



**YÜKSEK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM
TASARIMI**

İcham ABAKAR ADAM

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalı**

Doç. Dr Ahmet BUDAK

2019

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM TASARIMI



İçham ABAKAR ADAM

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI BİLİM DALI

ERZURUM

2019

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

YÜKSEK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM TASARIMI

Doç. Dr. Ahmet BUDAK danışmanlığında, **İcham ABAKAR ADAM** tarafından hazırlanan bu çalışma 19/07/2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Ahmet Budak

İmza :

Üye : Doç. Dr. Oğuz Akın Düzgün

İmza :

Üye : Dr.Öğr. Üyesi Atila Kumbasaroğlu

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu .19../09../2019. tarih ve 37.../41... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM TASARIMI

Icham ABAKAR ADAM

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalı

Danışman : Doç. Dr Ahmet BUDAK

Bu çalışmada, yüksek yapılardaki taşıyıcı sistemler ve taşıyıcı sistemlerin sınıflandırması, her birinin özellikleri ve yanal yükler altında davranışlarının incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışma, beş genel başlık ve bunların alt başlıklarından oluşmaktadır. Giriş bölümünde, yüksek binalarda kullanılan taşıyıcı sistemler seçilirken bunların hangi etkene bağlı olarak tercih edildikleri özet olarak verilmiş ve yüksek binaların artmasındaki temel etkenler irdelenmiştir. İkinci bölüm, literatür taramasına ve yüksek binaların tarihindeki evrime ayrılmıştır. Bu bölümde, özellikle tez ile ilgili başlıca çalışmalara kronolojik olarak yer verilmiş, çalışmaların metodolojileri analiz edilmiş ve sonuçları yorumlanmıştır. Üçüncü bölüm, yüksek binaların tasarımı ile ilgilidir. Bu bölümde, özellikle yapıyı etkileyen yüklere yer verilmiş ve yüksek binaların farklı taşıyıcı sistemleri tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Dördüncü bölüm, yüksek yapılardaki yatay yükleri taşıyan sistemler arasında, yüksekliğin ve sistemlerin özelliklerine göre karşılaştırma hedeflenmiştir. Son bölüm, sonuç ve önerilere ayrılmıştır. Çalışmamızda yüksek katlı binaların taşıyıcı sistemlerinin tasarımıyla asıl probleminin yanal yüklerden kaynaklanan yer değiştirme olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Bina yüksekliğine göre en uygun taşıyıcı sistemi tercih etmek gerektiği sonucu elde edilmiştir. Bu tercihin, "dış yükler karşısında her bir sistemin özelliklerinin ve davranışlarının tanınması" koşuluna göre yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

2019 , 140 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yüksek yapılar, Yüksek yapıların taşıyıcı sistemleri, Taşıyıcı sistemlerin sınıflandırması, Yanal yükler, Yüksek binaların tasarımı.

ABSTRACT

Master Thesis

DESIGN OF STRUCTURAL SYSTEMS FOR TALL BUILDINGS

Icham ABAKAR ADAM

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr Ahmet BUDAK

The subject of this study concerns the structural systems of tall buildings and their classifications. It also includes the analysis and understanding of behaviors and characteristics of each system with respect to horizontal loads. This study is subdivided into five chapters. The first chapter discusses the factors that have contributed to the growth of high-rise buildings and gives in a simplified way the main factors allowing the choice of a structural systems. The second chapter is devoted to the literature review. In this chapter, the methodologies of the previous studies has been discussed and the results were analyzed. The third chapter deals with load actions that affect these types of structures and examines the classification and characteristics of horizontal loads resisting systems. In the fourth chapter, a comparison of economy and rigidity between tall building's resisting systems has been made. The last chapter is reserved for conclusion and suggestions. In this study we can deduce that the fundamental problem of structural systems for high-rise buildings is lateral deviations caused by horizontal loads. Thus the ideal choice of a structural system depends essentially on the height of the building. This choice is made taking into account the characteristics and behaviors of each system with respect to lateral loads.

2019, 140 pages

Keywords: High-rise buildings, Structural systems of high-rise buildings, Classifications of structural systems, lateral loads, Design of high-rise buildings.

TEŞEKKÜR

Her şeyden önce, bu güzel ülkeye gelme ve yüksek lisans programımı tamamlama şansı veren Türk Hükümetine daha net olarak Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanma sürecinin her aşamasında bilgilerini, tecrübelerini ve değerli zamanlarını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. AHMET BUDAK'a teşekkürü bir borç bilirim ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İcham ABAKAR ADAM

Haziran 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM	18
3.1. Yüksek Binaların Tarihi Kronolojisi.....	18
3.1.1. Tarih Öncesi Çağ Binaları.....	18
3.1.2. Modern Çağ Binaları.....	20
3.1.3. Türkiye'deki Yüksek Binaların Tarihi	26
3.2. Yüksek Binaların Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı	29
3.2.1. Yüksek Bina Tanımları	29
3.2.2. Taşıyıcı Sistem Tasarımı.....	31
3.2.3. Yüksek Binaların Taşıyıcı Elemanlarının Tasarımı.....	33
3.2.4. Yüksek Binaların Taşıdığı Yükler	42
3.2.4.1. Düşey Yükler	43
3.2.4.2. Yanal Yükler	52
3.2.4.3. Özel Yükler	69
3.2.5. Yüksek Binalar İçin Yangın Güvenliği Tasarımı	71
3.2.5.1. Yangın Güvenliği Hakkında Genel Bilgiler	73
3.2.5.2. Yüksek Binalarda Yangın Riskleri	74
3.2.5.3. Yüksek Binalar İçin Yangın Güvenliği Stratejileri.....	76
3.2.5.4. Binanın Performansı	79
3.2.5.5. Yüksek Binalarda Yangın Güvenliğinin Amaçları	81
3.2.5.6. Yangının Yüksek Binaların Taşıyıcı Sistemleri Üzerindeki Etkileri.....	82

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	84
4.1. Yüksek Binaların Taşıyıcı Sistemleri	84
4.1.1. Döşeme Sistemleri	85
4.1.2. Düşey Yüklere Dayanıklı Sistemler.....	85
4.1.3. Sönümleme/Amortisman Sistemleri	86
4.1.4. Yanal Yüklere Taşıyan Sistemler	87
4.1.4.1. Duvarlar ve / veya Kolonlar Üzerine Döşemeler.....	89
4.1.4.2. Perde Duvarların Birleştirilmiş Sistemi	90
4.1.4.3. Rijit Çerçeve Sistemi	91
4.1.4.4. Çekirdek Sistemi	94
4.1.4.5. Kontrvantman Çerçeve Sistemleri	95
4.1.4.6. Çapraz-Kuşaklı Sistem.....	99
4.1.4.7. Tüp Sistemleri.....	101
4.1.5. Kayma Gecikme Olgusu	107
4.1.5.1. Kayma Gecikmesi Etkisi.....	107
4.1.5.2. Tüp Çerçeve Sisteminde Kayma Gecikmesi Etkisi	109
4.1.5.3. Yüksek Binalarda Kayma Gecikmesi Etkisinin Azaltılması	111
4.2. Yatay Yüklere Göre Taşıyıcı Sistemlerin Karşılaştırması	113
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	118
KAYNAKLAR	121
ÖZGEÇMİŞ	126

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Konut ve ikamet etkinlikleri
B	Büro
C	Kişilerin toplantı yerleri (A, B, D, E) kategorileri hariç
C_p	Yapı yüzeyinin konumuna bağlı katsayı
C_p	Rüzgâr alan cephe üzerinde sanki bir basınç (pozitif yük) ve rüzgâr alan cephe ve çatı üzerinde ise sanki bir emme (negative yük) gibi bir davranış sergileyen binanın yüksekliğine bağlı olarak değişkenlik arz eden dış basınç katsayısı
D	Ticari alanlar
E	Erişim alanları dâhil olmak üzere mal biriktirme alanları
G_f	Rüzgârın binanın cephe yüzeyine çarpma faktörü, boyutsuz olarak, rijit binalar için G ve esnek binalar için G _f ile gösterilir
H	Tepenin ya da tümseğin, rüzgârın estiği toprak zemine göre yüksekliği, adım (ft) ya da metre (m) ile verilir
I	Rüzgâr etkeninin değeri genellikle (I _w) olarak verilir
I	Atalet moment
K₁	Topoğrafik özellik ve maksimum ivme etki formunu hesaba katmak için Faktör
K₂	Tepeden yukarı veya aşağı yönünde olan uzaklıkla ivmenin azalmasını hesaba katan faktör
K₃	Zeminin üzerinden çıkılan yüksekliğin ivmesini azaltmak için faktör
K_z	Rüzgâr hızına maruz kalma katsayısı
K_{zt}	Topografik etken
K_d	Rüzgârın yön etkeni
L_h	Tepenin orta noktasıyla zemin arasında varsayılan dikmenin ve tepenin ya da tümseğin yüksekliğinin yarısına denk geldiği varsayılan yatay çizginin arasında oluşan mesafenin adım veya metre cinsinden ifade edilmesine L _h denir
m	Kar yükü azaltma değeri
P_k	Kar yükü hesap değeri
P_{k0}	Zati kar yükü
P_z	Psf olarak rüzgâr basıncının veya emişinin tasarlanması, zemin seviyesinin üzerinde bir (z) yükseklikle hesaplanır
q	Yüzeye yayılı rüzgar basıncı
q_h	Negatif basınç veya cephelerde ve çatıda rüzgâr emişi
q_z	Rüzgâr hızı basıncını, pozitif basınç söz konusu olduğunda bunu hesaplamak için zeminin üzerinde z yüksekliği psf olarak alınır buna mukabil emme söz konusu olduğunda ise h çatı yüksekliği göz önünde bulundurulur
v	Rüzgar hızı

V	Açık ve düz bir alanda zeminden 10 m yükseklikte rüzgâr hızı Bu hız mph (mil/saat) şeklinde ifade edilir
W	Eşdeğer statik basınç veya emme
X	Tümseğin ya da ortasından zemine inilen hayali düşey çizginin zeminle birleştiği yerden şantiyeye kadar (şantiye tepenin sağında veya solunda olabilir) bir mesafe alındığında söz konusu mesafe adım (ft) veya metre (m) cinsinden uzaklığı alınmasına X denir
Z	Zemin seviyesinin, adım (ft) veya metre (m) cinsinden yüksekliği
α	Çatı Örtüsünün Eğimi (derece)
μ	Yatay azaltma faktörü
γ	Yükseklik azaltma faktörü

Kısaltmalar

ASCE 7-05	Minimum design loads for buildings and other structures
ASCE 7-16	Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Others Structures
CTBUH	Council on Tall Buildings and Urban Habitat
Eurocode 1	Actions on structures
I.C.B.	International Building Code
M.B.M.A.	Metal Building Manufactures Association
M.W.F.R.S.	Main Wind Force Resisting System
T.M.D.	Tuned Mass Damper
TS 498-1997	Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri
TS ISO-1997	Yapıların projelendirilme esasları-Taşıyıcı olan ve olmayan elemanlar depolanmış malzemeler-Yoğunluk

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünyada Yüksek Binaların Yoğun Olduğu Merkezler (Wood 2015)	2
Şekil 1.2. Kıtalarla Göre Yüksek Yapıların Yüzdesi (Wood 2015).....	2
Şekil 3.1. Keops Piramidi (Kırmızıtaş 2008)	19
Şekil 3.2. Babil Kulesi (Kırmızıtaş 2008)	19
Şekil 3.3. Home Insurance Binası (Wood 2015).....	21
Şekil 3.4. Dünyanın en Yüksek Binalarının Tarihi (Wood 2015)	24
Şekil 3.5. Selimiye Cami (Kırmızıtaş 2008)	27
Şekil 3.6. İstanbul Sapphire (Al-Kodmany 2017).....	28
Şekil 3.7. Şehire Göre Yükseklik (Irwin <i>et al</i> 2013).....	29
Şekil 3.8. Oran (Irwin <i>et al</i> 2013)	30
Şekil 3.9. Teknolojilerle Donanımlı Binalar (Irwin <i>et al</i> 2013).....	31
Şekil 3.10. Yükseklikte Rüzgar Hızının Değişkenliği (Kırmızıtaş 2008).....	33
Şekil 3.11. Yüksek Binaların Yük Türleri (Kırmızıtaş 2008).....	43
Şekil 3.12. Zati Karyükü (P_{ko}) Değerleri kN/m^2 (Anonim 1997b)	52
Şekil 3.13. ASCE 7- 05 Norma Göre Gradyan Yüksekliği (Taranath 2009).....	54
Şekil 3.14. a) Amerika Birleşik Devletleri için Rüzgar Haritası b) Meksika Körfezi'nin batısındaki kasırga kıyısı, c) Meksika Körfezi'nin doğu kıyısı ve Amerika Birleşik Devletleri'nin güneydoğu kasırga kıyısı d) Orta ve Kuzey Atlantik Kasırga Kıyısı (Taranath 2009)	60
Şekil 3.15. K_{zt} Topografik Faktörü (Anonim 2006)	62
Şekil 3.16. Denklemleri Temel Alan K_{zt} Topografik Faktör (Taranath 2009)	63
Şekil 3.17. Hızın, Birleşik Maruz Kalma Basınç Katsayıları K_h ve K_z (Anonim 2006)	65
Şekil 3.18. 1500 Adım (457.2 m) Yüksekliğe Kadar Binalar İçin K_z Değerleri (Taranath 2009)	66
Şekil 3.19. Kaliforniya El Centro'da Zemin İvme Kaydı (Hoogendoorn <i>et al</i> 2009)	67
Şekil 3.20. Sismik Yük: Yatay Kuvvetlerin Grubu Yapının Kendi Kütlesine ve Zeminin Üzerindeki Kütlenin Yüksekliğine Kısmi Olarak Uygulandıkça Deprem Dinamik Yükleri Basitleşebilirler (Taranath 2009)	68

Şekil 4.1. Taipei 101 Amortisman Sistemi (Günel and Ilgin 2014)	87
Şekil 4.2. Kat Sayısına Göre Betonarme Binaların Taşıyıcı Sistemleri (Taranath 2009).....	88
Şekil 4.3. Döşeme Tipleri: Kirişsiz Döşeme (a), Kaset Döşeme (b), Mantar Döşeme (c) (Günel and Ilgin 2014).....	89
Şekil 4.4. Perde Duvarların Birleştirme Sistemi (Günel and Ilgin 2014)	91
Şekil 4.5. Rijit Çerçeve Sistemi (Günel and Ilgin 2014).....	92
Şekil 4.6. Rijit Çerçeve Sisteminin Yanal Yer Değiştirmesi: (a) Konsol Eğilmesinden Kaynaklanan Deformasyon, (b) Kirişlerin ve Kolonların Eğilmesinden Kaynaklanan Deformasyon (Günel and Ilgin 2014)	93
Şekil 4.7. Merkezi Çekirdek Yapı Sistemi (Günel and Ilgin 2014).....	94
Şekil 4.8. Merkezi Çekirdek Sistemindeki Döşeme Tipleri: (a) Konsol Döşeme Sistemi (b) Konsol Modüller (Günel and Ilgin 2014).....	95
Şekil 4.9. Kontrvantman Çerçeve Sistemleri: (a) Kafes Sistemi, (b) Perde Duvar Sistemi (Günel and Ilgin 2014).....	96
Şekil 4.10. Yanal Yükler Maruz Kalan Kontrvantman Çerçeve Sisteminin Davranışı (Günel and Ilgin 2014).....	98
Şekil 4.11. Kafes Sistemi Sekil Çeşitleri (Ali and Moon 2018)	99
Şekil 4.12. Çapraz-kuşaklı Taşıyıcı Sistemi (Balcı 2013)	100
Şekil 4.13. Rüzgâr Yüklerine Maruz Kalan Bağlantısız Duvarlar Zayıf Dirençli Eksenleri Etrafında Eğilme Sergilerlerken, Bağlantılı Duvarlar Yanal Yüklere Dayanıklılık Sergilemek Amacıyla Birlikte Mukavemet Gösteren Tüp Sistemi Oluştururlar (Sandelin and Budajev 2013).	102
Şekil 4.14. Çerçeve Tüp Sistemi: (a) Binanın Plan Görünüşü, (b) İzometrik Görünüş (Taranath 2009).....	103
Şekil 4.15. Çelikten İnşa Edilmiş Çaprazlı Tüp Sistemli Yüksek Bina (Taranath 2009).....	104
Şekil 4.16. Betonarme Yapıdaki Çaprazlı Tüp Sistem Tasarımı (Günel and Ilgin 2014).....	105

Şekil 4.17. Demet Tüp Taşıyıcı Sistemi. Willis Kulesi, Chicago, ABD, 1974 (Günel and Ilgin 2014).....	106
Şekil 4.18. Binanın çevre kolonlarındaki eksen gerilmelerin dağılımı (Gaur and Goliya 2015)	108
Şekil 4.19. Eksenel gerilmenin dağılımı (Dat <i>et al</i> 2018).....	110
Şekil 4.20. Çerçeve tüp sisteminin kolonlarındaki eksen gerilmelerin dağılımı (Taranath 2009).....	111



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Yirminci Yüzyılın Başından Beri Yapılmış En Yüksek Binalar (Wood 2015)	25
Çizelge 3.2. Bazı İnşaat Malzemelerinin Yoğunlukları (Anonim 1997a)	44
Çizelge 3.3. TS ISO 9194-1997 Ek A'dan Bazı Yoğunluklar (Anonim 1997a).....	45
Çizelge 3.4. Bina Yüzey Kategorileri (Anonim 2005)	47
Çizelge 3.5. Bina Döşemelerinde Hareketli Yüğü (Anonim 2005)	48
Çizelge 3.6. TS 498-1997'den Bazı Hareketli Yüğüler (Kırmızıtaş 2008).....	49
Çizelge 3.7. Yüksekliğe Bağlı Olarak Rüzgar Hızı ve Emme (Anonim 1997b)	55

1. GİRİŞ

Bir gökdelen veya “yüksek katlı bina”, yüksekliğin istisnai koşullar sergilediği yapılardır. Ancak yüksek yapı tanımı, yapının inşa edildiği yer ve dönemdeki mevcut koşullar dikkate alınarak düşünülmelidir.

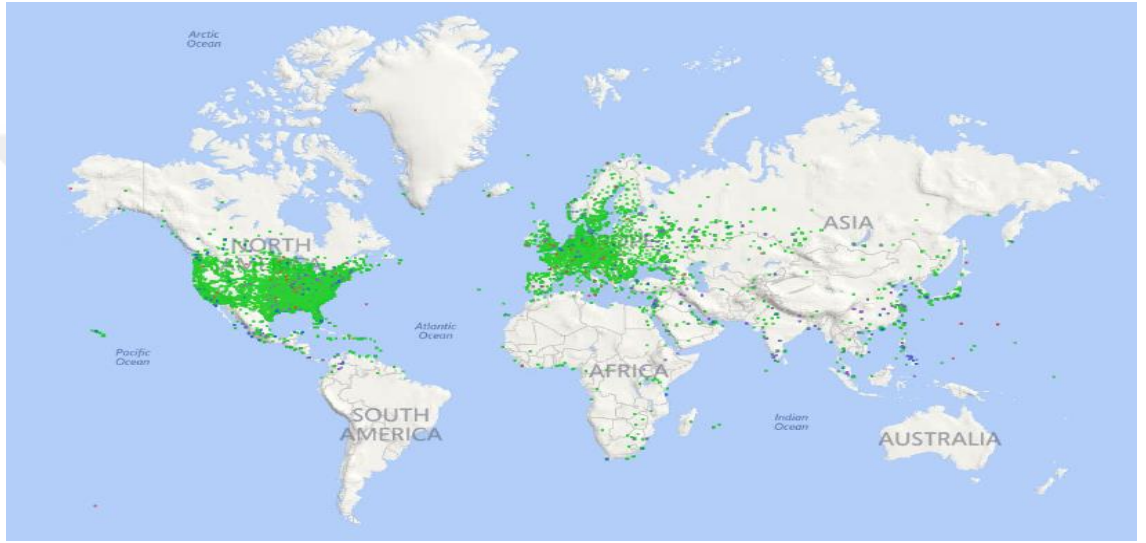
İnsanın bu tip bir yapıyı inşa etme konusundaki coşkun arzusuna bugün tarih düşmek imkân dâhilinde değildir. Bu coşkulu istek çok eskilerden beri vardır. Yüksek katlı binaların tarihi kronolojisi, Babil Kulesi, Mısır ve Sudan Piramitleri, Maya Tapınağı Yemen'deki Chibam binaları gibi eserlerin ve daha nicelerinin günümüzün yüksek binalarının ilham kaynakları olduklarını ve bunların tasarımında motivasyon sağladıklarını bize göstermektedir. Bu yapılar, tasarımda mükemmeleşmenin, yapı sistemlerinde yeniliklerin, yapı malzemeleri konusundaki tekniklerin ve teknolojilerin hareket noktalarıdır.

Modern zamanlarda özellikle 1900'lü yıllarda,

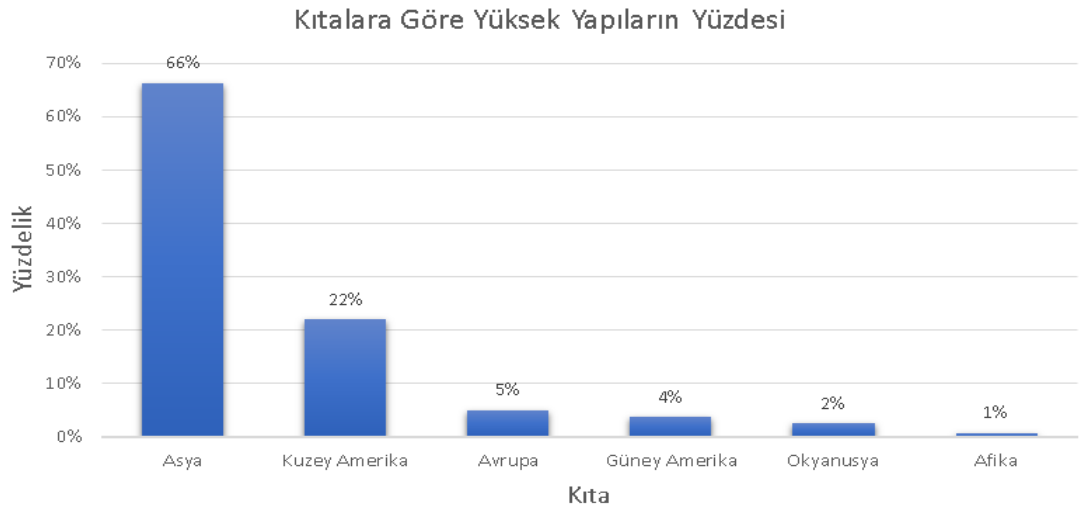
- Kentlerdeki arazi kısıtlılığı,
- Ticari ve konut alanları için artan talep,
- Ekonomik gelişmeler,
- Teknik gelişmeler,
- Yapı sistemlerinde yenilikler,
- Kentsel alanlarda estetik arzusu,
- Kültürel saygınlık ve kültürün önemi.

gibi etkenler yüksek katlı binaların sayısında artışa neden oldu.

İnsanın en yükseği inşa etme tutkusu, yukarıda listelenen etkenler, bu yapıların tasarımında kolaylık sağlamanın yanı sıra, dünya çapında yüksek binalara yönelik talebin artmasına da neden olurlar. Dünyanın büyük şehirlerinin ufku artık yüksek binaların silüetleriyle kaplıdır. Yüksek binaların dünya üzerinde yoğunlaştığı ülkeler Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Dünyada Yüksek Binaların Yoğun Olduğu Merkezler (Wood 2015)



Şekil 1.2. Kıtalara Göre Yüksek Yapıların Yüzdesi (Wood 2015)

Geçmişte, tasarımda kullanılan bina formları kısıtlıydı ancak yüksek katlı binaların tasarımındaki özgürlük, günümüzün tasarımdaki form yelpazesinin zenginleşmesiyle önemli ölçüde büyüdü. Günümüzde, gelişmiş bilgisayar teknolojisi kullanılarak dikilen büyük binalar, kendilerinden öncekilerde neredeyse hiç bulunmayan son derece cesur mimari ve yapısal tasarımlarla inşa edilmektedir (Ali and Moon 2018).

Günümüzde yüksek katlı binaların inşasını özendiren yapı malzemeleri ve teknikleri, hareketli sistemler (mekanik), yapısal sistem analizi vb. alanlardaki gelişme ve yeniliklere rağmen rüzgârın ve depremin bu tür yapılarda neden olduğu yanal yükler söz konusu yapıların mühendisleri ve tasarımcıları için hala üstesinden gelinmesi gereken büyük bir sorundur (Ali and Moon 2007).

Günümüzde büyük binalarda yatay (rüzgâr ve deprem) ve düşey (sabit ve hareketli) yüklere dayanabilen çeşitli taşıyıcı sistemler bulunmaktadır. Ancak her sistemin kendine özgü özellikleri, avantajları ve yetersizlikleri vardır. Yüksek katlı bir bina tasarlarken yapısal sistem seçimi temel olarak birkaç etkene bağlıdır. Bunların en önemlileri; genel ekonomi etkeni, projenin büyüklüğü (kat sayısı), zemin koşulları, inşaat alanı koşulları, kullanılan inşaat malzemesi şeklinde sıralanabilir (Kırmızıtaş 2008).

Çalışmada yüksek yapılarda kullanılan çeşitli yapısal sistemleri tanımak, özelliklerini bilmek, söz konusu yapısal sistemlerin dış etkiler altında davranışlarını anlamak amaçlanmıştır, bu doğrultuda önce yüksek yapıların tarihi kronolojisi üzerinde durulmuştur; tasarımda göz önüne alınması gereken dış etkiler, kullanılması olası taşıyıcı sistemler anlatılmıştır; daha sonra yüksek katlı binalarda kullanılan taşıyıcı sistemlerin birbirleri ile karşılaştırması yapılmıştır.

Bu çalışmanın önemi, yüksek katlı bir bina projesi için taşıyıcı sistemler arasından seçim yapmayı kolaylaştırmasında yatmaktadır. Özel bina projesi için taşıyıcı sistemler arasında

bir karşılaştırma yapılarak bu seçim gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte çalışmanın sonuçlarının tam ve derin bir çalışma gerçekleştirerek değil ancak önceki çalışmaların sonuçlarının sentezlenmesiyle elde edildiğinin belirtmek önemlidir. Bu karşılaştırmalı çalışmanın sonuçları, yalnızca yüksek bina projesi için ideal bir taşıyıcı sistemi seçmeyi değil, aynı zamanda her yeni sistemin eski sistemlerin geliştirilmiş şekli olduğunun ifade edilmesi gerekir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Mühendislikte yüksek binaların tasarımı genellikle taşıyıcı sistemlerinin tasarımını ifade etmektedir. Adı geçen taşıyıcı sistemler, özellikleriyle bir sistemden diğerine değişir. Özellikle ulaşılabilecek sınır yüksekliği, ekonomisi, farklı yüklere karşı dayanıklılığı ve kullanılan malzemeler (beton, çelik veya kompozit malzemeler) bakımından farklılık gösterir. Yüksek binaların yapısal gelişimi, ilerleme kaydedici bir süreçtir. Yüksek binaların kendine özgü yapısal bir tarihi vardır. Bu tarih, zaman içinde var olan farklı gökdelenlerin mimari tarzlarına benzer. Bu evrim rijit çerçeve sistemlerinden, tüpten, diagrid sistemlere kadar uzanmaktadır. Farklı özelliklere sahip çok sayıdaki sistem, sahadaki uzmanları sınıflandırma çalışmaları yapmaya teşvik etti. Yüksek binalardaki taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması üzerine yapılmış çalışmalar yakın tarihli değildir. Söz konusu çalışmalar Fazlur Khan (1969) tarafından tüp sistemlerinin keşfedilmesinden sonra başladılar ve günümüzde teknolojik, malzeme bilimi ve analiz yöntemlerindeki gelişmeyle de büyük bir atılım kaydettiler. O zamandan beri, birçok araştırmacı ve mühendis, yüksek binalardaki taşıyıcı sistemlerinin tasarımı üzerine çalışmalar yürütmüş ve yayınlamıştır. Bu çalışmalar genel olarak tezimizin amacını oluşturan yanal ve düşey yüklere dayanan taşıyıcı sistemlerinin davranışlarını analiz etmeyi amaçlar.

Yüzyılın başlarından bu yana yeni bir tür olarak ortaya çıkan yüksek binalar ve avantajlı yönleri, kayda değer bir fenomen haline dönüştü. Bu fenomen, yüksek binaların giderek artan yükseklik yarışına evrildi. Zirveye çıkan bu yarış, 1931'de Empire State Binası'nın tamamlanmasıyla başlamıştır. Teknolojinin durgunluğu bu süre içerisinde yüksek binaların yüksekliğinin belirgin şekilde artmasını engellemedi. Konu taşıyıcı sistemler olduğunda, yirminci yüzyılın başındaki çoğu yüksek bina, çelik rijit çerçeve sistem kullanıyordu. Bu binalar arasında 1913 yılında ünlü Woolworth Binası, 1930'da Chrysler Binası ve 1931'de Empire State Binası yer almaktadır (Ali 2005). Ancak, bu binaların yüksekliğine önemli bir teknolojik evrimden değil, aşırı yapı malzemelerin

kullanılmasıyla ulaşıldığını belirtmek gerekir. Şöyle ki, gelişmiş yapı analiz tekniklerinin bulunmaması nedeniyle, aşırı boyutlu ve ekonomik olmayan binalar tasarlanmıştır (Ali 2005).

Yirminci yüzyılın ortalarında ya da tam olarak 1960'larda, yüksek binalardaki taşıyıcı sistemler özellikle rijit çerçeve sistemi önemli değişiklikler gösterdi. Adı geçen sistem (rijit çerçeve sistem), çelikte veya betonarme ile yapılmış binalar için en çok kullanılan sistem olarak biliniyordu. Tüp sistemlerin ortaya çıkmasında, yapıların şekillerinde ve yüksek binaların tasarımında değişiklikler kaydedilmiştir. Bunlar, tasarımdaki yeni mimari eğilimler için gerekli hale getirildi. Yüksek hızlı bilgisayarların ortaya çıkması ile rasyonel yapısal analiz alanındaki ekonomik gereksinimler ve teknolojik gelişmeler kaydedildi. 1980'lerden sonra, geçmişteki yüksek bina sistemleri, büyük ölçüde, formlarında, cephelerinde kısaca dizaynlarında daha modern özellikler sunan sistemler tarafından değiştirildi. Bu da, yeni nesil yüksek binaların şeklindeki monotonluğu kırması ve cephelerindeki yeni dizaynlara yol açması için çok önemliydi. Tübüler, kontrvantman çerçeve, çapraz-kuşaklı ve diagrid sistemler, 1960'lardan beri yüksek yapıların tasarımcıları tarafından yenilikçi taşıyıcı sistemler olarak anıldı (Ali and Moon 2007).

Bu bölümde, bu konu hakkında yayınlanan başlıca çalışmaların kronolojik olarak tanıtılmasına, metodolojisinin analiz edilmesine ve bulunan sonuçların yorumlanmasına çalışılmaktadır.

Khan (1969) yüksek binaların yüksekliklerine göre rijitlik verimliliklerini dikkate alarak taşıyıcı sistemleri diyagramlar halinde sınıflandırmıştır. Çeşitli taşıyıcı sistemlerinin tasarım yönünden Fazlur Khan tarafından yapılmış bu sınıflandırması, yüksek yapılar devriminde yeni bir döneminin başlangıcı oldu. 1960'larda, yüksek binaların taşıyıcı sistem tasarımcıları için bu makale tartışmasız bir referans olmasına rağmen, çalışmanın iyileştirilmesi gerekli görünmüştür. Bu nedenle 1972'de ve 1973'te yayınlanan diğer

alışmalarında bu diyagramları düzeltmelerle geliştirmiştir. elik ve beton taşıyıcı sistemleri için sınıflandırmalar yapmış (Khan 1972,1973). Khan, yüksek binaların tasarım ve yapımında uzun zamandır hakim olan moment taşıyan rijit çerçeve sisteminin yüksek binalara uygun olan tek sistem olmadığını çalışmalarında ortaya koymuştur. Malzemelerin mekaniğinin ve taşıyıcı elemanların davranışlarının daha iyi anlaşılması sayesinde tüm yapının ele alınabileceğini yani binanın bilgisayar simülasyonlarını kullanarak üç boyutlu şekilde analiz edilebileceğini açıklamıştır.

Schueller (1977) yüksek binalardaki taşıyıcı sistemlerinin özellikleriyle ilgili önemli bir çalışma yayınlamıştır. Bu alışma, yapıları etkileyen dış kuvvetlerin doğası, taşıyıcı sistemlerin dış kuvvetlerine karşı davranışları ve taşıyıcı elemanların montaj edilebilmesi için görsel yapı tasarımlarını içermektedir. Eski tarihli olmasına rağmen bahse konu çalışma, bu tür bina tasarımcıları için bugüne kadar en önemli referans kaynaklarından biridir. Çalışmanın ana fikri ve yöntemi, her sistemin farklı yüklere karşı tepkisini, özellikle de yanal yüklere olan davranışlarını analiz etmeyi amaçlayan tez planı da etkilemektedir.

Stafford Smith and Coull (1991) yüksek binaların yapısal yönlerini, özellikle de farklı taşıyıcı sistemlerin davranışlarını analiz etmek için temel yaklaşımları incelenmişlerdir. Bu sistemler arasında rijit çerçeve sistemi, perde duvar sistemi, tüp sistemleri, çekirdek sistemi ve çapraz-kuşaklı sistemleri bulunmaktadır. Kitabın ilk kısmı, yapının maruz kaldığı yükler, yüksek binalar için tasarım kriterleri ve yirminci yüzyılın başlarında ilk modern gökdelenlerin inşasından bu yana yıllar içinde gelişen çeşitli yapısal formlardan bahsetmiştir. Bu çalışmanın ana kısmı, gerçek yapıların ön ve son analizler için modellenmesine ayrılmıştır. Yapının stabilitesinin değerlendirilmesine ve sünme-rötre gibi yapı malzeme deformasyonları da tartışılmıştır. Kitabın son bölümü, bilgisayar analiz yöntemi kullanarak rüzgar ve deprem kuvvetlerine maruz kalan yapıların dinamik tepkisinden bahsetmiştir.

Taranath (1998) yüksek binaların taşıdığı yüklere ve bina sahiplerinin taleplerine göre dayanabilecek taşıyıcı sistemlerinin nasıl tasarlanacağı hakkında ipuçları vermiştir. Bu eser, yapı mühendislerine ve mimarlara, sismik-rüzgarın etkilerini ve yanal yer değiştirmelere karşı çeşitli taşıyıcı sistemlerin özelliklerini dikkate alarak yüksek katlı binaların tasarımında çelik, beton ve kompozit kullanımının tüm yönleriyle ilgili benzersiz bir pratik bakış açısı ortaya koymuştur. Düzinelercesi Taranath tarafından tasarlanan dünyadaki binaların örnek olarak incelenmesini içermektedir. Kitabın bu baskısı, taşıyıcı sistem seçiminin nedenleri ve nasıl yapıldığına dair ayrıntılı bilgi vermektedir. Ayrıca şu konuları da ele almaktadır: o zamanlarda en son bina standartları, deprem etkisi çalışmalarındaki son gelişmeler, depremlerin yapısal araştırmalarının sonuçlarını sunarken mevcut olan Kobe'de (Japonya) ve Northridge'deki (California) binaların yenilenmesi tasarımı. Bunun yanında rüzgar ve deprem yüklerin tasarım etkisi ve maliyet etkin tasarıma en son yaklaşımlar üzerindeki kararları, yüksek binalara, yanal ve düşey yükler taşıyan sistemleri uygulanması, binaların davranışsal tepkisini öngörmek için bilgisayar modelleme teknikleri, yeni mühendislerin bu yapıların tasarım ve yapımında yardımcı olabilecek ileri teknolojili sistemler de dahil olmak üzere genel yaklaşımlar ve eğilimler, yapının taşıyıcı elemanlarının yüklere karşı davranışları, sismik taban izolasyonu ve sönümleme sistemleri gibi deprem riski azaltma teknolojilerini de konu etmiştir. Yazar bu çalışmada, gerçekçi sorunların örneklerini kullanarak, dayanıklı ve ekonomik yüksek binalar inşa edebilmek için en son tasarımların ve yöntemlerin neredeyse hepsinin nasıl uygulanacağını açıklamıştır. Bu referans, bina sahiplerinin özel ihtiyaçlarını karşılarken her seviyedeki uzmanlara da yüksek yapıların maruz kaldığı yüklere karşı dayanıklı sistemleri tasarlamaları için gerekli verileri sağlamıştır.

DiSarno and Elnashai (2002) çelik ve kompozit rijit çerçeve sistemleri kullanılan mevcut binaların performansını değerlendirmek için kriterlerden bahsetmektedirler. Ayrıca, taşıyıcı elemanların ve bunların bağlantılarının modernleştirilmesine yönelik rehabilitasyon stratejilerinin kapsamlı incelemesine de yer vermişlerdir. Söz konusu

değerlendirme kriterleri ve rehabilitasyon programlarını, Avrupa, Japonya ve ABD depremlerini müteakiben yapılan kapsamlı deneysel ve sayısal testlerden elde etmişlerdir. Makale gelecekteki depremler için mevcut binaların dayanıklılığını ve sağlamlığını arttırmayı amaçlamaktadır. Yine rehabilite edilmiş binaların düşük yoğunluklu depremler sırasında herhangi bir hasar göstermemesini hedeflemektedir. Ayrıca, orta şiddette depremler sırasında yapısal olmayan bazı hasarlar ve şiddetli depremlerde yapısal ve yapısal olmayan hasarlar ve büyük depremlerde yapısal ve yapısal olmayan hasarların olabilirliğinden bahsedilmesi ancak binanın çökmesini engellemek nedeniyledir.

Cho *et al* (2004) Kore'de inşa edilmiş veya yapım aşamasında olan yüksek binaların yapısal inşaat maliyetleri, birim malzeme ve maliyet miktarları açısından incelemişlerdir. Üç kompozit projesinin ve benzer yükseklikler ve tasarım ortamlarındaki üç betonarme projenin karşılaştırmalı bir şekilde incelenmesi, betonarme yapıların kompozit yapıya göre göreceli olarak ekonomik avantajını gösteren istatistiksel sonuçlar vermiştir. Yapısal inşaat maliyetlerinin ayrıntılı şekilde incelemesi, inşaat maliyetlerinin toplam bileşimi hakkında genel bir fikir sağladığı gibi seçilen taşıyıcı elemanların ve malzemelerin yüksek binaların inşa edilme maliyetindeki önemi hakkında da bir fikir vermiştir. Özellikle betonarme yapılarda kalıp maliyeti önemli ölçüde artmıştır. Bu da, betonarme yüksek binaların yapımında kalıp sistemi seçimine özellikle dikkat edilmesini gerektiğinin ispatıdır.

