

## YÜKSEK YAPILARDA RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN KULLANIMININ İNCELENMESİ

Hasan BEGEÇ\*

### Öz

Dünya üzerinde artan enerji talebi ve bunun karşılanması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması beraberinde birçok çevresel sorunun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Günümüzde ise rüzgâr enerjisinin kullanılması, alternatif enerjinin en etkin alanlarından biri haline gelmektedir. Özellikle karbondioksit emisyon oranı çok düşük ve en ekonomik yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisinin yapılarda kullanımına yönelik uygulamalar da giderek önem kazanmıştır. Yüksek yapılarda da popüler bir tasarım ögesi olarak rüzgâr türbinlerinin kullanıldığı görülmektedir. Çalışmada; tamamlanmış ve/veya tasarım aşamasında öneri olarak kalmış, tasarımında rüzgâr türbini kullanılmış yüksek yapı örneklerinin incelenmesi ve rüzgâr enerjisi kullanımının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada ayrıca rüzgâr türbini uygulamalarının potansiyelleri ve dezavantajlı noktalarının ortaya konulması da amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında rüzgâr türbini ile yapılmış ve/veya öneri proje olarak tasarım aşamasında kalmış Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, Pearl River Kulesi, Strata SE1 Kulesi, The Lighthouse Kulesi, Anara Kulesi, COR Kulesi, Clean Technology Kulesi Burj al-Taqa Kulesi incelenmiştir. Yüksek yapı örnekleri; rüzgâr türbinlerinin bina üzerindeki konumu, sağladığı enerji oranı, bina formu ile ilişkisi ve mimari özellikleri gibi belirlenen kriterler ile değerlendirilmiştir. Yüksek yapılarda rüzgâr türbini kullanılmasının bina formunun belirlenmesi üzerinde önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, yüksek yapılarda rüzgâr türbinlerinin kullanılmasının istenilen enerji verimliliğini günümüz koşullarında sağlayamadığı ve ilk yatırım maliyetlerinin de yüksek olmasından dolayı çok tercih edilmedikleri görülmektedir. Ancak gezegenimizin geleceği açısından özellikle yüksek yapılarda bu uygulamaların hala büyük bir potansiyel oluşturdukları düşünülmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Rüzgâr türbini; Yüksek yapılar; Yüksek yapılarda bina formu ve rüzgâr türbini ilişkisi.

\* Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, hasan.begec@deu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0137-2848

## EXAMINATION OF THE USE OF WIND TURBINES IN TALL BUILDINGS

Hasan BEGEÇ \*

### Abstract

*The increasing energy demand in the world and the use of non-renewable energy resources to meet this have led to the emergence of many environmental problems. Today, the use of wind energy is becoming one of the most effective areas of alternative energy. In particular, applications for the use of wind energy, which is one of the most economical renewable energy sources with a very low carbon dioxide emission rate, have also gained importance. It is seen that wind turbines are used as a popular design element in tall buildings as well. In the study, it is aimed to examine the examples of tall buildings that have been completed and/or remained as a proposal during the design phase, in which wind turbines were used in their design, and to evaluate the use of wind energy. In the study, it is also aimed to reveal the potentials and disadvantageous points of wind turbine applications. Within the scope of the study, Bahrain World Trade Center, Pearl River Tower, Strata SE1 Tower, The Lighthouse Tower, Anara Tower, COR Tower, Clean Technology Tower, Burj al-Taqa Tower, which were built with a wind turbine and/or remained in the design stage as a proposal project, were examined. Examples of tall buildings; The position of the wind turbines on the building, the energy rate it provides, its relationship with the building form and architectural features were evaluated with certain criteria. It has been determined that the use of wind turbines in high-rise buildings plays an important role in determining the building form. As a result of the study, it is seen that the use of wind turbines in high-rise buildings cannot provide the desired energy efficiency in today's conditions and they are not preferred because of the high initial investment costs. However, it is thought that these applications still have great potential, especially in high-rise buildings, for the future of our planet.*

**Keywords:** *Wind turbines; Tall buildings; Relationship between building form and wind turbine in tall buildings.*

---

\* Dokuz Eylül Üniversitesi, Faculty of Architecture, Department of Architecture, hasan.begec@deu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0137-2848

Copyright© **Eksen** Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi (**Eksen** Journal of Dokuz Eylül University Faculty of Architecture)

