

**YÜKSEK YAPILARDA BÜTÜNLEŞİK RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN ÖRNEK
YAPILAR ÜZERİNDEN İRDELENMESİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Rıza İLHAN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilgisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşin SEV

Haziran 2021

Ali Rıza İlhan tarafından hazırlanan Yüksek Yapı Bütünleşik Rüzgar Türbinleri adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

.....
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Anabilim Dalında tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım klavuzuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ücret karşılığı başka kişilere yazdırmadığımı (dikte etme dışında), uygulamalarımı yaptırmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

Ali Rıza İlhan



Aileme ve Sevde'ye,

ÖNSÖZ

Bu çalışma boyunca değerli bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen Sayın Danışmanım Prof. Dr. Ayşin SEV' e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Haziran 2021

Ali Rıza İLHAN

Mimar

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Problemin Tanımı.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı	3
1.3 Çalışmanın Yöntemi.....	3
1.4 Kapsam ve Sınırlamalar	4
2. YÜKSEK YAPI VE ENERJİ İLİŞKİSİ	5
2.1 Yüksek Yapı Tanımı ve Yüksek Yapıların Gelişimi	5
2.1.1 Yüksek Yapı Tanımı	5
2.1.2 Yüksek Yapıların Gelişimi.....	9
2.2 Yüksek Yapılarda Enerji Tüketimi ve Yenilenebilir Enerji Kullanımı.....	13
2.3 Rüzgar Enerjisi ve Yüksek Yapı-Rüzgar Etkileşimi.....	23
2.3.1 Rüzgarın oluşumu ve temel özellikleri	23

2.3.2 Rüzgâr Hızını Etkileyen Faktörler	25
2.3.3 Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli.....	26
2.3.4 Yüksek Yapılarda Rüzgar Enerjisinden Yararlanma	31
2.3.5 Rüzgar Tüneli Testleri ve Özellikleri.....	34
2.4 Yüksek Yapı Bütünleşik Rüzgar Türbinleri	38
2.4.1 Rüzgar türbinleri ve tarihçesi	38
2.4.2 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması	41
2.4.3 Yapıyla Bütünleşik Rüzgar Türbinleri	45
2.4.4 Yapıyla Bütünleşik Rüzgar Türbini Tasarımında Temel İlkeler	48
3.RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN KULLANILDIĞI YÜKSEK YAPI ÖRNEKLERİ.....	56
3.1 Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi	57
3.2 Twelve West Kulesi	61
3.3 Kinetica Kulesi	64
3.4 Hess Kulesi.....	67
3.5 Strata Kulesi	70
3.6 San Francisco Kamu Hizmetleri Komisyonu Genel Merkezi	74
3.7 Pearl River Kulesi	77
3.8 Şanghay Kulesi.....	81
4.ÖRNEKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	85
4.1 Yapıların Fonksiyon Açısından Karşılaştırılması	87
4.2 Yapıların Yükseklik Açısından Karşılaştırılması.....	87
4.3 Eksen Odaklı Rüzgar Türbini Karşılaştırması.....	89
4.4 Konum Odaklı Rüzgar Türbinlerinin Karşılaştırılması.....	90
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR	95

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AIA	: The American Institute of Architects
BAE	: Birleşik Arap Emirlikleri
BIWT	: Building Integrated Wind Turbines
BTU	: British thermal unit
ÇSB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
CTBUH	: Council on Tall Buildings and Urban Habitat
EIA	: U.S. Energy Information Administration
EUI	: Energy Use Intensity
EVÇED	: Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı
HAWT	: Horizontal Axis Wind Turbines
HVAC	: Heating, Ventilation, and Air Conditioning
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development
SFPUC	: San Francisco Public Utilities Commission
SOM	: Skidmore, Owings & Merrill
VAWT	: Vertical Axis Wind Turbines
WINEUR	: Wind Energy Integration In The Urban Environment
WWEA	: World Wind Energy Association

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 : Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi.....	57
Tablo 3.2 : Twelve West Kulesi.....	61
Tablo 3.3 : Kinetica Kulesi	64
Tablo 3.4 : Hess Kulesi	67
Tablo 3.5 : Strata Kulesi.....	70
Tablo 3.6 : San Francisco Kamu Hizmetleri Genel Merkezi Binası.....	73
Tablo 3.7 : Pearl River Kulesi.....	76
Tablo 3.8 : Şanghay Kulesi	79
Tablo 4.1 : Yapıların karşılaştırılması.....	84
Tablo 4.2 : Yapılardaki rüzgar türbinlerinin karşılaştırılması.....	86

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Kat adedine göre yıllık ortalama enerji tüketimi.....	2
Şekil 2.1 : Yüksek yapıların yüksekliklerine göre sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.2 : Yapının çevre dokusuyla ilişkisine göre sınıflandırılması.....	8
Şekil 2.3 : Yapının oranına göre yükseklik tanımı.	8
Şekil 2.4 : Yapının teknolojisine göre yükseklik tanımı.....	8
Şekil 2.5 : Giza Piramitleri, Mısır.....	9
Şekil 2.6 : Home Insurance Binası, 1896, Chicago	10
Şekil 2.7 : Yüksek yapıların dünya genelindeki dağılımları.....	11
Şekil 2.8 : Yüksek yapıların dünya genelindeki kullanım fonksiyonlarının oranı. ...	12
Şekil 2.9 : Burj Khalifa, Dubai	12
Şekil 2.10 : Yapı fonksiyonuna göre enerji tüketim oranı.....	13
Şekil 2.11 : Farklı bölgelerdeki konutların 2010 yılındaki enerji tüketim yüzdeleri.	14
Şekil 2.12 : Yüksekliğe göre karbon salımı ve enerji tüketimi.....	15
Şekil 2.13 : Kat yüksekliği enerji tüketimi oranı.....	16
Şekil 2.14 : Yüksek katlı yapı alçak katlı yapı enerji tüketimleri kıyaslaması.....	17
Şekil 2.15 : Yapı sektörü kaynaklara göre enerji tüketim oranları.....	18
Şekil 2.16 : CIS Kulesi.	21
Şekil 2.17 : Manitabo Hydro Binası	22
Şekil 2.18 : Rüzgar oluşumunun şematik gösterimi.	24
Şekil 2.19 : Türlerine göre fosil yakıt rezervlerinin kalan ömürleri.	26
Şekil 2.20 : Ülkelerin kaynak bazında elektrik üretim oranı.....	27

Şekil 2.21 : Yıllara göre dünya genelindeki rüzgar enerjisi kurulu gücü.	28
Şekil 2.22 : Dünya genelinde 80m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı atlası.	29
Şekil 2.23 : Kurulu rüzgar gücü bakımından ülkelerin durumları.....	29
Şekil 2.24 : 2018 yılı elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.	30
Şekil 2.25 : Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel atlası.	31
Şekil 2.26 : Commerzbank doğal havalandırma tasarım stratejisi.	33
Şekil 2.27 : Yüksekliğe bağlı olarak rüzgarın artış grafiği.	35
Şekil 2.28 : Yapı fonksiyonuna göre enerji tüketim oranı.....	36
Şekil 2.29 : Rüzgar tüneli genel görünümü ve kesiti.....	37
Şekil 2.30 : İlk yel değirmeni örneği.	39
Şekil 2.31 : Rüzgar türbini parçaları ve çalışma prensibi.....	40
Şekil 2.32 : Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması.....	41
Şekil 2.33 : Yatay eksenli rüzgar türbinleri.	42
Şekil 2.34 : Dikey eksenli rüzgar türbinleri.....	43
Şekil 2.35 : Eğik eksenli rüzgar türbinleri.	44
Şekil 2.36 : Rüzgarın açık arazideki ve engel ile karşılaşma sonrası davranışı.	46
Şekil 2.37 : Yapıyla bütünleşik rüzgar türbini tasarım konsepti.	49
Şekil 2.38 : Yapıdaki konumlarına göre rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması.....	50
Şekil 2.39 : Yapılarda rüzgar türbin yerleştirme stratejisi.	51
Şekil 2.40 : Yapıdaki akış artış noktaları.....	52
Şekil 2.41 : Büyük boyutlu rüzgar türbinlerinin yapıya yerleştirilmesi.....	53
Şekil 2.42 : Mikro veya küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin yapıya yerleştirilmesi...	54
Şekil 2.43 : Dikey eksenli mikro rüzgar türbinlerinin cepheye montajı.....	54
Şekil 3.1 : Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi.	58
Şekil 3.2 : Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi Yapısı Rüzgar Testi.	59

Şekil 3.3 : Rüzgar türbinlerinin rüzgar hızına göre performansı	60
Şekil 3.5 : Twelve West Kulesi.	62
Şekil 3.6 : Twelve West rüzgar testi görseli.	63
Şekil 3.7 : Kinetica Kulesi.	65
Şekil 3.8 : Yapı bütünleşik rüzgar türbinlerine göre belirlenen tasarım stratejisi.	66
Şekil 3.9 : Hess Kulesi.	68
Şekil 3.10 : Yapı ve rüzgar hızı grafiği.	69
Şekil 3.11 : Strata Kulesi.	71
Şekil 3.12 : Strata’ da bulunan yatay eksenli yapı bütünleşik rüzgar türbinleri.	71
Şekil 3.13 : Strata Kulesi rüzgar grafiği.	72
Şekil 3.14 : San Francisco Kamu Hizmetleri Genel Merkezi Binası.	74
Şekil 3.15 : Yapı ile rüzgar kulesi arasındaki ilişki.	75
Şekil 3.16 : Pearl River Kulesi.	77
Şekil 3.17 : Tünellerde bulunan dikey eksenli rüzgar türbinleri.	78
Şekil 3.18 : Pearl River cephe rüzgar ilişkisi.	78
Şekil 3.19 : Şanghay Kulesi.	80
Şekil 3.20 : Yapı formunun tasarım stratejisi.	81
Şekil 3.21 : Yapı cephesinde bulunan mikro bütünleşik rüzgar türbinleri.	82
Şekil 4.1 : Yapıların kat adetlerine göre sınıflandırılması	86
Şekil 4.2 : Çalışmadaki rüzgar türbinlerinin eksen odaklı karşılaştırılması	87

YÜKSEK YAPILARDA BÜTÜNLEŞİK RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN ÖRNEK YAPILAR ÜZERİNDEN İRDELENMESİ

ÖZET

Dünya genelinde birçok farklı bölgede meydana gelen nüfus artışı ve endüstrileşme kentsel nüfusun çok hızlı bir şekilde artmasına neden olmuştur. Mevcutta var olan yapı stoğu ve imara açık yapı alanları konut ihtiyacını karşılamada yetersiz kalınca, düşey yükselme kaçınılmaz bir sonuç olarak karşımıza çıkmıştır. Bu doğrultuda yüksek yapı kavramı, yapı endüstrisinde bu sorunun çözümü olma noktasında çok önemli bir konuma gelmiştir. Günümüzde yapı sektöründeki teknolojik gelişmelerin sağladığı imkanlar ile birlikte yüksek yapıların gelişimi devam etmiştir. Yapı yükseklik ve boyutlarındaki artış sürekliliğini korumuştur. Aynı zamanda artan nüfus, endüstrileşme ve kentleşme ile birlikte enerji tüketim oranları ve karbon salımı da artış göstermiştir. Bu hızlı değişim küresel ısınma, iklim değişikliği ve enerji kaynaklarının tükenmesi gibi çevresel sorunların ortaya çıkmasında etkili olmuştur. Yüksek enerji tüketimi oranları ve çevresel etkileri ile yapı sektörü bu çevresel sorunların oluşumunda önemli bir konumda bulunmaktadır. Çevre sorunlarının ve enerji ihtiyacının önem kazandığı ortamda yüksek enerji tüketimi ve çevresel etkileri nedeniyle yapı sektörü de yüksek yapılar da karbon salımlarını azaltmaya, fosil kaynak kullanımını azaltarak, yenilenebilir enerji kaynaklarından yerinde enerji üretimine yönelik çözümler büyük önem taşımaktadır. Bu noktada yüksek yapılarda yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisinin kullanımı büyük potansiyel içermektedir. Yükseklik ile rüzgar enerjisinden alınan verimin artması, yapı bütünsel rüzgar türbinlerinin yüksek yapılarda kullanımını diğer yapı türlerine göre daha önemli hale getirmektedir. Bu çalışmada literatür araştırması ve karşılaştırmalı analiz yöntemlerinden yararlanılarak, yapılmış olan yapı bütünsel rüzgar türbinleri doğrultusunda, tasarımları ile sağlanan avantajlar ortaya koyulmuştur.

Çalışmanın giriş bölümü; problemin tanımı, çalışmanın amacı, çalışmanın yöntemi, kapsam ve sınırlamalar alt başlıklarından oluşmaktadır.

Yüksek Yapı ve Enerji İlişkisi başlıklı ikinci bölümde; öncelikle yüksek yapı tanımı ve yüksek yapının özellikle Endüstri Devrimi ile tarihsel süreçteki gelişimi açıklanmıştır. Yüksek yapı örnekleri incelenmiştir. Yüksek yapılarda enerji tüketimi araştırılmış, yüksek yapılar ile daha düşük kat adedine sahip yapıların enerji tüketim oranları karşılaştırılmıştır. Devamındaki alt başlıklarda rüzgarın oluşumu ve temel özellikleri, hızını etkileyen faktörler, Dünya’da ve özel olarak Türkiye’de rüzgar enerjisi potansiyeli üzerinde durulmuştur. Rüzgarın sağladığı olanaklar dikkate alınarak, yüksek yapılarda rüzgar enerjisinden yararlanma konusunda pasif ve aktif tasarım stratejileri incelenmiştir. Devamında, rüzgar tüneli testlerinin önemine işaret

edilmiştir. Rüzgar tüneli testlerinin inşaat alanındaki uygulamaları yapılar üzerindeki rüzgar etkilerinin ve rüzgarın çevre üzerindeki etkilerinin hesaplanmasına yönelik faydaları ortaya koyulmuştur. Bu bölümün devamındaki Yapı Bütünleşik Rüzgar Türbinleri başlığı altında; rüzgar türbinlerinin tarihçesi açıklanmış ve sınıflandırılması yapılmıştır. Yapı bütünleşik rüzgar türbinleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yeni tasarım stratejilerinin belirlenmesinde büyük katkı sağlayacağından ötürü, var olan yapı ile bütünleşik yüksek yapı örneklerinin sınıflandırılması yapılmıştır. Yeni tasarım stratejilerine değinilmiştir.

Rüzgar Türbinlerinin Kullanıldığı Yüksek Yapı Örnekleri başlıklı üçüncü bölümde ise; ABD, Bahreyn, Çin ve İngiltere’ de 2008-2015 yılları arasında yapımı tamamlanmış olan; yapı bütünleşik rüzgar türbinlerine sahip yüksek yapılar incelenmiştir. Çalışmada; Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, Twelve West Kulesi, Kinetica Kulesi, Hess Kulesi, Strata Kulesi, San Francisco Kamu Hizmetleri Komisyonu Genel Merkezi, Pearl River Kulesi, Şanghay Kulesi yapılara ait mimari özelliklerin ve kullanılan yapı bütünleşik rüzgar türbini stratejilerinin ortaya çıkarılması öncelikli hedef olmuştur. Seçilen bu yapılar bulundukları coğrafi konum, yapım yılları, fonksiyonları, kat adetleri, rüzgar türbini adetleri, rüzgar türbinlerinin yapıda bulunduğu konumlar, rüzgar türbinlerinin çeşitleri, yapının taşıyıcı sistemi, yapının kütle adedi, yapının bulunduğu iklim kuşağı ve rüzgar hızı gibi değişkenler doğrultusunda dikkate alınarak incelenmiştir.

Örneklerin Karşılaştırılması başlıklı dördüncü bölümde ise; birbirlerinden çok farklı boyut, form ve yüksekliğe sahip olan bu yapılar yapıların fonksiyonları, yükseklikleri ile tercih edilmiş olan yapı bütünleşik rüzgar türbinleri ve bu türbinlerin yapıdaki konumları dikkate alınarak kullanmış oldukları yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarım stratejileri karşılaştırılmıştır. Bu doğrultuda yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarım stratejilerinin belirlenmesinde bu değişkenlerin önemi vurgulanmıştır. Doğru tasarım stratejileri ile elde edilen verimin artırılabilceği ifade edilmiştir.

Çalışmada ele alınan yüksek yapılarda yer alan yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarımları ile yerinde enerji üretimi yanında taşıyıcı elemandan da tasarruf sağlanmasına olanak tanımaktadır. Sürdürülebilir temiz enerjinin yanı sıra bu yeni teknolojilerin kullanımı tasarımcılara da yeni olanaklar sağlayacaktır. Yapı bütünleşik rüzgar türbinleri tüm bu faydalarının yanında yenilenebilir enerji ve enerji tasarrufu konusunda toplumsal bilincin oluşmasına da katkı sağlayacaktır.

EXAMINATION OF TALL BUILDING INTEGRATED WIND TURBINES

THROUGH EXAMPLES OF STRUCTURES

SUMMARY

Population growth and industrialization occurring in many different regions around the world have caused the urban population to increase very rapidly. When the existing building stock and building areas zoned for housing were insufficient to meet the housing need, the vertical rise emerged as an inevitable result. In this regard, the concept of high rise building has reached a very important position in terms of being the solution of this problem in the building industry. Today, with the opportunities provided by the technological developments in the building sector, the development of high-rise buildings has continued. The increase in height and dimensions of the building preserved its continuity. At the same time, energy consumption rates and carbon emissions have increased with the increasing population, industrialization and urbanization. This rapid change has been effective in the emergence of environmental problems such as global warming, climate change and the depletion of energy resources. With its high energy consumption rates and environmental effects, the building sector has an important place in the formation of these environmental problems. In an environment where environmental problems and energy needs are vital, solutions for reducing carbon emissions in high-rise buildings in the building sector and for on-site energy generation from renewable energy sources are of great importance due to high energy consumption and environmental effects. At this point, the use of wind energy, which is one of the renewable energy sources in high-rise buildings, has a great potential. The increase in the efficiency from wind energy with the height makes the high-rise buildings integrated wind turbines more important than other building types. In this study, using the literature research and comparative analysis methods, the advantages provided by the designs of the built wind turbines have been revealed.

Introduction part of the study consists of the subheadings of definition of the problem, the purpose of the study, the method of the study, scope and limitations.

In the second chapter titled High Building and Energy Relationship; firstly, the definition of high-rise building and the development of the high-rise building in the historical process, especially with the Industrial Revolution, were explained. High-rise building examples were examined. Energy consumption in high-rise buildings has been investigated, and the energy consumption rates of high-rise buildings and buildings with lower number of floors have been compared. In the following subtitles, the formation and basic features of wind, factors affecting wind's speed, wind energy potential in the world and especially in Turkey are discussed. Considering the possibilities provided by wind, passive and active design strategies for using wind energy in high-rise buildings have been examined. Subsequently, the importance of wind tunnel tests was pointed out. Applications of wind tunnel tests in the field of

construction have demonstrated the benefits of calculating the effects of wind on buildings and the effects of wind on the environment. In the next section, under the title of integrated wind turbines; the history of wind turbines has been explained and classified. Building integrated wind turbines have been studied in detail. Since it will make a great contribution to the determination of new design strategies, the classification of high-rise building examples integrated with the existing building has been made. New design strategies are also mentioned in this study.

In the third section titled Examples of High Buildings where Wind Turbines which are constructed in the USA, Bahrain, China and England between 2008-2015 are listed and high-rise structures with building integrated wind turbines have been studied. In the study; Bahrain World Trade Center, Twelve West Tower, Kinetica Tower, Hess Tower, Strata Tower, San Francisco Public Services Commission Headquarters, Pearl River Tower, Shanghai Tower and the architectural features of these buildings are listed with the building integrated wind turbine strategies which have been the primary goal to be revealed in this section. These selected structures have been examined by taking into account variables such as their geographical location, construction years, functions, number of floors, wind turbines, locations of wind turbines, types of wind turbines, carrier system of the building, number of mass of the building, climate zone and wind speed.

As it is known, the need for on-site electricity generation from renewable energy sources is increasing. In this regard, interest and investments in building integrated wind turbines, which are seen as a solution, are gradually increasing. Globally, support for integrated wind turbine designs is encouraged by governments and international organizations. Despite this demand and support, the need for research and technological development in on-site electrical energy production with wind turbines in the urban areas is still existing. There is still no generally accepted design strategy in building integrated wind turbine design. Therefore, every research and example made contributes to the knowledge in this field. The data obtained by examining and comparing the examples will shed light on future studies and will play a major role in the widespread usage of building integrated wind turbines.

In the fourth section titled Comparison of the Examples; the functions of these structures, which have very different sizes, forms and heights, and the preferred building-integrated wind turbines and the building-integrated wind turbine design strategies used by these examples were compared. In this regard, the importance of these variables in determining building integrated wind turbine design strategies is emphasized. It has been stated that the efficiency obtained can be increased with the right design strategies.

Large energy losses occur during the production and transportation of energy from wind farms. Obstacles such as buildings and trees that can reduce the speed of wind in city centers are no longer a problem for high-rise buildings with design strategies. They have a great advantage in terms of wind energy with their height and on-site generation

potential. It is possible to prevent these losses with high structures integrated with the building. The structure included in the high-rise buildings discussed in the study allows saving on the carrier element as well as on-site energy generation with integrated wind turbine designs. In addition to sustainable clean energy, the usage of these new technologies will provide new opportunities for designers. Building-integrated wind turbines will also contribute to the formation of social awareness about renewable energy and energy saving in addition to all these benefits.





1. GİRİŞ

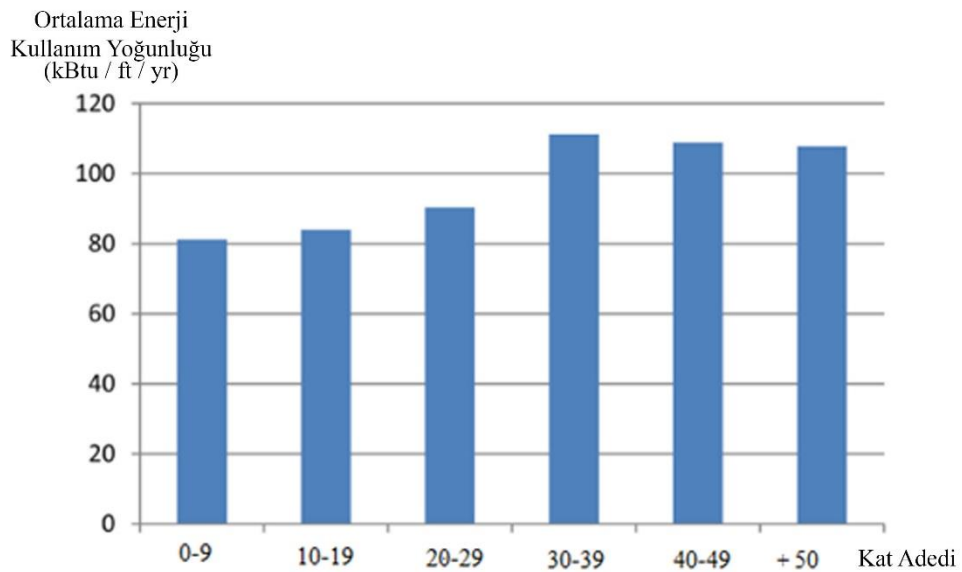
1.1 Problemin Tanımı

19. yy'dan günümüze dünya genelinde birçok bölgede Endüstri Devrimi'nin etkisiyle hızlı bir sanayileşme, büyüme ve kentleşme yaşanmıştır. Bu gelişmeler ile birlikte yoğun bir şekilde köyden kente göç dalgası ortaya çıkmıştır. Yoğun kentleşme olgusu birçok kentin nüfusunu büyük ölçüde arttırmıştır. Kırsal alandan kentlere göç; kent merkezlerinde arsaların azalmasına ve bunun sonucunda arsa maliyetlerinin artmasına neden olmuştur. Bu gelişmelerin en belirgin sonuçlarından biri yüksek yapılaşmadır. Kent merkezlerindeki arsaların değer artışını karşılamak ve diğer taraftan kentsel yayılmanın önlenmesi için ortaya çıkan yüksek yapı olgusu, günümüzün göz ardı edilemez gerçeklerinden biridir. Artan çalışma ve konut alanlarına talebi karşılamak için inşaat endüstrisinde meydana gelen büyüme ve yapı teknolojilerinin gelişimi sürekliliğini koruyacaktır.

Nüfus artışı ve göçlerin ortaya çıkardığı kentleşme ve sürekli büyümeyle birlikte, pek çok alanda hızlanan endüstriyel faaliyetler yüksek oranda enerji tüketimini de beraberinde getirmiştir. 1984 – 2004 yılları arasında dünya genelinde toplam enerji tüketimi yıllık ortalama %2 oranında artış göstermiştir. Enerji ihtiyacının gelecek yıllarda da artış göstermesi beklenmektedir (Pérez-Lombard, Ortiz, Pout, 2008). Bununla birlikte mevcut enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik enerji üretiminde büyük oranda fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Gün geçtikçe tükenmekte olan fosil kaynakların bilinçsiz ve aşırı kullanımı ise; insan ve diğer canlı türlerinin yaşamı için gerekli olan suya, havaya ve toprağa olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Bu olumsuzluklar ekosistem içindeki doğal dengeyi geri dönülmez bir şekilde etkilemektedir (Dikmen, 2011). Bu etkiler sonucunda meydana gelen küresel ısınma, iklim değişikliği, ozon tabakasının incilmesi, CO₂ ve zehirli gaz salımlarının artması, doğal kaynakların tükenmesi çözüm bekleyen en önemli küresel sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dünya genelinde tüketilen enerjinin ve karbon salımının büyük bir kısmının yapı endüstrisi kaynaklı olduğu bilinmektedir. Yapılardaki enerji tüketimi ülkelerin toplam enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluşturmakta ve her geçen yıl artış göstermektedir. İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) üyesi olan ülkelerdeki toplam enerji kullanımının % 25 ila 40'ından yapılar sorumludur (Rafiei, Adeli, 2016). Söz konusu yüksek yapılar olduğu zaman, gerek yapım, gerekse kullanım süreçlerinde bu tür yapıların enerji tüketimi az ve orta katlı yapılarda göre daha fazla dikkat çekici boyutlara ulaşmaktadır (Steadman, Hamilton, 2017).

Sayıları ve yükseklikleri gün geçtikçe artan, karmaşık elektro-mekanik sistemlere sahip yüksek yapıların yapı sektöründen kaynaklı enerji tüketim ve karbon salım oranlarına etkisi de giderek artmaktadır. Yüksek yapılarda istenilen iç ortam konfor koşullarının sağlanması için artan yükseklik ve boyut ile birlikte birim hacme düşen enerji tüketim miktarı da artmaktadır (Şekil 1.1). Yüksek yapılar az ve orta yükseklikteki yapılara kıyasla daha fazla enerji tüketimi ve karbon salımına neden olmaktadır (Steadman, Hamilton, 2017). Üretim aşamalarından başlayarak yaşam döngüleri boyunca yüksek yapılarda tüketilen enerjinin üretiminde büyük oranda mevcut fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Yapı sektöründeki gelişmelerin yanı sıra, enerji alanındaki gelişmeler de dikkate alındığında yüksek yapıların fosil kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması çevresel sorunların çözümü için önemli bir adım oluşturmaktadır.



Şekil 1.1 : Kat Adedine Göre Ortalama Yıllık Enerji Kullanım Yoğunluğu
(Steadman, Hamilton, 2017).

Bu çalışmada, “Yüksek yapıların işletim sürecinde ihtiyacı olan enerjinin bir kısmı rüzgar enerjisi tarafından karşılanabilir mi? Karşılanabilecekse rüzgar türbinleri yüksek yapıda mimari bir öge olarak nasıl kullanılabilir? Daha önce bu doğrultuda tasarlanan yüksek yapı örnekleri nelerdir?” sorularına yanıt aranacaktır. Hâlihazırda tasarlanmış olan örnekler üzerinden yüksek yapılarda rüzgar türbinlerinin enerji üretme kapasiteleri araştırılacak, yüksek bir yapı ile bütünleşik rüzgar türbini tasarımında izlenmesi gereken mimari tasarım ilkeleri ve yöntemleri ortaya konacaktır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Yenilenebilir temiz enerji kaynaklarından biri olarak, son zamanlarda yüksek yapılarda kullanılmaya başlanan rüzgar enerjisinin yüksek yapının toplam enerji tüketim miktarını azaltmaya yönelik olumlu etkisi artarak devam etmektedir. Temiz enerjinin yanı sıra bu yeni teknolojilerin kullanımı tasarımcılara yeni olanaklar sağlamaktadır. Yükseklik ile beraber rüzgar enerjisinden elde edilen verimin ve yapıya etki eden yatay yükün doğru orantılı bir şekilde artmasından dolayı, rüzgar enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre yüksek yapılar için önemli bir potansiyel taşımaktadır. Rüzgardan, yapı ile bütünleşik rüzgar türbinleri ile sürdürülebilir enerji elde edilirken aynı zamanda yapıya etkileyen rüzgar yüklerinin tasarlanan form ile azaltılması ile daha hafif strüktür sistemlerinin kullanılması fırsatını ortaya çıkarmaktadır. Böylece ortaya çıkan tasarım bütünleşik sistemlerin sağladığı olumlu etki ile birlikte çevreye verilen zararın ve yapı işletim maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca yerinde enerji üretimini sağlanması ile enerjinin taşınması sürecindeki kayıpların önüne geçilmesi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmanın amacı; yapı ile bütünleşik rüzgar türbinlerinin kullanımına yönelik tasarım ilkelerinin ve örneklerden yola çıkarak yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarımı ile sağlanan avantajların ortaya konmasıdır.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada literatür araştırması ve karşılaştırmalı analiz yöntemlerinden yararlanılmış, öncelikle konuyla ilgili kavramlar ve tanımlamalar ortaya konulmuştur. Daha sonra rüzgar türbinlerinin kullanıldığı yüksek yapı örnekleri hakkında bilgi

edinilmiş, bilgiler sistematik olarak gruplandırılmıştır. Hangi tasarım yaklaşımının daha etkin ve başarılı sonuçlar ortaya koyduğu/koyabileceği konusunda fikir yürütebilmek amacıyla yapılacak karşılaştırmalar için çeşitli kriterler belirlenip, yapılara ilişkin bulgular bu kriterler doğrultusunda karşılaştırılarak değerlendirilmeye gidilmiştir.

1.4 Kapsam ve Sınırlamalar

Yüksek yapılara ilişkin tanımlamalar dünya genelinde çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca yüksek yapıların sahip oldukları farklı fonksiyonlar (konut, otel, ofis veya karma fonksiyon) yapılarıdaki kat yüksekliklerinin değişkenliğinde önemli rol oynamaktadır. Bu doğrultuda bu çalışmada Yüksek Yapı ve Kentsel Yaşam Konseyi (CTBUH) tarafından yapılmış olan yüksek yapı tanımı dikkate alınarak 14 kat ve 50 metreden yüksek yapılar yüksek yapı olarak kabul edilmiştir. Ayrıca literatürde çok farklı rüzgar türbini sınıflandırması mevcut olsa da güç odaklı ve eksen odaklı sınıflandırma dikkate alınmış olup, bu çalışmada 2008-2015 yılları arasında tasarlanmış ve yapımı tamamlanmış yapıyla bütünleşik rüzgar türbinlerine sahip yüksek yapı örnekleri üzerinde çalışılmıştır. Bu tez çalışması Yüksek Yapı ve Kentsel Yaşam Konseyi'nin yüksek yapı tanımı doğrultusundaki esaslar kabul edilerek gerçekleştirilmiştir.