Kermin (2006) üç boyutlu yapısal analizin ve yüksek binaların verimli tasarımını kolaylaştıran bilgisayar programlarının ilerlemesini irdelenmiştir. Kentsel yoğunlaşmanın artması ve yüksek toprak maliyeti için çözüm olan bu yapılar, kentsel peyzajda belirgin bir şekilde öne çıkmaktadırlar. Yüksek bina yapma eğilimi, binaların yapısal direncine dayanan tasarım yaklaşımının yanında, yapının genel hareketinin sınırlandırılmasını da gerektirmektedir. Yapı mühendisleri, genel mimari vizyonu uyarken binaların yanal yer değiştirmelerine karşı çeşitli taşıyıcı sistemleri kullanarak yanal kontrolün zorluğunun

üstesinden gelmektedirler. Makalede, mevcut modern yüksek binalardaki yanal sistemlerin davranışını analiz etmek için bir anket yapılmıştır. Ankette, rijit çerçeve sistem, kontrvantman sistemler, çapraz-kuşaklı sistem ve tüp sistemlerin davranışları incelenmiştir. Tüm sistemlerin avantajları ve dezavantajları hem mimari hem de yapısal verimlilik açısından incelenmiştir. Her taşıyıcı sistemin bilgisayar modellemesinden önce, her şema, hem bilgisayar verilerini doğrulamak hemde manuel hesaplamaların önemini göstermek için analitik bir bakış açısı olarak kabul edilmekteydi. Çalışma, defalarca yanal hareketin kontrvantman çerçeve sistemlerinin tasarımı için bir yaklaşım önerisi yapılmasında olmazsa olmaz koşul olduğunu göstermiştir.

Gunel *et al* (2007) yirminci yüzyılın başında, tasarımcıların taşıyıcı sistemlerin sadece düşey yükleri taşıdığını varsaydığını belirtmişlerdir. İlerleyen yıllarda, taşıyıcı sistemlerin tasarımında ve yüksek dayanıklı malzemelerin tasarımında kaydedilen ilerlemeler binaların ağırlığını azaltmayı ve yüksekliğini arttırmayı mümkün kılmıştır; bu nedenle rüzgar ve depremlerden oluşan yanal yükleri hesaba katmak gerekmektedir. Yüksek binalar için, narinlik arttıkça ve rijitlik azaldıkça, binalarda yanal yüklerden kaynaklanan gerilmeler de aynı şekilde artar. Genel olarak, bina ne kadar yüksek olursa, yanal yüklere dayanacak uygun bir taşıyıcı sistemin belirlenmesi de bu oranda önemlidir. Binaların yüksekliğini arttırmak için sürekli çaba sarf eden ve deformasyonu kabul edilebilir sınırlar içinde tutarken malzeme miktarını en aza sürekli indirmeye çalışan yapı mühendisler sayesinde gerçekleştirilen yeni yapısal sistemlerin formülasyonunda binaların yanal yük direnci ana belirleyici faktördür. Bu çalışmada, yatay yüklere dayanıklı birçok yüksek binalardaki taşıyıcı sistemlerinin özelliklerinden bahsedilmiştir. Yanal yüklere dayanacak yapısal davranışların reaksiyon mekanizmalarına göre bu sistemler sınıflandırılmıştır.

Ali and Moon (2007) yüksek binaların inşası ve tasarım teknolojisindeki gelişmenin, tüm dünyada önemli bir evrim yaratmasından bahsedilmiştir. Bu çalışma, yüksek binaların

taşıyıcı sistemlerinin gelişimini ve geliştiren teknolojik faktörlerini incelemiştir. Birincil taşıyıcı sistemler için, iç ve dış yapıların yeni bir sınıflandırması önerilmiştir. Yüksek binalardaki taşıyıcı sistemler makalede tartışılrsa da, bu sentez çalışması daha çok çapraz-kuşaklı sistemleri (Outtrigger systems) ve diagrid sistemler gibi mevcut eğilimlere üzerine odaklanmaktadır. Genelde hafif çelik binaları etkileyen yanal yer değiştirmelere karşı sönümleme sistemleri de ele alınmıştır. Bunun yanı sıra yüksek binaların yapısal performansını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen aerodinamik ve bükülmüş formlar gibi mimari tasarımdaki mevcut eğilimlerden de söz edilmektedir. Son olarak, yüksek binalardaki yapısal gelişmelerin geleceği hakkında kısa öngörülerde bulunmaktadır.

Kim *et al* (2008) yüksek yapılardaki taşıyıcı sistemin seçiminde binanın inşaat maliyetinin önemli bir faktör olduğunu göstermiştir. Kore'deki yüksek binaların taşıyıcı elemanlarının yapımında çelik ve kompozitin en sık kullanılan yapı malzemeleri olduğunu söylemektedir. Bununla birlikte, bu iki tür malzemenin nispi inşaat maliyetlerine ilişkin veriler eksiktir. Bu nedenle, çalışma, her iki inşaat malzemesi türünü kullanarak 80 katlı bina modelleri için malzeme miktarlarını karşılaştırmıştır. Yüksek binalar için düşey ve yanal yüklere rijitlik gösterecek taşıyıcı elemanların tasarlanmasını önermiştir. Her bir model için kullanılacak malzeme miktarları hesaplar ve karşılaştırır ve sunulan bilgileri her iki malzeme türünün yapım maliyetlerini karşılaştırmak için maliyet verileriyle birlikte kullanmıştır. Bu çalışma, iki yapı malzemesi arasında ekonomik yönden hangisinin en ideal seçim olacağına dair ipuçları sağladığından tasarımcılar için çok önemlidir. Binanın taşıyıcı sisteminin inşasında kullanılacak malzeme seçimi sadece ekonomik faktörü karakterize etmekle kalmaz, aynı zamanda taşıyıcı sistemin seçimini de şart koşar.

Moon (2008a) bina sistemleri tasarımcısı için zorluğun, her zaman bir yapıda rijidite ve ekonomi gibi iki önemli faktörü sağlamak olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle malzemelerin rijitliği ve ekonomisine dayalı tasarım metodolojileri vurgularken yüksek

binalar için yapısal stratejiler ortaya konmuştur. Bu tasarım yöntemlerini, çaprazlı tüp sistemi ve diagrid sistemi gibi diyagonal sistemlere uygulamaktadır. Taşıyıcı elemanların farklı geometrik konfigürasyonlarının malzeme tasarrufu için ekonomik tasarım üzerindeki etkilerini de tartışmış ve optimum geometriler için önerilerde bulunmuştur. Bu makalede tartışılan tasarım stratejileri, rijit yapılar inşa etmek ve minimum malzeme kullanımı için bir referanstır.

Taranath (2009) genelde yapıların tasarımında kullanılmış betonarme özellikle de yüksek binalar hakkında çok yönlü pratik bir bakış açısı ortaya koymuştur. Yazar, modern ve dayanıklı yüksek yapıları inşa etmek için gereken temel ve gelişmiş teknolojilerden bahsetmiştir. Çalışma, düzinelercesi Taranath tarafından tasarlanan dünyadaki binaların örnek vaka çalışması, belirli taşıyıcı sistemlerin seçilmesinin sebepleri ve nasıl seçildiği konusunda değerli ve ayrıntılı bilgiler sunmuştur. Bu kitap, iki yaklaşım arasında bir köprü olmuştur: biri sezgisel becerilere ve deneyime, diğeri bilgisayar becerilerine ve analitik tekniklere dayandırılmıştır. Gerçekçi örnekleri kullanan yazar yüksek ve ekonomik yapıların nasıl inşa edileceğini açıklamıştır. Net ve ayrıntılı açıklamaları, ev sahiplerinin, geliştiricilerin ve mimarların özel ihtiyaçlarını karşılamada yanında, doğanın yüklerini taşıyan sistemler oluşturmak için gerekli araçları belirtmiştir. Kitap, temel ilkelerden ileri teknolojilere kadar çeşitli materyallerle dolu ve derinlemesine geliştirilen teknikleri içermektedir. Kapsamlı öneriler, bilgilendirici örnekler ve resimler sunmuş olan yazar, yüksek binaların tasarımında çeşitli yaklaşımlar ileri sunmuştur. Daha sağlam taşıyıcı sistem tasarımı için rasyonel analizin faydalarını göstermiştir.

Aminmansour and Moon (2010) yüksek binaları, inşaatları ve işletmeleri için önemli kaynaklar gerektiren mimari, yapısal ve çevresel sistemlerin bir entegrasyonu olarak tanımlamaktadır. Bu nedenle, yüksek binaların tasarımı ve inşası çok disiplinli bir süreçtir. Yüksek binanın yapımını yürütmek için, bu projenin tasarım ve yapımında yer alan tüm profesyonellerin projenin başlangıcından sonuna kadar birlikte çalışması

gerektiğini açıklarlar. Binanın işletmesi ve bakımı, tasarım aşamasında dikkate alınmalıdır. Tasarım ve yapım sürecinde her ekip elemanının bilgileri, deneyimleri ve fikirleri, yaratıcı, estetik ve işlevsel bir çevreye katkıda bulunacağını da eklemektedir. Kendi disiplinlerindeki yeterlilikleriyle beraber her ekip üyesinin temel bilgilere sahip olması ve yüksek binaların tasarım ve yapım yönleri üzerine bilgiler edinmiş olması da esastır.

Moon (2010) tasarımcıların ve mühendislerin akıllarını meşgul eden bir konuyu ele almıştır. Bu konu: yüksek binaların tasarımı için belirli yapısal bir sistemin seçimidir. Bu seçenek, malzemelerin ve işçiliklerin varlığı, yapı verimliliği, mimari estetik, mekansal yapılandırmalar gibi birçok karmaşık faktörü içerir. Bu çeşitli faktörler arasından çalışma, öncelikle yüksek binaların mevcut taşıyıcı sistemlerinin yanal rijitliğine dayanan yapısal verimliliğe odaklanmaktadır. Rijitlik ve dayanıklılık, taşıyıcı sistemleri tasarım için en önemli iki gereksinimdir. Yükseklik ve genişlik arasındaki oranın çok olduğu yüksek binalar için rijitlik kısıtı genellikle bunların tasarımında önemlidir. Yüksek binalar için geliştirilen çeşitli taşıyıcı sistemler arasından, çaprazlı tüp sistemi veya binanın çevresinde bulunan elemanların eksenel hareketiyle yanal yükleri çok etkili biçimde destekleyen diagrid sistemleri gibi diyagonal sistemler ele alınmıştır. Makalede daha az malzeme kullanarak daha verimli ve daha dayanıklı binalar inşa etmeyi sağlayan taşıyıcı sistemler için önemli tasarım konularına yer verilmiştir.

Moon (2011), günümüz mimarisi ancak yaratıcı, çok yönlü ve değişik biçimliliği içeren çoğulculuğun tanınmasıyla daha iyi anlaşılabilirliğinden bahsetmiştir. Çağdaş tasarımdaki eğilimler, bükülmüş, eğimli ve serbest formlu kuleler gibi birçok yüksek bina türünün geliştirilmesine yol açmıştır. Yüksek binalardaki taşıyıcı sistemlerin inşa edebilmesi için çok çeşitli yapı malzeme gerektirmektedir. Binanın yüksekliği arttıkça, gereken yapı malzeme miktarı çarpıcı biçimde artar. Karmaşık formlara sahip yüksek binaların inşa edilmesi genellikle daha büyük miktarda yapı malzemesi gerektirir.

Karmaşık formlara sahip yüksek binalar için performansa dayalı yapısal tasarım seçenekleri ve her kategori için en etkili yapısal çözümler çalışmada irdelenen konular arasındadır. Yazar, karmaşık formlara sahip yüksek binaların tasarımı için en uygun taşıyıcı sistemlerin, genellikle, diagrid sistemi, çaprazlı tüp sistemi ve çapraz-kuşaklı sistem gibi çağdaş taşıyıcı sistemler olduğunu belirtmektedir. Her sistemin yapısal etkinliği, binanın şekli ile birlikte incelenmiştir. Yapısal modeller uygun bilgisayar programları kullanılarak üretilmiş ve ardından analiz ve tasarım amacıyla yapı mühendisliğinin hazır programlarına aktarılmıştır. Bu nedenle, dikkat çekici şekli ve karmaşık yapılara sahip yüksek binaların ortaya çıkmasıyla birlikte, çalışma, daha az malzeme kullanarak sürdürülebilir yapılar inşa etmek için en etkili taşıyıcı sistemleri bulmayı amaçlamaktadır.

Moon (2012) çalışmasında, “yüksek binaların inşası için bol malzemenin kullanılması” gibi mühendislikteki en önemli konulardan birini ele almaktadır. Daha az yapı malzemesiyle yüksek binalar inşa etmeyi ve tasarım gereksinimlerini karşılamayı amaçlayan yüksek binalar için sürdürülebilir yapı mühendisliğine ait stratejiler ileri sürer. Yüksek bina tasarımı için belirli bir taşıyıcı sistemin seçimi, kaynak mevcudiyeti, mimari estetik, mekansal organizasyonlar ve daha da önemlisi yapı verimliliği gibi birçok karmaşık faktörü içerir. Bu çeşitli faktörler arasında çalışma, öncelikle yüksek binaların taşıyıcı sistemleri arasındaki yanal rijitliğe dayalı karşılaştırmalı yapı verimliliğini incelemektedir. Sistemin en uygun geometrik konfigürasyonlarını belirlemek için üniform ve değişken açılı konfigürasyonların farklı diagrid yapıları incelenmiştir. Diyagonal açılı konfigürasyonları ve kolon aralıkları farklı iki veya fazla çaprazlı tüp sistemler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çapraz-kuşaklı sistemlerde, bina çekirdeği ve periferik taşıyıcı elemanları arasında en uygun rijitlik dağılımı incelenmiştir. Çalışma, önemli miktarda malzeme tasarrufu sağlayacak olan her sistemin en verimli yapı konfigürasyonlarını tanımlamaktadır.

Moon (2013a) yüksek bina, bir taşıyıcı sisteminin verimliliği, binanın geometrik şekilleri ve sistem elemanları arasındaki rijitliğin dağılımı gibi bazı parametrelerden önemli ölçüde etkilenir. Çalışmada, yüksek binalar için mevcut taşıyıcı sistemlerin optimum konfigürasyonlarının incelemesi ve analizi bulunmaktadır. Yanal yüklere dayanıklı olan birincil sistemin taşıyıcı elemanları, binanın dış kısmına yerleştirildiğinde, yanal yüklere karşı direnci arttırmak için binanın çekirdeğinde bir iç sistem kullanılarak genel sistemin verimliliği en üst düzeye çıkarılabileceğinden söz edilmiştir. Yüksek binaların taşıyıcı sistemleri arasında, diyagonal sistemler genellikle en etkili olanlardır çünkü ana yapı elemanlarının eksenel hareketleriyle yanal yükler taşınmaktadır. Diyagonal yüksek binaların yapı sistemleri, çaprazlı tüp ve diagrid sistemlerini içermektedir. Bu çalışmada, optimum geometrik konfigürasyonları belirlemek için farklı açı konfigürasyonlarına sahip diagrid yapılar incelenmiştir. Kolonlar arasındaki aralıkları ve diyagonal açılı farklı konfigürasyonlara sahip çaprazlı tüp sistemler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Son olarak, çapraz-kuşaklı sistemler için binanın çekirdeği ve çevresindeki mega kolonlar arasındaki en uygun rijitlik dağılımı incelenmiştir.

Günel and Ilgin (2014) tasarım ve inşaat aşamasında karşılaşılan zorlukların, özellikle yüksek binalarda oldukça önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada yazarlar, yüksek binaları tasarlarken özellikle göz önünde bulundurulması gereken temel mimari ve yapısal bilgileri sağlamayı amaçlamışlardır. Çelik, betonarme ve kompozit yapı sistemlerinden örnekler sunan çalışma rüzgar yükünün mimari ve yapısal tasarım üzerinde çok önemli bir etkisi olduğunu savunmaktadır. Bu bağlamda, yüksek binaların aerodinamik yaklaşımı, depremlerin neden olduğu yanal yük gibi düşünülmüştür. Gelecekteki tasarımcıların ve yapı mühendislerinin zorluklarını hayata geçiren, dünyanın en meşhur binalarından bazılarını yer verilmiştir. Empire State Binası, Burj Khalifa ve Taipei 101, temel tasarım ilkelerini açıklamak ve göstermek için kullanılan gerçek bina örneklerindendir. Bu referans kitap büyük kolaylık ve yüksek katlı binalar için taşıyıcı sistemler tasarımı ile ilgili her şey hakkında çok değerli detaylar sağlamıştır.

Mutashar and Chandra Mouli (2016) çalışma modern yüksek binalarda perde duvar sisteminin depremden ve rüzgardan kaynaklanan yanal yüklere karşı etkili olarak dayanıklılık gösterdiğini buna mukabil olarak binanın yüksekliği arttıkça binanın rijitliğinin giderek daha önem kazandığını ve başka sistemlerin kullanılmasının öncelikli hale geldiğini göstermiştir. Öncelik kazanan sistemler çapraz-kuşaklı, diagrid veya tüp sistemleri olabilir. Söz konusu sistemler yaygın olarak, yapılarıdaki yanal yükler nedeniyle yanal yer değiştirmeleri etkin bir şekilde kontrol etmek için kullanılır. Bu çalışmanın amacı, yukarıda belirtilen sistemler arasında, betonarme yüksek yapılar için yatay ve düşey yüklere dayanacak en uygun taşıyıcı sistemi bulmaktır. Üç sistem arasından en uygun olanı bulmak için, yanal yer değiştirme, kesme ve eğilme momenti gibi belirli parametrelere dayanan bir karşılaştırma yapılmıştır. Çapraz-kuşaklı sistem için sistemin davranışlarının ve yapıdaki en uygun yerinin yanal yüklere etkin şekilde direnç gösterme durumunun araştırılması yapılmıştır. Sismik yüklere maruz kalan üç boyutlu çapraz-kuşaklı modeller analiz edilmiş ve sistemin pozisyona bağlı yanal yer değiştirmenin azalmasını belirlemek için karşılaştırılmıştır. Diagrid sistemde, 66.19 ve 79.99 derecelik bir diagrid açısı, her bir açı için analiz sonuçlarını karşılaştırılarak yapı için en uygun açı olarak belirlenmiştir. Optimum taşıyıcı sistemi bulmak için çapraz-kuşaklı sistemin elemanlarının optimum pozisyonlarının belirlenmesinden, diagrid sistemin açısının elde edilmesinin ardından sözü edilen sistemler tüp sistemi ile karşılaştırılır. İncelenen binaların modelleri simetriktir; 36 x 36 m'lik bir alanı kapsar; 60 kattır ve her kat 3.6 m yüksekliğe sahiptir. SAP 2000 programı ile modelleme ve analiz yapılmıştır.

Ali and Moon (2018) dünyada sürekli olarak yeni yüksek binalar inşa edilmiştir. Bununla birlikte, yüksek yapılarıdaki taşıyıcı sistemlerde de birçok yenilik ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, yakın zamandaki gelişmelere vurgunun yapıldığı, yeni yüksek binalar için temel yapısal sistemlerin geriye dönük bir incelemesidir. Bu iki yazar tarafından ortaya konan ve daha sonraki çalışmalarda da yer alan, taşıyıcı sistemler tablosu, en yeni taşıyıcı

sistemleri tanımlamak, sınıflandırmak ve eklemek için bu çalışmada yeniden güncellenmiştir. Yapısal sistemlerde ortaya çıkan yeni eğilimler mega tüp ve destekli diagridle çeşitlendirilmiştir. Bir yandan uyumsallığa vurgu yapılırken diğer yandan çekirdek ve çapraz-kuşaklı gibi sistemler irdelenmiştir. Bu günün projesine özgü çeşitli karmaşık tasarım gereksinimlerini karşılamak amacıyla 600 m'den daha yüksek binalar için çeşitli hibrid taşıyıcı sistemler ileri sürülmüştür. Bu çalışma ayrıca, çağdaş yüksek binalar için kompozit taşıyıcı sistemlerin ve betonarme çekirdeklerdeki gibi son eğilimlerin uygulanmasına yöneliktir. Son olarak, yüksek binalar geleceğe yürürlerken onların geleceği hakkında da tahminde bulunmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Yüksek Binaların Tarihi Kronolojisi

Yüksek binalar insanları her zaman büyülemiştir. Teknolojinin ve bilimin gelişmesinden önce de gökyüzüne doğru yükselen ve yüksekliği yüz metreyi aşan binalar mevcuttu. Peki, öyleyse dünyanın en yüksek binalarının geçmişi hangi tarihe dayanıyordu? Bu geçmişin öncü binaları hangileriydi? Bu soruların yanıtlarını binaların tarihlerini kronolojik olarak tarih öncesi ve modern binalar olmak üzere ikiye ayrılarak verilmiştir.

3.1.1. Tarih Öncesi Çağ Binaları

İnsan; bina söz konusu olunca, yüksekliğe meydan okumak için modern zamanları beklememiştir. İnsanlık modern çağlar öncesinde de bu alanda döneminin en yüksek örneklerini vermiştir.

Mısırlılar Keops Piramidi (Şekil 3.1) gibi Piramitler yapmayı başardılar. Mısır'ın başkenti Kahire'de bulunan Keops Piramidi aynı zamanda, Dünyanın Yedi harikası listesinde bulunmaya hak kazanmış tarihi bir eserdir. Uzun zaman dünyanın en yüksek binası olma niteliğine sahipti ve her zamanda en ihtişamlısı olmuştur. Onun uzun ömürlü olmasını sağlayan şey sık aralıkla örülmüş taşlardan yapılmış olmasıdır. Böyle bir eserin 4500 yıldan fazla yıkılmadan kalması bir rekordur. Bu rekor günümüzde dünyanın yedi harikasıdan ayakta kalan tek eser olmasından kaynaklanmaktadır. Tamamen taştan yapılmış olan Keops piramidi halen iyi durumdadır. Mevcut boyutlarıyla bu gün bile çok etkileyicidir. 230 metre kenar uzunluğu, 138 metre yüksekliğe sahiptir. Bu da 2.3 milyon m³ hacim, kalker taşlardan 6 milyon blok yapar. İlk zamanlardaki boyutları daha fazlaydı çünkü yaklaşık 2,6 milyon m³ hacim ve 146,60 metre yüksekliğe sahipti. Zemin alanı günümüzde halen 5,29 hektardır. Piramidin zemin alanı 53055 m²; zemininin çevresi 922

metredir. Çevresini dolaşmak isterseniz, yaklaşık 1 km yürümek zorunda kalırsınız. Efsaneye göre İskenderiye'deki Pharos Fener Kulesi gibi 140 metre yüksekliğe sahip bir kule, 20. yüzyıla kadar inşa edilmemişti. Eski Ahit'ten beri gökyüzüne yükselen Babil Kulesi'nin (Şekil 3.2) adını anmak gerekir.



Şekil 3.1. Keops Piramidi (Kırmızıtaş 2008)



Şekil 3.2. Babil Kulesi (Kırmızıtaş 2008)

Ancak bu eserlerin probleminin genelde inşaat malzemesi olarak kullanılan taşların ağırlıkları olduğunu belirtmeliyiz. Çünkü bu taşlar yükseklikleri desteklemeye elverişlilikleriyle bilinirler. Gerçekten de, gökyüzüne ulaşmaya çalışan yalnızca kutsal binalar değil, 19. yüzyıldan beri, konutlar içeren yüksek binalar, ofisler veya oteller de inşa edilmekteydi.

3.1.2. Modern Çağ Binaları

Mayıs 1870’de, Arthur D. Gilman ve Edward H. Kendall ile başlayan ve George B. Prost ile son bulan, “Equitable Life Assurance Company” New York’ta inşa edildi. Yalnızca beş katlı olmasına rağmen, yaklaşık 40 metrelik yükseklik ile sıradan binaların iki katı yüksekliğe sahipti. Çünkü “Equitable Life Assurance” şirketi nin başkan yardımcısı, katların yüksekliğini neredeyse iki katına çıkarmasını mümkün kılan mekanik asansör (ilk önce 1857 yılında E.V. Haughwout Binası'na yerleştirilmiştir.) şirketi Elisha Otis'in icat ettiği olanaklardan yararlanma kararını almıştı. Bu yapı tarihçilerin ilk gökdelen olarak kabul ettikleri binadır.

Gökdelenlerin büyük serüveni, daha genel olarak söylemek gerekirse "Yüksek Binalar" aslında Chicago'da başlamıştır. Bu bir tarihi paradokstur. 1871'deki yangınla şehir yüksek bina konusunda bir dinamizm yakalamıştır. 8 ila 10 Ekim arasındaki üç günlük bir zamanda yangın yaklaşık 6 km² gibi bir alanı ve şehrin toplam arazisinin üçte birlik kısmını yok etmiştir. Yangından yalnızca dokuz yıl sonra, 1880 de, Chicago'luların nüfusu yarım milyon olmuş, bu rakam on yıl sonra iki katına çıkmış ve nihayet 1910 yılında nüfus iki milyon insana erişmiştir. İllinois'in başkenti New York'un ardından Amerika'nın ikinci şehri olma özelliğini kazanır. Refah seviyesi yüksek ekonomisi her etnik kökenden göçmeni buraya çeker. Konut ihtiyacı, arazi fiyatlarının artmasına neden olacak kadar büyüktür. Bu durumda, şehrin sınırlarına ulaşmadan sürekli artış gösteren bir nüfusa, iskân nasıl sağlanır?

Sanayi devriminin enerjisi bütün girişimcileri cesaretlendirmiştir. William John LeBaron Jenney dış duvarının hiçbir şey taşımadığı, tüm yapıyı taşıyan bir içyapı sistemi geliştirdi. Altı kattan daha yüksek olan I. Leiter binası 1885'te ortaya çıktı. Ancak 1884'te yapımı tamamlanan ve yüksekliği 10 katlı binadan daha fazla olan **Home Insurance Binası** (Şekil 3.3), yüksek binaların ilk örneği olarak kabul edilmiştir. Tamamen çelikten bir çerçeveye oturtulmuştur ve dış cephe duvarı sadece kendi ağırlığını taşımaktadır.

1889'da Jenney'nin ikinci Leiter Binası, dış cephesi çelik çerçeveli sisteme sahip ilk bina ünvanına sahiptir. Burham ve Root tarafından inşa edilen İkinci Rand McNally Binası ise, sistemin bütününde çelik kullanılan ilk binadır. Yerel çelik endüstrisinin kapasite gücü çelik yapıların hızlı bir şekilde gelişmesine olanak tanımıştır. Bunu, 1894'te tasarımcıları Holabird ve Roche olan, on dört katlı Tacoma Binası, 1890'da tasarımcıları Atwood ve Burnham olan on beş katlı Reliance Binası ve Jenney'nin on altı katlı Manhattan Binası takip etmiştir. Yüksek binaların sayısının artması asansörün yaygınlaşmasının nedenlerinden bir olmuştur. Henüz bilmiyorlardı ama bu mimarlar yirminci yüzyıl Amerikan şehirlerinde kendisini kabul ettiren kentsel gelişime örnek teşkil eden "Chicago Ekolü"nün öncüleriydiler.



Şekil 3.3. Home Insurance Binası (Wood 2015)

167 metre yüksekliğiyle **Philadelphia City Hall** hemen göze çarpan döneminin en yükseğiydi. Amerika'nın Philadelphia şehrinde 1901 yılında inşa edilmiş olan bu çan kulesi çelikten bir çerçeveye oturtulmamıştı ama yinede günümüze kadar dünyanın tuğla duvarlı en yüksek binası ünvanına sahipti. Yedi yıl boyunca dünyanın en yüksek binası ünvanını elinde bulunduran Philadelphia City Hall 1980 yılında inşası biten ve kendisinden 20 metre daha yüksek olan **Singer Binası** tarafından ünvanı elinden alınmış oldu. Bu gökdelen ancak kısa bir süreliğine dünyanın en yüksek binası olma özelliğini elinde bulundurabilmiştir. Dört yıl gibi kısa bir süre sonra, 1913'te, 213 metre yüksekliğiyle Metropolitan Life Tower, New York'ta inşa edilmiştir.

Metropolitan Life Tower'dan (Şekil 3.4), sonraki gökdelenlerde yine New York'ta inşa edilmişler. Manhattan'da 241 metre yüksekliğiyle **Woolworth Binasının** Metropolitan Life Tower'ın tacını elinden alması için ancak dört yıllık bir sürenin geçmesi gerekiyordu. Woolworth Binasının yapılması güçlendirilmiş temellerin icadıyla mümkün olmuştur. Herhangi bir deprem esnasında gökdelenin eğilmesine ve yıkılmasına bu teknik engel olmaktaydı. 1930'a kadar Woolworth dünyanın en yüksek binasıydı.

Takip eden on yıl içerisinde gökdelenler tek bir şehirde yoğunlaşmıştır: New York. İnşaat sektöründe geçen bir yıldan az bir zaman içerisinde, **Trump Binasının** inşası, 1930'da tamamlanmıştır. Bu bina 238 metre yüksekliğiyle, kısa bir süre için dünyanın en yüksek binası olmuştur. Bir süre sonra, Trump Binası en yüksek gökdelen olma ünvanını 319 metrelik yüksekliğiyle ona net bir şekilde üstünlük sağlayan **Chrysler Binasına** (Şekil 3.4) kaptırdı. Dönemin en yüksek yapısı olan Paris'teki Eiffel Kulesi, bu binayı inşa eden Walter Chrysler'e New York'ta dünyanın en yüksek gökdelenini inşa etmesi için ilham kaynağı olmuştur.

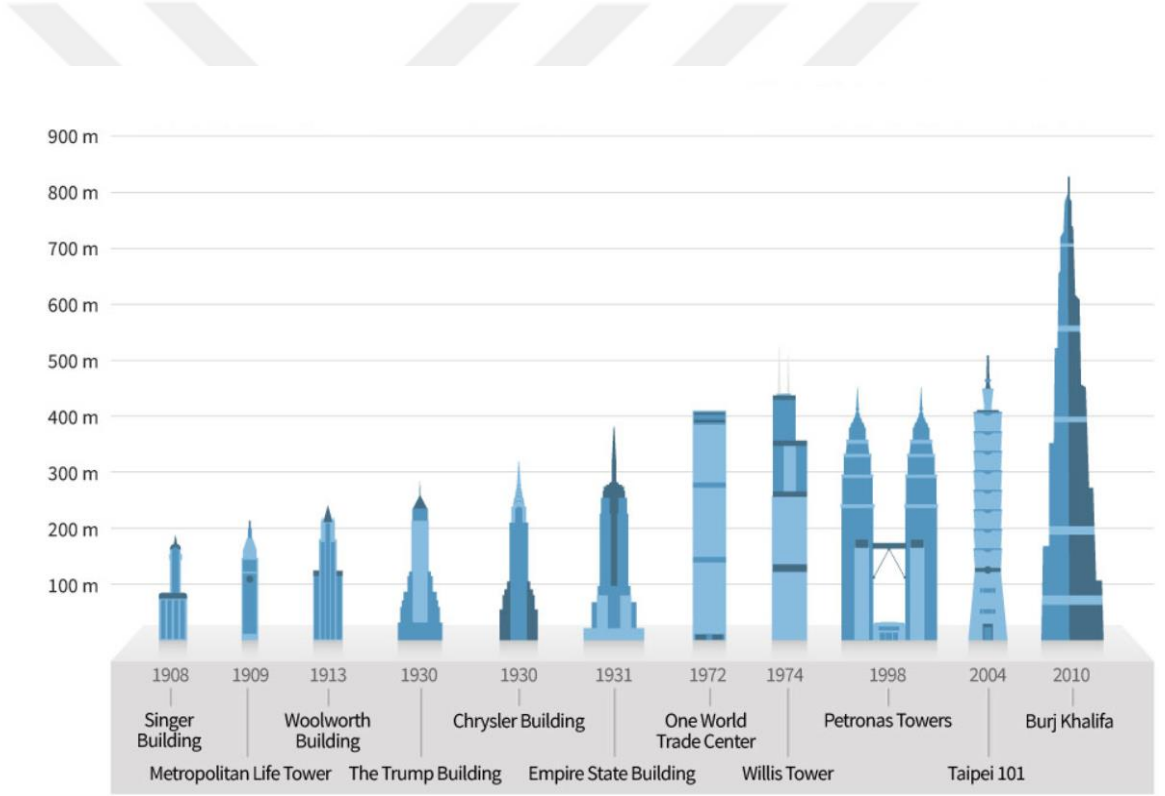
Açılışından yaklaşık bir yıl sonra Chrysler Binası tacını, 381 metre yüksekliğe sahip **Empire State Binasına** kaptırdı. 18 ay gibi rekor bir sürede yapımı tamamlanan söz

konusu gökdelen dünyanın sekizinci harikası olabilecek niteliktedir. Empire State Binası dünyaca tanınan gökdelenlerden biri oldu. 41 yıl gibi bir süre dünyanın en yüksek binasıydı, ondan başka hiçbir bina bu kadar uzun süre bu ünvanı taşıyamadı. Ancak 1972 yılında, onun yüksekliğini günümüzde dahi en uzun yüksekliğe sahip bir gökdelen olan **One World Trade Center**, aştı. Birçok öncüsünde olduğu gibi yapımı New York'ta tamamlanmıştır. Yedi yıllık bir inşa süresinden sonra 415 metre yüksekliği olan söz konusu bina ve ikizi dünyanın en yüksek gökdelenleri olmuşlar. 11 Eylül 2001'deki terör saldırısında World Trade Center tamamen yıkılmıştır.

1974 yılında World Trade Center (Dünya Ticaret Merkezi'nin) tamamlanmasından iki yıl sonra, iki New York kulesi, Chicago'daki **Sears Kulesi** tarafından geride bırakıldı. Bina 20 yıldan fazla bir süre dünyanın en yüksek binası olma unvanını elinde bulundurdu. Willis Group Holding'in haklarını satın alması ve kuledeki çoğu ofisi kiralamasıyla 2009 yılında Willis Tower olarak yeniden adlandırıldı. ABD dışındaki dünyanın en yüksek binaları unvanını kazanan ilk gökdelenler Kuala Lumpur'da, 1998 yılında yapımı tamamlanan **Petronas Kuleleridir**. Kulelerin en öne çıkan özellikleri, acil durumlarda “kaçış yolu” görevi gören iki gökdelen arasındaki Gökyüzü Köprüsüdür. Petronas Kulelerinin tamamlanmasından hayli zaman sonra gökdelenlerin ölçülerine ilişkin kuralların uygulanmasında bu “Gökyüzü Köprüsü” bulundurma ilkesi zorunlu olmuştur. İkiz kuleler, dünyanın en yüksek binaları olma unvanına ancak hukuki bir süreçten sonra sahip olmuşlardır. Willis Tower'ın sahibi, binasının ince metal direği de eğer hesaba katılırsa Petronas Kuleleri'nden bile daha yüksek olacağını kanıtlamak için dava açmış. İşte davanın Petronas Kuleleri lehine karar bağlanmasından sonra ince metal direkler, bir binanın asıl unsurları arasında sayılmamışlar.

Sonuç olarak, 452 metrelik yükseklikleriyle Petronas Kuleleri, Tayvan'daki Taipei 101'in yapımının tamamlanmasına kadar dünyanın en yüksek binasıydı. **Taipei 101** (Şekil 3.4) bu unvana 2004'e kadar sahip oldu ve böylece 21. yüzyılda bu unvana sahip ilk bina niteliğini de kazanmış oldu. Binanın aynı zamanda birkaç üstün özellikleri de vardır: en

yüksek mimari yapı, en yüksek çatı kenarına sahip olma, yaşanabilir en yüksek kata sahip olma. Ancak, Taipei 101'in tamamlanmasından önce, bir sonraki gökdelenin yapımı çoktan başlamıştı: bugün bilinen adıyla **Burj Khalifa** ama ilk yapıldığı adıyla **Burj Dubai**. Kuleyi tamamlamak için 2400 işçi üç vardiyalı olarak çalışıyordu. Bir katın inşa edilmesi için ortalama dört gün gibi bir sürenin geçmesi gerekiyordu. Kulenin 828 metrelik yüksekliğiyle devasa gövdesi 2008 yılının Aralık ayında tamamlandı ancak bina Temmuz 2007'de Taipei 101'in yüksekliğini zaten çoktan geçmişti. Böylece Dubai şehrindeki Burj Khalifa dünyanın en yüksek binası oldu ve günümüze kadar bu ünvanı kaybetmedi. Ancak kule tamamen 2010 yılında bitirilmiştir (Wood 2015).



Şekil 3.4. Dünyanın en Yüksek Binalarının Tarihi (Wood 2015)

Çizelge 3.1. Yirminci Yüzyılın Başından Beri Yapılmış En Yüksek Binalar (Wood 2015)

Süre	İsim	Şehir	Kat Sayısı	Yükseklik (m)
2007' den günümüze	Burj Khalifa	Dubai	163	828
2004 - 2007	Taipei 101	Taipei	101	509
1998 - 2004	Petronas Kuleleri	Kuala Lumpur	88	452
1974 -1998	Willis Kulesi	Chicago	108	442
1972 – 1974	One World Trade Center (ruiné)	New York	110	417
1931 – 1972	Empire State Binası	New York	102	381
1930 – 1931	Chrysler Binası	New York	77	319
1930 – 1930	Trump Binası	New York	70	283
1913 – 1930	Woolworth Binası	New York	57	241
1909 – 1913	Metropolitan Life Kulesi	New York	50	213
1908 – 1909	Singer Binası	New York	47	187
1901 – 1908	Philadelphia City Hall	Philadelphia	9	167

3.1.3. Türkiye'deki Yüksek Binaların Tarihi

Türkiye'deki yüksek katlı binaların tarihi, çoğu Avrupa ülkesi gibi, anıt olarak ve dini amaçlarla yapılan eserlerle başlamıştır. Edirne'deki **Üç Şerefeli Cami'nin**, mimari tarihinde yer alması tam olarak Osmanlı İmparatorluğu dönemindeki 1430 ila 1440'lı yıllara rastlamaktadır. Her biri 67,62 m boyunda dört minareye sahip olan **Üç Şerefeli Cami**, ülkenin kültürel tarihi ve dini mimarisini temsil etmektedir. Süleymaniye Cami, Sultan Süleyman'ın isteği üzerine 1551-1558 yılları arasında İstanbul'un Fatih ilçesi, Süleymaniye semtinde Mimar Sinan tarafından inşa edilmiştir. Bu cami depreme dayanıklılığını ispatlamış sağlam bir yapıya sahiptir. Caminin etrafında yükseklikleri birbirinden farklı dört minare vardır. En yükseği 76 metredir. Süleymaniye Cami günümüze kadar turistlerin uğrak yeri ve ulusal ölçekte bir başyapıt olmuştur.

Mimar Sinan tarafından Edirne'de 1567-1574 yılları arasında inşa edilen **Selimiye Cami'nin** (Şekil 3.5), dört minaresi vardır. UNESCO tarafından dünya mirası kabul edilen eserler listesine alınmıştır. Selimiye Cami'nin minareleri ülkenin en yüksek minareleridir. Mimari şaheser olan Selimiye Cami Türkiye'nin en cazip turizm unsurlardan biri olmaya devam etmektedir.



