşluklarının küçük olması, sistemin yatay kuvvetlere karşı dayanımını artırır. Cephede yer alan kolonlarda, bina köşelerindeki kolonlar, ortada yer alan kolonlardan daha fazla zorlanma etkisinde kalırlar. Çerçeve tüp sistemler çelik yapılarda 80 kata kadar, BA yapılarda ise 60 kata kadar ekonomik olarak yapılabilirler. Deprem tehlikesinin bulunduğu ülkelerde çerçeve tüp sistem ile yapılan yüksek binaların daha az kat adeti ile yapıldığı görülmektedir (Köksoy, 2001).



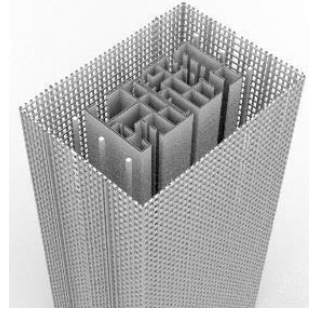
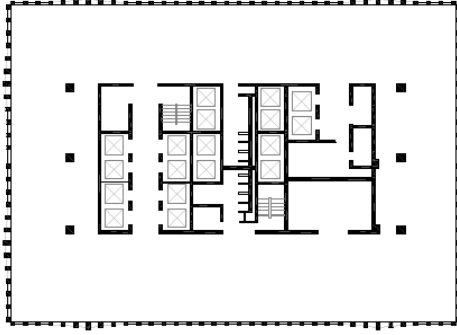
Şekil 4.27 Çerçeve tüp sistemler plan formları (Bal, 2003)

Çerçeve tüp sistemler, yatay kuvvetlere tübün eğilmesi ile karşı koyar. Sistemin yatay yükü alan cephesi ve emme cephesinde basınç ve çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Sistem sürekli bir perde duvar davranışı gösterir. Yapılan çalışmalar sonucunda, kare şeklindeki bir plana sahip olan çerçeve tüp sistemin, yatay kuvvetlere karşı direnmek yerine eğilme davranışı gösterdiği ortaya çıkmıştır. Çerçeve tüp sistemde ortaya çıkan gerilme dağılımı kesme kuvvetinin etkisi yok sayılarak Şekil 4.28’de gösterilmiştir (Taranath, 1988).



Şekil 4.28 Çerçeve tüp sistemin basınç ve gerilme dağılımı (Taranath, 1988)

Çerçeveleli tüp sistemlerin kullanıldığı ilk bina Chicago’da 120 m yüksekliğinde 43 katlı olarak inşa edilen De Witt Chestnut Binası’dır. Sistemin kullanıldığı bir diğer örnek ise Houston’da 218 m yüksekliğinde inşa edilen One Shell Plaza’dır. 51 katlı binanın taşıyıcı sistem modeli Rhinoceros(2019) programında modellenmiş ve binanın görünüş ve şematik planı ile birlikte Şekil 4.29b’de gösterilmiştir.



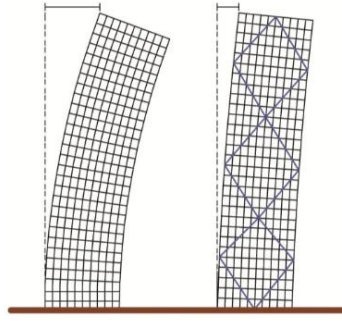
(a) Görünüş ve Şematik plan (Yavaşbatmaz, 2012)

(b) Taşıyıcı sistem modeli

Şekil 4.29 One Shell Plaza

4.1.7.2 Kafesli Tüp Sistem

Kafesli tüp sistem, çerçeveleli tüp sistemin geliştirilmiş halidir. Çerçeveleli tüp sistemler kat yüksekliği arttıkça yeterli dayanımı ve rijitliği alın kirişlerindeki esneklik nedeniyle sağlayamazlar. Bu nedenle sisteme çapraz (diyagonal) elemanlar eklenerek yatay kuvvetlere karşı rijitliği yüksek olan kafes tüp sistem geliştirilmiştir. Kafes tüp sistemlerde, binada oluşan kesme kuvvetleri alın kirişleri yerine sisteme eklenen çaprazlar ile karşılanmaktadır. Sisteme eklenen bu çaprazlar taşıyıcı sistemin esnekliği azaltarak, yatay rijitliğin ve dayanımının artmasına sebep olmaktadır. Çerçeveleli tüp ile kafes tüp sistemin yatay yükler etkisindeki davranışı Şekil 4.30’da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

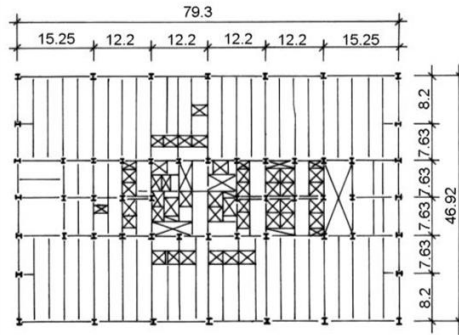


Şekil 4.30 Çerçeve tüp ve kafes tüp sistemin karşılaştırılması (Atasoy, 2014)

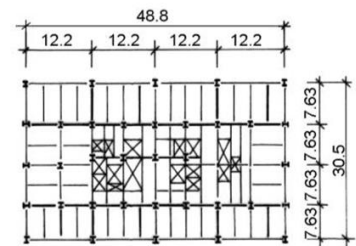
Kafes tüp sistemlerde cephede bulunan kolon aralıklarının çerçevesi tüp sistemlerden daha fazla olması, cephedeki alın kiriş yüksekliklerinin daha az olması ve daha büyük pencere açıklıklarının oluşturulması kafesli tüp sistemin avantajlarındandır. Kafesli tüp sistemin kullanıldığı en önemli binalardan birisi Chicago’da yapılan 100 katlı ve 344 m yüksekliğinde olan John Hancock Center’dır (Şekil 4.31). Binanın zemin kat planı 50×80 m boyutundadır ve bu katta uzun kenardaki kolon açıklıkları 12 m, kısa kenardaki kolon açıklıkları 7,5 m, cephe ile çekirdek arasındaki açıklık ise 18 m’dir. Binaın en üst katında cephe ile çekirdek arasındaki açıklık 9 m düşmektedir (Sev, 2001).



(a) Perspektif



(b) Zemin kat planı



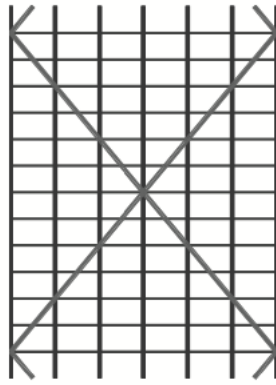
(c) 97. kat planı

Şekil 4.31 John Hancock Center (Sev,2001)

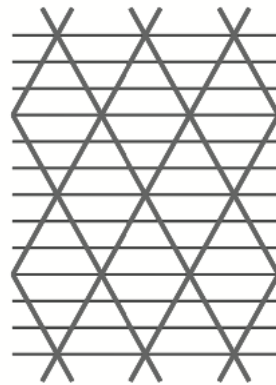
4.1.7.3 Diagrid Sistemler

Diagrid kelimesi, çapraz anlamına gelen diagonal ve grid kelimelerinin kısaltılarak birleşimi ile üretilmiş bir sözcüktür. Sistem, kafes tüp sistemlerin geliştirilmiş halidir.

Diagrid sistemlerde cephede düşey kolonlar bulunmaz ve çapraz elemanlar daha küçük üçgen modüller halinde cephede tasarlanır. Dikdörtgen yerine üçgen modüllerle tasarlanan cepheler ile binaya etki eden yükler daha etkin bir şekilde dağılır ve binanın dayanımı artar. Kafes tüp sistem ile diagrid sistemin farkı Şekil 4.32’de gösterilmiştir. Geleneksel sistemlerle tasarlanan binaların cephelerinde yatay ve düşey çizgiler mevcuttur. Bu sistem çaprazlarla oluşturulduğu için mimari açıdan daha farklı ve daha estetik bir algı oluşturmaktadır.



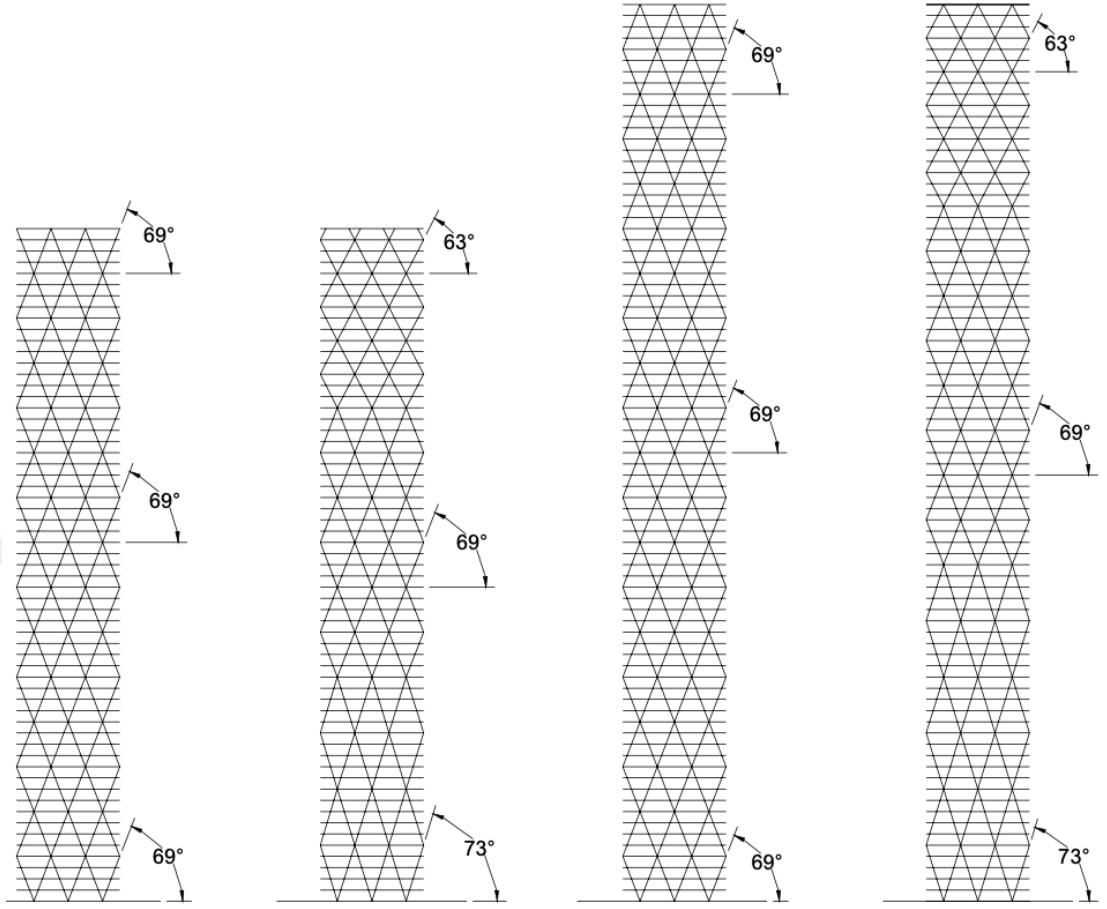
(a) Kafes tüp sistem



(b) Diagrid sistem

Şekil 4.32 Kafes tüp ve diagrid sistemin cephedeki farkı (Moon, Connor ve Fernandez, 2007)

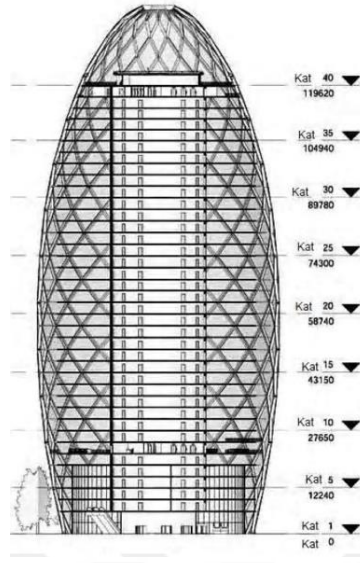
2007 yılında Yale Üniversitesi Mimarlık Fakültesi’nde Kyoung Sun Moon tarafından diagrid sistemlerle ilgili bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada 60 ve 80 katlı iki farklı binada farklı açılarda diagrid sistem tasarlanmış ve bu binalarda kullanılan çelik miktarları karşılaştırılmıştır. Şekil 4.33’de gösterilen ve kat yüksekliği 3,9 m olarak tasarlanan bu binalardan 60 katlı olan binada, 69° açı ile tasarlanan diagrid sistemli binada (Şekil 4.33a) 3820 tf çelik kullanılmışken, farklı katlarda değişken açılar kullanıldığı (73° , 69° ve 63°) binada (Şekil 4.33b) 4104 tf çelik kullanılmıştır. 80 katlı ve kat yüksekliği 3,9 m olarak tasarlanan binalardan 69° açı ile tasarlanan diagrid sistemli binada (Şekil 4.33c) 15611 tf çelik kullanılmışken, farklı katlarda değişken açılar (73° , 69° ve 63°) kullanıldığı binada (Şekil 4.33d) 11574 tf çelik kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu durum diagrid sistemlerin ekonomik olabilmesi için değişken açılar kullanılması gerektiğini göstermektedir (Moon, 2009).



a) 60 katlı sabit açılı b) 60 katlı değişken açılı c) 80 katlı sabit açılı d) 80 katlı değişken açılı

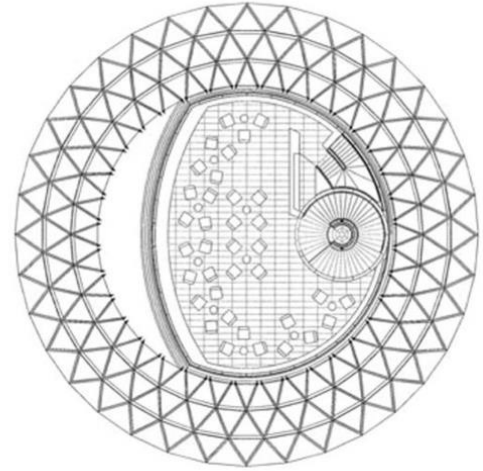
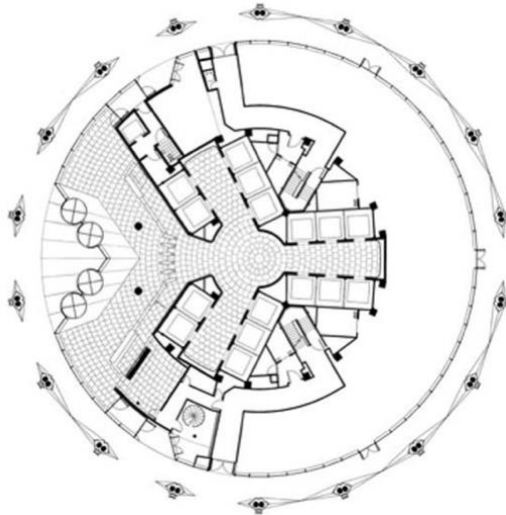
Şekil 4.33 60 ve 80 katlı binalarda sabit ve değişken açılı diagrid sistemler (Moon, 2009)

Diagrid sistem kullanılan en önemli yüksek binalardan bir tanesi Londra’da 40 katlı ve 180 m yükseklikte inşa edilen Swiss Re Binası’dır. Bina değişken açılı diagrid sistem ile tasarlanmıştır. Her katta sistem 5° açı ile dönmektedir. Binanın plan kesit ve görselleri, yapım aşaması görselleri ile birlikte Şekil 4.34’de verilmiştir. Binanın tez çalışması kapsamında modellenen taşıyıcı sistemi ise Şekil 4.34b’de gösterilmiştir.



(a) Perspektif görünüş ve kesit (Şimşek, 2018)

(b) Diagrid taşıyıcı sistem 3D modeli



(c) Giriş kat ve son kat plan şeması (Bulut, 2016)

Şekil 4.34 Swiss Re binası

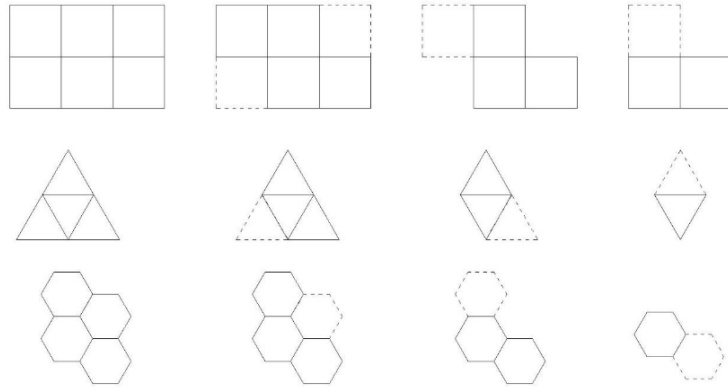
4.1.7.4 Tüp İçinde Tüp Sistemler

Tüp içinde tüp sistemler iki veya daha fazla tüpün iç içe eklenmesiyle oluşturulan bir sistemdir. Bu sistemde içeride bulunan tüp, çekirdek sistem, perde sistem, çapraz kafesli tüp veya çerçeve tüp ile oluşturulabilir. Dışarıdaki tüp ise çerçeve tüp, kafes tüp veya diagrid sistem ile tasarlanabilir. Dışarıdaki tüp ile içerideki tüp kat döşeme ve kirişleri ile birbirine bağlıdır. Sistemde iç tüp ile dış tüp yatay yüklere karşı bir bütün olarak karşılık verirler. İçeride çekirdeğin kullanıldığı tüp sistemler en çok tercih

edilen sistemlerdir. Çekirdek servis amaçlı düşey sirkülasyon amaçlarını karşılar, çekirdek dışı alanların kullanım alanı olarak kolonsuz bir şekilde kullanılmasını sağlar ve dış cephede bulunan tüp ile birlikte yatay yüklere karşı koyarak sisteme bir çok avantaj sağlar.

4.1.7.5 Modüler (Demet) Tüp Sistemler

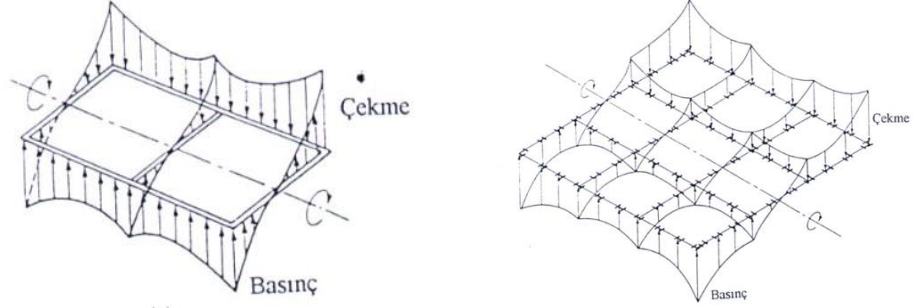
Modüler ya da diğer bir deyişle demet tüp sistemler birden fazla tüpün yan yana birbirlerine eklenmesi ile oluşturulan bir sistemdir. Sistem üçgen, altıgeni dairesel veya farklı çokgen şekilleri ile tasarlanabilir ancak en etkin plan formu kare şeklinde tasarlanan sistemdir. Şekil 4.35'te gösterildiği gibi farklı plan formlarında tasarlanabilir.



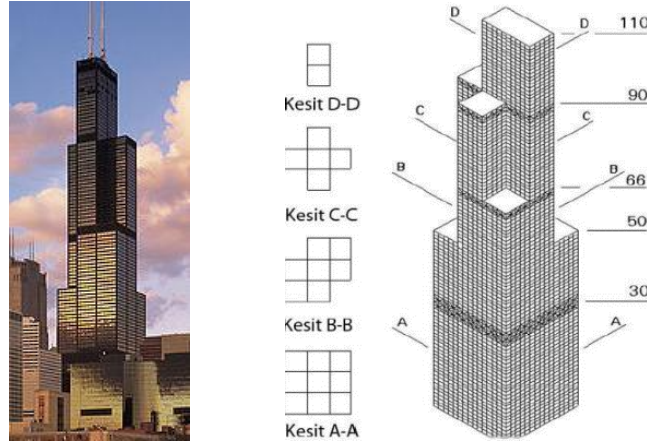
Şekil 4.35 Modüler (demet) tüp sistem farklı plan formları (Beedle ve Rice, 1995)

Sistemdeki tekil tüpler tek başlarına da etkin olduğu için, herhangi bir plan formunda tasarlanabilir, her tüp istenilen katta sonlandırılabilir ve cephede farklı geri çekilmeler yapılarak binada dinamik bir tasarım elde edilebilir. Sistem, iç kolon dizileri, kiriş ve döşeme diyaframları ile binada bir ağ gibi davranır ve yatay kuvvetlerine karşı büyük bir konsol kiriş gibi etki gösterir. Her modülün çevresindeki iç çerçeveler rüzgar ve yatay etkilere karşı paralel yerleştirildiğinden, eksenel gerilmelere içteki ve dıştaki çerçeveler birlikte karşı koyar. İç diyaframlar eksenel gerilmeleri tüm çerçevelere eşit olarak dağıtır. Eksenel gerilmeler dış tüplerin köşe noktalarında en üst seviyede, ortalarda daha az seviyede görülmektedir (Şekil 4.36).

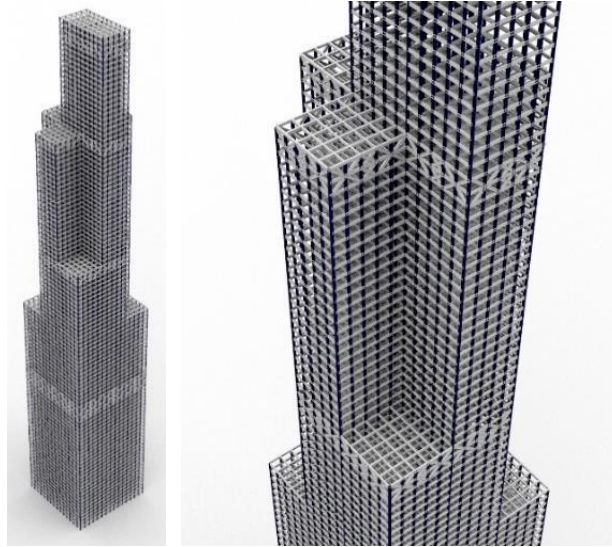
İç tüplerin çevrelerinde bu kuvvet daha da azalır ve merkezinde sıfır olur (Taranath, 1988).



Şekil 4.36 İki ve dokuz modüllü tüp sistem çekme ve basınç dağılımları (Taranath, 1988)



(a) Görünüş ve kat kesitleri (Atasoy, 2014)



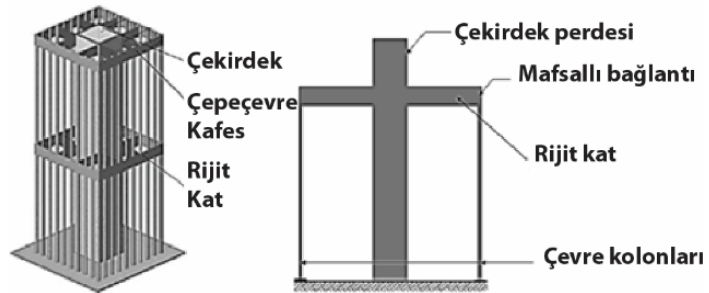
(b) Taşıyıcı sistem modeli

Şekil 4.37 Willis (Sears) Kulesi

Chicago’da 442 m yüksekliğinde 108 katlı olarak inşa edilen Willis Kulesi (eski adıyla Sears Kulesi) modüler tüp sistemin en önemli örneklerinden birisidir. Planda 22,5 m kenarı olan dokuz adet kare tüpten oluşan sistemdeki tüpler belirli katlarda sonlandırılarak tasarlanmıştır. Her tübün yüzeyindeki kolon aralıkları 4,6 m ve tüplerde belirli katlarda dış çaprazlar kullanılmış ve sistem dayanımı arttırılmıştır. Binanın görseli, kat plan şemaları ve kesitleri, tez çalışması kapsamına Rhinoceros (2019) programında hazırlanmış taşıyıcı sistem modeli ile birlikte Şekil 4.37’de verilmiştir.

4.1.8 Mega Rijit Katlı Sistemler

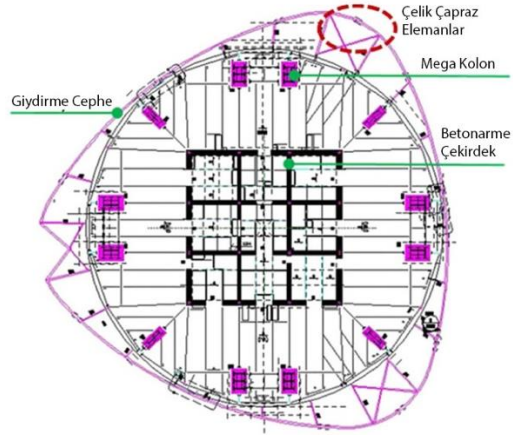
Yüksek binalarda kullanılan taşıyıcı sistemler arasında mega rijit katlı sistemler son olarak geliştirilen güncel sistemlerden biridir. Bu sistem bir çok binada uygulanmış ve giderek yaygınlaşmaya devam etmektedir. Sistem, ortada bulunan mega çekirdek ile dış çeperde bulunan mega kolonları birbirine bağlayan makaslardan oluşan dış destek (outrigger) sistem ile belirli kat aralıklarıyla dış çeperde tasarlanan kafes kuşak kirişlerin birleşiminden oluşmaktadır. Sistemin yapısal bileşenleri Şekil 4.38’de gösterilmiştir.



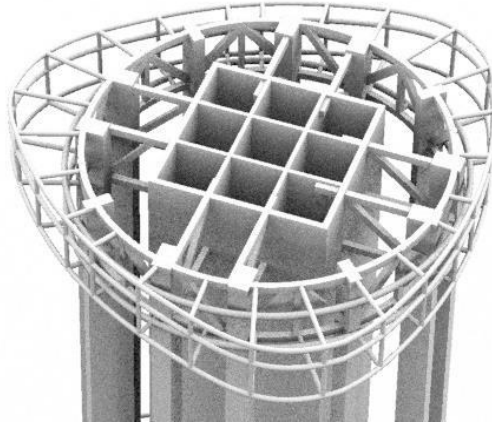
Şekil 4.38 Mega rijit katlı sistem yapı bileşenleri (Dadaş, 2017)

Sistemde yatay kafes kirişler merkezde bulunan çekirdek ile dış çeperde bulunan kolonlar arasındaki yük etkileşimini arttırır. Çekirdek, rüzgar ve deprem gibi yatay kuvvetler nedeniyle eğilmeye başladığında yatay kafes kirişler dış kolonlara eksenel yük ileten bir manivela kolu gibi davranış gösterirler ve yatay kuvvetlerin sönmülmesinde destek olurlar (Dadaş, 2017).

Rijit katın oluşumunda yer alan yatay kafes kirişler ve kuşaklar, en az bir kat derinliğinde oluşturulur ve bina yüksekliği boyunca birden fazla yere belirli kat aralıklarıyla yerleştirilir. Yerleştirilen katlarda kullanım alanlarında engel oluşacağı için bu rijit katlar genellikle tesisat katı olarak kullanılır.



(a) Görünüş ve kat plan şeması (Huang ve diğer., 2017)



(b) Taşıyıcı sistem modeli

Şekil 4.39 Shanghai Kulesi

Çin’de yapılan 632 m yüksekliğindeki Shanghai Kulesi mega rijit katlı sistemle yapılmış yüksek binalara bir örnektir. Bina dairesel tabanlı bir şekil içerisine konumlandırılmış mega çekirdek ve mega kolonlardan oluşmuştur. Oluşturulan bu dairenin taban alanı, bina yükseldikçe azalmakta ve dairenin çapı küçülmektedir. Sistemin dış çeperinde bulunan kuşaklar belirli kat aralıklarıyla yerleştirilmiştir. Binanın dışında bulunan giydirme cephe her katta bir derece dönerek yükselmektedir ve belirli katlarda yerleştirilen dış kuşak kafes kirişler de belirlenen katlara göre

dönmektedir (Şekil 4.39a). Tez kapsamında Shanghai Kulesi'nin Rhinoceros (2019) programında taşıyıcı sistem modeli oluşturulmuş ve bu model Şekil 4.39b'de gösterilmiştir.

4.2 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) Kapsamında Tipik Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemleri

TBDY'nin bilgilendirme eki 13A'da yüksek binalarda kullanılan tipik taşıyıcı sistemleri, genel tanımlamaları ve taşıyıcı sistem elemanları açıklanmıştır. Tipik bir yüksek bina, zemin altında gömülü olarak tasarlanan bodrum katları, zemin kotunda yer alan az katlı bir baza (podyum) ve bazanın üzerinde yükselen bir kuleden oluşur. Yapılan yüksek binaların birçoğu bu bölümlerden oluşur ancak bazılarında baza bölümü yapılmayabilir.

Yüksek binaların kule bölümü, deprem ve rüzgar gibi yatay kuvvetlerin birçoğunu ve bazı durumlarda tamamını karşılayan, çoğunlukla BA perdelerden oluşan çekirdek ve çelik veya beton ile çeliğin birlikte kullanılması ile oluşturulan kompozit kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemler ile ve/veya kolon ve perde elemanlarına mesnetlenen kirişsiz döşemeler ile tasarlanır. Çepeçevre oluşturulan yeterli rijitliğe ve dayanıma sahip çerçeveler, kule bölümünün taşıyıcı sistemi açısından gerekli dayanıma ve burulma rijitliğine sahip olmalıdır.

Az katlı olarak tasarlanan baza bölümü, planda kule bölümünden daha fazla alana sahiptir ve zemin altında gömülü olan bodrum katlarının üstünde yer alır. Kule bölümünden aşağıya devam eden taşıyıcı sistem elemanlarına ek olarak baza bölümünde perdeler ve çerçeveler ve/veya kirişsiz döşemeler kullanılmaktadır. Zemin altında kalan bodrum katlarının taşıyıcı sistemi, kule bölümünden aşağıya devam eden taşıyıcı sistem elemanlarına ek olarak çevrede bulunan rijit perde elemanlarından oluşturulur.

Kule bölümünün baza ve bodrum katlarında tasarlanan taşıyıcı sistemden ayrılmaksızın ortak bir taşıyıcı sistem ile tasarlanması, kule bölümünden gelen

yüklerin önce baza bölümüne daha sonra önemli derecede bodrum katlarının perde duvarlardan oluşturulan taşıyıcı sistem elemanlarına iletilmesini sağlar. Bu sayede kule bölümünün yüksekliği ve kulenin temel kotundaki devrilme momenti büyük ölçüde azalır. Ancak bu durum, kule bölümünden baza bölümüne ve çevrede tasarlanan bodrum kat perde duvarlarına geçişte bulunan geçiş katlarının (transfer katları) döşemelerinin büyük zorlanmalara maruz kalmasına neden olur.

Çekirdek sistem, kule bölümünün ana taşıyıcı sistem elemanıdır. Bu sistem bağımsız olarak çalışan U, E vb. kesitli perde duvarlardan ve genellikle rijit ve dayanımı yüksek BA veya çelik bağ kirişleri ile birbirlerine mesnetlenerek oluşturulan bağ kirişli perdelerden oluşturulmaktadır. Gereken durumlarda belirli kat veya katlarda merkezde bulunan çekirdek ile dış çeperde bulunan kolonlara bağlanarak oluşturulan dıştan destek (outrigger) sistemler de kule bölümünde taşıyıcı sistem elemanı olarak kullanılabilir.

Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinde birçok bileşenden oluşan, çelik mega kolonların ve mega kirişlerin, gerektiğinde mega çaprazların kullanıldığı mega çerçeveli sistemler de kullanılabilir.

Yüksek binaların taşıyıcı sistemleri hem yatay hem düşey doğrultuda düzenli bir şekilde tasarlanmalıdır. Çekirdek sistemin binanın merkezinde konumlandırılmasına ve kat planında her iki doğrultuda simetrik veya simetriğe yakın taşıyıcı sistem seçilmesine dikkat edilmelidir.

BA kirişsiz döşemeli sistemler ile tasarlanan binalarda, merkezi çekirdek ile birlikte çalışan, çevredeki kolon veya perde duvarların birbirlerine rijit kirişlerle bağlanması ile oluşturulan dayanımı yüksek dış çerçeveler oluşturulmalıdır ve taşıyıcı sistemin yeterli rijitlik ve dayanıma sahip olması gerekmektedir. Bu bağlamda taşıyıcı sistemin hakim burulma modu periyodunun hakim öteleme modunun periyodundan daha fazla olmaması gerekmektedir.

Taşıyıcı sistemde dıştan destek kullanıldığı durumlarda destek kirişlerinin, bağlandığı çekirdek ve destek kolonlarına iletecekleri eksenel etkilerin öngörülen miktarlardan daha fazla olmaması için bu kirişlerin dayanım fazlalıklarının sınırlandırılmasına yönelik önlemler alınmalıdır. Bu durumda destek kirişlerinden, akma düzeyleri kontrol altına alınabilen burkulması engellenmiş çelik çaprazlardan oluşan kafes sistemler ile tasarlanması tercih edilebilir.



BÖLÜM BEŞ

YÜKSEK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN VE MİMARİ FORMLARININ DÜNYANIN EN YÜKSEK 10 BİNASI ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

5.1 Giriş

Yüksek binalar dünya genelinde alan yetmezliği ve nüfus yoğunluğu nedeniyle ülkeler için bir çözüm yöntemi olarak görülmekte ve sayıları giderek artmaktadır. Bazı ülkeler için yüksek binalar teknolojik gelişme göstergesi ve turizm açısından ekonomik gelir kaynağı olarak da görülmektedir. Bulundukları şehirleri gözlemleyebilmek amacıyla binaların üst katlarına gözlem alanları oluşturulmuş, daha çok kişinin ziyaretini sağlamak ve şehirleri tanıtmak hedeflenmiştir.

Yüksekliğin artışı ve yatay yüklerin etkisinin fazla olması nedeniyle mimari formlar rüzgar yükünü hafifletmek amacıyla rüzgar tüneli deneyleriyle tasarlanmış, taşıyıcı sistemler deprem ve rüzgar yüklerine karşı dayanım ve yatay yerdeğiştirmenin sınırlandırılması için gerekli süneklik ve rijitliğe sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarım yarışı farklı mimari formların tasarlanmasını, yeni taşıyıcı sistemlerin bulunmasını sağlamıştır. Yükseklik artışı ile kat alanlarının daralması ve taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının azalması, binanın ağırlığının hafifletilmesi için alınan önlemlerden bazılarıdır.

Yüksek binalar çok ağır kütlelere sahip olduğu için bina zemininde daha fazla malzeme ve daha büyük elemanlı temel kullanımına ihtiyaç duyulmuştur. Ağırlığın taşınabilmesi için beton malzemesinde çalışmalar yapılması ve yüksek dayanımlı beton üretimi yüksek binaların gelişiminde önemli unsurlardan biridir. Taşıyıcı sistem elemanlarının büyümesi ve yüksekliğin artması sonucunda binanın tamamlanma süresi az katlı binalara oranla çok fazla uzamıştır. Binanın inşaat süresini azaltmak için malzemelerin katlara taşınması amacıyla kullanılan vinç ve beton malzemesinin dökülmesi için kullanılan kalıplarda yeni sistemler geliştirilmiştir. Yüksek binaların mimari ve taşıyıcı sistem özellikleri dünyanın en yüksek on binası için Bölüm 5.2’de detaylı olarak irdelenmiştir.

