



**YÜKSEK BİNA TASARIMINA YÖN VEREN BİR ARAÇ OLARAK
RÜZGAR: SHANGHAI KULESİ ÖRNEĞİ**

Halil İbrahim KARAGÖZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2017

Halil İbrahim KARAGÖZ tarafından hazırlanan “YÜKSEK BİNA TASARIMINA YÖN VEREN BİR ARAÇ OLARAK RÜZGAR: SHANGHAI KULESİ ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Figen BEYHAN

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

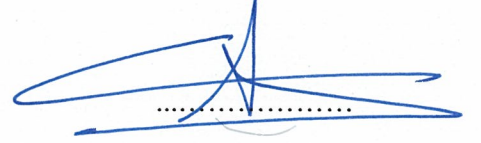
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Doç. Dr. Ayşen ÇELEN ÖZTÜRK

Mimarlık Anabilim Dalı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

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



Üye: Yrd. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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



Tez Savunma Tarihi: 22/06/2017

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

.....
Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
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.

Halil İbrahim KARAGÖZ

22/06/2017

YÜKSEK BİNA TASARIMINA YÖN VEREN BİR ARAÇ OLARAK RÜZGAR:
SHANGHAI KULESİ ÖRNEĞİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Halil İbrahim KARAGÖZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2017

ÖZET

Dünya üzerindeki enerji sorununun önemi yaşanan ekonomik krizlerden sonra gündeme gelmiştir. Tüm alanlarda olduğu gibi mimaride de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Doğada ham ve olgun halde bulunan rüzgar enerjisi kullanımı gelişen teknoloji ile birlikte, mimari yapılarda da kullanılmaya başlamıştır. Dünya kentlerinde artan yüksek yapı oranıyla birlikte, karbon salınımı ve hava kirliliği problemi ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda özellikle yüksek yapıların sık ve sayıca fazla olarak inşa edildiği bölgelerde yenilenebilir rüzgar enerjisi kullanımı gereklilik haline gelmiştir. Popülaritesi yüksek ve dünya literatürlerine dahil olmuş yüksek yapıların, rüzgar enerjisi kullanım olasılıkları, tasarım süreci ve türbin teknolojisi detaylarıyla irdelenip, analizleri yapılmıştır. Analizler doğrultusunda gelişen çalışmaların yüksek yapıların tasarımını nasıl etkilediği ortaya konmuştur. Birinci bölümde tezin amaç ve kapsamı hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde rüzgar ve mimarlık ilişkisi incelenmiş, yapılarda rüzgar enerjisi kullanım olasılıkları alt başlıklarda incelenmiştir. Üçüncü bölümde yüksek yapı kavramı açıklanmış, geçmişten bu yana tarihsel süreç içerisindeki ilerleyişi sıralanmıştır. Yüksek yapı tasarımına etki eden rüzgar kavramı örnekler üzerinden incelenmiştir. Dünya literatürlerine dahil olmuş mevcut ve onaylı projeler rüzgar kapsamında değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde ölçekli maketlerle uygulanan rüzgâr testleri sayesinde rüzgar yüklerini %24 oranında azaltacak olan %55'lik bir daralma açısı ve eksenel olarak 120 derece döndürülmüş form ve strüktürü belirlemiştir. Rüzgâr yüklerindeki her %5'lik azalmanın inşaat maliyetlerinde yaklaşık 12milyon\$ tasarruf edilmesinin sağlandığı düşünüldüğünde söz konusu teknolojileri kullanarak bina formu belirlemenin önemi bir kez açığa çıkarılmıştır. Beşinci bölümde yapıda bulunan 270 adet rüzgâr tribünü ile yerinde enerji üretimi çalışmaları incelenmiş, bu üretimin bina için gerekli tüm elektrik enerjisinin %10'u kadar olduğu referans alındığında, rüzgardan enerji üretiminin yapılardaki önemi açığa çıkarılmış, türbin entegreli yapılardaki performans parametreleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak tüm bu veriler ışığında "rüzgarın" çevresel bir tasarım parametresi olarak yüksek yapı tasarımıdaki önemi vurgulanmıştır.

Bilim Kodu : 80103

Anahtar Kelimeler : Yüksek yapı, Yüksek bina, Tasarım, Rüzgar, Rüzgar enerjisi, Shanghai, Shanghai Kulesi,

Sayfa Adedi : 162

Danışman : Prof. Dr. Figen BEYHAN

WIND AS A TOOL LEADING TALL STRUCTURE DESIGN: AN EXAMPLE OF
SHANGHAI TOWER

(M. Sc. Thesis)

Halil İbrahim KARAGÖZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2017

ABSTRACT

After the economic crises that had a great impact on the energy problem on the earth, came to the agenda. As in all areas, architecture has also started to lead to renewable energy sources. Usage of wind energy, which is found raw and ripe in nature, has started to be used in architectural structures with the developing technology. The problem of carbon emission and air pollution has emerged with high settlement rate in cities all over the world. In this context, the usage of renewable wind energy has become a necessity, especially in the areas where tall buildings are often built in large numbers. Tall structures which are popular and included in literature were analyzed towards; wind energy usage probabilities, design process and turbine technology in detail. It was revealed how the studies developed in the direction of analyzes affected the design of tall structures. In the first section, aim and content of the thesis was given. In the second section, wind and architecture relation and the possibilities of using wind energy in structures were examined in subheadings. In the third section, the concept of tall structure was explained and its progress in time was sorted via examples. Current projects which were approved and included in world literature was evaluated within wind. In the fourth section, wind tests with scaled models have determined a 55% contraction angle, which reduces wind loads by 24%, and an axially rotated form and structure turn of 120 degrees. Once every five percent reduction in wind loads was thought to have saved about \$ 12 million in construction costs, the prospect of building form determination using technologies was once revealed. In the fifth section, on-site energy production studies with 270 wind turbines in the building were examined. When this production was taken as 10% of the total electrical energy required for the building, the performance parameters of wind turbine integrated structures were analyzed. As a result, the importance of high building design as an environmental design parameter of "wind" in all these data lights has been emphasized.

Science Code : 80103

Key Words : Tall structure, Tall building, Design, Wind Energy, Shanghai, Shanghai Tower

Page Number : 162

Supervisor : Prof. Dr. Figen BEYHAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, bilimsel destek ve yardımları ile güven veren, değerli hocam, tez danışmanım Prof. Dr. Figen BEYHAN' a teşekkür ve saygılarımı borç bilirim.

Ayrıca, tezime yaptığı katkı, yönlendirme ve bu süreç içerisinde yardımını bir an olsun esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK' a teşekkür ederek saygılarımı sunuyorum.

Tez süreci boyunca yönlendirmeleri, gayreti ve sabrı için Emine TÜTÜNCÜ ve öğrenci işleri personellerine teşekkürlerimi borç bilirim.

Hayatım boyunca, üstün fedakarlıkları ile her anımda yanımda olan aileme sonsuz sevgi, saygı ve şükranlarımla...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
HARİTALARIN LİSTESİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL ÇERÇEVE.....	9
2.1. Enerji, Rüzgar ve Mimarlık ilişkisi.....	9
2.1.1. Geçmişten günümüze rüzgar enerjisi ve mimariyle bütünleşmesi	10
2.1.2. Rüzgar akışının bina üzerindeki karakteristiği	17
2.1.3. Bina montajlı rüzgar türbinlerinin genel değerlendirilmesi	18
2.1.4. Yapılara göre rüzgar türbinleri	20
3. YÜKSEK BİNALARDA RÜZGAR ENERJİSİNİN KULLANIMI ..	29
3.1. Yüksek Yapıların Gelişimi	29
3.2. Yüksek Yapıların Tarihsel Süreç İçerisinde Dönemsel Değerlendirmesi	42
3.2.1. Dönem özellikleri	42
3.3. Yüksek Yapılarda Tasarım Kriterleri	45
3.3.1. Yüksek yapıların tasarımı bağlamında yer seçimi.....	47
3.3.2. Yüksek yapıların tasarımı bağlamında plan seçimi.....	48
3.3.3. Yüksek yapıların tasarımı bağlamında işlev seçimi	51

Sayfa

3.3.4. Yüksek yapıların tasarımı bağlamında strüktür seçimi	51
3.4. Yüksek Yapıların Rüzgar Bağlamında Tasarım Kriterleri.....	52
3.5. Yüksek Yapılarda Performansa Dayalı Tasarım ve Yenilenebilir Enerji Kullanım Olasılıkları.....	57
3.5.1. Yüksek yapılarda performansa dayalı tasarım	57
3.5.2. Yenilenebilir enerji kullanım olasılıkları.....	60
4. ÖRNEKLEM ÇALIŞMASI: SHANGHAI TOWER	83
4.1. Shanghai Şehri ve Shanghai Tower.....	83
4.2. Shanghai Tower Mimari Tasarım Süreci.....	85
4.3. Shanghai Tower'ın Yapısal Tasarım Süreci	86
4.4. Shanghai Tower Rüzgar Bağlamındaki Tasarımsal Süreci	90
4.4.1. Aerodinamik uyum.....	91
4.4.2. Rüzgar testleri ve yapı tasarımı.....	93
4.4.3. Rüzgar test sonuçları değerlendirmesi	98
4.4.4. Rüzgar türbinleri	101
4.4.5. Shanghai Tower genel değerlendirmesi.....	103
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	105
KAYNAKLAR	111
EKLER.....	125
EK-1. Shanghai Tower.....	126
EK-2. Bahrain World Trade Center Tower.....	130
EK-3. Pearl River Tower.....	134
EK-4. The Lighthouse Tower	138
EK-5. Castle House London Tower	142
EK-6. Dynamic Tower	146
EK-7. Anara Tower.....	150

	Sayfa
EK-8. Cor Florida Tower	154
EK-9. Burj Al Taqa Tower.....	158
ÖZGEÇMİŞ	162



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Üç farklı yapı ve çin kodunun 10 dk ve 500 dk' da geçen rüzgar hızı	94
Çizelge 4.2. Yapı tasarımındaki forma yönelik sağlamlık, sertlik ve tasarımsal sönümleme yüzdeleri	96
Çizelge 4.3. Farklı açı parametreleri ile belirlenen rüzgara maruz kalma yüzdeleri	98
Çizelge 4.4. Rüzgar tüneli çalışmalarındaki daralma ve dönme açı analizleri	98



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Persler tarafından kullanılan ilk rüzgar türbinleri	10
Şekil 2.2. a) Savonius, b) Darrieus, c) H-rotor Düşey eksenli rüzgar türbinleri	12
Şekil 2.3. NASA tarafından üretilen rüzgar türbin prototipleri (1975)	13
Şekil 2.4. 2016 yılına ait yeni kurulan rüzgar çiftlikleri ve mevcut rüzgar çiftlikleri	15
Şekil 2.5. 1980-2010 yılları arasında rüzgar türbinleri gelişim tablosu	16
Şekil 2.6. a) yandan, b) üstten, Rüzgar yönü ve yapı arkasında oluşan türbin hareketleri	17
Şekil 2.7. Kentsel bölgelerde yer alan rüzgar türbinlerinden optimum faydalanma şeması	18
Şekil 2.8. Yapılara göre rüzgar türbinleri entegrasyon tablosu	21
Şekil 2.9. Bina mesnetli rüzgar türbinlerinin yapılarda kullanılan farklı tipleri	28
Şekil 2.10. Bina mesnetsiz rüzgar türbinlerine yönelik tasarım tipleri	28
Şekil 3.1. Yüksek yapıların 1930 - 2016 yılları arası inşa edilen lokasyon kullanım tablosu	47
Şekil 3.2. Bazı yüksek yapıların planları	49
Şekil 3.3. Yüksek yapıların 1930-2016 yılları fonksiyonel kullanım tablosu	51
Şekil 3.4. Yüksek yapıların 1930-2016 yılları taşıyıcı strüktür kullanım tablosu	52
Şekil 3.5. Rüzgar hareketlerinin yüksek yapı çevresinde oluşturduğu hareketler	53
Şekil 3.6. Yapı üzerindeki rüzgar yönünün şematik gösterimi	53
Şekil 3.7. Rüzgar hareketlerinin farklı plan formlarına etkileyen rüzgar hareketleri	55
Şekil 3.8. Rüzgar hareketlerinin plan formlarında açılan boşlukla rahatlatılması	55
Şekil 3.9. Pearl River Tower üzerine etkileyen rüzgar hareketleri	56
Şekil 3.10. Rüzgar yönü 360 derece	63
Şekil 3.11. Rüzgar yönü 315 derece	64
Şekil 3.12. Rüzgar yönü 345 derece	64

Şekil	Sayfa
Şekil 3.13. Rüzgar yönü 15 derece	64
Şekil 3.14. Guangzhou bölgesi kuş bakışı	66
Şekil 3.15. Güneş ışıınımı rotası	66
Şekil 3.16. Pearl River rüzgar akış şeması.....	67
Şekil 3.17. Pearl River rüzgar akışının üç boyut şeması.....	67
Şekil 3.18. Morfolojik rüzgar kanalı çevresi.....	67
Şekil 3.19. Düşey rüzgar türbini	67
Şekil 3.20. Cephe çevresinde ve düşey kesitte oluşan rüzgar hızı analizi	68
Şekil 3.21. 210. ve 120. m' de bulunan kanaldan geçen ve mevcut rüzgar hızı analizleri.....	69
Şekil 3.22. Dubai Uluslararası Finans Merkezinin yeniden inşa ediliş aşamaları	70
Şekil 3.23. Yapılan rüzgar tüneli testi analizi	71
Şekil 3.24. Rüzgar türbinleri perspektif görünümü.....	72
Şekil 3.25. Rüzgar türbini kesit ve cephe görünümü	72
Şekil 3.26. Rüzgar akışı diyagramı	74
Şekil 3.27. Prefabrik blok kat planlarının yerleştirilmesinin şematik gösterimi.....	76
Şekil 3.28. Hareket eden blokların çatısındaki fotovoltaiik panellerin şematik gösterimi	76
Şekil 3.29. Türbin kalkanlarının hareket şeması.....	77
Şekil 3.30. Anara Tower vaziyet planı.....	79
Şekil 4.1. Yapı arazi sınırı, kullanım alanı ve yeşil alan gösterimi.....	85
Şekil 4.2. Shanghai Kulesi zonları	86
Şekil 4.3. Shanghai Kulesinin strüktürel katmanları.....	88
Şekil 4.4. Shanghai Kulesi kat planları ve zonları	88
Şekil 4.5. Shanghai Kulesi mekanik kat strüktürel modellemesi.....	89
Şekil 4.6. Shanghai Kulesi yatay geometrik planı	91

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Girdap oluşumunun ivmeli şekli.....	91
Şekil 4.8. Rüzgar yükünün önemi ve yapı yüksekliği grafiği.....	92
Şekil 4.9. Rüzgar yükü sönümlleme çeşitlerinin imgesel şekli.....	92
Şekil 4.10. RWDI ve ESDU birimleri tarafından yapılmış olan yükseklik oranlı rüzgar hızı ve basıç grafiği.....	96
Şekil 4.11. Artan yükseklikle birlikte oluşan ivmeli yatay ve çapraz rüzgar yükleri	97
Şekil 4.12. Rüzgar tüneli çalışmalarındaki daralma ve dönme açıları	97
Şekil 4.13. Pozitif ve negatif rüzgar yüklerinin yapı kabuğu üzerindeki diyagramı	99
Şekil 4.14. RWDI kare plan ve eğimli form karşılaştırması final testi	100
Şekil 4.15. RWDI dikdörtgensel biçim ve eğimli form karşılaştırması analizi	100

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Charles Brush tarafından inşa edilen yatay rüzgar türbini (1888)	11
Resim 2.2. Smith-Putnam rüzgar türbini (1941)	12
Resim 2.3. Johannes Jull' un inşa ettiği rüzgar türbini (1957)	13
Resim 2.4. The Roscoe rüzgar çiftliği (2009)	14
Resim 2.5. Houston Yeşil Bina Merkezi, Amerika	16
Resim 2.6. Doha Üniversitesi öğrenci girişi, Katar	17
Resim 2.7. Rocky dağları yakınında yer alan rüzgar çiftliği, Canada	22
Resim 2.8. Fukushima Yüzer türbin çiftliği, Japonya	22
Resim 2.9. Konut sahipleri tarafından kullanılan yapının üzerindeki bina monte rüzgar türbinleri Portland, Amerika. 2012	24
Resim 2.10. Londrada bulunan Fairview adlı sosyal konut üzerine yapı inşasından sonra eklenmiş sessiz bina monte rüzgar türbinleri	25
Resim 2.11. CIS Tower rüzgar türbinleri	26
Resim 2.12. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi	26
Resim 2.13. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi	27
Resim 3.1. Giza Piramitleri, Mısır (MÖ 2600)	30
Resim 3.2. Babil Kulesi, Irak (MÖ 600)	30
Resim 3.3. Yakushi Pagodası, Japonya (MÖ 3. yy)	30
Resim 3.4. Chicago, Home Injures Building (1885)	32
Resim 3.5. Paris, Eiffel Tower (1889)	32
Resim 3.6. Chicago, Monadnock Building (1891)	32
Resim 3.7. Manhattan, Woolworth Building (1913)	33
Resim 3.8. Manhattan, Chrysler Building (1930)	33
Resim 3.9. Manhattan, Chrysler Building çelik saç üst örtüsü (1930)	34
Resim 3.10. New York, Empire State Building (1931).....	34

Resim	Sayfa
Resim 3.11. New York, United Nation Secretariat Building (1952).....	35
Resim 3.12. New York, Lever House Building (1952)	35
Resim 3.13. Chicago, John Hancock Center Building (1968)	36
Resim 3.14. Chicago, Sears Towers Building (1974)	36
Resim 3.15. Kuala Lumpur, Petronas Towers (1992)	36
Resim 3.16. Frankfurt, Commerzbank Tower (1997)	37
Resim 3.17. Tayvan, Taipei 101 Building (2004)	37
Resim 3.18. Madrid, Torre Espacio Center (2008)	38
Resim 3.19. Dubai, Burj Khalifa Tower (2010)	38
Resim 3.20. İstanbul, Sapphire Tower (2010)	39
Resim 3.21. Paris, Tour First Binası (2010)	39
Resim 3.22. Londra, The Shard Tower (2013)	40
Resim 3.23. Moskova, Mercury City Tower (2013)	40
Resim 3.24. New York, One World Trade Center (2014)	40
Resim 3.25. Çin, Shanghai Tower (2015)	41
Resim 3.26. Çin, Chow Tai Fook Centre (2016)	41
Resim 3.27. Çin, Ping An Uluslararası Finans Merkezi (2017)	42
Resim 3.28. Hong Kong şehir silüeti	48
Resim 3.29. New York şehir silüeti	48
Resim 3.30. Yükseldikçe incelen formda, Burj Khalifa Building	49
Resim 3.31. Bir eksen çevresinde sipiral dönen formda, Turning Turso Tower	50
Resim 3.32. Değişken kesitli formda, Capital Gate Tower	50
Resim 3.33. Eğrisel formda, Burj el Arab Hotel	50
Resim 3.34. Konsept Proje	57
Resim 3.35. Bahrain world trade center	62
Resim 3.36. Bahrain WTC rüzgar türbinlerinden görünüm	62

Resim	Sayfa
Resim 3.37. Bahrain WTC rüzgar türbini ve köprü bağlantısı	63
Resim 3.38. Pearl River Tower güney cephesi	65
Resim 3.39. Pearl River Tower doğu cephesi	65
Resim 3.40. The lighthouse perspektif render resmi	71
Resim 3.41. Castle house ve türbin detayı	73
Resim 3.42. Tepe noktasına konumlandırılmış türbinler ve konkav form	74
Resim 3.43. Dynamic Tower farklılaşan cephe görünümleri	75
Resim 3.44. Türbin ve kat planlarının kesit görünüşü	78
Resim 3.45. Dynamic Tower kat modüllerinin hareketleri	78
Resim 3.46. Anara Tower	79
Resim 3.47. Anara Tower türbin çevresi kıvrımlı tasarımı	80
Resim 3.48. Cor Florida	80
Resim 3.49. Cor Florida Tower cephe yüzeyinde yer alan rüzgar türbinleri	81
Resim 3.50. Burj Al Taqa	82
Resim 3.51. Ortadoğuda kullanılan rüzgar kulesinden bir örnek	82
Resim 4.1. Shanghai Park Hotel (1930)	83
Resim 4.2. Jin Mao Build (1999)	83
Resim 4.3. Shanghai World Financial Center (2008)	83
Resim 4.4. Yüksek yapıların dünya sıralaması	84
Resim 4.5. Shanghai Kulesi bulunduğu konum	86
Resim 4.6. Shanghai Kulesi temel sağlamlaştırma çalışması	87
Resim 4.7. Shanghai Kulesi yükseldikçe değişen dış cephe kademesinden görünüm	91
Resim 4.8. Shanghai World Financial Center, Jin Mao Tower ve Shanghai Kulesi....	93
Resim 4.9. 1:500 Shanghai Kulesi modeli	94
Resim 4.10. 1:85 Reynold rüzgar tüneli çalışması	95
Resim 4.11. Kulenin bitiş parapetine yerleştirilen rüzgâr türbinleri	102

Resim	Sayfa
Resim 4.12. Kulenin bitiş parapetine yerleştirilen rüzgâr türbinleri	102
Resim 4.13. Türbin detay görünümü	102
Resim 4.14. Kulenin bitiş parapetine yerleştirilen rüzgâr türbinleri	103



HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 4.1. Çin haritası, Shanghai şehri	84



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

kPa	Metrik basınç birimi
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
m	Metre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
mm	Milimetre
mW	Megawatt
mWh	1000 Kilowatt saat

Kısaltmalar

Açıklamalar

ANSI/AISC	Ulusal Amerikan Standartları
ASHRAE	Amerika Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Kurumu
CTBUH	Yüksek Bina ve Şehir Habitatı Konseyine
DIFC	Dubai International Finance Center
DIN	Ulusal Alman Standartları
ESDU	Engineering Sciences Data Unit ESDU
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
LEED	Leadership in Energy and environmental design
MÖ	Milattan önce
MS	Milattan sonra
RWDI	Rowan Williams Davies and Irwin Inc. Şirketi
WTC	World Trade Center (Dünya Ticaret Merkezi)

1. GİRİŞ

İnsanlar, yüzyıllardır rüzgar enerjisinden faydalanmaktadır. Yel değirmenleri ile başlayan bu serüven, geliştirilmiş rüzgar türbinleri ile devam etmiş ve nihayet binalara entegre olmuş türbin kullanımları ile günümüze ulaşmıştır. Rüzgârdan enerji üretmek amacıyla yüksek binalara rüzgâr türbinlerinin yerleştirilmesi yaklaşımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yöntem 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. Rüzgar, mimaride salt "temiz enerji" elde etme potansiyeli olmanın ötesinde, mimari tasarıma doğrudan etki eden bir çevresel koşul olarak ele alınması gereken bir parametredir. Özellikle 20. yy'a ait bir yapılaşma biçimi olarak literatüre giren "yüksek binaların" tasarımında belirleyici bir etmendir. Yeryüzünden yükseldikçe artış göstermekte olan rüzgar hızı yapıya etki eden yatay yükleri optimize edecek çözümleri zorunlu kılmaktadır. Bu çözümler hem rüzgar yüklerinin getireceği maliyetlerin en aza indirgenmesini sağlayacak formun oluşmasını sağlarken hem de rüzgardan en verimli şekilde enerji üretmeyi sağlayacak türbin yerleşimine izin vermelidir. Günümüzde 800 m ye kadar ulaşmış olan yüksek yapıların özellikle tepe noktası ya da çatıya yakın katları, olağan rüzgarlardan üst düzey faydalanılması için en uygun bölgelerdir. Bu bölgelerde konumlanan türbinlerden elde edilen enerjinin yapının elektrik ihtiyacının bir kısmını karşılayabiliyor olması tasarımcıların bu konuya olan ilgisini arttırmıştır. Özellikle 21. yy'ın tasarım paradigmalarını şekillendiren sürdürülebilirlik, enerji etkin yapı kabuğu ve yenilebilir enerji gibi konular tasarımcıları "rüzgar" konusunda daha çok araştırma yapmak ve araştırma sonuçlarını mimariye uygulamak noktasında zorlamaktadır. Bu noktada, mimari tasarıma yön veren rüzgarın, yapı ile arasındaki aerodinamik uyum verilerinin uygulama öncesinde bilinebilmesi etkin rüzgar enerjisinden faydalanma adına önem arz etmektedir. Bu bağlamda bu çalışma rüzgar konusunu iki ana başlıkta ele alarak "rüzgarın mimari tasarımı nasıl şekillendirdiği sorusunun" yanıtlarını aramaktadır: bina entegreli rüzgar türbinleri ve bina formunu şekillendiren bir parametre olarak rüzgar. Bu amaçla çalışmanın ilk bölümünde bina entegreli rüzgar türbinleri ile literatüre girmiş olan, başta Bahrain World Trade Center, Pearl River Tower, The Lighthouse Tower, Castle House London olmak üzere öne çıkan, yüksek yapılar incelenerek taksonomik bir çalışma geliştirilmiştir. Her bir binanın entegre türbin sistemi incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Daha sonra ilk evrelerinden başlayarak "rüzgarı" tasarımının odağına yerleştirmiş olan ve dünyanın en yüksek kuleleri arasındaki yerini alan Shanghai Tower

üzerine monografik bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırma kapsamında tasarımda kullanılan rüzgar tüneli testleri, rüzgar simülasyonları sonuçları ve türbinlerin konumlanacağı bölgenin rüzgar datalarına ulaşılmış ve elde edilmiş olan sonuçlar binanın rüzgar performansı bağlamında değerlendirilmiştir. Benzeşim modellerinin yanı sıra 1:85 ölçekli maketlere uygulanan rüzgâr testleri sayesinde kule yanal yüklerini %24 oranında azaltacak olan %55'lik bir daralma açısı (tapering) ve eksenel olarak 120 derece döndürülmüş form ve strüktürü belirlemiştir. Rüzgâr yüklerindeki her %5'lik azalmanın inşaat maliyetlerinde yaklaşık 12milyon\$ tasarruf edilmesinin sağlandığı düşünüldüğünde söz konusu teknolojileri kullanarak bina formunu belirlemenin önemi bir kez açığa çıkmış olacaktır. Yapının kule bitişindeki parapetin hemen altına yerleştirilen 270 adet rüzgâr tribünü ile yerinde enerji üretimi, cephe aydınlatmasında kullanılacak enerjiyi karşılamaktadır. Yıllık 350bin kWh olarak hesaplanan bu üretim bina için gerekli tüm elektrik enerjisinin %10'u kadardır. Sonuç olarak çalışmada tüm bu veriler ışığında "rüzgarın" çevresel bir tasarım parametresi olarak yüksek yapı tasarımıdaki önemi vurgulanmıştır.

Tezin amacı

Gelişen teknoloji ile birlikte yüksek yapılarda bulunan rüzgar türbinlerinin önemi ve kullanım olasılıklarının ortaya konması amaçlanmıştır. Bu amaçla literatür taramasına bağlı olarak konuyla ilgili yazılmış tezler, kitaplar, dergiler, makaleler, sempozyumlar, kitaplar ve internet dokümanları incelenerek yüksek yapılarda rüzgar enerjisi kullanımı araştırılmıştır.

Bu çalışma ile birlikte, rüzgar türbini entegreli yüksek yapılardan yenilikçi yaklaşımları ile mimarlık literatürüne giren örnekleri araştırılarak; konunun mimari, yapısal ve rüzgardan yararlanma performans değerleri irdelenip, bu konu üzerinde yapılacak çalışmalara ışık tutması hedeflenmiştir. Türbin entegreli yüksek yapıların ulaşılabilen performans analizleri irdelenmiştir. Buna yönelik mimari form, türbin optimizasyonu ve etkin performans ölçütleri çıkarılmıştır.

İnsanların yaşam kalitesini yükseltmek ve çevreye zararlı olan karbon salınımlarını en aza indirmek amacıyla yaşam alanı tasarlayan mimarların, özellikle, yenilenebilir enerji kaynakları konusunda bilinçlenmeleri ve söz konusu sistemleri tasarımlarına entegre etmek

noktasında önemli görevleri bulunmaktadır. Tez çalışmasında, bu sorumluluk bilincini destekleyecek örneklerin seçimine özellikle dikkat edilmiştir.

Tezin kapsamı

Yüksek Bina Tasarımına Yön Veren Bir Araç Olarak Rüzgar: Shanghai Kulesi Örneği başlıklı tez çalışmasında, literatür taraması yöntemi ile verilerin toplanarak yüksek yapı ile entegre rüzgar türbinlerinin uygulanmış örnekleri üzerinden incelenmiş, analiz ve sonuçların yorumlanması ile bölüm konuları bu yönde düzenlenmiştir.

Beş bölümden oluşan bu çalışmada;

I. Bölümde tezin amacı hakkında bilgiler verilmiş, yüksek yapı ve rüzgar türbini hakkındaki araştırma, sorunsal ve yenilenebilir enerjiden faydalanma olasılıkları hakkındaki çalışmalar hakkında ön bilgiler verilmiştir. Araştırma soruları ile ilgili tanımlamalar yapılmıştır. Tezin kapsamında ise tez içerisindeki işleyiş ve anlatımın şeması özetlenmiştir.

II. Bölümde enerji ve rüzgarın, mimarlık ile ilişkisi adına terimsel tanımlamalar yapılmıştır. Geçmişten günümüze rüzgar enerjisinden yararlanma adına yapılan ilk çalışmalardan bugüne detaylı incelemeler yapılmıştır. Rüzgar türbin ve özellikleri örnekler üzerinden incelenmiş, türbin, boyut, tip ve kullanım bölgeleri mercek altına alınmıştır. Rüzgardan yararlanılan türbinlerin geçmişten günümüze kadar olan gelişimi, tipi, çeşitleri ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Rüzgar türbini teknolojisinin kullanım alanları üzerinde durulmuş, ülkelerin kullanımı ve türbin yerleşkeleri hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Türbin ve rüzgar ilişkisi açıklanmış, rüzgar akışının yapı üzerindeki karakteristiği hakkında değerlendirmeler yapılmış, olumlu ve olumsuz yönleri üzerinde durulmuştur. Rüzgar ve yüksek yapı tanımlanmıştır. Rüzgarın mimarideki yeri incelenmiştir. Yüksek yapıların rüzgar ile entegreli halde çalışabilmesi konusunda yapılan çalışmalar üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Etkin performans adına kazanılan rüzgar enerjisi, detaylı şekilde irdelenmiş, ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda yapı ile türbin optimizasyonu

açıklanmaya çalışılmıştır. Yapı ve türbin ilişkisi, başlıklar halinde incelenmiş, yapılarda türbin kullanımı olasılıkları detaylandırılarak alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

III. Bölümde, Tarihsel süreç içerisinde yüksek yapıların başlangıç, gelişim ve ilerleyişi hakkında örneklerle bilgiler verilmiştir. Günümüze kadar olan yapılar detaylı şekilde ele alınıp, dönemsel olumlu ve olumsuz değerlendirmeleri yapılmıştır. Daha sonra yüksek yapılardaki tasarım kriterleri genel olarak açıklanmış, tasarıma yön veren önemli faktörler alt başlıklar halinde incelemeye alınmıştır. Yüksek yapıların rüzgar bağlamında tasarım kriterlerinin olumlu ve olumsuz yönleri genel değerlendirmelerle ele alınmıştır. Rüzgar karakteristiğinin mimari tasarımı üzerine kontrol edilebilirlik faktörleri üzerindeki çalışma sonuçları açıklanmıştır. Ardından rüzgar bağlamında tasarıma yön veren faktörler, literatürde yer bulmuş, uygulanmış ya da onaylı projeler üzerinden günümüz mimari örnekleriyle açıklanmaya çalışılmıştır.

IV. Bölümde, Günümüz yüksek yapı ve türbin kullanımının en iyi örneklerinden biri olan Shanghai Tower hakkında rüzgar ve yapı tasarımı faktörünün işleyişi ayrıntılı şekilde ele alınmıştır. Yüksek yapıların rüzgar ile entegreli halde çalışabilmesi değerlendirilmiştir. Tasarım parametrelerinde rüzgar gücünün karakteristiği referans alınıp ortaya çıkan analizler sonrasında değerlendirmeler yapılmıştır. Bu sayede günümüz rüzgar türbini entegreli yapılarındaki yaklaşımlara bir altlık oluşturulması amaçlanmıştır.

V. Bölümde, Dünya üzerindeki mevcut rüzgar enerjisinin entegreli yaklaşımlarının önemi ortaya konmuştur. Rüzgarın yapı ile etkileşimli sürecindeki test ve tasarım aşamaları ele alınmıştır. Yapı üzerinde kullanılan rüzgar türbinlerinin avantajlı ve dezavantajlı olduğu noktalar belirtilmiştir. Türbin ölçek, boyut ve konumlanma açısından aktif performans sağlayanlar belirlenmiştir. Büyük ölçekli türbinlere nazaran, mikro türbinlerin önemi vurgulanmıştır. Rüzgar yüklerinin olumlu ve olumsuz etkilerine yönelik yapıda uygulanabilir tasarım parametreleri analiz edilmiştir.

Araştırma sorusu

Geçmişten günümüze mimaride rüzgardan nasıl faydalanılmıştır?

İnsanlar, yüzyıllar boyunca rüzgar enerjisinden faydalanmaktadır. Yel değirmenleri ile başlayan rüzgar esintisinden yararlanma, geliştirilmiş rüzgar türbinleri ile mimari formlar

üzerinde kendini göstermiştir. Rüzgar türbinleri toprak zemine mesnetlenirken bugün yapılara entegre olmuş türbin kullanımları mevcuttur.

Yapı ölçekleri, kullanıcı sayısına göre değişmektedir. Artan kullanıcı sayısına göre yüksek katlı yapılar ortaya çıkmıştır. Artan kat sayısı ile birlikte yükseklik limiti ve tüketilen enerji miktarı da artış göstermektedir.

Rüzgar hızı, yeryüzünden yükseldikçe doğru oranla artış göstermektedir. Rüzgar türbinleri, ancak uygun ve elverişli bölgelere konumlandırıldığında etkin enerji üretebilmektedir. Yüksek katlı yapıların özellikle tepe noktası ya da çatıya yakın katları, olağan rüzgarlardan üst düzey faydalanılması için en uygun bölgelerdir. Bu bölgelere konumlanan türbinlerden enerji elde edilmektedir. Elde edilen enerji yapının elektrik tüketiminin bir kısmını karşılayabilmektedir.

Gelişen teknolojinin rüzgardan yararlanma biçimlerine etkisi nasıl olmuştur?

İlk inşa edilen yapılarda taş malzemeler kullanıldığından, günümüzde yüksek yapı olarak adlandırdığımız yükseklik limitlerine ulaşması mümkün değildi. Yapılarda kullanılan strüktür ve materyallerin gelişmesiyle yüksek katlı yapılar ortaya çıkmıştır. Yapılarda kullanılması amacıyla 1856 yılında çelik üretim faaliyetleri, yüksek yapılar için önemli bir gelişme olarak kaydedilmiştir. Çok katlı yapılarda katlar arasındaki insan sirkülasyonu için 1881 yılında geliştirilen hızlı ve güvenilir asansörde diğer bir önemli gelişme olmuştur. Yüksek yapıların gelişimi doğrultusunda bina sayıları her geçen dönem artış göstermiş, farklı çeşit ve formlarıyla talepleri karşılamıştır. Gelişen teknolojiler doğrultusunda yükseklik limitleri arttığı gibi, artan yükseklikle yapının üst noktalarında oluşan potansiyel rüzgar enerjisinden yapıyla entegreli ya da mesnetli türbinler sayesinde faydalanılmaya başlanmıştır.

Yüksek yapılarda strüktür ve malzeme gelişmeleri yanısıra türbinlerle ilgili teknolojik gelişmelerde hızla ilerlemiştir. 1888 yılında yapılan ilk rüzgar türbini 12 kW kapasitesinde elektrik enerjisi üretirken 2011 yılında bu sayı büyüyen kanat ve rotor çaplarıyla 2 mW (2000 kW)' a kadar ulaşmıştır. Ayrıca türbin kullanım ömrü ilk yıllarda sayıca çok az iken günümüzde kullanılan türbinler 100' den fazla kez kullanılabilir [1].

Yüksek yapılarda rüzgardan enerji elde etmek mümkün müdür?

Yüksek yapılar günümüzde 800 m ye kadar ulaşmış ve bu limiti artırmaya yönelik arayışlar halen devam etmektedir. Yüksek yapıların tepe noktalarındaki rüzgar hızı potansiyeli oldukça fazla olmasından dolayı bu enerji kaynağından yararlanmak istenmiştir. Doğada ham bir şekilde bulunan rüzgar esintisinin, türbinlerden geçirilmesiyle oluşan hareket sonucunda enerji aktarılıp, kullanılabilmekte ve depolanabilmektedir. Dolayısıyla açığa çıkan enerji yapının enerji ihtiyacının bir kısmını karşılayabilmektedir.

Yüksek yapılarda rüzgar enerjisinden faydalanmak için hangi teknolojiye gerek duyulmaktadır?

Dünyadaki tükenbilir kaynakların hızla azaldığı bu günlerde, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim her geçen gün tüm alanlarda kendini göstermektedir. Rüzgar türbini teknolojileri daha öncelerde zemine mesnetlenmiş, sonralarda denizlerde dahil olmak üzere birçok türbinin toplu halde konumlandırılmasıyla rüzgar çiftlikleri kurulmuştur. Genelde ilk kullanılan türbinlerde ses sorunu nedeni ile yerleşim bölgelerinde kullanılmaktan kaçınılmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte türbin konumlanması farklılaşmıştır. Genellikle tepe noktası olmak üzere tepeye yakın noktalara konumlanması ile yapılarda kendini göstermiştir. Yüksek yapılarda rüzgar enerjisinden faydalanmak için türbin teknolojisine gerek duyulmaktadır. Fakat gelişen teknolojiyle birlikte türbin tasarımı daha verimli ve estetik görünümüyle yüksek yapılara entegre olabilmektedir.

Bu bağlamda türbin entegreli yüksek yapıların tasarımı, elde edilecek enerji etkin performans verimi açısından önem arz etmektedir. Tasarım adına gerçekleştirilen ön çalışmalarda, hakim rüzgar yönü ve daha bir çok değişken özellikteki rüzgar olaylarının data girdileri ile incelenerek, yapı modellemeleri ve bilgisayar simülasyon programları ile formsal birtakım çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalardan elde edilen analizler doğrultusunda uygun rüzgar türbini seçimi, konumlanma yeri ve açılarına karar verilmektedir. Bu sayede yapı form analizleri ön çalışmaları ile rüzgardan elde edilen enerji miktarı ve verimin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmış olacaktır.

Bu bağlamda rüzgar enerjisinden faydalanmak için rüzgar tüneli testlerine, rüzgar simülasyon programları ve türbinin konumlanacağı bölgenin rüzgar datalarına ihtiyaç

duyulmaktadır. Yüksek yapı tasarımcıları, data gibi tüm verilerin sonuçlarını elde ettikten sonraki geribildirimler sayesinde, rüzgar enerjisi kaynaklarından türbinler sayesinde yararlanmaya başlamıştır. Sonuç olarak, rüzgar enerjisinden yararlanmak adına ilk olarak türbin teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır.





2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde rüzgar enerjisi tariflenerek, kısa tarihçesi verilmiş ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak rüzgarın mimarideki yeri ve önemini anlatan bir kuramsal çerçeve çizilmiştir.

2.1. Enerji, Rüzgar ve Mimarlık ilişkisi

Başta güneş olmak üzere su, toprak, bitki örtüsü, iklim vb. tüm çevresel faktörler gibi rüzgar da yapıları çevrenin şekillendirilmesinde belirleyici bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Rüzgara karşı korunmak için yapıları tasarlama ve yapma biçimini sorgulayan/geliştiren insanoğlu zamanla rüzgardan fayda sağlamanın yollarını da keşfetmiştir. Yüzyıllar boyunca geliştirerek kullandığı yel değirmenleri sayesinde enerji ihtiyacını karşılamada önemli aşamalar kaydetmiştir.

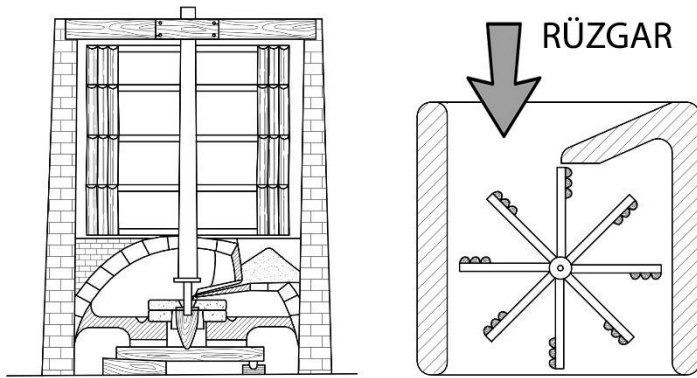
Sanayi devrimi ile birlikte enerjinin ve özellikle fosil yakıtların önemini keşfeden bilim insanları yenilenebilir enerji üretme arayışına gitmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen rüzgar enerjisi ise günümüzde hızlı gelişen teknolojisi ile en ekonomik enerji kaynağı olarak görülmektedir [2]. Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içinde en gelişmiş ve ticari açıdan en elverişli olanı olarak ta görülmektedir. Bütünüyle doğa ile uyumlu, çevreye zarar vermeyen ve tükenme ihtimali olmayan enerji kaynağıdır. Örneğin İngiltere’de konutlar mevcut enerjinin %50’ sini tüketmekte, %27 oranında ise karbondioksit salınımı yapmaktadır [3]. Sera gazı emisyonlarını önlemenin ötesinde, rüzgar enerjisi civa, kükürt, kükürtdioksit, ve azot oksit gibi zararlı fosil kirleticileri önlemekte, hava ve suyun daha temiz olmasını sağlamaktadır. Uygun rüzgar alanlarında fosil yakıtlar ve nükleer enerji ile rekabet edebilmektedir [4].