<https://dergipark.org.tr/en/pub/eksen>

Received: 03.03.2022 Accepted: 06.06.2022

## GİRİŞ

İnsanoğlu rüzgârdan binlerce yıldır çeşitli yollarla yararlanmasını bilmiştir. Geçen yüzyıla kadar ise sadece basit mekanik aletlerin kullanılmasında destek güç olarak kullanılan rüzgâr, rüzgâr türbinlerinin icadı ile alternatif bir enerji kaynağı olarak yerini almıştır. Her ne kadar yüksek yapıların imajı çok fazla enerji harcayan, enerji tüketen, enerji canavarı binalar olarak görülse de son 35-40 yıllık dönemde bu tür yapılarında kendi enerjilerini sağlayarak ve/veya enerji korunumu sağlayarak enerji bağımlılığını en aza indirmeye başladıklarını söyleyebiliriz.

Yüksek yapıların geçmişi çok eskiye dayanmamakla birlikte gelişimine bakıldığında bu tür yapıların Sanayi Devrimi'nin 19. yy sonu 20. yy başında meydana getirdiği ekonomik-sosyal-teknolojik gelişmelere bağlı olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Yüksek yapılar, ilk olarak Amerika kıtasında görülmüştür. Bu açıdan anavatanı Amerika kıtasıdır diyebiliriz (Begeç, 2013). Uzun bir süre çoğunlukla Amerika kıtasında örneklerine rastladığımız bu yapı türü, son yirmi yıllık dönemde çoğunlukla Asya ve Uzak Doğu ülkeleri olmak üzere tüm dünyada yapılmaktadır.

Yüksek yapılar ile ilgili büyük bir veritabanı oluşturan Yüksek Bina ve Şehir Habitatı Konseyi'ne (CTBUH) göre, on kat ve üzeri binalar yüksek bina olarak tanımlanmaktadır. Bu yükseklik New York'ta gökdelenler oluşmaya başladığı ilk dönemdeki itfaiyenin ulaşabileceği maksimum yüksekliktir. Yine aynı konsey tarafından 1885 yılında Chicago'da William Le Baron Jenney tarafından yapılan Home Insurance binası dünyanın ilk yüksek binası olarak tescil edilmiştir. Bu yapı 1931 yılında yerine daha yüksek yapılmamasıyla yıkılmıştır. Yüksek yapılar ile ilgili olarak ilk yapılmaya başlandıkları dönemden itibaren farklı coğrafyalarda ve farklı yüksekliğe bağlı olarak yapılmış birçok tanım bulunmaktadır. Ancak Yüksek Bina ve Şehir Habitatı Konseyi'nin (CTBUH) yapmış olduğu tanım çoğunlukla kullanılmaktadır. Bu konseye göre 150 m'den yüksek binalar yüksek (*tall*), 300 m'den yüksek binalar çok yüksek (*supertall*), ve 600 m'den yüksek binalar çok çok yüksek (*megatall*) olarak adlandırılmaktadır (CTBUH, 2021). Günümüze gelindiğinde yüksekliği 1000 metreye ulaşacak yüksek yapıların inşasına başlanmış olması, gelecekte yüksek yapılarla ilgili yeni tanımlamaların gerekli olacağını göstermektedir.

Sanayi Devrimi nasıl ki 19. yy sonu 20. yy başındaki yaşanan gelişmelere bağlı olarak yüksek yapıların ortaya çıkmasına neden olmuşsa aynı zamanda enerji talebini de arttırmaktadır. Artan enerji talebinin karşılanmasında kaynak olarak doğanın kullanılması ve yenilenmesi mümkün olmayan fosil yakıtların sorumsuzca kullanılması; doğal afetler, çevre kirliliği, küresel ısınma, mevcut enerji kaynaklarının kısa sürede tükenmesi ve biyoçeşitliliğin azalması gibi birçok çevresel sorunu ortaya çıkarmıştır.

Yapılan araştırmalar, dünya üzerindeki mevcut yenilenemeyen enerji kaynaklarının kısa sürede tüeneceğini ortaya koymaktadır. Dünya üzerindeki fosil yakıt rezervlerinin % 70.4'ünü oluşturan kömürün 119-176 yıl, % 16.4'ünü oluşturan petrolün 46-50 yıl ve %13.6'sını oluşturan doğal gazın 63-119 yıl içinde tüeneceği varsayılmaktadır (Özer, 1996).