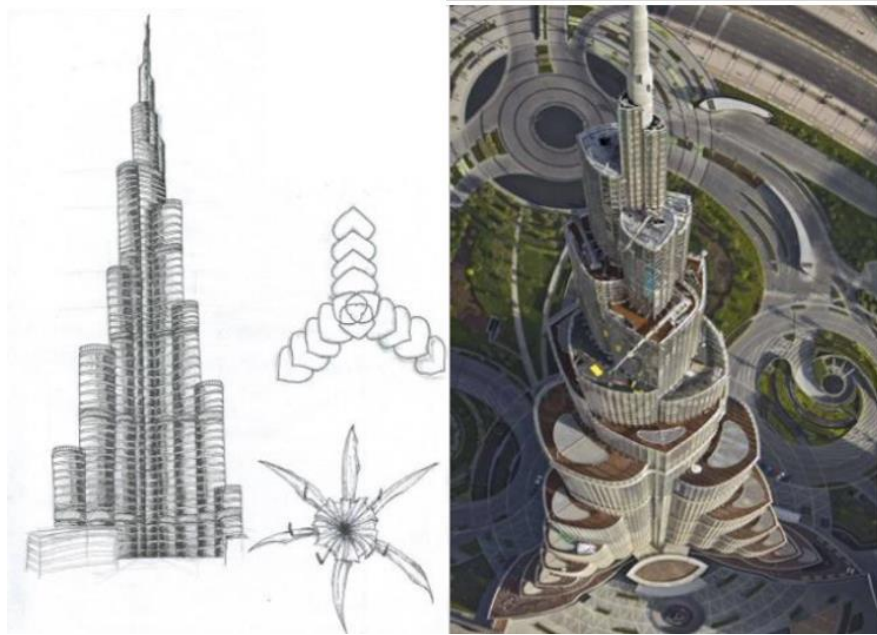
5.2 Dünyanın En Yüksek 10 Binası

5.2.1 Burj Khalifa

Burj Khalifa binası Birleşik Arap Emirlikleri'nin Dubai Emirliği'nde inşa edilen ve günümüzde yapımı tamamlanmış dünyanın en yüksek binasıdır. 829 m yüksekliğinde ve 163 katlıdır. Konut, ofis ve otel fonksiyonlarını barındıran binanın mimari ve strüktürel tasarımını Skidmore, Owings & Merrill firması yapmıştır. Bina ile ilgili genel bilgiler Tablo 5.1'de belirtilmiştir.

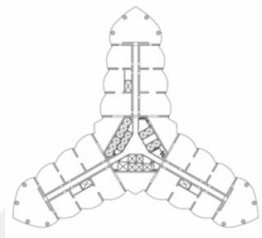
5.2.1.1 Burj Khalifa Mimari Özellikler

Binanın tasarımında Şekil 5.1'de görülen çöl bitkisinden ve İslam mimarisinden esinlenilmiştir. Burj Khalifa binasının zemin kat planı Y şeklinde bir forma sahiptir (Şekil 5.2). Y şeklindeki form cephede daha fazla alan ortaya çıkartır ve böylelikle iç mekanın daha ferah ve aydınlık olmasını, manzara imkanının daha fazla olmasını sağlar. Y formu, merkezde bir çekirdek ve bu çekirdekten uzanan üç adet kanattan oluşmaktadır. Binada belirli katlarda bina yükseldikçe geri çekilmeler yapılmış ve kat terasları oluşturulmuştur (SOM, 2020). Bu teraslar Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 Burj Khalifa Binası ve esinlenilen çöl bitkisi (Kazımov, 2018)

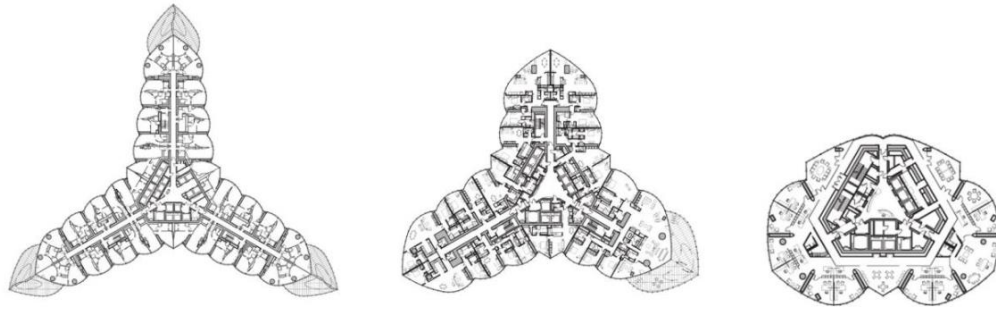
Tablo 5.1 Burj Khalifa bilgileri

 (Kazımov, 2018)  (Kazımov, 2018)	Bina İsmi	Burj Khalifa/Burj Dubai
	Ülke/Şehir	BAE/Dubai
	H_N (m)	829
	N	163
	Fonksiyonu:	Ofis/Konut/Otel
	Plan Formu: Y şeklinde	
	Taşıyıcı Sistem malzemesi: 156. kata kadar BA, üzerine çelik sistem	İç çeper: BA payandalı çekirdek
		Dış çeper: Çekiç başlı koridor perdeleri ile BA kolon ve perde duvar
		Döşeme: BA
	Temel Sistemi	Kazık üzeri radye temel
	Kalıp Sistemi	Tırmanır kalıp
	Cephe Sistemi	Giydirme panel cephe
	Yapım zamanlaması	Tasarı öneri: 2003
		İnşaat başlangıç: 2004
		İnşaat bitiş: 2010
	Mimari Tasarım	Skidmore, Owings & Merrill
	Strüktürel Tasarım	Skidmore, Owings & Merrill



Şekil 5.2 Burj Khalifa vaziyet ve zemin kat planı (Bulut, 2016)

Bina, aerodinamik açıdan rüzgar kuvvetlerinden daha az etki alması ve estetik açıdan daha narin bir görünüme sahip olabilmesi için her yedi katta 9 m geri çekme yaparak sarmal bir biçimde incelerek tepeye ulaşmaktadır (Bulut, 2016). Toplam 27 adet çekmeye sahip olan binanın küçülen kat alanları Şekil 5.3’de verilmiştir.

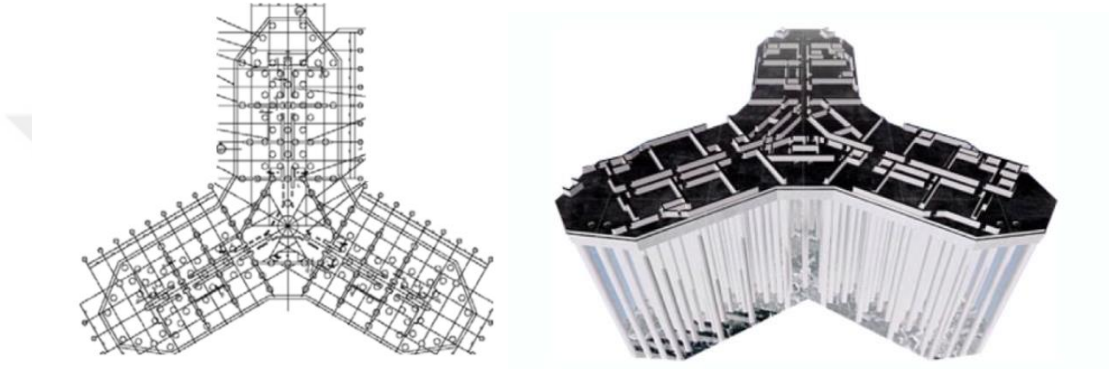


Şekil 5.3 Burj Khalifa kat planları (Bulut, 2016)

Binanın bir diğer eşsiz özelliği ise kat teraslarının kullanılabilmesidir. Bu teraslar kaplama malzemeleri ve korkuluklar açısından bir dizi analize tabi tutulmuş ve bu analizler sonucunda teraslar kullanıma hazır hale gelmiştir. Her ne kadar testler ile teras kullanıma açık olsa da kullanıcılara dış mekan rüzgar koşullarını gösteren bir araç sağlanması gerekliliği düşünülmüştür. Bu nedenle her terasa çıkış kapısının yakınına rüzgar takip paneli konulmuştur. Bu panel rüzgarın yönünü ve şiddetini göstermektedir. Rüzgar hızı set seviyesini aşarsa panel uyarı vermekte ve kullanıcı dışarısının tehlikeli olduğunu anlamaktadır. Teras kapıları rüzgardan etkilenmemesi için motorlu bir düzeneyle açılıp kapanmakta, kullanıcılar ve bina cephesi için daha güvenli bir çözüm sağlamaktadır (Weismantle ve diğer., 2007).

5.2.1.2 Burj Khalifa Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Binanın tasarım önerisi 2003’de yapılmıştır ve 2004’te başlanan inşaat altı yıl sürmüş ve 2010’da tamamlanmıştır. Bina’nın temelinde Şekil 5.4’te gösterildiği gibi kazık temel üzerine radye temel yapılmıştır. 1,5 m çapa sahip 194 adet kazık radye temelin yaklaşık 45 m altına kadar ulaşmaktadır ve bu kazıklar 3000 t kapasiteye sahiptir (Abdelrazaq, 2011).



Şekil 5.4 Burj Khalifa temel sistemi (Abdelrazaq, 2011; Smith, 2020)

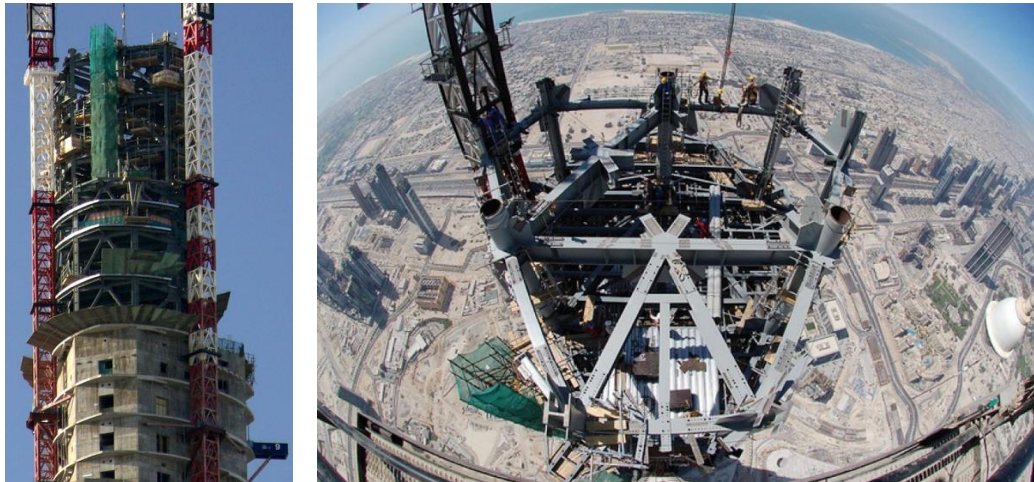
Binanın taşıyıcı sistemi payandalı altıgen merkezî çekirdek ve kanatlarda perde duvarlar ile uçlarda kolonlardan oluşmaktadır. Merkezî çekirdek duvarlarının kalınlıkları 130 cm ile 50 cm arasında değişmektedir. Çekirdeğe bağlanan kompozit döşeme kirişleri 80 cm’den 110 cm’ye kadar değişken yüksekliğe sahiptir. Merkezî çekirdek 156. kata, yerden yaklaşık 750 m yüksekliğe kadar BA olarak devam etmektedir. Bina’nın yapım aşamaları Şekil 5.5’te gösterilmiştir. Bina 750 m’den sonra Şekil 5.6’da yapım aşamalarının görsellerinde görüldüğü gibi çaprazlı çelik sistem ile tamamlanmıştır (Abdelrazaq, 2011).

Binanın tasarımına etki eden diğer faktör rüzgardır. Bina’nın farklı ölçeklerde modelleri yapılarak rüzgar tüneli testi yapılmış ve bu deneyler sonucunda binanın formu şekillenmiştir. Bina’nın plan formuna bakıldığında Şekil 5.7’de gösterildiği gibi üçer adet burun ve kuyruk kısmı bulunmaktadır. Yapılan deneylerde rüzgar, binanın burun kısmında kuyruk kısmından daha az uyarı vermiştir. Tasarımcılar bu bilgiyi Dubai’deki hakim rüzgar yönünü de baz alarak binanın cephede geri çekmelerini ve

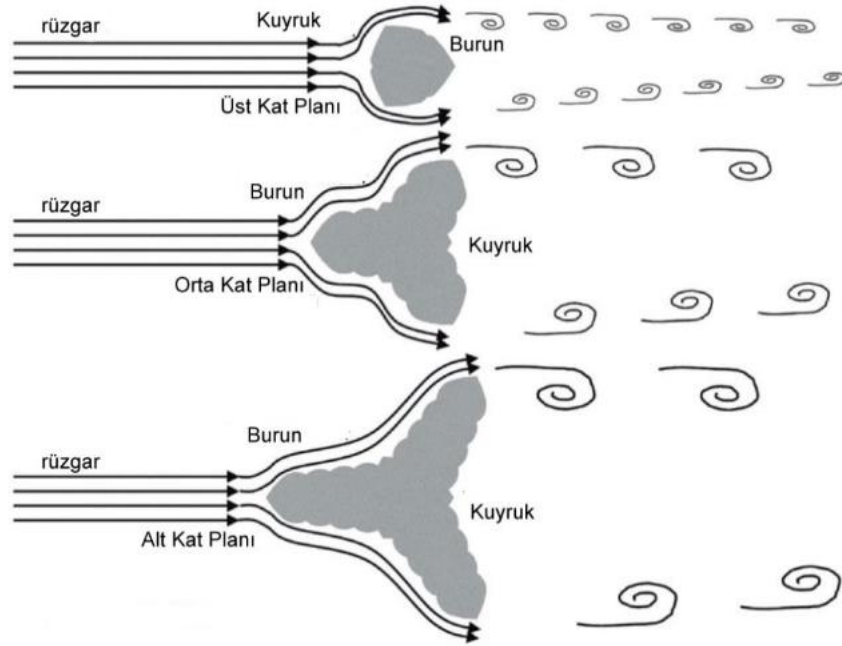
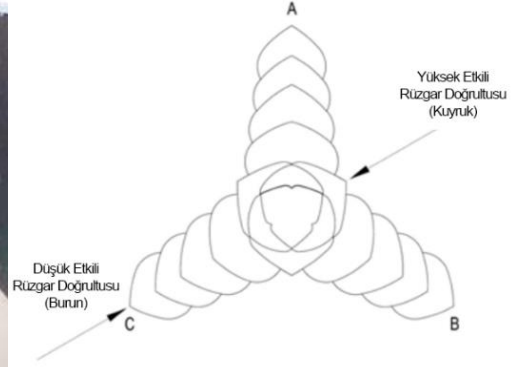
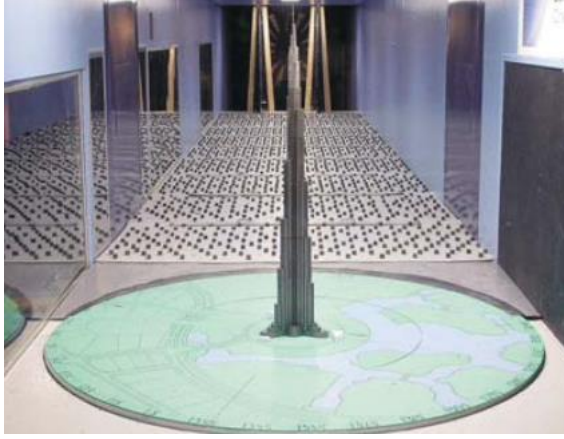
yönlerini tasarlarken ön planda tutmuşlardır. Binada üç adet kanat bulunmaktadır. Rüzgar testi sonuçları doğrultusunda rüzgarın etkisini minimum seviyeye indirebilmek amacıyla geri çekmeler yapılmış ve kanatların şekilleri değiştirilmiştir. Bu süreçte dağınık bir girdap yaratılmış ve farklı tekniklerle rüzgarın kule üzerindeki etkisi azaltılmıştır (Baker ve diğer., 2008).



Şekil 5.5 Burj Khalifa Binası yapım aşamaları (Smith, 2020)



Şekil 5.6 Burj Khalifa binası üst kısımdaki çelik konstrüksiyon (Smith, 2020)



Şekil 5.7 Burj Khalifa Binası'nın rüzgar tüneli deneyleri (Baker ve diğer., 2008)

Burj Khalifa binasının yapımının kısa sürede bitmesi istenmiştir ve geleneksel vinçlerle bu kadar yüksek bir binanın istenilen sürede bitmesi ihtimali çok düşüktür. Bu nedenle binanın yapımı sırasında, önceden fabrikada üretilen prefabrik elemanların gerekli katlara hızlı bir şekilde taşınabilmesi için kanguru vinci adı verilen yeni teknoloji bir vinç kullanılmıştır. Geleneksel vinçlerde vincin kol kısmı hareket eder ve ayak kısmı hareket etmez. Kanguru vincin ise ayak kısmı üç kat boyunca yukarı aşağı hareket edebilir (Bulut, 2016). Şekil 5.8c'de gösterilen bu vinç sistemi binanın inşaat süresinin oldukça kısılmasını sağlamıştır.



a) Geleneksel vinç b) Kanguru vinç c) Burj Khalifa kanguru vinç kullanımı

Şekil 5.8 Vinç çeşitleri (Bulut, 2016)

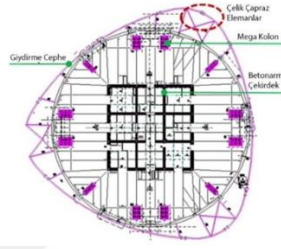
5.2.2 Shanghai Tower

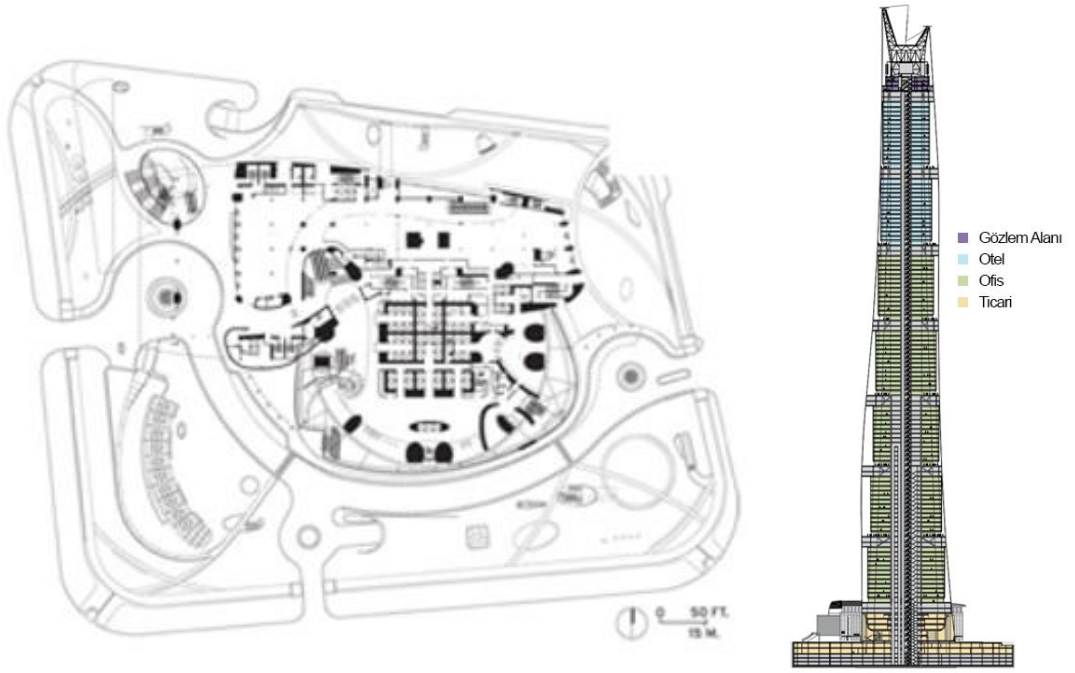
Shanghai Tower Çin'in Şangay şehrinde inşa edilen ve dünyada yapımı tamamlanmış en yüksek ikinci binadır. 632 m yüksekliğe sahip binada 128 kat bulunmaktadır. Ofis ve otel fonksiyonları barındıran binanın mimari tasarımını Gensler, strüktürel tasarımını Thornton Tomasetti yapmıştır. 30370 m² araziye yapılan bina 521000 m² alana sahiptir (Gensler Design Update, 2010). Binanın bilgileri Tablo 5.2'de belirtilmiştir.

5.2.2.1 Shanghai Tower Mimari Özellikler

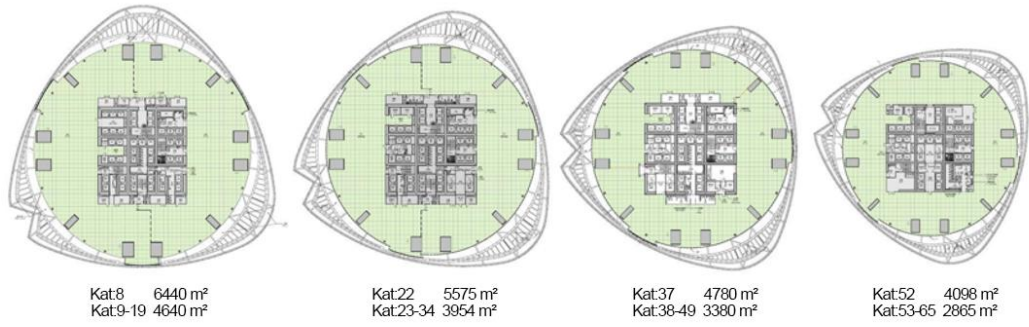
Bina düşeyde dokuz adet bölümden oluşmaktadır. Binanın kat planları, bölümleri ve kesiti Şekil 5.9'da gösterilmektedir. Birinci bölüm giriş katıdır ve bu katta lüks butikler, restoran, kafe ve lobi gibi yeme içme alanları vardır. Bölüm iki ile altı arasında ofis katları bulunmaktadır. Her ofis bölümünde bina kullanıcılarını bir araya getirilebilmek amacıyla gök bahçe (sky garden) adı verilen toplu kullanım alanları tasarlanmıştır. Yedinci ve sekizinci bölümlerde beş yıldızlı bir otel bulunmaktadır. En üstte bulunan dokuzuncu bölümde ise kamuya sunulmuş imkanlar yer almaktadır. Bu bölümde restoran, kapalı ve açık gözlem alanları bulunmaktadır. Bu alana çıkan asansör dünyanın en yüksek asansörüdür. Tasarımda bu dokuz bölüm, düşey komşuluk ilişkisi ön planda tutularak tasarlanmıştır (Xia ve diğer., 2010).

Tablo 5.2 Shanghai Tower bilgileri

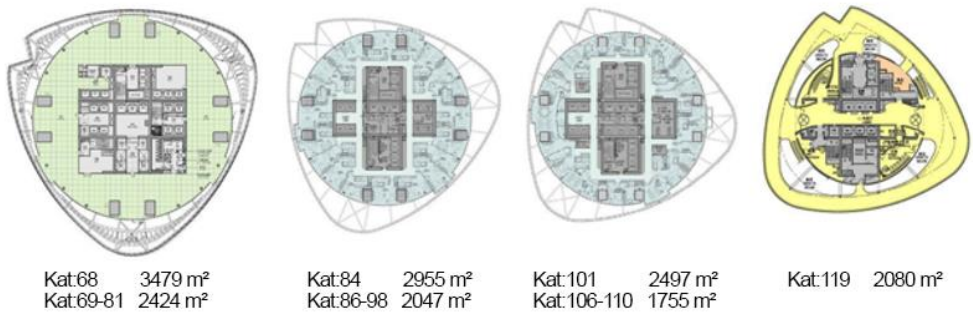
 (Gensler Design Update, 2010)  (Gensler Design Update, 2010)	Bina İsmi	Shanghai Tower/ Shanghai Center
	Ülke/Şehir	Çin/Şangay
	H_N (m)	632
	N	128
	Fonksiyon	Ofis/Otel
	Plan Formu: İç mekan formu daire, Belirli katlardaki kat bahçeleriyle formu üçgen	
	Taşıyıcı Sistem	İç Çerper: BA Çekirdek
		Dış Çeper: BA içinde çelik mega kolonlar, Belirli katlarda dıştan destekli sistem ve mega rijit kuşak kafes sistem.
		Döşeme: Çelik
	Temel Sistemi	Kazık temel üzeri radye temel
	Kalıp Sistemi	Tırmanır kalıp
	Cephe Sistemi	Çift cidarlı giydirme panel cephe
	Yapım zamanlaması	Öneri: 2008
		Başlangıç: 2009
		Bitiş: 2015
	Mimari Tasarım:	Gensler
	Strüktürel Tasarım:	Thornton Tomasetti



a) Shanghai Tower zemin kat planı ve kesit



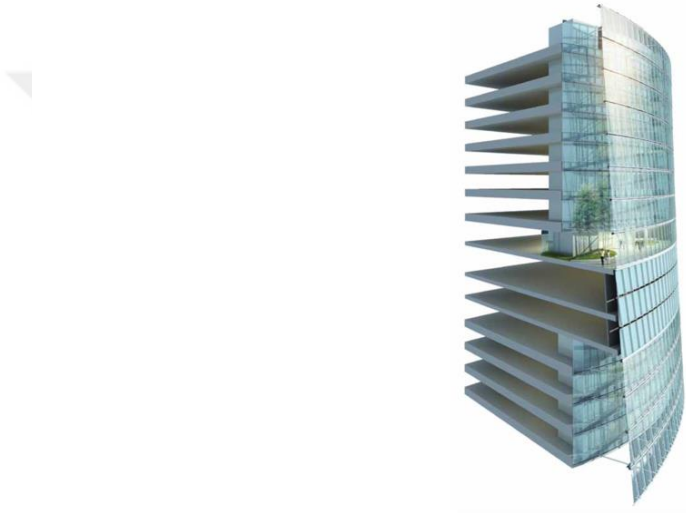
b) Shanghai Tower 8-65 kat planları



c) Shanghai Tower 65-119 kat planları

Şekil 5.9 Shanghai Tower kat planları (Nichols ve diğer., 2014; Xia ve diğer., 2010)

Giydirme cephe olarak binada çift cidarlı bir sistem bulunmaktadır (Şekil 5.10). Dış cidar planda köşeleri yuvarlatılmış üçgen formda, iç cidar ise daire formunda tasarlanmıştır. İki cidarın farklı formu her 12 ile 15 katta bir atrium oluşmasını sağlamıştır. Dış cidarda bulunan üçgen form bina yükseldikçe dönmekte ve binaya spiral bir görüntü vermektedir (Şekil 5.11). Rüzgar testi deneyleri sonucunda binada farklı açılar Şekil 5.12’de gösterildiği gibi denenmiştir ve 120°’lik açı optimum açı olarak kabul edilmiştir. Binada yükseklik arttıkça kat alanında daralma yapılmıştır. Bu daralmanın oranı yapılan deneyler sonucunda %55 olarak belirlenmiştir (Zeljic, 2010).



Şekil 5.10 Shanghai Tower çift cidarlı giydirme cephe sistemi (Gu, 2015)



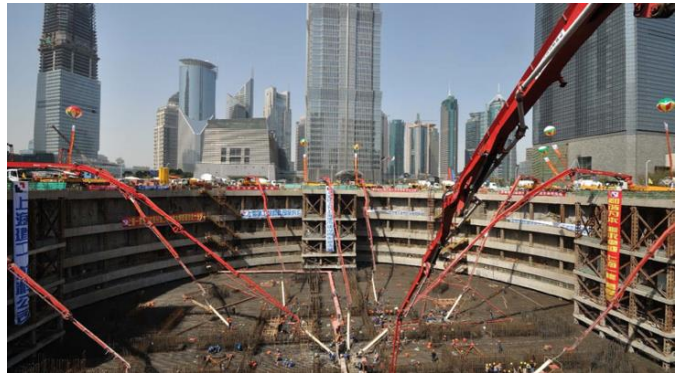
Şekil 5.11 Shanghai Tower iç strüktürü ile çift cidarlı cephe sistemi birleşimi (Lu ve diğer., 2017)



Şekil 5.12 Shanghai Tower cephesi için düşeyde daralma ve yatayda dönme oranları (Zeljic, 2010)

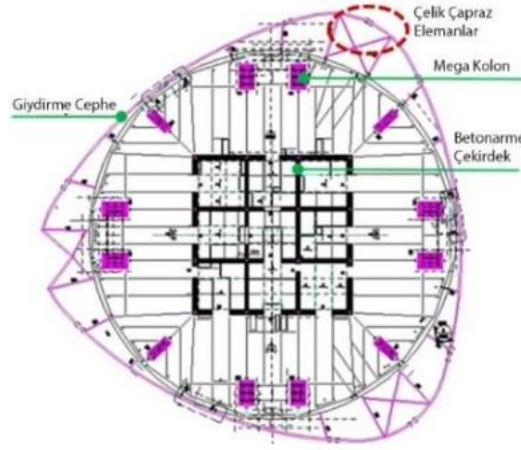
5.2.2.2 Shanghai Tower Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Yapının tasarımı önerisi 2008’de yapılmıştır. 2009’da inşaatı başlayan bina 2015 yılında tamamlanmıştır. Binanın yapılacağı alanın koşulları, temel yapımı için çok zorlu olmuştur. Dokuz katman kil ve kumdan oluşan zemin toprağında temel kaya, genel inşaat metotları ve amaçları doğrultusunda ulaşılabilir bir seviyede değildir. Binanın temeline, 947 adet 1 m çapında yerinde döküm BA kazıklar yerleştirilmiştir. 1000 t kapasiteye ve 52-56 m uzunluğa sahip kazıkların üzerine ise 6 m kalınlığında radye temel yapılmıştır (Zhu ve diğer., 2012). Binanın temel yapım aşamaları Şekil 5.13’de gösterilmiştir.



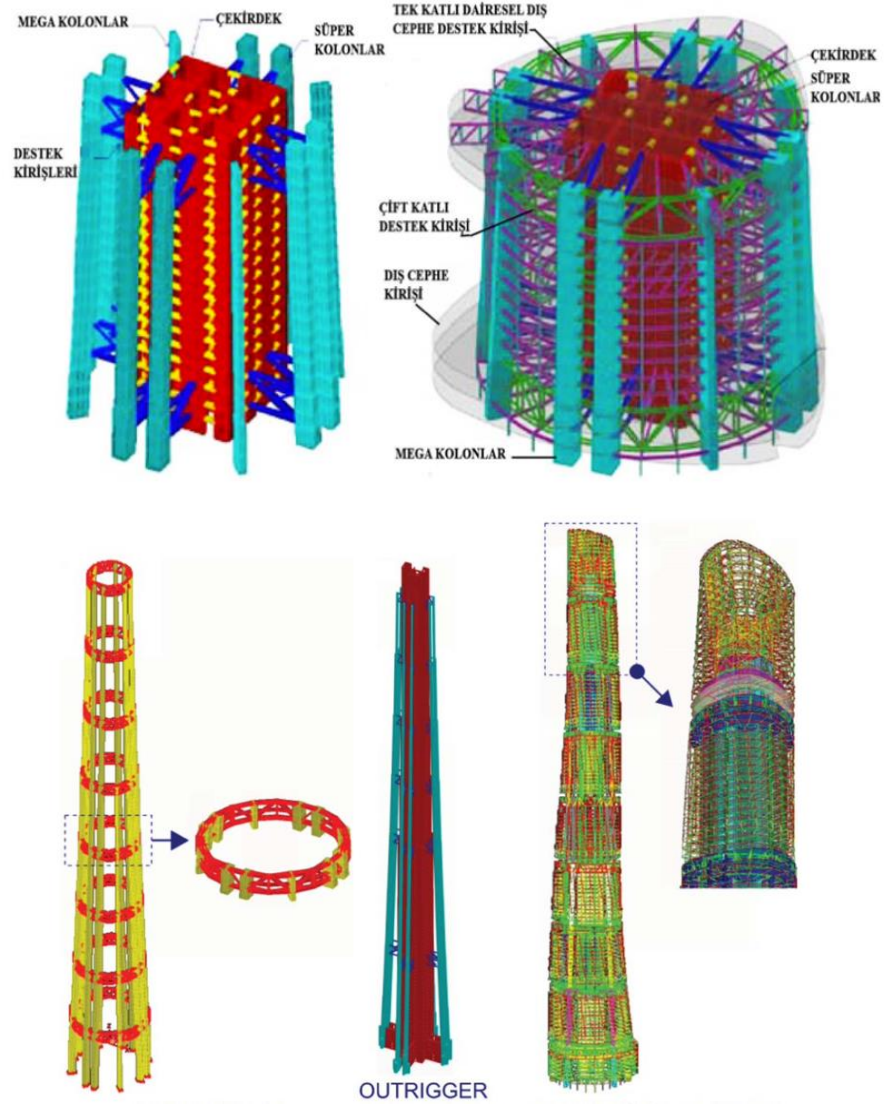
Şekil 5.13 Shanghai Tower temel yapım aşaması (Gensler Design Update, 2010; Williams ve diğer., b.t.)

Shanghai Tower taşıyıcı sistemini tasarlarken mühendisler binanın strüktürünü basitleştirmeye çalışmışlardır. Strüktürel sistemin kalbi olarak 30 m²'lik BA çekirdek oluşturulmuştur. Çekirdek dış destekli sistem ve süper kolonlarla birlikte dayanım göstermektedir. Dört çift süper kolon ortogonal aksların sonuna ikişer adet yerleştirilmiştir (Şekil 5.14). Bu ortogonal akslara yerleşen kolonlara ek olarak 45°'lik akslara da dört adet diyagonal süper kolon eklenmiş ve çift kolonlar arası mesafe azaltılmıştır. Çift kolonlar arası 50 m iken, diyagonal kolonlar eklenince çift kolonlar ile diyagonal kolon arası 25 m olmuştur (Xia ve diğer., 2010). Binanın taşıyıcı sistemi Şekil 5.15'de birleşim detayları ise Şekil 5.16'da gösterilmiştir.

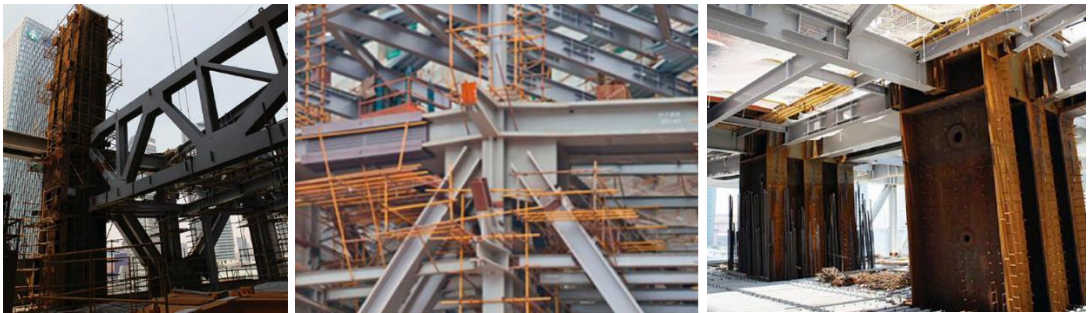


Şekil 5.14 Shanghai Tower kat planı (Lu ve diğer., 2017)

Çift cidarlı cephenin iç cephesinde bulunan silindirik kulenin yapım adımları düğün pastası yapımına benzetilmektedir. Kule bölümlerinin birleşim katları mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat katları olarak kullanılmaktadır. Binanın yatay ve düşey yüklere karşı dayanımı bu iç silindirik kule tarafından sağlanmaktadır. Binanın taşıyıcı sistemine ek olarak her bölümde süper kolonları birbirine bağlayan ve taşıyıcı sistem dayanımını arttıran, mega çerçeve sistem olarak adlandırılan çift kuşaklı mega kuşak makas kirişler tasarlanmıştır. Bu mega çerçeveler mega rijit katların oluşmasını ve binanın yatay yüklere karşı dayanımının artmasını sağlar. Sistemde çekirdek BA, dış destek ve kuşak makas kirişler çelik, süper kolonlar BA içinde çelik malzemeden oluşmaktadır. Rüzgar testleri ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapılan tasarım ile binanın taşıyıcı sistem yükü %24 azaltılmış, her %5 azaltma bina maliyetinde 12 milyon dolar kâr sağlamıştır (Xia ve diğer., 2010).