2. YÜKSEK YAPI VE ENERJİ İLİŞKİSİ

2.1 Yüksek Yapı Tanımı ve Yüksek Yapıların Gelişimi

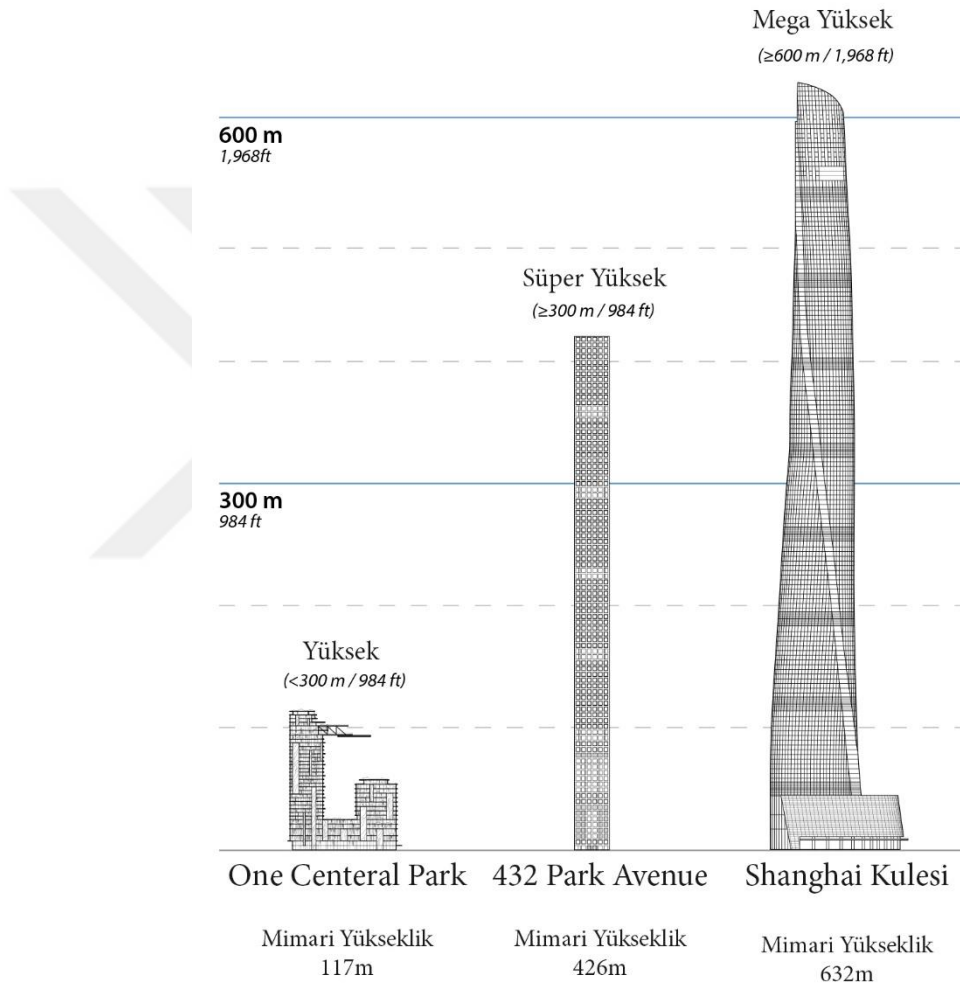
2.1.1 Yüksek Yapı Tanımı

Geçmişten günümüze yükseklik her zaman insanoğlu için cezbedici bir özellik olmuştur. Tarihsel süreçte ilk olarak anıtsal ve dini yapılarda ortaya çıkan yüksek yapı tipolojisi, gün geçtikçe simgeleşmiş ve yapı teknolojilerinin sınırlarını her zaman zorlamıştır. Yükseklik bir prestij kavramı olarak görülmüş, daha yükseğe ulaşma arzusu yüksek yapı teknolojilerinin gelişimi açısından itici unsur oluşturmuştur. Endüstri Devrimi, nüfus artışı ve göçler ile beraber ortaya çıkan yoğun kentleşme olgusu ise; yüksek yapıların, prestij gösteren yapılar olmaları özelliklerinin yanı sıra mekan ihtiyaçlarını karşılama noktasında da önemli bir konuma yerleştirmiştir.

Yapı sektöründeki bu önemli konumlarına rağmen, yüksek yapı kavramı ile ilgili olarak uluslararası düzeyde kabul edilmiş bir standart tanım bulunmamaktadır. Yapılan tanımlamalardaki ölçütler dönemsel ve bölgesel olarak değişmekte ve gruplanabilmektedir. Tarih boyunca sürekli olarak artış gösteren yapı yükseklikleri de yapılan tanımlamaların gelişerek farklılaşmasına sebep olmuştur. Yüksek yapıların gelişim sürecinde ekonomi, estetik, teknoloji, imar düzenlemeleri ve hükümetlerin uyguladığı politikalar belirleyici ana unsurları oluşturmaktadır.

Yoğun kentsel bölgelerde yatırımcılara sağladığı ekonomik faydalar nedeniyle, yapılaşmada yüksek yapı tipolojisi ilk tercih olmuştur. Her ne kadar ekonomik faktörler ön plana çıksa da, esas olarak teknoloji bu yeni yapı tipini yapılabilir kılmıştır (Ali, Moon, 2007). Yapım teknolojileri dünyanın her yerinde eşzamanlı ve oranlı olarak gelişmediği için ülkeler arası dönemsel farklılıklar bulunmaktadır. Ülkeden ülkeye farklı tanımlar görülmesinin yanında, bir ülke içerisindeki şehirler ve bölgeler arasında da önemli tanım farklılıkları görülmektedir. Dünya genelindeki yönetmelik ve uygulamalarda yüksek yapı standartlarının da farklılık gösterdiği görülmektedir.

Yüksek Yapı ve Kentsel Yaşam Konseyi (CTBUH)'ne göre yüksek yapılarda kendi içerisinde üç gruba ayrılmaktadır. 50 metre ile 300 metre arasındaki yapılar “yüksek”, 300 metre ile 600 metre yükseklik arasındaki yapılar “süper yüksek”, 600 metre ve üzerinde yüksekliğe sahip yapılar ise “mega yüksek yapı” olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.1). Günümüzde bu sınıflandırma doğrultusunda tamamlanmış 149 süper yüksek yapı ve 3 mega yüksek yapı bulunmaktadır (CTBUH, 2019).



Şekil 2.1 : Yüksek yapıların yüksekliklerine göre kendi içerisinde sınıflandırılması (CTBUH, 2019).

İzmir Büyükşehir Belediyesi Yüksek Yapılar Yönetmeliği'nin Tanımlar başlıklı 2. maddesinde; genel olarak yakın ve uzak çevresini, fiziksel çevre, kent dokusu ve her türlü kentsel alt yapı yönünden etkileyen ve son kat tavan döşeme kotu 30.80 metreyi ve/veya bodrum kat dahil olmak üzere toplam kat adedi 13'ü aşan (13. kat hariç)

yapılar yüksek yapı olarak kabul edilmiştir (İzmir Büyükşehir Belediyesi Yüksek Yapılar Yönetmeliği, 1996).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanıp günümüzde yürürlükte bulunan Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'nin Tanımlar başlıklı 4. maddesinde yüksek yapı tanımı yapılmıştır. Bu madde metnine göre; bina yüksekliği 21.50 metreden ve yapı yüksekliği 30.50 metreden fazla olan yapılar yüksek yapı, bina yüksekliği 51.50 metreden veya yapı yüksekliği 60.50 metreden daha yüksek olan binalar çok yüksek yapı olarak tanımlanmıştır (Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, 2017).

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın (Şimdiki adıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı) 01/11/2007 tarihli Binaların Yangından Korunmasına Yönelik Yönetmeliğin Tanımlar başlıklı 4. Maddesinde; bina yüksekliği 21.50 m'den veya 7 kattan fazla, yapı yüksekliği 30.50 m'den veya 10 kattan fazla olan binalar yüksek yapılar olarak tanımlanmıştır (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007).

Yüksek yapılar inşa edildiği bölgeye özel, kendi kendini yönetebilen ve kendi kendine yetebilen; kullanım alanlarının kalitesi, ileri teknoloji ile mekanize edilmiş bir konstrüksiyon ile ortaya çıkmış yapı türleridir (Sev, 2001).

Hangi yükseklik veya kat adedinden sonra yüksek yapı veya gökdelen sayılabileceğine dair genel geçer bir tanım bulunmamaktadır. Alman standartları en yüksek noktası 22 metreyi geçen binaları “Yüksek Yapı” olarak adlandırmaktadır. ABD’de bu sınır 12 kat olarak kabul edilmektedir (Aytıs,1996; Üdürgücü,2010).

Yüksek Yapı ve Kentsel Yaşam Konseyi (CTBUH)’ne göre yüksek yapı tanımı yapılırken üç temel kriter dikkate alınmış olup bunlar;

1. Yapının çevre dokusuyla ilişkisine göre yükseklik tanımıdır (Şekil 2.2). Yapının bulunduğu yapıları çevredeki diğer yapılarla olan ilişkisi önem teşkil etmektedir. Alçak katlı yapıların yoğunlukta bulunduğu bir çevrede 14 katlı bir yapı yüksek olarak nitelendirilmekte iken, yüksek katlı yapıların yoğunlukta olduğu bir çevrede 14 katlı bir yapı yüksek olarak nitelendirilmemektedir.



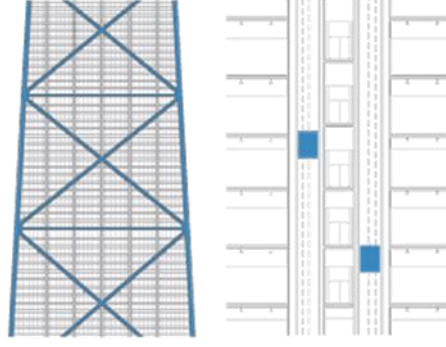
Şekil 2.2 : Yapının çevre dokusuyla ilişkisine göre (CTBUH, 2019).

2. Yapının oranına göre yükseklik tanımıdır (Şekil 2.3). Yapının kat yüksekliğinin taban alanına göre oranı da onun tanımlanmasında önem teşkil etmektedir. Aynı yüksekliğe sahip iki farklı yapının sahip olduğu bu farklı oran yüksek yapı olarak tanımlanmalarında birbirlerinden ayrılmalarına neden olacaktır.



Şekil 2.3 : Yapının oranına göre yükseklik tanımı (CTBUH, 2019).

3. Kullanım teknolojisine göre yükseklik tanımıdır (Şekil 2.4). Yapım teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde yüksek yapıların kat yüksekliklerinin artışının sürekliliği olanaklı kılmıştır. Yapım teknolojilerinin kullanımı da yüksek yapıların sınıflandırılmasında ve tanımlanmasında belirleyici unsuru oluşturmaktadır.



Şekil 2.4 : Yapım teknolojisine göre sınıflandırma (CTBUH, 2019).

Teknolojik açıdan bakıldığında yüksek bir yapı, yatay yüklere karşı dayanım sağlayan strüktürel çerçeveler, yeni kazı yöntemleri ve temel sistemleri, hızlı asansörler, etkin iklimlendirme sistemleri, geniş cam yüzeyler, iç aydınlatma, haberleşme, görüntüleme ve güvenlik sistemleri ile temizlik robotları gibi bir dizi yenilik ile beraber sınırlı bir yapı alanı üzerinde yoğunlaştırılmış kullanım alanları sağlayan bir yapı türüdür (Sev, 2009). Her geçen gün artan nüfus, teknolojik gelişmeler ve yatırımlar yüksek yapının kendisinin ve tanımının çok daha farklı noktalara gelebileceğinin bir göstergesidir.

2.1.2 Yüksek Yapıların Gelişimi

Tarihte insanoğlu yüksek yapılara ayrı bir önem atfetmiştir. İlk örnek niteliğindeki Mısır'daki Piramitler (Şekil 2.5), Babil Kulesi ve Maya Tapınakları anıtsal ve dini özelliklere sahip görkemli yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Yükseklik kavramı devam eden süreçte de cami, katedral ve pagoda gibi ibadethane fonksiyonunu barındıran anıtsal nitelikteki farklı formlara sahip yapılarda karşımıza çıkmıştır. Temelleri antik çağa dayanmakta olan bu anıtsal amaç taşıyan ilk yüksek yapı örneklerini içeren yüksek yapı kavramı, Endüstri Devrimi ile değişime uğramıştır (Sev, 2001).



Şekil 2.5 : Giza Piramitleri, Mısır (Url-1).

Endüstri Devrimi ile ortaya çıkan göç dalgası kentsel alandaki yoğun nüfus artışı konut ihtiyacını da ortaya çıkarmıştır. Bu çerçevede, yapılaşmaya açılmış arsaların yetersizliğine ve yapı ihtiyacına çözüm olarak düşey yükselme karşımıza çıkmıştır. Bu dönemde yapı malzemelerinde ve yapı teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler yükseklik kavramına katkı sağlamış, düşey yükselmeyi olanaklı kılmıştır. Bu sayede yüksek yapılar 19.yy sonlarına doğru ABD’de yeni bir yapı tipolojisi olarak ortaya çıkmıştır. 1885 yılında Chicago’da tamamlanan Home Insurance Binası (Şekil 2.6) büyük bir kesim tarafından ilk yüksek yapı olarak kabul edilmektedir (Oldfield, Trabucco, Wood, 2008).



Şekil 2.6 : Home Insurance Binası, 1896, Chicago (yıkılmış)(Url-2).

Başlangıçta “Amerikan Yapı Tipi” olarak adlandırılan yüksek yapılar bugün, dünya genelinde benimsenerek inşa edilen yapı türü konumundadır (Ali, Moon, 2007).

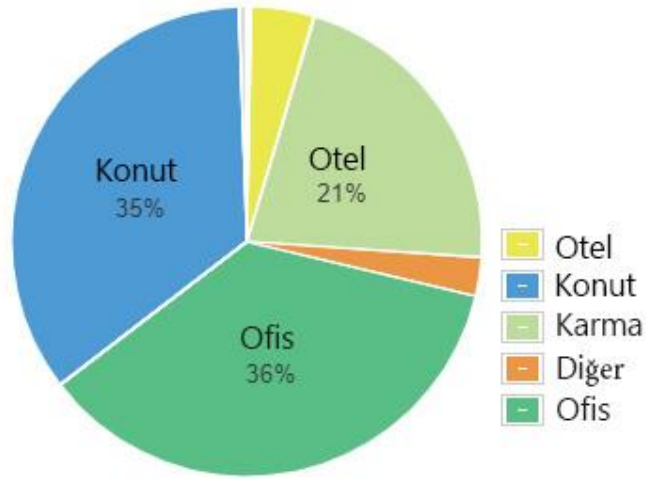
Günümüzde Asya kıtasında var olan yüksek yapı sayısı Amerika kıtasındakini geride bırakmıştır (Şekil 2.7). Dünya genelinde yüksek yapı sayıları her geçen gün artış göstermektedir.



Şekil 2.7 : Yüksek yapıların dünya genelindeki dağılımları (CTBUH, 2020).

19.yy sonlarındaki bu ilk yüksek yapı gelişmeleri, gün ışığından en yüksek oranda faydalanılan, düşey düzlemde üst üste kümelenmiş kiralanabilir ofis alanları oluşturularak, alanlardan elde edilen gelirin artırılması ekonomik denklemine dayanmaktadır. Ayrıca kullanıcı ihtiyaçları ve ekonomik talepleri karşılama noktasında, yüksek yapılarda teknolojinin kullanımı itici bir güç haline gelmiştir. Bu kapsamda, asansörün icadı ve dökme demirin inşaat malzemesi olarak kullanılması ile başlayan yapısal teknolojik gelişmelerin yüksek yapılarda kullanımı da süreklilik kazanmıştır. Yüksek yapı teknolojilerindeki devam eden süreklilik, geçmişten günümüze kadarki süreçte yapıların yüksekliklerinin artmasına katkı sağlamıştır.

Dolayısıyla, ilk yüksek yapı örnekleri ofis binaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Teknolojinin ortaya çıkardığı yenilikler, toplum yapısının değişmesi sonucu toplumun ihtiyaç ve beklentilerinin farklılaşması yüksek yapılara olan ilgiyi artırarak, yüksek yapıların; ofis yapıları, konut yapıları, otel yapıları ve karma fonksiyonlu yapılar olarak farklı işlevlerde kullanılmalarını sağlamıştır. Günümüzde, konut ve otel fonksiyonlarına sahip yüksek yapılar da önem kazanmış, sayıları artmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : Yüksek yapıların dünya genelindeki kullanım fonksiyonlarının oranı (CTBUH, 2020).

Dubai’de, yapımı 2010 yılında tamamlanan, konut, ofis ve otel fonksiyonlarını içinde barındıran, Burj Khalifa (Şekil 2.9) 828 metre yüksekliği ile Dünyadaki en yüksek yapı konumundadır. Ancak kısa zaman içerisinde tamamlanması beklenen yapılar ile yükseklik noktasının Burj Khalifa’nın sahip olduğu 828 metre yükseklikten daha yukarılara taşınması beklenmektedir.



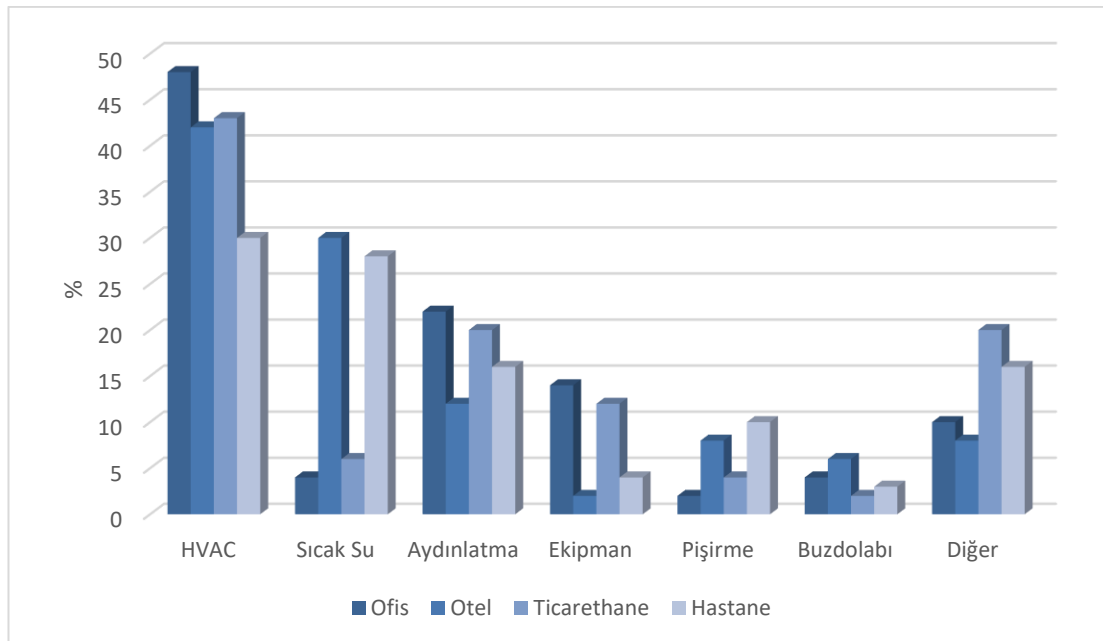
Şekil 2.9 : Burj Khalifa, Dubai (Url-3).

Nüfus artışının yanı sıra insanların kapalı alanlarda harcadıkları zamanın da artması karşısında, yüksek yapıların önem derecesinin giderek artacağı düşünülmektedir. Yüksek yapılar, sürekli değişim ve gelişim gösteren bir toplumsal yapı içerisinde

toplumun mekan ihtiyaçlarını karşılamasına öncülük etmektedir. Dolayısıyla, teknolojik gelişmeler ve yenilikçi yaklaşımlar doğrultusunda yüksek yapıların boyut ve sayılarındaki artışın devam etmesi beklenmektedir.

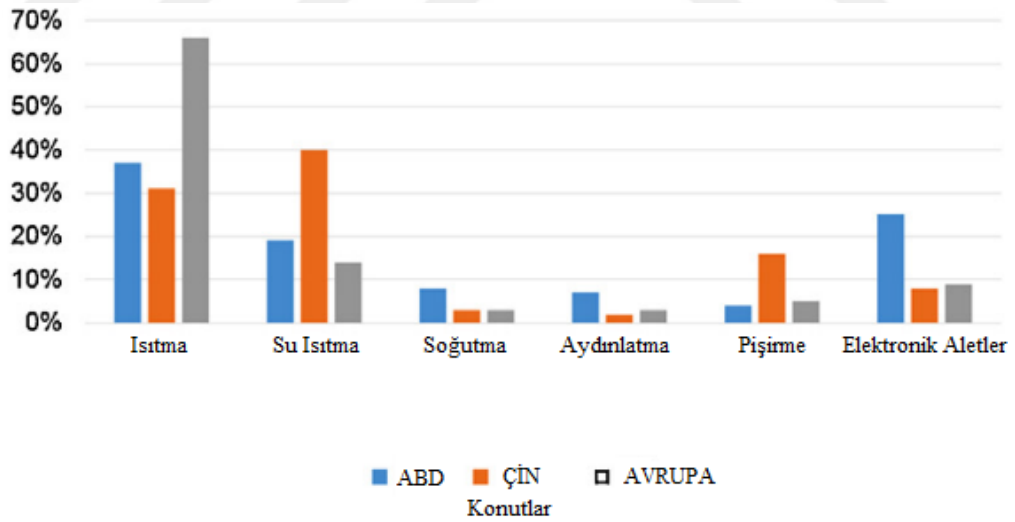
2.2 Yüksek Yapılarda Enerji Tüketimi ve Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Yüksek yapıların enerji tüketimini belirleyen çok farklı sayıda değişken bulunmaktadır. Yapının tasarımı, fonksiyonu, bulunduğu iklim kuşağı ve coğrafya, güneşlenme süresi, diğer binalara göre konumu, yüksekliği, yapım teknolojisi, kullanılan elektro-mekanik sistemler ve bina otomasyon sistemleri gibi çok sayıda faktör yüksek bir yapının enerji tüketiminde belirleyici unsur olmaktadır. Bu faktörlerin önem derecesi yapıdan yapıya ve yapının bulunduğu konuma göre de değişiklik göstermektedir (Elotefy vd., 2015). Aynı coğrafi koşullar altında bulunan yüksek bir ofis yapısında sıcak su için tüketilen enerjinin, aynı büyüklükteki yüksek bir otel binasına göre daha düşük olması beklenir (Şekil 2.10). Çoğu yapı için ısıtma, iklimlendirme ve havalandırma sistemleri bir bütün olarak en önemli enerji tüketim kalemlerini oluşturmaktadır. Yapının fonksiyonu işletim sürecindeki enerji tüketim oranlarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Pérez-Lombard vd., 2008).



Şekil 2.10 : Yapı Fonksiyonuna göre enerji tüketim oranı (Pérez-Lombard, Ortiz, Pout, 2008).

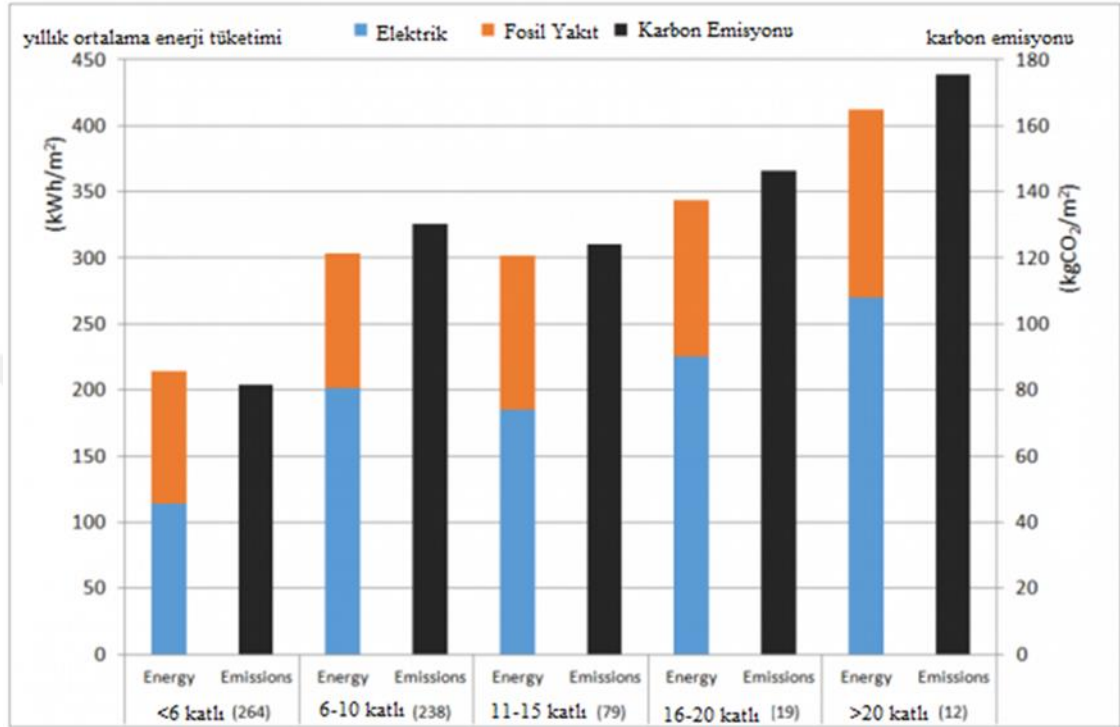
Aynı fonksiyon ve benzer özelliklere sahip iki yüksek yapıdan tropikal iklim kuşağındaki bir bölgede tasarlanan yüksek yapı ile orta iklim kuşağındaki bir bölgede tasarlanan yüksek yapı arasında da ısıtma enerjisi ve soğutma enerjilerinin tüketim miktarlarının birbirlerinden farklı oranlara sahip olması beklenmektedir (Şekil 2.11). Bu iki farklı iklim bölgesinin kullanıcı gereksinimleri farklı olacağından, enerji tüketimleri de bu ihtiyaçlar doğrultusunda gelişim gösterecektir. Yapının bulunduğu bölgedeki gelenekler de kullanıcı ihtiyaç ve eylemlerinde belirleyici unsur olacağından yapı işletim sürecindeki tüketim enerji oranlarının belirlenmesinde etkili unsur olabilmektedir. Hızlı tüketim kültürünün yaygın olduğu bir bölgedeki konutlarda pişirme için tüketilen enerjinin geleneksel bölgelere oranla daha düşük çıkması beklenen bir sonuç olmaktadır. Teknolojik gelişmelerin hayatın içinde daha yoğun olarak yer aldığı bir kentsel yerleşim yerinde elektronik aletlerin enerji tüketim oranının tüm yapı enerji tüketimine oranının da farklı olması beklenen bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2.11 : Farklı bölgelerdeki konutların 2010 yılındaki enerji tüketim yüzdeleri
(Cao vd., 2016).

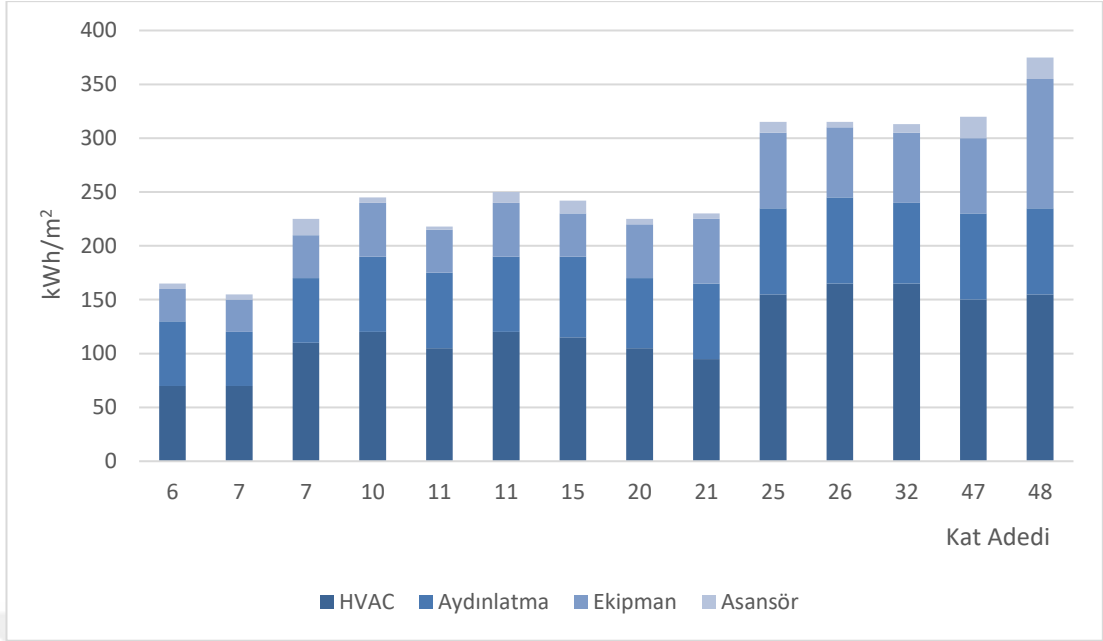
İngiltere’de yapılan bir araştırmada; çoğunluğunun Londra’da bulunduğu yaklaşık 700 farklı ofis yapısı, yapı işletim sürecinde tükettikleri enerji miktarları açısından değerlendirilmiştir (Steadman, vd., 2017). 1900 yılı öncesinden günümüze kadar

yapılmış olan farklı yüksekliklere sahip olan yapıların araştırıldığı bu çalışmaya göre yüksek yapıların, birim alana düşen enerji tüketim miktarları ve karbon salımlarının az katlı yapılara göre daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : Yüksekliğe göre karbon salımı ve enerji tüketimi (Steadman, vd., 2017).

Yükseklik faktörü de yapıların enerji tüketim miktarı için belirleyici unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Az katlı yapılarda enerji tüketim oranlarının belirlenmesinde en önemli unsurlar; ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemleri, sıcak su sistemi, aydınlatma ve elektro-mekanik sistemlerdir. Yüksek yapılarda ise bu yüklere ek, belirleyici olarak asansör, pompalama sistemleri ve ısı atımı için gerekli olan sistem yükleri eklenmektedir (Şekil 2.13). Yüksek yapılar için önemli birer enerji tüketim kalemi olan bu ek yükler, az ve orta kat adedine sahip yapılara göre tüketim oranlarının daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Bu iki yapı türünde de mekan ısıtma ve su ısıtma en önemli tüketim yükünü oluşturmaktadır (Drew vd., 2015).