Günümüzde rüzgar enerjisinin kullanım alanı ve yaygınlığı her geçen gün artmaktadır. Özellikle 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artarken rüzgar ile enerji elde edilmesi önem kazanmıştır. Rüzgar enerjisi alanında, Danimarka, Almanya ve İspanya gibi ülkeler üst sıralarda yer alırken Avrupa ve Amerika’da da yönelimler birçok ülkede olduğu gibi artış göstermektedir. Yel değirmenleri ile başlayan rüzgar gücünden faydalanma serüveni, günümüzde rüzgar türbinlerinden oluşan "rüzgar çiftliklerine" evrilmiştir. Rüzgar çiftliklerinin yanısıra, yapı ile

ilişkilendirilmiş türbinler de mevcuttur. İngiltere'de 2005 yılında yapıya monte edilmiş türbin sayısı sadece 2 iken, 2009 yılında bu rakam toplamda 2432' ye yükselmiştir [3]. Zaman içerisinde rüzgar enerjisi kullanımının önemi daha da anlaşılmış ve daha çok yüksek yapılarla ilişkilendirilmiştir. Çok yakın gelecekte, hemen hemen her yüksek binada rüzgar türbinlerinin bulunması beklenmektedir [5]. Bu bağlamda birçok dünya ülkesi rüzgar ve yüksek yapı ilişkisine gereken önemi vermekte ve ikon haline gelmiş birçok rüzgar türbinli yüksek yapı örnekleri sunmaktadır.

2.1.1. Geçmişten günümüze rüzgar enerjisi ve mimariyle bütünleşmesi

Rüzgar enerjisinin ilk kullanımının MÖ 900 yıllarına uzandığı iddia edilmektedir [6]. MÖ 5000'li yıllarda Nil Nehri'ndeki yelkenlilerde, daha sonraları MÖ 2800 yıllarında Orta Doğu'da kullanılmıştır. MÖ 17. yüzyılda Babil Kralı Hammurabi döneminde Mezopotamya'da sulama amacıyla kullanılan rüzgar enerjisinin, aynı dönemde Çin'de de pirinç tarlalarının da sulanmasında kullanıldığı belirtilmektedir. Yel değirmenleri, ilk olarak İskenderiye yakınlarında kurulmuştur. Persler MS 7. yüzyıl ortalarında dikey eksenli rüzgar değirmenlerini yaygın olarak kullanmışlardır (Şekil 2.1) [7]. Türklerin ve İranlıların ilk yel değirmenlerinin MS 7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına karşın, Avrupalılar yel değirmenlerini ilk olarak Haçlı Seferleri sırasında görmüşlerdir [1].

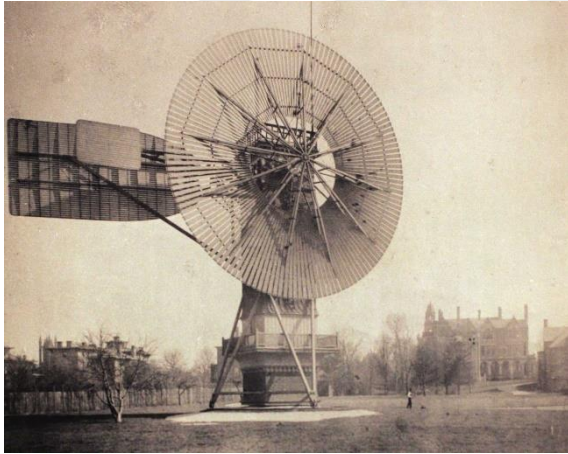


Şekil 2.1. Persler tarafından kullanılan ilk rüzgar türbinleri [8]

Fransa ve İngiltere'de yel değirmenlerinin kullanılmaya başlaması 12. yüzyılda olmuştur. Tarımsal ürünleri öğütmek, su pompalamak, hızar çalıştırmak gibi amaçlarla geliştirilen yel değirmenleri, Avrupa'da Endüstri Devrimi'ne kadar hızla yayılmışlardır. 18. yüzyılın sonunda yalnız Hollanda'da 10.000 yel değirmeni bulunmaktaydı [9]. 18. yüzyılda

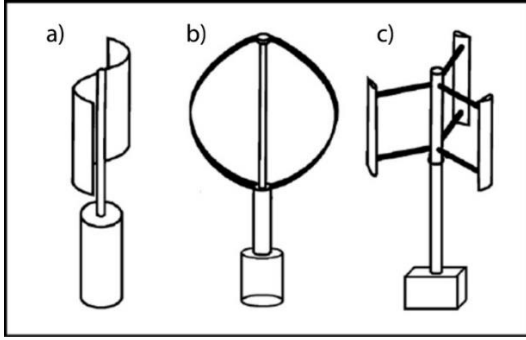
Hollandalı göçmenler tarafından Amerika kıtasına taşınan rüzgar türbinleri, sanayi devrimi ile birlikte buhar makinelerine yenik düşmüş ve popüleritesini yitirmiştir.

Elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan ilk rüzgar türbini ise 1888 yılında Amerikalı Elektrik Mühendisi Charles Brush tarafından bir köşkün elektrik ihtiyacını karşılaması amacıyla yaptırılmıştır. Ohio’ da bulunan türbin 17 m rotor çaplı, 144 kanatlı ve 12 kW kapasitelidir. Resim 2.1’ de görülen bu türbin 18 m yüksekliğinde bulunan bir kuleye yerleştirilmiştir [1]. Avrupa’ da ilk rüzgar türbini ise 1891 yılında Danimarkalı Meteorolog Poul La Cour tarafından yapılmıştır [10]. 23 m rotor çapıyla o zamana kadar en büyük türbini 24 m yüksekliğindeki kuleye konumlandırmıştır. Hemen ardından yine Poul la Cour’ un 1895 yılında geliştirdiği türbinlerle bir rüzgar çiftliği kurulmuş ve Askov köyünün aydınlatılmasında kullanılmıştır.



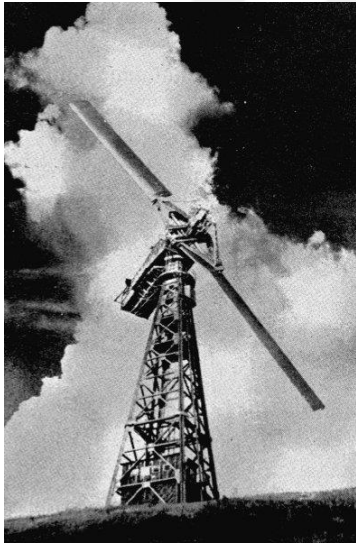
Resim 2.1. Charles Brush tarafından inşa edilen yatay rüzgar türbini (1888) [11]

1900’lü yıllarda Danimarka’da yaklaşık 2500 yel değirmeninin entegreli çalışmasıyla 30 mW’ a kadar enerji üretilmi, üretilen enerji buğday öğütme ve su pompalama amacı ile kullanılmıştır [1]. 1918 yılında 20-35 kW’lık türbinlerle, 120 kırsal merkezin elektrifikasyonu sağlanmıştır. 1922 yılında S.J Savonius, kendi adını verdiği düşey eksenli türbini geliştirmiştir. 1931 yılında “Düşey Eksenli Darrieus Rüzgar Türbini” olarak anılan ürünün patentini Fransız havacılık mühendisi olan Georges Jean Marie Darrieus almıştır. Darrieus düşey eksenli rüzgar türbinleri nadir de olsa halen kullanılmaktadır (Şekil 2.2). Aynı yılda yatay eksenli rüzgar türbinleri geliştirilerek 32 m yüksekliğinde 100 kW kapasiteli türbin Yalta’ da inşa edilmiştir. Benzerleri günümüzde halen kullanılmaktadır [1].



Şekil 2.2. a) Savonius, b) Darrieus, c) H-rotor Düşey eksenli rüzgar türbinleri [12]

İkinci Dünya Savaşı yıllarında rüzgar enerjisinde büyük gelişmeler olmuştur. Danimarkalı bir şirket olan F.L Smith 2 ve 3 kanatlı rüzgar tribünleri inşa etmiştir. Bunların en büyüğü 1941 yılında Vermont‘ ta inşa edilen 1.25 mW Smith-Putnam makinesidir (Resim 2.2) [9]. Aynı yıllarda İngiltere ve Fransa‘da da yapılan deneysel çalışmalar sonucunda farklı güçlerde ve farklı tiplerde rüzgar türbinleri üretilmiştir. 1960‘lı yıllardan itibaren ise Almanya, Avusturya, İtalya ve Amerika‘da da teknolojik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır [9].



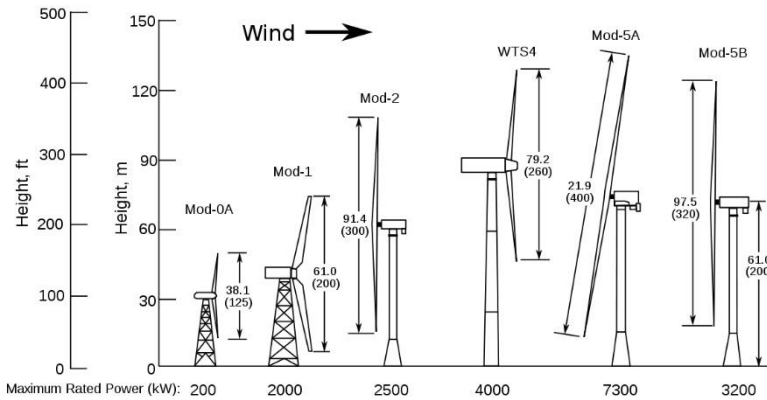
Resim 2.2. Smith-Putnam rüzgar türbini (1941) [13]

1957 yılında Poul la Cour‘ un öğrencisi olan Johannes Juul Resim 2.3‘te görüldüğü üzere, 24 m çapında yatay eksenli rüzgar türbini inşa etmiştir. Bu model günümüzdeki türbinlere oldukça benzer bir teknoloji ile üretilmiştir. Söz konusu türbinin kapasitesi 200 kW‘dır ve günümüz modern türbinlerine ilham kaynağı olmuştur.



Resim 2.3. Johannes Jull' un inşa ettiği rüzgar türbini (1957) [14]

1975 yılında NASA, Şekil 2.3'te görülen rüzgar türbini performansını arttırmak amacıyla ölçü, boyut ve verimlilik üzerine prototipler geliştirmiştir. Araştırma ve geliştirmeler sırasında çelik kuleler, ulaşılabilir hız jeneratörleri, kaplama materyalleri, devir sayısı kontrolü, aerodinamik, yapı ve akustik testleri de yapılarak konu bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır. 1975 yılında üretilen bu prototip türbinler, günümüzdeki çoklu mW türbinlere önderlik etmektedir [1].



Şekil 2.3. NASA tarafından üretilen rüzgar türbin prototipleri (1975) [15]

1990'lı yıllarda petrol krizinin ortaya çıkmasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim oldukça artmıştır. 1995 ile 2000 yılları arasında 50 m çapında 750 kW kapasitesi olan rüzgar türbinleri üretilmiştir. Amerika, İspanya ve Çin gibi ülkeler çok sayıda rüzgar türbinlerinden oluşan çiftlikler kurmuştur. 2000'li yıllardan sonra rüzgar çiftlikleri kapasitesi ve sayısı her geçen gün artış göstermektedir. 2005 yılında küresel rüzgar enerjisi kapasitesi 59,091 mW' tayken 2008 yılında bu sayı 120,291 mW' a ulaşmıştır [1]. 2009

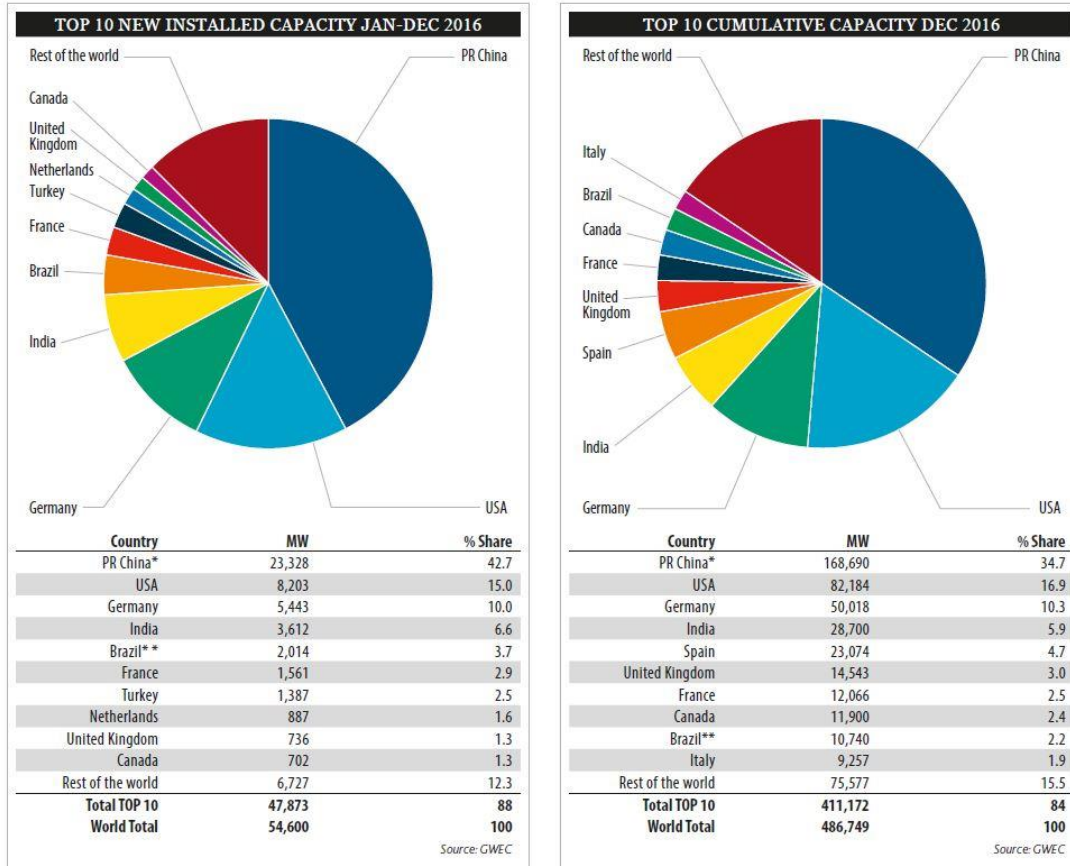
yılında Amerika'nın yeni yatırım ve kurtarma fonu 93 milyon dolarlık yatırımıyla rüzgar enerjisi araştırma ve geliştirmesine yönelik harcama yapmıştır. 2009 yılında dünyanın en büyük The Roscoe Wind Farm adlı rüzgar çiftliği kurulmuştur (Resim 2.4). Bu çiftlik 634 rüzgar türbiniyle 781.5 mW'lık enerji üretmektedir [1].



Resim 2.4. The Roscoe rüzgar çiftliği (2009) [16]

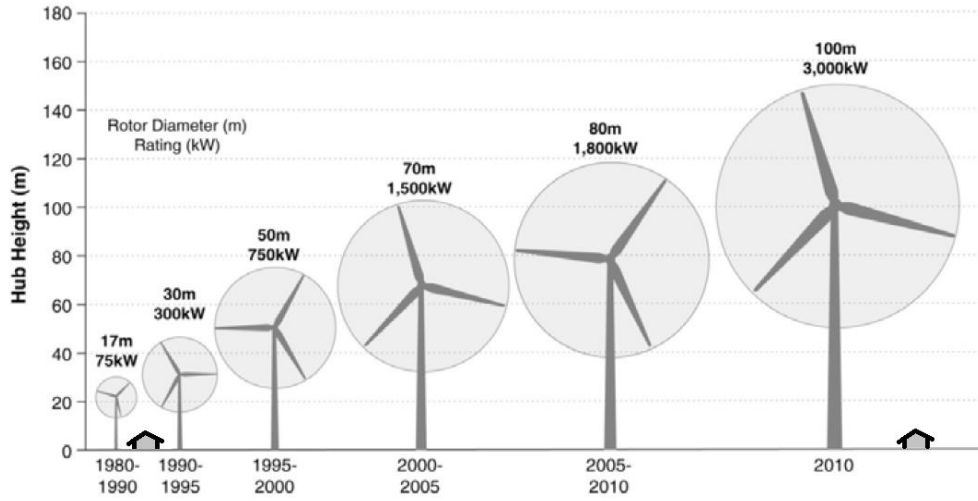
2010 yılında global rüzgar enerjisi gücü 197.039 mW'a ulaşmıştır. 2011 yılında yaygın olan rüzgar türbin rotor çapı 126 m ye, kapasitesi ise 7500 kW'a çıkarılmıştır. Yaklaşık 100 den fazla kez kullanılabilir. Ayrıca 2011 yılında Japonya'da yüzen rüzgar türbin çiftlikleri kurulmuştur. Bu çiftlikler 6 türbinden oluşmakta ve her biri 2 mW enerji üretmektedir. Japonya, 2020 yılında 80 adet bu tip çiftliklerden kuracağını duyurmuştur. 2012 yılında Amerika dünyanın en büyük rüzgar gücü pazarı haline gelmiştir. Dünya global rüzgar enerjisinin gücü 282.587 mW' a çıkmıştır.

Şekil 2.5' te görülen tabloda, ilerleyen yıllarda Çin yeni kurduğu rüzgar çiftlikleriyle yeniden liste başında yer almıştır. 2013 yılında İspanya, diğer enerji kaynaklarına nazaran üç ay üst üste rüzgar çiftlikleri kurmuş, elektrik enerjisi elde etmiştir. Şimdilerde ise ülkenin elektrik ihtiyacının yaklaşık %25'i rüzgar enerjisinden karşılanmaktadır [1].



Şekil 2.4. 2016 yılına ait yeni kurulan rüzgar çiftlikleri ve mevcut rüzgar çiftlikleri [17]

Rüzgar türbinlerinin sayısı her geçen gün artış göstermektedir. Rüzgar türbinlerinin kullanımı artan enerji ihtiyacı, kirlenme, küresel ısınma vb. sebeplerden dolayı kullanımı yaygınlaşmış ve türbinlerin seri üretimine geçilmiştir. Rüzgar türbinleri, pervane çapı, boyutu ve estetik gelişimleri hızla artış göstermektedir (Şekil 2.4). Pervane çapı ve türbin boyutlarının gelişmesiyle elde edilecek enerji miktarı da artırılmıştır [17].



Şekil 2.5. 1980-2010 yılları arasında rüzgar türbinleri gelişim tablosu [18]

Yerleşim bölgeleri dışındaki yaygın kullanımı haricinde, Resim 2.5 ve 2.6' da görüldüğü gibi yerleşim bölgelerinde de rüzgar türbin uygulamaları yer almaktadır. Rüzgar türbinlerinin kentsel yerleşim bölgelerinde kullanılması durumunda görsel bütünlük sağlaması amacıyla estetik açıdan geliştirilmiş türbinlerde mevcuttur.



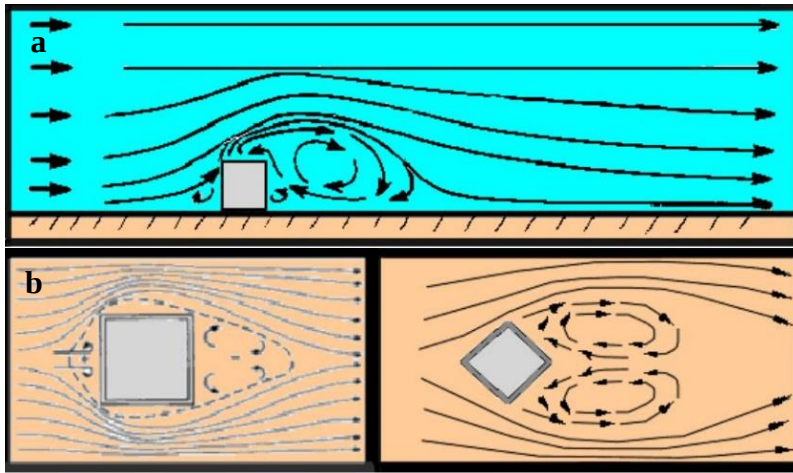
Resim 2.5. Houston Yeşil Bina Merkezi, Amerika [19]



Resim 2.6. Doha Üniversitesi öğrenci girişi, Katar [20]

2.1.2. Rüzgar akışının bina üzerindeki karakteristiği

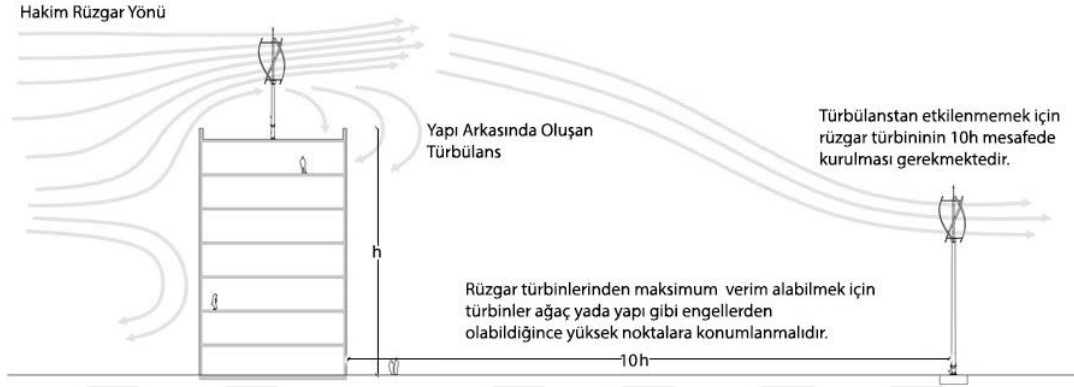
Her yapı form olarak farklıdır. Rüzgar akışı birçok etkene bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yapıların mimari formu, bacası, çatısı ve çıkmaları gibi öğelerde rüzgar akışının hızı ve yönünü etkileyebilmektedir. Yapıların yanı sıra yapı çevresinde bulunan ağaç, kaya gibi engel teşkil eden öğelerde rüzgar hızını azaltabilmektedir. Bu öğeler çevrelerinde türbülans yaratabilmektedirler [21]. Şekil 2.6’ da görüldüğü gibi türbülanslar yapı arkasında daha çok oluşabilmektedir. Türbülansın 0,25 ten fazla olduğu bölgelerde türbin kurmaktan kaçınılmalıdır.



Şekil 2.6. a) yandan, b) üstten, Rüzgar yönü ve yapı arkasında oluşan türbin hareketleri [22]

Şekil 2.7’ de görülen rüzgar türbinleri, türbülans ya da diğer engellerden etkilenmemesi adına engelden uzak ve on kat mesafede konumlandırılmalıdır [23]. Yerleşim bölgelerinde kullanılabilecek rüzgar türbinlerinin bazı özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bunlar;

karmaşık rüzgarlara karşı iyi performans sağlayanlar, yaşam alanlarında güvenli çalışanlar, düşük ses seviyesinde işlev görenler, basit ve dayanıklı tasarıma sahip olanlar, en aza indirilmiş bakım onarım maliyeti olanlar ve estetik görünümüne sahip olanlardır [21].



Şekil 2.7. Kentsel bölgelerde yer alan rüzgar türbinlerinden optimum faydalanma şeması [24]

2.1.3. Bina montajlı rüzgar türbinlerinin genel değerlendirilmesi

Mevcut yapılarda montajlı rüzgar türbini kullanımı üzerinde önemle durulması gereken bir konudur ve 2050 yılında mevcut yapılarda, rüzgar türbini kullanımının %87' ye çıkması beklenmektedir [25]. Günümüz yapılarına nazaran, daha önce inşa edilmiş yapılar düşük standartlarda, termal yalıtım konusunda zayıf, karbon salınımı bakımından oldukça problemlidir [26].

Mevcut yapılarda elektrik enerjisi tüketiminin indirgenmesi düşünülerek, rüzgar türbini montajı uygulamaları yapılmıştır. Rüzgar türbini genellikle inşa edilmiş mevcut yapıların, çatı katına yerleştirilmiştir. Böylelikle yenilenebilir enerji kullanımı ile tüketim masraflarının ve karbon salınımının da azalması beklenmektedir.

Uygulama aşamasından önce kentsel bölgelerde kullanılması düşünülen rüzgar türbinleri hakkında bazı verilerin bilinmesi gerekmektedir. Türbinin yerleşeceği nokta ve çevresindeki alanın gerek rüzgar potansiyel gücü, gerekse topoğrafik yapısının önceden çıkarılması gerekmektedir.

Kullanılacak rüzgar türbini verimi ve güvenliği için yapı üzerinde oluşan rüzgar hava akışı, uyguladığı kuvvet ve basıncı inşa aşamasından önce bilinmeli ve belirli ölçümler

yapılmalıdır. Ölçümleme değerleri türbin gövde yüksekliğinden alınan rüzgar hızı, yönü, basıncı dikkate alınmakla beraber, nem oranı ve sıcaklık verileri de ölçümleme değerleri için önem arz etmektedir. Birçok değer (sıcaklık, basınç, nem, vb.) elde edilecek rüzgar enerjisini etkilemektedir. Olası bir ölçümleme hatası, rüzgar potansiyeli sonucunu doğrudan etkilediği gibi, türbinden elde edilecek enerji ve verimi de etkileyecektir [21]. Ölçüm periyodunun uzun tutulması, elde edilecek muhtemel enerjinin doğruluk payına katkıda bulunacaktır. Ölçümleme işlemi bir yıl boyunca periyodik olarak konumlandırılacağı yükseklikten takip edildikten sonra bilgisayar ortamında değerlendirilmesi gerekmektedir [27]. Montaj yapılacak noktada oluşan/oluşabilecek türbülans yoğunluğu da bilinmelidir. Elde edilecek enerjinin yanı sıra türbin üzerinde oluşan kuvvet, basınç ve yoğunluk deformasyona sebep olmaktadır. Oluşabilecek deformasyon miktarı ve büyüklüğü, rüzgar türbininin enerji üretimi devamlılığını etkilemekte ve ekonomik açıdan ömürlerini de azaltmaktadır.

Uygun konumlandırılmış rüzgar türbinleri efektif olabilmektedir. Türbin ömrünü etkileyen deformasyon sonucunda yapılacak onarım ya da söküm maliyetleri ile kazanılacak enerji miktarı daima göz önünde bulundurulmalıdır [28].

Elverişli ve uygun yerlere konumlandırılmış türbinler etkili şekilde işlev yapabilmektedir. Bu yapılar için ekonomik düzeyin standartlar üstünde olması gerekmektedir. Kurulan büyük çaptaki türbin ile kazanılan enerji sayesinde ekonomik yatırımların daha fazla geri dönüş sağlayacağı düşünülmektedir. Fakat görsel ve teknik açıdan yapılarda uygun değildir. Performansı artırabilen rüzgar türbinlerinin en efektif tekniği büyük ölçekli rüzgar türbini kullanımı değildir. Geniş ve büyük çaptaki türbin kullanım değerleri için 4 temel sorun maddeler halinde özetlenmiştir.

- Büyük çaptaki türbinler, yüksek miktarda ağırlık yükü demektir. Binanın kendi yüklerine ek olarak türbin ve türbin bağlantı yükleride yapı strüktürüne etki etmektedir. Türbinlerin hareket etmesiyle artan yük miktarının olası hesaplama yanlışlıklarında esneme, düşme ve kopma tehlikesi bulundurmaktadır.
- Büyük ölçekteki türbin kullanımının ekonomik açıdan geri kazanımı oldukça zor ve pahalıdır.
- Büyük türbinlerde kullanılan jenaratör ve mekanizma kapasitesi artırıldığı gibi gürültü ve titreşim oranıda artmaktadır.

- Türbin büyüklüğü ve yapı büyüklüğü birbirlerine tamamıyla entegre halinde çalışmaktadır. Daha büyük yapılar için büyük türbin ihtiyaçları olduğu düşünülmektedir ve görsel açıdan yapıya sınırlama getirmektedir [3].
- Bina montajlı rüzgar türbinleri, küçük kapsamlı olduğundan uygulama noktasında adaptasyonunda, en büyük çaptaki türbinlere göre zorluk olmayacaktır. Kullanım aşamasındaki türbin performansından memnun kalınmadığı takdirde kolaylıkla kaldırılabilir [29].

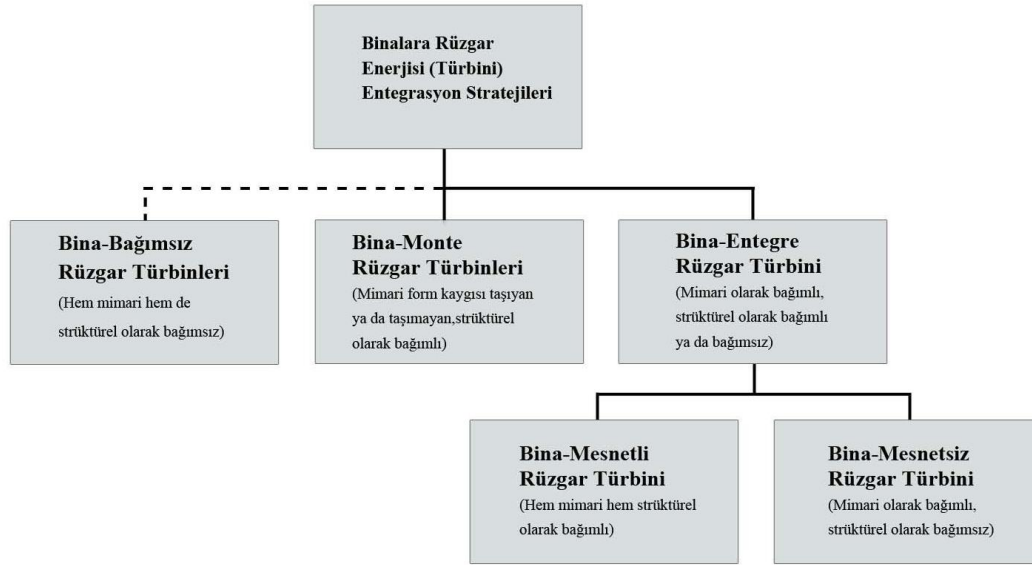
Özetleyecek olursak, kanunların ve ekonomik gelişmişliğin önderliğinde bazı şehirlerde kullanılan rüzgar türbinlerinin değeri artış göstermektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda bina montajlı rüzgar türbinlerinin bazı standart normları açısından karakteristik özellikleri ile mimari karakteristiğini şu şekilde sıralayabiliriz [3].

- Yapıyla entegreli türbinlerin görsel açıdan uyum içerisinde olması gerektiği
- Yapının rüzgar akımını artırmasına yönelik formlarda olması gerektiği
- Ölçeklenebilir (tüm bölgeler için) ve ekonomik olması gerektiği
- İyi enerji verimi için kuvvetli rüzgara ve hakim bölgelere konumlandırılması gerektiği
- Kolay kurulum ve bakımı olması gerektiği
- Yapı üzerindeki bölgelerde lokasyonunun yapılabilmesi gerektiği

Kentsel yerleşimlerde yeterli rüzgarların bulunmadığı görüşü ve bu rüzgarlardan yararlanılması imkanının zayıf olduğu düşüncesi yanlıştır [3]. Öncelikle mevcut bina montajlı rüzgar türbinleri uygun konumlandırılmış olmalıdır. Genellikle incelenen rüzgar türbinlerinde, bölgesel lokasyon ölçümleri ve yerleşimi doğru olmadığında beklenen performans elde edilememektedir. Bu tip rüzgar türbinlerinin yapı ile uyumu ve yapılara montajı son derece kolaydır.

2.1.4. Yapılara göre rüzgar türbinleri

Yüksek yapılar, rüzgar gücünden faydalanmak için oldukça değerlidir. Yüksek yapıların elektrik enerjisi ihtiyacını kısmen ya da tamamen karşılaması adına, rüzgar türbini entegreli binalar olarak yeni kullanım alanları ortaya çıkmıştır. Rüzgar türbinlerinin yapı entegreli tasarımları dikkat çekmekte ve yeni bir akım oluşturmaktadır [30]. Yapılara göre rüzgar türbinlerinin entegrasyon stratejileri Şekil 2.8' de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Yapılara göre rüzgar türbinleri entegrasyon tablosu [2]

Mimari yapılarda kullanılan rüzgar türbinleri ikiye ayrılır. Birincisi yapı tamamlandıktan sonra türbin montajı, ikincisi ise tasarım aşamasında yapı ile birlikte monte edilen türbinlerdir [21]. İlki binalara monte edilmiş rüzgar türbinleri olarak, ikincisi ise bina entegre rüzgar türbinleri olarak adlandırılmaktadır.

Bina bağımsız rüzgar türbinleri

Yapılardan ve yapının mimari tasarım ve strüktüründen bağımsız olarak çalışan rüzgar türbin ya da rüzgar çiftlikleridir. Resim 2.7’ de görüldüğü gibi bu çiftlikler kırsal bölgelerde ya da Resim 2.8’ de görüldüğü üzere okyanus üzerinde yer alabilmektedir. Binalarda oluşan rüzgar hızı, yönü ya da performansına dayalı herhangi bir etkisi bulunmayan türbinlerdir.



Resim 2.7. Rocky dağları yakınında yer alan rüzgar çiftliği, Canada [31]



Resim 2.8. Fukushima Yüzer türbin çiftliği, Japonya [32]

Kansas yakınlarında yer alan Gray Country Wind Farm 2001 yılında inşa edilmiş en geniş kapsamlı olan rüzgar çiftliğidir. 170 adet rüzgar türbini ile 112 mW kapasiteli olup 33.000 evin elektrik ihtiyacını karşılamaktadır [33].

Türbin büyüklüğü ve rüzgar gücü sistemleri genellikle birbirleri ile uyum içerisindedir. Günümüz rüzgar türbini ölçeklerinde üç kanattan oluşmakta ve kanat çapları 80 ila 100 m arasında değişiklik göstermektedir. Türbin çiftlikleri birbirleri ile belirli bir düzen içerisinde konumlandırılmaktadır. Türbin çiftlikleri sayıca 15 ila 150 adet arasında değişiklik göstermektedir. Kazanılan enerji miktarı ise 0.5 mW ila 3 mW arasında değişmektedir [34].

Genellikle, farklı konseptlerde tasarlanabilen yatay akslı rüzgar türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgar türbinlerinin her biri 1.5 kW kapasitesinde olup, birbirlerine bağlantılıdır [30]. Basit, sade ve doğrusal olup uzunluğu genellikle 35 m den fazla olabilmektedir. Bu

türbinler genellikle rüzgarın saniyede 3 ila 5 m/s' ye ulaşan hızlarda çalışmaya başlamakta, maksimum enerjiyi ise 15 m/s' de kazanıp, 25 m/s' ye hız ve üstünde gelen rüzgarlarda otomatik olarak kendini kapatmaktadır [34]. Türbin mekanizmasında yer alan materyaller genellikle, nano fiber takviyeli polimer, karbon ve fiberglaslardan oluşmaktadır [30].

Rüzgar çiftliklerinde kullanılan türbinlerin avantajları

- Uzun ve büyük ölçekteki kanatlar, alanı daha kapsamlı kavramakta ve yüksek elektrik enerjisi üretmektedir.
- Yüksek rüzgar potansiyeli barındıran arazilere konumlandırıldığında türbülans değerleride az olduğundan enerji üretiminde kesintiler oluşmamaktadır.
- Rüzgar çiftlikleri sayıca sınırsız olarak konumlandırılabilmekte ve üretilen enerji kısıtlanmamaktadır.
- Deniz ya da okyanus üzerine konumlandırılan rüzgar çiftlikleri, zemine konumlandırılanlara oranla %50 oranında daha fazla elektrik üretebilmektedir [35].

Rüzgar çiftliklerinde kullanılan türbinlerin dezavantajları

- Büyük ölçekli rüzgar türbinlerinden kaynaklanan gürültü sebebiyle toplu yerleşim bölgelerinden uzağa konumlandırılmaktadır. Günümüzde gelişen teknolojilerle gürültü seviyesi alt seviyelere indirgenmiştir. Düşey eksenli rüzgar türbinleri, yatay olanlara nazaran daha az gürültü oluşturmaktadır.
- Arazi bölgelerine konumlandırılabilen türbinlerin, bölgede engel teşkil edeceği düşünülmekte diğer gayrimenkul değeri olan yapılar tercih edilmektedir.
- Genellikle rüzgar çiftlikleri inşası için nakliye, görsellik ve yeterli altyapı bulunmayışı gibi problemler ortaya konmaktadır.
- Türbin mekanizmasında özel malzemeler kullanıldığından ek maliyete sebep olabilmektedir.
- Pahalı kurulum ve büyük çapta olduğundan ek sağlamlaştırma strüktürü ve nakliye maliyeti oldukça fazla olup, sökümü hayli zordur.
- Yatay eksenli rüzgar türbinleri, kuş ve yarasaların mekanik türbin kanatlarına sürüklenip, çarpmasına ve ölmelerine sebep olabilmektedir. Bu ölüm oranları, insanların sebep olduklarından çok daha alt seviyededir [2].

- Yatay eksenli rüzgar türbin kanatlarının buz tutması, türbin hareketlerini etkilediği gibi türbinden elde edilecek enerji oranını da etkilemektedir. Bu ihtimalin oluşması oldukça zayıftır.
- Rüzgar türbinlerinin aerodinamik hareketleri, elektromanyetik alan oluşturmakta ve radyo, tv vb. alıcılarda parazit yapabilmektedir.

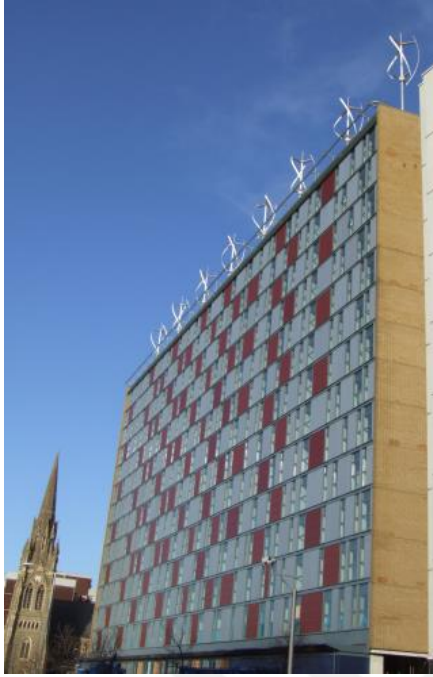
Binalara monte edilmiş rüzgar türbinleri

Yerleşim bölgelerinde yer alan ve özellikle yüksek yapıların üzerine yerleşecek ya da yapı ile entegreli halde çalışacak türbinlerin yapısı, tipi, ölçeği ve etkinliğinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu alanlarda rüzgar potansiyeli ve uygun türbin modellerinin belirlenmesi gerekmektedir [2].

Yeni inşa edilen veya mevcut yapıya konumlandırılabilen rüzgar türbinlerini kapsamaktadır. Rüzgar türbinleri, yapıyı kule olarak işlevlendirmekte ve yapıya farklı şekillerde monte edilebilmektedir. Bina monte rüzgar türbinleri, bina form tasarımına köklü müdahaleler yerine küçük ölçekli iyileştirmelerden meydana gelmektedir (Resim 2.9, 2.10) [2].



Resim 2.9. Konut sahipleri tarafından kullanılan yapının üzerindeki bina monte rüzgar türbinleri Portland, Amerika. 2012 [36]



Resim 2.10. Londrada bulunan Fairview adlı sosyal konut üzerine yapı inşasından sonra eklenmiş sessiz bina monte rüzgar türbinleri [37]

Türbinin monte edileceği noktada yapı strüktürünün, türbinin aktif ve pasif yüklerini ve titreşimini karşılayabilmesi oldukça önemlidir. Ses yalıtımı da bu noktada önem arz etmektedir [30]. Bina entegre rüzgar türbinleri, ile bina monte rüzgar türbinleri arasındaki önemli ayrım yapının mimari formunun tasarım kaygısı taşıyıp taşımadığı noktasında ortaya çıkmaktadır [2]. Tasarım kaygısı taşımadığı takdirde bina monte rüzgar türbini olarak adlandırılmaktadır.

CIS Tower yapısı bina monte rüzgar türbinlerine uygun bir örnektir. Yapı çatısına 3 m yüksekliğinde 24 adet rüzgar türbini konumlanmasıyla, elektrik ihtiyacının %10' u karşılanmaktadır [30].



Resim 2.11. CIS Tower rüzgar türbinleri [38]

Bina entegre rüzgar türbinleri

Bina ile bütünleşmiş rüzgar türbinlerinde, temel konu rüzgar enerjisi kullanımının mimari tasarımla entegreli şekilde çalıştırılmasıdır. Mimari tasarım için rüzgar enerjisinin etkin kullanımı önde tutulmuştur. Bina entegre rüzgar türbinleri bina formu tarafından desteklenerek rüzgarın yönünü, hızını ve yoğunluğunu değiştirmek veya artırmak suretiyle elde edilecek enerjinin maksimum seviyelere yükseltilmesi hedeflerine yönelik tasarımlar sonucunda meydana gelmektedir [2]. Diğer bir deyişle, rüzgar türbinleri esas alınarak, mimari form üzerinde büyük ve etkin rol oynamaktadır (Resim 2.12, 2.13).



Resim 2.12. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi [39]

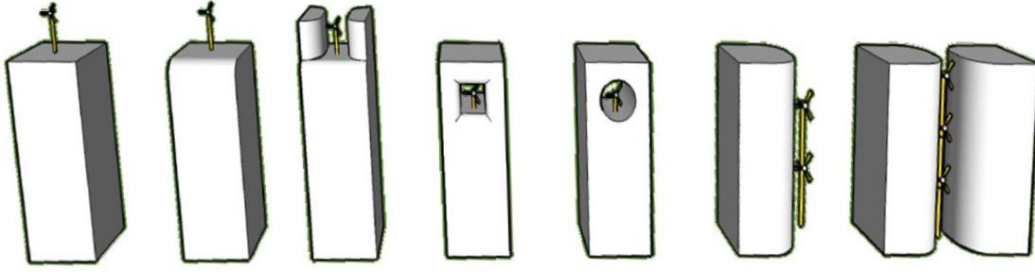


Resim 2.13. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi [39]

240 m yüksekliğinde ve 50 katlı olan Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi tam anlamıyla bina mesnetli rüzgar türbinidir. Üçgen formda iki bina arasında dikey şekilde 3 adet kanat çapı 29 m olan rüzgar türbini bulunmaktadır. Rüzgar enerjisi baz alınarak tasarlanan bu yapıda, yıllık enerji tüketiminin %11 -15'ini karşılamaktadır [2].

