



**YÜKSEK YAPILAR VE PERFORMATİF MİMARLIK: BURJ KHALIFA
VE SHANGHAI KULESİ ÖRNEKLERİNİN AERODİNAMİK TASARIMI
ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME**

Tamraz KAZIMOV

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2018

Tamraz KAZIMOV tarafından hazırlanan “YÜKSEK YAPILAR VE PERFORMATİF MİMARLIK: BURJ KHALIFA VE SHANGHAI KULESİ ÖRNEKLERİNİN AERODİNAMİK TASARIMI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Figen BEYHAN

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 11/01/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Tamraz KAZIMOV

11/01/2018

YÜKSEK YAPILAR VE PERFORMATİF MİMARLIK: BURJ KHALIFA VE
SHANGHAI KULESİ ÖRNEKLERİNİN AERODİNAMİK TASARIMI ÜZERİNE BİR
DEĞERLENDİRME
(Yüksek Lisans Tezi)

Tamraz KAZIMOV

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2018

ÖZET

21.yüzyıl mimarlığının dilini biçimlendiren iki temel kavramın öne çıktığını söylemek mümkündür. Bunlardan ilki, ekosistemde daha az çevresel ayak izi hedeflemiş olan "sürdürülebilir mimarlık" arayışları, diğeri ise tüm tasarım disiplinlerinde olduğu gibi mimarlık alanında da sağladığı yenilikçi yaklaşımlarla son ürünü olduğu kadar tasarım süreçlerini etkileyen "sayısal tasarım ve üretim" teknolojileridir. Bu iki yaklaşımın kesişim kümesi olarak adlandırılabilir "performatif mimarlık" ise daha sürdürülebilir bir çevre için daha iyi, daha hafif, daha etkin, daha ekonomik gibi "daha"ların tümünün eniyilenebilmesi adına bütüncül bir tasarlama ve yapma biçimi olarak literatürdeki yerini almaya başlamıştır. Tüm yapıları çevreler ve özellikle "yüksek binalar", çevreyi önemli ölçüde etkilemekte ve değiştirmektedir. Yüksek binalar sadece karmaşık sistemler ya da estetik objeler olmayıp etkileri, etkileşimleri dönüştürücü güçleri ile birlikte kentin ve kentlinin yaşamında önemli bir yere sahiptir. Dolayısıyla, sürdürülebilirlik, çevre dostu olma, etkin strüktür, etkin-cephe, etkin tasarım ve aerodinamik tasarım gibi konu başlıkları daha da önem kazanmaktadır. Bu bağlamda yüksek binaların kısa bir tarihçesi ve yüksek binaların performansını etkileyen tasarım kriterlerinin belirlenmesi ile başlayan araştırma, performansın en önemli unsurlarından biri olan "taşıyıcı sistem tasarımı ve aerodinamik kararlar" konusuna odaklanmıştır. Örneklem olarak seçilen ve zamanlarının en yüksek yapıları olarak literatüre giren Burj Khalifa ve Shanghai Kulesi'ne ait taşıyıcı sistem ve aerodinamik tasarım kararlarının karşılaştırması sonucunda, sayısal teknolojilerin kullanımıyla erken tasarım evrelerinde hedeflenen bütüncül yaklaşımların önemi anlaşılmıştır. Karmaşık ve meydan okuyucu bu yapıların tüm paydaşlarla yüksek düzeyde işbirliği içinde tasarlandığı ve bu koordinasyonun özellikle BIM (Bina Bilgi Modellemesi) sayesinde gerçekleşebildiğinin vurgusu yapılmıştır.

Bilim Kodu : 80111

Anahtar Kelimeler : Performatif mimarlık, Yüksek yapılar, Aerodinamik tasarım, Taşıyıcı sistem, Rüzgâr etkisi

Sayfa Adedi : 131

Danışman : Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

HIGH-RISE BUILDINGS AND PERFORMATIVE ARCHITECTURE: AN
ASSESSMENT OF BURJ KHALIFA AND SHANGHAI TOWER EXAMPLES IN
TERMS OF AERODYNAMIC DESIGN

(M. Sc. Thesis)

Tamraz KAZIMOV

GAZI UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2018

ABSTRACT

It is possible to claim that two basic concepts stand out shaping the language of the architecture of the 21st century. The first one can be considered as the search for "sustainable architecture" which aimed less environmental footprint in the ecosystem and second one is "digital design and fabrication" technologies affecting the design process as much as the final product with innovative approaches that are provided in the field of architecture as in all design disciplines. "Performative architecture", which can be called as the intersection of these two approaches, has begun to take its place in the literature as a form of holistic design and optimization in the name of optimizing all of these "better"s like lighter, more efficient, and more economical for a more sustainable environment. All built environments, especially high-rise buildings, affect and change the environment considerably. High-rise buildings are not only complex systems or aesthetic objects, but they also have an important place in the life of the city with their influences and their transformative powers. Therefore, topics such as sustainability, environment friendliness, efficient structure, efficient facade, performative design and aerodynamic design become more important. In this context, this research started with a short history of high-rise buildings and design criteria affecting the performance of high-rise buildings, then, focused on structural system design and aerodynamic decisions which are one of the most important elements of performance. As a result of comparison of the structural system and aerodynamic design, decisions of Burj Khalifa and Shanghai Tower, which were selected as the sample and entered into the literature as the highest structures of their time, it is concluded that the use of digital technologies has helped to understand the holistic approach aimed at early design stages. It is also highlighted that these complex and challenging structures should be designed in high level cooperation with all stakeholders and that this coordination can be done in particular through BIM (Building Information Modeling).

Science Code : 80111

Key Words : Performative architecture, High-rise buildings, Aerodynamic design, Structural system, Wind excitation

Page Number : 131

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın gerçekleşmesinde değerli bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden geleni eden, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim ve her zaman samimiyet ve ilgisini gördüğüm kıymetli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a tüm katkılarından dolayı teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

Yine bu çalışmamda konu, kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren, her zaman kendisine danışmaktan çekinmediğim ve değerli zamanını ayırarak bana yardımcı olmak için elinden geleni eden çok kıymetli Sn. Y.Mimar H.Emre ILGIN'a tüm katkılarından dolayı içten teşekkür ve şükranlarımı sunmayı kendime bir borç bilirim.

Beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, desteklerini maddi ve manevi olarak her zaman yanımda hissettiğim sevgili babama, anneme ve kardeşlerime, araştırma süreci boyunca fikir, yardım ve her türlü desteğini hayatımın her anında hissettiğim değerli Sayyar KAZIMOV'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. YÜKSEK YAPI KAVRAMI.....	5
2.1. Yüksek Yapı Tanımı	5
2.2. Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi.....	7
2.2.1. Erken dönem örnekleri.....	10
2.2.2. Modern yüksek yapıların tarihçesi ve Avrupa - Amerika'da gelişimi.....	13
2.2.3. Yüksek yapıların Uzak Doğu, Orta Doğu ve Asya'daki gelişimi.....	18
2.2.4. Yüksek yapıların Türkiye'deki gelişimi	20
3. YÜKSEK YAPILARIN PERFORMANS KRİTERLERİ	27
3.1. Performatif Mimarlık	27
3.2. Performansa Dayalı Yüksek Yapı Tasarım Kriterleri.....	29
3.2.1. Yüksek yapılarda yer seçimi	30
3.2.2. Yüksek yapılarda plan, form ve fonksiyon	30
3.2.3. Yüksek yapılarda çekirdek tasarımı ve düşey sirkülasyon	32
3.2.4. Yüksek yapılarda yangın güvenliği.....	33

	Sayfa
3.2.5. Yüksek yapılarda cephe seçimi	34
3.2.6. Yüksek yapılarda güneş kontrolü	37
3.3. Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistem	39
3.3.1. Taşıyıcı sistem malzeme seçimi	40
3.3.2. Rijit çerçeve sistemler	44
3.3.3. Kirişsiz döşemeli sistemler	45
3.3.4. Çekirdek sistemler	46
3.3.5. Perde duvar sistemler	47
3.3.6. Perdeli çerçeve sistemler (Kafes perdeli çerçeve ve perde duvarlı çerçeve sistemler)	49
3.3.7. Mega kolon (Mega çerçeve, Uzay kafes) ve Mega çekirdek sistemler.....	51
3.3.8. Yatay perdeli çerçeve sistemler (Dirsek perdeli çerçeve sistemler)	54
3.3.9. Tüp/Tübüler sistemler	56
3.4. Yüksek Yapılarda Rüzgâr ve Deprem (Yatay) Yükleri	63
4. YÜKSEK BİNALARIN RÜZGÂR ETKİSİNE KARŞI GÖSTERMESİ GEREKEN PERFORMANS VE AERODİNAMİK TASARIM	67
4.1. Rüzgâr Oluşumu ve Temel Özellikleri	67
4.2. Yüksek Binalarda Rüzgâr Etkisi	68
4.3. Rüzgâr Kaynaklı Bina Hareketleri	70
4.4. Rüzgâr Tüneli Testleri ve Özellikleri	71
4.5. Yüksek Yapılarda Rüzgâr Yükünü Kontrol Etme Yöntemleri	74
4.5.1. Strüktürel yöntemler	75
4.5.2. Mekanik yöntemler	75
4.5.3. Mimari (aerodinamik-etkin ve strüktür etkin) yöntemler	76

5. RÜZGÂR ETKİSİNE KARŞI YAPILAN AERODİNAMİK DÜZENLEMELER: BURJ KHALIFA VE SHANGHAI KULESİ ÖRNEKLERİ	77
5.1. Bina Formunda Aerodinamik İyileştirmeler	77
5.2. Aerodinamik-Etkin Tasarım.....	78
5.2.1. Aerodinamik mimari tasarım	78
5.2.2. Aerodinamik mimari iyileştirmeler (köşe geometrisinde iyileştirmeler)..	82
5.3. Burj Khalifa Örneği.....	84
5.3.1. Dubai	84
5.3.1. Burj Khalifa tasarımı ve performans arayışları	85
5.4. Shanghai Kulesi Örneği	96
5.4.1. Shanghai	96
5.4.2. Shanghai Kulesi tasarımı ve performans arayışları.....	98
6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	111
KAYNAKLAR	119
ÖZGEÇMİŞ.....	131

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Plan oluşturma aşamaları.....	31
Çizelge 3.2. Tübüler sistem çeşitleri	57
Çizelge 6.1. Burj Khalifa ve Shanghai Kulesi değerlendirmesi.....	113



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yükseklik arttıkça binalara verilen sıfatlar	6
Şekil 3.1. Çekirdeğin kat planındaki yeri.....	32
Şekil 3.2. Yüksek yapılarda kullanılan malzeme oranları	42
Şekil 3.3. Çerçeve sistem şemaları	44
Şekil 3.4. Düz plak döşeme ve mantar döşeme	45
Şekil 3.5. Çekirdek sistem	47
Şekil 3.6. Perde sistem şemaları	48
Şekil 3.7. Rijit çerçeve, kafes perde ve perde duvar	49
Şekil 3.8. Kafes perdeli çerçeve sistem	50
Şekil 3.9. Mimari olarak kafes perdeler	50
Şekil 3.10. Strüktürel olarak kafes perdeler	51
Şekil 3.11. Perde duvarlı çerçeve sistem	51
Şekil 3.12. Mega çerçevesel sistem.....	52
Şekil 3.13. Yatay perdeli çerçeve sistem: (a) plan, (b) kesit, (c) aksonometrik	54
Şekil 3.14. Yatay perdeli çerçeve sistemlerin yatay yükler altında davranış (solda), yatay yük dağılımını gösteren kesit (sağda).....	55
Şekil 3.15. Çerçeve tüp davranışı	58
Şekil 3.16. Çerçeve tüp sisteme mega çaprazların eklenmesiyle yanal yerdeğiştirmelerdeki azalma	59
Şekil 3.17. a) çelik çapraz tüp sistem, b) betonarme çapraz tüp sistem.....	60
Şekil 3.18. Tüp modülleri	61
Şekil 3.19. Willis Tower Binası.....	62
Şekil 3.20. One Magnificent Mile Binası	63
Şekil 3.21. Depremde bina davranışları	66

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Hava akımı çeşitleri	68
Şekil 4.2. Binalar etrafındaki basınç alanları	69
Şekil 4.3. Binalar etrafındaki akım alanları	70
Şekil 4.4. Yüksek binaların rüzgâr etkisi altındaki hareketleri.....	70
Şekil 4.5. Rüzgâr tüneli ana bölümleri.....	73
Şekil 4.6. Yüksek yapılara gelen rüzgâr yükleri için rüzgâr tüneli örnekleri	74
Şekil 5.1. The Millennium Tower binası	80
Şekil 5.2. Bina köşe geometrisinde iyileştirmeler	83
Şekil 5.3. Testere dişli ve pahlı köşeli bina örnekleri.....	83
Şekil 5.4. Bina formu konsepti	86
Şekil 5.5. Tipik kule katı şeması.....	86
Şekil 5.6. Geri çekilmelerle oluşturulan bina formu.....	87
Şekil 5.7. Vorteks dağılım davranışı.....	90
Şekil 5.8. Binanın plan şeması.....	90
Şekil 5.9. Binanın rüzgâra karşı davranışı	91
Şekil 5.10. Rüzgâr yükü diyagramları	93
Şekil 5.11. Bölücü ekran tasarımı ve teras planı.....	95
Şekil 5.12. Dünyadaki en yüksek binalar sıralaması	99
Şekil 5.13. Yatay profil geometrisi	101
Şekil 5.14. Dikey profil geometrisi.....	101
Şekil 5.15. Shanghai Kulesinin strüktürel katmanları	103
Şekil 5.16. Shanghai Kulesi 16-28. katlar arası planı ve şematik zon kesitleri.....	103
Şekil 5.17. Shanghai Kulesi mekanik kat strüktürel modellemesi.....	104
Şekil 5.18. Rüzgâr yüklerine karşı en iyi form arayışı	106

Şekil**Sayfa**

Şekil 5.19. Çift kabuk cam cephe kesit perspektifi ve gökyüzü lobilerinden iç mekân görüntüsü..... 107



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. San Gimignano ve Bologna kentlerinden görünüm.....	8
Resim 2.2. Oriel Chambers Binası.....	11
Resim 2.3. Rotterdam Het Witte Huis Binası	11
Resim 2.4. American Surety Binası	13
Resim 2.5. Willis Tower Binası	13
Resim 2.6. World Trade Center Binası.....	14
Resim 2.7. Chicago Loop Görünüm	14
Resim 2.8. Deutsche Bank.....	15
Resim 2.9. Messeturm Frankfurt	15
Resim 2.10. Plan Voison, Le Corbusier.....	16
Resim 2.11. Montparnesse Kulesi, Paris	16
Resim 2.12. Natwest Bank, Londra	17
Resim 2.13. Hong Kong Kent Silüeti	19
Resim 2.14. Tokyo Toshiba Binası.....	19
Resim 2.15. İstanbul Harbiye Orduevi	22
Resim 2.16. Hacı Ömer Sabancı Kız Öğrenci Yurdu- Ankara.....	23
Resim 2.17. Mersin Ticaret ve İş Merkezi (Mertim).....	24
Resim 2.18. İş Bankası Kuleleri, İstanbul.....	24
Resim 2.19. Selçuklu Kulesi – Konya	24
Resim 2.20. İzmir Hilton Otel	25
Resim 2.21. Portakal Çiçeği Kulesi-Ankara.....	25
Resim 2.22. Sapphire Kulesi-İstanbul	26
Resim 3.1. Burj Khalifa Binası	40

Resim	Sayfa
Resim 3.2. Willis Tower Binası	41
Resim 3.3. Shanghai Tower Binası	42
Resim 3.4. Lever House Binası.....	44
Resim 3.5. Yapım aşamasında olan kirişsiz döşeme sistemli bina	46
Resim 3.6. Betonarme çekirdekli yapı.....	47
Resim 3.7. Betonarme perde duvarlı yapı.....	48
Resim 3.8. The Center Binası (Mega Kolon)	53
Resim 3.9. Aspire Tower Binası (mega çekirdekli yüksek yapı örneği)	53
Resim 3.10. Burj Khalifa Binası	55
Resim 3.11. The Plaza on Dewitt binası	56
Resim 3.12. Torre Agbar Binası (çerçeve-tüp sistem bina örneği).....	58
Resim 3.13. 30 St. Mary Axe Binası	60
Resim 3.14. Onterie Center Binası	60
Resim 3.15. Bank of China Tower Binası	61
Resim 3.16. Willis Tower Binası.....	62
Resim 3.17. One Magnificent Mile Binası	63
Resim 5.1. Chicago Spire Binası	80
Resim 5.2. The Transamerica Pyramid, San Francisco	81
Resim 5.3. The Petronas Twin Towers, Kuala Lumpur	81
Resim 5.4. The Shanghai World Financial Center Binası, Shanghai	82
Resim 5.5. Taipei 101 Binası, Taipei.....	82
Resim 5.6. Dubai yüksek yapıları görünümü.....	85
Resim 5.7. Binanın yapım aşamasından görünüm.....	88
Resim 5.8. Burj Khalifa rüzgâr tüneli test modeli (1/500 ölçekli).....	89

Resim	Sayfa
Resim 5.9. Bina kütlesi	91
Resim 5.10. (a) Kule test modeli. (b) Dinamik su sızdırmazlık testi için kule test modeli.....	93
Resim 5.11. (a) Teras testi: parapet ön tasarımı. (b) 87. kat terasta rüzgâr akışını gösterir duman testi	95
Resim 5.12. Park Hotel Shanghai Binası	97
Resim 5.13. Jin Mao Kulesi	97
Resim 5.14. Shanghai World Financial Center Binası	98
Resim 5.15. Shanghai Kulesi	98
Resim 5.16. Shanghai Kulesi, Jin Mao ve World Financial Center Binaları	99
Resim 5.17. Rüzgâr tünel model çalışması 1:500 ölçek	105
Resim 5.18. Reynolds sayı çalışma modeli, 1:85 ölçek (RWDI)	105
Resim 5.19. Kulenin bitiş parapetine yerleştirilen rüzgâr türbinleri.....	108

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

m	metre
m²	metre kare
cm	santimetre
km	kilometre
km²	kilometre kare
°C	derece Celsius
F	kuvvet
m	kütle
a	ivme
kPa	kiloPascal
kph	kilometre/saat
mph	mil/saat
kWh	kiloWatt saat

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AIA	Uluslararası Mimarlar Birliği
ANSI	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
ASCE	Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği
CTBUH	Yüksek Binalar ve Kentsel Yaşam Alanı Konseyi
EN	Avrupa Standartları
HVAC	Isıtma, Soğutma, Havalandırma ve İklimlendirme
IBC	Uluslararası Bina Kodu
LEED	Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik
MEP	Mekanik Elektrik ve Tesisat Mühendisliği

Kısaltmalar**Açıklamalar****NIST**

Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü

P.R.C.

Çin Halk Cumhuriyeti

PVB

Polivinil Bütral

RWDI

Rowan Williams Davies & Irwin Inc.

SOM

Skidmore, Owings & Merrill LLP

TOBB

Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği

WTC

Dünya Ticaret Merkezi



1. GİRİŞ

Problem durumu/ Konunun tanımı

Geç 19. yüzyılın yapısı olarak literatüre giren yüksek binalar, yapı ve malzeme teknolojilerindeki ilerlemelerle eş zamanlı olarak gelişim göstermekte ve sayıca hızla artarak 21. yüzyıl metropollerinin silüetini oluşturmaktadır. Gökdelen (*skyscraper*) olarak da adlandırılan çok yüksek binalar ise ihtiyaç ve/veya talep sebebiyle olduğu kadar ülkeler, şehirler ve büyük holdingler arası bir rekabet, güç ve prestij göstergesi olarak da inşaa edilmektedir. Gökdelenler, önceleri sadece Kuzey Amerika'nın kentsel olgusu olarak düşünülürken günümüzde başta Uzak Doğu ve Arap Yarımadası olmak üzere hemen hemen her büyük kentin silüetine girmiştir. Bu yapıların doğaları gereği bir "yükseklik yarışı" içinde oldukları söylenebilir. Büyük kentlerdeki nüfus, iş ve ticaret yoğunluğunun yanı sıra, inşaat yapılabilir alanların da kısıtlı hale gelmesi ile yüksek bina talebinin artarak devam edeceği kaçınılmaz bir gerçektir.

Yüksek binalar sadece karmaşık sistemler ya da estetik objeler olmayıp etkileri, etkileşimleri dönüştürücü güçleri ile birlikte kentin ve kentlinin yaşamında önemli bir yere sahiptir. Bu bağlamda sürdürülebilirlik, çevre dostu olma, enerji etkin-strüktür etkin-cehpe etkin tasarım ve aerodinamik tasarım gibi konu başlıkları daha da önem kazanmaktadır. Ayrıca bu yapıların erişebileceği yükseklik için form ve strüktürlerinin belirlenmesi ve binanın işlevini en iyi şekilde sürdürebilmesi oldukça fazla sayıda parametrenin eşzamanlı ele alınarak tasarlanması, optimizasyonun sağlanması ve en önemlisi de bu değerlendirmelerin doğru bir biçimde tasarıma geri beslemeli olarak aktarılmasının öneminin altı çizilmelidir.

Yüksek binalar için eniyilenmesi gereken kritik konuların başında kuşkusuz ki taşıyıcı sistemin, yanal yükler (rüzgâr ve deprem) karşısında göstereceği davranışa göre tasarlanması gelmektedir. Özellikle günümüzde etkisini her alanda göstermeye başlayan "sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinde" gelinen aşama ile her bir yüksek bina için ona özel strüktür ve aerodinamik form tasarlayabilmek mümkün olmaktadır. Çeşitli tasarım, benzeşim, analiz, üretim ve yapım ekiplerinin koordineli bir şekilde çalışmalarını gerektiren bu süreçte mimarın rolünü salt işlevsel gereksinimlerin karşılanması ve estetik

çözümlerin kurgulanmasına indirgemek ise günümüzün paradigmalarıyla örtüşmeyecektir. Bu çerçevede, “21. yüzyıl teknolojilerinin sağladığı olanaklarla sürdürülebilir yapı çevreleri hedeflemiş olan ‘performatif mimarlık’ arayışları yüksek binalar özelinde nasıl irdelenmelidir” sorusu ile başlatılan araştırma, kritik performans konularından biri olan “aerodinamik form arayışları” konusuna odaklanmıştır. Bu bağlamda yanal (rüzgâr ve deprem) yüklere karşı alınan önlemler ve rüzgâr etkisine karşı yapılan düzenlemeler incelenerek, aerodinamik tasarım kararları ve detayları, 2017 yılı itibarı ile dünyanın en yüksek 2 kulesi olan Burj Khalifa ve Shanghai Kulesi örnekleri üzerinden değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

Literatür araştırması

Araştırmalar sonucu yüksek yapılarla ilgili dünyada oldukça ciddi araştırma ve çalışmaların olduğu görülmektedir. Bu akademik araştırma ve çalışmalar incelendiğinde yüksek yapılarla ilgili her konunun farklı yönleriyle ele alındığına rastlanmaktadır.

Çalışmanın başlarında yapılan ön araştırmada, yüksek yapılarla ilgili yapılan araştırma ve çalışmaların (kitaplar, makaleler, sempozyum ve kongre bildirimleri, ders notları, yüksek lisans ve doktora tezleri) büyük çoğunluğunun, bugüne kadar bu konularla ilgili yapılan genel uygulamalar veya özelleşmiş konular üzerine (taşıyıcı sistem, düşey sirkülasyon sistemleri, cephe sistemleri, sürdürülebilirlik gibi) üzerine olduğu görülmüştür.

Tez konusu ile ilgili kaynak araştırmasında söz konusu alanda (yüksek yapılar, taşıyıcı sistem, rüzgâr etkisi, aerodinamik form gibi) yapılmış primer kaynaklar taranarak, tezin kuramsal çerçevesi oluşturulmuştur. Özellikle son yıllarda inşaa edilen yüksek yapılar araştırılarak güncel bilgilere yer vermeye çalışılmıştır. Faydalanılan kitap, tez, makale ve konuyla ilgili yapılmış diğer çalışmalar kaynaklar bölümünde belirtilmiştir. En yeni bilgi ve gelişmelerin araştırılması ve en yenilikçi örneklerin belirli kriterlere göre değerlendirilmesi adına tezin literatüre bir katkıda bulunması hedeflenmiştir.

Araştırmanın amacı

Bu tez çalışmasında, 21. yüzyılda özellikle aerodinamik tasarım yaklaşımları başta olmak üzere yüksek yapılar için performans kriterlerini, rüzgâr etkisini, güncel strüktür ve rüzgâr

etkisine karşı yapılan aerodinamik düzenlemeleri araştırarak yapılan en yeni uygulamaları ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu amaçla son 10 yıl içinde inşaa edilen ve dünyanın en yüksek iki binası olan Burj Khalifa ve Shanghai Kulesi örnekleri mimari, strüktürel, aerodinamik ve sürdürülebilir tasarım bağlamında irdelenmiş ve tartışılmıştır.

Araştırmanın önemi

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmelerin yüksek yapı tasarımı kavramına katkılar sağlaması ve yeni olanaklar sunması, bu alanda çalışan tasarımcılar için oldukça önem taşımaktadır. Yapıdan beklenen verimliliğin bu teknolojilerinin sağladığı olanaklarla önceden test edilebilmesi hem binanın dayanıklılık ve yapısal davranış performansına, hem de inşaat maliyetlerinde tasarruflara katkı sağlamaktadır. Tasarımı aşamasında, günümüz paradigmalarıyla artık kaçınılmaz bir hale gelen ve mimarın sorumluluklarını yeniden tariflememizi zorunlu kılan -sürdürülebilirlik yaklaşımları, binanın kullanıcı memnuniyeti ve konforu, binanın su kullanımı, yağmur suyu toplaması, enerji tasarrufu, rüzgâr ve güneşten korunum/kazanım gibi- “performans” konularının araştırılması ve yayınlanarak literatüre katkı sağlaması büyük önem taşımaktadır.

Varsayımlar ve sınırlılıklar

Bu araştırmada, yüksek yapıların performansı açısından yeniden ele alınması gereken tasarım kriterleri araştırılmış, belirlenen kriterlerden yükseklik, yapısal davranış ve sürdürülebilirlik açısından önem arzeden “strüktür tasarımı ve aerodinamik düzenlemeler” konusuna odaklanılmıştır. Çalışma bir yüksek binanın daha ekonomik, daha hafif, daha sağlam, daha sürdürülebilir, daha konforlu olmasında yapılan aerodinamik düzenlemelerin belirleyici olduğu varsayımı ile yürütülmüştür. Günümüzde yapıların ancak teknolojik imkanlar sayesinde daha yükseğe ulaşabildiği gerçeğiyle örneklem olarak dünyanın en yüksek iki binası ünvanını taşıyan Burj Khalifa ve Shanghai Kulesi binaları araştırılmış ve karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Materyal ve metod

Tez çalışması boyunca; konuya eleştirel bir bakış açısıyla yaklaşılmasını mümkün kılması, konunun anlaşılmasına yönelik bir yöntem olması ve veri toplama araçlarının çalışmaya esneklik kazandırması nedeniyle yöntem olarak nitel araştırma yöntemi benimsenmiştir.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde araştırma problemi tanımlanarak amaç, kapsam ve yöntem açıklanmıştır. İkinci bölümde yüksek yapı kavramı ile yüksek yapı tanımı ve yüksek yapıların ilk dönem örnekleri başta olmak üzere dünyada ve Türkiye'deki tarihsel gelişimine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmanın odak noktası olan performatif mimarlık kavramı ve bu kavram üzerinden yüksek yapılarda performansa dayalı tasarım kriterleri belirlenmiş, bu kriterlerden çalışmanın amacına yönelik olan taşıyıcı sistem ve yanal (rüzgâr ve deprem) yükler konusu ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde belirlenen kriterlerden rüzgâr etkisi ve bu rüzgâr etkisine karşı yüksek yapıların göstermesi gereken performans; rüzgâr oluşumunun temel özellikleri, rüzgâr ve yüksek yapı etkileşimi, rüzgâr kaynaklı bina hareketleri, rüzgâr tüneli testleri ve özellikleri, rüzgâr yükünü kontrol etme yöntemleri gibi bina ve rüzgâr arasındaki ilişki kapsamlı bir şekilde irdelenmiştir.

Beşinci bölümde ise, aerodinamik tasarımda rüzgâr etkisine karşı yapılan aerodinamik düzenlemeler olarak; bina formunda aerodinamik iyileştirmeler, aerodinamik etkin mimari tasarım (binanın rüzgâr yönüne göre konumlandırılması, aerodinamik form, bina plan-kesit alanının azalması, aerodinamik bina tepesi) ve köşe geometrisinde iyileştirmeler gibi yapılan uygulamalar irdelenmiştir. Aerodinamik form tasarımı kapsamında Burj Khalifa ve Shanghai Kulesi bina örnekleri araştırılmıştır. Değerlendirme ve sonuç bölümünde ise bu iki bina örneği genel, mimari ve strüktürel bilgiler, aerodinamik ve sürdürülebilir tasarım yönleriyle değerlendirilmiş, bu kriterlere göre karşılaştırılarak tartışılmıştır.

2. YÜKSEK YAPI KAVRAMI

Yüksek yapı kavramının tanımlanmasında en önemli kriterlerden biri yapıyı oluşturan katların sayısıdır. Hem tasarımcı ve yapımcıların hem de kullanıcıların kat çıkabilme kapasitesi yapıların yüksekliğinde belirleyici olagelmıştır. Sev'in (2009) belirttiği gibi kimi zaman da -New York'ta olduğu gibi- itfaiye merdiveninin çıkabileceği maksimum yükseklik, kat sayısının belirlenmesinde önemli bir parametre olmuştur. Kuşkusuz ki, yükseklik ya da çok katlılık kavramı yapının konumlandığı yer ile birlikte ele alınmalıdır. Bir-iki katlı bina yanındaki beş katlı bir yapı yüksek olarak nitelendirilebilir. Avrupa'da yirmi katlı bina, 'yüksek' olarak tanımlanabilecekken bu sayı Amerika'da ya da Uzak Doğu'da yüzlerle ifade edilebilir.

19. yüzyılın başlarında Amerika'da yapılmaya başlayan, çevresindeki yapılara göre önemli ölçüde yüksek olan binalar bu binalara İngilizce'de "*skyscraper*", "*high-rise building*" ve "*tall building*", Fransızca'da "*Gratte-Ciel*", Almanca'da "*Hochhaus*" ve "*Wolkenkratzer*" terimleri ile anılmaktadırlar (Sarıman, 2010). Günel ve Ilgın'a göre (2010) "*tall building*" teriminin tarihçesi "*high-rise building*" terimine göre çok daha eskidir. Gökdelen (*skyscraper*) adlandırmasının binalarda kullanılması ise ilk olarak 19. yüzyılın sonlarına doğru Chicago'da yapılan 12 katlı Home Insurance Building ile başlamıştır (Günel ve Ilgın, 2010).

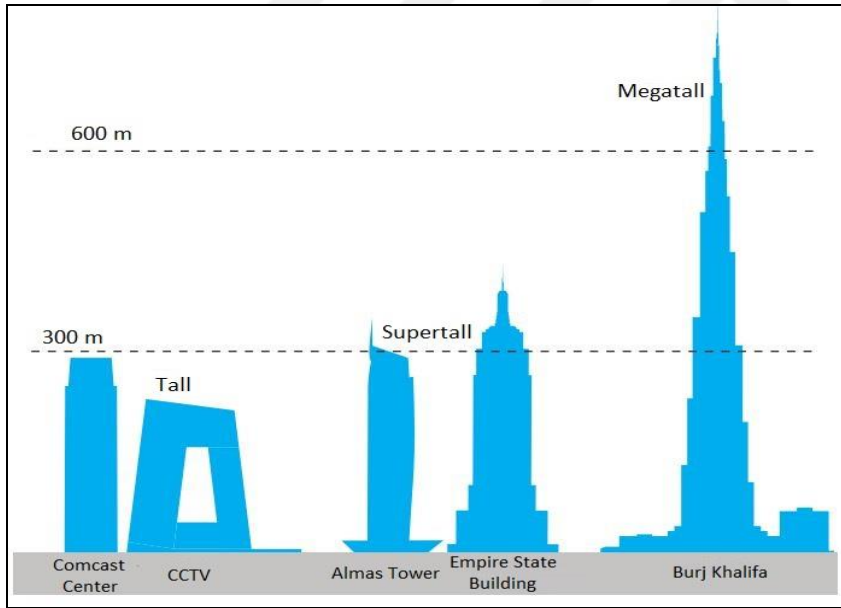
Yapılardaki kat sayıları arttıkça "yüksek bina" terimi yerini "gökdelen" terimine bırakmaktadır. Bir yapının kaç kattan sonra yüksek yapı ya da gökdelen olarak anılacağı, kat adedinin mi yoksa yapının yüksekliğinin mi baz alınacağı şüphesiz ki tartışma yaratan bir konu olmuştur (Sarıman, 2010). Ancak burada vurgulanması gereken yüksek yapı ve gökdelen terminolojisinin teknoloji ilerledikçe şekil değiştirdiği ve yerini yeni terimlere bıraktığıdır. Eskilerin yerine yenileri ve daha yüksekleri geldikçe eskiler artık yüksek ya da gökdelen olma özelliklerini yitirebilmektedirler.

2.1. Yüksek Yapı Tanımı

Yüksek yapılar, kimi zaman içinde çoklu işlevler barındıran ve yapılaşmış alanı arttırmak amacı ile yükselen ve bu nedenle çevredeki yapılara kıyasla yüksek olan yapılardır.

Kırkan'a göre (2005) yerden yükseklik ve kat adedine bakılmaksızın “toplam kat alanı” sözcüğü yapının gerçekleştirildiği parsel için geçerli olan imar koşullarından fazla olan yapılar, yüksek yapılardır. Özel izinlerle gerçekleştirilen bu yükseklik aşımı kent üzerinde önemli bir dönüştürücü etkiye sahiptir.

Yapılan literatür taramasında yapıların hangi yükseklik ve kat adedinden sonra yüksek bina veya gökdelen olarak adlandırılacağı konusunda ortak görüşler bulunmamaktadır. Genellikle yaya giriş kotundan anten ve/veya bayrak direğini ihmal ederek, bina tepesine kadar olan mimari/strüktürel yükseklik kabul edilmektedir. CTBUH'a (*Council on Tall Buildings and Urban Habitat*) göre, en alt seviyedeki yaya girişinden itibaren 14 kat ve 50 m ve üzeri yapılar, “yüksek binalar” (*tall building*), yüksekliği 300 metre üzerinde olan yüksek yapılar, “çok yüksek bina” (*supertall building*) ve yüksekliği 600 metre üzerinde olan yüksek yapılar ise “mega yüksek bina” (*megatall building*) olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.1) (Günel ve Ilgın, 2010; CTBUH).



Şekil 2.1. Yükseklik arttıkça binalara verilen sıfatlar (CTBUH)

Dünyanın farklı ülkelerindeki farklı kabullere göre 100 ya da 150 metrenin üzerindeki yapılar "skyscraper" (gökdelen) olarak tanımlanmaktadır. Hasol'a göre “aslında ‘skyscraper’ binalar için kullanılmadan önce bir denizcilik terimi olarak kullanılmaktadır ve yelkenli bir gemideki en yüksek direğin adıdır”. Terim 19. yüzyıl sonlarında yapılar için de kullanılmaya başlanmıştır. Hasol ayrıca, "kimi strüktür mühendislerinin de yüksek

yapıyı, ‘rüzgâr yükünün, ağırlığa göre daha belirleyici faktör olduğu yapı’ olarak da tanımladıklarını" belirtmektedir (Hasol, 2007).

Almanya’da en üst kat döşemesinin, binanın oturduğu zeminden yüksekliği 22 metre ve daha fazla olan binalar “yüksek bina” olarak tanımlanmaktadır (Serbes, 2009). Emporis’e (*Emporis Standarts*) göre ise 12 kat veya 35 m üzeri olan yüksek yapılar, “yüksek bina” (*high-rise building*), yüksekliği 100 m ve üzeri olan çok katlı binalar ise “gökdelin” (*skyscraper*) olarak adlandırılmaktadır (URL-1).

Mimari yüksekliğe göre: Binanın açık-hava girişinden itibaren, en uç tepe noktası dahil olmak üzere (antenler, bayrak direkleri ve teknik ekipmanlar hariç) binanın en üst noktasına kadar olan yüksekliktir (URL-2).

Ansiklopedik tanımlar ise yüksek yapıyı, kimi zaman oranlarıyla kimi zaman ise işlevi ve yapım sistemi ile anlatmaktadır. Örneğin, bu tanımlar, “...taban alanı küçük, yüksekliği taban boyutlarına göre fazla, genellikle kule biçiminde, narin binalardır”. Benzer şekilde yüksek yapılar “...ABD’de 19. yüzyılın son yirmi yılında ortaya çıkan metal iskeletli yüksek büro binalarıdır” biçiminde tanımlanmaktadır (Doğan, 2008).

2.2. Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi

Yapı; insan yaşamında, korunma, barınma gibi temel fizyolojik gereksinimlerin karşılanabilmesi amacıyla yaşamsal önem taşımaktadır. Önceleri bireysel olarak kişilerin doğal çevre içerisinde kendi yapay (yapılı) çevrelerini inşa etmeleri ile sınırlı iken, medeniyetin ilerlemesi ile yapay çevrelerin oluşturulması, kendi içerisinde de uzmanlık dalları oluşmasını mecbur kılarak günümüzde farklı bir noktaya gelmiştir (Serbes, 2009). Gereksinimler ve bunlara cevap verebilecek çözümlerin geliştirilmesi/uygulanabilmesi bir arada ele alınması gereken konulardır. Örneğin, asansör teknolojinin gelişimi çok katlı yapıların yapım ve kullanımına olanak sağlamıştır. Benzer şekilde her türlü kullanıcı gereksinimine ancak malzeme, yapım ve ilgili diğer alanlardaki teknolojik gelişmeler sayesinde cevap verilebilmektedir. 18. yüzyılın sonlarında dökme demirin bulunması, yapılarda çeliğin kullanılması ve iskelet sisteme geçiş ile yapı yüksekliklerinin de giderek

artmaya başlayarak günümüze kadar gelmesi yapılarda modern anlamda yükselme sürecinin başlangıcı olarak görülebilir.

Mısır piramitleri, Yunan tapınakları veya Gotik katedraller kendi dönemlerinin öne çıkan yüksek yapı tipleridir. Özellikle Ortaçağ'da feodal düzendeki aristokrasinin bir güç göstergesi olarak derebeylik yapılarına uzun kuleler eklemeleri dikkat çekicidir. İtalya'nın Bologna ve San Gimignano (Resim 2.1) kentlerinde görülmektedir. Saydam (2007), başlangıçta 96 adet olan kulelerden bugün ancak 20 tanesinin San Gimignano kentinin silüetini süslediğini ifade etmektedir. Yine Saydam'a göre "...ailelerin varlıklarını saklamak için inşa edilen San Gimignano kuleleri, yükselmenin tarih boyunca bir güç ifadesi olarak algılandığını göstermesi açısından önemli örneklerdir".



Resim 2.1. San Gimignano ve Bologna kentlerinden görünüm (Saydam, 2007)

Ortaçağ'da dönemin en yüceltilmiş konusu "din" olmuştur. Göğe ulaşmaya çalışırcasına Gotik katedrallerdeki çan kuleleri yükseldikçe, dinin yüceliği ve önemi daha da vurgulanır hale gelmiştir. O dönemde tuğlalarla yapılan ve günümüze dek en yüksek olma sıfatını elinde bulunduran en yüksek katedral 162 metre yüksekliğiyle Ulm Katedrali'dir. İslam dünyasında da din, camilerde yüksek minarelerle yüceltilmiş bir unsur olarak yer almıştır. Mısır'dan Mezopotamya'ya, Ortaçağ'dan Uzakdoğu'ya, hatta günümüze kadar gelindiğinde açıkça görülmektedir ki, yüksek yapılarla inanılan, sahip olunan güç ve ihtişam vurgulanmaktadır (Sarıman, 2010). Benzer şekilde Günel ve Ilgın'a (2010) göre, yüksek yapılar endüstri toplumunun ikonu haline gelmiş yapılardır. Bu yapılar, daima daha yükseği inşa etme arzusunda olan insan içgüdüsüne, egoya, rekabete ve yoğun şehirleşmenin getirdiği ekonomik ihtiyaçlara verilen mimari bir cevaptır.

ABD'deki mimarlık ve şehircilik ortamını 19. yüzyılın sonundan itibaren etkisi altına alan yüksek yapı gerçeği, Avrupa'da kendisine ancak 1960'lardan sonra yer bulabilmiştir (Saydam, 2007). Avrupa'da Amerika'daki gibi bir yarıştan bahsetmek mümkün değildir. gökdelen kavramının etkisinde kalan bazı Avrupa'lı mimarlar, bu alanda örnekler ortaya koymuş olsalar da oldukça sınırlı sayıda kaldığını söylemek mümkündür. Bu isimler arasında, Le Corbusier (Paris kenti eskizleri), İtalyan mimar Antonio Saint Elia (*Nuovo Citta* projesiyle), Mies van der Rohe (cam gökdelen projesiyle) gibi ünlü isimler sayılabilir. Kuban'ın (2002) Mies van der Rohe'nin 1921 yılında ilk cam gökdelen tasarımını ortaya koyduğunda, ülkesi Almanya'da henüz bu projeyi gerçeğe dönüştürecek bilgi birikiminin bulunmadığını ifade etmesi, altı çizilmesi gereken bir gerçektir.