Şekil 3.5. Selimiye Cami (Kırmızıtaş 2008)

Türkiye’de çok katlı binaların inşası on dokuzuncu yüzyılın sonlarına tekabül etmektedir. Söz konusu çok katlı binaların yapımı İkinci Dünya Savaşından sonra gelişme göstermiş ama asıl sıçramayı 1950’li yıllara doğru yapmıştır. 1970’li yıllara doğru artık yirmi katlı binalar yapılmaya başlamıştır. Ankara’daki 13 katlı Ulus İş Hanı’nı, 24 katlı Kızılay Emek İş Hanı’nı ve 23 katlı Ceylan İnterkontinantal Otel bunlar arasında sayabiliriz. 1960’ların sonu 1970’li yılların ilk yıllarından başlayarak 1980’li yılların sonuna kadar çok katlı binaların sayısında artış kaydettiğine tanık olmaktayız. Ankara’daki 29 katlı Türkiye İş Bankası ile İstanbul’daki 28 katlı Harbiye Orduevi’ni bunlara örnek gösterebiliriz.

1980’lerden sonra, büyük metropollerde çok katlı binaların inşa edilmesi daha da yaygınlaşmıştır. Bu durum büyük şehirlerde hızlı nüfus artışına ve sürekli bir konut talebine de katkı sağlamıştır. Türkiye topraklarında inşa edilmiş en yüksek bina 54 katlı ve 235 m yüksekliğindeki İstanbul Sapphire’dır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Istanbul Sapphire (Al-Kodmany 2017)

Buraya kadar dile getirdiklerimizden anlaşılmaktadır ki, gittikçe daha da devasa boyutlara ulaşan binaların inşasında kendi tarihi sürecinde insan yüksekliklere meydan okumaktan vazgeçmemiştir. Bu binaların inşası için kullanılan tekniklerin ve materyallerin coğrafi bölgelere ve tarihi dönemlere göre değişkenlik gösterdiklerinin de altı çizilmelidir.

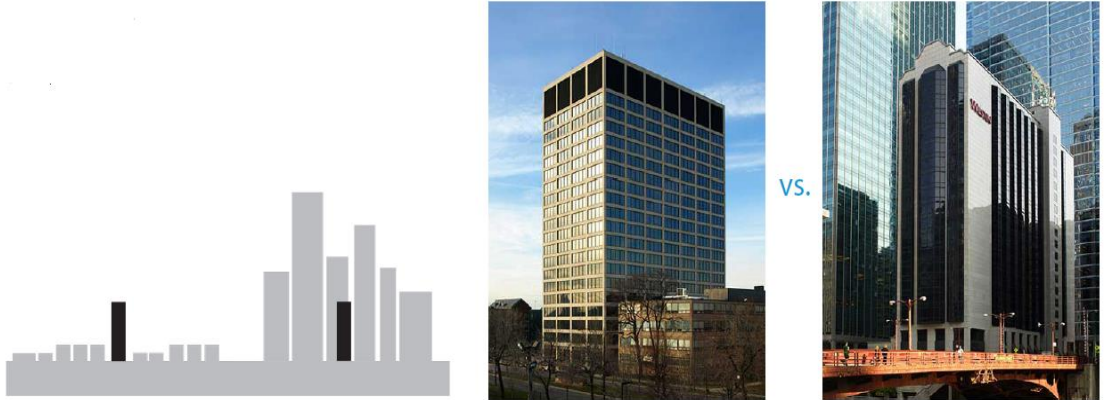
3.2. Yüksek Binaların Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı

3.2.1. Yüksek Bina Tanımları

Yüksek binaların birçok ölçüte göre tanımlanır. Yüksek binaların ölçü ve tanımlarıyla ilgili olarak uluslararası normlar belirleyen ve «dünyanın en yüksek binasının» seçilmesinde hakem olarak seçilen «Gökdelen ve Kentsel Habitat Konseyi'nin» (CTBUH) ortaya çıkışı böyle olmuştur. Bununla birlikte yukarıda da belirtildiği gibi yüksek binaya ve onun ne olduğuna dair kesin tanım yoktur. Tanımlar ya öznel veya aşağıdaki kategorilere göre yapılmaktadır:

➤ Bulunduğu şehre göre yükseklik

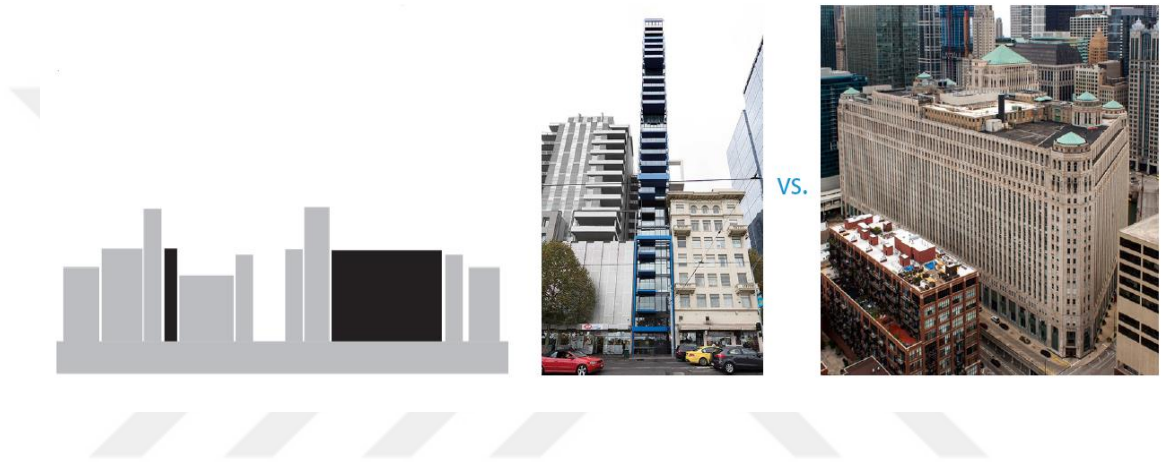
14 katlı bir bina Chicago, New York veya Hong Kong gibi şehirlerde yüksek bina olarak tanımlanmayabilir ama yine de bazı Avrupa ve Afrika şehirlerinde böyle bir bina kentsel normlara göre yüksek sayılabilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Şehire Göre Yükseklik (Irwin et al 2013)

➤ Oran

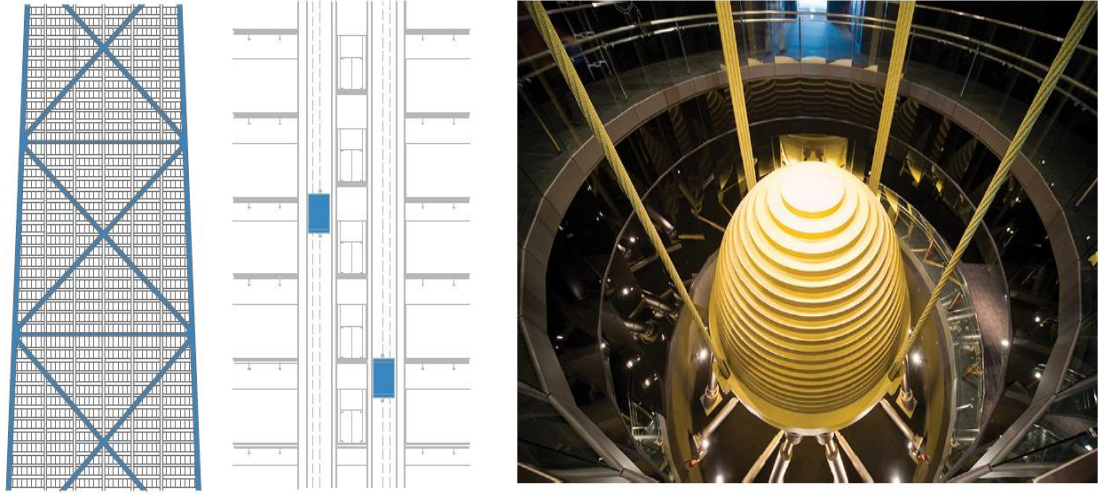
Özünde yüksek olmayan ama ona görünüşü itibariyle yüksek dedirtebilecek inceliğe sahip çok sayıda bina mevcuttur. Buna mukabil yine çok sayıda uzun binalar var ki boyları ve kapladıkları alan nedeniyle yüksek bina olarak sınıflandırılmazlar (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Oran (Irwin et al 2013)

➤ Teknolojilerle donanımlı binalar

Eğer bir bina teknolojilerle donanımlı ise yüksek bina olarak tanımlanabilir. Bu teknolojiler bir "yükseklik" aracı (örneğin özel düşey taşıma teknolojileri, yapısal kontrvantman sistemi, vb.) olarak adlandırılabilir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Teknolojilerle Donanımlı Binalar (Irwin *et al* 2013)

Bir binanın yukarıdaki kategorilerden bir veya daha fazlasında sınıflandırılabilir özelliklere sahip olduğu düşünülürse ancak o zaman yüksek bina olarak nitelendirilebilir. Farklı binalar arasında farklı yüksekliklere ve işlevlere sahip olmaları nedeniyle (büro, oturma mekânı olarak kullanımı vb) bir binanın yüksek olarak nitelendirilmesinde kat sayısı yetersiz bir belirleyici olsa bile 14 katlı veya 50 metreden yüksek bir bina genellikle « yüksek bina » tanımlamasının ilk eşiğini oluşturabilir.

3.2.2. Taşıyıcı Sistem Tasarımı

İnşaat mühendisliğinde, özellikle de inşaat yapımında taşıyıcı sistem tasarlamak bir beceridir; genelde en ideal ekonomik çözümü hesaplayarak işlevsel ve estetik gereklilikleri karşılamayı amaçlayan bir sanattır. Bahse konu gereklilikleri karşılamak için yeni inşaat yöntem ve teknikleri üzerine derinlemesine araştırmalar gerçekleştirmek kaçınılmazdır. İşte bu nedenledir ki günümüzde bina tasarımlarında açık bir düzelme gözlemlemekteyiz. En dayanıklıyı, en işlevseli, en ekonomik olanı ve en çevreci olan tasarımı amaçlamak. Buradan hareketle bir taşıyıcı sistemi tasarlayanın temel prensipleri aşağıya çıkarılmıştır :

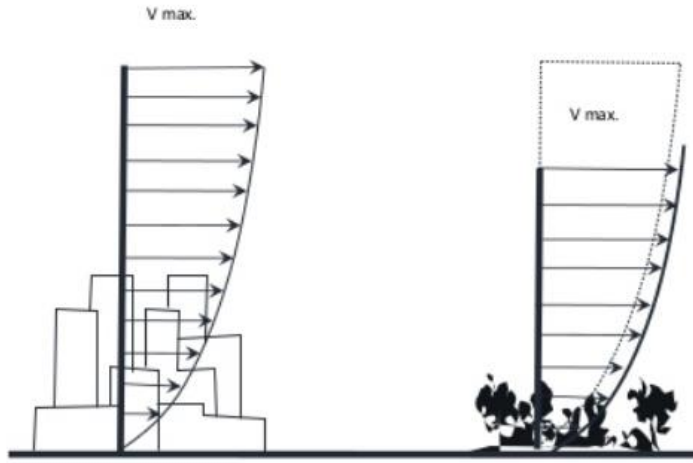
- ✚ Yapı tipinin ve konumunun seçimi,
- ✚ Yapıda malzemenin ve oranların seçimi,
- ✚ Yapıdaki yüklerin belirlenmesi,
- ✚ Yapının taşıyıcı elemanlarındaki iç kuvvetlerin belirlenmesi,
- ✚ İşletme koşullarında yapı performansının kontrolü,
- ✚ Son gözden geçirme ve düzeltmeler.

Bunun yanı sıra, malzemelerin üretiminde kaydedilen bilimsel gelişmeler, inşaat teknikleri, hesaplama yöntemleri gibi unsurların inşaat mühendisliği alanındaki projelerin en ideal şekilde tasarlanması için yeni boyutlar kazandırdığını söylemek gerekir. Dolayısıyla bu yeni olanaklar, iyi bir mimari tasarımın özünü teşkil eden temel kurallar üretebilme niteliğine sahip çağdaş taşıyıcı yapı sistemlerinin ortaya çıkmasında katkı sağlamışlardır. Bu kuralları aşağıdaki gibi listeleyebiliriz (Salvadori *et al* 1980):

- ✚ Denge,
- ✚ Stabilité,
- ✚ Mukavemet,
- ✚ Fonksiyonel uygunluk,
- ✚ Ekonomi,
- ✚ Estetik.

3.2.3. Yüksek Binaların Taşıyıcı Elemanlarının Tasarımı

Çok katlı binaların (sabit ve hareketli yükleri) düşey yüklere ek olarak rüzgar basıncı ve deprem gibi yatay yüklere de maruz kaldığını belirtmek gerekir. Bununla birlikte binanın yüksekliği arttıkça buna paralel olarak yükün sayısal değeri de artmaktadır (Şekil 3.10). Bu nedenle binanın genel sağlamlığını ve dayanıklılığını temin etmek için tasarım yapılırken (düşey ve yatay) yükleri hesaba katmak gereklidir.



Şekil 3.10. Yükseklikte Rüzgar Hızının Değişkenliği (Kırmızıtaş 2008)

Çok yüksek binalarda, döşeme gibi yatay yük taşıyıcı elemanlar, rüzgârdan ve depremden kaynaklanan yatay yükleri, (kolonlar, duvarlar ve perde duvarlar gibi) düşey taşıyıcı elemanlara iletmekte başrol oynarlar.

Eğer genelde yatay yüklerin, özelde rüzgârın etkisi altındaki yüksek binaların iskeletinin veya taşıyıcı sisteminin işlev tarzlarını gözlemler veya çözümlersek, taşıyıcı sistemin zeminde ankastre edilmiş dev bir konsol kirişe çok benzediklerini görebiliriz. Bu nedenle konsolun eğilme teorisi üzerine yapılan araştırmalara göre, binaların düşey yükselişinin mümkün olduğunu göstermiştir.

Yüksek binaları planlarken göz önünde bulundurulması gereken etkenler aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Kırmızıtaş 2008):

- ✚ Genel ekonomik etmenler,
- ✚ Zemin koşulları,
- ✚ Yapının geometrik formu ve yükseklik/genişlik (narinlik) değeri,
- ✚ Fabrikasyon ve yapım,
- ✚ Mekanik donanım sistemleri,
- ✚ Yangından korunma,
- ✚ Yerel koşullar,
- ✚ Yerel malzeme fiyatları ve olanaklar.

➤ **Genel ekonomik etkenler**

Ekonomik etkenler temel olarak en önemlileridir ve bir inşaat projesinin planlama sürecinde önemle dikkate alınmalıdırlar. Yalnızca inşaatın maliyetini değil aynı zamanda inşaat sonrası iç yapım ve tesisat maliyetlerini de içerirler. Elbette, inşaat, içyapım ve tesisat harcamaları projenin büyüklüğüyle ilişkilidirler. Bu nedenle, proje giderleri ile idari maliyetler aracılığıyla elde edilebilecek kazançlar arasında karşılaştırmalı bir çalışma yapmak şarttır.

Söz konusu planlama sürecinde mühendis, mimar ve yüklenici arasında tesis edilecek bir ekip çalışması en yüksek düzeyde ekonomik çözüm getirebilir. Bu paydaşlar arasındaki işbirliği çalışması inşaat sürecinde de devam ederse, bitiş tarihinden önce projenin tamamlanması sağlanır ve bu da büyük bir zaman tasarrufu anlamına gelir; dolayısıyla projenin toplam maliyeti önemli ölçüde azaltılmış olur.

➤ Zemin koşulları

Planlama aşamasında, inşaatın üzerine yapılacağı zemin en ince ayrıntısına kadar incelenmesi gereken diğer bir etkidir. Taşıyıcı sistem, tüm yükleri (örnek: düşey ve yatay yükler) toplar ve bunları zemine aktarır. Zemin bütün bu yükleri taşıyabilecek dayanıklılıkta olmalıdır. Bu nedenle taşıyıcı sistemin, zeminin jeolojik yapısına uyartılabilmesi için büyük bir titizlikle seçilmelidir. Şu halde öncelikli olarak zeminin durumu hakkında derinlemesine bir analiz ve bilinçli bir inceleme yapılmalıdır. Bu, aynı zamanda taşıyıcı sistemin malzemelerinin seçiminde de etkili olacaktır.

Yüksek binaların tasarımı, özellikle yapısal ve geoteknik tasarım açısından mühendisler için yeni zorluklar yaratmaktadır. Pek çok geleneksel tasarım metodu uygulanmaz hale gelmiştir çünkü bunlar bu tür binalar için artık elverişli değildir. Yapısal ve geoteknik tasarımcılar daha derin analiz ve tasarım yöntemlerini kullanmaya zorlanmaktadır. Özellikle, yüksek katlı bina temellerinin tasarımında görev alan geoteknik mühendislerin daha gelişmiş yöntemler kullanması beklenmektedir. Bununla birlikte, yüksek binaların temellerin tasarımına etki eden birtakım özellikleri vardır (Poulos 2016). Bu özellikler şunlardır :

- ✚ Binanın ağırlığı nedeniyle temeller tarafından dayanılacak düşey yük önemli olabilir. Ayrıca, bina ağırlığı doğrusal olmayan yükseklik ile artar ve böylece hem temellerin taşıma kapasitesi hem de zeminin tasmanı dikkatle düşünülmelidir.
- ✚ Yüksek binalar genellikle çok düşük yüklere maruz kalan az katlı yapılar ile çevrilidir. Böylece, yüksek binalar ve bunlara nazaran daha alçak binalar temellerinin boyutları bakımından kontrol edilmelidir.
- ✚ Rüzgar yükü tarafından uygulanan yanal kuvvetler ve temel sistemde oluşan momentler çok yüksektir. Bu momentler, özellikle temel sistemindeki dış kazıklarda artan düşey yükler oluşturabilir. Bu nedenle, kazıkların yapısal

tasarımında, yanal kuvvetler ve momentlerle birlikte hareket eden yükler dikkate alınmalıdır.

- ✚ Rüzgarın neden olduğu yanal yükler ve momentler periyodik niteliktedir. Bu nedenle, düşey ve yatay periyodik yüklerin temel sistemi üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır. Çünkü bu yükler temel kapasitesini azaltabilir ve tasmanlarda artışa neden olabilir.
- ✚ Sismik hareket, yapıya ek yanal kuvvetleri uyaracak ve ayrıca yapıyı destekleyen zeminde yanal hareketleri indükleyecektir. Temel sistemde, ek yanal kuvvetler ve momentler iki mekanizma ile indüklenebilir :
 - Yapının yanal hareketleri ile geliştirilen atalet kuvvetleri ve momentleri;
 - Kazıklara karşı hareket eden zemin hareketlerinin etkisi ile temel kazıklarda kinematik kuvvetler ve momentler oluşmuştur.
- ✚ Rüzgar ve depremden kaynaklanan yanal yükler doğada dinamik olduğundan, yapıdaki rezonans potansiyeli değerlendirilmelidir. Dinamik rezonans riski, dinamik yükün baskın periyodu, yapının doğal periyodu ve temel sistemin rijitliği ve sönümlemesi gibi faktörlere bağlıdır.
- ✚ Yüksek binaların dinamik tepkisi, bazı ilginç yapısal ve temel tasarım zorlukları oluşturmaktadır. Özellikle, çok yüksek bir yapının temel titreşim periyodu çok yüksek olabilir (10 saniye veya daha fazla). Bu yüksek titreşimli periyotlar öncelikle yapısal özelliklere bağlıdır, ancak aynı zamanda temelin tepki özelliklerinden de etkilenebilir.

Yüksek binalarda kullanılan temel sistemler : radye temel sistemi ve kazık temel sistemidir. Orta yükseklikteki binalar için tasarlanmış olan radye temel, tüm yapının yüklerinin dayanması ve bunların uygun zemine iletilmesi için tasarlanmıştır. Bununla birlikte, yüksek binalar için sık bir temel, yatay yükler ve oluşan momentlere karşı yeterli dirençte değildir.

Genellikle, zemin koşullarına göre, temeldeki düşey ve yanal yüklerin önemli olduğu yüksek binalar için sık radye temel sistemi uygun değildir. Bu koşullar altında, bina

yüklerinin, genellikle kolonların ve taşıyıcı duvarların altında yer alan kazıklardan oluşan (basit kazık veya kuyu kazıkları) temel sistem tarafından taşınması gerekmektedir (Poulos 2016).

Ancak, yüksek binalardaki temel sistem seçimi esas olarak belirli etkenlere bağlıdır. Bu etkenler şunlardır :

- Yapının tipi ve bulunduğu yer,
- Yüklerin büyüklüğü ve dağılımı,
- Zemin koşulları,
- Yapı malzemesi,
- Maliyet etkeni,
- Yerel inşaat yöntemleri.
- **Yapının geometrik formu ve yükseklik/genişlik (narinlik) değeri**

Taşıyıcı sistemin rijitliği, aslında geometrik şekil, kat sayısı, sistem tipi, taşıyıcı sistem elemanlarının rijitliği ve bunların aralarındaki bağlantıları ve sonunda yükseltilik/genişlik oranını gerektirir. Taşıyıcı sistemin yüksekliği arttıkça adı geçen taşıyıcı sistem elemanlarının yükünde ve rijitliğinde paralel bir azalma olmalıdır. Buna mukabil aynı yapının kısımları arasındaki yükseklik farklılığı dezavantajlı olabilir.

En önemli ve etkili tasarım yaklaşımı, bina kenarlarının geometrisindeki değişiklikler ve bu geometrinin enine kesitli biçimi dâhil olmak üzere aerodinamik bütünsel-değişiklik yaklaşımıdır. Bu nedenle, yapı elemanlarının özenli bağlantıları ve yanal yer değiştirmelerini azaltan binanın şekli gibi iki temel etkenin önemli ölçüde projenin toplam maliyetini azaltacaklarının da altı çizilmelidir. Günümüzde yüksek bir binanın tasarımı söz konusu olduğunda öne sürülen iddialar önemli ölçüde değişmiştir (Rajmani and Guha 2015).

➤ Fabrikasyon ve yapım

Taşıyıcı sistemler seçilirken, yapım sistemi ciddi şekilde dikkate alınması gereken ve ihmal edilemez bir etkidir. Hatta projenin planlanması aşamasında en önemli etken olarak kendini gösterir. Söz konusu etken işi azaltır ve yapım süresini kısaltır.

Bununla birlikte, yüksek binaların tasarımında üç tip binanın bulunduğunu belirtmek önemlidir: betonarme bina, çelik bina ve kompozit bina. Bu üç bina tipi ise, kolonlar, kirişler, döşemeler, taşıyıcı duvarlar, kontrvantman elemanlar gibi taşıyıcı elemanlarda kullanılan malzemeye göre belirlenir (Günel *et al* 2007). Eskiden, yüksek binalardaki taşıyıcı elemanlar sadece çelik ile inşa ediliyordu. Bu binalarda çeliğin taşıyıcı malzeme olarak tercih edilmesinin sebepleri şunlardır: çeliğin mukavemeti, şantiyede montaj kolaylığı, çelik yapıların verimliliği, taşıyıcı elemanların çok sayıda kesit seçenekleri, vb.

Yüksek binaların yapımında beton kullanımı eski olsada betonun kalıplanabilirlik özellikleri ve yangına dayanıklılığı nedeniyle, yüksek binaların taşıyıcı elemanlarını farklı ve estetik kalıplarda inşa etmek için mimarlar ve mühendisler betonarme kullanmayı tercih etmektedirler. Buna ek olarak, çelik yapılarla karşılaştırıldığında, betonarme inşa edilmiş yüksek binalar daha iyi sönümleme oranlarına sahiptir. Bu da hareket algısını en aza indirmeye ve yüksek rüzgara karşı daha iyi bir dayanıklılığın sağlanmasına yardımcı olur. İnşaat tekniklerinde, tasarım yöntemlerinde ve inşaat yöntemlerinde geliştirilen yenilikler, yüksek binaların yapımında beton kullanımının kolaylığına katkıda bulunmuştur. Ayrıca, yüksek mukavemetli beton ve beton pompalama sistemlerinde teknolojik gelişmeler, dünyadaki en yüksek binaların inşasında beton kullanımını sağlamıştır (Valente 2012).

Yüksek binaların inşasında, sıradan binaların yapımında kullanılanlara göre daha uygun kaldırma ve nakliye ekipmanları kullanılması gereklidir. Örneğin, kule vinçleri 60 ila 70 m yüksekliğindeki binalar için tavsiye edilmez. Bu nedenle, 130 ila 140 m yüksekliğe

kadar olan çalışmalar için, bina yapısına bağlı olan çıkarılabilir kule vinçlerin kullanılması gereklidir (Gunel *et al* 2007).

Yüksek binalar inşa etmenin verimliliği, temel olarak organizasyonel ve teknolojik çözümlere bağlıdır. Günümüzde, yüksek binaların inşaat hızı, ayda dört veya beş kattan daha az değildir. Yüksek binaların yapım süresini azaltmak için düşünülebilecek çözümler şunlardır :

- ✚ Kaldırma, şişme, tasman, çökme, zemin kayması dahil olmak üzere çeşitli zemin koşullarında temellerin inşası için mekanize teknolojiler.
- ✚ Prefabrike elemanlar teknolojisi, öngerilme teknolojisi gibi betonarme veya elik taşıyıcı elemanların inşası için mekanize teknolojiler.
- ✚ çok yönlülüğü ve kullanım kolaylıkları ile ayırt edilen modüler kalıp sistemleri. Bu kalıp sistemleri, yükseklik inşaatı karmaşıklığı için çözümler sağlayabilir.
- ✚ İnşaatın ilerlemesini kolaylaştırmak ve sürenin kısaltılması için en uygun metodoloji, teknolojik ve organizasyonel çözümlerdir.

➤ **Mekanik donanım sistemleri**

İnşaat maliyetinin yaklaşık üçte biri, mekanik ve sıhhi donanım sistemleri için ayrılmıştır. Yapılardaki bu sistemler çok önemlidir. Eğer söz konusu taşıyıcı sistem çekirdek bir yapıysa, mekanik tesisat sistemleri de genellikle bu ereve içerisinde yer alırlar. Yapının ekonomik ve estetik görünümü böylece sağlanmış olur.

Günümüzdeki yüksek binalarda yer alan her türlü elektrikli ve elektro-mekanik donanım; konfor, ekonomi, kalite ve güvenlik açısından kontrol altına alınmaya başlamıştır. Bu binalarda ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinden, yangın ve güvenlik sistemleri, aydınlatma, acil durum enerji dağıtımı, asansörler ve proses kontrol sistemlerine kadar bir çok değişik sistem söz konusu olup, bu sistemlerin merkezi denetim

ve kontrolü, sonrasında bu bilgilerin depolanması gerek enerji yönetimi gerekse işletme ve bakım için önemli bir gereksinimdir. Binalardaki HVAC sistemlerinin her koşulda konfor sağlaması ve enerjik etkin bir sistem olarak çalışması için iyi tasarlanmış bir kontrol senaryosu gereklidir. HVAC sisteminden beklenen en yüksek verimi almak ve sistem hassasiyetini en yüksek düzeyde tutmak için kontrol stratejileri ve parametrelerinin en uygunun seçilmesi gerekir (Canbay *et al* 2003).

Yüksek yapılardaki mekanik donanım sistemleri : tesisat sistemleri, ısıtma, havalandırma, güç kaynağı, sıcak su temini, sıhhi tesisatlar, kanalizasyon, yangın söndürme sistemleri, otomasyon sistemleri, elektrik donanımları, internet ağları, vb.. Elektrik donanımı, acil aydınlatma sistemleri, duman tahliyesi, yangın koruma sistemi temini, yangın alarmı ve güvenlik sistemleri ve su temin sistemini içermektedir (Cherednichenko and Oleinik 2018). Güç kaynak sisteminin otonom olması önemlidir çünkü bir elektrik kesintisi durumunda, asansörlerin çalışması, su temini ve elektrik kesintiye uğramamalıdır.

➤ **Yangından korunma**

Proje tasarımı sürecinde tasarımcının ciddi olarak düşünmesi gereken en önemli problemlerden biri çok yüksek binalarda meydana gelebilecek yangın etkenidir. Böylesi binalarda ortaya çıkabilecek insan kaybını ve maddi hasarı en aza indirebilmek için bir yangın güvenlik stratejisi oluşturulması önerilebilir.

Yüksek binalar için yangın güvenlik stratejisi aslında zamansal bir işlemdir. İki ana bileşen içerir: **tahliye stratejisi** ve **bina performansı**. Bu sonuncusu ile ilgili olarak yangının yayılmasının azaltılmasını sağlayacak değişikliklere gidilebilir, örneğin bölümlendirme yapılabilir (Cowlard *et al* 2013). Buradan hareketle yeterli yangın güvenliği tasarımında olması gereken özellikler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır :

- Ateşin yayılmasına sınırlama ve kimi bloklar arasında alevlerin sıçramasını engelleme (bölümleme),
- Uygun tahliye/boşaltma sistemlerinin kurulması,
- Elverişli duman ve tahliye sistemlerinin düzenlenmesi
- Söndürülmüş ateşten kaynaklanacak duman için havalandırma sistemlerinin tasarımı,
- Yangın başladığında yapının bütünlüğünün korunması.

Daha fazla bilgi için 3.2.5 alt başlığındaki yangın güvenliği ile ilgili detaylara bakılmalıdır.

➤ **Yerel koşullar**

Her toplum, binaların inşaatıyla ilgili olarak kendisine has koşullara ve kendisine ait inşaat yönetmeliklerine sahiptir. Kentsel yönetmelikler ve bölgesel özellikler, sistem ve yapım seçimini etkileyebilirler. Örnek: Eğer kente özgü bir yönetmelikle zorunlu kılınan bina yükseklik sınırlaması varsa, zeminle çatı katı döşemesi arasındaki yükseklik, bu yüksekliğin kapsamına en fazla kat sığdırabilmek amacıyla -örneğin öngerilmeli döşeme gibi başka bir döşeme sistemi tasarımının düşünülmesi önerilerek azaltılabilir.

Bölgesel maliyetler ve koşullar, inşaat sürecini daha uygun maliyetli hale getirebilir. Örneğin bazı ülkelerde çok düşük işçilik maliyetleri, projenin karmaşıklığı ne olursa olsun genel maliyeti düşürebilir.

➤ **Yerel malzeme fiyatları ve olanaklar**

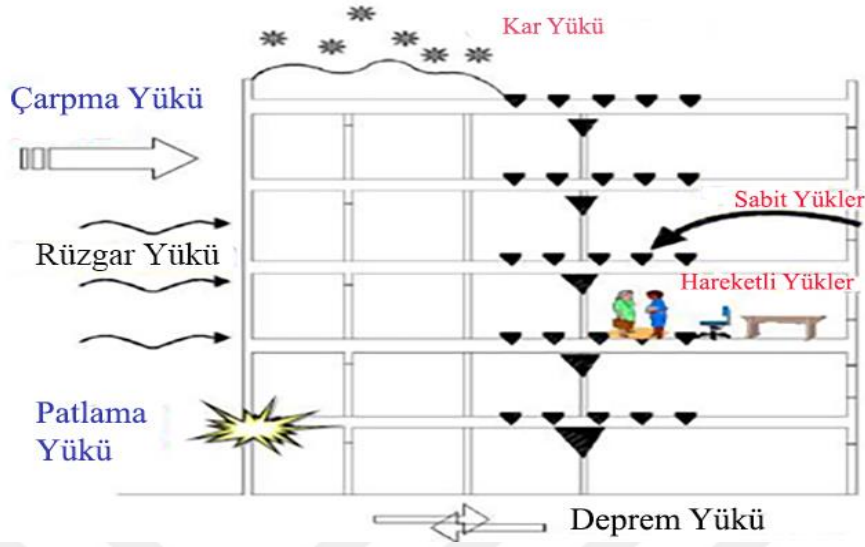
Eğer inşa edilecek yapı, inşaat malzemeleri üretilen bir fabrikadan yakınsa, normal koşullarda pahalıya mal olacak bir malzeme, daha az fiyata mal edilebilir. Eğer başka şehirlerden temin edilen malzemeyi elde etmek zor ise bu, taşıma maliyetini artırabilir;

inşaat takviminin uzamasına sebep olabilir; bunun yanı sıra daha fazla çalışma günü anlamına geldiği için daha fazla yevmiye ödenmesine yol açar ve sonuçta projenin toplam maliyetinde artış söz konusu olur. Buna mukabil eğer proje zamanında bitirilmez yani teslim tarihinden önce tamamlanmaz ise ceza riskiyle karşı karşıya kalınır. Bu nedenle malzeme seçimi sürecinde bölgesel koşullar çok dikkatle incelenmelidir.

3.2.4. Yüksek Binaların Taşıdığı Yükler

Bir bina çok sayıda yüke maruz kalmaktadır. Bu yükler bina dışından veya içinden gelen statik veya dinamik olabilirler. Aralarındaki yapılan basit sınıflandırmada yön göz önünde bulundurulmaktadır; düşey veya yatay. Düşey yükler olarak da bilinen düşey yükler, binanın kendi ağırlığı, hareketli yük ve kardan oluşur. Yatay veya yanal yükler, rüzgârdan, binanın eğiminden ve sismik tepkiden kaynaklanabilir (Şekil 3.11). Genel olarak bu yüklerin önemi, katların sayısına göre biraz daha artar. Öte yandan, rüzgâr yükündeki artma farklı şekillerde seyrederek etkisi, yüksekliğin artmasıyla hızla büyür. Bu nedenle rüzgâr yükü yüksek binaların tasarımında ana yük olarak kabul edilir.

Yanal kuvvetler binaya dik açıdır. Devrilme ve/veya eğilme gibi yanal yüklerden oluşan gerilmeler, binanın mukavemetini olumsuz etkiler. Düşey yüklere gelince onların etkileri bina yönündedir ve bir ölçüde yapının stabilitesi üzerinde olumlu etkileri vardır. Bu yüklerin etki yönü ne olursa olsun, asıl önemli olan binanın asıl işlevinin bu yükleri doğru yere aktarmasıdır (Sandelin and Budajev 2013).



Şekil 3.11. Yüksek Binaların Yüğü Türleri (Kırmızıtaş 2008)

3.2.4.1. Düşey Yüğüler

3.2.4.1.a. Sabit Yüğüler

Sabit yüğüler, yapı üzerinde sürekli olarak etki eden yüğülerdir. Bu yüğüler, taşıyıcı sistemin kendisinin ve taşıyıcı sisteme sabit olarak döşenmiş tüm diğery malzeme ve ekipmanın ağırlığından oluşur. Sabit yüğüler, duvarlar, döşemeler çatılar, tavanlar, merdivenler, gömme bölmeler, kaplamalar ve diğery benzer mimari ve yapısal elemanlar da olmak üzere binaya dâhil edilen tüm inşaat malzemelerinin ağırlığını içerir. Bu yüğüler tam olarak malzemelerin bilinen ağırlıklarından ve iş planının boyutlardan hareketle oluşturulabilirler.

Bu nedenle, yapının sabit yüğülerini hesap edebilmek için, yapının farklı planlarından hareketle tanımlanmış taşıyıcı elemanların boyutları bilinmeli ve kullanılan malzemelerin gerçek birim hacim ağırlıkları belirlenmelidir. Aşağıdaki tabloda, inşaat şantiyelerinde en çok kullanılan malzemelerin yoğunluklarını çıkarılmıştır.

Çizelge 3.2. Bazı İnşaat Malzemelerinin Yoğunlukları (Anonim 1997a)

Malzemeler	Yoğunluk (kN/m ³)	Malzemeler	Yoğunluk (kN/m ³)
Alüminyum	27,0	Dökme Demir	70,7
Asfalt	21,2	Dövme Demir	75,4
Pirinç	83,6	Kurşun	111,0
Bronz	87,7	Kireç Taşı	24,5
Tuğla	18,9	Mermer	26,4
Çimento	14,7	Kuru Kum	15,7
Kömür	8,8	Kum Taşı	22,6
Beton	25,0	Şist	28,3
Bakır	86,4	Çelik	77,0
Normal Mantar	1,7	Paslanmaz Çelik	78,75
Sıkıştırılmış Mantar	3,7	Kereste	5,9-11,0
Cam Pencere	25,5	Çinko	70,0
Granit Bazalt	26,4		

Türkiye’de, TS ISO 9194-1997’nin A ve B Ekleri, inşaatta kullanılan malzemelerin karakteristik yoğunluklarını çok ayrıntılı bir şekilde ortaya koymuştur. En çok kullanılan malzemelerin TS ISO tarafından belirlenen yoğunluk değerlerine aşağıdaki tabloda yer verilmiştir.

Çizelge 3.3. TS ISO 9194-1997 Ek A'dan Bazı Yoğunluklar (Anonim 1997a)

Malzemeler	Yoğunluk (kN/m ³)	Malzemeler	Yoğunluk (kN/m ³)
Meşe Kerestesi	6,9	Kum	15,5
Kayın Ağacı Kerestesi	6,8	Bazalt	30,0
Mermer	27,0	Granit	28,0
Traverten	23,0	Şist	28,0
Ateş Tuğlası	18,5	Tuğla Duvar	15,0-19,0
Yüksek Dayanımlı Ateş Tuğlası	21,0	Yapı Çeliği	78,5
Çimento Harcı	21,0	Dökme Demir	71,0
Şap Harcı	16,0	Alüminyum	27,0
Beton	22,5-25,0	Asfalt	22,0

Sabit servis ekipmanlarının ve ısıtma, havalandırma ve klima sistemleri gibi diğer sabit makinelerin ağırlıkları dikkate alınmalıdır; asansörler ve yürüyen merdivenler gibi düşey taşıma sistemleri, aynı zamanda sıhhi tesisat ve elektrik yükselticileri de tanımlanmalı ve sabit yükler kapsamına alınmalıdırlar.

3.2.4.1.b. Hareketli Yükler

Hareketli yükler, binanın veya diğer yapıların kullanımından kaynaklanan yüklerdir ve çevreden kaynaklanan veya rüzgâr, kar, depremler, seller veya sabit yükler gibi inşaat yüklerini kapsamaz. Bu nedenle, bir binadaki insanlar, mobilya, taşıtlar ve eşya konteynırları gibi tüm hareketli nesneler yapı üzerinde yük oluşturan unsurlardır. Bu yük,

yoğunluğunun büyük oranlarda azalıp çoğalma sonucuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Hareketli yük aşağıdaki etkenlerden kaynaklanabilir :

- ✚ Binaların normal kullanımlarından,
- ✚ Hareketli mobilya ve eşyalar (örneğin mobil bölümler, depolama, eşya konteynırları),
- ✚ Makineler ve araçlar,
- ✚ İstisnai bir durum dahi olsa insanların veya mobilyaların yoğunlaşması, mobilyaların yer değiştirmesinden veya istiflenmesinden ve aynı şeyin binaların yeniden düzenlenmesi veya yeniden dekore edilmesi esnasında diğer nesnelerle gerçekleştirilmesinden kaynaklanan istisnai kullanımlar.

Aslında inşaat mühendisliğinde, yapıların boyutlandırma ve hesaplanması için "Eurocode" özel olarak Eurocode 1, avrupa standardı oluşturma adına, birçok kategori ve kullanım alt kategorisi (veya kullanım kategorileri) tanımlamıştır. Bu kategorilerin her birinde farklı hareketli yüke ilişkin değerler belirlenmiştir (Anonim 2005). Bu kategoriler ve farklı işletim yüklerine ait değerler aşağıdaki tablolarda sunulmuştur.