Yaşanan çevresel sorunların özellikle 20. yüzyılın son çeyreğindeki enerji krizi ile birlikte büyük boyutlara ulaşması sonrasında, bilinçlenme dönemi başlamış ve bunun sonucu olarak sürdürülebilirlik kavramı ve sürdürülebilirlik uygulamaları çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Kavramın, 'Bugünün ihtiyaçlarını gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama olanaklarına zarar vermeden karşılamak' şeklindeki günümüzde yaygın olarak kullanılan tanımı ise 1987'de Birleşmiş Milletler'in 'Ortak geleceğimiz' (*'Our common future'*) başlığıyla yayınladığı Brundtland Komisyonu raporunda yayımlanmıştır (Sev, 2009).

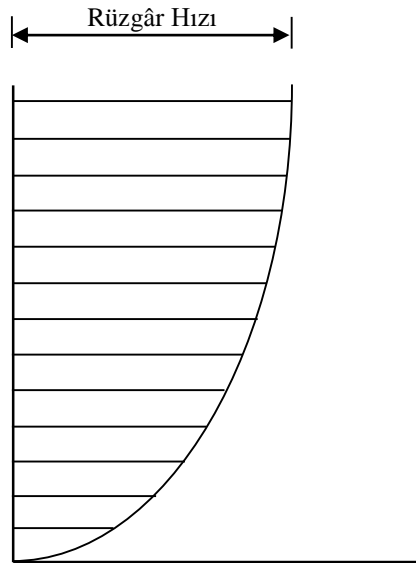
Sanayi ve araç kullanımının çevre kirliliği yaptığı bilinmektedir. Ancak binaların çevre kirliliği üzerindeki etkileri ne boyuttadır? Bu durum çok üzerinde durulmamaktadır. Binalar, sanayi ve araç kullanımından kaynaklanandan çok daha fazla çevre kirliliğine neden olmaktadır. Binalarda aydınlatma, ısıtma-soğutma-havalandırma, düşey sirkülasyon vd. birçok gereksinimin karşılanması için enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Binalar; üretimden, kullanımlarına kadar sürekli olarak enerji kullanmakta ve atık üretmektedirler. Bu da sürdürülebilirlik uygulamalarının mimarlık alanında da uygulanmasının ne kadar önemli ve gerekli olduğunu göstermektedir.

Yüksek yapıların, büyük ölçekleri, nerdeyse bir köy nüfusunu barındırıyor olmaları nedeniyle kente yaptığı etkiler ve çevre yükleri, diğer yapılara göre daha fazladır (Morhayim, 2003). Yüksek yapılar ayrıca ısıtma-soğutma-havalandırma, mekanik, sirkülasyon ve aydınlatma sistemlerine gerek duyulan bu açıdan hem ilk yatırım maliyeti hem de yapının kullanımı sırasındaki maliyeti diğer binalara göre daha yüksek olan bina türleridir (Lepik, 2004). Yapı üretim sektörü içinde günümüzde sayıları hızla artan yüksek yapıların, enerji ihtiyacı için önlem alınması ve sürdürülebilir mimarlık anlayışı ile tasarlanmaları gereklidir.

Bu çalışma; yüksek yapılarda popüler bir tasarım elemanı haline gelen rüzgâr türbini uygulamalarını mercek altına almayı ve rüzgâr türbini kullanan yüksek yapı örneklerini incelemeyi amaçlamaktadır. Rüzgâr türbinlerinin, yüksek yapılarda uygulanma biçimleri yaygın olarak ya gövdeleri üzerindeki oyuklarda ya da çatılarında olmaktadır. Rüzgâr hızının yerden yükseldikçe artması, yüksek yapılarda rüzgârdan elektrik üretimini desteklemek için doğal bir ortam gibi görünebilir. Ayrıca bir yüksek yapı için yüksekliğin artması ile strüktürel açıdan sorun haline gelmeye başlayan rüzgâr yükünün azaltılması açısından da rüzgâr türbinlerinin olumlu etkileri vardır. Ancak rüzgâr türbini ile yapılmış yüksek yapıların sayısı son derece azdır ve bunların birçoğu enerji elde edilmesinde hayal kırıklığı yaratacak sonuçlar vermiştir. Çalışma kapsamında ayrıca 'Yüksek yapılarda neden daha fazla rüzgâr türbini uygulaması görmüyoruz?' sorusu sorularak rüzgâr türbini uygulamalarının yüksek yapılar için avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