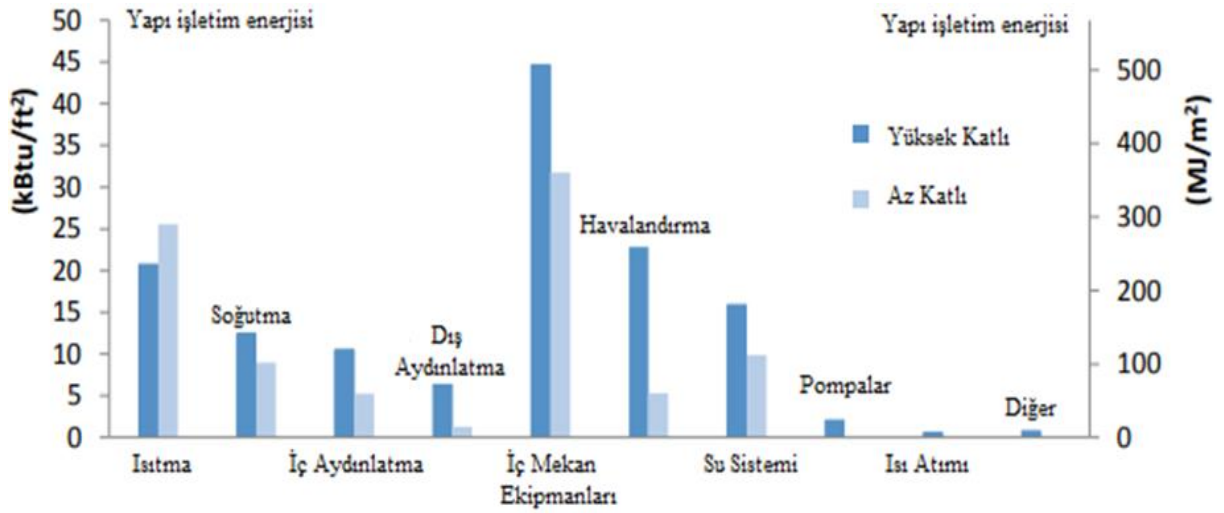
Şekil 2.13 : Kat adedi birim alan enerji tüketimi oranı (Elotefy vd., 2015).

Bir diğer konu yüksek binalardaki soğutma yükleridir. Yüksek katlı binalar az katlı binalara oranla güneş ışınlarına ve radyasyona daha fazla maruz kalırlar; çünkü ağaçlar ve hatta diğer binalar nadiren üzerlerinde gölge oluşturur. Hatta çevredeki binalardan yansımalarla kaynaklanan güneş kazanımı artışı meydana gelmektedir. Maruz kalınan daha fazla güneş ışınlamı ve radyasyon oranları soğutma için gerekli olan enerji tüketimini diğer yapılara oranla arttırmaktadır.

Yüksek binalar, az katlı binalara kıyasla daha fazla asansör enerjisi tüketimine sahiptir, çünkü asansörler bu tür binalarda daha fazla mesafelerde seyahat eder ve genellikle daha yüksek hızlarda hareket etmektedirler. Asansör kullanımında tüketilen enerji yapının fonksiyonuna, bulunduğu iklim bölgesine ve yüksekliğine bağlı olarak toplam enerji tüketimine oranı %5-15 arasında değişmektedir (Leung, Ray, 2013).

Başta ofis binaları olmak üzere, yüksek binalarda enerji tüketimini artıran bir diğer unsur da son yıllarda kullanımı giderek artan teknoloji kullanımı ve çok sayıdaki ofis ekipmanıdır. Teknoloji ve çeşitli ofis ekipmanlarının kullanımı yüksek yapıların enerji tüketiminde önemli artışlara sebep olmaktadır (Şekil 2.14). Bilgisayar ve elektronik ekipman kullanımındaki artış elektrik enerjisi ihtiyacını artırırken aynı zamanda

bilgisayarların yaydıkları ısı enerjisinden kaynaklı olarak mekanik soğutma sistemlerine ek yük getirmektedir.



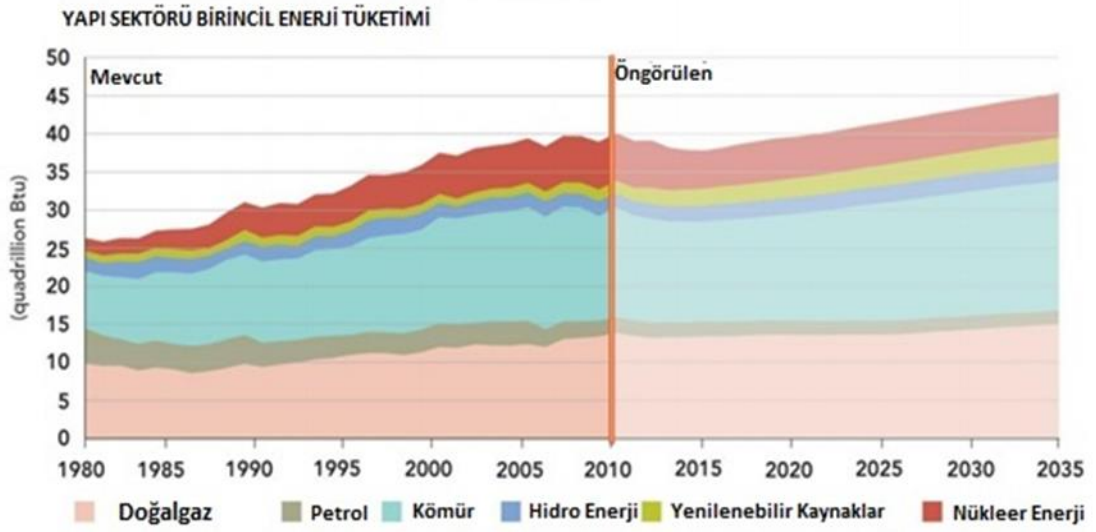
Şekil 2.14 : Yüksek katlı yapı - az katlı yapı enerji tüketimleri kıyaslaması (Du vd., 2015).

Artan yükseklik yapay havalandırma sistemi ve hava filtrasyonu için enerji tüketim miktarlarında artışa sebep olmaktadır. U değeri hesaplamaları için belirlenen rüzgar yükü sabiti yükseklik ile beraber artmakta, yapı yüksekliği arttıkça bina ve çevre arasında daha yüksek ısı transfer hızlarına yol açmaktadır (Leung, Ray, 2013). Bu ısı transferini engellemek için daha yüksek oranda ve boyutlarda ısı yalıtım malzemesi kullanımı gerekmektedir. Ayrıca binada çeşitli kaynaklardan ortaya çıkan ısıнын atımı da yüksek yapılar için ek enerji tüketim yükü getirmektedir. Enerji performansı yüksek olan pek çok yüksek yapıda bu ısı eşanjörler tarafından yakalanarak, enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Enerji kaynakları; (i) yenilenebilir enerji kaynakları ve (ii) yenilenemeyen enerji kaynakları olarak iki gruba ayrılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları doğada uzun yıllardır depolanmış halde bulunan ve tüketildikçe azalan; kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kaynaklar ile nükleer enerjiyi içermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini ise güneş enerjisi oluşturmaktadır. Güneş teorik olarak sonsuz bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğu güneş enerjisinin doğrudan ya da dolaylı yollar ile kullanılmasıyla elde edilen, doğal tabiat

döngüsü içerisinde kendini yenileyerek doğada var olmaya devam eden temiz, sürdürülebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları teorik olarak tükenmez olup, birim zaman içinde mevcut enerji miktarı ile sınırlı olmaktadır (EIA, 2019). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin 5346 sayılı Kanun'un "Tanımlar ve Kısaltmalar" başlıklı 3. maddesinin 8. fıkrasında yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, biyokütleden elde edilen gaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi, fosil olmayan enerji kaynakları olarak tanımlanmıştır.

Günümüzde hızla artmakta olan nüfus ile doğru orantılı artan enerji tüketimi, enerji kaynaklarının azalmasına ve ozon tabakasının incelmesine, küresel ısınmaya, iklim değişikliği gibi sorunlara neden olmaktadır. Tüm bu olumsuz etkiler üzerinde yapıları çevrenin üretim, işletim, bakım süreçleri için gerekli olan enerjinin üretiminde kullanılan fosil kaynakların etkisi oldukça fazladır. 1973 yılında yaşanan enerji krizi ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem artmıştır. İlk olarak yaşanan enerji krizi ile birlikte insanlık, dünyanın enerji kaynaklarının tükenmesi ve enerjinin korunumu hakkında düşünmeye başlamıştır. Öncelikli olarak ısıtma, aydınlatma ve havalandırma enerjisi tüketimlerini düşürmeye yönelik adımlar atılıp, "enerji tasarrufu" kavramı ön plana çıkarılmıştır. Bir sonraki aşamada ise enerji tasarrufu kavramı genişletilip "verimlilik" kavramına dönüştürülmüştür. Enerji verimliliğinin ilk aşaması olan enerji tasarrufu; tüketimin azaltılması ve aydınlatma, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme, asansörlerin çalıştırılması için kullanılan enerjinin rasyonel kullanımını sağlamak için kullanılan bir dizi yenilikçi mimari, yapısal ve mühendislik önlemi içermektedir. Enerji verimliliğinin ikinci aşaması olan sürdürülebilirlik ise; alternatif, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını içermektedir (Zhigulina, Ponomarenko, 2018). Ancak yapı sektörünün ihtiyacı olan enerjinin üretiminde kullanılmakta olan enerji kaynakları dikkate alındığında, çevreye verdiği olumsuz etkilere rağmen fosil kaynaklara olan bağımlılığın devam ettiği görülmektedir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 : Yapı sektörü kaynaklara göre enerji tüketim oranları (Yapı Enerji Veri Kitabı, 2011).

Doğaya zarar vermeyen bu yeşil enerjinin sağlanabilmesi, büyük miktarlardaki enerji tüketiminin çevreci bir şekilde sağlanması için birden fazla yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanıldığı görülmektedir. Çevre ve enerji sorunlarının azaltılması ve habitatın korunması amacıyla yapı endüstrisinde de tükenmekte olan fosil enerji kaynaklarının yerine yenilenebilir kaynakların kullanımı büyük önem arz etmektedir. Enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından yerinde üretim ile sağlanarak enerji tüketiminin azaltılması hedeflenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile fosil yakıt tüketimi ve karbon salımını da azalmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yapılarda kullanımının arttırılmasına yönelik tasarım stratejileri daha büyük oranda yüksek yapılara etki etmiştir. Yüksek yapılar sahip oldukları yükseklik, genişlik gibi boyutsal özellikler ve kullanıcı yoğunluğu ek olarak da kent içindeki konumu, tasarımı ve teknolojik gelişmelerden faydalanmaları açısından diğer yapı türlerinden ayrılmaktadırlar. Yükseklikleri itibariyle taşıyıcı sistem özellikleri, sirkülasyon çözümleri, servis sistemleri, aydınlatma, ısıtma, havalandırma ve soğutma sistemleri az katlı yapılara oranla çok daha fazla enerji kullanımını gerektirmektedir. Sözü edilen noktalar doğrultusunda ekolojik açıdan birçok tartışma olsa da kırsal alandan kentlere göç ve kentlerin büyümesi dikkate alındığında özellikle kentin ve toplumun taleplerini karşılama noktasında en önemli

özüm önerisi olarak karşımıza çıkmaktadır (Yeang vd., 2008). Geçtiğimiz 120 yıl boyunca da, yüksek yapı tipolojisi; malzeme ve teknolojiadaki gelişmeler, mimari düşünce ve ekonomik konudaki değişikliklerden etkilenerak günün ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde, çeşitli fonksiyonel değişimlerden geçmiştir (Oldfield vd., 2008). Bu doğrultuda yenilenebilir kaynaklar ile yerinde enerji üretimine yönelik sistemlerin yüksek yapılarda kullanımı her geçen gün artmaya devam etmektedir.

Yapılara eklenen aktif ve pasif enerji sistemleri ile yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak enerji etkin yapıların üretimi açısından önemli bir adım olmaktadır. Yapının işletim süresi boyunca ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri için tüketilen enerjinin, aktif yöntemler ile üretilmesi ve kullanılması mümkündür. Bu sistemler yapı boyutlarının çok fazla olduğu yüksek yapılarda dezavantaj gibi görünse de, aslında güneşlenme durumu ve rüzgarın kat yüksekliğine göre gösterdiği değişkenlik enerji üretimi noktasında avantaj sağlamaktadır (Zhigulina, Ponomarenko, 2018).

Enerjinin verimli kullanılmasına ilişkin yüksek yapı sektöründe yeni stratejiler geliştirilmektedir. Bu çerçevede, Amerika’da yeşil ofis olarak adlandırılan çevre dostu binaların sayısında artış görölmektedir. Örneğin düşük verimleri nedeniyle, toplam emisyonun %70’ini binaların oluşturduğu Chicago’da, 2014 tarihli Chicago İklim Eylem Planı sonucunda, ticari binaların %50’sinin doğa dostu yenilenmesi sonucunda %30 enerji verimliliği sağlanmıştır. Bu tür projelerde özellikle önemli derecede enerji tüketimi bulunan kentsel alanlardaki yüksek binaların çevre dostu haline getirilmesi büyük önem taşımaktadır (Rafiei, Adeli, 2016).

CIS Kulesi (Şekil 2.16) İngiltere’nin Manchester şehrinde 1962 yılında yapılmıştır. Ofis olarak kullanılan yapı 25 kattan oluşmaktadır. 2004 – 2006 yılları arasında gerçekleştirilen yenileme çalışmaları sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin sürdürülebilir kullanıldığı bir yapı konumuna gelmiştir. Yapının cephelerinin yeniden tasarlanırken eklenen fotovoltaik paneller ve çatıya tespit edilen rüzgar türbinleri sayesinde ihtiyacı olan enerjinin yaklaşık olarak %10’unu üretebilir konuma gelmiştir (Zinzade, 2010).



Şekil 2.16 : CIS Kulesi, 2010, Manchester (Url – 4).

Bir diğer örnek olarak Manitabo Hydro Binası (Şekil 2.17) 2009 yılında Kanada'nın Manitoba şehrinde yapılmıştır. Ofis olarak kullanılan yapı 22 katlı olup sürdürülebilir, enerji etkin tasarım özelliklerine sahiptir. Yapının ısıtma ve soğutma sisteminde jeotermal enerji kullanılmaktadır. Sistemin; ısı pompaları, ısı düzenleyiciler ve ısıyı dağıtan, sondajla açılan 150 mm çaplı, 125 m derinliğinde 280 tane borudan oluşmaktadır. Sistemin çalışma prensibi ısınan havanın toprak ve yapı arasında iletimine dayanmaktadır. Yaz aylarında ise betonarme döşeme içinden geçen borularla, yapının ısısı toprağa iletilerek soğutma sağlanır. Isınan hava, kış aylarında yapıyı ısıtmak için kullanılmaktadır (Demir, 2011).



Şekil 2.17 : Manitabo Hydro Binası, 2009, Manitoba (Url-5).

Gelecek öngörülerinde, yüksek yapıların kentsel yaşam içindeki varlıklarının artması beklenmektedir. Yüksek yapılar boyutları, kullanıcı sayıları ve enerji tüketim oranları ile çevreye ek yük getirmeyecek şekilde tasarlanması gelecek adına önemli olmaktadır. Yukarıdaki örneklerdeki gibi bulunduğu çevre şartlarına göre yenilenebilir kaynaklardan en üst düzeyde yararlanılan yüksek yapı örneklerinin arttırılması gerekmektedir. Yüksek yapı tasarım stratejilerinin belirlenmesinde yenilenebilir enerji kaynakları ile yüksek yapıların kendi kendilerine yetebilmelerinin yanı sıra şebekeye enerji üretimi sağlaması da ilerleyen süreçlerde yüksek yapıların sahip olmaları gereken özellikleri arasında olması beklenmektedir.

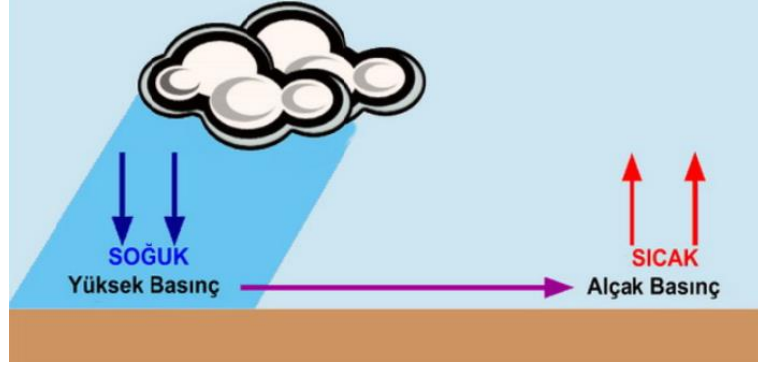
2.3 Rüzgar Enerjisi ve Yüksek Yapı-Rüzgar Etkileşimi

2.3.1 Rüzgarın oluşumu ve temel özellikleri

Rüzgar; en genel ifade biçimi ile yeryüzüne yakın yatay ve yataya yakın doğrultuda hava kütlelerinin yer değiştirmesi için kullanılan bir terimdir. Dünya'nın şekli ve hareketleri, yeryüzünün düzgün olmayan yapısından kaynaklı olarak yüzeyin eşit olmayan ısınması ve soğuması sonucunda oluşan kuvvetlerin etkisiyle meydana gelen hava hareketleridir. Yeryüzündeki sıcaklık farkları ve buna bağlı olarak oluşan basınç farklılıkları sonucu hava kütlesi yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket ederek rüzgar oluşumuna neden olmaktadır. Yeryüzünde meydana gelen hava hareketleri üç boyutludur; ancak yatay bileşeni düşey bileşene oranla çok daha büyük etkiye sahip olduğundan dikkate alınmamaktadır. Vektörel bir kuvvet olan rüzgarın, yön ve şiddet faktörlerinin ölçümü yapılabilmektedir.

Tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının temel kaynağını güneş enerjisi oluşturmaktadır. Rüzgar enerjisi de güneş enerjisinin dönüşüme uğraması ile meydana gelmektedir. Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %1-2'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir (Yeter, 2011). Güneş enerjisinin yeryüzünü ve atmosferi özdeş bir şekilde ısıtamaması sonucu oluşan sıcaklık ve buna bağlı basınç farkları rüzgarı oluşturmaktadır. Rüzgar, yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket eden havanın dünya yüzeyine göre bağıl hareketidir. Oluşan hava kütlesi hareketleri Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönmesi ile oluşan 'Coriolis' kuvvetten ve yeryüzü ile hava kütlesi arasında meydana gelen sürtünme kuvvetlerinden etkilenmektedir (Tuncer, 2015).

Sıcak bölgelerde alçak basınç alanları, soğuk bölgelerde ise yüksek basınç alanları oluşmaktadır. Bu iki bölge arasında meydana gelen basınç farkı neticesinde hava kütlesi yüksek basınç bölgelerinden alçak basınç bölgelerine doğru hareket eder (Şekil 2.18). İki bölge arasındaki basınç farkının büyüklüğü, rüzgar hızının büyüklüğü ile orantılı olmaktadır. İki nokta arasındaki basınç eşitlenirse rüzgar durur.



Şekil 2.18 : Rüzgar oluşumunun şematik gösterimi (MGM, 2020)

Rüzgarın oluşabileceği yerler aşağıda belirtilmiştir (Yeter, 2011):

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

Rüzgar oluşumunun topoğrafya ile olan ilişkisi de önemlidir. Topoğrafyanın rüzgar üzerinde pürüzlülük, perdeleme ve orografik etkiler (tepe, sırt, basamaklı arazi yapısı, oluk vadi, yüksek plato) olarak önemli ilave etkileri söz konusu olmaktadır.

Rüzgar enerjisi de güneşten gelen ışınların, yeryüzünü farklı ısıtması sonucu oluşan hava hareketleri neticesinde meydana gelmektedir. Temiz, yenilenebilir, sonsuz bir enerji kaynağı olan rüzgarın kaynağı güneştir. Güneşten Dünya'ya gelen enerjinin yaklaşık olarak %2'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir (Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı, 2020). Rüzgar enerjisi ile rüzgar hızı doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu doğrultuda yüksek noktalarda elde edilen rüzgar enerjisi de artmaktadır. Rüzgar enerjisi, çevre dostu olması, bol olması, tükenme riski bulunmaması, dışa bağımlılık yaratmaması, bakım ve işletim maliyetlerinin düşük olması gibi özelliklerden dolayı çok önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bu gibi özelliklerin varlığından dolayı da uzun süredir insanlık tarihinde çeşitli formlarda kullanılmıştır. Günümüzde önemi daha da artmaktadır.

2.3.2 Rüzgâr Hızını Etkileyen Faktörler

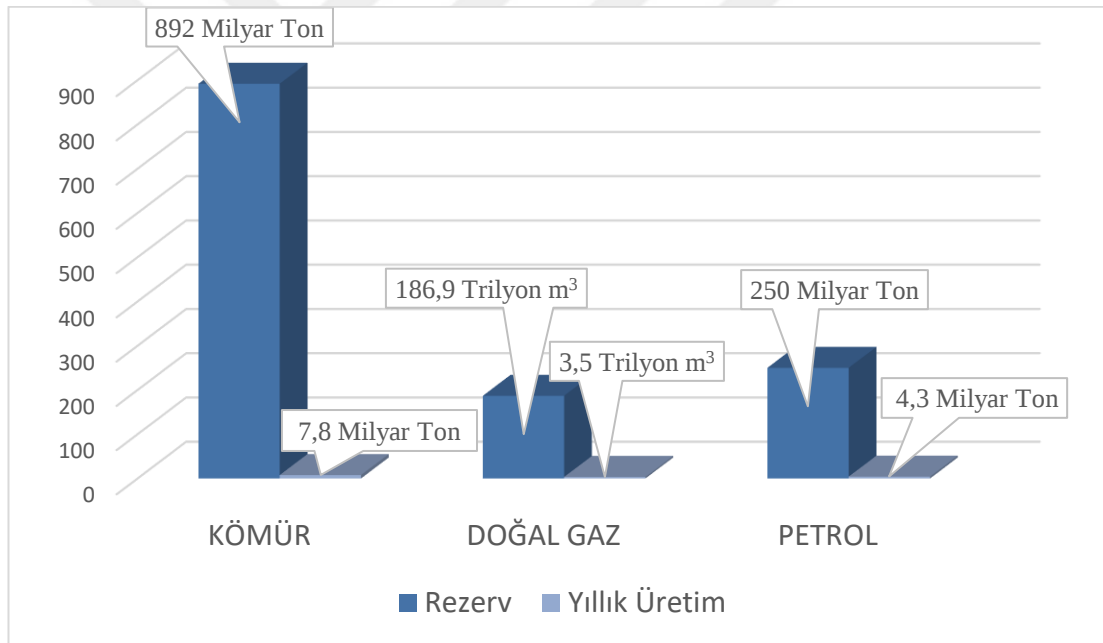
Rüzgar hızı; iki nokta arasındaki basınç farkından dolayı yer değiştiren havanın hareket hızıdır. Hareket vektörünün büyüklüğü, skaler bir niceliktir. Rüzgar hızı ölçümünde anemometre kullanılmaktadır. Rüzgar hızını etkileyen etmenler şu şekilde sıralanmaktadır (Tuncer, 2015);

- Basınç Farkı ve Uzaklık: Alçak ve yüksek basınç merkezleri birbirine ne kadar yakın ve aradaki basınç farkı ne kadar fazla ise rüzgar o kadar hızlı eser, aradaki uzaklık arttıkça rüzgarın şiddeti azalır.
- Dünya'nın Günlük Hareketi: Dünya'nın kendi eksenini etrafındaki günlük hareketinin etkisiyle, rüzgarların esme yönlerinde değişiklik meydana gelmektedir. Bu nedenle rüzgarlar basınç farkını izlemeyip izobarlara paralel bir şekilde estikleri için hızları azalır.
- Yer Şekilleri: Yeryüzü şekilleri rüzgar hızı oluşumunda etkilidir. Dağlık engebeleri ve engellerin bulunduğu arazilerde sürtünme etkisi arttığı için rüzgar hızı azalacaktır. Engembeli olmayan alanlarda, açık deniz ve okyanuslarda üzerinde sürtünme etkisi azaldığından rüzgarın hızı en yüksek değerlerine ulaşmaktadır.
- Rüzgarın Yönü: Rüzgarlar geldikleri coğrafi yöne göre adlandırılmaktadırlar. Rüzgarın yönünün belirlenmesinde bulunulan noktaya dikkate alınmaktadır.
- Basınç Merkezlerinin Konumu: Rüzgârlar yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru eserler. Bu iki merkez arasındaki basınç farkları eşitlenince rüzgar sona erer.
- Rüzgarın Frekansı (Esme Sıklığı): Rüzgâr her yönden farklı sıklıkta eser. Rüzgârın belirli bir yönde yıllık esme sıklığına rüzgâr frekansı denir.

Statik rüzgar hızı, belirlenen bir zaman aralığındaki ortalama rüzgar hızını ifade etmektedir. Yönetmeliklerde ortalama rüzgar hızının hesabında kullanılan zaman aralığı için farklı değerler kullanılmaktadır.

2.3.3 Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

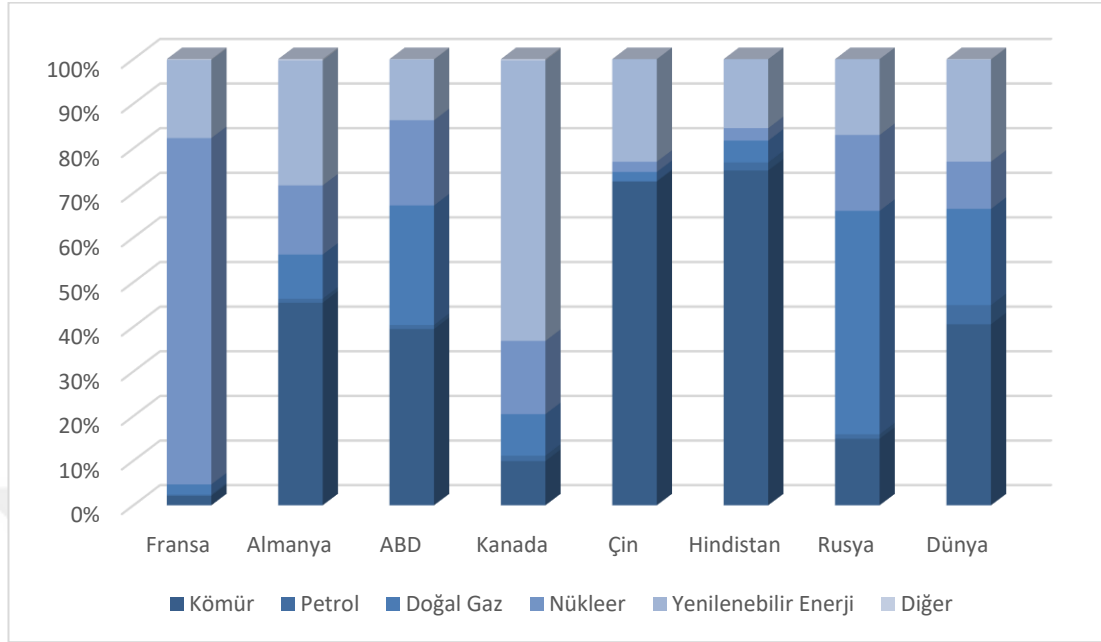
Dünya genelinde artan nüfus ve teknolojik gelişmelerin yaşam içerisindeki yoğun varlığı sonucu enerjiye olan bağımlılık giderek arttırmaktadır. Günlük yaşamın, tarımsal üretimin, sanayinin ve hizmet sektörünün faaliyetlerinin devamlılığı enerji üretimine bağımlı olarak sürmektedir. Ancak mevcut fosil kaynaklar ile var olan talebin sürdürülebilir şekilde karşılanması pek mümkün gözükmemektedir (Şekil2.19). Ayrıca fosil yakıt kaynakları küresel ısınma, iklim değişikliği ve ozon tabakasının incilmesi gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu kapsamda yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki kullanımlarına yönelik ihtiyaç her geçen gün önem kazanmaktadır.



Şekil 2.19 : Türlerine Göre Fosil Yakıt Rezervlerinin Kalan Ömürleri (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017).

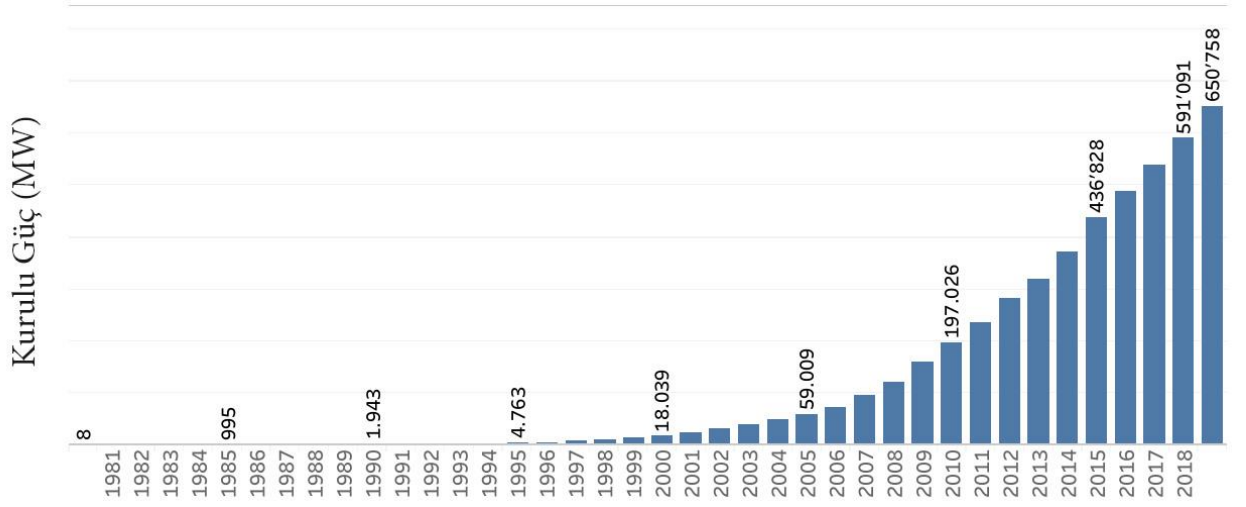
Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya genelinde elektrik enerjisi üretiminde kullanım oranları değişiklik göstermektedir (Şekil 2.20). Bu noktada ülkelerin bulundukları konum, sahip oldukları enerji rezervleri, sosyo-ekonomik yapıları gibi çok farklı değişken etki etmektedir. Ancak dünya genelindeki pek çok ülkenin taraf olduğu anlaşmalar ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranlarının dünya genelinde artış göstermesi hedeflenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları çevresel

sorunlarına ve fosil kaynakların tükenmesi sonucu enerji ihtiyacının karşılanmasına karşı en önemli çözüm olarak görülmektedir.



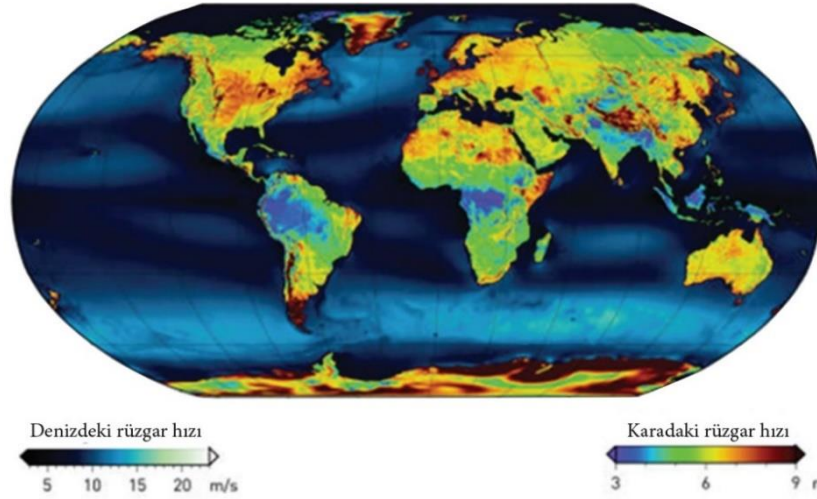
Şekil 2.20 : Ülkelerin kaynak bazında elektrik üretim oranı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017).