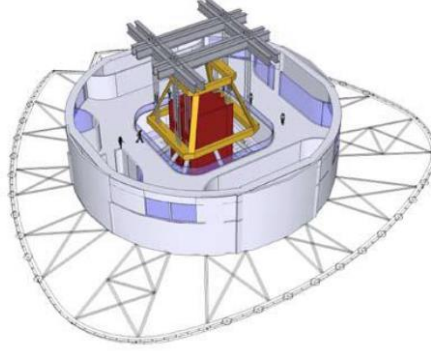
Şekil 5.15 Shanghai Tower taşıyıcı sistemi (Xia ve diğer., 2010)



Şekil 5.16 Shanghai Tower birleşim detayları (Atasoy, 2014)

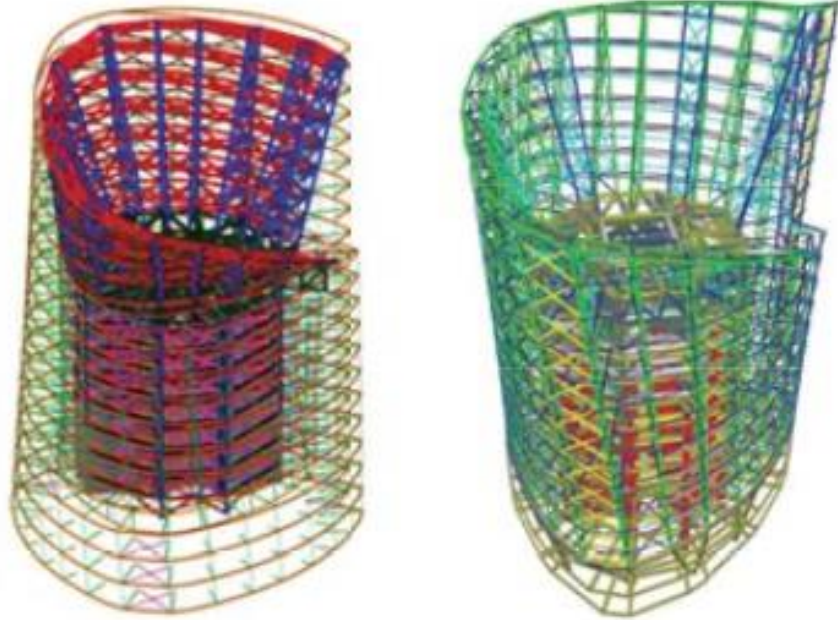
Shanghai Tower tasarımı en önemli etken şiddetli tropik fırtına olarak belirtilen tayfunlardır. Gensler firmasının tasarım ekibi bu tayfunlara karşı etkili tasarım

yapabilmek için mühendislik firması Thornton Tomasetti ile birlikte çalışmıştır. Binanın en üst katında Şekil 5.17’de gösterilen 1000 t ağırlığında kütle sönümleyici tasarlanmıştır. Bu kütle sönümleyici yatay yüklerin bina üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla binanın en üst katına yerleştirilmiştir.



Şekil 5.17 Shanghai Tower kütle sönümleyici (Gensler Design Update, 2010)

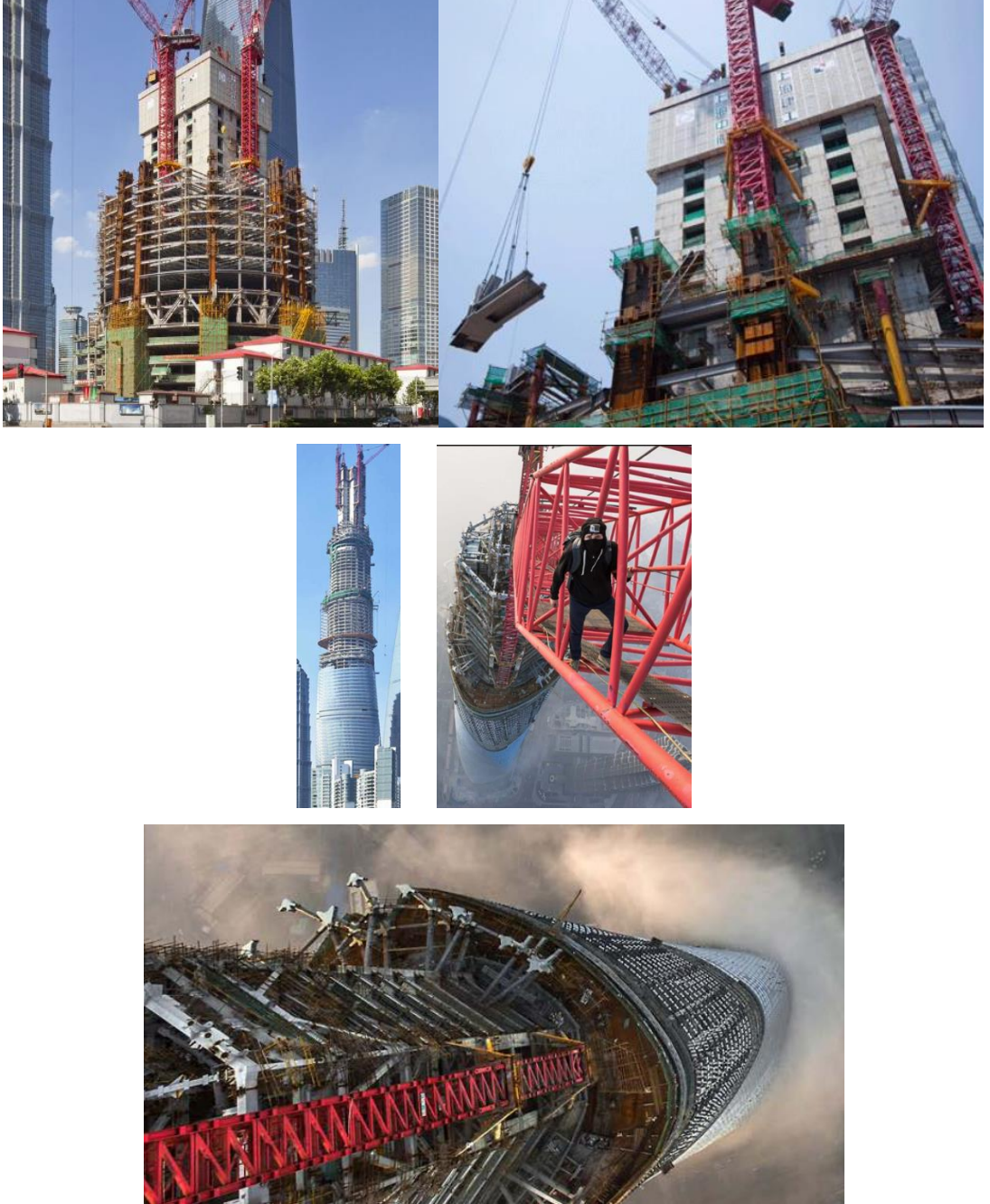
Binanın taç olarak adlandırılan son bölümü tasarımında da çeşitli analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda Şekil 5.18’de gösterilen tasarımın taşıyıcı sistem dayanımının daha etkin olduğuna karar verilmiş ve taç tasarımı değiştirilmiştir.



Şekil 5.18 Shanghai Tower taç tasarımı (Zhu ve diğer., 2012)

Binada kalıp sistemi olarak Şekil 5.19’da gösterilen hidrolik tırmanır kalıp sistemi kullanılmıştır. Bu sistem merkezde bulunan BA çekirdeğin yapımında kullanılmıştır.

Binanın kolonları ise vinçle tırmanır kalıp sistemi yardımıyla yapılmıştır. Dış cephede platformlar ve koruyucular güvenlik amacıyla kullanılmıştır (Gensler, 2010).



Şekil 5.19 Shanghai Tower kalıp sistemi (Gensler, 2010; Williams ve diğer., b.t.)

5.2.3 Makkah Royal Clock Tower

Mekke Kraliyet Saat kulesi, Suudi Arabistan ülkesinin Mekke şehrinde Kabe'nin yanında yapılmış yedi adet binadan oluşan kompleksin ortasında bulunan en yüksek binadır. Bu bina kompleksi, Kabe'ye ibadet etmeye gelen kişilere konaklama imkanı sağlamak amacıyla inşa edilmiştir. Kompleks, ortada 601 m yüksekliğe sahip kuleden ve kulenin iki yanına inşa edilmiş üçer adet binadan oluşmaktadır. Kulenin yanına inşa edilen altı adet binanın yükseklikleri 220 m ile 279 m arasında değişmektedir. Kompleksin mimari ve strüktürel tasarımını Dar al-Handasah Shair & Partners firması yapmıştır. 2002'de inşaatına başlanan bina 2012 yılında tamamlanmıştır. Binanın bilgileri Tablo 5.3'te belirtilmiştir.

5.2.3.1 Makkah Royal Clock Tower Mimari Özellikler

Kompleks Kral Abdul Aziz Vakfı projesinin bir bölümü olarak gerçekleştirilmiştir. Projenin amacı hac ibadetini yapmaya gelen kişilere rahat konaklama imkanı sunmaktır. Kompleks Saudi Bin Iaden Grup tarafından en az 25 yıllığına yap işlet anlaşması üzerine üç milyar dolara mal olmuştur. Kompleksin zemininde beş katlı alışveriş merkezi ve yeme içme alanları bulunmaktadır. Üst katlarda ise lüks otel ve apartman kuleleri vardır. Bu kulelerde hastane, ibadet odaları, otopark ve helikopter pisti gibi imkanlar da bulunmaktadır. Kompleks için zaman içinde farklı tasarımlar önerilmiştir. Şekil 5.20'de gösterilen bu farklı tasarımların en son hali uygulanmıştır (Uddin, 2015).



Şekil 5.20 Makkah Royal Clock Tower tasarım aşamaları (Uddin, 2015)

Ortada bulunan Kraliyet Saat Kulesi'nin Arapça karşılığı Abraj Al Bait'tir. 601 m yüksekliğindeki binanın ilk 450 m'lik kısmı Dar al-Handasah Shair & Partners firması tarafından tasarlanmıştır. Binanın 450 m'den 601 m'ye kadar olan ikinci kısmı ise Alman Mimar Mahmoud Bodo Rash ve firması Rash GmbH tarafından tasarlanmıştır (Musa ve diğer., 2020).

Tablo 5.3 Makkah Royal Clock Tower bilgileri

 (Uddin, 2015)  (Uddin, 2015)	Bina İsmi	Makkah Royal Clock Tower/ King Abdul Aziz Endowment
	Ülke/Şehir	Mekke/ Suudi Arabistan
	H_N (m)	601
	N	120
	Fonksiyonu	Otel
	Plan Formu	Dikdörtgen
	Taşıyıcı Sistem:	Zeminden belirli kata kadar BA, üzeri BA ve çelik, son kısım çelik
	Yapım zamanlaması	Tasarı öneri: 2002
		İnşaat başlangıç: 2002
		İnşaat bitiş: 2012
	Mimari Tasarım	Dar al-Handasah Shair & Partners
	Strüktürel Tasarım	Dar al-Handasah Shair & Partners

Binada bulunan saat, dünyanın en geniş ve en yüksek saati rekorunu taşımaktadır. Saat geceleri bir milyon adet led ışık aracılığıyla yeşil ve beyaz renklerde aydınlatılmaktadır. Kulenin tepe noktasında ay gözlem merkezi ve evrenbilim müzesi bulunmaktadır. İslam dininde hicri takvim kullanılır. Hicri takvim ayın dünya

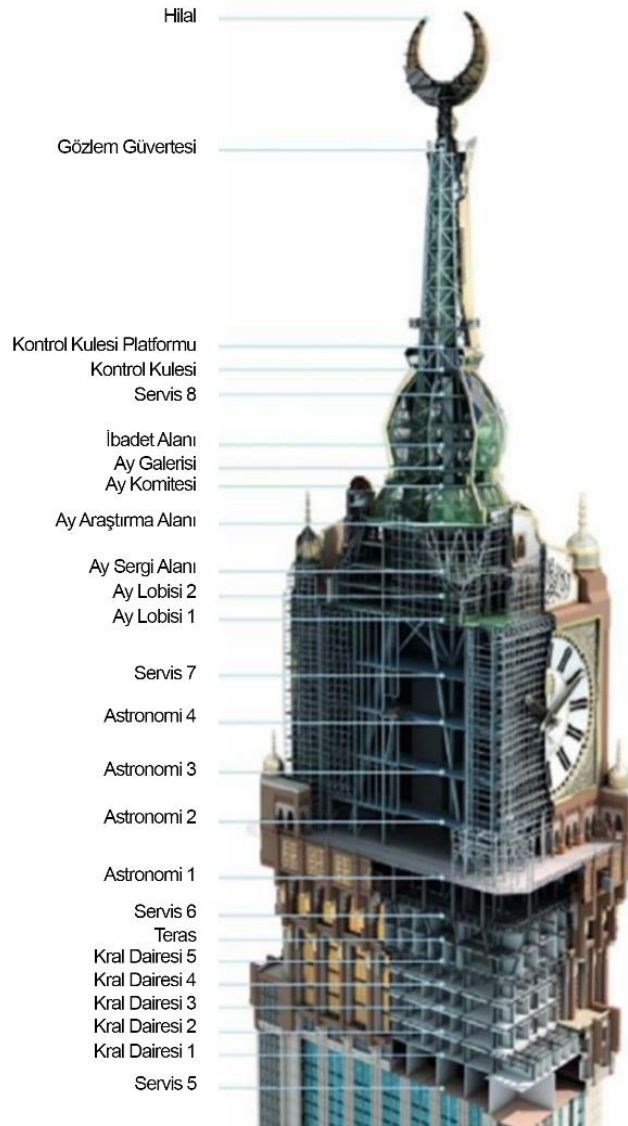
etrafındaki dolanımını esas alan bir takvimdir. Kulede ay gözlem merkezi yapılması, İslam'da ayın gözleminin önemini vurgulamak amacıyla yapılmıştır. Kulenin dört yönüne yerleştirilen saat, Kral Abdullah bin Abdul-Aziz'in vizyonu doğrultusunda tasarlanmıştır. Vizyonu, Mekke saatini evrensel bir saat dilimine dönüştürmektir. Bu doğrultuda 43 m çapında ve yerden 450 m yüksekliğe yapılan, 17 m uzunlukta karbon fiber malzeme ile yapılmış akrebe ve 22 m uzunlukta aynı malzeme ile yapılmış yelkovana sahip saat dünyanın en geniş ve en yüksek saati unvanını almıştır (Uddin, 2015). Binanın üst bölümünün mimari fonksiyonları Şekil 5.22'de gösterilmiştir.

5.2.3.2 Makkah Royal Clock Tower Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Mekke Kraliyet Saat Kulesi'nin taşıyıcı sistemi belirli bir yüksekliğe kadar BA malzemesi ile yapılmıştır. Üzerine yapılacak saat ve tepe noktasına konulacak hilal için, bina ağırlığını hafifletmek amacıyla farklı malzemeler kullanılması gerekmektedir. BA ile yapılan kısmın üzerine çelik ve betonarmeden oluşan kompozit bir strüktür yapılmıştır ve bu bölümün devamı çelik strüktür ile devam etmiş ve bina tamamlanmıştır (Şekil 5.21). Dış cephesinde dört adet saat bulunan bu strüktürün bulunduğu bölgede gece gündüz sıcaklık farkı 70 dereceye kadar çıkmaktadır. Dış cephe, sıcaklıktan ve UV ışınlarından etkilenmemesi amacıyla özel yapım cam kaplama ile kaplanmıştır. Binanın üst kısmı hilal ile bitirilmiştir. Altın mozaik ile yapılmış hilal 35 t ağırlığındadır (Uddin, 2015).



Şekil 5.21 Makkah Royal Clock Tower çelik konstrüksiyon (Anne ve diğer., b.t.)



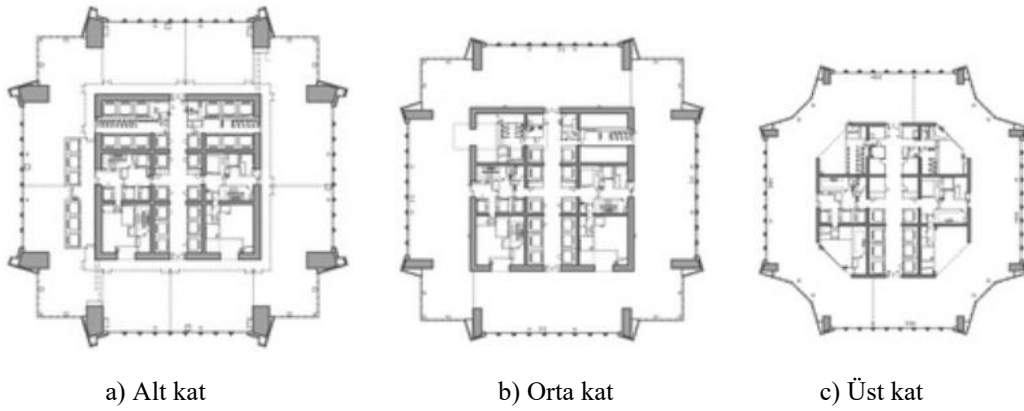
Şekil 5.22 Makkah Royal Clock Tower üst bölüm fonksiyonları (Uddin, 2015)

5.2.4 Ping an Finance Center

Ping An Finance Center, 599,1 m yüksekliği ve 115 kat adeti ile dünyanın en yüksek dördüncü binasıdır. Çin'in Şenzen ilinde inşa edilen binanın mimari tasarımını Kohn Pedersen Fox Associates firması, strüktürel tasarımını ise Shanghai Tower'ın strüktürel tasarımcısı Thornton Tomasetti yapmıştır. Mimari kullanım amacı ofis olan binanın tasarımı önerisi 2008'de yapılmış, 2010'da başlanan inşaatı 2017'de tamamlanmıştır. Projenin tasarımı 2010 yılında değişmiş ve yeniden tasarlanmıştır (CTBUH, 2020).

5.2.4.1 Ping an Finance Center Mimari Özellikler

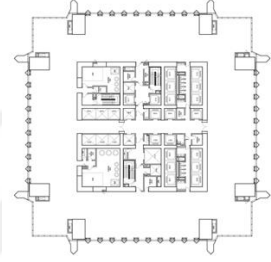
Plan tasarımındaki genel kural minimum işlevsiz alan oluşturmak olarak belirlenmiş ve çekirdekten cepheye kadar olan kullanım alanı derinliği 12 m yapılarak alt katlarda %70'in üzerinde verimlilik elde edilmiştir (Malott, 2012). Alt katlar, orta katlar ve üst katların plan şemaları Şekil 5.23'te belirtilmiştir. Binanın Şekil 5.24'te gösterilen kesitinde gösterildiği gibi bina ofis amaçlı kullanılmaktadır ve binanın son bölgesinde bir gözlem alanı oluşturulmuştur.

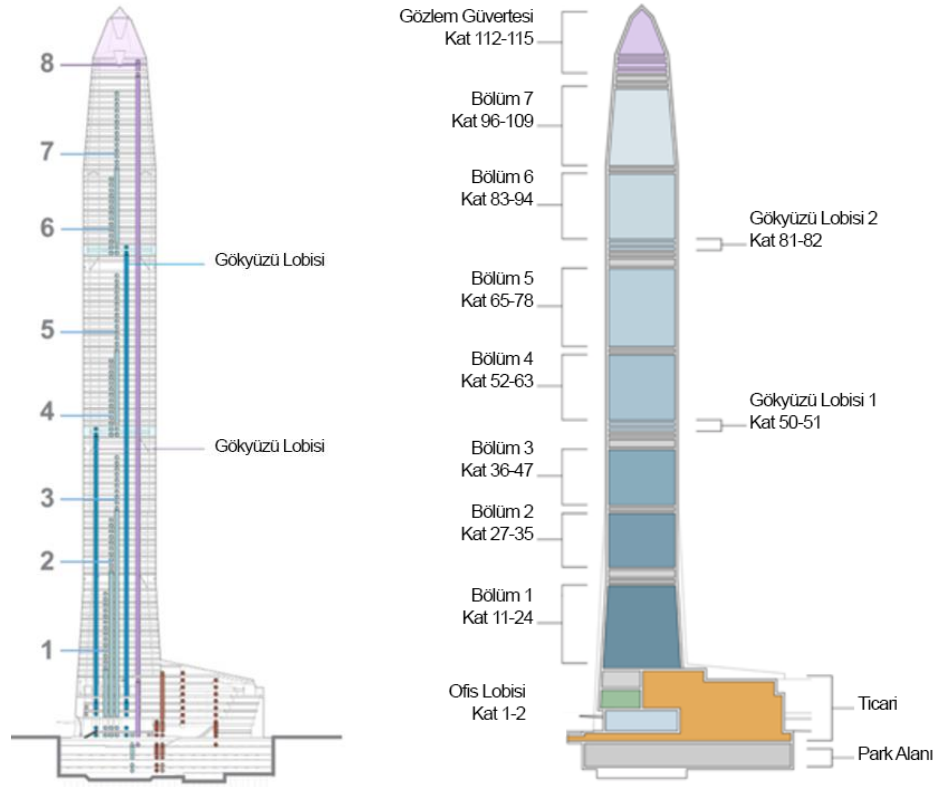


Şekil 5.23 Ping an Finance Center plan şemaları (Gonzales, 2018)

18932 m² araziye yapılan binanın toplam inşaat alanı 460000 m²'dir. KPF ve Thornton Tomasetti, Ping An Life Insurance Company şirketinin isteği üzerine formu ve strüktürü uzun süre dayanıklılığı ve güvenliği simgeleyecek bir bina tasarlamıştır. Çince'de "ping" kelimesi huzur ve güvenlik anlamına gelmektedir ve bu simgeler şirketin çalışma alanı ve başlığı ile de ilişkilidir. Kare planlı binanın formu belirli bir kattan sonra noktasal bir kule ucu olarak sonlanmıştır. Cam giydirme cephe, binanın formunu belirlemiş ve saydam köşeler, binanın kolon ve çaprazlardan oluşan dış çerper taşıyıcı sistemi ile taşınmıştır. Kule ucunda kubbe şeklinde bir avlu tasarlanmış ve bu kubbe bina bitiminde noktasal olarak sonlanmıştır. Kubbe ile kule tepesi için bir tasarım önerisi sunulmuştur (Malott ve diğer., 2012). Öneri tasarımı Şekil 5.25a'da gösterilmiş, yapılmış olan kule tepesi şekil 5.25b'de belirtilmiştir.

Tablo 5.4 Ping an Finance Center bilgileri

 (KPF, 2020)  (KPF, 2020)  (KPF, 2020)	Bina İsmi	Ping An Finance Center/ Ping An International Finance Center Tower 1
	Ülke/Şehir	Çin/ Şenzen
	H_N (m)	599,1
	N	115
	Fonksiyon	Ofis
	Plan Formu: Kare	
	Taşıyıcı Sistem	İç Çerper: BA Çekirdek
		Dış Çeper: Dış Çeper: BA içinde çelik mega kolonlar, Belirli katlarda dıştan destekli sistem ve mega rijit kuşak kafes sistem.
		Döşeme: Çelik
	Temel Sistemi	Mega kazık üzeri radye temel
	Kalıp Sistemi	Tırmanır kalıp
	Cephe Sistemi	Giydirme panel cephe
Yapım zamanlaması	Tasarı öneri: 2008	
	İnşaat başlangıç: 2010	
	İnşaat bitiş: 2017	
Mimari Tasarım	Kohn Pedersen Fox Associates	
Strüktürel Tasarım	Thornton Tomasetti	



Şekil 5.24 Ping an Finance Center kesit şemaları (Gonzales, 2018)



a) Kule tepesi önerisi (Malott, 2012)

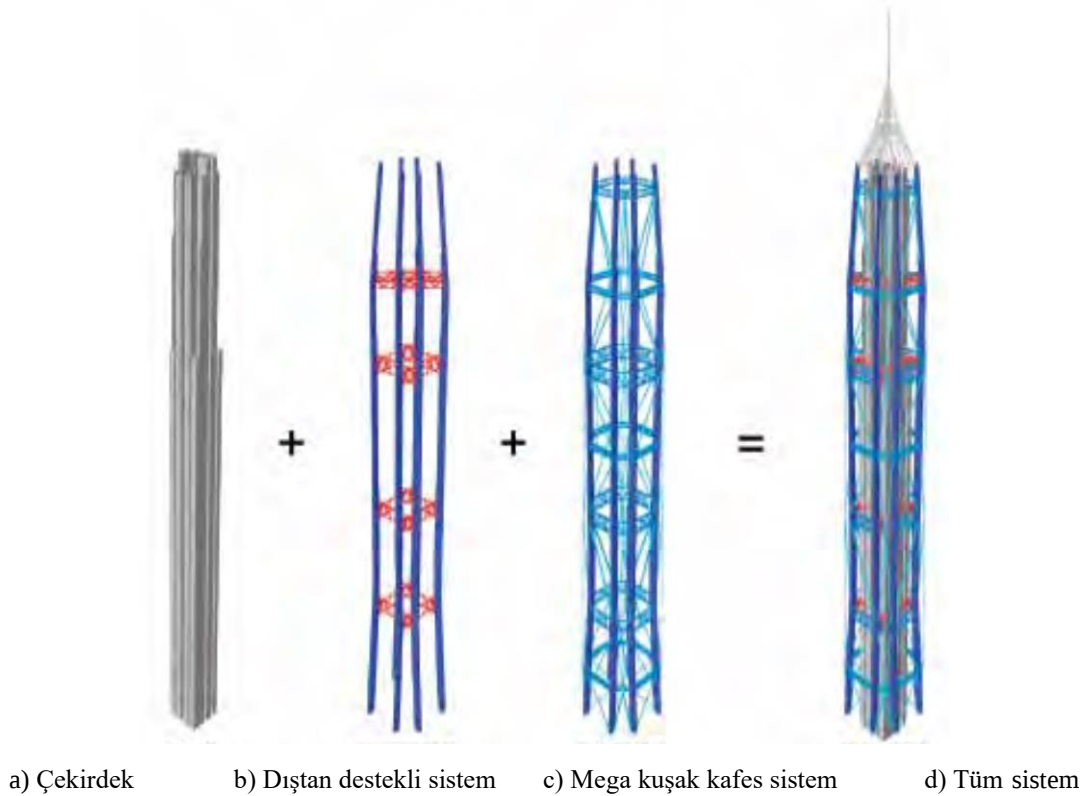


b) Yapılan kule tepesi (KPF, 2020)

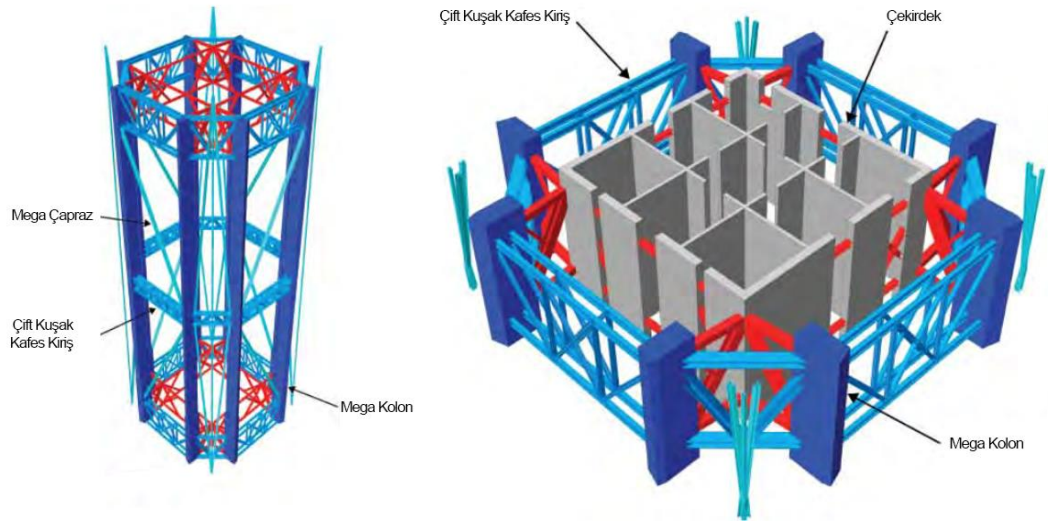
Şekil 5.25 Ping an Finance Center Kule tepesi tasarımları

5.2.4.2 Ping an Finance Center Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Binanın taşıyıcı sistemi tasarlanırken materyal kullanımı, maliyet ve sürdürülebilirlik en önemli etmenler olmuştur. Son olarak taşıyıcı sistem iç çeperde kompozit BA çekirdek (Şekil 5.26a), çelik döşemeler ve süper kolonlardan oluşturulmuştur. Bu taşıyıcı sistem elemanlarına ek olarak dört adet iki kat yüksekliğinde dıştan destekli sistem (Şekil 5.26b) binanın 25., 48., 79. ve 95. katlarında uygulanmıştır. Dış desteklere ek olarak belirli katlarda mega kuşak kafesler konumlandırılmıştır (Şekil 5.26c). Mega kuşak kafesler yedi adet çift makaslardan oluşmaktadır ve her mekanik katta süper kolonlara bağlanmaktadır (Şekil 5.27). Bu sistem süper yüksek binalarda günümüzde yaygın kullanılan bir sistemdir. Ancak karakteristik köşe geri çekilmeler binanın eşsiz bir tasarımının olmasını ve sistemin rijitliğini artırmıştır. Sonuç olarak bu sistem ile binanın dıştan destek ve kuşak kafes sisteminde çelik malzeme kullanımı azaltılmış ve çekirdek ve kolonlara bağlantıları sadeleştirilmiştir. Kat döşeme sisteminde ise metal kirişler üzerine 125 mm kalınlığında beton ile yapılan geleneksel kompozit çelik döşeme sistemi kullanılmıştır (Malott ve diğer., 2012).



Şekil 5.26 Ping an Finance Center strüktürel sistem elemanları ve birleşimi (Malott, 2012)



Şekil 5.27 Ping an Finance Center mega kuşak kafes detayları (Malott, 2012)

Binanın tasarımını belirleyen diğer faktörler rüzgar yükü, ısı değişimi ve bina hareketidir. Giydirme cephe tasarımı birimlere ayrılmış ve bu faktörler doğrultusunda binaya adapte edilmiştir. Cephenin düşey taşıyıcılarından bazıları zeminden 123,8 m yüksekliğe kadar taş duvarlarla tamamlanmış, bazı düşey taşıyıcılar ise 1700 t ağırlığında, 1,5 mm kalınlığında paslanmaz çelik malzeme ile kaplanmıştır. Bu işlemler ile binada istenmeyen yansımalar, ışık kirliliği sınırlandırılmış ve elemanların yağmur ile temizlenebilmesi sağlanmıştır. Cephe panellerinin %85'i geri dönüştürülmüş malzemelerden yapılmıştır ve bu malzemeler yeniden geri dönüştürülebilmektedir. Taş malzeme ile kaplanan paslanmaz çelik paneller binaya eşsiz tasarım katmasının yanı sıra dış cephe gölgeleyici elemanlar olarak da kullanılmaktadır. Tüm dış cephe performansı, yerel kurallarda belirtilenlerden %20 daha iyi bir sonuç vermiştir (Tsang, 2014). Formu belirleyen bir diğer etmen rüzgar tüneli deneyleridir. Binanın rüzgar yüküne karşı dayanımı için Şekil 5.28'de gösterilen rüzgar tüneli deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler sonucunda binadaki geri çekilmeler düzenlenmiştir. Binanın yapım aşamalarının görselleri Şekil 5.29'da verilmiştir.



Şekil 5.28 Ping an Finance Center rüzgar tüneli deneyi (Malott ve diğer., 2012)



Şekil 5.29 Ping an Finance Center yapım aşamaları (Tsang, 2014)

5.2.5 Lotte World Tower

Lotte World Tower 554,5 m yüksekliği ile dünyanın yapımı tamamlanmış en yüksek 5. binasıdır. Güney Kore'nin Seul şehrinde inşa edilen 123 katlı binanın mimari tasarımcısı Ping An Finance Center binasını da tasarlayan Kohn Pedersen Fox Associates firmasıdır. Strüktürel tasarımını ise Leslie E. Robertson Associates firması yapmıştır. 2011'de inşaatına başlanan bina 2017 yılında tamamlanmıştır. Otel, konut, ofis ve ticari mimari kullanım alanlarına sahiptir (CTBUH, 2020).

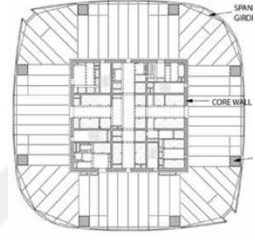
5.2.5.1 Lotte World Tower Mimari Özellikler

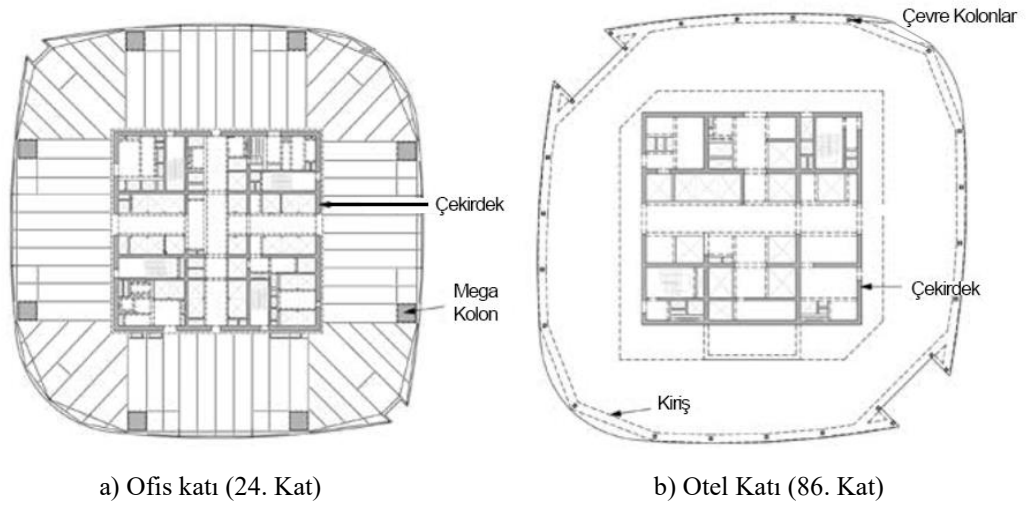
Lotte World Tower, 2. Lotte World Amusement Complex olarak adlandırılan kompleksin içinde bulunan bir kuledir. Bina kompleksinin bulunduğu arazinin alanı 87182,8 m²'dir ve bina kompleksinin inşaat taban alanı 820998 m²'dir. Kompleks yüksek bir binadan ve az katlı birden çok binadan oluşmaktadır. Bu komplekste otel, alışveriş mağazaları, ofisler, konutlar, kültür merkezleri ve konferans salonları bulunmaktadır (Kim ve diğer., 2015).

Lotte World Tower, kompleksin içinde bulunan en yüksek binadır. 330000 m² taban alanına, zemin üstünde 123 kata, zemin altında 6 kata sahiptir. 2-86 katlar arası alışveriş mağazaları, ofisler ve konutlardan oluşmaktadır. 86. kattan sonra bina otel fonksiyonu için tasarlanmıştır (Kim ve diğer., 2015). Binanın 24. ve 86. kat planları Şekil 5.30'da gösterilmektedir.