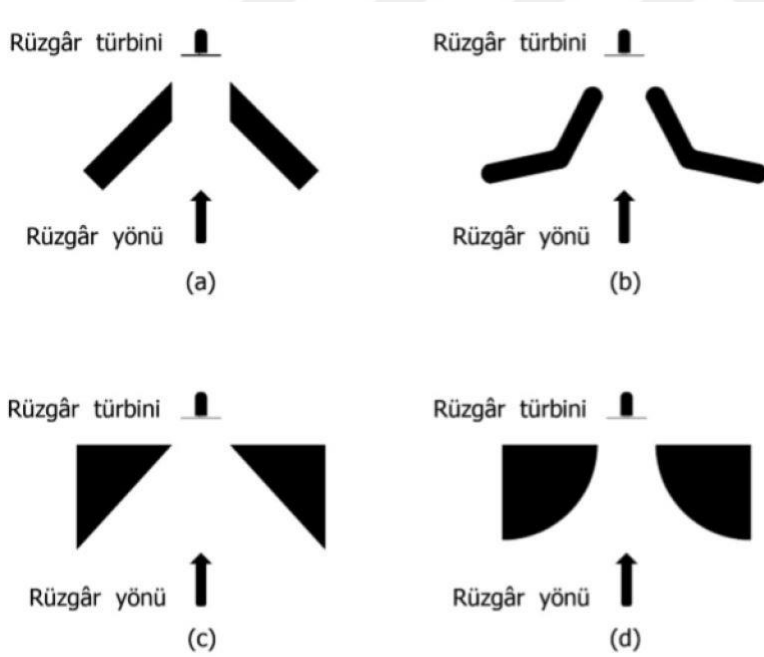
Bina entegreli rüzgar türbinleri iki bölümde incelenmiştir; Bina mesnetli ve bina mesnetsiz rüzgar türbinleri.

Bina Mesnetli Rüzgar Türbinleri: Bina strüktürünü mesnet kabul ederek mevcut rüzgar potansiyelinden maksimum yararlanmak amacıyla kurulan türbinlerdir. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi rüzgar türbinleri yapının farklı noktalarında mesnetlenmektedir. Yapı, rüzgar türbini için adeta kule işlevi görmektedir. Türbinlere yakın sosyal alanlarda, gürültü iletimi, dönen kanatlardan dolayı ışığın titreyerek yansımaları, elektromanyetik parazitler gibi problemlerden dolayı bina giriş yerleri ya da sirkülasyonun en yoğun olduğu bölmeler dışında, örneğin asansör havalandırma boşluğu ya da kör nokta üzerlerine konumlandırılmaları gereği göz önünde bulundurulmalıdır [23].



Şekil 2.9. Bina mesnetli rüzgar türbinlerinin yapılar da kullanılan farklı tipleri [23]

Bina Mesnetsiz Rüzgar Türbinleri: Teoriden uygulamaya geçmemiştir. Bina ya da yapı gruplarına yakın bir yerde çalışabilen ve yapı ile rüzgar akışı arasındaki enerjiyi potansiyel olarak kullanabilen türbinlerdir. Bina mesnetsiz rüzgar türbinleri kendi mesnetleriyle konumlanabilmektedir. Şekil 2.10’ da görüldüğü üzere, adeta rüzgar türbinine rüzgar akışı sağlanması amacıyla inşa edilmiş yapı/yapılardır. Türbinin yerine bağlı olarak konumlandırılan ve çevresindeki rüzgar akışını türbine doğru yönlendiren bir yerleşim düzeni ve/veya cephe formu ile binanın genel tasarımına etki etmektedir.



Şekil 2.10. Bina mesnetsiz rüzgar türbinlerine yönelik tasarım tipleri [2]

3. YÜKSEK BİNALARDA RÜZGAR ENERJİSİNİN KULLANIMI

Bu bölümde yüksek binalarda rüzgar enerjisinin kullanımı tariflenerek, yüksek yapıların gelişimi hakkında kısa tarihçesi verilmiş, yüksek yapıların tasarım kriterleri ile yüksek yapılarda performansa dayalı tasarım ve yenilenebilir enerji kullanım olasılıklarını anlatan bir kuramsal çerçeve çizilmiştir.

3.1. Yüksek Yapıların Gelişimi

İnsanlık tarihi boyunca farklı amaçlar doğrultusunda inşa edilen yüksek binalar, mimari ve strüktürel tasarımların sürekli olarak gelişimi içerisinde şekillenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde söz konusu gelişmeler kapsamında yüksek bina ve sistemlerinin tarihçesi kronolojik şekilde incelenecektir.

Yapılar hakkında yüksek, çok katlı adet sayısı veya gökdelen olarak nitelendirilmesine dair belirleyici ortak bir fikir birliği bulunmamaktadır. Yüksek Bina ve Şehir Habitatı Konseyine (CTBUH) göre, yükseklik sınırı en alt seviyedeki açık-hava yaya girişinden itibaren 14 kat ve 50 m yüksekliği üstündeki yapılar "yüksek bina" (*tall building*), 300 m yüksekliği üstündeki yapılar "çok yüksek bina (*supertall building*)", 600 m yüksekliği üstündeki yapılar ise "mega yüksek bina" (*megatall building*) olarak adlandırılmaktadır [29]. Emporis Standartları' na göre 12 kat ya da 35 m ve üstündeki yapılar "yüksek bina" (*high-rise*), 100 m üzerindeki yapılar ise "gökdelen" (*skyscraper*) olarak adlandırılmaktadır [40]. Amerika Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Kurumunun (ASHRAE) sınırlaması ise yapı yüksekliğinin, rüzgar genişliğine oranının üç katından fazla olduğu bina olarak nitelendirilmektedir [41]. Ulusal Alman Standartlarına (DIN) göre en yüksek noktası 22 m den fazla (DIN, 1988), Ulusal Amerikan Standartlarına göre ise en yüksek noktası 12 m den fazla olan yapılar yüksek yapı olarak nitelenmektedir (ANSI/AISC, 2005). Yüksek yapılar günümüzde daha çok "gökdelen" olarak adlandırılmaktadır. Gökdelen kelimesinin sözlük anlamına bakıldığında ise "Büyük kentlerin özeğinde yer alan, kentin ekin, tecim ve işgörü etkinliklerinin genişliği ve yoğunluğu oranında sayıları çoğalan, popülaritesi yüksek, yükseklikleri yüzünden özel bir görünüm ve özyapı kazandıran çok yüksek yapılara verilen ad" [42] olarak karşımıza çıkmaktadır. Gökdelen tanımlaması özellikle günümüzde göreceli bir kavram haline gelmiştir. Bu noktada, yapının bulunduğu konum önem teşkil etmektedir. 15 katlı bir bina, Avrupa'daki küçük yerleşim birimlerinde örneğin

kasaba ya da banliyölerde yüksek yapı olarak tanımlanırken, metropolitan kentlerde, örneğin Hong Kong ya da Chicago gibi yerlerde yüksek yapı olarak kabul edilmemektedir [41].

İnsanlık tarihi boyunca yüksek yapılar inşa etmek daima insanoğlunun aşmak istediği hedefleri arasında olmuştur ve adeta gücün simgesidir. Mısır'daki Giza Piramitleri, Irak'taki Babil Kulesi, Japonya'daki Yakushi Pagodası bunların ilk örneklerindendir (Resim 3.1, 3.2,3.3) [43].



Resim 3.1. Giza Piramitleri, Mısır (MÖ 2600) [44]



Resim 3.2. Babil Kulesi, Irak (MÖ 600) [45]



Resim 3.3. Yakushi Pagodası, Japonya (MÖ 3. yy) [46]

Antik çağlardan beri süregelen en yüksek yapı yarışı günümüzde halen devam etmektedir. Bu yarışa sosyal ve ekonomik faktörlerin yanı sıra, yüksek bina sayısının her geçen gün artış göstermesi de etkili olmuştur [43].

Tarihsel süreç içerisinde yüksek yapıların ilk örnekleri anıtsal ve dini amaçlara yönelik inşa edilmiştir. Mısırlılar'ın MÖ 2600 yıllarında Kral Keops'u gömüp, hazinelerini saklamak için taştan yaptıkları Giza Piramitleri en eski yapılardan biridir (Resim 3.1). Giza Piramitleri 146 m yüksekliğinde olup, 43 yüzyıl boyunca dünyanın en yüksek yapısı ünvanını taşımıştır [47]. Yemen' de MÖ. 600 yıllarında mabet olarak pişmiş kerpiçten yapılan Babil Kulesi 90 m yüksekliğindedir (Resim 3.2) [48]. Japonya'da MÖ. 3. yüzyılda tapınak olarak inşa edilen Yakushi Pagodası 34m yüksekliğindedir. Pagodanın, özgün taşıyıcı sistemleri 1300 yıldan beri depremlere karşı koyabilmektedir (Resim 3.3) [49]. Yüksek yapıların ilk örneklerinin strüktürü genellikle taş malzemeden oluşmaktadır.

Yüksek yapılarda kullanılan malzemelerin gelişmesiyle yükseklik ölçütü de her geçen dönemde artış göstermiştir. İlk önemli gelişmeyi, 1856 yılında çelik üretimi faaliyetine geçen Bessemer Konservatörü sağlamıştır. 1881 yılında Werder Von Siemens' in güvenlik donanımlı ilk elektrikli asansörü geliştirmesi de bir diğer önemli gelişmedir [43]. Strüktür için çelik, çok katlı ulaşım içinde asansörün geliştirilmiş olması, yüksek yapıların limitlerini hayli artırmıştır.

1885 yılında, Amerikalı Mühendis William Le Baron Jenny, 10 katlı Home Injures Binası' nda çelik malzemeyi, yapılarda kullanarak bir ilke imza atmıştır (Resim 3.4). Avrupa' da inşa edilen ilk yüksek yapı olan Eiffel Tower 1889 yılında inşa edilmiştir. Yüksek yapı tasarımcılarına ilham kaynağı olan Eiffel kulesi 324 m yüksekliğindedir (Resim 3.5). 1891 yılında inşa edilen Chicago' da ki 65 m yüksekliğindeki Monadnock binası yüksek yapı tarihine damga vurmuştur (Resim 3.6) [50].



Resim 3.4. Chicago, Home Injures Building (1885) [51]



Resim 3.5. Paris, Eiffel Tower (1889) [52]



Resim 3.6. Chicago, Monadnock Building (1891) [53]

1913 yılında Manhattan’ da 60 katlı, Woolworth Binası çelik strüktürlerle inşa edilmiştir (Resim 3.7). 242 m yüksekliğindeki yapı, yapıldığı dönem için en yüksek bina unvanını almıştır [42]. 1930 yılında Manhattan’da 77 katlı Chrysler Binası yine çelik strüktür ile inşa edilmiştir (Resim 3.8). 163 m yüksekliğinde olan Chrysler Binasının 60. kattan itibaren üstü paslanmaz çelik saç ile örtülüdür (Resim 3.9) [41].



Resim 3.7. Manhattan, Woolworth Building (1913) [54]



Resim 3.8. Manhattan, Chrysler Building (1930) [55]



Resim 3.9. Manhattan, Chrysler Building çelik saç üst örtüsü (1930) [56]

1931 yılında New York’ ta 102 katlı, Empire State Binası çelik strüktürlerle inşa edilmiştir (Resim 3.10). 381 m yüksekliğinde olan bu yapının en önemli özelliği kendine özgü giydirme cephe tasarlanmış olmasıdır [43]. 1950 yıllarında inşa edilen yüksek yapılarda cam, giydirme cephe, yatay ve dikey kutu profilli cephe elemanları geliştirilmiştir [48]. 1952 yılında New York’ ta 39 katlı, 154 m yüksekliğinde United Nations Secretariat Binası (Resim 3.11) ve 21 katlı, 94 m yüksekliğindeki Lever House Binası inşa edilmiştir (Resim 3.12) [50].



Resim 3.10. New York, Empire State Building (1931) [57]



Resim 3.11. New York, United Nation Secretariat Building (1952) [58]



Resim 3.12. New York, Lever House Building (1952) [59]

1968 yılında Chicago’ da 344 m yükseklikte John Hancock Center Binası inşa edilmiştir (Resim 3.13). 1974 yılında 110 katlı Sears Tower Binası 442 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.14). 1992 yılında Malezya’nın Kuala Lumpur şehrinde 88 katlı ve betonarme yapı olan Petronas İkiz Kuleleri 452 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.15) [50].



Resim 3.13. Chicago, John Hancock Center Building (1968) [60]



Resim 3.14. Chicago, Sears Towers Building (1974) [61]



Resim 3.15. Kuala Lumpur, Petronas Towers (1992) [62]

1997 yılında Frankfurt’ ta 56 katlı, Commerzbank Tower binası 259 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.16). 2004 yılında Tayvan’ da Taipei 101 adlı 448 m yüksekliğindeki yapı adını 101 kat adetinden almıştır (Resim 3.17). Şiddetli rüzgar ve eğilmelere karşı, yapının ağırlık merkezinde 6 tondan fazla yük taşıyabilen 8 adet hidrolik bulunmaktadır. Hidrolik aksamı rüzgarın etkisini azaltabilmektedir [41]. 2008 yılında Madrid’te 56 katlı, Torre Espacio Binası 224 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.18) [50].



Resim 3.16. Frankfurt, Commerzbank Tower (1997) [63]



Resim 3.17. Tayvan, Taipei 101 Building (2004) [64]

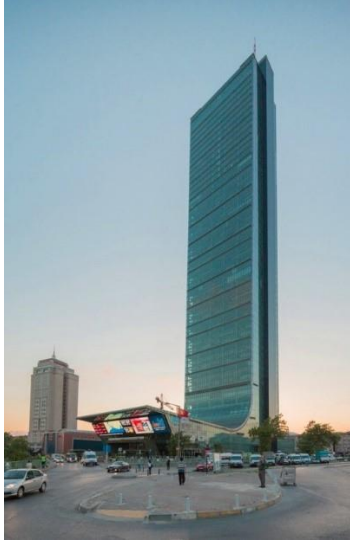


Resim 3.18. Madrid, Torre Espacio Center (2008) [65]

2010 yılında Dubai’ de 163 katlı, Burj Khalifa yapısı 828 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.19). Günümüzde halen dünyanın en yüksek gökdeleni unvanını taşımaktadır. Aynı yılda İstanbul’ da 55 katlı, Sapphire Tower binası 261 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.20). Paris’te 56 katlı, Tour First Binası’ da bu yıl içerisinde 231 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.21) [50].



Resim 3.19. Dubai, Burj Khalifa Tower (2010) [66]



Resim 3.20. İstanbul, Sapphire Tower (2010) [68]



Resim 3.21. Paris, Tour First Binası (2010) [67]

2013 yılında Londra’ da 73 katlı, The Shard binası 306 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.22). Aynı yılda Moskova’ da 75 katlı Mercury City Tower binası 339 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.23). 2014 yılında New York’ ta 104 katlı, One World Trade Center yapısı 417 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.24) [50].



Resim 3.22. Londra, The Shard Tower (2013) [69]



Resim 3.23. Moskova, Mercury City Tower (2013) [70]



Resim 3.24. New York, One World Trade Center (2014) [71]

2015 yılında Çin’ de 121 katlı, Shanghai Tower yapısı 632 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.25). Günümüzde dünyanın en yüksek ikinci yapısı unvanını taşımaktadır. 2016 yılında Çin’de 111 katlı, Chow Tai Fook Centre yapısı 530 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.26). 2017 yılında Çin’ de 115 katlı, Ping An Uluslararası Finans Merkezi yapısı 589.4 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 3.27). Dünyanın dördüncü en yüksek yapısı unvanını taşımaktadır [50].



Resim 3.25. Çin, Shanghai Tower (2015) [72]



Resim 3.26. Çin, Chow Tai Fook Centre (2016) [73]



Resim 3.27. Çin, Ping An Uluslararası Finans Merkezi (2017) [74]

3.2. Yüksek Yapıların Tarihsel Süreç İçerisinde Dönemsel Değerlendirmesi

Geçmişten bugüne kadar olan inşa edilmiş yüksek yapıları kronolojik sıralamaya göre inceleme altına alacak olursak dönemsel özellikleriyle 4 kısımda incelenecektir [75].

3.2.1. Dönem özellikleri

I. Dönem özellikleri (1885-1916)

Tarihsel süreçteki ilk yüksek yapılar anıtsal ve dini içerikli yapılarla başlamış, gelişen strüktür, cephe ve malzemelerle daha kapsamlı projeler ortaya konmuştur. Yüksek binalar ve kentsel yerleşim konseyine göre Home Insurance Binası (1885) ilk yüksek yapı olarak kabul edilmektedir. Bu yapı ile başlayan ve dönem içerisinde birkaç yüksek yapı üzerinde yapılan araştırmalarda havalandırma ve yapay aydınlatma sistemlerinin zayıf olduğu göze çarpmaktadır. Yapıdaki havalandırma açılır pencereler ile sağlandığından ortam ısısında ani değişikliklerden kaynaklı enerji tüketim oranında artış gözlemlenmiştir [76].

18. ve 19. yüzyıllardan sonra şekillenen endüstri devrimiyle birlikte gelişen çelik, asansör ve taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesiyle yüksek yapı alanında önemli bir adım atılmıştır. Bu yıllarda daha çok yüksek katlı yapılar ofis olarak kullanılmaktadır. Yüksek yapılar bu

dönemde daha çok New York, Chicago ve Manhattan gibi Amerika' nın gözde şehirlerinde yükselmektedir. Gökdelen ya da yüksek yapıların Chicago gibi şehirlerde ortaya çıkmasında dönem içerisindeki ekonomik şartların tavan yapması ve kentsel arazi değerlerinin artış göstermesi önemli rol oynamıştır [29].

İlk yüksek yapı örneklerinde, ağırlıklı olarak çelik strüktürde malzemeler kullanılmış olsa da taşıyıcı duvarlar ağır taş malzemelerden oluşmaktadır. Cephe duvarları ısı depoladığından mekanlar yazın serin, kışın ılık olmaktadır [77]. Ayrıca düzensiz inşa edilen yüksek yapılar, alçakta kalan yapıları gölgede bırakmasından kaynaklı ısıtma yüklerine ek maliyet getirmiştir.

1916 New York imar yönetmeliğinden sonraki dönemlerde daha fazla gün ışığından yararlanması amacıyla yapı üzerindeki cephe boşlukları artırılmış olmasına rağmen yapay aydınlatma yüklerinde azalım gözlemlenmemiştir [78]. Dönem içerisinde inşa edilen yüksek yapılar masif kütleleri ve cephe konstrüksiyonu açısından ağırlık teşkil etmektedir [79].

II. Dönem özellikleri (1916-1951)

1916 New York imar yönetmeliğinden sonra yüksek yapılara boyut ve kütsel olarak sınırlama getirilmiştir. Yönetmelik esasına göre yapılar belirli bir yükseklikten sonra daralacağı ve adeta düğün pastası formunu elde edeceği bildirilmiştir.

Bu yönetmelikle birlikte ısı kayıplarına neden olan cephe yüzeyi artışı olumsuz hal almaktayken, daralan kat planları ile birlikte aydınlatma yükü hafifletilmiştir [79].

1939 yılında icat edilen mekanik havalandırma sistemlerinin kullanımı, 1950 yıllarında standartlar arasında bulunan bir uygulama haline gelmiştir. Bu sayede kullanıcı konforu ile birlikte gayrimenkul değerleri de yükselmiştir [77].

III. Dönem özellikleri (1951-1973)

II. Dünya savaşı sonrasında yapılarda estetik kaygıdan çok, fonksiyonelliğe önem verilmiştir. Böylelikle taşıyıcı sistem ve cephe sistemleri birbirinden ayrılmıştır. Bu sayede hafif giydirme cephe sistemleri ortaya çıkmıştır.

Giydirme cephe sistemleri, saydamlık oranı %20-35 arasında iken bu dönemde %75 lere kadar ulaşmıştır [75]. Cam giydirme cepheli yüksek yapılar bulunduğu bölge, iklim ve güneşe göre yönlenme durumları göz ardı edilerek, birçok yerde kullanılmış ve ekonomik gücün göstergesi olarak algılanmıştır [80]. Bu noktada dönem içerisinde yapılan uygulamalarda cephe performansının giderek azaldığı ve yazın aşırı sıcak, kışın serin olduğu mekanların arttığı gözlemlenmiştir [81]. Yüksek yapıların birçoğunun cepheleri siyah veya siyaha yakın, koyu renkli kaplamalarla giydirilmiştir. Siyah kaplı gökdelenlerin kullanımı dünya şehirlerine sıçramış, her bölgede görülmüştür.

Siyah ve koyu renkli yüzeyler güneş ışımasını bünyesinde daha fazla hapsedtiğinden dolayı, yaz aylarında mekanların aşırı ısınmasına sebep olmuştur. Bu noktada mekan içerisindeki artan ısı sonucu, havalandırma yükleri artış göstermiştir. Ayrıca renkli cam kullanımında ise aydınlatma seviyesi düşmüş ve aydınlatma için harcanan enerji artış göstermiştir. Cam giydirme cephelerin inşa edildiği 1950-1970 yılları arasındaki 86 yüksek yapı üzerindeki çalışma, enerji tüketiminde ciddi bir artış olduğunu ortaya koymuştur. 1960' larda inşa edilen yapıların enerji tüketimi 50'lere nazaran iki katından fazla olduğu belirtilmiştir [82].

IV. Dönem (1973-1979)

1973-79 yılları arasında dünya üzerinde yaşanan büyük enerji krizi sonrasında tüm alanlarda enerji tasarrufu yapılması gerektiği ön plana çıkmıştır. Birçok gelişmiş ülke enerji performansı adına yönetmelikler düzenlemiştir. Bu yönetmelikler tek başına yeterli olmamakla birlikte bu yıllarda ilk resmi faaliyet olarak kayıtlara geçmiştir [75].

Ofis ekipmanları ve bilgisayar kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte enerji tüketimi olumsuz yönde artış gösterirken, kullanılan araçların yaydıkları ısı ile mekanlarda sıcaklık artışı gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışını önlemek adına tüketilen mekanik soğutma sistemlerinin yükleri de ek maliyete sebep olmuştur [75].

V. Dönem (1979-Günümüze)

Yüksek yapı inşası Amerika kıtasında alışlagelmiş bir hal aldıktan sonra yerini ilk olarak Uzakdoğu ardından Ortadoğu ülkelerine bırakmıştır. Çin, Tayvan, Malezya ülkelerinden

sonra yüksek yapı inşası özellikle Dubai şehrinde kümelenmiştir. Türkiye’ de yüksek yapı, Sapphire Tower ile ilk kez 2010 yıllarında görülmüştür [50].

Yaşanan enerji krizi sonrasında, yüksek yapıların çoğu enerji performansı adına bir takım çalışmalar uyguladasa, pekte işlevsel olmadığı bu dönemde ortaya çıkmıştır. Bu dönem yüksek yapılarında cephe yüzey alanı daralmakta ve kat alanı artış göstermektedir. Geniş kat planlarında bulunan atrium alanları ile aydınlatma yükleri hafifletilmiştir. Bu bağlamda aydınlatma ve havalandırma yükü azalsada soğuk iklim bölgelerindeki atrium alanlarının genişlemesiyle ısıtma yükü artmıştır [83].

Günümüze yaklaştıkça, yüksek yapılarda kullanılan yenilenebilir enerji üretim teknolojileri artış göstermektedir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinden özellikle rüzgar ve güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Rüzgardan enerji üretme durumu günümüzde yüksek yapılara türbin entegre edilmesi ile yaygınlaşmaktadır. Rüzgar türbini entegreli yüksek yapılar karbon salınımını azaltmaktadır. Rüzgar hızı yerden yükseldikçe artış gösterdiğinden, yüksek yapılarda türbin kullanımı oldukça avantajlıdır [75].

Ekonomik şartlar ile yüksek yapı inşası doğrudan bağlantılıdır. 2000’ li yıllardan itibaren yüksek yapılar, prestij ve güç simgesi olarak görülmektedir. Amerika’da başlayan yüksek yapı inşasının Ortadoğu’ ya sıçraması, ekonomik yatırımların o bölge üzerinde gerçekleşmesini göstermektedir. Günümüzde uluslararası mimarlık şirketleri, gayrimenkul yatırımcılarının birlikteliği ve bölgenin idarecilerinin de desteği ile inşa edilecek projeler daha çok gelişmemiş, gelişme aşamasında ya da az gelişmiş ülkelerde kendini göstermektedir [84]. Geçmişten bu yana yapılan yüksek yapılar, ilk yıllardan sonra (dini içerikli yapılar hariç) yüksek gelirli şirketlerin ofis kullanımına yönelik tasarlanmıştır. Aslen günümüzde halen devam etmektedir, ofis kullanımı yanında hotel, konut gibi karma işlevli yüksek yapılar hemen hemen her bölgede görülmektedir [29].

3.3. Yüksek Yapılarda Tasarım Kriterleri

Yüksek yapılar, inşa edildikleri yerlerde, uzak ve geniş alandan algılandıkları için uzmanlar, tasarım kriterlerini geniş yelpazede ele almıştır. Gökyüzüne yükselen yapılar farklı form, biçim ve görünümleri ile ikonik yapı haline gelebilmektedirler. İkonlaşan yapılar genelde ekonomi ve gücü yansıtırken, kültürel birtakım değerleri de

yansıtılabilmektedirler. Kent dokusuna katkıda bulunup ifade kazandıracak olan bu yapılar uzman kişilerce inşa edilmelidir [85].

Yüksek yapıların tasarım kriterleri; fonksiyonlara, taşıyıcı sistem özelliklerine ve planda geometrik formların kullanımına göre belirlenmektedir. Yüksek yapılarda form, mimari bakış açısına göre; plan, kat, dış görünüm, denge, sadelik, oran, görsel etki, doluluk boşluk, ritim, stil ve süsleme vb. özelliklerle değerlendirilmektedir. Strüktürel bakış açısına göre; büyüklük, ekonomi, şekil, dayanıklılık, stabilite, hafiflik, boyut vb. özelliklerle değerlendirilmektedir [86].

Kentin ve kentlinin yaşamında önemli bir konuma sahip olan yüksek yapılar sadece birçok işlevsel mekanlı bölmeler ve karmaşık sistemlerden meydana gelmemektedir. Yüksek yapıların, formsal, işlevsel ve strüktürel fonksiyonlarının yanı sıra diğer birçok parametre değerlerini göz önünde bulundurularak tasarlanması gerekmektedir. Bu tasarım ancak değerlendirme ve analizlerin simüle edilip, doğru analizler sonucunda geri bildirimli çalışmalarla mümkün olmaktadır.

Yapım süreci ve öncesinde mimarın, yapıya ait fonksiyonel ihtiyaçlarını karşılaması ve estetik kaygıların çözümlemesi adına, bazı paradigmlar birbirlerine zıt çalışıyor olabilmektedir. Bu bağlamda yapım süreci öncesinde, şehir silüetine etkisi, arazi zemini yapısı, mevcut ve planlanan hava sirkülasyonu, yapıya ulaşım ve yangın tahliye planı, altyapı bağlantılarına yönelik güneşin ve rüzgarın etkilerine bağlı değişkenlerin eş zamanlı değerlendirilmesi gerekmektedir [29].

Yapım süreci ön çalışmalarında;

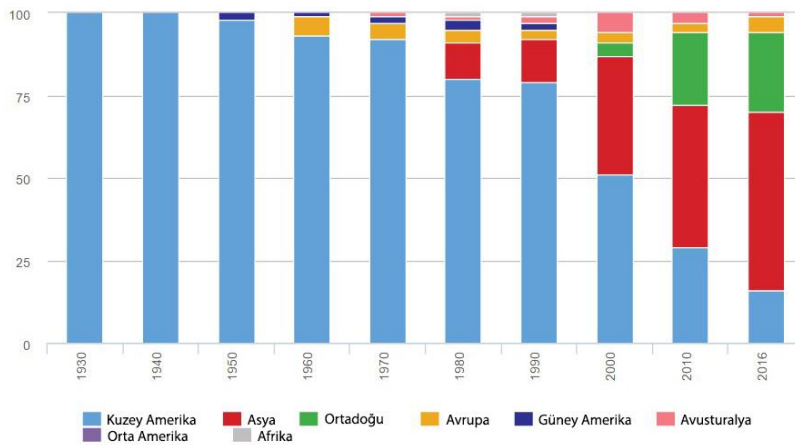
- Yapı programı, işlevi, planı ve formu
- Yapının ana taşıyıcı sistemi tasarımı, çekirdek (core) tasarımı, katlar arası insan sirkülasyonu
- Yapı kabuğu, cephe tasarımı, doğal ışık ve havalandırma
- Deprem ve rüzgar yükleri
- Güvenlik, yangın
- Bakım, işletme ve onarım

faktörleri dikkate alınmalıdır. Bu başlıklar altında incelenip, etken faktörler ayrıntıları ile test edilmeli ve tasarımdan elde edilen test sonuçları ve geribildirim paradigmaları dikkate alınarak sonuçlandırılmalıdır. Bu noktada, tüm bu maddelerin ve ayrıntılarının eş zamanlı ele alınıp, koordineli çalışma doğrultusunda etkin performans sağlayacağı göz ardı edilmemelidir [29].

3.3.1. Yüksek yapıların tasarımı bağlamında yer seçimi

Yüksek yapı tasarımlarına etkiyen diğer bir faktörde kent dokusudur. Yüksek yapılar küçük yerleşkelere kıyasla kentlerde daha fazla görülmektedir. Küreselleşen dünyada yüksek yapı inşası hemen hemen yeryüzünün her bölgesinde ve daha çok dünyanın gözde şehirlerinde bulunmaktadır. Yüksek yapıların bulundukları kentlerin ekonomik gücünü ve gelişmişlik seviyesini göstermekte olduğu algısı, küreselleşen dünyanın her bölgesinde yer edinmiştir. Bunun başlıca sebebi sosyo-ekonomik seviyenin yüksek olmasıdır. Yüksek yapıların inşasına başlandığı andan itibaren, çevre bölgelerdeki arazi ve yapıların ekonomik değerleri artış göstermektedir [84].

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere 1930’ lu yıllardan 1970’ li yıllara kadar yüksek yapıların neredeyse tamamı Kuzey Amerika kıtasında inşa edilmiştir. 1980’ li yıllardan sonra yüksek yapı inşası Asia kıtasında artış gösterirken, 2010 yıllarında ise Ortadoğu kıtasındaki yapılan yüksek yapılarda ciddi artış görülmektedir.



Şekil 3.1. Yüksek yapıların 1930 - 2016 yılları arası inşa edilen lokasyon kullanım tablosu [87]

Şekil 3.28 ve 3.29’ da görüldüğü üzere yüksek yapılar, şehrin silüetini ve dokusunu doğrudan etkilemektedir. Yüksek yapıların avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Yüksek yapıların kent dokusuna etki ettiği başlıca sorunlar şunlardır; Altyapı sistemlerinin çözümsüz kalması, çevre yapıları güneş alımından yoksun bırakma ve karanlık sokakların oluşmasıdır. Çevre yolların genişletilemediği bölgelerde yer alan bazı yüksek yapıların etrafında oluşan araç trafiği ve yapı çevresindeki insan dolaşımı sorun haline gelebilmektedir [84].



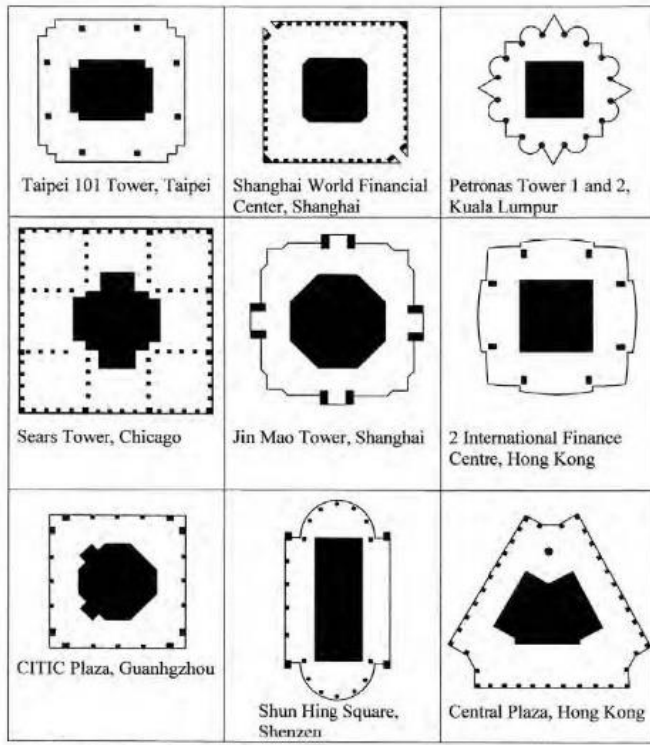
Resim 3.28. Hong Kong şehir silüeti [88]



Resim 3.29. New York şehir silüeti [89]

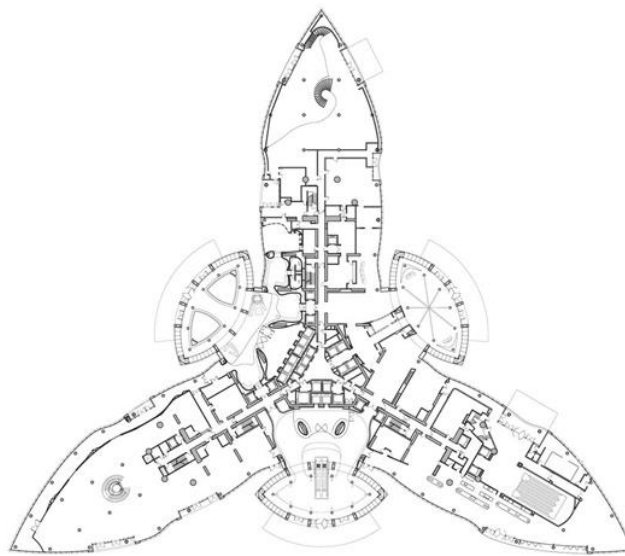
3.3.2. Yüksek yapıların tasarımı bağlamında plan seçimi

Form seçimi, zamanın içerisinde gelişen mimari akımla doğrudan bağlantılıdır. Bölgesel özellik ve kültür değerleri de bir o kadar etkilidir. Resim 3.13’ de görüldüğü üzere John Hancock Center Binasında taşıyıcı sistem görsel olarak ön planda tutulurken, Resim 3.17’de yer alan Taipei 101 binası bölgesel mimari ve kültürel değerleri yansıtmaktadır [86]. Geçmiş dönemlerde, daha çok kutu biçimli yüksek yapılar sıkça görülmekteydi (Şekil 3.2). Sadece Frank Gehry gibi birkaç mimar sıra dışı formlar üzerine çalışmalar yapmıştır. Günümüz yüksek yapıları, geometrik biçimleri ve dikey doğrultuda biçimlenen farklı kombinasyonları değişiklik göstermektedir.

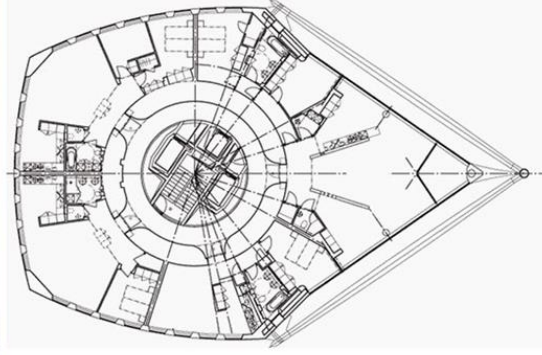


Şekil 3.2. Bazı yüksek yapıların planları [48]

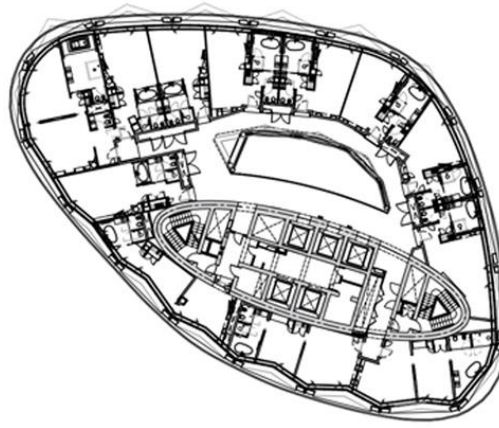
Bunlar temel olarak dört ana form üzerinde incelenebilmektedir; Yükseldikçe incelen formlar (Resim 3.30), bir eksen çevresinde spiral dönen formlar (Resim 3.31), değişken kesitli formlar (Resim 3.32) eğrisel formlar (Resim 3.33) [30]. Günümüzde bilgisayar destekli tasarım yöntemleri ve gelişmiş materyal çeşitleriyle, ikonik yüksek yapılar tasarlanabilmektedir [48].



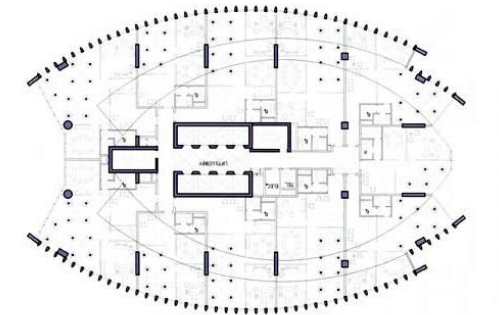
Resim 3.30. Yükseldikçe incelen formda, Burj Khalifa Building [90]



Resim 3.31. Bir eksen çevresinde sipiral dönen formda, Turning Turso Tower [91]



Resim 3.32. Değişken kesitli formda, Capital Gate Tower [92]

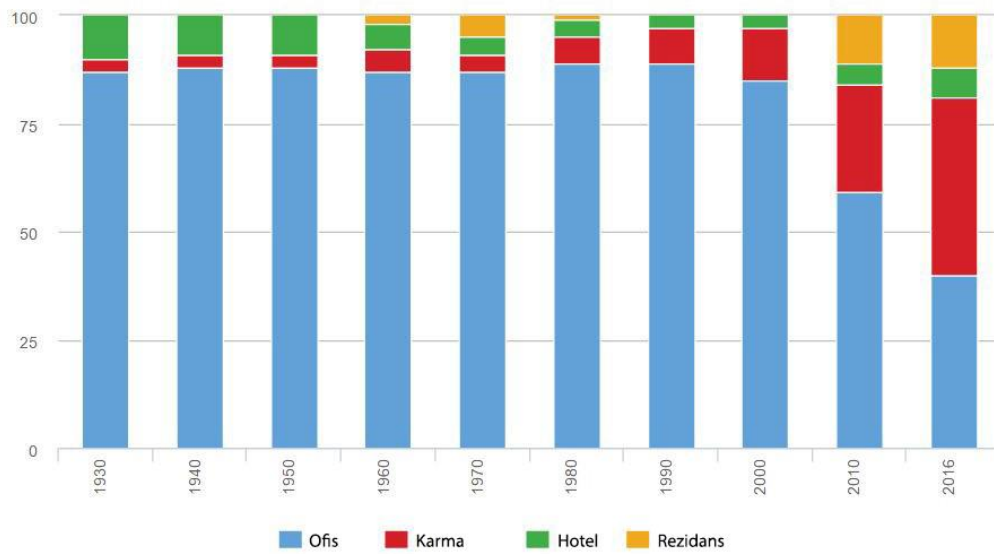


Resim 3.33. Eğrisel formda, Burj el Arab Hotel [93]

3.3.3. Yüksek yapıların tasarımı bağlamında işlev seçimi

Yüksek yapılar, ilk ortaya çıktığı tarihlerde ekonomik gücü yüksek olan şirketler ve çalışanları tarafından rağbet görmüştür. Günümüzde çoğu yüksek yapılar, ofis ile bünyesinde hotel ve rezidansında yer aldığı karma işlevli olarak kullanılmaktadır. Teknolojinin getirdiği yenilikler doğrultusunda insanların beklenti ve ihtiyaçları artarak değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla ikonik ve yüksek yapılarda yaşama arzusu artmıştır.

Yüksek yapı, fonksiyonlarına göre konut, ofis, otel ve karma işlevli olarak dört ana grupta incelenebilmektedir. Şekil 3.3'te görüldüğü üzere 1930'lu yıllarda yüksek yapıların neredeyse tamamı ofis binalarından oluşurken, 1980'li yıllardan sonra karma işlevli yapılar artış göstermektedir. 2016 yıllarında ise karma işlevli yapılar, ofis yapılarından daha fazla rağbet görmektedir.