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ise rüzgar enerjisi pek çok açıdan önemli bir konuma sahiptir. Tükenme ve zamanla fiyatında artma riski bulunmaması, bakım ve işletim maliyetlerinin düşük olması, yüksek teknoloji gerektirmemesi, kısa kurulum ve söküm süreleri, temiz enerji kaynağı olması gibi özellikler rüzgar enerjisini ön plana çıkartmaktadır. Bu olumlu özelliklerin varlığı dünya genelindeki kurulu rüzgar enerjisi gücü artışı hızının çok yüksek olmasına neden olmaktadır (Şekil 2.21). 2019 yılında kurulu rüzgar enerjisi gücü 650758 MW'a ulaşmıştır. 2016 ila 2019 yılları arasında kurulu güç artış ortalaması %10'u geçmiştir (WWEA, 2020).



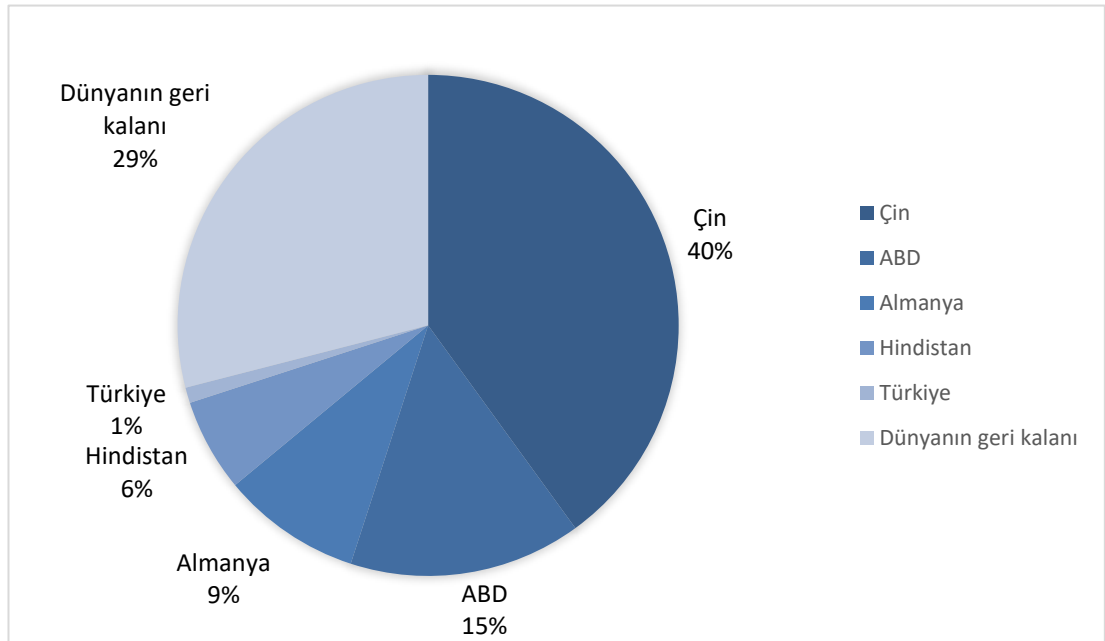
Şekil 2.21 : Yıllara göre dünya genelindeki rüzgar enerjisi kurulu gücü (WWEA, 2020).

Rüzgar enerjisi üretimi için yapılan yatırımlardan istenilen verimin alınabilmesi, rüzgar türbinlerinin kurulacağı bölgenin rüzgar potansiyeline bağlı olmaktadır. Rüzgar potansiyeli yeryüzü şekillerinden ve denize göre konumdan etkilenmektedir. En büyük rüzgarlarına karada denize kıyısı olan bölgelerde, denizde ise açık okyanuslarda ulaşılmaktadır (Şekil 2.22). Bu doğrultu da ülkelerin, sahip oldukları rüzgar potansiyellerinde dünya üzerindeki coğrafi konumları büyük önem taşımaktadır. Ayrıca rüzgar potansiyelinin hesaplanabilmesi için bölgenin yıllık ortalama rüzgar hızının ve yön değerlerinin belirli bir yükseklikten ölçülmesi gerekmektedir (Köse, Özgören, 2005).



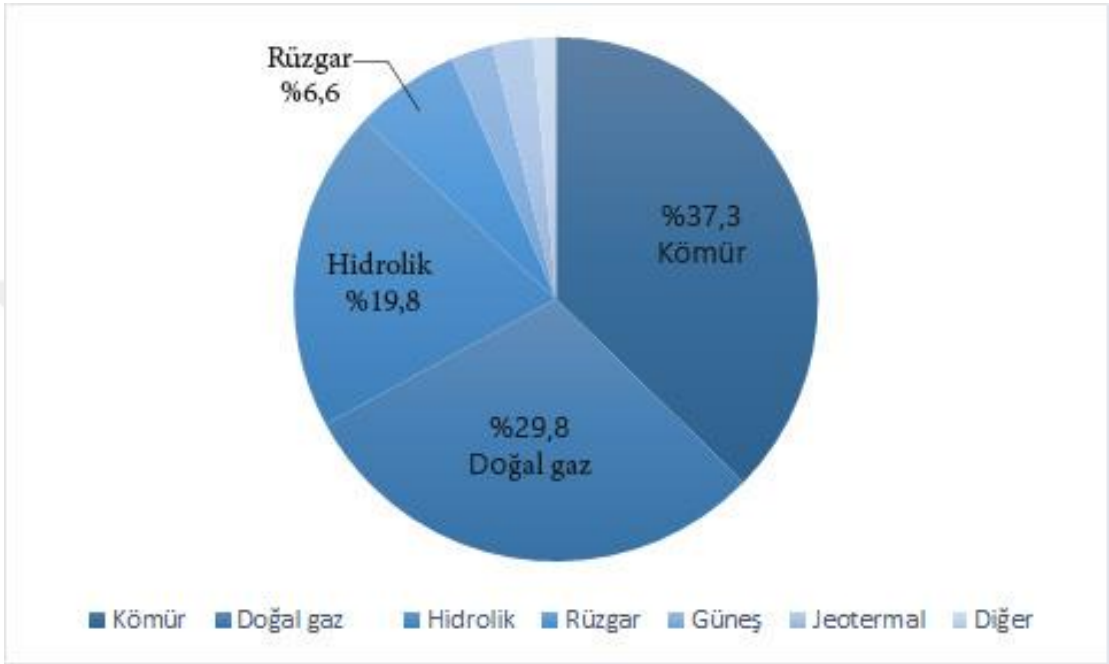
Şekil 2.22 : Dünya genelinde 80 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızı atlası (Malek vd., 2016)

Dünya genelindeki rüzgar enerjisi kurulu gücü açısından Çin, ABD ve Almanya en önemli ülkeler konumundadır (Şekil 2.23). 2019' daki dünya genelindeki rüzgar enerjisi kurulu gücü dikkate alındığında Çin yaklaşık %40 gibi bir orana sahip bulunmaktadır. Çin'i ardından yaklaşık olarak %15'lik orana sahip olan ABD gelmektedir. Türkiye var olan kurulu rüzgar enerjisi gücü ile yaklaşık %1'lik bir orana sahip bulunmaktadır.



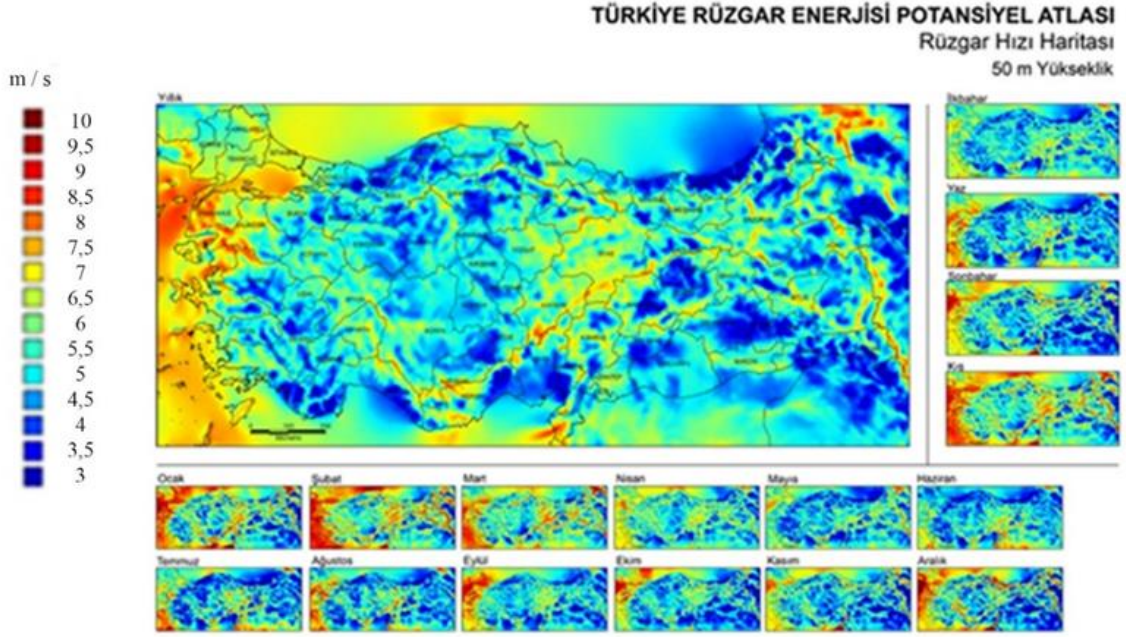
Şekil 2.23 : Kurulu rüzgar gücü bakımından ülkelerin durumları (WWEA, 2020).

Türkiye’de 2018 yılı itibari ile elektrik enerjisi üretiminde fosil kaynakların ağırlıklı kullanımı mevcuttur (Şekil 2.24). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisi toplam üretimin yaklaşık olarak %6,6’lık kısmını oluşturarak hidrolik enerjiden sonra gelmektedir. Türkiye’de de rüzgar enerjisine yönelik yatırımlar ve de bu yönde rüzgar santrali kurulumları devam etmektedir. Bunda Türkiye’nin sahip olduğu rüzgar potansiyelinin önemi çoktur.



Şekil 2.24 : 2018 yılı elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020).

Türkiye’de denize kıyısı olan bölgeler rüzgar enerjisi açısından diğer bölgelere oranla daha büyük potansiyele sahip olmaktadır (Şekil 2.25). Kurulu rüzgar enerji santrallerinin büyük çoğunluğu Ege kıyıları ve Marmara Denizi çevresindeki bölgelerde yer almaktadır.



Şekil 2.25 : Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel atlası (Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı, 2020).

Temiz yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgarın kullanımının artırılması gelecek açısından büyük önem taşımaktadır. Rüzgar enerjisi potansiyellerinin iyi belirlenip, bu doğrultuda en yüksek verimin elde edilmesine yönelik çalışmalar yürütülmelidir.

2.3.4 Yüksek Yapılarda Rüzgar Enerjisinden Yararlanma

Günümüzde tüketilen enerjinin büyük oranda yapı sektörü kaynaklı olarak meydana gelmektedir. Yapılar tükettikleri enerji ve oluşturdukları çevresel kirlilik ile iklim değişikliği, küresel ısınma ve doğal kaynakları tükenmesi gibi çevresel sorunların oluşmasındaki baş aktörlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu doğrultuda yapı sektöründe boyutları ve kullanıcı sayıları her geçen gün artmakta olan yüksek yapılarda enerji etkin sürdürülebilir sistemlerin kullanımına olan ihtiyaç artmaktadır. Yüksek yapılarda enerji etkin tasarım yaklaşımları ile; pasif sistemlerin daha etkin bir şekilde kullanımı ile mekanik sistemlerin enerji tüketim oranlarının azaltılması, aktif sistemler ile yenilenebilir enerji kaynaklarından yerinde elektrik enerjisi üretimi ile yüksek yapıların karbon ayak izlerinin azaltılması, yapının enerji korunumunun artırılması hedeflenmektedir.

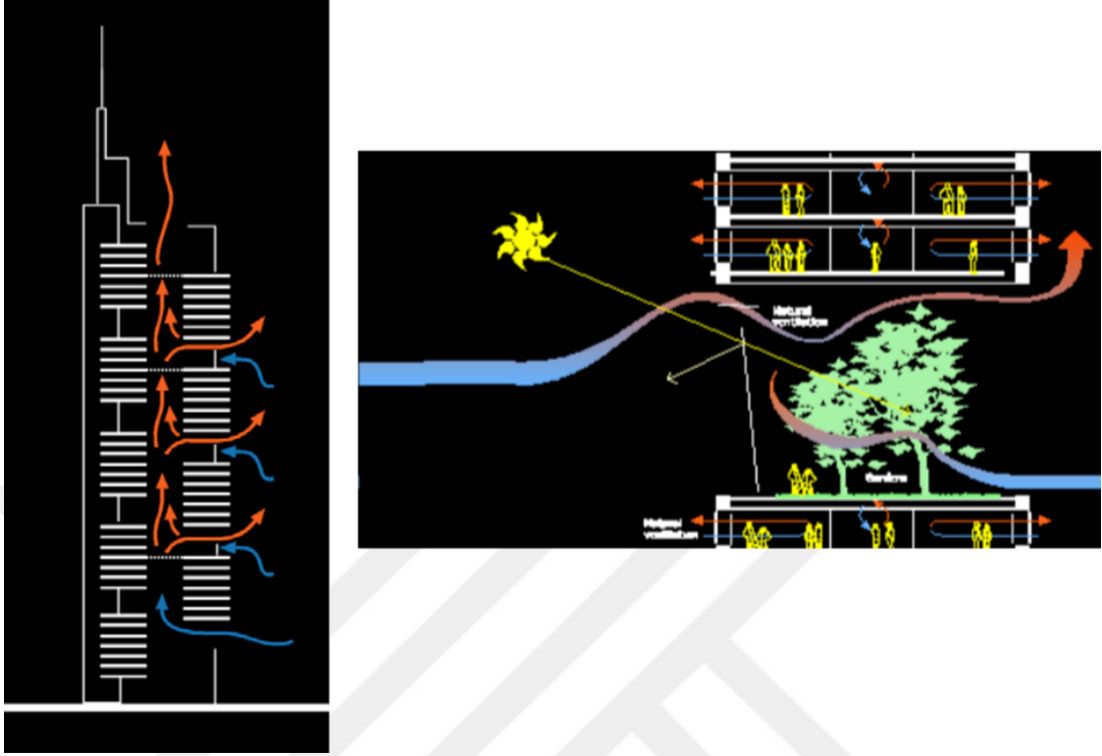
Pasif sistemler sabit özelliklere sahiptirler, amaçlanan hedefi gerçekleştirirken enerjiye ihtiyaç duymazlar. Aktif sistemler ise; sürekli değişen durumlara karşı sistem özelliklerini adapte ederken enerji kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Bu doğrultuda aktif sistemler pasif sistemlere oranla daha etkili olmalarına karşın, ekonomik olmaları sebebi ile pasif sistemler yapılarda daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Moon, 2005). Yüksek yapılarda hedeflenen enerji etkin tasarım stratejilerinde rüzgar enerjisi büyük önem taşımaktadır. Rüzgar enerjisinden pasif sistemler ile doğal havalandırmada, rüzgar türbinleri gibi aktif sistemler ile de yerinde elektrik enerjisi üretiminde yararlanılmaktadır.

- Pasif Sistemler:

Yüksek yapılarda iç mekan konfor koşullarının sağlanması amacı ile mekanik havalandırma sistemleri ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Yaşanan enerji ve çevre sorunları pasif iklimlendirme sistemi tasarım stratejilerinin önemini ortaya koymuştur. Buna ek olarak yaşanan pandemi ile birlikte yüksek yapılarda bu alandaki ihtiyaç daha da artmıştır.

Pasif iklimlendirme sistemleri ile yapının tasarım aşamasında belirlenen tasarım stratejileri ile mimari elemanlar yardımıyla doğal havalandırmanın gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Doğal havalandırma; yapının cephesinde tasarlanan boşluklardan yapının içine alınan havanın koridor etkisi ve yükselen havanın baca etkisi ile gerçekleşebilmektedir. Tasarlanan pasif iklimlendirme sistemleri ile yapı hakim rüzgar yönü doğrultusunda konumlandırılarak oluşturulan koridor etkisi sayesinde mekanik sistemler kullanılmadan pasif rüzgar enerjisiyle yapının iç mekan konfor şartları sağlanabilmektedir (Boduroğlu, 2012). Tasarlanan boşluklardan kontrollü bir şekilde içeri alınan temiz hava ile mekan serinletilirken, ısınan hava kesitte tasarlanan bacalar ile dışarı atılmaktadır. Commerzbank yapısında tasarlanan bacalar ile ısınan havanın dışarı atımı şematik olarak gösterilmektedir. (Şekil 2.26). Rüzgar kaynaklı veya rüzgar enerjisi ile çalışan doğal havalandırma sistemlerinde, hava girişleri ve çıkışları arasında oluşan basınç farkı temel prensibi oluşturmaktadır. Rüzgarın bina üzerinde etli ettiği noktalarda bir basınç bölgesi oluşturur, bu basınç havayı binanın içine, çevresine veya üzerine doğru hareketine neden olmaktadır (Haynes, 2015). Bu tasarım stratejisinin belirlenmesinde kentsel bağlam, çevre binalar ile ilişki, hakim rüzgar yönü, yıllık ortalama rüzgar hızı gibi değişkenler etkili olacaktır. Bu doğrultuda yapıya

hava girişi, yapı içerisindeki hava akışı ve havanın çıkışı tasarlanarak enerji verimliliği elde edilmeye çalışılacaktır (Etheridge, Ford, 2008).



Şekil 2.26 : Commerzbank doğal havalandırma tasarım stratejisi, (Etheridge, Ford, 2008).

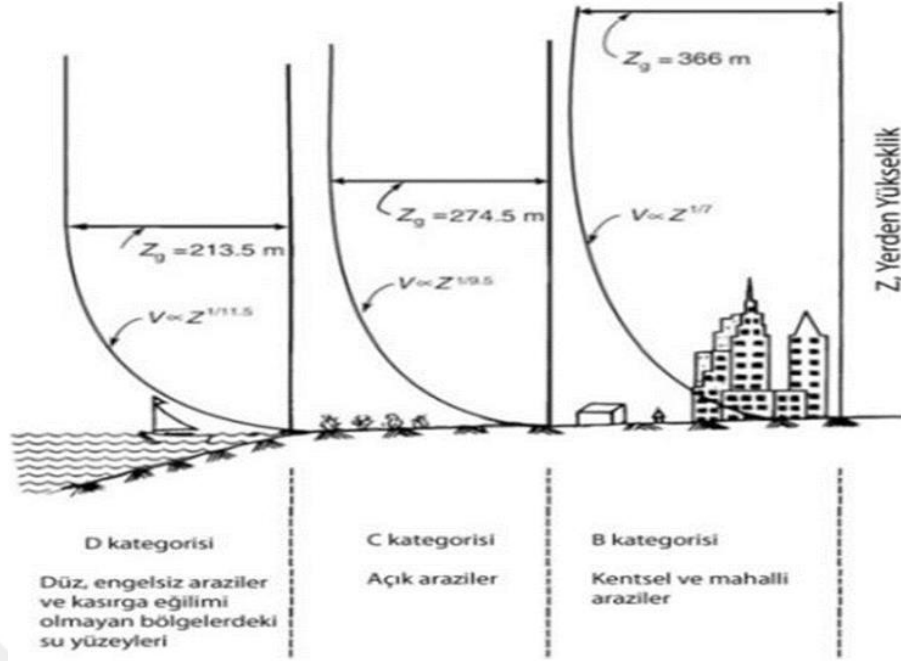
- Aktif Sistemler:

Yüksek yapılarda diğer bir enerji etkin tasarım stratejisi olan rüzgar türbinleri ile yerinde elektrik enerjisi üretimi de gün geçtikçe artmaktadır. Bu tasarım stratejisi ile yoğun enerji kullanımına sahip olan yüksek yapıların çevreye verdikleri olumsuz etkiler azaltılırken, toplum üzerinde sürdürülebilirlik, enerji verimliliği kavramları açısından olumlu bir etki yaratılmaktadır (Sev, Başarır, 2011). Pasif iklimlendirme sistemlerine oranla aktif sistemler ile yüksek yapılarda daha büyük verim elde etme imkanı mevcuttur fakat yatırım maliyetleri pasif sistemlere oranla daha fazla olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan yükseklik ile beraber rüzgar hızının da artış göstermesi, diğer yapılara oranla yüksek yapılar için bir avantaj ortaya çıkarmaktadır. Ancak açık sahadaki rüzgar çiftliklerine kıyasla, kentsel ortamda yüksek yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinde en yüksek verimi elde etmek için çok sayıda değişken dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilmelidir. Türbinlerin konumu, rüzgar hızı, hakim rüzgar yönü, evre binalara göre konum, seçilecek rüzgar türbini türü gibi değişkenlerin ön tasarım aşamasında belirlenmesi elde edilen verimi arttıracaktır.

Teknolojik gelişmelerin her geçen gün artması, yatırım maliyetlerinin azalması rüzgar türbinleri ile yerinde elektrik enerjisi üretimi amaçlı aktif sistemlerin yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Bu doğrultuda yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarım stratejileri gün geçtikçe daha önemli bir konuma gelmektedir.

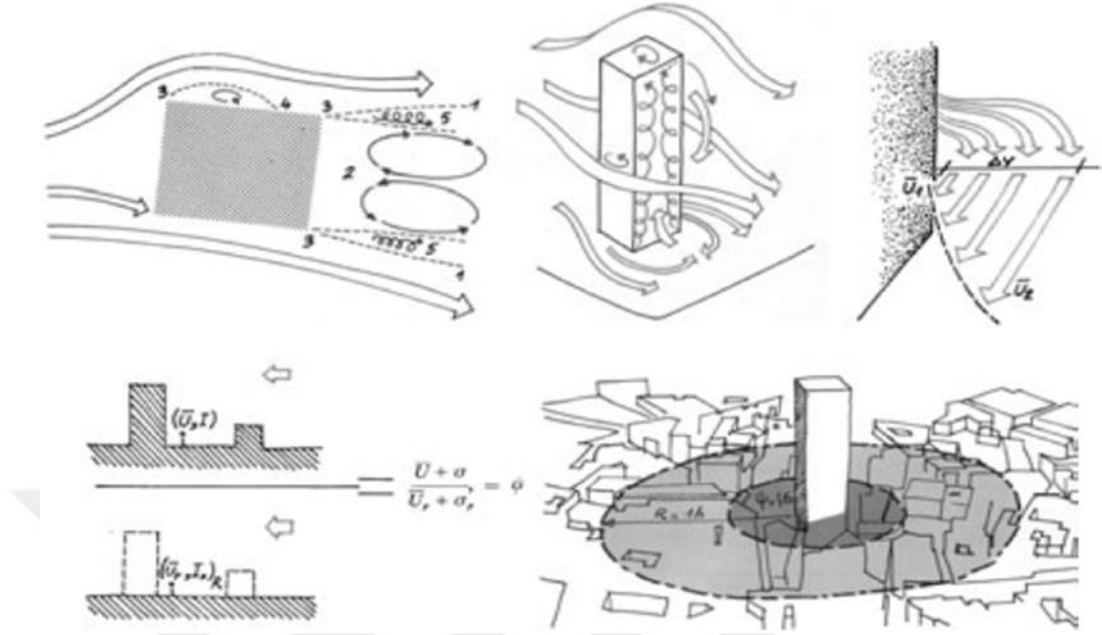
2.3.5 Rüzgar Tüneli Testleri ve Özellikleri

Yüksek yapılar diğer yapılara göre rüzgar yüklerine karşı daha savunmasızdırlar. Narin, esnek, hafif sönümlü, karmaşık form ve sistemlere sahip bu yapıların kuvvetli rüzgarlara maruz kaldığında, ortaya çıkan dinamik tepkiler büyük olabilmektedir. Bu nedenle yapısal performansı değerlendirebilmek için rüzgarın neden olabileceği yer değiştirmelerin ve ivmelerin önceden hesaplanması önemlidir (Zou vd., 2020). Bu doğrultuda yüksek yapılara etki eden yanal kuvvetler dikkate alındığında kullanıcı konfor koşullarının sağlanabilmesi ve enerji etkin tasarım stratejilerinin belirlenebilmesi açısından ön tasarım aşaması büyük önem taşımaktadır. Rüzgarın yapı üzerindeki etkisi pek çok değişkene bağlıdır; binaya etkiyen rüzgarın yönü, rüzgarın doğrultusu, dinamikliği, yapının formu, yapının yüksekliği bunlardan bazılarını oluşturmaktadır. Yüksek yapı projelerinde ön tasarım sürecinde rüzgar faktörünün bağlı olduğu değişkenler dikkate alınarak tasarım sürecinin yürütülmesi pek çok açıdan pozitif katkı sağlayacaktır. Ayrıca sürdürülebilir aktif ve pasif tasarım stratejilerinin tasarıma etkin bir şekilde dahil edilmesi de, bu değişkenlerin önceden belirlenebilmesine bağlı olmaktadır.



Şekil 2.27 : Yüksekliğe bağlı olarak rüzgarın artış grafiği (Taranath, 2004).

Bina aerodinamiğin ana konularından biri, binalar çevrelerindeki kentsel doku içerisinde oluşan hava akımlarının karakteristiklerinin belirlenip ortaya koyulmasıdır. Yüksek yapılar birbirine paralel düzenli dalgalar halinde hava akımı aldıkları cephelerinde pozitif ya da itme, yan ve rüzgar altı arka cephelerinde ise negatif ya da çekme kuvveti şeklinde basınç etkisi oluşmaktadır. Binaların rüzgar doğrultusundaki yüzeyine çarpan hava molekülleri yüzeye çarptığı anda durmakta, yüzeye temas ederek yönünü değiştirmekte ve sonunda bu yüzeyden kopma noktasında ayrılarak yan yüzeyleri takip ederek bina arkasındaki iz bölgesini oluşturmaktadır (Şekil 2.28). Birbiri tarafından itilen ve farklı hız değerlerine sahip olan hava molekülleri girdaplar oluşturmaktadır. Zeminden itibaren gradyanlı bir hız profiliyle etki eden hava akımları binaların rüzgar üstü bölgesinde yukardan aşağıya doru etek girdaplarını ve bina arkasında saçak girdaplarını oluşturmaktadır. Bina çevresinde böylece hızı ve esme yönü değişken konforsuz alanlar oluşmaktadır (Ok, 2007). Bina alt katlarında hissedilmeyen yanal kuvvetlerin oluşturduğu salınım üst katlara çıkıldıkça kullanıcı konforunu rahatsız edecek konuma gelebilmektedir. Mimari, strüktürel ve mekanik yeni tasarım yaklaşımları kullanılarak bu rahatsız etkinin ortadan kaldırılması hedeflenmektedir.



Şekil 2.28 : Yüksek yapı rüzgar etkileşimi (Ok, 2007).

Yüksek yapının kullanım ömrü boyunca maruz kalması muhtemel rüzgar etkilerinin tahmin edilmesinde çeşitli sayısal ve deneysel metotlar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan biri veya birkaçı birlikte kullanılarak rüzgarın yüksek yapı üzerindeki etkileri tahmin edilebilmektedir. Bu yöntemler;

(1) Rüzgar tüneli ile deneysel analiz (Şekil 2.29)

(2) Yerinde ölçümler

(3) Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (Computational Fluid Dynamics) yazılımları ile sayısal analizler olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm hesaplama yöntemlerinin kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. NIST TN1655 ve ASCE / SEI 49-12 ve ASCE 7. gibi uluslararası standartlara uyumluluğun sağlanması halinde rüzgar tüneli testi güvenilir sonuçlar ortaya çıkarmaktadır (Karadağ, 2019).



Şekil 2.29 : Rüzgar tüneli genel görünümü ve kesiti, (Kurç vd., 2012).

Rüzgar tüneli testlerinin inşaat alanındaki uygulamaları yapılar üzerindeki rüzgar etkilerinin ve rüzgarın çevre üzerindeki etkilerinin hesaplanmasına yöneliktir. Günümüzde genel olarak rüzgar kaynaklı kuvvetlerin belirlenebilmesi amacıyla üç çeşit rüzgar tüneli testi gerçekleştirilmektedir(Paltun, 2015);

- i. Senkron çoklu basınç tarama sistemi
- ii. Yüksek frekanslı temel dengesi
- iii. Aeroelastik model testleri

Bu yöntemlerden ilki, rüzgar tüneline yerleştirilen ölçekli rijit modele etki eden rüzgara ve yapının formuna bağlı olarak zaman içerisinde değişim gösteren yüzey basınçlarının hesaplanarak, bu değerlerin gerçek yapı ve zaman alanında değişken dinamik rüzgar yüklerine dönüştürülmesidir. Yüksek frekanslı temel dengesinde ise; rüzgar tüneline yerleştirilen rijit ölçekli modelin rüzgar yükleri etkisi altında temelinde oluşan tepki kuvvetlerinin, küçük ve yüksek frekanslı titreşimlerin denge sistemi ile hesaplanmaktadır. Elde edilen zemin kuvvetlerinden rüzgarın rastgelelik özellikleri de hesaplanarak, yapıya etki edebilecek muhtemel statik yükler elde edilmektedir. Yüksek frekanslı temel dengesi modeli, basınç senkron çoklu basınç tarama sistemi modeline göre daha karmaşık forma sahip yapılar için daha ucuz ve hızlı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Kurç vd., 2012). Fakat dış cephe kaplamalarının tasarımı için yüksek frekanslı temel dengesi modeline ek olarak basınç ölçümlerinin de yapılması gerekmektedir. Yüksek rüzgar hızları veya önemli yanal sapmalar yaşayan yapılar için meydana gelebilecek negatif aerodinamik sönümlerleri hesaba katmaz (Cermak, 2003). Aeroelastik model testlerinde ise; yapının dinamik ve elastik özelliklerinin hesaplanması hedeflenmektedir. Yapı diğer iki rüzgar testinde olduğu

gibi rijit bir şekilde modellenmemektedir. Bu yöntem ile yapı-rüzgar etkileşiminin modellenmesi sağlanmaktadır. Ülkemizde de bu rüzgar testlerinin uygulanabileceği merkez sayıları artış göstermektedir.

2.4 Yüksek Yapı Bütünleşik Rüzgar Türbinleri

2.4.1 Rüzgar türbinleri ve tarihçesi

Rüzgar enerjisinin insan yaşamındaki varlığı çok eski dönemlere dayanmaktadır. Tarihsel süreçte rüzgar enerjisinden farklı şekil ve amaçlarda yararlanılmıştır. İnsanlar ilk olarak tarih öncesindeki dönemlerde deniz taşımacılık faaliyetlerinde yelkenlilerde rüzgar enerjisinden faydalanmışlardır. Yelkenlilerde rüzgar enerjisinin kullanımı, MÖ. 5000 yıllarında Nil nehri üzerindeki örneklerle dayanmaktadır (EIA, 2020). Yelkenli gemiler, buharlı gemilerin üretimine kadar kıtalar arası deniz taşımacılığına ve ticarete büyük katkı sağlamıştır.