### ALTERNATİF ENERJİ KAYNAĞI OLARAK RÜZGÂR

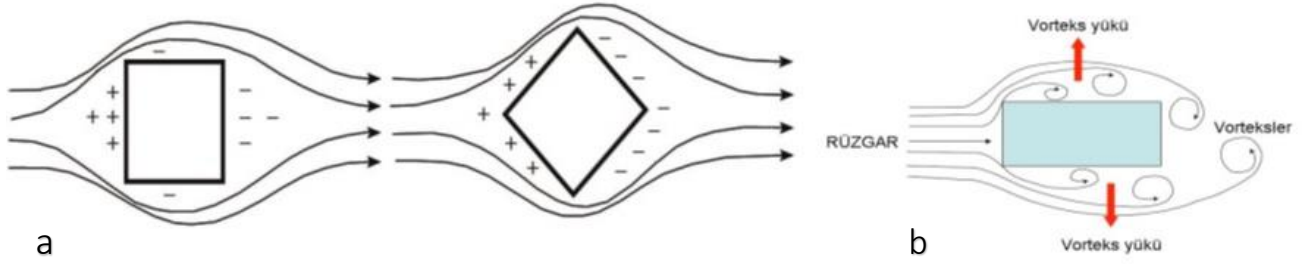
Rüzgârın özelliği, hızının yükseklikle değişkenlik göstermesidir. Rüzgâr hızı karada, düz bölgelere göre tepelerde daha yüksektir. Rüzgâr hızı yükseklikle beraber artış göstermektedir (Şekil 1). Bu sebepten tepe bölgelere yerleştirilen rüzgâr türbinleri uygun miktarda rüzgâr toplayabilir. Bununla birlikte, rüzgâr karşısına çıkan engeller arasından geçerken de hızında artma görülür. Bu artma yaklaşık % 40 oranına kadar ulaşabilir. Bu etkiye de tünel etkisi denir (Irwin ve diğerleri 2008).



Şekil 1. Rüzgâr hız eğrisi şeması (Kaynak: Çalışma kapsamında yazar tarafından oluşturulmuştur).

Rüzgârın yapı üzerindeki etkisi incelenecek olursa, yapının cephesine çarptığı zaman yapı yüzeyinde pozitif bir basınç alanı (+) oluşturur. Rüzgârın geldiği yöne göre yapının arkasında kalan cephesinde ise çekmeden kaynaklanan negatif bir basınç alanı (-) yaratır. Yapı çevresinde sapma gösteren hava da negatif basınç oluşturur (Şekil 2).

Rüzgârın oluşturduğu hava akımı binanın yan yüzleri etrafından geçerken Şekil 2'de şematik olarak gösterildiği türde vorteksler oluşur. Vorteksler değişken olarak (önce bir yan yüzde, sonra diğer yan yüzde) oluştuğu için vortekslerin yarattığı dinamik yükler de değişken yönlü olup rüzgâr akış yönüne dik doğrultuda oluşur (You ve Kim, 2009).



**Şekil 2.** Bina etrafındaki basınç alanları (a) Bina etrafında rüzgâra bağlı oluşan (+), (-) basınç alanları, (b) Rüzgâr etkisi ile bina etrafında oluşan vorteks alanlar (**Kaynak:** (a) Zinzade, 2010; (b) Zinzade, 2010).

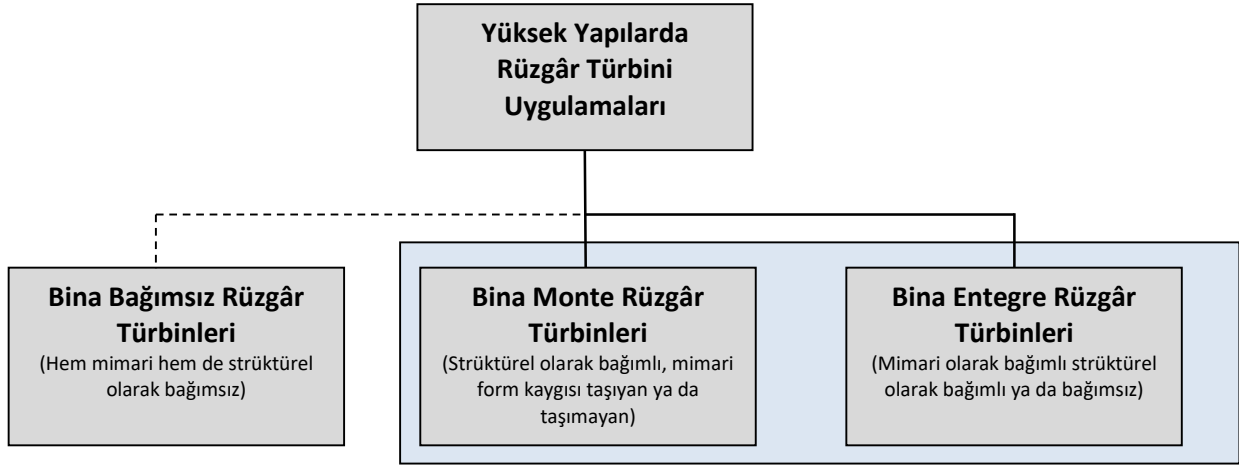
Alternatif enerji kaynağı olarak rüzgâr; çok büyük bir potansiyele sahiptir. Son yıllarda rüzgâr enerjisi ile sağlanan elektrik enerjisi miktarında artış görülmektedir. Rüzgâr türbini uygulamaları çok sayıda türbinden oluşan 'rüzgâr çiftlikleri', şeklinde Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya'da birçok ülkede uygulanmaktadır. Rüzgâr türbinleri, rüzgâr hızının fazla olabileceği açık ovalarda, tepe alanlarda, kıyı şeritlerinde yapılmaktadır. Rüzgâr türbinleri tarafından üretilen güç, rüzgâr hızının küpü ile orantılı olduğundan, rüzgâr hızlarının iki katına çıkarılması, enerji üretiminde sekiz kat artışa neden olmaktadır.