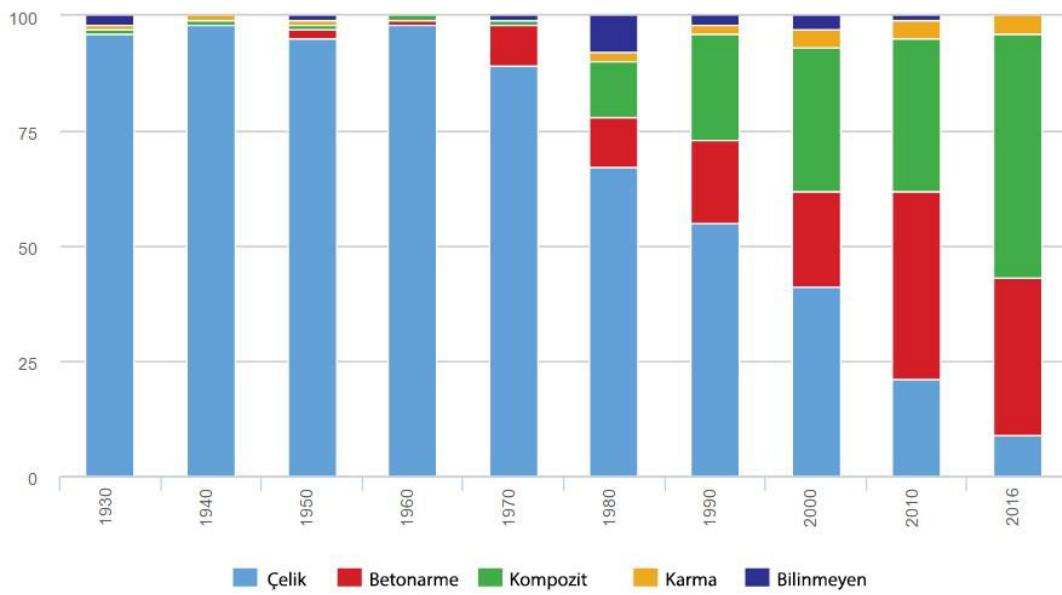
Şekil 3.3. Yüksek yapıların 1930-2016 yılları fonksiyonel kullanım tablosu [87]

3.3.4. Yüksek yapıların tasarımı bağlamında strüktür seçimi

Yüksek yapı tasarımlarında genellikle fonksiyonlarına göre taşıyıcı sistemler kullanılmaktadır. Örneğin konut yapıları, geniş açıklıkların bulunmadığı yerleşim birimleridir. Dolayısıyla betonarme taşıyıcı sistemler konut için uygun ve elverişlidir. Otel yapıları ise toplantı, seminer ya da havuz gibi ihtiyaçlar doğrultusunda geniş açıklıkların

bulunması gereken yapılardır. Bu nedenle çelik ve kompozit strüktürlerle geniş açıklıklar geçilebilmektedir.

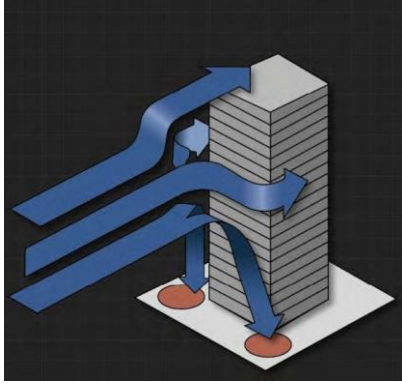
Şekil 3.4'te görüldüğü üzere 1930'lu yıllarda yüksek yapıların neredeyse tamamı çelik strüktürden oluşurken, 1980'li yıllardan sonra beton ve kompozit strüktür kullanımı artış göstermiş, çelik kullanımı giderek azalmıştır. Bu noktada betonarme malzemesinin de gelişmiş olması yadsınamaz. 2016 yıllarında ise kompozit strüktürler daha fazla rağbet görmektedir.



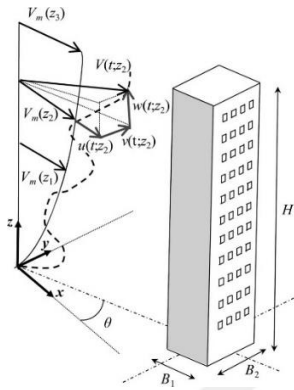
Şekil 3.4. Yüksek yapıların 1930-2016 yılları taşıyıcı strüktür kullanım tablosu [87]

3.4. Yüksek Yapıların Rüzgar Bağlamında Tasarım Kriterleri

Rüzgar, hareket halindeki hava için kullanılan bir terimdir. Hava hareketleri üç boyutlu olup yatay ve düşey bileşenleri bulunmaktadır (Şekil 3.5). Yüksek yapılarda rüzgar gücü binanın mimari ve statikini zorlamaktadır. Rüzgar gücü, bina yüksekliği ile doğru orantılı şekilde artmaktadır (Şekil 3.6). Rüzgar hızı ve yapıya olan basınç yüksekliklere çıkıldıkça artmaktadır. Rüzgar bağlamındaki tasarımda iki durum dikkate alınmalıdır. İlki, inşa edilecek yapının yükseklik noktalarındaki rüzgar gücü, diğeri ise yapı kabuğunun etkiyen kuvvete olan direncidir [49].



Şekil 3.5. Rüzgar hareketlerinin yüksek yapı çevresinde oluşturduğu hareketler [94]



Şekil 3.6. Yapı üzerindeki rüzgar yönünün şematik gösterimi [95]

Bir yapı, rüzgar bağlamında çevresinden bağımsız halde düşünülemez. İnşa edilecek bölgedeki yerel rüzgar etkileri yanısıra arazi şartları ve çevresindeki yapılarda göz önünde bulundurulmalıdır. Rüzgarın, yapı üzerinde oluşturacağı aerodinamik etkiyi belirlemek için rüzgar tüneli testleri kullanılmaktadır [96].

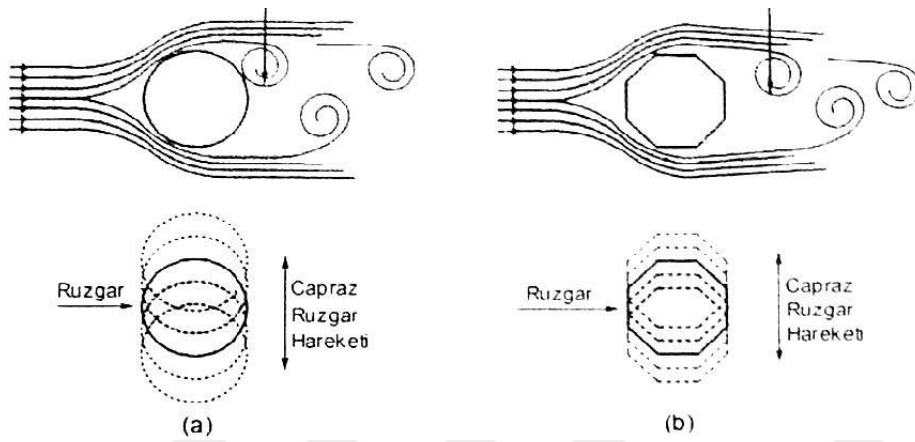
Sert rüzgarlar, yüksek yapılar üzerinde bazı hasarlara yol açabilmektedir. İlk yüksek yapıların taşıyıcı sistemi taş gibi ağır malzemeden inşa edildiğinden daha ağır olup, rüzgar yüklerine karşı daha dirençlidir. Yapının düşey yükleri, rüzgarın çapraz yüklerinden daha ağır olduğundan, üst noktalarda salınım söz konusu değildir. 1950 yıllarında gelişen çelik sistemle birlikte yükseklik limiti artırıldığı gibi dezavantaj olarak çelik sistemin hafifliğinden kaynaklanan yeni problemler ortaya çıkmıştır [49]. Günümüzdeki bazı yüksek yapılarda yüksek dirençli malzemeler ve hafif duvar elemanları kullanıldığından düşey yükler, rüzgar yüküne karşı koymakta zorlanmaktadır. Bu zorlanma doğrultusunda yüksek katlarda salınım görülmektedir. Salınımların sebebi yapının şekli, rijitliği ve ağırlığı ile doğrudan bağlantılıdır.

Yüksek yapı tasarımcıları için rüzgar hareketleri sorun haline gelebilmektedir. Rüzgar gücü zemine yakın katlarda hissedilmezken yüksek katlardaki objelerde titreme, sallantı ve hareket söz konusudur [43]. Yapının yüksek katlarındaki engellenemeyen rüzgar gücünden kaynaklı salınımları kabul edilebilir eşik değerleri arasında tutulması gerekmektedir [41]. Aksi taktirde aşağıdaki sorunlarla karşılaşma olasılığı yüksektir;

- Strüktürel taşıyıcı sistemlerin ağırlığı ve sağlamlığı
- Rüzgarın değişken gücüne karşı yapı bileşenlerinin üzerindeki yorulma, gevşeme ve deformasyon problemi
- Yapıdaki hareket sonucu, cephelerdeki çatlak, mekanik sistemlerde işlevsizlik vb. deformasyon oluşum problemleri
- Sert rüzgar sonucu oluşan anlık hareketlerin sıklığı ve şiddetinin kullanıcılar üzerindeki olumsuz etkileri
- Yüksek yapıdan çarpan rüzgarların çevre binalar üzerindeki etkileri
- Yayıların üzerinde oluşturduğu etkiler
- Akustik sorunlarının oluşması

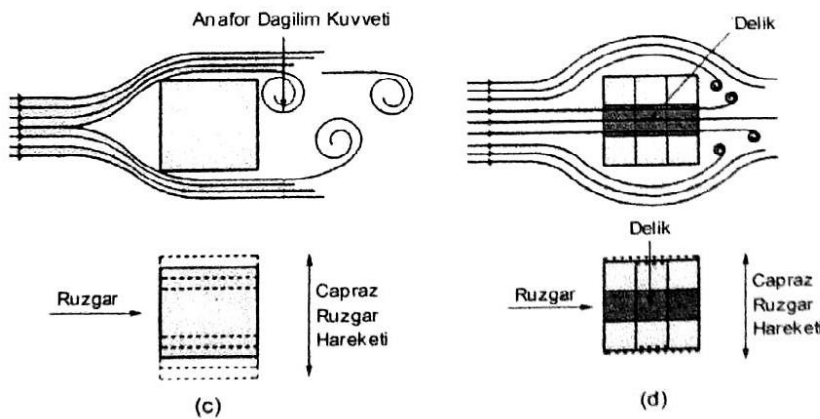
Yüksek yapı tasarımında başlıca oluşan sorunlar yukarıda açıklanmıştır. Doğada hakim rüzgara karşı herhangi bir uygulama yapılamayacağından dolayı yüksek bina inşası öncesinde alınan kararlarla oluşabilecek sorunlar kabul edilebilir değerler içerisinde tutulabilir. Yüksek yapı tasarımında, önlemleri üç ana başlık altında toplayacak olursak; tasarım, rijitlik ve dengedir. Tasarım aşamasında, özellikle taşıyıcı sistem elemanlarında bu üç başlığı dikkate alarak, olası salınım düzeylerini alt limitlere çekebiliriz. Yükseklik arttıkça, rijitlik ve rüzgara bağlı formsal denge tasarımı da daha önemli hale gelmektedir. Dayanıklılık için, yapı elemanlarının sayısını artırmak bir çözüm yolu olmadığı gibi, ekonomik bir seçimde değildir. Bunun yerine yapının düşey yükü artırılmalı, yani daha ağır, sağlam ve rijit çözüm önerileri getirilmelidir. Rüzgar, her ne kadar iki boyutlu olarak bilinse de, bir kütleye güç uyguladığında üç dik yönde moment etkisi uygulamaktadır. Paralel rüzgar, kütle üzerinde yaptığı gibi yüksek yapılarda sürüklenme etkisi yapmakta ve yapının taşıyıcı sistemine karşı direnç göstermektedir. Çapraz rüzgar ise paralel rüzgara dik şekilde oluşan rüzgarlardır. Yüksek yapılarda salınım, sarsıntı ve hareket gibi olumsuz etkilerin sebebi çapraz rüzgarlardır [43].

Çapraz rüzgar etkisinin azaltılmasının başlıca yolu plan formunda değişiklik yapılmasıdır. Farklı plan tiplerinin rüzgara karşı direnci farklı olacaktır. Seçilen plan tipine yönelik taşıyıcı sistem yapısına karar verilecektir. İnşa edilecek yapının aerodinamik rüzgar etkilerine cevap verebilir nitelikte olması gerekmektedir. Şekil 3.7’de görüldüğü üzere yapılan araştırmalar, köşeli plan formlarının dairesel plan formlarına nazaran daha verimli olduğunu göstermektedir. Plan formunun tasarımındaki amaç, farklı yönlerden gelen rüzgarları şaşırtmaktır. Dairesel plan formuna etkiyen rüzgar hangi yönden gelirse gelsin dik oluşacağı belirtilmiştir [96].



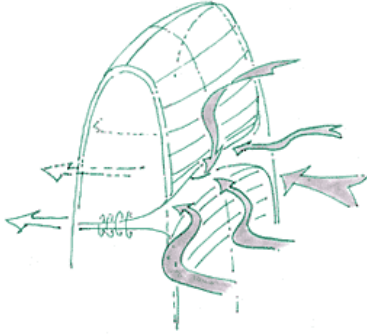
Şekil 3.7. Rüzgar hareketlerinin farklı plan formlarına etkiyen rüzgar hareketleri [96]

Bir diğer deyişle, rüzgarın etki edeceği yüzey genişliği ne kadar çoksa, yapının rüzgarla teması o kadar artacaktır. Artan temas sonucu, rüzgardan etkilenmesi de bir o kadar artış gösterecektir. Rüzgar akışını rahatlatmak ve yapı yüzeyi ile temasını kesmek adına bina üzerinde farklı aralıklarla boşluklar açılabilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Rüzgar hareketlerinin plan formlarında açılan boşlukla rahatlatılması [96]

Yapı üzerine açılan boşluklardan akan rüzgar, çarpaz rüzgar yüküne ters olduğundan yapıda oluşacak aerodinamik etkiyi dengelemektedir. Bu konuda Şekil 3.9’da görülen Pearl River Tower doğru bir tasarım örneği olarak literatüre girmiştir. Çarpaz rüzgar yüklerinin cephede boşluklar açılarak azaltılmasıyla, yapının üst katlarındaki salınımı da azaltılmıştır [96]. Rüzgar yükü için açılan boşluklar, yapı fonksiyonlarına işlevsel kısıtlama getireceği düşünülmemelidir. Yapının rüzgara karşı dayanımı ve verimin artırılmasına yönelik çalışmalar her zaman ön planda tutulmalıdır.



Şekil 3.9. Pearl River Tower üzerine etkiyen rüzgar hareketleri [97]

Rüzgar yüküne karşı birçok yapı, gökyüzüne doğru yükseldikçe incelen formlardan oluşmaktadır. Bu ifade günümüzde yeni gibi algılansa da 1956 yılındaki New York imar yönetmeliği kanunları arasında yer almaktadır. Bu sayede yüksek katlarda oluşan rüzgar teması da azaltılmıştır (Resim 3.34).



Resim 3.34. Konsept Proje [98]

3.5. Yüksek Yapılarda Performansa Dayalı Tasarım ve Yenilenebilir Enerji Kullanım Olasılıkları

Yüksek yapılarda performansa dayalı tasarım ve yenilenebilir enerji kullanım olasılıklarını iki bölümde inceleme altına almaktayız. Birincisi mimari formun ve strüktürünün belirlenmesinde tasarıma yön veren araç olarak rüzgar, ikincisi yenilenebilir enerji kullanımı amacıyla kullanılan rüzgar türbinlerinin bütünleşik tasarımına etki eden rüzgar.

3.5.1. Yüksek yapılarda performansa dayalı tasarım

Her iki faktörde de yer ve konuma bağlı olarak tasarım süreçlerini etkileyen/yönlendiren rüzgar odaklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımları ve etki alanlarını mimari form ve strüktür belirlemede tasarıma yön veren araç olarak rüzgar başlığında listeleyecek olursak

Konum planlı yerleşimi ile rüzgar hareketlerine yön vermek

Yapıların rüzgara bağlı tasarım noktasında hakim rüzgar yönü baz alınarak konum planı yerleşimi yapılabilir. Bu noktada rüzgar hareketlerine de yön verilebilir. Yapı ile her zaman etkileşim içerisinde olan rüzgarın oluşturacağı basınçta, yine inşa edilecek yüksek yapılar sayesinde değişebilmektedir.

Rüzgarın oluşturduğu farklı basınçlar sayesinde akımlara yön verilebilir. Rüzgar akımına, inşa edilen yüksek yapılarla yön verilebildiği gibi istenen rüzgar akımını yapıya çekebilir, istenmeyen akımlar ise şaşırtılıp, ayrıştırılıp yapının dışına atılabilmektedir. Aerodinamik formlu yapılar rüzgar akımını desteklemektedir. Bu noktada doğrusal yerine, kıvrımlı yada bükey formlar kullanılmaktadır.

Planda bina formlarının belirlenmesi

Yapılar genelde tekil kütleden oluşurken iki kütle birleşimli halde de olabilmektedir. Hakim rüzgar yönüne göre konumlandırılmış iki kütleden meydana gelen yapılarda türbinler yapılar arası bağlantı görevi görmektedir. Tasarımlarındaki asıl amaç, tamamıyla rüzgarı iki yapı arasından geçirmekle birlikte, geniş yüzeye etkiyen masif tek kütleyi iki parçaya ayırarak, etkiyen rüzgar basıncını yüzeylerin daralması ile an aza indirmektedir.

Yapı formları rüzgar basıncını azaltmaya yada artırmaya yönelik tasarlanabilmektedir. Yüksek katlardaki rüzgar basıncı azaltılmaya çalışılırken rüzgardan enerji elde edilecek bölgede rüzgar basıncı artırılmaktadır. Bir takım formlar düzenlemelerle rüzgar taşınarak toplanarak enerji elde edilecek bölgeye servis edilebilmektedir.

Rüzgara bağlı mimari tasarımlar, hareketli yapı elemanlarından oluşabilmektedir. Bu bağlamda, yapı hareketleri değişken rüzgar yönüne bağlı olarak gerçekleşebilmektedir. Bu sayede rüzgara karşı direnç göstermek yerine, rüzgar yönü ile uyumlu tasarımlar günümüzde mevcuttur.

Yapılara etkiyen rüzgar yükü, aerodinamik kabuklarla minimize edilirken, cephe üzerinde boşluk açılarak, yüzeye etkiyen rüzgar basıncı indirgenebilmektedir. Tasarım bağlamında açılan boşluk yapıları, rüzgar çekimi açısından aerodinamik kıvrımlı haldedir. Bu noktada rüzgar yüklerini dengelemek için ağır malzeme kullanma gereksinimi

bulunmaktadır. Rüzgar yükleri hafifletilerek, ağır malzeme kullanımı azaltıldığı gibi maliyet oranı da azaltılabilmektedir.

Düşey doğrultuda/kesitte biçimlenmenin farklı kombinasyonları

Yükseldikçe incelen formlar

Yapıda salınım asıl sebep olan çapraz rüzgar yükleri artan yükseklikle birlikte ivmeli şekilde artmaktadır. Rüzgar yüklerinin etkiyen kabuk temasını azaltmak amaçlı incelen formlar kullanılmaktadır. Bu formda inşa edilen yapılara etkiyen yatay rüzgar yükleri dengelendiği gibi düşeyde de bu yükler dengelenmektedir.

Bir eksen etrafında spiral dönen formlar

Yapı kabuğunun aerodinamik formlu oluşuyla etkiyen rüzgar basıncı şaşırtılmaya çalışılmaktadır. Bu sayede zeminden gelen girdap etkisi azaltılmış, salınım bertaraf edilmiş olacaktır.

Değişken kesitli formlar

Salınım etkisini en aza indiren faktörlerden en önemlisi diyebiliriz. Belirli katların farklı planlamaları ile girdap oluşumu azaltıldığı gibi genelde artan yükseklikle birlikte kat planları azaltılmış bu sayede etkiyen rüzgar basıncıda azaltılmıştır. Rüzgarın istenmeyen etkilerine karşı alınmış, iki yönlü tedbirler ile aerodinamik yönden etkin şekilde çalışmaktadır.

Eğrisel formlar

Eğrisel formlarda genellikle rüzgara karşı direnç gösteren değil daha çok rüzgar yönü ile uyum sağlayabilecek morfolojik tasarımlar söz konusudur. Bu sayede rüzgara karşı direnç oluşturmayacak tasarımlarla yapı ve strüktür yükleri de hafifletilmektedir.

Strüktür seçiminde rüzgar etkileri

Yüksek yapılarda çift kabuk tasarımı oldukça önemlidir. Bir çok yüksek yapının kabuk strüktürü ile, iç-dış hava izolasyonu, aşırı güneş ışıınımları ve istenmeyen rüzgar yükü hafifletilmektedir.

Aerodinamik tasarım yaklaşımları

Yapıdan elde edilecek enerjinin artırılmasına yönelik morfolojik tasarımlar bulunmaktadır. Tasarımlar, rüzgarı davet edici kıvrımlı yada rüzgarı iten halde olabilmektedir. Keskin hatlı tasarımlar rüzgarın şiddetini ve yönünü değiştirmesine olanak sağlarken kıvrımlı hatlar davet edici ve rüzgar akımıyla uyum halindedir.

3.5.2. Yenilenebilir enerji kullanım olasılıkları

Rüzgar türbinleri, yapı tasarımı başlangıcından itibaren yapıyla birlikte çalışacağı düşünülerek dizayn edilmektedir. Türbin entegreli bina tasarımı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Türbin çeşitleri ve kullanım biçimleri

Yapı ile entegre edilmiş türbinler genellikle yatay akslıdır. Henüz uygulama aşamasına geçmemiş olsa da onaylı konseptli projelerde dikey akslı türbin kullanımları da mevcuttur. Türbinlerin geneli yatay ve dikey akslı olmakla birlikte, proje bazlı özel olarak türbin üretimleri de bulunmaktadır.

Yatay akslı rüzgar türbinleri için hakim rüzgar yönü oldukça önemlidir. Aksi taktirde etkin enerji üretilmemektedir. Dikey rüzgar türbini kullanımındaki amaç, yön değiştirebilen ve farklı yönlerden esen rüzgardan faydalanmaktır.

Yüksek yapılarda rüzgar türbini kullanımı binayı ayrıcalıklı kılmakta ve ikonlaştırabilmektedir. Bu bağlamda, kat planları boyunca uzanan büyük türbinler tercih edilmektedir. Rüzgar türbini kullanılan bazı yapılarda ise türbinler adeta gizlenmişçesine katlar arasında yada çatıya yakın noktalarda dışardan algılanmayacak şekilde entegre edilebilmektedir.

Yapıdaki türbin entegrasyon bölgeleri

Genellikle yapının tepe noktasına yakın bölgelerde konumlandırılmakla birlikte tepe noktasına yakın ya da zeminden başlayan türbin kullanımları da mevcuttur. Türbinler, yüksek yapıları adeta kule olarak işlevlendirmektedir. İki kule arasına konumlandırılmış türbinlerle bağlantı kurulmaktadır. İki kule arasına kurulmuş türbinler, genellikle büyük ölçeklidir.

Bazı türbinler cephe yarıkları içinde yer alabilmektedir. Cephe boşluklarında yer alan türbinler verim açısından oldukça etkilidir. Geniş cephe yüzeyinde açılan yarıklardan geçen rüzgar akımı, yüksek basınç farkından dolayı normalden daha hızlıdır. Hızlandırılmış rüzgar akımı ile türbinlerden elde edilen enerji miktarı da artırılmaktadır.

Yüksek yapılarda performansa dayalı tasarım ve yenilenebilir enerji kullanım olasılıkları örnekler üzerinden incelenecektir.

Bahrain World Trade Center

Yapıda ilk defa rüzgar türbini entegreli örnek Bahrain World Trade Center'dır. Bu yapı, 2008 yılında inşa edilmiş, Bahreyn ana iş merkezi üstünde yer almaktadır. Manama bölgesinde yer alan yapı Atkins mimarlık tarafından ofis ve iş merkezi olarak tasarlanmıştır [99] (Resim 3.35, 3.36).

Yelken şeklindeki iki adet kuleden oluşan iş merkezi 240 m yüksekliğindedir. Kuleler arasında 3 adet 29 m çapında yatay eksenli rüzgar türbini bulunmaktadır. Yapının büyük bir kısmı ofislerden oluşsa da bünyesinde alışveriş merkezi, restoran ve araç parkı bölümleri yer almaktadır [50].

Plan formu eliptik olarak tasarlanmıştır. Eliptik form "V" oluşturacak şekilde hakim rüzgar yönüne doğru konumlandırılmıştır. Bu sayede körfezden gelen esintiyi yapının önünde pozitif, arkasında negatif basınç oluşturacak biçimde rüzgarı iki kule arasına çekmesi amaçlanmıştır. Kule formu aynı zamanda düşey yönde de hava akımını artırmaya yönelik tasarlanmış, yükseldikçe incelmektedir.



Resim 3.35. Bahrain world trade center [100]

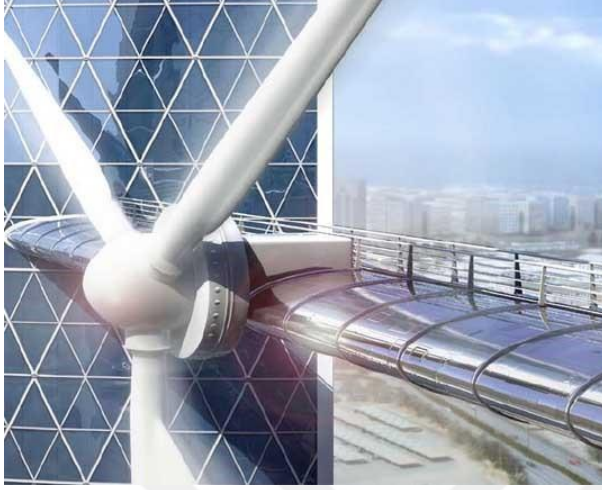
Yükseklikle birlikte artan rüzgar hızı, türbinden elde edilen enerji miktarını da etkilemektedir. Üst noktada yer alan türbin yılda 400-470 MWh enerji üretirken, ortadaki türbin 360-430 MWh, alt türbin ise 340-400 MWh enerji üretmektedir [41]. Diğer bir deyişle, Ortadaki türbinin %100 verimle çalıştığı referans alınır, üstteki türbin %109, alt türbin ise %93' le üretim yapmaktadır. Türbinlerden elde edilen enerji yılda 1100 ila 1300 MWh arasında değişiklik göstermektedir. Kazanılan enerji yıllık yapı enerji tüketiminin %11-15' ini karşılamaktadır [50].



Resim 3.36. Bahrain WTC rüzgar türbinlerinden görünüm [101]

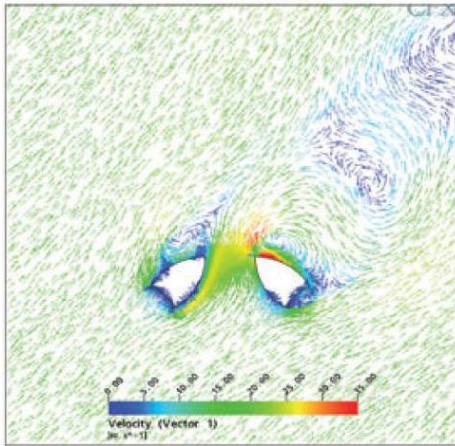
Türbin ve kanat yükleri ilk olarak motor kutusuna, ardından iki yapı arasındaki köprü bağlantısına aktarılmaktadır (Resim 3.37). Dolayısıyla köprüde olan basınçta yapıya etki etmektedir. Türbinler, hız kontrolü sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Kanatlara etkiyen sert

ve hızlı rüzgar yükleri ulaştığında, rotor pervaneleri aksında hız sabitleyicilerden kaynaklı türbülanslar oluşmakta ve türbin ömrü muhafaza edilmektedir [99].

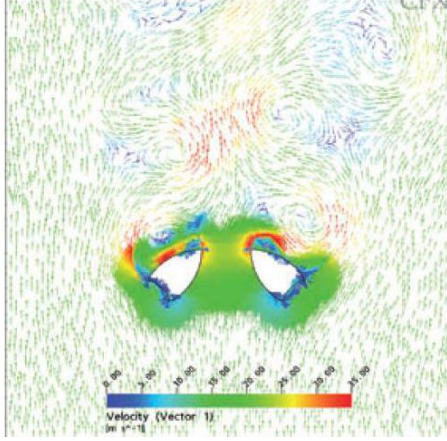


Resim 3.37. Bahrain WTC rüzgar türbini ve köprü bağlantısı [102]

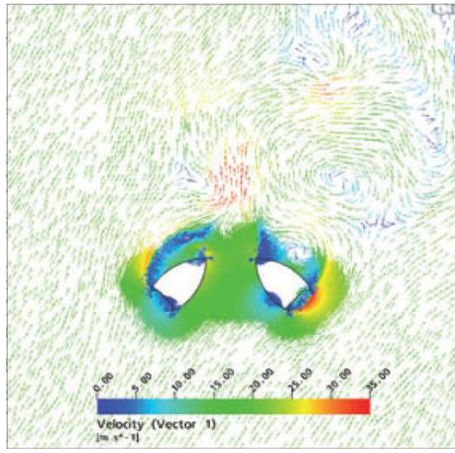
Kulelerin konumlandırma açısı hakkında belirli rüzgar testleri yapılmış ve rüzgar yön ve hız diyagramları çıkarılmıştır (Şekil 3.10, 3.11, 3.12, 3.13) Mühendislik hesaplamaları doğrultusunda hakim rüzgar yönü referans alınarak yapılan konumlandırma açısının 270 ila 360 derece arasında olması gerektiğine hem fikir olunmuştur. Türbülans verim oranı ve diğer riskler göz önüne alındığında 285 ila 345 derece arasında daha dar aralıkta olması gerektiğine simülasyon programları verileri doğrultusunda karar verilmiştir. Hakim rüzgar, 15 derecelik açı ve S biçimli yönü ile yapı türbinlerine ulaşmaktadır. Yapı simülasyonu analizleri bu durumu onaylamaktadır (Şekil 3.13) Bu düzenlemeler sonucunda rüzgardan yararlanma performansı %30 oranında artırılmıştır [99].



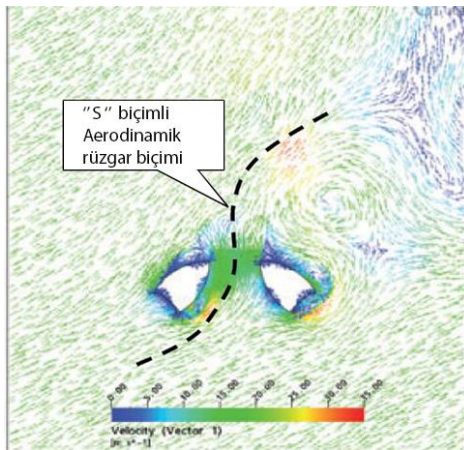
Şekil 3.10. Rüzgar yönü 360 derece [99]



Şekil 3.11. Rüzgar yönü 315 derece [99]



Şekil 3.12. Rüzgar yönü 345 derece [99]



Şekil 3.13. Rüzgar yönü 15 derece [99]

Pearl River Tower

Pearl River Kulesi, 2011 yılında Çin'in Guangzhou bölgesinde inşa edilmiştir. Bu bölge, yeryüzündeki hava kirliliğinin en yoğun olduğu yerlerden biridir. Çin' de büyüyen ekonomi ile birlikte, hızlı bir şekilde karbon salınımı da artış göstermiştir. Bu kirlenmede en büyük rolü, yüksek katlı yapılar üstlenmektedir [103].

SOM Mimarlık tarafından tasarlanan 76 katlı (5 katı zemin altında) kule, ticaret merkezi ve ofislerden oluşmaktadır (Resim 3.38, 3.39). 309.4 m uzunluğunda olan bu yapı, mümkün olan en sürdürülebilir tasarım olarak şimdiye kadar inşa edilmiş en yüksek yapı unvanını taşımaktadır [104]. Pearl River Tower, LEED Platinum sertifikasını alan US Green Building Council tarafından ödül almış ilk süper yüksek katlı yapıdır.

Heykelsimsi formda tasarlanan yapının 120. ve 210. m yüksekliğinde ikişer tane toplam 4 adet rüzgar türbini bulunmaktadır. Yapı kompozit şekilde beton ve çelik sistemlerden oluşmaktadır. 23-27 ve 49-53. katlar düşey yönde rüzgar türbinlerine ayrılmıştır [105].



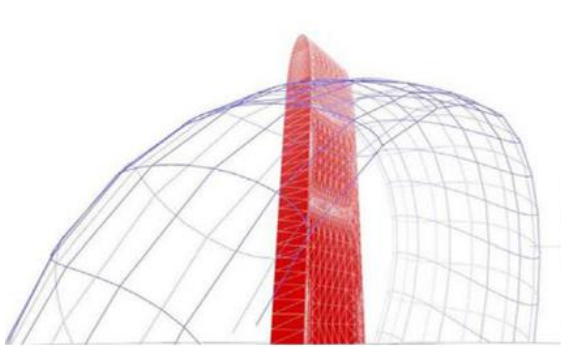
Resim 3.38. Pearl River Tower güney cephesi [104]



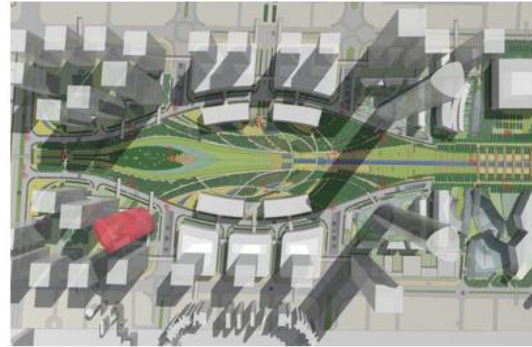
Resim 3.39. Pearl River Tower doğu cephesi [104]

Başlangıç için tasarım konseptinin, süper yüksek bina için yıllık net-0 enerji tüketimi olacağı belirtilmiştir. Diğer bir deyişle şebeke enerjisi kullanmadan yapının işlevini sürdürmesi hedeflenmiştir. Uygulama aşamasındaki hesaplamalarda yer almayan farklı enerji tüketimleri ortaya çıkmış, bazı değişiklikler yaşanmış ve 0 enerji tüketimi sağlayamamış olsa da yakında bu seviyeye ulaşacağının hiç te uzak görülmediği belirtilmiştir [105].

Pearl River Tower'ın dikdörtgen planı ile, Guangzhou' nun ortogonal olan bölgesel planı göz önünde bulundurularak, mevcut rüzgar enerjisinden olabildiğince maksimum düzeyde yararlanmaya çalışılmıştır (Şekil 3.14). Rüzgar enerjisinden faydalanılırken, yapıya sürdürülebilir anlamda ödül getirmesinde etkili olan fotovoltaik panellerin güneşten alınacak verimi doğrultusundaki kullanımı da düşünülmüştür (Şekil 3.15). Dolayısıyla yapı konumlanması aşamasında rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklarının yön ve hareket doğrulukları tasarım aşamasına yön vermiştir [106].

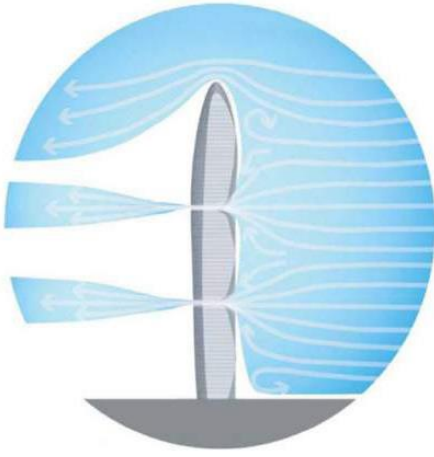


Şekil 3.14. Guangzhou bölgesi kuş bakışı [106]



Şekil 3.15. Güneş ışınlama rotası [106]

Dikkat çeken rüzgar türbini sistemleri yapı ve strüktür tasarımında etkili olmuştur. Pearl River Tower' a karşı direnç gösteren rüzgar gücü yükleri, yapının kabuk ve aerodinamik tasarımından kaynaklı minimize edilmiştir. Cephe üzerinde boşluklar açılmasıyla, tüm yüzeye etki eden rüzgar basıncı azaltılmıştır. Açılan kanal sayesinde, cepheye etki eden rüzgar, basınç farkından yararlanarak hızla akış yapmaktadır. Bu sayede rüzgar yükü hafifletilerek, ağır strüktür kullanmaya gerek duyulmadan, maliyet yükleri de hafifletilmiştir (Şekil 3.16, 3.17).

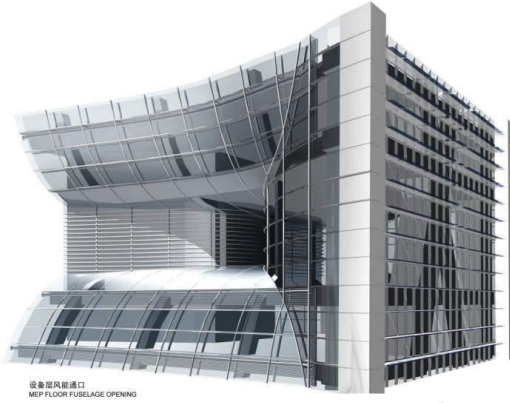


Şekil 3.16. Pearl River rüzgar akış şeması [104]



Şekil 3.17. Pearl River rüzgar akışının üç boyut şeması [104]

Şekil 3.18' de görüldüğü üzere yapı tasarımı morfolojik özelliğiyle aerodinamik tasarımı sayesinde rüzgar kanalında bulunan türbin performansı artırılmıştır. Kulenin kıvrımlı formu, kanaldan rüzgar akımının geçmesine olanak sağlamış, cephedeki rüzgar yönü ve oluşan basınç farkından yararlanarak türbin performansı da artırılmıştır [107].



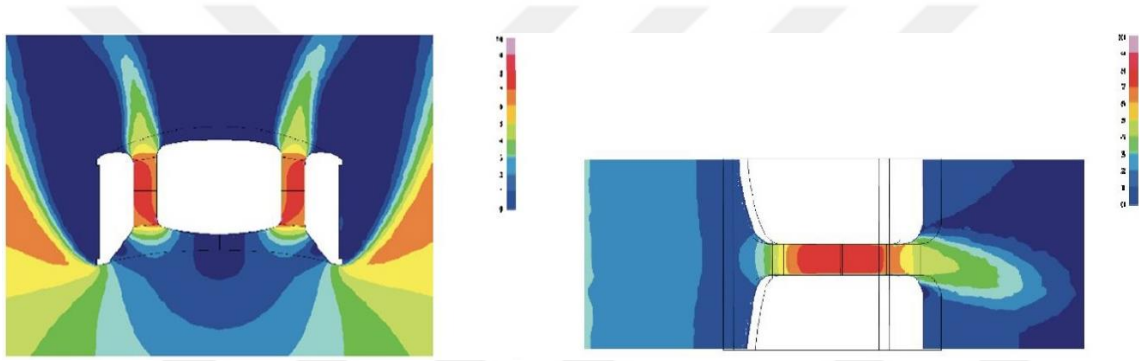
Şekil 3.18. Morfolojik rüzgar kanalı çevresi [104]



Şekil 3.19. Düşey rüzgar türbini [104]

Heykelimsi form ve entegre strüktür ile tasarlanmıştır. Entegre düşey rüzgar türbinleri ile yapının sürdürülebilirlik performansı artırılmış ve elektrik tüketim gücü hafifletilmiştir. (Şekil 3.19). Darrieus tipi rüzgar türbini kullanılmasındaki amaç, yılın bazı mevsimlerinde yön değiştirebilen ve hakim rüzgar yönü dışındaki diğer yönlerden esen rüzgarlardan her koşulda faydalanmak olmuştur. Komut sistemine göre çalışan türbinler, Guangzhou bölgesindeki hava ve rüzgar durumu verilerini NASA'dan alarak, bilgisayar ortamına aktarmaktadır. Dataların bilgisayar ortamına aktarılmasından sonra veriler analiz edilerek

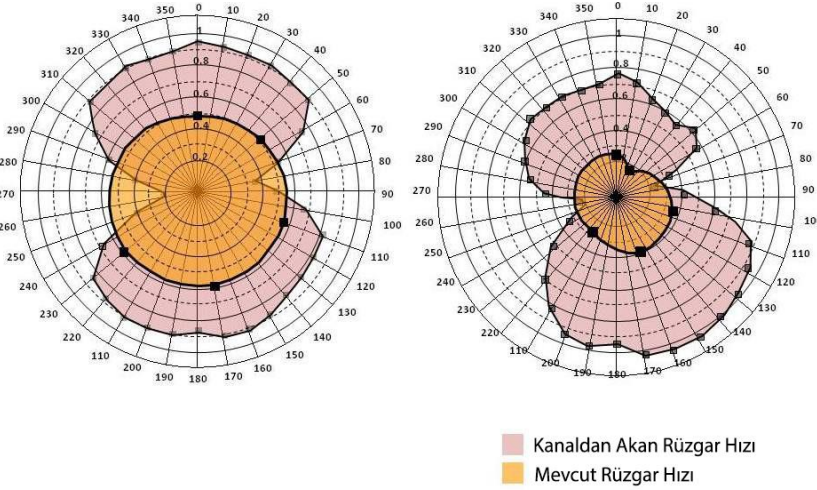
tekrar bilgisayar tarafından karar verilip, komuta edilmektedir. Türbinler bilgisayar komutları ile çalışır vaziyete geçebilmektedir. Ilımlı rüzgarlarda, yüksek bölümde yer alan türbinler harekete geçmekte ve yükseklikten faydalanmaktadır. Türbinler iki taraflı özgürce çalışabilmektedir [106]. Türbinler, yapı arkasında ve önünde oluşan güçlü atmosfer basıncına göre uyum sağlayabilmekte ve birbirine zıt rüzgar basıncındaki değişikliklerden yararlanarak enerji üretebilmektedir. Şekil 3.20’ de görüldüğü üzere cephede açılan kanaldan zıt atmosfer basıncının hızlanarak geçişi analizlerle elde edilmiştir. Som tasarımı ekibi, rüzgar tüneli testlerini referans alarak tasarım aşamalarında optimum performansı yakalamaya çalışmıştır. Rüzgar hızının düzensiz ve ani düşüşlerinde türbinden elde edilen güç en yüksek seviyelere ulaşmaktadır [106].



Şekil 3.20. Cephe çevresinde ve düşey kesitte oluşan rüzgar hızı analizi [106]

Yapının türbin performansını ölçümlemek adına yapıda açılmış kanallar ile modelleme gerçekleştirilmiştir [108]. Küçük ölçekli rüzgar tüneli testleri analizleri yapılmıştır [107].