Çizelge 3.4. Bina Yüzey Kategorileri (Anonim 2005)

Kategoriler	Özel Kullanımlar	Örnekler
A	Konut ve ikamet etkinlikleri	Konut binalarının ve evlerin odaları; hastane odaları ve salonları, otel ve yurt odaları; mutfaklar ve revirler.
B	Büro	
C	Kişilerin toplantı yerleri (A, B, D, E) kategorileri hariç	C1: Masa kullanılan yerler, örneğin: Okullar, kafeteryalar, lokantalar, ziyafet salonları, okuma salonları, resepsiyon salonları, vb. C2: Kiliseler, tiyatrolar veya sinemalar, konferans salonları, amfityatrolar, toplantı salonları, bekleme salonları gibi sabit koltuklu yerler. C3: İnsan trafiğine engel teşkil etmeyen salonlar, örneğin: müze salonları, sergi salonları ve kamu ve idari binaların, otellerin binalarına girişler. C4: Dans salonları, spor salonları, sahneler gibi fiziksel etkinliklere müsait alanlar. C5: Aşırı kalabalık olması muhtemel olan alanlar, kamu toplantılarına elverişli binalarda bulunanlar örneğin: konser salonları, tribünler de dâhil olmak üzere spor salonları teraslar ve girişler.
D	Ticari alanlar	D1: Ürün çeşitliliğiyle ve aynı üründen fazla miktarda satış yapılan yerler, örneğin: depolarda, kâğıt fabrikaları ve büro malzemeleri satış mağazaları. D2: Büyük mağazalar.
E	Erişim alanları dâhil olmak üzere mal biriktirme alanları.	Kitap depolama ve diğer belgeler de dâhil olmak üzere depolama alanları.

Çizelge 3.5. Bina Döşemelerinde Hareketli Yüğü (Anonim 2005)

Yük İçeren Alanlar		q _k (kN/m ²)	Q _k (kN)
Kategori A	Genel Durum	2,0	2,0
	Merdivenler	3,0	2,0
	Balkonlar	4,0	2,0
Kategori B		3,0	2,0
Kategori C	C1	3,0	4,0
	C2	4,0	4,0
	C3	5,0	4,0
	C4	5,0	7,0
	C5	5,0	4,0
Kategori D	D1	5,0	4,0
	D2	5,0	7,0
Kategori E		6,0	7,0

Türk Standartları TS 498-1997, oturan bölümler, balkonlar, merdivenler, kitaplıklar, döşemeli mobilyalar ve diğer bölümlerin kullanımları için hareketli yükleri tanımlamıştır. Aşağıdaki tablo, binaların bazı bölümlerine ait döşemeler için hareketli yüklerin değerlerini vermektedir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. TS 498-1997'den Bazı Hareketli Yükler (Kırmızıtaş 2008)

Döşeme Kategorileri	Hareketli Yüklerin Değeri (kN/m²)
Çatı döşemesinde	1,5
Konut odalarında	2,0
Konut koridorlarında	2,0
Konut merdivenlerinde	3,5
Sınıflar, anfiler, poliklinik odalarında	3,5
Konut merdivenleri sahanlıklarında	3,5
Konut balkonlarında	5,0
Tiyatro ve sinemalarda	5,0
Kütüphane, arşiv döşemelerinde	5,0
Hastane, okul, büro merdivenlerinde	5,0
Büro, hastane, okul, sinema koridorlarında	5,0
Garajlarda (en fazla 2,5 ton olan araçlar için)	5,0
Tribünlerde (koltuksuz)	7,0

3.2.4.1.c. Kar Yüğü

Yük büyüklüğü ve kar yükünün şekli, iklim, topografya, kaplanan alan ve binanın biçimi tarafından etkilenir aynı şekilde rüzgârın etkisi, çatının özellikleri ve çatı yüzeyindeki ısı değişiklikleri de etkileyen unsurlardandır. Bunun yanı sıra binanın üzerindeki kar yükünün belirlenmesi için inşaat mühendisleri, kar yüklerinin belirlenmesi amacıyla Amerika Birleşik Devletleri'nin her yerinde güncel olarak kullanılan "ICB" (the International Building Code) gibi bina standartlarını kullanırlar. Devletler ve / veya yerel yargı birimleri Uluslararası Bina Standartlarını değiştirmek veya tamamlamak ya da kendi özel standartlarını uygulamak hakkına sahiptirler. Bina standardı, yerdeki kar yükünü tanımlar ve bina tasarımcıları bunu, bina çatısında tek tip bir tasarımın kar yükünü hesaplamak için başlangıç noktası olarak kullanırlar (Ammerman 2013).

Aslında, çatıdaki kar yükü denilince, bina yapısal olarak tasarlandığında tahmini hesabı yapılan çatı yüzeyindeki karın ağırlığı kastedilmektedir. Söz konusu kar yükü daha çok aşağıdaki etkenlerden hareketle belirlenir :

- ✚ Zemindeki kar yükünün değerinden,
- ✚ Binanın büyüklüğü, işgalıyesi ve kullanımından,
- ✚ Çatının rüzgâra maruz kalmasından,
- ✚ Çatının eğiminden,
- ✚ Çatının biçiminden,
- ✚ Çatının pürüzlülüğünden,
- ✚ Binanın ısı yalıtımı durumundan.

Ancak, karın birçok fiziksel değişimi olduğu ve çok sayıda atmosferik ve coğrafi koşullardan etkilendiğı belirtilmelidir. Birleşik Devletleri'nin Utah eyaletindeki 30 cm'lik kar ağırlığı ve Erzurum'daki 30 cm'lik kar ağırlığına denk değildir çünkü mevsimin,

rakımın, nemin ve diğer değişkelerin bölgesel farklılıkları kar yoğunluğunda değişikliklere neden olur.

Görünümündeki bu değişkenliğe bakıldığında, kar yoğunluğu için tek bir değer belirlemek mümkün değildir. Kuru kar, 100-300 kg / m³ arasında değişen bir yoğunluğa sahiptir. Islak karda 400-500 kg / m³ aralığında yoğunluk belirlenebilir. Buza dönüşen karın, 900-970 kg / m³ arasında değişen ve ıslak kar yoğunluğundan daha ağır bir yoğunluğu vardır; bu nedenle, karların buza dönüşmesine engel olmak için binaların çatılarında kar birikmesinin önüne geçilmesi çok önemlidir. Sonuç olarak erimiş kar, 1000 kg / m³ seviyesindeki su ile aynı yoğunluğa sahiptir.

Kar, yapının çatı döşemesine etkileyen hareketli yük tipidir. Binanın yapılacağı yere, yerin deniz seviyesinden yüksekliğine ve çatı eğimine bağlıdır. TS 498-1997 madde 7 ve 8'e göre hesaplanır. Türkiye dört kar bölgesine ayrılmıştır. Yapının inşa edileceği il veya ilçenin kar yükü bölge numarası yönetmeliğin 14-18 sayfalarındaki çizelgeden alınır. Eğimli çatıdaki karın yükü çatı döşemesine etkileyen düzgün yayılı yüke dönüştürülür. Bu yük (P_k) ile gösterilir, birimi kN/m²'dir ve Denklem 3.1 ile verilir.

$$P_k = m \times P_{k0} \quad (3.1)$$

$$m = 1 - \frac{\alpha - 30^\circ}{40^\circ} , 0 \leq m \leq 1 \quad (3.2)$$

P_k : Kar Yükü Hesap Değeri (kN/m²),

P_{k0} : Zati Kar Yükü (kN/m²),

m : Kar Yükü Azaltma Değeri,

α : Çatı Örtüsünün Eğimi (derece).

Kar yükü hesap değeri (P_k) kar artış koşullarına göre değişir. Zati kar yükü (P_{k0}) hareketli yük sınıfına girer. Hareketli yükte hesaba katılan etkenler, coğrafi ve meteorolojik koşullardır. P_{k0} değeri, yapının deniz seviyesinden yüksekliğine ve kar bölgesi numarasına bağlı olarak TS 498–1997 Çizelge 11’ den alınır (Şekil 3.12).

	1	2	3	4	5
1	Yapı yerinin denizden yüksekliği	BÖLGELER			
	m	I	II	III	IV
	≤ 200	0,75	0,75	0,75	0,75
2	300	0,75	0,75	0,75	0,80
	400	0,75	0,75	0,75	0,80
	500	0,75	0,75	0,75	0,85
3	600	0,75	0,75	0,80	0,90
	700	0,75	0,75	0,85	0,95
	800	0,80	0,85	1,25	1,40
4	900	0,80	0,95	1,30	1,50
	1000	0,80	1,05	1,35	1,60
5	> 1000	1000 m'ye tekabül eden değerler, 1500 m'ye kadar %10, 1500 m'den yukarı yüksekliklerde %15 artırılır.			

Şekil 3.12. Zati Karyükü (P_{k0}) Değerleri kN/m^2 (Anonim 1997b)

$\alpha \leq 30^\circ$ için kar yükü hesap değeri (P_k), zati kar yükü değerine (P_{k0}) eşit kabul edilir. Bu yük, çatının taban alanı üzerine yayılı yük olarak kabul edilir. Her $\alpha \geq 70^\circ$ için P_k kar yükünün hesap değeri sıfırdır çünkü $m = 0$ 'dır.

3.2.4.2. Yanal Yükler

Yanal yüklerin çoğunluğu, bir yapıya etki eden yatay bir kuvvetten oluşan başlıca yüklerdir. Adı geçen yükler, bir yüzeye etki eden rüzgâr yükü, bir yer sarsıntısı veya bir bodrum duvarına toprağın yaptığı basınç kaynaklı bir itme şeklinde olabilir. Yanal yükler, binanın coğrafi konumuna, inşasında kullanılmış malzemelerine, yüksekliğine ve şekline göre değişkenlik arz ederler. Rüzgâr ve deprem yüklerinin dinamik etkileri genellikle

küçük ve orta ölçekli binaların çoğunda eşdeğer statik yük olarak kabul edilir. Çok katlı binalarda yanal yüklerin uygulanması, güçlü bir bilgisayarın sürekli kullanımını gerektirir. Rüzgâr ve deprem yüklerine karşı dayanıklı olan yüksek katlı bir yapının tasarımı, aşağıda belirteceklerimizden çok daha karmaşık hesaplamalar gerektirir.

3.2.4.2.a. Rüzgâr Yüğü

Rüzgâr yüğü, büyük binaları etkileyen en güçlü ve tahmin edilemeyen yatay yük olarak kabul edilir. Binaların yükseklikleri arttıkça rüzgâr yüğü de artmaktadır. Dahası, rüzgâr hızı, yükseklik ile artar ve rüzgâr basıncı da rüzgâr hızı kadar artar, bu nedenle rüzgârın yüksek katlı bir bina üzerindeki etkileri, yüksekliği arttıkça daha çok olur.

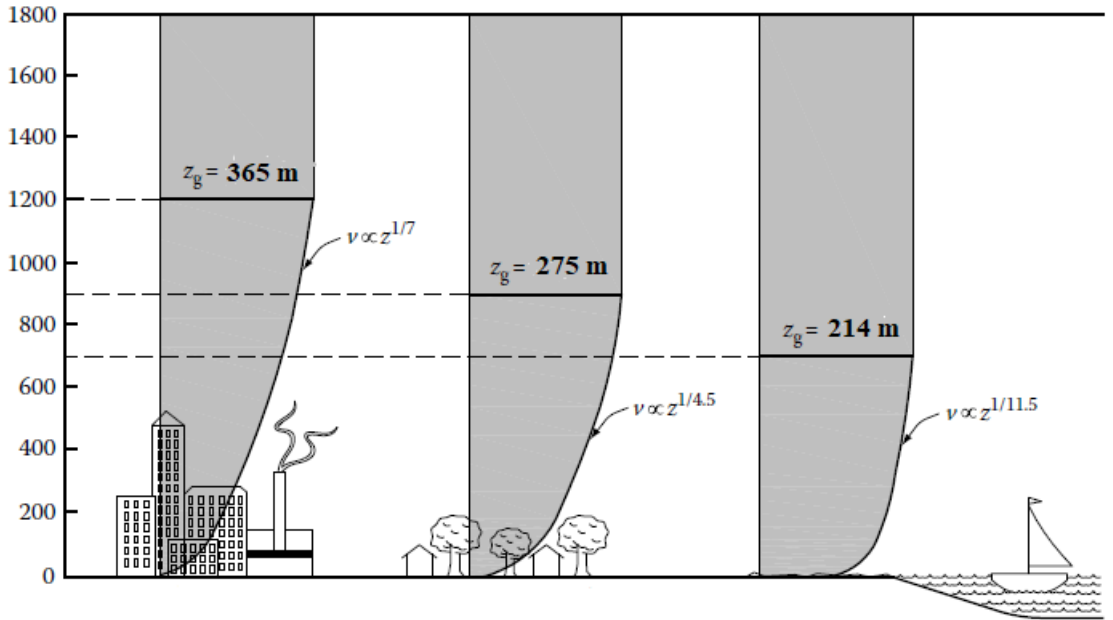
Rüzgârın niteliğinin zamanla değişmesinden, yani dinamikleşmesinden, bina yüzeyine etkileyen statik rüzgâr yükünün dağılımının değişeceği sonucu çıkarılır, bu yüzden bütün bina standartlarında, rüzgârın hareketi yarı statik bir yük olarak düşünülür. Rüzgâr yükünün yarı statik olduğunu kabul eden bu anlayış, statik bir modelde, hem hareketin hem de yapının tepkisinin dinamik davranışını açıklayan etkenlerin artırdığı statik yüklerin uygulanmasını içerir (Hoogendoorn *et al* 2009).

Bir birine yakın konuşlandırılmış yapılar, bina yüzeyindeki rüzgâr basıncını artıran binaların arasındaki hava akışını hızlandırabilir. Binalar arasında esen rüzgârın uyguladığı basınç bina cephe elemanları üzerinde etki üretir. Cam ve kaplama elemanları gibi cephe elemanlarının yapısal hesaplanması için rüzgâr basıncının ve emişin belirlenmesi çok önemlidir.

Bir bina, rüzgâr için bir engel teşkil etmektedir. Rüzgâr ise binanın yüzeyine dik kuvvetler oluşturan basınç uygular. Şu halde esiş yönünde meydana gelen etkilerinin yanında, rüzgâr bir yapıyı düşey doğrultuda da etkileyebilir. Bina rüzgâr esişine maruz kaldığında, merkeze paralel olan rüzgâr akımları, binanın her iki yanından da geçer ve bu yanlarda

üretilen kuvvetler vorteks olarak adlandırılır. Bu, özellikle ince uzun ve yüksek binalarda gerçekleşir. Bu etkinin nedeni, yüksek hızdaki rüzgârın, her iki tarafa aynı anda yayılmak yerine, önce binanın bir yanına sonra diğer tarafına yayılmasıdır tıpkı kasırga hortumları gibi. Hava kıvrımı olarak bilinen bu olay "vortex shedding", belirli bir frekansta dönüşümlü hava kıvrımların oluşmasına neden olur. Bu da, yapının hafif tahrik olmasına sebep olur ve titreşim yükü üretir. Bu titreşimler, yapının doğal frekansıyla çakışırlarsa zararlı olabilirler ve sonuçta binanın yorulmasına neden olur.

Türkiye’de rüzgar yükü, TS 498-1997'nin 11.2.3 ve 11.3 maddelerine göre hesaplanmaktadır. Rüzgâr kuvvetinin bir binaya uygulanması, rüzgârın yönündeki yüzeyler üzerinde bir basınç oluşturur ve arkadaki yüzeylerde hava emilimine dönüşür. (W) rüzgâr yükünü sembolize eder ve (kN / m²) olarak ifade edilir. Bu yük yapının geometrisine ve rüzgâr hızına bağlıdır. Rüzgar yükü yüksekliğe paralel olarak artar ama bir yüksekliğe ulaştınca rüzgarın hızı sabit kalır. Rüzgâr hızının sabit kaldığı yüksekliğe "gradyan yüksekliği" denir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. ASCE 7- 05 Norma Göre Gradyan Yüksekliği (Taranath 2009)

Bu nedenle, TS 498-1997 norma göre rüzgâr yükü, denklem (3.3) ile verilen formülle hesaplanır.

$$W = C_p \times q \quad (3.3)$$

$$q = \frac{v^2}{1600} \quad (3.4)$$

W : Eşdeğer statik basınç veya emme (kN/m^2),

C_p : Yapı yüzeyinin konumuna bağlı katsayı,

q : Yüzeye yayılı rüzgar basıncı (kN/m^2),

v : Rüzgar hızı (m/s).

TS 498-1997 standartlarında, q değeri ve C_p katsayısı sırasıyla Çizelge 5 ve 6'da verilmiştir. Çizelge 5, Türkiye sınırları içerisinde uygulanmaktadır. Her halükarda, rüzgâr hızının arttığı yüksek yapılar için bölge meteoroloji müdürlüklerinden q değerini belirlemede destek alınmalıdır. Bu durumda, rüzgâr hızı ve dinamik basınç değerleri, aşağıdaki çizelgede bina yüksekliğine göre verilmiştir.

Çizelge 3.7. Yüksekliğe Bağlı Olarak Rüzgar Hızı ve Emme (Anonim 1997b)

Yükseklik (m)	V rüzgar Hızı (m/s)	q (Basınç-emme) (kN/m^2)
0-8	28	0,5
9-20	36	0,8
21-100	42	1,1
≥ 101	46	1,3

3.2.4.2.b. ASCE 7-05 Rüzgâr Yükü Standartları

60 yıldan beri özellikle 1961'de, ASCE (*American Society of Civil Engineers*), "*Wind Forces on Structures*" "yapılarda rüzgâr yükü" başlıklı bir makale yayınlanmıştır. Bu makalede 1972 de belirlenen ANSI A58.1 rüzgâr koşullarına yer verilmiştir. 1985'ten beri ASCE kurumu, 2016 baskısı da dâhil olmak üzere birçok defa yenilenen bu belgeyi elinde bulundurmaktadır. Şu anda "*Minimum design loads for buildings and other structures*/Binalar ve Diğer Yapılar için Minimum Tasarım Yükleri" başlıklı ASCE 7-16, yüksek binalardaki rüzgâr yüklerinin hesaplanması için tasarımcı ve mühendisler tarafından kullanılmaktadır. Bu bölümde ASCE 7-05'te açıklanan rüzgâr yükü için belirlenmiş standartları ele almaktadır.

ASCE 7-05, binanın rüzgar yükü tasarımı, rüzgar yüküne dayanıklı ana sistemler, yapı bileşenleri ve kaplamalar ile ilgili olarak rüzgar yüklerini hesaplamak için üç prosedür sunmaktadır. Bu yöntemler şunlardır :

- Basitleştirilmiş yöntem,
- Analitik yöntem,
- Rüzgâr tüneli deneme yöntemi.

Birinci yöntemi (basitleştirilmiş yöntem) 2000 yılında ICB'de (*International Building Code* /Uluslararası Yapı Kodları) ilk kez yayınlanmıştır. Katsayıları, rüzgâr tünel denemeleri kullanılarak 1980'lerde MBMA (*Metal Building Manufacturers Association* /Metal Yapı İmalatları Birliği) için yapılan araştırmalardan geliştirilmiştir. Bu yöntemin birçok olumsuz yönleri vardır. Bu metodun olumsuzluğu, basit ve normal şekli diyaframlı ve maksimum 20 m yüksekliğini aşmayan binaların tasarımında kullanılabilesinden kaynaklanmaktadır.

ASCE 7-05 ile rüzgâr yükünün belirlenmesi konusunda, tasarımcılar, hesaplama yapmadan rüzgâr basınçlarını doğrudan seçmek için basitleştirilmiş yöntem olan ilk yöntemi kullanabilirler. Bu yöntem, 20 metreden daha az olan binalar için kullanılır ve ASCE'nin 6.4.1.1 ve 6.4.1.2 bölümleri, söz konusu yöntemi kullanarak binanın nasıl tasarlanması gerektiği ile ilgili yönetmelik maddelerini içerir. Analitik yöntem (ikinci yöntem) herhangi bir yükseklikteki ve düzenli şekle sahip binaların rüzgâr yükünün hesaplanması ve tasarımı için kullanılabilir. Bu yöntemin kullanımı, aşağıdaki gibi belirli koşullarla sınırlıdır: rüzgâr yükü ve hortum saçıntılarına (*vortex shedding*) karşı binaların duyarlılığı. Rüzgâr tüneli prosedürü yani üçüncü yöntem, herhangi bir bina tipi için 1. ve 2. yöntemlerin yerine kullanılabilir. Bu yöntem, aşağıdaki özelliklere sahip binalar için önerilir :

- Düzensiz formlar,
- 1 Hz'nin altındaki doğal frekanslı esnek binalar,
- Rüzgâr yükü nedeniyle önemli sarsıntılara maruz kalan bina ve diğer yapılar,
- Kanalizasyon veya yerel topoğrafik özellikler ile hızlandırılmış rüzgâr akışına maruz kalmış binalar.

Bu bölümde, ilk yöntem (basitleştirilmiş yöntem) söz konusu edilmeyecektir çünkü bu yöntemin kapsamı sınırlıdır ve yüksek binalar için rüzgâr yüklerinin hesaplanmasını içermez. Esas vurgu ikinci yönteme yani analitik yönteme yapılmıştır. Bu yöntem, binaların çoğunluğu için geçerlidir ve aşağıdakileri özellikleri dikkate almaktadır:

- Temel rüzgâr hızı,
- Tasarım için uygun olduğu düşünülen rüzgâr hızının ortalama yinleme aralığı,
- Binayı çevreleyen arazinin özellikleri,
- Rüzgâr yükünün kendisine bağlı olarak belirlendiği yükseklik,
- Rüzgârın yön özellikleri,
- Binanın boyutu, geometrisi ve aerodinamik şekli,
- Rüzgârın etki ettiği yüzeyler,

- Bina dış yüzeyinin rüzgarın sızmasına karşı kaplaması,
- Binayı dinamik etkilere duyarlı hale getiren yapısal özellikler,
- Tepeler ve tümsekler gibi topografik özellikler nedeniyle hızlanma.

✚ İkinci yöntem: Analitik yöntem

Bu yöntemi uygulayan mühendisler göre, analitik yöntem, tüm yükseklikteki ve her şekildeki “rijit” yapıların çoğuna uygulanan en sağlam tasarım yöntemidir. Bu yöntemle, "esnek" yapılar dahi tasarlanabilir ancak bazı kısıtlamalarda söz konusudur.

Yöntemin en önemli avantajı, çok çeşitli yapılara uygulanabilir olmasıdır. Binaların ve standardize biçimlere sahip olan yapıların çok çeşitli formları ve yükseklikleri için basınç kat sayıları ortaya koyar. Bu yöntemde, kapalı alan sınıflandırmasına ilişkin iç basınç katsayıları belirlenir, daha sonra dış katsayılarla cebirsel olarak birleştirilirler. Her ikisi de binanın dış ve iç yüzeylerine göre pozitif veya negatif olabilir. Kapalı binaların tasarımında, basıncın tüm duvarları itme veya çekme eğiliminde olması nedeniyle rüzgâr yüklerini belirlemek için iç basınç göz ardı edilebilir ve sonuçta ortadan kaldırılabilir. Çatılar iç basınçtan doğrudan etkilenirler, bu nedenle tasarım aşamasında bu basınç dikkate alınmalıdır. Kısmen kapalı binalar söz konusu olduğunda tüm yüzeylerdeki iç basınçlar dikkate alınmalıdır (Anonim 2006).

ASCE 7-05'in analitik metodu iki temel denklem üzerine kurulmuştur: (3.5) denklemiyle hız basıncı q_z ve (3.6) denklemiyle tasarım rüzgar basıncı p hesaplanır.

$$q_z = 0,00256 K_z K_{zt} K_d V^2 I \quad (3.5)$$

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (3.6)$$

Hız basıncı q_z , psf cinsinden ifade edilir ve Denklem (3.5) ile verilir.

K_z : Rüzgâr hızına maruz kalma katsayısı,

K_{zt} : Topografik etken,

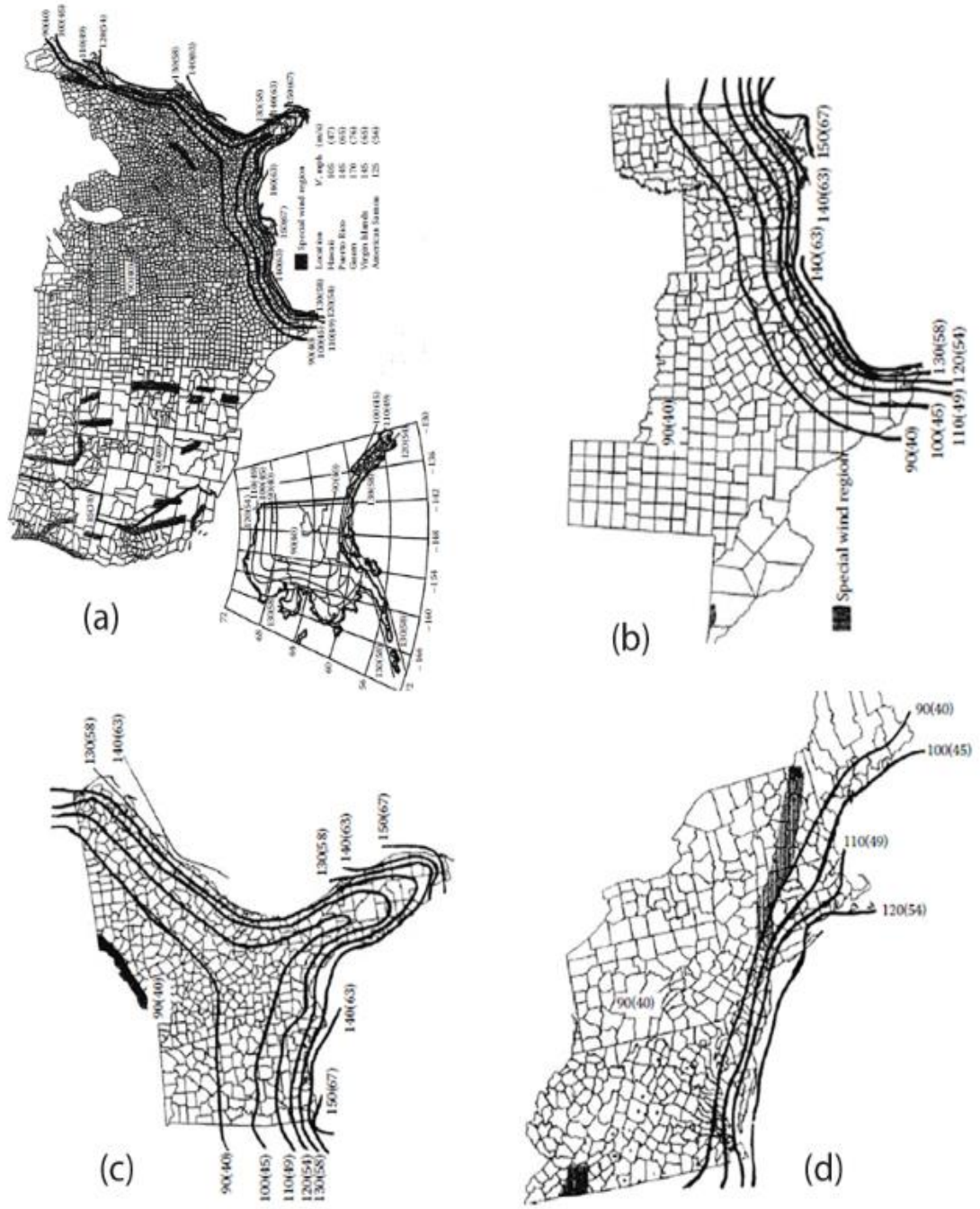
K_d : Rüzgârın yön etkeni,

V : Açık ve düz bir alanda zeminden 10 m yükseklikte rüzgâr hızı. Bu hız mph (mil/saat) şeklinde ifade edilir,

I : Rüzgâr etkeninin değeri genellikle (I_w) olarak verilir.

Rüzgâr etkeninin yönü, K_d , rüzgârın yönünü dikkate alır. Yönlenme, rüzgârın nadiren binanın kritik yüzeyine doğru estiğini veya asla esmediğini ifade eder. Belki en kritik yönde anlık bir esinti olur çünkü rüzgâr aniden yön değiştirebilir. Dayanıklılıkla ilgili tasarımların yük kombinezonlarında, rüzgârın etkisi 1,3 olarak alınırdı. Ancak ASCE 7’de, kabul edilebilir Gerilim Tasarımı’nı ($ASD = Allowable Stress Design$) kullanan mühendislerin rüzgâr yönünden yararlanamadıkları yönünde yorumlar yapıldı. ASCE 7’nin, rüzgâr basıncının tanımlanmasında binalar için $K_d = 0.85$ katsayısı alındığı ile ilgili” kararı bu yorumlara cevap vermiştir. Dayanıklılığın sağlanmasında zayıf rüzgâr yükünü tasarlamamak için 1,3 yük faktörü düzenlenmiştir. 1,3, 0,85’e bölüldüğünde ($1 / 0,85 = 1.53$) sonucu yük faktörü olarak elde edilir. Bu da rüzgâr yük faktöründe % 5 gibi bir artışla izah edilebilen 1,6’ya yuvarlanır.

V ile sembolize edilen binalarda ve diğer yapılarda rüzgârdan kaynaklanan yükleri belirlemek için kullanılan rüzgârın temel hızı, l’ASCE 7-05’nin 6.5.4 maddesine uygun olmalıdır. Rüzgârın her yönden estiği hesaba katılmalıdır. ASCE 7 kullanan bazı ülkelerin temel rüzgâr hızı, rüzgâr hızı çizelgeleri veya Şekil 3.14 ile verilmiştir.



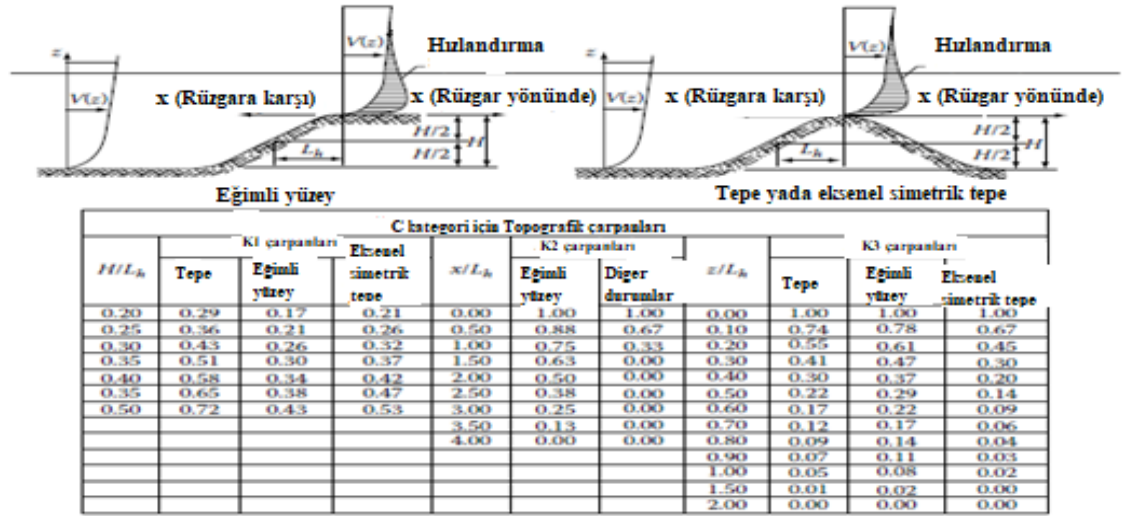
Şekil 3.14. a) Amerika Birleşik Devletleri için Rüzgar Haritası b) Meksika Körfezi'nin batısındaki kasırga kıyısı, c) Meksika Körfezi'nin doğu kıyısı ve Amerika Birleşik Devletleri'nin güneydoğu kasırga kıyısı d) Orta ve Kuzey Atlantik Kasırga Kıyısı (Taranath 2009)

Hız basıncına rüzgâra maruz kalma katsayısı (K_z); rüzgârın (V) temel hızını, z yüksekliğine ve zeminin pürüzlülüğüne (yani maruziyet kategorisine) göre ayarlar. Üç maruziyet kategorisi (B, C ve D) tanımlanmıştır. Tam anlamıyla şehirleşmiş merkezler için tasarlanan maruz kalma kategorisi A, 2002'nin ASCE 7 yayınlanmasından itibaren kaldırılmıştır. Maruziyet B, kentsel ve kasaba bölgelerinin tipik yüzey pürüzlülüğüne karşılık gelirken, maruziyet C açık ve düz bir ülkede yüzey pürüzlülüğünü temsil eder. Maruziyet D engelleyici olmayan düz bir yüzeyin ve kasırga eğilimli bölgelerin dışındaki su yüzeyini ifade eder. Maruziyet C bir kategoridir ve B ve D maruziyetlerinin bulunmadığı yerlerde uygulanır. ASCE 7-02'de ilk kez izin verilen maruziyet kategorileri hakkındaki interpolasyon hala geçerlidir (Taranath 2009).

Genelde I_w sembolize eden rüzgâr faktörü I değeri, insan hayatı için tehlike derecesini ve yapıdaki hasar derecesini açıklayan bir faktördür. İkamet için kullanılan II. Kategoriye ait binalar için $I_w=1,0$ 'dır. Rüzgârın etkisinin önemslenmediği durumlarda ve düşük bir risk arz eden Kategori I binalar (Örneğin tarım tesisleri) için $I_w = 0,87$ veya $0,77$ alınır; bu inşaat sahasının kasırgaya eğilimli alanlarda bulunup bulunmadığına da bağlıdır. Rüzgârın etkisinin önemslenmesi gereken ve insan hayatı için önemli risk arz eden III. kategoriye ait binalar (Örneğin içerisinde 300 kişiden fazla insan barındıran bina veya itfaiye istasyonu) için $I_w = 1,15$ alınır. Çok sayıda insan barındırması için tasarlanan tesislerde, IV. kategoriye ait binalar için III. Kategoriye ait binalarda olduğu gibi $I_w = 1,15$ alınır. ASCE 7-05' deki Çizelge 6.1'de, bazı kategoriler için rüzgar faktörünün değerleri verilmektedir. Topografik faktör K_{zt} ise aşağıdaki denklemlerle verilir (3.7)

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (3.7)$$

K_{zt} topografik faktörü, tepeler ve tümseklerdeki ivmenin etkisini yansıtmaktadır. K_1 , K_2 et K_3 çarpanları şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. K_{zt} Topografik Faktörü (Anonim 2006)

Notlar:

- Belirtilenler dışındaki H / L_h , x / L_h ve z / L_h değerleri için doğrusal enterpolasyona izin verilir.
- $H/L_h > 0,5$ durumunda K1'e değer vermek için $H / L_h = 0,5$ olduğu varsayılır ve K_2 ve K_3 'e değer vermek için L_h yerine $2H$ koyulur.
- K_1 , K_2 ve K_3 çarpanları, rüzgârın yamaca veya tümseğe maksimum eğim boyunca yaklaştığı varsayımına dayanır.

H : Tepenin ya da tümseğin, rüzgârın estiği toprak zemine göre yüksekliği, adım (ft) ya da metre (m) ile verilir.

L_h : Tepenin orta noktasıyla zemin arasında varsayılan dikmenin ve tepenin ya da tümseğin yüksekliğinin yarısına denk geldiği varsayılan yatay çizginin arasında oluşan mesafenin adım veya metre cinsinden ifade edilmesine L_h denir.

K_1 : Topoğrafik özellik ve maksimum ivme etki formunu hesaba katmak için Faktör.

K₂ : Tepeden yukarı veya aşağı yönünde olan uzaklıkla ivmenin azalmasını hesaba katan faktör.

K₃ : Zeminin üzerinden çıkılan yüksekliğin ivmesini azaltmak için faktör.

X : Tümseğin ya da ortasından zemine inilen hayali düşey çizginin zeminle birleştiği yerden şantiyeye kadar (şantiye tepenin sağında veya solunda olabilir) bir mesafe alındığında söz konusu mesafe adım (ft) veya metre (m) cinsinden uzaklığı alınmasına X denir.

Z : Zemin seviyesinin, adım (ft) veya metre (m) cinsinden yüksekliği.

μ : Yatay azaltma faktörü.

Υ : Yükseklik azaltma faktörü.

Tepe veya Eğimli Yüzeyler için Hızlanma Parametreler						
Tepe Şekli	$K_1/(H/L_h)$			γ	μ	
	Kategoriler				Rüzgara karşı	Rüzgar yönünde
	B	C	D			
Normal Tepe	1.30	1.45	1.55	3	1.5	1.5
Eğimli Yüzey Tepeler	0.75	0.85	0.95	2.5	1.5	4
Eksenel Simetrik Tepeler	0.95	1.05	1.15	4	1.5	1.5

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

K1 çizelgeden çıkarılır

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu L_h}\right)$$

$$K_3 = e^{-\gamma z/L_h}$$

Şekil 3.16. Denklemleri Temel Alan Kzt Topografik Faktör (Taranath 2009)

MWFRS / ARGDS (*Main Wind Force Resisting System* / Ana Rüzgâr Yüküne Dayanıklı Sistem) kapalı binalarda kullanılacaksa, iç basınçlar ve bu binaların havayı emmeleri rüzgâr yükü hesaplamalarını etkilemez. Basınç ve emme aşağıdaki basitleştirilmiş denklemler kullanılarak hesaplanabilir :

$$p_z = q_z G_f C_p \text{ (Pozitif basınç)} \quad (3.8)$$

$$p_z = q_h G_f C_p \text{ (negatif basınç)} \quad (3.9)$$

P_z: P_{sf} olarak rüzgâr basıncının veya emişinin tasarlanması, zemin seviyesinin üzerinde bir (z) yükseklikle hesaplanır.

q_z: Rüzgâr hızı basıncını, pozitif basınç söz konusu olduğunda bunu hesaplamak için zeminin üzerinde **z** yüksekliği psf olarak alınır buna mukabil emme söz konusu olduğunda ise h çatı yüksekliği göz önünde bulundurulur.

q_h: Negatif basınç veya cephelerde ve çatıda rüzgâr emişi.

G_f: Rüzgârın binanın cephe yüzeyine çarpma faktörü, boyutsuz olarak, rijit binalar için **G** ve esnek binalar için **G_f** ile gösterilir.

C_p: Rüzgâr alan cephe üzerinde sanki bir basınç (pozitif yük) ve rüzgâr alan cephe ve çatı üzerinde ise sanki bir emme (negatif yük) gibi bir davranış sergileyen binanın yüksekliğine bağlı olarak değişkenlik arz eden dış basınç katsayısıdır.