Saydam'a (2007) göre, İkinci Dünya Savaşı sonrasına kadar Avrupa kentlerinde yüksek bina yapımı konusunda bir atılım yokken savaş sonrası yeniden yapılanan kentler ekonomik yapım yöntemleri arayışının da etkisiyle yüksek yapılara yönelmiştir. Örneğin, Hans Scharun'un "*Plörrer hoch haus*" büro binası (1953) ve Le Corbusier'in Fransa'da yaptığı 17 katlı konut bloğu olan "*Unité d'Habitacion*" öne çıkan iki isim olarak sayılabilir. 1960'lardan sonra Avrupa'da da 30-50 katlı yapılar görülmeye başlanmış; Leverkusen'de yapılan "Bayern Yönetim Binası" (1963), La Defense bölgesinde yapılan "*Tour CB21*" binası (1973), Milano'da yapılan 127 metre yüksekliğindeki "Pirelli Binası" literatüre yüksek yapılar olarak girmişlerdir.

Mimarlar yaşadıkları çağın sosyo-ekonomik ve kültürel değişimini, içinde buldukları çevreyi tasarımlarıyla şekillendirerek katkıda bulunurlar ve yeni bir akım veya bina tipi geliştirmek suretiyle de bir açılım yaratırlar. Günel ve Ilgın'ın da (2010) belirttiği gibi, gökdelenlerin ilk kez Chicago'da ortaya çıkışlarının altında da, o dönemdeki ekonomik patlama ve kentsel imar parsellerindeki değer artışının tetiklediği bir sosyal dönüşüm yatmaktadır. Ticari aktivitelerin yoğunlaşması ve yükselen kapitalist değerlerle birlikte gelişen şirketleşmeyi şehir merkezlerinde toplama isteği, bu talepleri karşılayabilecek kadar büyük mekânlara sahip birçoğu sıra dışı form ve tekniklerde üretilen alışlagelmişin dışında yüksekliklerde yeni bir bina tipinin yaratılmasını zorunlu kılmıştır.

SOM'un (*Skidmore, Owings & Merrill LLP*) kurucularından, Burj Dubai'nin strüktür mühendisi William Baker, 21. yy.ın yüksek yapıları hakkındaki görüşlerini şöyle özetlemektedir:

“...Şayet gökdelen yapımı 1990 yılında durdurulmuş olsaydı, en yüksek gökdelenlerin çelik yapıldığını, ABD’de inşa edildiğini ve büro binaları olduğunu söyledik. Bugünse, en yüksek gökdelenlerin betondan ya da kompozit malzemeden yapıldıkları, Asya’da ya da Ortadoğu’da inşa edildikleri ve büyük olasılıkla konut işlevli oldukları söylenebilir” (Hasol, 2007).

İlk olarak Chicago şehrinde minimum arsadan maksimum verim elde etmek amacıyla inşa edilen yüksek yapılar, zamanla New York’ta bir prestij unsuruna dönüşmüş, bir bina tipolojisi haline gelmiş ve Avrupa’ya doğru yayılmıştır. Yüksek yapıların ortaya çıkışının ve Avrupa’ya geçişinin, daha sonra da Ortadoğu ve Asya da bu yarışa katılmıştır (Doğan, 2008).

Bu bağlamda bundan sonra ki bölümlerde yüksek yapıların tarihçesi detaylandırılarak anlatılmış ve günümüz yüksek yapı örneklerinin hangi evrimsel süreçleri geçirdiği irdelenmiştir.

2.2.1. Erken dönem örnekleri

Kuşkusuz ki yüksek yapıların yapılabilmesinde en önemli gelişmelerden biri, Elisha Otis’in kullanıcıları üst katlara güvenli ve kullanışlı bir şekilde taşımak için geliştirdiği "asansörü" tanıtmasıdır (1852) (URL-3). En az asansör kadar önemli olan bir diğer gelişme ise özellikle zemin ve zemine yakın katlardaki son derece kullanışsız olan kalın taşıyıcı duvarların yerini çelik çerçeve sistemlerin almasıdır. Örnek olarak Liverpool’da bulunan Oriell Chambers Binası verilebilir (Resim 2.2). Benzer şekilde, 1864’de mimar Peter Ellis tarafından tasarlanan, dünyanın ilk demir çerçeveli cam giydirme cepheleli ofis yapısı sadece 5 katlıdır (URL-4).



Resim 2.2. Oriel Chambers Binası (URL-5)

En önemli diğer iki parametre de servis ve iletişim sistemlerinin gelişimi olarak gösterilebilir. Tüm bu gelişimlerin bir araya gelmesi geniş ofis bloklarının oluşmasına ve bu katların birbiri üzerinde yükselmesine olanak tanımıştır (Doğan, 2008). Estetik ve yangın güvenliği ile ilgili endişelerin özellikle Avrupa’da, yüksek yapılarla ilgili gelişmeleri engellediğini ifade eden Balcı (2013), Rotterdam’da yapılan 45 metre yüksekliğindeki 11 katlı Witte Haus binasını (1898) (Resim 2.3); Liverpool’da inşa edilen 17 katlı 90 metrelik Royal Liver binasını (1911), Stockholm’deki 17 katlı Kungstornen binasını (1925), Madrid’deki 15 katlı Edificio Telefonica binası (1929), Belçika’daki 26 katlı Boerentoren binası (1932) ve İtalya’daki 31 katlı Torre Piacentini binası (1940) dikkate değer istisnalar olarak nitelendirmektedir.



Resim 2.3. Rotterdam Het Witte Huis Binası (URL-6)

Yüksek yapıların tarihi incelendiğinde Chicago'nun önemli bir yeri olduğu görülmektedir. 1880'li yıllardan başlayarak, hızlı nüfus artışının da etkisiyle kentte 12, 14, 16 katlı yapılar yükselmeye başlamıştır. 19. yy'ın son çeyreğinde ise özellikle ofis yapılarında kendini gösteren, metal konstrüksiyonlu ve yenilikçi tekniklerle mimari tasarımın gerçekleştirildiği bir akım gelişmiştir. 1880–1910 arasında gelişen bu akım “Chicago Okulu” olarak da anılmaktadır. Bu dönemin yapıları fonksiyonu ön planda tutan, çok katlı, iskeletini okutturan, düşeyliği vurgulayan ve tekrarlanan pencereleri ile dikkat çeken yapılardır (Doğan, 2008).

Zaman içinde boş alanların azalması ve yetersiz kalması aynı zamanda insan nüfusunun giderek daha da artması (1850: 30,000 kullanıcı; 1870: 300,000; 1890: 1 milyon; 19. yüzyılın sonu: 1.7 milyon) yüksek binaları daha yüksek inşa edilmeleri noktasında zorlamıştır. Bu durum artık bir güç göstergesi kadar ekonomik gerekliliğin de yansımasıdır (Eisele and Kloft, 2003).

New York ve Chicago arasında başlayan yükseklik yarışında American Surety Binası'nın (Resim 2.4) tamamlanmasıyla (1895), New York öne geçmiş ve uzun yıllar dünyanın en yüksek yapıları bu kentte yükselmeye devam etmiştir. 1920'li yıllarında tırmanan bu yarış, 1930'da Chrysler Binasının tamamlanması ve 40 yıl boyunca dünyanın en yüksek binası olarak kalacak olan ve 1931'de tamamlanan Empire State binası ile devam etmiştir (Balcı, 2013).

Benzer şekilde Seattle, San Francisco ve Los Angeles gibi büyük kentlerde, böylesi yüksek yapıların inşası 19.yy boyunca ivmelenerek devam etmiştir. Saydam'a göre (2007) yaklaşık 350 yıllık bir tarihi olan New York kenti esas karakterini, özellikle Manhattan Yarımadası'ndaki yüksek yapılarıyla kazanmıştır.



Resim 2.4. American Surety Binası (URL-7)

2.2.2. Modern yüksek yapıların tarihçesi ve Avrupa - Amerika'da gelişimi

20.yy'ın ortalarında da -mühendislik ve inşaat teknolojileri geliştikçe- en yüksek yapıyı yapma yarışında New York ve Chicago odak noktası olma özelliklerini korumuşlardır. New York; Hastings, Carrere, Standford, White gibi mimarları çeken, Beaux-Arts mimari hareketinin merkezi olurken, bu şehrin çarpıcı silüetini, bu akımın simgeleri haline gelen, çok çeşitli ve sayıda gökdelen oluşturmuştur (Balcı, 2013). Yükseklik yarışında duraklamalara karşılık, 1950'lerden başlayarak 30-70 katlı binaların ABD'de sayı bakımından hızla arttığı ve pek çok şehre yayıldığı görülmektedir. Söz konusu yıllarda gökdelen tasarımında bazı yaklaşımların benimsendiği de görülmektedir. Örneğin söz konusu yapıların çoğu basit geometrik şekillerden oluşmaktadır. Aslında bu durum yüzyılın başlarında Bauhaus mimarları tarafından şekillendirilen "uluslararası üslup" fikrinin yansımaları olarak okunabilir. 1970'lerin sonunda yapılan Willis Tower (Resim 2.5) ve WTC (Resim 2.6) bu felsefeyi yansıtmaktadır. Daha sonra tasarım anlayışları değişmiş ve Post modern etkiler kendini göstermeye başlamıştır. Bu yaklaşımda tarihi elemanlar, adapte edilip tekrar yorumlanarak modern strüktürlerle bütünleştirilmektedir.



Resim 2.5. Willis Tower Binası (URL-8)



Resim 2.6. World Trade Center Binası (URL-9)



Resim 2.7. Chicago Loop Görünüm (Sarı, 2006)

Özgen ve Sev, (2000) yüksek binaların ABD dışında, geç başladığını ve yavaş yürütüldüğünü belirtmektedirler. Modern dönemde Avrupa’da Amerika’da olduğu gibi bir yükseklik yarışı görülmemiş, dünyanın en yüksek 100 binası arasına Avrupa’dan sadece 2 bina girebilmiştir. Bunlar Varşova’da 1955 yılında yapılan Palac Kultury Nauki binası ile 1969 yılında Paris’te yapılan Maine-Montparnass büro binası’dır.

Avrupa mimarları 20. yüzyılın başlarında, gökdelen kavramının etkisinde kalarak utopik eskizler yapmışlar, yarışmalara yüksek bina projeleriyle katılmışlardır. “Nuovo Citta” (Antonio Saint Elia), “Cam Gökdelen” (Mies van der Rohe), Paris’in yenilenmesi konusundaki eskizleri ile Le Corbusier, muhtelif projeleri ile Hugo Haring, Hans Scharoun, Hans Poelzig bunların öncül örnekleri olarak verilebilir (Kırkan, 2005).

Frankfurt, ABD modeline yakın bir modeldir ve şehrin iş merkezinde yüksek yapılaşmalar yoğun olarak bulunmaktadır. Özellikle, bankaların yönetim binalarını Frankfurt’a taşıma kararıyla beraber, 1957’de Bundesbank’ın merkez bürolarının Frankfurt’ta birleşmesi, uluslararası döviz stoklarına ev sahipliği yapmasıyla, şehir, Almanya’nın finans merkezi haline gelmiştir. Kurumlar, en iyi arsaları kullanmak için bir yarış içerisine girmişler ve

merkezi ofis gelişimlerini burada sürdürebilmek için yoğun taleplerde bulunmuşlardır (Resim 2.8, Resim 2.9) (Doğan, 2008).

Almanya’da yüksek binaların yerleşimi, önemli kesişim noktalarında, şehirle uyum içinde bir model olarak önerilmişti. Yüksek binalar, tarihi şehir merkezine uygun mesafelerde konumlandırılmış, gelişen kent için yönlendirici konumunda olmaları varsayılmıştı (Eisele and Kloft, 2003). Almanya’da ortaya çıkan diğer bir fikir, yüksek binalar ve şehir arasında bir uyum oluşturmak üzere geliştirilmiştir. Bruno Taut’un *Die Stadt Krone* kitabında da bahsedildiği gibi; sosyalizmin çeşitli bağlantılarını savunanlar açısından popüler bir görüş olarak kabul edilen bu model, yüksek binaların kent içinde her şeyden daha yüksek inşa edilebileceğini savunmaktadır. Frankfurt, Londra ve Paris’e nazaran küçük bir metropol olmasına rağmen, Avrupa’da yüksek binaların yoğun olarak yerleştiği diğer bir merkezdir (Doğan, 2008).

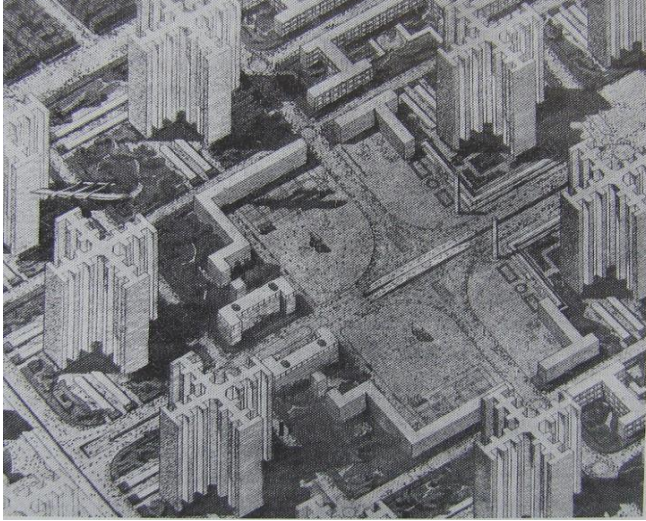


Resim 2.8. Deutsche Bank (URL-10)



Resim 2.9. Messeturm Frankfurt (URL-11)

Fransa ilk ciddi gökdelen önerileri ile 1925 yılında Le Corbusier'nin "*Plan Voisin*" projesi ile tanışmıştır. Corbusier, Amerikan gökdelenlerinin etkisiyle, merkezinde 20 adet 60 katlı, haç planlı büro binalarının ve 10-12 katlı konut bloklarının bulunduğu, yeşil alanla çevrili üç milyonluk çağdaş bir kent tasarımı önermiştir (Resim 2.10) (Doğan, 2008). Bu öneri bir ütopya olmanın ötesine geçememiştir. Buna karşılık, Paris'te uygulanma olanağı bulan ilk gökdelen 1969-72 arasında bir büro binası olarak yapılan 210 metre yüksekliğindeki Montparnasse Kulesi olmuştur (Resim 2.11). Sur içi (*intramuros*) yani 20 kapılı iç Paris'te 1970'lerden bu yana 37 metreden daha yüksek bina yapımını hemen hemen olanaksız kılacak koşullar getirilmiştir (Doğan, 2008).



Resim 2.10. Plan Voison, Le Corbusier (Doğan, 2008)



Resim 2.11. Montparnasse Kulesi, Paris (Doğan, 2008)

Hasol (2007) Paris Belediyesi'nin 2003'te bu kapsamda yaptığı bir anket kentlilerin yüksek yapı fikrinde kararsız olduklarının belirlendiğini ifade ederken, Paris'in tarihsel dokusu daha çok zedelenmeden gökdelen fikrinden uzak durulduğunu söylemektedir. Bazı yüksek yapılar, Amerikalılar'ın Paris'e armağanı Hürriyet Heykelinin bulunduğu adanın karşısında Seine nehrinin sol kıyısında (*Rive Gauche*) yapılırken, gökdelenleşme ağırlıklı olarak Paris'in dışındaki, La Défense bölgesine taşınmıştır (Hasol, 2007).

Londra'da 1950'lere kadar yüksek yapı olarak nitelendirilebilecek binalar bulunmamaktadır. Bu yıllardan sonra ise hızlı bir yüksek yapılaşma görülmektedir. Tek tek veya grup halinde birçok yüksek bina kent merkezinde bir banka merkezi oluşturmak üzere inşa edilmiştir. 183 metre yüksekliğindeki NatWest Banka Kulesi (Resim 2.12), 1980 yılında inşa edilmiştir. Bu dönemde yapılan bu kuleler, baskın karakterdeki tarihi doku içinde uyumsuz bir kentleşme örneği olarak görülmüştür (Powel and Strongman, 2007).



Resim 2.12. Natwest Bank, Londra (Doğan, 2008)

Tüm bu tartışmalar sonucunda, İngiltere de yüksek yapı yapma ile ilgili konuların yer aldığı kanun hükümleri 1986 yılında değiştirilmiştir. Bununla birlikte 100 metrenin üzerindeki binalara halkın görüş ve tartışmasına sunmak üzere bir rapor hazırlamaları zorunluluğu getirilmiştir. 1980'lerin sonu, 1990'ların başlarında, yatırımcıların baskısı ile bir dönüşüm bölgesi olarak, şehir merkezinin dışındaki rihtim bölgelerinden Canary Wharf gelecekteki gelişmeler de düşünülerek, yüksek yapıların inşasına izin verilen alan olarak belirlenmiştir. Bu bölgedeki yüksek binaların yapımı, şehir içindeki silüet endişesinden uzak olması bakımından daha rahat bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda, bu ihtiyaç için özel bir bölgeleme yapılması sonucu, modern bir metropol yerleşkesindeki ihtiyaçların da neler olabileceği deneyimlenmiştir (Eisele and Kloft, 2003). CTBUH 2017

verilerine göre Amerika'nın en yüksek binası unvanını New York'ta bulunan 541.3 metre yüksekliğe sahip One World Trade Center binası, Avrupa'nın ise Moskova'da bulunan 373.8 metrelik yüksekliğiyle Federation Towers-Vostok Tower binası en yüksek bina unvanını taşımaktadır.

Sonuç olarak; tüm Avrupa ve Amerika'da gün geçtikçe yüksek yapıların sayısı artmıştır. Özellikle arsaların pahalı rantın yüksek olduğu büyük şehir merkezlerinde hızla çoğalmaktadır. Gökdelenler salt ekonomik gerekçelerle değil tıpkı ilk dönemlerdeki tapınak ve saraylar da olduğu gibi şehrin ekonomik gücünün simgesi olarak ta varlıklarını sürdürmektedirler. Bir başka deyişle, yüksek yapılar salt kentin silüetini değil kimliğini de belirlemektedirler. Benzer gelişmeler dünyanın farklı bölgelerinde de yaşanmış ve yüksek yapılarla sürdürülen ekonomik yarış büyüyerek devam etmiştir/etmektedir.

2.2.3. Yüksek yapıların Uzak Doğu, Orta Doğu ve Asya'daki gelişimi

İlk zamanlarda Uzak Doğu ülkelerinden Japonya, Çin, Kore ve Himalayalar'da kulelerin yapımında ahşap ve tuğla malzemeler kullanılmıştır. Özellikle Pagodalar sahip olduğu strüktür sayesinde yüzyıllar boyunca depremlere ve tayfunları karşı koyabildiği bilinen, çok katlı kule yapılarıdır. MS 680 yılında yapılmış olan Yakushi Pagodası (Nara) 34 metre yüksekliğindedir. Bu gibi dini yapılarda göğe uzanış imgesi vurgulanmaktadır (Tümer'den aktaran Sarıman, 2010). 20.yy da ise yüksek yapılaşma yarışı Uzakdoğu'da Hong Kong'la başlayıp Japonya, G. Kore, Singapur, Endonezya, Malezya ve Avustralya ve Ortadoğu'ya yayılmıştır (Doğan, 2008).

Hong Kong Çin' in güney doğusunda Japonya ve Endonezya arasında Avrupa'ya eşit mesafedeki bir konumda ve Güney Amerika, Avustralya, Çin'in batıya açılan kapısı durumundadır. 1842 yılından itibaren İngiliz kolonisinde bulunan bölge, doğal kaynakların azlığından dolayı üretim, ticaret ve nakliyede gelişme göstermiştir. Hong Kong birim alana düşen kişi sayısı bakımından dünyanın en yoğun ülkesidir. Nüfusu 5.8 milyondur. Hem nicel ihtiyaçlar hem de güç ve prestijinin sembolü olacak biçimde yüksek yapıların baskın olduğu bir kent silüeti ile tasarlanmıştır (Resim 2.13) (Kırkan, 2005).



Resim 2.13. Hong Kong kent silüeti (Kırkan, 2005)

Asya ülkeleri ve özellikle Japonya hem birlikte yaşamak zorunda oldukları yüksek deprem riski hem de 2. Dünya Savaşı yenilgisinin ardından geliştirdikleri yapı teknolojisi ile yüksek yapılar konusunda çığır açıcı yenilikler sergilemişlerdir. 1985'te Japonya Tokyo'daki en yüksek bina Toshiba Binası (60 katlı) olmuştur (Resim 2.14). Özellikle Shinjuku bölgesi yerel yönetim yapılarının yer aldığı, trenler ve metroların kesiştiği bir merkez olarak Manhattan yarımadasını andırır şekilde gökdelenlerle dolmuştur (Doğan, 2008).



Resim 2.14. Tokyo Toshiba Binası (Doğan, 2008)

Japonya'da gökdelenlere ilişkin alınmış ve güneş ışığı hakkına ilişkin Nisshoken kararının altını çizen Hasol (2007), yüksek bina yapan komşularının güneşini kestiği ve düşürdüğü gölgeyle komşularının ısıtma için daha çok yakıt tüketmesine yol açtığı için komşu bina sahiplerine belli bir bedel ödemek zorunda olduklarından bahsetmektedir. İnşaatın başlangıcında ve tek seferde ödenmesi gereken bu bedelin iş veren için için bir caydırıcılık niteliğine bürünmesi de bura da altı çizilmesi gereken bir husustur (Hasol, 2007).

Tokyo yüksek yapılaşma ile gelişmekte olan bir şehir örneğidir. Yaşanan ekonomik gelişme ile kent merkezlerinin yetersiz hale gelmesi ve ikincil merkezlerin oluşturulması zorunluluğunu bereberinde getirmiştir (Kırkan, 2005).

Hasol'a (2001) göre, son yıllarda özellikle Şanghay'daki yüksek yapılarıyla Çin de yarışa katılmış bulunmaktadır. Benzer şekilde Cesar Pelli'nin tasarımıyla Kuala Lumpur'da (Malezya) yapılmış olan Petronas İkiz Kuleleri 1999-2004 arasında dünyanın en yüksek binaları olma ünvanını kazanmıştır (Doğan, 2008). 2004'te Taipei'de inşaa edilen Taipei 101, 509 m.lik yüksekliği ile zamanının en yüksek binası olma ünvanını kazanmış, ardından Burj Dubai 828 metrelik yüksekliğiyle dünyanın en yüksek binası olmayı açık ara farkla başarmıştır.

Sonuç olarak, insanoğlunun yerçekimi gibi doğal güçleri yenme isteği, buna fırsat sağlayan teknik ve teknolojik gelişmelerin doğuşu ile yapıların ortaya çıkmasını olanaklı kılan bir ortam oluşmuştur (Doğan, 2008). Günümüzde yüksek yapılar prestij ve güç göstergesi olarak inşa edilmeye başladığı için artık New York, Chicago, Londra, Dubai, Tokyo, Şanghay ve Hong Kong gibi yüksek yapı kentlerinin kendi aralarında bir rekabet haline gelerek yüksek yapıların inşaatlarının sayısı artmaktadır.

2.2.4. Yüksek yapıların Türkiye'deki gelişimi

Osmanlı İmparatorluğu sonrasında kurulan Türkiye Cumhuriyeti'nde siyasi, teknolojik, ekonomik vb. nedenlerden dolayı yapı sektöründeki gelişmeler Avrupa ve Amerika ile paralel olarak gelişmemiştir. Üretim hareketi başladığı zamanda ise Doğan'a (2008) göre kuralsız, hızlı, dinamik bir gelişme göstermiştir. Gelişme alanları, fırsat alanları, bunların sosyal yapıyla, kentsel peyzajla bütünleşmesi, kamu için yeni fırsatlar yaratılması, merkezi hükümetten, yerel hükümetten ayrılması gereken paylar planlanmadan hareket edilmiştir. Özel sektör-girişimci diyalogunun da Türkiye'de Avrupa ve Amerika örneklerinden farklı olduğu görülmektedir. Temel olarak Batı'daki örneklerin tersine, özellikle imar konularında bir plan ve strateji ile hareket etmek yerine, palyatif kararlarla inşaatlar yapılmış bu yaklaşım da beraberinde birçok sorun getirmiştir (Doğan, 2008).

Gürsel'e (2003), göre "...çok partili demokrasiye geçişle birlikte başlayan imar hareketlerinde yönlendirici kuvvet devlet politikası olmuştur...". Özellikle büyük kentlerde

başlayan bu yapılaşma geleneksel kent dokularını dikkate almamış, eski kent merkezleri dokusu geniş yollar ve yüksek yapılaşmalar ile zarar görmüştür. Saydam'a göre (2007) ise geleneksel doku önemsenmemiş ve modernleşme ilkesiyle tahrip edilmiştir. Yeni kentleşme politikalarıyla, kent arazilerinin değeri artmaya başlamış ve rant ekonomisi hızlanmıştır.

Bu bağlamda Türkiye'de yüksek yapıların 1950'li yıllarda başladığı söylenebilir. Aslında kule ve minare gibi çevrenin genel görünümünden ve yüksekliğinden ayrılarak göğe doğru yükselen narin yapıların çok yeni kavramlar olmadığı ve oldukça uzun bir geçmişe sahip olduğu bilinmektedir. Buna karşılık, bünyesinde farklı fonksiyonları barındıran, her katında yaşama eyleminin sürdüğü, çağdaş çok katlı yapılara 20.yy'ın ikinci yarısı sonrasında rastlanmaktadır. Ülkede çok partili parlamenter sisteme geçilmesi ve bunun sonucu olarak dış dünya ile ilişkilerin geliştirilmesi arzusu, hızlı ve plansız bir sanayileşme ve buna paralel olarak şehirleşmeyi de beraberinde getirmiştir (Saydam, 2007; Sarıman, 2010).

Türkiye'de de yüksek yapılara yönelimin başında kent içindeki arazi kısıtları kadar şirketlerin imaj yaratma, güç ve zenginlik göstergesi olarak yükseklik talebinin arttığı söylenebilir. Öyle ki, Doğan'a göre (2008), imar kurallarında yüksek yapı yapımı yasak olmasına rağmen, bazı özel koşulların zorlanması sonucu özellikle Ankara ve İstanbul'da yüksek yapılar yapılabilmıştır (Doğan, 2008).

1950-1975 arası dönemde yapılan ve genellikle 20-25 kat yüksekliğinde olan yüksek yapılarda taşıyıcı sistem olarak betonarme perde ve çerçeveler kullanılmıştır. Kullanılan betonarme perde-çerçeve sistemli bu yapılarda yükseklik gibi döşeme açıklıkları da sınırlanmıştır. Özgene ve Sev'e (2000) göre bu nedenle fazla mekân açıklığı gerektirmeyen otel ve konut türü yapıların yanı sıra, döşeme açıklıklarının az olduğu büro yapıları yapılmıştır.

Zamanla artan ve gelişen ihtiyaçlar, arsa değerlerinin yükselmiş olması, gelişen yapım teknolojileri ve dünya pazarındaki gelişmiş, büyük firmaların Türkiye pazarına girmeleri Türkiye'de de yüksek binaların oluşumunu hızlandırmıştır. Binalar ve firmalar arasındaki yükseklik yarışı sonucunda İstanbul yeni bir görünüme kavuşmuştur. 1980 öncesi özellikle Beşiktaş-Maslak aksında Eczacıbaşı ve Roche İlaç Fabrikaları, Philips Elektronik Eşya

Fabrikası gibi büyük ölçekli üretim tesisleri ve bu tesislere bağlı yönetim birimleri bir arada yer almaktadır (Sarıman, 2010).

Tarihsel gelişime bakıldığında 1970'lerin ortalarına kadar 25 katı geçmeyen binalar yapılmıştır. Bu dönem yüksek yapılar genelde yurt dışından alınan destekler ile gerçekleşmiştir. Başlıca örnekler arasında İstanbul'da 23 katlı Ceylan Intercontinental Oteli, 23 katlı The Marmara Oteli, 21 katlı Odakule İş Merkezi (1975, 67 m), 28 Katlı Etap Marmara Oteli (1976, 90 m), Ankara'da 24 katlı Kızılay Emek İş Hanı (1965, 73 m), 20 katlı Stad Oteli, 18 katlı Büyük Ankara Oteli sayılabilmektedir (Üdürgücü, 2010).

Söz konusu yıllarda Türkiye'de yapılan yüksek yapıların kat sayısı ve yüksekliği artmaya başlamıştır. Ancak siyasi ve ekonomik nedenlerden dolayı fazla gelişme olmamıştır. Ankara'da Türkiye İş Bankası (1977, 29 katlı), İstanbul Harbiye Orduevi (1981, 28 katlı) (Resim 2.15), Hacı Ömer Sabancı Kız öğrenci Yurdu (1988-93, 28 katlı) (Resim 2.16) gibi binalar yapılarak 30 kata yaklaşmıştır. 1975-1985 arası dönemde taşıyıcı sistem olarak yine betonarme perde ve çerçeveler kullanılmıştır (Üdürgücü, 2010).

Nurdoğdu'ya (2008) göre 1980'lerin sonunda İstanbul'da Büyükdere Caddesi'ndeki gelişim hızı, başlangıç noktası Sabancı Center'ın geliştirilmesi olacak şekilde, şirketler tarafından belirlenmiştir. Bu bina 1993'te tamamlandığında Levent-Maslak Büyükdere Caddesi koridorundaki yüksek binaların mihenk noktası haline gelerek, Türkiye'nin en yüksek binası olmuştur. Yolun karşısında yalnızca birkaç yıl önce büyük binalar olarak algılanan, 1990'da tamamlanan Yapı Kredi Center ve Kale Seramik binasının algısını değiştiren Sabancı Center, 1994'te tamamlanan Spring Giz Binası'yla başlayan binalarının da dahil olduğu bir dizi çok yüksek binanın geliştirilmesine önderlik etmiştir (Doğan, 2008).



Resim 2.15. İstanbul Harbiye Orduevi (Üdürgücü, 2010)



Resim 2.16. Hacı Ömer Sabancı Kız Öğrenci Yurdu-Ankara (Üdürgücü, 2010)

Görüldüğü gibi 1985'ten itibaren yüksek yapı proje ve uygulamaları hızlanmıştır. Bunun nedenini ise yüksek bina yapımında kullanılması zorunlu olan gelişmiş tekniklerin kullanılmaya başlanmış olması, artan malzeme ve teknolojik olanaklar olarak belirten Üdürgücü (2010), 1985 sonrası dönemde özellikle büro binalarında kullanılan betonarme perde-çerçeve sisteminde, gelişen teknoloji ve yapım sistemleri sonucunda çerçeve ve döşeme açıklıklarının da önemli ölçüde arttığını belirtmektedir.

1990'dan sonra yapı yükseklikleri artarak 50 kat sınırına ulaşılmış ve tübüler sistemlerin kullanımına başlanmıştır. Bu sistem; rüzgâr ve deprem gibi yatay kuvvetlere karşı etkili olduğu, 40 katın üstündeki yapılarda taşıyıcı sistem maliyetini büyük ölçüde azalttığı ve büyük açıklıklı mekânların yapımına imkân sağladığı için tercih edilmiştir (Özgen ve Sev, 2000).

Fonksiyon bakımından düşünüldüğünde ilk yüksek yapıların çoğu ofis binası olarak yapılmış 2000 yılından sonra ise yüksek konut yapıları olarak devam etmiştir. Günümüzde yüksek yapılar genellikle bir kompleks şeklinde karma olarak inşa edilmektedir. Karma inşa edilen yapıların bulunduğu bölgeye göre ofis, konut, rezidans, otel, alışveriş merkezleri olarak tasarlanmaktadır (Üdürgücü, 2010).

Türkiye'de inşa edilen ve literatüre giren yüksek yapıların illere göre dağılımına bakıldığında öncelikle Mersin'de bulunan 52 katlı (177 m) Mersin Ticaret ve İş Merkezi (Mertim) dikkat çekmektedir (Resim 2.17). Betonarme ve tüp içinde tüp olarak inşa edilen bina İş Bankası Kuleleri (Resim 2.18) yapıncaya kadar Türkiye'nin en yüksek yapısı unvanını korumuştur (Üdürgücü, 2010).



Resim 2.17. Mersin Ticaret ve İş Merkezi (Mertim) (Üdürgücü, 2010)



Resim 2.18. İş Bankası Kuleleri, İstanbul (Üdürgücü, 2010)

Konya'nın en yüksek yapısı olma unvanını koruyan ve Konya'nın araç plaka numarasının 42 olması sebebiyle 42 katlı olarak inşa edilen Selçuklu Kulesi ise 163 m yüksekliğindedir (Resim 2.19).



Resim 2.19. Selçuklu Kulesi – Konya (URL-12)

İzmir'deki yüksek yapılar ise 35 katlı İzmir Hilton Oteli 142 m (Resim 2.20), Heris Tower 124 m, Özdilek Crowne Tower 113 m, Gürel Plaza 85 m. olarak sayılabilir.



Resim 2.20. İzmir Hilton Otel (URL-13)

Ankara'ya gelindiğinde ise; Portakal Çiçeği Kulesi 160 m (Resim 2.21), Nata Vega 151 m, Sheraton Oteli 143 m, Dikmen Vadi Kuleleri 140 m, TOBB kuleleri 140 m, Halkbank Genel Merkezi 123 m, Armada Kule 122 m Regnum Sky Tower sayılabilir. İnşaatı devam etmekte olan Elya Center & Royal Tower 210 m Sinpaş The First 201m Türk Telekom Tower 192 m yükseklikleri ile sınırları zorlamaya devam etmektedir.



Resim 2.21. Portakal Çiçeği Kulesi-Ankara (URL-14)

Kuşkusuz ki İstanbul yüksek yapı yarışında ön sıralarda olmayı korumuştur. Bir yanda yılların izlerini taşıyan tarihi yarımada, diğer yanda ise teknolojiyi, sermayeyi, gücü simgeleyen Maslak-Beşiktaş-Şişli üçgeni ile 21. yüzyıla değişen silüetiyle girmiştir (Doğan, 2008).

1997 yılında yapımına başlanan ve 2002 yılında bitirilen mimari projesi Randolph Gerner tarafından yapılan 143 m. yüksekliğindeki Garanti Bankası Genel Müdürlük Binası, 2000 yılında yapımına başlanan ve 2003 yılında bitirilen mimari projesi Swanke Hayden Connell Mimarlık şirketine yaptırılan 4. Levent'teki 118 m yüksekliğinde Tekfen Tower, 2003 yılında yapımına başlanan ve 2006 Mayıs ayında bitirilen mimari projesini Jerde Partnership ve Türkiye'den Tabanlıoğlu mimarlığın üstlendiği Kanyon, 1996 yılında başlanan 2003 yılında hizmete açılan Doğan Tekeli-Sami Sisa imzalı 120 m yüksekliğindeki Metrocity, son dönem yüksek yapıları arasında önemli örneklerdir (Yanık, 2007).

Özellikle Türkiye'nin en yüksek yapısı olan 64 katlı Sapphire 235 m (Resim 2.22), İş Bankası Kuleleri 181 m-52 kat, Şişli Plaza 170 m-46 kat, Tekstilkent Plaza 168 m-44 kat, Sabancı Center 158 m-39 kat, Selenium Twins 165 m-34 kat, Polat Tower 152 m-42 kat, Tat Towers 143 m-34 kat, Elit Plaza 140 m-35 kat, Metrocity 138 m-35 kat, Flora Residence 120 m-34 kat, Kempinski Rezidans Astoria 127 m-28 kat İstanbul'un dikkat çekici kuleleri arasındadır.



Resim 2.22. Sapphire Kulesi-İstanbul (URL-15)

Sonuç olarak, Türkiye'de yüksek yapılar 20 yy. başlarından bu yana inşa edilmektedir. Yüksek yapıların tasarımıyla ilgili teknik bilgi ve tecrübe arttıkça bu tip binaların talep edilmesinde önemli bir artış olmuştur. Artık pek çok büyük kentimizde yükseklikleri 100 metrenin üzerinde olan birçok bina bulunmakta ve inşa edilmektedir.

3. YÜKSEK YAPILARIN PERFORMANS KRİTERLERİ

3.1. Performatif Mimarlık

"Sürdürülebilir mimarlık" ürünlerinin pek çoğunu kapsayan ve Sorguç'un (2009) "sağduyulu tasarım" (*good practice*) olarak adlandırdığı "performatif mimarlık" son yıllarda, sayısal teknolojilerle birlikte ortaya çıkan ve her geçen gün daha çok duyduğumuz bir kavram olmakla birlikte, içeriği ve olası yeni açılımlarının henüz irdelendiğini söylemek mümkün değildir (Sorguç ve Selçuk, 2009). Burada söz konusu edilen sadece tıpkı makine gibi performans/verimlilik mi yoksa performans/gösteri midir? Leatherbarrow (2005) bu sorunun yanıtını ararken ve "yapıların işlevi nedir ve gerçekte mimarlık ne yapar?" şeklinde bir başka soru sormaktadır. Sorusunun yanıtını da Aristo'nun "mimarlığın insan eylemlerinin ve yaşamın taklididir" şeklindeki tanımını da anımsatarak, performans binanın teması/amacı ya da öngörüsü ve performatif mimarlığı da bunları ön plana çıkaran bir mimarlık olarak tanımlamıştır (Leatherbarrow, 2005).

Malkawi (2005) ve Sasaki (2007) üretken süreçleri destekleyen analitik tekniklerin sayısal modellerin potansiyellerini arttırmadaki rolüne değinirken, performansın bu modeller aracılığı ile test edilebilen ve değerlendirilebilen fiziksel ve çevresel hedeflerin bütünü olduğunu söylemektedir. Böylece mimarlık-mühendislik disiplinleri arasında hedeflenen yüksek düzeyli bütünleşme gerçekleşebilecektir. Oxman (2007, 2009) ve Marsh (2008) performansı sanal üretim (*virtual prototyping*) sırasında tasarıma dair kritik kararların bütüncül olarak test edilebilmesi olarak ifade ederken, topoloji, parametrik tasarım, üretken süreçler gibi form arayışlarına dair konu başlıkları ile ilişkilendirmektedirler. Grobman ve Neuman (2011) ise mimarının performansı için bir manifesto olarak tanımladıkları performatif kavramını "sayısal araçların, tasarım ve mimari tavrını belirleyerek bütünleştiren bir yüzyılda çok kişiselleşmiş bir o kadar da paylaşımcı mimariye ulaşma çabası" olarak görmektedirler. Onlara göre üretimin kavramsal ve uygulamalı bir modu olarak ele alınabilecek performans kavramı bireyselle kolektifin, faydacı ile simgeselin, sezgiselle rasyonelin ve duygusalla analitik olanın arakesitinde mimarlık üretme yolları olarak özetlenebilir.

Yapılan literatür taramasında yüksek yapılarda "performatif mimarlık" ve "performansa dayalı tasarım" terimlerinin yapı sektörüne hizmet eden paydaş disiplinler arasında benzer anlamlarda kullanılmakta olduğu ve bu kullanımın bir kavram kargaşasına yol açabileceği görülmüştür. Özellikle yüksek yapıların tasarımında strüktür tasarımcılarının performansa yaklaşımı "yüksek yapı tasarımında en önemli konunun belirlenen performans seviyelerinin kontrolü için hangi analiz yönteminin kullanılacak olması gerektiğini" (Moehle, 2008; Binzet ve diğerleri, 2014) öncüllerken, elde edilen nicel verilerin hangi yöntemle elde edilip hangi yöntemle değerlendirileceği konusunda tanımlı standartlarla çalışmaktadırlar. Onlar için "performans" yapısal güvenliği tehdit eden risklerin azaltılmasına yöneliktir. Benzer şekilde mekanik-elektrik-sistem tasarımcıları (*MEP Engineering*) için ısıtma-havalandırma-iklimlendirme (*HVAC*) ile otomasyon ve algılama sistemleri gibi ana bileşenlerin verimlilik hususları başta olmak üzere akustik konfor görsel/aydınlatma konforu ya da iç hava kalitesi gibi özel alanlara da referans verebilmektedir (Hensen, 2012; Hens, 2016; Raji ve diğerleri, 2016).

Mühendislik bazlı performansa dayalı tasarım kriterleri gerek ulusal gerekse uluslararası bir çok tasarım kodu, bina kodu, standart ve yönetmeliklerle (IBC, ANSI, EN, Chinese Building Code, Türk yönetmelikleri - Deprem yönetmeliği, Yangın yönetmeliği vb.) belirlenmiştir.