Rüzgar enerjisi kullanılmaya başlanıldığı ilk andan itibaren çeşitli dönüşümlerden geçmiştir. Bu dönüşümlerin temel amacı rüzgar enerjisinin insanlar tarafından kullanılması için tasarlanmış yeni sistemler oluşturulmasıdır. Bu doğrultuda MÖ 200'lü yıllara gelindiğinde, Çin'de basit rüzgar enerjili su pompaları örnekleri ile karşılaşmıştır. Devamındaki süreçte Orta Doğu ve Anadolu coğrafyasında yel değirmenleri ile tarımsal ürünlerin öğütülmesinde kullanılan örnekler görülmüştür.

Toplumsal etkileşim, savaşlar, ticaret rüzgar enerjisinin yayılmasında etkili olmuştur. Rüzgar enerjisinin kullanımının yeni yolları dünya geneline yayılmıştır. Rüzgar enerjisinin Avrupa'da yayılmasında tüccarlar ve Haçlı Seferleri önemli rol oynamıştır (Hayli, 2001). Avrupa'dan Amerika kıtasına göç de rüzgar enerjisinin Amerika kıtasındaki yeni kullanımında önemli olmuştur.

Toplumsal ve dönemin ihtiyaçları rüzgar enerjisinin kullanım şekline yön vermiştir. Hollanda'da gölleri ve bataklıkları boşaltmak için büyük rüzgar pompaları üretilmiştir. Amerika kıtasına da Avrupa'dan gelen göçmenler ile taşınan rüzgar enerjisi teknolojisi yel değirmenleri ile tahıl öğütmek, su pompalamak, ayrıca kereste

fabrikalarında odun kesmek için kullanılmıştır (EIA, 2020). 1800'lerin sonunda ve 1900'lerin başında, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde günümüz rüzgar türbinlerinin ilk örnekleri kullanılmaya başlanmıştır.

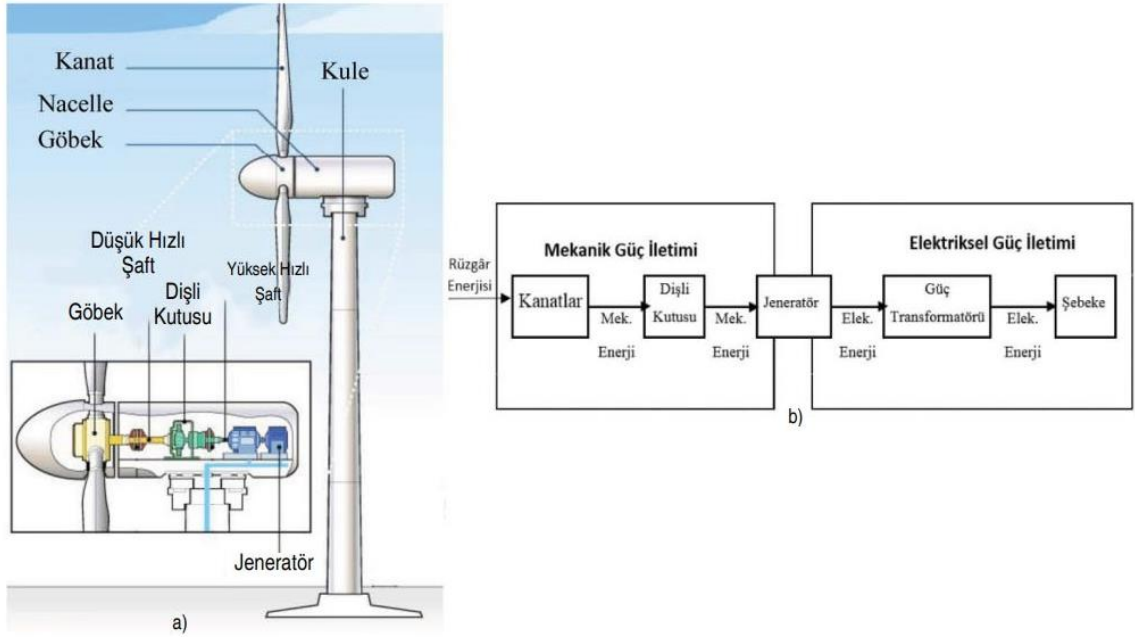
Rüzgârdan insanoğlu çok uzun süreden beri çeşitli şekillerde yararlanmıştır. Ancak ilk yapısal örnekleri ise; rüzgâr enerjisinin mekanik enerjiye çevrildiği yel değirmenleri gibi basit sistemler olarak kabul edilmektedir (Şekil 2.30). Bu mekanik enerji dönüşümünü sağlayan basit sistemler kırsal alanlarda ya da kentsel yerleşimlerden uzak birimlerde su pompalamak, tohumları öğütmek gibi fiziksel güç gerektiren birçok farklı işte kullanılmıştır. İnsan yaşamını kolaylaştıran bu sistemlerin geliştirilerek enerji üretiminde kullanımı çok uzun bir zaman almıştır.



Şekil 2.30 : İlk yel değirmeni örneği (Hau, 2006).

Rüzgâr türbinlerinin üretilmesi ile birlikte rüzgârın kinetik enerjisinin mekanik enerjiye ve mekanik enerjinin de elektrik enerjisine dönüştürülmesi sağlanmıştır. Bu dönüşüm insan hayatını kolaylaştırmıştır. Elektrik enerjisi üretimi ile daha gelişmiş sistemlerin üretim ve kullanımı hız kazanmıştır.

Rüzgar türbini, rüzgarda var olan kinetik enerjiyi ilk olarak mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürerek, temiz enerji üretimi sağlayan bir sistemdir. Dünya genelinde rüzgar türbinlerinden enerji üretimi giderek yaygınlaşmaktadır. Yapılarla bütünleşik tasarımı da her geçen gün artmaktadır. Rüzgar enerjisi insan yaşamının her alanında giderek önemli bir konuma gelmiştir. Bir rüzgar türbini başlıca şu parçalardan oluşmaktadır (Şekil 2.31);



Şekil 2.31 : Rüzgar türbini parçaları ve çalışma prensibi (Kaya, Koç, 2015).

1. Rotor: Rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çevirir.
2. Dişli Çark: Rotor' un hızını artırır.
3. Jeneratör: Rüzgarın mekanik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlayan makinelerdir.
4. Fren: Rüzgar hızının belirli değerleri aştığı durumlarda türbini yavaşlamasını ve durmasını sağlar.
5. Yönlendirici: Rüzgar doğrultusuna göre türbini yönlendirir.
6. Transformatör: Jeneratör voltajını şebeke voltajına yükseltir.
7. Kule: Yatay rüzgar türbinlerinin stabil kalmasını sağlayan yapısal elamandır. Türbini taşımaktadır.
8. Kanat: Türbinler genellikle bir, iki ya da üç kanattan oluşabilmektedirler. Rüzgar türbinin en önemli parçalarından biri kanatlardır. Rüzgarın kinetik enerjisi kanatlar

sayesinde mekanik enerjiye dönüşmektedir. Kanatlar rüzgarı aldıktan sonra, bu gücü motora iletmektedirler.

9. Yüksek Hız Şaftı: Jeneratörü süren şafttır.

10. Düşük Hız Şaftı: Kanatların bağlandığı bil olarak tanımlanmaktadır.

2.4.2 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Yel değirmenlerinden modern rüzgarlar türbinlerine kadar gelinek teknolojik süreçte sınıflandırmalar değışiklik göstermiştir. Çeşitli değışimlerden geçen rüzgâr türbinleri dönme eksenli, devir sayısı, güç, kanat sayısı, rüzgârı alış yönü ve kurulum yeri gibi özellikleri dikkate alınarak farklı şekillerde sınıflandırılmıştır (Şekil 2.32). Dönme eksenli ve güç odaklı yapılan sınıflandırma yapılar açısından dikkate alınan en yaygın sınıflandırmalar olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2.32 : Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması (Elibüyük, Üçgül, 2014).

Dönme eksenleri açısından rüzgâr türbinleri üç gruba ayrılırlar;

- (i) Yatay eksenli rüzgar türbinleri,
- (ii) Dikey eksenli rüzgar türbinleri ve
- (iii) Eğik eksenli rüzgar türbinleri

- i. Yatay eksenli rüzgar türbinleri; dönme eksenini rüzgar yönüne paralel, kanatlar rüzgar yönüne diktir (Şekil 2.33). Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin rotor milleri yüzeye paralel olarak yerleştirilir. Yatay rüzgar türbinlerinden verim alınabilmesi için rüzgar yönüne doğru bakması gerekmektedir. Sürekli rüzgar yönüne bakmasının sağlanabilmesi için yatay eksenli rüzgar türbinlerinde elektromanyetik bir bölüm bulunmaktadır. Bu sistem sayesinde rüzgar türbini rüzgarın yönünü tayin eder ve pervanelerin o yöne bakması sağlanır. Bu türbinlerde rotor kanatlarının sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir (Nurbay, Çınar, 2005). Yatay türbinlerde rüzgârı en iyi şekilde almak için pervanelerin yüksek kulelerin üzerine monte edilmesi gerekir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri genel olarak yerden 20-30m yüksekte ve çevredeki engellerden 10m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmektedirler. Ne kadar yükseğe erişilirse o kadar kuvvetli rüzgârlara ulaşılabilecektir. Rüzgârdaki bu artışta daha fazla enerji anlamına gelmektedir. Farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgarı önden alan veya rüzgarı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler. Günümüzde verimlilikleri nedeniyle ticari uygulamalar için yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır (Semizoğlu, 2009).



Şekil 2.33 : Yatay eksenli rüzgar türbinleri.

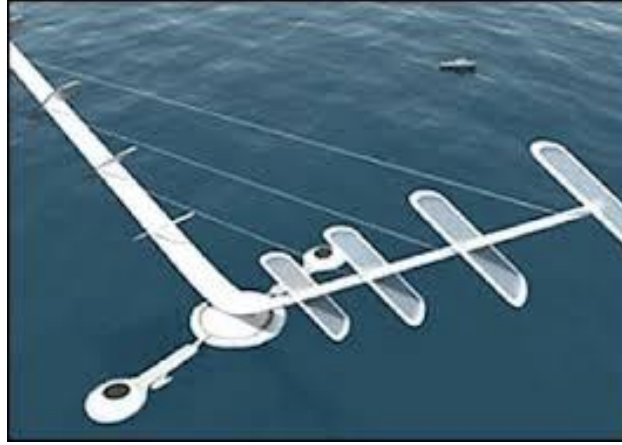
- ii. Dikey eksenli rüzgar türbinleri; dönme eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir (Şekil 2.34). Dikey eksenli rüzgar türbinleri rüzgar yönünden bağımsız olarak çalışabilmektedirler. Rüzgarı her yönden kabul edebilme üstünlüğüne sahiptirler. Bu türbinler rüzgarı sürükler veya kaldırır. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %35'dir (Nurbay, Çınar, 2005). Rüzgar akışının genellikle türbülanslı olduğu kentsel çevrede dikey eksenli rüzgar türbinlerinin rüzgar doğrultusunda yönlendirilmesine ihtiyaç

duyulmamasından kaynaklı olarak yatay eksenli rüzgar türbinlerine göre avantajı olmaktadır (Bošnjaković, 2013). Dikey eksenli rüzgar türbinleri üreteç ve vites kutusu toprak seviyesinde kurulabildiği için yatay eksenli rüzgar türbinleri gibi kuleye gerek duyulmamaktadır. Bu yüzden düşük rüzgar hızlarında çalışabilmektedirler. Yüksek katlı yapıların cephelerine veya çatılarına rahatlıkla yerleştirilebilmektedirler. Düşük ses basınçları ve titreşim oranları yapılarda kullanımına yönelik en önemli avantajları olarak karşımıza çıkmaktadır. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin yapılara yerleştirilmesine oranla daha fazla taşıyıcı elamana ve hacme ihtiyaç duyulmamaktadır.



Şekil 2.34 : Dikey eksenli rüzgar türbinleri, (Elibüyük, Üçgül, 2014).

- iii. Eğik eksenli rüzgar türbinleri; Dönme eksenleri düşey ile, rüzgar yönünde bir açı yapan rüzgar türbinleridir (Şekil 2.35). Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır. Var olan açı ile rüzgar toplama kapasitesinin ve veriminin artırılması hedeflenmektedir. Kullanım alanı yatay eksenli ve dikey eksenli rüzgar türbinlerine kıyasla daha sınırlı olmaktadır. Çok yaygın olmamak ile beraber offshore rüzgar enerjisi santrallerinden daha yüksek verim elde edebilmek için tasarlanmıştır.



Şekil 2.35 : Eğik eksenli rüzgar türbinleri (Elibüyük, Üçgül, 2014).

Dönme eksenleri açısından yapılarda daha yoğun olarak dikey eksenli ve yatay eksenli rüzgar türbinleri tercih edilmektedir. Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılmasında eğik eksenli rüzgar türbinlerinin çok yaygın kullanılmamasından kaynaklı olarak günümüzde eksen odaklı sınıflamada hala dikey ve yatay eksenli rüzgar türbinleri olarak karşılaşılabilmektedir.

Güç odaklı olarak rüzgar türbinleri mikro, küçük, büyük ve mega türbinler olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır;

- i. Mikro Türbinler: Güçleri yaklaşık olarak 0-3 kW arasında değişmektedir. Ağırlıklı olarak batarya şarj etmek için ev içi sistemlerde, teknelerde ve elektrikli çitlerde kullanılmaktadır.
- ii. Küçük Türbinler : Güçleri 20 – 60 kW arasında değişen küçük türbinler az bakım maliyetleri ile yarar sağlamaktadırlar. Enerji sektöründe yatırım maliyetine göre küçük rüzgar türbinlerinden endüstriyel düzeyde istenilen verim sağlanamamıştır. Genellikle şebekeye bağlı olmayan, tarımsal amaçlı su pompalama, tarımsal üretim faaliyetleri, su arıtma, havalandırma gibi konutların küçük boyutlu elektrik ihtiyaçlarının giderilmesinde kullanılan bireysel sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır (Çerçi, 2011).
- iii. Büyük Türbinler: Büyük rüzgar türbinlerinde güç 200 kW ile 2 MW arasında değişebilmektedir. Düşük maliyet, kule-baş kütlelerinde ve

kabin uzunluğunda düşüş ve verimlilik artışı büyük rüzgar türbinlerinde gözlenen en önemli gelişmeler olmaktadır. Rüzgar enerjisi sektöründe büyük türbinler yoğun olarak kullanılmaktadır (EWEA, 2009).

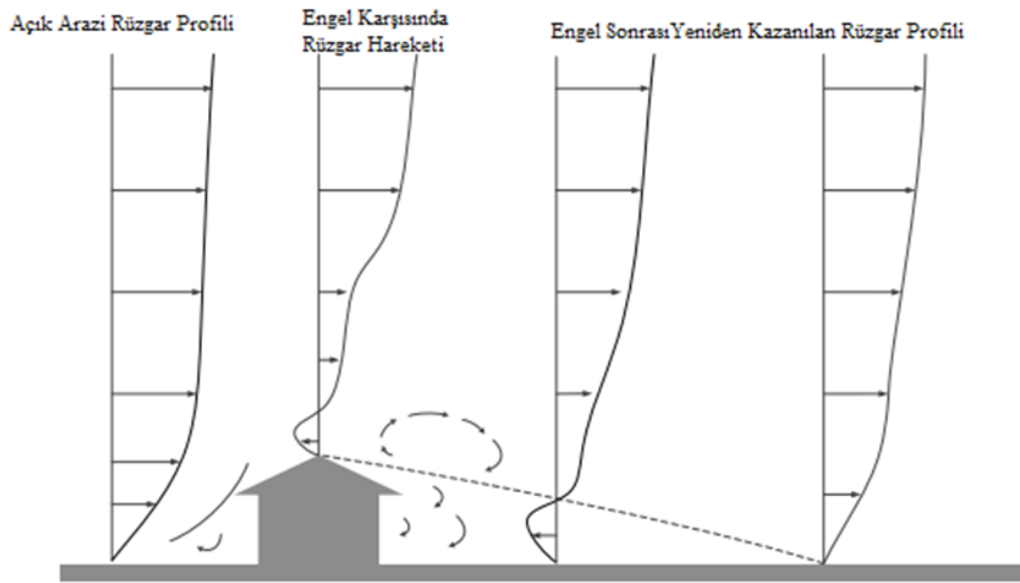
- iv. Mega Türbinler: Tek destek yapı üzerinde birkaç rotordan oluşmaktadır. Günümüzde 5 – 10 MW güçleri arasında değişebilmektedir. En uygun geliştirme maliyetleri ile üretme açısından çözüm olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

Güç odaklı olarak yapıyla bütünleşik rüzgar türbini tasarımlarında mikro, küçük ve büyük rüzgar türbinleri karşımıza çıkmaktadır. Mega türbinlerin bütünleşik tasarımının kentsel alanlardaki yoğunluk ve türbinlerin ihtiyaç duydukları büyük hacimler, kütleler nedeniyle tasarlanması çok mümkün gözükmemektedir.

2.4.3 Yapıyla Bütünleşik Rüzgar Türbinleri

Sürdürülebilir ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi ile enerji üretimi her geçen yıl artış göstermektedir. Rüzgar enerjisinin en yaygın uygulama alanı rüzgar santralleridir. Bu santraller sürekli rüzgar alan veya düzensiz olmayan rüzgara sahip dağlık veya kıyı bölgelere kurulan büyük rüzgar türbinlerinden oluşmaktadır. Ancak rüzgar türbinlerinin bu bölgelerde konumlandırılması global enerji tüketiminin büyük bir kısmından sorumlu olan kentsel alanlar ile arasında büyük mesafelerin bulunmasına neden olmaktadır. Bu üretici ve tüketici arasında bulunan büyük mesafe, enerjinin tüketiciye ulaşması için bir elektrik transfer sistemini gerektirmekte ve bu da transfer sürecinde önemli ölçüde enerji kaybına ve maliyete neden olmaktadır (Öztürk, 2018). Kentsel alan dışındaki rüzgar türbinlerinde üretilen enerjinin kentsel alana taşınması sırasındaki kayıpların ortadan kaldırılması açısından yerinde üretim modelleri önem kazanmaktadır. Yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarımları da rüzgar enerjisinden kentsel alanda yerinde enerji üretimi konusunda önemli bir fırsat olarak karşımıza çıkmaktadır.

Rüzgar türbinlerinden elektrik üretimi sırasında beklenen faydanın elde edilebilmesi için istenilen rüzgar hızlarının yakalanabilmesi büyük önem taşımaktadır. Kentsel alanlarda bulunan rüzgar alanları ile dağlık bölgelerde ve kıyılarda bulunan açık rüzgar alanları rüzgar hızları açısından farklılık göstermektedirler. Yapı stokunun yoğun olarak bulunduğu kentsel yerleşim alanlarındaki engeller, sürtünme ve oluşan türbülans alanları nedeniyle, aynı yüksekliğe ve rüzgar yoğunluğuna sahip kentsel alandaki rüzgar hızı ile açık alandaki rüzgar hızı aynı olmamaktadır (Şekil 2.36). Açık arazisi olan kırsal alanlara kıyasla, kentsel rüzgar rejimi, hızla değişen rüzgar yönü ve engellerin varlığı nedeniyle düşük yıllık ortalama rüzgar hızları ve atmosferik sınır tabakasında daha fazla türbülanslı akış ile karakterize edilmektedir. Düşük yıllık ortalama rüzgar hızları, düzensiz zemin topografyalarından ve engellerden kaynaklanırken, artan türbülanslı akış, bina ve engellerle etkileşime girmenin bir sonucu oluşmaktadır.



Şekil 2.36 : Rüzgarın açık arazideki ve engel karşılama sonrası davranışı (KC vd., 2019)

Rüzgar türbinlerinin kurulması için gereken yüzey alanının kentsel alanlarda ortaya çıkarılması oldukça zor olmaktadır. Yapılı çevredeki rüzgar enerji sistemlerinin aerodinamiği kentsel mikro iklimle bağlı kalmaktadır (Micallef, 2018). Ancak kentsel alanlarda havanın üst tabakaları bu yüzey pürüzlülüğünden etkilenmeyecektir. Kentsel alanlarda rüzgar enerjisi teminine ilişkin bir olumlu taraf ise, spesifik bina

yerleştirmeleri de yükseklik farkları nedeniyle, iki komşu bina arasında rüzgarların oluşmasına sebep olacaktır. Kentsel alandaki rüzgar türbinlerinden en iyi verimi alabilmek için, yapı kabuğu ile sağlanacak olan bütünleşmenin optimum seviyede olması gerekmektedir. Yapı için en uygun türbin tipi seçimi ve yapıdaki konumu için farklı tasarım yaklaşımlarının kullanılması gerekmektedir (Denoon vd., 2008).

Kentsel yerleşim merkezlerinde yüksek binalar rüzgar enerjisi üretiminde uygun bir aday olarak değerlendirilmektedirler. Ancak kentsel yoğunluğun fazla olduğu bölgelerdeki imar düzenlemelerinden kaynaklı olarak yükseklik kısıtlamaları binaların çoğu zaman benzer yükseklikte olmasına neden olmaktadır. Bir bina çok yüksek olsa bile çevresindeki diğer yapılar ile benzer yüksekliğe sahipse, verimli yapı bütünleşik rüzgar türbini kurulumu potansiyeli önemli ölçüde azalacaktır (Denoon vd., 2008). Bu doğrultuda birçok araştırmacı tarafından binalara rüzgar türbinleri eklenmesi veya rüzgar türbinlerine sahip binaların üretiminin uygulanabilirliği birçok simülasyon gerçekleştirilerek araştırılmaktadır. Rüzgar verimliliğinin istenilen düzeyde olduğu yapılarda ve bölgelerde, rüzgar türbinlerinin yapı tasarımının odak unsuru konumuna getirilmesiyle birlikte, yapılardaki üretim kapasiteleri artmaktadır. Yüksek yapıların yükseklik unsurlarının rüzgar türbini yerleştirilmesindeki avantajları endüstriyel rüzgar türbini örneklerine oranla daha fazla rüzgar enerjisi üretme potansiyelini sağlamaktadır. Rüzgar türbinlerine sahip yüksek yapıların kendi enerji ihtiyaçlarının yaklaşık %20'sine kadar olan kısmını rüzgar enerjisinden karşılayabilme ihtimali yapılacak tasarım stratejileri ile ortaya çıkmıştır (Park vd., 2015). Enerji retim hedefi her geçen gün yüksek yapıyla bütünleşik rüzgar türbini inşasına olan ilgiyi arttırmaktadır. Ayrıca yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinin tüm bu olumlu özelliklerinin yanında, böyle dinamik sembollerin doğrudan kentsel yaşama dahil edilmesi, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kavramlarına olan farkındalığı da arttırdığı düşünülmektedir (Bobrova, 2015).

2.4.4 Yapıyla Bütünleşik Rüzgar Türbini Tasarımında Temel İlkeler

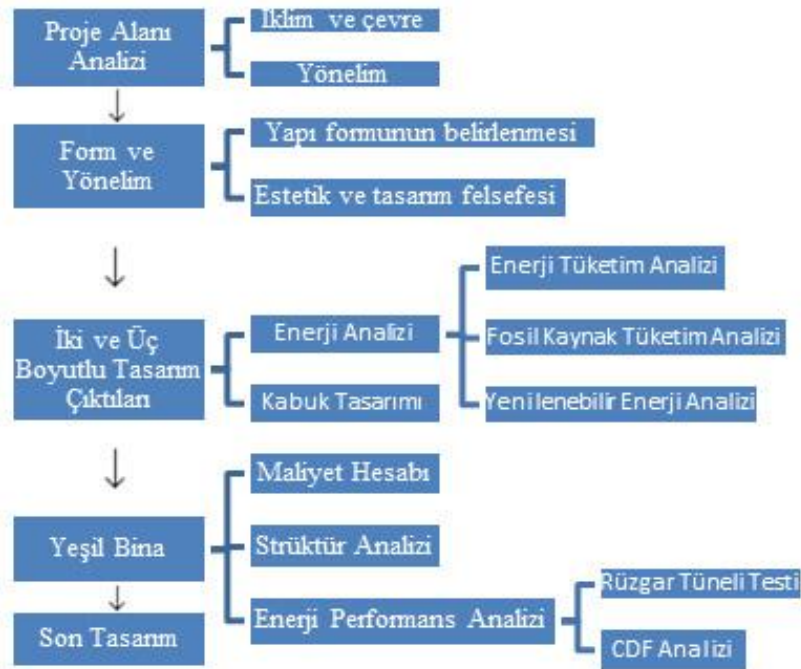
Yüksek yapılarda, sürdürülebilir temiz enerji üretim sistemlerinin kullanılması ile yenilenebilir enerji kaynaklarından yerinde enerji üretimi sağlanmaktadır. Bu yenilenebilir enerji üretim sistemleri ile yapıların karbondioksit salım oranlarının azaltılması çevresel etkiler açısından büyük önem taşımaktadır. Yüksek yapılarda yenilenebilir kaynakların kullanımı açısından çok fazla tasarım seçeneği olmasına rağmen yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek yapılarda kullanımına yönelik değerlendirmelerin yapılması ve en verimli, çevreci enerji üretim sisteminin veya sistemlerinin tasarımı dikkate alınması önemli olmaktadır. Bu sistemler arasında yapıyla bütünleşik rüzgar türbinleri de en önemli üretim sistemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapı ile bütünleşik rüzgar türbinlerinin yapımındaki temel amaç, insanlar ve çevre üzerindeki negatif etkileri azaltmaktır. Bu yönüyle yapıyla bütünleşik rüzgar türbinleri geleneksel yapım yöntemlerine göre daha sürdürülebilir sistemler olarak değerlendirilmektedir (Sari, Kusumaningrum, 2014). Bu doğrultuda kentsel çevrede sayılarının artış göstermesi beklenmektedir. Bu tür enerji aktif sistemlerin temel hedefini çevresel etkiler azaltırken rüzgar enerjisinden en yüksek verimin elde edilmesi oluşturmaktadır. Yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinin aerodinamik verimliliği rüzgar enerjisinin dönüştürülme şekline bağlı olmaktadır. Kentsel çevrede bulunan bu yapı ile bütünleşik sistemlerin tasarım stratejinde dikkat edilmesi gereken çok farklı değişken mevcuttur(Bošnjaković, 2013). Bu tasarım gereklilikleri aşağıdaki ;

- Kentsel ortamda güvenli çalışma,
- Düşük gürültü seviyesi ve titreşim,
- Basit, sağlam tasarım,
- Kolay bakım,
- Rüzgarlardan maksimum verim,
- Estetik tasarım olmaktadır.

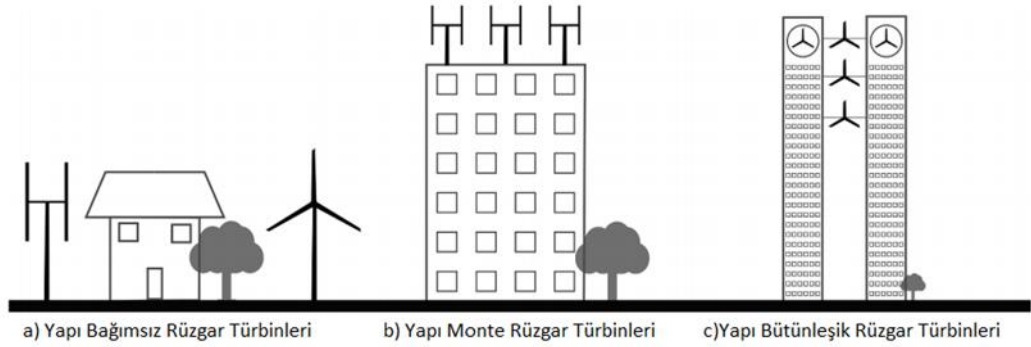
Dünyanın dört bir yanında hükümetler de belirledikleri yapı mevzuatları ile CO₂ salımını azaltacak, yeşil binaların sayısını arttıracak şekilde kendilerini şartlara uyumlu hale getirmektedir (Bogle, 2011). Bu amaç doğrultusunda Endonezya hükümeti tarafından da yeşil bina tasarımına ilişkin birçok mevzuat yayınlanmış olup,

yapı ile bütünleşik rüzgar türbin tasarım konseptine yönelik strateji görseline aşağıda yer verilmiştir (Şekil 2.37). Bu yönerge doğrultusunda öncelikle proje alanının potansiyelinin optimize edilip, rüzgar enerjisi potansiyelinin analizi önem taşımaktadır. Yapı ile bütünleşik rüzgar türbini üretimine yönelik önemli diğer bir faktör ise, yapının enerji tüketimine oranla ne kadar enerji üretebileceğinin hesaplanması olmaktadır. Kentsel alanda yapıların birbirlerine göre konumlarının ve çatılarının rüzgar hızına olan etkisi önem taşımaktadır. Yapıyla bütünleşik rüzgar türbinlerinden maksimum verimi alabilmek için gerekli olan form ve konum belirlenmelidir.



Şekil 2.37 : Yapıyla bütünleşik rüzgar türbini tasarım konsepti (Sari, Kusumaningrum, 2014).

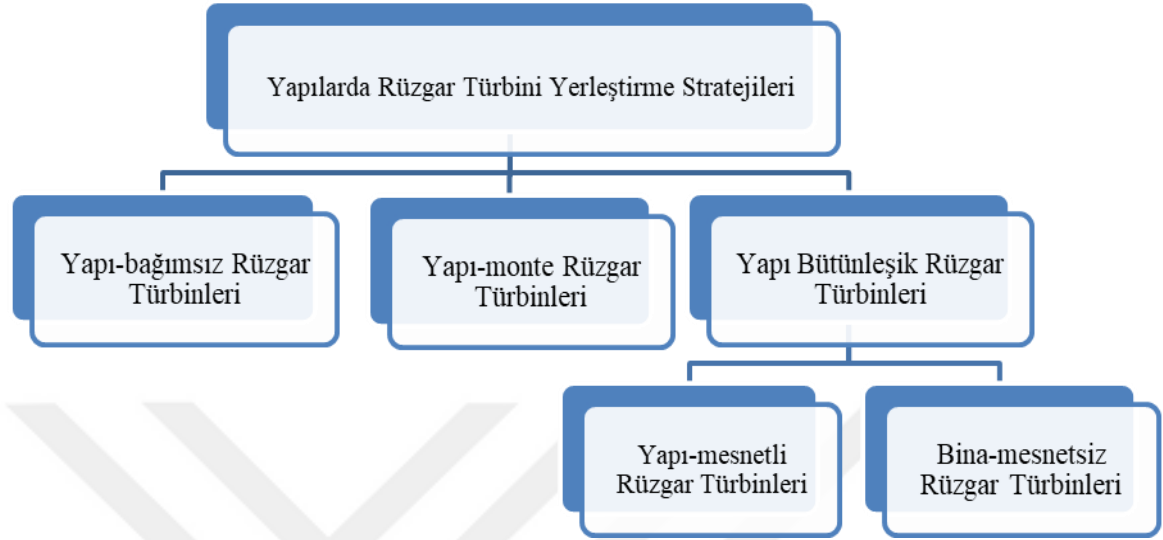
Var olan yapı ile bütünleşik yüksek yapı örneklerinin sınıflandırılmasının yapılması, yeni tasarım stratejilerinin belirlenmesinde büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu doğrultuda rüzgar türbinin kentsel alanda yapıya yerleştirilmesine göre rüzgar türbinleri genel olarak; (i) yapı bağımsız rüzgar türbinleri, (ii) yapı-monte rüzgar türbinleri, (iii) yapıyla bütünleşik rüzgar türbinleri olmak üzere üç temel gruba göre sınıflandırılmıştır (Şekil 2.38). Herkes tarafından kabul edilen bir sınıflandırma mevcut olmamak ile birlikte üç ana başlığın da kendi içerisinde ayrılarak yapılan sınıflandırmalar yapılmaktadır (Şekil 2.39).