Toplam rüzgâr yükü, sırasıyla rüzgâra maruz kalan duvar yüzeyi ve rüzgâra maruz kalmayan duvar yüzeylerindeki pozitif ve negatif basınçların toplamıdır. $G_f = 0,85$, $C_p = 0,8$ (basıncın pozitif olduğu durumda) veya $C_p = 0,5$ (basıncın negatif olduğu durumda) belirlenmiş değerler kullanılır. Bu durumda tipik bir kare bina için bir **z** yüksekliğinde toplam rüzgâr basıncı şu şekilde verilir :

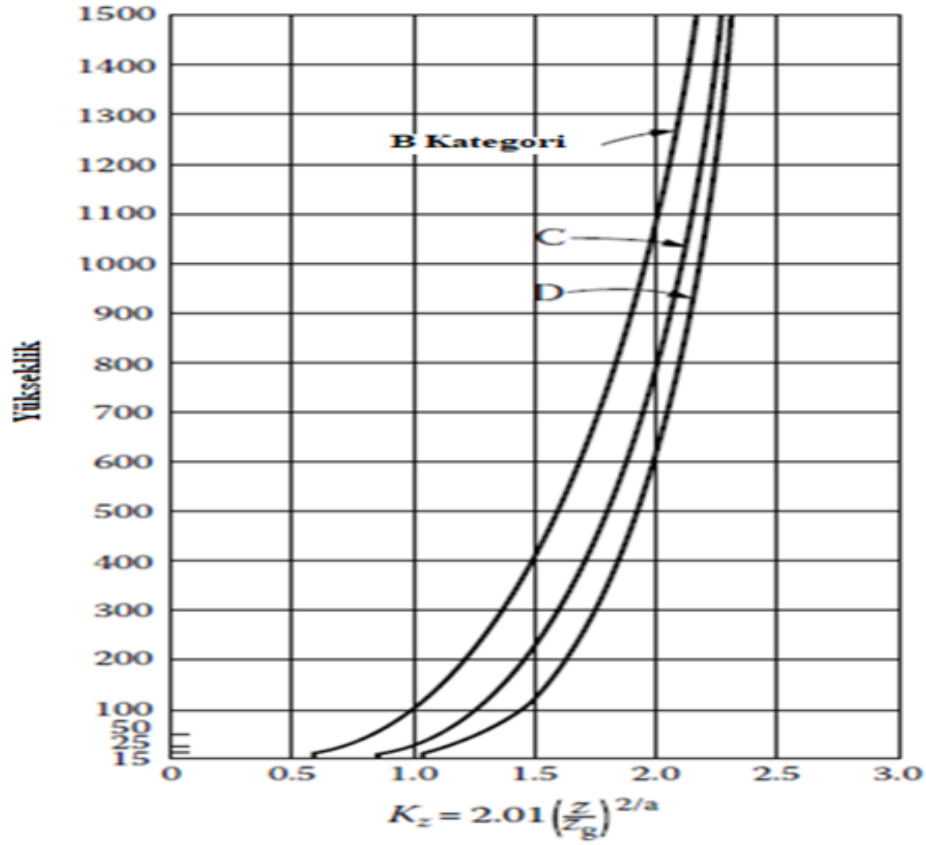
$$p_z = 0,85 \times 0,8 \times q_z + 0,85 \times 0,5 \times q_h$$

$$\Rightarrow p_z = 0,85(0,8q_z + 0,5q_h) \quad (3.10)$$

$$q_z = 0,00256 K_z K_{zt} K_d V^2 I \quad (3.11)$$

$$q_h = 0,00256 K_h K_{zt} K_d V^2 I \quad (3.12)$$

K_h ve K_z , rüzgâr hızı basıncına (boyutsuz) maruz kalmanın birleşik katsayılarıdır; bu, zeminin üzerindeki rüzgârın hızının ve zeminin doğasının hesaba katılmasıyla oluşmuştur (B, C veya D kategorileri) (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).



Şekil 3.17. Hızın, Birleşik Maruz Kalma Basınc Katsayıları K_h ve K_z (Anonim 2006)

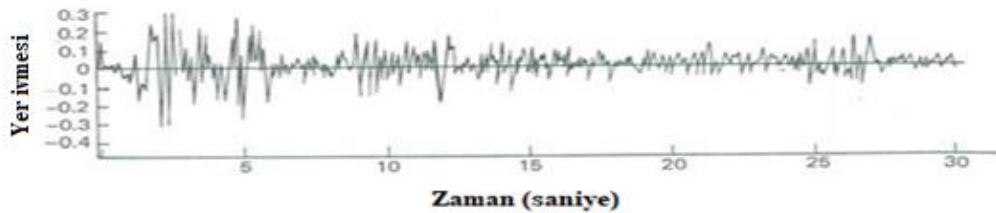
Hız basıncı katsayıları				
Z Yüksekliği		Kategoriler		
ft	(m)	B	C	D
0-15	(0-4.6)	0.57	0.85	1.03
20	(6.1)	0.62	0.90	1.08
25	(7.6)	0.66	0.94	1.12
30	(9.1)	0.70	0.98	1.16
40	(12.2)	0.76	1.04	1.22
50	(15.2)	0.81	1.09	1.27
60	(18)	0.85	1.13	1.31
70	(21.3)	0.89	1.17	1.34
80	(24.4)	0.93	1.21	1.38
90	(27.4)	0.96	1.24	1.40
100	(30.5)	0.99	1.26	1.43
120	(36.6)	1.04	1.31	1.48
140	(42.7)	1.09	1.36	1.52
160	(48.8)	1.13	1.39	1.55
180	(54.9)	1.17	1.43	1.58
200	(61.0)	1.20	1.46	1.61
250	(76.2)	1.28	1.53	1.68
300	(91.4)	1.35	1.59	1.73
350	(106.7)	1.41	1.64	1.78
400	(121.9)	1.47	1.69	1.82
450	(137.2)	1.52	1.73	1.86
500	(152.4)	1.56	1.77	1.89
550	(167.6)	1.61	1.81	1.93
600	(182.9)	1.65	1.85	1.96
650	(191.1)	1.69	1.88	1.98
700	(213.3)	1.72	1.91	2.01
750	(228.6)	1.76	1.93	2.03
800	(243.8)	1.79	1.96	2.06
850	(259.1)	1.82	1.99	2.08
900	(274.3)	1.85	2.01	2.10
950	(289.5)	1.88	2.03	2.12
1000	(304.8)	1.91	2.06	2.14
1050	(320)	1.93	2.08	2.16
1100	(335.3)	1.96	2.10	2.17
1150	(350.5)	1.99	2.12	2.19
1200	(365.7)	2.01	2.14	2.21
1250	(381)	2.03	2.15	2.22
1300	(396.2)	2.06	2.17	2.24
1350	(411.5)	2.08	2.19	2.26
1400	(426.7)	2.10	2.21	2.27
1450	(441.9)	2.12	2.22	2.28
1500	(457.2)	2.14	2.24	2.29

Şekil 3.18. 1500 Adım (457.2 m) Yüksekliğe Kadar Binalar İçin K_z Değerleri (Taranath 2009)

ASCE 7-05'in analitik yöntemi, 1500 adım yani (457.2 m) yüksekliğe kadar olan binalar için rüzgar yükünün analitik olarak belirlenmesine elverişli bir yöntemdir. Önceki sayfalarda, yüksek binaların rüzgâr yükünü hesaplamakta bu standardın en sağlam ve etkili üç yönteminden (ASCE 7-05) biri olan analitik yöntemin kısa bir özetini vermeye çalıştık. Bu alt bölümün, hiçbir durumda rüzgâr yükünün hesaplanması için bir referans veya örnek teşkil etmediği, buna mukabil esinlenebilsinler ve ASCE 7-05 (*Minimum Design Loads for Buildings and Others Structures*) veya ASCE 7-16 (*Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Others Structures*) gibi kaynaklarda rüzgâr yükünün hesaplanmasını daha ayrıntılı olarak araştırabilsinler diye tasarımcılar ve mühendisler için bir genel bakış veya bir tür rehber olduğu bilinmelidir.

3.2.4.2.c. Deprem Yüğü

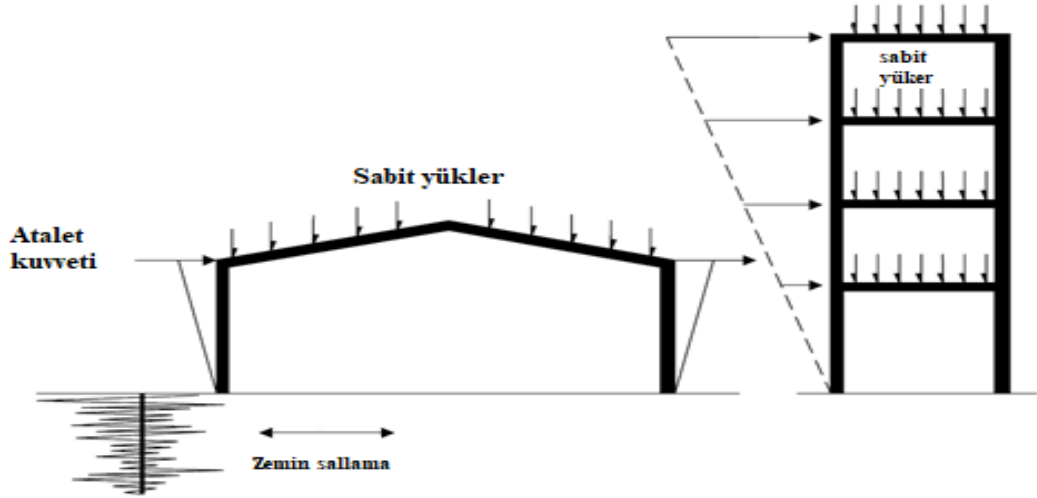
Mantonun üzerinde bulunan ve yer kürenin yüzeyini oluşturan dünyanın kabuğu, on iki tektonik plakadan oluşur. Bu plakalar sürekli hareket halindedirler ama bu hareketlilik öylesine yavaştır ki yılda ancak birkaç santimetre ilerlerler. Bahsi geçen plakalar hareketliliklerini sürdürdüklerinde basınç artar. Ne zamanki basınç kritik eşiğe ulaşır, ani bir plaka kayması neticesinde ortaya çıkan şok, her yönde yayılan sismik dalgalar şeklinde bir enerji salınımına neden olur. İşte depremlere yol açan bu dalgalardır. Yer hareketlerinin süresi genellikle büyük depremler için birkaç saniye hatta birkaç dakikadır. Sismograflar, depremleri her iki yöndeki ivmeler açısından ölçer (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Kaliforniya El Centro'da Zemin İvme Kaydı (Hoogendoorn *et al* 2009)

Zemin ivmesi, yapılarda atalet kuvvetleri oluşturur. Bu atalet kuvvetleri yatay ve düşey yönde etkilidirler. Deprem nedeniyle oluşan düşey atalet kuvvetleri genelde dikkate alınmaz çünkü yapı genellikle bu kuvvetlere direnmek için yeterince mukavemetlidir. Ancak, yatay atalet kuvvetlerinin binalar üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Yapıya yanal yük basıncında bulunan elemanlar, deprem nedeniyle oluşan en yıkıcı etkenler olarak kabul edilmektedir. Deprem, bir binanın temelini aşağı yukarı yatay bir düzlemde sallar. Bina'nın kütlesi, sismik kuvvetlere maruz kaldığında yapının hareket etmesini engelleyebilecek bir tür hareketsizlik üretir. Zeminin hareketi, kesme şeklinde bir kuvvet yaratarak yapının temelden hareketlenmesine neden olur (Taranath 2009). Yüksek binalar için, sismik yüklerden kaynaklanan yüklenme, dağılımı üçgen haline dönüşmüş bir şekil olarak basitçe ifade edilebilir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Sismik Yük: Yatay Kuvvetlerin Grubu Yapının Kendi Kütlesine ve Zeminin Üzerindeki Kütlenin Yüksekliğine Kısmi Olarak Uygulandıkça Deprem Dinamik Yükleri Basitleşebilirler (Taranath 2009)

Türkiye'de, yürürlükte olan yeni sismik yönetmelik ilkeleri, 40 m'den daha az yüksekliği olan yapılarda sadece eşdeğer statik kuvvetlerin dikkate alınmasını şart koşmaktadır.

Bununla birlikte, 40 metrenin üzerindeki binalarda, yönetmelik, dinamik hesaplama yönteminin kullanılmasını öngörür.

40 m yüksekliğindeki binalar için statik kuvvetleri hesaplama yöntemi, yeni sismik yönetmelikte detaylandırılmıştır. Dinamik hesaplama durumunda, zeminin etkin ivmesi veya ivmenin spektrum eğrisi sismik yük olarak verilebilir. İnşaatin tipi, bölgenin özelliği ve sismisitesi, ivme spektrumunun belirlenmesinde hesaplamalara dâhil edilmelidir. Genellikle El Centro'nun ivme spektrum eğrisi kullanılır zira Türkiye'de deprem hakkında yeterli veri yoktur (Ersoy 2001).

Ancak, ekonomik olarak zarara uğramadan dayanacak binaları büyük depremler için tasarlanmanın neredeyse imkânsız olduğu belirtilmelidir. Buna karşın anti-sismik tasarımla, yıkıma uğramadan küçük depremlere dayanıklılık elde etmek mümkündür. Orta şiddetli depremlerin yapı yıkımına neden olmasındansa, taşıyıcı olmayan elemanların zarar görmesi daha kabul edilebilecek bir şeydir. Zeminin şiddetli şokla sarsılması durumunda, yapısal ve yapısal olmayan hasarlar tolere edilebilir olarak kabul edilir, ancak yapının bütün olarak çökmesinin önüne geçilmelidir.

3.2.4.3. Özel Yükler

3.2.4.3.a. Malzeme Hacminde Değişiklikten Kaynaklanan Yükler

Beton henüz formüle edilirken kısa ve uzun vadede kendi davranışında etkili olan fiziksel ve kimyasal karmaşık mekanizmalara maruz kalır. Betonun hidratasyon süreci, mikro yapısı ve termomekanik koşullar gibi maruz kaldığı unsurlar, yaşlanma, sünme ve rötre gibi fenomenlerinin temel bileşenlerini oluşturur. Betondaki su ve çevresel ortamdaki su değişimleri tanık olunan bu fenomenlerin önemli bir bölümünü beraberlerinde getirir.

Rötre, betonun başlangıç hacmine göre zamanın etkisiyle ilk hacimdeki azalmadan kaynaklanan bir olgudur. Toplam rötre, kurumanın neden olduğu ve plastik rötrelerden oluşur. Plastik rötre, betonun formüle edilmesinden sonraki plastik beton evresinde oluşur. Kurumadan oluşmuş rötre, beton elemanlar ve çevre arasındaki ıslaklığın-betonun sertleşmesinden sonra- ortadan kalkmasıyla kendini gösterir.

Aynı şekilde betonun farklılık arz eden halleri arasında sünme olayı da ekleyebiliriz. Bir yük, kiriş gibi taşıyıcı bir elemana uygulandığında, kirişte aynı anda deformasyon başlar. Bu yük uzun bir süre (birkaç ay) muhafaza edilirse, fiziksel deformasyonun devam ettiği gözlemlenmektedir.

Normal binaların tasarımlarında, sünmenin, rötrenin ve havanın ısı durumunun etkileri genelde hesaplanmaz. Yüksek binaların düşey elemanlarındaki gerilim önemli ölçüde kısaltmaya veya uzamaya neden olabilir. Kolonlar ve perde duvarlar gibi taşıyıcı elemanlardaki rötre ve sünmeden kaynaklanmış daralma ve kısalmanın derecesi birkaç santimetreye ulaşabilir. Her iki etki, yüksek binalar tasarlanırken özellikle yapının inşasından sonraki evrede monte edilecek elemanlar (kapı, cam vb) için hesaba katılmalıdır.

Ulaşılan nihai limit durumları ve servis limit durumları, bir hareket ve / veya termal gerilimden dolayı aşıldığı zaman binalar üzerinde etkili olan ve iklim değişikliklerinden ve hareketlilik sonucunda ortaya çıkan ısılardan kaynaklanan termal yükler de, yüksek binaların tasarımında dikkate alınmalıdır. Isı değişikliklerinin neden olduğu hacim ve / veya gerilim değişiklikleri şunlardan da aynı şekilde etkilenebilir: bitişik binaların gölgelerinin izdüşümleri, farklı termal genleşme katsayılarını ve farklı termal iletkenlikleri ortaya koyan değişik malzemelerin kullanılması veya farklı sıcaklıklardaki farklı enine kesit alanlarının kullanılması. Nem ve diğer çevresel etkenlerin yapı elemanlarının hacim değişikliklerini de etkileyebileceğini belirtmek gerekir. Bu nedenle büyük boyutlu elemanlar için ısıнын etkileri anlamlı olabilir. Örneğin beton döşemeler ve

kalın temeller gibi yapı elemanları, betonun ısısını sınırlandırmak amacıyla katmanlar halinde dökülmelidir, böyle olunca da hareketler kısıtlanmış olur.

3.2.4.3.b. Etkili Dinamik Yükler

Yüksek binaların tasarımı yapılırken asansörler, merdivenler, titreşimli makineler, mekanik aletler ve yapıya önemli ölçüde yük getiren arabalar gibi bazı unsurların ani hızlanmasından oluşan titreşimlere karşı binaların yalıtımı göz önünde bulundurulmalıdır.

3.2.4.3.c. Patlama Yükleri

Patlama yükleri çok tehlikeli yüklerdir, insanlar ve yapı üzerinde doğrudan ve dolaylı bir etkiye sahiptirler. Bir binanın içinde veya yakınında meydana gelen bir patlama, binanın dış ve içyapılarında büyük hasarlara neden olabilir. Bu patlama "patlama etkileri" olarak adlandırılan ve yaşam kaybı, ciddi yaralanma, duvarların çökmesi, pencerelerin ve cephelerin patlaması, yangınlar, duman, gibi olaylara yol açar. Mühendisler ve araştırmacılar, bu yüklere dirençli tasarım çözümleri aramak için otuz yılı aşkın süredir adı geçen patlama etkileri üzerinde çalışmalarını sürdürmektedirler.

3.2.5. Yüksek Binalar İçin Yangın Güvenliği Tasarımı

Kentsel ekonominin gelişmesiyle birlikte, nüfus artışı ve kentsel alanlardaki yüksek arazi fiyatları nedeniyle yüksek binaların sayısında giderek bir artış kaydedilmektedir. Son otuz yıldır gelişmekte olan ülkeler, yüksek katlı binalarda yangın güvenliği üzerine ciddi bir şekilde kafa yormaktalar. Bu binaların tasarımında en çok üzerinde düşünülen konulardan biri de yangın güvenliğinin tasarımıdır. Günümüzde yüksek binaların tasarımcısının görevi binayı yangından korumaktır. Büyük yükseklikler söz konusu olduğu için bu binalarda yangın güvenliği bir sorundur; bu sorunu teşkil eden unsurlar: binaların yüksek

olması, tahliye için çok uzun mesafelerin kat edilme zorunluluğu, görevleri yangını söndürmek ve bina sakinlerini kurtarma olan itfaiyecilerin gerek tahliye ve gerekse problemli erişim yolları gibi sorunlarla karşılaşmaları. Bir yangın vahim olaylara sebep olacağından yani can ve mal kaybı doğuracağından felakete yol açabilir. Mohammad A. Hassanain tarafından yapılan "*On the challenges of evacuation and rescue operations in high-rise buildings*" adlı araştırma, bina sakinlerinin yoğunluğu, alev dumanının yayılma kolaylığına neden olan yüksek binaların tasarımının kusurları, aşırı miktarda ısı üreten ve duman ve zehirli gazlar üreten yanıcı donanımların (mobilya, aksesuar vb.) var oluşu gibi doğal özellikleri nedeniyle yüksek binaların daha büyük bir yangın riski oluşturduğunu göstermektedir (Hassanain 2009). Bu çalışma, yüksek binalarla uyumlu olmayan yangın güvenliği tasarımı hariç, doğru olmayabilir. Yüksek binalar artık yangına karşı güvenli olan özel niteliklerle tasarlanmaktadır. Bu varsayım, US NFPA (*National Fire Protection Association*) tarafından yüksek katlı bina yangınlarına ilişkin ve yangının yüksek binalarda, sıradan binalardakilere oranla daha az olduğunu istatistiklerle gösteren bir raporla desteklenmektedir. Bu, insan yaralanmalarını ve kayıplarını ve maddi hasarları en aza indirmek ve otomatik yangın koruma ve önleme donanımı tesis etmek için ideal tasarımın yüksek binalarda diğer binalardan daha yaygın olmasıyla açıklanabilir (Ahrens 2016). Görüş ayrılığı ne olursa olsun, yüksek binalarda yangın önleme ve koruma ihtiyacı her zaman ön plandadır çünkü çok sayıda sakinin barınıyor olması ve uzun çıkış mesafeleri nedeniyle bu binalarda yangınlar felakete dönüşebilir ve çok insan ve maddi kayıpları yaşanabilir (Nimlyat et al 2017).

Bu bölümünde, yüksek binalarda yangın güvenliği ile ilgili performansları etkileyen konuları ele almak amaçlanmıştır. Bu da, yüksek binalar tasarlandıklarında, performanslara dayalı yangından korunmanın teknik kavramları ele alınarak yapılmaktadır.

3.2.5.1. Yangın Güvenliği Hakkında Genel Bilgiler

Yüksek katlı bir binada yangın güvenliği birkaç açıdan ele alınmalı ve bu nedenle multidisipliner bir yaklaşım gereklidir. Kullanılabilecek birçok standart ve özellik mevcuttur (Buchanan and Abu 2017). Konunun içerdiği farklı problemleri açıklamak için bunlar kısaca özetlenmiştir.

Yangın güvenliği iki ana bileşenden oluşur:

- ✚ Yangına dayanıklı yapı;
- ✚ Yangın devam ederken yangınla mücadele

Yüksek binaları etkileyen temel tasarım sorunları irdelenmektedir. Adı geçen sorunlar şunlar olabilir:

- **Yangını kontrol altına alma:** Yüksek binalarda yangını kontrol altına alma, yapıdaki malzemelerin ateşe dayanıklılık dereceleri incelenerek yapılabilir. Bu, en iyi yalıtım ve dekorasyon malzemelerinin, yanmaz özelliklere sahip olanlarının tercih edilmesiyle ya da alev kısıtlama teknikleri uygulanarak gerçekleştirilir (Purkiss and Li 2013).
- **Uygun tahliye araçlarının sağlanması:** Binalarda uygun tahliye unsurlarının sağlanması için yasal bir zorunluluk getirilmesi ve yangın söndürme sırasında bu ekipmanın doğru kullanımı konusunda bina sakinlerinin bilinçlendirilmesi önemlidir.
- **Yangın Algılama Sistemi:** Mümkün olan en kısa sürede binalardaki yangını algılamayı olanaklı kılan sistemlerin kurulumunu kapsar
- **Yangın yayılımının engellenmesi:** Burada endişe uyandıran şey bina içinde veya bitişik binalardaki alevlerdir. Bu kontrol gerek entegre bir özelliklikle gerekse

binalar arasındaki mesafenin kontrolü veya mekanik materyaller sayesinde gerçekleştirilebilir (Aluthwala *et al* 2007).

- **Yapısal hasarın ve çökmenin önlenmesi:** Yangın sırasında yapının stabilitesini tamamen veya kısmen, korumayı kapsar. Yangına dayanıklı olması gereken binanın taşıyıcı sistemin malzemelerini tercih etmekle ve binada bulunan yangın güvenliği sistemlerinin işleyişlerini kontrol ederek mümkün olur.

Sebeplerin sayısını en aza indirmek amacıyla herhangi bir bina için, yapısal güvenlik ve çökmenin önlenmesi bunlar arasında en önemlileri olarak kabul edilebilir. Tahliye gerçekleştirilemeden önce erken çökme tehlikesi, 11 Eylül 2001 tarihinde Dünya Ticaret Merkezi'nin ikiz kulelerinin çöküşünde açıkça görülmüştür (Aluthwala *et al* 2007).

3.2.5.2. Yüksek Binalarda Yangın Riskleri

Yüksek binalarda yangın riski, uzun zamandır mühendislerin ve bina güvenlik uzmanlarının düşüncelerini meşgul eden ve büyük önemi olan konular arasında yer almaktadır. Bu binalardaki yangınlar genel olarak dört tür konutu etkiler. Bunlar ofis binaları, oteller, apartmanlar ve hastaneler (Hall 2013). Bu bölümde literatür taranmış ve üç etken nedeniyle yüksek katlı binaların yangın durumunda yüksek riskli yapı tipi olduğu anlaşılmıştır.

3.2.5.2.a. Yüksek Katlı Binalarda Büyük Oranlı Bina Sakini Yoğunluğu

Yüksek binalardaki bina sakini yoğunluğu ve bu binaların tasarımlarının doğası, yangın durumunda yaralanma veya ölüm riskini artırmakta önemli kusurlardır. Birçok insanın ne hızlı bir şekilde, ne de normal hızda tahliye edilememesi söz konusu olabilir. Bu da, büyük bir insan kaybı riskini beraberinde getirmektedir. Üst kat sakinleri, aşırı kalabalık ve çıkışlarda oluşabilecek kaos nedeniyle ve acil çıkış merdivenlerini indirirken tahliye problemleri yaşayabilirler. Böyle bir yapının sakinleri, binanın yüksekliği, çıkışlar

arasındaki mesafe, tahliye sisteminin geçişi üzerindeki mevcut engeller ve özellikle bina sakini yoğunluğundan dolayı, her zaman binayı makul bir süre içinde terk edemezler (Anonim 1984). Bir tahliye sisteminin temel amacı, bir yangın gibi görünen veya tehlikeli bir olay esnasında, bina sakinlerinin tehlikeli bir yerden, bulundukları yere nazaran daha güvenli bir yere tahliyesini sağlamaktır (Tubbs and Meacham 2007). Acil çıkış merdivenlerden inerken yüksek binaların sakinlerinin birbirlerine uyguladıkları fiziksel baskılar, birçok sakinin kapasitesinin üzerinde olabilir. Bu, bina sakinleri arasında panik yaratabilir ve bu nedenle, yangınla mücadele ve kurtarma operasyonlarını engelleyebilir (Hassanain 2009).

3.2.5.2.b. Yüksek Binaların Tasarımının Yapılandırılması

Açık acil çıkış merdivenlerinin boşluğu, asansörün iç boşluğu ve oluklar gibi yüksek katlı binalarda düşey boşlukların varlığı, yapının tüm açık alanlarına ve boşluklara yangının ısını ve yangına bağlı dumanın aktarılmasını kolaylaştırır (Evenson 1988). Bunun yanı sıra, klima dağıtım sistemleri, fanlar kapatıldığında bile dumanın yayılmasında etken olabilirler. Yüksek binalardaki acil çıkış merdivenlerinin boşlukları, zehirli dumanların ve yangın kaynaklı zararlı şeylerin bina boyunca yayılmasına ve yangının yayıldığı bütün katlardaki bina sakinlerinin yaralamasına sebep teşkil edebilirler. Katı maddelerin yanması sonucu oluşan sıcak dumanlar yukarı doğru hareket eder çünkü yoğunlukları kendilerini çevreleyen soğuk havaya göre daha düşüktür (Watson 2000). Sonuç olarak, yükselen duman nedeniyle, bu binalardaki yangınlar, acil çıkış merdivenlerinin boşluklarını yangının merkez noktasının üzerindeki tüm katlarda bulunan bina sakinleri tarafından kullanılamaz hale getirilmesinde bir etken teşkil edeceklerdir. Yangın dumanı, uyuşturucu ve nefes almayı engelleyen gazların bir karışımını içermektedir ve bu gaz kombinasyonuna maruz kalma, hareket kabiliyetinin kısıtlanmasına yol açar (Neviaser and Gann 2004).

3.2.5.2.c. Çok Büyük Oranlarda Yanıcı Maddelerin Mevcudiyeti

Yüksek bina, üst üste inşa edilmiş çok sayıda katın işaret ettiği bir nitelemedir. Bu yapılandırma, kişisel ve ticari mülklerin daha yoğunlaşmasını sağlamaktadır (Craighead 2009). Bu yapılandırma, kişisel ve ticari mülklerin daha yoğunlaşmasına yol açmaktadır. Yüksek binalar yangına dayanacak şekilde inşa edilirken, kişisel eşyalar ve mobilyalar dâhil olmak üzere binanın her katında bulunanların çoğu çok miktarda ısı ve duman oluşturabilir. Mobilyaların ana sorunu, dumanların ve zehirli gazların hızlı salınmasına yol açan çabuk alev alma özellikleridir. Bu nedenle, tasarımcılar ekipmanların seçimi hususunda bilinçli olmalı ve bu ekipmanlarda alevlere dayanıklı olanlardan seçilmelidirler.

3.2.5.3. Yüksek Binalar İçin Yangın Güvenliği Stratejileri

Yüksek bir bina için kapsamlı bir yangın güvenliği stratejisi aslında zamana bağlıdır. Yangın güvenliği stratejisi iki ana bileşen içerir: tahliye stratejisi ve bina performansı. Binanın performansı, yapısal performans ve bölmelendirme gibi yangın yayılımını engelleyen performans gibi unsurlara ayrılabilir. Tahliye stratejisi, binanın tüm sakinlerini tamamen güvenli bir şekilde tahliye etmek için gereken süreyi belirlemekten ibarettir. Binanın performansı, yapının yangının etkilerine dayanabildiği süreyle ve bölmelendirme işlevselliğinin perfore edilmesiyle ilişkilidir. Günümüzdeki tasarım senaryolarında, her iki bileşen de genellikle ayrı ayrı ele alınabilir. Tahliye zamanı belirlendiğinde dakika baz alınırken, yapısal olarak yangına dayanıklılık veya yapılan bölmelendirmenin dayanıklılık zamanı belirlenirken de saat baz alınır. Bununla ilişkilendirildiğinde, tahliye stratejisinin uygulanmasını mümkün kılan bir süre boyunca yapısal performansın ve bölmelendirmenin, sağlam kalması gerekir. Bu yüksek binalar için geçerli değildir. Hâlihazırdaki abartılı yükseklikler, bu binalardaki sınırlı sayıda düşey çıkış yolu ile birleştiğinde ciddi tahliye problemlerine yol açmaktadır. Tahliye süreleri, yapısal elemanların ısınma süreleriyle karşılaştırılabilir bir büyüklük derecesine

ve bunun yanı sıra bu yapıların potansiyel direnemezlik noktalarına kadar uzatılır. Şu halde, 2001'deki Dünya Ticaret Merkezinin İkiz kulelerinde olduğu gibi tahliye problemleri ile yapısal veya bölmelendirme direnememezliklerinin üstü üstü gelme riski vardır (Cowlard *et al* 2013). Binalar daha yüksek ve daha karmaşık hale geldikçe bu sorun daha da kötüleşecektir. Bu bölümde, söz konusu ana bileşenler tartışılacak ve daha sonra yangın güvenliği stratejisiyle ilgili eğilimleri değerlendirilecek ve en nihayet tasarımın temel varsayımlarının güvenilir olup olmadığı kontrol edilecektir.

3.2.5.3.a. Tahliye Stratejisi

Tahliye söz konusu olduğunda, öncelikli olarak bina sakinlerinin yanan binanın dışına çıkmaları için gereken zamana göre belirlenir; Zaman ne kadar kısa ise, bina daha güvenli addedilir. Çok sayıda modern yüksek binaların yüksekliği, sınırlı sayıda düşey çıkış yolu ile birleştiğinde tahliye süresinin uzamasına sebep olur, bu nedenle acil çıkış merdivenleri yangına dayanıklı olmalıdır. Bir kere ulaştıklarında bina sakinlerinin güvenliğini garanti altına alacak, hiçbir tehlikeyle karşılaşmadan binanın içinde veya dışında bir sığınma yerine geçişi mümkün kılmak için “güvenli bir bölge” oluşturacak şekilde merdivenler tasarlanmalıdır. Aşılacak mesafeler, tahliye süresini, yapısal elemanların ısınma süreleriyle karşılaştırılabilir bir büyüklük derecesine ve bunun yanı sıra bu yapıların potansiyel direnemezlik noktalarına kadar uzatır. Merdivenler ve asansörler gibi düşey boşlukların artmasının ve genişlemesinin, bu çakışmayı önlemekte yeterli olmamaktadır. Herhangi bir yangın stratejisinin başarılı olması bina sakinlerinin merdivenlerde geçirdikleri süre, merdivenlerin duman ve ısıdan izole edilmesi ve tüm binanın sağlam olmasını gerekli kılar. Yeterli koruma olmadan, merdivenlerin sayısının ve genişliğinin bir önemi kalmaz, çünkü duman kaplı merdivenler kullanılamaz ve tehlikeli durumdadırlar, hal böyle olunca yangın güvenliği stratejisi de etkisiz olur.

Yüksek binalarda merdivenlerin hava izolasyonunu ve dumanın sızmasını garantilemek için kullanılan yaygın yöntem basınçlandırma tekniğidir. Basınç limitlerini

(üst limit ve alt limit) belirlemek amacıyla merdivenlerin basınçlandırılması yöntemi geliştirilmiştir. Şu halde, merdiven boşluğuna ulaşıldığında bina sakinlerinin güvenliğinin sağlanması amacıyla basınçlandırma sistemleri, merdiven boşluğu ile kenarları arasındaki basınç farkının alt limit- üst limit aralığında kalacağı şekilde tasarlanırlar. Basıncın en üst limiti, bina sakinlerini bir merdivene götüren kapının açılmasına ve binadan çıkana dek zorluklarla karşılaşmayacakları koşulları oluşturmak amacıyla belirlenir. Bu basınç, genellikle ortalama bir kişinin hareket kabiliyetini engellemeyecek derecedeki güç olarak tanımlanır. Alt sınırdaki basınç, merdiven boşluğundan çevreye gaz akışının sürekliliğini sağlayacak biçimde tasarlanmıştır. Buna göre, alt sınır basınç, ateş tarafından üretilen basınçlar ve sıcaklıklar göz önünde bulundurularak belirlenir. Yangının etkisiyle oluşmuş basınçlar, alt sınırdan daha yüksekse, dumanlar kapılardan ve merdiven boşluğundaki küçük boşluklardan ve açıklıklardan geçerek merdivenleri kullanılamaz hale getirir. Bu nedenle, tipik bir yangının üretebileceği basınçları doğru bir şekilde belirlemenin çok önemli olduğu söylenebilir. Yöntemin, kısıtlı uygulama alanlarına sahip olması ve yangının doğasıyla ilgili belirsizlikler nedeniyle sınırlı olduğu ortaya çıktığı için, modern yüksek katlı binaların yangına karşı güvenlik stratejisine bu basınçlandırma yönteminin uygulanması tartışılabilir (Bellido *et al* 2009). Yangınların listelendiği çizelgeye göre merdivenlerdeki dumanı kontrol altına alma sistemleri için rapor edilen başarısızlık oranları, içerisinde basınçlandırma sistemlerinin adlarının yazılmış olduğu olayların % 90'ını temsil etmektedir (Cowlard *et al* 2013). Bu da, merdiven boşluğunun güvenlik seviyelerinin şu anda garanti edilmediğini gösterir. Bu nedenle, yüksek binaların yangın güvenliği konusunda köşe taşı olarak görülen tasarım geçerli olmayabilir. Sonuçta, yangın güvenliği stratejisinin bir unsuru olan tasarımın başarılı olmasındaki temel etken, alt sınır basıncının doğru tespiti ve yangının çıkış sebepleriyle ilgili edinilmiş doğru bilgidir.

Bir stratejinin, bilinen sonuçları dikkate alan ve istenen sonucu elde etmek için belirsizlik ve değişkenliğe çözümler bulmaya çalışan yetkin şekilde oluşturulmuş bir plan olarak tanımlanabileceği belirtilmelidir (Tubbs and Meacham 2007). Bundan dolayı, tahliye stratejisi ikiye ayrılabilir: toplu tahliye stratejisi ve aşamalı tahliye stratejisi (Muckett and

Furness 2007). Toplu tahliye stratejisi, tüm bina sakinlerini tahliye etmekten ve aşağıdaki iki yaklaşımdan birini uygulayarak onları yanan binanın dışındaki güvenli bir yere yerleştirmekten ibarettir: eşzamanlı toplu tahliye ve evre evre yapılan toplu tahliye. İlk yaklaşımı (eşzamanlı toplu tahliyeyi) gerçekleştirmek için en yaygın yöntem, bir çağrı cihazı veya detektör kullanıldığında, tüm yangın alarmları acilen binanın boşaltılması için anlık uyarı verirler. İkinci yaklaşım (evre evre yapılan toplu tahliye), zeminlerinin yangına dayanıklı olan yüksek binalarda yaygındır. Bu yaklaşım uygulandığında, yangından hemen etkilenen katlardakiler ilk önce tahliye edilirler. Yangından etkilenen katlar genellikle yangının başladığı yer ve bir üst katıdır. Kalan katların sakinleri daha sonra düzenli aralıklarla bir defada iki kat olacak şekilde boşaltılır (Muckett and Furness 2007).

Yatağa bağımlı hastaların asıl tahliyeden önce bitişik bölmelere aktarılmasını içeren aşamalı tahliye stratejisine gelince, bu, yatağa bağımlı hastaların tamamen güvenli bir şekilde tahliyelerini kolaylaştırmak için inşa edilen yangına dayanıklı bölümlerin mevcut olduğu hastanelerde uygulanır. İki tip aşamalı tahliye uygulanabilir. İlk tür yatay aşamalı ilerleme içeren tahliye olarak adlandırılır. Bu yöntemde, hastalarla aynı katta bulunan ve daha sonra güvenli bir yere tahliye edilebilecekleri bitişik, ateşe dayanıklı bölmelere hastalar tahliye edildiğinde başvurulur. İkinci tip aşamalı tahliye modeli, bölge bölge tahliye olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde hastalar, yangının ulaşmış olduğu yerden yan taraftaki güvenli yere taşınırlar (Muckett and Furness 2007).

3.2.5.4. Binanın Performansı

3.2.5.4.a. Yapısal Performans

Modern yüksek katlı binaların yapısal tasarımı, yükleri verimli bir şekilde transfer etme gereksinimine göre düzenlenir. Yüksek katlı bina taşıyıcı sistemlerinin geliştirilmesi, yüklerin transferi için etkili mekanizmaların oluşturulmasına yol açmıştır. Bu durumda,

yangın anında, yangının neden olduğu deformasyonlar ve ortaya çıkan yükleme, yapı boyunca verimli bir şekilde yeniden dağıtılmalıdır. Bu, yapısal bütünlüğün korunmasına yardımcı olsa da, yapısal sistemler özellikle yangının boyutuna ve yangını çıkaran sebeplere duyarlıdır (Usmani *et al* 2003).

Yapısal elemanlarda yangına dayanıklılık, geleneksel olarak standart bir zaman-sıcaklık eğrisine göre belirlenmiştir (Babrauskas and Williamson 1978). Genellikle kritik bir sıcaklık olarak kabul edilen ve önceden belirlenmiş bir çökme kriteri elde etmek için yapının elemanları ayrı ayrı test edilmiş ve nominal özellikleri gerekli zamana göre belirlenmiştir. Yakın zamanlarda, yangın esnasında yapıların performansını belirlemek için bu yöntemin gerçekçi olmadığı anlaşılmıştır. Yapılan son analizler, parametrik zaman sıcaklık eğrisini, ısınma oranlarının ve soğutmanın etkisini gösteren zaman denkliliğini yapının ilk verileri olarak kullanmıştır. Durum böyle olunca, modern yüksek katlı binaların performansa dayalı tasarım uzmanları, yangın güvenliğini uygun bir şekilde sağlama ile ilgili yapısal elemanların ayrı ayrı denenmelerinin verimsizliğini anlamış olurlar. Çok katlı yüksek binalarda yangın kaynaklı kırılgan sarkması, eklenti noktalarındaki tahribatlar, döşemelerin çökmesi ve yangına dayanıklı bölümlere ayırma düzeneklerinin deformasyonu gibi yapısal tahribatlar, gerçek bir performans değerlendirmesi sayesinde tasarım aşamasıyla ortaya çıkabilir. Böyle bir değerlendirme, muhtemel yangın koşullarının kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. Bununla birlikte, sadece tek tip veya standart bir yangın için etkili bir tasarımı değerlendirmek yeterli olmaz aynı zamanda dinamik bir yangın için verimli bir tasarımı planlamak da önemsenmelidir çünkü yayılma eğilimli bir yangın, yapı için potansiyel olarak felakete yol açabilecek bir tehdit oluşturabilir. Yangının muhteviyatının kapsamlı bir şekilde tespit etmenin temel olarak yapısal bütünlüğünün sağlanmasına ve yangın güvenliği stratejisinin korunmasına bağlı olduğu açıktır.