Mimarlıkta ise performansın tanımlanmasında geliştirilmiş pek az tanımlama olmakla birlikte, Uluslararası Mimarlar Birliği'nin (AIA) ifade ettiği ve bina performansı amacını belirleyen tanımlamalar, temel olarak fonksiyon ve çevresel etkiye yöneliktir (Ulukavak Harputlugil, 2016). Bu değişkenler arasında; yer seçimi, bina oryantasyonu, bina ve tasarım kodları ile standartları, iklim etkisi, bina formu, malzeme seçimi, strüktürel sistem, çekirdek tasarımı, strüktürel yükler (yanal yükler -rüzgâr ve deprem-, düşey yükler, ölü yükler, canlı yükler vb.), güvenlik (yapısal güvenlik, yangın güvenliği vb.), cephe tasarımı, sürdürülebilirlik (yeşil enerji, gün ışığı, doğal havalandırma, çevresel etki vb.) ile akustik konfor, ısı konfor, iç (ortam) hava kalitesi, görsel konfor (aydınlatma tasarımı) gibi hususlar tüm binalar için düşünülmesi gereken tasarım girdileri arasındadır. Yüksek bina özelinde ise sürdürülebilir, çevre dostu, enerji etkin, strüktür etkin, cephe tasarımı, aerodinamik tasarım kararları konuları daha da önem kazanmaktadır. Tüm bu konu başlıkları altında gruplandırılacak kriterler tüm ayrıntıları ile test edilerek değerlendirilmeli ve tasarım sonuçlandırılmalıdır. Burada altı çizilmesi gereken tasarımın

ancak tüm bu maddelerin ve onların ayrıntılı açıklamalarının birbirlerini etkileyecek, yönlendirecek ve belirleyecek olması ve doğrusal değil eşzamanlı ve koordineli bir çalışmanın sonucunda binadan beklenen performansı sağlamasıdır (Kazımov, Arslan Selçuk ve Iğın, 2017).

Bu bağlamda, bu tez "performatif mimarlığı", sayısal teknolojilerden en üst düzeyde yararlanılarak "sürdürülebilirliği" bir etmenler ve sonuçlar bütünü olarak kavramakta ve verimliliğe dayalı bir tasarımsal çıkış noktası olarak tanımlanmaktadır.

3.2. Performansa Dayalı Yüksek Yapı Tasarım Kriterleri

Yüksek binalar sadece karmaşık sistemler ya da estetik objeler olmayıp etkileri, etkileşimleri dönüştürücü güçleri ile birlikte kentin ve kentlinin yaşamında önemli bir yere sahiptir. Yüksek binaların yüksekliklerinin, form ve strüktürlerinin belirlenmesi ve binanın işlevini en iyi şekilde sürdürebilmesi oldukça fazla sayıda parametrenin eşzamanlı ele alınarak tasarlanması, optimizasyonu için benzeştirme yöntemlerinin kullanılması ve en önemlisi de bu değerlendirmelerin doğru bir biçimde tasarıma geri beslemeli olarak aktarılması ile mümkündür. Daha hafif taşıyıcı sistem, daha az enerji, daha çok gün ışığı, daha doğal malzeme, etkileşimli bina sistemleri... bütün bu “dahalar” performatif mimarlığın temalarını oluşturmakta, sayısal tasarlama ve üretme teknikleri de gerçekleştirilmelerine olanak sağlamaktadır. Mimarlık her geçen gün disiplinler üstü bir kimliğe bürünürken akıllı yapılar (*smart/intelligent buildings*) ancak tasarım sürecinin “akıllı/*intelligent*” olması ile olasıdır.

Yüksek yapıların tasarımında performansa etki eden kriterleri şöyle sıralanabilir:

- Yüksek yapılarda yer seçimi
- Yüksek yapılarda plan, form, fonksiyon
- Yüksek yapılarda çekirdek tasarımı ve düşey sirkülasyon
- Yüksek yapılarda yangın güvenliği
- Yüksek yapılarda cephe seçimi
- Yüksek yapılarda güneş kontrolü
- Yüksek yapılarda strüktür tasarımı
- Yüksek yapılarda rüzgâr ve deprem yükleri

3.2.1. Yüksek yapılarda yer seçimi

Kentsel yerleşimlerde, temel kentsel fonksiyonların ve ticaretin merkez ve çevresinde yoğunlaşması bu bölgeye talebin dolayısıyla rantın artmasına neden olmaktadır. Yüksek yapıların kent içindeki yer seçimi, çevreyle ilişkisini doğrudan etkileyen bir karardır. Bu tip yapıların boyutları, çok işlevliliği ve kullanıcılarının fazlalığı dikkate alındığında kentin altyapı sistemine getirdiği yük birincil önem arz etmektedir. Benzer şekilde yüksek yapıların yakın çevrelerinde oluşturdukları büyük gölgeli alanlar, binalar arasında ortaya çıkan hava akımları tasarım aşamasında önemle üzerinde durulması gereken konulardır (Üdürgücü, 2010).

Ekonomik açıdan arsadan en iyi yararlanmanın yanı sıra, sosyal ve ekolojik açılardan yapı sahibi ve kullanıcılar için önemli olan başka faktörler de vardır. Yapıya kolay ulaşım, çevrenin iyileştirilmesi, doğal hava ve güneş ışığından yararlanma, güneşin olumsuz etkilerinden korunma, manzaraya göre yönelme, fiziksel ve psikolojik gereksinimlerin karşılanması, imaj ve estetik bunlardan bazılarıdır (Sev, 2009).

3.2.2. Yüksek yapılarda plan, form ve fonksiyon

Bütün binalar, belli fonksiyonları yerine getirmek üzere tesis edilirler. Bir binanın tasarımında, öncelikle etkili olan faktörler, binanın fonksiyonu ve estetiği olmaktadır. Yüksek yapılarda estetik kavramı ise fonksiyona uygun kütle geometrisinin (plan ve kesit düzlemi ile birlikte), içsel ve dışsal yüklere en iyi cevabı verecek biçimde bütünleşmesiyle elde edilecek bir boyuttur.

Yüksek yapılarda plan

Kat planlarının tasarımını etkileyen en önemli kriter kuşkusuz ki yapının fonksiyonudur. Yüksek bir bina konut, ofis, hastane, otel vb fonksiyonlarına hizmet edebildiği gibi, çok işlevli de olabilmektedir. Her fonksiyonun gereksinim duyduğu açıklıklar, derinlik ve yüksekliklerin belirlenmesi önemlidir (Sev, 2009). Ancak yapıların genel tipolojisine bakıldığında ortaya çıkışından günümüze kadar yüksek binaların plan tiplerinde çok fazla değişiklik olmaması dikkat çekicidir. Genellikle strüktürel açıdan basit ve ekonomik mimari açıdan ise esnek plan şemaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok katlı yüksek

yapılarda plan geometrisini belirlenmesinde iki aşamalı yol takip edilmektedir (Çizelge 3.1) (Kırkan, 2005).

Çizelge 3.1. Plan oluşturma aşamaları (Kırkan, 2005)

1. Aşama (Formun oluşturulması)	2. Aşama (Fonksiyona Göre Plan Geometrisinin Oluşturulması)
Yapıdan beklenen plastik etki	Yükseklik ve fonksiyona uygun olarak seçilecek olan taşıyıcı sistem
Bu amaca hizmet eden yapı formu	Seçilen taşıyıcı sisteme uygun yapı çekirdeğinin konumlandırılması
Yapı yüksekliği	Yükseklik ve fonksiyona uygun görülen sirkülasyon şeması
Forma uygun plan düzenlemeleri	Çekirdeğin konumunun yeniden değerlendirilmesi

Yüksek yapılarda form

Yüksek yapılarda geometri binanın form ve yapısının oluşturmasında çok önemli ve kritik rol oynamaktadır. Şematik tasarım geometrileri yeni tasarım fikirleri gelişimine büyük ölçüde yardımcı olmaktadır. Bu paragrafta dikey değişim geometrileri ve yeni kavramların alışlagelmiş kavramlar dışında potansiyele sahip yeni genel mekânsal formların meydana getirilmesi anlatılmaktadır. Her bir geometrik şekillerin kendine has mimari ve yapısal özellikleri mevcuttur. Yüksek binalar da geometrik şekillere göre tasarlanabilirler. Bu araştırılan geometrilerde simetri şekillere odaklanılmıştır. Bir çokgenin köşesi başka bir çokgenlerin merkezi olabilmektedir (Park, Elnimeiri, Sharpe ve Krawczyk, 2004).

Konvensiyonel tipik bina formları yükseklikleri boyunca çoğu zaman prizmatik, konik, vb. olarak tanımlanabilir. Günümüzde ise bazı geleneksel olmayan dikey büküm ve eğrisel olarak başka şekillere dönüşümlerden oluşan formlar tasarlanabilmektedir (Park ve diğerler, 2004).

Yüksek yapılarda fonksiyon

Fonksiyonuna göre bakıldığında ilk yüksek yapıların ofis veya büro olarak inşa edildiği görülmüştür. Büyük şirket, holding ve bankalar daha da büyüdükçe ve bir güç-prestij olarak daha yüksek yapılara ihtiyaç duyulmuştur. Günümüzde de bu böyle devam etmekte olduğu söylenebilir. Fakat bunların yanı sıra dünyanın her bölgesinde kentleşme hızla gelişmekte ve insan nüfusu artmakta olduğundan konut ve otel tipli yüksek yapılarda inşa

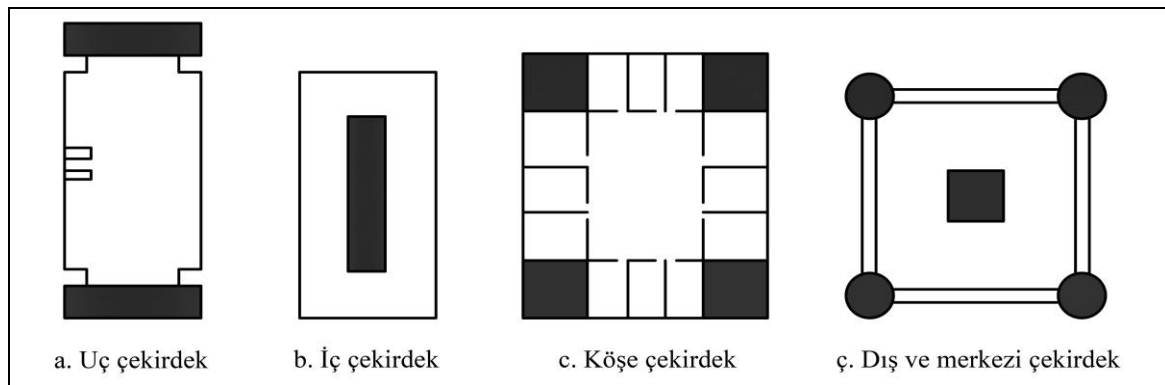
edilmektedir. İşlevsel olarak konut, ofis, otel ya da karma kullanımlı olan yüksek binalar buldukları kent parçası ve orada yaşayanlar üzerinde güçlü bir etki kurmaktadır.

3.2.3. Yüksek yapılarda çekirdek tasarımı ve düşey sirkülasyon

Yapı çekirdeği "düşey sirkülasyon unsurları" yani tuvaletler, kat ofisi, kat temizlik odaları, tesisat shaftları ve ışıklıkları içeren ve yatay sirkülasyonun gerçekleşmesine etken olan, bakım kolaylığı nedeniyle bir araya getirilmiş bina ögesidir (Demirtaş, 2007).

Özellikle yüksek binalardaki servis çekirdeği, yerçekimine karşı yük dayanıklılığı ve yanal yük dayanıklılığını sağlayan önemli bir yapısal unsurdur ve yapıya rijitlik kazandırır. Binanın yüksekliği arttıkça yanal yüklere karşı dayanımı da önem kazanmaktadır. Bu nedenle servis çekirdeği, çekirdeğin düzenlenmesi ve onun strüktürel karakteri son derece önemlidir. Servis çekirdeğinin ikinci önemli fonksiyonu; binanın, düşey sirkülasyon ve tesisat shaftlarını kapsayan hizmet gereksinimini karşılamasıdır. Bu amaçla tesisat en kısa yoldan katlara dağıtılmalıdır. Üçüncü olarak; yangın ve benzeri durumlarda güvenli bir şekilde insanların tahliyesini sağlamakta üstlendiği roldür. Bu nedenle yangına karşı önlemler alınmış olmalıdır (Demirtaş, 2007).

Yüksek yapılarda çekirdeğin formu ve yeri hakkında bir standart ve sınırlama yoktur. Farklı yerde ve farklı şekilde ola bilirler. Burada önemli olan, düşey elemanların yerini bina tasarlanırken bina için en uygun ve doğru şekilde yerleştirmektir (Kazımov ve Soyluk, 2015). Çekirdeğin kat planındaki konumu Şekil 3.1. de gösterildiği biçimlerde olabilir.



Şekil 3.1. Çekirdeğin kat planındaki yeri (Kırkan, 2005)

3.2.4. Yüksek yapılarda yangın güvenliği

Mimarın uygun düzeyde yangın güvenliğine sahip yapılar tasarlamadaki hedefleri, yanma ürünlerinden yani temelde ısı ve dumandan kaynaklanan tehlikeleri en aza indirgeyerek can güvenliğini ve mal varlığı korunumunu sağlamaktır. Mimar, hedefler ve bunların gerçekleştirilmesine yardımcı olan taktikler konusunda bilinçli olmalıdır. Bu hedeflere erişmede özel taktikler yoluyla alınan kesin önlemler ise yangın güvenliği bileşenlerini (yangın kapıları, sprinkler sistemi, kaçış merdivenleri v.b.) oluşturmaktadır (Arpacıoğlu, 2004). Erdoğan (2007) yangın yalıtımı yapmanın temel amaçlarını şöyle sıralamaktadır:

- Taşıyıcı sistemin stabilitesini koruyarak tahliyeye imkan sağlayacak sürede ayakta kalmasını sağlamak,
- Yangına dayanıklı malzemelerle bölmeler yaparak yangının yayılmasını önlemek,
- Yangından kaçış yollarının kullanılabilmesi için temiz hava, elektrik vb. sistemler açısından güvenli ortamlar sağlamaktır.

Yangın Güvenliği bakımından yüksek yapılarla alçak yapılar şu konularda farklılıklar göstermektedir (Arpacıoğlu, 2004):

- Yüksek yapılardaki insan yoğunluğu yangın yükünün artmasına ve yukarı katlara yükselen yangın riskinin artmasına neden olmaktadır;
- Bu tip binalarda yangından dolayı ölüm ve yaralanma riski fazladır ve olay yerine müdahale zaman alabilmektedir;
- Acil bir durum olduğu zaman yüksek yapı içindeki insanların tahliyesi asansörler ve acil çıkışlarla zaman almaktadır;
- Yüksek yapılarda yangına müdahale edebilmek organizasyon, teknoloji ve özel eğitilmiş personel gerektirmektedir;
- Yüksek yapılarda kırılan camlar tahliye edilen ve çevredeki insanları tehlikeye sokmaktadır;
- Yüksek yapılarda rüzgâr etkisi, yapının iç hava sirkülasyonu ve sıcaklık farkı duman ve sıcak havayı daha zarar verici yapabilmektedir;
- Yüksek yapıların bir çoğu günümüzde çelik malzeme kullanılarak yapılmaktadır. Çelik malzeme yangına ve korozyona karşı korunmamışsa yada zarar görmüşse büyük yıkımlara ve can kayıplarına neden olmaktadır. Kirişler genişleme yaparak sistemi

zorlamakta ve bağlantı noktalarından kopmalar görülmektedir ve bu deformasyon yüksek yapılarda daha fazla can ve mal kaybına neden olabilmektedir;

- Yüksek yapılarda cephe sistemi olarak sıklıkla kullanılan giydirme cephe sistemleri genellikle açılmayan pencerelerden oluşmakta ve yangın sırasında oluşan dumanın tahliyesinde sorun oluşturmaktadır;
- Yüksek yapılarda plan tipleri genellikle geniş ve açık planlıdır. Yangının yayılımı açısından risk oluşturur;
- Yüksek yapılarda kullanılan giydirme cephe sistemlerinde genellikle alüminyum malzeme kullanılması, özellikle geniş alanlı açık planlı yapılarda akustik sorunlar nedeniyle yanıcı ses yutucular kullanılması yangın riskini arttırmaktadır;
- Yüksek yapılarda kişi sayısı fazladır. Aynı oranda yanıcı atık oranı da fazla olmaktadır (kağıt, plastik vb. gibi);
- Yüksek yapılarda bilgisayar sistemleri ve dekorasyonda kullanılan plastik türevli malzemelerde duman yoğunluğu ve yanıcılık açısından daha fazla risk oluşturmaktadır.

3.2.5. Yüksek yapılarda cephe seçimi

Yüksek bina yapımında gelişen teknoloji, yapı ve yapım alanındaki gelişmelerle binaların strüktürel sistemlerinde yeni malzeme olan çelik kullanılmaya başlamasıyla ve yapıların hızla yükseldiği söylenebilir. Yeni strüktürel sisteme karşın bina cephelerindeki değişim 1950'leri bulmuştur. Yüksek bina gelişim süreci içerisinde cephe sistemleri çeşitleri aşağıdaki gibi oluşmaktadır (Erkekel, 2006).

Cephe sistemlerinde kullanılan malzemeler

Cephe malzemesi ve uygulanan yöntem yapının estetik görünmesine olanak sağlamaktadır. Estetik görünüm dışında yapının bulunduğu ortama uyum sağlaması ve seçilen cephe malzemesinin doğal etkenlere karşı dayanıklılığı da önemlidir. Su, nem, ısı, gün ışığı, rüzgâr, gibi dış etkenler cephe malzemelerinde olumsuz etkilere sebep olabilmektedir. Cephe sistemlerinde kullanılan malzemeler (Kurumahmut, 2012):

- Kâgir esaslı kaplama elemanlar
- Doğal taş esaslı kaplama elemanlar
- Çimento esaslı kaplama elemanlar

- Metal esaslı kaplama elemanlar
- Cam esaslı kaplama elemanlar
- Plastik esaslı kaplama elemanlar

Yüksek yapılarda tercih edilen cephe malzemeleri, çimento, metal ve cam esaslı kaplama elemanlarıdır.

Cephe sistemlerinin sınıflandırılması

Cephe sistemleri özelliklerine göre bir çok grup altında toplanabilir. Bu gruplardan biri olan yapısal açıdan cephe sistemlerinin sınıflandırılması aşağıdaki gibi ikiye ayrılır:

a) Taşıyıcı cephe sistemleri

b) Taşıyıcı olmayan cephe sistemleri

a. Taşıyıcı cephe sistemleri: Yüksek yapılar için kullanılan ilk cephe elemanları masif, kâgir ve taş duvarlardan meydana gelmekteydi. Bu duvarlar güvenliği sağlama, yağmur etkilerinden korunma ve ses yalıtımı gibi fonksiyonel açılardan olumlu özelliklere sahip olmalarına rağmen yapı yükseldikçe duvar kalınlığının da artırılması zorunluluğu, kullanılan alanların azalması gibi açılardan olumsuz sonuçlar doğurmaktaydı. Ayrıca yapımları uzun zaman almakta ve maliyet bakımından da pahalı malzemelerdir. Günümüzde bu tür duvarlar, yalnızca az katlı, otel, motel veya konut gibi yapılarda kullanılmaktadır (Sev, 2001).

b. Taşıyıcı olmayan (giydirme cephe) sistemleri: Giydirme cepheler, yapı taşıyıcı sisteminden bağımsız olup yapı dış yüzeylerine giydirilen, yük taşımayan ama yük ileten elemanlardan oluşan, dış örtü sistemleridir. Kendi ölü yüklerini ve rüzgâr yüklerini montaj noktalarından yapı taşıyıcı sistemine aktarırlar. Giydirme cephe sistemi, taşıyıcı kısımlarını oluşturan yatay ve düşey profillerin meydana getirdiği karolaj aralarına metal, granit, cam gibi malzemelerin doldurulmasıyla oluşturulur (Emregül'den aktaran Kurumahmut, 2012).

Giydirme cepheler

Giydirme cepheler, hafif ve kalıcıdır. Binanın dış kabuğunu oluşturan giydirme cephe, cam panellerden oluşan ve dış mekânla görsel bağlantıyı sağlayan vizyon kısım ile opak ya da cam panellerden oluşan spandrel kısım adı verilen parapet bölgesinden oluşmaktadır (Erkekel, 2006).

Çift katmanlı cepheler

Çift kabuklu cephe, geleneksel cam cephelerden daha düşük bir ısı geçirme katsayısına sahiptir. Böylece ısıtma ve soğutma maliyetlerinde önemli tasarruflar sağlar. Ayrıca, bu sistemlerle rüzgâr basıncı kontrol edilerek katlarda pencere açılmasına ve binanın doğal havalandırılmasına olanak tanınmaktadır (Eşsiz ve Özgen, 2004). Özellikle büro yapılarında çalışanlar buldukları mekânın iklimsel koşullarına müdahale ederek doğal havalandırma yaptırabilmektedir. Böylece hasta bina sendromu'nun da ortadan kaldırılmasına yardımcı olmaktadır (Yanık, 2007).

Akıllı yapı cepheleri

Akıllı yapı cepheleri çevresel koşullara yanıt vererek binaların daha etkin olmasına olanak sağlayan sistemlerdir. Tepkimeli olarak dış koşullara uyum sağlar ve böylelikle kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayarak konfor koşullarını sağlarken enerji ihtiyacını minimumda tutar. Çevresel koşullara cevap verebilmek için (Altın ve Orhon, 2014):

- “akıllı” özelliklere ya da fonksiyonlara sahip olması,
- “akıllı” malzemelerle üretilmiş olması,
- teknolojinin sunduğu olanaklarla bütünleştirilerek kullanıcı ihtiyaçlarına maksimum derecede cevap verebilmesi,
- enerjiyi verimli bir şekilde kullanması beklenir.

Bu sistemlerde güneş ve rüzgâr enerjisinden aktif ve pasif olarak yararlanma gibi yöntemler önem kazanmaktadır.

3.2.6. Yüksek yapılarda güneş kontrolü

Güneşin bazen yararlı, bazense kaçınılması gereken bir kaynak olduğu düşünüldüğünde binanın bu kaynağı gerektiğinde kullanarak yararlanması, gerektiğinde ise korunabilmesi için uygun güneş kontrolü sistemlerine yer veren bir tasarım ürünü olması gerekmektedir. Cam bir yüzeyden güneş ısı kazanımı oldukça önemlidir ve bu etki gecikme olmadan hissedilmektedir. Bina içinde ısıtmanın istenmediği zamanlarda güneş kontrol elemanları kullanılarak, pencerelerin ısı etkisinin şekillendirilmesi olanaklı olmaktadır (Taştan, 2012). Camlı yüzeylerde güneş kontrolünü sağlayabilmek için uygulanan yöntemler uygun yönelme, camlı yüzeylerin alanı, kullanılan cam tipi ve özellikleri, gölgeleme ve güneş kontrol elemanlarının tasarım ve kullanımı başlıkları altında toplanabilir (Soysal, 2008).

Uygun yönelme; Binanın tasarım aşamasında uygun yönelmesi ve mekânların buna bağlı olarak organizasyonu, binanın güneş kontrolü ve gölgeleme açısından performansını etkiler (Soysal, 2008).

Camlı yüzey alanı; İstenmeyen ısı kazancı veya kaybını önlemek için camlı yüzeylerin toplam alanı, bina alanının %10-15 ini geçmemesi gerekmektedir (Soysal, 2008).

Kullanılan cam tipi ve özellikleri; Camın ısı geçirme direncinin opak bileşenlere göre daha düşük olması kabuktan konveksiyon yolu ile gereksiz ısı kazanç ve kayıplarının artmasına neden olur. Güneş kontrolü ve ısı korunumuna yönelik olarak yaygın olarak kullanılan camlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Soysal, 2008):

- Isı Soğuran (Renkli) Camlar (*Heat Absorbing-Tinted Glass*)
- Yansıtıcı (*Reflektif*) Camlar
- Düşük Emisiviteli (*Low-E*) Camlar
- Seçici Geçirgen (*Spectrally Selective*) Özellikteki Camlar
- Polyester Film Kaplamaları
- Isı Aynası (*Heat Mirror*) Cam
- Camlar arası Boşlukta Asal Gaz Kullanımı
- Akıllı Camlar (*Smart, Switchable Glazing*)

Renkli cam güneş gölgelemenin yerini tutmamakla birlikte renklendirmenin en iyi etkisi ısı geçişini yaklaşık %20 azaltması olarak ifade edilebilir. Bu oran sıcak iklimlerin serin koşulları ve ılıman iklimlerin yaz koşulları için yetersizdir. Renklendirme ısıyı soğurur ve böylece dış duvarlar ısınır. Ancak ışınım iç mekânları ısıtır ve konforun sürmesi için havanın soğutulması gerekir. Sıcak cam ısıyı iletir, bu nedenle soğutma yükü hala yüksektir. Ayrıca, renklendirme gün ışığını keserek iç mekân kalitesini etkiler (Yeang, 2012).

Yansıtıcı camlar ise, güneş girişini, renkli camlar kadar görünümü etkilemeden azaltabilir. Fakat bu çözüm hem kısa dalga ısı hem de uzun dalga ışık geçişlerini azaltır. Buda kışın yararlı ısı kazanımının azalmasına ve yıl boyunca yapay ışığın doğal ışığın yeterli olabileceği zamanlarda da kullanılmasına neden olacaktır. Buna karşın yansıtıcı camlar, ısı kazanımının istenmediği ve dış gölgeleme araçlarının kullanımının fiziksel olarak mümkün olmadığı durumlarda, özellikle batı cephelerinde yararlı olabilir (Yeang, 2012).

Düşük yayımlı camlar, ışığı ısıdan daha büyük oranda geçirerek doğrudan ısı kazanımını azaltır. Isıyı mekân içine geri yansıtarak ısı kayıplarını azaltır ve saydam camla aynı görünümde. Bu nedenle, güneş ışığının istendiği, ama güneş ısı kazanımlarının azaldığı durumlarda yararlıdır (Yeang, 2012).

Fotokromik camlar, elektrokromik camlar, termokromik camlar, holografik camlar ve sıvı kristallerin kullanıldığı camlar akıllı cam grubu içinde tanımlanmaktadır. Cam stabil olarak kullanımın ötesinde çevresel etkilere tepki vererek dış ortam koşullarına karşı kendini uyum sağlayacak şekilde değiştirmektedir. Akıllı camların, dış ortamdan gelen ışık, elektrik akımı, sıcaklık, elektrik alanı gibi uyarılar karşısında; geri dönüşümü olacak şekilde renk ve saydamlık değişir. Bunun sonucu olarak da ışık geçirgenlikleri değişir (Soysal, 2008).

Yüksek binalardaki giydirme cephelerde kullanılan saydam malzemelerin başında da cam gelmektedir. Binalar yükseldikçe, yüksekliğe bağlı olarak artan meteorolojik etkenler ve geniş cephe yüzeyleri, normal boyutlardaki binalarda görülmeyen yüksek rüzgâr yükleri, yatay hareketler ve ısıl genleşmelere neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yüksek binaların giydirme cephelerinde normal camlar kullanılamamakta, yerine renkli, reflekte ve

normal cama göre 4 kat daha fazla dayanımlı camlar kullanılmaktadır. Bu camlar güvenlik camları olarak da adlandırılan “lamine” ve “temperli” camlardır (Kırkan, 2005):

Temperli Cam; cam plağın ısıtma bölümüne döner silindir platformlar üzerinde girip, yüzey ısısı 620 °C’ye kadar arttırılır. Gerekli ısıya ulaşan cam daha sonra, eğer cam şekilli ise kalıp bölümüne girer. Isıtma sisteminde yumuşayan cam plağa burada istenen şeklin verilmesinden hemen sonra, cama ani soğuk hava verilerek şoklanır. Bu işlem yatay ve düşey olarak yapılabilmektedir. Böylece camın yüzeyinde bir gerilme oluşur. Bu gerilme temperli cama normal camdan 4 kat daha fazla mukavemet kazandırır (Kırkan, 2005).

Lamine Cam; iki cam arasına “PVB” (*polivinil bütral*) konulması suretiyle yapılmaktadır. Camlar eğer şekilli ise şekillendirildikten sonra aralarına PVB konulur. Sonra belli bir ısıya kadar ısıtılmak suretiyle PVB ve camlar birleştirilir. Lamine camın temperli camdan daha pahalı olması, Türkiye’de temperli camın kullanımını daha yaygın hale getirmiştir (Kırkan, 2005).

Camın mukavemetinin yanında %85’ini meydana getirdiği cephenin güneş kontrolünü de sağlamalıdır. Bu da camın renk ve ışık yansımaları, ışık geçirimi, güneş enerjisi aktarımı ve ısı geçirgenlik katsayısı-gölgelenme emsali parametreleri ile belirlenir (Kırkan, 2005).

3.3. Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistem

Binanın içsel ve dışsal yüklere karşı davranışından ortaya çıkan sorunların çözümünde en önemli faktör taşıyıcı sistem tercihidir. Alçak yapılarda taşıyıcı sistem seçeneği fazlayken yapılar yükseklik sınırlarını zorladıkça taşıyıcı sistem alternatifleri de kısıtlı hale gelir (Harmankaya ve Soyluk, 2010).

Yüksek bir binada taşıyıcı sistem, büyük miktarda düşey ve yatay yüklerin etkisi altında kalmaktadır (Sev, 2001). Yer çekiminin neden olduğu düşey yükler, düşey strüktür elemanları tarafından toplanıp zemine ve temellere aktarılır (Benli, 2005). Bu aktarmanın dengeli olması için, her katta yüklerin düşey taşıyıcılara aktarıldığı bölgeler düzenli olmalıdır. Üst katlardan gelen yükler alt katlara iletildikçe, taşıma kapasitesi arttırılır ve kesitler büyütülür (Sev ve Özgen, 2009).

3.3.1. Taşıyıcı sistem malzeme seçimi

Yüksek yapı tasarımında malzeme seçiminde öncelikle malzemenin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmelidir. Bu değerlendirmede özel çevre koşulları, şantiye koşulları, nakliye ve depolama olanakları da dikkate alınmalıdır. Yüksek yapılar kullanılan malzemeler açısından, betonarme, çelik, kompozit ve karma yapı olarak sınıflandırılabilir (Koç, Gültekin, Durmuş ve Dikmen, 2009).

Betonarme yüksek yapılar

Betonarme, betonun demir çubuklarla güçlendirilmesiyle oluşur. Betonarmenin bulunuşu yapı endüstrisinde önemini ve kullanımını büyük ölçüde arttırmıştır. Her formda dökülebilmesi ve doğası gereği çeliğe kıyasla yangına çok daha dayanımlı olması sayesinde, mimarlar ve mühendisler, betonarmeyi farklı ve estetik bina formlarını üretmek için kullanmışlardır. Bunların yanı sıra, çelik yapıyla karşılaştırıldığında, betonarme yapı, yüksek binalarda sıkça karşılaşılan sorunlardan biri olan ve bina kullanıcıları tarafından hissedilen rüzgâr kaynaklı salınımı doğal yapısı gereği daha iyi sönümler. Betonarme, teknolojik ilerlemelerle dayanım artışı ve yüksek seviyelere pompalanabilmesinin sağlanmasıyla, yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin hepsinde kullanılabilir (Günel ve Ilgın, 2010). Bugüne kadar yapılmış en yüksek betonarme bina 828 m yükseklikte Dubai'de inşa edilen Burj Khalifa binasıdır (Resim 3.1).



Resim 3.1. Burj Khalifa Binası (URL-16)

Çelik yüksek yapılar

Çeliğin taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanımı, 1885’de 55 m yüksekliğindeki *Home Insurance Building* (Chicago) ve 1889 yılında 300 m yüksekliğindeki *The Eiffel Tower*’ın (Paris) inşası ile dikkat çekmiştir. Yapısal çeliğin dayanım/ağırlık oranındaki üstünlüğü, nakliye, montaj ve uygulama kolaylığı, dayanım ve eleman en-kesit seçimlerinde sunulan geniş yelpaze ile yangın ve paslanmaya karşı dayanımın geliştirilmesiyle, 1990’lı yılların sonuna kadar “en yüksek” unvanını almış binaların hepsinin taşıyıcı sistemi çelik olarak tasarlanmıştır. Çelik taşıyıcı sistemli *Willis Tower (Sears Tower)* (Chicago, 1974), 442 m yüksekliğiyle en yüksek bina ünvanını 1974’ten 1998’e kadar korumuştur (Resim 3.2) (Günel ve Ilgın, 2010).



Resim 3.2. Willis Tower Binası (URL-17)

İlk defa 1889 yılında kullanılan çelik malzeme günümüzde yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çeliğin yaygın olarak kullanılmasının nedenleri yapım sürecinin hızlı oluşu, açıklıkların kolay geçilebilmesi, projede yapılabilecek onarım ve düzenlemelere imkân vermesi, yapı ağırlığının az oluşu nedeniyle uygun olmayan zemin koşullarında temelin sorunsuz inşa edilmesine olanak tanınması, olumsuz hava şartlarından çok fazla etkilenmediği için, inşası sırasında “kayıp gün” sorununu aza indirmesidir (Ardıç’dan aktaran Koç ve diğerleri, 2009).

Kompozit yüksek yapılar

Çelik ve betonarmenin beraber kullanılmasıyla oluşan kompozit taşıyıcı sistemler, çok yüksek binalarda 1970 yılından önce nadir olarak görülürken *Chrysler Building* (New

York, 1930), *Seagram Building* (New York, 1958), 1970'li yıllardan sonra sıkça kullanılmaya başlanmıştır (Günel ve Ilgın, 2010).

Taşıyıcı sistem elemanlarının bir kısmının çelik, bir kısmının betonarme olması veya eleman bazında yapısal çeliğin ve beton/betonarmenin birlikte kullanılması ile oluşan kompozit binalar, çeliğin yüksek strüktürel dayanımı, betonun yangın dayanımı ve rijitliği gibi her iki malzemenin üstünlüklerini birleştirir (Günel ve Ilgın, 2010).

2015 yılında tamamlanan 632 m yüksekliğindeki Shanghai Tower (Shanghai) binası en yüksek kompozit taşıyıcı sistemli binadır (Resim 3.3).



Resim 3.3. Shanghai Tower Binası (URL-18)

Betonarme, çelik ve kompozit olarak dünyanın en yüksek 200 binasında kullanılan malzeme oranı Şekil 3.2'te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Yüksek yapılarda kullanılan malzeme oranları (Coşkun, 2006)

Rijit çerçeve sistemler ile başlayan yüksek bina taşıyıcı sistem kümesi zamanla gelişerek, perdeli (kafes perdeli ve perde dubarlı) çerçeve, mega kolon (mega çerçeve, uzay kafes) ve mega çekirdek, yatay perdeli çerçeve ile tüp sistemlerin de katılımıyla çok daha yüksek binalara olanak tanımıştır (Günel ve Ilgın, 2010).

Yüksek bina taşıyıcı sistemleri (Günel ve Ilgın, 2010):

- Rijit çerçeve sistemler
- Kirişsiz döşemeli sistemler
- Çekirdek sistemler
- Perde duvar sistemler
- Kafes perdeli çerçeve ve Perde duvarlı çerçeve sistemler (Perdeli çerçeve sistemler)
- Mega kolon (Mega çerçeve, Uzay kafes) ve Mega çekirdek sistemler
- Yatay perdeli çerçeve sistemler (Dirsek perdeli çerçeve sistemler)
- Tüp sistemler
- a) Çerçeve-tüp sistemler
- b) Kafes-tüp sistemler
- c) Demet-tüp sistemler

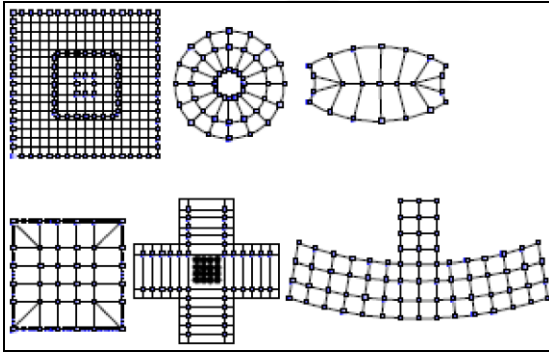
3.3.2. Rijit çerçeve sistemler

Rijit çerçeve sistemler, çelik ve betonarme binalarda görülür. Bu sistem, yüksek bina tasarımında, gerek yanal gerek düşey yüklere dayanım sağlamak amacıyla uzun zamandır kullanılmaktadır. Rijit çerçevelenme, birbirine bağlanan kolon ve kirişlerin aralarındaki açılardan yük etkisi altında değişmeyecek bir konumda tutulabilmesi prensibi üzerine kurulmuştur. Dolayısıyla, doğal monolitik davranışından ötürü, betonarme, bu sistem için ideal bir malzemedir. Çelik binalar için ise rijit çerçeveleme, kolon ve kiriş birleşimlerinin takviye edilerek sağlamlaştırılması sonucunda elde edilir (Günel ve Ilgın, 2010). Resim 3.4’da rijit çerçeve sistemin kullanıldığı bina örneği gösterilmiştir.



Resim 3.4. Lever House Binası (URL-19)

Yüksek yapılarda çerçeve sistemler genellikle rijit bağlantılarla oluşturulmuş kolon ve kiriş sistemlerdir (Şekil 3.3). Betonarme ve çelik malzemenin kullanılabilirdiği bu taşıyıcı sistemlerin başlıca avantajı planlamada pencere, kapı gibi boşluklarının düzenlenmesinde serbestlik sağlamasıdır (Harmankaya ve Soyluk, 2010).



Şekil 3.3. Çerçeve sistem şemaları (Harmankaya ve Soyluk, 2010)

Çerçeve sistemlerde cephe özellikleri strüktürel elemanlarının ve boşluk oluşturan elemanların binadaki boyutsal oranına, binaların cepheye yaptığı etki miktarına göre değişmektedir. Çerçeve sistemlerde en sık kullanılan cephe alternatifleri, düşey, yatay ve nötr etkinin hâkim olduğu cephelerdir (Harmankaya ve Soyluk, 2010):

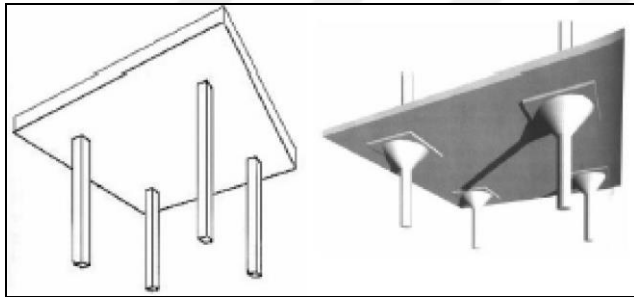
- a) Yatay Etki Oluşumu: Görsel bakımdan kirişlerin bina cephesinde düşey elemanlardan daha baskın bir biçim oluşturmasıdır. Bu oluşumda pencerelerin de sürekliliğinin kesilmemesi şartı ile cephenin yatay olarak algılanması sağlanmaktadır.
- b) Düşey Etki Oluşumu: Bina cephesine yansıyan kolonların boyutları, baskınlığı ve boşlukların organizasyonu ile oluşturulmaktadır.

c) Nötr Etki Oluşumu: Bina cephesindeki kolon, kiriş ve pencerelerin ritmik tekrarlarının aynı baskınlıkta olması sonucu gerçekleştirilmektedir.

Kısıtlar: Çerçeve sistemlerde, kolon kiriş kullanım oranları, kolonların zayıf düşmesine neden olmayacak ve burkulma etkisi oluşturmayacak şekilde biçimlenmelidir. Bu gereklilik de tasarımı kısıtlamaktadır (Harmankaya ve Soyluk, 2010).

3.3.3. Kirişsiz döşemeli sistemler

Genellikle her iki doğrultuda eşit açıklıklı, düzgün sıralanmış, kare veya dairesel kesitli kolonlar üzerine oturtulan betonarme plaklardan oluşan döşeme sistemleridir. Düz plak döşemelerde betonarme plaklar düşey yükleri kirişler olmaksızın doğrudan kolonlara ve perde duvarlarına aktaracak şekilde tasarlanmaktadır. Eğer bu aktarma noktalarında kolonlarda başlıklar olursa bu durumda mantar döşemeler oluşur. Düz plak döşemelerde 4,5-7,5 m arasındaki açıklıklar, kolon başlıklarının kullanılmasıyla 9-10 m'ye kadar genişlemektedir (Çırpı, 2013).



Şekil 3.4. Düz plak döşeme ve mantar döşeme (Çırpı, 2013)

Kirişsiz döşemeli sistemler (Resim 3.5), betonarme binalarda görülür. Kirişler olmaksızın sabit kalınlıkta döşeme plağı ve kolonlardan oluşan bu sistemde betonarme perde duvarlar da yer alabilir. Kolonların döşeme ile birleşiminde oluşan kesme kuvvetlerin yarattığı zımbalama etkisini azaltmak amacıyla, kolonların üst ucuna kolon başlıkları veya guseler konulabilir. Kirişsiz döşemeli sistemler, verimli ve ekonomik olarak yaklaşık 25 kata kadar olan binalarda kullanılır. 25 kat ve üzeri binalarda, bu sistem, rüzgâr ve deprem kaynaklı yanal yüklere karşı yeterli rijitliği gösteremez (Günel ve Ilgın, 2010).