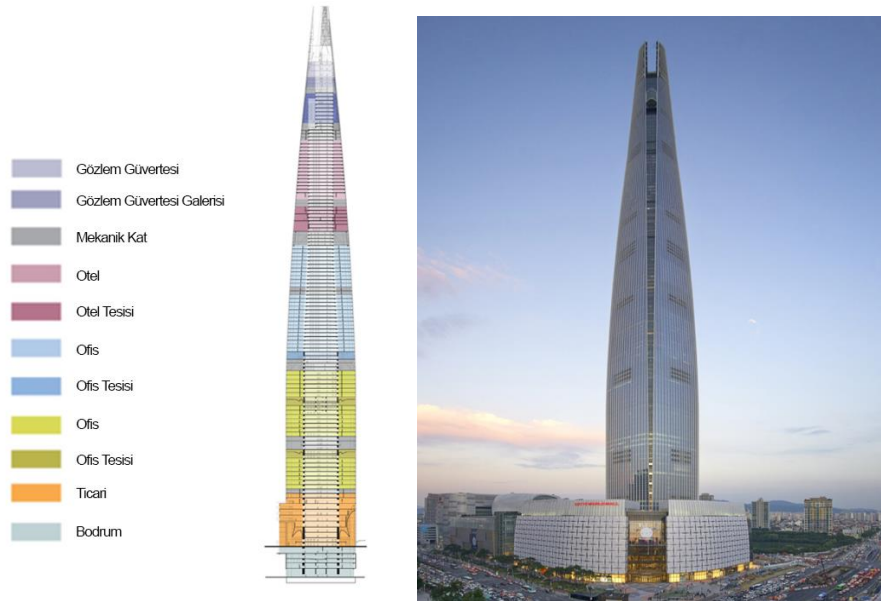
Formun zarifliği binanın tasarımında öncelikli hedeflerden biridir ve form ülkenin başkentinde güzel bir anıt silueti sunmaktadır. Bina konik şeklindeki formuyla şehrin kayalık ve dağlık topografyasında ayakta durmaktadır. Birçok farklı fonksiyona sahip binanın kesit ve görünüşü Şekil 5.31'de gösterilmektedir. Binanın formu tarihi Kore sanatlarından seramik, porselen ve kaligrafiden esinlenilerek tasarlanmıştır. Binanın form boyunca devam eden eğriselliği ve narin konik formu Kore sanatkarlığını yansıtmaktadır. LEED Gold sertifikalı bina sürdürülebilir tasarım stratejileri ve çevresel sorumluluk bilinci ile tasarlanmıştır (KPF, 2020).

Tablo 5.5 Lotte World Tower bilgileri

 (KPF, 2020)  (KPF, 2020)  (KPF, 2020)	Bina İsmi	Lotte Worl Tower/ Lotte Jamsil Super Tower/ Lotte World Premium Tower
	Ülke/Şehir	Güney Kore/ Seul
	H_N (m)	554,5
	N	123
	Fonksiyon	Otel/ Konut/ Ofis/ Ticari
	Plan Formu: Kare	
	Taşıyıcı Sistem	İç Çerper: BA çekirdek
		Dış Çeper: BA içinde çelik mega kolonlar, Belirli katlarda dıştan destekli sistem ve mega rijit kuşak kafes sistem.
		Döşeme: Çelik
	Temel Sistemi	Mega kazık üzeri radye temel
	Kalıp Sistemi	Tırmanır kalıp
	Cephe Sistemi	Giydirme panel cephe
	Yapım zamanlaması	İnşaat başkangıç: 2011
		İnşaat bitiş: 2017
	Mimari Tasarım	Kohn Pedersen Fox Associates
	Strüktürel Tasarım	Leslie E. Robertson Associates



Şekil 5.30 Lotte World Tower kat planları (Kim ve diğer., 2015)

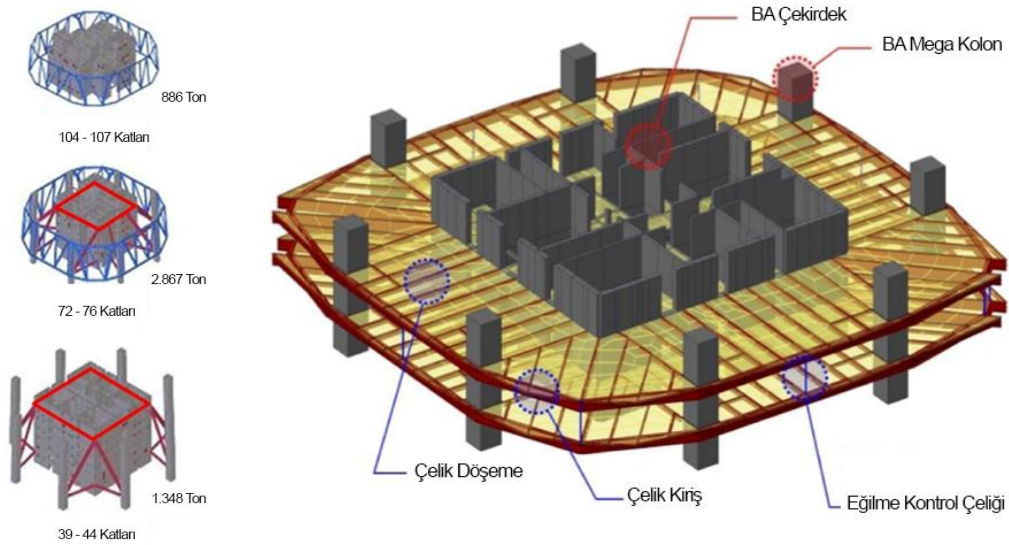


Şekil 5.31 Lotte World Tower kesit ve görünüş (KPF, 2020)

5.2.5.2 Lotte World Tower Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Zemin katı ve zemin altında bulunan katlar BA malzeme ile yapılmıştır. Zemin üstü strüktürü BA çekirdek, çift setlerden oluşan dıştan destekli çelik sistem, sekiz adet BA mega kolonlar ve çift setlerden oluşan çelik kuşak kafeslerden oluşturulmuştur (Şekil 5.32). BA çekirdek ve mega kolonlar 40-80 MPa, BA döşeme kirişler 30 MPa, BA temel ise 50 MPa basınç dayanımlı beton malzemeden yapılmıştır. Çoğu çelik malzemenin akma dayanımı 235-440 MPa arasında değişkenlik göstermektedir.

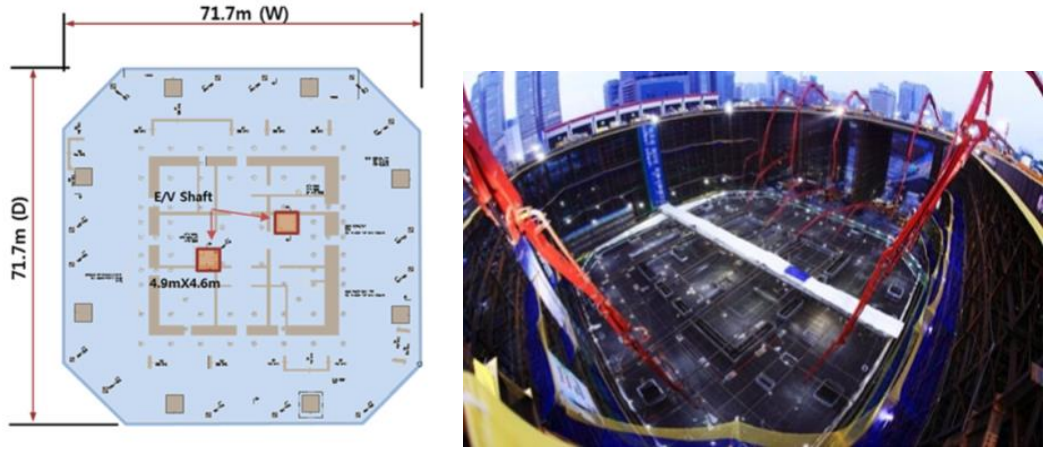
Yüksek dayanımlı çeliklerin akma dayanımı ise 650 MPa'dır ve bu çelikler kuşak kafeslerde, otel kısmında kullanılan çelik kolonlarda ve dıştan destekli sistemlerin bazı elemanlarında kullanılmıştır. Ofis ve konut katlarının yüksekliği 4,5-3,9 m arasında değişmektedir. Bu katlarda kullanılan döşemenin kalınlığı 130-150 mm arasındadır ve döşemenin çelik kirişleri 600 mm ile 480 mm arasında derinliğe sahiptir. Mega kolonlar zemin kotunun altı kat altında $3,5 \times 3,5$ m ölçüye sahiptir ve zemin üstünde 66. katta ise 2×2 m ölçüdedir. Çekirdeğin çevresinde bulunan perde duvarların kalınlığı 600-2000 mm arasında değişkenlik gösterirken çekirdeğin merkezinde bulunan perde duvarlar 300-500 mm arasında kalınlığa sahiptir. Binanın yatay yüklere dayanımı BA çekirdek, dıştan destekli sistem, kuşak kafesler ve mega kolonlar ile sağlanmaktadır. Dıştan destekli sistem 39-44 ve 72-76 katlarında tasarlanmıştır. Kuşak kafesler ise 72-76 ve 104-107 katlarında inşa edilmiştir. Bina tepesinde diagrid sistemli bir strüktür kullanılmış ve bu sistem ile bina sonlanmıştır (Kim ve diğer., 2015).



Şekil 5.32 Lotte World Tower taşıyıcı sistemi (Kim ve Lee, 2016)

Binanın mega radye temeli toprağa 750000 t düşey yük iletmektedir. Kazıklar üzerine yapılan radye plağı $71,7 \times 71,7$ m uzunluk ve genişliğe, 6,5 m kalınlığa sahip plak toplamda 31203 m^3 hacme sahiptir. Tek seferde dökümü yapılan bu plak için yapılan simülasyonlarda 5300 mikser kamyonuna ihtiyaç duyulmuş ve dökümün

tamamlanması 30 saat sürmüştür (Kim ve Lee, 2016). Bina zemin etüdü çalışmaları sonucunda zeminin yumuşak ve sert kayalardan oluştuğu görülmüştür. Zemin 3000 KPa dayanıma sahiptir ve bu binanın ağırlığını taşıtmak için yeterlidir. Ancak arazinin bulunduğu bölge fay zonu ve makaslama zonunda bulunmaktadır. Bu nedenle zemini güçlendirmek için 1 m çapında kazıklar yerleştirilmiştir (Kim ve diğer., 2015). Binanın temel yapım aşamaları Şekil 5.33’de gösterilmiştir.



Şekil 5.33 Lotte World Tower temel planı ve yapımı (Kim ve Lee, 2016)

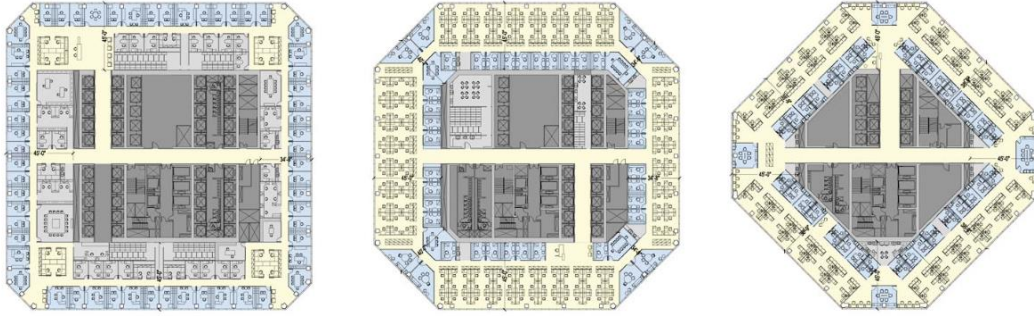
5.2.6 One World Trade Center

Amerika’nın New York şehrinde inşa edilen One World Trade Center dünyanın yapımı tamamlanmış en yüksek 6. binasıdır. 541,3 m yüksekliğe, 94 kata sahip olan binanın mimari tasarımını, dünyanın tamamlanmış en yüksek binası olan Burj Khalifa’nın mimari ve strüktürel tasarımını yapan Skidmore, Owings & Merrill firması yapmıştır. Binanın strüktürel tasarımını ise WSP Group firması tasarlamıştır. Tasarı önerisi 2005’te yapılan binanın inşaatı 2006’da başlamış 2014 yılında tamamlanmıştır (CTBUH, 2020).

5.2.6.1 One World Trade Center Mimari Özellikler

One World Trade Center, New York silüetini yakalamak ve Manhattan’ın üstünlüğünü yeniden ortaya koymak amacıyla tasarlanmış bina, ülke için yeni bir şehir simgesi olmuştur. Binanın sade ve net formu her zaman yeni ve zamansız bir tasarıma

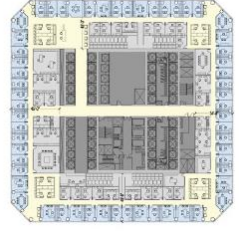
sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Amerika'nın yüksek bina inşaatlarındaki tasarım çözümlemeleri, mimarlığın, strüktürün, kentsel tasarımın, güvenliğin ve sürdürülebilirliğin yaratıcı bir karışımı olarak yapılmaktadır. One World Trade Center binası şehrin ikonik binaları olan Chrysler Building ve Empire State binalarının narin ve sivrilen üçgen formlarını çağrıştırmaktadır. Kübik taban alanına sahip binanın yüksekliği arttıkça köşeleri yivlenir ve sekiz adet ikizkenar üçgenden oluşan cephe tasarımı ile sonuçlanır. Bina, orta katında sekizgen bir plana sahip olur ve üst kat planı, orta kat planının 45° döndürülmüş versiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 5.34). Binanın kristal formu kırılan ışığın gelişen görüntüsünü yakalayan bir etki yaratmaktadır. Güneş veya insanlar binanın etrafında ilerlerken cephe bir kadeydoskop görünümüne sahiptir ve görüntü gün boyunca ışık ve hava koşulları değişimi ile farklılaşmaktadır (SOM, 2020).



Şekil 5.34 One World Trade Center kat planları (Lewis ve Holt, 2011)

Bina arazisi, yıkılan World Trade Center ikiz binalarının bulunduğu arazidir ve bina bu anıt arazinin kuzey batı köşesinde inşa edilmiştir. Binanın zemin kat planı 61×61 m ölçüye sahiptir. Bina 32980 m² toplam kat alanına, 241550 m² ofis fonksiyonuna sahiptir ve 417 m yükseklikte bir gözlem alanı bulunmaktadır. Binanın tepesinde iki kat yüksekliğinde yüzük şeklinde bir alan bulunmaktadır ve bu alanın üzerinde yüksek bir anten bulunmaktadır (Şekil 5.35). Bu alan yayın yapılmasını sağlayan servisler için tasarlanmıştır (Lewis ve Holt, 2011).

Tablo 5.6 One World Trade Center bilgileri

 (SOM, 2020)  (SOM, 2020)	Bina İsmi	One World Trade Center / Freedom Tower
	Ülke/Şehir	New York / USA
	H_N (m)	541,3
	N	94
	Fonksiyon	Ofis
	Plan Formu: Kare	
	Taşıyıcı Sistem	İç Çerper: BA çekirdek
		Dış Çeper: Çelik kolon
		Döşeme: Çelik
	Temel Sistemi	Radye temel
	Kalıp Sistemi	Tırmanır kalıp
	Cephe Sistemi	Giydirme panel cephe
	Yapım zamanlaması	Tasarı Öneri: 2005
		İnşaat Başlangıç: 2006
		İnşaat Bitiş: 2014
	Mimari Tasarım	Skidmore, Owings & Merrill LLP
	Strüktürel Tasarım	WSP Group



Şekil 5.35 One World Trade Center anten tasarımı (Lewis ve Holt, 2011; Arcdaily, 2016)

5.2.6.2 One World Trade Center Taşıyıcı Sistem Özellikleri

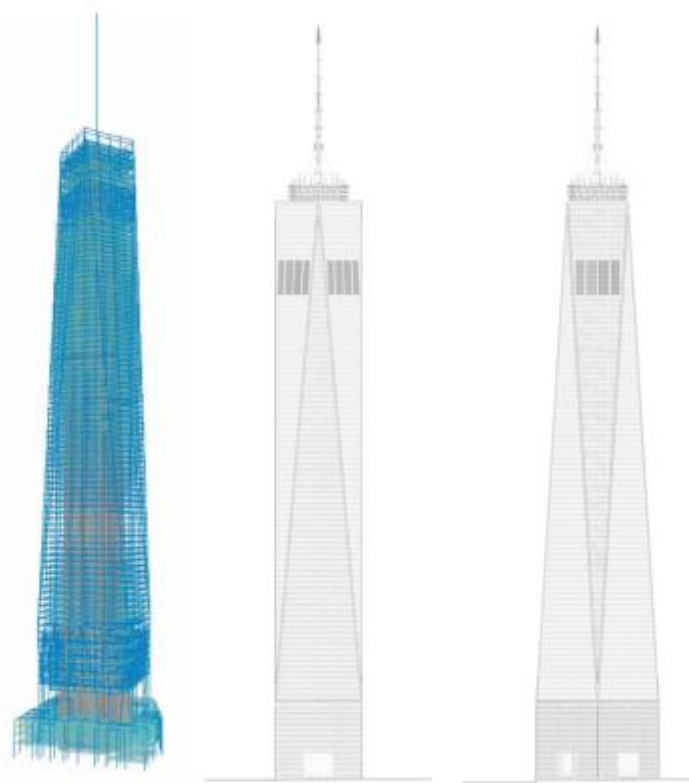
Binanın yapımında 5660 m^3 beton, 40800 t strüktürel çelik, dış cephede 92920 m^2 cam kullanılmıştır. Binada, kullanılan yüksek dayanımlı BA çekirdek ve strüktürel çelik malzeme ile oluşturulmuş çerçeve sistemden oluşan hibrit sistem ile etkin bir taşıyıcı sistem elde edilmiştir. Buna ek olarak yükseklik arttıkça köşeleri yivlenmiş form aerodinamik ve strüktürel açıdan etkin bir şekil oluşturmuştur. Form tasarımı ve taşıyıcı sistem çeşidi, yüksek binalarda en etkili yatay yük olan rüzgar yüküne karşı da etkin bir tasarım olmuştur (Lewis ve Holt, 2011). Bina yapım aşaması görselleri Şekil 5.36’da gösterilmiştir.

Hibrit sisteme sahip bina iç çeperde rijit BA çekirdek dış çeperde ise sünek çelik çerçeve sistemden oluşmaktadır. BA çekirdek binada ana omurga görevi üstlenmektedir ve öncelikle deprem ve rüzgar gibi yatay ve düşey yüklere karşı dayanım sağlamaktadır. BA çekirdek $33,5 \times 33,5 \text{ m}$ ölçülerinde tasarlanmıştır ve mekanik ekipmanlar bu bölmede konumlanmıştır. Çekirdek içerisindeki perde duvarlar ortogonal doğrultuda yerleştirilmiştir. Çekirdek duvarları 137 cm kalınlığa ulaşabilmektedir ve bazı katlarda daha kalın duvarlardan oluşmaktadır. Betonun basınç dayanımı ise zeminden en üst kata kadar 96-55 MPa arasında değişmektedir. Yatay yük dayanımını artırmak için mekanik katlarda çekirdek ile dış çeperdeki

kolonlar dıştan destekli sistemler ile birbirine bağlanmıştır. Binanın dayanımı için rüzgar tüneli deneyleri de yapılmıştır. Yüzyıllık periyoda sahip rüzgar fırtınalarına karşı binanın yatay yerdeğiştirmeleri kontrol edilmiş ve ofis binası için en üst kattaki konfor kriterlerinin gerçekleşmesi sağlanmıştır (Rahimian ve diğer., 2015). Binaın taşıyıcı sistem modeli ve görünüşleri şekil 5.37’de gösterilmiştir.



şekil 5.36 One World Trade Center yapım aşaması (Lewis ve Holt, 2011)



şekil 5.37 One World Trade Center taşıyıcı sistem modeli ve görünüşleri (Rahimian ve diğer., 2015; Arcdaily 2016)

Döşeme sisteminde çekirdek içinde BA yerinde döküm kirişler kullanılmıştır. Çekirdek dışında ise çelik kirişler ve kompozit metal üzerinde beton sistem ile yapılmış kompozit döşeme kullanılmıştır (Şekil 5.38). Çekirdek ile dış çeperdeki kolonlar arasında düşey taşıyıcı sistem elemanı bulunmamaktadır (Rahimian ve diğer., 2015).



Şekil 5.38 One World Trade Center döşeme sistemi (Lewis ve Holt, 2011)

Binanın temeli Manhattan kayasının üzerine kuruludur. Yaklaşık olarak 55 t/m^2 taşıma kapasiteye sahip radye ve mütemadi temele sahip binanın temel çukuru kayaya erişebilmek ve daha yüksek taşıma kapasitesine ulaşabilmek için daha derin kazılmıştır. Derindeki temelin m^2 'si yaklaşık 105 t taşıma kapasiteye sahiptir (Rahimian ve diğer., 2015).

5.2.7 Guanzhou CTF Finance Centre

Guanzhou CTF (Chow Tai Fook) Finance Centre binası 530 m yüksekliği ile dünyanın tamamlanmış en yüksek 7. binasıdır. 111 kat adetine sahip bina ofis, otel ve konut fonksiyonlarını barındırmaktadır. Mimari tasarımını Ping An Finance Center ve Lotte World Tower binalarını tasarlayan Kohn Pedersen Fox Associates firması yapmıştır. Strüktürel tasarımını ise Arup firması tasarlamıştır (CTBUH, 2020).

5.2.7.1 Guanzhou CTF Finance Centre Mimari Özellikler

Pearl Nehri deltası üzerinde kurulu bina bölgenin yakın zamandaki refahını ve kentsel büyümesini temsil etmektedir. Arazinin ve binanın vaziyet planı Şekil 5.39’da gösterilmiştir. Bina zemin altında bulunan katlardaki bağlantılar aracılığıyla toplu taşıma araçlarına ulaşım sağlamaktadır ve yaya seviyesindeki köprüler aracılığıyla çevredeki bitişik binalara bağlantı oluşturmaktadır. Bina birçok mimari kullanım alanına sahiptir. Bina, otel, ofis ve konutun yanı sıra, tepe noktasında gökyüzü lobisi, yer altında ise perakende satış salonu gibi farklı fonksiyonlar da barındırmaktadır. Ayrıca balo salonu, ticari mekanlar, restoran ve sinema alanları da bulunmaktadır. Gökyüzüne doğru yükselen bir kristali anımsatan formunun cephesinde pişmiş toprak (Terracotta) malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin çevresel avantajları da mevcuttur. Pişmiş toprak malzeme kendi kendini temizleyen, korozyona dayanıklı, kolay üretilen ve taşınması kolay bir malzemedir. Ön cephenin seramik kaplı sütunları dış cephede gölgeleyici eleman olarak da kullanılmakta ve tropikal iklimde doğal havalandırma sağlamaktadır (KPF, 2020).



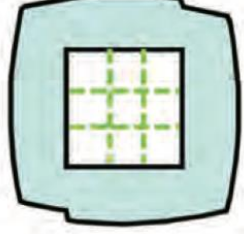
Şekil 5.39 Gaunzhou CTF Finance Centre vaziyet planı (Ho ve diğer., 2014)

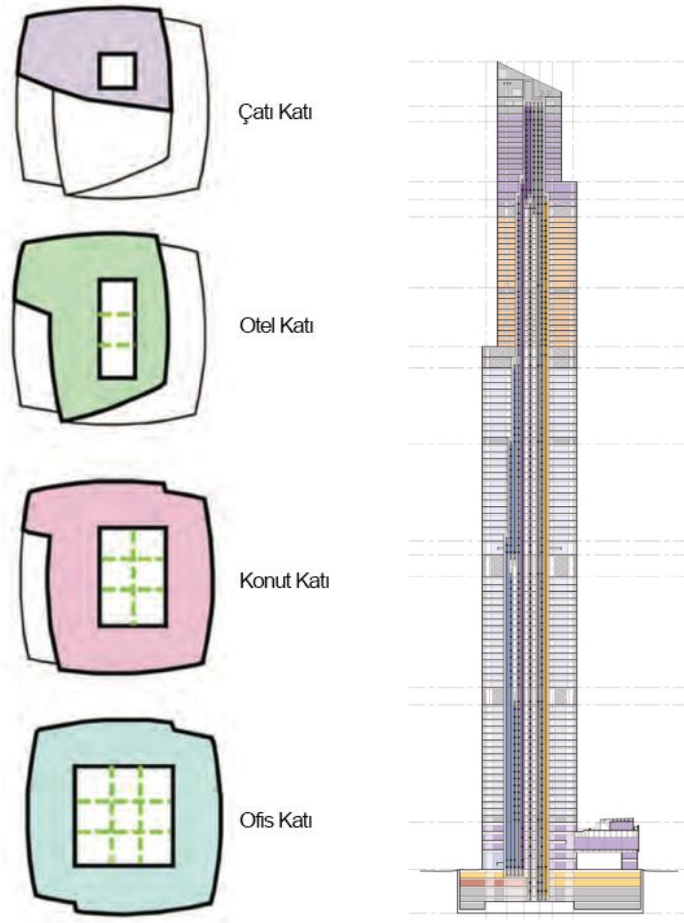
Binada 221000 m² A sınıfı ofis, 71000 m² konut, 41000 m² lüks otel, 62000 m² ticari mekan bulunmaktadır. Farklı mimari kullanım alanlarının çevre fonksiyonlarıyla bağlantılı olarak tasarlanması ve etkileyici heykelsi formu, zanaatkarlıktan doğan hayal gücünün ve ustalığın tasarım sürecine etkisinin en güzel örneği olarak belirtilmektedir. Binada pişmiş toprak gibi doğal bir malzeme kullanmak, geleceğe sürdürülebilir strateji ve ekonomik gelişme açısından ışık tutmaktadır (Ho, 2016).

Gaunzhou CTF Finance Centre tasarlanırken bina dört adet zona bölünmüştür. 1. ve 2. bölüm ofis zonu, 3. ve 4. bölüm ise ofis, konut ve otel zonu olarak belirlenmiştir.

Bölümlerin kat ve fonksiyon şemaları ve bina kesiti Şekil 5.40’da gösterilmiştir (Tse ve diğer., 2016)

Tablo 5.7 Guanzhou CTF Finance Centre bilgileri

 (Winstanles, 2012)  (Winstanles, 2012)	Bina İsmi	Guanzhou CTF Finance Centre / The CTF Guanzhou / Chow Tai Fook Centre East Tower
	Ülke/Şehir:	Çin / Guanzhou
	H_N (m)	530
	N	111
	Fonksiyon	Ofis / Otel / Konut
	Plan Formu: Kare	
	Taşıyıcı Sistem	İç Çeper: BA Çekirdek
		Dış Çeper: BA içinde çelik mega kolonlar, Belirli katlarda dıştan destekli sistem ve mega rijit kuşak kafes sistem.
		Döşeme: Çelik
	Temel Sistemi	Radye ve tekil temel
	Kalıp Sistemi	Tırmanır kalıp
	Cephe Sistemi	Giydirme panel cephe
	Yapım zamanlaması	Tasarı Öneri: 2009
		İnşaat Başlangıç: 2010
		İnşaat Bitiş: 2016
	Mimari Tasarım	Kohn Pedersen Fox Associates
	Strüktürel Tasarım	Arup



Şekil 5.40 Guanzhou CTF Finance Centre şematik kat planları ve kesiti (Tse ve diğer., 2016; Winstanles, 2012)

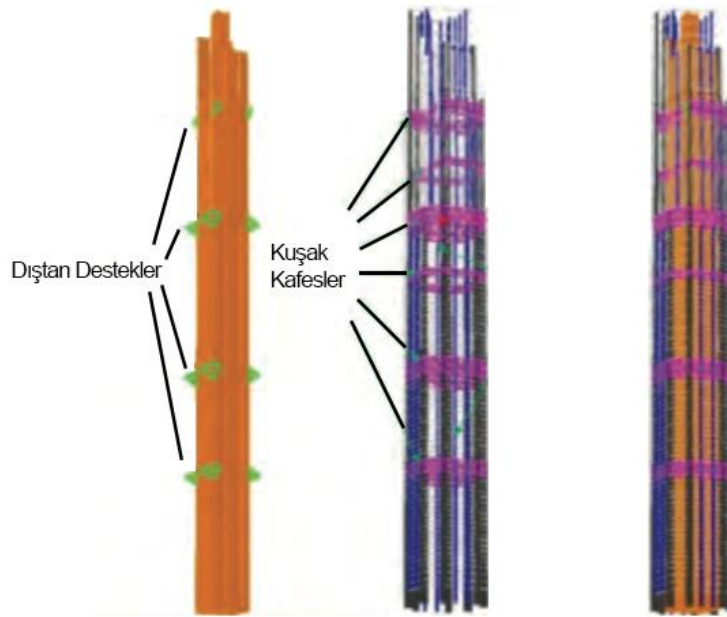
5.2.7.2 Guanzhou CTF Finance Centre Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Guanzhou CTF Finance Centre binasının strüktürel formuna mega kolonlar, dıştan destekli sistem ve çekirdek adapte edilmiştir. Bu sistem seçimi ile kesintisiz görüntü elde edilmiştir. 32×32 m çekirdeğe sahip binada 8 adet beton ile doldurulmuş tüp mega kolonlar tasarlanmış ve bu sistem radye ve tekil temel üzerine inşa edilmiştir. Temel yapım aşaması görseli Şekil 5.41’de gösterilmektedir. Bina zemini yüksek dayanıma sahip kayadan oluşmaktadır. Binanın mekanik tesisat katlarında 4 kat yüksekliğinde çelik dıştan destekli sistem ve altılı setlerden oluşan çift katmanlı kuşak kafesler kullanılmıştır (Şekil 5.42). Mega kolon ve çekirdekte C80 beton malzemesi kullanılmıştır. Bu beton malzemesi ile C60 malzemesine kıyasla çekirdek duvar kalınlığı 300 mm’ye düşürülmüştür. Rüzgar tüneli ve bilgisayar analizleri sonucunda

binanın yatay kuvvetlere karşı yeterli davranışı gösterdiği görülmüştür (Ho ve diğer., 2014).



Şekil 5.41 Guanzhou CTF Finance Centre temel yapım aşaması (Winstanles, 2012)



Şekil 5.42 Guanzhou CTF Finance Centre taşıyıcı sistemi (Ho ve diğer., 2014)

5.2.8 Tianjin CTF Finance Centre

Tianjin CTF Finance Centre 530 m yüksekliği ile Guanzhou CTF Finance Centre binası ile birlikte dünyanın en yüksek binaları arasında 7. sırayı paylaşmaktadır.

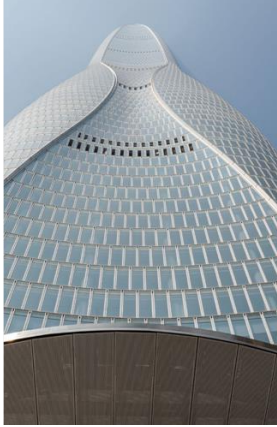
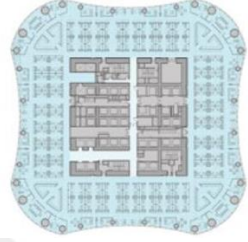
Binanın mimari ve strüktürel tasarımını, One World Trade Center ve Burj Khalifa binalarının tasarımcısı Skidmore, Owings & Merrill LLP firması yapmıştır. Tasarı önerisi 2011’de yapılan binanın inşaatına 2013’de başlanmış ve 2019’da tamamlanmıştır (CTBUH, 2020).

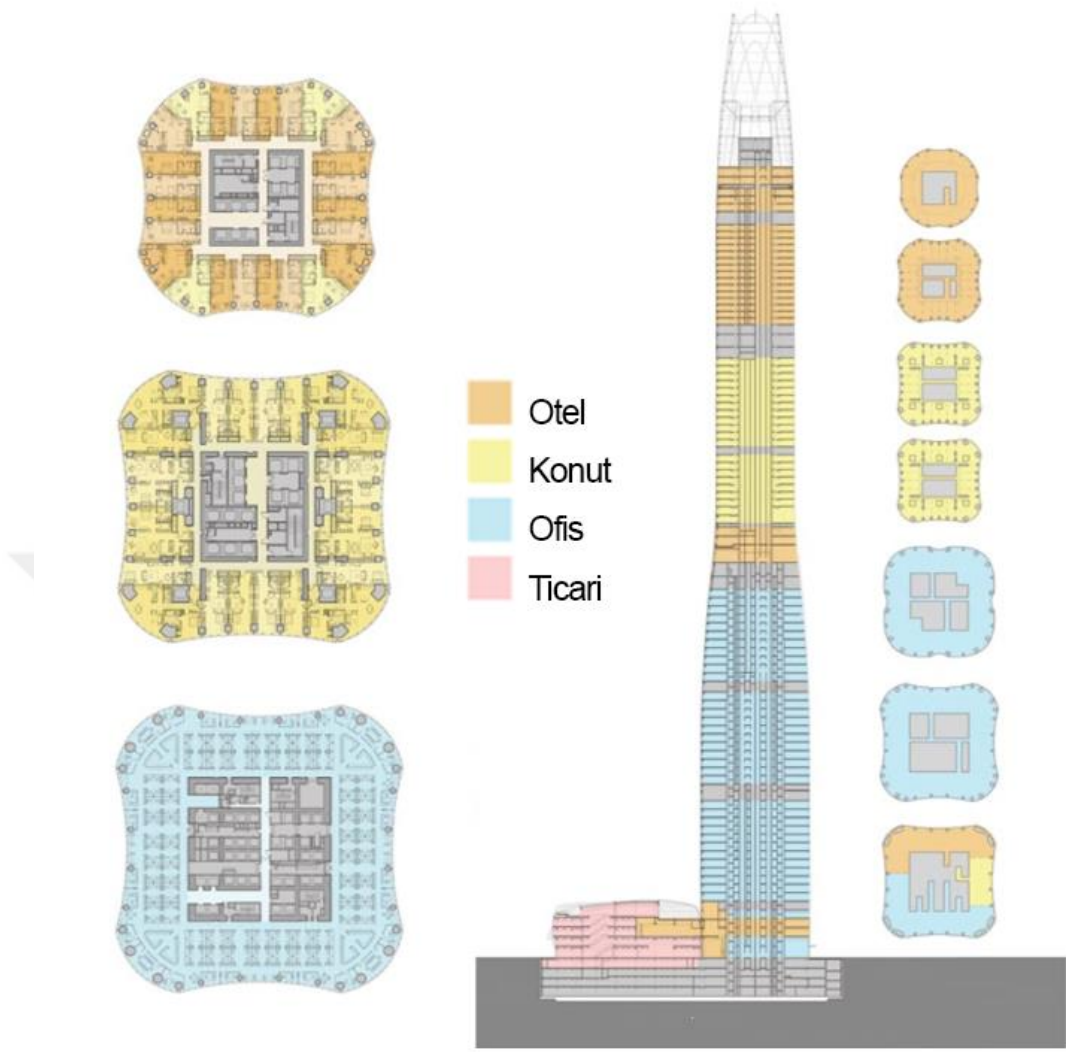
5.2.8.1 Tianjin CTF Finance Centre Mimari Özellikler

Tianjin Chow Tai Fook Centre dalgalı eğrileri ile monolitik bir etki uyandırmak amacıyla tasarlanmıştır. Bina 300 adet konuta, 350 odalı beş yıldızlı bir otele ve birçok ofise sahiplik etmektedir. Tianjin Ekonomik-Teknolojik Gelişim Alanı’nda inşa edilen bina bölge için çarpıcı bir simge olarak bulunmaktadır. Narin kıvrımlı cepheye sahip bina 389980 m² proje alanına sahiptir (SOM, 2020).