3.2.5.4.b. Bölümleme Performansı

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi, yüksek katlı binalarda bulunan gecikmeli çıkış süresi, sınırlı düşey tahliye rotaları ile birleşince tahliye stratejisini aşamalı tahliye stratejisi olarak belirlemeye yöneltir. Yangından hemen zarar görecekt bina sakinlerinin tahliyesi, yangının merkezine nispeten daha uzak bina sakinlerinin tahliyelerinden daha önceliklidir. İtfaiyeciler, merdivenlerinin ulaşabileceği bir yerde bulunuyorlarsa yangınla içten mücadele etmek için düşey geçitleri de kullanabilirler. Bina sakinlerinin bulundukları yerde güvenli bir şekilde kalması için tahliye stratejisini desteklemek amacıyla en elverişli düşey bölümlemeye başvurulmalıdır. Asıl olan, daha uzak katlarda bekleyenlerin güvenliğini sağlamak için yangının merkezi halindeki kattan yukarı katlara veya aşağı katlara doğru yangının yayılmasını önlemektir.

Bölümleme, yangın ve dumanın duvar ve zeminlerin ötesine geçmesini önleyen ve yangın şiddetlendiğinde halen işlevsel olarak kullanılabilen bir yapı olarak tanımlanabilir. Bazı durumlarda istendik ölçüde yangına dayanıklılık gösteremeyen yanmaz yapıyla karıştırılmamalıdır. Bununla birlikte, elemanlarının yangına uzun süre dayanması amacıyla büyük ölçüde yanmaz bir yapıya başvurmak genellikle gereklidir.

3.2.5.5. Yüksek Binalarda Yangın Güvenliğinin Amaçları

Yangın güvenliği amaçlarına ulaşmak için birçok potansiyel yol vardır. Yüksek binalardaki tüm yangın önleme yönetmeliklerinin ve kodlarının ana amacı, yangın riskini azaltmak ve ayrıca yangına ve etkilerine tahliyeden daha uzun bir süre dayanabilecek bir yapı tasarlamaktır. Yangın önleme, insan eylemlerinin yanı sıra sistemlere ve ekipmana planlı bakım uygulanmasına dayanmaktadır. Yangınları önlemek garanti olmadığından, bir yangının etkilerini sınırlamak ve bina sakinlerinin koruma ve tahliyesi için seçenekler sunmak amacıyla aktif sistemleri (otomatik yangın söndürücü sistemleri gibi), yapısal

unsurlar (çıkış merdivenlerini bir bariyerle yangından izole etmek ve güvenlik duvarı gibi yapılar oluşturmak) ile birlikte işe dâhil etmek gereklidir.

Bina güvenlik hedeflerine ulaşmak adına başlamış yangınların boyutlarında sınırlanma sağlanması amacıyla tasarım ekibi, özellikle yangın koruma mühendisi, tüm bina sistemlerinin birbirleriyle etkileşimlerine odaklanmalıdır. Bunu başarmak için yangından korunma mühendisi tasarım ekibine tam olarak dâhil edilmelidir ancak bu şekilde ilk tasarımdan binanın nihai teslimine ve binanın kullanıma açılmasına kadar yangın güvenliği dikkate alınmış olur. Yangından koruma mühendisi, tasarım ekibi ile yangın önleme ve acil durum hazırlık uzman yetkilileri arasında da iletişim kuracaktır (Quiter 2012).

Yüksek binanın taşıyıcı sistemi, yangın riski ve bina sakinlerinin sayıları arasındaki ilişki bağlantılı olarak dikkate alınmalıdır. Çok katlı yüksek binalarda yangına karşı koruma söz konusu olduğunda bina, sakinleri ve sistemleri gibi unsurlar arasında bir ilişki oluşturulmalıdır.

3.2.5.6. Yangının Yüksek Binaların Taşıyıcı Sistemleri Üzerindeki Etkileri

Yüksek binalarda, düşey ve yanal yüklere dayanıklı sistemler, ekonomi ve performans açısından odak noktasında yer alırlar. Bu durum, çok sayıda işlevi yerine getirmek ve yüksek binaların karşılaştığı daha önce rastlanılmamış yapısal tehditlere karşılık vermek için taşıyıcı sistemlerin (örneğin: Kontrvantman sistemler, diyagonal çubuklu sistemler, çerçeve tüp sistemi, tüp içinde tüp sistemi, demet tüp sistem, çaprazlı tüp sistemi vb.) kombinasyonlarında kullanım ve ivmeli bir güven sağlar. Bu, genel stabiliteyi devam ettirme açısından önemli olduğu için bir taşıyıcı sistemin yangın dayanıklılığın standartlarda belirtilen ölçülerin ötesinde artırılması gerektiği anlamına gelebilir.

Çoğunlukla, iki veya daha fazla sistemden oluşan ve yüksek katlı binalarda kullanılan taşıyıcı sistemler farklı yapı malzemelerinden (örneğin çelik, beton, kompozit) oluşur. Bu malzemeler yüksek sıcaklıklarda farklı davranışlar sergileyebilirler. Malzemeleri yangın karşısında sergiledikleri performans farklılıkları, binanın genel stabilitesine sorunlar yaratacak yükler, iç gerilmeler, deformasyonlar, yer değiştirmeler ve diğer termal uyumsuzluk sorunlarına yol açabilirler. Örneğin, bir çelik diyagrid sistemi, bir beton çekirdek sistemi ile birleştirilebilir. Bir yangın durumunda, çelik destek elemanlar (betona kıyasla yüksek bir ısı iletkenliğine sahip olan) hızlı bir şekilde ısınacak ve kendilerinden daha soğuk olan merkezi beton duvarlara doğru genleşecektirler. Beton kolay ısınmaz olduğundan ve ateşe dayanıklılığını / rijitliği çelik kadar hızlı yitirmediğinden, çeliğin ısı genleşmesi betonla sınırlandırılmış olur ve çeliğin ısı genleşmesi çelik takviyede eksensel kuvvetleri tetikleyecektir. Yangın durumunda, bu ısı genleşme kuvvetleri önemli olabilir ve genellikle çelik desteğin bükülmesine veya çökmesine neden olur (Quiter 2012). Bununla birlikte, yüksek katlı binaların taşıyıcı sistemlerinde kullanılan malzemeler için ısınma özelliklerinin diferansiyel etkisini dikkate almak uygun olur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Yüksek Binaların Taşıyıcı Sistemleri

"Yüksek katlı binaların tarihi kronolojisi" adlı ilk bölüm, yirminci yüzyılın ilk yıllarında binalardaki yapısal sistemlerin öncelikle düşey yüklere dayanacak şekilde tasarlandığını göstermiştir. Daha sonra 60'lı yıllarda çok katlı binaların yapısal sistemleri için çok belirgin değişiklikler tasarlanmıştır ve büyük çelik veya beton binalar için en çok kullanılan sistem olan "rijit çerçeve sisteminden" başka daha elverişli sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde bu alanda yapılan çok sayıda çalışma ve araştırma sayesinde, yüksek mukavemetli ama az yoğunluklu malzemelerin keşfedilmesi, binanın yüksekliğinin artması ve ağırlığının azalması, özellikle çok katlı binalarda rüzgârın ve depremin neden olduğu yatay yükleri başlıca yükler haline getirmiştir. Sonuçta yeni yapısal sistemler, sadece düşey yükleri (sabit yükler ve hareketli yükler) değil, aynı zamanda rüzgâr kuvvetinin ve sismik dalgaların neden olduğu yanal yükleri de hesaba katacak şekilde tasarlanmaktadır (Kovačević 2018).

Binanın yüksekliği (kat sayısı) ve biçimi yüksek binaların taşıyıcı sistemlerinin seçiminde yol gösteren etkenlerdir. Binaların yükseklikleri arttıkça taşıyıcı sistemlerde alternatifler azalacaktır. Az katlı binalarda taşıyıcı sistem seçenekleri fazlayken, binaların yüksekliklerinin tasarımcıyı karşı karşıya bıraktığı koşullar, taşıyıcı sistemin seçimindeki alternatifleri azalmaktadır. Bu nedenle, özellikle yüksek katlı binalarda, mimari ve yapısal tasarım birlikte düşünülmelidir (Günel and Ilgin 2014).

4.1.1. Döşeme Sistemleri

Döşeme sistemlerinin temel görevi, düşey yüklere dayanmak, binaya termal ve akustik yalıtım sağlamak ve bu şekilde ısıtma, havalandırma ve klima sistemlerini aynı düzlem üzerinde toplamaktır. Bunların görevi aynı zamanda, yüksek binalarda rüzgâr ve deprem gibi yanal yükleri, düşey taşıyıcı sistemin elemanlarına (kolonlar ve perde duvarlar) aktarmaktır (Jayachandran 2009).

Yüksek binalarda kullanılan döşeme sistem malzemeleri genellikle betonarme veya bazen kompozittir. Çelikle inşa edilmiş yüksek binaların döşemeleri genellikle kompozittir. Betonarme veya kompozit binaların döşemeleri de betonarme veya kompozit malzemelerden yapılır. Kompozit döşemeler, çelik tabla üzerine beton / betonarme şap dökülerek yapılır. Beton döşeme sistemleri iki destek üzerine konmuş bir beton plakadan müteşekkildir. Üretimindeki elverişlilik ve montajlarının kolay olması sebebiyle prefabrik plakalar yüksek binaların proje tasarımında en yaygın olanları ve en çok kullanılanlarıdır (Kovačević and Džidić 2018).

4.1.2. Düşey Yüklere Dayanıklı Sistemler

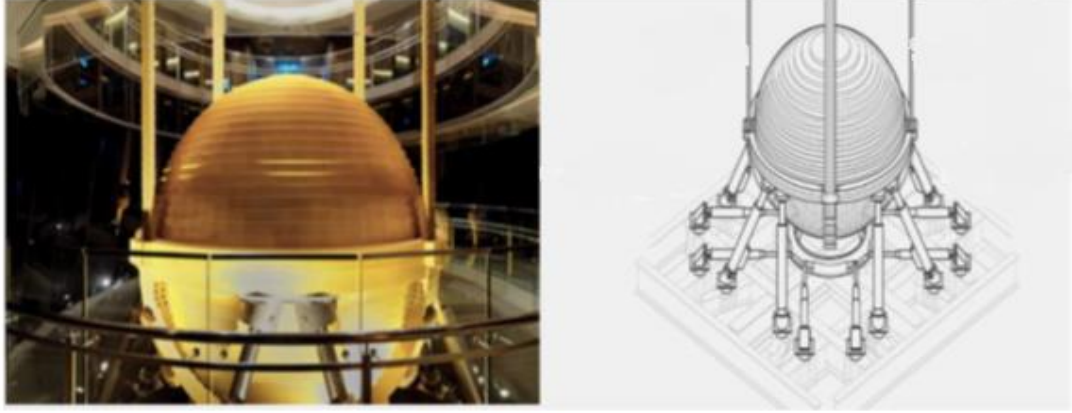
Sabit ve hareketli yüklerin neden oldukları düşey yüklerin aktarılmasını sağlayan yüksek katlı binaların taşıyıcı sistem elemanları (kolonlar, perde duvarlar, taşıyıcı duvarlar, vb.) düşey elemanlardan (kirişler, döşemeler, vs.) ve yatay elemanlardan oluşur. Bu elemanlar çelik, betonarme veya kompozit malzemelerden oluşabilirler. Yüksek katlı binaların projelerinde düşey yükler asıl yükler değildirler. Bu nedenle böyle bir projenin tasarımında, söz konusu yükler, yapı mühendisleri için bir sorun teşkil etmezler. Bilakis, düşey yükler, çok katlı binalara sönümlleme ve stabilite (devrilmeyi önler) açısından yardımcı olabilirler (Sandelin and Budajev 2013).

4.1.3. Sönümleme/Amortisman Sistemleri

Yüksek mukavemetli malzemeler ve yapısal optimizasyonu azami oranda artırma çabalarında kaydedilen en son gelişmeler bugün daha uzun, daha ince ve daha hafif yapıların inşasını sağlamıştır. Yinede artan yükseklik ve incelik ve binaların ağırlıklarında meydana gelen ağırlık azalmaları, bu yapıları şiddetli rüzgâr kuvvetleri ve depremlerin ürettiği titreşimlere maruz bırakmaktadır. Böylece bina titreşimleri, insanlarda rahatsızlıklara, binada hasara ve muhtemelen yapısal arızaya neden olabilir. Ancak, bu soruna gidermek ve bir yapıyı daha istikrarlı hale getirmek için bir amortisman sistemi gereklidir. Mühendislikte amortisman, hareket enerjisinin dağıldığı hızın ölçüsü olarak tanımlanır. Öyleyse bir yapı ne kadar sönümlenirse, hareket de o denli azalır.

Amortisman sistemleri pasif, aktif ve yarı aktif sistemlere ayrılmıştır. Yüksek binalarda, pasif amortisman sistemleri maliyetlerindeki kârlılıkları ve sismik olaylar esnasındaki çalışma kapasiteleri sebebiyle çok tercih edilirler. Aktif ve yarı aktif amortisman sistemleri harici bir enerji kaynağı gerektirir. Sonuçta verimli işlevselliklerine karşın, aktif ve yarı aktif sistemler belirli ekonomik kısıtlamalar ve güvenilirlik nedeniyle daha az yaygındır (Lago *et al* 2018).

Hafiflikleri nedeniyle, Taipei 101 (kompozit yapı sistemi) gibi çelik veya kompozit malzemelerden yapılmış yüksek binaların bir amortisman sistemine gereksinimleri vardır (Şekil 4.1). Çok katlı betonarme binalar kendilerine doğal sönümleme sağlayan yeterli bir kütleye sahip olmalarından dolayı başka bir amortisman sistemine gereksinimleri yoktur. Yüksek binalarda kullanılan en yaygın sönümleme sistemi: (**TMD : The Tuned Mass Damper**), devasa çelik veya beton kütlelerden oluşan pasif bir sistemdir.



Şekil 4.1. Taipei 101 Amortisman Sistemi (Günel and Ilgin 2014)

4.1.4. Yanal Yükleri Taşıyan Sistemler

Yüksek binaların yapı mühendisliğinde, yanal yükleri taşıyan farklı yapısal sistemler kullanılmalıdır. Bu sistemler zaman içerisinde rijit çerçeve sisteminden geliştirilmiştir. Yüksek bina projelendirme aşamasında, taşıyıcı sistem seçimi aslında binanın yüksekliğine bağlıdır. Her sistemin ekonomikliği, belli bir yüksekliğe kadar geçerlidir (Şekil 4.2). Artı yüksekliklere daha ekonomik olabilecek yapısal sistemler önerilmektedir (Alaghmandan *et al* 2014).

Tüm bu yapısal sistemlerin temel tasarımının amacı, binanın eğilmesinin sağlamlığını arttırmak için binanın dış kenarlarına taşıyıcı elemanlar yerleştirmektir. Bu da, düşey elemanlardaki gerilimden sakınmaya ve temellerin yukarı kalkmasını engellemeye yaramaktadır.

Günümüzde, birçok yapısal yüksek katlı bina sistemleri ve bunların sınıflandırılması literatürde tartışılmış ve Khan (1969, 1973), Schueller (1977), Smith ve Coull (1991), Taranath (1998), gibi öncülerin uygulanmalarında kullanılmıştır. Yüksek binalar için kompozit, çelik ve betonarme taşıyıcı sistemler, yatay yükler altında yapısal davranışlarına göre sınıflandırılabilirler (Günel and Ilgin 2014).

Betonarme Yüksek Binalar İçin Taşıyıcı Sistemler		
	Taşıyıcı Sistemler	Kat adedi
		0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120-200
1	Kolonlar üzerine döşemeler	0-10
2	Duvarlar üzerine döşemeler	0-20
3	Duvarlar ve kolonlar üzerine döşemeler	0-30
4	Kolonsuz perde duvar sistemi	0-40
5	Rijit çerçeve sistemi	0-50
6	Geniş aralıklı tüp sistemi	0-60
7	Guseli kiriş rijit çerçeve sistemi	0-70
8	Çekirdek sistemi	0-80
9	Perde duvar kontrvantman sistemi	0-90
10	Kafes kontrvantman sistemi	0-100
11	Çerçeve tüp sistemi	0-110
12	Tüp içinde tüp sistemi	0-120
13	Çaprazlı tüp sistemi	0-130
14	Demet tüp sistemi	0-140

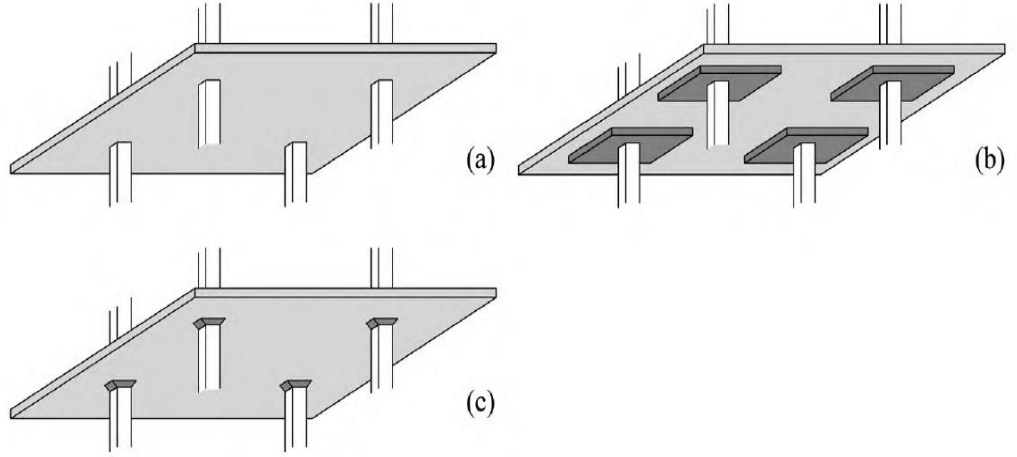
Şekil 4.2. Kat Sayısına Göre Betonarme Binaların Taşıyıcı Sistemleri (Taranath 2009)

Taranath (2009) tarafından geliştirilmiş bu tablo, yanal yükleri taşıyan betonarme yüksek binaların taşıyıcı sistemlerini sınıflandırılmıştır. Bu sınıflama kat sayısına göre ekonomik olarak en uygun sistem seçimi için elverişlidir. Yukarıdaki tabloda sıralanan taşıyıcı sistemlerin hem yatay hem de düşey (düşey) yüklerin taşıyıcıları oldukları belirtilmelidir. Çoğu taşıyıcı sistem, üç temel sistemin birleşmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Üç temel taşıyıcı sistem şunlardır :

- ✚ Perde Duvar Sistemi,
- ✚ Moment Taşıyan Çerçeve Sistemi,
- ✚ Kafes Sistemi.

4.1.4.1. Duvarlar ve / veya Kolonlar Üzerine Döşemeler

Taşıyıcı sistemlerden olan "Duvarlarda ve / veya kolonlardaki döşemeler", betonarme binalarda kullanılan en basit sistemlerden biridir. Bu sistemin taşıyıcı elemanları, iki yönlü olarak kolonları veya kirişsiz duvarları taşıyan bir döşemeden oluşurlar. Bu sistem yanal yükleri, döşemelerden kolonlara / taşıyıcı duvarlara sonrada tüm yatay ve düşey yükleri, düşey taşıyıcı elemanlardan temellere iletir. (kolon ve/veya duvar) düşey elemanlar ile (döşemeler) yatay elemanlar arasındaki düğüm noktalarında yarı rijit bir bağ olmalıdır. Ayrıca, yapı sistemindeki bu kolon-döşeme bağlantısı birden çok şekilde olabilir. En tanınmış üç bağlantı şekli şöyledir : kirişsiz döşeme (Şekil 4.3a), kaset döşeme (Şekil 4.3b) ve mantar döşeme (Şekil 4.3c).



Şekil 4.3. Döşeme Tipleri: Kirişsiz Döşeme (a), Kaset Döşeme (b), Mantar Döşeme (c) (Günel and Ilgin 2014)

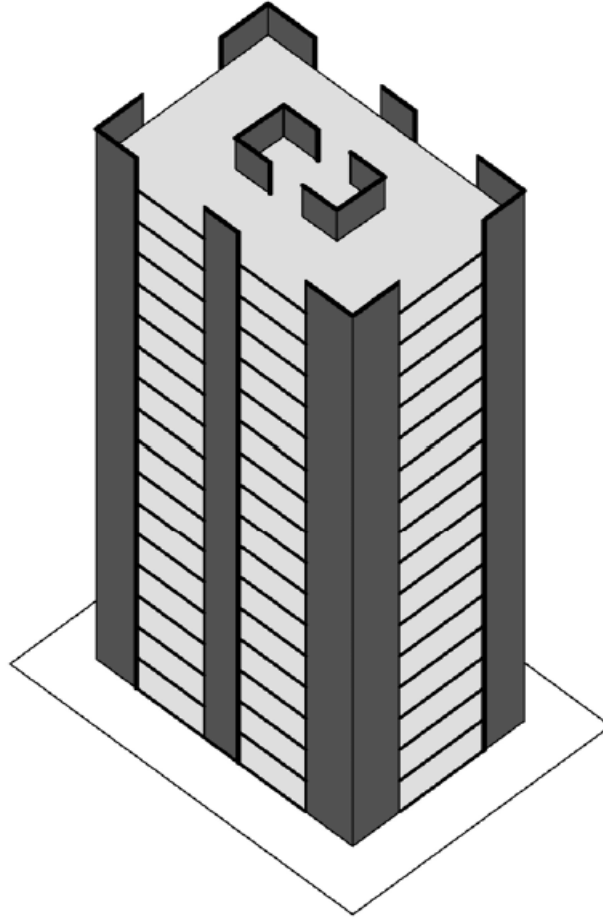
Döşeme plaka tipleri (b) ve (c), kolonlar ve döşemeler arasındaki bağlantılarda kesme kuvvetlerinin yarattığı zımbalama etkisini azaltmak için tasarlanmıştır.

Ondan daha az katlı binalar için sadece döşeme plakası ve kolonlardan oluşmuş sistem diğer bir anlatımla “döşeme üzerine kolon” sistemi düşünülebilir. Bu durumda binanın sergilediği davranış yarı rijit çerçevelerin üst üste gelmesiyle oluşan davranışla aynıdır. On kattan fazla olan binalar için düşey elemanlar olarak bilinen kolonlardan oluşmuş sistem artık yanal rijitlik oluşturmakta yetersizdir. Bu durumda, konsol kirişler gibi çalışan düşey perde duvarları kullanılmalıdır. Kolonlar iki mafsallı olabilirler bu durumda bir yandan uygulamayı kolaylaştırır diğer yandan kolon içi demirleri azaltır. "Duvar ve kolon üzeri döşeme" sistemi, etkili ve ekonomik şekilde yirmi katlı binalar için dahi rüzgâr ve deprem kaynaklı yanal yükleri taşımakta yeterli rijitlik sağlayabilir (Günel and Ilgin 2014).

4.1.4.2. Perde Duvarların Birleştirilmiş Sistemi

“Perde duvarların birleştirilmiş sistem” adlı taşıyıcı sistem, betonarme binalarda kullanılan bir sistemdir ve aslında kendi aralarında birbirleriyle bağlanan perde duvarlardan oluşmaktadır. Bu sistem ile önceki sistem arasındaki en öne çıkan fark, duvarlar, kirişler veya döşemeler arasındaki rijit bağlantılardır. Bu sistemin elemanlarının kendi aralarındaki bağlantıları, perde duvarlara ait toplam rijitliğin çok ötesinde bir rijitlik sağlar . Bu kolonsuz sistem, temele sıkıca bağlı düşey bir konsol gibi çalışır ve yaklaşık 35 katlı binaların tüm düşey ve yatay yüklerini taşıyabilir (Taranath 2009).

Birleştirilmiş duvarlar genellikle binanın yüksekliği boyunca sabit bir L veya U şekline sahiptir (Şekil 4.4). Bu harf biçimindeki yapılar söz konusu yükseklikler arasına (merdivenler, asansörler, kanallar) gibi düşey kanallar yerleştirmeyi kolaylaştırır. Tek bir yönde çalışan sıradan bir rijit duvarın aksine birleştirilmiş perde duvar sistemi her iki yönde de etkilidir (Gunel *et al* 2007).



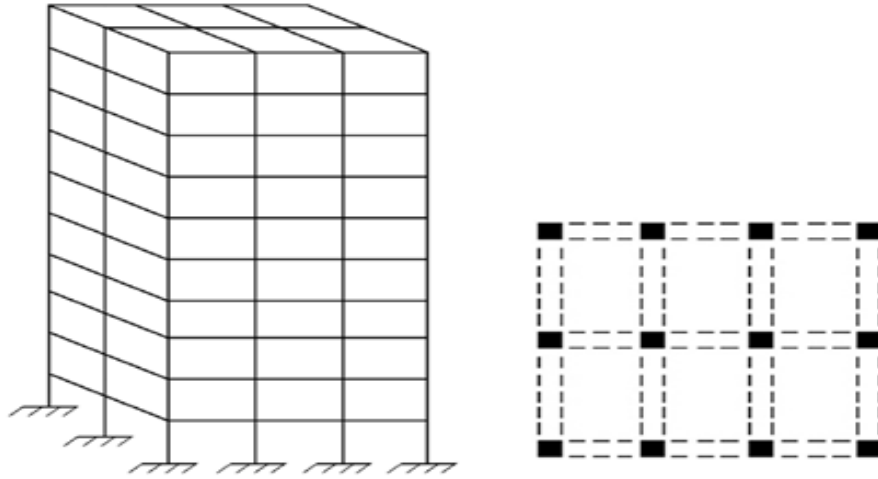
Şekil 4.4. Perde Duvarların Birleştirme Sistemi (Günel and Ilgin 2014)

4.1.4.3. Rijit Çerçeve Sistemi

Moment taşıyan çerçeve sistemi olarak da bilinen rijit çerçeve sistemi, momentlere dayanan düğüm noktalarıyla birbirlerine bağlı olan, kiriş ve kolon gibi lineer elemanlardan oluşmuş çelik veya betonarme inşa edilmiş yüksek binalarda kullanılan bir yapı sistemidir. Bu sistem, kirişlerin ve kolonların eğilmesiyle düşey ve yanal yüklere dayanabilen rüzgâr-kesmeyen bir sistemdir. Bu sistem esasında rijitliğini, aralarında birbirlerine rijit bir şekilde bağlanmış kiriş ve kolon gibi çerçeve elemanlarının eğilmeye karşı dayanıklılıklarına borçludur. Bu nedenle, düğüm noktaları yeterli mukavemet ve

rijitliğe sergileyecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu da ancak tolere edilebilir bir deformasyona yol açabilir (Günel and Ilgin 2014).

Bahse konu sistemin yapısal rijitliği orantılı olarak yapısal elemanların (kirişler ve kolonlar) eğilmelerine, boyutlarına ve aynı zamanda uzunluklarına ve kolonlar arasındaki mesafelere bağlıdır. Bu nedenle, daha büyük alanlar gerektiren inşaat projelerinde, rijit çerçeveler sistemi tavsiye edilmemektedir, çünkü bu sistemde kolonlar, mimari planlama yaparken gerekli yerlere yerleştirilmekteler ve kirişlerin derinlikleri de genellikle tavan yüksekliği ile sınırlıdır. Bu veriler ışığında rijit çerçeve sistemine ait etkili bir tasarım yaparken kolonları birbirlerine bağlayan kirişlerin çok kalın olmaması için kolonlar arasındaki standart mesafelerin aşılmasına özen gösterilmelidir (Şekil 4.5).

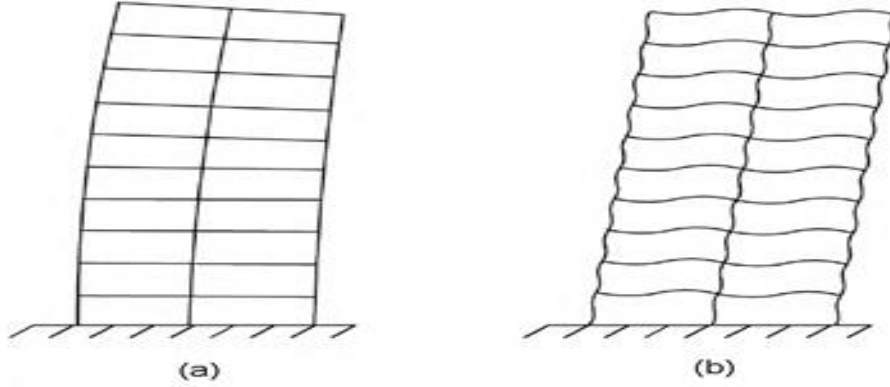


Şekil 4.5. Rijit Çerçeve Sistemi (Günel and Ilgin 2014)

Bu sistemin asıl avantajı, düşey taşıyıcı duvarlara ve diyagonal yapılara sahip olmamasıdır. Bu, mimari tasarımda bir özgürlük sağlamaktadır. Dahası, rijit çerçeveler genellikle diğer taşıyıcı sistemlere göre daha az yük iletmektedir. Yinede bu sistemin de bazı dezavantajları vardır. Rijit çerçeve sisteminin en büyük dezavantajı, rüzgâr ve deprem kaynaklı yanal yükler karşısındaki davranışdır. Yanal yer değiştirme şeklinde meydana gelen bahse konu davranış sakinlerinin rahatsız olmasına neden olabilir ve

ayrıca, binanın yapısal olmayan elemanlarına da zarar verebilir. Yanal yer değiştirme şunların sonucunda ortaya çıkar :

- ✚ İlk olarak binanın konsolundaki eğilme nedeniyle oluşan deformasyon (Eğilme deformasyonu). Bu deformasyon yanal yer değiştirmenin % 20 'ini oluşturur (Şekil 4.6a).
- ✚ İkinci olarak, kolonlar ve kirişler gibi yük taşıyıcı elemanların eğilmesinden kaynaklanan deformasyon. Bu deformasyon, toplam yanal yer değiştirmenin yaklaşık % 80'ini sergilemektedir (kirişlerin eğilmesinden dolayı % 65 ve kolonlara % 15) (Şekil 4.6b).

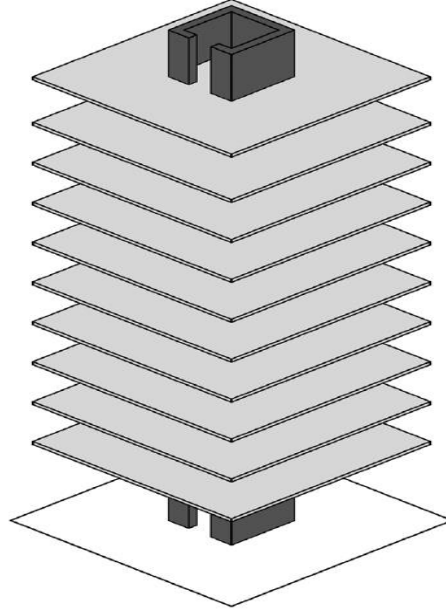


Şekil 4.6. Rijit Çerçeve Sisteminin Yanal Yer Değiştirmesi: (a) Konsol Eğilmesinden Kaynaklanan Deformasyon, (b) Kirişlerin ve Kolonların Eğilmesinden Kaynaklanan Deformasyon (Günel and Ilgin 2014)

Her şeye rağmen rijit çerçeveli sistemin, yaklaşık 25 katlı binalarda rüzgâr ve depremden kaynaklanan yatay yüklere etkili bir şekilde dayanabilecek kadar bir rijitlik gösterdiğinin alt çizilmelidir. Bu yüksekliğin üzerinde, yanal yer değiştirmesine karşı direnç daha fazla maliyet gerektirir. Bununla birlikte, rijit çerçeve sistemi ile perde duvar sisteminin bir arada kullanıldığı yapı yükselme kapasitesi 50 veya daha fazla kata kadar çıkabilecek rijitliktedir (Taranath 2009).

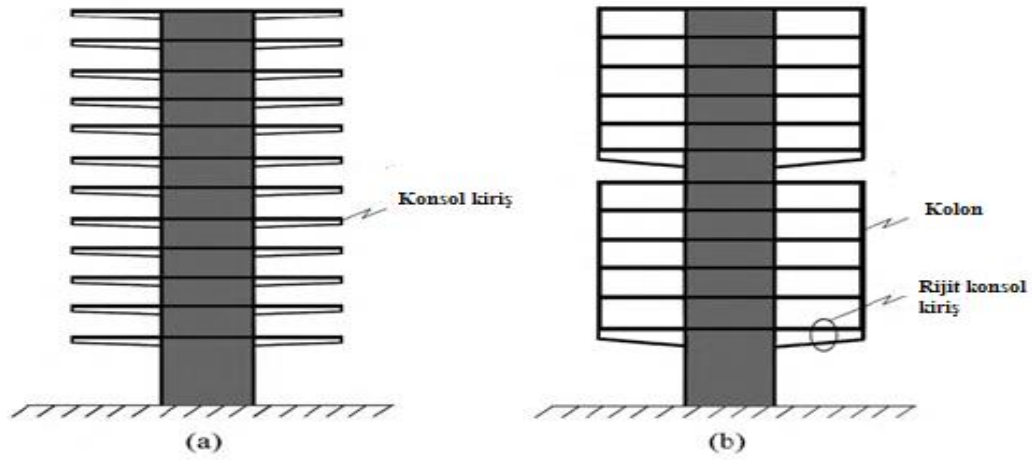
4.1.4.4. Çekirdek Sistemi

Yüksek binalarda, düşey dolaşım sağlayan merkezi boşluklar inşa edilir. Bu merkezi boşluklar genellikle asansör veya merdiven boşlukları için kullanılırlar, ekseriyetle doğal ışıktaki gerektirmezler. "Çekirdek" adı verilen bu düşey yapı genelde betonarme olarak inşa edilir ve çok rijittir. Daha çok inşaatın merkezi kısmına konuşturılan bu çekirdek, temellere ankastre bir konsol kirişi olarak çalışır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Merkezi Çekirdek Yapı Sistemi (Günel and Ilgin 2014)

Merkezi çekirdek yapı sisteminde genellikle iki çeşit döşeme sistemi vardır: konsol döşemeler ve konsol modüller. Birinci tip döşemelerde (döşemeler ve kirişler) gibi yatay elemanlar perde duvarlara (çekirdek) ankastre edilir ve bütün sistem konsol olarak işler (Şekil 4.8a). Konsol modüllerde, her modülün alt zemini hariç çekirdekten başlayarak konsol işlevi görürler ve üst katların aralıklı çevresel kolonlarını taşırlar (Şekil 4.8b) (Günel and Ilgin 2014).



Şekil 4.8. Merkezi Çekirdek Sistemindeki Döşeme Tipleri: (a) Konsol Döşeme Sistemi (b) Konsol Modüller (Günel and Ilgin 2014)

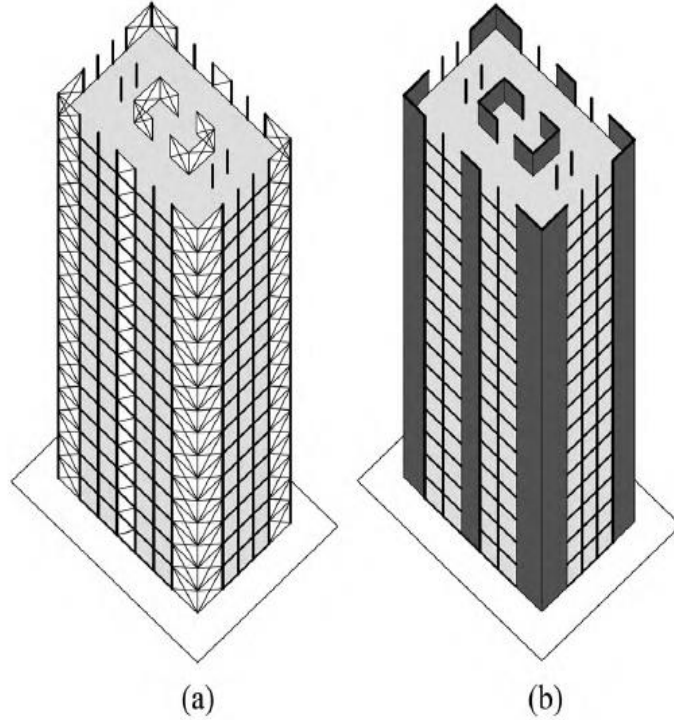
Bu sisteminin başlıca avantajı, her türlü yüke dayanmasını sağlayan şeklidir: düşey yükler, kesme kuvvetleri, eğilme momentleri ve burulma. Böylelikle yaklaşık 40 kata kadar olan döşemeler vasıtasıyla kendisine iletilen yatay yüklerin çoğunu taşır. Diğer yandan bu taşıyıcı sistemin aynı zamanda kat sayısının sınırlandırılması gibi yetersizlikleri vardır. Teknik olarak çekirdek sistemine sahip bir yapı, 40 kat yüksekliği aşabilir, ancak bu da, çekirdekte genişleme sorunu doğurur ve bu koşullar altında bazen çekirdekte % 40'a varan yüz ölçüm artışı sebebiyle daha fazla beton sarfını zorunlu kılar sonuçta bu durum ekonomik bir probleme neden olur (Taranath 2009).

4.1.4.5. Kontrvantman Çerçeve Sistemleri

Yüksek binaların taşıyıcı sistemlerindeki problem her zaman rüzgâr ve deprem kaynaklı yanal yüklerdir. Bu nedenle bir yapı sistemi, bazı yüksekliklerden itibaren yatay yüklere teknik ve ekonomik açıdan dayanmak için uygun değildir. Adı geçen sorunun çözümü, bu yüklere dayanabilecek başka yapı sistemleri bulmaktır. Çözüm olacak bu sistem ise yapısal iki sistemin bir arada uygulanması olabilir (Taranath 2009).