Resim 3.5. Yapım aşamasında olan kirişsiz döşeme sistemli bina (Deaton, 2005)

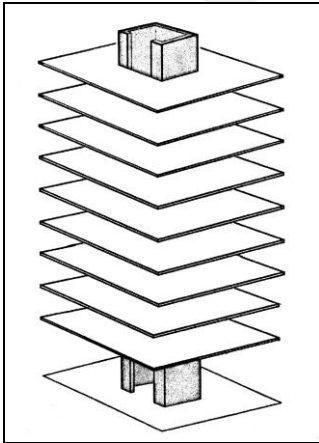
3.3.4. Çekirdek sistemler

Çekirdek sistemler de betonarme binalarda görülür (Resim 3.6). Bu sistem, düşey ve yanal yüklerin tamamını taşıyan betonarme çekirdek perde duvardan oluşur. Çekirdek perde duvar genellikle açık çekirdek olup kat kirişi ve döşemesiyle kısmi kapalı çekirdek haline gelir. Yanal yüklemeye altında, yapıdaki muhtemel burulmaya karşı ideal olan kapalı çekirdek davranışına, kısmi kapalı çekirdeklerle yaklaşılmaya çalışılır. Kısmi kapalı çekirdek, çekirdeğin açık kısmının, kesme kayması ve eğilmeye karşı yeterli mukavemeti gösterecek rijitlikteki kiriş veya kat döşeme plağı tarafından desteklenmesiyle sağlanır (Günel ve Ilgın, 2010).

Çekirdekli sisteme sahip yüksek binalarda yüklerin tamamı veya büyük kısmı tek bir çekirdek veya binanın çeşitli bölgelerindeki çekirdekler yardımıyla taşınır. Bu yapılarda çekirdeğe yardımcı olarak çerçeve, perde duvar veya kablolu asma sistemler kullanılabilir. Çekirdekler yatay yüklere karşı zeminden konsol olarak çıkan büyük kirişlerdir. Çekirdekteki eğilme ve kayma gerilmeleri kesitte burulma olmayacağı varsayımı ile kutu kesitli bir kirişinkine benzer. Bu sistem aynı zamanda düşey yükleri de taşıdığından, üzerine etkiyen basınç kuvvetleri öngerme etkisi yapar. Böylece yatay kuvvetlerle oluşan eğilmeye bağlı çekme gerilmeleri için ayrıca bir sistem tasarlanmasına gerek kalmaz. Bu durum özellikle ağır beton çekirdekler için geçerlidir ve normal gerilmeler çekirdek malzemesinin kayma dayanımını artırır (Koç ve diğerleri, 2009).



Resim 3.6. Betonarme çekirdekli yapı (URL-20)



Şekil 3.5. Çekirdek sistem (Günel ve Ilgın, 2010)

Çekirdek sistemler, verimli ve ekonomik olarak yaklaşık 20 kata kadar olan binalarda kullanılır. 20 kat üzeri binalarda, bu sistem, rüzgâr ve deprem kaynaklı yanal yüklere karşı yeterli rijitliği gösteremez; ancak çekirdek perde duvar kalınlığının normalden çok büyük olması ile yaratılan “Mega çekirdek sistemler” (Bölüm 3.3.7) ise verimli ve ekonomik olarak 40 katın üzerindeki çok yüksek binalarda kullanılabilir (Günel ve Ilgın, 2010).

3.3.5. Perde duvar sistemler

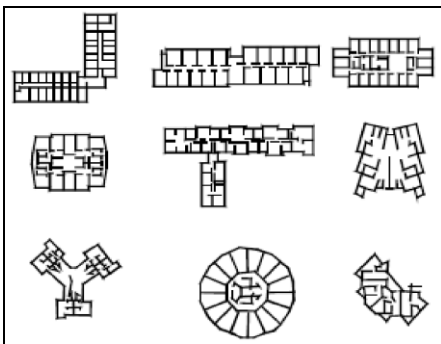
Perde duvar sistemler betonarme binalarda görülür (Resim 3.7). Boşluklu (delikli) veya boşluksuz olabilen betonarme perdeler, kolonlar olmaksızın yapıya gelen bütün yanal ve

düşey yükleri karşılar. Perde duvar sistemler, tabanda ankastre mesnetli düşey bir konsol gibi düşünülebilir. Konsol davranışının doğası gereği, komşu katlar arasındaki göreceli yanal ötelenme, üst katlarda diğer katlara kıyasla daha fazladır. Dolayısıyla çok yüksek binalarda, yapı tepesindeki yanal ötelenmeyi kontrol altına almak zorlaşır (Günel ve Ilgın, 2010).

Perde duvarlı sistemler, zemine ankastre düşey bir konsol gibi düşünülebilir. Konsol davranışının doğası gereği komşu katlar arasındaki göreceli yanal ötelenme, üst katlarda diğer katlara kıyasla daha fazladır. Dolayısıyla çok yüksek binalarda, yapı tepesindeki yanal ötelenmeyi kontrol altına almak zorlaşır. Bu sistemlerde duvarlar genellikle 4,5- 7,5 m aks aralıklarıyla düzenlenir. Döşeme sistemine de bağlı olan bu açıklıklar, öngerilmeli betonarme döşemelerde 10 m'ye kadar çıkmıştır (Özgen ve Sev, 2000).



Resim 3.7. Betonarme perde duvarlı yapı (URL-21)



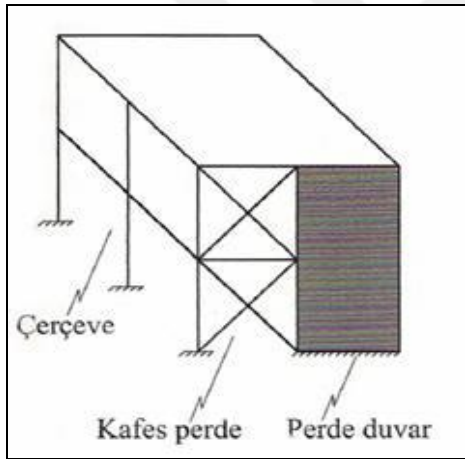
Şekil 3.6. Perde sistem şemaları (Koç ve diğerleri, 2009)

Perde duvarlar, rüzgâr ve depremlerin oluşturduğu yatay yüklere karşı koymak için strüktürün güçlendirilmesinde en sık kullanılan sistemlerdir (Balcı, 2013). Bu sistemler strüktürel açıdan etkin ve ekonomik olarak 35 kata kadar olan binalarda kullanılır. Daha

yüksek binalarda, bu sistem rüzgâr ve deprem kaynaklı yanal yüklere karşı yeterli rijitliği gösteremez (Günel ve Ilgın, 2010).

3.3.6. Perdeli çerçeve sistemler (Kafes perdeli çerçeve ve perde duvarlı çerçeve sistemler)

Rijit çerçeve sistemler, 30 kat üzeri binalar için kolonlarda meydana gelen eğilmenin büyük deformasyonlara neden olmasından dolayı yanal yükler karşısında yeterli etkinliği gösteremez. Bu durumda, rijit çerçeve sistemler kafes perde (düşey kafes) veya perde duvarlar eklenerek binanın toplam rijitliği artırılabilir. Yanal yüklere karşı oldukça etkili ve aynı zamanda ekonomik olan bu sistem, “perdeli çerçeve sistem” olarak adlandırılır (Günel ve Ilgın, 2010).



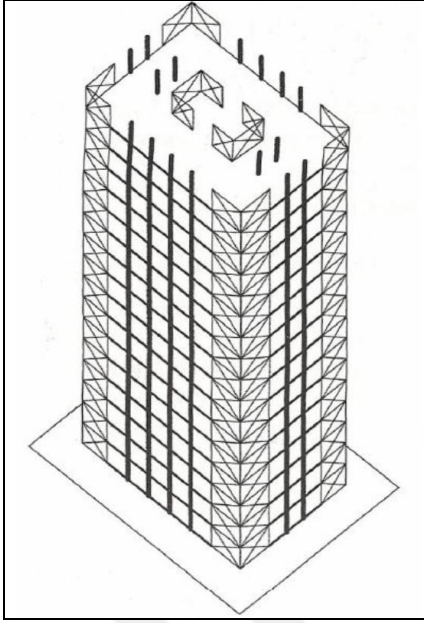
Şekil 3.7. Rijit çerçeve, kafes perde ve perde duvar (Günel ve Ilgın, 2010)

Perdeli çerçeve sistemler ikiye ayrılabilirler:

- Kafes perdeli çerçeve sistem
- Perde duvarlı çerçeve sistem

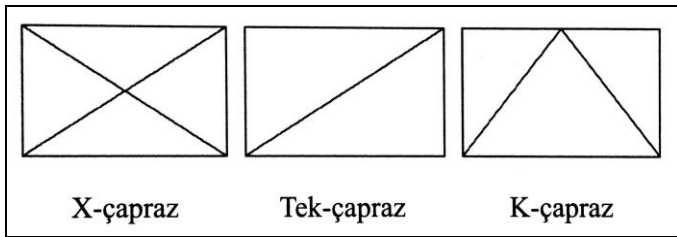
Kafes perdeli çerçeve sistemler

Kafes perdeli çerçeve sistemler, rijit çerçeve ve çapraz destekli çerçevelerden (düşey kafeslerden) oluşur (Şekil 3.8). Kafesi oluşturan çaprazlar tek veya çift olur. Kolon, kiriş ve çaprazlar genellikle çelik, bazen de betonarme veya kompozittir (Günel ve Ilgın, 2010).



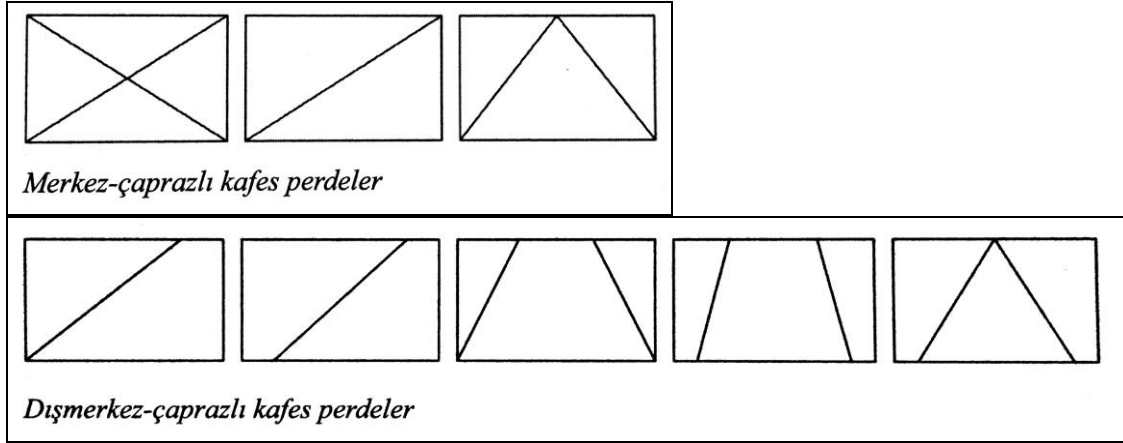
Şekil 3.8. Kafes perdeli çerçeve sistem (Günel ve Ilgın, 2010)

Mimari olarak kafes perdeler, “X-çaprazlı”, “Tek-çaprazlı” ve “K-çaprazlı” kafes perdeler olarak ayrılmaktadır (Şekil 3.9). Kafes perdelerin “X” ve “Tek” çaprazlıları, “K” çaprazlılara kıyasla mimaride engel teşkil eder ve buldukları açıklıkta görüş alanını azaltıp, kapı ve pencere yerleşimini zorlaştırır. Bu yüzden “X” ve “Tek” çaprazlılar, bölme duvarlar ile asansör ve merdiven kovaları gibi açıklık gerektirmeyen yerlerde tercih edilir (Günel ve Ilgın, 2010).



Şekil 3.9. Mimari olarak kafes perdeler (Günel ve Ilgın, 2010)

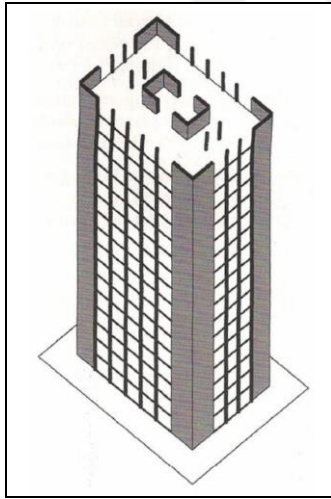
Strüktürel olarak ise, “Merkez-çaprazlı” ve “Dışmerkez-çaprazlı” kafes perdeler olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 3.10). Merkez-çaprazlı kafes perdeler, strüktürel olarak elastik, dışmerkez-çaprazlı kafes perdeler ise elastik ve inelastik sınırlar içinde yanal rijitliğe katkı sağlar (Günel ve Ilgın, 2010).



Şekil 3.10. Strüktürel olarak kafes perdeler (Günel ve Ilgın, 2010)

Perde duvarlı çerçeve sistemler

Perde duvarlı çerçeve sistemler, rijit çerçeve ve perde duvarlardan oluşur. Perde duvarlar genellikle betonarme, bazen de betonarme içinde yapısal çelikli kompozit olur. Kolon ve kirişler, betonarme, çelik veya kompozittir (Günel ve Ilgın, 2010).



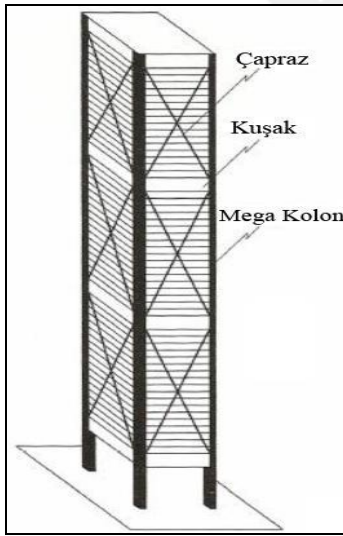
Şekil 3.11. Perde duvarlı çerçeve sistem (Günel ve Ilgın, 2010)

3.3.7. Mega kolon (Mega çerçeve, Uzak kafes) ve Mega çekirdek sistemler

Son 10 yıl içinde binalardaki yükseklik yarışı büyük bir hızlanma göstermiştir. Geçmişten günümüze uygulanan taşıyıcı sistemler ise strüktürel, malzeme, mimari ve fonksiyonel etkinlik gibi açılardan hedeflenen yükseklikleri karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Tasarımcılar daha az strüktürel malzeme kullanarak, daha etkin, estetik ve aynı zamanda

planlama açısından etkin, fonksiyonel ve esnek yapılar yapmaya yönelik çeşitli alternatifler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunun sonucunda geliştirilen ve uygulama alanı bulan en iyi sistem “mega çerçevesel ve çekirdekli” sistemlerdir (Çırpı, 2013; Söyek, 2015).

Bu sistemlerde mega kolonlar çok büyük miktardaki düşey yükleri karşılamakta, ancak yatay yüklerin karşılanması için, yapı yüksekliği boyunca tasarlanan perde/kesme duvarları, çekirdekler, yatay kafes kirişler, yatay perde duvarları ve yapıyı çevreleyen kuşaklar gibi strüktürel elemanlardan destek almaktadırlar. Mega kolonlar, düşey yükleri paylaşan ikincil kolonlar, çekirdek, yatay kafes kiriş/perde duvarları ve kuşaklar bir bütün halinde davranarak yapının yatay yük karşısındaki dayanımını sağlar ve döşeme yükünü azaltır. Yüksek yapıların taşıyıcı sistem tasarımındaki en son gelişmelerden biri olan bu sistemler, dünyanın süper yüksek yapılarının birçoğunda uygulanmış olup, giderek yaygınlaşmaktadır (Çırpı, 2013; Söyek, 2015).



Şekil 3.12. Mega çerçevesel sistem (Çırpı, 2013)

Mega kolon sistemler, bina yüksekliği boyunca süreklilik gösteren ve kesit alanları normalden çok büyük olan betonarme veya kompozit kolonlardan oluşur. Bu sistemde, düşey ve yanal yüklerin tamamı mega kolonlar tarafından taşınır. Mega kolon sistemde, yatay bağlantılar önem kazanır. Kat döşemelerinin rijit diyafram davranışı yataydaki bağlantıda yetersiz kalacağından mega kolonlar bina yüksekliği boyunca iki veya daha fazla seviyede olmak üzere en az bir kat derinliğindeki kuşaklarla bir birine bağlanır. Kuşaklara ek olarak bina yüzeyine yükseklik boyunca devam eden çaprazlar da yerleştirilebilir. Mega kolon sistemler, işlevleri ve görüntüleri itibarıyla, “mega çerçeve

sistem” olarak da adlandırılabilir. Mega kolon sistemlerde (Resim 3.8) mega kolonları destekleyen mega çaprazların olması halinde, sistem işlev ve görüntü itibariyle üç boyutlu bir kafes gibi düşünülebilir ve mega kolon veya mega çerçeve sistemin bir açılımı olan “uzay kafes sistem” olarak adlandırılabilir (Günel ve Ilgın, 2010).



Resim 3.8. The Center Binası (Mega Kolon) (URL-22)

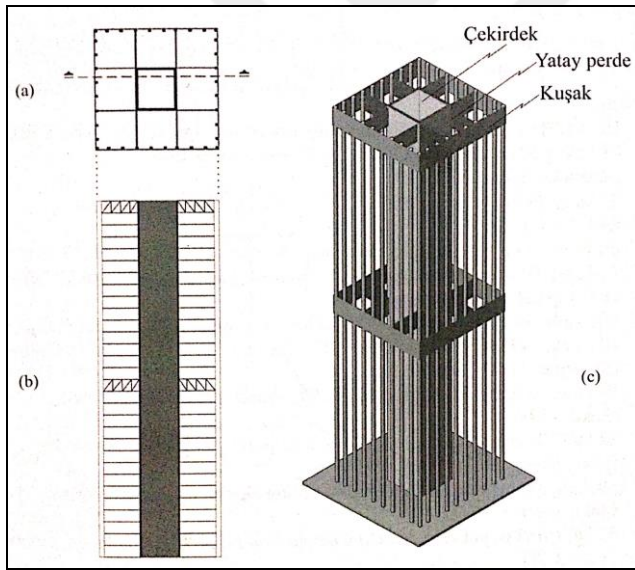
Mega çekirdek sistemler, kesit alanları normalden çok büyük olan betonarme veya kompozit çekirdek perde duvarlardan oluşur (Resim 3.9). Bu sistemde düşey ve yanal yüklerin tamamının mega çekirdek tarafından taşınması sayesinde, cephede kolon veya perde duvarlara ihtiyaç duyulmaz. Mega çekirdek sistemde, kat döşemeleri çekirdek tarafından taşınır. Kat döşemeleri, mega çekirdekten konsol olarak çıkar veya bina yüksekliği boyunca sürekli olmayan ve birkaç katta bir tekrar eden destekli kat döşemelerini mesnet alan kenar kolonlardan da destek alabilir (Günel ve Ilgın, 2010).



Resim 3.9. Aspire Tower Binası (mega çekirdekli yüksek yapı örneği) (URL-23)

3.3.8. Yatay perdeli çerçeve sistemler (Dirsek perdeli çerçeve sistemler)

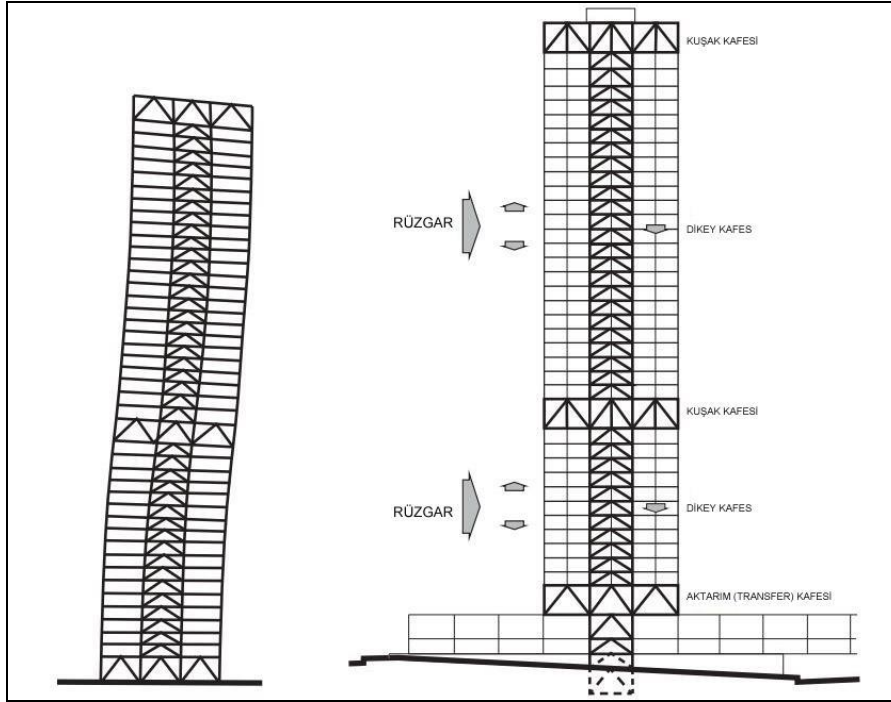
Yatay perdeli çerçeve sistemler, çekirdek perdeli (çekirdek kafes perdeli ve çekirdek perde duvarlı) çerçeve sistemlere, yapı yüksekliği boyunca bir veya daha fazla seviyede, çevre (dış) kolonlarla çekirdeği birbirine bağlayan yatay perdelerin eklenmesiyle geliştirilmiştir (Şekil 3.13). “Yatay perde”, yatay konumlandırılmış kafes perde (kafes kiriş) veya perde duvardan oluşur. İngilizcesi “*outrigger*” olan bu yapı elemanı, çekirdek perdenin çevre kolonlara dirsek şeklindeki yatay bir uzantısıdır. Dolayısıyla, “dirsek perdeli çerçeve sistem” olarak da adlandırılabilir. Yeterli etkinliğin sağlanabilmesi amacıyla en az bir kat derinliğinde ve eğilme rijitliği yüksek olan yatay perdeler, normal katlarda kullanıma engel teşkil etmemek amacıyla, genellikle yapı yüksekliği boyunca bir veya daha çok seviyede yer alan mekanik katlara yerleştirilir (Günel ve İlgin, 2010).



Şekil 3.13. Yatay perdeli çerçeve sistem: (a) plan, (b) kesit, (c) aksonometrik (Günel ve İlgin, 2010)

Yatay perdeler genellikle, çekirdek ve dış destek kolonları arasında yerleştirilen 1-2 kat yüksekliğindeki güçlendirici bağlantı elemanlarıdır. Balcı'ya göre “...iç çekirdek ile çevre çerçevenin birbirinden bu şekildeki ayrılması her bir eleman üzerindeki bağımsız direncin toplamına etki eden, devirme kuvvetine olan toplam strüktürel direnci azaltmaktadır.” (Şekil 3.14) (Balcı, 2013).

Bir ya da daha fazla katta yatay perdelerin kullanılması çekirdekten ya da tübüler strüktürlerden kaynaklanan sınırlamaların çözümü olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.14. Yatay perdeli çerçeve sistemlerin yatay yükler altında davranış (solda), yatay yük dağılımını gösteren kesit (sağda) (Balcı, 2013)

Yatay perdeli çerçeve sistemler; çelik, beton ya da kompozit sistemlerden herhangi biriyle kombine edilebilirler. Yüksek yapılar için etkin taşıyıcı bir sistem olarak bilinen yatay perdeler aynı zamanda mekân için fonksiyonel faydalar sağlar. Yatay perdeli çerçeve sistemler, verimli ve ekonomik olarak 40 katın üzerindeki ve çok yüksek binalarda kullanılabilir (Günel ve Ilgın, 2010). Bu tür taşıyıcı sistem özelliğine sahip betonarme malzeme kullanımlı olan dünyanın en yüksek yapısı Burj Dubai örnek gösterilebilir (Resim 3.10).



Resim 3.10. Burj Khalifa Binası (URL-16)

3.3.9. Tüp/Tübüler sistemler

Tüp sistem, ünlü yapı mühendisi Fazlur Rahman Khan tarafından 1960'lı yıllarda geliştirilen bir sistem olup yerden konsol olarak yükselen bir kolona benzetilebilir. İlk kez 43 katlı, 120m yüksekliğindeki *DeWitt-Chestnut Apartment Building*'de (Chicago, 1961) kullanılmıştır (Resim 3.11). Tüp sistemde, bina kabuğu yanal yüklere karşı üç boyutlu bir taşıyıcı sistem oluşturarak tübüler bir davranış sergiler. Tübüler tasarımda, taşıyıcı sistemin yanal yüklere karşı rijitliği,

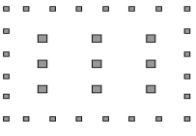
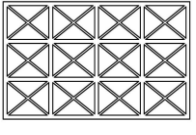
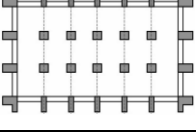
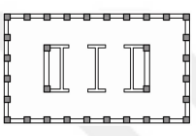
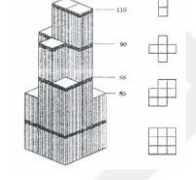
- çevre kolon sıklığının artırılması,
 - çevre kolonlarının bağlandığı çevre kirişlerin derinliğinin artırılması,
 - çekirdeğe perde (kafes perde veya perde duvar) ilavesi
 - çekirdeğin yerine iç tüp ilavesi (iç-içe tüp)
 - yapı yüzeyine kafes ilavesi (kafes-tüp)
 - birden fazla tüpün birleştirilmesi (demet-tüp)
- gibi çözümlerle artırılabilir (Günel ve Ilgın, 2010).



Resim 3.11. The Plaza on Dewitt binası (URL-24)

Tübüler sistemler, cephelerde sık kolonlardan oluşmuş, farklı geometrilerde yapılan strüktür sistemlerdir. Bu farklı formlar kullanılarak yapılmış binaların merkezlerinde bulunan çekirdek, genellikle yapının formundadır. Bugüne kadar kullanılan tübüler sistem çeşitleri Çizelge 3.2'de olduğu gibidir (Erkekel, 2006).

Çizelge 3.2. Tübüler sistem çeşitleri (Erkekel, 2006)

	ŞEKİL	SİSTEM-AÇIKLAMA
BOŞ TÜP TÜBÜLER SİSTEMİ		Çerçevesiz tüpler, düşey yüklere iç kolonlarla, yatay yüklere ise çerçeve ve konsol tüp davranışı ile karşı koymaktadır. Binaların dış cephelerini doğrudan etkileyen sistemlerdir. Bu sistemde düzenli ızgara boşlukları ve yüksek cephe girişleri, metal veya taş kullanılarak kaplanabilmektedir.
		Kafesli tüpler, Çerçeve tüp sisteme çapraz elemanlar eklenerek sistemin rijitliğinin artırılmasıdır. Yatay yüklerin taşınmasında kullanılan sistem, dış çerçevede yer alan kolonların aralarına yerleştirilen diyagonallerden oluşmaktadır.
İÇ BAĞLANTILI TÜP TÜBÜLER SİSTEMİ		Paralel kesme duvarlı tüp, planda perde duvarların eklenmesiyle yatay dayanımın ve rijitliğin arttığı bir sistemdir. Bu sistemde yapı perde duvarların gövde ve tüp duvarların başlık olduğu büyük bir kesit davranışı göstermektedir.
		Tüp içinde tüp, oldukça büyük bir merkezi çekirdeğin bulunduğu yüksek büro yapılarında kullanılmaktadır. Çekirdek duvarlarının şekillendirdiği bir iç tüp ve sık kolonlarla cephe kirişleri ızgarasının şekillendirdiği bir dış tüpten oluşan sistemdir.
		Modüler tüp, 1970 yılından sonra uygulanmaya başlamıştır. Tasıyıcı sistem birden fazla bağımsız tüpün bir araya getirilerek tasarlanması sonucu oluşmaktadır. Tüpler, katlarda farklı döşeme biçimlenmeleri ve cephede değişik düzenlemeler oluşturmak amacıyla istenilen katlarda kesilebilmektedir.

Tüp sistemleri üç sınıfa ayırabiliriz:

- Çerçeve-tüp sistemler
- Kafes-tüp sistemler
- Demet-tüp (modüler tüp) sistemler

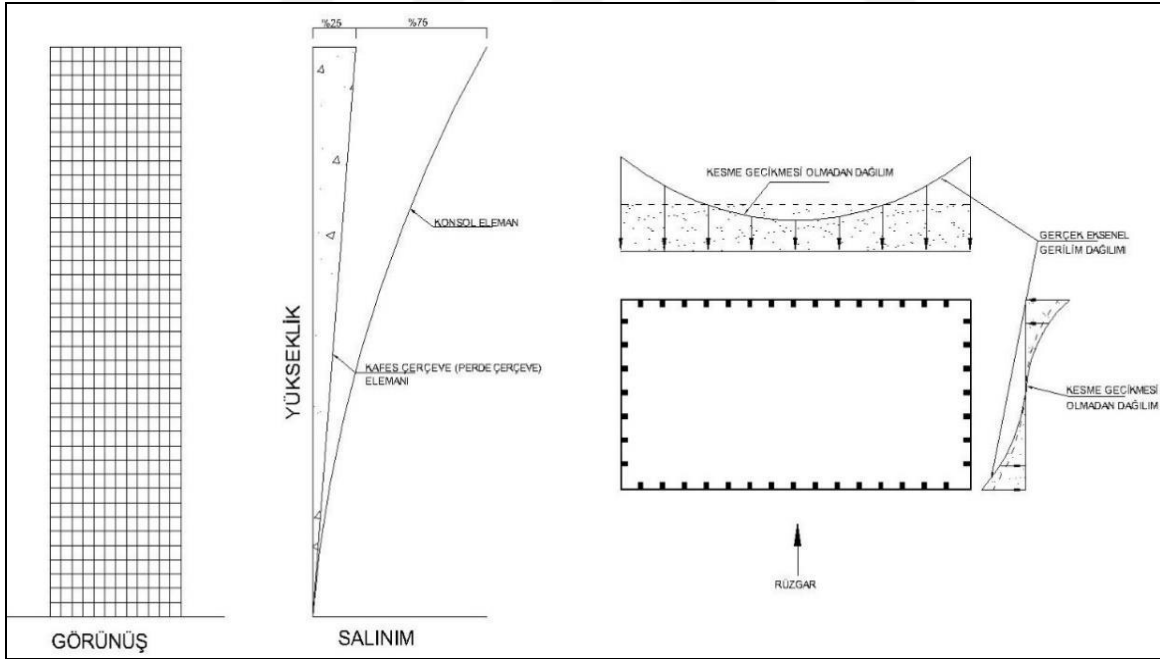
Çerçeve tüp sistemler

Tüp sistemlerin temelini teşkil eden çerçeve-tüp sistemler, rijit çerçeve sistemlerin evrimi olarak tanımlanabilir (Resim 3.12). Bu sistemler, perdeli (kafes perdeli ve perde duvarlı) çerçeve sistemin çok yüksek binalar için yetersiz kalması sebebiyle bir alternatif olmuştur. “*Vierendeel* tüp sistem” olarak da adlandırılan bu sistemin en belirgin özelliği, birbirilerine derin çevre kirişlerle (*spandrel beams*) bağlanan sık aralıklı (merkez açıklığı 1.5 m ile 4 m arasında) çevre kolonlarının (*closely spaced perimeter columns*) olmasıdır. Kolon aralığı açılmak istendiği takdirde çerçeve-tüp sistemin davranışının korunabilmesi amacıyla çevre kirişlerinin derinliğinin artırılması gerekir (Günel ve Ilgın, 2010). Yapı yüksekliği 40

kattan 110 kata kadar; kolon açıklıkları ise genellikle merkezde 3- 4,5 metre aralığındadır (Balcı, 2013).



Resim 3.12. Torre Agbar Binası (çerçeve-tüp sistem bina örneği) (URL-25)

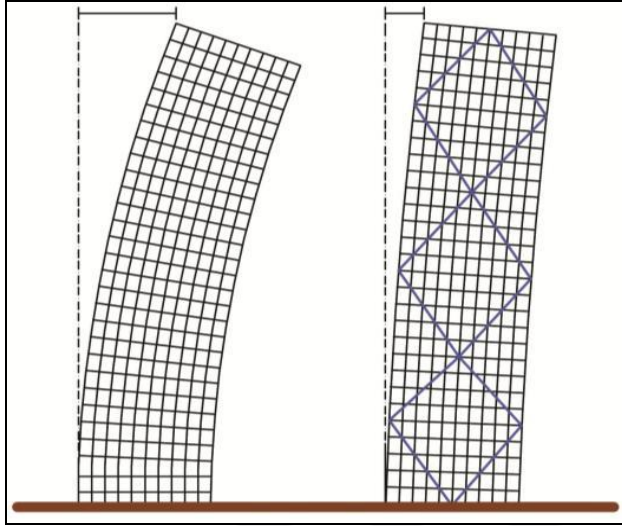


Şekil 3.15. Çerçeve tüp davranışı (Balcı, 2013)

Kafes-tüp sistemler

Tüp kavramının gelişmeye başladığı 1960'lardan sonra yapı yükseklikleri talepleri çerçeve tüp sistemin etkin olamayacağı kadar artmıştır. Çözüm olarak ise çerçeve tüp sistemin cephesine diyagonal mega çapraz elemanların eklenmesi ile sistem bir kafese (*truss tube*)

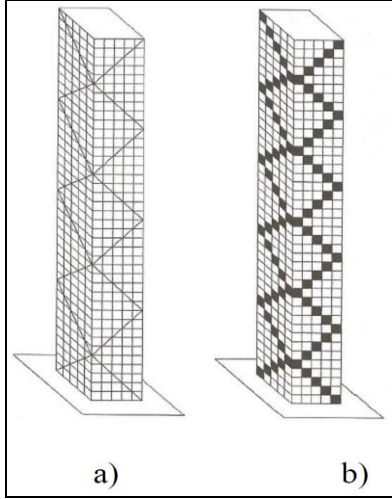
dönüştürülmüştür. Böylece dış yükler eğilme momenti yerine normal kuvvetlerle temele aktarılabilmiştir. Rijitliği arttırmak amacıyla kolon aralıkları arttırılmış ve daha yüksek binalar daha ekonomik olarak üretilebilmiştir (Şekil 3.16). Yapının yanal yükler karşısındaki davranışı ve deplasmanları tipik bir konsol ankastre çubuğuna benzer (Atasoy, 2014).



Şekil 3.16. Çerçeve tüp sisteme mega çaprazların eklenmesiyle yanal yerdeğiştirmelerdeki azalma (Atasoy, 2014)

Çelik kafes-tüp sistemli binalarda, bina yüzeyinde çokkatlı çaprazlar kullanılır (Şekil 3.17a). Betonarme kafes-tüp sistemli binalarda ise kolonların arasındaki açıklıklar, bina yüzeyinde çok katlı çapraz oluşturacak şekilde betonarme perde duvarlarla doldurulur (Şekil 3.17b) (Günel ve Ilgın, 2010).

Kafesli tübüler sistemin prensiplerinin betonarme ile de uygulayabilmek için çerçeve tübüler sistemde Şekil 3.17.b'de görüldüğü gibi uygulanarak kolon ya da ızgarlarla doldurulur. Bu uygulama rüzgar yükleri altındaki performansı arttırmaktadır. Balcı'ya (2013) göre çelik çerçeve kafesli tüple beraber sistemle gelen ek bir fayda ise; cephe çaprazlamasının, dış kolonlardaki yerçekimi yüklerinin eşitlenmesine hizmet etmesidir. Bunun temel tasarım ve eleman oranları üzerinde çok ciddi bir etkisi olmaktadır.



Şekil 3.17. a) çelik çapraz tüp sistem, b) betonarme çapraz tüp sistem (Günel ve Ilgın, 2010)

Çelik çapraz-ızgara-kafes-tüp sistemli bina örneği Resim 3.13'te, betonarme kafes-tüp sistemli bina örneği Resim 3.14'de ve kompozit taşıyıcı sistemli kafes-tüp bina örneği Resim 3.15'da gösterilmiştir.



Resim 3.13. 30 St. Mary Axe Binası (URL-26)



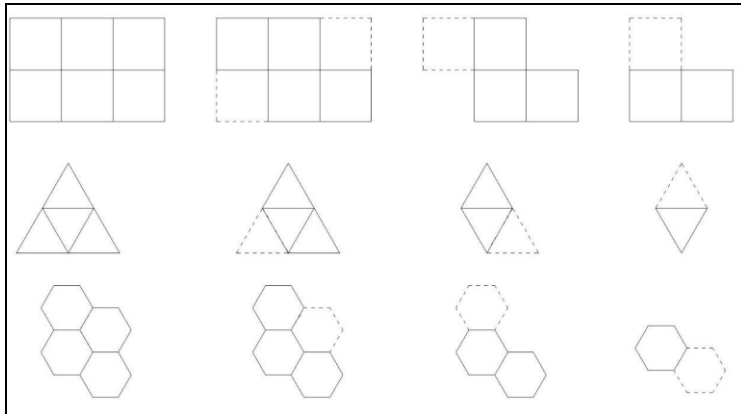
Resim 3.14. Onterie Center Binası (URL-27)



Resim 3.15. Bank of China Tower Binası (URL-28)

Demet-tüp (modüler tüp) sistemler

Demet-tüp sistemler, birden fazla tütün (çerçeve-tüp ve kafes-tüp) oluşturduğu tüpler kümesidir (Şekil 3.18). Demet-tüp sisteminin avantajları içinde; sistemdeki tüplerin farklı yüksekliklerde sonlanabilmesi ile mimari tasarımda serbestlik sağlanabilmesi, çerçeve-tüp sistemlere kıyasla daha fazla bina yüksekliklerine daha geniş kolon aralıkları ile ulaşabilmesi ve yükseklik/en oranının kontrol altına alınabilmesi vardır (Günel ve Ilgın, 2010).



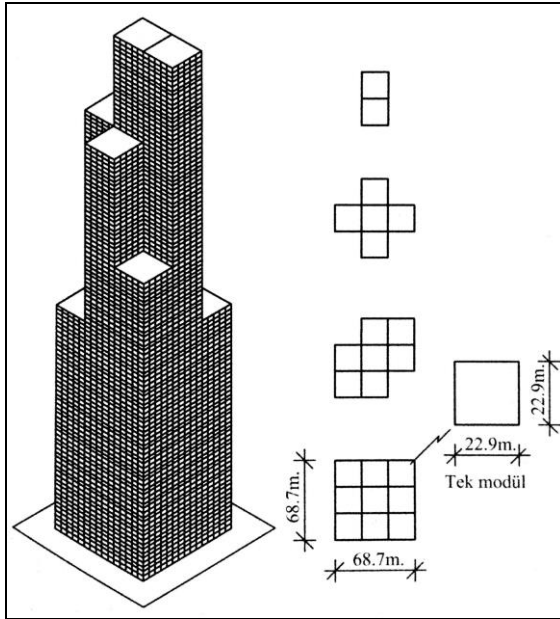
Şekil 3.18. Tüp modülleri (Balcı, 2013)

Demet tüp sistemler 70 kat ile 80 kat arasındaki betonarme yüksek binalar için ekonomik çözümler olarak görülmektedir (Benli, 2005). Ancak, tüplerin ortak duvar üzerindeki çerçeve elemanları nedeniyle, kullanım alanında istenmeyen kolonlara neden olmakta; bu da tasarıma olumsuz bir etki getirmektedir (Çırpı, 2013).

Bu sistem çelik konstrüksiyonlar için olduğu kadar betonarme ve kompozit konstrüksiyonlarda da uygulanmaktadır. Dünyanın en yüksek yapıları arasındaki, 1971’de yapılmış olan Willis Kulesi (eski adıyla Sears Kulesi) bu sistemle yapılmış çelik bir yapıdır (Resim 3.16, Şekil 3.19). Bu yapı her biri birbirine paralel dört rijit çerçeveye birbirine bağlanan 9 adet tüpten oluşmaktadır (Özgen ve Sev, 2000). Demet tüp sistemin kullanıldığı diğer bir örnek de Chicago’daki 57 katlı betonarme taşıyıcı sistemli One Magnificent Mile Binası (1983)’dir (Resim 3.17, Şekil 3.20).



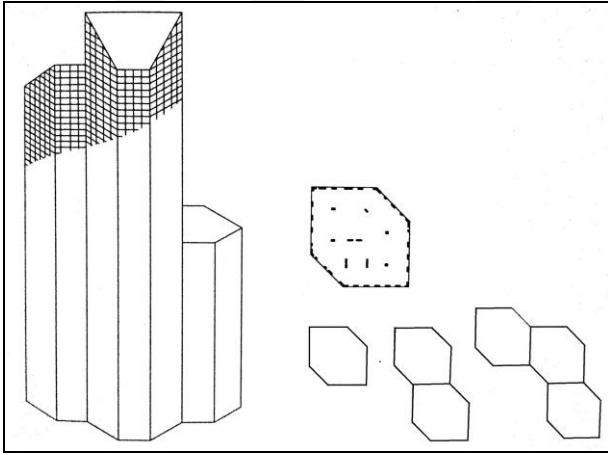
Resim 3.16. Willis Tower Binası (URL-17)



Şekil 3.19. Willis Tower Binası (Günel ve Ilgın, 2010)



Resim 3.17. One Magnificent Mile Binası (URL-29)



Şekil 3.20. One Magnificent Mile Binası (Günel ve Ilgın, 2010)

3.4. Yüksek Yapılarda Rüzgâr ve Deprem (Yatay) Yükleri

Yüksek yapılar için en önemli performans göstergelerinden biri olan taşıyıcı sistemler düşey ve yatay yüklere göre hesaplanır. Yüksek bir binayı rüzgâr ve deprem gibi yatay yükler daha fazla etkilemektedir. Binanın kütlesine, şekline ve inşa edildiği bölgeye bağlı olarak yüksek bina tasarımında önemli rol oynayan rüzgâr ve deprem kaynaklı yanal yüklerin tahmini, düşey yüklere nazaran daha zordur (Günel ve Ilgın, 2010).