Analizler, cephe içerisinde açılan türbin kanalının üretilen enerji kapasitesini sınırlandırdığı sonucunu ortaya koymuştur. Bu görüş çok uzun sürmeden, son olarak daha büyük ölçekte rüzgar tüneli testleri yapılmış ve etkin enerji değeri %90 olarak kaydedilmiştir. Yüksek yapı tasarımı ve türbin konumlanması açısından bir diğer önemli test ise şöyle gelişmiştir. Yapının yer almadığı türbin konumundan elde edilen enerji miktarı verimi %34 olarak karşımıza çıkmaktadır [106]. Şekil 3.21’ de görüldüğü üzere 120. ve 210. m’ de bulunan kanallardan akış yapan rüzgar hızı mevcut yapı yok sayılarak ölçülen rüzgara göre 2,5 kat fazla hızlandırıldığı rahatlıkla söylenebilir [104]. Rüzgar türbin testleri yapı yok sayılarak 8 kezden fazla yapılmasına rağmen bu durumu doğrulamaktadır [107]. Pearl River Kulesi, yapı tasarımına yön veren ve aynı zamanda yenilenebilir enerji olan rüzgardan faydalanma açısındaki bağlantıyı çok iyi açıklayan bir örnektir.



Şekil 3.21. 210. ve 120. m’ de bulunan kanaldan geçen ve mevcut rüzgar hızı analizleri [104]

Termal performansı geliştirilmiş ve solar panellerle donatılmıştır. Solar panel kullanılmayan diğer cephelerde, en iyi yüksek performans sağlayan gri low-e çift camlar kullanılmıştır. Gün ışığına duyarlı optimize aydınlatma ve havalandırma sistemleri kullanılarak enerji tüketimi sınırlandırılmıştır [107].

Her katta bulunan kullanılmış hava, temiz hava ile karıştırılarak yeniden katlara servis edilmektedir. Bu sistemle birlikte havalandırma sistemlerindeki yük azaltılmış ve %40’ lık enerji tasarrufu elde edilmiştir. Tüm bu uygulamalarla birlikte toplamda %60 gibi ciddi bir enerji tasarrufu elde edilmektedir [41].

The Lighthouse Tower (Konsept Proje)

Lighthouse Tower yapısı Dubai’ de Uluslararası finans merkezi olarak inşa edilmesi beklenmektedir. Atkins mimarlık tarafından projenin 2009 yılında, uygulamaya geçirileceği belirtilse de proje adına henüz bir başlangıç gerçekleşmemiştir [50]. Proje uygulamaya geçmeden Holcim ve Cardiff Üniversitesi yenilikçi ödülleriyle layık görülmüştür [99].

İlerleyen zamanla birlikte Dubai Uluslararası Finans Merkezi yeterli gelmemiştir. Şekil 3.22’de görüldüğü üzere Dubai bölgesinde mevcut yapılar yeterli gelmemiş ve yüksek yapılar hızla inşa edilmeye başlanmıştır. Ofis olarak tasarlanan bu yapı toplamda 84000 m² alana sahip 64 katlı ve 402 m yüksekliğinde dizayn edilmiştir. Çelik ve betonarme

strüktürlerle, kompozit şekilde inşa edilen bu yapı, iki ayrı blok olarak incelenerek yükselmektedir [109].



Şekil 3.22. Dubai Uluslararası Finans Merkezinin yeniden inşa ediliş aşamaları [110]

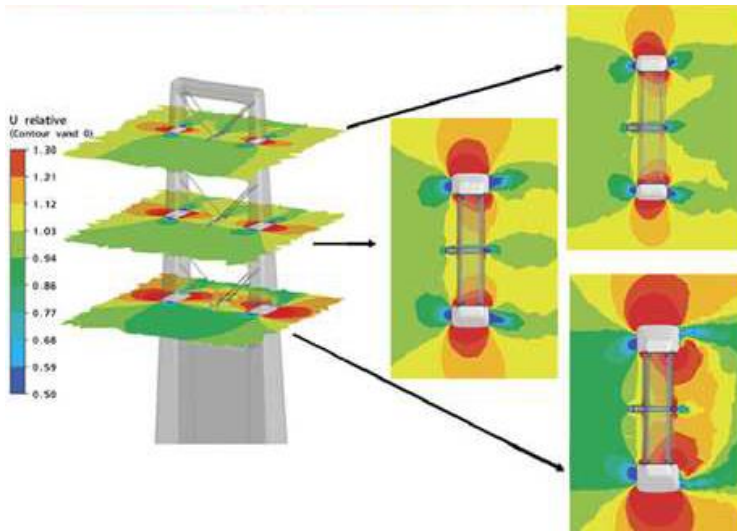
Proje Dubai bölgesine yönelik iklim özelliklerinin sertliği, sıcaklığı ve aydınlığına karşı geliştirilmiştir [111]. Yapı, Gulf körfezi esintisini doğrudan karşılayabilmesi amacıyla rüzgara karşı dik olarak konumlandırılmıştır. Kuzeybatıdan gelen rüzgarlar saatte, ortalama 700 ila 900 megawatt enerji üretebilme potansiyeline sahiptir.

10. katta köprü ile bağlanan kuleler 300 m yüksekliğe kadar devam etmektedir. Resim 3.40’ ta görüldüğü üzere 300 m üzerinden tepe noktasına kadar düşey yönde 3 adet yatay rüzgar türbini konumlandırılmıştır [112]. Piramidal form ile öne çıkan Lighthouse Tower’ın dikdörtgen cephesinin %25’inde rüzgar türbinleri bulunmaktadır [41]. Yüksek ve incelen geometrik formuyla günışığı ve rüzgara dayalı ikonik yapı elde edilmek istenmiştir [111]. Yüksek yapı olarak Lighthouse sürdürülebilirlik üzerine yaptığı nitelikli çalışmalarla LEED Platinum statüsünde olması hedeflenmektedir [111].

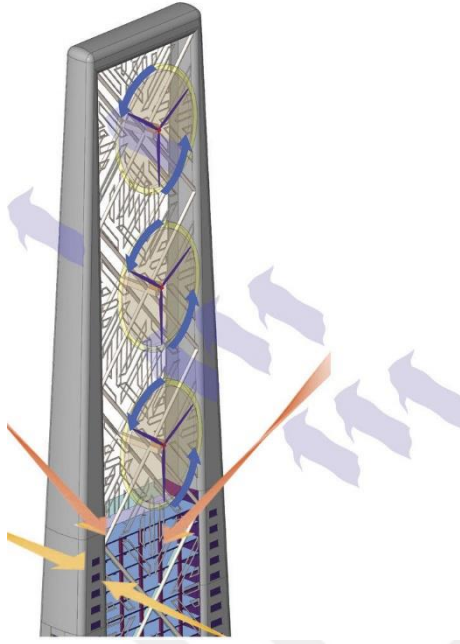


Resim 3.40. The lighthouse perspektif render resmi [113]

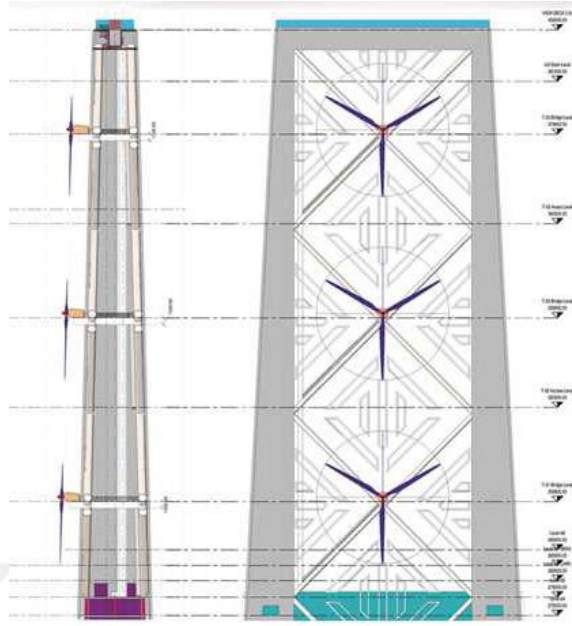
Şekil 3.23'te görüldüğü üzere yapılan rüzgar tüneli testlerinde, türbinlerin çevresindeki hava akımı analizi yapılmıştır. Yapının toplam enerji tüketiminin %10'u yenilenebilir enerji kaynakları üzerinden karşılanmaktadır. Rüzgar enerjisi yapının %6'lık elektrik ihtiyacını karşılayabilmektedir. Geriye kalan %4' lük enerji, cephe kaplamalarında yer alan fotovoltaik panellerden karşılanmaktadır [111].



Şekil 3.23. Yapılan rüzgar tüneli testi analizi [113]



Şekil 3.24. Rüzgar türbinleri perspektif görünümü [110]



Şekil 3.25. Rüzgar türbini kesit ve cephe görünümü [113]

Bu bağlamda tasarıma yön veren rüzgar konusu, yapının ikonlaştırılmasına yönelik çalışmalara göre geri planda kalmıştır. Rüzgarın tasarıma yön vermesi beklenip, türbin performansı artırılmasına yönelik çalışmalar beklenmekteyken, yapılan çalışmalar, daha çok cephedeki yöresel mashrabiya çizgilerinden oluşan DIFC logosunun tekrarı ile oluşan hatlardan meydana gelmektedir (Şekil 3.24, 3.25) [111]. Bölgede inşa edilen yüksek katlı yapılar (gökdelenler) her zaman birbirleri ile yükseklik limiti yarışı içerisinde. Bu noktada ilerleyen zaman içerisinde inşa edilen yapılar Lighthouse Tower tepesine konumlandırılan türbinleri işlevsiz ya da verimsiz hale getirebilme olasılığı aşırıdır. Proje, yenilenebilir enerjiden yararlanma ve mimarlık tasarımının birbirleriyle uyum içerisinde çalıştığına örnek teşkil etmektedir [111].

Kulenin güney cephesinde 4000 adet solar panel bulunmaktadır. Solar paneller ve ısıya duyarlı yüksek performans gösteren cam kaplamalar sayesinde soğutma yükleri hafifletilmiştir [114]. Ayrıca gün ışığına duyarlı kolektör, akıllı aydınlatma sistemleri de enerji tasarrufu elde etmeye yardımcı uygulamalardır. İnşa aşamasında malzemelerin tamamının geri dönüşümlü malzemeden oluşacağı bilgisine yer verilmiştir [115]. Atkins mimarlık tasarım ekibi, yapının sürdürülebilirliği açısından birtakım ön çalışmalarda bulunmuştur. Bölgede bulunan diğer yüksek yapılara oranla karbon salınımı %65 daha az, su harcamasının ise %40 azalması hedeflenmiştir [115].

Castle House London

Castle House yapısı, Londra'nın Elephant & Castle bölgesinde inşa edilmiştir. Hamiltons mimarlık tarafından konut olarak tasarlanan bu yapı 2010 yılında tamamlanmıştır [116]. İnşaat alanı toplamda 25.000 m²'dir. 43 katlı bu yapı, 147 m yüksekliğinde inşa edilmiştir. Yapının tepe noktasına yatay yönde düşey eksenli 3 adet rüzgar türbini sıralanmıştır (Resim 3.41) [50]. Tasarımcılar yapıda tüketilecek olan enerjinin bir kısmını jeotermal kaynaklardan, geri kalan kısmını ise rüzgar türbinlerinden elde etmeyi hedeflemiştir.



Resim 3.41. Castle house ve türbin detayı [117]

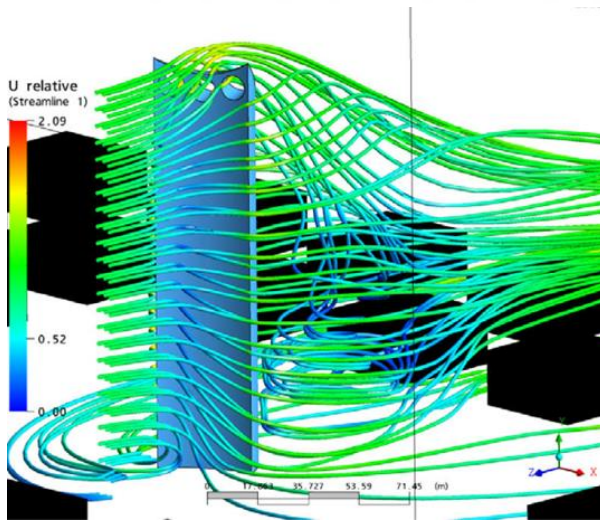
Rüzgar türbinleri, güneyden gelen hakim rüzgar esintisine göre konumlandırılmış, yılın %85' lik zaman diliminde çalışır vaziyettedir. Yapı arkasında oluşan alçak basınç ile önünde oluşan yüksek basınç arasındaki farktan yararlanılarak türbinden elde edilecek enerji miktarı artırılmıştır [41].

Resim 3.42' de görüldüğü üzere tepe noktasına doğru konkav form izleyen yapı adeta rüzgarı taşıyıp, toplayıp ardından türbinlere servis edici özellikte tasarlanmıştır. Yapıda istenmeyen salınımı ve çevresinde oluşabilecek rüzgar yükleri form itibari ile engellenmiştir.



Resim 3.42. Tepe noktasına konumlandırılmış türbinler ve konkav form [118]

Rüzgar yükü, yapının formu sayesinde azalmıştır. Öne doğru sivrileşen hatlarıyla gelen rüzgarı adeta ikiye ayırıp, basıncın azalması sağlanmıştır. Bu form yapının zemin kotundan türbin noktasına kadar dayanmaktadır. Yapının rüzgara karşı performansı artırılmış, türbinlere gelen rüzgar yükü artırılırken, katlara gelen rüzgar yükü de azaltılmıştır. Bu örnek rüzgara bağlı mimari tasarımın en iyi örneklerinden biridir.



Şekil 3.26. Rüzgar akışı diyagramı [119]

Şekil 3.26' da rüzgar akışı diyagramında, rüzgar yönü sabit gelmektedir, fakat yapı çevresinde inşa edilecek yüksek katlı yapılar göz ardı edilmiştir. Yeni inşa edilecek yüksek yapı uygulamaları sonrasında türbinlerden elde edilen enerji kazancı azalabilmektedir.

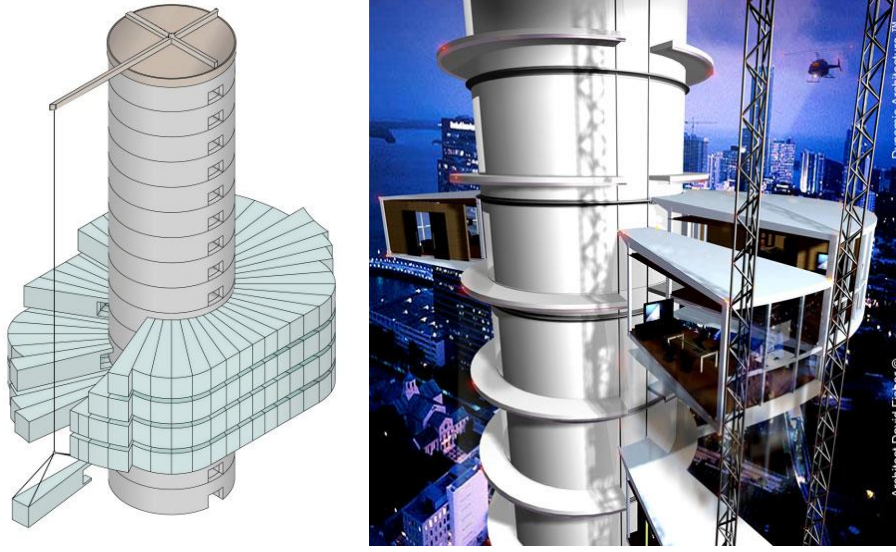
Dynamic Tower-Da Vinci Tower, Dubai (Konsept Proje)

Dubai’de yer alması beklenen bu yapı David Fisher tarafından tasarlanmış, farklı konsepti ile dikkat çekmiştir. 80 katlı ve 420 m yüksekliği ile karma işlevli olup ofis, rezidans ve hotel konsepti ile hizmet vermek amaçlı dizayn edilmiştir. Resim 3.43’ te görüldüğü üzere yapı her daim değişebilen formu ile ayrıcalıklıdır. Düşey yönde bloklar halinde tasarlanmış kat planları, iklimsel değişikliklere ve kullanıcı seçeneğine göre ayarlanabilmektedir [50].



Resim 3.43. Dynamic Tower farklılaşan cephe görünümleri [120]

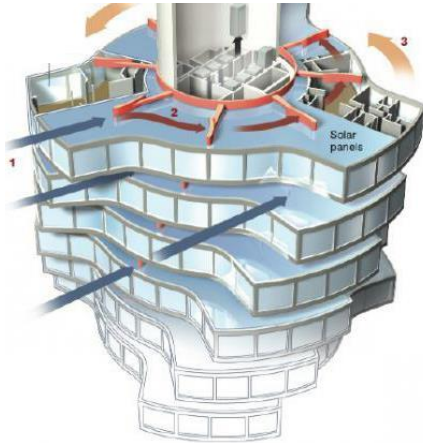
Yapının sıra dışı tasarımıyla birlikte strüktürü de farklı dizayn edilmiştir. Betonarme ve çelikten farklı olarak, prefabrik halde bloklardan oluşmaktadır. Blok bünyesinde tesisat, elektrik ve havalandırma sistemleri sonradan değil üretim aşamasında eklenmiştir [121]. Şekil 3.27’ de görüldüğü üzere uygulama sahasında inşa edilen betonarme çekirdeğe (core) monte edilmesi ile tamamlanacak yapıda, yüksek yapı sisteminde ilk kez prefabrik sistemler kullanılmış olacaktır



Şekil 3.27. Prefabrik blok kat planlarının yerleştirilmesinin şematik gösterimi [122]

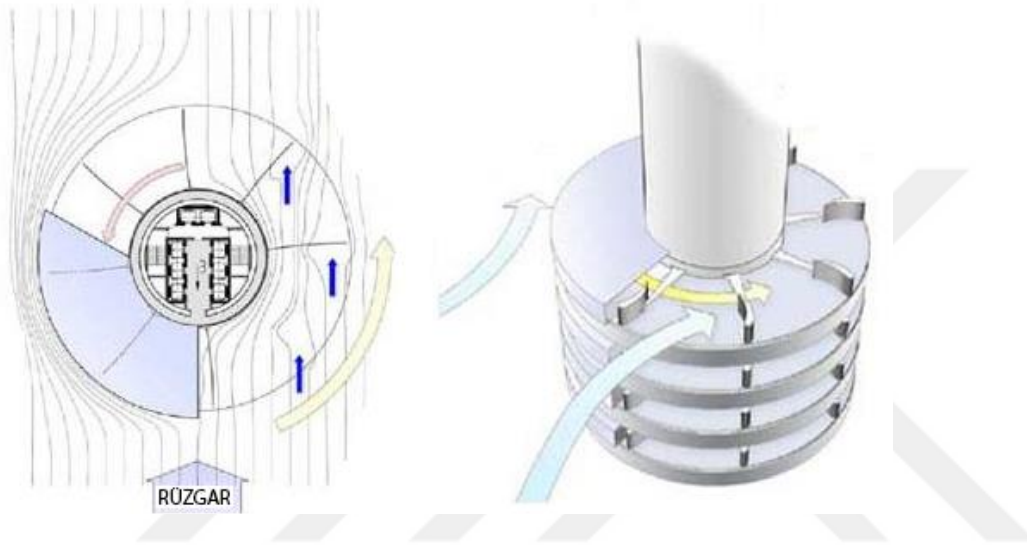
Bu sayede özellikle zaman olmak üzere, iş gücü ve maliyetten tasarruf elde edilecektir. Prefabrik sistemlerin kullanılmasıyla yapım süresi 30 aydan 18 aya, çalışan sayısında 2000'den 90'a düşecektir [123]. Prefabrik sistemin kullanılmasıyla yaklaşık aynı özelliklere sahip diğer yüksek yapılara nazaran sismik dayanımı 1.3 oranında daha fazla olduğu belirtilmiştir [121].

Şekil 3.28' de görüldüğü üzere hareket eden blok katlara fotovoltaiik paneller yerleştirilmiştir. Dönüş yapan blok katların cepheleri dahil, çatısının da %20 kadarı fotovoltaiik panellerle kaplı olup, bu sayede güneş enerjisinden daha etkin şekilde yararlanılmıştır.



Şekil 3.28. Hareket eden blokların çatısındaki fotovoltaiik panellerin şematik gösterimi [124]

Dönüş yapan prefabrik kat blokları arasında 77 adet yatay rüzgar türbini bulunmaktadır. Türbin sistemi kalkanlardan oluşmaktadır (Şekil 3.29). Türbinler, dışarıdan algılanmayacak şekilde tasarlanmıştır. Türbin çarkları temele ihtiyaç duymadan beton çekirdeğe (core) eklenerek çalışmaktadır. Yılın belli dönemlerinde değişen rüzgar yönüyle birlikte türbin kalkanları da yön değiştirebilme özelliğine sahiptir. Bu sayede, yeni inşa edilecek gökdelenler tarafından rüzgar esintisi kesintiye uğramayacaktır [41].



Şekil 3.29. Türbin kalkanlarının hareket şeması [125]

Türbinler yapı kullanım alanlarının alt ve üst noktalarına yakın olduğundan ses problemi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Karbon tellerinden üretilmiş malzemeye özel şekil verilerek tasarlanmıştır. 360 derece dönüş yapan blokların, tek bir modülü 90 dk. da tam dönüş yapabilmektedir (Resim 3.44, 3.45) [126]. Rüzgar türbinleriyle birlikte çatıda kullanılan solar paneller sayesinde hem rüzgar, hem de güneş enerjisinden etkin şekilde yararlanılması hedeflenmiştir.



Resim 3.44. Türbin ve kat planlarının kesit görünüşü [127]



Resim 3.45. Dynamic Tower kat modüllerinin hareketleri [128]

Yıllık 7 milyon dolar kadar enerji üreteceği belirtilmektedir [123]. Her bir türbin yılda 0,3 mW'lık enerji üretmektedir. Günümüzde dikey bir rüzgar türbini 1-1.5 mW enerji üretebilmektedir. Bu noktada tasarım ekibi, dikey rüzgar türbinlerinin yıllık bakım, onarım, ölçek (büyük), kurulum ve görünüm açısından değerlendirmiş ve çark halinde işleyen türbin kullanımına karar vermişlerdir. Dubai bölgesinde yılda yaklaşık olarak 4000 rüzgar saati olduğu referans alınırsa, türbinler yıllık 1.200.000 kWh enerji sağlayabilecektir [123].

Dynamic Tower'ın enerji üretimini daha ayrıntılı inceleyecek olursak, bir ailenin yıllık enerji tüketimi 24.000 kWh olarak hesaplanmaktadır [41]. Her bir türbin yaklaşık 50 ailenin enerji tüketimini karşılamaktadır. Dynamic Tower' da 200 apartman dairesi baz alındığında, yalnız 4 türbin bu ihtiyacı rahatlıkla karşılayabilmektedir. Geriye kalan 44

türbinden sağlanan enerjinin ise yapı çevresinde kullanılan aydınlatma sistemlerine aktarılmasına karar verilmiştir [123].

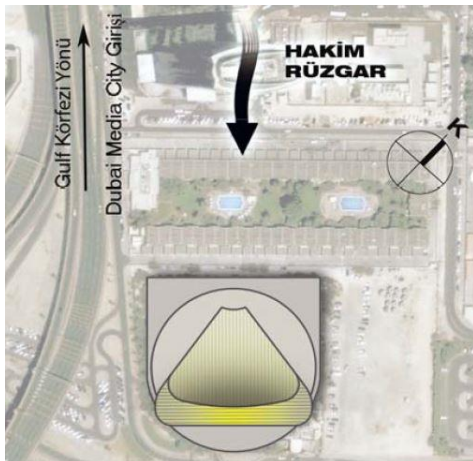
Anara Tower (Konsept Proje)

Atkins mimarlık tarafından tasarlanan Anara Tower Dubai Media City’de yer almaktadır. 125 katlı Anara Tower, ofis, rezidans ve sanat galerisinden oluşmaktadır ve 600 m yüksekliğinde tasarlanmıştır. Dikey formu ve çatısına entegre edilmiş büyük rüzgar türbini ile ikonlaşmıştır (Resim 3.46). Her 27 katta bir gök bahçeleri yer almaktadır [50].



Resim 3.46. Anara Tower [129]

Yapı formu planda, üçgensel formudur (Şekil 3.30). Üçgenin sivri kısımları, hakim rüzgar yönüne dik olarak konumlandırılmıştır. Bu sayede, sert rüzgarlar adeta sivri formu sayesinde gelen rüzgarı ikiye ayırmaktadır [129].



Şekil 3.30. Anara Tower vaziyet planı [41]

Bu bağlamda, kütle formunun yatay limitlerini zorlayan türbin büyüklüğü bugüne kadar denenmemiştir. Rüzgardan elde edilecek türbin performansının artırılmasına yönelik türbin çevresinin morfolojik kıvrımlı tasarımı dikkat çekmektedir (Resim 3.47) [41].



Resim 3.47. Anara Tower türbin çevresi kıvrımlı tasarımı [129]

Cor Florida Tower (Konsept Proje)

Cor Florida Tower yapısının Amerika'nın Florida eyaletine bağlı Miami şehrinde yer alması planlanmaktadır (Resim 3.48), 40 kattan oluşacak yapı karma işlevli olup, bünyesinde ofisler, rezidanslar ve spor salonları gibi ihtiyaçları karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Oppenheim tasarım ekibi tarafından tasarlanan dikdörtgensel formdaki cepheler yapıya özgünlük katmıştır [130].



Resim 3.48. Cor Florida [131]

Cor yapısı Miami'deki yüksek katlı yapılar arasında ilk sürdürülebilir proje olarak dikkat çekmiştir. Cor yapısının rüzgar türbinleri ile birlikte fotovoltaik panellerin kullanımı yapıda enerji tasarrufu sağlamaktadır. Yüksek verimli dış kabuğu yapının strüktürünü oluşturmakla birlikte adeta iç-dış hava arasında izolasyonu sağlamaktadır. Bunların yanı sıra, güneş ışınlarını engellediğinden dolayı güneşin istenmeyen aşırı ışıınımı engellenmiştir [41] (Resim 3.49).



Resim 3.49. Cor Florida Tower cephe yüzeyinde yer alan rüzgar türbinleri [131]

Burj Al Taqa (Konsept Proje)

Burj Al Taqa kulesinin, Dubai' de inşa edilmesi beklenmektedir. 60 kattan oluşan ticaret merkezi 322 m yüksekliğindedir (Resim 3.50) [50]. Yapı formu silindirik olarak tasarlanmıştır. Yapı plan kesiti, zeminden yükseldikçe inceliyor, tekrar genişlemektedir. Yapı cephesinde, rüzgar enerjisi performansını artırmak amacıyla açıklık bırakılmamıştır [130]. Bu kule planlama aşamasındaki tasarımda %100 kendi enerjisini elde edip kullanmayı amaçlamaktadır. Eckhar Gerber tarafından tasarlanan bu yapı, orta doğuda kullanılmış olan rüzgar kulesinin havalandırma mantığını günümüze uyarlamaya çalışmıştır [41]. Dubai bölgesinde zaman zaman sıcaklık 50 dereceyi aşmaktadır. Resim 3.51' de görüldüğü üzere Ortadoğu'da eski tarihlerde kullanılan rüzgar kuleleri, dış ortamdaki sıcak rüzgarı serin hale dönüştürmektedir.



Resim 3.50. Burj Al Taqa [132]



Resim 3.51. Ortadoğuda kullanılan rüzgar kulesinden bir örnek [133]

Bu mantıkla çalışması hedeflenen havalandırma sistemi, yapının mekanik maliyetini ortadan kaldırdığı gibi %40 kadar enerji tasarrufu sağlayacağı öngörülmektedir. 5 m genişliğinde bulunan atrium alanı, yapı boyunca yükselmektedir. Bu sayede tüm mekanlara nemli ve taze hava aktarılması amaçlanmıştır. Baca çevresinde bitkilerin yer alacağı belirtilmiş, doğal hava sirkülasyonuna önem verilmiştir.

Yapının çatısında, dikey yönde rüzgar türbini bulunmaktadır (Resim 3.48). Dikey türbin kullanılmasındaki amaç, dışardan gelen temiz havayı içeriye alabildiği gibi, atrium içinde bulunan kirli havayı da dışa aktarabileceği olmasından kaynaklanmaktadır.

Yapı tasarım kararları rüzgar göz önüne/dikkate alınarak belirlenmiş ve bina formu buna göre şekillenmiştir. Kullanılan bina entegre türbin kullanımı ile yenilenebilir enerji kazanımı bağlamında rüzgar enerjisinden yararlanma olasılıklarını gösteren iyi bir örnektir. Aynı zamanda türbin kullanımının dezavantajlarına getirilen teknolojik gelişmelerin çözüm potansiyellerini ortaya koymaktadır.

4. ÖRNEKLEM ÇALIŞMASI: SHANGHAI TOWER

4.1. Shanghai Şehri ve Shanghai Tower

Shanghai kelimesi (shàng, above) (hǎi, sea), deniz üstünde ya da denize doğru anlamlarına gelmektedir. Shanghai kenti, hükümet merkezli Çin' in en kalabalık şehridir. Ticaretin ve nakliyenin ön plana çıktığı bu şehir aynı zamanda doğunun incisi (Oriental Pearl) olarak ta anılmaktadır. Shanghai kentinde astropikal deniz muson iklimi görülmektedir. Kentin havası nemlidir. Mevsimler sıcak bahar, sıcak yaz, soğuk sonbahar ve soğuk kış olarak yaşanmaktadır [134].

Shanghai şehri, 1930'lu yıllardan beri dikey şehircilik odağıyla büyümektedir. 1934 yılında inşası tamamlanan 24 katlı, Shanghai Park Hotel 83.3 m yüksekliği ile dönemin Asya'daki en yüksek binası unvanını taşımıştır (Resim 4.1). 1999 yılında 88 katlı, Jin Mao Binası 421 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 4.2). 2008 yılında 101 katlı, Shanghai World Financial Center 432 m yüksekliğinde inşa edilmiştir (Resim 4.3). Shanghai şehrinde yer alan bu üç örnekte yapıldıkları dönemler itibarı ile dünyanın en yüksek yapıları literatürüne girmişlerdir [29].



Resim 4.1. Shanghai Park Hotel (1930) [135]



Resim 4.2. Jin Mao Build (1999) [136]



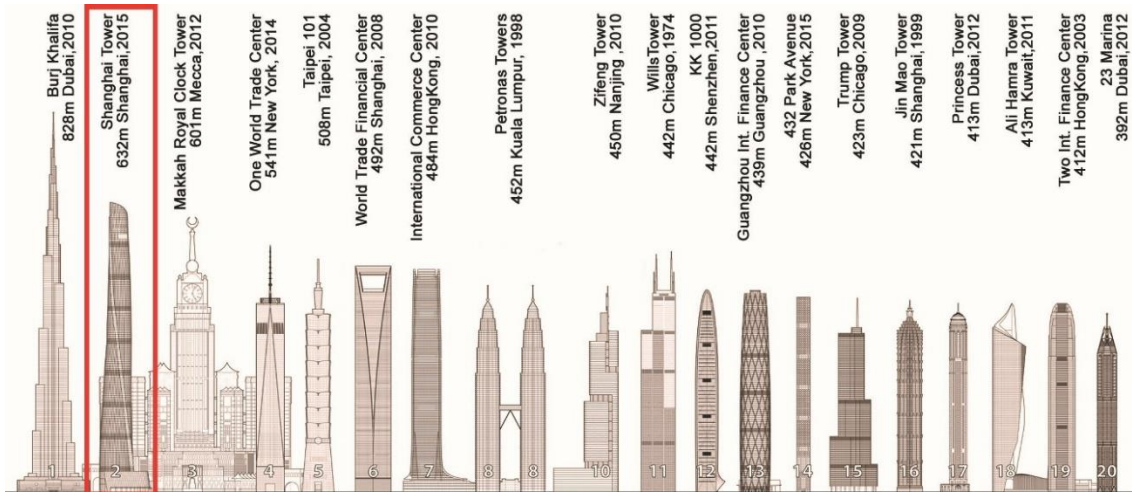
Resim 4.3. Shanghai World Financial Center (2008) [137]

Shanghai Tower, Lujiazui yarım adasının, Huangpu nehrinin doğu yakasındaki, Pudong bölgesinde yer almaktadır (Harita 4.1). Pudong bölgesi aynı zamanda ticaret ve birçok iş merkezinin yer aldığı oldukça kalabalık bir şehirdir.



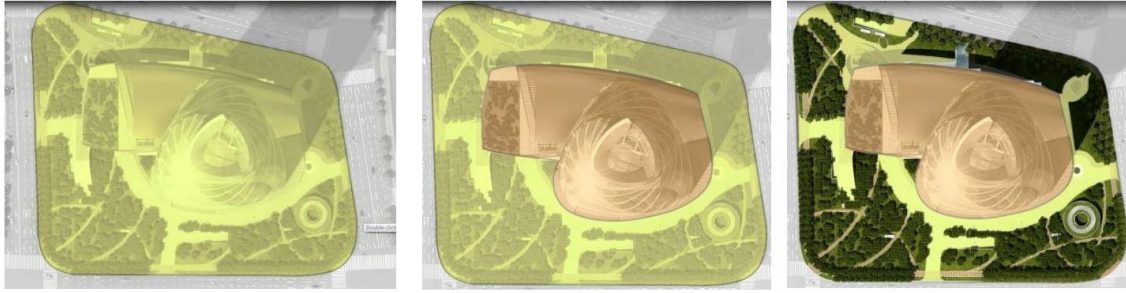
Harita 4.1. Çin haritası, Shanghai şehri [134]

Yapımı 2008 yılının kasım ayında başlamış, 2015 yılında tamamlanmıştır. Resim 4.4’ te görüldüğü üzere Shanghai Kulesi dünyanın ikinci, Çin’ in ise en yüksek binasıdır. 128 katlı Shanghai kulesi 632 m yüksekliğinde inşa edilmiştir.



Resim 4.4. Yüksek yapıların dünya sıralaması [138]

Kule, zeminde 380.000 m² katlarıyla birlikte toplam 540.000 m² alana sahiptir. Yapı arazisinin %33’ ü yasa zorunluluğu ile yeşil alan için ayrılmıştır (Şekil 4.1). Kule, Çin devleti şirketleri tarafından konsorsiyumlu şekilde finans edilmiştir. Tahmini yapı maliyeti 2.4 milyar dolardır [139].



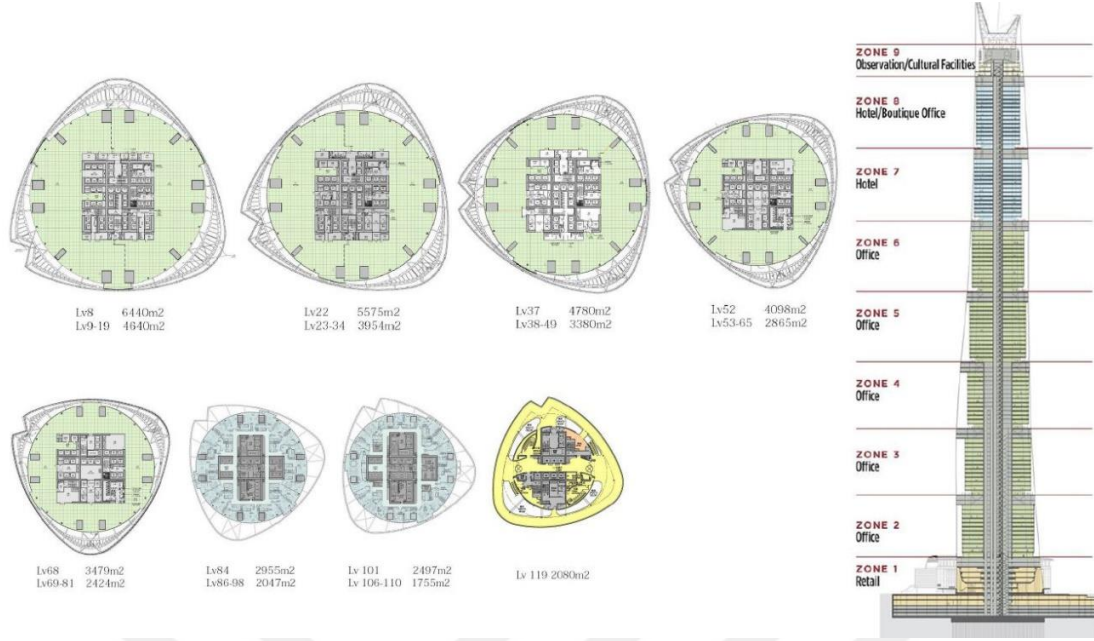
Şekil 4.1. Yapı arazi sınırı, kullanım alanı ve yeşil alan gösterimi [140]

Yapı sürdürülebilir bir bina olarak nitelendirilmektedir [140]. Bünyesinde daha çok ofis katları bulunmakla birlikte, hotel, restoran, kafe ve toplanma salonlarının da yer aldığı karma işlevli bir yapıdır.

4.2. Shanghai Tower Mimari Tasarım Süreci

Kule, Gensler tasarım ekibi tarafından dizayn edilmiştir. Gensler, tasarım aşamasında Pekin’ in Hutongs ve Shikumen adı verilen geleneksel dar sokaklı nizami evlerinden (*lane houses*) ilham alındığını belirtmiştir [140]. Yapı, Şekil 4.2’de görüldüğü üzere 9 düşey bölge/zon halinde tasarlanmıştır; 1. zon Lüks butik kafelere ve restoranlara, 2-6. zon, ofis katlarına, 7-8. zon beş yıldızlı hotel ve butik ofislere, 9. zon, kamusal alanlara ayrılmıştır [141].

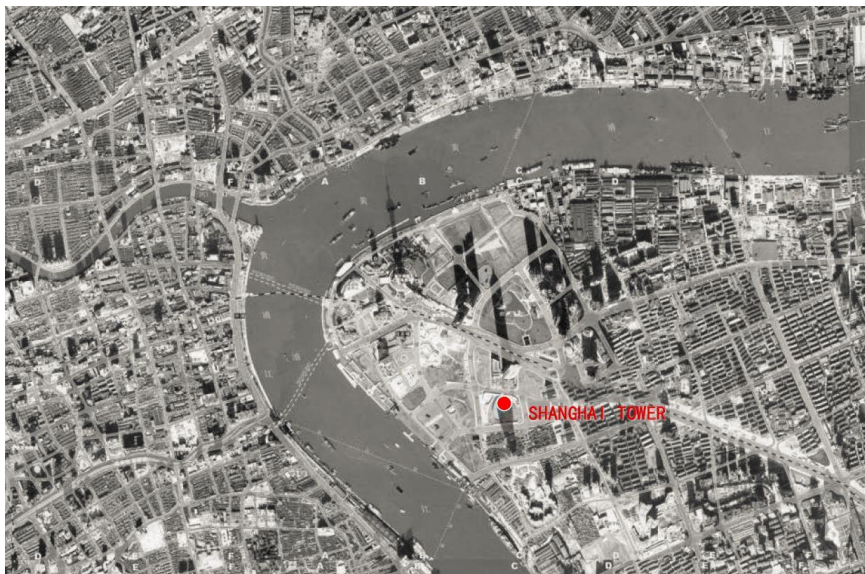
Yapının kimliğine etki etmesi ve ofis çalışanlarının sosyalleşmesine olanak sağlayan ve aynı zamanda geleneksel avlu kullanımını hatırlatması amacıyla her 89 katta bir “gökyüzü bahçeleri” (*sky lobby*) adlı mekanlar tasarlanmıştır [142]. Bu mekanlar iç dış hava atmosferini dengelemesi adına arada tampon görevi görmekte ve ısıtma ile soğutma yüklerini azaltmaktadır.



Şekil 4.2. Shanghai Kulesi zonları [141]

4.3. Shanghai Tower'ın Yapısal Tasarım Süreci

Zemin tasarım aşamasında mimar, işveren ve yapımcıların ortak endişesi, nehir kıyısında yer alacak yapının yumuşak zemin üzerindeki oluşacak ağırlığın çökmesi ya da kayması sonucu devrilmesi tehlikesinden kaynaklanmaktadır (Resim 4.5). Bunun için inşa edilecek zemin temelinde güçlendirme çalışmaları yapılmıştır [29].



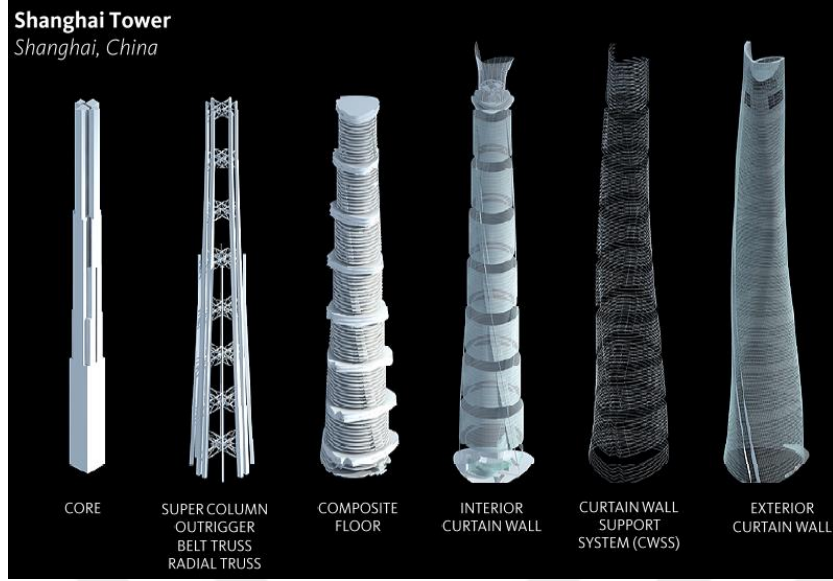
Resim 4.5. Shanghai Kulesi bulunduğu konum [141]

Zemin güçlendirmesi, 121 m çapındaki alanda gerçekleşmiştir (Resim 4.6). Bu alanın radye temel güçlendirme çalışmalarında, 1 m çaplarında 82 m derinliğinde toplam 2500 kazığın çakılıp, beton dökülmesi ile tamamlanmıştır. Bu işlem 63 saat kesintisiz olarak 61 bin m³ betonun dökülmesi ile tamamlanmıştır [140].