## YÜKSEK YAPILARDA RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN KULLANIMI

Son yıllarda, binalarda enerji ihtiyacını karşılayan uygulamalar olarak karbondioksit emisyon oranı çok düşük ve en ekonomik yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisinin kullanımı giderek önem kazanmıştır. Yapının yüksekliği arttıkça rüzgâr doğrudan kesintisiz olarak yapıya temas etmektedir. Rüzgâr hızının yükseklikle doğru orantılı olarak arttığı bilinmektedir (Ali ve Armstrong, 2006). Bu nedenle yüksek yapılar rüzgârdan elektrik üretimini desteklemek için doğal bir ortam gibi görünebilir. Gerçi yüksek yapılarda yapının artan yüksekliği ile yapının üst kısımlarına etki eden rüzgâr basıncının artması yapının taşıyıcı sistemi üzerinde sorun oluşturmaktadır. Yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerinin belirlenmesinde çoğunlukla düşey yükler yerine yatay yükler (rüzgâr ve deprem gibi) belirleyici olmaktadır (Taranath, 1988). Yüksek yapılarda rüzgâr potansiyelinden faydalanabilmek için tasarımlarında rüzgâr türbinlerinin kullanıldığı görülmektedir. Rüzgâr türbinlerinin kullanılması rüzgârın hem taşıyıcı sistem üzerindeki olumsuz etkisinin azaltılması, hem de yenilenebilir enerji kaynağı olarak enerji elde edilmesi açısından önem taşımaktadır (Günel, İlgin ve Sorguç, 2007).

Yüksek yapılarda rüzgâr türbinlerinin uygulanmasında, tasarım aşamasında vaziyet planı yerleşimi, bina formunda rüzgâr aerodinamiği, yerel rüzgâr düzeni, rüzgâr hızı yoğunluğu, rüzgâr hızı dağılım frekansları ve hâkim rüzgâr yönü gibi parametrelerin dikkate alınması gereklidir (İlgin ve Günel, 2007). Bu nedenle, her bir yüksek yapı için bulunduğu çevre verilerine göre birbirinden çok farklı özelliklerin göz önünde bulundurulması gereklidir.

Yüksek yapılarda rüzgâr türbinlerinin uygulanma biçimleri; 'Bina-bağımsız', 'Bina monte' 'Bina entegre' olmak üzere üç grupta incelenebilir (Günel ve İlgin, 2008). Yüksek yapılarda rüzgâr türbinlerinin uygulanması ise çoğunlukla binaya entegre biçimde olmaktadır (Şekil 3). Rüzgâr türbini olan yüksek yapılar incelendiğinde, türbinlerin, çatıya yakın üst kısımlar, çatıdan daha alçak bölümler veya bloklar arasında olmak üzere üç farklı biçimde uygulandığı görülmektedir.



Şekil 3. Yüksek yapılarda rüzgâr türbini uygulamaları (Kaynak: Ilgın ve Günel, 2007).

### YÜKSEK YAPILARDA RÜZGÂR TÜRBİNİ UYGULAMA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ

Çalışma, alternatif enerjinin en etkin alanlarından biri haline gelen rüzgâr enerjisi kullanımının yüksek yapılar özelinde konumlanma-kentsel alanla etkileşimi, sağladığı enerji oranı, bina formu ile ilişkisi ve mimari özellikleri gibi kriterler üzerinden bir değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda rüzgâr türbini kullanılarak yapılmış veya tasarım aşamasında öneri olarak kalmış güncel mimarlık ortamında bilinen sekiz adet yüksek yapı incelenmek üzere seçilmiştir. Seçilen örneklerle ilgili öncelikle genel bilgi verilmekte, sonrasında kullanılmakta olan rüzgâr türbinlerinin incelenmesi yapılmaktadır.