Şekil 2.38 : Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması, (Rezaeiha vd., 2020).

- i. Yayı bağımsız rüzgar türbinleri; yapıyla mimari ya da strüktürel hiçbir bağı bulunmadan rüzgar enerjisini kullanan sistemlerdir. Rüzgar çiftlikleri bu şekilde faaliyet göstermektedirler (Çerçi, 2011).
- ii. Yayı-monte Rüzgar Türbinleri; Mevcut ya da tasarım aşamasındaki yapılara rüzgar türbinlerinin eklendiği sistemlerdir. Tasarım kaygısı oluşturmada ufak dokunuşlar ile rüzgar enerjisinden enerji üretimi amaçlanmaktadır. Tasarımın odak noktasını rüzgar türbinleri oluşturmamaktadır. Yayı-monte rüzgar türbinleri binanın kendisini bir mesnet olarak kullanmakta, binanın yüksekliği rüzgar türbini için bir kule görevi görmektedir. Bina-monte rüzgar türbinleri ile yapı bütünleşik rüzgar türbinleri bina tasarımının temel felsefelerinden ortaya çıkarılmasında rüzgar enerjisi üretimi oluşturmaktadır.
- iii. Yapıyla bütünleşik rüzgar türbinleri; Mimari tasarımın odak noktalarından birini rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi oluşturmaktadır. Yapı çevresinde oluşan düzensiz akışların rüzgar hızını arttırması enerji üretme potansiyelini arttırabilmektedir. Bu doğrultuda tasarlanan yapının veya yapı grubunun birbirlerine göre konumları önem teşkil etmektedir. Ayrıca yapının formunu, rüzgarın yönü, hızı, yoğunluğunu değiştirmek veya arttırmak suretiyle elde edilecek enerjinin maksimum seviyelere yükseltilmesi tasarlanan rüzgar

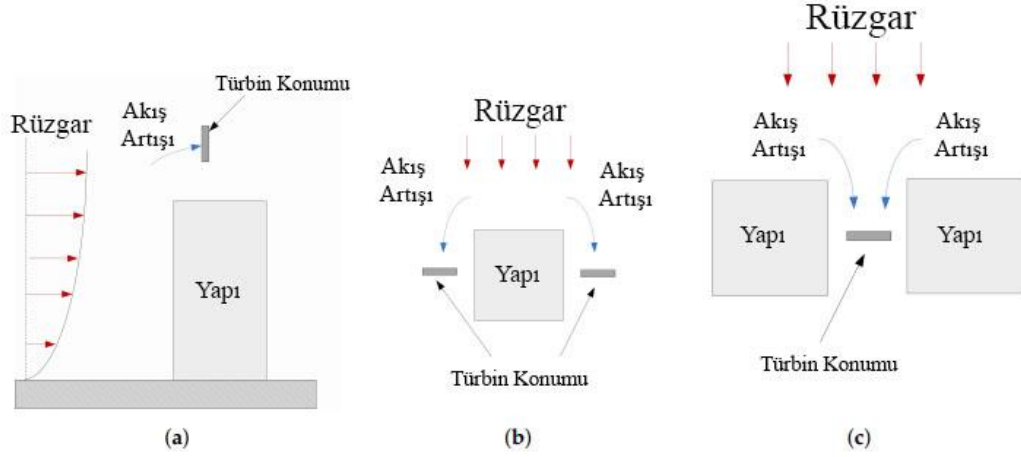
türbinleri ile hedeflenmektedir. Rüzgarı toplayarak türbinlere yönlendirilmesinin mimari formla sağlanması diğer bir odak noktasını oluşturmaktadır. (Günel, Ilgın, Sorguç, 2008).



Şekil 2.39 : Yapılarda rüzgar türbini yerleştirme stratejileri (Günel, Ilgın, Sorguç, 2008)

Yapı-monte rüzgar türbinleri ile var olan yapıların veya tasarım aşamasındaki yapıların performanslarının iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Yapı ile bütünleşmiş rüzgâr türbinlerinin tasarımında ise; mimari tasarım rüzgâr enerjisi kullanımı esas alınarak yapılmaktadır. Rüzgâr türbini mimari form üzerinde büyük bir etkiye sahip olup binanın, rüzgârı toplayarak türbine yönlendiren bir mekanizmaya dönüştürülmesi hedeflenmektedir (Günel, Ilgın, Sorguç, 2008).

Kentsel rüzgar enerjisine yapıda ilgi duyulan ana bölgeler, akış artışının gerçekleşebileceği noktalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür akış hızlanmaları pek çok çevresel değişkene bağlı olmakla birlikte karşımıza en çok, çatıda, yan cephelerde ve bina arasında yaratılan koridorlarda meydana gelmektedir (Şekil 2.40). Akış hızının arttığı veya arttırılabileceği noktalar rüzgar türbinlerinin yapı ile ilişkisinde belirleyici rol oynamaktadır. Tasarım stratejisinin belirlenmesinde bu noktalar büyük öneme sahiptir.



Şekil 2.40 : Yapıdaki akış artış noktaları, (Micallef, 2018).

Yüksek yapılara rüzgar türbininin güç odaklı olarak yerleştirilmesi sınıflandırılmıştır. Günümüzde yapımı tamamlanmış olan yapı-monte rüzgar türbinleri ile yapı bütünleşik rüzgar türbinleri güç unsuruna göre sınıflandırılması iki farklı şekilde yapılabilmektedir (Park vd., 2015);

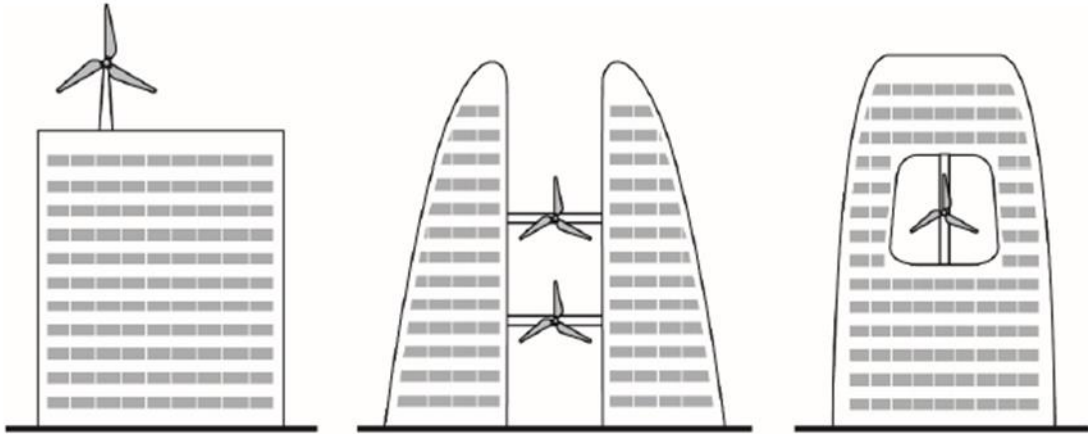
1. Bir veya birden fazla büyük boyutlu rüzgar türbininin yapıya yerleştirilmesidir.

Bu türbinler üç farklı konumda yerleştirilebilirler (Şekil 2.41);

- i. Yapının çatısına
- ii. İki komşu yapının arasına
- iii. Yapının içerisinde bu amaç için oluşturulan boşluğa

Bu yerleşimlere Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi ve Londra'daki Strata örnek gösterilebilir (Bkz. Şekil 3.1 ve Şekil 3.11). Binaların çatıları rüzgar türbinleri için iyi bir yer olabilir, rüzgar türbini destek kulelerinin maliyetini düşürürken daha hızlı rüzgarlardan yararlanmaya olanağı sağlayabilmektedir. Ancak türbinlerin konumunun belirlenmesinden önce mevcut rüzgarların detaylı bir analizi yapılmalıdır, çünkü çevredeki binalar veya çatılarda bulunan farklı engeller (klima sistemleri, antenler) tarafından üretilen türbülanslar beklenenden daha düşük enerji üretimine neden olabilmektedir (Casini, 2015). Büyük boyutlu yapı bütünleşik yatay eksenli rüzgar türbinleri, değişen rüzgara doğru yönlenebilen yatay eksenli rüzgar türbinlerinin

aksine sabitlenmesi gerekebilmektedir. Bu tür teknolojiler güçlü hakim rüzgarın olduğu, yapı formunun ve yönlendirmesinin uygun olduğu durumlarda kullanılabilir. Kanatların sabitlenmesi, belirli rüzgar doğrultularında istenilen verim alınmasını engellese de, iyi tasarlanmış yapı bütünleşik rüzgar türbinleri ile rüzgar belirli ana yönlerden hızlandırılıp, yoğunlaştırılabilecektir (Bobrova, 2015).



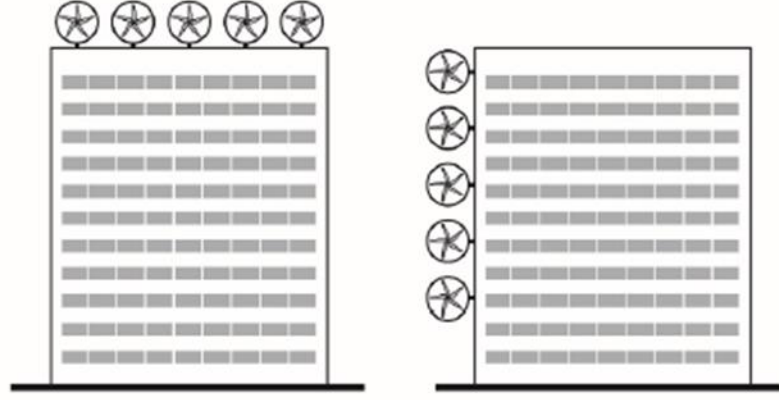
Şekil 2.41 : Büyük boyutlu rüzgar türbinlerinin yapıya yerleştirilmesi (Park vd., 2015).

2. Birden fazla sayıda mikro ölçekte rüzgar türbinlerin yerleştirilmesidir

Bu türbinler iki farklı konumda yerleştirilebilirler (Şekil 2.42);

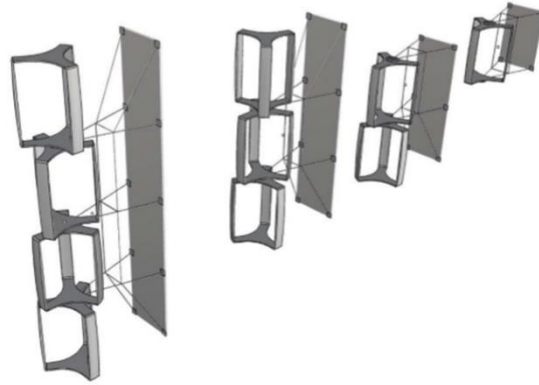
- i. Yapıların çatısına
- ii. Yapıların cephesine

Yapılara çok sayıda mikro ölçekte rüzgar türbini yerleştirilmesinin en verimli yöntem olduğu öne sürülmektedir. Bu yöntemin avantajı, mevcut yapılarda her hangi bir yapısal güçlendirme ihtiyacı doğmadan uygulanabilmesidir. Ancak toplamda elde edilecek olan enerji, büyük boyutta rüzgar türbini yerleştirme yöntemine göre oldukça düşük olacaktır. Çünkü bu küçük türbinlerin kurulacağı alanlar sınırlı olup bunlar yalnızca çatı veya binaların cepheleridir (Park vd., 2015).



Şekil 2.42 : Mikro veya küçük boyutlu rüzgar türbinlerinin yapıya yerleştirilmesi
(Park vd., 2015).

Mikro türbinlerin yapıyla bütünleşik tasarımında yatay eksenli rüzgar türbinlerine oranla dikey eksenli rüzgar türbinleri daha fazla tercih edilmektedir. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin duydukları hacimsel ihtiyacın küçük ve mikro küçük ölçekte karşılanması ve sonucunda verim elde edilebilmesi çok mümkün olmamaktadır. Dikey eksenli rüzgar türbinleri birbirlerine monte edilerek, tasarımlara cephe ve çatıda yatay eksenli rüzgar türbinlere göre daha fazla tasarım stratejisi sunabilmektedirler (Şekil 2.43). Dikey eksenli rüzgar türbinlerinin rüzgar doğrultusundan bağımsız çalışabilme özellikleri ve düşük gürültü üretmeleri onları yüksek yapılarda mikro ve küçük boyutlu türbin yerleştirme stratejisinde ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 2.43 : - Dikey eksenli rüzgar türbinlerinin cepheye birlikte montaj örneği
(Bayoumi, Daniels, 2013).

Yapıyla bütünleşik rüzgar türbini tasarımında mikro türbinlerin kullanımı tasarım esnekliği sağlayarak, rüzgar türbini bütünleşik rüzgar türbini tasarımlarının artmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca mikro türbin sistemlerinin modülerleştirilmesi ile, sistemin

çeşitli mevcut bina tiplerine kolayca uygulanmasına yardımcı olacaktır ve sistemin takılmasını ve sökülmesini kolaylaştıracaktır (Park vd., 2015). Endüstriyel üretimin sağlanması ile yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinin daha yaygın olarak kullanılmasının gerçekleştirilebilecektir.



3. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN KULLANILDIĞI YÜKSEK YAPI ÖRNEKLERİ

Bu bölümde ABD, Bahreyn, Çin ve İngiltere’ de 2008-2015 yılları arasında yapımı tamamlanmış olan; yapı bütünleşik rüzgar türbinlerine sahip yüksek yapılar incelenmiştir. Kat adetleri 13 ile 128 arasında değişen 8 örnek yapı yapıldıkları yıllar ve tasarımları değerlendirildiğinde yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarımları açısından örnek nitelik taşımaktadırlar. Çalışmada yapılara ait mimari özelliklerin ve kullanılan yapı bütünleşik rüzgar türbini stratejilerinin ortaya konması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda yapılar bulundukları coğrafi konum, yapım yılları, fonksiyonları, kat adetleri, rüzgar türbini adetleri, rüzgar türbinlerinin yapıda bulunduğu konumlar, rüzgar türbinlerinin çeşitleri, yapının taşıyıcı sistemi, yapının kütle adedi, yapının bulunduğu iklim kuşağı ve rüzgar hızı dikkate alınarak incelenmiştir.

Yapılan bu inceleme doğrultusunda rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla elde edilen enerji verimliliğinin verimin hangi kriterlerin daha belirleyici olduğu yapılan karşılaştırma ve analizlerle ortaya konması hedeflenmektedir.

3.1 Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi

Tablo 3.1 Bahreyn Dünya Ticaret Merkezine ait bilgiler

Yapım Yeri ve Yılı	Bahreyn, 2008	
Mimari Tasarım	Atkins	
Strüktür Mühendisi	Atkins	
Mekanik Mühendisi	BMT Fluid Mechanics Ltd	
Fonksiyonu	Ofis	
Kütle adedi	2	
Kat Adedi	50	
Bulunduğu İklim Kuşağı	Çöl İklim Kuşağı	
Coğrafi Konum	26.54; 50.58	
Ortalama Rüzgar Hızı	4,5 m/s	
Kullanılan rüzgar türbini türü	Yatay Eksenli Rüzgar Türbini	
Kullanılan rüzgar türbini adedi	3 Adet	
Rüzgar Türbinlerinin yerleşim yeri	İki Yapı Arasındaki Çelik Köprüler	
Yapının taşıyıcı sistem türü	Perde Duvarlı Çerçeve Sistem	
Yapının taşıyıcı sistem malzemesi	Betonarme / Çelik	
Rüzgar türbinlerinin karşıladığı enerji oranı	%11-15	
Yeşil Bina Sertifikası	CTBUH tarafından 2008 yılında Orta Doğu ve Afrika'nın en iyi yüksek yapısı seçildi.	

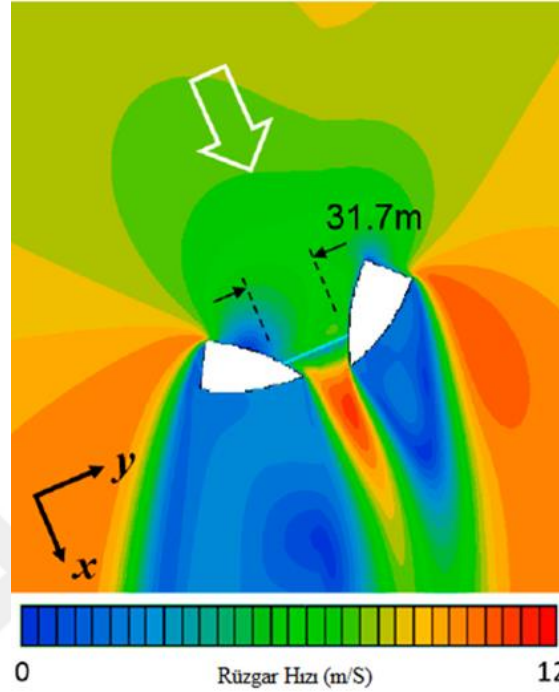
Bahreyn’de bulunan Dünya Ticaret Merkezi’nin yapımı 2004 yılında başlayıp 2008 yılında tamamlanmıştır. Proje Bahreyn’in ticaret merkezi konumundaki Manama’da Arap Körfezine bakan bir noktada yer almaktadır (Şekil 3.1). İkiz kuleler çelik ve betonarme taşıyıcı sistemden oluşmaktadır. 240 metre yüksekliğe sahip olan ikiz kuleler 50 kattan oluşup ofis fonksiyonunda kullanılmaktadır. Yapı ilk yüksek yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarımı olma özelliğini taşımaktadır. Mevcut kavramsal tasarımda geleneksel Arap rüzgar kulelerinden esinlenilerek, körfezden gelen engelsiz hakim rüzgarın kullanılması ve yenilenebilir enerji kaynağı sağlanması projenin ana çıkış noktasını oluşturmaktadır (Smith, Killa, 2007). Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi yenilikçi tasarım yaklaşımı ile simgesel bir yapı niteliğindedir.



Şekil 3.1: Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, Bahreyn (Url-6).

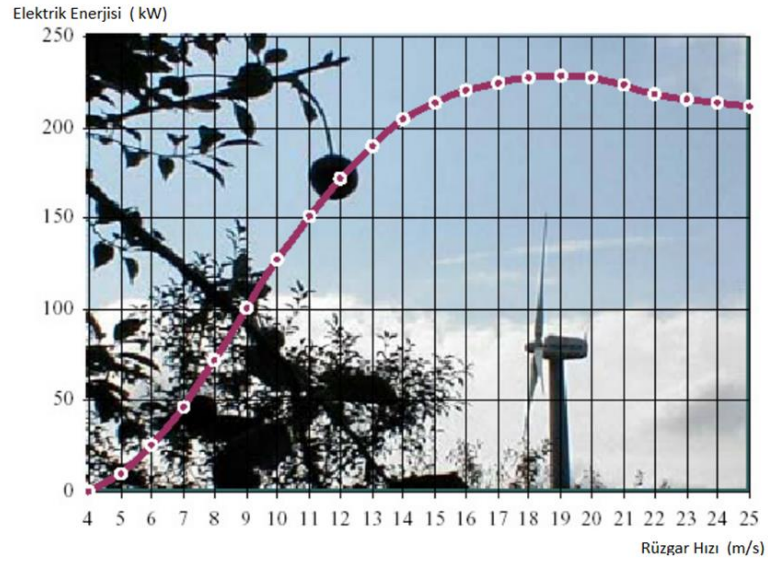
Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi yapılarının formunu hakim rüzgar yönü ve rüzgar türbinleri belirlemektedir. İkiz kulelerin arasındaki köprülere elektrik enerjisi üretimi için üç adet 29 metre çaplı, 225 kW kapasiteli, üç kanatlı yatay eksenli rüzgar türbinleri yerleştirilmiştir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri genel olarak bir kuleye monte edilir ve rüzgarın yönü doğrultusunda dönmesi sağlanarak, enerji verimi maksimum seviyelere çıkartılır. Sabit yatay eksenli rüzgar türbinleri rüzgar doğrultusunda hareket kabiliyetleri olmadığı için sadece belirli bir rüzgar aralığında çalışabilme dezavantajına sahiptirler. İkiz kulelerin tasarımında yelken benzeri bir form ile hakim rüzgâr yönüne doğru konumlanıp rüzgar türbinlerine doğru kavislendirilerek huni etkisi yaratılmak istenilmiştir (Şekil 3.2). Bu yaratılan etkiyle sabit yatay eksenli rüzgar türbinleri ile rüzgar enerjisinden elde edilen verimin artırılması hedeflenmiştir.

Böylece yükseklik ve aerodinamik form ile artırılan yüksek rüzgar hızı sonucu yatay eksenli rüzgar türbinlerinden elde edilen enerji verimi de arttırılmıştır.



Şekil 3.2: Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi Yapısı Rüzgar Testi (Smith, Killa, 2007).

Tasarım ile sağlanan huni etkisi, türbinlerdeki rüzgar hızını %30'a kadar arttırma olanağına sahiptir. Rüzgar yoğunluğuna bağlı olarak rüzgar türbinlerinin 15-20 m/s arasında maksimum gücü olan 225 kW'a ulaşabilmektedir (Şekil 3.3). Rüzgar türbinlerinin yükseklik farkından dolayı beklenen verimleri farklı olmaktadır. En alt kısımdaki türbinden yıllık ortalama 340 – 400 MWh performans beklenirken bu oran ortadaki ve en üstteki türbinlerde değişmektedir (Şekil 3.4). Rüzgar ve kullanılabilirlik verileri dikkate alındığında türbinlerden yaklaşık olarak 1100 ile 1300 MWh arasında enerji verimi elde edilmesi beklenmektedir. Türbinler %3 gibi düşük bir maliyet ekleyecek şekilde tasarlanmış olup, ofis kulelerinin ihtiyacı olan yıllık elektrik enerjisinin %11 – 15'inin bu türbinlerden karşılanması hedeflenmiştir (Barr, 2019). Bu oransal farkın yıllık ortalama rüzgar hızındaki yükseliş ve düşüş bağlantılı olması beklenmektedir.



Şekil 3.3: Rüzgar türbinlerinin rüzgar hızına göre performansı (Smith, Killa, 2007).

Türbin 1	340 – 400 MWh
Türbin 2	360 – 430 MWh
Türbin 3	400 – 470 MWh

Şekil 3.4: - Türbinlerden beklenen yıllık performans (Smith, Killa, 2007).

Bahreyn Dünya Ticaret Merkezinde kullanılmakta olan yatay eksenli rüzgar türbinleri sabit konumda bulunmaktadır. Bu sadece belirli rüzgar doğrultularında çalışmalarına sebep olmaktadır.

3.2 Twelve West Kulesi

Tablo 3.2: Twelve West Kulesi'ne ait bilgiler

Yapım Yeri ve Yılı	Portland, ABD, 2009	
Mimari Tasarım	ZGF Mimarlık Ofisi	
Strüktür Mühendisi	KPFF Consulting Engineers	
Mekanik Mühendisi	Glumac	
Fonksiyonu	Karma Kullanım (Ofis – Konut)	
Kütle adedi	1	
Kat Adedi	23	
Bulunduğu İklim Kuşağı	Ilıman İklim Kuşağı	
Coğrafi Konum	45.522; -122.684	
Ortalama Rüzgar Hızı	4,9 m/s	
Kullanılan rüzgar türbini türü	Yatay Eksenli Rüzgar Türbini	
Kullanılan rüzgar türbini adedi	4	
Rüzgar Türbinlerinin yerleşim yeri	Çatı	
Yapının taşıyıcı sistem türü	Betonarme Perde Duvarlı Çerçeve Sistem	
Yapının taşıyıcı sistem malzemesi	Betonarme	
Rüzgar türbinlerinin karşıladığı enerji oranı	%1 (10.000-12000 kWh yıllık)	
Yeşil Bina Sertifikası	LEED Plantinum	

Twelve West Kulesi ABD'nin Portland kentinde bulunan 23 katlı karma fonksiyona sahip betonarme bir yüksek yapıdır (Şekil 3.5). Yapı içerisinde konut, ofis, restoran ve sosyal alanları barındırmaktadır. Yapının inşası 2009 yılında tamamlanmıştır.

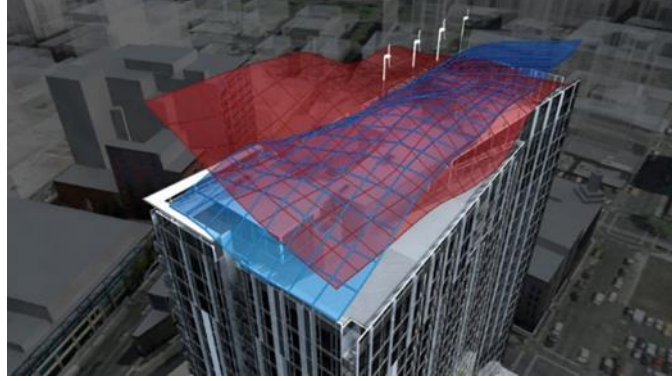


Şekil 3.5: Twelve West Kulesi, 2010, Portland Oregon (ZGF, 2010).

Yapının tasarımında sürdürülebilirlik ve verimlilik kavramları önemli bir yer tutmaktadır. Yapıda birden fazla sürdürülebilir tasarım stratejisi bir arada etkin bir şekilde kullanılmıştır. Doğal havalandırma, gün ışığından etkin yararlanma gibi pasif enerji etkin sistemlerin yanı sıra, güneş panelleri, yapı bütünleşik rüzgar türbinleri ve yağmur suyunun yeniden kullanımına yönelik enerji etkin sistemler bir arada tasarlanmıştır. Yapı pek çok açıdan sürdürülebilir sistemleri tasarımında barındırmaktadır. Bu etkin kullanım yapının LEED Platinum kazanmasında etkili olmuştur.

Bu tasarım stratejilerinden en önemlilerinden biri de yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarımıdır. Yapının çatısında dört adet yatay eksenli rüzgar türbini bulunmaktadır. Yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinin en iyi konumunun belirlenmesinde kentsel topoğrafya, hava verileri ve mevsimsel rüzgar yönleri dikkate alınarak yapılan rüzgar testleri etkili olmuştur (Şekil 3.6). Testler sonucu belirlenen noktalara kuleleriyle birlikte yatay eksenli rüzgar türbinleri monte edilmiştir. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi'ndeki yatay eksenli rüzgar türbinlerinin aksine bu türbinler sabit değildir,

etkin rüzgar doğrultusunda hareket imkanları mevcuttur. Farklı rüzgar doğrultularında da verim alma imkanı sağlamaktadır.



Şekil 3.6: Twelve West Rüzgar Testi Görseli, (ZGF, 2010).

Yapı bütünleşik rüzgar türbinleri yılda yaklaşık olarak 10.000 – 12.000 kWh enerji üretimi beklenmektedir, bu da yapının yatay sirkülasyon elemanlarının enerji tüketimini karşılaması hedeflenmektedir (ZGF, 2010). Küçük rüzgar türbinlerinin tercih edilmesinin bir çok değişken etkili olmuştur. Küçük rüzgar hızlarında da verim elde etmek, sestən ve titreşimden kaynaklı oluşabilecek rahatsızlıkların önüne geçilmesi en önemlileri olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.3 Kinetica Kulesi

Tablo 3.3: Kinetica Kulesi'ne ait bilgiler

Yapım Yeri ve Yılı	Londra, İngiltere, 2010	
Mimari Tasarım	Waugh Thistleton Mimarlık	
Strüktür Mühendisi	KPFF Danışmanlık Mühendislik	
Mekanik Mühendisi	KPFF Danışmanlık Mühendislik	
Fonksiyonu	Karma Kullanım (Ofis – Konut)	
Kütle Adedi	2	
Kat Adedi	14	
Bulunduğu İklim Kuşağı	Okyanus İklimi	
Coğrafi Konum	51.54721, -0.07149	
Ortalama Rüzgar Hızı	5,14 m/s	
Kullanılan Rüzgar Türbini Türü	Dikey Eksenli Rüzgar Türbini	
Kullanılan Rüzgar Türbini Adedi	4	
Rüzgar Türbinlerinin Yerleşim Yeri	Yapı Cephesi	
Yapının Taşıyıcı Sistem Türü	Betonarme Perde Duvarlı Çerçeve Sistem	
Yapının Taşıyıcı Sistem Malzemesi	Betonarme	
Rüzgar Türbinlerinin Karşılacağı Enerji Oranı	%30	
Yeşil Bina Sertifikası	-	

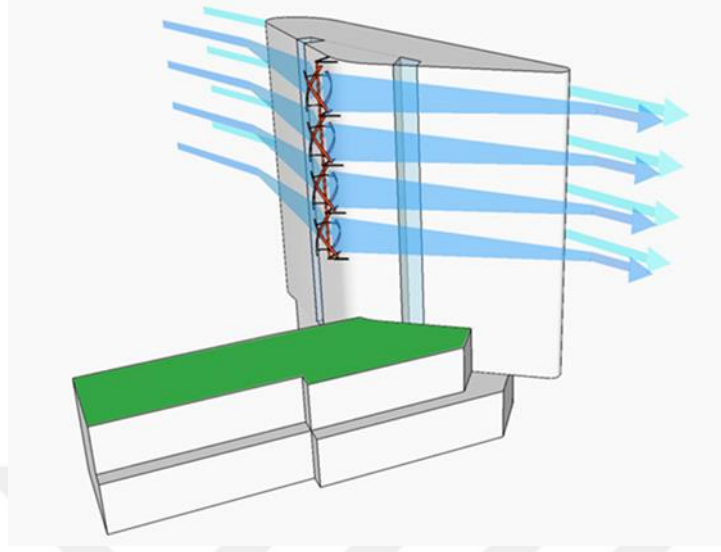
Kinetica Kulesi'nin (Şekil 3.7) yapımı İngiltere'nin Londra şehrinde 2010 yılında tamamlanmıştır. Proje iki ana kütleden oluşmaktadır. Ofis ve konut fonksiyonlarını içinde barındıran kütle 14 katlı olup, enerji etkin tasarım özelliklerine sahiptir.



Şekil 3.7: Kinetica Kulesi, Londra (Thistleton, 2020).

Yapının tasarım stratejisinde yenilenebilir enerji kaynağı konumundaki rüzgardan yapı bütünleşik rüzgar türbinleri ile yerinde elektrik enerjisi üretimi çok büyük önem taşımaktadır. Yapının formu rüzgar türbinlerinden en yüksek verimi elde etmek üzerine tasarlanmıştır. Yapı bu tasarım özellikleri ve yüksekliği ile bulunduğu çevreye göre öncü niteliklere sahiptir.