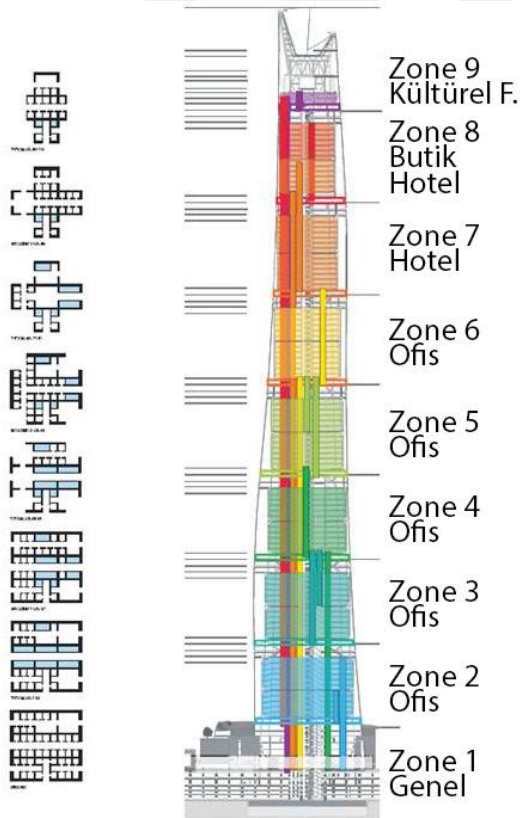


Resim 4.6. Shanghai Kulesi temel sağlamlaştırma çalışması [29]

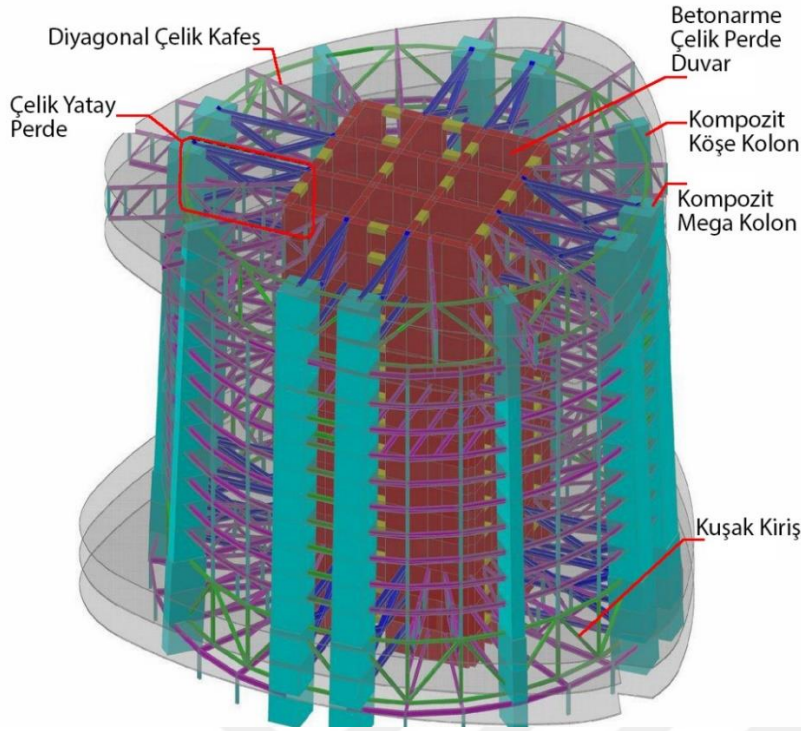
Shanghai Tower' ın strüktür tasarımı Thornton Tomasetti'ye aittir. Mimari formla uyum içerisinde, sade, güvenilir ve ekonomik bir tasarım ortaya konmuştur. Kulenin taşıyıcı sistemi 9 zondan oluşmaktadır. Her bir zonun 12 ila 15 kat arasında değişkenlik gösteren bölümleri bulunmaktadır [29]. Kulenin asıl taşıyıcı sistemi yatay perdeli çerçeve sistemlerden (outriggered-frame system) olup, betonarme perde duvarlar, kompozit mega kolonlar, çelik yatay perdeler, çelik kuşaklar ve diyagonal çelik kafeslerden oluşmaktadır (Şekil 4.3, 4.4, 4.5).



Şekil 4.3. Shanghai Kulesinin strüktürel katmanları [141]



Şekil 4.4. Shanghai Kulesi kat planları ve zonları [143]



Şekil 4.5. Shanghai Kulesi mekanik kat strüktürel modellemesi [141]

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 [29].

Diyagonal çelik kafes: Yapı yüksekliği boyunca bir veya daha fazla seviyede, dış kolonlarla çekirdeği birbirine bağlayan yatay perdelerin eklenmesiyle geliştirilmiştir. Giydirme cephe sistemlerini desteklemek amacıyla çelik malzemenen üretilmiştir.

Yatay perde: Yatay konumlandırılmış kafes kiriş veya perde duvardan oluşmaktadır. Bu yapı elemanı, çekirdek perdenin çevre kolonlara dirsek şeklindeki yatay bir uzantısı halindedir. Bu duruma bağlı olarak dirsek perdeli çerçeve sistem olarakta adlandırılmaktadır. Yatay perdeler normal katlar aralarındaki kullanımı engellememesi amacıyla genellikle yapı yüksekliği boyunca bir veya daha çok seviyede yer alan mekanik katlara yerleştirilmiştir [29].

Kompozit mega kolonlar: Çiftler halinde yer almaktadır. 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 kadar düşmektedir.

Çelik Kuşaklar: İki kat derinliğinde olup çiftler halinde tasarlanmıştır.

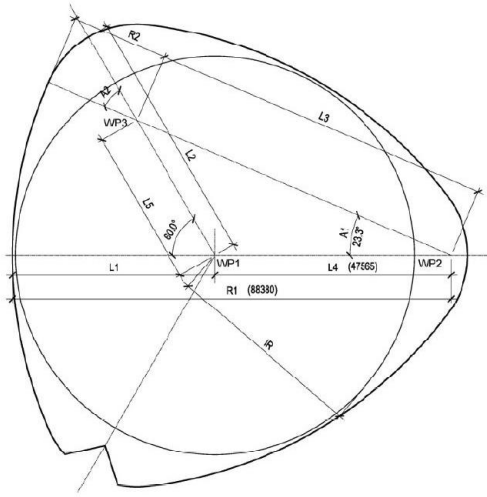
Tüm bu malzemeler, daha hızlı ve ekonomik olması amacıyla inşa alanı yakınlarında kurulan tesislerde lazer kesici malzemeler ile üretilmiştir [29].

4.4. Shanghai Tower Rüzgar Bağlamındaki Tasarımsal Süreci

Shanghai Tower, rüzgar bağlamındaki testler için yapının konumu olan Çin ve bulunduğu bölge ele alınarak bazı testler hazırlanmıştır. Bu testlerden elde edilen verilerin doğru olması ve hata payının en aza indirilerek elde edilmesi doğru tasarım ve performans açısından oldukça önem arz etmektedir. Testler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda yapının form ve strüktüründe değişiklikler meydana gelmiştir. Buna yönelik Shanghai Tower'ın rüzgar bağlamındaki tasarımsal süreci çalışmaları ve test sonuçları bu başlık altında incelenecektir.

Rüzgar tüneli testlerinden alınan verilere göre, Gensler ve yapı mühendisi Thornton Tomasetti kule formundaki tasarımsal düzenlemesiyle, yapı üzerinde oluşacak rüzgar yükünü %24 azaltıldığını belirtmiştir. Sonuç olarak basit ve hafif strüktür malzeme kullanımıyla aynı zamanda maliyet %32 azaltılmıştır [134].

Shanghai Tower'ın dış cephelerinde yer alan profillerinde eşkenar üçgen formu baz alınmıştır. Şekil 4.6' da görüldüğü üzere, iki tanjant kenarı dışa taşınmış, 60 derece yumuşatılmış ve plan hatları ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.6. Shanghai Kulesi yatay geometrik planı

4.4.1. Aerodinamik uyum

Yüksek yapı tasarımlarında yer alan dış kabuk, rüzgar ile doğrudan temas halindedir. Doğrusal, tekdüze ve hem yüz cepheler girdap oluşumuna yol açmaktadır [134]. Yüksek yapılarda rüzgar girdapları titreşimlere yol açabilmektedir. Süper yüksek katlı yapılar için rüzgar yükleri kaynaklı girdaplar etkin ve oldukça serttir. Şekil 4.7' de gösterilen girdap salınımı ancak yükselen formda değişiklik yapılarak engellenebilir [144]. Resim 4.7' de görüldüğü üzere, Shanghai Tower dış cepheleri kademelendirilmiş, rüzgar şaşırtılmaya çalışılmıştır. Bu sayede girdap oluşumu engellenmiştir.



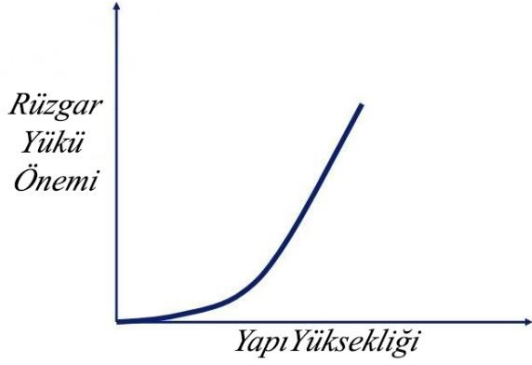
Şekil 4.7. Girdap oluşumunun ivmeli şekli [144]



Resim 4.7. Shanghai Kulesi yükseldikçe değişen dış cephe kademelerinden görünüm [141]

Giderek artan yüksek yapıların sayısı günümüzde oldukça fazladır. Bu noktada artan yüksekliğe bağlı olarak rüzgar gücünün etkisi de önem kazanmaktadır (Şekil 4.8). Buna

yönelik yapı formu optimizasyonu rüzgar yükünü azaltabilmektedir. Kullanılan tasarımsal form ve strüktürlerle basınç sönümlenebilmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.8. Rüzgar yükünün önemi ve yapı yüksekliği grafiği [145]



Şekil 4.9. Rüzgar yükü sönümleme çeşitlerinin imgesel şekli [145]

Shanghai kentinde, rüzgarlar zaman zaman tayfun seviyesine ulaşacak kadar sertleşmektedir. Oluşan rüzgar yüklerine karşı Shanghai Tower' ın performatif form ve strüktrünün geliştirilebilmesi için 3 ana karar alınmıştır [29].

- Kule cephesinin asimetrisi (*asymmetrical facade*)
- Daralarak yükselen kule formu (*tapering shape*)
- Bina kütesinin yuvarlak köşeleri (*consistently rounded corners*)

4.4.2. Rüzgar testleri ve yapı tasarımı

Shanghai Tower tasarımında, Gensler tasarım ekibi seriler halinde birtakım rüzgar tüneli testleri yapmıştır. RWDI bünyesinde optimum form ve yapı performansı adına birçok analizler elde edilmiştir. Yapının dış kabuğundaki aerodinamik daralma rüzgar yükünü azaltmaktadır. Bu bağlamda Shanghai Tower'da kullanılan hafif çelik strüktür kullanımı, doğal kaynak tüketimlerinin azaltılması adına da önemli bir adımdır.

Çin'deki benzer yüksek yapılardaki inşalarda yasal olarak yük kotlarını içeren GB 500009-2001 standartlarına göre hesaplamalar göz önünde bulundurulmuştur. Çin'de saatlik rüzgar hızı 0.54 olarak GB50009-2001 kayıtlarında bulunmaktadır [144].

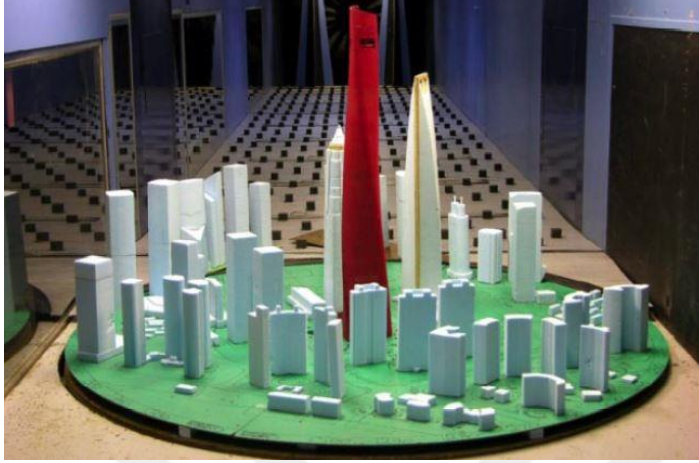
Çalışmaya başlarken, Çin ulusal rüzgar hızı değerlendirmesi ele alınmıştır. Model testlerde uygulanan rüzgar hızında referans olarak kullanılmıştır. Yüksek yapı tasarımlarında Jin Mao Tower (1999) ve Shanghai World Financial Center (2008)' da inşa edilen yapılarda rüzgar alanı model testlerine göre inşa edilmiştir (Resim 4.8).



Resim 4.8. Shanghai World Financial Center, Jin Mao Tower ve Shanghai Kulesi

Bunlara ek olarak, ölçekli ve detaylı modellere strüktür verileri, basınç yükleri ve ulusal Çin yük kotları dışında inşa edilecek yerin bulunduğu bölgesel ve iklimsel rüzgar tüneli dataları eklenmiş ve yapı performansı adına sağlıklı sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir. İklimsel rüzgar testi modellemelerinde yüzeysel rüzgar değerleri Hong Qiao Uluslararası

Havaalanı ve dijital tayfun simülasyonu verilerinden faydalanılmıştır. Tüm bu testler 1:500 model üzerinden yürütülmüştür (Resim 4.9) [140].



Resim 4.9. 1:500 Shanghai Kulesi modeli [140]

Bu testlerde rüzgar hızı 0.68 olarak hesaplanmıştır. Daha sonra Vickery 2009 yılında bu testlere tayfun profilli rüzgarların datasını ekleyerek standart rüzgar hızını 0.60 olarak hesaplamıştır. Sonuç olarak testlerde uyarlanan rüzgar hızı değişiklik göstermiştir. Baz alınan rüzgar hızı, önceki modellemeye göre %13 daha fazla hesaplanarak uygulanmıştır. Çizelge 4.1’ de görüldüğü üzere (100 yıllık periyotta) 10 dk ve 500 dk’ da geçen rüzgar hızı m/s her üç yapı için belirlenmiştir [144].

Çizelge 4.1. Üç farklı yapı ve çin kodunun 10 dk ve 500 dk’ da geçen rüzgar hızı [144]

Project name	Jinmao tower	SWFC	Shanghai tower	Chinese code
10 dk da akan rüzgar hızı	31.1	31.1	31.7	31.0
500 dk da akan rüzgar hızı	43.7	43.7	50.0	54.7

Bu çalışmalar doğrultusunda çok daha kesin sonuçlar elde etmek adına dış kabuk yüzeyindeki girdap etkileri ve rüzgar yüklerinin analizi için 1:85 modelle test edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu test Reynolds number effect test kapsamında yürütülmüştür.



Resim 4.10. 1:85 Reynold rüzgar tüneli çalışması [141]

Reynolds Number Effect testleri 1:85 ölçekteki model üzerinden devam etmiştir (Resim 4.10). *High Reynolds Wall Turbulance Effect* analizleri rüzgar tüneli testleri 9m×9m aerodinamik rüzgar tüneli alanında Kanada Uluslararası Araştırma birimi tarafından yapılmıştır [130]. Maksimum rüzgar hızı referans olarak yaklaşık saatte 50m/s alınmıştır. Testler aşama aşama 3 farklı rüzgar tipine yönelik gerçekleştirilmiştir [143].

- Yumuşak akan rüzgarlar, yapı çevresindeki binalar hariç olan testler
- Küçük türbülans seviyesinde rüzgarlar, yapı çevresindeki binalar hariç olan testler
- Büyük türbülans seviyesinde rüzgarlar, yapı çevresindeki binalar dahil olan testler

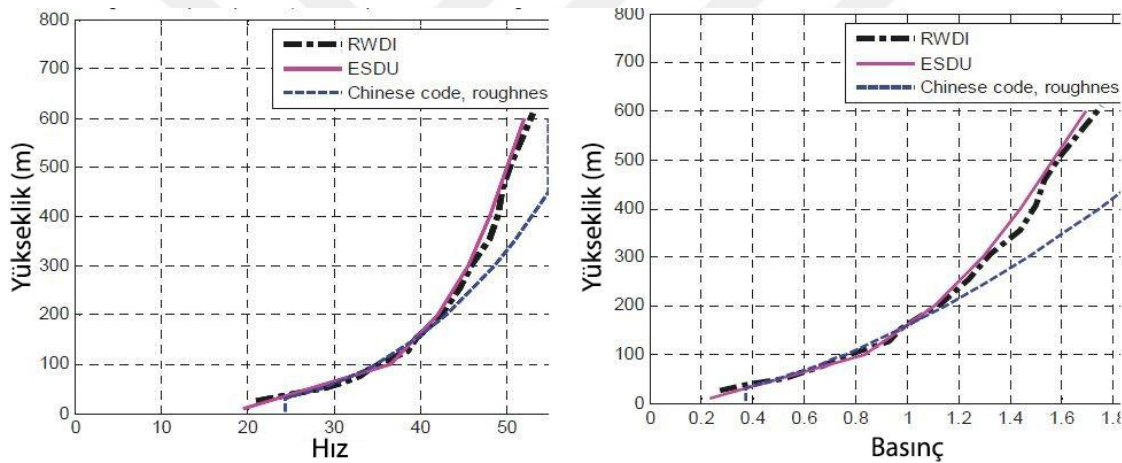
Test boyunca, bölgede ispatlanmış şekilde Jin Mao Tower ve Shanghai World Finance Center bir arada ve birbirlerine yakınlıkları sebebiyle farklı yönlerden esen rüzgarlardan kaynaklı %14 ile %40 arasında değişen türbülans durumu ortaya çıkmıştır [134].

Rüzgar mühendisliğinin Shanghai Tower hakkındaki araştırmalarındaki temel konu rüzgarın hızı ve yönü hakkında olmuştur. Belirsiz doğal rüzgarların yapı formu tasarımı sayesinde farklı sönümlene yüzdeleri çizelge 4.2’ de belirtilmiştir. Sağlamlık, sertlik tasarımı ve optimizasyon tasarımının rüzgar yükü sönümlene yüzdeleri aralarında Shanghai Tower’ın da bulunduğu üç yapı için verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yapı tasarımındaki forma yönelik sağlamlık, sertlik ve tasarımsal sönümleme yüzdeleri [144]

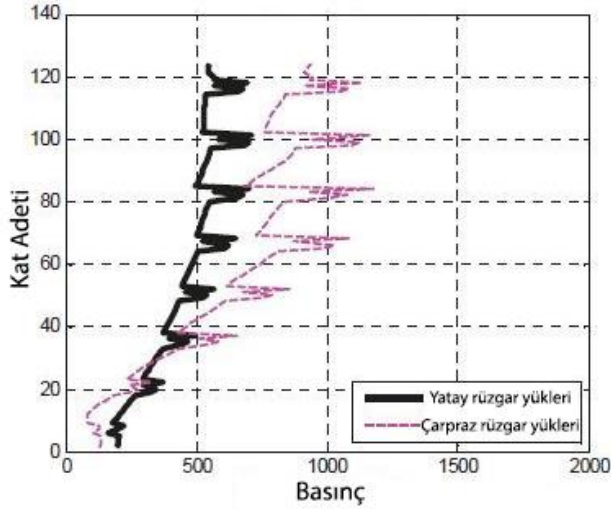
Building	Jinmao tower	SWFC	Shanghai tower	Chinese code
Güçlü tasarım	5.0%	2.5%	2.0%	4.0%
Dayanıklılık tasarımı	1.5%, 2.5% and 3.5%	2.0%	1.5%	4.0%
Adaptasyonel tasarım	1.5%	2.0%	1.0%	1.0~2.0%

Çizelge 4.3’ te görüldüğü üzere, Shanghai Tower üzerinde, RWDI ve ESDU birimleri tarafından rüzgar hızı ve basınç simülasyonu rüzgar tüneli testleri yapılmıştır. Parametre verileri 200 m altına kadar Çin ulusal rüzgar kodu ile yaklaşık aynı gitmektedir. Analizler doğrultusunda ölçülen rüzgar hızı ve basıncı, rüzgar tüneli testlerinde oluşan geribildirimler Shanghai kulesi tasarımına yön vermiş ve yapı geribildirimleri dikkate alınarak tasarlanmıştır.



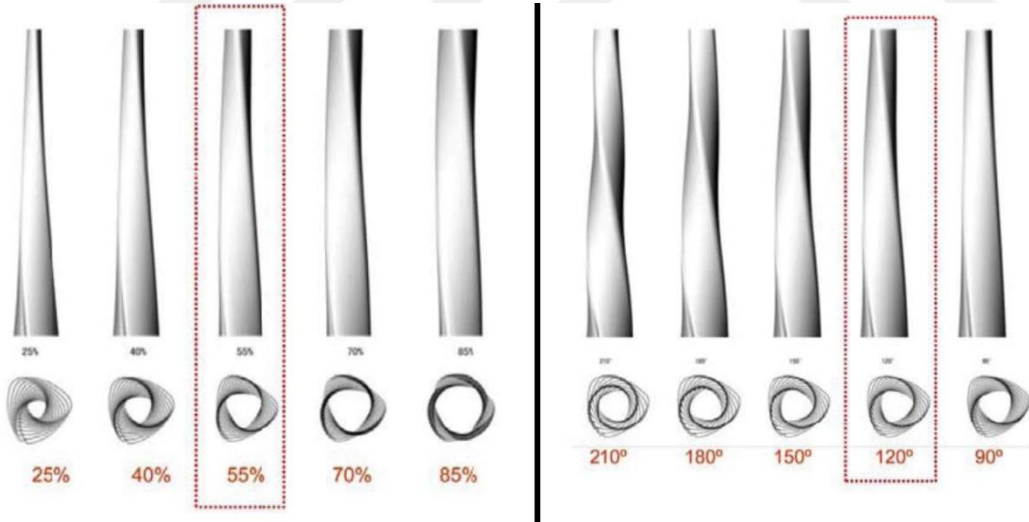
Şekil 4.10. RWDI ve ESDU birimleri tarafından yapılmış olan yükseklik oranlı rüzgar hızı ve basınç grafiği [144]

Artan yükseklikle birlikte oluşan yatay ve çapraz rüzgar yükleri ivmeli şekilde artış göstermektedir. Bu yüklerin katlarda oluşturduğu rüzgar yükü çizelge 4.4’ te verilmiştir. Çapraz rüzgar yüklerinin uyguladığı basınç ivme katsayısı, yatay rüzgar yüklerinden çok daha fazladır. Bu durum, artan yükseklikle beraber çok daha açık şekilde görülebilmektedir.



Şekil 4.11. Artan yükseklikle birlikte oluşan ivmeli yatay ve çapraz rüzgar yükleri [144]

Gensler tasarım ekibi, strüktürde oluşacak rüzgar yükünün dış kabuğa olan basıncını ancak yapı formu geometrisinin geliştirilmesiyle önemli derecede azaltılacağı fikrini ortaya koymuştur. Bu yükleri ortadan kaldırmak adına birkaç senaryo denemesi dönme açılarıyla oluşturulmuştur [134].



Şekil 4.12. Rüzgar tüneli çalışmalarındaki daralma ve dönme açıları [140]

Şekil 4.11' de görüldüğü üzere model üzerinde yapılan testlerde 100, 110, 120 ve 180 derece ile daralma ve uyum açısı olan 0, 30 ve 40 dereceler üzerindeki parametrik değerler analiz edilmiştir. HFFB Yüksek frekansta güç denge tünel testlerine göre Çizelge 4.5' te farklı dönme açısı ve daralma açısı ile rüzgarı sönmüleme yüzdeleri dikkat çekmektedir [146].

Çizelge 4.3. Farklı açı parametreleri ile belirlenen rüzgara maruz kalma yüzdeleri [144]

Yapı Şeması	Baz Alınan Dönüş Momenti	Yüzdelik
Dikdörtgensel Referans	6.22E+10	100%
100° TA, 0° OA	5.18E+10	83%
110° TA, 0° OA	4.92E+10	79%
180° TA, 0° OA	4.18E+10	67%
120° TA, 0° OA	4.75E+10	76%
110° TA, 30° OA	4.48E+10	72%
120° TA, 40° OA	4.15E+10	67%

Tüm bu senaryolar, birbirleri ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir (Çizelge 4.3). Sonuç olarak Genslerin, strüktür tasarımında Thornton Tomasetti ve uygulama aşamasında RWDI adlı mühendislik firmasının 1:85 ölçekli maketlerle yapılan Reynold rüzgar testleri sayesinde kulelerin yanal yüklerini %24 oranında azaltabilecek, %55 daralma açısı (tapering) ve eksenel olarak 120 derece döndürülmüş form strüktürü belirlenmiştir [144].

Çizelge 4.4. Rüzgar tüneli çalışmalarındaki daralma ve dönme açı analizleri [134]

Konfigürasyon	Moment Y	Yüzdelik	Moment X	Yüzdelik	Sonuç Momenti	Yüzdelik
Dikdörtgensel Referans	5.45E+04	100%	4.98E+04	100%	6.22E+04	100%
100°	4.53E+04	83%	4.19E+04	84%	5.18E+04	83%
110°	3.97E+04	73%	4.31E+04	87%	4.92E+04	79%
120°	3.43E+04	63%	4.29E+04	86%	4.75E+04	76%
180°	3.39E+04	62%	3.65E+04	73%	4.18E+04	67%

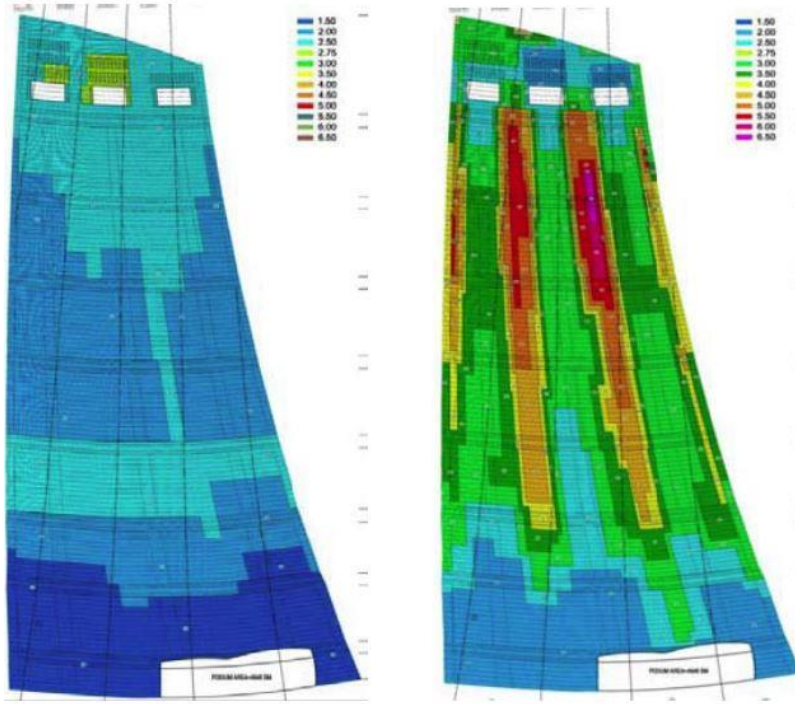
Çizelge 4.4' te 180 derece döndürülmüş olan testteki, analizler sonucu %9 daha fazla rüzgar yükü sönmülmüştür fakat yapının estetik açıdan görünümünde 180 derecedeki form tekrar (aynı olma) teşkil ettiğinden uygulanmamıştır. Gensler takımı tasarım kriterlerindeki tüm zonların yatay kesitinde değişik planlama olacağını belirtmiştir [134].

4.4.3. Rüzgar test sonuçları değerlendirmesi

Rüzgar tüneli test sonuçları, farklı rüzgar parametrelerine yönelik değişiklik gösterebilmektedir.

RWDI tarafından yapılan 1:500 ölçekli testlerdeki, pozitif basınç yükleri Reynolds number effectin 1:85 ölçekli testlerine göre etkisiz olmuş, negatif basınç yükleri ise artış

göstermiştir. Ortaya çıkan rüzgar türbülansına sınır getirmiş ve kesin veri elde edilememiştir. *Reynolds number effect* testlerine göre açıkça ifade edilebilir ki en yüksek negatif basınç, yapı köşelerinde 1:500 ölçekli modele göre %10 artış göstermiştir. Bu doğruluk payı yapının 3. katından itibaren kesin şekilde kanıtlanmıştır [134]. Rüzgar yükleri ancak yapıların belli bir yükseklik noktasından sonra rahatça hissedilebilmektedir (Şekil 4.13). Bu testlerdeki ölçek modellemeler ve farklı rüzgar testleri yapılması önem arz etmektedir.



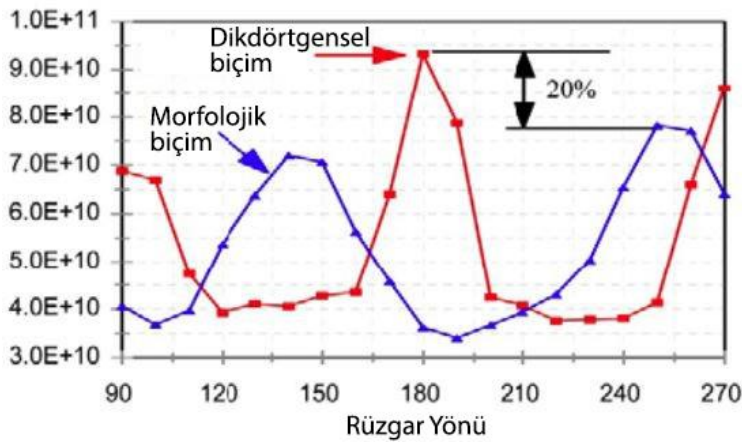
Şekil 4.13. Pozitif ve negatif rüzgar yüklerinin yapı kabuğu üzerindeki diyagramı

Şekil 4.12' de görüldüğü üzere, rüzgarın cephe kabuğu kaplama üzerinde oluşturduğu yüklerin test sonuçlarına bakılarak tepe noktalarda oluşan pozitif yükler (basınç) 2.0 dan 2.5 kPa' ya yükselmiştir. Yapının %97 sindeki kabuk yükleri bu değerler arasında değişiklik göstermekte iken maksimum pozitif yük değeri 2.75 kPa olarak ölçülmüştür. Yapının %85' inde aynı oranda olan negatif yükler 4.5 kPa ile ölçülmüş, maksimum değer 6.5 kPa olarak kaydedilmiştir [134]. Oluşan negatif yükler, köşe noktalara ve yapı yüksekliğinin yarısından itibaren çevresine dağılım göstermektedir. Bu sonuç, perde duvar tasarımının bir ürünü diyebiliriz. Uygun cam panellerinin optimum incelik ve ölçülerde olması rüzgar yüklerinin dağılımında etkili olmuştur (Şekil 4.13).

Shanghai kulesi yapı cephesi belirli bir açı ile döndürülmüş ve farklı parametrik analizler doğrultusunda yükseldikçe daralan kat planları ortaya çıkmıştır. Her kat planı için karesel plan tipi referans alınmış, açılar buna göre hesaplanmıştır (Şekil 4.13, 4.14). Testlerden oluşan geribildirimler sayesinde, özellikle rüzgar yükünde sönümleme yapacak ve çapraz yüklerin baskısını (basıncını) azaltacak içeriklere uygun tasarım arayışlarında bulunulmuştur [140].



Şekil 4.14. RWDI kare plan ve eğimli form karşılaştırması final testi [141]



Şekil 4.15. RWDI dikdörtgenel biçim ve eğimli form karşılaştırması analizi [141]

Yüksek yapılarda, özellikle Shanghai Tower gibi, ayrıntılı ve geniş çaplı detaylı, testlerle rüzgar yükleri hesaplanabilmektedir. Farklı rüzgar tüneli test metodları; High Frequency Force-Balance (Yüksek Frekanslı Güç-Denge) metodu, High Frequency Pressure Integration (Yüksek Frekanslı Basınç Optimizasyonu) metodu, Aerolastik model testi ve

Shanghai Tower' ın farklı tasarım açılarıyla *High Reynolds number* testleri uygulanmaktadır.

Rüzgar yüklerine yönelik Aerolastic model (1:85) ve High Frequency Force Balance (1:500) testleri karşılaştırılmıştır. Aerolastic model çalışmasının, HFFB çalışmasına göre daha duyarlı olduğu saptanmıştır.

High Reynold testlerine göre perde duvarlı yapı tasarımının rüzgar basıncına olumsuz cevap vereceği ortaya konmuş, ayrıca çelik destekli strüktürlerle desteklenmesinin yapının rüzgara karşı direncinin artırılmış olduğu belirtilmiştir [144].

Binaya salınım etkisi yapan rüzgar yüklerinin her %5' lik azalımı, ekonomik anlamda maliyetleri 12 milyon dolar azalmaktadır. Tüm bu test ve söz konusu teknolojilerin kullanılmasıyla, yapı formunun belirlenmesinin önemi bir kez daha ortaya konmuştur [29].

Rüzgar yükleri sonuçlarına göre alınan Çin rüzgar kodu baz alınmakta ve diğer erişilebilir rüzgar yükleri bu değişken üzerinden değerlendirilmektedir. Bu bağlamda her bir test kendi içerisinde hassasiyetli şekilde yük, basınç ve hıza yönelik kavramlarda ayrıntılı bilgi verebilmekte, kimi testler ise bir kavrama duyarlı iken diğer kavramlara kayıtsız ya da dar kapsamlı kalabilmektedir. Sonuç olarak Shanghai Tower gibi süper yüksek yapılarda tek tip bir rüzgar yükü ölçüm metodu kullanılması doğru olmayacaktır [144].

4.4.4. Rüzgar türbinleri

Yüksek yapılar ideal rüzgar gücü potansiyeline sahiptir. Yapının tepe noktasında tüm yıl boyunca muazzam şekilde rüzgarlar oluşmaktadır. Dolayısıyla Shanghai Tower tasarım takımı yenilenebilir enerji kapsamında oluşan rüzgar enerjisinden yararlanmayı tercih etmiştir.

Rüzgar alanı analizleri göstermektedir ki, Shanghai Tower tepe noktasındaki rüzgar gücü, zemin kattaki rüzgar gücünden 2 ya da 3 kat daha fazla olmaktadır. Zemin kotta ortalama 3m/s hızı bulunurken, tepe noktasında bu rakam 6m/s' ye çıkmaktadır [134]. Bu rakamlar enerji üretimi için uygundur.

Yüksek yapılara rüzgar türbini yerleştirilmesi giderek yaygınlaşmaktadır. Görsel açıdan uyum içerisinde konumlandırılan rüzgar türbinleri kulenin bitişindeki parapetin hemen altında yer almaktadır (Resim 4.11). 270 adet yatay rüzgar türbini, cephe aydınlatmasında ihtiyaç duyulan enerji için kullanılması üzere yerleştirilmiştir. Yıllık 350 bin kWh üretim yapan türbinler, yapının tüm elektrik giderinin %10' unu karşılamaktadır [29]. Her bir türbin yıllık yaklaşık 1.2 mW enerji üretmektedir.



Resim 4.11. Kulenin bitiş parapetine yerleştirilen rüzgâr türbinleri [147]

Resim 4.12 ve 4.13' te görüldüğü üzere yatay eksenli türbinler, 122F, 123F ve 124F katlarına iç ve dış perde duvar ortalarına konumlandırılmıştır. Jenaratör odası 50 kW' lık üç adet dönüştürücü ile 123F' e konumlandırılmıştır [135]. Türbinlerden gelen enerji dönüştürücüler sayesinde 123F katında 220 kV AC elektrik akımına dönüştürülerek network tüketim ağına bağlanarak enerji aktarımı sağlanmaktadır [134].



Resim 4.12. Kulenin bitiş parapetine yerleştirilen rüzgâr türbinleri [148]



Resim 4.13. Türbin detay görünümü [147]

Resim 4.14' te görüldüğü üzere yatay türbinlere ek olarak, 54 dikey aksta bulunan rüzgar türbini 565 ila 569 m arasında konumlandırılmıştır. Günlük 6 m/s hıza ulaşan rüzgar hızı

en yüksek noktada yıllık 157,500 kWh yenilenebilir enerji ve dış cephe aydınlatılmasında ve kamu alanlarındaki aydınlatmalarda kullanılmaktadır [149].



Resim 4.14. Kulenin bitiş parapetine yerleştirilen rüzgâr türbinleri [134]

Yüksek yapılarda ısıtma ve soğutma yüklerinden tasarruf ancak mekanın doğal olarak aydınlatılıp, havalandırılmasına etki eden cepheler sayesinde yapılabilmektedir [150]. Shanghai kulesinde de çift kabuk cephe sistemleri, doğal iklimlendirme ve yağmur suyunu depolayacak özel tasarımlar bulunmaktadır [140].

4.4.5. Shanghai Tower genel değerlendirmesi

Tüm yapılar, özellikle yüksek olanlar çevreyi önemli derecede etkileyip, değiştirmektedir. Yapılar ulusal enerjinin %40' ını, ormanların %25' ini, temiz suların %25' ini çakıl, kum ve taşların %40' ını tüketmekte ve sera gazı oluşumlarının 1/3' inden sorumlu tutulmaktadır [151].

Bu çalışmada ele alınan Shanghai kulesi 21. yy'ın tasarım ve üretim özelliklerini yansıtan bir örnek olarak enerji etkin performans arayışları ile ilgili literatürdeki önemli yerini almıştır [29]. Shanghai kulesi Amerika Birleşik Devletleri Yeşil bina konseyi tarafından verilen LEED Gold Sertifikasına ve Çin Üç yıldızlı Yeşil bina tasarımı etiketine sahiptir. Sürdürülebilirlik açısından bazı özellikler şöyle sıralanmıştır.

- Isıtma-soğutma ihtiyacını azaltmak için yalıtımlı çift kabuk cephe tasarlanmıştır.
- Kulenin 124. Katına kurulan 270 adet rüzgar türbini ile yılda 350 bin kWh elektrik üretimi amaçlanmıştır.

- Çift kabuk cephenin dış katmanında rüzgar, yağmur ve güneşi filtreleyen cam kullanılmıştır.
- İç katmanda güneş kontrollü düşük salınlı camlar kullanılmıştır. Bu sayede doğal havalandırma ve soğutma sağlanmaktadır.
- Benzer yükseklikteki diğer yapılara oranla %25 daha az yapısal çelik kullanılmıştır. ABD malzeme maliyetlerine göre 58 milyon dolar tasarruf edilmiştir.
- Isıtma ve soğutma yükleri, jeotermal enerjiden tüketilmektedir. Sky Lobbies (bina cephesi içinde yer alan yeşil alanlar) tampon bölge görevi görmekte ve iç hava kalitesini artırmaktadır.
- Yapının tepe noktasındaki çatı parapeti yağmur suyu toplaması amacıyla tasarlanmıştır. Toplanan mavi su ve gri su geri dönüşüm ve akıllı armatür teknolojileri ile %40' lık enerji tasarrufu etmektedir [29].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya üzerindeki enerji sorununun önemini giriş bölümünde ifade etmiştik. Tüm faaliyetlerde olduğu gibi mimarlık sistemlerinde de 1970' li yıllardan yana bir takım değişiklikler gözlemlenmiş ve enerji tasarrufu adına yaklaşımlarda bulunulmuştur. Rüzgar enerjisinin, mimarlık sistemleriyle entegre bir vizyona sahip olması her geçen dönem daha önemli bir hal almaktadır.

Dünya kentleri olarak bilinen popüler şehirlerde yüksek yapıların sayıları hızla artış göstermektedir. Kurumsal, uluslararası ya da ekonomik yönden güçlü şirketlerin güç simgesi haline dönüşmüş, yüksek yapı edinme istekleri artmaktadır. Bu yapıların bulunduğu bölgelerde doğal hava sirkülasyonu engellendiği gibi yapı oranı artışına bağlı olarak kirlenme ve karbon salınımı da artış göstermektedir.

Mimarlık ve çevre etkileşimi, ilk yapılardan itibaren önem teşkil etmektedir. Günümüz mimarlık sistemleri, yenilenebilir enerji ve rüzgar teknolojisi ile birlikte simülasyon, maket ve rüzgar tüneli gibi birçok testlerle bütünleşme süreci, analiz edilebilmektedir. Geribildirimlerin yapı formu tasarım aşamasına etkisi özellikle detaylarıyla ele alınmalıdır.

Sıcak iklim yaşanan bölgelerdeki yüksek yapılarda yükseklik arttıkça, katlarda düşen sıcaklık avantaj sağlamaktadır. Teknolojinin ilerleyişi ile kurulu türbinlerde yaşanan ses ya da benzeri problemler ortadan kaldırılmıştır. Türbin kullanımı avantajlı hale geldikten sonra, yüksek yapılara konumlandırılacak rüzgar türbini kullanım sayısı da artmıştır.

Türbin entegreli yüksek yapı teknolojisi ilk kez Bahrain WTC' de hayat bulmuş ve yapıldığı dönem itibari ile çok dikkat çekmiştir. Yatay rüzgar türbinleri, rüzgar endeksli çalıştığı için ilerleyen zamanla birlikte dikey rüzgar türbinleri kullanımının da avantajlı olduğu örneklere rastlamak mümkündür.