Rüzgâr yükleri

İlk gökdelenlerin yapımında kullanılan malzeme ve taşıyıcı sistem ağırlığı, düşey kuvvetleri yanal kuvvetlere kıyasla daha kritik hale getirdiği için, önceleri rüzgâr yükleri

önemsenmezken, zamanla yapı malzemelerindeki dayanım/ağırlık ve yeni taşıyıcı sistemlerdeki kat-alanı/strüktürel-ağırlık oranları arttıkça, yapının toplam ağırlık ve rijitliği de azalarak rüzgâr yükleri önem kazanmıştır (Günel ve Ilgın, 2010). Yüksek binalarda rüzgâr etkisi Bölüm 4’te geniş şekilde anlatılmıştır.

Günümüzde, taşıyıcı sistemlerdeki gelişmeler ve yüksek dayanımlı malzemeler sayesinde öncüllerine kıyasla yükseklik/ağırlık oranının artmasıyla rijitliği azalan yüksek binalar, rüzgârdan çok etkilenir hale gelmiştir. Rijitliğin azalması ile yanal ötelenmeye olan hassasiyet ve dolayısıyla rüzgâr yükleri altındaki salınım artar. Bina dışından ve alt katlardan fark edilemeyen salınım, binanın üst katlarında kullanıcıları rahatsız edebilir. Yüksek binaların yanal salınımlarını kontrol altına almak için, mimari, strüktürel ve mekanik tasarım yaklaşımlarından yararlanılır (Günel ve Ilgın, 2010).

Yüksek yapılardaki rüzgâr yükleri sadece çok büyük bir yapı yüzeyinde etki göstermekle kalmaz, aynı zamanda büyük yüksekliklerde daha büyük yoğunlukla etki eder ve yapı tabanında daha büyük moment kolu oluşturur. Bu yapılarda yapının rüzgâr altındaki hareketi ve rüzgâr tarafından uygulanan yükün detaylıca hesaplanması ve değerlendirilmesi gerekir (Balcı, 2013).

Deprem yükü

Depremler, yeryüzü tektonik plakalarının birbirine göreceli hareket etmeleri sonucunda yer kabuğunda kırılma olması durumunda açığa çıkan enerjinin yerkürede dalgalar halinde yayılmasıdır. Yer kabuğunun kırılması, fayları oluşturur. Faylarda zamanla oluşan gerilme birikimleri de ani kaymalara ve enerji açığa çıkmasına neden olur. Yeryüzü kabuğundaki sismik hareket sonucu oluşan enerjinin yayılan dalgaları bina temeline tesir ederek bina kütlelerinde deprem yükünü oluşturur. Deprem yüklerinin belirlenmesinde, yapı özelliklerinin yanı sıra geçmiş yıllara ait deprem kayıtları da büyük önem taşır. Rüzgâr yüküyle kıyaslandığında, deprem yükü daha yoğun fakat daha kısa süreli bir karaktere sahiptir (Günel ve Ilgın, 2010).

Deprem yüklerine neredeyse her yerde maruz kalınabileceği ve aktif deprem bölgesinde yer alan bir yapının ömrü süresince küçük, orta ve büyük şiddetteki depremlerle

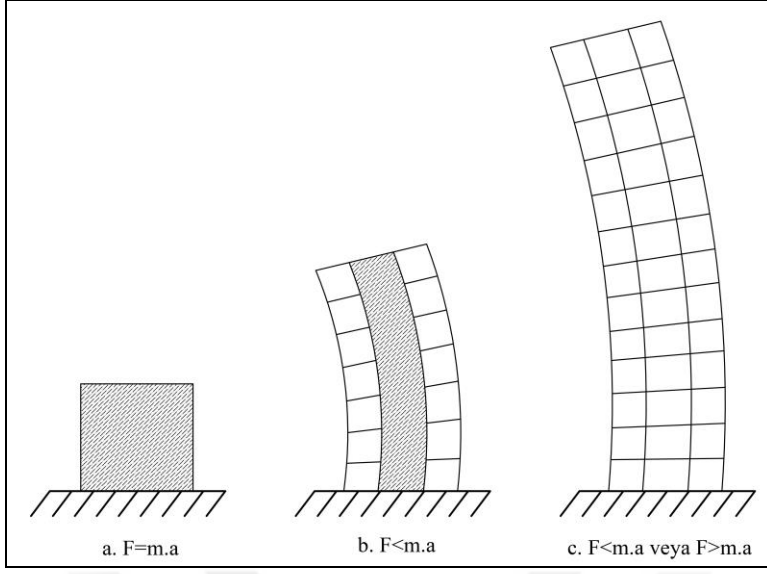
karşılaşabileceği düşünüldüğünde, felaketle sonuçlanabilecek çökmeleri engellemek için yapının deprem sırasındaki davranışı çok iyi bilinmelidir (Günel ve Ilgın, 2010).

Deprem etkisi veya gücünün ölçümü, "depremin şiddeti" veya "depremin büyüklüğü" yöntemleriyle yapılır. Deprem, canlılar, yapılar ve çevre üzerindeki etkileri dikkate alınarak ölçülmesine, "depremin şiddeti"; depremin sismograflar (sismometre, depremölçer) kullanılarak merkezinden açığa çıkan enerjinin dikkate alınarak ölçülmesine ise "depremin büyüklüğü" denir. Depremin şiddeti, herhangi bir bölgedeki etkisini belirtir. Depremin büyüklüğü ise merkezindeki gücü hakkında bilgi verir. Büyüklük ölçümüyle bir depremin yalnızca bir büyüklük değeri varken, şiddet ölçümüyle bir depremin çeşitli bölgelerde farklı şiddet değerleri vardır. Depremlerin "büyüklüğü" *Richter*, "şiddeti" ise *Mercalli* ölçeği ile belirtilmektedir (Günel ve Ilgın, 2010).

Depremin yapıda yarattığı yanal atalet kuvvetini (Günel ve Ilgın, 2010);

- Depremin büyüklüğü ve süresi,
- Yapının deprem merkezine uzaklığı,
- Yapının kütlesi, taşıyıcı sistemi, temel-zemin ilişkisi etkiler.

Deprem etkisiyle yapıda oluşan yanal kuvvetin büyüklüğü (F), yapının kütlesine (m), zemin ivmesine (a) ve yapının dinamik özelliklerine bağlıdır ($F \propto ma$) (Şekil 3.21). Zemin ivmesi, depremin ve zeminin özelliklerine göre değişir. Teorik olarak, yapı ve temelinin rijit olması durumunda, yapının ivmesi zemininkine eşittir. Bu durumda, Newton Kanunu'na göre, yapıya etkileyen yanal kuvvet (F), yapının kütlesi (m) ve zemin ivmesi (a) çarpımına eşit olur ($F=m.a$) (Şekil 3.21 a). Pratikte ise bu teorik durum, her yapının belli bir esnekliğe sahip olması sebebiyle gerçekleşemez. Esnekliği dolayısıyla deformasyona uğrayan ve bu yolla enerjinin bir kısmını tüketen bir yapıya etkileyen yanal kuvvet (F), yapının kütlesi (m) ve zemin ivmesi (a) çarpımından küçüktür ($F < m.a$) (Şekil 3.21 b). Yapı yüksekliği arttıkça esneklik de artar ve ivmenin daha alçak yapılarındakinden az olması beklenir ($F < m.a$); ancak doğal periyodu zemin dalgalarınıninkine yakın olan yapılar için, uzun süreli depremlerde yapıya etkileyen yanal kuvvet (F), yapının kütlesi (m) ve zemin ivmesi (a) çarpımından büyük olabilir ($F > m.a$) (Şekil 3.21 c). Dolayısıyla, deprem etkisiyle yapıda oluşan yanal kuvvet, sadece yapının kütlesi ve zemin ivmesinin değil, yapının dinamik özelliklerinin de bir fonksiyonudur (Günel ve Ilgın, 2010).



Şekil 3.21. Depremde bina davranışları (Günel ve Ilgın, 2010)

4. YÜKSEK BİNALARIN RÜZGÂR ETKİSİNE KARŞI GÖSTERMESİ GEREKEN PERFORMANS VE AERODİNAMİK TASARIM

Modern yüksek binalar sayısal tasarım ve optimizasyon araçlarının, yapım sistemleri ve teknolojilerinin ve malzeme biliminde yaşanan gelişimler sayesinde giderek daha da yüksek yapılabilmektedir. Bununla beraber her yenilik kendisiyle beraber birtakım zorluklar da getirmektedir. Etkin yapısal sistemler, yüksek mukavemetli malzemeler ve sonuç olarak artan yükseklik, aslında bina ağırlığında ve sönümlemede azalmaya ve narinlikte artışa neden olur. Benzer şekilde yükseklik ve narinlik arttıkça, binalar rüzgâr yüklenmesinde olumsuz etkilere sahip "esnekliğin" artmasına neden olmaktadır. Esnek yapılar ise binanın hareketine neden olan rüzgâr etkisinin yol açtığı titreşimlerden olumsuz etkilenir. Bu sebeple rüzgâr mimari ve strüktürel tasarımlarda önemli rol oynamaktadır.

Esnek yapıların işlevsel performansını sağlamak ve yüksek binaların rüzgâr kaynaklı hareketini kontrol etmek için farklı tasarım yöntemleri ve düzenlemeler mümkündür. Bu yöntemler arasında son derece önemli ve etkili bir tasarım yaklaşımı, mimaride aerodinamik tasarımlardır (İlgin ve Günel, 2007).

4.1. Rüzgâr Oluşumu ve Temel Özellikleri

Rüzgâr, hareket halindeki hava için kullanılan bir terimdir ve genellikle atmosferdeki havanın dünya yüzeyine yakın doğal yatay hareketinden meydana gelir. Yeryüzüne yakın hava hareketleri üç boyutludur ve yatay bileşeni düşey bileşenden çok daha büyüktür. Havanın yatay hareketi açısından, rüzgâr hızının kademeli olarak azalması ve yeryüzüne yakın yerde meydana gelen türbülans, mühendislik ve mimarlık açısından önem taşımaktadır. Yüzeğe yakın olmayan bölgedeki düşey hava hareketi ise meteoroloji açısından önemlidir (Tuncer, 2015). Rüzgâr aşağıda belirtilen yerlerde oluşabilir:

- Basınç gradyanının yüksek olduğu yerler,
- Yüksek, engebesiz tepe ve vadiler,
- Güçlü jeostrofik rüzgârların etkisi altında kalan bölgeler,
- Kıyı şeritleri,
- Kanal etkilerinin meydana geldiği dağ silsileleri, vadileri ve tepeler.

Topoğrafya ile ilişki de rüzgârın oluşumunda önemli bir faktördür (Tuncer, 2015).

4.2. Yüksek Binalarda Rüzgâr Etkisi

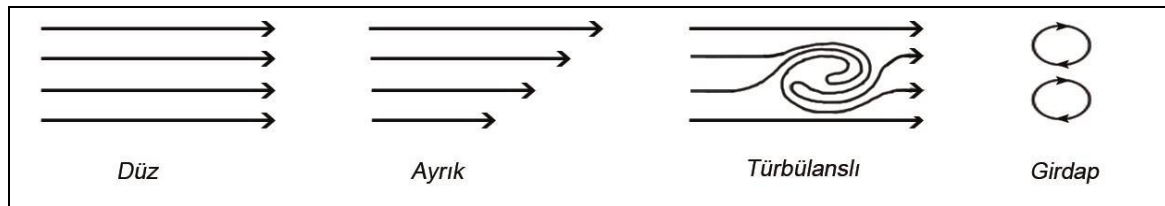
İlk gökdelenlerin taşıyıcı sistem ağırlığı, düşey kuvvetleri yanal kuvvetlere kıyasla daha kritik hale getirdiği için rüzgâr yükleri önemsenmemiştir. Zaman içinde taşıyıcı sistemlerdeki gelişmeler ve taşıyıcı sistem elemanlarının dayanım/ağırlık oranının artması ile yapı ağırlığı azalarak rüzgâr yükleri önem kazanmaya başlamıştır. Dolayısıyla günümüzde yapılan yüksek binalar öncüllerine oranla daha hafif, narin ve esnek olduğu için yanal ötelenmeye daha meyillidir ve rüzgâr yükleri altındaki salınımları, yüksek bina tasarımcılarının karşılaştığı en önemli sorunlardan birine dönüşerek tasarıma yön veren temel bir girdi olmuştur (Günel ve Ilgın, 2010).

Binaya etkileyen rüzgâr yükleri ve binanın buna tepkisi, aşağıdaki etkenlere bağlıdır (Günel ve Ilgın, 2010):

- Rüzgârın karakteri
- Bina boyutları ve geometrisi
- Bina kütle dağılımı ve rijitliği
- Taşıyıcı sistemin bina salınımlarını sönmleme kapasitesi
- Çevredeki topografik yapılanma

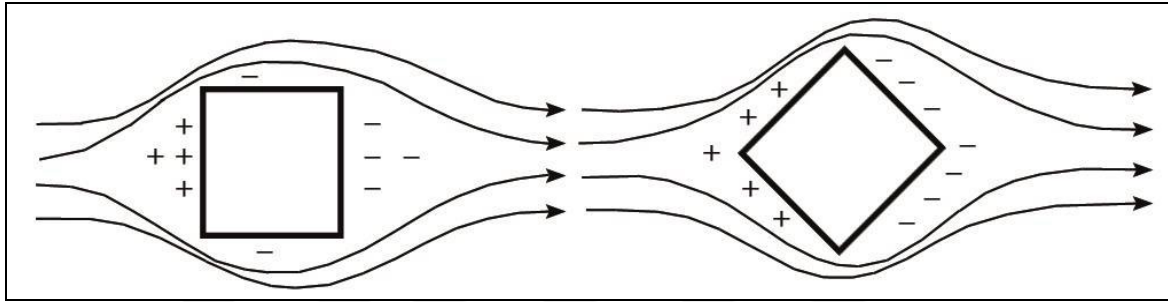
Rüzgâr ve yüksek yapı etkileşimi

Hava akımı basınç farklılıklarından doğal konveksiyon yolu ile oluşur. 4 temel hava akımı vardır. Bunlar; düzgün (*laminer*), ayırık, türbülanslı ve girdap akımlarıdır (Şekil 4.1) (ASCE 7-10, 2010). Dört durum, rüzgâr tünellerinde dumanla elde edilen deney sonuçlarına benzer şekilde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Hava akımı çeşitleri (Yücel, 2010)

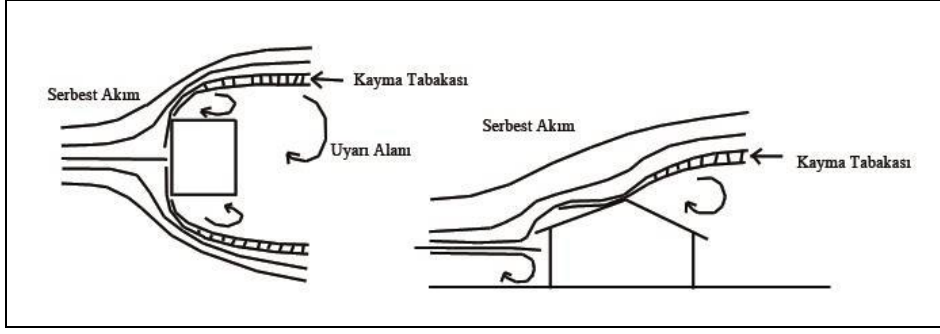
Hava akımı bina gibi sert bir engel ile karşılaştığı zaman, düzgün akım türbülanslı akım haline gelir. Hava, binanın rüzgârın geldiği yöndeki cephesine çarptığı zaman bina yüzeyinde pozitif bir basınç alanı (+) oluşturur. Rüzgârın geldiği yöne göre binanın arkasında kalan cephesinde ise çekmeden kaynaklanan negatif bir basınç alanı (-) yaratır. Bina çevresinde sapma gösteren hava da negatif basınç oluşturur (Şekil 4.2) (Tuncer, 2015).



Şekil 4.2. Binalar etrafındaki basınç alanları (Yücel, 2010)

Rüzgârın yönü, hızı ve şiddeti sürekli değişim halindedir. Değişimler genellikle düzensizdir, çok farklı frekanslar gösterir (Tuncer, 2015). Mimari aerodinamik içerisinde görülen oluşumların çoğunda ortalama için süreklilik yanında sürekli olmayan koşullar (zamandan bağımsız), ortalamadaki sapma kısmında yer alabilir. Yapı ile rüzgârın etkileşiminden ortaya çıkan farklı rüzgâr akış alanları söz konusudur (Şekil 4.3). Akış alanı 3 bölgeye ayrılabilir (Yücel, 2010);

- Serbest Akış Alanı: Serbest akış alanı cisme etki alanından uzakta ve cismin önünde yer alan bölgedir.
- Kayma Tabakası: Kayma tabakası, ortalama kayma oranının yüksek olduğu bölgelerdir. Akışkanın sınır tabakası, ortalama hızın katı sınırında "0"dan en dıştaki serbest akışa doğru değiştiği en önemli kayma tabakasıdır. Sınır tabaka bir yüzeyden ya da köşeden ayrıldığında, serbest akımdan ayrılarak bir kenarı uyarı veya geri dönen akım bölgesi üzerinde serbest bir kayma tabakası haline gelir.
- Uyarı Akış Alanı: Ayrılan kayma tabakasının arkasında oluşan uyarı bölgesi serbest akışa bağlı olarak düşük hızlı geri dönen girdaplar içerir. Akış çizgisinden oluşan şeklin birbirini takip eden köşelerinde karşılaşılan iki sınır tabaka da uyarı akımının bir türüdür.



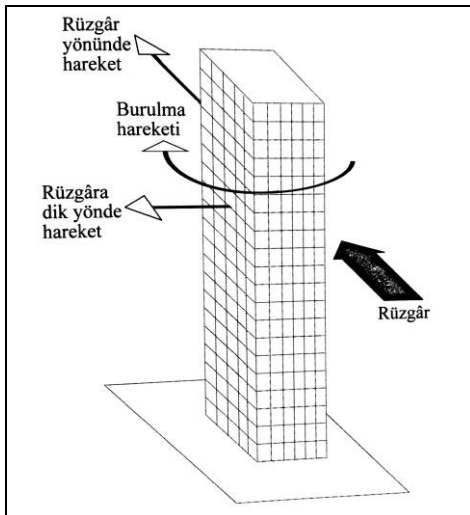
Şekil 4.3. Binalar etrafındaki akım alanları (Yücel, 2010)

4.3. Rüzgâr Kaynaklı Bina Hareketleri

Yüksek binaların rüzgâr kaynaklı hareketi temel olarak üçe ayrılır (Şekil 4.4) (Sasaki ve diğerleri, 2003):

- Rüzgâr yönünde hareket (*along wind motion*)
- Rüzgâra dik yönde hareket (*across wind motion*)
- Burulma hareketi (*torsional motion*)

Çoğu yüksek binanın rüzgâra dik yönde hareketi ve burulma hareketi, rüzgâr yönünde hareketinden daha kritiktir. Mevcut birçok şartname, binanın rüzgâra dik yönde ve burulma tepkisinin karmaşıklığından dolayı, yalnızca binanın rüzgâr yönündeki tepkisini belirlemeye yönelik prosedürler önermektedir. Rüzgâr yönünde hareket, rüzgâra dik yönde hareket ve burulma hareketleri aşağıda kısaca özetlenmiştir (Günel ve Ilgın, 2010).



Şekil 4.4. Yüksek binaların rüzgâr etkisi altındaki hareketleri (Günel ve Ilgın, 2010)

Rüzgâr yönünde hareket (*along wind motion*): Rüzgâr, binalardaki sürükleyici kuvvetleri belirtmek için kullanılır. Rüzgâr etkisi altında yapılar, ortalama rüzgâr yönünde hareket eden sürüklenme (rüzgâr yönünde) kuvveti de dahil olmak üzere aerodinamik kuvvetler yaşarlar. Rüzgâr sürtünmesinin neden olduğu yapısal tepki genelde rüzgâr tepkisi olarak adlandırılır. Rüzgâr hareketi boyunca rüzgâr yönündeki (binanın rüzgârın vurduğu yüzü) ve rüzgârlı yüzün (binanın arka yüzü) basınç dalgalanmalarından kaynaklanmaktadır (İlgin ve Günel, 2007).

Rüzgâra dik yönde hareket (*across wind motion*): Kwok, 1982'e göre çapraz rüzgâr hareketi, binanın yüzeyine dik etki eden rüzgâr anlamına gelir. Bu hareket rüzgârın bina düzlemine doğrudan yapmış olduğu bir harekettir. Modern yüksek binaların çoğunda tasarımında çoğunlukla binaya dik yönde gelişen bu rüzgâr etkisi, bina yönünde gelişen rüzgâr etkisinden daha baskındır (İlgin ve Günel, 2007). Örneğin, Jin Mao Binasının rüzgâr tüneli testi, çapraz rüzgâr yönündeki maksimum ivmenin, bina yönünde gelişen rüzgâr etkisine oranla yaklaşık 1.2 kat daha fazla olduğunu göstermiştir (Gu ve Quan, 2004).

Burulma hareketi (*torsional motion*): Yüksek binalar, rüzgâr etkileri altında, rüzgâr yönünde ve rüzgâra dik yönde hareketin yanı sıra burulma hareketi de yapar. Bina yüzeyine etkiyen bileşke rüzgâr kuvveti, yüzeyin geometrik merkezine gelir. Öte yandan, oluşan bileşke tepki kuvveti ise binanın rijitlik merkezinden geçer. Bu iki kuvvet aynı eksen üzerinde olmadığı takdirde oluşan dış merkezlik (*eksantrisite*), burulma momentlerine, dolayısıyla da burulma hareketine neden olur (Günel ve İlgin, 2010).

4.4. Rüzgâr Tüneli Testleri ve Özellikleri

Rüzgâr tüneli testi, temel olarak hızlanan havanın sabit cisim üzerinden hareket etmesi sonucu cisim ve hava arasında aerodinamik olarak ortaya çıkan değişikliklerin test edilmesi, incelenmesi ve gözlenmesine imkan veren bir düzendir (Kurç, Kayışoğlu, Shojaee ve Uzol, 2012). Rüzgâr tünelleri de farklı gereksinimlere göre farklı boyut ve özelliklerde yapılmaktadır. Kurç vd.'ne göre "...rüzgâr tünellerinde doğru ölçüm yapabilmek, rüzgâr tüneli deney odasındaki şartların gerçek atmosfer şartlarına yakın olmasıyla mümkündür". Bir rüzgâr tüneline ne tür deneyler ve ölçümler yapılacağı, hangi hızda gerçekleştireceği önemlidir.

Rüzgâr tüneli yönteminin amacı;

- Onaylanmış rüzgâr tüneli ölçümlerinin veya doğal rüzgârlı ortamda güvenilir tam ölçekli ölçümlerin aerodinamik rüzgâr etkilerini doğrulamak,
- Aynı ya da farklı rüzgâr tüneli testlerinde kabul edilebilir hatalar dahilinde tekrarlanabilir aerodinamik rüzgâr etkilerinin temel karakteristiklerini rüzgâr tüneli testlerinden elde etmek ve kaydetmek,
- Açık, şeffaf ve etkin bir yöntem kullanarak ölçülen aerodinamik rüzgâr etkisini iç kuvvetlere ve mimar ve mühendisler için gerekli tasarım amaçlı denklemlere dönüştürmektir.

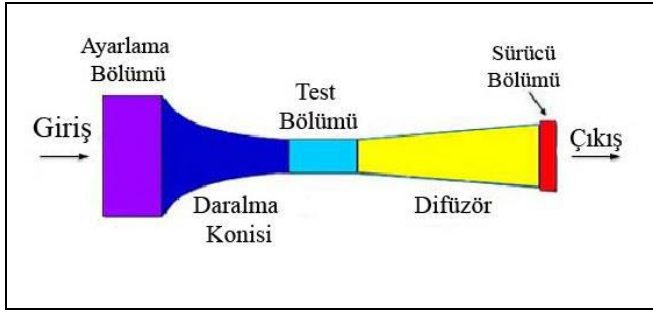
Ortalama rüzgâr profilleri, türbülans yoğunluğu, türbülans spektrumları ve türbülans çapraz spektrumları da dahil olmak üzere, seçilen rüzgâr tüneli akış özellikleriyle ilgili ölçümler için gerekli ama yeterli olmayan yaygın bir uygulama alanıdır. Akışı yeterince detaylı tanımlamak için akış özelliği ölçümleri, test edilen cismin aerodinamiğini etkileyen bütün akış alanını kapsamalıdır. Bu amaçla uygulamada yapılan ölçümler, karmaşık ve zaman alıcı olabilir, bu nedenle kısmen ve yeterli akışa dayalı tanımlanır (NIST 1655, 2005).

Binaların yüksekliği arttıkça rüzgâr yükü önem kazanır. Rüzgâr yükü genellikle 40 kat üzeri binalarda strüktürel tasarımı etkilerken, çok yüksek binalarda veya gökdelenlerde, deprem yükünün önüne geçerek mimari tasarımı da etkiler (Günel ve Ilgın, 2010).

Rüzgâr tüneli testinde, bina ve rüzgâr modellenir. Model ölçeği, bina ve rüzgâr tüneli büyüklüğüne göre belirlenir. Strüktürel tasarımda, rüzgâr tüneli testinden elde edilen sonuçlara göre rüzgâr yükü belirlenir. Rüzgâr tüneli testinin yapılamadığı durumlarda dinamik analiz yöntemine başvurulur. “Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Simülasyonu (*Computational Fluid Dynamics Simulations*)”, rüzgâr tüneli testinde alternatif olarak kullanılır (Günel ve Ilgın, 2010).

Güncel rüzgâr tüneli yaklaşımı

Rüzgâr tüneli genel olarak 5 bölümden oluşur (Dodson, 2005): giriş ve ayarlama bölümü, daralma konisi, test bölümü, difüzör ve sürücü bölümü (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Rüzgâr tüneli ana bölümleri (Dodson, 2005)

Giriş ve ayarlama bölümü, havanın tünele en az türbülansla verildiği yerdir. Keskin köşelerin akış üzerinde hataya sebep olmasını önlemek için genellikle köşeler yuvarlatılmıştır. Girişten hemen sonra bulunan "ayarlama" bölümü, havayı daralma konisine girmeden önce en uygun hale getirir. Giriş bölümündeki türbülans girdaplarını; petekler, elekler (*screens*) ve düzeltme kanalları yoluyla küçük türbülans girdaplarına böler (Tuncer, 2015).

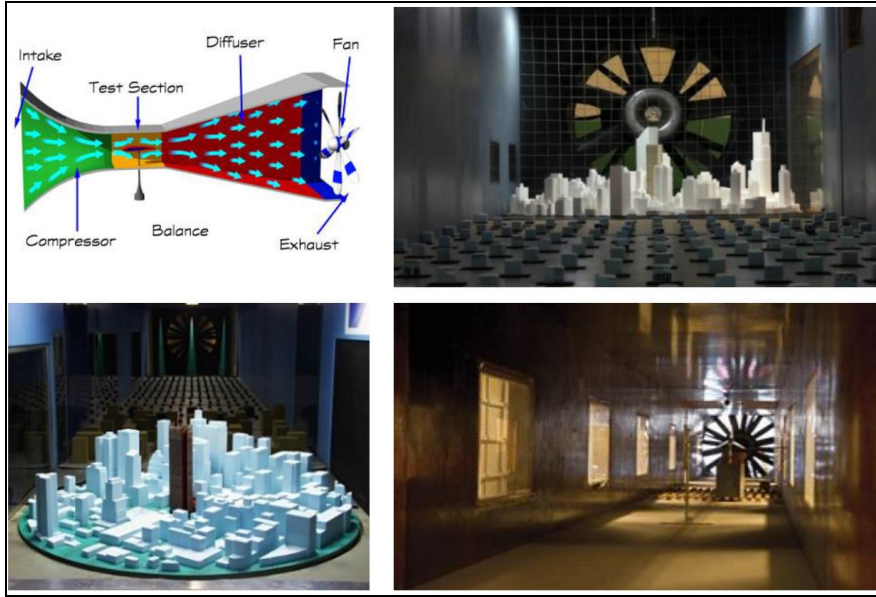
Darlma bölümü, girdaplar kabul edilebilir değerlerde olduğunda havayı homojen şekilde hızlandırıp düzelterek istenilen hıza ulaştırır. Düşük hızlı rüzgâr tüneli testlerinde "daralma" bölümü aynı en kesite sahip olmalı ve "ayarlama" bölümü, daralma konisinin en az yarıçapı kadar olmalıdır (Tuncer, 2015).

Test bölümü, "daralma" bölümünü takiben test eşyaları ve ölçüm aletlerini barındıran bölümdür. "Test" bölümü ideal olarak aynı ve sürekli hız profiline ve minimum türbülansa sahip olmalıdır. Sınır tabaka (*boundry layer*) ve kaldırma etkisini (*buoyancy effect*) dengelemek için bölüm boyunca en kesit yavaşça artırılmalıdır. Barlow, Pope ve Rae (1999) bu artışı sağlamak için duvarlara yaklaşık 0.5° dışarı doğru eğim verilmesini önermiştir. Ayrıca test eşyaları, en kesitin %80'inden az olmalıdır (Dodson, 2005).

Difüzörün amacı, "Test" bölümünü takip eden akışı genişletmek ve akış hızını düşürerek akış basıncını iyileştirmektir. Hava genişledikçe ayrılan akışı önleyerek yüksek kalitede akışı devam ettirmelidir (Tuncer, 2015).

Sürücü bölümü, fan ve düzeltme elemanlarından oluşur, modelin akış yönünde olmalı ve akıştaki girdapları önlemelidir. İki tane karşılıklı dönen fan, fan önündeki ve fan arkasındaki düşey kanatlar akışı homojen ve düzgün tutmak için kullanılır (Tuncer, 2015).

Yüksek yapı ve çevre yapıların modellenmesiyle oluşturulan 1:300 veya 1:500 ölçekli maketler yardımıyla, yapılara etkiyen rüzgâr yükleri rüzgâr tüneli ölçümleri ile belirlenir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Yüksek yapılara gelen rüzgâr yükleri için rüzgâr tüneli örnekleri (Tuncer, 2015)

4.5. Yüksek Yapılarda Rüzgâr Yükünü Kontrol Etme Yöntemleri

İnsan algısı ve bina kullanılabilirlik ölçütleri ışığında, rüzgâr kaynaklı rahatsız edici bina hareketlerini azaltmak amacıyla birçok teknik geliştirilmiştir. Rüzgâr kaynaklı dinamik bina tepkisi, global tasarım iyileştirmeleri ile kontrol edilebilir. Bu iyileştirmeler; yapı kütesinin artırılması (sismik yükleri artırması nedeniyle uygulanabilir olmayıp yüksek ek maliyet getirir), verimli bir taşıyıcı sistem kullanımı ile yapısal dayanımın artırılması, mimari aerodinamik iyileştirmeler, ve pasif, aktif, karma ve yarı aktif sönümleme sistemlerinin kullanılması olarak sıralanabilir. Bunların yanı sıra, cephe kaplaması, eğer uygun şekilde tasarlanırsa, hava koşullarına dayanım ve estetik görünüme katkısına ilave olarak önemli miktarda sönümleme sağlayabilir (İlgın, 2006).

4.5.1. Strüktürel yöntemler

Kütle ve dayanım, bina titreşim frekansını etkileyen iki önemli faktör olup binanın ne kadar salınım yaptığı ile doğrudan ilgilidir. Bu hareketi azaltmak için, bina kütesinin arttırılması olumsuz sonuçlarından dolayı pratik bir uygulama değildir. Öte yandan, bina dayanımını arttırmak, yani taşıyıcı sistem seçiminin doğru yapılması, en verimli tasarım yaklaşımlarından biridir (İlgın, 2006).

Yüksek binaların rüzgâr ve deprem kaynaklı yüklere dayanımı, yeni taşıyıcı sistemlerin tasarlanmasında belirleyici faktörlerden olup bu sistemler strüktür mühendislerinin bina yüksekliğini arttırırken bina deplasmanını kabul edilebilir sınırlar içinde tutma ve malzeme kullanımını azaltma yönündeki süreklilik arz eden çabaları ile evrimleşmiştir. Verimli bir taşıyıcı sistem seçimi, rüzgâr kaynaklı yanal ve burulma kuvvetlerine karşı yapısal tepkiyi kontrol etmek için etkili bir yöntem olabilir (İlgın, 2006). Rüzgâr yüküne karşı en verimli taşıyıcı sistemler, yatay perdeli çerçeve, çerçeve-tüp, kafes-tüp ve demet-tüp sistemler olup Bölüm 3.3'te detaylı olarak incelenmiştir.

4.5.2. Mekanik yöntemler

Yüksek bina tasarımında mühendisler, rüzgâr kaynaklı yanal yüklere karşı bina kullanılabilirlik konforunu değerlendirmek amacıyla yapının bir miktar doğal sönümlenme kapasitesi olduğunu kabul ederler. Binadaki gerçek sönümlenme düzeyi ölçülmesi zor bir büyüklük olup tepki seviyesi, taşıyıcı sistem tipi, cephe kaplaması ve yapı malzemesine göre değişkenlik göstermektedir. Taşıyıcı sistemlerde doğal sönümlenme düzeyinin hesaplanması ile ilgili bu belirsizliği göz önüne alan mühendisler, yardımcı sönümlenme sistemlerini geliştirmişlerdir. Bu sistemler, kapı kapanmasını yavaşlatmak için kullanılan damperler gibi binanın hareketini sönümlemektedirler. Sönümlenme sistemleri, yüksek bina üzerinde rüzgârın neden olduğu istenmeyen hareketin etkilerinin azaltılmasına yönelik bir başka tasarım yaklaşımıdır (İlgın, 2006).

Sönümlenme sistemleri temel olarak iki gruba ayrılabilir:

1. Zemin sönümlenme;
2. Yardımcı sönümlenme.

Yüksek binalar için seçilmiş olmasalar da, sönümlenmeye katkıları zemin-temel etkileşiminden yani zemin sönümlemesinden elde edilebilir.

Öte yandan, eğer içsel sönümleme yeterli değil ise, yardımcı sönümleme sistemleri kullanılabilir. Bu sistemler daha öngörülebilir, adapte edilebilir ve güvenilir yöntemler sunar. Bu sistemlerin kullanımı, bina üst katlarının ivme tepkilerinin azaltılması üzerine odaklanmıştır. Enerji sönümleme sistemlerinin çoğu, genellikle 40 kattan fazla yüksekliğe sahip ve türbülanslı ortamda bulunan binalar için tasarlanmış olup istenmeyen rüzgâr kaynaklı bina hareketinin azaltılarak kullanıcı konforunun sağlanması içindir (İlgin, 2006).

4.5.3. Mimari (aerodinamik-etkin ve strüktür etkin) yöntemler

Yüksek bir binanın rüzgâr kaynaklı salınımı, rüzgâr yükleri azaltılarak veya rüzgâra karşı bina tepkisi azaltılarak kontrol edilebilir. Bina formu ve mimari iyileştirmelerin uygun bir şekilde seçilmesi, bina çevresindeki rüzgâr akışını değiştirerek bina salınımının azalmasını sağlayabilir. Bir bina yumuşak ve eğrisel çizgilerle tasarlanır ise bir uçak gibi son derece aerodinamik olmakta ve rüzgâr akışına izin vermektedir (İlgin, 2006). Bu nedenle, Bölüm 5'te tartışılan mimari aerodinamik iyileştirmeler; bina plan-kesiti, köşe geometrisi, aerodinamik bina tepesi ve rüzgâr açıklığına yönelik iyileştirmeleri içermekte olup rüzgâr kaynaklı hareketi azaltmak için son derece önemli ve etkin bir tasarım aracıdır.

5. RÜZGÂR ETKİSİNE KARŞI YAPILAN AERODİNAMİK DÜZENLEMELER: BURJ KHALIFA VE SHANGHAI KULESİ ÖRNEKLERİ

Literatürdeki pek çok çalışma yüksek yapıların form ve kesit biçiminin aerodinamik düzenlemelerle tasarlanmasının rüzgâr kontrolü için etkin bir tasarım boyutu olduğunu göstermektedir. Estetik sonuçlar doğuran bu yöntem pek çok modern yüksek yapıda kullanılmıştır ve kullanılmaktadır.

Yüksek binalarda rüzgâr etkisine karşı geliştirilen aerodinamik düzenlemeler genellikle minör ve majör mimari düzenlemeler olarak ele alınmaktadır. Binaların "köşelerinde" yapılan yumuşatmalar ve binanın hâkim rüzgâr yönü ile ilişkilendirilmesi gibi mimari konsept üzerindeki etkisi az olan mimari düzenlemeler "minör" olarak adlandırılabilir. Öte yandan mimari konsepti değiştirerek biçimde yapılan daralarak yükselmeler (*tapering*) heykelsi bina bitişleri (*sculptured building tops*) açıklıklar (*openings*), geri çekmeler (*setbacks*) ve biçimi farklılaştırmalar (*varying the shape*) gibi müdahaleler majör düzenlemeler olarak nitelendirilir.

5.1. Bina Formunda Aerodinamik İyileştirmeler

Bir mimar için, aerodinamik hususların yanı sıra bina formunun belirlenmesi pek çok faktör tarafından yönetilir (İlgın, 2006):

- arazi ve kullanıcı ihtiyaçları;
- yapısal gereklilikler;
- estetik;
- trafik kontrolü;
- akustik gereklilikler;
- mekânsal dağılım;
- enerji etkinlik;
- rantabilite.

Öte yandan, etkin yapı formunun seçimi, bina çevresindeki rüzgâr akış paternini değiştirerek aerodinamik yüklerin önemli miktarda azaltmasını sağlayabilmektedir. Bunun

yanı sıra, yüksek yapıların strüktüründe birincil hedef olan maliyet tasarrufunun sağlanması, yapısal elemanların dikkatli bir şekilde koordinasyonu ve bina formunun etkin bir biçimde seçilmesi sonucu yanal yükler sebebiyle oluşan deplasmanların en aza indirgenmesi ile gerçekleştirilebilir (İlgın, 2006). Bu bağlamda rüzgâr etkisini kontrol etmek için, konik formlu kesitler, geri çekmeler ve heykelsi bina bitişleri etkin bina forömunu elde etmede en çok başvurulan yöntemlerden bazılarıdır.

5.2. Aerodinamik-Etkin Tasarım

Aerodinamik davranış genellikle, 50 katın üzerindeki yüksek binalarda önem kazanır. Aerodinamik-etkin tasarım yaklaşımı/iyileştirmeler ile bina çevresindeki rüzgâr akışı düzenlenip rüzgârın bina cephelerinden kolaylıkla akıp gitmesine olanak sağlanarak veya bina yüzeyine etkiyen rüzgârın düzeni bozularak yüksek binaların rüzgâr kaynaklı tepkisi azaltılabilir. Aerodinamik-etkin tasarım, “aerodinamik mimari tasarım” ve “aerodinamik mimari iyileştirmeler” olarak iki gruba ve alt gruplara ayrılabilir.

5.2.1. Aerodinamik mimari tasarım

Aerodinamik mimari tasarım, “hâkim rüzgâr yönüne göre binanın konumlandırılması”, “aerodinamik form”, “bina plan-kesit alanının azalması” ve “aerodinamik bina tepesi” gibi kaygıların temel tasarımda yer almasıyla gerçekleşir. Literatürdeki birçok çalışma (Ali ve Armstrong, 1995; Baker, 2004; Davenport, 1971; Dutton ve Isyumov, 1990; Gu ve Quan, 2004; Ho, 2007; Holmes, 2001; Irwin, 2008; Irwin, 2009; Irwin ve Baker, 2006; Irwin ve diğerleri, 2008; Isyumov ve diğerleri, 1992; Kareem, 1988; Kareem ve diğerleri, 1999; Kawai, 1998; Kim ve You, 2002; Kwok ve Bailey, 1987; Kwok ve diğerleri, 1988; Miyashita ve diğerleri, 1995; Poon ve diğerleri, 2004; Schueller, 1977; Scott ve diğerleri, 2005; Shimada ve Hibi, 1995; Tomasetti, 2007) göstermektedir ki aerodinamik mimari tasarım, yüksek binalarda rüzgâr etkisinin azaltılmasında önemli bir rol oynar. Bu azaltma oranı genellikle %20-%30 mertebelerinde olup %50 hatta daha fazlasına kadar da çıkabilir (Scott, Hamilton ve Ko, 2005).