Tasarımcılar için en büyük zorluk ofis, konut ve otel fonksiyonlarının kuleye entegrasyonunu sağlamak olmuştur. Her fonksiyonun farklı boyutlarda alana ihtiyaç duyması ve gün ışığı gereksinimlerinin farklı olması tasarım sürecini zorlaştıran etmenlerdir. Rüzgar tüneli deneyleri ve benzer fonksiyonların kullanıldığı diğer binaların araştırılması sonucunda tasarım ekibi, konik şeklinde köşeleri yuvarlatılmış bir form seçimine gitmiştir. Şekil 5.43’de kat planları ve kesitte görüldüğü gibi fonksiyonlar farklı katlara dağıtılmış ve tasarım gereksinimlerine göre katlar düzenlenmiştir. Ofis katlarında çekirdek ile dış cephe arası açıklık 13-15 m arasında değişkenlik göstermektedir. 36 kat boyunca ofis bölümü olarak kullanılan bölümde her kat 3500-3800 m² kat alanına sahiptir. Konut katlarında özel asansör ile ulaşımı sağlanan 300 adet konut yapılmıştır ve bu katlarda çekirdek ile dış cephe arasındaki açıklık 12-13 m arasında değişmektedir ve bu konut katları yaklaşık 2000 m² alana sahiptir. Binanın taç kısmında 350 odalı bir otel bulunmaktadır. Bu bölümde kat planı yaklaşık 1800 m² alana sahiptir (Lee ve diğer., 2020).

Tablo 5.8 Tianjin CTF Finance Centre bilgileri

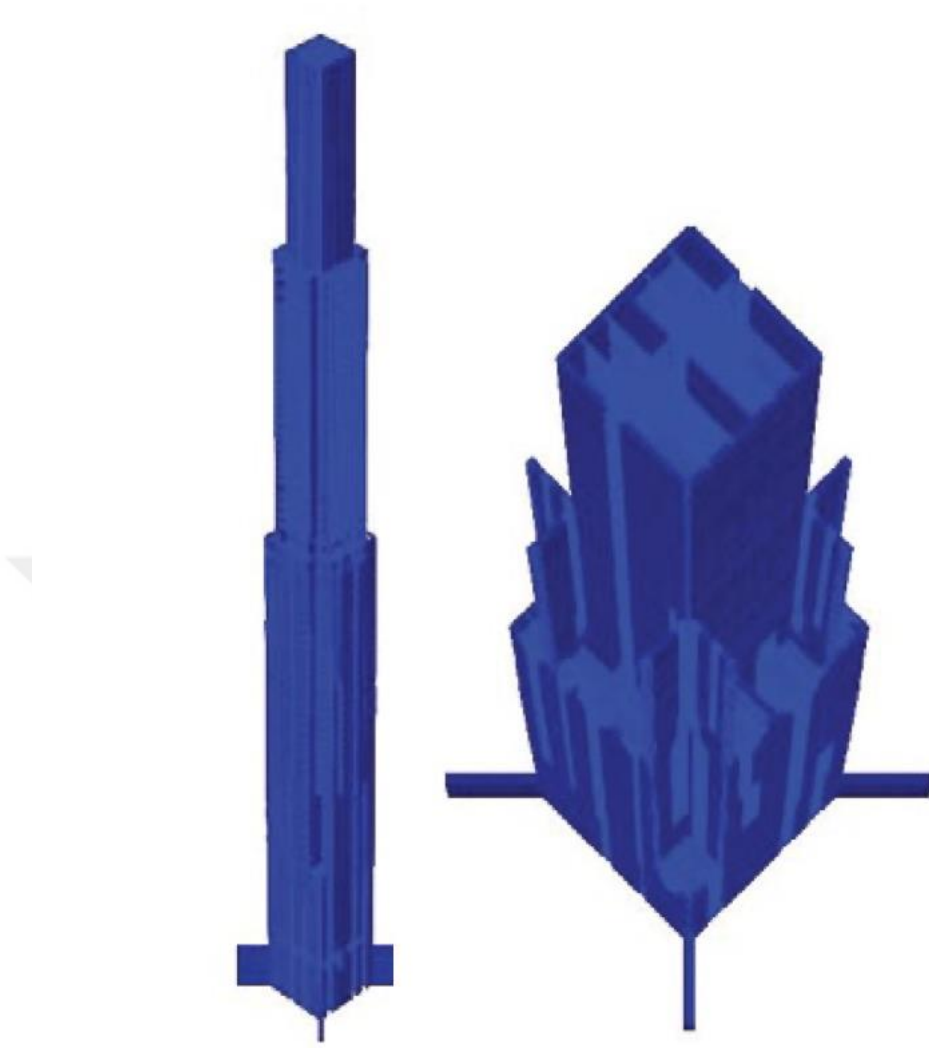
 (Lee ve diğer., 2020)  (Lee ve diğer., 2020)	Bina İsmi	Tianjin CTF Finance Centre / Tianjin Chow Tai Fook Binhai Center
	Ülke/Şehir:	Çin / Tianjin
	H_N (m)	530
	N	97
	Fonksiyon	Ofis / Otel / Konut
	Plan Formu: Kenarları ve köşeleri yuvarlatılmış kare	
	Taşıyıcı Sistem	İç Çeper: BA Çekirdek
		Dış Çeper: BA içinde çelik mega kolonlar, Belirli katlarda dıştan destekli sistem ve mega rijit kuşak kafes sistem.
		Döşeme: Çelik
	Temel Sistemi	Mega kazık üzeri radye temel
	Kalıp Sistemi	Tırmanır kalıp
	Cephe Sistemi	Giydirme panel cephe
Yapım zamanlaması	Tasarı Öneri: 2011	
	İnşaat Başlangıç: 2013	
	İnşaat Bitiş: 2019	
	Mimari Tasarım	Skidmore, Owings & Merrill LLP
	Strüktürel Tasarım	Skidmore, Owings & Merrill LLP



Şekil 5.43 Tianjin CTF Finance Centre şematik kat planları ve kesiti (Lee ve diğer., 2020)

5.2.8.2 Tianjin CTF Finance Centre Taşıyıcı Sistem Özellikleri

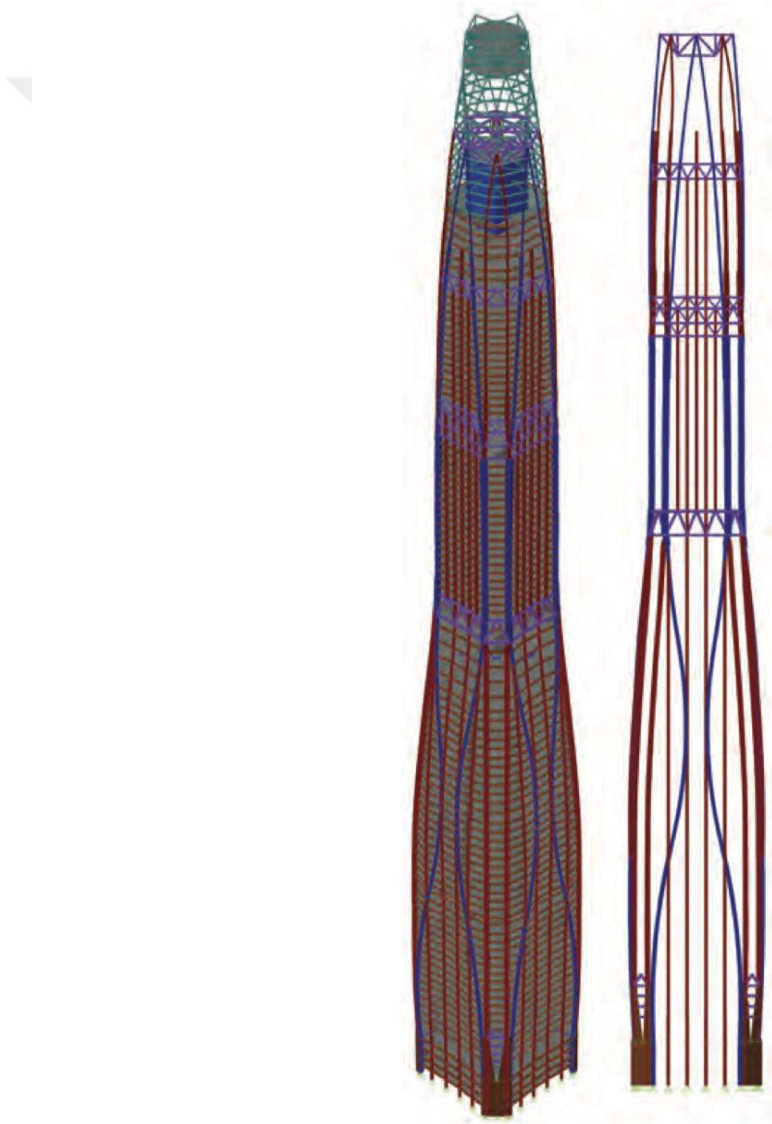
Merkezi çekirdek bina boyunca kademeli olarak küçültülmüş, fonksiyonlar için gerekli alanı sağlayacak ve strüktür açısından etkin dayanıma sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Otel ve konut bölümlerinde yer alan iç çekirdek bina zeminine kadar devam ettirilmiş, ofis bölümünde ise bu çekirdeğe bir dış çekirdek eklenmiştir. Bu sistem ile fonksiyonların yeterli kullanım alanları oluşturulmuş strüktürel dayanım gereksinimleri ise gereken ölçüde sağlanmıştır. Kademeli olarak tasarlanan bu çekirdeğin 3D modeli Şekil 5.44'de gösterilmiştir (Lee ve diğer., 2020).



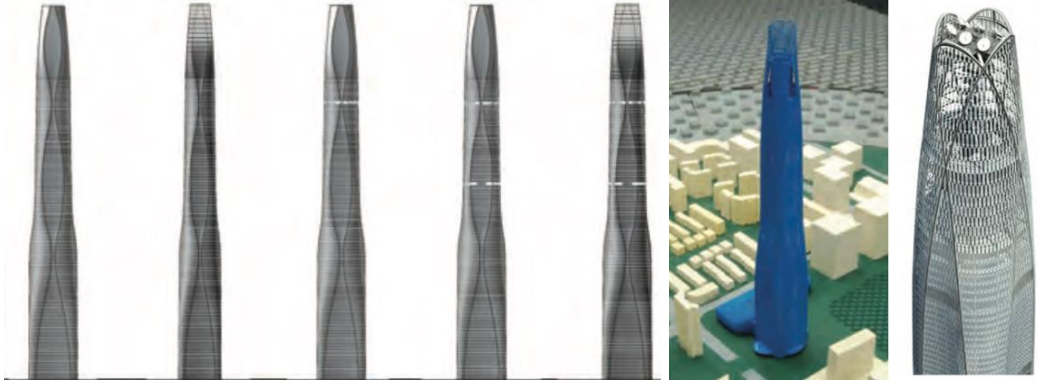
Şekil 5.44 Tianjin CTF Finance Centre merkezi çekirdeğin 3D modeli (Lee ve diğer., 2020)

Binanın bulunduğu bölge yüksek deprem aktivitelerinin olduğu bir alandır ve strüktürü sık ve nadir oluşan deprem olaylarına karşı optimize etmek büyük önem arz etmektedir. Tasarımcılar yapılan analizler sonucunda dıştan destekli sistemin maliyetli ve karmaşık çözümler gerektirdiğini öngörmüşlerdir ve bu nedenler dolayısıyla dış çeperde çerçeve sisteme yoğunlaştırılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Yapılan analizler sonucunda dış çeperde eğimli kolonlar kullanmanın optimum çözüm olduğu görülmüştür. Bu sistem sık depremlerde rijitliği, seyrek depremlerde ise yeterli sünekliliği sağlamaktadır. Eğrisel kolonlar, düşeyde düz kolonların bağlantı noktaları ile denkleşmektedir ve bu durum kolonların bağlantı noktalarından devam edebilmelerini sağlamıştır. Eğrisel kolonlar cephenin merkezinde birleşmezler ve bu durum yatay yüklere karşı daha etkin bir sonuç vermektedir. Eğrisel ve düz kolonlar

beton ile kaplanmış çelik malzemeden yapılmıştır. Binanın ortasında bulunan kuşak kafes sistem, düşey yükleri konut bölümüne, oradan da ofis bölümüne, yatay yükleri ise bina köşelerinde bulunan mega kolonlara aktarmaktadır. İki ayrı bölümde çok katlı olarak tasarlanan kuşak kafesler dıştan destekli sistemin rijitlik görevini üstlenmektedir. Bina taşıyıcı sistem modeli Şekil 5.45’de gösterilmiştir. Taç tasarımı yapılırken farklı tasarımlar yapılmış ve rüzgar tüneli deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler ve seçilen tasarım Şekil 5.46’da gösterilmiştir. Tasarım analizler sonucunda rüzgar yükünü büyük ölçüde azaltmaktadır (Lee ve diğer., 2020).



Şekil 5.45 Tianjin CTF Finance Centre taşıyıcı sistemi (Lee ve diğer., 2016)



Şekil 5.46 Tianjin CTF Finance Centre rüzgar tüneli deneyi ve tasarım yaklaşımları (Lee ve diğer., 2016)

Merkezi çekirdekte bulunan perde duvarlar beton ile kaplanmış çelik malzemeden yapılmıştır. 800-1800 mm arasında değişen kalınlıkta tasarlanan perde duvarların içerisindeki çelik levhalar 30-25 mm kalınlara sahiptir. Binanın temelinde 434 adet 100 m uzunluğunda 1 m çapında kazıklar kullanılmıştır. Kazıkların üzerinde 5,5 m kalınlıkta temel oluşturulmuştur. Kolonlarda alt katlarda C80, üst katlarda C60 beton malzeme, döşemede ise çelik kirişler kullanılmıştır (Ho ve diğerleri, 2014). Bina'nın yapım aşaması görselleri Şekil 5.47'de gösterilmiştir.



Şekil 5.47 Tianjin CTF Finance Centre yapım aşamaları (Tse ve diğer., 2016)

5.2.9 CITIC Tower

CITIC Tower 527,7 m yüksekliği ile dünyanın en yüksek dokuzuncu binasıdır. Tasarı önerisi 2012’de yapılan binanın inşaatı 2013’te başlamış, 2018’de tamamlanmıştır. Ofis fonksiyonu için tasarlanmış binanın mimari tasarımını Ping An Finance Center, Lotte World Tower ve Guanzhou CTF Finance Centre binalarını tasarlayan Kohn Pedersen Fox Associates firması yapmıştır. Strüktürel tasarımını ise Guanzhou CTF Finance Centre binasının strüktürel tasarımını yapan Arup firması yapmıştır (CTBUH, 2020). Binanın genel bilgileri Tablo 5.9’de belirtilmiştir.

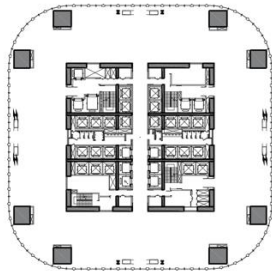
5.2.9.1 CITIC Tower Mimari Özellikler

CITIC Tower’ın tasarımı Çin’in Bronz Çağı’nda ortaya çıkan “zun” şeklinden esinlenilerek yapılmıştır (Şekil 5.48). Bina kat planında köşeleri yuvarlatılmış kare şeklinde tasarlanmıştır. Zemin katında 78 m genişliğe sahip bina bel bölgesinde 54 m, tepesinde 69 m genişliğe sahiptir (Şekil 5.48). Kule yaya geçidi sistemini, zemin altındaki katlarda karayolu ve dört metro hattını birbirine bağlayan yeraltı ulaşım ağına erişim sağlamaktadır (KPF, 2020).

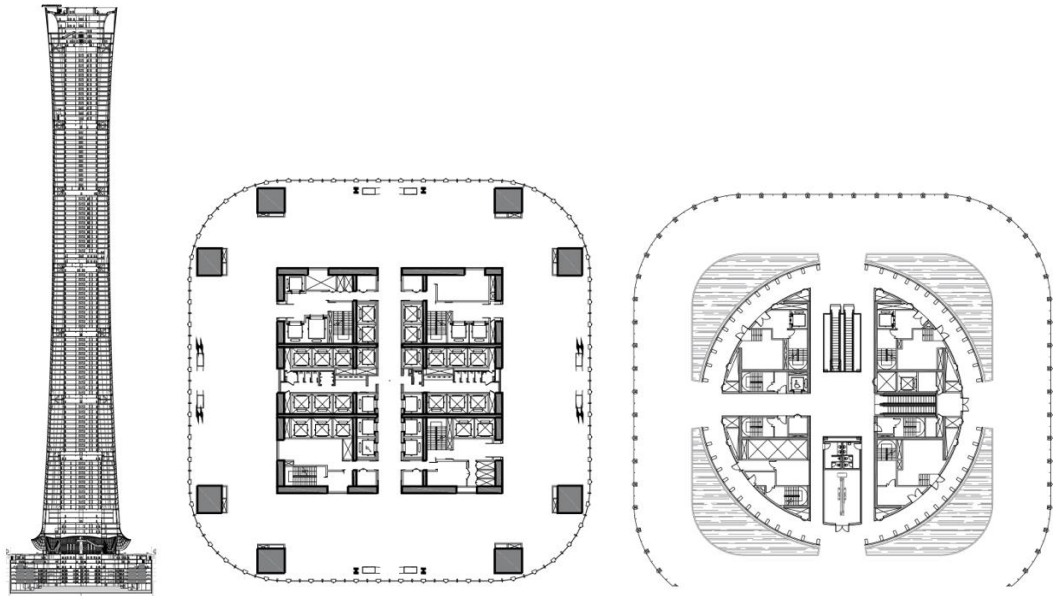


Şekil 5.48 CITIC Tower tasarımı ve “Zun” şekli (Peng ve diğer., 2016)

Tablo 5.9 CITIC Tower bilgileri

 (Peng ve diğer., 2014)	Bina İsmi	CITIC Tower / China Zun / Zhongguo Zun	
	Ülke/Şehir:	Çin / Beijing	
	H_N (m)	527,7	
	N	109	
	Fonksiyonu	Ofis	
 (Peng ve diğer., 2014)	Plan Formu: Kare		
	Taşıyıcı Sistem	İç Çeper: Betonla kaplanmış çelik	
		Dış Çeper: Kompozit mega kolonlar, kuşak kafesler ve çaprazlar	
		Döşeme: Çelik	
 (Peng ve diğer., 2014)	Temel Sistemi: Kazık üzeri radye temel		
	Kalıp Sistemi: Tırmanır kalıp		
	Cephe Sistemi: Giydirme panel cephe		
	Yapım zamanlaması	Tasarı Öneri: 2012	
		İnşaat Başlangıç: 2013	
İnşaat Bitiş: 2018			
Mimari Tasarım: Kohn Pedersen Fox Associates			
Strüktürel Tasarım: Arup			

Binanın toplam kat alanı 350000 m²' dir. Binaın şeklinden esinlenilen ‘‘Zun’’ nesnesi dini törenlerde arabı tutmak için kullanılan bir nesnedir. Bu nesneden esinlenilerek tasarlanmış köşeleri yuvarlatılmış form, deprem ve rüzgar yüklerine karşı etkin davranış göstermektedir. Bina sekiz adet bölümden oluşmaktadır. Üç adet ofis gökyüzü lobisi, toplantı ve yemek alanları binada 2. 4. ve 6. bölümlerin st katlarında tasarlanmışır. Binaın son katında bir gözlem alanı oluşturulmuş ve 360° aı ile Beijing manzarası sunmaktadır. Binaın kesit, zemin kat ve son kat planı ekil 5.49’da gösterilmiştir (Peng ve diğ., 2014).



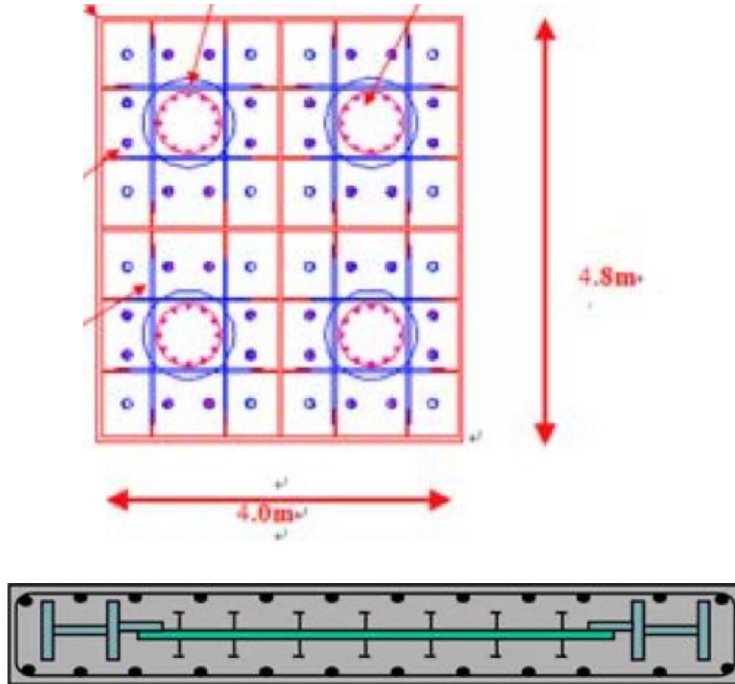
Şekil 5.49 CITIC Tower Kesit, zemin kat ve son kat plan eması (Peng ve diğ., 2014)

5.2.9.2 CITIC Tower Taşıyıcı Sistem zellikleri

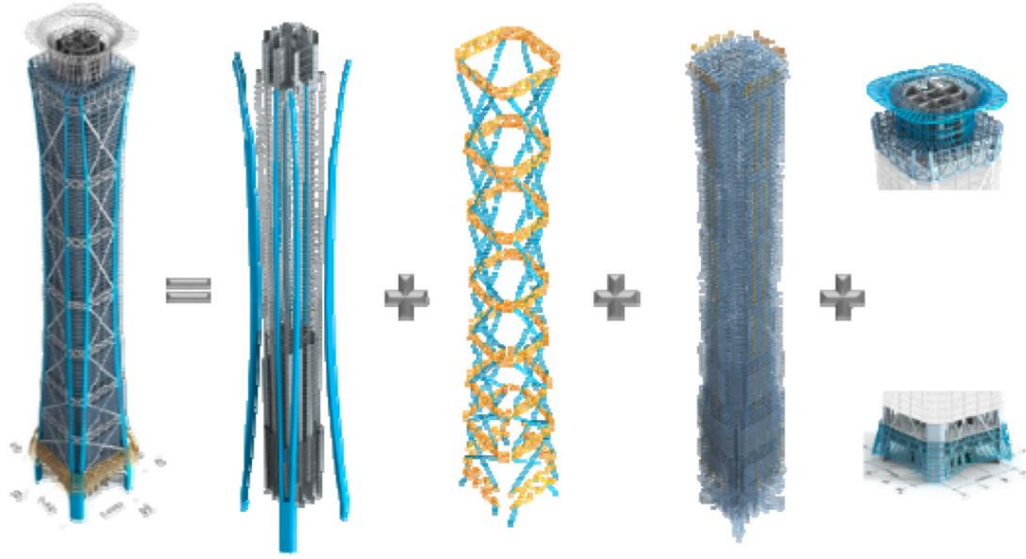
Binanın taşıyıcı sistemi i çeperde çekirdek dış çeperde mega kolonlar, kuşak kafesler ve çaprazlardan oluşmaktadır. Sistem elemanları ekil 5.51’de gösterilmiştir. 39×39 m ölüye sahip ekirdeğın yükseklik arttıkça geniliğı azalmaktadır. C60 sınıfı beton ile kaplanmış elik ile yapılmış çekirdek yangına karşı dayanıklı bir sistem oluşturmuştur. Zeminde 1200 mm kalınlığa sahip çekirdek perde duvarları en st katta 400 mm kalınlıktadır. Çekirdek içerisindeki elik plaka zeminde 60 mm kalınlıkta iken en st katta 30 mm kalınlığa sahiptir. 120 mm kalınlıktaki kompozit dmedeki elik kirişler 3 m açıklıklı yerleştirilmiştir. Yüksek katlarda ise dme 200 mm kalınlıkta

tasarlanmıştır. Çelik kiriş üstünde kullanılan döşeme betonunun basınç dayanımı C40'tır ve üst ve alt katmanlarında donatı ile güçlendirilmiştir (Peng ve diğer., 2016).

Dış çeperde taşıyıcı sistem mega kolonlar, mega çaprazlar ve kuşak kafeslerden oluşmaktadır. 8 adet mega kolon binanın köşelerinde konumlandırılmıştır ve beton ile kaplanmış çelik tüplerden oluşturulmuştur. Mega kolonlar ve kompozit perde duvarların şematik planı Şekil 5.50'de gösterilmiştir. Mega kuşak kafeslerden oluşan mega çerçeve sistem tasarımcılar tarafından Rhinoceros programında parametrik modelleme eklentisi Grasshopper ile modellenmiştir. Parametrik tasarımın farklı tasarımların kısa sürede analizi yapılması avantajı sayesinde bina tasarımına hızlı bir şekilde karar verilmiştir. Binanın temeli zemin kotunun 79 m altından başlamıştır. Kazıklı radye plak sistemi ile yapılmış olan temelin kazıkları 42 m uzunluğunda ve çapları 1-1,2 m arasında değişmektedir. Üzerindeki radye plağı 6,5 m kalınlığındadır (Peng ve diğer., 2014).

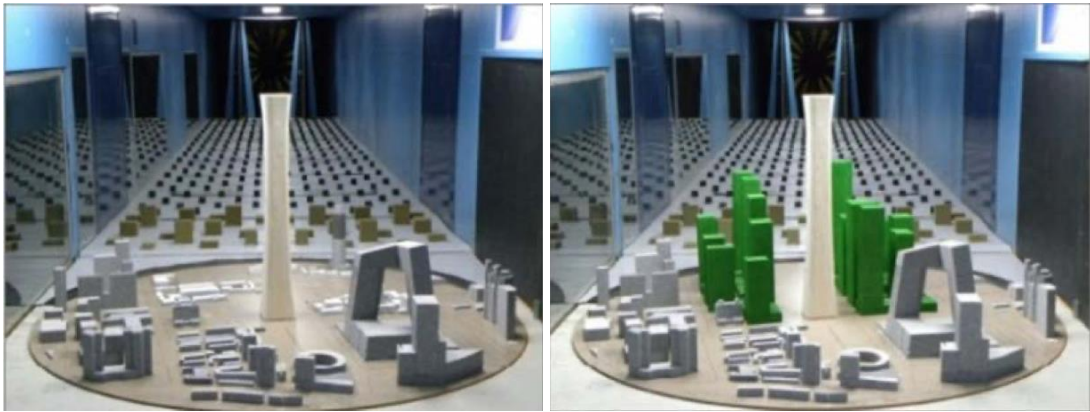


Şekil 5.50 CITIC Tower Binası'nın kolon ve perde duvar elemanlarının şematik planı (Peng ve diğer., 2016)



Şekil 5.51 CITIC Tower taşıyıcı sistem elemanları (Xu, 2019)

Binanın rüzgar tüneli analizleri Rowan Williams Davies ve Irwin Inc (RWDI) firması tarafından yapılmıştır. 1:500 ölçekli maketle yapılmış olan test için iki farklı senaryo uygulanmıştır. İlk senaryoda çevrede yüksek binalar yokken test yapılmıştır (Şekil 5.52a), ikinci senaryoda çevreye yüksek binalar yerleştirilmiştir (Şekil 5.52b). Test 10 yıllık geri dönüşüm periyoduna göre yapılmıştır ve analizler Çin yönetmeliklerindeki standartlarından çok daha iyi bir sonuç vermiştir (Peng ve diğerleri, 2016).



a) Çevrede yüksek binalar yokken

b)Çevrede yüksek binalar varken

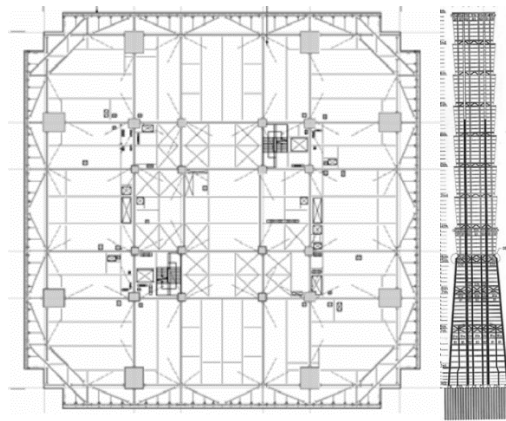
Şekil 5.52 CITIC Tower rüzgar testi deneyleri (Peng ve diğer., 2016)

5.2.10 TAIPEI 101

TAIPEI 101 binası 508 m yüksekliği ile dünyanın en yüksek 10. binasıdır. 101 katlı bina ofis fonksiyonu için tasarlanmıştır. Tasarı önerisi 1997 yılında yapılan binanın inşaatına 1999'da başlanmış 2004'te tamamlanmıştır. Mimari tasarımını C.Y. Lee & Partners Architects / Planners, strüktürel tasarımını ise Evergreen Consulting Engineering, Thornton Tomasetti yapmıştır. Thornton Tomasetti, Shanghai Tower ve Ping an Finance Centre binalarının da strüktürel tasarımını yapmıştır (CTBUH, 2020). Binanın genel bilgileri Tablo 5.10'da verilmiştir.

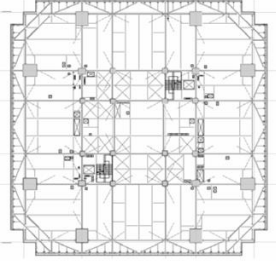
5.2.10.1 TAIPEI 101 Mimari Özellikler

Binanın formu, yükselerek ilerlemeyi ve başarılı çalışmayı simgeleyen bambunun eklem bağlantı formuna benzetilmektedir. Yükseklik ve genişlik algısı, batıda formun veya kütlenin genişletilmesinin aksine doğuda, kümelenmiş ünitelerin uzatılması ile birlikte vurgulanmaktadır. Pagoda mimarisi buna en güzel örnektir. Çin'de sembol ve totem kullanımı, tamamlama mesajını iletmektedir. Bu nedenle TAIPEI 101 binasının çatısı talih ve şansı simgeleyen anka kuşunun kuyruğu şeklindedir. Binanın keskin açılarında kullanılan uğurlu ejderha motifleri kötü enerjiyi dağıtma amacıyla tasarlanmıştır. Binanın geleneksel ahşap Çin yapı mimarisinden esinlenilerek tasarlanan konstrüksiyonu ile yuvarlak gökyüzü ve kare dünyanın evrendeki rotasyonu simgelenmektedir (C.Y. Lee, 2020). Binanın kat planı ve kesiti Şekil 5.53'de gösterilmektedir.



Şekil 5.53 Taipei 101 şematik kat planı ve kesiti (Poon, 2004)

Tablo 5.10 TAIPEI 101 bilgileri

 (C.Y. Lee, 2020)  (C.Y. Lee, 2020)	Bina İsmi:	TAIPEI 101
	Ülke/Şehir:	Tayvan / Taipei
	H_N (m)	508
	N	101
	Fonksiyon	Ofis
	Plan Formu: Kare	
	Taşıyıcı Sistem	İç Çeper: Kompozit malzemeli çapraz çerçeveli çekirdek
		Dış Çeper: Kompozit mega kolonlar, çelik dıştan destekli kuşak kafes sistem
		Döşeme: Çelik
	Temel Sistemi	Kazık üzeri radye temel
	Kalıp Sistemi	Tırmanır kalıp
	Cephe Sistemi	Giydirme panel cephe
	Yapım zamanlaması	Tasarı Öneri: 1997
		İnşaat Başlangıç: 1999
		İnşaat Bitiş: 2004
	Mimari Tasarım	C.Y. Lee & Partners Architects/ Planners
	Strüktürel Tasarım	Evergreen Consulting Engineering: Thornton Tomasetti

Bina sekiz adet bölümden oluşmaktadır, bu rakam Çin için şanslı bir rakamdır ve bu bölümler Feng Shui düzenine göre tasarlanmıştır. Her bölüm 2500-3570 m² arasında değişen kat alanına sahiptir. Ofis fonksiyonu için tasarlanmış binanın 91. katında bir gözlem alanı ve restoran bulunmaktadır. Binanın son 9 katı iletişim katları olarak kullanılmaktadır (Kourakis, 2007).

5.2.10.2 TAIPEI 101 Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Binanın ilk 25 katı üstü kesik piramit şeklindedir ve bu binanın yatay yüklere karşı dayanımını artırmaktadır. 25. kattan sonra bina 8 adet ters çevrilmiş üstü kesilmiş piramit modüllerinden oluşmaktadır. Binanın çekirdeği çapraz çerçevelerden oluşmaktadır ve 8 adet mega kolona dıştan destekli sistem ile bağlanmaktadır. Dıştan destekli sistemler üç kat yüksekliğinde ve 26., 34., 42., 58., 66., 74., ve 82. katlarda kullanılmıştır. Kuşak kafesler mega kolonları birbirine bağlamak ve binanın yatay kuvvetlere karşı dayanımını artırmak amacıyla tasarlanmıştır (Kourakis, 2007).

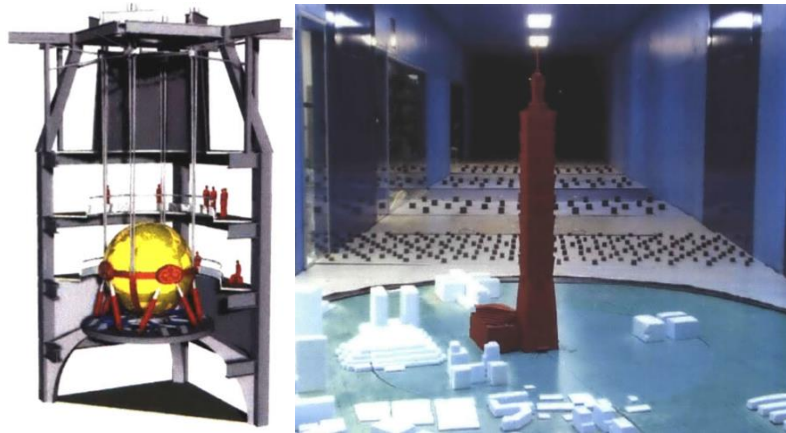


Şekil 5.54 Taipei 101 Taşıyıcı sistemi (Kourakis, 2007)

Binanın zemininde sert kayaya kadar 40-60 m kil ve sert kolüvyol toprak bulunmaktadır. Tasarım 21 m derinliğinde bodruma ihtiyaç duymaktadır. İki farklı temele ihtiyaç duyulan binada ilk temel 1,2 m kalınlıkta binayı ve podyumu saran duvarlardan oluşmaktadır. Podyumun kolonları 2 m çapında kazıkların üzerinde konumlanmaktadır. İkinci temel bina zeminini çevreleyen duvarlardan oluşmaktadır. Binanın altındaki ikinci temelde 3-4,07 m kalınlıkta radye temel, 1,5 m çapındaki 4 m aralıkla yerleştirilen 380 adet kazığın üzerinde bulunmaktadır (Poon, 2004).

Plan ölçüleri 62,4×62,4 m olan binanın eğimli mega kolonları 2400×3000 mm ölçüye sahiptir ve yükseklik arttıkça boyutu 1600×2000 mm'ye düşmektedir. Zemin kattan 62. kata kadar binada 70 MPa basınç dayanımlı beton malzeme kullanılmıştır. Çekirdekte bulunan betonla kaplanmış çelik kolonların boyutları yükseklik artışı sonucu 1200×1200 mm'den 900×900 mm ölçüsüne kadar azalmaktadır. Kompozit metal döşemeler katlarda 135 mm kalınlığa sahipken mekanik tesisat katlarında 200 mm kalınlığa sahiptir (Fan, 2009).