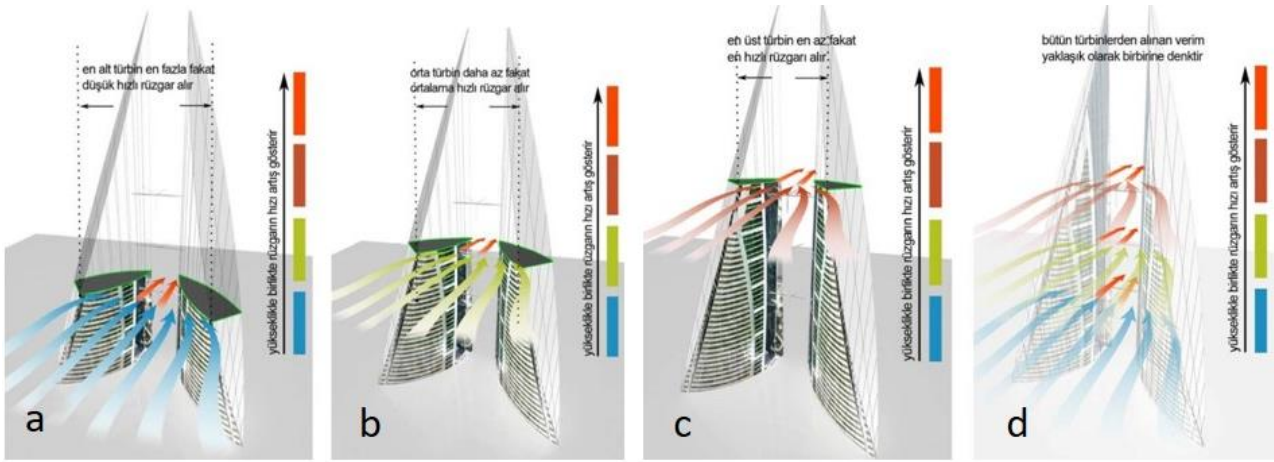
#### Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi

Rüzgâr türbinlerinin yüksek yapılarda ilk kullanıldığı örnek, 'Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi' binasıdır (Şekil 4). Bu bina, Bahreyn'in ana iş merkezinde ve Arap körfezine bakan Manama bölgesinde yer almaktadır. Bina 240 m yüksekliğinde ve 50 katlı iki bloktan oluşmaktadır. Eliptik plan formu bloklar arasına 3 adet 29m kanat çaplı, yatay eksenli rüzgâr türbinleri yerleştirilmiştir (Milne, 2016).



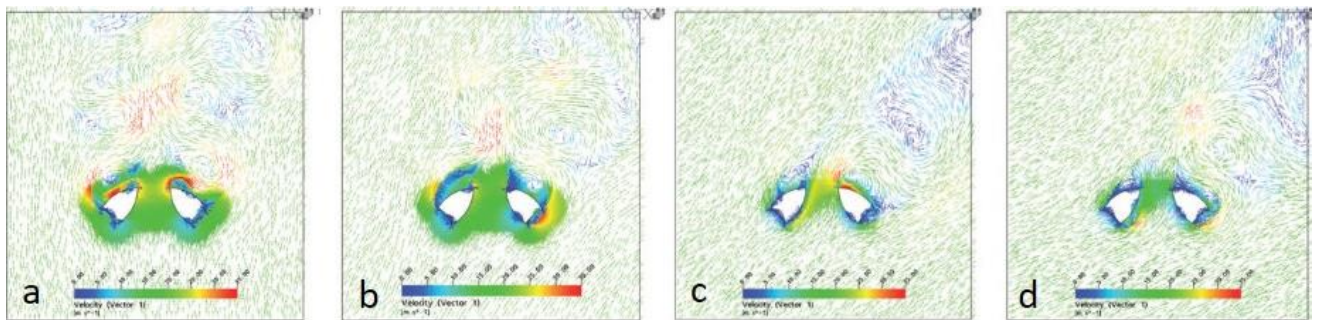
Şekil 4. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi (a) Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi genel görünüşü; (b) Rüzgâr türbini görünüşü (Kaynak: (a) Adach, 2009; (b) Adach, 2009).