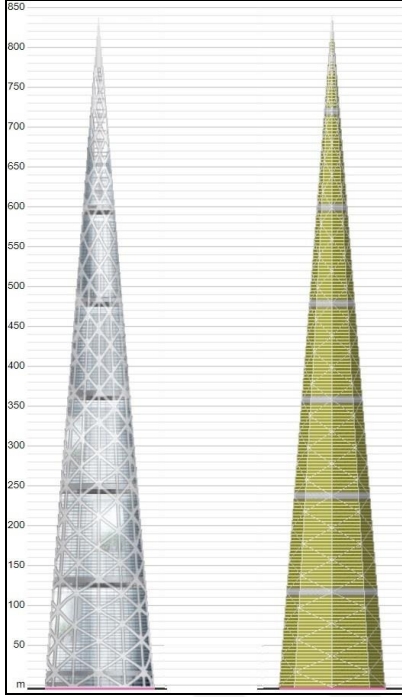
Hâkim rüzgâr yönüne göre binanın konumlandırılması

Binanın hâkim rüzgâr yönüne göre konumlandırılması, rüzgâr yüklerine karşı etkin bir tasarım yaklaşımıdır. Binanın konumlandırılmasında yapılan 10° değişim ile rüzgâra dik yönde harekete tepki değerinde %10 ile %20 arasında bir azalma sağlanabilir (Scott ve diğerleri, 2005).

Aerodinamik form

Aerodinamik bina formlarından yararlanmak, yanal yüklere dayanım açısından etkin bir yöntemdir. Silindirik, eliptik, konik ve burgulu formlar aerodinamik forma örnek gösterilebilir (Günel ve Ilgın, 2010). Schueller'e (1977) göre, silindirik yapıların rüzgâr doğrultusuna dik yüzeyi az olduğu için maruz kaldığı rüzgâr yükü prizmatik yapılara oranla daha azdır ve bazı yapı şartnamelerine göre dairesel plan-kesitli bina formu için kullanılan rüzgâr basıncı tasarım değerleri, dikdörtgen plan-kesitlere kıyasla, %20 ile %40 arasında düşük alınabilir. Elips plan-kesitli yapılar da daire plan-kesitli yapılarla benzer davranış gösterir. Paris, La France Building'in mimari, elips plan-kesitli yapılarda rüzgâr yükünün %27 azaltılmasının uygun olduğunu belirtmiştir (Günel ve Ilgın, 2010). The Millennium Tower (Tokyo, 1989, öneri) (Şekil 5.1) binası Norman Foster'ın Japonya için bir fikir projesi önerisi olan konik formlu bina örneğidir.

Chicago Spire'in (Resim 5.1) burgulu formunun olanak tanıdığı cephe kanalları sayesinde, binaya etkiyen rüzgârın dağılması sağlanarak düzenli bir şekilde yapıya etkimesi engellenir. Böylece rüzgâr kaynaklı yanal yükler azaltılmış olur. Bu form sayesinde, rüzgâr kaynaklı salınımı kabul edilebilir sınırlarda tutmak amacıyla kullanılan aktif sönümlenme sistemine ihtiyaç duyulmamıştır. Binanın yapı mühendisleri Thornton Tomasetti ve Joe Burns, tasarımın mimar ve mühendislerin işbirliği sonucu oluştuğunu ve yapılan rüzgâr tüneli testlerinin mimari formun aerodinamik etkinliğini doğruladığını belirtmişlerdir (Tomasetti, 2007).



Şekil 5.1. The Millennium Tower Binası (URL-30)



Resim 5.1. Chicago Spire Binası (URL-31)

Bina plan-kesit alanının azalması

Bina plan-kesit alanının azalması yaklaşımında, bina yüksekliği boyunca plan-kesit alanının azaltılmasıyla rüzgâr şiddetinin, dolayısıyla basıncının fazlaştığı bina üst seviyelerinde rüzgârın etkidiği yüzey alanının azalması sağlanır. Bina plan-kesit alanının yükseldikçe azalması,

- bina cepesinde eğim,
 - bina cepesinde çekmeler
- şeklinde olabilir (Günel ve Ilgın, 2010).

Bina cepesinde eğime örnek olarak The Transamerica Pyramid (San Francisco, 1972, Resim 5.2), bina cepesinde çekmelere ise örnek olarak The Petronas Twin Towers (Kuala Lumpur, 1998, Resim 5.3) gösterilebilir.



Resim 5.2. The Transamerica Pyramid, San Francisco (URL-32)



Resim 5.3. The Petronas Twin Towers, Kuala Lumpur (URL-33)

Aerodinamik bina tepesi

Aerodinamik bina tepesi yaklaşımında esas olan, bina tepesine doğru, aerodinamik katkı sağlayan unsurların tasarıma katılarak aerodinamik bir form yaratılmasıdır. Bunlar, bina üst kısmında uygulanan plan-kesit alanının azalması ve rüzgâr açıklığı gibi yaklaşımları

kapsar. Bina tepesinin aerodinamik kaygı taşıması, rüzgâr yüklerinin en kritik olduğu bina üst kısmındaki rüzgâr kaynaklı girdap etkisini azaltarak yapının rüzgâr yönünde ve rüzgâra dik yöndeki tepkisinde iyileşme sağlar (Günel ve Ilgın, 2010). The Shanghai World Financial Center (Shanghai, 2008, Resim 5.4) ve Taipei 101 (Taipei, 2004, Resim 5.5) binaları aerodinamik bina tepesine örnek verilebilir.



Resim 5.4. The Shanghai World Financial Center Binası, Shanghai (URL-34)

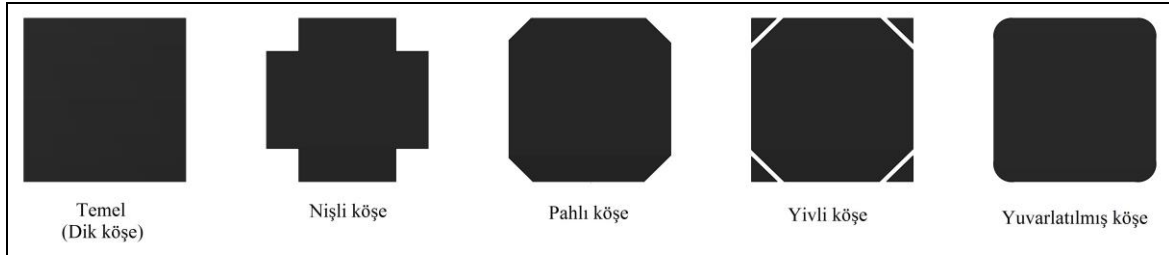


Resim 5.5. Taipei 101 Binası, Taipei (URL-35)

5.2.2. Aerodinamik mimari iyileştirmeler (köşe geometrisinde iyileştirmeler)

Aerodinamik mimari iyileştirmeler “köşe geometrisinde iyileştirmeler” gibi mevcut mimari tasarımı önemli ölçüde değiştirmeden yapılan iyileştirmeleri kapsar. Prizmatik bir binada nişli, pahlı, yivli, yuvarlatılmış köşeler (Şekil 5.2) rüzgâr yönünde ve rüzgâra dik yönde salınımı önemli ölçüde azaltabilir (Günel ve Ilgın, 2010). Yuvarlatılmış köşe,

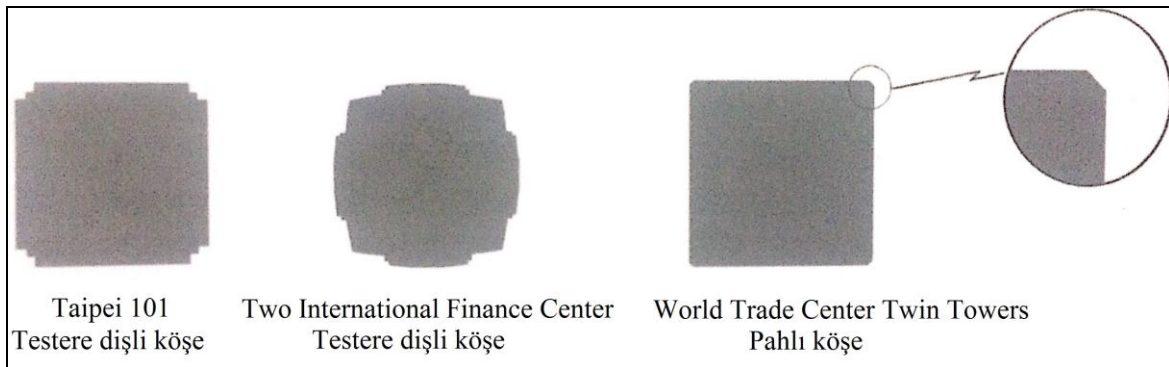
diğerlerine kıyasla en etkin iyileştirmedir (Gu ve Quan, 2004). Köşelerdeki yuvarlamayı arttırarak kesitte dairesel bir forma yaklaşmak da binaya etkiyen rüzgâr yüklerini önemli ölçüde azaltır (Günel ve Ilgın, 2010). Bina genişliğinin %10'luk kısmında yapılan köşe pahı, dik köşeli yapıya kıyasla rüzgâr yönünde hareketi %40, rüzgâra dik yönde hareketi ise % 30 oranında azaltır (Holmes, 2001).



Şekil 5.2. Bina köşe geometrisinde iyileştirmeler (Günel ve Ilgın, 2010)

Taipei 101'de (Taipei, 2004) uygulanan, nişli köşenin bir açılımı olan testere dişli köşe dik köşeye kıyasla; Poon, Shieh, Joseph ve Chang'e (2004) göre binaya etkiyen rüzgâr yüklerini önemli ölçüde azaltmış, Irwin'e (2008) göre de rüzgâr kaynaklı taban momentlerinde yaklaşık %25 oranında azalma sağlamıştır.

Two International Finance Center (Hong Kong, 2003) nişli köşenin bir açılımı olan testere dişli köşe ve *World Trade Center Twin Towers* (New York, 1972) pahlı köşe kullanımına örnek gösterilebilir (Günel ve Ilgın, 2010).



Şekil 5.3. Testere dişli ve pahlı köşeli bina örnekleri (Günel ve Ilgın, 2010)

5.3. Burj Khalifa Örneği

5.3.1. Dubai

Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri'nin Basra Körfezi kıyısında, kabaca 16 m. rakımda ve deniz seviyesinde bulunmaktadır. Dubai Emirliği, güneyinde Abu Dabi Emirliği, kuzeydoğusunda Şarika Emirliği ve güneydoğusunda Umman Sultanlığı ile sınırlara sahiptir. Hatta Emirliğin Umman sınırları içerisinde bulunan toprak parçası olup üç yönü Umman ile batısında Acman ve kuzeyinde Reis el-Hayme ile çevrilidir. Basra Körfezi emirliğin batı kıyısında bulunur. Dubai, başlangıçtaki 1500 km²'lik alanın denizin doldurulması ile elde edilen fazlalıklar ile birlikte 1588 km²'lik bir alanı kaplamaktadır (URL-36).

Dubai mimarisi

Dubai ikonik mimarinin sadece teşvik edilmekle kalmayıp aynı zamanda aktif şekilde de gerçekleştirildiği dünyadaki birkaç yerden biri olarak nitelendirilebilir. Dubai'nin kısa inşaat tarihi, 50 yıldan daha genç olan Dubai kentinin silüetini dünyadaki başka herhangi bir şehirden çok daha hızlı bir biçimde şekillendirmiştir (URL-37).

Yüksek binaların yapımına diğer şehirlere kıyasla çok geç başlayan bu kent genç sayılmasına rağmen son zamanlar çok sayıda yüksek yapılar ve gökdelenler inşa ederek ismini gökdelenler kenti listesine yazdırmayı başarmıştır. Özellikle 21. yüzyılın başlangıcından itibaren 150 m ve üzeri yüksek binalar ve son 10 yılda ise 300 m ve üzeri çok katlı yüksek bina inşası ile dikkatleri üzerine çekmektedir. Dubai'nin kent silüetinde kendine has formları ile yerini almış ve CTBUH 2017 verilerine göre dünyanın en yüksek 100 binası listesine girmeyi başarmış 20 adet yüksek binası bulunmaktadır.

Dubai birçok farklı mimari tarzda bina ve yapı koleksiyona sahiptir (Resim 5.6). İslami mimarinin çağdaş tasarımlarla, yalnız El Hashemi Grup ve Aedas gibi büyük Arap veya uluslararası mimari ve inşaat firmaları tarafından değil aynı zamanda büyük New York ve Chicago firmaları tarafından oluşturulmuş çok sayıdaki yüksek yapı örneklerini barındırmaktadır. 2010'da Burj Khalifa'nın (Burj Dubai) bitirilmesiyle yüksek yapılaşmada doruk noktasına ulaşılmıştır.



Resim 5.6. Dubai yüksek yapıları görünümü (URL-38)

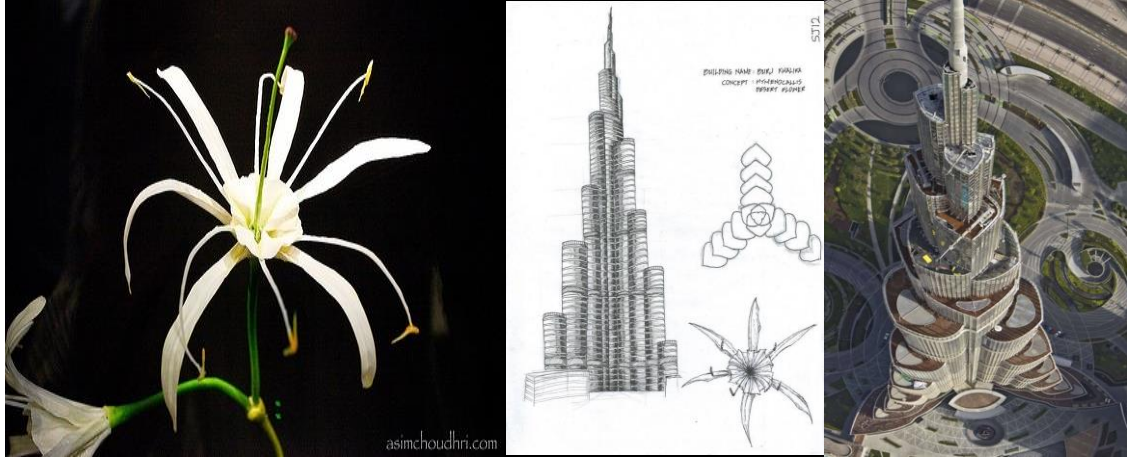
5.3.2. Burj Khalifa tasarımı ve performans arayışları

2010 yılında dünyanın en yüksek bina unvanını alan 162 katlı, 828 m yüksekliğindeki Burj Khalifa (Dubai), Skidmore, Owings & Merrill (SOM) tarafından tasarlanmıştır. Payandalı çekirdek sistem (*buttressed core system*) olarak da bilinen yatay perdeli çerçeve sistemli betonarme bir yapıdır (Günel ve Ilgın, 2010). Bina 280.000 m²'si zemin üstünde olmak üzere toplam 460.000 m² alana sahiptir. Tahmini inşaat maliyeti 4.1 milyar \$ olarak ifade edilmektedir. Binanın 150. katından sonrası çelik konstrüksiyon olarak yapılmıştır (Baker ve diğerleri, 2008; Abdelrazaq ve diğerleri, 2008; Saeed, 2013).

Burj Khalifa ile, daha yüksek binaların tasarımında ve mühendisliğinde yapımı mümkün olanların yeniden tanımlandığını iddia etmek mümkündür. İleri teknolojiler ile kültürel unsurları birleştirdiği söylenen bina, global bir ikon olma özelliği de taşımaktadır (URL-16).

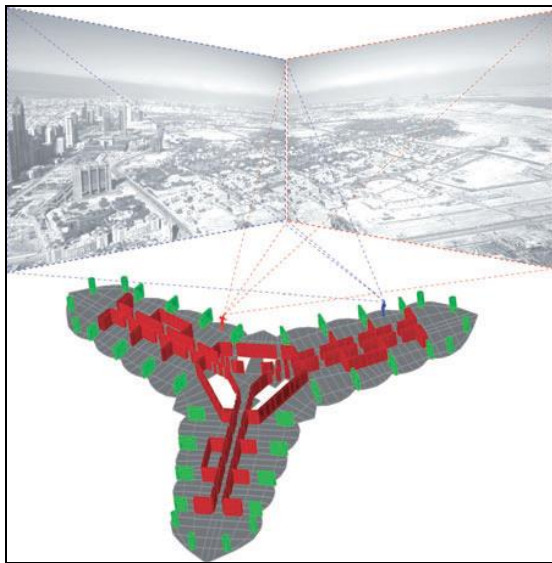
Mimari tasarım

Dünyada ve özellikle Ortadoğuda elde ettikleri tecrübeler ile SOM (Skidmore, Owings & Merrill) ekibi bu tasarımlarında birçok yeni fikri de sentezlediklerini ifade etmektedirler. Bina tasarımında konsept olarak “çöl çiçeği” (*hymenocallis*) formundan ilham alınmıştır (Şekil 5.4). Organik formlu, üç eksenli ve sarmal yükselme özelliklerine sahip binanın formundan da bu esinlenme kolaylıkla anlaşılabilir. Geleneksel islami form ve geometrilerin de uygulanması ile tasarımı zenginleştirilmiştir (Weismantle, Smith ve Sheriff, 2007).

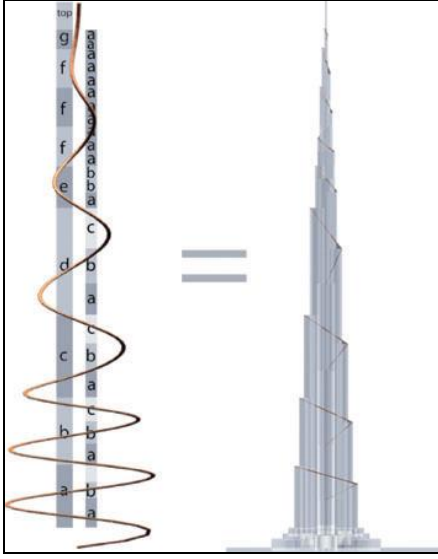


Şekil 5.4. Bina formu konsepti (URL-39)

Bu çöl çiçeği formu üç eksenli plan-kesitin pek çok avantajından söz etmek mümkündür. Bunlardan ilki, konut birimleri için ideal bir düzenleme sunması, komşu apartmanlar engel olmaksızın daha optimum bir panorama sunmasıdır (Şekil 5.5). Bir diğer avantaj binanın payandalı çekirdek sistem ile tasarlanmasına imkan vermesidir. Bina plan-kesitinin çekmelerle yükseklik boyunca azalması, sürekli olarak artan ivmeyle göğe yükseliyormuş gibi görünen kulenin yüksekliğini daha da vurgularken, rüzgârın en fazla olduğu bina üst seviyelerindeki etki alanını, dolayısıyla rüzgâr yükünü azaltmıştır (Şekil 5.6). Kule yükseldikçe plan kesitinin değiştirilmesi rüzgâr etkisini minimuma indirmiştir. Her yeni katman farklı şekilde tasarlandığı için rüzgâr girdapları oluşmamaktadır (Weismantle ve diğerleri, 2007).



Şekil 5.5. Tipik kule katı şeması (Weismantle ve diğerleri, 2007)



Şekil 5.6. Geri çekilmelerle oluşturulan bina formu (Weismantle ve diğerleri, 2007)

Strüktürel tasarım

Burj Khalifa'nın mimari/strüktür tasarımı (Skidmore, Owings & Merrill), rüzgâr mühendisliği danışmanlığı (Rowan Williams Davies and Irwin) ve yapımını (Samsung Engineering and Construction) üstlenen firmaların yetkililerinin (William F.Baker, Peter A. Irwin, Ahmad Abdelrazag) belirttiklerine göre, mimari tasarımın erken evrelerinde, rüzgâr etkisi ve aerodinamik düzenlemeler dikkate alınmış ve mimari tasarım ile strüktürel tasarım eşgüdümlü olarak yürütülmüştür. Böylelikle yapı tasarımı rüzgâr etkisinin en aza indirgenmesi için bütünleşik süreçler yürütülerek gerçekleştirilmiştir. Bina yüksekliği boyunca yer alan çekmelerin sayısı ve yerleşimi ile kanatların şekli, rüzgâr tüneli testleriyle belirlenmiştir. Günel ve Ilgın' a göre (2010) binadaki çekmeler, rüzgâr akışı düzenini bozarak rüzgâr kaynaklı yanal yüklerin etkisini azaltmaktadır.

Bina her ne kadar Sears Tower'ın demet-tüp formunu anımsatsa da, tübüler bir strüktüre sahip değildir. Temel karakterini altıgen merkezi çekirdek ve çevresindeki üçlü kanat yapılanmadan alan binada, C60 ve C80 sınıfları arasında değişen yüksek dayanımlı beton kullanılmıştır. Herbiri diğer ikisini destekleyici nitelikte olan kanatlar, binanın alt kısmında, merkezi çekirdekten 60 m çıkma yaparak her seferinde 9 metre daralan 27 çekmeyle sarmal bir şekilde bina tepesine ulaşmaktadır (Ilgın ve Günel, 2008). Yapı taşıyıcı sistem malzemesi "betonarme" olan en yüksek bina olma özelliği ile de öne çıkmaktadır (Resim 5.7).



Resim 5.7. Binanın yapım aşamasından görünüm (Baker, Korista ve Novak, 2008)

Bina bitişinde, düşey ve yanal yüklere dayanım sağlayan diyagonal çapraz elemanlardan oluşan çelik bir strüktür yer almaktadır. Burulmaya karşı dayanım sağlayan 60 cm kalınlığındaki perde duvarlardan oluşan altıgen betonarme çekirdek, rüzgâr kaynaklı kesme kuvvetleri ve momentler karşısında bir kirişin gövde ve başlığı gibi davranan kanat perdeleri ve çekiç başlı koridor perdeleri tarafından desteklenmektedir. Mekanik katlarda ve 5. seviyede bulunan yatay kesme duvarlar, çoğu 1.9 metre çapa sahip olan çevre kolonların yapının çekirdeğiyle beraber çalışmasını sağlayarak yatay yüklere karşı dayanımı artırmaktadır (İlgın ve Günel, 2008).

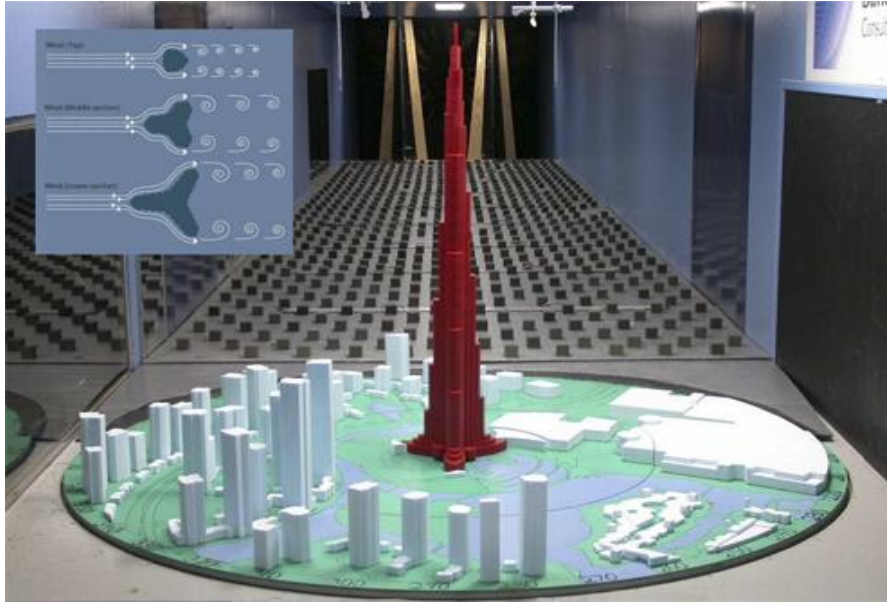
Binanın üst kısmında, merkezi çekirdeğe oturan, çapraz elemanlardan oluşan ve kendi içinde düşey ve yanal yüklere dayanımlı 232 metre yüksekliğinde çelik bir strüktür bulunmaktadır. Katlardaki döşeme sistemi, dış kolon, kenar perde ve altıgen merkezi çekirdek arasında yaklaşık 9 metre açıklık geçen, derinliği 20-30 cm arasında değişen, üst katlarda ise derinliği 22.5-25 cm arasında değişen iki yönlü betonarme kirişsiz döşemedir (Günel ve İlgın, 2010).

Binada rüzgâr mühendisliği ve aerodinamik tasarım

Rüzgâr mühendisliği ve rüzgâr tüneli testleri

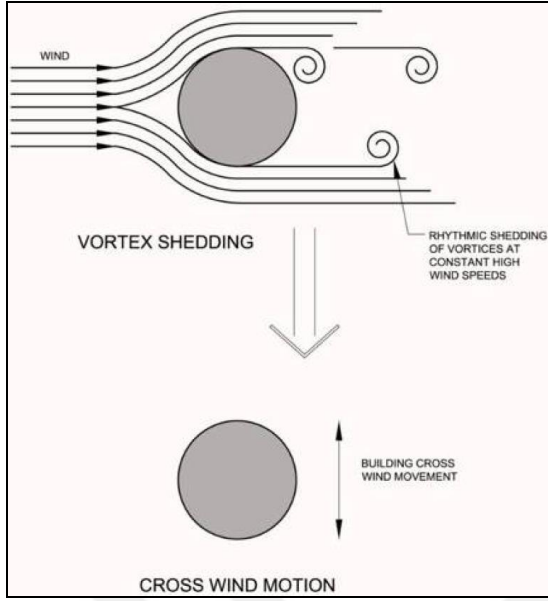
Bu yükseklikteki ve narinlikteki bir bina için, rüzgârın kuvveti ve bu kuvvetten kaynaklı olarak üst katlarda ortaya çıkan hareketlenmeler yapısal tasarımda belirleyici faktörler haline gelmektedir. Kapsamlı rüzgâr tüneli testleri ve diğer çalışmalar Rowan Williams

Davies and Irwin Inc.'in (RWDI) Guelph, Ontario'daki sınır tabaka rüzgâr tünellerinde Dr. Peter Irwin'in direktörlüğünde gerçekleştirilmiştir (Resim 5.8). Rüzgâr tüneli programı; sert-model güç dengesi testleri, tam çoklu aşamalı aeroelastik model testleri, lokalize basınç ölçümleri, yaya rüzgâr ortamı çalışmaları ve rüzgâr iklimsel çalışmaları içermektedir. Rüzgâr tüneli modelleri; bina üzerinde rüzgârla başlatılmış girdap dökülmelerinin çapraz rüzgâr etkilerine açıklama getirmektedir (Şekil 5.7). Aeroelastik ve güç dengesi çalışmalarında genellikle 1:500 ölçeğinde modeller kullanılmıştır. RWDI rüzgâr mühendisliğine, Batı Ontario Üniversitesi Tabaka Rüzgâr Tüneli Laboratuvarı'ndan Dr. Nick Isyumov tarafından bilirkişilik yapılmıştır (Baker ve diğerleri, 2008).



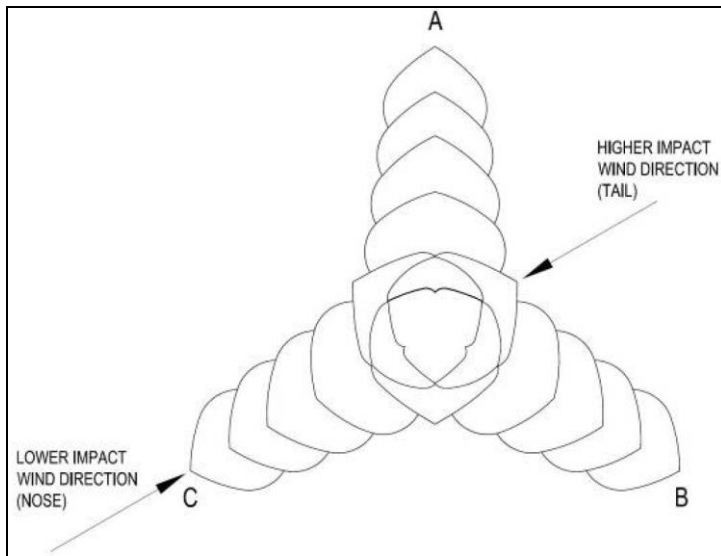
Resim 5.8. Burj Khalifa rüzgâr tüneli test modeli (1/500 ölçekli) (URL-40)

Ana yapıdaki rüzgâr yüklemesini belirleyebilmek için, rüzgâr tüneli testleri, tasarımın erken aşamalarında yüksek-frekans-güç-dengesi tekniğiyle uygulanmıştır. Rüzgâr tüneli verileri bunun sonrasında kulenin dinamik etkilenmesini ve genel etkili rüzgâr dağılımını tam ölçekte hesaplayabilmek için kulenin dinamik özellikleriyle birleştirilmiştir. Burj Dubai için güç dengesi testlerinin sonuçları, yapısal tasarım ve kulenin detaylandırılmış form için erken tasarım evresi girdileri olarak kullanılmıştır. Böylece parametrik çalışmaların kulenin dayanımı ve ağırlık dağılımını değiştirmenin etkileri üzerine yapılmasına imkan sağlanmıştır (Baker ve diğerleri, 2008).



Şekil 5.7. Vorteks dağılım davranışı (Baker ve diğerleri, 2008)

Binanın başlıca altı adet rüzgâr yönü var. Temel rüzgâr yönleri: bu üç kanatın “burun/ön” (*nose/cutwater*) kısımlarına rüzgârın esmesidir (Nose A, Nose B, Nose C). Diğer yönler ise rüzgârın geri kalan iki kanata -ki bunlar “kuyruk” (*tail*) olarak tanımlanır- esmesidir (Tail A, Tail B, Tail C). Farklı rüzgâr yönleri için olan kuvvet spektrumlarının bir kanadın burnunu veya sivri kısmını etkileyen rüzgârların frekans aralığında kuyruk kısmını etkileyen rüzgârdan daha az uyarı gösterdiği fark edilmiştir (Şekil 5.8). Tasarımcılar bu bilgiyi Dubai’deki hâkim rüzgârların yönüne bakarak kulenin ve cephede geri çekmelerin yönünü belirlerken ön planda tutmuşlardır (Baker ve diğerleri, 2008).

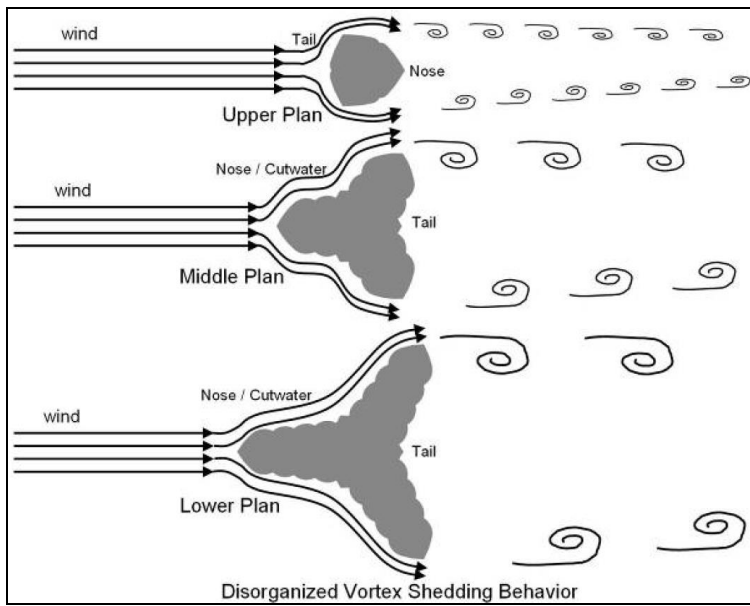


Şekil 5.8. Binanın plan şeması (Baker ve diğerleri, 2008)

Kulenin yapısı geliştikçe ve rafine edildikçe, kule birkaç dayanıklılık testine tabii tutulmuştur. A kanadının en öne yerleştirildiği saat yönündeki sırayla üç kanat yerleştirilmiştir. Her rüzgâr tüneli testinden sonra, elde edilen sonuçların analiziyle bina rüzgâr etkisini en azına indirmek amacıyla tekrardan düzenlenmiştir. Genel olarak, geri çekmelerin sayısı ve aralıkları kanatların şekli değiştikçe değiştir. Bu süreç, kule yüksekliği boyunca dağınık bir girdap yaratarak rüzgârın “kafasını karıştırıp” (Resim 5.9 ve Şekil 5.9) kule üzerindeki rüzgâr etkisinin azaltılmasıyla sonuçlanmıştır (Baker ve diğerleri, 2008).



Resim 5.9. Bina kütlesi (Baker ve diğerleri, 2008)

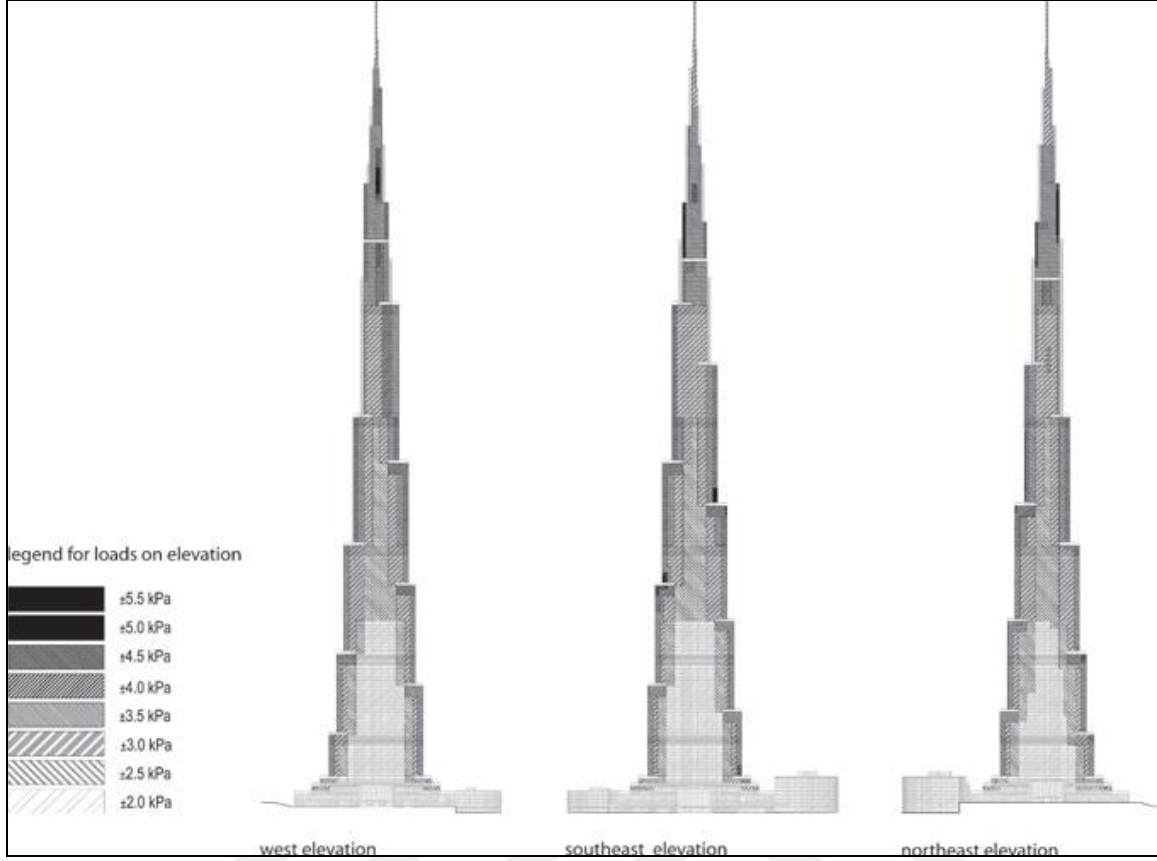


Şekil 5.9. Binanın rüzgâra karşı davranışı (Baker ve diğerleri, 2008)

Bina kabuk basınç testi ve sonuçları

Matematiğe dayalı testlerin sonuçları 50 yıllık dönüş sürecinin hem pozitif hem de negatif baskılarını içermektedir. Negatif baskı, ya da emme (*suction*), binanın yüzeyinin dışına doğru bir hareket olarak tanımlanır, pozitif olan ise içe yöneliktir. Ayrıca sonuç, mekanik sistem veya baca etkisi (*stack effect*) nedeniyle oluşan iç basıncı da hesaba katar veya her iki yüzeydeki rüzgâra maruz kalan elementlerde ölçülen anlık net basınç farkını göz önünde bulundurur. Bahsedilen, ölçülmüş en büyük negatif kaplama rüzgâr basıncı -5.5 kPa (-110 psf)'dir ve en büyük pozitif basınç +3.5 kPa (+70 psf)'dir. En yüksek kaplama rüzgâr basıncı kulenin tepelerinde ve cephe kaplamasındaki en yüksek rüzgâr basıncı yakınlarında toplanmaktadır (Şekil 5.10) (Irwin, Baker, Korista, Weismantle ve Novak, 2008). Kriterler belirlendikten sonra ve müteahhit ilk ayrıntı tasarımını yaptıktan sonra, perde duvar (*curtain wall*) sisteminin performansının kanıtlanması gerekmektedir. Cam veya metal olan perde duvarların testi onların, onlarca yıl efektif bir formda kalacağı kriterini ölçmek için yapılır. Bu laboratuvar testi, duvar sisteminin tam ölçekli üretimi başlamadan önce duvarın maruz kalacağı ortamı simüle eden koşullar altında duvarların performansını değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Irwin ve diğerleri, 2008).

Her panel tipi test edilmek zorunda değildir ancak amaç binanın etrafını kuşatan sistemleri test etmektir. Bu, Burj Dubai'deki büyük sistemleri kaplamak için beş multi-panelli deney numunesinin yeterli olacağı belirlenmiştir. Burj Dubai örneğinde, her numune hava girişi, değişik koşullardaki su penetrasyonu, yapısal performans, arazi yükler, sismik hareket ve çevrimsel sıcaklığa maruz kalma konularında test edilmiştir. Resim 5.10 numunenin montajı ve odacığının pozisyonu ve numunenin dinamik su penetrasyonunun yapılmı için düzenlenen testleri göstermektedir. Ayrıca, panjurlu pencere gibi hareket eden mekanik yer tipi duvarları için bir test düzenlenmiştir. Amaç, panjurlu pencere gibi olan duvarın performansını ölçmek ve çalışma süresince çok ses çıkarmayacağını doğrulamaktır (Irwin ve diğerleri, 2008).



Şekil 5.10. Rüzgâr yükü diyagramları (Weismantle ve diğerleri, 2007)

Bu numunelerden ve sürekli olarak yapılan testlerden kazanılan bilgi daha gelişmiş ve performansı yüksek duvar sistemleri tasarlanmasını sağlamıştır. Son olarak da, bu testler tasarımın uygunluğunu teyit etmekte ve yükleniciye imalat ve montajı kontrol etme fırsatı sunmaktadır (Irwin ve diğerleri, 2008).



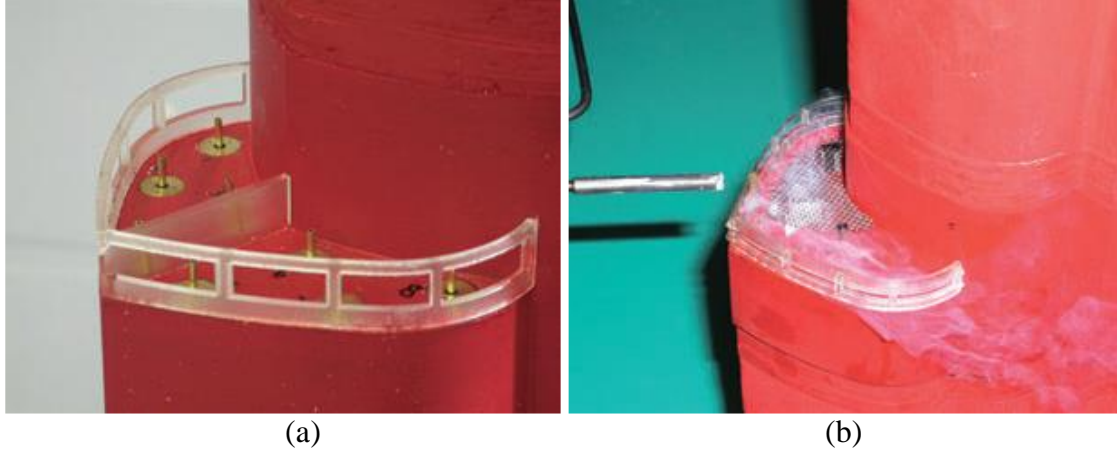
Resim 5.10. (a) Kule test modeli. (b) Dinamik su sızdırmazlık testi için kule test modeli (Weismantle ve diğerleri, 2007)

Üst teras seviyeleri rüzgâr çalışmaları ve alınan önlemler

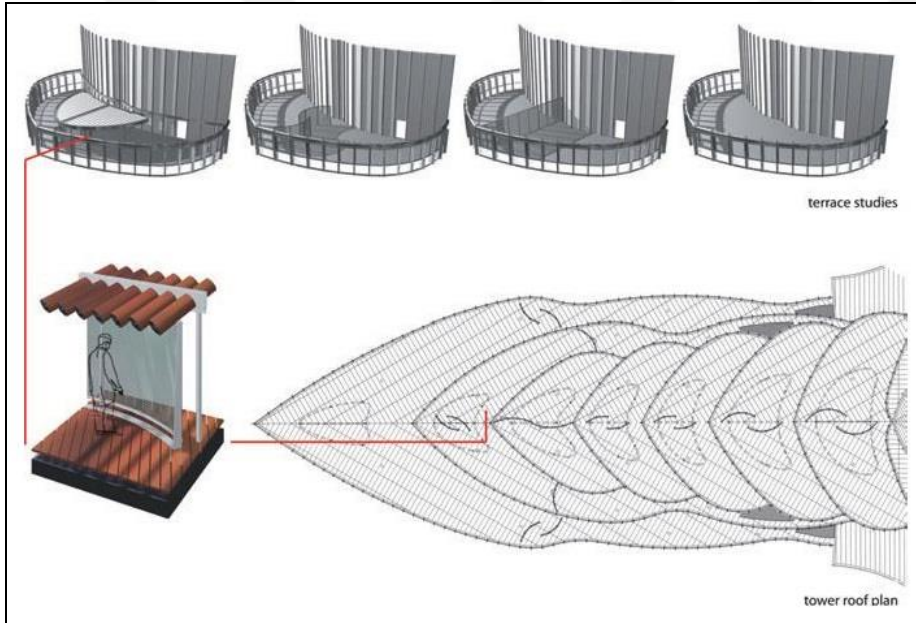
Bu çok yüksek (*super tall*) binanın alışmamış özelliği, binanın yüksekliği üzerindeki bazı geri çekmelerde katlardan teraslara ulaşılabilirliğin sağlanmış olmasıdır. Bu teraslar, 152. kata kadar, bazı yerleşim birimlerinde oturanlara veya ziyaretçilere, kurumsal ofis katlarına ve gözlemevlerine ulaşılabilir olarak tasarlanmıştır. RWDI, Bu yükseklikteki ve olağan üstü yüksekliklere ulaşan geri çekme terasları konusunda başka bir çalışma daha yapmak istemiştir. Çalışmanın amacı yaya konforunu ve güvenliğini arttırmak amacıyla eski teraslar üzerinde rüzgâr etkisi azaltma önlemlerinin etkinliğini değerlendirmektir. Testin amacı elde edilecek rüzgâr tüneli testleri kuleyi kaplayan terasların 87, 126 ve 142. katlarını 1: 250 ölçekli modeliyle test etmektir. İlk test bahar 2004'te yürütülmüştür (Resim 5.11a). O dönemde her teras korkuluk yüksekliğinin, opaklığın ve iç bölücü ekranların farklı kombinasyonlarına sahiptir (Şekil 5.11) (Weismantle ve diğerleri, 2007).