Binanın yatay yerdeğiştirmesini sınırlamak amacıyla Şekil 5.55'de gösterilen kütle sönümleyici sistem kullanılmıştır. 726 t ağırlığındaki kütle 88. katın 1 m üstünde konumlandırılmıştır ve kütlenin asıldığı sistem üst kısmı 92. katta yer almaktadır. Binanın yatay yer değiştirmelerinin hesabı rüzgar tüneli deneyleri (Şekil 5.55) sonucunda hesaplanmış ve dış cephe tasarımı da buna göre şekillenmiştir (Poon, 2004).



Şekil 5.55 Taipei 101 kütle sönümleyici ve rüzgar testi (Kourakis, 2007)

5.3 Dünyanın En Yüksek 10 Binasının Taşıyıcı Sistem ve Mimari Formunun Değerlendirilmesi

Dünyanın yapımı tamamlanmış en yüksek 10 binası 2004-2019 yılları arasında inşa edilmiştir. Binaların inşaat süreleri 5 ila 10 yıl arasında değişkenlik göstermektedir ve binalar 94-163 arası kat sayısına sahiptir. En yüksek bina 828 m yüksekliğe sahiptir ve ikinci bina ile arasında 196 m fark bulunmaktadır. 10 adet binanın 9'u Asya Kıtası'nda biri ise Amerika Kıtası sınırlarında inşa edilmiştir ve bu binaların 6'sı Çin'de yapılmıştır.

Binaların mimari fonksiyon dağılımlarında, biri hariç hepsinde ofis fonksiyonu, 6 binada otel fonksiyonu, 4 binada konut fonksiyonu bulunmaktadır. Bina fonksiyonu form ve taşıyıcı sistem tasarımında en önemli etkenlerden birisi olmuştur. Binaların mimari formuna bakıldığında bina yüksekliği artışıyla kat planlarında daralma ve geri çekilmeler olduğu gözlemlenmiştir. CITIC Tower yükseklik ile önce daralan sonra genişleyen formuyla diğer binalardan farklı bir forma sahiptir. Burj Khalifa Binası formundaki geri çekilmeler ile oluşturulan kat terasları sayesinde farklı bir kullanım alanı sağlamıştır. Shanghai Tower dönerek yükselen forma ve formu oluşturan cephe çift cidarlı sisteme sahiptir. Bu sistem ile iki cephe sistemi arasında belirli katlarda iç mekanda kat terasları oluşturulmuştur. Yapılan 10 binanın cephe formlarında %50 oranında kesin köşeleri olan formlar, %50 oranında ise daire planlı form ya da köşeleri yuvarlatılmış kare formu kullanılmıştır.

Binaların taşıyıcı sistemlerine bakıldığında tüm binalarda merkezi bir çekirdek kullanıldığı görülmüştür. Çekirdek hem yatay hem de düşey yüklere karşı dayanımı ile yüksek binalarda en etkin taşıyıcı sistem elamanı olarak görülmektedir. Dış çeperde kullanılan kolonların adeti azaldığında boyutlarının artması ile mega kolonlara dönüşmüştür. Bazı binalarda mega kolonlar ile çekirdek arasındaki bağlantı döşeme kirişleri ve belirli katlarda tasarlanan dıştan destekli sistem ile sağlanmıştır. Bunların yanı sıra dış cephede, yatay yerdeğiştirmeleri sınırlamak amacıyla mega rijit katlar oluşturulmuştur. Bu katlar kuşak kafes sistem ve gerektiğinde dıştan destekli sistem ile oluşturulmuş, genellikle binaların tesisat katlarında birden fazla kat yüksekliği ile

tasarlanmıştır. Cephede çaprazların, eğrisel kolonların kullanılması bu binanın yatay yüklere karşı dayanımını artıran diğer çözüm yöntemleri olmuştur. Y şeklinde plana sahip Burj Khalifa binasında kanatların uçlarında kolonlar tasarlanmış, bu kolonların merkezi çekirdek ile bağlantısı koridor perde duvarları ile sağlanmıştır. Diğer binalardan farklı taşıyıcı sisteme sahip bu binanın çok yüksek olması nedeniyle daha rijit bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur ancak bu durum mimari kullanım alanlarının sınırlandırılmasına yol açmıştır. Bazı binalarda yatay yerdeğiştirmeleri sınırlandırmak amacıyla kütle sönümleyiciler tasarlanmıştır. Bu sistem yatay kuvvetlere karşı verimli bir çözüm olmasına karşın mimari kullanım alanında çok fazla yer kaplamaktadır.

Binaların taşıyıcı sistem dayanımlarını ve dış cephe formlarını belirleyen en büyük etkenlerden birisi rüzgar kuvvetidir. Binalar tasarlanırken özellikle rüzgar yüküne karşı yeterli dayanımı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Yatay yerdeğiştirmeleri kontrol etmek amacıyla binaların birçoğunda rüzgar tüneli deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda cephenin formu ve malzemesinde değişiklikler yapıldığı görülmüştür. Formdaki geri çekilmeler, cephedeki eğrisellikler ve çıkıntılar rüzgar tüneli deneyleri sonucunda tasarlanmıştır.

Binanın dayanımını etkileyen diğer bir faktör zemin koşullarıdır. Yüksek binalarda daha büyük önem arz eden zemin, koşulları kötü olan bölgelerde boyutları ve basınç dayanımları yüksek kazıklarla güçlendirilmiştir. Binaların hepsinde radye temel kullanıldığı görülmüştür. Basınç dayanımı yüksek beton ile yapılan bu temeller ortalama 6 m kalınlık ile yapılmıştır.

BÖLÜM ALTI

MİMARİ FORMUN YÜKSEK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN YAPISAL KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ – SAYISAL UYGULAMALAR

6.1 Giriş

Dünyada yapılmış olan yüksek binaların yapılma nedenleri özellikle nüfus yoğunluğu karşısında şehir merkezinde yeterli arazinin bulunmaması durumuna çözüm olarak ya da teknolojik ve ekonomik gelişme kaynağı olarak görülmektedir. Mimari form ve taşıyıcı sistem tasarımı bu nedenler doğrultusunda belirlenmektedir ancak deprem ve rüzgar gibi yatay kuvvetlere karşı en etkin çözümü bulabilmek amacıyla plan formlarında ve dış cephe formlarında farklı uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalar taşıyıcı sistem tasarımında da farklılıklar getirmiştir.

Dünyanın en yüksek 10 binasının plan formlarına bakıldığında daire, kare, dikdörtgen ve Y şeklinde plan formlarının olduğu görülmektedir. Y şeklindeki plan formu sadece dünyanın en yüksek binası olan Burj Khalifa Binası'nda kullanılmıştır. Bu plan formu dış cephe oranını arttırmakta ve bina içerisine daha fazla gün ışığı alınmasına olanak sağlamaktadır. Shanghai Tower binası daire şeklinde bir plan formuna sahiptir ancak dış cephe elemanları ile oluşturulan dış cephe formu köşeleri yuvarlatılmış ve kenarları eğrisel olarak tasarlanmış üçgen planlı bir forma sahiptir. Bu binanın bazı katlarında üçgen planın tamamını mimari kullanım alanı olarak belirlenmiş ve iç mekanda gök bahçe adı verilen ortak kullanım alanları oluşturulmuştur. Makkah Royal Clock Tower dikdörtgen şeklinde bir plana sahiptir ve cephelerinde keskin köşeler bulunmaktadır. Ping an Finance Centre, Guanzhou CTF Finance Centre ve Taipei 101 Binaları çıkmaları olan kare şeklinde kat planına sahiptir ve bina yüksekliği arttıkça köşelerden geri çekilmeler yapılmıştır. Lotte World Tower ve CITIC Tower köşeleri yuvarlatılmış kare şeklinde bir kat planına sahiptir. Tianjin Tower'ın kat planında köşeler yuvarlatılmış ve kenarlar içeriye doğru eğriselleştirilerek simetrik bir tasarım gerçekleştirilmiştir. One World Trade Center binasının kat planları köşeleri yivli kare şeklindedir.

En yüksek 10 binanın cephe formlarında da farklı tasarım yaklaşımları uygulanmıştır. Burj Khalifa Binası'nın Y şeklinde formundan oluşan üç adet kanadında belirli katlarda geri çekilmeler yapılmış ve kat terasları oluşturulmuştur. Benzer tasarım yaklaşımı Guanzhou'da yapılan binada da uygulanmıştır ancak bu binada yapılan geri çekilmeler Burj Khalifa'ya oranla daha azdır ve oluşan terasların alanları çok daha küçüktür. Shanghai Tower Binası'nda üçgen şeklindeki cephe bina yükseldikçe dönmektedir ve hareketli bir görüntü uyandırmaktadır. Makkah Royal Clock Tower ve Taipei 101 binalarında yapıldıkları ülkelerin geleneksel tasarım yaklaşımları uygulanmıştır. One World Trade Center Binası'nın cephesinde sekiz adet ikizkenar üçgen oluşturulmuştur. Bu üçgenler zemin kat planı kare şeklinde orta kat planı sekizgen şeklinde son kat planı kare şeklinde tasarlanarak oluşturulmuştur. Tianjin CTF Finance Centre ve Ping an Finance Centre binalarında cephede taşıyıcı sistem elemanlarının izleri devam ettirilmiş ve estetik bir görünüm sağlanmıştır. CITIC Tower Binası'nın cephe formu tasarlanırken Çin'in “zun” şeklinden esinlenilmiştir. Bu şekilden esinlenilerek yapılan tasarımda kat alanında yükseklik artışı ile azalma yapılmış daha sonra kat alanında artış yapılarak zun formu elde edilmiştir.

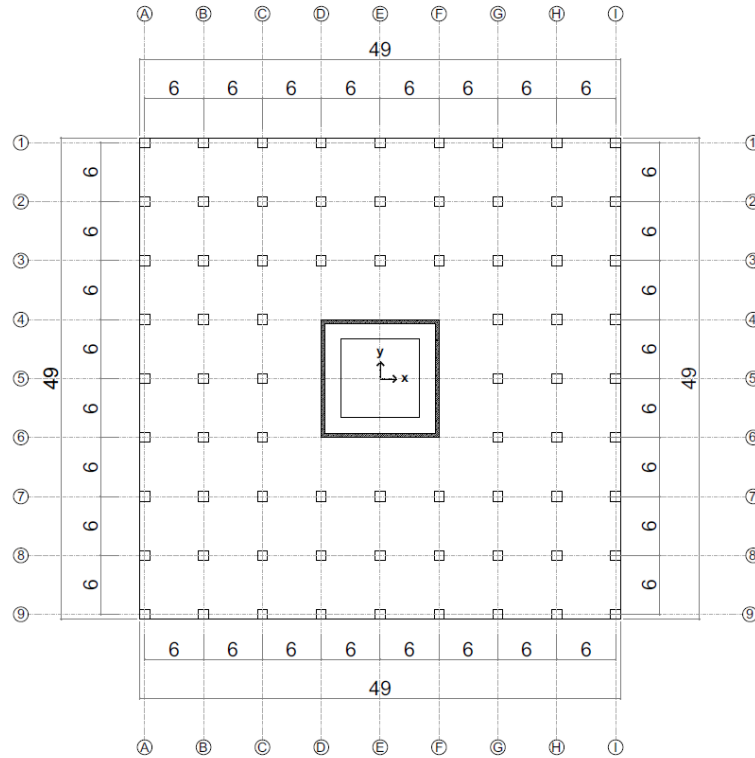
Taşıyıcı sistemlerine bakıldığında en yüksek on bina merkezi BA çekirdek ve dış çeperde çelik ve beton malzemelerden oluşan mega kolonlardan oluşturulmuştur. Mega kolonlar ile merkezi çekirdek arasındaki bağlantı kirişler ve dıştan destek sistem ile sağlanmış, gereken durumlarda dış çeperde mega kuşak kafes sistem kullanılmış ve binanın yatay yerdeğiştirmesi sınırlandırılmıştır. Bazı binalarda yatay yerdeğiştirmeleri azaltmak ve bina içerisinde kullanıcı konforunu arttırmak amacıyla kütle sönümleyici sistemler kullanılmıştır. Binaların temellerinde genellikle zemini güçlendirmek veya derinlerde bulunan ana kayaya erişebilmek için kazık temel sistemi kullanılmış kazıkların üzerine radye temel sistemi oluşturulmuştur.

6.2 Tasarlanan Yüksek Binaların Mimari ve Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Çalışmanın bu bölümünde üç adet yüksek bina tasarlanmıştır. Tasarlanan yüksek binaların kullanım amacı iş yeri olarak belirlenmiş ve kat yüksekliği $h_i = 3,5$ m olarak

dikkate alınmıştır. 30 katlı olarak tasarlanan bu binaların toplam yüksekliği $H_N = 105$ m'dir. Çalışması kapsamında tasarlanan binalar YB-1, YB-2 ve YB-3 olarak kısaltılmıştır. Kısaltmalardaki ilk harf (Y) yüksek kelimesini, ikinci harf (B) bina kelimesini ve sayılar ise bina numaralarını temsil etmektedir. Tezin ilerleyen bölümlerinde binalar bu kısaltmalar ile simgelenmiştir.

Tasarlanan tüm binalarda beton sınıfı C50, enine ve boyuna donatı sınıfı S420 olarak öngörülmüştür. C50 betonunun elastisite modülü (E_c) karakteristik basınç dayanımının (f_{ck}) fonksiyonu olarak TS 500'de verildiği gibi hesaplanmış ve $E_c = 37000$ MPa olarak dikkate alınmıştır. Donatı çeliğinin elastisite modülü ise $E_s = 200000$ MPa alınmıştır. Binalarda döşeme sistemi kirişli plak olarak tasarlanmıştır. Döşeme kalınlığı 15 cm olarak alınmıştır. Kat döşemelerinde hareketli yük $q = 3,5$ kN/m² alınmıştır. Dış cephe kirişleri üzerinde 3,5 kN/m, diğer kirişler üzerinde ise 2,5 kN/m duvar yükü dikkate alınmıştır. Son kat kirişleri üzerinde duvar yükü dikkate alınmamıştır. BA eleman öz ağırlıkları yapısal analizlerin gerçekleştirildiği program tarafından otomatik hesaplanarak dikkate alınmıştır.

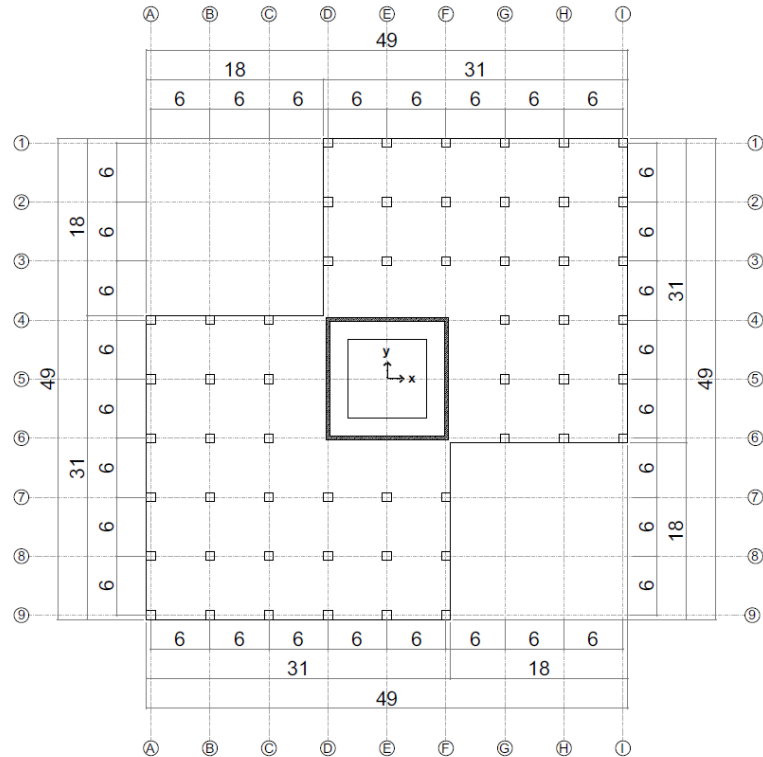


Şekil 6.1 YB-1'in kat planı ve YB-2 ilk 15. kat planı

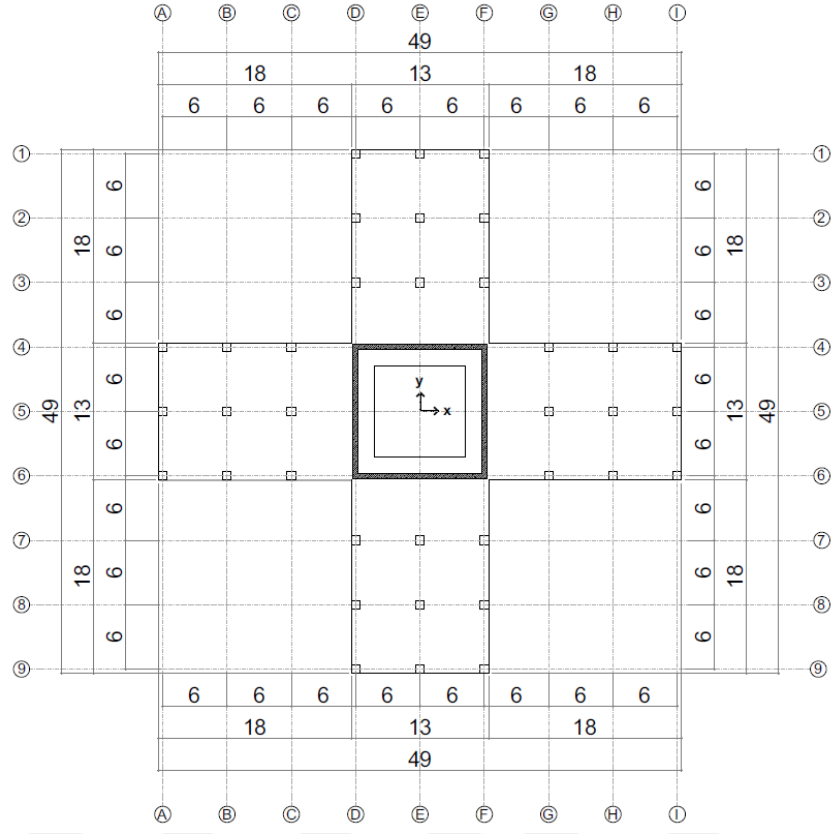
YB-1 binası kare şeklinde kat planına sahiptir ve en dış kolon aksları arası 48×48 m'dir. Bu binanın her kat planı aynı olarak tasarlanmıştır. Böylece uygulamada yaygın olarak tasarlanan bir yüksek bina modeli oluşturulmuştur. Taşıyıcı sistemin ana elemanı olan çekirdek perde binanın merkezine yerleştirilmiştir. Çekirdek perdenin tam ortasında 8×8 m² asansör boşluğu bulunmaktadır. Çekirdek perdeler ile asansör boşluğu arasında 2 m konsol boyuna sahip döşemeler bulunmaktadır. YB-1 binasına ait kat planı Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

YB-2 binası ilk 15 katta YB-1 binası ile aynı kat planına sahiptir (Şekil 6.1). YB-2'de 15. kattan sonra ve 22. kattan sonra kat planında geri çekilmeler yapılmıştır. Merkezdeki çekirdek perde ile asansör boşluğu YB-1 binasında olduğu gibidir. YB-2'nin ilk 15 kat planı, 16-22 kat planı, 23-30 kat planı Şekil 6.2'de gösterilmiştir.

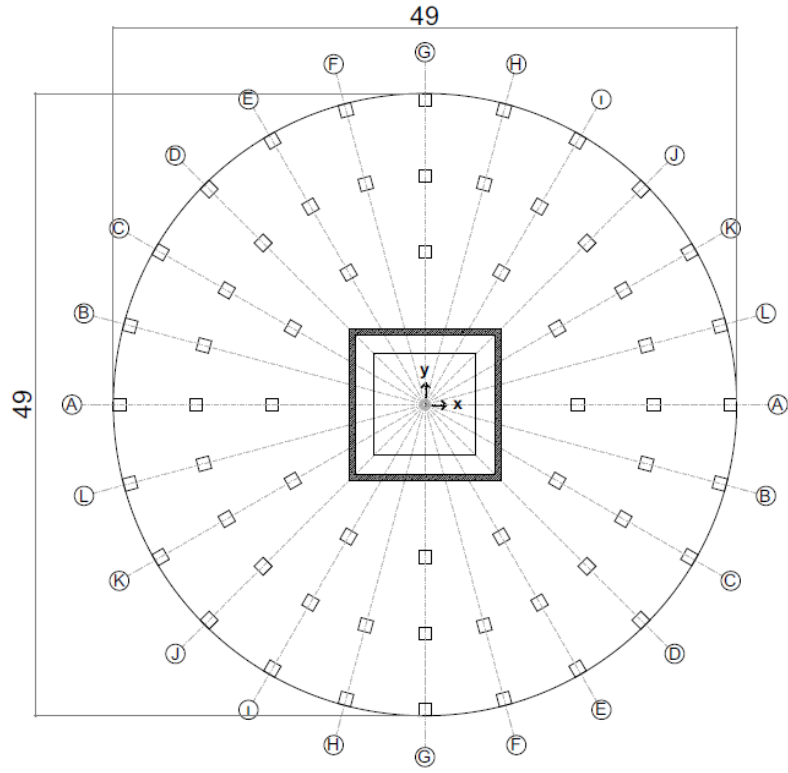
YB-3 binası dairesel kat planına sahiptir ve kat planı her katta aynıdır. En dış kolon aksları arasında dairenin çapı $D = 48$ m'dir. Çekirdek perde ile asansör boşluğunun konumu diğer binalar ile aynıdır. YB-3'ün kat planı Şekil 6.3'te gösterilmektedir.



Şekil 6.2 YB-2 binasının 16.-22. kat planı



Şekil 6.3 YB-2 binasının 23.-30. kat planı



Şekil 6.4 YB-3 binasını kat planı

6.3 Yüksek Binaların Deprem Etkisi Altında Tasarımı

Mimari tasarımı bir önceki bölümde açıklanan yüksek binaların deprem tasarımına ilişkin detaylar aşağıda verilmiştir.

6.3.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri ve Modelleme

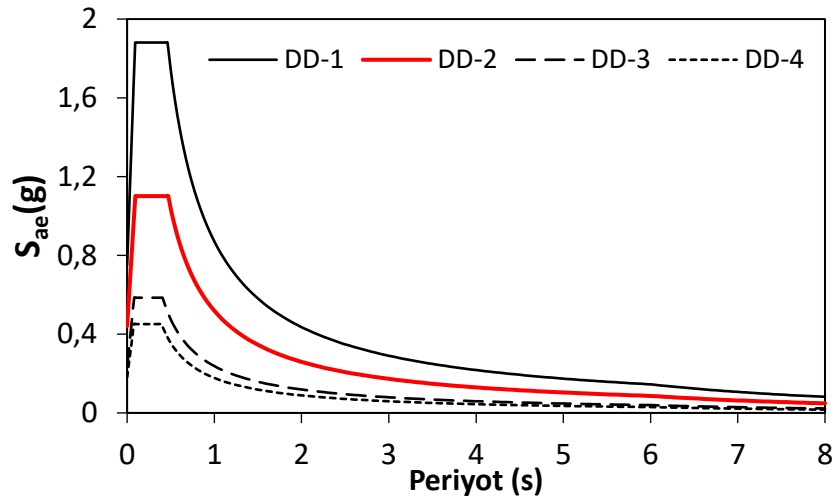
Mimari formları ve malzeme özellikleri bir önceki bölümde açıklanan yüksek binalar farklı performans hedefleri için üç aşamada tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan yüksek binaların taşıyıcı sistemleri deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek BA çerçeveler ile birlikte süneklik düzeyi yüksek boşluksuz BA perdeler tarafından karşılandığı sistemler olarak tasarlanmış ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 7$ olarak dikkate alınmıştır. Kullanım amacı işyeri olarak ön görülen binaların bina önem katsayısı $I = 1$ ve bina kullanım sınıfı $BKS = 3$ 'tür.

Binaların deprem etkisi altında tasarımında kullanılan farklı deprem yer hareketi düzeylerine ait çeşitli veriler Tablo 6.1'de listelenmiştir. Burada PGA en büyük yer ivmesi, PGV en büyük yer hızı, S_s kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, S_1 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, S_{D1} 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı, T_A ve T_B ise yatay elastik tasarım ivme spektrumunun köşe periyotlarıdır. Tasarlanan yüksek binaların ZD yerel zemin sınıfına giren zeminler üzerinde bulunduğu kabul edilmiş ve yerel zemin etki katsayıları ZD yerel zemin sınıfına bağlı olarak belirlenmiştir. Sönüm oranı %5 alınmıştır.

Dikkate alınan deprem yer hareketi düzeyleri için yatay elastik tasarım ivme spektrumları Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Elastik tasarım spektrumların ordinatı yer çekimi ivmesi (g) cinsinden yatay elastik tasarım spektral ivme, apsisi ise doğal titreşim periyodudur.

Tablo 6.1 Deprem yer hareketi düzeylerine ve yatay elastik tasarım spektrumlarına ait veriler

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	PGA (g)	PGV (cm/s)	S_S	S_1	S_{DS}	S_{D1}	T_A (s)	T_B (s)
DD-1	0,752	46,02	1,881	0,478	1,881	0,871	0,093	0,463
DD-2	0,411	24,27	1,002	0,246	1,101	0,519	0,094	0,471
DD-3	0,165	9,601	0,394	0,099	0,585	0,238	0,081	0,406
DD-4	0,119	7,09	0,287	0,074	0,451	0,178	0,079	0,394



Şekil 6.5 Farklı deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım spektrumları

DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı $S_{DS} = 1,101 > 0,75$ olduğundan binaların deprem etkisi altında tasarımında esas alınacak deprem tasarım sınıfı $DTS = 1$ olarak belirlenmiştir. Deprem hesabı bakımından bina yüksekliği (H_N) temel üst kotunda tanımlanan bina tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak dikkate alınmıştır. Buna göre çalışmada kullanılan tüm binalar için $H_N = 105$ m'dir. $DTS = 1$ olan binalar $H_N > 70$ m olması durumunda yüksek bina olarak sınıflandırılmaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılan binaların deprem etkisi altında tasarımında bina yükseklik sınıfı $BYS = 1$ olarak belirlenmiştir.

TBDY (2018)'de tanımlanan dört deprem yer hareketi düzeyi için yüksek binalarda ($BYS = 1$) uygulanmak üzere $DTS = 1$ için tanımlanan normal performans hedefleri ile dikkate alınacak tasarım/değerlendirme yaklaşımları Tablo 6.2'de gösterilmiştir. Buna göre çalışmada kullanılan yüksek binaların DD-2 deprem yer hareketi etkisinde

Kontrollü Hasar (KH) performans hedefini sağlamak üzere Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ile boyutlandırması (ön tasarımı) yapılmıştır.

Daha sonra ön tasarımı tamamlanmış olan yüksek binaların DD-4 deprem yer hareketinin etkisi altında Kesintisiz Kullanım (KK) performans hedefini gerçekleştirmek amacıyla Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ile deprem performansı değerlendirmesi yapılmıştır. Son aşamada ise, önceki tasarım aşamaları tamamlanmış olan yüksek binaların DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans hedefini gerçekleştirmek için Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ile deprem performansı değerlendirmesi yapılmıştır. Tablo 6.2'ye göre $DTS = 1$ için DD-3 deprem yer hareketi altında normal performans hedefi tanımlanmamıştır. Bununla birlikte Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımında etkin görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında dikkate alınan λ katsayısının hesabında kullanıldığından DD-3 deprem yer hareketi düzeyine ait yatay elastik tasarım spektrumu da Şekil 6.4'te gösterilmiştir.

Tablo 6.2 $DTS = 1$ ve $BYS = 1$ için performans hedefleri ve tasarım/değerlendirme yaklaşımları

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Performans Hedefi	Tasarım/Değerlendirme Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT
DD-3	–	–
DD-2	KH	DGT
DD-1	GÖ	ŞGDT

Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımında yapılan doğrusal deprem hesabında dikkate alınan yüksek bina taşıyıcı sistemleri üç boyutlu olarak modellenmiştir. Betonarme kiriş ve kolonlar çubuk sonlu elemanları olarak modellenmiş ve bu elemanların etkin kesit rijitlikleri TBDY (2018)'e göre belirlenmiştir. Yüksek binaların çekirdeğini oluşturan ve enkesit şekli dikdörtgen olan betonarme perdeler kabuk sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiş ve kullanılan sonlu elemanların lineer boyutları iç kuvvet dağılımının yeterince doğru olarak hesaplanmasını sağlayacak ($60 \times 60 \text{ cm}^2$ sonlu elemanlar) şekilde belirlenmiştir. Perdelerin düzlem içi ve düzlem dışı davranışına ait etkin kesit rijitlikleri TBDY (2018)'e göre belirlenmiştir. Kat döşemeleri kabuk sonlu

elemanlar kullanılarak rijit diyafram olarak modellenmiştir. Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımında betonarme döşemelerin etkin kesit rijitliği çarpanları, perdeler ve çubuk elemanlara ait değerlerle birlikte Tablo 6.3'te gösterilmiştir.

Tablo 6.3 BA taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları

BA Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0,50	0,50
Döşeme	0,25	0,25
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	0,25	1,0
Döşeme	0,25	1,0
<i>Çubuk Eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Çerçeve Kirişi	0,35	1,0
Çerçeve Kolonu	0,70	1,0

Tekil düğüm noktası kütleleri sabit ve hareketli yüklerin toplamından hesaplanmıştır. Hareketli yük katılım katsayısı $n = 0,30$ olarak alınmıştır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak modellendiğinden kat kütleleri, kat kütle merkezindeki düğüm noktasında düzlem içi üç bağımsız rijit hareket (iki yatay ötelenme ve düşey eksen etrafındaki dönme) serbestlik derecesine karşı gelecek şekilde tanımlanmıştır.

6.3.2 Mod Birleştirme Yöntemi ile Doğrusal Deprem Hesabı

Çalışmada kullanılan yüksek binaların doğrusal deprem hesabı taşıyıcı sistemin modal davranışını esas alan ve analizi deprem spektrumuna dayalı gerçekleştiren Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır. Yukarıda açıklanan modelleme tekniklerini kullanarak çalışmada dikkate alınan yüksek binaların üç boyutlu analitik modelleri SAP 2000 (CSI, 2018) yapısal analiz programında oluşturulmuştur. Mod Birleştirme Yöntemi'nde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı (YM), (X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir doğal titreşim modu için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden az olmaması kuralına göre belirlenmiştir. Ayrıca katkısı %3'ten büyük olan bütün doğal titreşim modları dikkate alınmış ve her iki deprem doğrultusu için hesaplanan YM'lerin büyük olanı üç boyutlu doğrusal deprem hesabında dikkate alınmıştır.

Tablo 6.4 Hesaba katılan yeterli titreşim modu sayısı (n)

	YB-1		YB-2		YB-3	
n	$\frac{\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(X)}}{m_t}$	$\frac{\sum_{n=1}^{YM} m_{ty n}^{(Y)}}{m_t}$	$\frac{\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(X)}}{m_t}$	$\frac{\sum_{n=1}^{YM} m_{ty n}^{(Y)}}{m_t}$	$\frac{\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(X)}}{m_t}$	$\frac{\sum_{n=1}^{YM} m_{ty n}^{(Y)}}{m_t}$
1	0,68118	0	0,60273	0,02318	0,68131	0
2	0	0,68061	0,02330	0,60204	0	0,68088
3	0	0	0	0	0	0
4	0,16452	0	0,19773	0,00070	0,16461	0
5	0	0,16384	0,00067	0,19688	0	0,16393
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0,06226	0	0,07144	0	0,06243	0
9	0	0,06193	0	0,07104	0	0,06210
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,03547	0	0,03045	0
12	0,0303	0	0	0,0354	0	0,03028
13	0	0,03014	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0,01642	0	0,01959	0	0,01645	0
17	0	0,01646	0	0,01957	0	0,01647
18	–	–	0	0	–	–
19	–	–	0,01057	0	–	–
20	–	–	0	0	–	–
21	–	–	0	0,01071	–	–
Σ	0,95468	0,95298	0,96150	0,95952	0,95525	0,95366

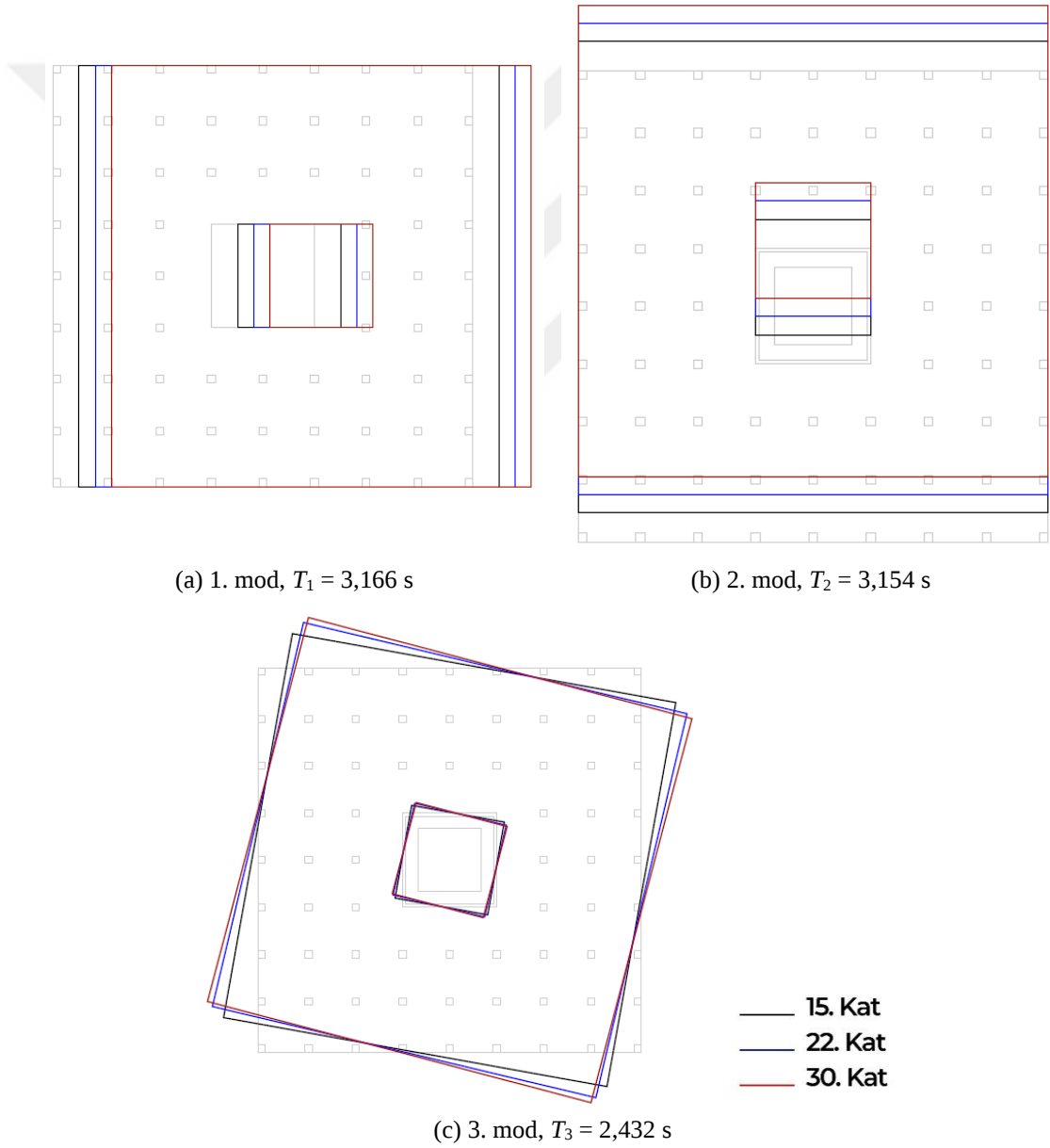
Yukarıda belirtilen özellikleri sağlayan doğal titreşim modları ve her mod için (X) ve (Y) deprem doğrultularında hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütesine oranı YB-1, YB-2 ve YB-3 için Tablo 6.4’te listelenmiştir. Burada n serbest titreşim mod sayısını, $m_{txn}^{(X)}$ ve $m_{ty n}^{(Y)}$ sırasıyla (X) ve (Y) deprem doğrultuları için n ’inci serbest titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütesini, m_t ise yüksek binanın toplam kütesini göstermektedir.