iki kule vaziyet planında, karşılıklı ve açılı biçimde yerleştirilmiştir. Kulelerin bu biçimde yerleştirilmesi körfezden gelen rüzgârı iki kule arasına çekmekte ve hızını arttırmaktadır. Aynı zamanda kulelerin düşeyde oluşan yelkensi formu, hava akımını arttırmaktadır. Yukarıya doğru daralan bina formu binaların arasındaki hava akım hızını azaltarak taşıyıcı sistem açısından fayda sağlamaktadır. Binadaki her üç türbinde de neredeyse eşit hava akımı oluşmaktadır (Şekil 5). Türbinlerden elde edilen enerji miktarları; 1. türbin; 340-400 MWh/yıl, 2. türbin; 360-430 MWh/yıl, 3. türbin 400-470 MWh/yıl oranındadır (Milne, 2016). Ortadaki türbinin %100 üretim yaptığı düşünülürse üstteki türbin %109, alttaki türbin ise %93'le üretim yapmaktadır (Adach 2009). Türbinler yılda 1100-1300 MW saat'lik enerji üretmekte bu da binanın yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık olarak %11-15 ini karşılamaktadır.



**Şekil 5.** Üç türbinden elde edilen enerji oranları (a) 1. Türbin enerji kazanımı; (b) 2. Türbin enerji kazanımı; (c) 3. Türbin enerji kazanımı; (d) Toplam enerji kazanımı (**Kaynak:** (a) Milne, 2016; (b) Milne, 2016; (c) Milne, 2016; (d) Milne, 2016).

Binaya gelen farklı açıdaki rüzgârlar çeşitli testlerle incelenmiştir. Rüzgârın binanın arasından geçip türbinlere doğru yönelmesi rüzgârdan en fazla faydalanmayı sağlamaktadır. Yapılan testler sonucunda rüzgâr yönünün 285-345° arasında olduğu durumlarda türbinlerin çalışabileceği, bunun dışında rüzgâr türbinlerin sabit konumunda kalacağı görülmüştür (Şekil 6). Kulelerin biçimi ve vaziyet planındaki yerleşimleri, aralarından geçen rüzgârın hızını yaklaşık %30 oranında arttırmaktadır (Smith ve Killa, 2007).

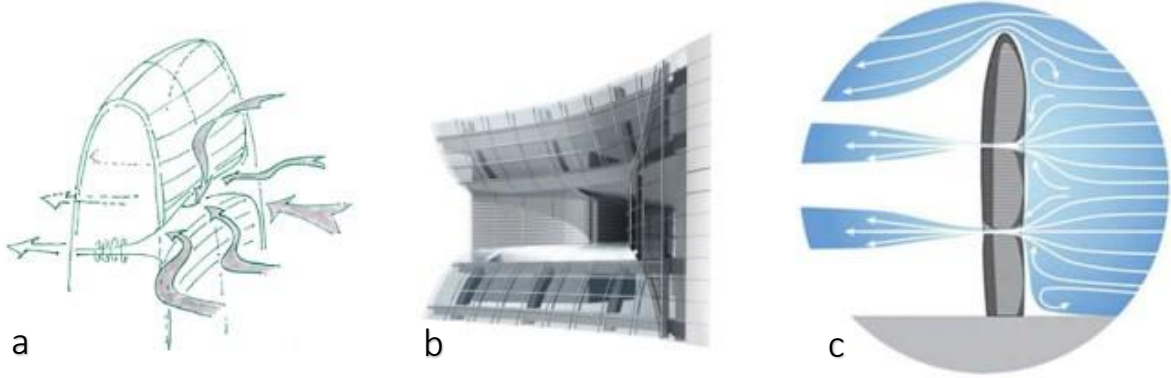


**Şekil 6.** Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, en üstteki rüzgâr türbinine göre yapılmış hava akım şeması (a) Rüzgâr yönü 315°; (b) Rüzgâr yönü 345°; (c) Rüzgâr yönü 360°; (d) Rüzgâr yönü 15°, (**Kaynak:** (a) Smith ve Killa, 2007; (b) Smith ve Killa, 2007; (c) Smith ve Killa, 2007; (d) Smith ve Killa, 2007).