Sonuçlar terazi seviyelerinde bir bölücü ekran eklemesinin rüzgâr iklimine yaradığına, ancak yine de “rahatsız edici” birkaç durumun mevcut olduğunu göstermiştir (rüzgâr hızı zamanın yüzde yirmisinden fazlasında 19 kph'yi -12 mph- aşmaktadır). Ayrıca çardak gibi tepedeki bir elemanın, sonuçların ötesindeki koşullarda potansiyel olarak iyileştirilebileceği fark edilmiştir. SOM bölücü ekranları tasarlamış ve Bahar 2004'te dış cephe kaplamasını eklemiştir (Weismantle ve diğerleri, 2007).

Bahar 2005'e kadar kulenin bazı parametreleri değişmiştir. Binanın yüksekliği 80 metreyi aşmış program değişmiş, karma kullanımlı sütünler eklenmiş ve müşteri kalıcı gölgelendirme unsurları konusunda ikna olmuştur. Ancak, teraslar üzerindeki modifiye rüzgâr azaltma önlemlerinin etkililiğini değerlendirmek için bir dizi test daha gerçekleştirmek gerekmektedir. Bu durumda, kulenin 1:250 ölçekli bir modeli 87. katı kapsamaktadır. Testler yaz 2005'te de devam ettirilmiştir. İlk teste benzer bir şekilde, teraslara korkuluk duvarı opaklığı ve iç bölücü ekranların farklı kombinasyonları verilmiş ve çardaklı ve çardaksız şekilde test edilmiştir (Resim 5.11b). Sonuçlar yapım ekibinin orijinal korkuluk planına sadık kalmaları ve bölücü ekranlı çardak fikrini seçmeleri sağlanmıştır (Şekil 5.11) (Weismantle ve diğerleri, 2007).



Resim 5.11. (a) Teras testi: parapet ön tasarımı. (b) 87. kat terasda rüzgâr akışını gösterir duman testi (Weismantle ve diğerleri, 2007)



Şekil 5.11. Bölücü ekran tasarımı ve teras planı (Weismantle ve diğerleri, 2007)

Yukarıda belirtilen hafifletme önlemlerinin ötesinde, konut birimleri teraslara açılan kiracılara teraslarına çıkmadan önce dış rüzgâr koşullarını değerlendiren bir araç sağlanması gerektiği hissedilmiştir. Bu sebeple her kapının terasa olan açılışının bitişiğinde, rüzgâr takip paneli yerleştirilmiştir. Panel, teras çardağındaki bir dış mekân (*outdoor*) algılama aygıtına bağlıdır ve rüzgârın yönünü ve şiddetini belirlemektedir. Panel eğer rüzgârın hızı set seviyesini aşarsa sinyal vermektedir. Ayrıca her çardakta birkaç flama bulundurulmuş böylece kullanıcılar içeriden de rüzgârın durumunu görebilmişlerdir. Son olarak, teras kapısının rüzgâr nedeniyle çılgınca sallanmasını önlemek için motorlu bir aygıt da bulunmaktadır (Weismantle ve diğerleri, 2007).

5.4. Shanghai Kulesi Örneği

5.4.1. Shanghai

Shanghai (*shàng, above*) (*hǎi, sea*) kenti, doğrudan Merkezi Hükümet'e bağlı dört belediyeden biri ve Çin'in en kalabalık kentidir (Pang, 2015). Dođunun İncisi (Oriental Pearl) olarak da anılan kent, ticaret ve nakliye merkezidir (Wong, Lin ve Jackson, 2016).

Shanghai'in iklimi, kuzey ve kuzeybatıdan iç Asya ve Sibirya'dan soğuk kuru hava ve güneyden ve güneydoğudan Pasifik Okyanusundan sıcak nemli hava ile etkilenir. Bu şehir, astropikal bir deniz muson iklimi yaşıyor ve bu nedenle hava genellikle hafif ve oldukça nemli ve dört farklı mevsimi yaşıyor: sıcak bahar, sıcak yaz, soğuk sonbahar ve soğuk kış. Şehir yıl boyunca ılımlı bir yağış seviyesine ve nispeten yüksek neme sahip bir şehirdir (Lau, 2015).

Lau'ya göre (2015) Shanghai, 1990'ların başından beri dikey şehirciliğe odaklanmıştır. Shanghai denildiğinde akla ilk gelen şey, yüksek katlı ve gökdelenli modern bir şehir olması görüşüdür.

Shanghai'da yüksek yapıların gelişimi

Shanghai'da modern yüksek yapılar 20. yüzyılın başlarında görölmeye başlanmıştır. Eski tarihi Shanghai Premises, Land Resources Administration Bureau ve Shanghai Civil Design Institute office binaları 1913 yılına dek uzanmaktadır. Öyle ki, Park Hotel Shanghai binası (Resim 5.12) 83.8 metre ve 24 katlı olarak 1934 yılında tamamlanarak Asya'nın en yüksek binası unvanına sahip olmuştur. Bu tür inşaatlar sayesinde kısa bir süreç içerisinde Shanghai Asya'da ileri seviye inşaat yapı ve teknolojisine ulaştığını ispat etmiştir (Lau, 2015).



Resim 5.12. Park Hotel Shanghai Binası (URL-41)

20. yy'ın son çeyreğinde bölgedeki çok katlı yüksek yapıların gelişimi dikkat çekmektedir. 88 katlı 420.5 metre yüksekliğindeki Jin Mao Kulesi (Resim 5.13) 1998 yılında tamamlanmış ve bina ile ileri inşaat teknolojilerine hâkim olduğunu kanıtlayan Çin için yeni bir kapı açarak bu alanda gelişmiş ülkeler arasına girmesini sağlamıştır. Benzer şekilde 21. yy'a gelindiğinde ise, 101 katlı ve 492 metre yüksekliğindeki Shanghai World Financial Centre (2008) (Resim 5.14) binası yapımı tamamlandığında zamanının en yüksek üçüncü binası unvanına sahip olmayı başarmıştır. Son olarak 128 katlı ve 632 metre yüksekliğindeki Shanghai Kulesi (Resim 5.15) inşası tamamlanarak 2015 yılının yazında kullanıma açılmıştır. Karma kullanımlı olan Shanghai Kulesi Dubai'deki Burj Khalifa binasının hemen ardından yükseklik yarışındaki yerini alarak ikinciliğe yükselmiştir (Lau, 2015).



Resim 5.13. Jin Mao Kulesi (URL-42)



Resim 5.14. Shanghai World Financial Centre Binası (URL-43)

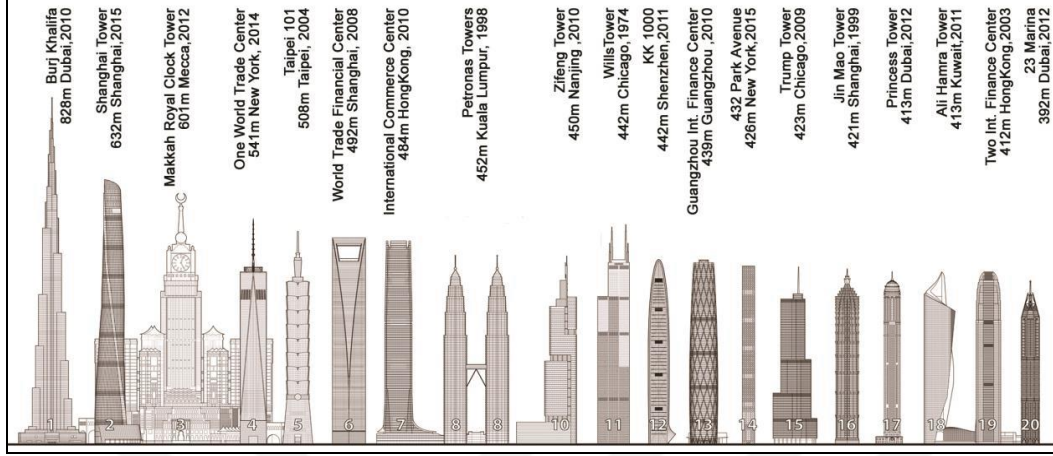


Resim 5.15. Shanghai Kulesi (URL-18)

5.4.2. Shanghai Kulesi tasarımı ve performans arayışları

Kasım 2008'de yapımına başlanan ve 2015 yılında tamamlanan Shanghai Kulesi ise, Shanghai'nın finans merkezi Lujiazui yarımadasında, Huangpu Nehri'nin doğu yakası boyunca uzanan iş ve ticaret merkezi Pudong'ta bulunmaktadır. Dünyanın 2. ve Çin'in ise en yüksek binasıdır (Şekil 5.12, Resim 5.16). Kule, Çin devlet şirketlerinin oluşturduğu bir konsorsiyuma aittir. Gensler tarafından tasarlanan 632m. yüksekliğindeki 128 katlı (5 adet bodrum kat) kule 380.000 m²'si zemin üstünde olmak üzere toplam 521.000 m² alana sahiptir. Tahmini inşaat maliyeti 2.2 milyar \$ olarak ifade edilmektedir. Kule katmanlı konstrüksiyon ile inşa edilmiş, karma kullanımlı ve "sürdürülebilir" olarak nitelendirilen

bir binadır (Gensler, 2010; URL-44). Shanghai Kulesi, 2016 yılında Amerikan Mimarlık Ödülü'nü (*American Architecture Prize*) almıştır (URL-45).



Şekil 5.12. Dünyadaki en yüksek binalar sıralaması (URL-46)



Resim 5.16. Shanghai Kulesi, Jin Mao ve World Financial Center Binaları (URL-18)

Kulenin spiralsel şeffaf formu en son teknoloji ile hedeflenen sürdürülebilirlik stratejileri ve yeni standartların örneklendirildiği kamusal alanların bir vitrini niteliğindedir. Gensler yetkilileri kuleyi tasarlarken, Pekin'in Hutongs ve kentin Shikumen adı verilen geleneksel dar sokaklı bitişik nizam evlerini (*lane houses*) göz önünde bulundurduklarını belirtmektedir (Xia, Poon ve Mass, 2010). Yasal bir zorunluluk olarak arsanın %33'ü yeşil alanlara ayrılmıştır (URL-47). 9 düşey bölge şeklinde tasarlanan kulede 1. bölge lüks butiklerin, kafelerin, restoranların bulunduğu katlardır. 2-6. bölgeler her biri ayrı bir mahalle olarak çalışan ofis katlarıdır. Dikey komşuluklarda, yani her 9 katta bir hem

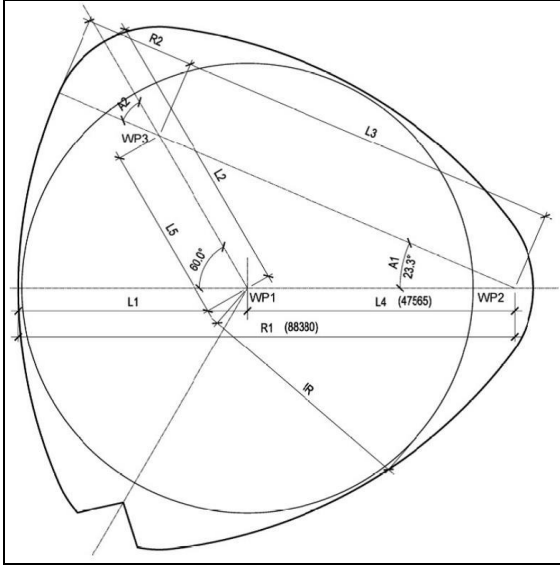
yapının kimliğine katkıda bulunan hem de sosyalleşmeye olanak sağlayan ve aynı zamanda kentin geleneksel peyzaj ve avlu kullanımını hatırlatan "gökyüzü lobileri " (*sky lobbies*) ile kullanıcılar için etkileşimli mekânlar yaratılmaya çalışılmıştır. 7. ve 8. bölgelerde beş yıldızlı bir otel, 9. ve son bölgede ise açık-kapalı gözlem güvertesi gibi kamusal alanlar mevcuttur (Xia ve diğerleri, 2010).

Form tasarımı

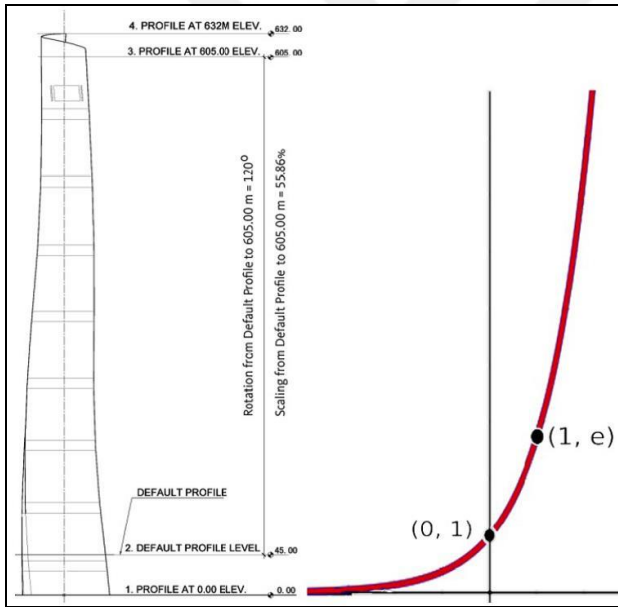
Kulenin etkin dönen/bükülen formu, kule mimarisinin 4 değişken tarafından kontrol edilen 3 anahtar bileşen şeklinde incelenebilecek geometrisi sayesinde şekillenmiştir:

Yatay profil (Şekil 5.13): Plan profili eşkenar üçgen üzerine oturtulmuştur. 60 derecede birbirine teğet geçen 2 eğri, yapının kesintisiz formunu kazandırmak için kullanılmıştır. Profil geometrisi iki değişken etrafında şekillenmiştir; geniş dairenin yarıçapı ve onun eşkenar üçgenin merkezine göre olan konumlanması. Burada, profilin doğru şeklinin bu iki geometrik yönlendiriciden bağımsız olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuç olarak, Gensler plan formunda yapılan bütün düzenlemelerin kulenin genel biçimlenişindeki her aşamada yönlendirici bir etkisi olduğunun bilinciyle hareket etmiştir (Zeljic, 2010).

Dikey profil (Şekil 5.14): Formun çıkış noktası, plan düzleminin kesit düzlemi ile ilişkilendirilerek yükseltilmesidir. Fonksiyonel bir bakış açısıyla incelendiğinde kulenin oturtulduğu tabanın geometrisinin, binanın ilk üçte birlik oranı boyunca korunmuş ve binanın üst üçte biri %55'e varan daralmayla yükseltilmiştir. Bu oransal dağılım ofis olarak kullanılan katlarda geniş açıklıklı, hotel/butik olarak kullanılan alanlarda ise dar açıklıklı kullanım alanlarının oluşturulmasına olanak vermiştir. Erken tasarım evresinde, temel eksponansiyel eğrinin istenen sonuçları verebileceği görülmüştür. Bu yöntem, finans endüstrisinde sürekli bileşkede ve iskontoda kullanılan yöntemlerle aynı temele dayanmaktadır. Plan düzlemindeki iki ve kesit düzlemindeki bir üçüncü değerler hizaya getirildiğinde, kesit oranında, büyük kat alanında ve bina formundaki kontrolün ele alınabildiğini gösterir (Zeljic, 2010).



Şekil 5.13. Yatay profil geometrisi (Zeljic, 2010)



Şekil 5.14. Dikey profil geometrisi (Zeljic, 2010)

Burulma oranı: Bu tabandan tavana doğrusal bir dönme hareketidir. Bu dönme biçimi tasarım sürecinde büyük bir esnekliğe ve genel bina performansı açısından en iyi kombinasyonun seçilmesine olanak vermiştir (Zeljic, 2010).

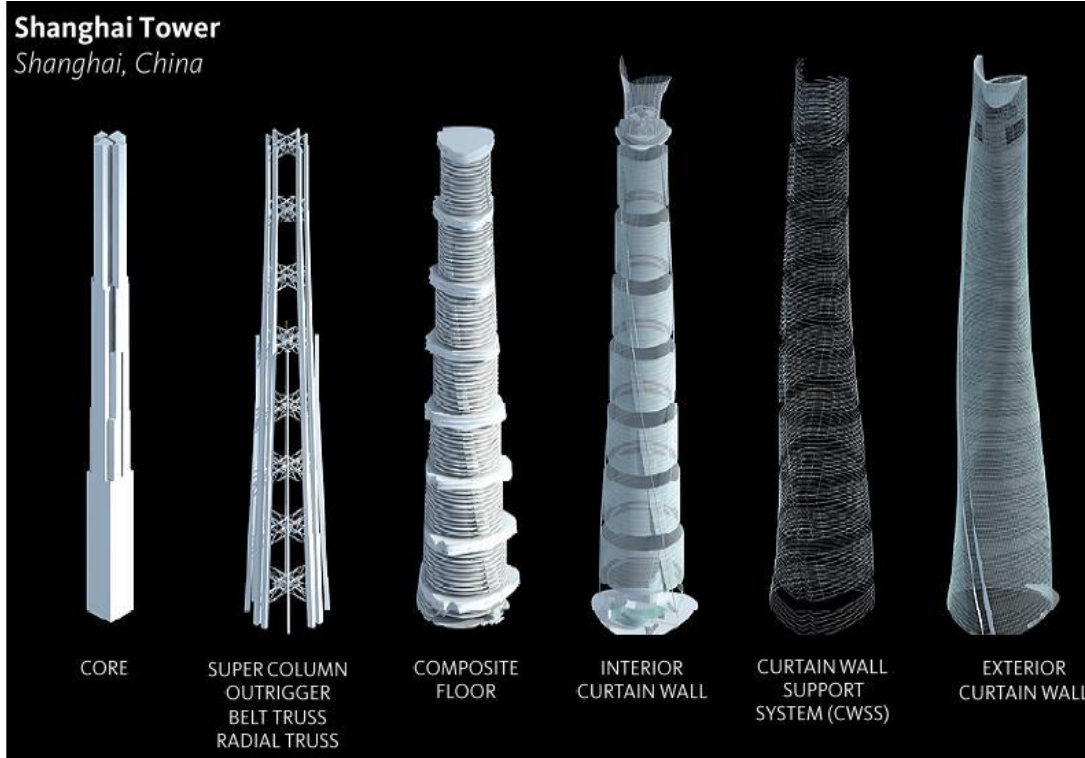
Kulede taşıyıcı sistem seçimi

Gensler firması Shanghai Kulesi projesini, davetiyeyle açılan çok aşamalı uluslararası bir yarışma sonucu kazanmıştır. Gensler firmasının sözkonusu yarışmayı kazanmasındaki en

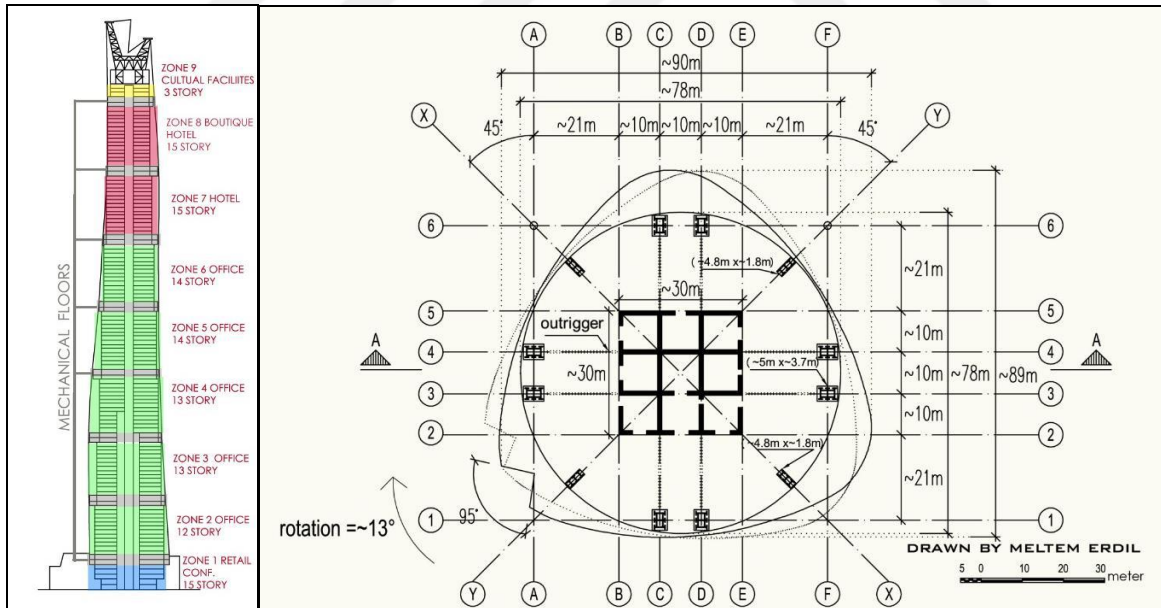
önemli faktör vadettiği performatif tasarım olmuştur. Firma, kule biçimini finalize etmek için bölgenin sahip olduğu en önemli ve etkili doğa olayı olan tayfunlara karşı birçok rüzgâr tüneli testi ve benzeşimi uygulamıştır. Bunun sonucunda elde edilen taşıyıcı sistem ve form rüzgâr yükünü %24'e varan oranlarda azaltmış ve bu sayede inşaat maliyetlerinde 58 milyon \$'a varan tasarruflara olanak sağlamıştır. Basit strüktürü, çift kabuklu cephede oluşturulan kamusal alanları ve yöresel anlayışa göre oluşturulmuş avlulara dayandırılarak oluşturulmuş gökyüzü bahçeleri sayesinde Shangai Kulesi bölge için bir cazibe merkezi haline gelmiştir (Gensler, 2010).

Kritik bileşenlerdeki gerilimler ve gerilme çizgileri, tüm strüktürdeki oturmalar ve deplasmanlar binanın hem yapım hem de kullanım aşamasında karşılabileceği aşırı yüklenmelere karşı göstereceği yapısal performans, tasarımcıların, inşasında sorumluların ve müşterinin ortak endişesi olmuştur. Binanın karmaşık yapısal performansını görüntüleyen sistemler inşa ve kullanım süreci boyunca binaya yerleştirilmiş ve performans takibi yapılmıştır. Bu görüntüleme sistemi sayesinde yapıdaki yapısal hatalar kabul edilebilir düzeylerde tutulacağını garantisini vermektedir (Su ve diğerleri, 2013).

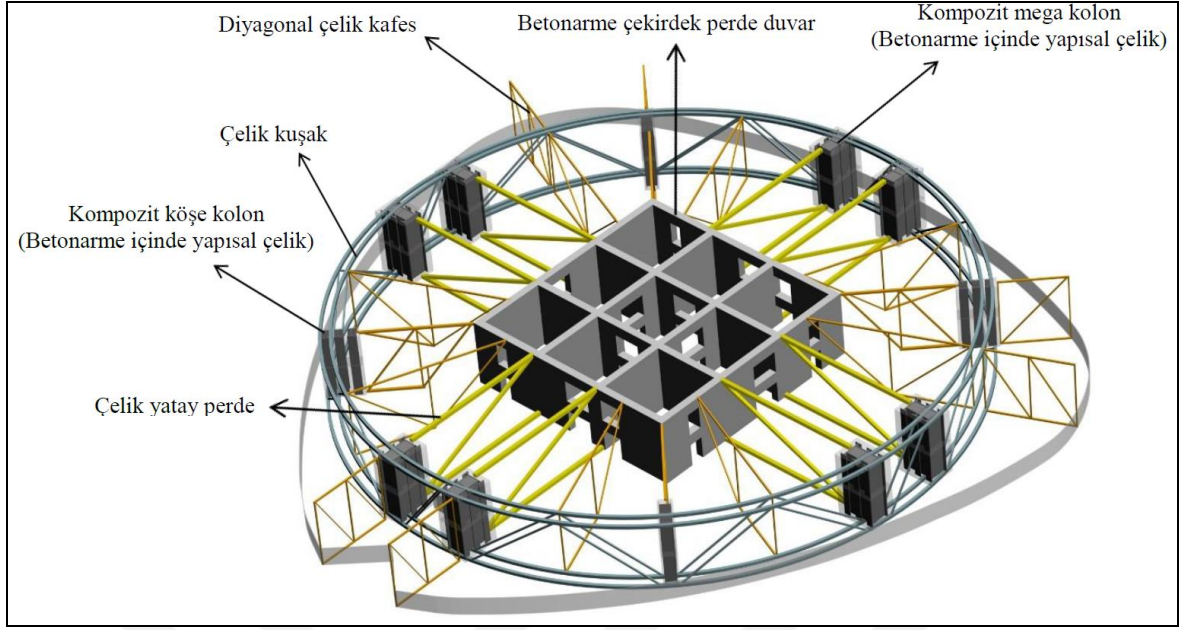
Strüktür tasarımcısı Thornton Tomasetti, mimari formla uyumlu basit, güvenilir ve ekonomik bir tasarım geliştirmiştir. Her biri 12-15 arasında kata sahip 9 zondan oluşan kulenin taşıyıcı sistemi; yatay perdeli çerçeve sistem (*outriggered-frame system*) olup betonarme çekirdek perde duvarlar (30x30m.), kompozit mega kolonlar, çelik yatay perdeler, çelik kuşaklar ve diyagonal çelik kafeslerden oluşmaktadır (Şekil 5.15, 5.16, 5.17). Yatay perdeli çerçeve sistem, temel olarak çekirdek perdeli (çekirdek kafes perdeli ve çekirdek perde duvarlı) çerçeve sistemlere, yapı yüksekliği boyunca bir veya daha fazla seviyede, çevre (dış) kolonlarla çekirdeği birbirine bağlayan yatay perdelerin eklenmesiyle geliştirilmiştir. “Yatay perde”, yatay konumlandırılmış kafes kiriş veya perde duvardan oluşmaktadır. Bu yapı elemanı, çekirdek perdenin çevre kolonlara dirsek şeklindeki yatay bir uzantısıdır. Dolayısıyla, “dirsek perdeli çerçeve sistem” olarak da adlandırılabilir. Yatay perdeler, normal katlardaki kullanıma engel teşkil etmemek amacıyla, genellikle yapı yüksekliği boyunca bir veya daha çok seviyede yer alan mekanik katlara yerleştirilmiştir (Kazımov ve diğerleri, 2017).



Şekil 5.15. Shanghai Kulesinin strüktürel katmanları (URL-48)



Şekil 5.16. Shanghai Kulesi 16-28. katlar arası planı ve şematik zon kesitleri (Çizimler: Meltem Erdil, ODTÜ / BS 536 dersi)



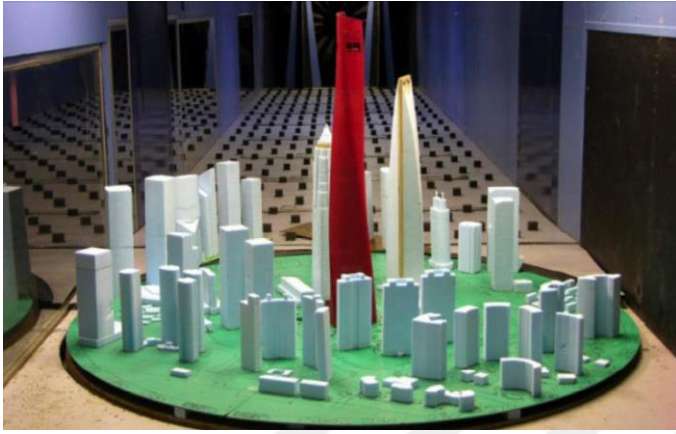
Şekil 5.17. Shanghai Kulesi mekanik kat strüktürel modellemesi (Çizim: Meltem Erdil, ODTÜ / BS 536 dersi)

Kompozit mega kolon çiftleri, ortonormal aksların sonuna yerleştirilerek 8. zona kadar uzanmakta olup aradaki 45°'lik dört aksta bulunan kompozit köşe kolonlar ise 5. zona kadar devam etmektedir. Kompozit mega kolonlar, bodrum katta 5.3x4.3m iken en üst katta 2.4x1.9m.'ye düşmektedir. Çelik yatay perdeler, iki kat derinliğinde olup bina yüksekliği boyunca 2,4,5,6,7 ve 8. zonlar olmak üzere toplam 6 seviyede yerleştirilmiştir. Çelik kuşaklar, iki kat derinliğinde ve çiftler halinde tasarlanmıştır. Diyagonal çelik kafesler ise giydirmeye cephe sistemini desteklemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu malzemeler lazerli kesiciler ile inşaat alanının yakınında kurulan bir merkezde yüksek hassasiyetle üretilmiştir. Tüm bu tercihler daha hızlı ve daha ekonomik bir üretim sağlamıştır (Kazımov ve diğerleri, 2017).

Kulede rüzgâr testleri

Rowan, Williams, Davies & Irwin Inc. (RWDI) tarafından gerçekleştirilen rüzgâr tüneli testleri, yapı performansını anlamak için gerekli görülmüştür. Rüzgâr tüneli test prosedürleri, ASCE 7-05 Standardının 6.6 bölümünde ve P.R.C.'nin Yapı Yapılarının Tasarısı Yükleme Kodunda GB 50009-2001'de belirtilen gereksinimlere dayandırılmıştır. Ayrıca, bire bir ölçekli yapısal tepki ve daha fazla basınç yükü tahmin etmek için, rüzgâr tüneli verileri yerel rüzgâr ikliminin istatistiksel bir modeli ile birleştirilmiştir. Rüzgâr iklimi modeli, Hong Qiao Uluslararası Havaalanı'nda alınan yerel yüzey rüzgâr

ölçümlerine ve Kuzey Carolina Raleigh'deki *Applied Research Associates* tarafından sağlanan bir bilgisayar simülasyonuna dayandırılmıştır. Tüm testler 1:500 (Resim 5.17) modelinde gerçekleştirilmiş ve yükleme hakkında daha kesin veriler ve rüzgâr girdap bölünmesinin çevresel dış duvar yüzeyleri üzerindeki etkisi için kullanılan Reynolds sayı düzeltme faktörü sonuçları için 1:85 (Resim 5.18) ölçekli model ile test edilmiştir (Zeljic, 2010).

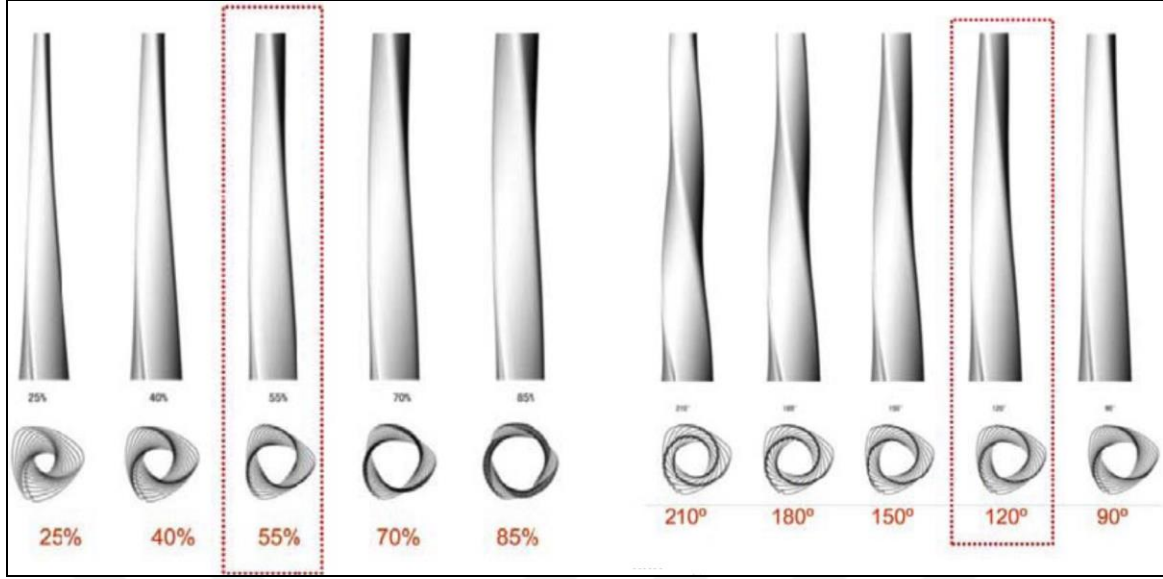


Resim 5.17. Rüzgâr tünel model çalışması 1:500 ölçek (Zeljic, 2010)



Resim 5.18. Reynolds sayı çalışma modeli, 1:85 ölçek (RWDI) (Zeljic, 2010)

Gensler tasarım ekibi, daha önce açıklanan değişkenlere göre önerdikleri geometriyi daha da geliştirmiş, kule yapısında rüzgâr yükü ve rüzgâr basınçlarındaki önemli düşüşün sağlanabileceğini öngörmüştür. Bu yükleri azaltmak için mümkün olan en iyi durumun oluşturulması için, 90°, 120°, 150°, 180° ve 210° dönme ve daha sonra %25, %40, %55, %70 ve %85 daralmayı içeren çeşitli senaryoları denemişlerdir. Bütün bu senaryolar birbirleri ile karşılaştırılarak analiz edilmiş ve en optimum forma ulaşılmıştır (Şekil 5.18) (Zeljic, 2010).



Şekil 5.18. Rüzgâr yüklerine karşı en iyi form arayışı (URL-49)

Elde edilen veriler %55'lik azalma ve 120 derecelik burulma yapı rüzgâr yükünü azaltmada ve cephe basıncını düşürmede, temel konik bir forma kıyasla %24'e kadar tasarruf sağlandığını göstermektedir. Bu da bina yapı malzemesinde 58 milyon \$ tasarrufa eşdeğerdir. Bunların yanı sıra bu, arzu edilen estetiği koruyarak, cephe yüklerini maksimum optimize etmeye ve yaymaya yardımcı olmaktadır (Zeljic, 2010; Gensler, 2010).

Doğal havalandırma, doğal aydınlatma ve etkin güneş kontrolü

Yüksek bir yapıda ısıtma ve soğutma enerjisinden tasarruf, iç mekânların doğal olarak aydınlatılması ve havalandırılması, bunların yanı sıra, güneşin istenmeyen etkilerinden kaçınmak için en önemli bileşen cephelerdir (Ali ve Armstrong, 2008). Bu anlamda en etkin cephe sistemlerinden biri olarak kabul edilen çift kabuk cephe sistemleri tıpkı termos gibi davranmakta ve binanın enerji etkinliği artmaktadır. Shanghai Kulesi'nde de bina yüzeyini sarmayalan şeffaf cephe, yapının doğal olarak iklimlendirilmesinin sağlanması için özel olarak tasarlanmıştır. 210 bin m² giydirme cephe imalatının yapıldığı yüzey sayesinde doğal olarak havalandırılan ve iç-dış arasında tampon bölge görevini üstlenen "gökyüzü lobileri" iç ortam sıcaklığını dengede tutmaktadır (Şekil 5.19). 34 bin kişi kapasitesi bulunan kulede doğal havalandırmanın önemine dikkat çeken tasarımcılar mekanik donanımları her zonda optimum esnekliği ve maliyeti sağlayacak şekilde

planlandıklarını dile getirmektedirler (URL-50). Bütün bu planlamalar sonucunda binanın yıllık karbon salımında 34 bin ton azalma sağlanacağı öngörülmektedir (URL-51).



Şekil 5.19. Çift kabuk cam cephe kesit perspektifi ve gökyüzü lobilerinden iç mekân görüntüsü (Gensler, 2010)

Yeşil enerji ve rüzgâr türbinleri

Yüksek binalara rüzgâr türbinlerinin yerleştirilmesi bir taraftan yüksek bir binanın karbon ayak izini azalttığı gibi, diğer taraftan da bu yapı türünün görsel açıdan çevresel bir göstergesi olup, kamu üzerinde de olumlu bir etki yaratmaktadır. Shanghai Kulesi'nin bitişiindeki parapetin hemen altına yerleştirilen 270 adet rüzgâr türbini (Resim 5.19) ile yerinde enerji üretimi, cephe aydınlatmasında kullanılacak enerjiyi karşılamaktadır. Yıllık 350 bin kWh olarak hesaplanan bu üretim bina için gerekli tüm elektrik enerjisinin %10'u kadardır (URL-52).



Resim 5.19. Kulenin bitiş parapetine yerleştirilen rüzgâr türbinleri (URL-53)

Yukarıda detayla anlatılan tüm "daha" lar bir araya geldiğinde Shanghai Kulesi, ABD Yeşil Bina Konseyi tarafından verilen LEED Platin Sertifikası (*LEED Platinum Certification*) ile birlikte Çin Üç Yıldızlı Yeşil Bina Tasarımı Etiketini'ne (*China Green Building Three Star Rating*) kolaylıkla ulaşmıştır. LEED Platin Sertifikası, ABD Yeşil Bina Konseyi tarafından bir binanın alabileceği en üst düzey sertifikadır. Tüm bu özellikleri ile de iki sertifikaya sahip en yüksek binadır. Gösterdiği performans açısından bazı özellikleri özetlenerek şöyle sıralanabilir (Kazımov ve diğerleri, 2017; URL-54):

- Benzer bir yükseklikteki geleneksel bir tasarıma göre %24 daha az yapısal çelik kullanılmış ve sonuç olarak, ABD malzeme maliyetlerine göre 58 milyon \$ tasarruf edilmiştir.
- Isıtma-soğutma ihtiyacını azaltmak için sıcaklık değişimlerine tolerans gösterebilecek yalıtımlı çift kabuk cam cephe tasarlanmıştır.
- Çift kabuk cephenin dış katmanında rüzgâr, yağmur ve güneşi filtreleyen lamine cam kullanılırken, iç katmanda güneş kontrollü düşük salımlı (low-e) cam kullanılmıştır. Bu sayede doğal havalandırma ve soğutma sağlanmaktadır.
- Bina cephesi içinde yer alan gökyüzü lobileri termal bir tampon bölge oluşturmakta ve iç hava kalitesini artırmaktadır.

- Isıtma ve havalandırma sistemlerinde kullanılmak üzere binanın bitiş parapetinde yağmur suyu toplamaktadır. Toplanan yağmur suları ve gri su geri dönüşüm sistemlerinin kullanımıyla ve akıllı armatür teknolojileri ile kulenin toplam su tüketiminin %40 oranında azaltılması planlanmaktadır.
- Kulenin 124. katına kurulan 270 adet rüzgâr türbini ile yılda 350 bin kWh elektrik üretimi amaçlanmıştır.

Mimarlık disiplininde sürdürülebilirliğe dair her yeni paradigmatik söylem ve uygulama önem kazanmaktadır. Özellikle sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin sağladığı işbirliği imkânları ile gerçekleştirilen performatif mimarlık arayışları sürdürülebilirlik konusunda 21.yy'ın dilini şekillendirmeye de başlamıştır.