Rüzgar türbinleri, rüzgâr tüneli testleri, yükseklik limiti, şehrin yüksek yapı dokusu-oranı, bölgesel rüzgarların tamamı yüksek yapı tasarımını doğrudan etkilemekte ve yapı formunun şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Rüzgar türbinleri, çeşit, tip ve bazı özelliklere göre farklılık gösterse de en yüksek verimi istenilen optimum rüzgar hızını yakaladıktan sonra verim alınabilmektedir. Bu noktada türbine akan rüzgarın optimum hız

seviyesin de tutulabilmesi için yapının esintiyi toplayıcı, parçalayıcı, ya da hızlandırıcı olmasıyla beraber yapılan rüzgar tüneli testlerinden alınan analiz ve geribildirimler doğrultusunda tasarımcılar etkin performans sağlayabilmektedir.

Rüzgar türbini kullanım alanı önemli olduğu gibi yapının hangi noktasına konumlandırılacağı da etkin verim adına önem teşkil etmektedir. Bazı tasarımcılar yüksek yapılarda türbinlerin çatı noktasına konumlandırılmasını tercih ederken, bazıları çatıya yakın noktalarda ya da cephe yüzeyinde açılan boşluklarda tercih etmektedir.

İlk rüzgar türbini entegreli yapılarda, 27 m çapında olan türbin kullanımının aslında pekte avantajlı olmadığı, ilerleyen zamanda ve inşa edildikten sonra yaşanan titreşim, ses ve gölgelenme gibi bazı problemlerle gündeme geldikten sonra anlaşılmıştır.

3 adet 29 m çapında olan türbinler yapının enerji tüketiminin %11-15' ini karşılarken, Shanghai Tower (2015)' da bulunan 270 adet ve çok daha küçük mikro türbinler %10' unu karşılamaktadır. Yaklaşık aynı enerji tasarruf değerlerine sahip olan türbinler, gerek konumlanma, gerek işlev sürecinde yaşanan problemler açısından oldukça farklıdır. Büyük rüzgar türbini kullanılan yapılarda sonradan ortaya çıkan problemlerin hiçbiri Shanghai Tower' da yaşanmamıştır.

Yüksek yapılarda rüzgar türbini kullanımı ve tasarımı yanısıra strüktürde etkilemektedir. Hakim rüzgar yönü doğrultusunda yerleştirilen rüzgar türbinleri ve cephe yüzeyinde boşluk açma, formun incelenmesi ve rüzgar kesicilerin kullanılması yapının statik dengesine direnç gösteren çarpaz rüzgar yüklerini hafifletmekte ve yapı üst noktaları salınımını azaltmaktadır.

Tasarım halindeki rüzgar türbini entegreli yapılar için, bulunduğu bölge ve konuma yönelik bir takım testler yapılmaktadır. Bu testlerde bölgede var olan mevcut yapılar baz alınırken ilerde inşa edilecek yapıların varlığı, yükseklik limiti ve konumlanacağı bölge bilinemeyecek ve herhangi bir önlem alınamayacaktır.

Cephe sistemi ile bütünleşik küçük rüzgar türbinlerinin iki blok arası veya tepe noktasındaki büyük rüzgar türbinlerine kıyasla küçük türbinler performans, güvenlik ve gürültü açısından çok daha avantajlı olduğu ortaya konmuştur.

Mevcut rüzgar hızına göre hesaplanan ve uygun türbin seçilerek yüksek yapılara entegre edilen mekanizmalar, yeni inşa edilecek gökdelenler tarafından türbülans problemi dahil birçok problemle karşı karşıya kalacak, zamanla işlevselliği yitirilecektir. Bu nedenle düşük hızda çalışan mikrotürbinlerin kullanılması gerek işlevsel ömrü, gerek performansı açısından oldukça yarar sağlayacaktır. Yıl içerisinde, düşük hızda çalışan rüzgar türbinleri, belirli rüzgar hızı seviyesi üstünde çalışan diğer türbinlere oranla daha çok enerji üretebilecektir.

Rüzgar enerjisinden yararlanma ve performansa dayalı tasarım gerçekleştirebilmek adına, birtakım ön çalışmaların yapılması gerekmektedir. İlk olarak bu çalışmaya rüzgar potansiyelinin ölçülerek başlanması ve rüzgar gücünün değerlendirilmesi gerekmektedir. Rüzgar potansiyelinin ölçülebilmesi adına günlük ve yıllık rüzgar hızı dikkate alınmalıdır. Bölgesel olarak tayfun gibi bazı rüzgar olayları, rüzgar hızı potansiyelini etkilediği için yalnızca periyodik ölçümler tek başına yeterli olmayacaktır [75]. Bunun yanındaki tasarımsal etkenler detaylı şekilde ele alınmalıdır.

Bir diğer önemli konuda hakim rüzgar yönüdür. Binanın kütleli formu, türbin odaklı planlama ve konumlandırmalar hakim rüzgar yönü baz alınarak tasarlanmaktadır. Buna en iyi örnek Bahrain WFC yapısıdır. Yelken şeklindeki kuleler hakim rüzgar yönü referans alınarak konumlandırılmıştır. Rüzgar enerjisi kullanımı bağlamında, mimari tasarıma yön veren bir diğer örnek ise Pearl River kulesidir. Kule kütlesi cephelerinde yer alan yarıklara yerleştirilmiş rüzgar türbinleri, yapı formu önünde ve arkasında oluşan basınç farkından yararlanarak rüzgar hızını artırdığı gibi türbin performansını da artırmıştır. Kütle formunda açılan yarıkları sayesinde normal türbin konumlanmasına nazaran 15 kat daha elektrik enerjisi üretebilmektedir [75].

Rüzgar türbini entegreli tasarımlardan bir diğer örnekte Lighthouse Tower yapısıdır. Yapı cephesinin 1/4 'i rüzgar türbinlerine ayrılmış ve türbinler tepe noktasına konumlandırılmıştır. Yapı tasarım noktasında, artan yükseklikle potansiyel rüzgar enerjisinden yararlanmıştır.

Performansa dayalı rüzgar enerjisinden yararlanma bağlamındaki mimari tasarıma etkiyen Castle House örneği formlar olarak oldukça önem arz etmektedir. Yapı gövde ve tepe noktasında rüzgara bağlı tasarımda etkili teknikler kullanılmıştır. Yapı gövdesi, yüksek

yapılarda oluşabilecek salınım etkisini azaltmaya yönelik tasarlanmışken, tepe noktasında yer alan konkav form, rüzgar akışını adeta toparlayıp, türbinlere servis edebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Rüzgarın mimari tasarımında etkin rolü olmakla birlikte yapılar türbinler sayesinde ikonlaştırılıp, popüler hale gelebilmektedir. Da Vinci-Dynamic Tower örneğinde ise rüzgar türbinleri prefabrik katlar arasına adeta gizlenerek konunlandırılmış dışardan algılanmamaktadır. Bu noktada yüksek yapı tasarımlarında rüzgar türbini kullanılabilirliği bizlere ispatlanırken, dikkat çekici ve görsel bütünlüğü bozmayan formlarında uyarlanabileceğini göstermektedir.

Yüksek yapılardaki rüzgardan kaynaklı salınımlarda Dynamic Tower örneğinde prefabrik sistemlerin kullanılmasıyla çok daha alt seviyelere indirgenmiştir. Bu örnekte rüzgar türbini yanı sıra kat planları tavan ve cephelerinde kullanılan fotovoltaik paneller sayesinde performansı artırılmıştır.

Form bakımından kübik olarak tasarlanan COR Florida kulesi, dış kabuğu türbin kullanımı bakımından dikkat çekmektedir. Kabukta yer alan boşluklar rüzgar türbinleri ve fotovoltaik panellerle doldurulmuş olduğundan, rüzgar ve güneş enerjisinden faydalanılmak istenmiştir. Yapı kabuğu sayesinde güneşin istenmeyen ışınımından da arındırılmıştır.

Eski çağlarda kullanılan havalandırma sisteminin yer aldığı Burj Al Taqa kulesi, rüzgara bağlı tasarım adına, dikkat çekmektedir. Yapı yüksekliği boyunca merkez noktasından dairesel olarak yükselen atrium ve yapının tepe noktasındaki dikey rüzgar türbini, ortadoğudaki rüzgar kulelerini hatırlatmaktadır.

Yüksek yapılarda performansa dayalı tasarım ve yenilenebilir enerji kullanım olasılıkları üzerine yapı, form ilişkisi entegreli olarak çalışmaktadır. Yapılan proje ve uygulamalarda rüzgar enerjisinden yararlanma mimari tasarımlarla entegreli şekilde ilerlemektedir.

Rüzgar gücü yanı sıra, aktif yenilebilir enerji stratejilerinde kullanılan fotovoltaik paneller sayesinde enerji kazanımı gerçekleşmektedir. Tasarımsal olarak çift kabuk cephe sistemi, kat seviyelerinde açılan boşluklar ve genişletilmiş iç mekanlarla iç-dış hava katmanları

arasında tampon bölgelerde oluşturabilmektedir. Çift kabuk sayesinde güneş ışınlımlarına duyarlı otomatik gölgeleme elemanları günümüzde oldukça sık kullanılmaktadır.

Her yapının ısıtma, soğutma, aydınlatma gibi birçok enerji tüketen ihtiyaçları bulunmaktadır. Yüksek yapıların enerji ihtiyaçları, diğer yapılardan gerek kullanıcı sayısı, gerek ek hizmet ihtiyaçları doğrultusunda çok daha fazladır. Sıcak bölgelerde doğal havalandırma, belirli bir yüksekliğe kadar yapılabilmektedir. Yüzlerce metre uzunluğunda inşa edilmiş gökdelenlerin birçoğunda doğal havalandırma yapılamamaktadır.

Çevresel faktörler bir yapının ısıtma ve soğutma maliyetlerini %13'e kadar artırıp, azaltabilmektedir [41]. Bu maliyet havanın basıncı, yoğunluğu ve nemine göre artış gösterebilmektedir. Yapıdaki enerji kazanımı gölgelendirme elemanları ile %9'a kadar artabilmektedir [152].

Isıtma ve soğutma yüklerinin artış göstermesi yüksek yapının yer aldığı iklimin çok soğuk ve çok sıcak bölgede bulunmasıyla ilgilidir. Bu noktada sıcak ve nemli bölgede inşa edilen yüksek yapının üst katlarındaki sıcaklık değeri zemin katlarındaki sıcaklık değerinden düşüktür. Yükseldikçe ısı düşüş göstermekte ve soğutma yükleri kendiliğinden hafiflemekle birlikte tüketim maliyetleri azalmaktadır [152].

Bu çalışma, son yıllarda özellikle gelişmiş ya da gelişmekte olan ülkelerde alternatif bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisinden, yüksek yapılarda faydalanma stratejilerinin araştırarak, konunun mimari tasarım, yapısal ve bölgesel boyutlarının irdelenip, etkin performans yaklaşımları örnekler üzerinden analiz edilmiştir.



KAYNAKLAR

1. İnternet: Shahan, Z. (2014). *Renewable energy world, history of wind turbines*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.renewableenergyworld.com%2Fugc%2Fart%25E0%25A0%2580cles%2F2014%2F11%2Fh%25E0%25A0%2580story%25C2%25ADof%25C2%25ADw%25E0%25A0%2580nd%25C2%25ADturb%25E0%25A0%2580nes.html&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
2. Günel, M. ve Ilgın, E. (2008). Bir mimari tasarım kriteri olarak rüzgar enerjisinin kullanımı. *Ege Mimarlık Dergisi*, 65, 6-15.
3. Sharpe, T. (2010). *The role of aesthetics, visual and physical integration in building mounted wind turbines-an alternative approach*. UK: INTECH Open Access Publisher, 280-297.
4. Mangan, S. (2006). *Akıllı binalarda alt sistem değerlendirmesi: İstanbul örneği*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
5. Günel, M. ve Ilgın, E. (2007). The role of aerodynamic modifications in the form of tall buildings against wind excitation. *METU JFA*, 2(24), 2.
6. Manwell, J., McGowan, J. and Rogers, A. (2002). *Wind energy explained-theory, design and application*. New York: John Wiley & Sons.
7. Celayır, N. (2008). *Rüzgar enerjisinin dünyadaki gelişimi ve Türkiye'deki potansiyeli*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
8. İnternet: Charles, F. (2014). *History of wind power*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.wikiwand.com%2Fen%2FHistory_of_wind_power&date=2017-04-27, Son Erişim Tarihi: 27.04.2017.
9. Uçar, S. (2007). *Rüzgar enerjisiyle elektrik üretimi ve kayseri ili için çevresel etkilerinin değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
10. Yalçın, Y. (2010). *İstanbul Terkos Bölgesi'nde kurulması planlanan bir rüzgar enerjisi santrali için enerji üretim potansiyeli, kurulum maliyeti ve geri ödeme süresinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
11. İnternet: Krouse, P. (2011). *Charles Brush used wind power in house 120 years ago: Cleveland innovations*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fblog.cleveland.com%2Fmetro%2F2011%2F08%2Fcharles_brush_used_wind_power.html&date=2017-04-27, Son Erişim Tarihi: 27.04.2017.
12. İnternet: Eriksson, S. (2014). *Bernhoff Hans; Leijon Mats. Evaluation of Different Turbine Concepts for Wind Power*. URL:

- http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F222433921_Evaluation_of_different_turbine_conceps_for_wind_power&date=2017-04-27, Son Erişim Tarihi: 27.04.2017.
13. İnternet: Wordpress. (2013). *Smith Putnam Wind Turbine*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fscruss.com%2Fwordpress%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F03%2Fsmith_putnam.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 14. İnternet: Patel, S. (2011). *Changing Winds: The Evolving Wind Turbine*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.powermag.com%2Fchanging-winds-the-evolving-wind-turbine%2F&date=2017-04-27>, Son erişim tarihi: 27.04.2017.
 15. İnternet: medicine bowwind. (2009). *Site History*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.medicinebowwind.com%2FSite-History.html&date=2017-04-27>, Son erişim tarihi: 27.04.2017.
 16. İnternet: Duncan, E. (2016). *Roscoe hard times*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Froscoehardtimes.blogspot.com.tr%2F2012%2F04%2Froscoe-featured-in-weather-channel.html&date=2017-04-27>, Son Erişim Tarihi: 27.04.2017.
 17. İnternet: Global Wind Energy Council. (2016). *Rüzgar enerjisi istatistikleri*. http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.gwec.net%2Fwp-content%2Fuploads%2Fvip%2FGWEC_PRstats2016_EN_WEB.pdf&date=2017-04-28, Son erişim tarihi: 28.04.2017.
 18. İnternet: İngdemurtas. (2017). *Wind turbine size increase 1980-2010*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ingdemurtas.it%2Fwp-content%2Fuploads%2FWind_turbine_size_increase_1980-2010.png+&date=2017-04-28, Son erişim tarihi: 28.04.2017.
 19. İnternet: Renewable Energy. (2012). *City of houston's green building resource center wind turbine installation*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhoustonrenewableenergy.org%2Frenewable-energy%2Fwind-energy%2F&date=2017-06-20>, Son Erişim Tarihi: 03.02.2017.
 20. İnternet: Asergeev. (2014). *Wind Turbine*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.asergeev.com%2Fpictures%2Farchives%2F2014%2F1390%2Fjpeg%2F06.jpg&date=2017-04-28>, Son erişim tarihi: 28.04.2017.
 21. Kıyak, İ., Oral, B., ve Topuz, V. (2015). *Yerleşim bölgelerinde rüzgar enerjisi kullanımının yaygınlaştırılması bina montajlı rüzgar türbinleri*. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Enerji Kongresi, İstanbul, Türkiye.
 22. İnternet: Heidorn, K.C. (2005). *Winds of the city*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.islandnet.com%2F%7Esee%2Fweather%2Felements%2Fcitywind.htm&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.

23. Bektaş, A. (2013). *Binalarda rüzgar enerjisinin kullanımının farklı bölgeler açısından değerlendirilmesine yönelik bir çalışma: Toki Tarımköy Projesi örneği*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
24. İnternet: Building Toward Green Energy. (2012). Urban wind turbines URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fsites.google.com%2Fsite%2Fbuildingtowardgreenenergy%2Fleed-controversy%2Fbackground&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
25. İnternet: Boardman, B. (2007). *Home Truths: A low-carbon strategy to reduce UK housing emissions by 80% by 2050*. Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eci.ox.ac.uk%2Fresearch%2Fenergy%2Fdownloads%2Fboardman07-%2520hometruths.pdf&date=2017-05-02>, Son Erişim Tarihi: 02.05.2017.
26. Gaterell, M. R., McEvoy, M. E. (2005). The impact of climate change uncertainties on the performance of energy efficiency measures applied to dwellings. *Energy and buildings*, 37(9), 982-995.
27. Başbakanlık Personel ve Prensipler Genel Müdürlüğü (2002). *Rüzgar ölçümlerine ilişkin*. T.C. Başbakanlık, 24903 sayılı Resmi Gazete.
28. Köse, F., ve Özgören, M. (2006). Rüzgar enerjisi potansiyeli ölçümü ve rüzgar türbini seçimi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 46(551), 20-30.
29. Kazımov, T., Arslan Selçuk, S., ve Ilgın, H. (2017). Yüksek binalarda performatif tasarım: Shanghai Kulesi örneği. *Yapı Dergisi*, 428, 118-126.
30. Demir, N. (2011). *Yüksek yapılar ve sürdürülebilir enerji*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
31. İnternet: Rediff Business. (2015). *Top 10 wind power countries*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.rediff.com%2Fbusiness%2Fspecial%2Fpix-special-top-10-wind-power-countries%2F20150612.htm&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
32. İnternet: Ecochunk. (2013). *Japan to build the world's largest offshore wind farm to generate 1GW of power*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ecochunk.com%2F5626%2F2013%2F01%2F18%2Fjapan-to-build-the-worlds-largest-offshore-wind-farm-to-generate-1gw-of-power%2F&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
33. İnternet: Stokes, K. (2005). *Gray County Wind Farm*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.kansastravel.org%2Fgraycountywindfarm.htm&date=2017-05-17>, Son Erişim Tarihi: 17.05.2017.
34. İnternet: Gielen, D. (2012). Renewable energy technologies: Cost analysis series: Wind power. IRENA (International Renewable Energy Agency) Working Paper, 1(5). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.irena.org%2FDocu>

- mentDownloads%2FPublications%2FRE_Technologies_Cost_Analysis-WIND_POWER.pdf&date=2017-05-17, Son Erişim Tarihi: 17.05.2017.
35. From character to personality. International Energy Agency. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.iea.org%2FTextbase%2Ftechno%2Fetp%2Findex.asp&date=2017-05-17>, Son Erişim Tarihi: 17.05.2017.
 36. İnternet: Gipe, P. (2017). *Photos of building integrated and rooftop wind turbines*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.wind-works.org%2Fcms%2Findex.php%3Fid%3D539+&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
 37. İnternet: Holdworth, B. (2009). *Renewable energy focus*. <http://www.renewableenergyfocus.com/view/5381/options-for-micro-wind-generation-part-three/>, Son Erişim Tarihi: 15.03.2017.
 38. İnternet: Alamy Stock Photo. (2007). *CIS building with wind turbines Manchester*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.alamy.com%2Fstock-photo-cis-building-with-wind-turbines-manchester-2007-12530121.html&date=2017-06-20>, Son Erişim Tarihi: 04.05.2017.
 39. İnternet: e-architect (2008). *Bahrain world trade center: News update*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.e-architect.co.uk%2Fbahrain%2Fbahrain-wtc-wind-turbines&date=2017-06-20>, Son Erişim Tarihi: 05.04.2017.
 40. Hasol, D. (2007). Yüksek, daha yüksek, en yüksek. *Mimarist*, 24, 44-50.
 41. Semizoğlu, R. (2009). *Rüzgar türbinlerinin gökdelen mimarisine etkisinin tipolojik incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
 42. İnternet: Türk Dil Kurumu. (1986). *Bilim ve sanat terimleri ana sözlüğü*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tdk.gov.tr%2Findex.php%3Foption%3Dcom_bilimsanat%26arama%3Dkelime%26guid%3DTDK.GTS.596418bc60b178.66302508&date=2017-07-11 Son Erişim Tarihi: 11.07.2017.
 43. Taranath, B. (1988). *Structural analysis and design of tall buildings*. U.S.A: McGraw-Hill Book Company.
 44. İnternet: Nazilli, U. (2016). *Mısır Piramitleri hakkında bilmeniz gereken 20 sır*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.gzt.com%2Fhayat%2Fmısır-piramitleri-hakkında-bilmeniz-gereken-20-sır-2457278&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
 45. İnternet: From character to personality. Pieter Bruegel the Elder - The "Little" Tower of Babel. 2017-04-28. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F%5B%5BFile%3APieter+Bruegel+the+Elder+-+The+%22Little%22+Tower+of+Babel+->

+WGA03432.jpg%7Cthumb%7CPieter+Bruegel+the+Elder+-+The+%22Little%22+Tower+of+Babel+-+WGA03432%5D%5D&date=2017-04-28, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.

46. İnternet: Tropki. (2011). *Yakushi-ji in Nara*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftropki.com%2Fjapan%2Fkansai-region%2Fnara%2Fyakushi-ji&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
47. Sev, A. (1997). *Türkiye’de gerçekleştirilen yüksek konut binalarında perdeli sistem uygulama örneklerinin irdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
48. Sev, A. ve Özgen, A. (2009). Space efficiency in high-rise office buildings. *Metu Jfa* 26(2), 69-89.
49. Tuncer, H. (2015). *Düzlemsel homotetik hareketler altında yüksek yapılarda yapı rüzgar etkileşimi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
50. İnternet: Skyscraper Page. (2017). *Skyscraper diagrams*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fskyscraperpage.com%2F+&date=2017-06-21>, Son Erişim Tarihi: 03.01.2017.
51. İnternet: Media Cache. (2017). *Home injures william le baron*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fs-media-cache-ak0.pinimg.com%2F736x%2F11%2F58%2F57%2F115857d9ebf099d9533f1e2f128a2bbc.jpg+&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
52. İnternet: Amazonaws. (2017). *Eiffel Tower*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fabm-website-assets.s3.amazonaws.com%2Fpddnet.com%2Fs3fs-public%2FConstruction_tour_eiffel7.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
53. İnternet: Historians. (2017). *Monadnock Building*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.historians.org%2FImages%2FPerspectives%2FDecember%25202002%2FMonadnock.jpg&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
54. İnternet: Wikimedia. (2017). *View of Woolworth Building*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fcommons%2Fc%2Fc1%2FView_of_Woolworth_Building_fixed_crop.jpg&date=2017-04-28, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
55. İnternet: Thinglink. (2017). *Scale to Width*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fcdn.thinglink.me%2Fapi%2Fimage%2F624704948768079873%2F1240%2F10%2Fscaletowidth&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
56. İnternet: Pinimg. (2017). *Manhattan Chrysler Building*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fs-media-cache->

- ak0.pining.com%2Foriginals%2Fa2%2F48%2F12%2Fa24812a5afa192bfe3545efcb9d7ecf4.jpg+&date=2017-04-28, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
57. İnternet: Continental Guest Services. (2017). *Empire State Building*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.continentalguestservices.com%2Fimage%2Ftour%2Fclass%2Ffull%2Fid%2F73&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
 58. İnternet: Pining. (2017). *United Nation Secratarist Building*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fs-media-cache-ak0.pining.com%2Foriginals%2F77%2Faf%2F88%2F77af8889f291e1643822b4eacde4b958.jpg&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
 59. İnternet: Pining. (2017). *Lever House Building*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fs-media-cache-ak0.pining.com%2Foriginals%2F4b%2F75%2Ffd%2F4b75fdd4aacb838a5c2f4acb1105faa4.jpg&date=2017-04-28>, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
 60. İnternet: Skyscraper. (2017). *John Hancock Center*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fskyscraper.org%2FEXHIBITIONS%2FTEN_TOPS%2Fbydate%2F2.jpg&date=2017-06-21, Son Erişim Tarihi: 28.04.2017.
 61. İnternet: Public broad casting. (2017). *Public Broad Casting*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fmediad.publicbroadcasting.net%2Fp%2Fwcbu%2Ffiles%2F201702%2Fwillis_tower.jpg+&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 62. İnternet: Deviantart. (2017). *Petronas Tower*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.frepici.deviantart.com%2Fart%2FPetronas-Tower-174893970&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 63. İnternet: Science Publishing Group. (2017). *Commerzbank Tower*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Farticle.sciencepublishinggroup.com%2Fjournal%2F229%2F2291048%2Fimage014.jpg&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 64. İnternet: wikiarquitectura. (2017). *Taipei 101*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fen.wikiarquitectura.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F01%2FTaipei101.jpg&date=2017-06-21>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 65. İnternet: Wikimedia. (2017). *Torre Espacio Center*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F+https%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fcommons%2Fthumb%2F7%2F73%2FTorre_Espacio_%2528Madrid%2529_09a.jpg%2F230px-Torre_Espacio_%2528Madrid%2529_09a.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 66. İnternet: Adsttc. (2017). *Burj Khalifa Tower*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fimages.adsttc.com%2Fme>

dia%2Fimages%2F55e8%2F8efa%2F6c9d%2Fb59a%2F5300%2F002b%2Flarge_jpg%2F13146_2_burj10big.jpg%3F1441304295&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.

67. İnternet: Architects and Artisans. (2017). *Tour First Tower*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Farchitectsandartisans.com%2Fblog%2Fwp-content%2Fuploads%2Ftour-first%2FTour_First_Paris_01-ph_Hufton%252BCrow.jpg+&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
68. İnternet: Archiloverz. (2017). *Sapphire Tower*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Farchiloverz.org%2Fuploads%2Fposts%2F2015-11%2F1448905806_istanbul-sapphire.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
69. İnternet: Adamson Associates. (2017). *London Bridge Tower*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.adamson-associates.com%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fstyles%2Fproject_gallery_image%2Fpublic%2Fprojects%2Flondon-bridge-tower-04_1.jpg%3Fitok%3D-X_hvJMt+&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
70. İnternet: Archiloverz. (2017). *Mercury City Tower*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Farchiloverz.org%2Fuploads%2Fposts%2F2015-12%2F1450471257_mercury-tower.jpg%2520mercur%2520city&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
71. İnternet: Cloudinary. (2017). *One World Trade Center*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fres.cloudinary.com%2Fp-rotenders%2Fimage%2Fupload%2FForcsigd4ssmkp2kib1mxj.jpg&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
72. İnternet: World Architecture News. (2017). *Shanghai Tower*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.worldarchitecturenews.com%2Fproject%2Fuploaded_files%2F26247_main.jpg+&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
73. İnternet: Photorator. (2017). *Chow Tai Fook Centre*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fphotorator.com%2Fphotos%2Fimages%2Fchow-tai-fook-centre-towering-over-street-in-guangzhou-china--55531.jpg&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
74. İnternet: Pinimg. (2017). *Ping An Uluslararası Finance Center*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fs-media-cache-ak0.pinimg.com%2F236x%2F0e%2F35%2Fb0%2F0e35b08c036674738c294697416ada08.jpg&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
75. Sev, A. ve Başarır, B. (2011). *Geçmişten geleceğe enerji etkin yüksek yapılar ve uygulama örnekleri*. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye.
76. Osterhaus, W. K. (1993). *Office lighting: a review of 80 years of standards and recommendations*. In Industry Applications Society Annual Meeting, 1993. Conference Record of the 1993 IEEE, Toronto, Canada.

77. Oldfield, P., Trabucco, D. and Wood, A. (2008). *Five energy generations of tall buildings: Ahistorical analysis of energy consumption in high rise buildings*. CTBUH 8th World Congress Tall and Green: Typology for a Sustainable Urban Future, Dubai, United Arab Emirates.
78. Weiss, M. A. (1992). Skyscraper zoning: New York's pioneering role. *Journal of the American Planning Association*, 58(2), 201-212.
79. Willis, C. (1995). *Form follows finance: Skyscrapers and skylines in New York and Chicago*. New York: Princeton Architectural.
80. Schittich, C., Staib, G., Balcow, D., Schuler, M., and Sober, W. (2007). *Glass Construction Manual* (2nd Edition). Basel: Birkhäuser Verlag AG.
81. Arnold, D. (1999). Air conditioning in office buildings after World War II. *Ashrae Journal*, 41(7), 33.
82. Stein, R. (1977). Observations on energy use in buildings. *Journal of Architectural Education*, 30(3), 36-41.
83. Aston, A. (2007). A Skyscraper Banking on Green. *Business Week*, 28, 21-23.
84. Sklair, L. (2006). Iconic architecture and capitalist globalization. *City*, 10(1), 21-47.
85. İnternet: Architecturalist. (2017). *Mimarlık, yüksek yapılar, çeşitli binalar ve kentsel yerleşim projeleri*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.architecturelist.com+%&date=2017-06-21>, Son Erişim Tarihi: 20.01.2017.
86. Kırkan, S. (2005). *Çok katlı yapıların tasarımına etki eden faktörlerin irdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
87. İnternet: Skyscraper center. (2016). *Council on Tall Buildings and Urban Habitat*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fskyscrapercenter.com%2Fyear-in-review%2F2016&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
88. İnternet: Wikimedia. (2017). *Hong Kong City Silhouette*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fs-media-cache-ak0.pinimg.com%2F736x%2F51%2F2a%2F95%2F512a95762af1c0cd1cc30d8e07ff098e.jpg&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
89. İnternet: Wikimedia. (2017). *New York City Silhouette*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F+https%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fcommons%2F%2Fc7%2FNew_York_Skyline_at_Twilight_Hour_%252826741311086%2529.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
90. Deviantart. (2017). *Burj Khalifa Building*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpre14.deviantart.net%2F9094%2Fth%2Fpre%2Fi%2F2012%2F102%2Ff%2Ff%2Fburg_khalifa_dubai_by_grosvenor_photos-d4vvun3.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.

91. İnternet: wikimedia. (2017). *Turning Torso Building*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fcommons%2Fthumb%2Fa%2Faf%2FTurning_Torso_3.jpg%2F240px-Turning_Torso_3.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
92. İnternet: Wikimedia. (2017). *Capital Gate Building*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fen%2Fe%2Fe5%2FCapital_Gate.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
93. İnternet: Huring. (2017). *Burj el Arab Hotel*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fi.huring.com%2Fi%2Fhurriyet%2F75%2F770x0%2F56ccc469c03c0e0f1047023d&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
94. Brad, C.C. and Rick, R.D. (2008). *Integrating wind energy into the design of tall buildings-a case study of the houston discovery tower*. Europe: In Wind Power, 1-11.
95. Petrini, F., and Ciampoli, M. (2012). Performance-based wind design of tall buildings. *Structure and Infrastructure Engineering*, 8(10), 954-966.
96. Aysu, A. (1999). *Yüksek bina taşıyıcı sistemleri*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, İstanbul.
97. İnternet: Pinimg. (2017). *Pearl River Tower*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fs-media-cache-ak0.pinimg.com%2Foriginals%2Ff2%2Faf%2F0e%2Ff2af0ec5d2c1606b03ce620ada75f0e8.jpg+&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
98. İnternet: Adsttc. (2017). *Burj Khalifa Tower*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.burjkhalifa.ae%2Fen%2FImages%2FBurjKhalifa-02982_new_tcm186-85702.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
99. Smith, R. F. & Killa, S. (2007). Bahrain World Trade Center (BWTC): the first large-scale integration of wind turbines in a building. *The Structural Design of tall and Special Buildings*, 16(4), 429-439.
100. İnternet: Staticflickr. (2017). *Bahrain World Trade Center*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.hsreat.com%2Fthreads%2F%25D8%25B5%25D9%2588%25D8%25B1-%25D9%2588-%25D9%2585%25D8%25B9%25D9%2584%25D9%2588%25D9%2585%25D8%25A7%25D8%25AA-%25D8%25B9%25D9%2586-%25D9%2585%25D8%25B1%25D9%2583%25D8%25B2-%25D8%25A7%25D9%2584%25D8%25A8%25D8%25AD%25D8%25B1%25D9%258A%25D9%2586-%25D8%25A7%25D9%2584%25D8%25AA%25D8%25AC%25D8%25A7%25D8%25B1%25D9%258A-%25D8%25A7%25D9%2584%25D8%25B9%25D8%25A7%25D9%2584%25D&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.

101. İnternet: Mistikovska. (2017). *Bahrain Tower*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mistikovska.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F02%2Fbahrain.jpg&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
102. İnternet: Architect. (2017). *Bahrain Tower Elevation*. *E-architect*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.e-architect.co.uk%2Fimages%2Fjpgs%2Fbahrain%2Fbahrain_world_trade_centre_at_kins200209.jpg+&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
103. Frechette, R. & Gilchrist, R. (2008). *Towards zero energy, a case study: Pearl River Tower, Guangzhou, China*. In CTBUH: Proceedings of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat's 8th World Congress, Dubai, United Arab Emirates.
104. SOM. (2014). *SOM Achitecture Pearl River*. Chicago: AEI Professional Project Awards.
105. Tümbaş, H., Günel, M., ve Ay, B. (2015). *Studies On Tall Buildings design Considerations Pearl River Tower*. Ankara: BS 536 Middle East Technical University Department of Architecture.
106. Boyer, J., Arvinder, D. (2007). *Designing for performance: a case study in the applied science of an environmentally responsive high-rise design*. *Proceedings: Building Simulation 2007*. Chicago, USA: Skidmore, Owings and Merrill, 1720-1725.
107. Tomlinson, R., Baker, W., Leung, L., and Chien, S. (2014). Case study: Pearl River Tower. *CTBUH Journal*, 14(2), 14.
108. Mertens, S. (2006). *Wind Energy in the Built Environment*. Hollanda: Delft University of Technology, Doktora tezi, Technische Universiteit Delft Werktuigkundig Ingenieur En Natuurkundig Ingenieur, Hollanda.
109. Atkins. (2010). *Lighthouse tower with low-carbon footprint*. Dubai: UAE.
110. İnternet: Atkins. (2017). *The Lighthouse Dubai*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fsrc.lafargeholcim-foundation.org%2Fimg%2F97a618b9-7e0f-4bdc-89fc-74a02e2029fd%2FA08AMEbr-011f.jpg+&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
111. Holcim, A. (2009). *Green giant Lighthouse tower with low-carbon footprint*. Dubai: Global Holcim Awards finalist.
112. Evelyn, L. (2007). *The Lighthouse: Dubai's First Low Carbon Commercial Tower. Inhabitat*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.inhabitat.com%2Fthe-lighthouse-dubais-1st-low-carbon-commercial-tower%2F&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
113. İnternet: Lafargeholcim Foundation. (2017). *The Lighthouse Dubai*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fsrc.lafargeholcim->

foundation.org%2Fimg%2Ffc8cfb48-817f-46de-b983-7242276767db%2Fh%28true%29%2Fc%28738-1.3333333333333333-100-0.0253936008125952-0%29%2Fa08amebr-007f.jpg&date=2017-06-21, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017

114. Smith, R., & Trifilova, A. (2009). *Green building: case study of Atkins*. Engineering sustainable design in Dubai.
115. İnternet: Welch, A. (2008). *The Lighthouse Dubai*. E-architect. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.e-architect.co.uk%2Fdubai%2Fdifc-lighthouse&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
116. İnternet: Hamiltons Architecture. (2016). *Castle House*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hamiltonsarchitects.com%2F&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
117. İnternet: National Geographic. (2017). *Castle House*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fintelligenttravel.nationalgeographic.com%2Ffiles%2F2007%2F09%2Fcastleaerial_2.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
118. İnternet: London Se1. (2009). *Strata Tower at Elephant & Castle Topped Out*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.london-se1.co.uk%2Fnews%2Fview%2F3933&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
119. İnternet: Andrews, K. (2007). *Castle House skyscraper makes its own electricity*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Finhabitat.com%2Fcastle-house-eco-skyscraper%2F&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
120. İnternet: science20. (2017). *Dynamic Tower*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.science20.com%2Ffiles%2Fdavid%2520fisher%2520dynamic%2520tower.jpg+&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
121. İnternet: Dynamic architecture. (2017). *Da Vinci Tower*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dynamicarchitecture.net%2Fhome.html&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
122. İnternet: On Purpose Magazine. (2017). *Dynamic Tower Floor Structure*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fonpurposemagazine.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F03%2Fdynamic_2.jpg%3Fw%3D192+&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
123. Fisher, D. (2007). Dinamik Mimari, Dubai Döner Kulesi. *Dizayn Konstrüksiyon Dergisi*, 5(2), 25-28.
124. İnternet: Octogon. (2017). *Dynamic Tower Conceptual Design*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.octogon.hu%2Ffile>

- s%2F1%2Fdynamic-towers-537.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
125. İnternet: 1 bp Blogspot. (2017). *The Rotating Tower*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F1.bp.blogspot.com%2F-6MiMO7ZzhU8%2FUV9ie-UfnPI%2FAAAAAAAAAABc%2F1TfPJL23yP4%2Fs1600%2FSolar%2Benergy%2B%252526%2Bwind%2Benergy.jpg+&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 126. İnternet: Skyscraper Page. (2017). *Da Vinci Tower*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fskyscraperpage.com%2Fcities%2F%3FbuildingID%3D62055&date=2017-05-01> Son erişim tarihi: 01.05.2017
 127. İnternet: Wide World of Geometry. (2017). *Dynamic Tower Interior*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwideworldofgeometry.pbworks.com%2F%2Fdynamic%2520tower%2520interior-1.jpg&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 128. İnternet: Inhabitat. (2017). *Dynamic Tower*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhttp%3A%2F%2Fassets.inhabitat.com%2Fwp-content%2Fblogs.dir%2F1%2Ffiles%2F2017%2F02%2Fdynamic-architecturelead-889x519.jpg&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 129. İnternet: e-architect. (2017). *Anara Tower*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.e-architect.co.uk%2Fimages%2Fjpgs%2Fdubai%2Fanara_tower_atkins211108_2.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 130. Tosun, S. (2010). *Bütünleşik mimarlık sistemleri rüzgar türbinlerinin yüksek binalar ile bütünleşik tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
 131. İnternet: 10 Aeccafe. (2017). *Cor Florida*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww10.aeccafe.com%2Fblogs%2Farch-showcase%2Ffiles%2F2012%2F02%2FCor_3.jpg&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 132. İnternet: Inhabitat. (2017). *Burj Al Taqa*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fassets.inhabitat.com%2Ffiles%2Fburjaltaqas.jpg+&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 133. İnternet: Inhabitat. (2017). *media-cache. Middle east wind turbine*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fs-media-cache-ak0.pinimg.com%2Foriginals%2F58%2F8a%2F6d%2F588a6d67fd1d34ad38d288062b6ef8a4.jpg+&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
 134. Lau, G. L. (2015). *Sustainable High-rise Construction in Shanghai*. Master Thesis, Instituto Superior Técnico, Lisbon.

135. İnternet: Willys, T. (2017). *Shanghai Park Hotel*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.willysthomas.net%2FParkHotelShanghai.jpg&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
136. İnternet: Media 1 Britannica. (2017). *Jin Mao Build*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fmedia1.britannica.com%2Feb-media%2F64%2F117764-004-1B806A3D.jpg&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
137. İnternet: Pining. (2017). *Shanghai World Financial Center*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fs-media-cache-ak0.pining.com%2F736x%2F7d%2Fce%2F95%2F7dce956c086f89ba29096827f742a6fd.jpg+&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
138. İnternet: İnhabitat. (2017). *Shanghai Tower Gensler*. 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=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
139. İnternet: Archdaily. (2017). *Shanghai Tower*: URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.archdaily.com%2F229454%2Fin-progress-shanghai-tower-gensler+&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
140. İnternet: Gensler. (2017). *Shanghai Tower*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdu.gensler.com%2Fvol6%2Fshanghai-tower%2F%23%2Fbuilding-facts&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
141. Nichols, A. (2014). *Presentation-case study of Shanghai Tower*. ARCH 631 Applied Arch Structure.
142. Xia, J., Poon, D., & Mass, D. (2010). Case study: Shanghai Tower. *CTBUH Journal*, 12-18.
143. İnternet: König, G. (2017). Shanghai Tower Elevator System Drawings And Illustrations by Gensler. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdesigned-to-sell-homestaging.blogspot.com.tr%2F2012%2F08%2Fshanghai-tower-elevator-system-drawings.html&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
144. Zhaoa, X., Ding, J. M., & Suna, H. H. (2011). Structural design of Shanghai Tower for wind loads. *Procedia Engineering*, 14, 1759-1767.
145. İnternet: Irwin, (2015). *Wind Issues in the Design of Tall Buildings*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpeer.berkeley.edu%2Ftbi%2Fwp-content%2Fuploads%2F2010%2F09%2FIrwin.pdf&date=2017-05-01>, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
146. Davies, R. (2009). *Wind-induced Structural Response Studies on Shanghai Tower*. RWDI, Irwin Inc.

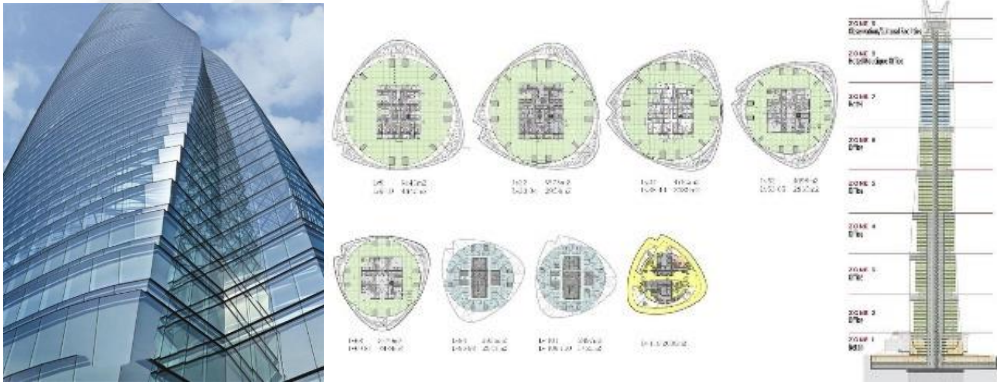
147. İnternet: The Architectural Review. (2017). *Shanghai Tower*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.architectural-review.com%2Fpictures%2F2000x2000fit%2F9%2F1%2F3%2F1456913_Shanghai_tower_gensler06&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
148. İnternet: Skyscraper. (2017). *Shanghai Tower Wind Turbine*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.skyscraper.org%2FEXHIBITIONS%2FTEN_TOPS%2Fstturbines.JPG&date=2017-05-01, Son Erişim Tarihi: 01.05.2017.
149. Sribi. (2014). *Super Tall Green Building Construction Supervision Control Technology. Shanghai*. Shanghai Research Institute of Building Science, Shanghai Shi, Çin.
150. Ali, M. M., & Armstrong, P. J. (2008, March). *Overview of sustainable design factors in high-rise buildings*. In Proc. of the CTBUH 8th World Congress, Dubai, United Arab Emirates.
151. Shams, S., Mahmud, K., & Al-Amin, M. (2011). A comparative analysis of building materials for sustainable construction with emphasis on CO₂ reduction. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 10(4), 364-374.
152. Leung, L., & Weismantle, P. (2008). *Sky-sourced sustainability—how super tall buildings can benefit from height*. In Proc. of the CTBUH 8th World Congress, Dubai, United Arab Emirates.