Tablo 6.5 Hesaba katılan yeterli titreşim modlarına ait periyotlar (s)

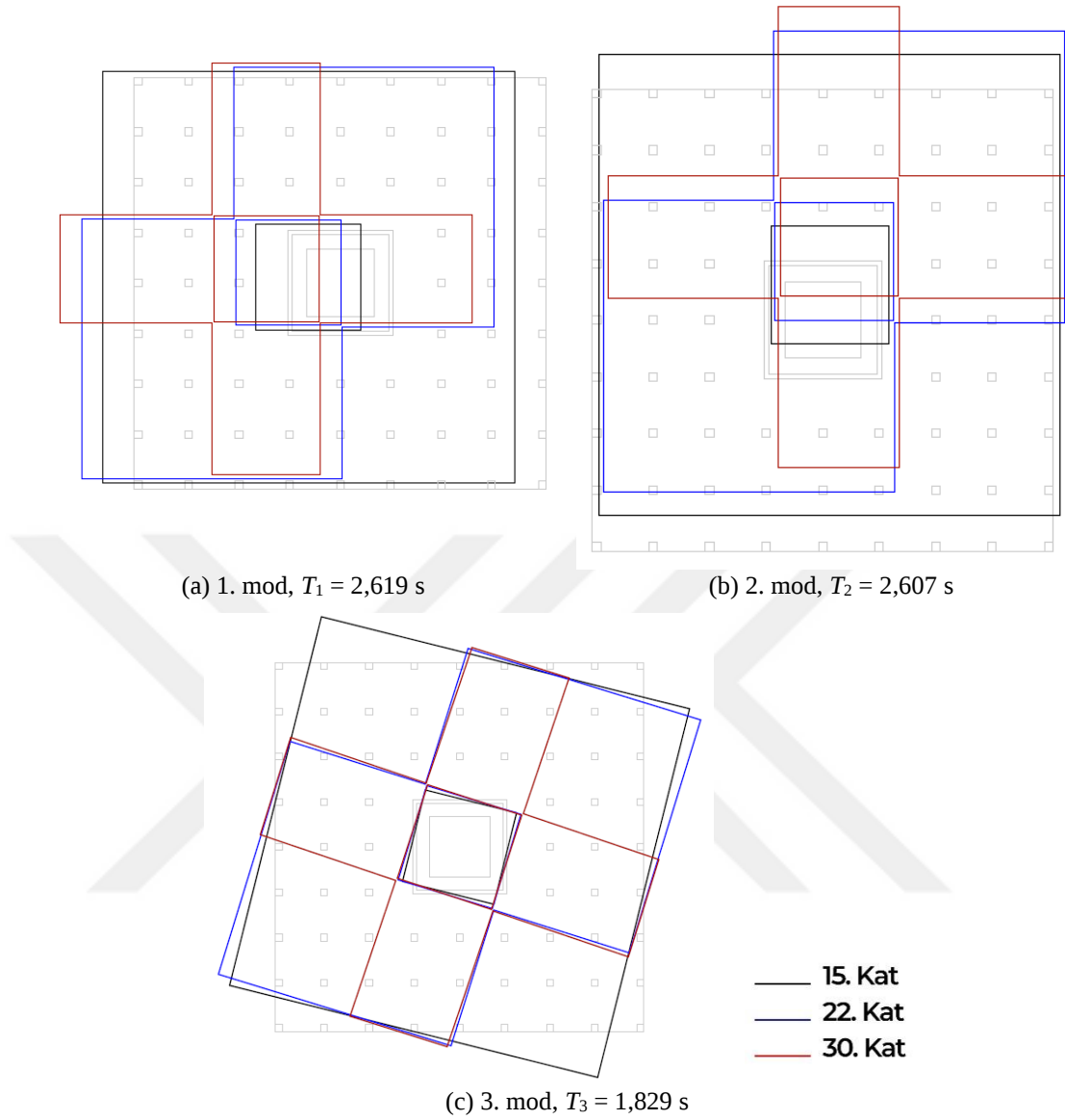
n	YB-1	YB-2	YB-3
1	3,166	2,619	2,844
2	3,153	2,607	2,833
3	2,432	1,829	1,953
4	0,849	0,784	0,765
5	0,844	0,780	0,761
6	0,824	0,684	0,664
7	0,485	0,411	0,393
8	0,395	0,360	0,356
9	0,392	0,357	0,354
10	0,338	0,297	0,277
11	0,255	0,223	0,220
12	0,244	0,221	0,218
13	0,241	0,220	0,210
14	0,201	0,184	0,172
15	0,185	0,170	0,168
16	0,173	0,155	0,156
17	0,171	0,153	0,155
18	–	0,140	–
19	–	0,120	–
20	–	0,118	–
21	–	0,119	–

Tablo 6.4'teki sonuçlara göre YB-1 ve YB-3 için ilk 17 mod %95 kuralının sağlanması için yeterli olurken, YB-2 için analizlerde dikkate alınması gereken titreşim modu sayısı $Y_M = 21$ olarak belirlenmiştir. YB-2'nin bazı katlarında planda her iki ana eksene göre simetriden ayrıldığı ve kat kütlelerinin bina yüksekliği boyunca her katta aynı olmadığı unutulmamalıdır. YB-2'de birbirine dik bina eksenlerinin her birinin doğrultusundaki hakim titreşim modunda taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının yüksek binanın toplam kütlelerine oranı (%60), diğer binalara (%68) göre azalmış ve yüksek modların katkısı artmaya başlamıştır. Bu sonuçlar yüksek binanın mimarı formunun modal davranışına etkisinin incelenmesi bakımından önemlidir.

Hesaba katılan yeterli titreşim modlarına ait periyotlar Tablo 6.5’te belirtilmiştir. Tablo 6.4’ten çalışmada kullanılan yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin hakim burulma modunun 3. mod olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 6.5’teki periyotlar incelendiğinde (X) ve (Y) doğrultularındaki hakim ötelenme modu periyodunun hakim burulma modu periyodundan daha uzun olduğu görülmektedir. Bu sonuç, TBDY (2018)’e göre yüksek bina taşıyıcı sisteminin düzenlenmesinde dikkate alınacak önemli hususlardan birisidir. Binanın mimari formu nedeniyle kat kütlelerinin azaldığı YB-2 ve YB-3’te doğal titreşim modlarına ait periyotların kısaldığı görülmektedir.

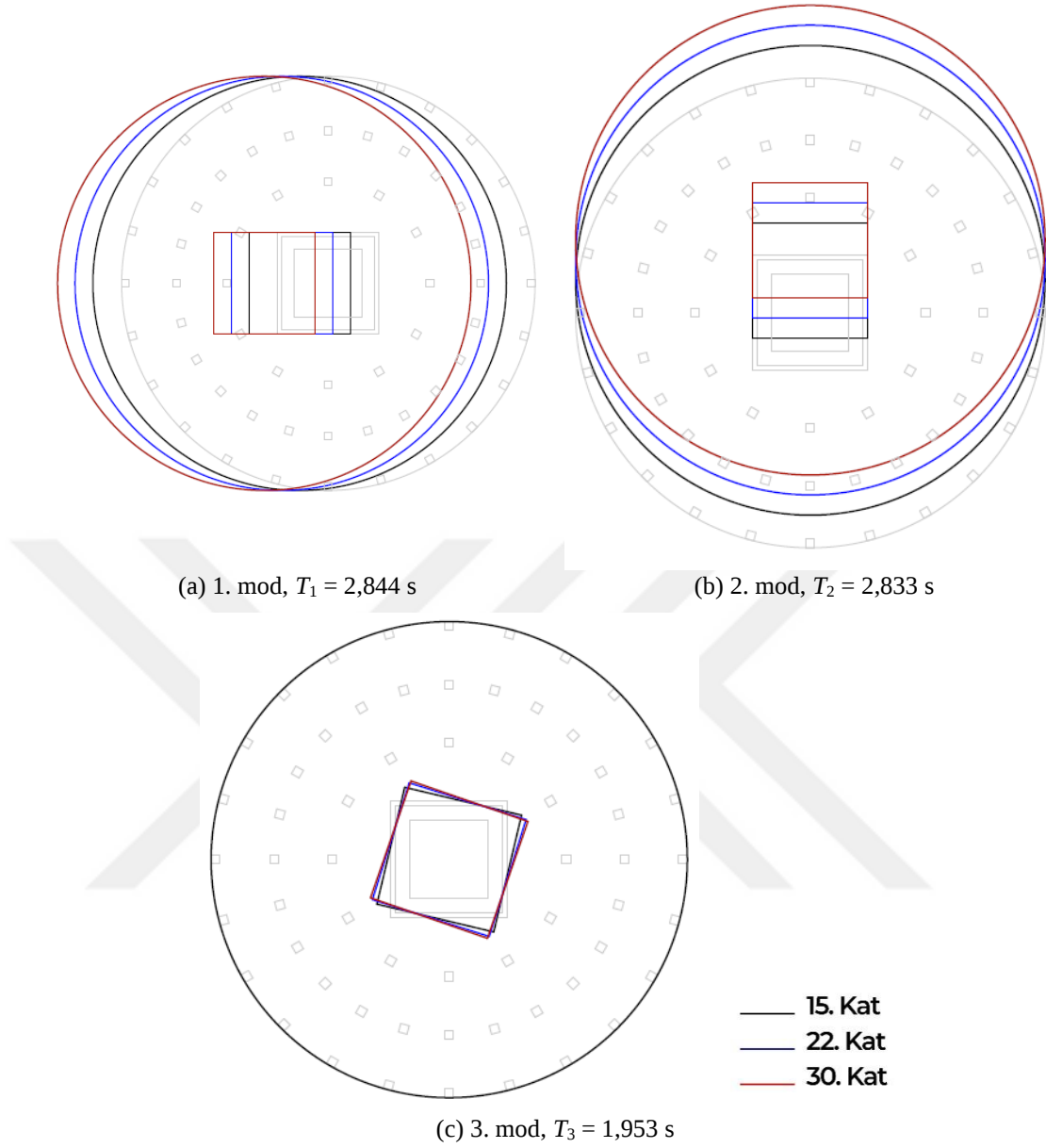


Şekil 6.6 YB-1’in ilk üç mod şekli



Şekil 6.7 YB-2'in ilk üç mod şekli

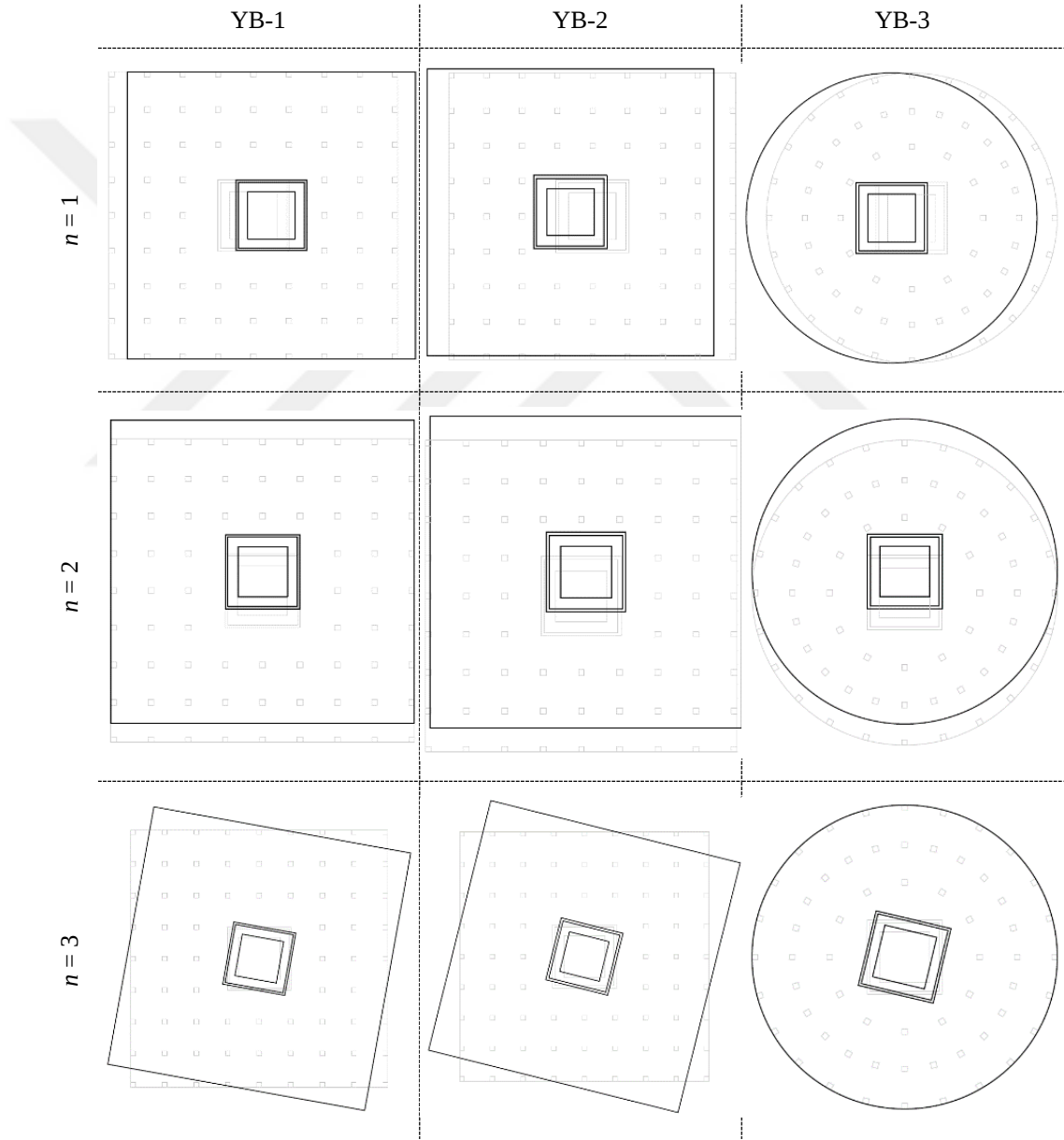
Çalışmada kullanılan yüksek binaların ilk üç serbest titreşim mod şekilleri Şekil 6.5, 6.6 ve 6.7'de gösterilmiştir. Kütleye göre normalize edilmiş mod genlikleri kendi aralarında belirli bir ölçekte çizilmiştir. Mod şekilleri 15., 22. ve 30. kat seviyelerinde çizilmiştir. Tüm binalarda ilk iki mod (X) ve (Y) doğrultularında yatay ötelenme modu, üçüncü mod ise hakim burulma modudur. Her binanın kendi içerisinde (X) ve (Y) doğrultularında yatay ötelenme genliklikleri aynıdır. Bununla birlikte binalar arasında en büyük yatay ötelenme genlikleri YB-2, en küçük genlikler ise YB-1 için elde edilmiştir. Dairesel kesitli YB-3 binasının burulma modu merkezi çekirdek perdeden takip edilebilir.



Şekil 6.8 YB-3'ün ilk üç mod şekli

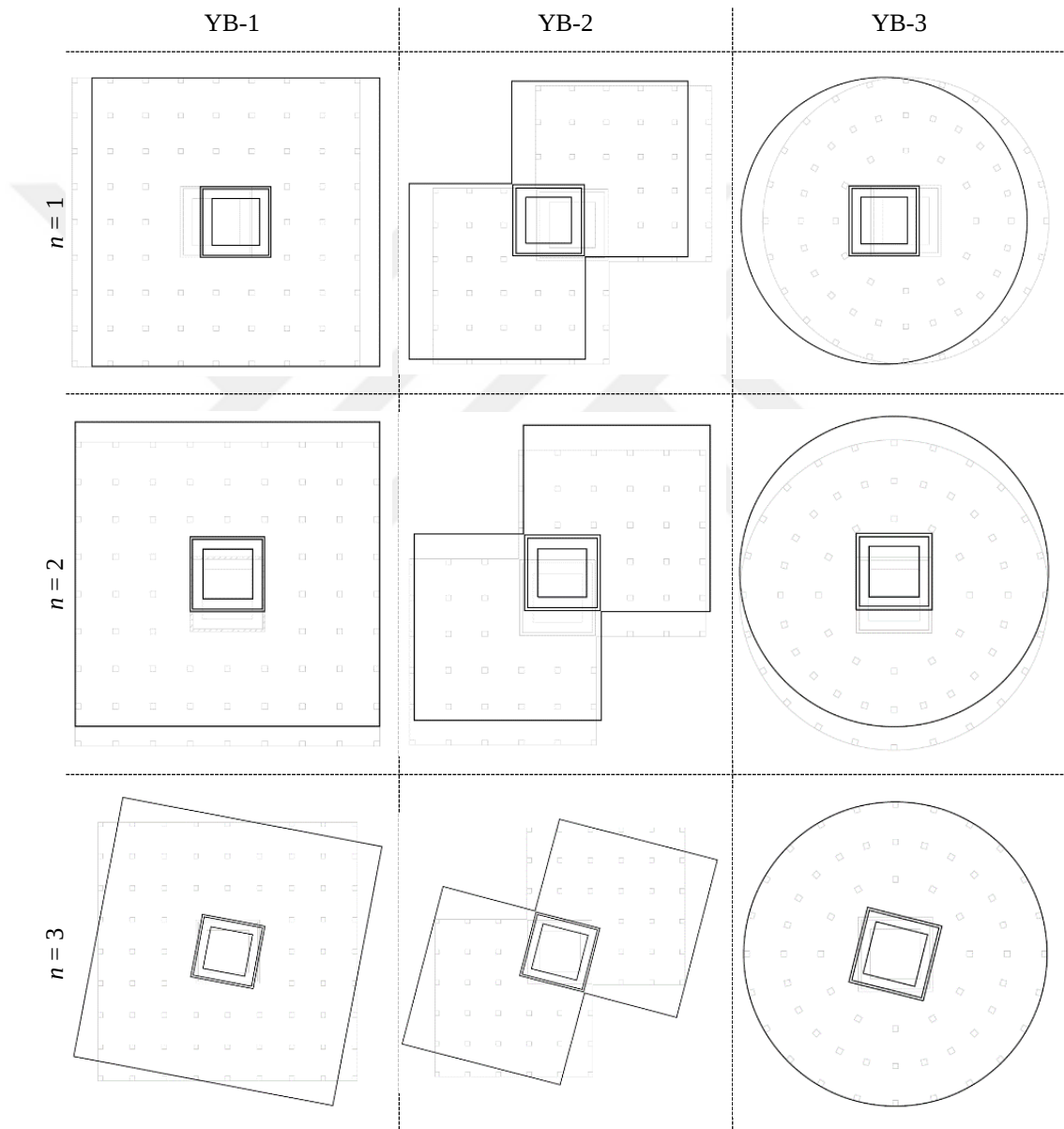
Rijitlik özellikleri kat kütle merkezinden geçen (X) ve (Y) eksenlerine göre simetrik olan ve her katın kütle dağılımı da bu eksenlere göre simetrik olan YB-1 ve YB-3'de yerin (X) ya da (Y) doğrultusunda ötelenmesi, bu binalarda sadece (X) ya da (Y) doğrultusunda yatay ötelenmeye yol açar; yerin dönme hareketi ise binada yalnız burulmaya yol açar. Diğer bir ifadeyle, YB-1 ve YB-3 binaları yer hareketinin (X), (Y) ve (θ) bileşenlerinden herhangi birisinin etkisinde kaldığında, deprem yer hareketine sırasıyla yalnız yatay (X) ötelenmesi, yatay (Y) ötelenmesi ve burulma hareketiyle tepki verecektir. Bunun sonucunda deprem yer hareketi düşey eksen

çevresinde dönme içermiyorsa bu binalarda burulma oluşmaz. Örneğin deprem yer hareketinin sadece (X) doğrultusunda etkimesi durumunda YB-1 ve YB-3 binalarında sadece (X) doğrultusunda yatay ötelenme meydana gelecek; (Y) doğrultusunda yatay ötelenme ve burulma ise oluşmayacaktır. Benzer şekilde deprem yer hareketinin sadece (Y) doğrultusunda etkimesi durumunda YB-1 ve YB-3 binalarında sadece (Y) doğrultusunda yatay ötelenme meydana gelecek; (X) doğrultusunda yatay ötelenme ve burulma ise oluşmayacaktır.

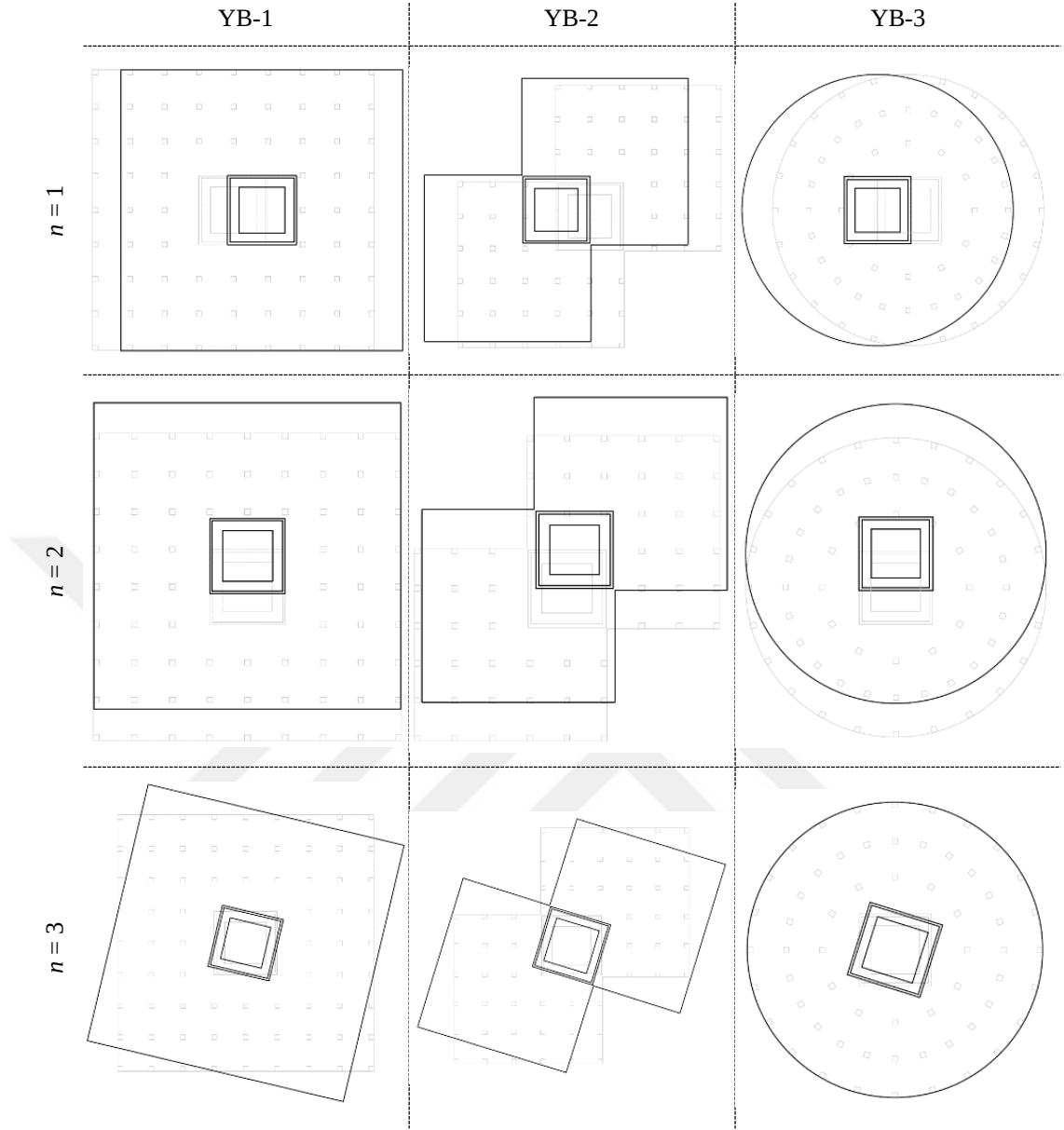


Şekil 6.9 Örnek binaların 15. seviyesinde ilk üç mod şekli

Çalışma kapsamında tasarlanan yüksek binaların modal davranışlarını daha yakından izlebilmek açısından hakim modlara ait serbest titreşim mod şekilleri ve genlikleri YB-2 binasında kat planlarının değiştiği 15., 16., 22. ve 23. katlar ile son katlar için Şekil 6.8 – 6.12’de gösterilmiştir. Buradaki mod şekilleri incelenerek yüksek binaların mimari form ve kat planı değişiminin mod şekillerine olan etkisi araştırılmıştır.



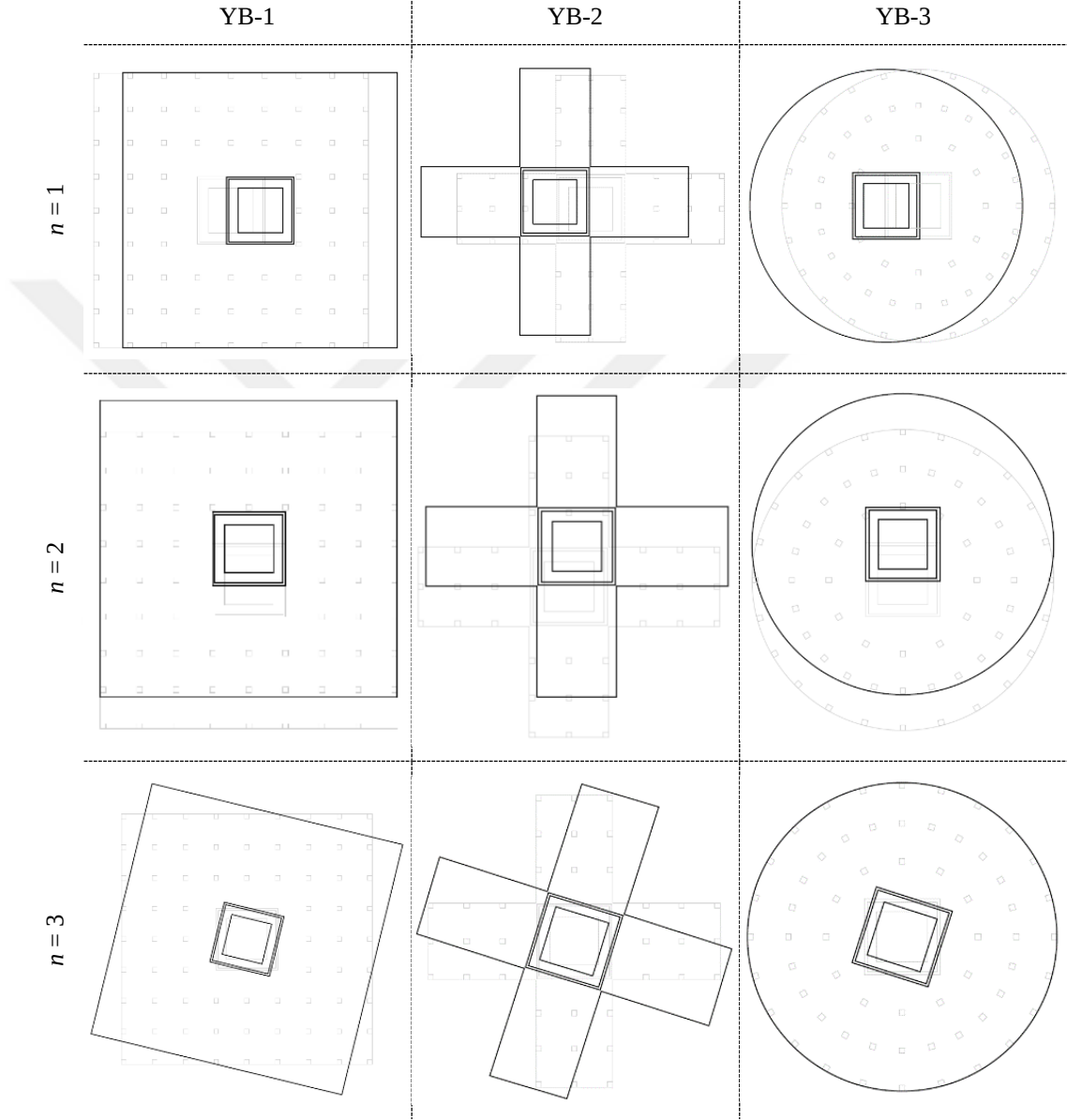
Şekil 6.10 Örnek binaların 16. kat seviyesinde ilk üç mod şekli



Şekil 6.11 Örnek binaların 22. kat seviyesinde ilk üç mod şekli

16. – 22. katları arasında hem rijitlik özellikleri hem kütle dağılımı bu seviyedeki katların kütle merkezinden geçen (X) ve (Y) eksenlerine göre simetrik olmayan YB-2 binasında ise durum farklıdır. Deprem yer hareketinin herhangi bir bileşeni etkisinde bu binada hem yatay (X) ötelenmesi, hem de yatay (Y) ötelenmesi oluşur. 15. kat seviyesinde YB-2 binasının rijitlik özellikleri ve kütle dağılımı (X) ve (Y) eksenlerine göre simetrik olmasına rağmen, bu kat seviyesinde de aynı ötelenme hareketi görülmektedir. Bununla birlikte binanın rijitlik özelliklerini çok büyük oranda çekirdek perdeler domine ettiğinden (X) doğrultusundaki hakim modda (Y)

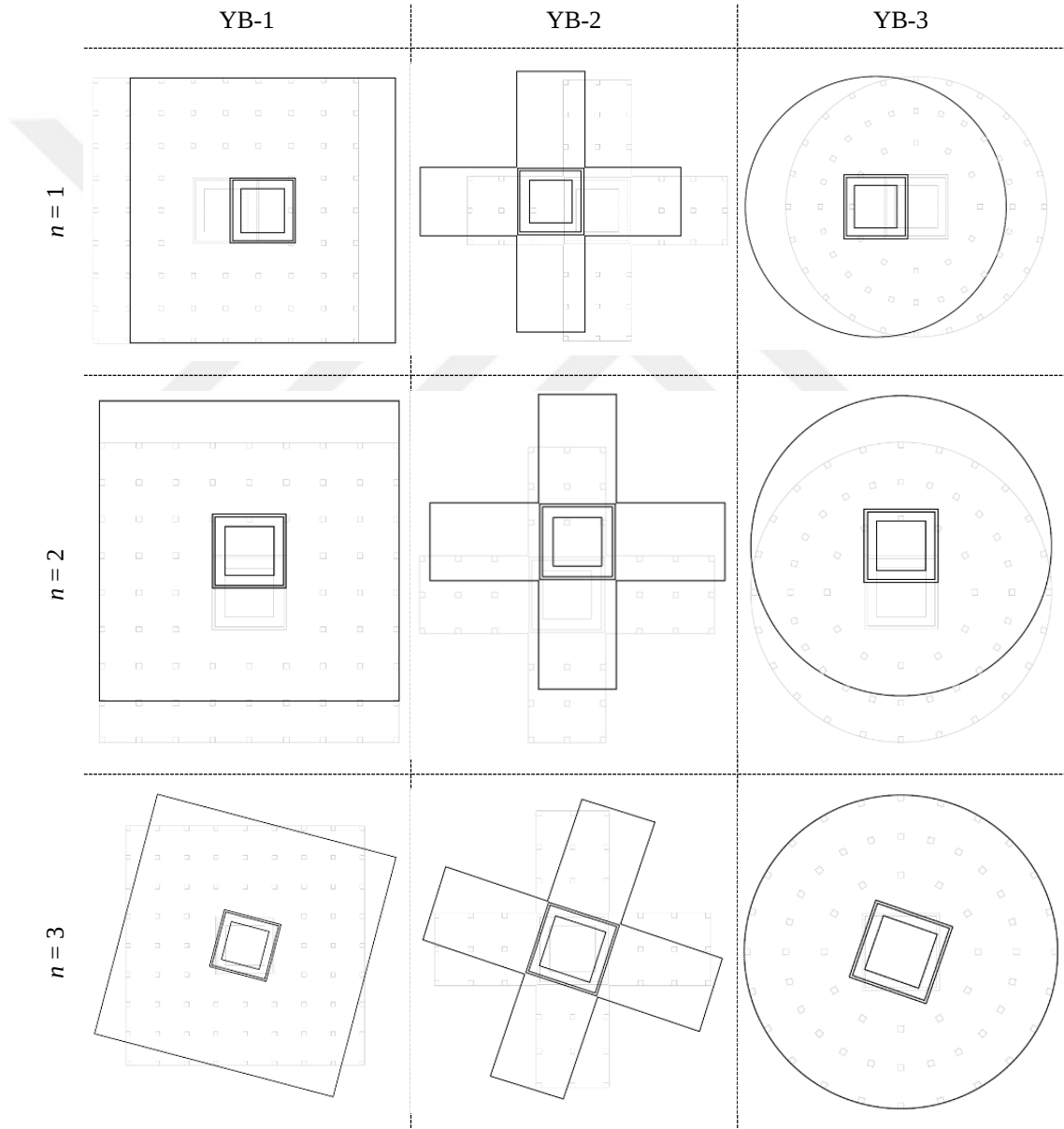
doğrultusunda yatay ötelenme çok azdır. 15. kat seviyesinde YB-1 ile YB-2'nin 3. modları karşılaştırıldığında ise hakim burulma modunun YB-2'de daha belirgin şekilde ortaya çıktığı görülmektedir. Ayrıca YB-2'de yatay ötelenme genlikleri YB-1'dekilere oranla daha büyüktür (Şekil 6.8).