Binanın cephesinde 4 adet dikey eksenli rüzgar türbini bulunmaktadır. Binanın formu rüzgar kanadı görevi görerek rüzgarı binanın cephesinde bulunan 4 adet dikey eksenli rüzgar türbinine yönlendirmektedir (Şekil 3.8). Bu tasarım stratejisi sayesinde rüzgardan en verimli şekilde yararlanılmaktadır. Binanın cephesindeki 4 adet dikey eksenli rüzgar türbininden yapının elektrik tüketiminin yaklaşık olarak %30 karşılanmaktadır (Thistleton, 2020).



Şekil 3.8: Yapı bütünleşik rüzgar türbinlerine göre belirlenen tasarım stratejisi
(Thistleton, 2020).

Yapı tasarımı ve sağladığı verimlilikle bulunduğu çevrede bir odak konumundadır. Enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün arttığı bir süreçte çok büyük önem taşımaktadır. Sağladığı enerji verimliliğinin yanı sıra, bulunduğu çevre açısından yenilikçi tasarım stratejisi ile çevre bilincinin oluşumuna da katkı sağlamaktadır.

3.4 Hess Kulesi

Tablo 3.4: Hess Kulesi'ne ait bilgiler

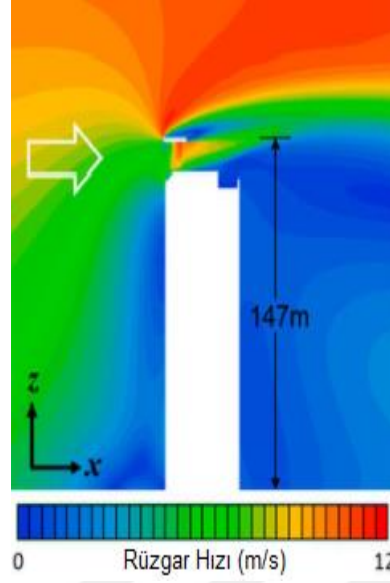
Yapım Yeri ve Yılı	ABD, Houston, 2010	
Mimari Tasarım	Gensler	
Strüktür Mühendisi	Walter P. More	
Mekanik Mühendisi	Gowan	
Fonksiyonu	Ofis	
Kütle Adedi	1	
Kat Adedi	29	
Bulunduğu İklim Kuşağı	Nemli subtropikal iklim	
Coğrafi Konum	29.754, -95.359	
Ortalama Rüzgar Hızı	4.26 m/s	
Kullanılan Rüzgar Türbini Türü	Dikey Eksenli	
Kullanılan Rüzgar Türbini Adedi	10	
Rüzgar Türbinlerinin Yerleşim Yeri	Çatı	
Yapının Taşıyıcı Sistem Türü	Betonarme Perde Duvarlı Çerçeve Sistem	
Yapının Taşıyıcı Sistem Malzemesi	Betonarme	
Rüzgar Türbinlerinin Karşılacağı Enerji Oranı	-	
Yeşil Bina Sertifikası	LEED Platinum	

Hess Kulesi ABD' nin Houston şehrinde 2010 yılında yapımı tamamlanmıştır (Şekil 3.9). Ofis fonksiyonunda kullanılan yapı 147 metre yüksekliği sahip olup, 29 katlıdır. Yapı enerji etkin yapı tasarım stratejileri sayesinde LEED Platinum sertifikasına hak kazanmıştır.



Şekil 3.9: Hess Kulesi, Houston, (Kim vd., 2016).

Yapıda rüzgar enerjisinden yerinde enerji üretimi stratejisi kapsamında başlangıçta 10 adet dikey eksenli rüzgar türbini yapı ile bütünleşik tasarlanmıştır. Yapı etkin rüzgar yönüne göre konumlandırılmıştır. Yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinden maksimum verimin elde edilmesi doğrultusunda yapının çatısında açılan boşluklara yerleştirilmiştir (Şekil 3.10). Çatıda yaratılan boşluklarda rüzgar türbinlerine doğru yönlendirici tasarım ile türbinlerden elde edilen verimin artırılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.10: Yapı ve rüzgar hızı grafiği (Kim vd., 2016).

Yapı tamamlandıktan sonra rüzgar türbinleri çalışmaya başlamıştır. Fakat, rüzgar türbininin şiddetli rüzgârdan zarar gören bir kısmının düşmesi ve tehlikeli olayın yerel halk gazetesinde yer alması nedeniyle dikkat çekmiştir (Kim vd., 2016). Hess Kulesi kazası, yüksek binalarda kurulan yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinin doğal afetler ve mekanik problemler dahil tüm kaza faktörlerinin dikkate alınması gerekliliğini tekrar ön plana çıkıdığı bir örnek olmaktadır. Bu kaza sonrasında rüzgar türbinlerinin çalışmasına ara verilmiştir.

3.5 Strata Kulesi

Tablo 3.5: Strata Kulesi'ne ait bilgiler

Yapım Yeri ve Yılı	İngiltere,Londra, 2010	
Mimari Tasarım	BFLS	
Strüktür Mühendisi	WSP Grup	
Mekanik Mühendisi	WSP Grup	
Fonksiyonu	Konut	
Kütle Adedi	1	
Kat Adedi	43	
Bulunduğu İklim Kuşağı	Okyanus İklimi	
Coğrafi Konum	51.493, -0.099	
Ortalama Rüzgar Hızı	5,4 m/S	
Kullanılan Rüzgar Türbini Türü	Yatay Eksenli	
Kullanılan Rüzgar Türbini Adedi	3	
Rüzgar Türbinlerinin Yerleşim Yeri	Çatı	
Yapının Taşıyıcı Sistem Türü	Betonarme Perde Duvarlı Çerçeve Sistem	
Yapının Taşıyıcı Sistem Malzemesi	Betonarme	
Rüzgar Türbinlerinin Karşılacağı Enerji Oranı	%8	
Yeşil Bina Sertifikası	-	

Londra'nın merkezinde bulunan 43 katlı yapının yapımı 2010 yılında tamamlanmıştır. Londra'daki en yüksek konut fonksiyonuna sahip yapısı olan, siyah gümüş renkli gökdelenin yüksekliği 147 metredir (Şekil 3.11). Enerji etkin tasarım stratejileri tasarımın odak noktasını oluşturmaktadır. Yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarımı da yapıda bulunan yerinde enerji üretim sistemlerinden en önemlilerinden biridir.



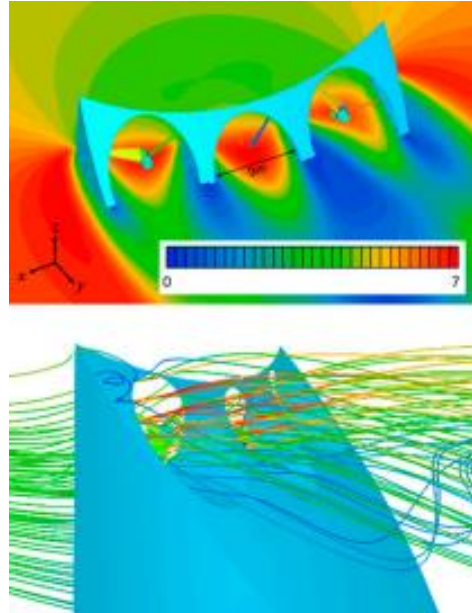
Şekil 3.11: Strata Kulesi, Londra (Url - 7).

Binanın formu hakim olan güney-güneybatı rüzgar yönünün en iyi şekilde kullanılmasını sağlayacak şekilde konumlandırılmıştır. Her biri 9 metre yarıçapında olan üç adet rüzgar türbini yapının çatısına yerleştirilmiştir (Şekil 3.12). Yatay eksenli türbinler ile her biri 19 kWh olarak derecelendirilmiştir. Bu doğrultuda binanın toplam elektrik ihtiyacının yaklaşık %8'nin türbinler ile karşılanması beklenmektedir.



Şekil 3.12: Strata’ da bulunan yatay eksenli yapı bütünleşik rüzgar türbinleri (URL-7).

Rüzgar türbinlerinin tasarımında üç temel hedef bulunmaktadır. Bunlar; rüzgarı yönlendirmek, gürültüyü kontrol etmek ve rüzgar türbinlerini binanın formuna entegre etmektir. Bu doğrultuda yapının çatı bölümündeki içbükey tasarım stratejisi ile havayı yukarı doğru yönlendirerek rüzgardan en yüksek verimin elde edilmesi hedeflenmiştir (Şekil 3.13). Yapı kullanıcıları için gürültü kirliliğinin azaltılmasını sağlamak için türbinler yaylı elamanlarla, kule tepesindeki bir çelik çerçeve içine monte edilmiştir.



Şekil 3.13: Strata Kulesi rüzgar grafiği (Kim vd., 2016).

Yatay rüzgar türbinleri ile sağlanan statik çözüm beraberinde dezavantajları da getirecektir. Rüzgar türbinleri belirli doğrultularda çalışacağından performansta büyük değişimler ve düşüşler yaşanabilecektir.

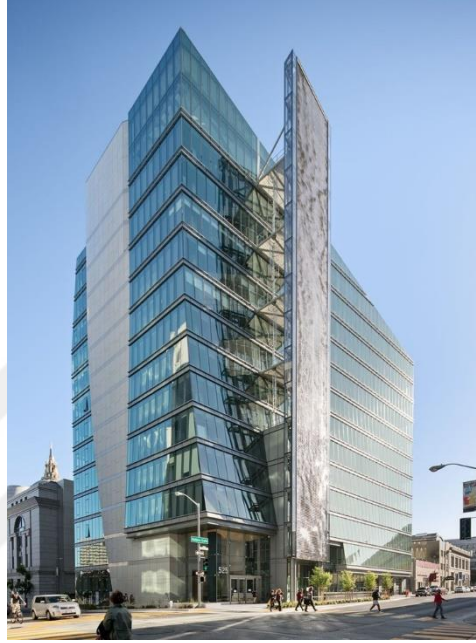


3.6 San Francisco Kamu Hizmetleri Komisyonu Genel Merkezi

Tablo 3.6: San Francisco Kamu Hizmetleri Komisyonu Genel Merkezi'ne ait bilgiler

Yapım Yeri ve Yılı	ABD, San Francisco, 2012	
Mimari Tasarım	KDM	
Strüktür Mühendisi	ARUP	
Mekanik Mühendisi	ARUP	
Fonksiyonu	Ofis	
Kütle Adedi	1	
Kat Adedi	13	
Bulunduğu İklim Kuşağı	Akdeniz İklim Kuşağı	
Coğrafi Konum	37.781, -122.418	
Ortalama Rüzgar Hızı	4,7 m/S	
Kullanılan Rüzgar Türbini Türü	Dikey Eksenli	
Kullanılan Rüzgar Türbini Adedi	4	
Rüzgar Türbinlerinin Yerleşim Yeri	Cephe	
Yapının Taşıyıcı Sistem Türü	Betonarme Perde Duvarlı Çerçeve Sistem	
Yapının Taşıyıcı Sistem Malzemesi	Betonarme	
Rüzgar Türbinlerinin Karşıladığı Enerji Oranı	%7 (solar panel ve rüzgar türbinleri)	
Yeşil Bina Sertifikası	LEED Platinum	

San Francisco Kamu Hizmetleri Genel Merkezi Binası'nın yapımı 2012 yılında tamamlanmıştır (Şekil 3.14). Ofis olarak kullanılan yapı 13 kattan oluşup 277.500 m² alan kaplamaktadır. Yapının şehir merkezindeki konumu ve kamusal özellikleri açısından örnek oluşturması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda yapı tasarımında enerji etkin sistemlerin en etkin şekilde kullanılmasına özen gösterilmiştir.

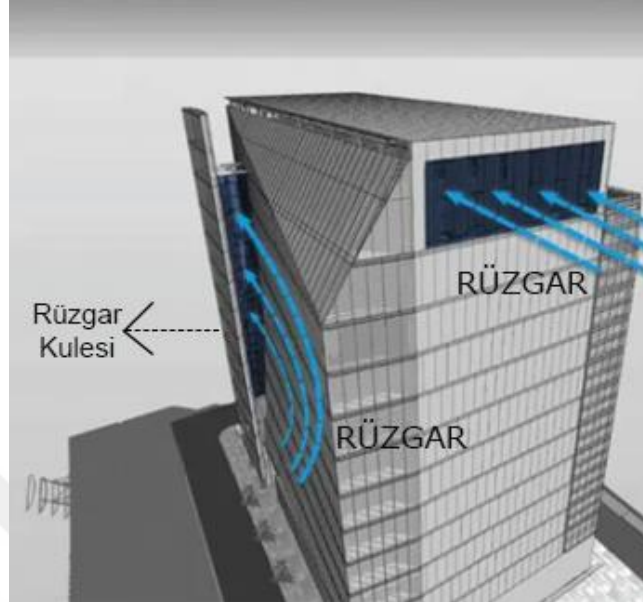


Şekil 3.14: San Francisco Kamu Hizmetleri Genel Merkez Binası, San Francisco, ABD, (Url-8).

Yapının tasarımında bir dizi yenilikçi yaklaşımla doğal kaynakların tüketimi en aza indirilmiş, yerinde sürdürülebilir temiz enerji kaynaklarından enerji üretimi sağlanması hedeflenmiştir. Bu tasarım stratejileri sayesinde yapı LEED Platinum sertifikası kazanmıştır. Güneş panelleri ve rüzgar türbini kulesi ile yapının enerji tüketiminin yaklaşık olarak %7'nin karşılanması beklenmektedir.

Yapı bütünlüğü rüzgar türbinlerinin tasarımında, diğer örneklerde olduğu gibi etkin rüzgar yönü dikkate alınmıştır. Yapının kuzey cephesinde bulunan rüzgar türbini kulesinde dört adet dikey eksenli rüzgar türbini bulunmaktadır. Rüzgar türbini kulesi ve yapının oluşturduğu açılar ile rüzgar hızının artırılması ve en yüksek verimin elde edilmesi hedeflenmiştir (Şekil 3.15). Bu doğrultuda rüzgar kulesinin tasarımında uçak kanadının aerodinamik yapısı dikkate alınarak, rüzgar hızının artırılması istenmiştir.

Rüzgar türbinlerinin bulunduğu kule ile yapı arasındaki açı ile sadece verim artırılmamış estetik form da oluşturulmuştur.



Şekil 3.15: Yapı ile rüzgar kulesi arasındaki ilişki.

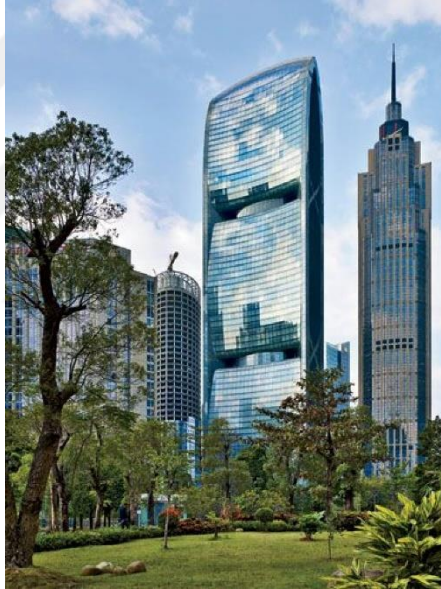
Enerji ihtiyacının her geçen gün arttığı bir süreçte yapı enerji verimliliği ve tasarımı ile bulunduğu konum da dikkate alınarak fonksiyonun dışında çevre bilinci de oluşturmaktadır. Bu da enerji etkin tasarımın yanı sıra, toplumda enerji kavramına yönelik algı oluşumunda etkili olmaktadır.

3.7 Pearl River Kulesi

Tablo 3.7: Pearl River Kulesi'ne ait bilgiler

Yapım Yeri ve Yılı	Çin, Guangzhou, 2013	
Mimari Tasarım	SOM	
Strüktür Mühendisi	SOM	
Mekanik Mühendisi	SOM	
Fonksiyonu	Ofis	
Kütle Adedi	1	
Kat Adedi	71	
Bulunduğu İklim Kuşağı	Ilıman-nemli iklim Kuşağı	
Coğrafi Konum	23.124, 113.323	
Ortalama Rüzgar Hızı	4.3 m/s	
Kullanılan Rüzgar Türbini Türü	Dikey Eksenli	
Kullanılan Rüzgar Türbini Adedi	4	
Rüzgar Türbinlerinin Yerleşim Yeri	Gövde	
Yapının Taşıyıcı Sistem Türü	Perde Duvarlı Mega Çekirdek Sistem	
Yapının Taşıyıcı Sistem Malzemesi	Kompozit	
Rüzgar Türbinlerinin Karşılacağı Enerji Oranı	%1	
Yeşil Bina Sertifikası	LEED Platinum	

Pearl River Kulesi (Şekil 3.16) Çin'in Guangzhou kentinde 2006 yılında yapımına başlanılan 310 metre yüksekliğe sahip bir yüksek yapı olup, yapımı 2011 yılında tamamlanmıştır. Kompozit taşıyıcı sistem elemanlarının kullanıldığı 71 katlı yapı ofis olarak kullanılmaktadır. Yapının tasarım stratejisinde enerji etkinliği ve yenilenebilir enerji kullanımı büyük önem taşımaktadır. Güneş panelleri, yapı bütünleşik rüzgar türbinleri gibi aktif sistemlerin yanı sıra gün ışığından maksimum seviyede yararlanmaya ve havalandırmaya yönelik pasif enerji sistemleri bulunmaktadır. Yapı gövdesinde tasarlanan boşluklar sayesinde rüzgar türbinlerinden elde edilen verimin artırılması ve yapıya etki eden rüzgar yüklerinin ise azaltılması hedeflenmiştir. Bunlar da yapım ve yapım işletim maliyetlerinde tasarrufa katkı sağlayacaktır. Tüm bu enerji etkin çözümler yapının LEED Platinum ve birçok tasarım ödülü almasında büyük öneme sahip olmaktadır.



Şekil 3.16: Pearl River Kulesi, Çin, (Url- 9).

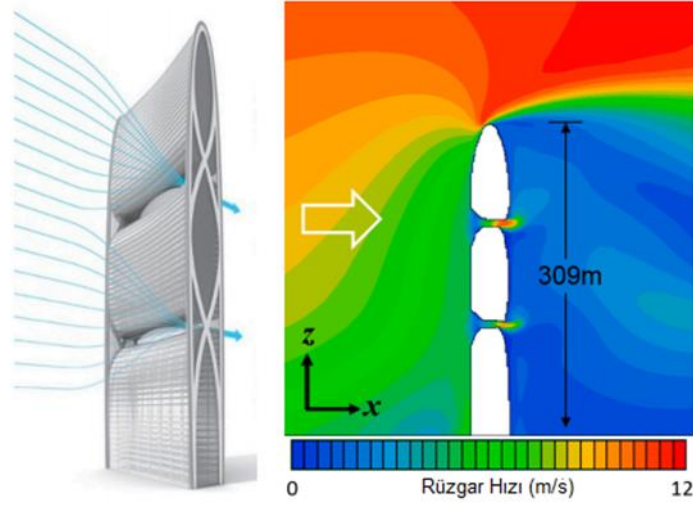
Yapı hakim rüzgar doğrultusunda konumlandırılmıştır. Yapı gövdesinde tasarlanan boşluklara dikey eksenli rüzgar türbinleri yerleştirilmiştir (Şekil 3.17). Bu açıklıkların yeri mekanik katlardır. Yapı gövdesindeki oluşturulan bu boşluklar huni etkisi yaratacak biçimde tasarlanmış olup, bu sayede rüzgar türbinlerinden alınan verimin artırılması hedeflenmiştir. Doğu ve batı cepheleri düz, güney cephesi içbükey; kuzey cephesi dışbükeydir (Şekil 3.18). Binanın güney cephesi, her mekanik kat seviyesinde iki tane olmak üzere dört açıklıkta rüzgarı yönlendirecek biçimde şekillendirilmiştir. Bu açıklıkların belirlenmesinde rüzgar tüneli testlerinden ve CDF analizlerinden yararlanılmıştır. 108 ve 209. metrelerde bulunan mekanik katlarda bulunan 4 tünelin

içine konumlandırılmış dikey eksenli rüzgar türbinleri ile yapının % 1 oranında elektrik enerjisinin üretimi hedeflenmiştir (Sev, Başarır, 2011). Yükseklik farkında kaynaklı olarak aynı özelliklere sahip dikey eksenli rüzgar türbinlerinden 209. metrede olanlardan 108. Metrede olanlara göre daha fazla enerji elde edilmesi beklenmektedir.



Şekil 3.17: Tünellerde bulunan dikey eksenli rüzgar türbinleri (Tomlinson vd., 2014).

Kulenin eğrisel formu, havayı cephedeki türbin girişlerinden geçirerek performansı artırarak binanın rüzgar ve rüzgar yönü arasındaki basınç farkını optimize eder. Rüzgar çalışmaları, cephe girişlerinin rüzgar hızını 2,5 kat hızlandıracağı tahmin edilmektedir (Tomlinson vd., 2014). Bu boşluklarda havanın hızlandırılmasıyla birlikte türbinlerden 8 kat fazla enerji elde edilmesi hedeflenmektedir (Barr, 2019). Yaratılan bu form sayesinde etkin rüzgar yüklerinin yapıya olan etkisi azaltılıp ayrıca elektrik enerjisi kazanımı sağlanarak sürdürülebilir enerji etkin bir tasarım elde edilmiştir.



Şekil 3.18: Pearl River cephe rüzgar ilişkisi (Kim vd., 2016).

3.8 Şanghay Kulesi

Tablo 3.8: Şanghay Kulesi'ne ait bilgiler

Yapım Yeri ve Yılı	Çin, Şanghay, 2015	
Mimari Tasarım	Gensler	
Strüktür Mühendisi	Thornton Tomasetti	
Mekanik Mühendisi	Cosentini	
Fonksiyonu	Ofis - Otel	
Kütle Adedi	1	
Kat Adedi	128	
Bulunduğu İklim Kuşağı	Nemli Subtropikal Muson	
Coğrafi Konum	31.233, 121.505	
Ortalama Rüzgar Hızı	6 m/s	
Kullanılan Rüzgar Türbini Türü	Dikey Eksenli Küçük	
Kullanılan Rüzgar Türbini Adedi	270	
Rüzgar Türbinlerinin Yerleşim Yeri	Cephe	
Yapının Taşıyıcı Sistem Türü	Mega çekirdek ve çerçevesi sistem	
Yapının Taşıyıcı Sistem Malzemesi	Kompozit	
Rüzgar Türbinlerinin Karşılacağı Enerji Oranı	%10	
Yeşil Bina Sertifikası	GOLD Platinum	

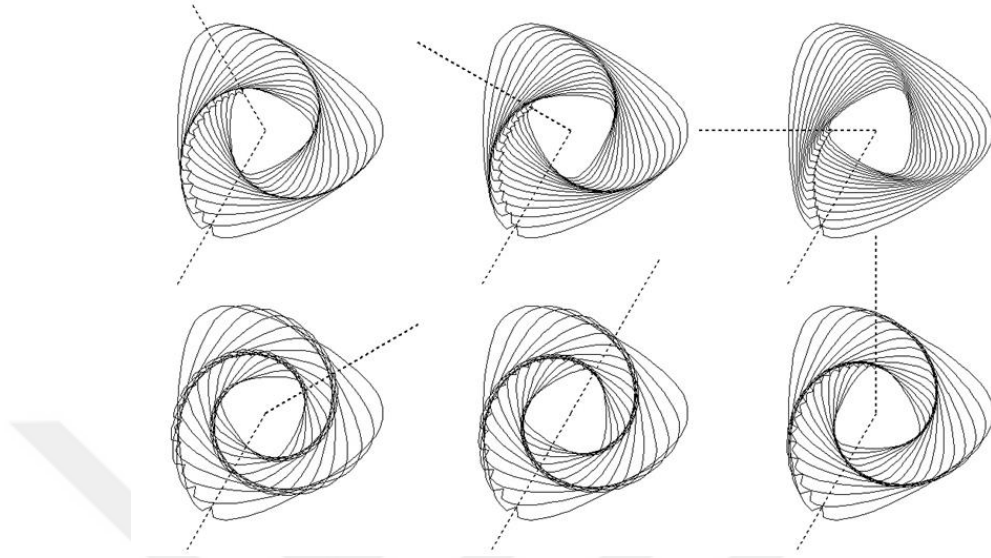
Yapımı 2015 yılında tamamlanan Şanghay Kulesi, Çin'in ve Asya'nın en yüksek yapısı konumundaki süper yüksek yapı Dünya'nın da en yüksek 2. yapısıdır (Şekil 3.19). Süper yüksek yapı birden fazla fonksiyonu içinde barındırmaktadır. Yapının içinde ofis ve otel fonksiyonlarının yanı sıra mağaza, kafe ve restoranlar bulunmaktadır. Yapı dikey şehircilik kavramının en önemli örneklerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Şangay Kulesi, kamusal alanı vurgulayarak ve atriyum seviyelerinde mağazalar, restoranlar ve kentsel tesisleri konumlandırarak, süper yüksek kulelerde yaşamak ve çalışmak için yeni farklı bir deneyim sunmaktadır.



Şekil 3.19: Şanghay Kulesi, Çin, (Url- 10).

Yapının formunun belirlenmesinde; kulenin asimetric formu, daralarak yükselen kütlesi ve keskinliği azaltılmış köşeleriyle aerodinamik formu en önemli tasarım stratejileri olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 3.20). Bu formun ortaya çıkma sürecinde rüzgar tüneli testlerinden yararlanılmıştır. Belirlenen tasarım stratejileriyle Şanghay'da yaygın olarak meydana gelen tayfun gibi yüksek şiddetli rüzgarlara karşı dayanımının artırılması hedeflenmiştir. Gökdelen yanal yüklerin etkisini azaltan daralma açısı ve oval formu ile etkin bir strüktüre sahiptir (Zhao, 2011). Aerodinamik

ve dönel formu sayesinde yapı yüzeyine etki eden rüzgar yüklerinin azaltılmasını, böylece etkin bir strüktürle taşıyıcı sistem malzemesinden de tasarruf edilmesini sağlamıştır.



Şekil 3.20: Yapı formunun tasarım süreci (Url-11).

Sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji kavramları yapının tasarım stratejisinin temelini oluşturmaktadır. Çok fazla sürdürülebilir enerji etkin czm sistemleri yapıda etkin şekilde kullanılmaktadır. Rüzgar türbini ile rüzgar enerjisinden yerinde enerji üretimi, yağmur suyunu yeniden kullanımı ve su tasarrufu sistemleri, kojenerasyon sistemleri en önemli enerji etkin aktif sistemlerin başında gelmektedir. Bu lek ve yükseklikteki bir yapı için bu ve benzeri sistemlerin birlikte etkin tasarımı çok önemli olmaktadır. Bu doğrultuda Şanghay Kulesi bir çok tasarım dl kazanmıştır. GOLD platinum sertifikası da en önemlilerinden biridir. Şanghay Kulesi'nin cephesinde 270 adet yatay eksenli mikro ölçekte rüzgar türbini bulunmaktadır (Şekil 3.21). Bu yapı bütünleşik rüzgar türbini ile yıllık 350.000 kWh enerji üretimi hedeflenmektedir (Kazimov, 2020). Mikro ölçekteki yapı cephesinde bulunan dikey eksenli rüzgar türbini tarafından üretilen enerji ile yapının dış aydınlatma enerjisinin karşılanması beklenmektedir. Yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarımının yapıldığı en yüksek yapı konumundadır.



Şekil 3.21: Yapı cephesinde bulunan mikro bütünleşik rüzgar türbinleri (Url-11).

Yapının yüksekliğine ek olarak yapı bütünleşik tasarım stratejileri ile birlikte yapının sürdürülebilir enerji kaynağı olan rüzgardan elde ettiği verim oldukça artmaktadır. Şanghay kulesi tasarımı da bu stratejinin görüldüğü en yüksek gökdelenlerden biri olma özelliğini taşımaktadır.

4. ÖRNEKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarından yerinde elektrik enerjisi üretimine olan ihtiyaç artış göstermektedir. Bu doğrultuda bir çözüm olarak görülen yapı bütünleşik rüzgar türbinlerine olan ilgi ve yatırımlar giderek arttırmaktadır. Dünya genelinde de yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarımlarına olan destekler devletler ve uluslararası örgütler tarafından teşvik altına alınmaktadır. Bu talep ve desteğe rağmen kentsel alanda yapı bütünleşik rüzgar türbinleri ile yerinde elektrik enerjisi üretimi konusundaki araştırma ve teknolojik gelişmeye olan ihtiyaç güncelliğini korumaktadır. Yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarımında genel olarak kabul edilmiş bir tasarım stratejisi bulunmamaktadır. Yapılan her araştırma ve örnek bu alandaki bilgi birikimine katkı sağlamaktadır. Yapılmış olan örneklerin incelenip karşılaştırılması ile elde edilecek veriler gelecek çalışmalara ışık tutacak, yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinin yaygınlaşmasında büyük rol oynayacaklardır.

İlk yüksek yapı bütünleşik rüzgar türbini olarak kabul edilen Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi'nden sonra çok farklı boyut ve forma sahip farklı coğrafyalarda tasarım örnekleri ortaya çıkmıştır. Bu örnekler pek çok açıdan birbirinden farklılaşmaktadır. Rüzgarın yapısı, coğrafi konum, bulunduğu iklim, bulunduğu kentsel ölçek, yapı tasarımı, rüzgar türbini tercihi gibi çok farklı değişkenin, yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarım stratejisinin belirlenmesinde etkin rol oynadığı bilinmektedir. Bu çalışmada 2008 ve 2015 yılları arasında yapımı tamamlanmış olan 8 farklı yapı örneği farklı açılardan karşılaştırılmıştır. Bu yapılar yükseklikleri, boyutları, rüzgar enerjisinden faydalanma oranları, türbini çeşitleri, türbin sayıları ve türbin konumları gibi pek çok açıdan birbirlerinden farklılaşmaktadır. Tüm bu farklılıklar ve tercihler sonucunda elde edilen verimler değişiklik göstermektedir.