Örneğin, büyük deformasyonlara neden olan kolon eğilmelerinin yol açtığı 25 kat sayısından fazla binalarda rüzgâr ve depremlerin neden olduğu yatay yüklere yeterli direnç göstermeyen rijit çerçeve sisteminin yetersizliğinin kaynağı burada yatmaktadır. Bu durumda, yanal yüklerden kaynaklanan dış kesme yüklerine dayanması için çerçeve sistemine, kontrvantman kafes sistemi veya perde duvar sistemi ekleyerek binanın ekonomik yüksekliğini ve genel rijitlik durumunu artırmak mümkündür (Şekil 4.9). İki sistemin (rijit çerçeve + kafes veya perde duvarları) birleştirilmesi yanal yüklere dirençli, rijit ve yüksek verimli bir sistem sağlar. Bu sisteme “kontrvantman çerçeve sistemi” denir. Ayrıca İki tür kontrvantman çerçeve sistemi vardır :

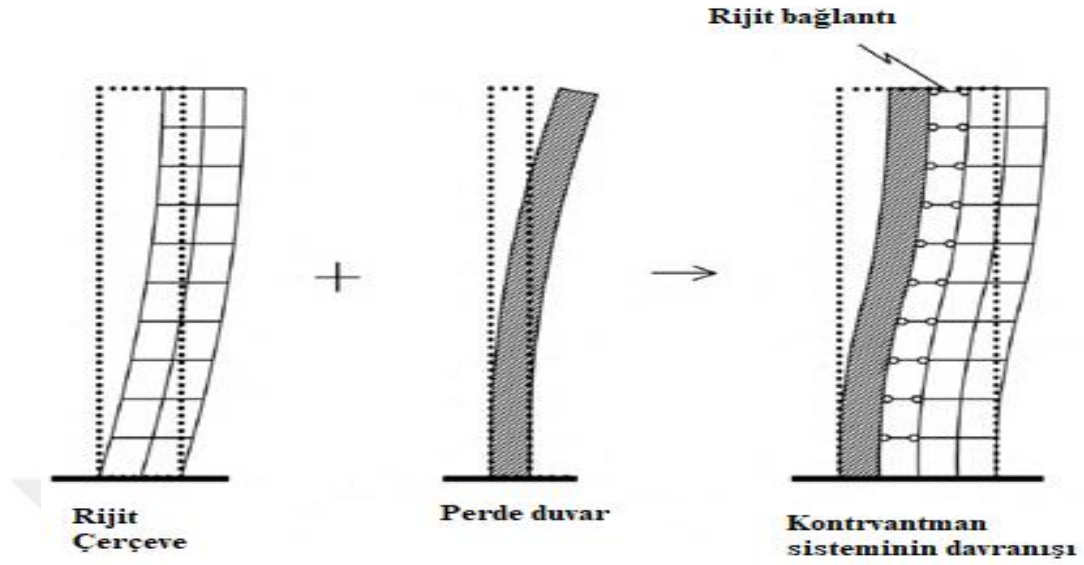
- ✚ Kafes sistem (Şekil 4.9a),
- ✚ Perde duvarlı sistem (Şekil 4.9b).



Şekil 4.9. Kontrvantman Çerçeve Sistemleri: (a) Kafes Sistemi, (b) Perde Duvar Sistemi (Günel and Ilgin 2014)

Bu birleşik sistemde (rijit çerçeve + perde duvar), yatay yük direnci, perde duvarları ve rijit çerçevelerin birlikte kullanımı ile sağlanır. Yatay elemanlar (kirişler) ile düşey elemanlar (kolonlar) arasındaki bir bağlantıdan teşekkül etmiş çerçeveler genellikle binanın çevre kısımlarında yer alırlarken perde duvarları genellikle yapının çekirdeğini oluşturan asansör ve servis kafesleri etrafına yerleştirilir.

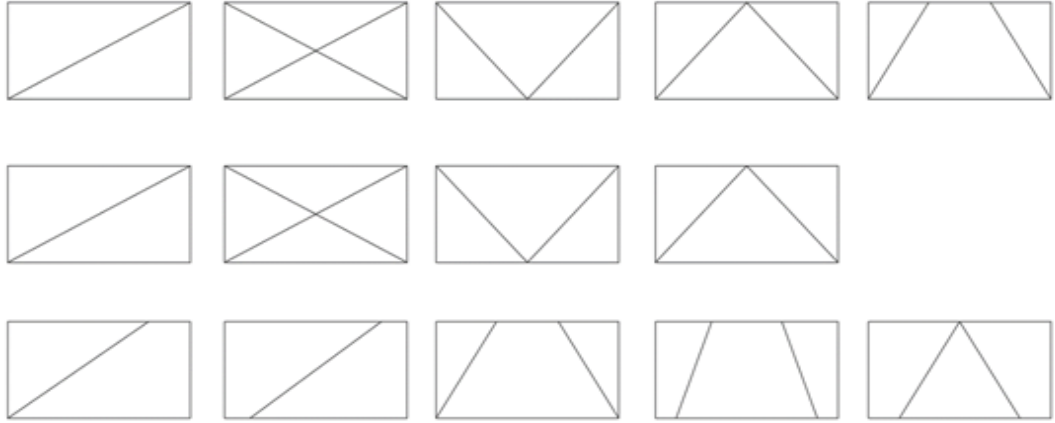
Rijit çerçeve sistemin kullanıldığı binalarda binanın alt bölümlerinde kesme deformasyonu en yüksek seviyededir ve bu nedenle rijit çerçeve sistemi bir kesme modunda deforme olur buna mukabil perde duvar sisteminde perde duvarlar eğilme modunda konsol gibi çalışırlar. İki sistemin yanal yer değiştirmesinin özellikleri tamamen farklı olduğundan, alt seviyelerde rijit çerçeve perde duvarı büsbütün öne iterken buna mukabil aynı sistem binanın üst seviyesinde perde duvarları kendine çekme yani eğimi azaltma eğilimindedir. Ancak, perde duvarları binanın alt kısmında kesme yüklerin çoğunu taşıırken rijit çerçeveler sistemi kesme yüklerin nispeten daha zayıf olduğu binanın en üst bölümlerinde daha etkilidir. Yanal yer değiştirme özelliklerindeki belirgin farklılık nedeniyle, her iki sistem de önemli ölçüde birbirleriyle yardımlaşırlar. Perde duvarlar temele yakın çerçeveyi taşıırken, rijit çerçeve sistemi, perde duvarın üst kısmındaki yanal yer değiştirmeyi azaltma eğilimindedir (Şekil 4.10) (Taranath 2009).



Şekil 4.10. Yanal Yükler Maruz Kalan Kontrevantman Çerçeve Sisteminin Davranışı (Günel and Ilgin 2014)

Kafes çerçeve sistemi düşey kafesler biçiminde çapraz ve rijit çerçeveden oluşmaktadır (Şekil 4.9a). Rijit çerçevenin kolonları arasındaki diyagonal çapraz çerçeve, bu kolonlarda sürekli düşey hat işlevi gören bir kafes çerçeve oluşturur. Kolon, kiriş, çapraz çerçeveden oluşmuş bu tarz yapı sisteminde kullanılan malzemeler genellikle çelik, bazen kompozit ve nadiren betonarmedir. Çünkü yanal yükler kendilerini her yönde hissettirirler, sonuçta destek elemanlar hem gerilme hem de basınca maruz kalırlar. Beton çekme mukavemeti zayıf olduğundan, genellikle çelik ve kompozit kafes tercih edilir. Öte yandan, çelikten yapılmış çapraz çerçevenin büküldüğü zaman bunun bir kritik etken olduğu ve dikkate alınması gerektiği vurgulanmalıdır (Günel and Ilgin 2014). Kafes sisteminin şekilleri dört gruba ayrılabilir (Şekil 4.11) :

- Diagonal kafesler,
- X şeklinde kafes,
- V şeklinde kafes,
- U şeklinde kafes.



Şekil 4.11. Kafes Sistemi Sekil Çeşitleri (Ali and Moon 2018)

10 katlı binalardan başlayan ve 50 katlı binalar dâhil olmak üzere tüm yüklerle adaptasyonu ve direnebilmesi nedeniyle kontrvantman çerçeve sistemi, yanal yüklere dayanabilmesi amacıyla en çok kullanılan sistemlerden biridir (Günel and Ilgin 2014).

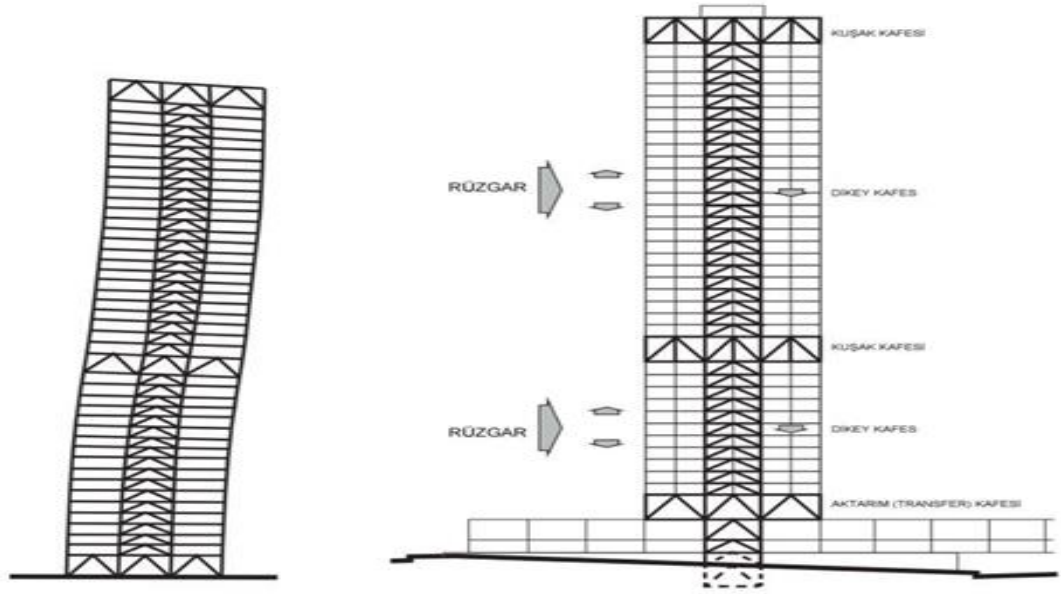
4.1.4.6. Çapraz-Kuşaklı Sistem

50-60 katlı yüksek binalar için önceki sistem (kontrvantman çerçeve sistemi), rüzgâr ve depremlerin neden olduğu yatay yüklere karşı yapının stabilitesini sağlamakta genellikle tek başına yeterli değildir. Bu nedenle burada bir veya daha fazla stabilatör kat tasarlanmalıdır. Bu kat şu şekilde olabilir :

- Binanın en üstüne konuşlandırılmış olan kata şapka kat veya baştaki/tepedeki kat adı verilir.
- Binanın yüksekliğinin herhangi bir seviyesinde konuşlandırılmış kat stabilatör katı veya kuşak kat olarak adlandırılacaktır.

Bu sistem, biri temel diğeri yan sistem olmak üzere iki yapısal sistemi genellikle birbirleriyle birleştirerek çalışır. Buradaki amaç, binaların, yanal yüklerin uyguladığı kuvvetlere karşısında diğeri eğimler arasından en az eğimi sergilemeleridir (Taranath 2009).

Birkaç kattan oluşan kuşak katlar, çekirdeği, kolonlara bağlayan duvarlardan ibaret rijit katlardır. Bu tarzda oluşturulmuş kuşak katlar, eğilme momentlerinin azalmasını sağlarlar. O zaman sistem, temellere ankastre edilmiş konsol kirişten (çekirdek) ve çok rijit bir kiriş tarafından çekirdeğe bağlanmış takviye kirişlerden oluşur. Aynı şekilde yatay kafeslerden oluşan kuşak katlarına da rastlamak mümkündür (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Çapraz-kuşaklı Taşıyıcı Sistemi (Balcı 2013)

Bu sistem sayesinde elde edilebilecek kat sayısının kesin bir tahminini vermek zordur. Çapraz-kuşaklı taşıyıcı sistemi kullanarak yüz kata kadar kat sayısını artırmak mümkündür. Yüzden fazla katlı binalarda, 2 ile 4 arasında stabilatör kat (kuşak kafes)

gereklidir, ama bu sistem, yüzden fazla katlı binalarda tüp sistemlere kıyasla daha az kullanışlıdır. Bu nedenle yüzden fazla katlı binalarda tüp sistem tercih edilir.

Çapraz-kuşaklı kat sistemi, yapının eğimini azaltmak için direnci artırmada çok etkili ama kesme deformasyonunda etkili değildir. Bu sebeple yapının merdiven ve asansör boşluklarında perde duvar sistemi (çekirdek) tasarlanmalıdır. Çünkü çekirdek sistemi kesme deformasyonuna karşı daha etkilidir.

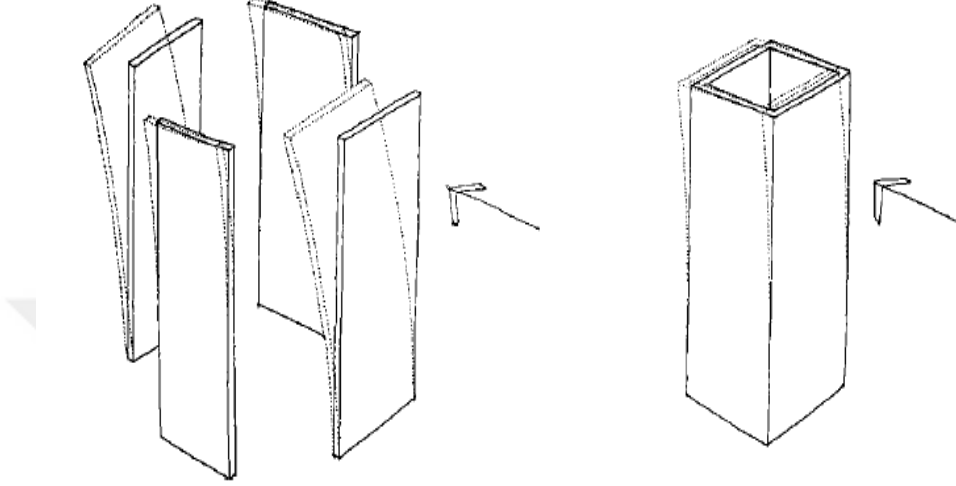
4.1.4.7. Tüp Sistemleri

4.1.4.7.a. Tüplerin Tasarımı

1960'lı yıllarda düşey ve yatay yüklere dayanacak şekilde tasarlanan yüksek binaların taşıyıcı sistemleri çeliktendi. Khan, ekonomik olmayan çelik yapılar nedeniyle konsol görevi gören düşey bir kiriş gibi çalışan zemine sabitlenmiş oyuk bir kutuyu andıran bir bina tasarlamıştır. Başlangıçta, duvarlar rijit bir bağla binanın etrafına bağlanmıştır, sonra duvarlarda pencerelerin montesi için oyuklar açılmıştır. Özenli bir incelemeden sonra, sonuçlar, duvarlardaki oyuklara rağmen adı geçen tüp yapı sisteminin yanal dayanıklılık konusunda çok katkı sağlayacağını göstermiştir, çünkü yan duvarlar arasındaki rijit bağlantılar, her iki yönde de önemli avantajlar ortaya koymuştur (Şekil 4.13).

Yasmin Sabina Khan, "*Engineering Architecture: The vision of Fazlur R. Khan*" (*Fazlur R. Khan'ın Mimari ve Mühendislik Vizyonu*) adlı yazdığı kitabında, merkezi akstan oldukça uzak elemanlar, eğilmeye dayanıklılık elde etmek için kullanıldıklarında çok büyük rijit bir yapının elde edildiğini ifade ederek kirişler üzerine temel bir teoriyi ele almıştır. Yanal rijitliğinin yanında yapının çevresel elemanları, düşey yükün büyük bir kısmını taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Bu taşıyıcı sistemle tasarlanan binalar, düşey yüklerin tam bir amortisman görevi gören çevresel yük taşıyıcı elemanlar tarafından taşındığından, devrilmeyi önleme açısından çok kullanışlı olmuştur. Khan'ın tüp sistemini

keşfetmesi, çerçeve tüp sistemi, çaprazlı tüp sistemi ve demet tüp sistemi gibi farklı taşıyıcı sistem çeşitliliğine yol açmıştır (Khan 2004).



Şekil 4.13. Rüzgâr Yüklerine Maruz Kalan Bağlantısız Duvarlar Zayıf Dirençli Eksenleri Etrafında Eğilme Sergilerlerken, Bağlantılı Duvarlar Yanal Yüklere Dayanıklılık Sergilemek Amacıyla Birlikte Mukavemet Gösteren Tüp Sistemi Oluştururlar (Sandelin and Budajev 2013).

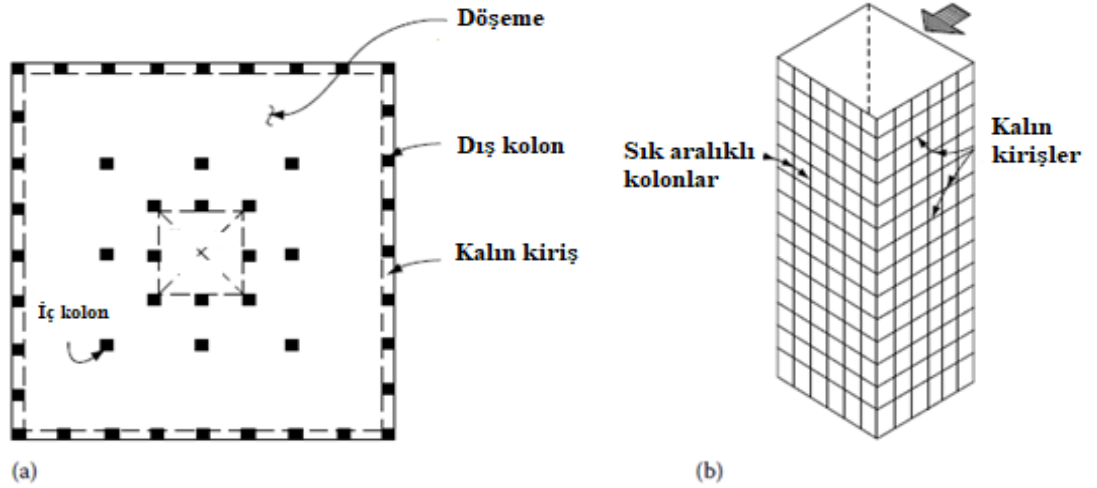
4.1.4.7.b. Çerçeve Tüp Sistemi

Günümüzdeki yanall yükleri taşıyan iyileştirme ve birleştirme sonucunda ortaya çıkan (rijit çerçeveler, kontrvantman çerçeveler ve perde duvar sistemleri) gibi üç temel sistemle tasarlanmış yüksek binaların yapı sistemlerinin yanı sıra, çerçevelerden (rijit çerçeveler) oluşmuş tüpler de, rijit çerçeveli sistemin mantıksal uzantılarıdır. Bu sistemde binanın çevresel kısımları (Şekil 4.14) kalın ve perçin görevi gören kirişlerle aralarında birbirlerine bağlanmış sık aralıklı kolonların dikimine tahsis edilmiştir. Bu sistem, rijit çerçevelerden oluşmuş bir sistemdir, ancak bu sistemin rijit çerçeveden farklılığı şu özelliklerinden kaynaklanmaktadır: kolonlar birbirlerine oldukça yakındırlar ve rijit düşey elemanları içerir, (kiriş+döşeme), özelliklerin hepsi çerçeve etkisinin sağlanması

ve her şeyin bir tüp gibi çalışması içindir. Bu şekilde kurulmuş sistem içi boş devasa bir düşey kiriş gibi çalışır ve kenar kolonları arasında geniş aralık bulunması bu sistemin kullanımını elverişli kılar. Tüp çerçeve sistemi, bir kısmı dolu bir tüp, diğer kısmı rijit çerçeveden oluştuğu için, bu sistemin davranışları kontrvantman çerçevesi (rijit çerçeve + perde duvarlar) olan bir sistemle çok benzerdir (Khoramabad 2011).

Tüp çerçeve sisteminin ekonomik olduğu vurgulanmalıdır. Bu sistemin ekonomikliği aslında şu etkenlere bağlıdır: kolonlar arasındaki mesafelere ve kolonların boylarına, kolonları bağlayan köşe kirişlerinin kalınlığına ve binanın alanına.

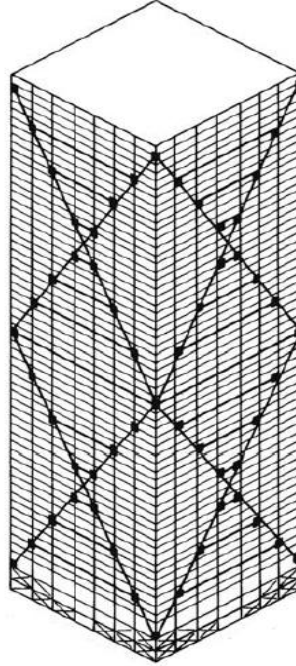
Çerçeve tüp sistemi, yaklaşık 70 katlı binalarda rüzgâr ve deprem kaynaklı yatay yüklere etkili bir şekilde dayanıklılık gösterebilecek yeterlilikte bir rijitlik sunar. Çerçeve tüp sistemi 40 katlı yapılar söz konusu olduğunda, ekonomik açıdan ve diğer yapı sistemleriyle mukayese edildiğinde, çok dikkate alınmalıdır (Taranath 2009).



Şekil 4.14. Çerçeve Tüp Sistemi: (a) Bina Plan Görünüşü, (b) İzometrik Görünüş (Taranath 2009)

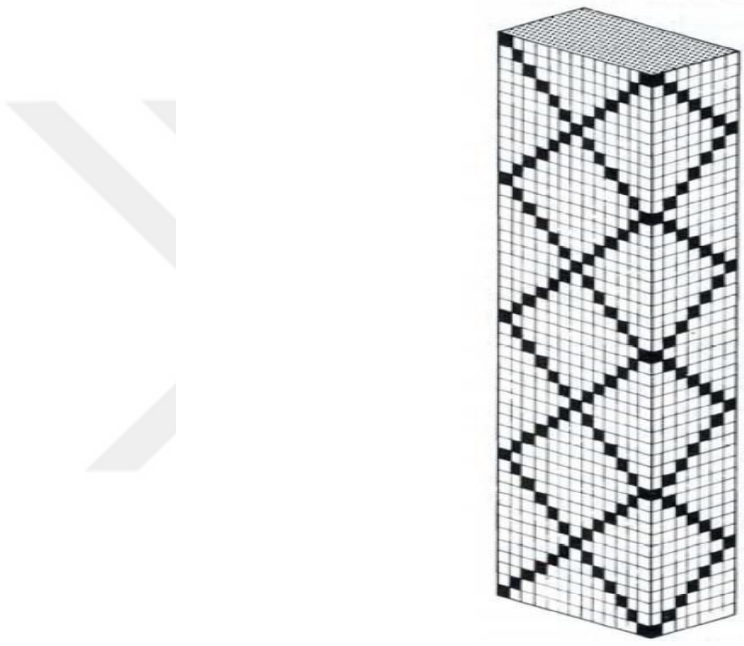
4.1.4.7.c. Çaprazlı Tüp Sistemi

Çaprazlı tüp sistemi, çerçeve tüp sistem ve kafes sistemden oluşmaktadır. Bu sistem, yüksek binalarda kullanım kapasitesini artırmak ve kolonlar arasında geniş mesafeler konulacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 4.15). Böylece kolonların sayısında bir azalma olur ve bu da ekonomik olarak elverişli bir durumdur. Çaprazlı tüp sistemi, tüp yapının köşe kolonlarına aynı noktada kesişen diagonal kolonlar eklenerek elde edilir. Bu durum düşey yüklerin en iyi şekilde dağılımını ve dış kolonlar (köşe kolonları) üzerindeki basıncın artan stresi ve iç kolonlar üzerindeki basıncın zayıf stresinden kaynaklanan kayma gecikmesinin ortadan kaldırılmasını sağlar. Bu nedenle, "kayma gecikmesi" olgusunun, çerçeve tüp sisteminde en büyük dezavantajlarından biri olduğu dile getirilmelidir (Taranath 2009).



Şekil 4.15. Çelikten İnşa Edilmiş Çaprazlı Tüp Sistemli Yüksek Bina (Taranath 2009)

Tüp yapı tasarımında öncü olan Khan, 1970'lerde çaprazlı tüp sistemini kullanarak betonarme yüksek binalar inşa etmenin mümkün olduğu öngörüsünde bulunmuştur. Bu taşıyıcı sistemin uygulandığı çelik yapıyı analiz eden Khan, kolonlar arasında diagonal olarak betonarme kullanmak koşuluyla bir çözüme ulaşmıştır. Bütün bunlar de cephelerde köşegenler oluşturur (Şekil 4.16). Söz konusu tasarım, 60'tan fazla kata sahip binalarda ancak 15 yıl sonra daha somut hale gelmiştir (Günel and Ilgin 2014).



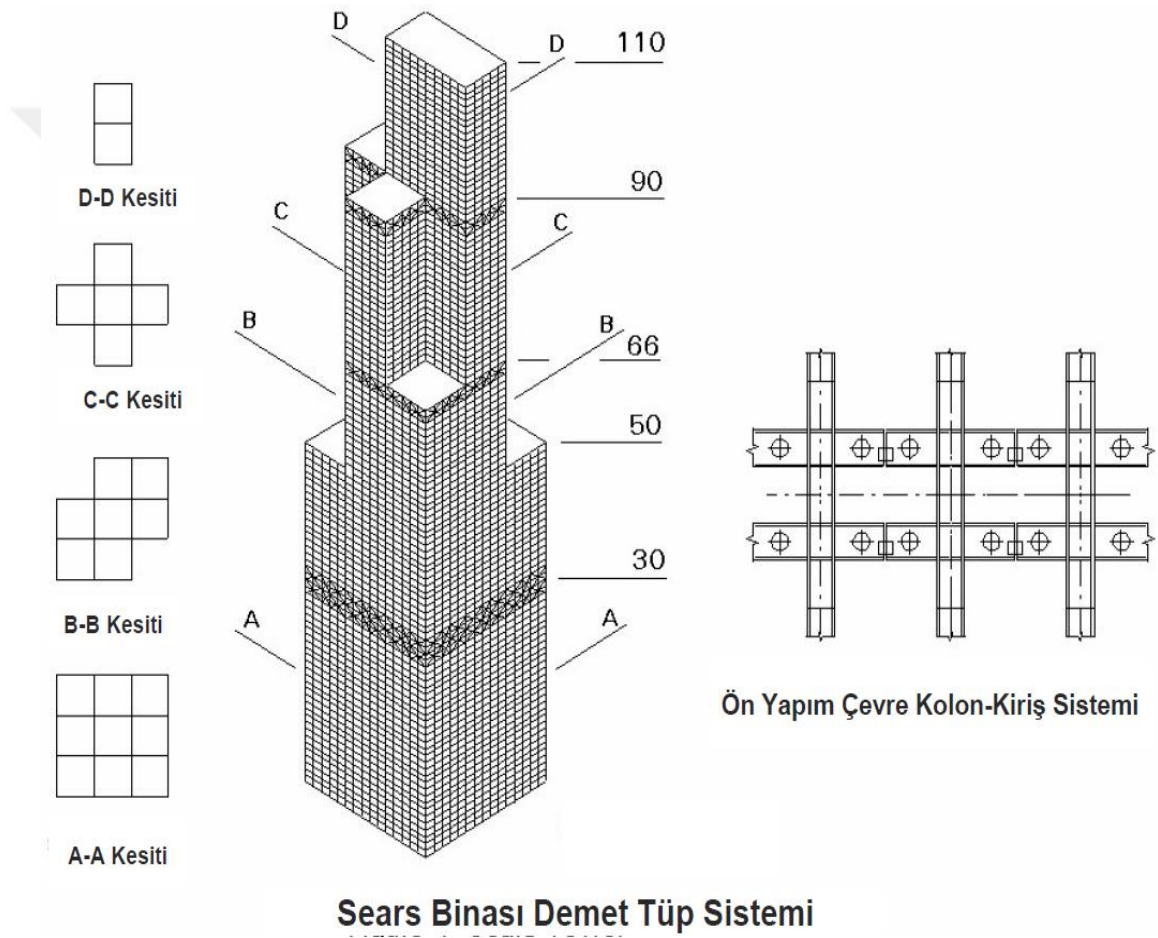
Şekil 4.16. Betonarme Yapıdaki Çaprazlı Tüp Sistem Tasarımı (Günel and Ilgin 2014)

Çaprazlı tüp sistemi, yaklaşık 100 katlı binalarda sabit yükler, hareketli yükler, rüzgâr yükleri ve deprem yüklerinin tetiklediği düşey ve yatay yüklere etkin bir şekilde dayanması için yeterli sağlamlık sunabilir.

4.1.4.7.d. Demet Tüp Sistemi

Daha yükseğine aşabilmek ve "kayma gecikmesi" olgusunu en aza indirmek amacıyla yeni yapı sistemleri aralıksız geliştirilmektedir. Bu sistem Demet tüp sistemidir. Bahsi

geçen taşıyıcı sistemi, birbirine bağlantılı müstakil iki veya daha çok tüpü gruplandırmak suretiyle çok hücreli tek bir tüp elde edilerek oluşturulur. İster çaprazlı tüplerden oluşmuş olsun, isterse genelde çerçeve tüplerden müteşekkil olsun, etkin bir şekilde her türlü dış kuvvete dayanıklılık gösteren demet tüp sistemi oluşturmak mümkündür. Sistemin kullanılabilirlik sınırı 140 kata kadardır. Bu taşıyıcı sisteminin kullanıldığı en tanınmış bina örneklerinden biri Willis kulesidir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Demet Tüp Taşıyıcı Sistemi. Willis Kulesi, Chicago, ABD, 1974 (Günel and Ilgin 2014)

4.1.5. Kayma Gecikme Olgusu

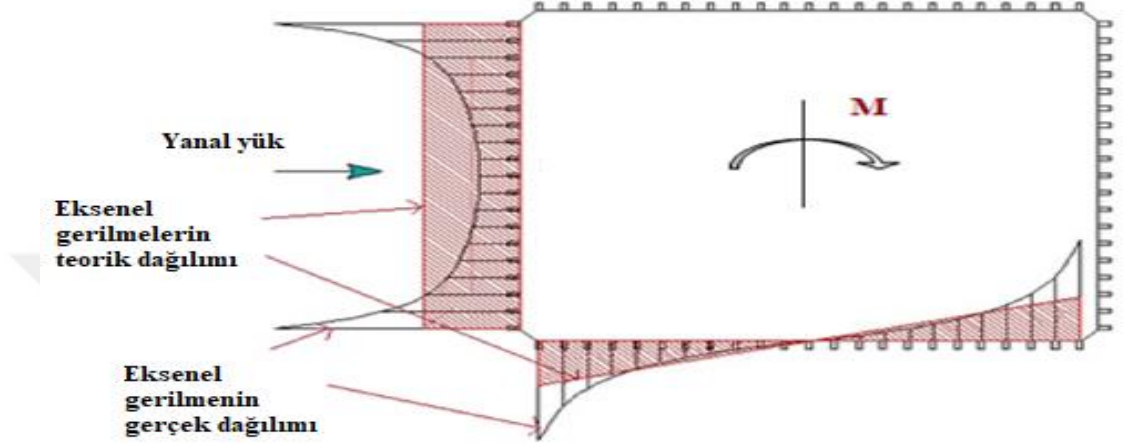
1969 yılında tüplü sistemlerin geliştiricisi olan Fazlur Han, yüksek binaların taşıyıcı sistemlerini sınıflandırdı. Bu sınıflandırma, her sistemin yüksekliği hakkında bilgi sağlamıştır. Daha sonra 2007 yılında Ali ve Moon, binanın yüksekliğine, yük koşullarına, mimari şartlara, arsa koşullarına ve işlevsel koşullara göre taşıyıcı sistemleri yeniden sınıflandırmıştır (Ali and Moon 2007). Ali ve Moon'un çalışmaları bize, bu sistemler arasında, tüp sistemlerin en işlevsel, en yeterli, her iki yüke (düşey ve yatay) dayanıklılık sergileyen ve binada en yükseğe ulaşılabilirliği sağlayan sistemler olduklarını göstermiştir. Yine de, bu sistemler de bazı dezavantajlara sahiptir. En önemlisi kayma gecikmesi etkisidir.

Bundan dolayı bir bina yanal yüklere maruz kaldığında, kolonları yanal yönde yer değiştirme sergiler ve kirişler eğilir. Bu durum, kolon-kiriş düğüm noktalarının dönmesine neden olacaktır. Düğüm noktalarının dönmesinden dolayı, bir binada kayma gecikmesi etkisi adı verilen bir etki doğar. Bu olgu, tüp sistemler gibi yanal yüke maruz kalmış içi boş kutu tipindeki herhangi bir taşıyıcı sistemde gözlemlenebilir. Bu nedenle, bu alt bölümün amacı, kayma gecikmesi etkisinin yüksek binalar üzerindeki etkisini anlamak ve bu fenomeni iyileştirmek için bazı çözümler sunmaktır. Kayma gecikmesi etkisini kontrol altına almak, en yalın haliyle binanın yanal değiştirmesini kontrol etmek anlamına gelir. Teorik olarak, kolon-kiriş düğüm noktalarının dönme sınırı sifıra yakın ise, kiriş-kolon çerçevesi perde duvar gibi davranacaktır (Gaur and Goliya 2015).

4.1.5.1. Kayma Gecikmesi Etkisi

Bir binada kayma gecikmesi etkisi aşağıdaki şekle bakılarak daha iyi anlaşılabilir (Şekil 4.18). Bu şekil, bir yanal yükün uygulanması nedeniyle bir momentin ortaya çıktığı tüp çerçeve sistemi ile donatılmış bir binanın enine kesitini göstermektedir. Aynı zamanda çevre kolonlardaki aksenal gerilmelerin teorik ve gerçek dağılımını gösterir. Şimdi tüm

yapı bir konsol şeklinde kiriş gibi düşünülürse dış çevre kolonlarda oluşan aksenal gerilmeler, eğilme gerilmeleridir (Gaur and Goliya 2015).



Şekil 4.18. Binaın çevre kolonlarındaki eksen gerilmelerin dağılımı (Gaur and Goliya 2015)

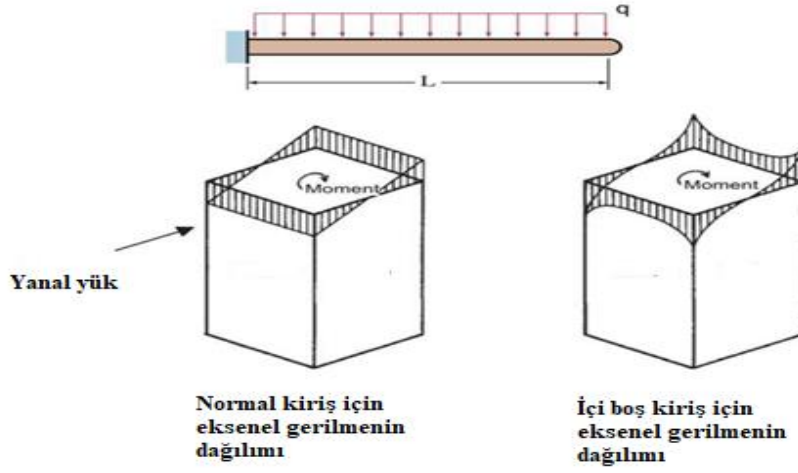
Herhangi bir panel boyunca gözlemlenen gerilmelerin değişimi (yanal yüke tam karşı veya paralel) doğrusal değişmelidir. Yukarıdaki şekil, panellerdeki aksenal gerilmelerinin gerçek dağılımının doğrusal olmadığını göstermektedir. Yanal yüke bakan panelde (*flange panel*), orta kısmın gerilimiyle karşılaştırıldığında panelin köşelerindeki gerilmenin daha yüksek olduğunu görünmektedir. Yanal yüke bakan panelin ortada bulunan kolonlarındaki eksene ait gerilmeler köşe kolonlarının gerilmeden daha azdır. Eksenel gerilmelerinin doğrusal olmayan dağılımının aynısı yatay yükün yönüne paralel (*web panels*) olan panellerde de gözlemlenebilir. Paneller boyunca gerçekleşen aksenal gerilmelerinin bu tür doğrusal olmayan dağılımının adlandırılması şöyledir : kayma gecikmesi etkisi (Goliya 2015).

Bununla birlikte, iki tür kayma gecikmesi var olduğunun alt çizilmelidir : pozitif kayma gecikmesi ve negatif kayma gecikmesi. Klasik tanıma göre, birinci kayma gecikmesi

(pozitif kayma gecikme), panellerin köşelerindeki gerilmelerin orta kısımlardaki gerilmelerden daha büyüktür. Bu sonuncunun aksine, negatif kayma gecikmesi, panellerin orta kısımlarındaki normal gerilmelerin, yakın köşelerdekenden daha büyük olduğu anlamına gelir (Ni *et al* 2018).

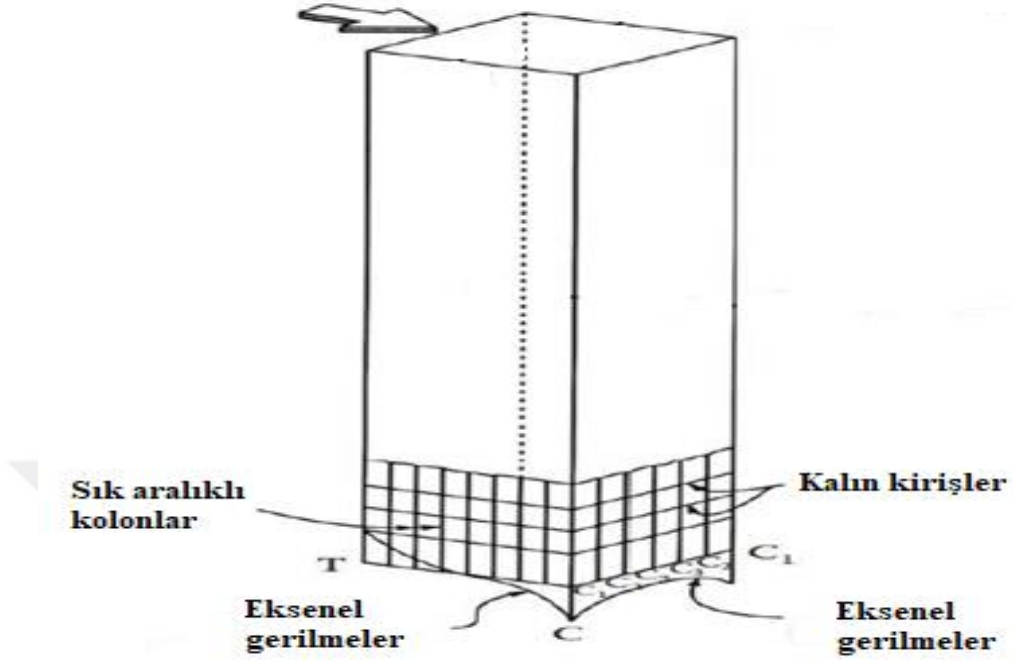
4.1.5.2. Tüp Çerçeve Sisteminde Kayma Gecikmesi Etkisi

Kayma gecikmesi etkisinin inceleme konusu olarak ele alınması günümüze ait değildir. Uzun bir süre önce, yatay bir yüke maruz kaldıklarında haznelerin ve oyuk yapıların davranışlarını inceleyerek başladı. Euler-Bernoulli teorisi adıyla bilinen kirişler teorisi, bir düzlem kesitin eğildikten sonra bile düzlem olarak kaldığını göstermektedir. Bu hipotez, kirişin enine kesitindeki eğilme gerilmelerinin doğrusal dağılımını gösterir. Kesit gerilmeye göre enine kesitin rijitliğinin değerinin sonsuz olarak düşünülmesi veya kesme kuvvetinin sıfır olması hariç bu yaklaşım oyuk kesitlere uygulanamaz. Eğer kesme kuvvetinin var olduğunu kabul edersek, panellerde hem paralel olarak hem de yanıl yükün tam karşısında bir kesme akışı gelişir. Bu kesme akışı nedeniyle, panellerin orta kısımlarının, hazne kesitin en yakın köşesinin ardından gelecek şekilde paneller uzunlamasına hareket eder. Panellerdeki bu doğrusal olmayan uzunlamasına yer değiştirme, eksenel gerilmelerinin dağılımına yol açar (Şekil 4.19) (Dat *et al* 2018).