Bu bağlamda, daha yükseğe ulaşma kaygısı, rüzgârla şekillenen aerodinamik bina formu, doğal havalandırma-aydınlatma ve etkin güneş kullanımı, su tasarrufu, yeşil enerji kullanımı ve özellikle rüzgâr enerjisinin binaya entegre edilmesi gibi önemli konuların dikkatle üzerinde durulduğu Shanghai Kulesi, 21.yy'ın gelmiş olduğu teknolojik düzeyin tüm özelliklerini yansıtan bir örnek olarak, ortaya koymuş olduğu performans arayışları ile literatürdeki haklı yerini almıştır.



6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Yapılan literatür taramasında yüksek yapıların, 19. yüzyıl sonlarından itibaren geliştiği, gelişen tasarımlar üzerinden yüksek bina tipolojisinin oluştuğu görülmektedir. Endüstri devrimi ve teknolojiye elde edilen gelişmeler sayesinde binaların yapım aşama süreçleri daha da hızlanmıştır. Zamanla artan insan nüfusu ve inşaat yapımı için kullanılabilir alanların daralması ve arsaların giderek küçülmesi, kentleri yüksek yapılar inşa etmeye yönlendirmiştir. Giderek bu yüksek yapılar, çok katlı yüksek yapılar ve günümüzde gökdelenler olarak adlandırdığımız binalar inşa edilmeye başlamıştır.

Fakat günümüz şartlarında sadece ihtiyaç ve gereklilikten değil, artık yüksek yapıların ülkeler ve holdingler arası bir rekabet, güç ve prestij göstergesi olarak ta inşa edildiğini söylemek hiç te zor değildir.

İlk zamanlarda yapılan yüksek binalar incelendiğinde daha çok taşıyıcı sistem odaklı ve basit geometri şekillerine göre formların tasarlanarak inşa edildiği görülmektedir. Bu tür yaklaşım belli bir yüksekliğe kadar olanak sağlamakta ve fakat çok katlı binalar için yetersiz kalmaktadır. Basit form ve güçlendirilmiş strüktür tasarımı, çok katlı bir bina için fazla malzeme kullanımı gerektirmekte, bu da bina yapımı için daha yüksek maliyet sorunu çıkarmaktadır. Aynı zamanda binaya etkiyen yanal (rüzgâr ve deprem) yükler karşısında basit geometrik formların yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu da yüksek bir binada risk unsurudur.

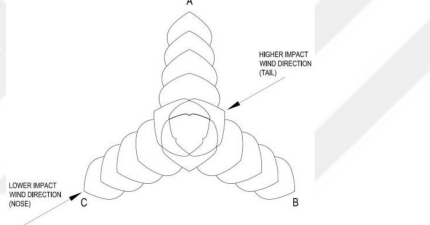
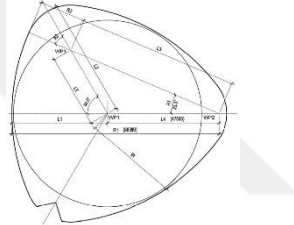

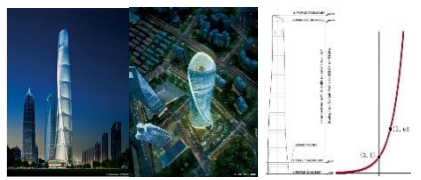
Bu sorunları ortadan kaldırmak için yüksek binalarda, rüzgâr etkisine karşı aerodinamik düzenlemeler ve aerodinamik form kavramları ortaya çıkmış ve bu formlara özel strüktür tasarımları geliştirilmeye başlanmıştır. Yapılan bu çalışmalar yüksek yapıların gelişmesine katkı sağlamış, daha yüksek yapıla bilmesi açısından bir devrim yapmıştır. Bu sayede, yüksek yapılar minimum arsa kullanımı ve daha yüksek yapılabilmesi açısından elverişli olmuştur.

Kent silüetlerine bakıldığında, yüksek binaların hem sayısal hem de yükseklik olarak giderek daha da arttığı görülmektedir. Bu anlamda büyük kentlerin yatay değil, dikey kentleşme odağı ile büyüdüğünü söylemek mümkündür. Ancak dikey şehircilik kavramının sorunsuz ve ideal şehir yapılanması anlamına gelmemektedir. Yapılan her bir yüksek bina

insan hayatı, güvenliği ve sağlığı üzerinden değerlendirilmelidir. Zamanla yüksek yapıların, kullanıcı ihtiyaçları açısından bazı eksiklikleri görülmektedir. Kullanıcı konforu ve sağlığı açısından yüksek binaların, doğal ortam, temiz hava ve doğal aydınlatma, güneş, yeşil alan vs. gibi ihtiyaçları karşılaması gerekmektedir. Artık yüksek yapıların sadece yüksek ve donanımlı olması yetmemekte, aynı zamanda da kullanıcı ihtiyaçlarını karşılaması ve binanın enerji tüketimi, su kullanımı, temiz hava, yeşil alan vs. gibi çevreye minimum zarar verecek şekilde evre dostu olması da ön plana çıkararak tasarlanması ihtiyacı doğmaktadır.

Bu kriterler açısından, dünyanın en yüksek iki binası olan Burj Khalifa ve Shanghai Kulesi rnekleri karşılaştırıldığında aralarında bazı farklılıklar göze çarpmaktadır. Bu farklılıklar izelge 6.1'de belirlenen kriterler açısından her iki binanın değerlendirilmesiyle sunulmuştur.

Çizelge 6.1. Burj Khalifa ve Shanghai Kulesi değerlendirilmesi

	Burj Khalifa	Shanghai Kulesi	
Genel bilgiler	<u>Yeri</u>	Duabi, Birleşik Arap Emirlikleri	Shanghai, Çin
	<u>Toplam kat alanı</u>	280.000 m ²	380.000 m ²
	<u>Kat adedi</u>	162	128
	<u>Yükseklik</u>	828 m (CTBUH, 2017, Aralık verilerine göre dünyanın en yüksek binası)	632 m (CTBUH, 2017, Aralık verilerine göre dünyanın en yüksek 2. binası)
	<u>Başlangıç tarihi</u>	2004	2008
	<u>Bitiş tarihi</u>	2010	2015
	Mimari bilgiler	<u>Mimari tasarım</u>	SOM (Skidmore, Owings & Merrill LLP)
<u>Plan</u>			
<u>Form</u>		Sarmal yükselişli “çöl çiçeği” (hymenocallis) formlu 	Spiral şeffaf formlu 
<u>Fonksiyon</u>		Karma kullanımlı (ofis, konut, otel)	Karma kullanımlı (otel, ofis)
Strüktürel bilgiler	<u>Strüktürel tasarım</u>	SOM (Skidmore, Owings & Merrill LLP)	Thornton Tomasetti
	<u>Taşıyıcı sistem</u>	Yatay perdeli çerçeve sistem	Yatay perdeli çerçeve sistem
	<u>Taşıyıcı sistem malzemesi</u>	Betonarme: Çekirdek perde duvar: Betonarme Kolon: Betonarme Yatayperde: Betonarme	Kompozit: Çekirdek perde duvar: Betonarme Kolon: Çelik Yatayperde: Çelik

Çizelge 6.1. (devam) Burj Khalifa ve Shanghai Kulesi değerlendirilmesi

Rüzgâr etkisine karşı aerodinamik tasarım	<u>Taşıyıcı sistemin bina salınımlarını sönümleme kapasitesi</u>	✓	✓
	<u>Rüzgâr tüneli testi</u>	✓	✓
	<u>Mimari (aerodinamik-etkin ve strüktür-etkin) yöntemler</u>	Aerodinamik form, Bina cephesinde çekme, Aerodinamik bina tepesi	Aerodinamik form, Bina plan-kesit alanının azalması
	<u>Aerodinamik form</u>	Y şekilli üç eksenli sarmal yükselişli form	Burgulu form
	<u>Köşe geometrisinde iyileştirmeler</u>	Herhangi bir bilgiye ulaşılmamıştır	Nişli ve yuvarlatılmış köşe
Sürdürülebilir tasarım	<u>Yapısal malzeme tasarrufu</u>	Herhangi bir bilgiye ulaşılmamıştır	✓
	<u>Rüzgâr enerjisi kullanımı</u>	x	✓
	<u>Yağmur suyu toplanması</u>	Herhangi bir bilgiye ulaşılmamıştır	✓
	<u>Cephe</u>	Giydirme çift cam cephe	Çift kabuklu (katmanlı) cam cephe
	<u>Rüzgâr, yağmur ve güneşi filtreleyen lamine cam</u>	Herhangi bir bilgiye ulaşılmamıştır	✓
	<u>Güneş kontrollü düşük salımlı (low-e) cam</u>	✓	✓
	<u>Bina cephesi ısı yalıtımı ve termal performans</u>	✓	✓
	<u>Gökyüzü lobileri (yeşil avlu)</u>	x	✓
<u>LEED sertifika</u>	Herhangi bir bilgiye ulaşılmamıştır	LEED Platin Sertifikası (LEED Platinum Certification)	

Burj Khalifa binası sıcak iklim bölgesi olan Dubai kentinde inşa edilmiştir. Bu sebeple bina formu çöl çiçeği olan “hymenocallis” bitkisinden ilham alınarak tasarlanmıştır. Shanghai Kulesi ise astropikal iklim bölgesi olan, nemli ve daha çok yağmurlu bir mevsim yaşayan Shanghai kentinde inşa edilmiştir.

Her iki binanın inşası toplam 6-7 yıllık bir süreç içerisinde tamamlanmıştır. 828 metre yüksekliğe sahip olan Burj Khalifa, 162 kat ve toplam 280.000 m² kat alanına sahip olmaktadır. Shanghai Kulesi ise 632 metre yüksekliğe sahip ve toplam 380.000 m² kat alanı ile 128 kat teşkil etmektedir. Bu iki binayı karşılaştırdığımız zaman, her ne kadar Burj Khalifa binası Shanghai Kulesi’ne göre daha yüksek olsa da, kullanım alanı olarak Shanghai Kulesi, Burj Khalifa binasına göre daha fazla kullanım alanına sahiptir. Ayrıca doğru orantı ($632 \times 162 / 828 \approx 123$) hesabıyla Burj Khalifa binasının 632 metrelik kısmı yaklaşık 123 kat adedine denk gelmekte, fakat Shanghai Kulesi ise kat adedi 128 olarak kendi yüksekliği açısından Burj Khalifa binasına göre daha fazla kat sayısına sahip olmaktadır.

Binaların ikisi de işlevsellik olarak karma kullanımlı ve taşıyıcı sistem olarak ise yatay perdeli çerçeve sistem tercih edilmiştir. Taşıyıcı sistem malzemesi olarakta, Burj Khalifa’da betonarme, Shanghai Kulesi’nde kompozit malzeme kullanılmıştır.

Rüzgâr etkisine karşı aerodinamik düzenlemelere baktığımız zaman, Burj Khalifa binası aerodinamik form olarak “Y” şekilli üç eksenli bina plan-kesitine sahip, sivri uçlu şekilli bina ana rüzgâr yönlerine göre yerleştirilmiş, Shanghai Kulesi için ise dairesel üçgen bina plan-kesitine sahip burgulu form şeklinde tasarlanmıştır. Her iki bina için de 1:500 ölçekli model üzerinde rüzgâr tüneli testi uygulanmıştır. Aerodinamik etkin ve strüktür etkin yöntem olarak, Burj Khalifa binası için bina cephesinde çekme ve aerodinamik bina bitişi yöntemi kullanılmıştır. Shanghai Kulesi için ise bina plan-kesit alanının azalması yöntemi tercih edilmiştir. Köşe geometrisinde iyileştirmeler açısından Shanghai Kulesi’nde nişli ve yuvarlatılmış köşe kullanılmış, Burj Khalifa için ise bu konuda herhangi bir bilgiye ulaşılmamıştır.

İki binada da sürdürülebilir olması yönünden farklı tasarım ve uygulamalar yapılmıştır. Yapısal malzeme tasarrufu ile ilgili, Shanghai Kulesi tasarımında bina plan-kesit alanında yukarıya doğru giderek %55’lik azalma ve bina formunda 120 derecelik burulma ile yapı

rüzgâr yükünü azaltarak inşaat malzemesinde 58 milyon \$ tasarruf sağlamıştır. Malzeme tasarrufuyla ilgili Burj Khalifa binası için bir bilgiye ulaşılmamıştır.

Shanghai Kulesi bina tepesine yerleştirilen 270 adet rüzgâr tribünü ile rüzgâr enerjisi kullanımından üretilen enerjiden faydalanılmakta, bunun yanı sıra bina bitiş parapetinde yağmur suyu toplanarak değerlendirilmektedir. Burj Khalifa binasında rüzgâr tribünü gibi bir uygulama bulunmamakta ve yağmur suyu toplanması gibi bir uygulamanın kullanıldığına dair bir bilgiye rastlanmamıştır.

Cephe sistemi olarak, Burj Khalifa binasında giydirme çift cam cephe, Shanghai Kulesi'nde ise çift kabuklu (katmanlı) cam cephe tercih edilmiştir. Shanghai Kulesi dış katmanında rüzgâr, yağmur ve güneşi filtreleyen lamine cam kullanılmıştır. Burj Khalifa bina cephesinde ve Shanghai Kulesi iç katmanında güneş kontrollü düşük salınlı (low-e) cam uygulanmıştır. Her iki binada da cephe ısı yalıtımı ve termal performans görülmektedir. Ayrıca Shanghai Kulesi bina cephesi içinde yer alan gökyüzü lobileri termal bir tampon bölge oluşturmakta ve yeşil alan olarak iç hava kalitesini artırmakta, yıllık karbon salınımında 34 bin ton azalma sağlanacağı öngörülmektedir.

Yapılan bu araştırma, karşılaştırma ve değerlendirmeler her iki binanın da kendine özel belli bir tasarım arayışları ve uygulamalar çerçevesinde yapıldığını göstermektedir. Her iki binanın da ana ortak özellikleri strüktür, yanıl yükler ve aerodinamik tasarım üzerinden yola çıkılmasıdır. Yapılan değerlendirmeler aralarındaki farkları belirgin bir şekilde ortaya koymaktadır.

Burj Khalifa binasına bakıldığı zaman, ilk göze çarpan unsurlar olarak, binanın dünyanın en yüksek binası olması, kendine has form tasarımı ve strüktürüdür. Çok yüksek bir bina olmasından dolayı aerodinamik tasarım uygulaması üzerinden yola çıkılarak, rüzgâr etkisine karşı aerodinamik düzenlemeler yapılmıştır. Sıcak bir iklimde olduğu için bina cephesinde ısı yalıtımlı ve güneş kontrollü çift cephe kullanılmıştır. Bu uygulamalara baktığımız zaman, binanın esas amacının günümüze kadar yapılmış dünyanın en yüksek bina unvanına sahip olması ve bir güç prestij göstergesi olduğu görülmekte, bu yükseklikten dolayı strüktür ve aerodinamik tasarımı da dikkatleri çekmektedir.

Shanghai Kulesi binası için ise asıl amacın en yüksek olması değil, ihtiyaç ve gereklilikten dolayı yüksek bina olarak inşa edilmesi ve en üst düzeyde sürdürülebilirliğin sağlanması olduğu dikkat çekicidir. Bina tasarımında her bir kriter maksimum performansa göre belirlenmiş, yüksekliğinin gerektirdiği strüktür ve aerodinamik tasarımı beraberinde pek çok avantaj getirmiştir. Binada hedeflenen verimlilik sayesinde, enerji ve su tüketiminde tasarruf sağlanması, binanın enerji üretmesi, atık ve yağmur sularının değerlendirilmesi, gökyüzü lobilerinde bulunan yeşil alan sayesinde karbon salınımını minimuma indirilmesi vs. gibi diğer özellikleri ile çevre dostu bir yüksek yapı elde edilmiştir. Sonuç olarak bina Amerikan Yeşil Binalar Konseyi tarafından LEED Platinum Sertifikası (en üst düzey LEED sertifikası) almaya hak kazanmış ve Çin Üç Yıldızlı Yeşil Bina Tasarımı Etiketini'ne sahip olmuştur. Bu bağlamda bu iki sertifikaya sahip tek yüksek binadır.

Son söz olarak, tüm yapıları çevreler ve özellikle yüksek binaların, çevreyi önemli ölçüde etkilemekte ve değiştirmekte olduğu söylenebilir. Binaların, ulusal enerjinin büyük kısmını tüketerek (yaklaşık olarak %40) sera gazı salınımlarına da sebep olduğu düşünüldüğünde çevreye yaptığı etkinin boyutları daha net anlaşılabilir. Bu sebeple mimarlık disiplini 'sürdürülebilirliğe' dair her yeni paradigmatik söylem ve uygulama önem kazanmaktadır. Özellikle sayısal tasarım ve üretim teknolojilerinin sağladığı iş birliği imkânları ile gerçekleştirilen performatif mimarlık arayışları sürdürülebilirlik konusunda 21.yy'ın dilini şekillendirmeye de başlamıştır. Kuşkusuz ki Shanghai Kulesinde elde edilen bu değerler, tasarımcıların "performansa" yönelik yoğun araştırma ve geliştirme faaliyetleri ile elde edilmiştir.

Bu kadar karmaşık ve meydan okuyucu bir yapının tüm paydaşlarla yüksek düzeyde işbirliği içinde tasarlandığı ve bu koordinasyonun özellikle BIM (Building Information Modelling) sayesinde yapılabildiğinin altı çizilmelidir. Bu bağlamda, daha yükseğe ulaşma kaygısı, rüzgarla şekillenen aerodinamik bina formu, doğal havalandırma-aydınlatma ve etkin güneş kullanımı, su tasarrufu, yeşil enerji kullanımı ve rüzgar enerjisinin binaya entegre edilmesi gibi önemli konuların dikkatle üzerinde durulduğu Shanghai Kulesi, 21.yy'ın gelmiş olduğu teknolojik düzeyin pek çok özelliklerini yansıtan bir örnek olarak, ortaya koymuş olduğu performans arayışları ile literatürdeki haklı yerini almıştır. Bu arayışlarla ulaşılan sonuçlar son derece önemli olup mimarlık platformlarında konuşulup tartışılmaya değerdir.



KAYNAKLAR

- Abdelrazaq, A., Kyung Jun Kim, S.E., Ho Kim, J., (2008). *Brief on the Construction Planning of the Burj Dubai Project*. CTBUH 8th World Congress, Dubai, UAE.
- Faia Riba, A.S., (2008). *Burj Dubai: Designing the World's Tallest*. CTBUH 8th World Congress, Dubai, UAE.
- Ali, M.M., Armstrong, P.J., (2008). *Overwiev of Sustainable Design Factors in High-Rise Office Buildings*. CTBUH 8th World Congress, Tall and Green: Typology for a Sustainable Urban Future, 3-5 March, Dubai, 282-291.
- Altın, M., Orhon, A.V. (2014). *Akıllı Yapı Cepheleeri ve Sürdürülebilirlik*. 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş – İstanbul.
- Arpacıoğlu, Ü.T. (2004). *Yangın Olgusu ve Yüksek Yapılarda Yangın Güvenliği*, Yüksek Lisans Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ASCE 7-10, (2010), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, *American Society of Civil Engineering*, Washington.
- Atasoy, N. (2014). *Yüksek Yapılarda Güncel Tasarım Yaklaşımları*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baker, W.F., Korista, D.S., Novak, L.C., (2008). *Engineering the World's Tallest – Burj Dubai*. CTBUH 8th World Congress, Dubai.
- Balcı, S.B. (2013). *Yüksek Yapıların Taşıyıcı Sistemleri ve Mimari Tasarımla Olan Etkileşimi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Benli, N. (2005). *Çok Katlı Yüksek Yapılarda Kullanılan Kalıp Sistemlerinin İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Binzet, S., Tüzün, C., Erdik, M., (2014). *Performance Based Design of a High Rise Building Based on Istanbul Tall Building Seismic Code*. 2nd European Earthquake Conference on Engineering and Seismology, İstanbul.
- Boduroğlu, Ş. (2010). *Akıllı Binalarda Enerji Etkin Cephe Tasarımı*, 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, İzmir.
- Bostan, H.T. (2012). *Yüksek Yapılarda Ekolojik Mimari ve Sürdürülebilirlik*, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bozan, A. (2008). *Mevcut Çok Katlı Yapının Statik İtme (Pushover) Yöntemi İle Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Celep, Z., Kumbasar, N. (2004). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, İstanbul: Beta Dağıtım.

- Çakır, G. (2011). *Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Yüksek Yapıların İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deaton, J.B., (2005). *A Finite Element Approach To Reinforced Concrete Slab Design*, Degree Master of Science, Georgia Institute of Technology, School of Civil and Environmental Engineering, Atlanta.
- Demir, N. (2011). *Yüksek Yapılar ve Sürdürülebilir Enerji*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirtaş, B. (2007). *Yüksek Binalarda Servis Çekirdekleri ve Düşey Sirkülasyon Sistemleri Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Diamond, J., (2007). *History of Skyscrapers, 1000 Events That Shaped the World*. Washington DC : National Geographic Society.
- Dodson, M.G. (2005). *An Historical and Applied Study of the Wright Brothers' Wind Tunnel Test Program and Application to Successful Manned Flight*, Trident Scholar Project, United States Naval Academy Aerospace Engineering Department, Annapolis.
- Doğan, A. (2008). *Metropollerde Prestij Göstergesi Olarak Yüksek Yapılar*, Yüksek Lisans Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eisele J., Kloft E. (2003). *High-Rise Manual, Typology and Design, Construction and Technology*. Birkhäuser-Publishers for Architecture, 8-23.
- Erdoğan, H.K. (2007). *Yüksek Yapılarda Kullanılan Cephe Sistemlerinin Analizi ve İstanbul'daki Örnekler Üzerine Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erkel, A. (2006). *Yüksek Bina Strüktürel ve Kabuk Alt Sistemlerinin İlişkisi ve Gelişimi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Eşsiz, Ö., Özgen, A., (2004). Büro Yapılarında Enerji Tüketimini Azaltan Çift Kabuklu Cam Cephe Sistemleri, *Yapı Dergisi*, (276), 97-103.
- Gönenç Sorguç A., Arslan Selçuk S. (2009). *Sürdürülebilirlik için Performatif Mimarlık*. Uluslararası Ekolojik Mimarlık ve Planlama Sempozyumu, 132-136.
- Grobman, Y. J., Neuman, E., (2011). *Performativism: form and performance in digital architecture*, Routledge.
- Gu, M., Quan, Y. (2004). Across-wind Loads of Typical Tall Buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, (92), 1147-1165.
- Güleryüz, M., Dostoğlu, N., (2012). Yüksek Binalar ve Sürdürülebilir Mimarlık: Çelişkiler, Beklentiler, *Yapı Dergisi*, (368), s. 72-76.

- Günel, M.H., Ilgın, H.E. (2010). *YÜKSEK BİNALAR Taşıyıcı Sistem ve Aerodinamik Form*. Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliğı.
- Harmankaya, Z.Y., Soyluk, A. (2010). *Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistem ve Cephe Etkileşimi*. 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, İzmir.
- Hens, H.S.L., (2016). *Applied Building Physics: Ambient Conditions, Building Performance and Material Properties*, Germany: Ernst & Sohn.
- Hensen, J.L., Lamberts, R., (Editors). (2012). *Building Performance Simulation for Design and Operation*, Routledge, New York: Spon Press.
- HO H K, P. (2007). *Economics Planning of Super Tall Buildings in Asia Pasific Cities*, TS 4G-Construction Economics and Development, Hong Kong SAR, China.
- Holmes, J.D. (2001). *Wind Loading of Structures*, London, Spon Press.
- Irwin, P.A., Baker W.F., Korista, S., Weismantle, P.A., Novak, L.C., (2006). The Burj Dubai Tower, Wind Tunnel Testing of Cladding and Pedestrian Level, *Structure Magazine*, 48-51.
- Irwin, P.A. (2008). Bluff Body Aerodynamics in Wind Engineering, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, (96), 701-712.
- Ilgın H.E. (2006). *A Study On Tall Buildings and Aerodynamic Modifications Against Wind Excitation*, Thesis of Master Degree, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Ilgın, H.E., Günel, M.H. (2007). The Role of Aerodynamic Modifications in the from of Tall Buildings Against Wind Excitation. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 17-25.
- Ilgın, H.E., Günel, M.H (2008). Ne Zamana Kadar En Yüksek?, *Ege Mimarlık*, 2008/4-67, 26-27.
- İnternet: Coşkun, E. (2006). Yüksek Binaların Gelişimi ve Tasarım İlkeleri, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.iku.edu.tr%2F%7Eeco%2Fsemineryap%25C4%25B12006.pdf&date=2017-12-12>, Son Erişim Tarihi 12.12.2017.
- İnternet: Gensler, (2010). Gensler Design Update - Shanghai Tower, URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.gensler.com%2Fuploads%2Fdocuments%2FShanghai_Tower_12_22_2010.pdf&date=2017-11-16, Son Erişim Tarihi 16.11.2017.
- İnternet: Hasol, D., (2007). Yüksek, Daha Yüksek, En Yüksek! , *Mimarist*, sayı:24, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.doganhasol.net%2Fyuksek-daha-yukse-en-yukse-2.html&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

- İnternet: Pang, F.,Y., (2015). *Shanghai*, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fprezi.com%2Fvdiajavvn607%2Fshanghai%2F&date=2017-10-19>, Son Erişim Tarihi: 19.10.2017.
- İnternet:URL-1, Emporis, High-Rise Building (ESN 18727), A Global Building Information Company, Emporis GmbH, Germany, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.emporis.com%2Fbuilding%2Fstandard%2F3%2Fhigh-rise-building&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.
- İnternet:URL-2, CTBUH (Council on Tall Buildings and Urban Habitat), Height Criteria, The Monroe Building, Chicago, USA, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ctbuh.org%2FTallBuildings%2FHeightStatistics%2FCriteria%2Ftabid%2F446%2Flanguage%2Fen-GB%2FDefault.aspx&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.
- İnternet:URL-3, Elisha Otis, Encyclopædia Britannica, Chicago, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.britannica.com%2Fbiography%2FElisha-Otis&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.
- İnternet:URL-4, Oriel Chambers, History, Liverpool URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.orielchambers.co.uk%2Fabout%2Fhistory&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.
- İnternet:URL-5, Oriel Chambers Binası. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercity.com%2Fshowthread.php%3Fp%3D117129348&date=2017-10-18> Son Erişim Tarihi 18.10.2017.
- İnternet:URL-6, Rotterdam Het Witte Huis. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fcommons.wikimedia.org%2Fwiki%2FFile%3AHet_witte_huis_in_Rotterdam.JPG&date=2017-10-18, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.
- İnternet:URL-7, American Surety Binası. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fnygeschichte.blogspot.com%2F2013%2F03%2Fflower-manhattan-instant-1-trinity.html&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.
- İnternet:URL-8, Willis Tower Binası. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ibtimes.com%2Fwillis-tower-sold-chicagos-tallest-building-breaks-record-15b-agreement-1839490&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.
- İnternet:URL-9, World Trade Center. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fworld-visits.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2011%2F11%2FWorld-Trade-Center-1.jpeg&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-10, Deutsche Bank Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fskyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fdeutsche-bank-tower-ii%2F3693&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-11, Messeturm Frankfurt Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercity.com%2Fshowthread.php%3Ft%3D1825874&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-12, Selçuklu Kulesi – Konya. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.msxlabs.org%2Fforum%2Fmimarlik%2F353757-gokdelenler-selcuklu-kulesi.html&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-13, İzmir Hilton Otel. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww3.hilton.com%2Fen%2Fhotels%2Fturkey%2Fhilton-izmir-IZMHITW%2Findex.html&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-14, Portakal Çiçeği Kulesi - Ankara. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fonedio.com%2Fhaber%2Fturkiye-nin-en-yukse-25-binasi-563725&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-15, Sapphire Kulesi-İstanbul. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fskyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fsapphire-tower%2F748&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-16, Burj Khalifa Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fdubai%2Fburj-khalifa%2F3%2F&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-17, Willis Tower Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fskyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fwillis-tower%2F169&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-18, Shanghai Tower Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fskyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fshanghai-tower%2F56&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-19, Lever House Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fskyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Flever-house%2F9068&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-20, Betonarme çekirdekli yapı. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fignoringfriction.blogspot.com.tr%2F2008%2F12%2Fskyscraper-structural-support-what.html&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-21, Betonarme perde duvarlı yapı. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.aliensgroup.in%2Fspacestation%2Fconstruction.html&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-22, The Center Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fthe-center%2F343&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-23, Aspire Tower Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Faspire-tower%2F535&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-24, The Plaza on Dewitt. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fthe-plaza-on-dewitt%2F10739&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet: URL-25, Torre Agbar Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Ftorre-agbar%2F4193&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-26, 30 St Mary Axe. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2F30-st-mary-axe%2F2369&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-27, Onterie Center. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fonterie-center%2F2585&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-28, Bank of China Tower. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fbank-of-china-tower%2F287&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-29, One Magnificent Mile. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fskyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fone-magnificent-mile%2F1572&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-30, The Millennium Tower Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fskyscraperpage.com%2Fdiagrams%2F%3FbuildingID%3D3510&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-31, Chicago Spire Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fchicago-spire%2F62&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-32, Transamerica Pyramid Center Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Ftransamerica-pyramid-center%2F772&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-33, Petronas Twin Tower Binası. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fpetronas-twin-tower-1%2F149&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-34, The Shanghai World Financial Center. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fshanghai-world-financial-center%2F131&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-35, Taipei 101. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Ftaipei-101%2F117&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-36, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dubaivizeleri.com%2Fdubai-cografya.html&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-37, URL:
http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.emirates.com%2Ftr%2Fturkish%2Fdestinations_offers%2Fdiscoverdubai%2Fsightseeingindubai%2Ficonicdubaiarchitecture.aspx&date=2017-10-18, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-38, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.newsweek.pl%2Fswiat%2Fwycig-do-nieba%2Cartykuly%2C107560%2C1%2C1%2C1.html&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-39, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.quora.com%2FWhat-is-the-concept-behind-Burj-Khalifa&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-40, Burj Khalifa rüzgâr tüneli test modeli. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.jmhdezhdez.com%2F2013%2F07%2Fthe-shake-skyscrapers-wind-tunnel.html%3Fm%3D1&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-41, Park Hotel Shanghai Binası. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fcommons.wikimedia.org%2Fwiki%2FFile%3AShanghai_Park_Hotel_2007.jpg&date=2017-10-18, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-42, Jin Mao Kulesi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fjin-mao-tower%2F189&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-43, Shanghai World Financial Centre Binası. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscrapercenter.com%2Fbuilding%2Fshanghai-world-financialcenter%2F131&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-44, URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.thorntontomasetti.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F09%2FShanghaiTower_Project_Sheet.pdf&date=2017-11-16, Son Erişim Tarihi 16.11.2017.

İnternet:URL-45, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Farchitectureprize.com%2Fwinners%2Fwinner.php%3Fid%3D2624&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-46, Dünyadaki en yüksek binalar sıralaması. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fassets.inhabitat.com%2Fwp-content%2Fblogs.dir%2F1%2Ffiles%2F2016%2F01%2FShanghai-Tower-Gensler-7.jpg&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-47, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.archdaily.com%2F229454%2Fin-progress-shanghai-tower-gensler&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-48, Shanghai Kulesinin strüktürel katmanları, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdamassets.autodesk.net%2Fcontent%2Fdam%2Fautodesk%2Fwww%2Fgallery%2Fimages%2Fshanghai-tower%2Fasymmetry-taper%2Fshanghai-tower-asymmetry-taper-2-large-1067x800.jpg&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-49, Rüzgâr yüklerine karşı en iyi form arayışı. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.stefano-andreani.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F11%2FMIT_Page_04.jpg&date=2017-10-18, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-50, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdu.gensler.com%2Fvol5%2Fshanghai-tower%2F%23%2Fvertical-community&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-51, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.josre.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F10%2FShanghai-Tower-in-China-Tall-and-near-net-Zero.pdf&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-52, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.telegraph.co.uk%2Ftravel%2Fdestinations%2Fasia%2Fchina%2Fshanghai%2Farticles%2Finside-shanghai-tower-observation-viewing-platform%2F&date=2017-10-18>, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-53, URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.architectural-review.com%2Fpictures%2F2000x2000fit%2F9%2F1%2F3%2F1456913_Shanghai_tower_gensler06.jpg&date=2017-10-18, Son Erişim Tarihi 18.10.2017.

İnternet:URL-54, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.usgbc.org%2Farticles%2Fworld%25E2%2580%2599s-second-largest-building-shanghai-tower-achieves-lead-platinum&date=2017-11-16>, Son Erişim Tarihi 16.11.2017.

Kazımov, T., Soyluk, A. (2015). *Yüksek Yapılarda Çekirdek Geometrisinin Taşıyıcı Sisteme Etkisi*. 2.Ulusal Yapı Kongresi, 140-152.

Kazımov, T., Arslan Selçuk, S., Ilgın, H.E., (2017). Yüksek Binalarda Performatif Tasarım: Shanghai Kulesi Örneği, *Yapı Dergisi*, (428), 118-125.

Kırkan, H.S. (2005). *Çok Katlı Yüksek Yapıların Tasarımına Etki Eden Faktörlerin İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Koç, Y., Gültekin, A.B., Durmuş, G., ve Dikmen, Ç.B. (2009). *Yüksek Yapı Tasarımının Malzeme ve Taşıyıcı Sistem Kapsamında İncelenmesi*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük.

Kolarevic, B., Malkawi, A.M. (2005). *Performative Architecture Beyond Instrumentality*. London: Spon Press Taylor & Francis Group.

Kuban, D., (2002). *Mies van der Rohe ve Gökdelen*, İstanbul: Boyut Kitapları.

- Kurç, Ö., Kayışoğlu, B., Shojaee, S.M.N. ve Uzol, O. (2012). Yüksek Binalarda Rüzgâr Etkilerinin Rüzgâr Tüneli Deneyleriyle Tespiti, *İMO Teknik Dergi*, 23(4), 6163:6168.
- Lau L.G., (2015). *Sustainable High-rise Construction in Shanghai*, Lisbon, Instituto Superior Técnico, Civil Engineering.
- Leatherbarrow, D., (2005). *Architecture's Unscripted Performance*, Branko Kolarevic ve Ali Malkawi (Ed.) *Performative Architecture: Beyond Instrumentality*, London, Spon Press.
- Malkawi, A. M., (2005). *Performance simulation: research and tools*, in *Performative Architecture: Beyond Instrumentality* Eds B Kolarevic, A M Malkawi, London, Spon Press, 85-96.
- Marsh, A., (2008). *Generative and Performative Design: A Challenging New Role For Modern Architects*. The Oxford Conference. Wit Press.
- Moehle JP., (2008). *Performance-based seismic design of tall buildings in the US*. 14th World Conference on Earthquake Engineering (CD), Beijing, China.
- NIST 1655, (2009). *Toward a Standard on the Wind Tunnel Method*, NIST, U.S. Department of Commerce, Gaithersburg.
- Oxman, R., Hammer, R., Ben Ari, S., (2007). Performative design in architecture. *Predicting the Futures, ECAADE07*, Frankfurt, 227-234.
- Oxman, R., (2009). Performative design: a performance-based model of digital architectural design. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(6), 1026-1037.
- Özgen, A., Sev A. (2000), *Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 136-152.
- Park, S.M., Elnimeiri, M., Sharpe D.C., Krawczyk, R.J. (2004). Tall Building Form Generation by Parametric Design Process. *CTBUH 2004 Seoul Conference*, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL 60616 USA.
- Poon, D.C.K., Shieh, S., Joseph, M.L., Chang, C. (2004). *Reaching for The Sky*, Civil Engineering, 56-62.
- Powel, K., Strongman, C. (2007). *New London Architecture*, Merrel, London.
- Raji, B, Tenpierik, M.J., van den Dobbelen, A., (2016). An assessment of energy-saving solutions for the envelope design of high-rise buildings in temperate climates: A case study in the Netherlands. *Energy and Buildings*. 124, 210-221.
- Saeed, S.M., (2013). *Burj Khalifa The Tallest Building In The World*, Mansoura University, Faculty of Engineering.

- Sarı, B. (2006). *İstanbul'da Karma Kullanımlı Yüksek Yapılar Üzerine Karşılaştırmalı Bir İrdeleme*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sariman, E. (2010). *Yüksek Yapıların Oluşumundaki Faktörlerin Tasarım Üzerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sasaki, M., (2007). Morphogenesis of Flux Structure, *Architectural Association*, London.
- Sasaki, A., Katsumura, A., Katagiri, J., Liang, B., Suganuma, S., Tamura, Y. (2003). *Local Wind Forces Acting on Rectangular Prisms*, Proceedings of 14th National Symposium on Wind Engineering, Japan Association for Wind Engineering, Tokyo, 263-268.
- Saydam, Ç. (2007) *Yüksek Yapıların Kentsel Gelişme Bağlamında İrdelenmesi Ve Yüksek Yapı Politikaları*, Yüksek Lisans Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Scott, D., Hamilton, N., Ko, E. (2005). Structural Design Challenges for Tall Buildings, *Structure Magazine*, (2), 20-23.
- Serbes, S.M. (2009). *Yüksek yapıların gelişimi ve tasarımları üzerine bir inceleme*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sev, A. (2009). *Sürdürülebilir Mimarlık* (Birinci Baskı). İstanbul: YEM Yayın.
- Sev, A., Özgen, A., (2009). Space Efficiency in High-Rise Office Buildings *METU Journal of The Faculty of Architecture*, 26 (2), 69-89.
- Sev, A. (2001). *Türkiye ve Dünya'daki Yüksek Binaların Mimari Tasarım ve Taşıyıcı Sistem Açısından Analizi*, Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sorguç, A., (2009). Uluslararası Yapı / Turkeybuild 2009 İstanbul Fuarı, Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi'nin *Ekolojik Yapı Tasarımında Malzeme, Teknoloji ve Çevre* sempozyumunda gerçekleştirdiği konuşma.
- Soysal, S., (2008). *Konut Binalarında Tasarım Parametreleri İle Enerji Tüketimi İlişkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Söyek, B. (2015). *Yüksek Yapılardaki Gökköprülerde Mimari ve Yapısal Sorunların İncelenmesi ve Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Su, J., Xia, Y., Chen, L., Zhao, X., Zhang, Q., Xu, Y., Ding, J., Xiong, H., Ma, R., Lv, X., Chen, A., (2013). Long-Term Structural Performance Monitoring System For The Shanghai Tower, *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 3(1), 49-61.
- Taştan, T. (2012). *Ken Yeang'ın Yüksek Yapılarda Biyoiklimsel Tasarıma Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Tomasetti, T. (2007). *The Chicago Spire, Thornton Tomasetti Building Solutions Annual Report 2007*.
- Tuncer, M.H., (2015). *Yüksek Yapılarda Yapı Rüzgâr Etkileşimi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ulukavak Harputlugil, G., (2016). *Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri, Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması İçin Teknik Yardım Projesi*, Ankara.
- Üdürgücü, A. (2010). *Yüksek Yapılar İçin Karar Verme Rehberinin Oluşturulması*, Yüksek Lisans Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yanık, A. (2007). *Yüksek Yapılarda Yapı Alt Sistemlerinin Entegrasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yavaşbatmaz, S. (2012). *Yüksek Yapıların Sürdürülebilir Tasarım Ölçütleri Kapsamında Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yeang, K., (Çeviri), (2012). *Ekotasarım: Ekolojik Tasarım Rehberi*, İstanbul: Yem Kitabevi, 197-207.
- Yücel, M. (2010). *Yüksek Binaların Yakın Çevre Bina Yüzeylerindeki Hava Akılma Etkileri – Four Winds Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zeljic, A.S., (2010). *Gensler: Shanghai Tower Facade Design Process*, International Conference on Building Envelope and Technologies (ICBEST) held in Vancouver, Canada.
- Weismantle, P.A., Smith, G.L., Sheriff, M., (2007). *Burj Dubai: An Architectural Technical Design Case Study*, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. 16, 335-360.
- Wong, P., Lin, M., Jackson, J., (2016). *Best-Performing Cities CHINA 2016- The Nation's Most Successful Economies*, Milken Institute Asia Center.
- Xia, J., Poon, D., Mass, C.D., (2010). *Case Study: Shanghai Tower*, *CTBUH Journal*, (2), 12-18.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KAZIMOV, Tamraz
 Uyuğu : Azerbaycan
 Doğum tarihi ve yeri : 19.04.1989, Gürcistan
 Telefon : 0 (507) 628 49 87
 e-mail : tamraz.kazimov@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık Bölümü	2014-2018
Lisans	Azerbaycan Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi / Mimarlık Bölümü	2008-2012
Kolej	Azerbaycan Devlet Ressamlık Akademisi Güzel Sanatlar Koleji / Rengkarlık (Ressamlık)	2004-2008

Yabancı Dil

Türkçe, İngilizce, Rusça

Yayınlar

Kazimov, T., Soyluk, A. (2015). *Yüksek Yapılarda Çekirdek Geometrisinin Taşıyıcı Sisteme Etkisi*. 2.Ulusal Yapı Kongresi, 140-152.

Kazimov, T., Arslan Selçuk, S., Ilgın, H.E., (2017). Yüksek Binalarda Performatif Tasarım: Shanghai Kulesi Örneği, *Yapı Dergisi*, (428), 118-125.

Hobiler

Kitap okumak, seyahat etmek, resim, müzik



GAZİ GELECEKTİR..