Şekil 6.12 Örnek binaların 23. kat seviyesinde ilk üç mod şekli

Kat planında yapılan mimari form değişikliğinin mod şekillerine ve genliklerine etkisini incelemek amacıyla aynı binaların ilk üç mod şekli 16. kat seviyesinde de incelenmiştir (Şekil 6.9). Kat planının geometrik formunda değişiklik yapılan YB-2

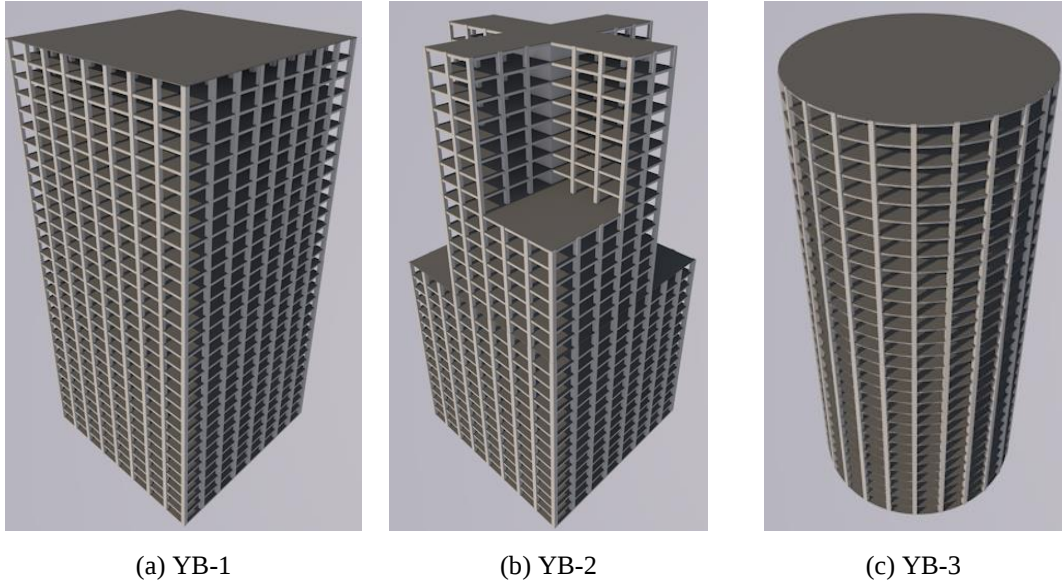
binasında 16. kat seviyesinde yatay ötelenme genlikleri YB-1'dekilere oranla daha fazladır. Sabit dikdörtgen taban kesitine sahip YB-1 ile sabit dairesel taban kesitine sahip YB-3 binalarının mod şekilleri aynı, YB-3'ün (X) ve (Y) doğrultularındaki yatay ötelenme genlikleri ise YB-1'e göre daha büyüktür. 16. kat seviyesinde en büyük dönme genliği YB-2 binasında, en küçük dönme genliği ise YB-1 binasında hesaplanmıştır. İlk üç mod dikkate alınarak yatay ötelenme ve dönme genlikleri için yapılan bu karşılaştırma 22. kat seviyesinde de geçerlidir (Şeki 6.10).



Şekil 6.13 Örnek binaların 30. kat seviyesinde ilk üç mod şekli

Kat planında hem rijitlik özellikleri hem de kütle dağılımı bakımından tekrar simetrinin sağlandığı 23. ve 30. katların ilk üç mod şekli Şekil 6.11 ve 6.12’de gösterilmiştir. 22. ve 30. kat seviyelerinde en büyük yatay ötelenme genlikleri sırasıyla YB-2, YB-3 ve YB-1 binalarında hesaplanmıştır. Aynı kat seviyelerinde YB-1’in dönme genlikleri en küçüktür. 23. kat seviyesinde YB-2’nin dönme genliği YB-3’ten büyük olmakla birlikte birbirine çok yakındır ve 30. kat seviyesinde YB-3 için hesaplanan dönme genliği YB-2’in dönme genliğinden daha büyüktür.

Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı kapsamında son olarak etkin görelî kat ötelemeleri hesaplanmış ve TBDY (2018)’de verilen sınır değerleri sağlayacak şekilde BA eleman boyutları belirlenmiştir. Buna göre yüksek binaların perde kalınlığı 40 cm, kiriş boyutları 25×60 cm², kare olarak tasarlanan kolon enkesit boyutları ilk 15 katta 100×100 cm², 16. – 22. katlarda 90×90 cm² ve 23. – 30. Katlarda ise 80×80 cm² olarak belirlenmiştir. Döşeme kalınlığı ise 15 cm olarak dikkate alınmıştır. Yukarıda verilen doğal titreşim modları ve bunlara ait periyotlar belirtilen boyutlar ve Tablo 6.3’teki etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılarak belirlenmiştir. Tasarlanan yüksek binaların üç boyutlu görüntüleri Şekil 6.13’te verilmiştir.



Şekil 6.14 Tasarlanan yüksek binaların üç boyutlu görüntüsü

Yüksek binaların deprem etkisi altında tasarımında gerekli dayanımı veren donatı oranlarından ziyade etkin görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasının tasarımı

belirleyici olduğu görülmüştür. Örneğin dikkate alınan deprem yer hareketi düzeyi için kolonlarda hesaplanan boyuna donatı oranı %1 olmasına rağmen, etkin görelî kat ötelemelerini istenilen sınırlarda tutabilmek için kolon enkesit boyutları boyuna donatı oranı arttırılarak azaltılamamıştır. Kısacası yüksek binaların deprem tasarımı bakımından başlıca özelliğinin esnek binalar olduğu gerçeğı açıkça görülmektedir. Tez çalışmasının amacı yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin mimari form ve yapısal davranış açısından incelenmesi olduğundan Tasarım Aşaması II ve Tasarım Aşaması III’te farklı deprem yer hareketi etkileri altında farklı performans hedefleri için yapılan şekildeğıştirme esaslı değerdendirmelere ait detaylar ve nihai enine ve boyuna donatılar burada verilmemiştir.

Birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultularında DD-2 deprem yer hareketi düzeyine ait yatay elastik tasarım spektrumundan yararlanarak hesaba katılan yeterli titreşim modu sayısı için elde edilen davranış büyüklüklerinin (taban kesme kuvveti ve tepe yatay yerdeğıştirmesi) en büyük değerdleri Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ancak eşzamanlı olmayan en büyük modal davranış büyüklükler Tam Karesel Birleştirme Kuralı kullanılarak istatistiksel olarak birleştirilmiştir. Bu birleştirme işlemleri analiz programı kapsamında gerçekleştirilmiştir.

DD-2 deprem yer hareketi etkisinde bir doğal titreşim modu için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95’inden az olmaması kuralına göre hesaplanan en büyük taban kesme kuvvetleri ve taban kesme kuvveti katsayıları Tablo 6.6’da verilmiştir. Yüksek modların katkısını da içeren bu taban kesme kuvveti değerdleri (X) ve (Y) deprem doğrultularında birbirine çok yakın değerdler olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte taban kesme kuvveti katsayılarında ise önemli farklar vardır. Açıkça görüldüğü gibi depremin elastik dayanım talebi dikkdörtgen tabanlı olan ve yüksekliğı boyunca kat planları değışmeyen YB-1 için en azdır. En büyük elastik dayanım talebi ise YB-2 için hesaplanmıştır ve YB-1 için hesaplanan elastik dayanım talebinden yaklaşık %20 fazladır. Yüksek binanın taban kesitinin dairesel olarak tasarlanması durumunda (YB-3) ise depremin elastik dayanım talebi YB-1’e göre %9,6 civarında artmıştır. Bu sonuçlar yüksek

binanın mimari formunun depremin elastik dayanım talebini nasıl değiştirdiğini açıkça göstermektedir.

Tablo 6.6 Tasarım depremi etkisinde hesaplanan taban kesme kuvvetleri ve katsayıları

Bina Modeli	W (kN)	Taban Kesme Kuvveti (kN)		V/W	
		(X) doğrultusu	(Y) doğrultusu	(X) doğrultusu	(Y) doğrultusu
YB-1	687525	15287,433	15293,184	0,02224	0,02224
YB-2	559445,55	14943,796	14956,197	0,02677	0,02673
YB-3	553225,489	13470,869	13488,002	0,02435	0,02438

Yalnızca ilk üç mod dikkate alınarak DD-2 deprem yer hareketi etkisinde Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvveti değerleri ve taban kesme kuvveti katsayıları ise Tablo 6.7’de listelenmiştir. Bu sonuçlar yüksek binalarda yüksek modların yapısal tepkiye katkısının ne kadar önemli olduğunu göstermesi bakımından kayda değerlidir. DD-2 deprem yer hareketi etkisinde ilk üç mod dikkate alınarak hesaplanan taban kesme kuvveti değerlerinin, modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95’inden az olmaması kuralına göre hesaplanan en büyük taban kesme kuvvetlerine oranı YB-1 için %70, YB-2 için %65 ve YB-3 için %72’dir. En küçük oran bazı kat seviyelerinde rijitlik özellikleri ve kütle dağılımında simetriden ayrılımların olduğu YB-2 için hesaplanmıştır.

Tablo 6.7 İlk üç mod için tasarım depremi etkisinde hesaplanan taban kesme kuvvetleri ve katsayıları

Bina Modeli	W (kN)	Taban Kesme Kuvveti (kN)		V/W	
		(X) doğrultusu	(Y) doğrultusu	(X) doğrultusu	(Y) doğrultusu
YB-1	687525	10790,728	10823,417	0,01570	0,01574
YB-2	559445,55	9755,29	9777,38	0,01743	0,01748
YB-3	553225,489	9685,279	9719,212	0,01751	0,01757

Son olarak DD-2 deprem yer hareketi etkisinde hesaplanan en büyük tepe yatay yerdeğiştirmesi değerleri çekirdek perde ve taşıyıcı sistem bazında Tablo 6.8’de verilmiştir. Tasarım spektrumunun şeklinde anlaşılacağı üzere periyot kısaltıkça spektral ivmeler büyümeaktadır. Bununla birlikte açısal frekanslar da doğal titreşim

periyodu ile ters orantılıdır. Spektral yerdeşiftirmeler spektral ivme ile doğru orantılı, doğal açısal frekansın karesi ile ters orantılıdır. Sonuç olarak Tablo 6.8’den görüldüğü üzere, hesaplanan en büyük tepe yatay yerdeşiftirme değerleri yukarıdaki açıklamalar ile genel olarak uyumludur. Ayrıca çekirdek perdede hesaplanan en büyük tepe yatay yerdeşiftirme değerleri taşıyıcı sistemin tepe noktasında hesaplanan değerlerden ortalama %10 daha küçüktür.

Tablo 6.8 En büyük tepe yatay yerdeşiftirmesi değerleri (m)

Bina Modeli	Çekirdek Perde		Taşıyıcı Sistem	
	(X) doğrultusu	(Y) doğrultusu	(X) doğrultusu	(Y) doğrultusu
YB-1	0,08771	0,08732	0,09675	0,09636
YB-2	0,08292	0,08256	0,09068	0,09032
YB-3	0,07902	0,07871	0,08747	0,08716

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR

Yüksek binalar, şehir merkezlerindeki nüfus yoğunluğunun artışı ve arazi alanı yetersizliği nedeniyle ülkeler için çözüm yöntemi olarak görülmektedir ve bu yöntemi ülkelerinin teknolojik gücünü göstermek ve prestij oluşturmak için kullanmaktadır. 19. yy öncesinde yığma olarak yapılan yüksek binalar teknolojinin gelişmesi ve yeni malzemelerin bulunmasıyla çelik ve betonarme malzeme ile daha hafif olarak inşa edilmektedir. Bina yüksekliği artışı sonucunda yeni taşıyıcı sistemler geliştirilmiş beton ve çelik malzemeleri geliştirilmiştir.

Mevcut yüksek yapıların mimari form ve yapısal özelliklerinin oldukça detaylı bir şekilde araştırıldığı ve TBDY'nin kurallarına uygun olarak tasarlanan yüksek binaların modal karakteristiklerinin ve çeşitli yapısal tepki parametrelerinin analiz sonucu belirlendiği bu tez çalışmasından elde edilen araştırma bulguları ve sonuçlar aşağıda açıklanmıştır:

- Yüksek bina tanımı için baz alınan üst yükseklik sınırı ülkeden ülkeye değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Yüksek binalar ve kentsel yaşamlar konseyi, yüksek binaları sınıflandırırken, 50 m ve üzeri binaları yüksek bina 300 m ve üzeri binaları süper yüksek bina, 600 m ve üzeri binaları mega yüksek bina olarak tanımlamıştır. Türkiye'de bu sınır yönetmelikler arasında da değişkenlik göstermektedir. İİY ve AİY'de yapı yüksekliği 30,5 m ve üzeri binalar yüksek yapı, 60,5 m ve üzeri yapılar çok yüksek yapı olarak tanımlanmaktadır.
- TBDY'inde yüksek yapı sınıfı deprem tasarım sınıflarına ve bina kullanım sınıflarına göre belirlenmektedir. DTS = 1, 1a, 2, 2a için $H_N > 70$ m olan binalar, DTS = 3, 3a için $H_N > 91$ m olan binalar, DTS = 4, 4a için ise $H_N > 105$ m olan binalar yüksek bina olarak tanımlanmaktadır.
- Dünyada ve Türkiye'de yapımı tamamlanmış en yüksek 100 bina incelendiğinde, mimari kullanım alanı olarak Türkiye'de en fazla konut

fonksiyonunun, dünyada ise en fazla ofis fonksiyonunun bulunduğu anlaşılmaktadır. Dünyada 2005'den sonra, Türkiye'de ise 2010 yılından sonra yüksek yapıların yoğun olarak yapıldığı görülmektedir.

- Dünyada ilk 100 bina 828–330 m yüksekliğinde, Türkiye'de 284–132 m yüksekliğinde inşa edilmiştir. Türkiye'nin en yüksek binası 284 m yüksekliği ile dünyanın en yüksek 237. binasıdır. Türkiye, 150 m üzerindeki binalar baz alındığında dünya sıralamasında 14. sırada yer almaktadır. Dünyanın en yüksek ilk 100 binasının ortalama yüksekliği 399 m iken, Türkiye'nin en yüksek ilk 100 binasının ortalama yüksekliği 168 m'dir.
- Dinamik karakterli yatay yükler, yüksek binaların tasarımında büyük oranda baskın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte kat sayısının fazla olması nedeniyle düşey yükler de düşey taşıyıcı elemanlarda önemli mertebelerde eksenel basınç kuvvetleri oluşturmaktadır. Deprem ve rüzgar kaynaklı yatay yüklerin bina üzerindeki etkisi binanın bulunduğu araziye, binanın taşıyıcı sistem özelliklerine ve mimari formuna göre değişkenlik göstermektedir. Mimari formu, yapısal karakteristikleri veya konumu nedeniyle alışılmışın dışında olan yüksek binaların rüzgar davranışının ortaya çıkarılabilmesi amacıyla rüzgar tüneli deneyleri yapılmaktadır.
- Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin süneklik düzeyi sınırlı ve süneklik düzeyi karma sistemler olarak tasarlanmasına TBDY kapsamında izin verilmemektedir. Standart binaların deprem tasarımından farklı olarak, yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin deprem yer hareketi etkisinde tasarımı üç aşamadan oluşmaktadır. Bu tasarım aşamalarında farklı performans hedefleri için hem Dayanım Göre Tasarım yaklaşımı, hem de Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım yaklaşımı kullanılmaktadır. TBDY, yüksek binaların deprem tasarımında ve değerlendirmesinde dayanıma göre tasarıma oranla daha modern bir yaklaşım olan şekildeğiştirme ve performans esaslı yöntemleri ön plana çıkarmaktadır.

- Başlarda yığma yapı sistemi ile yapılan yüksek yapılar daha sonra çerçeve sistemler ile yapılmıştır. Bina yüksekliğinin artması sonucunda çerçeve sistemlerin yeterli dayanımı gösterememesi ve mimari kullanım alanında fazla yer kaplamaları nedeniyle perde duvarlı sistemler ve sonrasında çekirdekli sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler çerçeve sistemlerin yatay yükler karşısında yatay yerdeğiştirmelerini sınırlamak ve binanın dayanımını arttırmak için etkin yöntemlerdir.
- Bina yükseklik artışının devam etmesi ile yatay yerdeğiştirmelerin daha fazla sınırlanması gerekmektedir ve dıştan destek (outrigger) sistemler geliştirilmiştir. Bu sistem dış çeperde bulunan kolonlar ile merkezde bulunan çekirdeği belirli katlarda birbirine bağlamakta ve binanın yatay yüklere karşı dayanımını arttırmaktadır.
- Taşıyıcı sistemlerin mimari kullanım alanında çok fazla yer kaplaması üzerine asma sistemler tasarlanmıştır. Bu sistemler genellikle açık mekanların yer aldığı büro ve ofis fonksiyonunun bulunduğu binalar için kat plan tasarımı açısından etkin bir sistemdir.
- Yüksek binalarda yükseklik artışı ile taşıyıcı sistem elemanları büyümekte ve bina maliyeti artmaktadır. Bu duruma çözüm olarak 1960'lı yıllarda Fazlur Rahman Khan tarafından tüp sistemler geliştirilmiştir. Cephede kısa aralıklarla tasarlanan kolon ve kirişlerden oluşan bu sistem, metrekareye düşen malzeme miktarının, çerçeve sistemli binalardakinin yarısına yakın olması nedeniyle en etkin ve en ekonomik sistem olarak gösterilmektedir. Ancak bu sistemin taşıyıcı sistem elemanları dış cephede çok fazla alan kapladıkları için mimari açıdan cephe tasarımını sınırlandırmaktadır.
- Son geliştirilen sistem mega rijit katlı sistemdir ve bu sistem iç çeperde merkezi mega çekirdekten, dış çeperde mega kolonlardan, belirli katlarda mega kuşak kafeslerden ve iç ve dış çeperi birbirine bağlayan dıştan destek sistemden

oluşmaktadır ve bu sistem mega yüksek yapılarda çoğunlukla kullanılan bir sistemdir.

- Dünyanın yapımı tamamlanmış en yüksek 10 binası 2004–2019 yıllarında inşa edilmiştir ve ortalama inşaat süreleri 5–10 yıl arasındadır. 94–163 arası kat sayısına sahip binaların yükseklikleri 508–828 m’dir. Kıta olarak en fazla Asya’da, ülke olarak en fazla Çin’de inşa edilen bu binalarda genellikle mega rijit katlı sistem kullanılmıştır. Mimari form ve taşıyıcı sistem çeşidi çoğunlukla rüzgar tüneli deneyleri sonucunda belirlenmiştir. Mimari kullanım alanı olarak çoğunlukla ofis amaçlı yapılan bu yapıların mimari formlarında genel olarak yükseklik artışı ile kat alanları azalmış ve bina yükseldikçe cephe formu daralmıştır.
- Dünyanın en yüksek 10 binasında genellikle eksenel basınç dayanımı oldukça yüksek betonlar kullanılmıştır. Ayrıca, ortak bir yaklaşım olarak, üst katlarda beton eksenel basınç dayanımının azaltıldığı anlaşılmaktadır.
- Tüm binalarda merkezi çekirdek perdelerin kullanıldığı görülmektedir. Binaların dış çeperinde kullanılan kolonların sayısını azaltarak daha etkili mimari tasarımlar yapmak amacıyla “mega kolon” olarak adlandırılan kolonlar tasarlanmıştır. Dıştaki mega kolonlar ile çekirdek perdeler arasındaki bağlantı döşeme kirişleri ve belirli katlarda tasarlanan dıştan destekli sistem ile sağlanmıştır. Ayrıca yatay ötelenmeleri yüksek binalarda oldukça kritik değerlere ulaşabilen yatay ötelenmeleri sınırlamak amacıyla binanın dış cephesinde belirli kat seviyelerinde dıştan destek sistemler oluşturulmuş ve bazı durumlarda da kütle sönümleyiciler kullanılmıştır.
- Yüksek binaların taşıyıcı sistem tasarımında genellikle merkezi çekirdek kullanıldığı görülmektedir. Çekirdek sistem çoğunlukla çerçeve sistem ile birlikte tasarlanmaktadır. Çerçeve sistemde kullanılan kolonların kesit boyutlarının bina yükseklik artışı sonucunda büyüdüğü, gerekli görüldüğü durumda özellikle mega yüksek binalar için mega kolonların kullanıldığı

görülmektedir. Çerçeve ve çekirdek sistem ile yapılan yüksek binalarda, yatay yerdeğiştirmeleri sınırlandırmak amacıyla dıştan destekli sistemler kullanılmaktadır. Yatay yerdeğiştirmenin yeterli sınırlandırılmadığı durumlarda ise mega rijit katlı sistemler kullanıldığı da görülmektedir.

- Dünyanın en yüksek 10 binasının özellikle dış cephe formlarını belirleyen en önemli etkinin rüzgar olduğu anlaşılmıştır. Mimari formdaki geri çekilmeler, cephedeki eğrisellikler ve çıkıntılar rüzgar tüneli deneyleri sonucunda tasarlanmıştır.
- TBDY koşullarına göre Mod Birleştirme Yöntemi'nde dikkate alınması gereken yeterli titreşim modu sayısı, birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir doğal titreşim modu için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden az olmaması gerekmektedir. Çalışma kapsamında TBDY'e uygun olarak tasarlanan yüksek binalarda yukarıdaki koşulu saylayan mod sayısı YB-1 ve YB3'te 17 iken, YB-2'de 21'dir.
- Bazı katlarında planda her kütle merkezinden geçen (X) ve (Y) eksenlerine göre simetriden ayrıldığı ve kat kütlelerinin bina yüksekliği boyunca her katta aynı olmadığı YB-2 binasında birbirine dik eksenlerinin her biri doğrultusundaki hakim titreşim modunda taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerine oranı, diğer binalar göre azalmış ve bu binada yüksek modların taban kesme kuvvetine katkısı artmaya başlamıştır.
- Rijitlik özellikleri ve kütle dağılımları simetrik olan YB-1 ve YB-3 binaları yer hareketinin (X), (Y) ve dönme bileşenlerinden herhangi birisinin etkisinde kaldığında, deprem yer hareketine sırasıyla yalnız yatay (X) ötelenmesi, yatay (Y) ötelenmesi ve burulma hareketiyle tepki verecektir. YB-2 binası ise deprem yer hareketinin (X) (veya (Y)) bileşeni etkisinde bu binada hem yatay (X) ötelenmesi, hem de yatay (Y) ötelenmesi oluşacaktır.

- Kat planında yapılan mimari form değişikliğinin binaların serbest titreşim mod şekillerine ve genliklerine etkisi olduğu görülmüştür. Dairesel forma sahip YB-3'ün yatay ötelenme genlikleri dikdörtgen forma sahip YB-1 göre daha büyüktür. YB-2'nin yatay ötelenme genlikleri ise en büyüktür. En küçük dönme genliği YB-1 binasında hesaplanmıştır.
- Yüksek binaların deprem etkisi altında tasarımında gerekli dayanımı veren donatı oranlarından ziyade etkin görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasının tasarımı belirleyici olduğu görülmüştür.
- DD-2 deprem yer hareketinin elastik dayanım talebi dikdörtgen tabanlı olan ve yüksekliği boyunca kat planları değişmeyen YB-1 için en azdır. En büyük elastik dayanım talebi ise YB-2 için hesaplanmıştır ve YB-1 için hesaplanan elastik dayanım talebinden yaklaşık %20 fazladır. Yüksek binanın taban kesitinin dairel olarak tasarlanması durumunda (YB-3) ise tasarım depreminin elastik dayanım talebi YB-1'e göre %9,6 civarında artmıştır.
- Yüksek binalarda yüksek modların taban kesme kuvveti tepkisine katkısı çok önemlidir. DD-2 deprem yer hareketi etkisinde ilk üç mod dikkate alınarak hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin, modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden az olmaması kuralına göre hesaplanan en büyük taban kesme kuvvetlerine oranı YB-1 için %70, YB-2 için %65 ve YB-3 için %72'dir. Dolayısıyla birbirine dik deprem doğrultularında hesaplanan taban kesme kuvvetlerine bu doğrultulardaki hakim modların katkısı oldukça yetersizdir.
- DD-2 deprem yer hareketi etkisinde çekirdek perdede hesaplanan en büyük tepe yatay yerdeğiştirme değerleri taşıyıcı sistemin tepe noktasında hesaplanan değerlerden ortalama %10 daha küçük bulunmuştur.

Çalışma kapsamında elde edilen yukarıdaki sonuçların gelecek yıllarda tasarımı ve yapımı kaçınılmaz şekilde artacak olan yüksek binaların mimari form ve taşıyıcı sistem tasarımına yönelik önemli fikirler verebileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdelrazaq, A. (2011). Validating the structural behavior and response of burj khalifa: synopsis of the full scale structural health monitoring programs. *First Middle East Conference on Smart Monitoring, Assessment and rehabilitation of Civil Structures*, 8-10 Şubat, Dubai, BAE. 37-51.
- Anne, W. ve Kulik, S. (b.t.). *The Mecca Clock Tower*. 08 Ocak 2020, <http://www.themeccaclocktower.com>
- ASCE. (2020). *American Society of Civil Engineers – Ingalls Building*. 05 Ocak 2021, <https://www.asce.org/project/ingalls-building/>
- AIY. (2018). *Ankara Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği*. Ankara: Ankara Büyükşehir Belediyesi.
- Atasoy, N. (2014). *Yüksek yapılarda güncel tasarım yaklaşımları*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Baker, W. F., Korista, D. S. ve Novak, L. C. (2008). Engineering the world's tallest – Burj Dubai. *CTBUH 2008 8th World Congress*, 3-5 Mart, Dubai, BAE. 1-10.
- Bal, C. (2003). *Yüksek bina yapım sistemlerinin tasarım kısıtlamaları üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Beedle, L. S. ve Rice, D. B. (1995). *Structural Systems for Tall Buildings*. Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 3. New York: McGrawHill Inc.
- Bulut, Ö. (2016). *Yüksek yapılarda yenilikçi yaklaşımların araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.
- BYKHY. (2007). *Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik*. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

Calayır, Y. ve Dedeoğlu, İ. Ö. (2017). Outrigger kullanılan betonarme yüksek yapıların deprem etkisindeki davranışı. *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-13 Ekim, Eskişehir.

CSI. (2018). *SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design*. Berkeley, California: Computers and Structures Inc.

CTBUH. (2020). *Council on Tall Buildings and Urban Habitat*. 13 Ocak 2020, <https://www.ctbuh.org>

Çırpı, M. E. (2013). *Yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerindeki değişimlerin son dönem örnekleriyle belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

Dadaş, F. (2017). *Farklı taşıyıcı sisteme sahip betonarme yüksek binaların deprem performanslarının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Drosdov, P. F. ve Lishak, V. I. (1976). Spatial rigidity and stability of tall buildings of different structural schemes. *Proceedings of 3rd International Conference on Prefabricated Multi- Storey Buildings*, Ekim, Moskova, Rusya. 27-35.

Fan, H., Li Q. S., Tuan, A. Y. ve Xu, L. (2009). Seismic analysis of the world's tallest building. *Journal of Constructual Steel Research* 65, 1206-1215.

Gensler. (2020). *Gensler Projects*. 18 Ocak 2020, <https://www.gensler.com>

Gensler Design Update. (2010). *Shanghai Tower*. 25 Şubat 2020, https://www.academia.edu/38964330/SHANGHAI_TOWER_DESIGN_UPDAT
E_Now_under_construction

- Gonzales, M. F. (2018). *Ping an Finance Centre/ KPF*. 09 Ocak 2020.
https://www.archdaily.com/886473/ping-an-finance-centre-kpf?ad_medium=gallery
- Gu, J. (2014). Shanghai Tower: Building a green, vertical city in the heart of Shanghai. *CTBUH 2014 Shanghai Conference*, 16-19 Eylül, Şangay, Çin. 136-141.
- Harmana, Z. Y. ve Soyluk, A. (2010). Yüksek yapılarda taşıyıcı sistem ve cephe etkileşimi. 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, 15-16 Nisan, İzmir.
- Ho, D. W. I. (2016). A cultural brand's journey toward building a better new world. *CTBUH Shenzhen – Guanzhou – Hong Kong Conference*, Şenzen, Guanzhou, Hong Kong, Çin. 540-548.
- Ho, D. W. I., Fai, C. Y., Lo, H. ve Yu, D. M. (2014). A new skyline vision: CTF Towers in Guanzhou and Tianjin. *CTBUH Shanghai Conference*, Şangay, Çin. 170-177.
- Hothot, Y. M. (2018). *Betonarme çekirdek perdeli ve çelik taşıyıcı sisteme sahip yüksek binaların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli.
- Huang, B., Lu, W., Chen, S. ve Mosalam, K. M. (2017). Drift demand of the outer-skin curtain wall system of the Shanghai Tower. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. 26 (17), e1388.
- İİY. (2018). *İstanbul İmar Yönetmeliği*. İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi.
- İYBDY. (2008). *İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği*. İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Müdürlüğü.

İYBRY. (2009). *İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği*. İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Müdürlüğü.

İYYY. (1996). *İzmir Yüksek Yapı Yönetmeliği*. İzmir: İzmir Büyükşehir Belediyesi.

Kaya, E. ve Uçar, T. (2020). Yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin gelişiminin ve yapısal tasarım özelliklerinin incelenmesi. 4. *Çukurova Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, 21-23 Şubat, Adana.

Kazımov, T. (2018). *Yüksek yapılar ve performatif mimarlık: Burj Khalifa ve Shanghai Kulesi örneklerinin aerodinamik tasarımı üzerine bir değerlendirme*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Kırkan, H. S. (2005). *Çok katlı yüksek yapıların tasarımına etki eden faktörlerin irdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Kim, G. D. ve Lee, J. H. (2016). Key technologies for super tall building construction: Lotte World Tower. *International Journal of High-Rise Buildings*, 5 (3), 205-211.

Kim, J. K., Jung, Y. ve Kim, J. (2015). Challenges and opportunities for the structural design of the 123-story Jamsil Lotte World Tower. *CTBUH New York Conference*, New York, ABD. 502-509.

Koç, Y., Gültekin, A. B., Durmuş, G. ve Dikmen, Ç. B. (2009). Yüksek yapı tasarımının malzeme ve taşıyıcı sistem kapsamında incelenmesi. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 13-15 Mayıs, Karabük.

Kourakis, İ. (2007). *Structural systems and tuned mass dampers of super-tall buildings: Case study of Taipei 101*. Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

Köksoy, E. (2001). *Yüksek binalarda taşıyıcı iskelet-cephe ilişkisi ve giydirme cephe düzenleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

KPF. (2020). *Ping An Finance Centre*. 10 Ocak 2020, <https://www.kpf.com>

Lee, C.Y. (2020). *C.Y. Lee & Partners – Taipei-101*. 15 Ocak 2020, <https://www.cylee.com/project/Taipei-101>

Lee, B., Baker, W., Johnson, R. ve Rhee, I. (2016). Next – generation supertall tower form determinants: a study of the Tianjin CTF Finance Centre. *CTBUH Shenzhen – Guanzhou – Hong Kong Conference*, Şenzen, Guanzhou, Hong Kong, Çin. 1256-1263.

Lee, B., Kinzl, T., Rhee, I. ve Johnson, R. (2020). Determinism, integration, and articulation lead up to a landmark. *CTBUH Journal*, 2020 (1), 12-19.

Lewis, K. ve Holt, N. (2011). Case study: One World Trade Center, New York. *CTBUH Journal*, 2011 (2), 14-19.

Lu, W., Huang, B., Chen, S. ve Mosalam, K. M. (2017). Acceleration demand of the outer-skin curtain wall system of the Shanghai Tower. *The Structural Design of Tall Special Buildings*, 26 (5), e1341.

Malott, D., Poon, D., Gottlebe, T. ve Yu, Z. (2012). Ping An Finance Center: pioneering China's tallest – efficiencies of form and Structures. *CTBUH 2012 9th World Congress*, Şangay, Çin. 391-398.

Moon, K. (2009). Design and construction of steel diagrid structure. *Nordic Steel Constuction Conference*, 2-4 Eylül, Malmö, İsveç. 398-405.

Moon, K. S., 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*, 16 (2), 205-230.

Musa, A. B., Maimagani, S. S. ve Tukur, R. B. (2020). Influence of politics in the commissioning and design of projects: A case study of Royal Clock Tower (Abraj Al-Bait), Mecca, Saudi Arabia. *Arabian Journal of Business and Management Review (Kuwait Chapter)*, 9 (4), 183-187.

One World Trade Center/ Som. (2016). 12 Ocak 2020, https://www.archdaily.com/795277/one-world-trade-center-som?ad_source=search&ad_medium=search_result_all

Öztan Fidan, S. (2019). *Yüksek yapılarda cephelerin taşıyıcı sistemle olan ilişkisinin incelenmesi ve İzmir yüksek yapıları üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Peng, L., Luo, N., Whitlock, R. ve Lei, L. (2014). Case study: China Zun Tower, Beijing. *CTBUH Journal*, 2014 (3), 14-20.

Peng, L., Yu, C. ve Song, Z. (2016). The structural design of “China Zun” Tower, Beijing. *International Journal of High – Rise Buildings*, 5 (3), 213-220.

Poon, D., Shieh, S., Joseph, L. ve Chang, C. (2004). Structural design of Taipei 101, the world’s tallest building. *CTBUH Seoul Conference*, 10-13 Ekim, Seul, Güney Kore. 271-278.

Rahimian, A. ve Eilon, Y. (2015). The rise of One World Trade Center. *CTBUH New York Conference*, New York. ABD. 66-71.

Rhinoceros. (2019). *Rhino 6 SR13*. Robert McNeel & Associates.

Sev, A. (2001). *Türkiye ve dünyadaki yüksek binaların mimari tasarım ve taşıyıcı sistem açısından analizi*. Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul.

Smith, B. (2020). *Dubai - The Burj Khalifa*. 07 Ocak 2021, http://www.bernardsmith.name/visiting_dubai/dubai_burj_khalifa/

SOM. (2020). *Skidmore, Owings & Merrill*. 25 Ocak 2020, <https://www.som.com>

Şimşek, S. (2018). *Yüksek yapılarda strüktürel sanat ve mimari biçimlenişe yönelik bir tasarım modeli*. Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.

Taranath, B. S. (1988). *Structural Analysis & Design Of Tall Buildings* (1. Baskı). McGraw-Hill Book Company.

TBDY. (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.

TS 498. (1997). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

TS 500. (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

Tsang, W. M. (2014). Ping An Finance Center: the development and construction of a megatall. *CTBUH Shanghai Conference Proceedings*, Şangay, Çin. 142-149.

Tse, K. C., Lam, H., Li, K. ve Sung, M. (2016). Overcoming MEP and VT system design challenges in three of the tallest buildings in China. *CTBUH Shenzhen – Guanzhou – Hong Kong Conference*, Şenzen, Guanzhou, Hong Kong, Çin. 899-906.

- Tse, V., Lam, H., Leung, E. ve Ho, D. (2014). Design Challenges of the 3 tallest buildings in Nort/ East/ South China. *CTBUH Shanghai Conference*, Şangay, Çin. 432-439.
- Toprakal, F. (2008). *Yüksek yapıların gelişimi ve İstanbul'daki yüksek yapıların tipolojik analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Uddin, M. I. (2015). The second tallest building in the world 2016: Abraj Al Bait. *Modern Architectural History*, 5 Haziran, Sidney, Avustralya.
- Ulusoy, Ö. (2019). *Betonarme yüksek yapıların TDY'ne göre plan düzensizliklerinin örnek yapılarla incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Weismantle, P. A. (2007). Burj Dubai: An architectural technical design case study. *The Structural Design of Tall Special Buildings*, 16 (4), 335-360.
- Williams, B., Alfonso, V. ve Messenger, W. S. (b.t.). Shanghai Tower a Symbol of China's Ascension. *Msre 517, Property Report*. <http://www.josre.org/wp-content/uploads/2012/10/Shanghai-Tower-in-China-Tall-and-near-net-Zero.pdf>
- Winstanles, T. (2012). *CTF Guanzhou/ KPF*. 15 Ocak 2020, <https://www.archdaily.com/259172/ctf-guangzhou-kpf>
- Xia, J., Poon, D. ve Mass, D. (2010). Case study: Shanghai Tower. *CTBUH Journal*, 2010 (2), 12-19.
- Xu, L. (2019). Citic Tower construction key technology. *International Journal of High – Rise Buildings*, 8 (3), 185-192.
- Yavaşbatmaz, S. (2012). *Yüksek yapıların sürdürülebilir tasarım ölçütleri kapsamında değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Zeljic, A. S. (2010). Shanghai Tower façade design process. *International Conference on Building Envelope Systems and Technologies*. Vancouver, Canada.

Zhu, Y., Poon, D., Zhou, S. ve Fu, G. (2012). Structural design challenges of Shanghai Tower. *CTBUH 2012 9th World Congress*. Şangay, Çin. 120-126.