Şekil 4.19. Eksenel gerilmenin dağılımı (Dat *et al* 2018)

Çerçeve tüp sisteminin yanal yüklere karşı sergilediği rijitlik biçiminin tüp şeklinde olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sistem yanal bir yüke maruz kaldığında, yere ankastre edilmiş yapı, içi boş bir konsol kirişi gibi davranır; kolonlar yatay yönde sapar ve kirişler eğilirler. Kayma gecikmesi böyle oluşur. Tüp sisteminin yatay yükün karşısındaki davranışı, hazneye veya kutu şeklindeki tüm yapılara benzerdir. Bu yapı sisteminin eksenel gerilmelerinin dağılımı doğrusal değildir ve kiriş teorisine uymaz. Çerçeve tüp sisteminde, iki kayma gecikmesi oluşabilir: pozitif kayma gecikmesi ve negatif kayma gecikmesi. Çerçeve tüp sistemindeki pozitif kayma gecikmesi, köşe kolonlarındaki eksenel gerilmenin, orta kolonlarınkinden daha yüksek olması gibi bir ayırıcı özelliği ile kendini gösterir (Şekil 4.20). Bu kayma gecikmesi etkisi, açılardaki gerilme yoğunluğunu artırarak ve panellerin merkezindeki eksen gerilmeleri azaltarak yapının etkililiğini büyük ölçüde azaltır. Bu, yapının yanal burulmasını arttıran gerilmenin birikmesini sağlar ve aynı zamanda kaplama gibi tali kompozantların yer değiştirmesine tetikleyen döşemelerin deformasyonuna neden olur (Leonard 2007).



Şekil 4.20. Çerçeve tüp sisteminin kolonlarındaki eksen gerilmelerin dağılımı (Taranath 2009)

4.1.5.3. Yüksek Binalarda Kayma Gecikmesi Etkisinin Azaltılması

Bir binanın yüksekliği arttığında, örneğin kat sayısı 60'tan fazla olduğunda tüp sistem daha net bir şekilde söylenirse çerçeve tüp sistemi, kayma gecikmesinin etkisine bağlı olarak yanal yüklere karşı etkisiz hale gelir. Bu tip bir tüp sistemi, rijit çerçeve sistemi gibi davranmaya başlar. Bu davranış, bahsi geçen yükseklikler nedeniyle, kirişlerin ve kolonların eğilme biçimindeki yer değiştirmeleri, düğüm noktalarının dönmesini sağlayacak ve sonunda kayma gecikmesinin etkisinde bir artışa neden olacak derecede önemli hale gelir. Bu sorunu çözmek için, yani bu yanal yer değiştirmeleri kontrol edebilmek ve böylece binanın rijitliğini arttırmak için Fazlur Khan üç farklı metot geliştirmiştir. İlk yöntem, mevcut tüp şeklindeki yapının içine ek bir tüp takmaktır. Bu yeni yapı biçimi, tüp içinde tüp yapı sistemden başka bir şey değildir. İkinci yöntem, modüler tüp yani taşıyıcı sistem olarak adlandırılacak tek bir yapı oluşturmak üzere iki

veya daha fazla rijit şekilde bağılı tüpün gruplandırılmasından oluşmuştur. Fazlur Khan'ın üçüncü ve son yöntemi, yapının yanal rijitliğini arttırma ve kayma gecikmesini azaltmak amacıyla binanın dışına diyagonal kolonlar yerleştirmek olmuştur (Ali and Moon 2007). Son yöntem, çeşitli çalışmaların konusu olmuştur.

2007 yılında, Johan Leonard "*Investigation of shear lag effect in high-rise buildings with diagrid system*" başlıklı tezinde, diagrid taşıyıcı sistemindeki kayma gecikmesinin etkisi üzerine çalışmalarını sunmuştur. Diyagonal kolonların açısını değiştirerek, 60 katlı binalarda kayma gecikmesinin etkisini incelenmiştir. Diyagonal kolonların açısı 31 dereceden 90 dereceye yükseldikçe kayma gecikmesi etkisinin artmaya devam ettiğini gözlemlemiştir. Daha sonra çalışmalarında, diyagonal kolonların açısı 63.4 derece ile 71.6 derece aralığında olduğunda, maksimum yanal yer değiştirmenin azaldığı ve minimal hale geldiği sonucuna varmıştır (Leonard 2007).

2007 yılında, Moon da, diagrid taşıyıcı sistemin tasarım yöntemlerini incelemeye başlamıştır. Teorik olarak, 35° 'ye yakın bir açının maksimum kayma rijitliği için optimum açı olduğunu, buna mukabil maksimum eğilme rijitliği için diyagonal kolonların optimal açısının yatay olarak 90° olduğunu kanıtlamıştır. Benimsenecek optimum açı bu iki değer arasında olmalıdır: 35° ve 90° . Yaptığı analizlerde çok daha kesin bir sonuç elde etmiştir. 20 ila 60 kat arasında bir yüksekliğe sahip bina inşaatının optimal diagrid açısının 76 ve 53 derece arasında olması gerektiğini bulmuştur. Daha sonra optimal diagrid açısının binanın yüksekliği arttıkça azaldığı sonucuna varmıştır (Moon 2008b; Moon 2009).

2012 yılında yayınlanan "*Optimal structural configurations for tall buildings*", başlıklı bilimsel makalesinde, Moon bu kez, çaprazlı tüp sistemi ile donatılmış 100 katlı bir bina üzerinde çalışmalar yapmıştır. Çalışmaları temel diyagonal kolonların çeşitli konfigürasyonlarını temel almaktadır. 35° ve 55° aralığındaki diyagonal kolonların

açısının, uygun maliyetli malzeme tasarımı için mümkün olan en iyi yapısal düzenleme olduğunu ortaya koymuştur (Moon 2013b).

4.2. Yatay Yüklere Göre Taşıyıcı Sistemlerin Karşılaştırması

Önceki sayfalarda, özellikle " Yanal yükleri taşıyan sistemler" adlı alt başlıkta her bir taşıyıcı sistem için ona en uygun özellikleri ve ulaşılabilecek ekonomik yüksekliği belirleyerek, yüksek binalarda düşey ve yatay yüklere dayanabilen farklı taşıyıcı sistemleri sıraladık. Yüksek katlı bir bina projesinin tasarlanması esnasında bu çalışma için en ekonomik, en dayanıklı, en uygun olanı seçmek öncelik arz eder. Bu nedenle, yüksek binaların taşıyıcı yapısının seçimi rastgele değildir. Bu seçim, bu tip bir binanın farklı yapısal sistemleri arasında dikkatli bir analiz ve titiz bir karşılaştırmadan sonra yapılır. Bu bakış açısıyla, izleyen paragraflarda, her sistem için belirli bir yükseklikte avantaj veya dezavantaj olabilecek şeyleri sıralayarak taşıyıcı sistemler arasında bir karşılaştırma yapmaktadır.

15 ile 25 kat arası betonarme binalar için, kullanılabilecek taşıyıcı sistemler genellikle "duvarlar ve / veya kolonlar üzerine döşeme" sistemi ve rijit çerçeve sistemidir. “Yüksek binaların taşıyıcı sistemleri” alt bölümün 4.1.4.1 kısmında sıralanmış olan duvarlar ve / veya kolonlar üzerine döşeme sistemi, kolonlar ve taşıyıcı duvarlar üzerine döşeme ile oluşturulmuş ve genellikle yapı malzemesi betonarmeden inşa edilmiş binalar için tasarlanmış olan kirişsiz taşıyıcı bir sistemdir. Bu sistemin çok sayıda avantajı var. Kirişsiz yapısı, bu sistemin iki kat arasındaki yüksekliği en aza indirmesini sağlar, bu da binanın toplam yüksekliğini azaltabilir ve böylece sonuçta ekonomik bir geri dönüş sağlanmış olur. Aynı zamanda esnek bir planlama fırsatı sunar. Taşıyıcı elemanların kalıplama ve kalıptan sökme kolaylığı, zamandan tasarruf etmeyi de mümkün kılar. Kalın beton döşemeler sayesinde, duvarlardaki ve / veya kolonlardaki döşemeler sistemi çok iyi bir ses yalıtımı sağlar. Bu sistemin de bazı dezavantajları vardır, en önemlisi, kiriş bulunmadığı için zımbalama etkisidir (Young *et al* 2004).

Buna mukabil, rijit çerçeve sistemi olarak da adlandırılan (moment taşıyıcı çerçeve sistemi) ikinci sistem; kiriş, kolon ve döşemelerden oluşan bir sistemdir. Düğüm noktalarında sistemin elemanları arasındaki bağlantı, rijit tiptedir. Sistemin asıl avantajı, düşey yük taşıyıcı duvarların ve tasarımda bir mimari özgürlüğün sunulmasını sağlayan diyagonal elemanların olmamasıdır. Bunun yanı sıra 15 katlı binalarda yanal yüklere karşı mukavemeti ve rijitliği daha etkilidir.

Buradan hareketle, 15 ve 25 katlı binalar için, duvar ve / veya kolonlardaki döşemeler sisteminin ekonomi, mimari ve konfor açısından avantajları olduğu sonucu çıkarılabilir ve yüksek sismisite ve yüksek rüzgâr yükü bulunan bölgelerdeki bina projelerinde bu sistemin uygulanması önerilmemelidir. Buna mukabil rijit çerçeve sistemi, duvar ve / veya kolon döşeme sisteminden daha az ekonomik olmasına rağmen, 15 ila 25 katlı binalarda yanal yüklerin direnci ve rijitliği daha iyidir.

Ekonomik olarak uygun ve 25 ila 40 katlı binalardaki tüm yüklere (düşey ve yatay) dayanabilen taşıyıcı sistemler genellikle birleştirilmiş perde duvarlar sistemi ve merkezi çekirdek sistemidir. İlk taşıyıcı sistem (birleştirilmiş perde duvarlar sistemi), aslında birbirine bağlanmış betonarme duvarlardan oluşan bir sistemdir. Bu sistemin başlıca avantajı duvarların birbirleriyle bağlantılı olmasıdır. Duvarların kendi aralarında birbirleriyle bağlantılı olma durumu her iki yönde yanal yüklere karşı direnç sağlar, böylece bu sistemin rijitliği, duvarların tek tek sağladığı dayanıklılığın toplamından daha fazladır. Bu sistem 25 ila 35 katlı binalar için daha ekonomiktir. Bu yüksekliğin aşılması durumunda (35 kattan fazla) birleştirilmiş perde duvarlar sistemi ekonomik değildir; bu nedenle, daha verimli bir taşıyıcı sistemin kullanılmasını diğer bir ifadeyle çekirdek yapı sisteminin kullanımını düşünmek gerekir. Bu sonuncusu genelde yapının ortasına yerleştirilen birbirine bağlı duvarlardan oluşan bir taşıyıcı sistemdir. Bu taşıyıcı sistemin avantajı, bükülmeye, düşey yüklere, yatay yüklere, kesme kuvvetlere her iki yönde eğilme momentlerine dayanmayı mümkün kılan çekirdeğin şeklidir. Bu sistem 40 kata kadar ekonomiktir. Teknik olarak kat sayısı 40'tan fazla binalarda da kullanılabilir ancak

bu yapıldığında çekirdek genişlemesi, bir katın zemininin % 40'ına ulaşabilir, daha fazla beton sarfıyatı anlamına gelen bu durum ise ekonomik bir sorundur.

40 ila 70 kata varan binalarda yeterli bir rijitlik ve ekonomik bir etkililik ortaya koyabilen yapı sistemleri genel olarak şunlardır: kontrvantman çerçeve sistemleri ve çapraz-kuşaklı sistem. "Yüksek katlı binaların taşıyıcı sistemleri" bölümünün 5.4.5 kısmında belirtildiği gibi, kontrvantman (deprem perdesi) sistemi, iki alt sisteme ayrılmıştır: perde duvar sistemi ve kontrvantman kafesli sistem. Perde duvar sistem, (kontrvantman perde duvar ve rijit çerçeve) gibi iki sistemden oluşmuş hibrit bir sistemdir ve genelde betonarmedir. Söz konusu sistemin başlıca avantajı yatay yüklerle karşılaştığında sergilediği dayanıklılıktır. Dayanıklılığın kaynağı iki sistemin birleşmiş olmasıdır. Nasıl ki beton ve çelik, betonarme elde etmek için kullanılan ikili malzemelerse, aynı şekilde oluşturulmuş bir karışım bu iki yapı sistemi arasındaki dayanıklılıkta bir işdeşlik üretir. Bu karşılıklık, perde duvarları binanın alt kısmında kesme yüklerin çoğunu taşıırken rijit çerçeveler sistemi yan kesmelerin nispeten daha zayıf olduğu binanın en üst bölümlerinde daha etkilidir. Yanal yer değiştirme özelliklerindeki belirgin farklılık nedeniyle, her iki sistem de birbirlerine çok yardımcı olma eğilimindedir. Rijit çerçeve, en üstteki perde duvarın yanal yer değiştirmesini azaltırken, perde duvarı temelin yakınındaki rijit çerçeveyi desteklemektedir. Bu ölçütler, bahse konu sistemi en çok kullanılan yüksek katlı bina sistemlerinden biri haline getirmektedir. Zira 15 katlı binalara ve aynı zamanda 50 kattan fazla olanlara uygulanabilir. Rijit çerçeve sisteminin 15 ila 25 katlı binalar için talep görmesiyle mukayese edildiğinde, kontrvantman sistemi, dayanıklılık ve rijitlik söz konusu olduğunda depremlerin çok sık meydana geldiği ve rüzgâr yükünün yüksek etkiye sahip olduğu bölgelerde, daha çok talep görür. 35 ila 50 katlı binalarda yatay ve düşey yükler genellikle kontrvantman çerçeve sistemi tarafından karşılanır. Buna mukabil bu sistemlerin yanal yer değiştirmeye karşı direnci, binanın yüksekliği ile yaklaşık olarak azalır. Söz konusu temel sistem (kontrvantman sistemi) 50'den fazla katı olan binalarda etkisizdir. Bu nedenle, 50'den fazla katlı binaların yanal yer değiştirmesine karşı dayanıklı çapraz-kuşaklı sistem gibi bir başka sistem önerilir. Son olarak adı zikredilen sistem iki sistemden oluşmaktadır: binanın eğilmesine karşı önemli bir rol oynayan stabilizatör

katları ve yeterli kesme dayanımı sağlayan merkezi bir çekirdek sistemi. çapraz-kuşaklı sistemi, kontrvantman çerçeve sistemine kıyasla % 25-30'a varan ek bir rijitlik sağlayabilir (Kheyroddin and Beiraghi 2017). Bu taşıyıcı sistemi ile 100 kata ulaşılabilir ancak tüp sistemlerden teknik ve ekonomik olarak daha az verimli olacaktır.

70 ila 100 ve fazlası kata sahip olan binalarda, tüp sistemleri genellikle rijitlik ve yanal yüklerin etkilerine karşı yeterli dayanıklılık sağlayabilen en uygun taşıyıcı sistemleridir. Tüp sistemleri, çerçeve tüp, çaprazlı tüp, demet tüp gibi çeşitli sistem tiplerini içerir (Varghese and Vikram 2015). İlk taşıyıcı sistem (çerçeve tüp sistem), birbirine yakın aralıklı dış kolonlar ve birbirine sıkıca bağlanmış kalın tabla kirişlerden oluşan bir sistemdir. Çevresel kısımlardaki yapı sistem elemanlarının montajı bütün son kata kadar devam etmektedir. Söz konusu sistem rijit çerçeve sisteminin yenileştirilmiş devamıdır. Bu sistem ve rijit çerçeve sistemi arasındaki fark, kiriş-kolon bağlantılarının daha çok rijitlikleştirilmiş olmasıdır. Bu sistemin rijitliği, kolonlar arasındaki açıklık azaltılarak (2 ila 4 m) ve kirişlerin (kirişlerin kalınlıklarını) ve kolonların kesitleri artırılarak sağlanır (Mutashar and Chandra Mouli 2016). Sistemin başlıca avantajı ekonomik yönüdür. Ekonomisi esas olarak kolonların aralıklarına ve kesitlerine, kolonları bağlayan kirişlerin kalınlığına ve bina alanının oranına bağlıdır. Çerçeve tüp sistemi, yaklaşık 70 katlı binalarda rüzgâr ve depremlerin neden olduğu yatay yüklere karşı binaların etkili bir şekilde dayanabilmesi için yeterli sağlamlık temin edebilir. Ekonomik olarak ve diğer taşıyıcı sistemlerle kıyaslandığında, çerçeveli tüp sistemi, 40 kattan fazla binalarda ciddi olarak düşünülebilir.

Çaprazlı tüp sisteme sahip yapılar, binanın cepheleri hepsi birbirine rijit bir şekilde bağlantılı düşey, yatay ve diyagonal elemanlara tahsis edilmiştir. Diyagonal elemanlar düşey ve yatay yükleri taşır. Dış tüp, eğime ve kesmeye karşı dayanıklıdır ve iç yapı sadece düşey yükü taşır. Çaprazlı tüp sistemlerinden ve bir önceki taşıyıcı sistemden (çerçeve tüp sistemi) oluşan tüp sistemler arasındaki fark, diyagonal çubukların varlığı ve çerçevelerden oluşmuş tüp sistemindekilere oranla daha az sayıda olan ve daha aralıklı

yerleştirilen dış kolonların düzenlenmesidir. Çaprazlı tüp sistemi, kayma gecikmesini (*Shear lag*) azaltır. Kayma gecikmesi de dış kolonlarda (köşe kolonları) yüksek bir basınç gerilmesine ve iç kolonlarda (ara kolonlar) düşük basınç gerilmesini tetikler. "Kayma gecikmesi", çerçeve tüp sisteminin en önemli dezavantajlarından biri olduğunu belirtmek gerekir. Bu taşıyıcı sistem genellikle çelik veya kompozit malzemeden yapılır, ancak betonarme olarakta inşa etmek mümkündür. Diyagonal tüp sistemi, yaklaşık 100 katlı binalarda sabit yükler, hareketli yükler, rüzgâr yükü ve sismik yüklerden kaynaklanan düşey ve yatay yüklere etkin bir şekilde dayanması için yeterli sağlamlık oluşturabilir.

Daha büyük yüksekliklere ulaşmak ve "kayma gecikmesinin" etkilerini azaltmak amacıyla her zaman yeni bir taşıyıcı sistem hedeflenmiştir. Bu sistem, demet tüp sistemidir (Bundled tube). Bu yapı sisteminin ilkesi, çok hücreli tek tüpte bir araya getirilmiş birbirine bağlı iki veya daha fazla tek tüpü gruplamaktır. Sistem en büyük yüksekliğe ulaşılmasına ve en geniş zemin alanına sahip olunmasına elverişlidir. Bu yapı stili Chicago'daki Sears Kulesinde kullanılmıştır. Bu sistemin tasarımı sadece ekonomik açıdan çok verimli olmakla kalmaz, aynı zamanda mimari alanın çok yönlü formülasyonu açısından da yenilikçidir. Her gerilim şekline etkili olan demet tüp sistemi, ya çaprazlı tüplerle ya da genellikle çerçeve tüplerle gerçekleştirilebilir. Bu sistem sayesinde kolaylıkla 140 kata ulaşmak mümkündür.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tarihin ilk çağlarından beri insanlık çok yüksek yapılar inşa etmek için büyük bir istek duymuştur. İkinci bölümümüzün konusu olan yüksek katlı binaların tarihi kronolojisine yakından bakıldığında yüksek bir yapı inşa etmenin her zaman heyecan verici bir olgu olduğu görülür. Modern yaşamın en belirgin özelliği tüm alanlarda zirveye ulaşma çabasıdır: Dünyanın en yüksek binasını tasarlamak, Everest'e tırmanmak, en uzun demiryolunu yapmak, devasa elektrik barajları yapmak veya iki metropolü birbirine bağlayan köprüler inşa etmek gibi örnekler sıralanabilir. Bu açıdan bakıldığında, teknolojik ve endüstriyel gelişmenin yardımıyla, karmaşık mimari projeler yürütmek ve tasavvur edilemez yüksekliklere ulaşabilen rijit, otonom binaların tasarlanması artık günümüzde insanları şaşırtan bir olgu değildir.

Bu çalışmada, yüksek katlı binaların modern ve çağdaş tarihi kronolojisi, yüksek bina kavramı, taşıyıcı sistemin temel ilkeleri, çok katlı bina planlaması için en önemli etkenler, yüksek yapıları etkileyen yükler ve bunlara bağlı etkiler, örneğin kayma gecikmesi etkisi, farklı taşıyıcı sistemler, bu sistemlerin davranışları ve özellikleri, taşıyıcı sistemlerin ekonomik ve rijitlik açısından karşılaştırılması gibi konular incelenmiştir.

Bu çalışmada, sistemlerin tasarımının temel probleminin, yanal yüklerden kaynaklanan yer değiştirme olduğu bulgusuna ulaşıldı. Yanal yer değiştirmeler, binanın yüksekliği ile orantılı olarak artar. Bu nedenle, yükseklik arttıkça sistemler arasında seçim yapma imkânı azalır.

Yanal yüklere maruz kalan her taşıyıcı sistemin özelliklerini ve davranışlarını analiz etmek ve anlamak, araştırmacıyı veya tasarımcıyı aşağıdaki soruyu cevaplamaya yönlendirir: Yüksek katlı bir bina projesi için en uygun sistem hangisidir? Khan, Schueller, Smith ve Coul, Taranath, Ali ve Moon ve daha birçokları tarafından yapılan taşıyıcı sistem sınıflandırma çalışmaları, tüm sistemlerin her birinin kendilerine özgü

yükseklik sınırı olduğunu ortaya koymuştur. Yukarıdaki isimlerin yaptığı sınıflandırmalar bağlamında yüksek katlı bina inşa etmek söz konusu olduğunda projenin kat sayısına göre hangi sistem rijitlik, maliyet etkinliği ve yanal yüklere karşı dayanıklılık vb açılardan daha uygun ve verimli ise o sistem tercih edilir. Yeni taşıyıcı sistem iki veya daha fazla sistemin bir kombinasyonu olabilir. Bu kombinasyon sistemi, kullanılan sistemler arasında karşılıklı yardımlaşma özelliğine sahiptir. Buda, yeni taşıyıcı sistemin rijitliğini artırırken hasara neden olabilecek yanal yer değiştirmelere bağlı deformasyonlar gibi anomalileri, muhtemelen yapısal hataları ve aynı zamanda bina sakinlerinin rahatsız koşullarını azaltır.

Yukarıda anlatılanlardan, "yüksek katlı bir bina projesine yönelik bir taşıyıcı sistem seçimi söz konusu olduğunda, bu, dış yükler karşısında her bir sistemin özelliklerinin ve davranışlarının bilinmesine göre yapılır" çıkarımı yapılmıştır. Bunların yanı sıra zemin koşulları, mimari ve işlevsel şartlar gibi diğer parametreler de aranmaktadır.

Yüksek binaların taşıyıcı sistemlerinin tasarımını genel olarak veya derinlemesine inceleyen konular, genelde inşaat mühendisliğinde, özelde ise yapı bilim dalında çok büyük öneme sahip konulardır ama aynı zamanda geniş ve karmaşıktırlar. Bu alanın bilimsel çalışmalar için verimli olduğu söylenebilir.

Kayma gecikmesi etkisi karşısındaki tüplü taşıyıcı sistemler arasında yapılacak karşılaştırmalı bir inceleme gelecekteki bir doktora çalışmasının konusu olabilir. Bu konu ilk etapta, farklı tüp sistemlerini ve özellikleri üzerine olabilir. Bunun akabinde kayma gecikmesi etkisini ve bunun tüp sistemleri üzerindeki olumsuz yönlerini tanımlayabilir. İkinci etapta ise kullanılacak materyal ve yöntem tartışılabilir. Sonlu elemanlar yöntemini kapsayan bir bilgisayar programı materyal olarak kullanılabilir. Yöntemler, bu yapıların tasarlanmasını ve hesaplanmasını olanaklı kılan standartlara göre belirlenirler. Çerçeve tüp sistemi, tüp içinde tüp sistemi, çaprazlı tüp sistemi ve modüler sistemden oluşan tübüler sistemler 60, 90, 100 ve 120 gibi kat yüksekliklerine göre tasarlanabilirler. Son

aşamada, bu dört taşıyıcı sistemin kayma gecikmesi oranlarına dayalı bir analiz ve karşılaştırmalı bir çalışma ortaya konulabilir

Khan, Schueller, Smith ve Coul, Ali ve Moon ve Taranath gibi araştırmacılar çalışmalarını analiz ederken sınıflandırmanın amacının her bir sistemin ulaşabileceği ideal yüksekliği belirlemek olduğu verisini elde edilmiştir ve tespit edilen yükseklik seviyesinin özellikle rüzgâr ve deprem kaynaklı yanal yer değiştirme karşısında sistemin rijitliğine bağlı olduğunu saptamaktadır. Yüksek bir binanın taşıyıcı yapısının tasarımında yalnızca rijitlik ve dayanıklılık değil, aynı zamanda ekonomik faktör de temel faktörler arasında yer almaktadır. Buradan hareketle, taşıyıcı sistemler arasındaki maliyetlerin karşılaştırmalı bir incelemesinin gerekli olduğu söylenebilir. Örnek olarak, 30 katlı bir bina için çerçeve tüp sistemi ile rijit çerçeve sistemi arasındaki maliyet değeri açısından karşılaştırma çalışmasını verilebilir. Bu tür bir konu yeni kapıları açmamıza, tüp sistemler gibi yüksek binaların taşıyıcı sistemlerinin, rijit çerçeve sistemleri gibi temel yüksekliklerde kullanılan taşıyıcı sistemlerle karşılaştırması yapılarak küçük yükseklikler söz konusu olduğunda ekonomik açıdan uyarlanabilir.

"Yüksek katlı binaların taşıyıcı sistemleri" bölümünde işaret ettiğimiz gibi, tüp sistemleri arasında çaprazlı tüp sistemi de yer alır. Çaprazlı tüp sistem, çerçeve tüp sisteminde bulunan başlıca iki büyük problemi çözmek amacıyla tasarlanmıştır. Birincisi, daha büyük bir yüksekliğe ulaşmak ve ikincisi, çerçeve tüp sisteminin ana dezavantajı olan kayma gecikmesi etkisini azaltmaktır. Bununla birlikte, çaprazlı tüp sistemi çelik veya betonarme olarak tasarlanabilir. Sonuç olarak, betonarme çaprazlı tüp sistemi ile çelik çaprazlı tüp sistemi arasında kayma gecikmesi etkisinin kontrolü hakkında karşılaştırmalı bir çalışma yapılması gerekebilir.

KAYNAKLAR

- Ahrens, M., 2016. High-rise building fires. National Fire Protection Association, 1-5.
- Al-Kodmany, K., 2017. Understanding Tall Buildings: A Theory of Placemaking. Routledge, 270 p, London.
- Alaghmandan, M. Bahrami P. and Elnimeiri M., 2014. The future trend of architectural form and structural system in high-rise buildings. Architecture Research, 4(3), 55-62.
- Ali, M., 2005. The skyscraper: epitome of human aspirations. Paper presented at the Proceedings of the 7th World Congress of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Renewing the Urban Landscape, 1-12.
- Ali, M. and Moon K., 2018. Advances in Structural Systems for Tall Buildings: Emerging Developments for Contemporary Urban Giants. Yale University, 104 p, USA.
- Ali, M. and Moon K., 2007. Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects. Architectural Science Review, 50(3), 205-223.
- Aluthwala, A. Wickramaratne D. Wijeratne R. and Jayasinghe, M., 2007. Fire safety in high rise buildings. The Institution of Engineers in Sri Lanka, 1-5.
- Aminmansour, A. and Moon K., 2010. Integrated design and construction of tall buildings. Journal of Architectural Engineering, 16(2), 47-53.
- Ammerman, K., 2013. Major snow load safety factors to address before the flakes fall. American Society of Civil Engineers Press, 1(1), 1-6.
- Anonim., 1984. Fire and Building: A Guide for the Design Team. Granada Publishing. 140 p, London.
- Anonim., 1997a. Yapıların Projelendirilme Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar Depolanmış Malzemeler-Yoğunluk. Türkiye Standart, 17 p, Türkiye.
- Anonim., 1997b. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS 498). Türkiye Standart, 24 p, Türkiye.
- Anonim., 2005. Eurocode 1: Actions On Structures. AFNOR, 124 p, France.
- Anonim., 2006. Minimum Design Loads for Buildings and Others Structures. American Society of Civil Engineers, 384 p, Virginia.
- Babrauskas, V. and Williamson R., 1978. The historical basis of fire resistance testing. Fire Technology, 14(3), 184-194.
- Balcı, S.B., 2013. Yüksek Yapıların Taşıyıcı Sistemleri ve Mimari Tasarımla Olan Etkileşimi. Y.Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bellido, C. Quiroz A. Panizo A. and Torero J., 2009. Performance assessment of pressurized stairs in high rise buildings. Fire Technology, 45(2), 189-200.
- Buchanan, A.H. and Abu A.K., 2017. Structural Design For Fire Safety. John Wiley and Sons, 376 p, USA.
- Canbay, S.Ç. Gökçen A.G. and Hepbaslı A., 2003. Bina yönetim sistemleri ve HVAC sistemlerinde enerji tasarrufuna yönelik kontrol ilkeleri. VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 653-671.

- Cherednichenko, N. and Oleinik P., 2018. *Methods of Erection of High-Rise Buildings*. Moscow State University, 340 p, Moscow.
- Cho, H.W. Roh S.G. Byun Y.M. and Yom, K.S., 2004. Structural quantity analysis of tall buildings. Paper presented at the CTBUH Conference: Tall Buildings in Historical Cities—Culture and Technology For Sustainable Cities, 10-13.
- Cowlard, A. Bittern A. Abecassis-Empis C. and Torero J., 2013. Fire safety design for tall buildings. *The 9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology*, 62 (1), 169-181.
- Craighead, G., 2009. *High-Rise Security And Fire Life Safety*. Butterworth-Heinemann, 696 p, Los Angeles.
- Dat, B.T. Traykov A. and Traykova M., 2018. Shear-lag effect and its effect on the design of high-rise buildings. Paper presented at the E3S Web of Conferences, 33 (1), 1-13.
- DiSarno, L. and Elnashai A.S., 2002. Seismic retrofitting of steel and composite building structures. *Mid-America Earthquake Center*, 2 (1), 107-140.
- Ersoy, U., 2001. *Betonarme: Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap*. Evrim Yayınevi, 816 p, Türkiye.
- Evenson, G., 1988. Cutting your losses in a high-rise building fire. *Risk Management*, 35(7), 24-33.
- Gaur, H. and Goliya R., 2015. Mitigating shear lag in tall buildings. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 7(3), 269-279.
- Gunel, M.H. and Ilgin H.E., 2007. A proposal for the classification of structural systems of tall buildings. *Building Environment*, 42(7), 2667-2675.
- Günel, M.H. and Ilgin H.E. 2014. *Tall Buildings: Structural Systems and Aerodynamic Form*. Routledge, 214 p, New York.
- Hall, J., 2013. *High-Rise Building Fires*. National Fire Protection Association, 39 p, Quincy.
- Hassanain, M.A., 2009. On the challenges of evacuation and rescue operations in high-rise buildings. *Structural Survey*, 27(2), 109-118.
- Hoogendoorn, P.P., 2009. *Lateral Load Design of Tall Buildings: Evaluation and Comparison of Four Tall Buildings in Madrid*. MS Thesis, Delft University of Technology, Madrid, Spain.
- Irwin, P. Denoon R. and Scott D., 2013. *Wind Tunnel Testing of High-Rise Buildings*. Routledge, 46 p, London.
- Jayachandran, P., 2009. Design of tall buildings preliminary design and optimization. Paper presented at the National Workshop on High-rise and Tall buildings, 3-6.
- Kermin, C., (2006). *Lateral Systems For Tall Buildings*. PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.
- Khan, F.R., 1969. Recent structural systems in steel for high-rise buildings. Paper presented at the Proceedings of the British Constructional Steelwork Association Conference on Steel in Architecture, 67-78.
- Khan, F.R., 1972. Influence of design criteria on selection of structural systems for tall buildings. Paper presented at the Proceedings of the Canadian Structural Engineering Conference, 1-15.

- Khan, F.R., 1973. Evolution of structural systems for high rise buildings in steel and concrete. Paper presented at the Proceedings: Regional Conference on Tall Buildings, Bratislava-Czechoslovakia, 13-14.
- Khan, Y.S., 2004. Engineering Architecture: The Vision of Fazlur R. Khan. W.W. Norton and Company, 416 p, New York.
- Kheyroddin, A. and Beiraghi H., 2017. Wind-induced response of half-storey outrigger brace system in tall buildings. *Current Science*, 112(4), 855-861.
- Khoramabad, I., 2011. Simple analysis of tube frame system of tall building by using of deformation functions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(8), 1475-1482.
- Kim, S.B. Lee Y.H. and Scanlon A., 2008. Comparative study of structural material quantities of high-rise residential buildings. *Wiley Library*, 17(1), 217-229.
- Kırmızıtaş, M., 2008. Çok Katlı Yüksek Yapılarda Betonarme Çelik ve Kompozit Taşıyıcı Sistemli Yapıların Ekonomik Yönden Karşılaştırılması. Y.Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Beşiktaş, İstanbul.
- Kovačević, I., 2018. Modern structural concepts for high-rise buildings. *Ctuh Research Paper*, 13(1), 549-561.
- Kovačević, I. and Džidić S., 2018. High-strength concrete material for high-rise buildings. 12th Scientific/Research Symposium with International Participation, 1-10.
- Lago, A. Faridani H.M. and Trabucco D., 2018. Damping technologies for tall buildings. *Ctuh Journal*, No: 3, 42-47.
- Leonard, J., 2007. Investigation of Shear Lag Effect in High-Rise Buildings With Diagrid System. PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.
- Moon, K., 2008a. Material-saving design strategies for tall building structures. Paper presented at the Proceedings of the CTBUH 8th World Congress, Dubai, United Arab Emirates, No: 34, 2-11.
- Moon, K., 2008b. Sustainable structural engineering strategies for tall buildings. *Wiley Library*, 17(5), 895-914.
- Moon, K., 2013a. Optimal structural configurations for tall buildings. Paper presented at the Proceedings of the Thirteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13), 1-8.
- Moon, K., 2013b. Sustainable structural engineering for complex-shaped tall buildings. Paper presented at the Proceedings of the Thirteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13), 4-5.
- Moon, K., 2009. Design and construction of steel diagrid structures. *Yale University School of Architecture*, 398-405.
- Moon, K., 2010. Sustainable selection of structural systems for tall buildings. Paper presented at the 5th Civil Engineering Conference in the Asian Region and Australasian Structural Engineering Conference 2010, 300-304.
- Moon, K., 2011. Structural engineering for complex-shaped tall buildings. Paper presented at the Reston, VA: ASCE Proceedings of the 2011 Architectural Engineering National Conference, 204-210.

- Moon, K., 2012. Sustainable structural engineering for tall buildings. Paper presented at the Australasian Structural Engineering Conference 2012: The past, present and future of Structural Engineering, 723-724.
- Muckett, M. and Furness A., 2007. *Introduction To Fire Safety Management*. Routledge, 440 p, London.
- Mutashar, B. and Chandra Mouli D., 2016. A study on optimisation of lateral load resisting systems. *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, 5 (10), 2019-2026.
- Neviaser, J.L. and Gann R.G., 2004. Evaluation of toxic potency values for smoke from products and materials. *Fire Technology*, 40 (2), 177-199.
- Ni, X. and Cao S., 2018. Shear lag analysis of I-shaped structural members. *Wiley Library*, 27 (10), 1470-1471.
- Nimlyat, P.S. Audu A.U. Ola-Adisa E.O. and Gwatau D., 2017. An evaluation of fire safety measures in high-rise buildings in Nigeria. *Sustainable Cities and Society*, No: 35, 774-785.
- Poulos, H.G., 2016. Tall building foundations: design methods and applications. *Innovative Infrastructure Solutions*, 1(1), 9-10.
- Purkiss, J.A. and Li L.Y., 2013. *Fire safety engineering design of structures*. CRC Press, No: 3, 42-79.
- Quiter, J., 2012. Guidelines for designing fire safety in very tall buildings. *Society of Fire Protection Engineers*, 35-120.
- Rajmani, A. and Guha P., 2015. Analysis of wind and earthquake load for different shapes of high rise building. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 6(2), 38-45.
- Salvadori, M. Heller R. and Karataş H., 1980. *Mimarlıkta Taşıyıcı Sistem*. İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, 224 p, İstanbul, Türkiye.
- Sandelin, C. and Budajev E., 2013. *The Stabilization of High-Rise Buildings: An Evaluation of The Tubed Mega Frame Concept*. MS Thesis, Uppsala University Department of Engineering Sciences, Uppsala, Suède.
- Schueller, W. (1977). *High-Rise Building Structures*. John Wiley and Sons, 274 p, USA.
- Stafford Smith, B. and Coull A., 1991. *Tall Building Structures: Analysis and Design*. Wiley-Interscience, 552 p, USA.
- Taranath, B.S., 1998. *Steel, Concrete, And Composite Design Of Tall Buildings*. McGraw-Hill No: 2, 1024p, New York.
- Taranath, B.S., 2009. *Reinforced Concrete Design Of Tall Buildings*. CRC press, 989 p, Floride, USA.
- Tubbs, J. and Meacham B., 2007. *Egress Design Solutions: A Guide To Evacuation and Crowd Management Planning*. John Wiley and Sons, 544 p, USA.
- Usmani, A. Chung Y. and Torero J.L., 2003. How did the WTC towers collapse: a new theory. *Fire Safety Journal*, 38(6), 501-533.
- Valente, J., 2012. *Tall Buildings and Elevators: Historical Evolution of Vertical Communication System*. MS Thesis, Universidade Tecnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

- Varghese, G. and Vikram J., 2015. Concept of tubular design in high rise structures. Third International Conference on Advances in Civil, Structural and Mechanical Engineering, 10-15.
- Watson, D., 2000. Time-Saver Standards For Building Materials and Systems: Design Criteria and Selection Data. McGraw-Hill, 784 p, New York.
- Wood, A., 2015. 100 of the World's Tallest Buildings. CTBUH Journal, 296 p, Chicago, USA.
- Young, S.C. Cheol J.S. and Eun S.K., 2004. A study of flat plate slab-column connections with shear plate in tall concrete building using experimental and numerical analysis. Ctuh Research Paper, 2-9.



ÖZGEÇMİŞ

Icham ABAKAR ADAM, 1990 yılında N'Djamena'da doğdu. İlk öğrenimini "Etoiles D'Afrique" İlkokulunda tamamladı. Orta öğrenimini 2008 yılında "Lycée de la Fidélité" okulu'nda tamamladıktan sonra lise öğrenimini 2011 yılında aynı okulda bitirdi. 2012 yılında Tunus'ta "Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul" İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. Bu fakülteden 2015 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