Yapı Adı	Yapı Fonksiyonu	Yapı Kat Adedi	Bulunduğu İklim Kuşağı	Ortalama Rüzgar Hızı	Rüzgar Türbini Adedi	Rüzgar Türbini Türü	Karşıladığı Enerji Oranı
<i>Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi</i>	Ofis	50	Çöl İklimi	4,5 m/s	3	Yatay Eksenli	%11-15
<i>Twelve West Kulesi</i>	Ofis - Konut	23	Ilıman İklim	4,9 m/s	4	Yatay Eksenli	%1
<i>Kinetica Kulesi</i>	Ofis - Konut	14	Okyanus İklimi	5,14 m/s	4	Dikey Eksenli	%30
<i>Hess Kulesi</i>	Ofis	29	Subtropikal	4,26 m/s	10	Dikey Eksenli	-
<i>Strata Kulesi</i>	Konut	43	Okyanus İklimi	5,4 m/s	3	Yatay Eksenli	%8
<i>SFPUC Binası</i>	Ofis	13	Akdeniz İklimi	4,7 m/s	4	Dikey Eksenli	%2-3
<i>Pearl River Kulesi</i>	Ofis	71	Ilıman İklim	4,3 m/s	4	Dikey Eksenli	%1
<i>Şanghay Kulesi</i>	Ofis - Otel	128	Subtropikal	6 m/s	270	Dikey Eksenli	%10

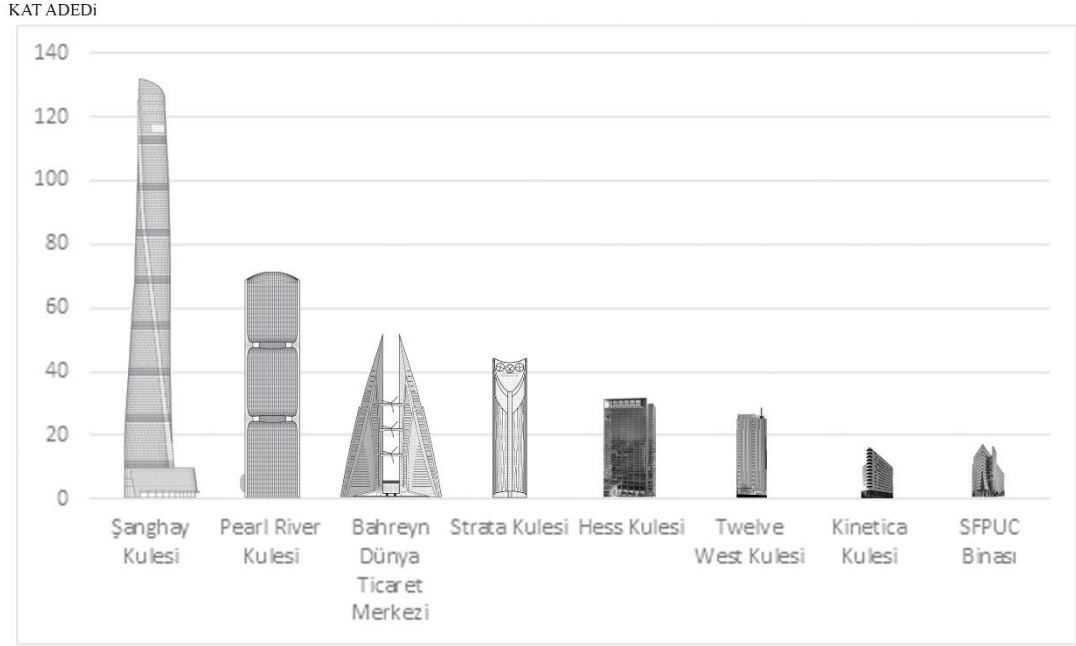
Tablo 4.1 Yapıların Karşılaştırılması

4.1 Yapıların Fonksiyon Açısından Karşılaştırılması

Bu çalışmada tercih edilen yapılar fonksiyonları açısından karşılaştırıldıklarında; 4 örnek ofis, 3 örnek karma fonksiyon, 1 örnek de konut fonksiyonuna sahiptir. Karma fonksiyona sahip üç yapıdan ikisi ofis-konut fonksiyonlarını bir arada bulundurmakta iken; diğer örnek ise ofis ve otel fonksiyonlarını bünyesinde barındırmaktadır. Yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinin ağırlıklı olarak ofis ve konut özelliğine sahip olan yapılarda bulunmaktadır. Yüksek yapıların genel fonksiyonları dikkate alındığında da ofis ve konut fonksiyonları dünya genelinde ağırlıklı olarak karşımıza çıkmaktadır. Ofis ve konut yapılarının kullanıcıları açısından da yapıların sahip oldukları sürdürülebilir özellikler otel kullanıcılarına kıyasla tercihlerinde daha etkili olmaktadır. Yüksek yapılar yapı sektöründe kullanılan teknolojiler gelişmelerin öncüsü konumunda olmasından kaynaklı olarak bu örneklerin ofis ve konut fonksiyonuna sahip yapılarda ağırlık kazanması muhtemel olmaktadır. Rüzgar türbinleri ile sağlanabilecek yerinde sürdürülebilir enerji üretimi önemli bir etki olarak karşımıza çıkmaktadır. Rüzgar türbinlerinden elde edilen verimin yükseklikle doğru orantılığı oldu bilinen bir gerçektir.

4.2 Yapıların Yükseklik Açısından Karşılaştırılması

Yapılar yükseklik odaklı karşılaştırıldıklarında San Francisco Kamu Hizmetleri Genel Merkez Binası 50 metreyi geçen yüksekliğine rağmen 13 kat ile en az kat adedine sahip yapı konumundadır. Şanghay Kulesi ise 128 kat adedi ile dünyanın en yüksek ikinci yapısı konumunda olup çalışmadaki en uzun yapı olmaktadır (Şekil 4.1). Sıralama 71 kat adedi ile Pearl River Kulesi ile devam edip, 50 kat adedi ile Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, 43 kat adedi ile Strata Kulesi, 29 kat adedi ile Hess Kulesi, 23 kat adedi ile Twelve West Kulesi, 14 kat adedi ile Kinetica Binası ve son olarak 13 kat adedi ile SFPUC Binası olacak şekilde gerçekleşmektedir.



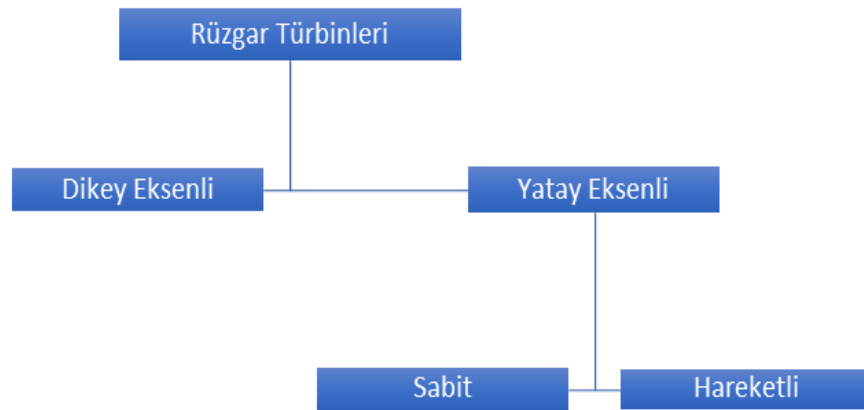
Şekil 4.1: Yapıların kat adetlerine göre sınıflandırılması

Rüzgar türbinlerinden elde edilen enerjide yükseklik önemli bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan yükseklik ile beraber, rüzgar türbinlerinden elde edilen verim artmaktadır. Fakat yapı bütünleşik rüzgar türbini tasarımı çok farklı değişken mevcuttur. Kentsel ortamda rüzgar akışı, diğer yapıların konumu, hakim rüzgar yönü, yapının aerodinamik formu gibi parametreler tasarımı en az yükseklik kadar önemli olmaktadır. Bu doğrultuda sadece yükseklik tabanlı bir tasarım stratejisi çok verimli sonuçlar ortaya çıkarmamaktadır. Yapı çatısına eklenen bir rüzgar türbini ile en verimli sonuçların alınması da beklenmemektedir. Örneğin; Kinetica Kulesi yapı yüksekliği olarak bu çalışmadaki en az kat adedine sahip yapılardan biri olmasına rağmen, tasarım stratejisi ile yapı boyutuna göre rüzgar türbinlerinden en fazla yararlanması hedeflenen yapı konumunda bulunmaktadır. Diğer bir taraftan Hess Kulesi etkin rüzgar doğrultusunda bulunup, çatı tasarımı ile rüzgar hızının artırılması hedeflenmiş olmasına rağmen parça kopmasından kaynaklı yaşanan kazadan ötürü kullanımına ara verilmiştir. Yükseklik ile beraber artan kuvvetlere karşı dayanımın artırılması, ek taşıyıcı eleman kullanımı, ek güvenlik tedbirlerinin alınması gerekmektedir. Yüksek yapıların yükseklik avantajından tasarımı pozitif katkı beklenirken diğer parametrelerinde dikkate alınması da çok önemli olmaktadır. Rüzgar tüneli testleri ve çeşitli analizler ile tasarımlar desteklenmelidir.

4.3 Eksen Odaklı Rüzgar Türbini Karşılaştırması

Bu çalışmada tercih edilen yapı bütünleşik rüzgar türbinleri eksen odaklı olarak dikey eksenli ve yatay eksenli olarak iki sınıfa ayrılmaktadır (Şekil 4.1). Örneklerden 5 tanesi dikey eksenli rüzgar türbini olmakta iken; 3 örnek de yatay eksenli rüzgar türbini tercih edildiği görülmüştür. Yatay eksenli rüzgar türbinleri de kendi aralarında iki sınıfa ayrılmaktadır. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi ve Strata Kulesinde kullanılan yatay eksenli rüzgar türbinleri hakim rüzgar yönünde sabit olarak konumlandırılmışlardır. Bu iki örnekteki yapılan tasarım ile rüzgar hızlandırılarak sabit doğrultudaki verim arttırılmaktadır. Ancak bu örneklerdeki yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinin sabit konumlandırılması rüzgardan sadece belirli doğrultuda faydalanmaya neden olmaktadır. Farklı doğrultudaki rüzgarlardan elde edilebilecek verimi ortadan kaldırmaktadır. Bu da rüzgar türbini boyutlarının büyümesine neden olmaktadır.

Twelve West Kulesinde tercih edilen küçük ölçekli yatay eksenli rüzgar türbinlerinin hareket kabiliyetleri bulunmaktadır. Hareket kabiliyeti yatay eksenli rüzgar türbininin kulesi ile birlikte yapıya yerleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu rüzgar türbininin farklı rüzgar doğrultularında da etkin çalışmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 4.2: Çalışmadaki yapı türbinlerinin eksen odaklı sınıflandırılması

Dikey eksenli rüzgar türbinleri ile yatay eksenli rüzgar türbinleri kıyaslandığında ise yatay eksenli rüzgar türbinlerinden verim alınması için rüzgar hızlarının belirli değerlerin üstünde olması beklenmektedir. Bu da her ne kadar tasarımlar ile rüzgar hızlarının arttırılması sağlansa da kentsel ortamda oluşan rüzgar akışlarından kaynaklı olarak yatay eksenli rüzgar türbinleri açısından bir dezavantaj oluşturmaktadır. Buna ek olarak yatay eksenli rüzgar türbinleri ile rüzgardan elde edilen verim daha fazla olsa da dikey eksenli rüzgar türbinleri ile her doğrultudan gelen rüzgardan verim elde edilmesi imkanı olduğu için dikey eksenli rüzgar türbinleri kentsel ortamda daha avantajlı konuma sahiptir. Ayrıca yatay eksenli rüzgar türbinlerinin kurulumu için gerekli olan hacim dikey eksenli rüzgar türbinlerine oranla oldukça fazla olmaktadır. Projelerde var olan ekonomik kaygılarda bu hacimsel kayıplardan dolayı yatay eksenli rüzgar türbinlerini dezavantajlı konuma getirmektedir. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin titreşim ve ses kaynaklı çevresel sorunları kullanıcılar için olumsuz bir durum oluşturmaktadır. Kuşlar için de yatay eksenli rüzgar türbinleri sorun teşkil etmektedir. Tüm bu durumlar kentsel ortam için dikey eksenli rüzgar türbinlerini ön plana çıkartmaktadır

4.4 Konum Odaklı Rüzgar Türbinlerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmada seçilmiş olan yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinin konumları açısından değerlendirildiğinde iki yapı arasına, yapı gövdesine yaratılan boşluklara, yapı cephesine ve yapı çatısına konumlandırılmış olmak üzere dört farklı konum tercih edilmiştir (Şekil 4.2). Yapıda tercih edilen konumlarına göre rüzgar türbini boyutlarında da değişiklik ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4.2 Yapıların rüzgar türbini özelliklerine göre sınıflandırılması

Yapı Adı	Rüzgar Türbini	Rüzgar Türbini	Rüzgar Türbini
	Türü	Konumu	Boyutu
<i>Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi</i>	Yatay Eksenli	İki Yapı Arasında	Orta Ölçekli
<i>Twelve West Kulesi</i>	Yatay Eksenli	Çatı	Küçük Ölçekli
<i>Kinetica Kulesi</i>	Dikey Eksenli	Yapı Cephesi	Küçük Ölçekli
<i>Hess Kulesi</i>	Dikey Eksenli	Çatı	Küçük Ölçekli
<i>Strata Kulesi</i>	Yatay Eksenli	Çatı	Küçük Ölçekli
<i>SFPUC Binası</i>	Dikey Eksenli	Yapı Cephesi	Küçük Ölçekli
<i>Pearl River Kulesi</i>	Dikey Eksenli	Yapı Gövdesi	Küçük Ölçekli
<i>Şanghay Kulesi</i>	Dikey Eksenli	Yapı Cephesi	Mikro Ölçekli

Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi'nde iki kule arasındaki çelik köprülere yerleştirilen orta ölçekli yapı bütünleşik rüzgar türbinlerinin boyutları yapı bütünleşik tasarımlar dikkate alındığında oldukça büyük olmaktadır. Yapı cephesinde kullanılan küçük ölçekli dikey eksenli rüzgar türbinleri örneklerinde rüzgar kulesi yer almaktadır. Rüzgar kulesi ile yapı arasında oluşturulan form ile rüzgar hızından elde edilen verim arttırılmaktadır. Bu örnekler diğer örneklerle oranla kat yüksekliği açısından daha küçük ölçekli yapılar olmaktadır. Yapı cephesinde mikro ölçekteki dikey eksenli rüzgar türbini kullanımı Şanghay Kulesinde yer almaktadır. Cephede kullanılan 270 adet mikro ölçekli rüzgar türbini ile yüksek verim alınması beklenmektedir. Cephe tasarımı şeklindeki bu çözüm, artan yükseklikle verimi arttırırken yapıya etkiyen rüzgar yüklerinin azaltılmasına da katkı sağlamaktadır.

Pearl River Kulesi'nde ise yapı gövdesinde tasarlanan boşluklara küçük ölçekli dikey eksenli rüzgar türbinleri yerleştirilmiştir. Bu etkin tasarım stratejisi ile yapıya etkiyen rüzgar yükünün azaltılıp daha yapı elamanlarında tasarrufa gidilmesi ve rüzgar türbinlerine yönlendirilen rüzgar hızının arttırılması gerçekleştirilmiştir. Yapı

bütünleşik rüzgar türbini tasarımının yerinden elektrik üretimi dışında sağladığı önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir.

Yapı çatısından bulunan örneklerde dikey ve yatay eksenli örnekler mevcuttur. Strata ve Hess Kulesi'nde çatı tasarımı rüzgar akışını rüzgar türbinlerine doğru yönlendirip, rüzgar hızını arttıracak formda iken; Twelve West Kulesinde kulesi bulunan küçük ölçekli yatay eksenli rüzgar türbinleri teras çatıya konumlandırılmış bulunmaktadır. Bu örnekte yapı tasarımı ile rüzgar akışının yönlendirilip, rüzgar hızının artırılması hedeflenmemiştir. Yapının yüksekliği rüzgar türbinleri için mesnet görevi görmekte ve verimlilikte bu önemli unsuru oluşturmaktadır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde nüfus artışı bunun sonucunda da kentleşme ve enerji ihtiyacında artış meydana gelmektedir. Dünya genelinde kullanılmakta olan enerji kaynakları dikkate alındığında, fosil kaynakların yüksek oranda kullanımı görülmektedir. Artan nüfus ve teknolojik gelişmeler enerjiye olan ihtiyacı sürdürülebilir temiz kaynaklardan karşılanması ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir çevre bırakabilmek için var olan tüm imkânlar en etkin ve verimli şekilde kullanılmalıdır. Tüm sektörlerde yenilenebilir enerjinin kullanım alanları arttırılmalıdır. Yapı endüstrisinde de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım seviyesi arttırılmalıdır.

Yapı endüstrisinde önemli bir yere sahip olan yüksek yapıların yenilenebilir enerji kullanımı her geçen gün artsa da beklenen seviyelerin hala çok uzağında bulunmaktadır. Yüksek yapılar kullanıcı sayıları ve boyutları dikkate alındığında diğer yapılara oranla daha büyük enerji ihtiyacına sahip olmaları çalışmada detaylı şekilde anlatılmıştır. Bu doğrultuda enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan sağlanması gelecek açısından çok büyük önem taşımaktadır. Yüksek yapıların yüksekliklerinden kaynaklanan rüzgar enerjisinden yenilenebilir enerji üretim potansiyelleri tasarım kriteri olarak dikkate alınıp arttırılmalıdır. Rüzgar enerjisi kullanımı diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre yüksek yapılar için daha büyük öneme sahiptir. Yükseklik önemli bir avantaj sağlamaktadır. Fakat kentsel ortamda tek başına yeterli olmamaktadır. Yükseklik arttıkça rüzgar enerjisinden daha fazla elektrik enerjisi üretim potansiyeli mevcuttur.

Rüzgar tarlalarından enerjinin üretilip taşınması sırasında büyük enerji kayıpları oluşmaktadır. Yapı bütünleşik yüksek yapılar ile bu kayıpların önüne geçilmesi mümkündür. Kent merkezlerinde rüzgarın hızını azaltabilecek yapılar ve ağaçlar gibi engeller belirlenen tasarım stratejileri ile yüksek yapılar için sorun olmaktan çıkmaktadır. Yükseklikleri ve yerinde üretim potansiyelleri ile rüzgar enerjisi açısından büyük avantaja sahiptirler. Mevcut rüzgar enerjisi potansiyelinin kullanımı gerek ekonomik gerekse çevresel boyutta büyük katkılar sağlamaktadır.

Yapı bütünsel rüzgar türbinlerinin kullanım alanlarının artırılması ile beraber yapıya etki eden rüzgar etkileri azaltılmaktadır. Bu tasarımlar ile enerji üretimi yanında taşıyıcı elemandan da tasarruf sağlanmasına olanak tanımaktadır. Temiz enerjinin yanı sıra bu yeni teknolojilerin kullanımı tasarımcılara da yeni olanaklar sağlayacaktır. Arge çalışmalarının ve yatırımların bu alanda artarak devam etmesi gelecek adına büyük yararlar ortaya çıkaracaktır. Bu sistemlere olan ilgiyle beraber maliyetlerin de her geçen gün azalması hedeflenerek yaygınlaşması sağlanmalıdır. Yapı bütünsel rüzgar türbinleri tüm bu faydalarının yanında yenilenebilir enerji ve enerji tasarrufu konusunda toplumsal bilincin oluşmasında da katkı sağlayacaktır. Bu tür yapıların artması enerji kavramının önemine dikkat çekecektir.



KAYNAKLAR

- Ali, M. M., & Moon, K. S.** (2007). Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects. *Architectural Science Review*, 50(3), 205–223. <https://doi.org/10.3763/asre.2007.5027>
- Barr, J. M.**, (2019). "Mining the Wind? The Economics of Wind Turbines on Skyscrapers". <https://buildingtheskyline.org/tag/pearl-river-tower/>, Erişim Tarihi: 07.05.2021
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik**, (2007). Resmi Gazete (Sayı : 12937).
- Bobrova, D.** (2015). Building-integrated wind turbines in the aspect of architectural shaping. *Procedia Engineering*, 117(1), 404–410. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.185>
- Boduroğlu, Ş., Seçer-Karıptaş, F.**, (2012). Rüzgar Enerjili Etkin Sistemlerin Yapılarda Kullanış Biçimleri. *GreenAge Symposium*, 1–10.
- Bogle, I.** (2011). Integrating Wind Turbines in Tall Building. *CTBUH Journal*, 4, 30-35
- Bosnjakovic, M.** (2013). Wind Power Buildings Integration. *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, 3(4). <https://doi.org/10.17265/2159->
- Cao, X., Dai, X., & Liu, J.** (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, 128, 198–213. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>
- Casini, M.** (2015). Small Vertical Axis Wind Turbines for Energy Efficiency of Buildings. *Journal of Clean Energy Technologies*, 4(1), 56–65. <https://doi.org/10.7763/jocet.2016.v4.254>
- Cermak, J. E.** (2003). *Wind-tunnel development and trends in applications to civil engineering Jack*. 91, 355–370. [papers3://publication/uuid/70EB9DA6-EF12-477E-AA14-899080CE6381](https://publication.uuid/70EB9DA6-EF12-477E-AA14-899080CE6381)
- CTBUH.** (2019). CTBUH Height Criteria for Measuring & Defining Tall Buildings. *CTBUH Journal*. http://ctbuh.org/uploads/CTBUH_HeightCriteria.pdf
- Çelebi, G., Paltun, S., & Gültekin, A. B.** (2015). Binaların Aerodinamik Biçimsel

Formlarının İrdelenmesi: Bina Formu ve Rüzgar İlişkisi. International Sustainable Building Symposium, 432–439. Ankara.

Çerçi, S (2011). Yapı Plastiğine Yön Veren Rüzgar Türbinleri, Güney Mimarlık, s.29

DebeeXia, J., Poon, D., Tomasetti, T., & Mass, D. (2010). 15. Title: Case Study: Shanghai Tower. *CTBUH Journal*, II.

Denoon, R., Cochran, B., Banks, D., & Wood, G. (2008). Harvesting wind power from tall buildings. *CTBUH 2008, 8th World Congress - Tall and Green: Typology for a Sustainable Urban Future, Congress Proceedings, January 2016*, 320–327.

Demir, N. (2011). Yüksek Yapılar ve Sürdürülebilir Enerji, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Dikmen, Ç. B. (2011). Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi Sample Study of Energy Efficient Building Design Criteria. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 121–134. <https://doi.org/10.2339/2011.14.2>

Drew, C., Nova, K. F., & Fanning, K. (2015). The Environmental Impact of Tall vs Small: A Comparative Study. *International Journal of High-Rise Buildings*, 4(2), 109–116. <https://doi.org/10.21022/IJHRB.2015.4.2.109>

Elilibüyük, U., & Üçgöl, İ. (2014). Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri. *SDÜ Yekarum e-Dergi*, 2(3).

Elotefy, H., Abdelmagid, K. S. S., Morghany, E., & Ahmed, T. M. F. (2015). Energy-efficient Tall Buildings Design Strategies: A Holistic Approach. *Energy Procedia*, 74(0), 1358–1369. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.782R>

Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, Rüzgar Enerjisi, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar>. Erişim Tarihi:05.05.2021.

Etheridge, D., & Ford, B. (2008). Title : Authors : *Natural Ventilation of Tall Buildings – Options and Limitations Façade Design Conference proceeding Unpublished conference paper Magazine article Unpublished Subject : Keywords : Publication Date : Original Publication : Paper Type : © C.*

Günel, M. H., & Ilgın, H. E. (2008). Bir Mimari Tasarım Kriteri Olarak Rüzgar Enerjisi Kullanımı. *Ege Mimarlık*, 65, 6–11. <http://www.izmimod.org.tr/egemim/65/06-11.pdf>

Hayli, S. (2001). Rüzgar enerjisinin önemi, dünyada ve Türkiye’de durumu. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11.1, 1–26.

İzmir Büyükşehir Belediyesi, Yüksek Yapı Yönetmeliği, 2-Tanımlar, Değ.
09.12.2003.

Karadağ, İ. (2019). An algorithm for estimation of wind-building interaction in the early design stage. *MEGARON / Yıldız Technical University, Faculty of Architecture E-Journal*, 14(2), 205–212.

Kaya, K., & Koç, E. (2015). Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Kanat Profil Tasarımı ve Üretim Esasları. *Mühendis ve Makina*, 56(670), 38–48.

Kazimov, T. & Arslan Selçuk, S. (2020). "Yüksek Yapılar ve Performatif Mimarlık: Burj Khalifa ve Shanghai Tower Örneklerinin Aerodinamik Tasarımı Üzerine Bir Değerlendirme," In *Mimarlık, Planlama ve Tasarım Alanında Akademik Çalışmalar*, Ankara, (s. 225-265) , Ankara: Gece Kitaplığı, 2020, pp.225-265.

Kim, H. G., Jeon, W. H., & Kim, D. H. (2016). Wind resource assessment for high-rise BIWT using RS-NWP-CFD. *MDPI*, 8(12).
<https://doi.org/10.3390/rs8121019>

Köse, F., & Özgören, M. (2005). Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ölçümü ve Rüzgar Türbini Seçimi. *Mühendis ve Makina*, 46(551), 20–30.

Kurç, O., Kayışoğlu, B., Shojae, S. M. N., & Uzol, O. (2012). Investigation of wind effects on tall buildings through wind tunnel testing. *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, 23(4), 6163–6186.

Leung, L., & Ray, S. D. (2013). New York City Energy Benchmarking Data Paper Type : Low-energy Tall Buildings ? Room for Improvement as Demonstrated by New York City Energy Benchmarking Data. *International Journal of High-Rise Buildings*, Volume 2, 285–291.
<http://global.ctbuh.org/resources/papers/download/2276-low-energy-tall-buildings-room-for-improvement-as-demonstrated-by-new-york-city-energy-benchmarking-data.pdf>

Malek, P., Schulte-Herbrüggen, H. M. A., & Ortiz, J. M. (2016). Clean Water from Clean Energy: Decentralised Drinking Water Production Using Wind Energy Powered Electrodialysis. *Sustainable Energy - Technological Issues, Applications and Case Studies*, December 2016. <https://doi.org/10.5772/65015>

- Micallef, D., & Van Bussel, G.** (2018). A review of urban wind energy research: Aerodynamics and other challenges. *Energies*, 11(9), 1–28. <https://doi.org/10.3390/en11092204>
- Moon, K.-S.** (2005). *Dynamic interrelationship between technology and architecture in tall buildings*. February 1992, 230. <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/33058>
- Nurbay, N., & Çinar, A.** (2005). *Rüzgar Türbinlerinin Çeşitli ve Birbirleriyle Karşılaştırılması*. 1976–1980.
- Ok, V.** (2007). Sağlıklı Kentleşim Pasif İklimlendirme ve Bina Aerodinamiği. *Viii. Ulusal Tesis Mühendisliği Kongresi*, 213–227.
- Oldfield, P., Trabucco, D., & Wood, A.** (2008). Title : Five Energy Generations of Tall Buildings : A Historical Analysis of Energy Consumption in High Rise Buildings Antony Wood , Executive Director , Council on Tall Buildings and Urban Habitat Architectural / Design Conference proceeding Unpublished. *CTBUH 8th World Congress*.
- Öztürk, U.** (2018). *Küçük Ölçekli Rüzgar Türbinlerinin Yerleşim Alanlarında Kullanım Analizi*. İstanbul Teknik Üniversitesi. Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul
- Paltun, S.** (2015). Binaların aerodinamik biçimsel yapısının irdelenmesi: Bina Formu ve Rüzgar İlişkisi. *2nd International Sustainable Buildings Symposium*, 432–439. doi:https://www.researchgate.net/publication/315810340_Binalarin_Aerodinamik_Bicimsel_Yapisinin_Irdelenmesi_Bina_Formu_ve_Ruzgar_Iliskisi_Investigation_of_Formal_Structure_of_Building_Aerodynamics_Relationship_of_Building_Form_and_Wind
- Park, J., Jung, H. J., Lee, S. W., & Park, J.** (2015). A new building-integrated wind turbine system utilizing the building. *Energies*, 8(10), 11846–11870. <https://doi.org/10.3390/en81011846>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C.** (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği** (2017). *Resmi Gazete* (Sayı: 30113). Erişim Adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=23722&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

- Rafiei, M. H., & Adeli, H.** (2016). Sustainability in highrise building design and construction. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 25(March), 643–658. <https://doi.org/10.1002/tal.1276>
- Rezaeiha, A., Montazeri, H., & Blocken, B.** (2020). A framework for preliminary large-scale urban wind energy potential assessment: Roof-mounted wind turbines. *Energy Conversion and Management*, 214(March), 112770. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112770>
- Sari, D. P., & Kusumaningrum, W. B.** (2014). A technical review of building integrated wind turbine system and a sample simulation model in central java, Indonesia. *Energy Procedia*, 47, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.193>
- Semizoğlu R.** (2009). *Rüzgar Türbinlerinin Gökdelen Mimarisine Etkisinin Tipolojik İncelenmesi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Sev, A.** (2001). *Türkiye'deki ve Dünya'daki Yüksek Binaların Mimari Tasarım ve Taşıyıcı Sistem Açısından Analizi*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.
- Sev, A.** (2009) *Sürdürülebilir Mimarlık*. İstanbul: YEM
- Sev, A., & Başarır, B.** (2011). Geçmişten Geleceğe Yüksek Yapılarda Enerji Kullanımı.pdf. X. *Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi*, 1499–1513.
- Smith, R. F., & Killa, S.** (2007). Bahrain World Trade Center (BWTC): The first large-scale integration of wind turbines in a building. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 16(4), 429–439. <https://doi.org/10.1002/tal.416>
- Steadman. Peter, & Hamilton, I.** (2017). *UCL-Energy "High-Rise Buildings: Energy and Density" research project results*. 1–7. <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/energy/news/2017/jun/ucl-energy-high-rise-buildings-energy-and-density-research-project-results>
- Taranath B.S.,** (2010). *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*, CRC Press (Taylor & Francis Group).
- Thistleton, W.** (2015). "Kinetica Tower" <https://waughthistleton.com/kinetica/> Erişim Tarihi: 05.05.2021.
- Tuncer, H. M.** (2015). *Yüksek Yapılarda Yapı Rüzgar Etkileşimi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Üdürgücü, A.** (2010). *Yüksek Yapılar için Karar Verme Rehberinin Oluşturulması*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul*
- Yeang, K., Yeang, L. D., Energy, S. G., Yeang, K., Dip, A. A., & Lit, D.** (2008). *Ecoskyscrapers and Ecomimesis : New tall building typologies Architectural / Design Conference proceeding Unpublished conference paper Magazine article Publication Date : Original Publication : Paper Type : © Council on Tall Bu.*
- Yeter, P.** (2011). *Rüzgar Karakteristiği ve Enerjisine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul*.
- Zhigulina, A. Y., & Ponomarenko, A. M.** (2018). Energy efficiency of high-rise buildings. *E3S Web of Conferences*, 33, 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302003>
- ZGF,** (2010). Twelve West Building. <https://www.zgf.com/project/gerding-edlen-development-company-twelve-west-mixed-use-building/>, Erişim Tarihi:07.05.2021
- Zinzade, D.** (2010). *Yüksek Yapı Tasarımında Sürdürülebilirlik Boyutunun İrdelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul*.
- Zou, L., Li, F., Song, J., Shi, T., Liang, S., & Mercan, O.** (2020). Investigation of torsional aeroelastic effects on high-rise buildings using forced vibration wind tunnel tests. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*,
- WWEA,** Dünya Genelindeki Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü, <https://wwindea.org> Erişim Tarihi:05.05.2021.
- Url-1 <<https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-41854558>> Erişim tarihi: 05.05.2021.
- Url-2 <https://en.wikipedia.org/wiki/Home_Insurance_Building> Erişim tarihi: 05.05.2021.
- Url-3 <https://www.arkitektuel.com/burj-khalifa/burj_khalifa> Erişim tarihi: 05.05.2021.
- Url-4 <<https://www.e-architect.com/manchester/cis-tower>> Erişim tarihi:06.05.2021

Url-5 < <https://www.archdaily.com/44596/manitoba-hydro-kpmb-architects>> Erişim tarihi:06.05.2021.

Url-6 < <https://www.arch2o.com/bahrain-world-trade-center-kill-a-design>> Erişim tarihi: 06.05.2021.

Url-7 < <https://www.archdaily.com/70142/strata-se1-bfls>> Erişim tarihi: 07.05.2021.

Url-8 < <https://www.kmdarchitects.com/sfpuc>> Erişim tarihi: 07.05.2021.

Url-9 < <https://www.arch2o.com/pearl-river-tower-som>> Erişim tarihi:07.05.2021.

Url-10 < <https://www.archdaily.com/783216/shanghai-tower-gensler>> Erişim tarihi:07.05.2021.