EK-1. Shanghai Tower

Bina Kimlik Kartı	
Bina Adı	Shanghai Tower
Yeri/Konumu	Çin / Shanghai
Yapım Yılı	2015
Mimarı	Gensler Tasarım
İşlevi	Karma
Kat Yüksekliği	632 m
Kat Sayısı	128
Taban Alanı	380.000 m2
İklim Bölgesi	Deniz Muson İklimi
Rüzgar Gücüne Dayalı Veriler	Yapının Tüm Elektrik Giderinin %10' u rüzgar gücünden karşılanmaktadır.
	

EK-1. (devam) Shanghai Tower

Tasarım Yaklaşımları			
Rüzgara Bağlı Performansa Dayalı Tasarım			
	Hakim Rüzgar Yönüne Bağlı Tasarım	-	
	Rüzgar Gücünü Artırmaya Yönelik Tasarım	-	
	Rüzgar Gücünü Azaltmaya Yönelik Tasarım	✓	- Formsal tasarımıyla rüzgar yükü %24 oranında azaltılmıştır
Planda Yapı Formlarının Belirlenmesi Tasarım			
	Tekil Kütle	✓	
	Çoklu Kütle	-	
Rüzgara Bağlı Formsal Tasarım			
	Yükseldikçe İncelen Form	✓	- %55' lik daralma açısı ile incelmektedir.
	Bir Eksen Etrafında Spiral Dönen Form	✓	- Eksenel olarak 120 derece döndürülmüştür.
	Değişken Kesitli Form	✓	- 9 farklı plan tipine sahiptir.
	Eğrisel Form	✓	- Daralma ve Dönme etkisi ile eğrilme söz konusudur.
			

EK-1. (devam) Shanghai Tower

Yapı İskeleti			
	Betonarme	√	- Core adlı betonarme yapının merkezinde yer almaktadır.
	Çelik	√	- Çelik strüktür, core adlı betonarmeye takviye olmakla birlikte dış kabuğu oluşturmaktadır.
	Karma	√	- Yapıda betonarme kolonlar ve çelik kafes kullanımları söz konusudur.
Rüzgara Bağlı Strüktürel ve Aerodinamik Tasarım			
	Tek Kabuk	-	
	Çift Kabuk	√	- Dış kabuk çelik sistemlerden oluşurken, iç kabuk betonarmeden oluşmaktadır.
	Aerodinamik Tasarım	√	- Yapıda yumuşatılmış dış kabuk ve kıvrımlı morfolojik tasarım söz konusudur.
	Gözenek ve Boşluk Bırakma	-	
			

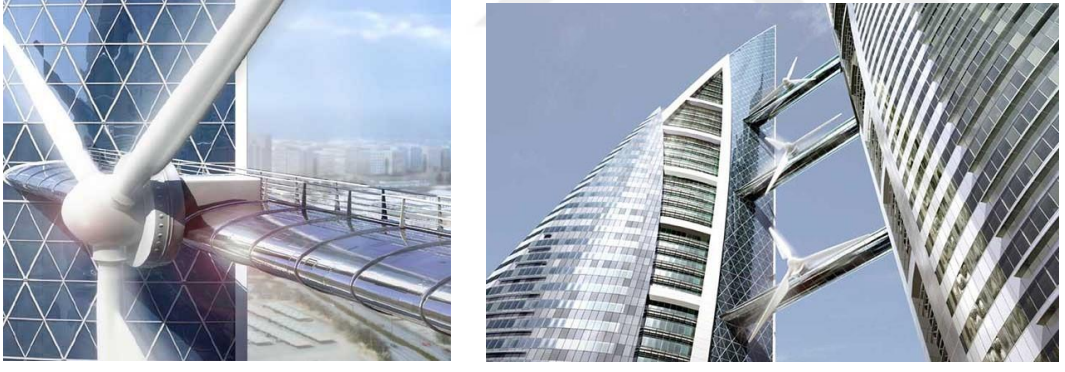
EK-1. (devam) Shanghai Tower

Rüzgara Bağlı Enerji Kazanım Yaklaşımları				
Türbin Entegrasyonu				
	Tepe Noktasına Konumlanma	-		
	Tepe Noktasına Yakın Konumlanma	✓		- Yatay türbinler kulenin bitiş parapetine yakın bölgeye konumlandırılmıştır.
	Zeminden Yükselen Konumlanma	✓		- Dikey türbinler 565. ve 569. m lere konumlandırılmıştır.
Türbin Çeşit ve Sayı ve Kazanılan Enerji				
Çeşit	Yatay Türbin	✓		- 270 Adet yatay türbin - 54 Adet dikey türbin
	Dikey Türbin	✓		
	Özel Türbin	-		
Yıllık Kazanılan Enerji				- 350.000 kWh
  				

EK-2. Bahrain World Trade Center Tower

Bina Kimlik Kartı	
Bina Adı	Bahrain World Trade Center Tower
Yeri/Konumu	Bahreyn / Manama
Yapım Yılı	2008
Mimarı	Atkins Tasarım
İşlevi	İş Merkezi
Kat Yüksekliği	240 m
Kat Sayısı	50
Taban Alanı	88.617 m ²
İklim Bölgesi	Sıcak iklim
Rüzgar Gücüne Dayalı Veriler	Yapının tüm elektrik giderinin %11-15' ini rüzgar enerjisinden karşılamaktadır.
	

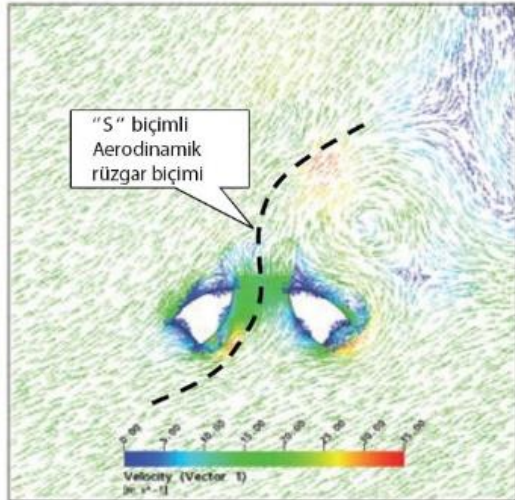
EK-2. (devam) Bahrain World Trade Center Tower

Rüzgara Bağlı Tasarım Yaklaşımları			
Rüzgara Bağlı Performansa Dayalı Tasarım			
	Hakim Rüzgar Yönüne Bağlı Tasarım	√	- Körfezden gelen esintiyi yapının önünde pozitif, arkasında negatif basınç oluşturacak biçimde rüzgarı iki kule arasına çekmesi amaçlanmıştır.
	Rüzgar Gücünü Artırmaya Yönelik Tasarım	-	
	Rüzgar Gücünü Azaltmaya Yönelik Tasarım	√	
Planda Yapı Formlarının Belirlenmesi Tasarım			
	Tekil Kütle	√	
	Çoklu Kütle	-	
Rüzgara Bağlı Formsal Tasarım			
	Yükseldikçe İncelen Form	√	
	Bir Eksen Etrafında Spiral Dönen Form	-	
	Değişken Kesitli Form	√	- Kat planları yükseldikçe daralmaktadır.
	Eğrisel Form	-	
			

EK-2. (devam) Bahrain World Trade Center Tower

Yapı İskeleti			
	Betonarme	-	
	Çelik	-	
	Karma	√	- Yapıda betonarme ve çelik kullanımları söz konusudur.
Rüzgara Bağlı Strüktürel ve Aerodinamik Tasarım			
	Tek Kabuk	√	
	Çift Kabuk	-	- Dış kabuk çelik sistemlerden oluşurken, iç kabuk betonarmeden oluşmaktadır.
	Aerodinamik Tasarım	√	- Rüzgara bağlı olarak kütleli yerleşim söz konusudur.
	Gözenek ve Boşluk Bırakma	√	- Kütleyi iki ayrı bölüme ayırarak boşluk oluşturulmuştur.

EK-2. (devam) Bahrain World Trade Center Tower

Rüzgara Bağlı Enerji Kazanım Yaklaşımları				
Türbin Entegrasyonu				
	Tepe Noktasına Konumlanma	-		
	Tepe Noktasına Yakın Konumlanma	-		
	Zeminden Yükselen Konumlanma	√		
Türbin Çeşit ve Sayı ve Kazanılan Enerji				
Çeşit	Yatay Türbin	√	- 3 Adet 39 m çapında yatay eksenli rüzgar türbini bulunmaktadır .	
	Dikey Türbin	-		
	Özel Türbin	-		
Yıllık Kazanılan Enerji			- 1100 mWh – 1300 mWh enerji kazanımı bulunmaktadır.	
				

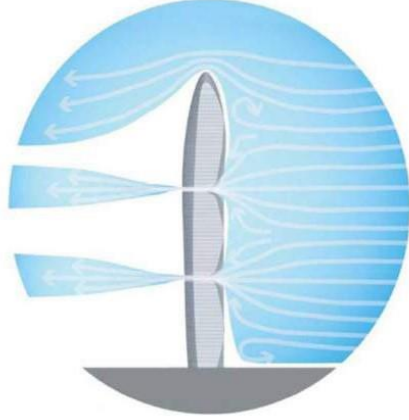
EK-3. Pearl River Tower

Bina Kimlik Kartı	
Bina Adı	Pearl River Tower
Yeri/Konumu	Çin / Guangzhou
Yapım Yılı	2011
Mimarı	SOM Tasarım
İşlevi	Ofis – Ticaret Merkezi
Kat Yüksekliği	309.4 m
Kat Sayısı	76
Taban Alanı	214.000 m ²
İklim Bölgesi	Sıcak ve Ilıman İklim
Rüzgar Gücüne Dayalı Veriler	-
	

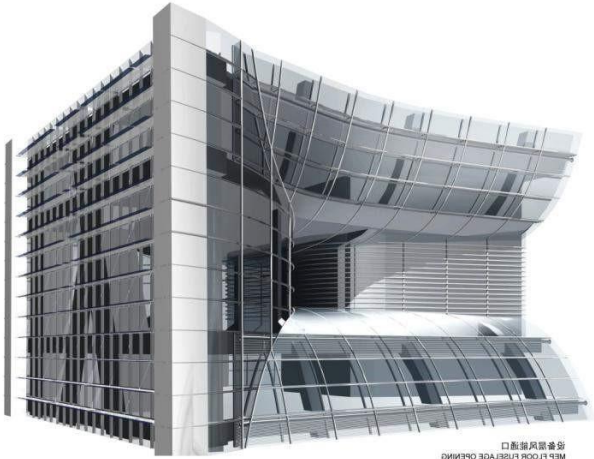
EK-3. (devam) Pearl River Tower

Tasarım Yaklaşımları			
Rüzgara Bağlı Performansa Dayalı Tasarım			
	Hakim Rüzgar Yönüne Bağlı Tasarım	✓	- Dikdörtgen planı ile şehrin ortogonal olan planı göz önünde bulundurulmuştur.
	Rüzgar Gücünü Artırmaya Yönelik Tasarım	✓	- Cephede açılan boşluklardan akan rüzgar hızı 2,5 kat hızlandırmıştır.
	Rüzgar Gücünü Azaltmaya Yönelik Tasarım	✓	- Cephede açılan boşluklarla, yüzeye etki eden rüzgar yükü hafifletilmiştir.
Planda Yapı Formlarının Belirlenmesi Tasarım			
	Tekil Kütle	✓	
	Çoklu Kütle	-	
Rüzgara Bağlı Formsal Tasarım			
	Yükseldikçe İncelen Form	✓	
	Bir Eksen Etrafında Spiral Dönen Form	✓	
	Değişken Kesitli Form	✓	
	Eğrisel Form	✓	- Heykelimsi formda tasarlanmıştır.
			

EK-3. (devam) Pearl River Tower

Yapı İskeleti			
	Betonarme	-	
	Çelik	-	
	Karma	√	- Yapıda betonarme ve çelik sistemlerin kullanımı söz konusudur.
Rüzgara Bağlı Strüktürel ve Aerodinamik Tasarım			
	Tek Kabuk	√	
	Çift Kabuk	-	- Dış kabuk çelik sistemlerden oluşurken, iç kabuk betonarmeden oluşmaktadır.
	Aerodinamik Tasarım	√	- Yapıda yumuşatılmış dış kabuk ve kıvrımlı morfolojik tasarım söz konusudur.
	Gözenek ve Boşluk Bırakma	√	- Yapıda 120. Ve 210. m' lerde 4 farklı kısımda boşluk bırakılmıştır.
 			

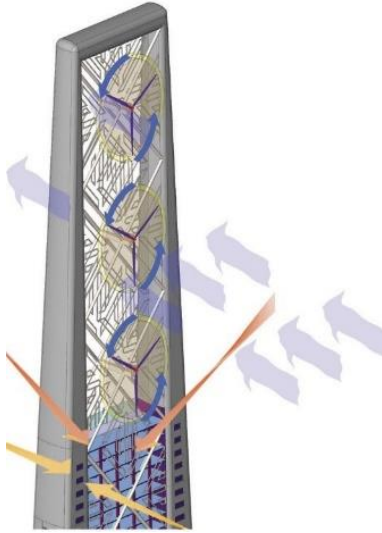
EK-3. (devam) Pearl River Tower

Rüzgara Bağlı Enerji Kazanım Yaklaşımları			
Türbin Entegrasyonu			
	Tepe Noktasına Konumlanma	-	
	Tepe Noktasına Yakın Konumlanma	-	- Yatay türbinler kulenin bitiş parapetine yakın bölgeye konumlandırılmıştır.
	Zeminden Yükselen Konumlanma	√	- 120. ve 210.m yüksekliklerde türbin konumlandırılmıştır.
Türbin Çeşit ve Sayı ve Kazanılan Enerji			
Çeşit	Yatay Türbin	-	- 4 Adet dikey türbin bulunmaktadır.
	Dikey Türbin	√	
	Özel Türbin	-	
Yıllık Kazanılan Enerji		-	
 			

EK-4. The Lighthouse Tower

Bina Kimlik Kartı	
Bina Adı	The Lighthouse Tower (Konsept Proje)
Yeri/Konumu	Dubai
Yapım Yılı	-
Mimarı	Atkins Tasarım
İşlevi	Ofis
Kat Yüksekliği	402
Kat Sayısı	64
Taban Alanı	84.000 m2
İklim Bölgesi	Çöl İklimi
Rüzgar Gücüne Dayalı Veriler	Yapının tüm elektrik ihtiyacının %6' sının rüzgar enerjisinden karşılanacağı tahmin edilmektedir.
	

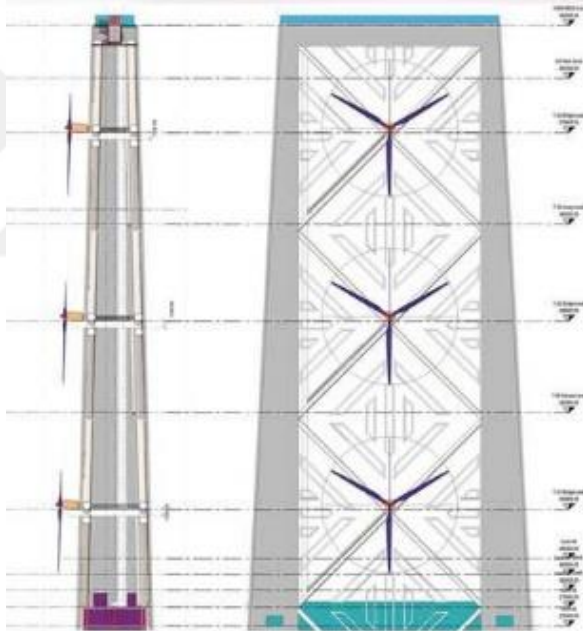
EK-4. (devam) The Lighthouse Tower

Tasarım Yaklaşımları			
Rüzgara Bağlı Performansa Dayalı Tasarım			
	Hakim Rüzgar Yönüne Bağlı Tasarım	√	- Rüzgar yönüne yönelik konumlandırılması söz konusudur.
	Rüzgar Gücünü Artırmaya Yönelik Tasarım	-	
	Rüzgar Gücünü Azaltmaya Yönelik Tasarım	√	- Kütle iki farklı birimden oluşmaktadır.
Planda Yapı Formlarının Belirlenmesi Tasarım			
	Tekil Kütle	-	
	Çoklu Kütle	√	- 10. kattan itibaren köprü ile bağlantılı haldedir.
Rüzgara Bağlı Formsal Tasarım			
	Yükseldikçe İncelen Form	√	- Yükseldikçe daralan kat planları söz konusudur.
	Bir Eksen Etrafında Spiral Dönen Form	-	
	Değişken Kesitli Form	√	
	Eğrisel Form	-	
			

EK-4. (devam) The Lighthouse Tower

Yapı İskeleti			
	Betonarme	-	
	Çelik	-	
	Karma	√	- Yapıda betonarme ve çelik sistemlerin kullanımı söz konusudur.
Rüzgara Bağlı Strüktürel ve Aerodinamik Tasarım			
	Tek Kabuk	√	
	Çift Kabuk	-	- Dış kabuk çelik sistemlerden oluşurken, iç kabuk betonarmeden oluşmaktadır.
	Aerodinamik Tasarım	-	
	Gözenek ve Boşluk Bırakma	√	- Yapıda geniş açıklığın bulunduğu kütleli boşluk kullanımı söz konusudur.
			

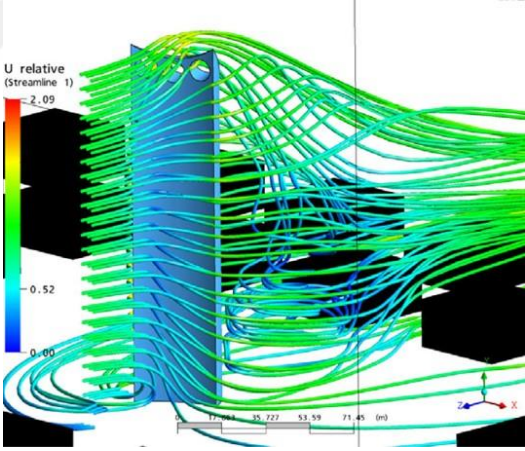
EK-4. (devam) The Lighthouse Tower

Rüzgara Bağlı Enerji Kazanım Yaklaşımları			
Türbin Entegrasyonu			
	Tepe Noktasına Konumlanma	√	- 300 m den 402 m' ye kadar türbin konumlanması söz konusudur.
	Tepe Noktasına Yakın Konumlanma	-	- Yatay türbinler kulenin bitiş parapetine yakın bölgeye konumlandırılmıştır.
	Zeminden Yükselen Konumlanma	-	- Dikey türbinler 565. ve 569. m lere konumlandırılmıştır.
Türbin Çeşit ve Sayı ve Kazanılan Enerji			
Çeşit	Yatay Türbin	√	- 3 Adet yatay türbin bulunmaktadır.
	Dikey Türbin	-	
	Özel Türbin	-	
Yıllık Kazanılan Enerji		-	
			

EK-5. Castle House London Tower

Bina Kimlik Kartı	
Bina Adı	Castle House London Tower
Yeri/Konumu	İngiltere / Londra
Yapım Yılı	2010
Mimarı	Hamilton Tasarım
İşlevi	Konut
Kat Yüksekliği	147 m
Kat Sayısı	43
Taban Alanı	25.000 m ²
İklim Bölgesi	Sıcak ve ılıman iklim
Rüzgar Gücüne Dayalı Veriler	Yapının tüm elektrik giderinin %8' i rüzgar enerjisinden karşılanmaktadır.
	

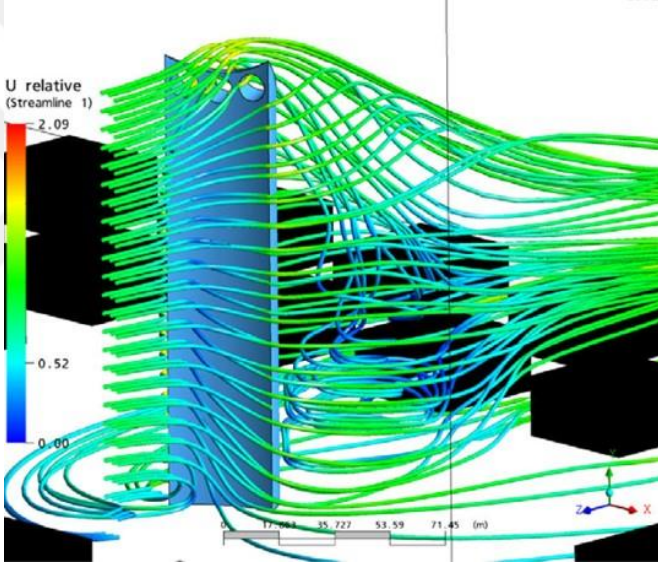
EK-5. (devam) Castle House London Tower

Tasarım Yaklaşımları			
Rüzgara Bağlı Performansa Dayalı Tasarım			
	Hakim Rüzgar Yönüne Bağlı Tasarım	✓	- Hakim rüzgar yönü referans alınmıştır.
	Rüzgar Gücünü Artırmaya Yönelik Tasarım	✓	- Konkav form izleyen yapı adeta rüzgarı taşıyıp, toplayıp ardından türbinlere servis edici özellikte tasarlanmıştır.
	Rüzgar Gücünü Azaltmaya Yönelik Tasarım	✓	- Öne doğru sivrileşen hatlarıyla gelen rüzgarı adeta ikiye ayırıp, basıncın azalması sağlanmıştır.
Planda Yapı Formlarının Belirlenmesi Tasarım			
	Tekil Kütle	✓	
	Çoklu Kütle	-	
Rüzgara Bağlı Formsal Tasarım			
	Yükseldikçe İncelen Form	✓	
	Bir Eksen Etrafında Spiral Dönen Form	-	
	Değişken Kesitli Form	-	
	Eğrisel Form	-	
			

EK-5. (devam) Castle House London Tower

Yapı İskeleti			
	Betonarme	-	
	Çelik	-	
	Karma	√	- Yapıda betonarme ve çelik sistemlerin kullanımı söz konusudur.
Rüzgara Bağlı Strüktürel ve Aerodinamik Tasarım			
	Tek Kabuk	√	
	Çift Kabuk	-	
	Aerodinamik Tasarım	√	- Yapıda yumuşatılmış dış kabuk ve kıvrımlı morfolojik tasarım söz konusudur.
	Gözenek ve Boşluk Bırakma	-	
			

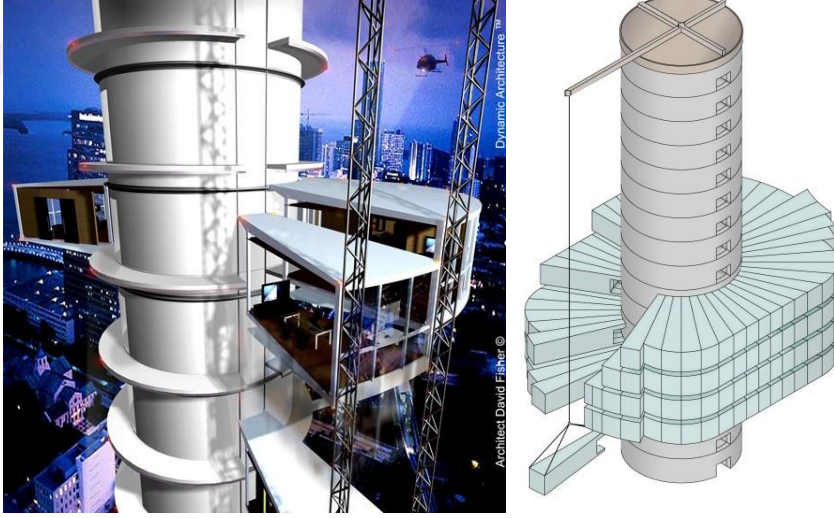
EK-5. (devam) Castle House London Tower

Rüzgara Bağlı Enerji Kazanım Yaklaşımları			
Türbin Entegrasyonu			
	Tepe Noktasına Konumlanma	√	- Zemine paralel şekilde konumlandırılmıştır.
	Tepe Noktasına Yakın Konumlanma	-	
	Zeminden Yükselen Konumlanma	-	
Türbin Çeşit ve Sayı ve Kazanılan Enerji			
Çeşit	Yatay Türbin	√	- 3 Adet yatay türbin
	Dikey Türbin	-	
	Özel Türbin	-	
Yıllık Kazanılan Enerji			
			

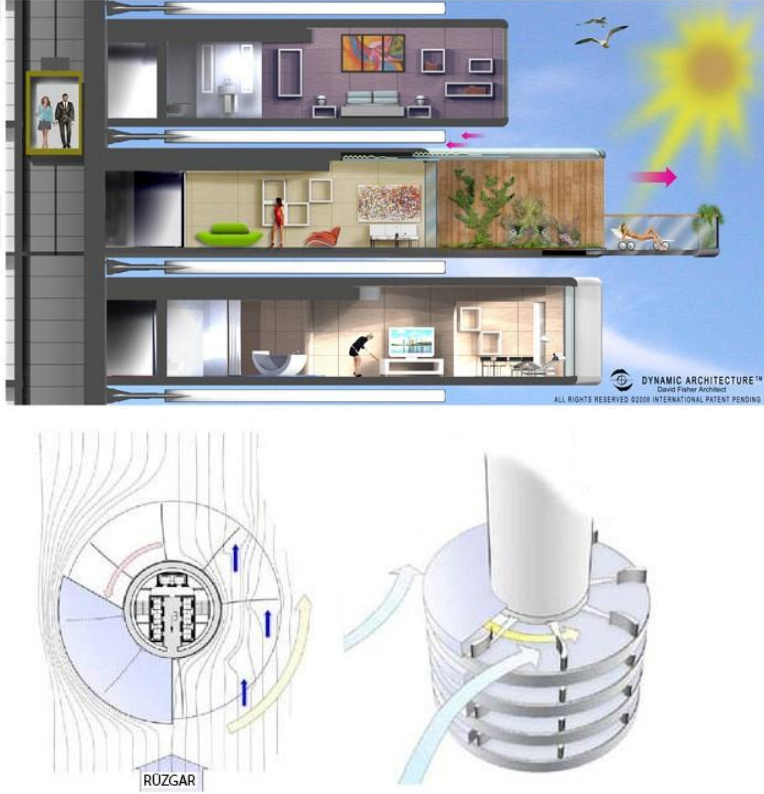
EK-6. Dynamic Tower

Bina Kimlik Kartı	
Bina Adı	Dynamic Tower
Yeri/Konumu	Dubai
Yapım Yılı	-
Mimarı	David Fisher
İşlevi	Karma
Kat Yüksekliği	420 m
Kat Sayısı	80
Taban Alanı	-
İklim Bölgesi	Çöl İklimi
Rüzgar Gücüne Dayalı Veriler	Yapının tüm elektrik tüketiminin tamamını rüzgar enerjisinden karşılanması hedeflenmiştir.
	

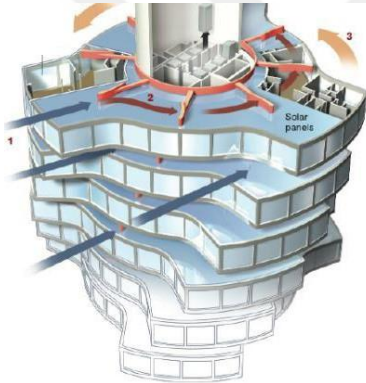
EK-6. (devam) Dynamic Tower

Tasarım Yaklaşımları			
Rüzgara Bağlı Performansa Dayalı Tasarım			
	Hakim Rüzgar Yönüne Bağlı Tasarım	-	
	Rüzgar Gücünü Artırmaya Yönelik Tasarım	-	
	Rüzgar Gücünü Azaltmaya Yönelik Tasarım	✓	
Planda Yapı Formlarının Belirlenmesi Tasarım			
	Tekil Kütle	✓	
	Çoklu Kütle	-	
Rüzgara Bağlı Formsal Tasarım			
	Yükseldikçe İncelen Form	✓	
	Bir Eksen Etrafında Spiral Dönen Form	✓	- Form, kat blokları sayesinde 360 derece dönüş yapabilmektedir.
	Değişken Kesitli Form	✓	- Yükseldikçe kat planları daralmaktadır.
	Eğrisel Form	-	- Daralma ve Dönme etkisi ile eğrilme söz konusudur.
			

EK-6. (devam) Dynamic Tower

Yapı İskeleti			
Betonarme	√	-	- Prefabrik kat blokları tasarlanmıştır.
Çelik	-	-	- Çelik strüktür, core adlı betonarmeye takviye olmakla birlikte dış kabuğu oluşturmaktadır.
Karma	-	-	- Yapıda özel malzemelerin kullanımı söz konusudur.
Rüzgara Bağlı Strüktürel ve Aerodinamik Tasarım			
Tek Kabuk	√		
Çift Kabuk	-		
Aerodinamik Tasarım	√	-	- Rüzgara bağlı kat planlarının hareket kabiliyeti bulunmaktadır.
Gözenek ve Boşluk Bırakma	-		
			

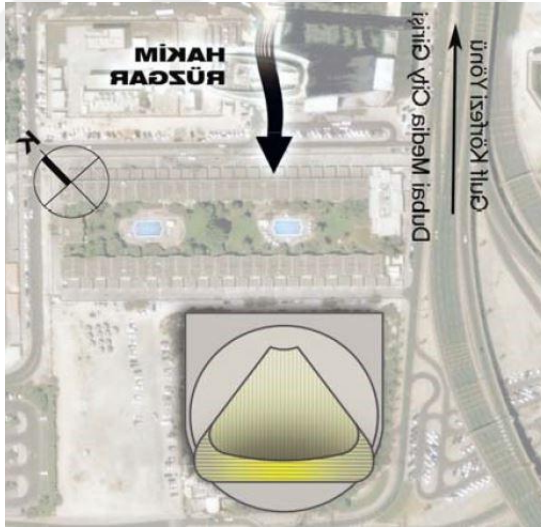
EK-6. (devam) Dynamic Tower

Rüzgara Bağlı Enerji Kazanım Yaklaşımları				
Türbin Entegrasyonu				
	Tepe Noktasına Konumlanma	-		
	Tepe Noktasına Yakın Konumlanma	-		
	Zeminden Yükselen Konumlanma	√	- Kat blokları arasında yer almaktadır. - Zeminden tepe noktasına kadar türbin konumlanması tasarlanmıştır.	
Türbin Çeşit ve Sayı ve Kazanılan Enerji				
Çeşit	Yatay Türbin	-	- 77 Adet kalkan şeklinde yatay olarak konumlandırılan özel türbin bulunmaktadır.	
	Dikey Türbin	-		
	Özel Türbin	√		
Yıllık Kazanılan Enerji			-	
				

EK-7. Anara Tower

Bina Kimlik Kartı	
Bina Adı	Anara Tower (Konsept Proje)
Yeri/Konumu	Dubai / Media City
Yapım Yılı	
Mimarı	Atkins Tasarım
İşlevi	Karma
Kat Yüksekliği	600 m
Kat Sayısı	125
Taban Alanı	--
İklim Bölgesi	Çöl iklimi
Rüzgar Gücüne Dayalı Veriler	-
	

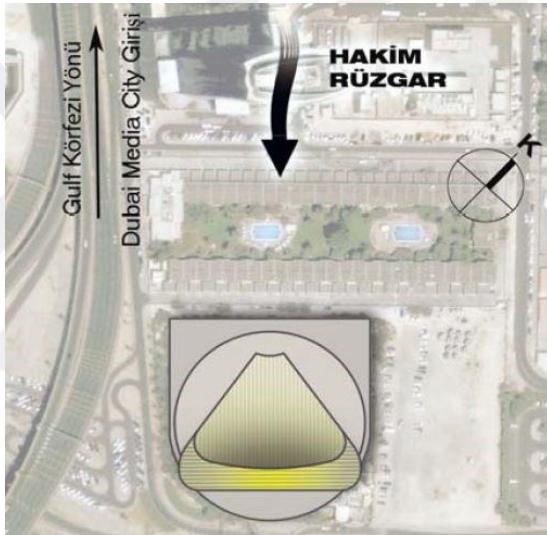
EK-7. (devam) Anara Tower

Tasarım Yaklaşımları			
Rüzgara Bağlı Performansa Dayalı Tasarım			
	Hakim Rüzgar Yönüne Bağlı Tasarım	√	- Hakim rüzgar yönüne dik olarak konumlandırılmıştır.
	Rüzgar Gücünü Artırmaya Yönelik Tasarım	-	
	Rüzgar Gücünü Azaltmaya Yönelik Tasarım	-	- Yapının üçgensel formu, rüzgarı adeta ikiye ayırıp, dış kabuğa etkiyen kuvveti azaltmaktadır.
Planda Yapı Formlarının Belirlenmesi Tasarım			
	Tekil Kütle	√	
	Çoklu Kütle	-	
Rüzgara Bağlı Formsal Tasarım			
	Yükseldikçe İncelen Form	-	
	Bir Eksen Etrafında Spiral Dönen Form	-	
	Değişken Kesitli Form	-	
	Eğrisel Form	-	
			

EK-7. (devam) Anara Tower

Yapı İskeleti		
Betonarme	√	
Çelik	-	
Karma	-	
Rüzgara Bağlı Strüktürel ve Aerodinamik Tasarım		
Tek Kabuk	-	
Çift Kabuk	√	- Dış kabuk çelik sistemlerden oluşurken, iç kabuk betonarmeden oluşmaktadır.
Aerodinamik Tasarım	√	- Yapıda yumuşatılmış türbin çevresinde kıvrımlı morfolojik tasarım söz konusudur.
Gözenek ve Boşluk Bırakma	-	
		

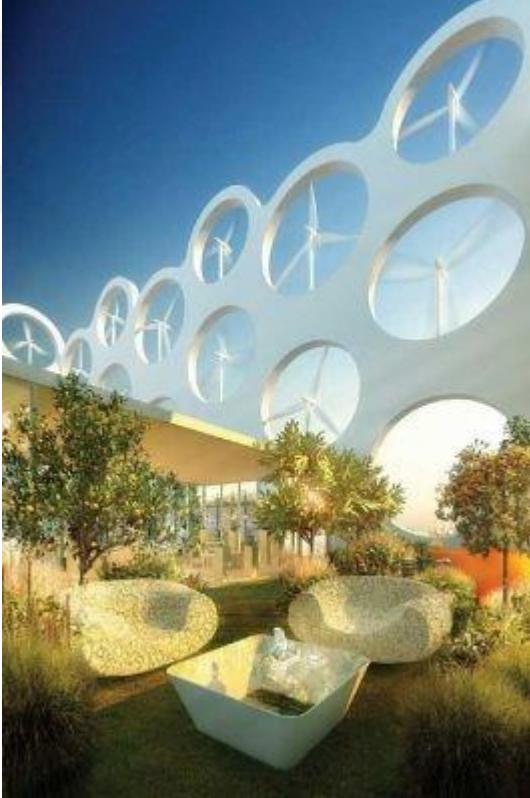
EK-7. (devam) Anara Tower

Rüzgara Bağlı Enerji Kazanım Yaklaşımları				
Türbin Entegrasyonu				
	Tepe Noktasına Konumlanma	√		
	Tepe Noktasına Yakın Konumlanma	-		
	Zeminden Yükselen Konumlanma	-		
Türbin Çeşit ve Sayı ve Kazanılan Enerji				
Çeşit	Yatay Türbin	√	- Yapı genişliğince, tek ve bir büyük yatay türbin bulunmaktadır.	
	Dikey Türbin	-		
	Özel Türbin	-		
Yıllık Kazanılan Enerji			-	
				

EK-8. Cor Florida Tower

Bina Kimlik Kartı	
Bina Adı	Cor Florida Tower (Konsept Proje)
Yeri/Konumu	Amerika / Florida
Yapım Yılı	-
Mimarı	Oppenheim Tasarım
İşlevi	Karma
Kat Yüksekliği	--
Kat Sayısı	40
Taban Alanı	480.000 m2
İklim Bölgesi	Sıcak ve ılıman iklim
Rüzgar Gücüne Dayalı Veriler	-
	

EK-8. (devam) Cor Florida Tower

Tasarım Yaklaşımları			
Rüzgara Bağlı Performansa Dayalı Tasarım			
	Hakim Rüzgar Yönüne Bağlı Tasarım	-	
	Rüzgar Gücünü Artırmaya Yönelik Tasarım	-	
	Rüzgar Gücünü Azaltmaya Yönelik Tasarım	√	
Planda Yapı Formlarının Belirlenmesi Tasarım			
	Tekil Kütle	√	
	Çoklu Kütle	-	
Rüzgara Bağlı Formsal Tasarım			
	Yükseldikçe İncelen Form	-	
	Bir Eksen Etrafında Spiral Dönen Form	-	
	Değişken Kesitli Form	-	
	Eğrisel Form	-	
			

EK-8. (devam) Cor Florida Tower

Yapı İskeleti			
	Betonarme	√	
	Çelik	-	
	Karma	-	
Rüzgara Bağlı Strüktürel ve Aerodinamik Tasarım			
	Tek Kabuk	-	
	Çift Kabuk	√	
	Aerodinamik Tasarım	√	- Yapı boşlukları rüzgar enerjisinden faydalanmak adına tasarlanmıştır.
	Gözenek ve Boşluk Bırakma	√	- Yapı cephelerinde çok sayıda boşluk bırakılmıştır.

EK-8. (devam) Cor Florida Tower

Rüzgara Bağlı Enerji Kazanım Yaklaşımları			
Türbin Entegrasyonu			
	Tepe Noktasına Konumlanma	√	
	Tepe Noktasına Yakın Konumlanma	√	
	Zeminden Yükselen Konumlanma	-	
Türbin Çeşit ve Sayı ve Kazanılan Enerji			
	Çeşit	Yatay Türbin	√
		Dikey Türbin	-
		Özel Türbin	-
	Yıllık Kazanılan Enerji		-

EK-9. Burj Al Taqa Tower

Bina Kimlik Kartı	
Bina Adı	Burj Al Taqa Tower
Yeri/Konumu	Dubai
Yapım Yılı	-
Mimarı	Eckhar Gerber
İşlevi	Ticaret Merkezi
Kat Yüksekliği	322 m
Kat Sayısı	60
Taban Alanı	-
İklim Bölgesi	Sıcak ve ılıman iklim
Rüzgar Gücüne Dayalı Veriler	-
	

EK-9. (devam) Burj Al Taqa Tower

Tasarım Yaklaşımları			
Rüzgara Bağlı Performansa Dayalı Tasarım			
	Hakim Rüzgar Yönüne Bağlı Tasarım	-	
	Rüzgar Gücünü Artırmaya Yönelik Tasarım	-	
	Rüzgar Gücünü Azaltmaya Yönelik Tasarım	√	
Planda Yapı Formlarının Belirlenmesi Tasarım			
	Tekil Kütle	√	
	Çoklu Kütle	-	
Rüzgara Bağlı Formsal Tasarım			
	Yükseldikçe İncelen Form	√	
	Bir Eksen Etrafında Spiral Dönen Form	√	
	Değişken Kesitli Form	√	
	Eğrisel Form	√	
			

EK-9. (devam) Burj Al Taqa Tower

Yapı İskeleti			
	Betonarme	-	
	Çelik	-	
	Karma	√	- Yapıda betonarme ve çelik sistemlerin kullanımı söz konusudur.
Rüzgara Bağlı Strüktürel ve Aerodinamik Tasarım			
	Tek Kabuk	√	
	Çift Kabuk	-	
	Aerodinamik Tasarım	√	- Yapıda yumuşatılmış dış kabuk ve kıvrımlı morfolojik tasarım söz konusudur.
	Gözenek ve Boşluk Bırakma	-	

EK-9. (devam) Burj Al Taqa Tower

Rüzgara Bağlı Enerji Kazanım Yaklaşımları			
Türbin Entegrasyonu			
	Tepe Noktasına Konumlanma	√	- Türbin havalandırma amaçlı konumlanmıştır.
	Tepe Noktasına Yakın Konumlanma	-	
	Zeminden Yükselen Konumlanma	-	- Dikey türbinler 565. ve 569. m lere konumlandırılmıştır.
Türbin Çeşit ve Sayı ve Kazanılan Enerji			
Çeşit	Yatay Türbin	-	- 1 Adet dikey türbini kullanılması amaçlanmıştır.
	Dikey Türbin	√	
	Özel Türbin	-	
Yıllık Kazanılan Enerji		-	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARAGÖZ, Halil İbrahim
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 22.08.1988, Çankaya/ANKARA
Medeni hali : Bekar
e-mail : halilibrahim1988@yahoo.com.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Girne Amerikan Üniversitesi / Mimarlık	2012
Lise	Ömer Seyfettin Anadolu Lisesi	2007
İlköğretim	Evrensel Koleji	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Yasin Yapı San. Taah. Ve Tic. Ltd. Şti.	Mimar
2012-2016	Hsk İnşaat ve Tic. Ltd. Şti.	Mimar



GAZİ GELECEKTİR..