### Pearl River Kulesi

Rüzgâr türbinlerinin binaya entegre biçimde uygulanmasının en tipik örneklerinden birisi Çin'in Guangzhou şehrinde bulunan Pearl River Kulesi'dir (Şekil 8). Bina 2011 yılında tamamlanmış olup 71 katlı ve 309m yüksekliğindedir. Rüzgâr türbinlerinin binanın gövdesi üzerindeki oyuklarda uygulandığı görülmektedir (Şekil 7). Binanın yıl boyu hakim rüzgâr yönü olan kuzey cephesi, rüzgâr akışını binadaki iki rüzgâr tüneline doğru

yönlendirecek biçimde içbükey olarak tasarlanmıştır. Bina bu biçimi rüzgâr hızının 2,5 kat artmasını sağlamakta ve 'Darrieus' tipi düşey eksenli türbinleri çalıştırmaktadır. Rüzgâr tünelleri, aynı zamanda bina yükseldikçe sorun haline gelmeye başlayan rüzgâr yükünü de düşürmektedir.



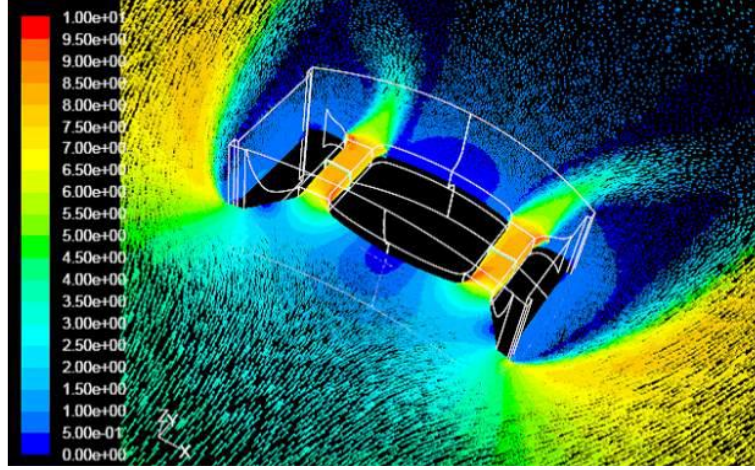
**Şekil 7.** Pearl River Kulesi 'nde kullanılan Darrieus tipi rüzgâr türbini (a) Rüzgâr türbini hava akımı ilişkisi; (b) Bina entegre rüzgâr türbini konumu; (c) Rüzgâr akımı-türbin ilişkisi, (**Kaynak:** (a) Cruickshank, 2018; (b) Cruickshank, 2018; (c) Cruickshank, 2018).



**Şekil 8.** Pearl River Kulesi (**Kaynak:** Cruickshank, 2018).

Bina üzerinde rüzgâr türbinlerinin konumlandırılması için 4 ayrı boşluk oluşturulmuştur. Bu boşluk alanlara her boşluğa yüksekliği 8m olan düşey eksenli rüzgâr türbinleri yerleştirilmiştir (Frechette ve Gilchrist, 2008). Bu türbinler, 25 m/s nominal hız ile 8 kW nominal güce sahiptir. Türbinler, rüzgâr hızı aralığı 2,7-40 m/s olduğunda elektrik üretmek üzere tasarlanmıştır. Kullanılan Dikey eksenli rüzgâr türbinleri genellikle yaygın olarak kullanılan yatay eksenli rüzgâr türbinlerinden daha düşük enerji verimliliğine sahip olsa da, kentsel alanda, rüzgâr enerjisinden faydalanmada çoğunlukla tercih edilmektedir (Şekil 9). Bu rüzgâr türbinlerinin gürültü etkisi nispeten daha düşüktür ve kentsel ortamlardaki yüksek türbülansa da daha fazla dayanabilir. Ayrıca bu tip rüzgâr türbinleri özellikle rüzgâr yönünün değiştiği kentsel ortamlarda çok yönlü olarak çalışabilmekte ve verimliliği arttırabilmektedir.





Şekil 9. Pearl River Kulesi rüzgâr akım analizi, bina boşluklarında oluşan rüzgâr basıncı (Kaynak: CNN Money, 2022).

Binanın tasarımında rüzgâra göre açılmış boşluklar ve bina formu ile rüzgâr hızının arttırılması başarılı bir şekilde sağlanmıştır. Ancak Guangzhou'daki çoğunlukla zayıf rüzgâr nedeniyle, binaya entegre dört rüzgâr türbininden elde edilen güç yeterli olmamaktadır. Bununla birlikte, rüzgâr türbinlerinin yüksek binalara entegrasyonunun, yüksek rüzgâr hızlarına sahip kentsel alanlarda yüksek binaların enerji ihtiyacının önemli bir kısmının karşılanmasında önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

### Strata SE1 Kulesi

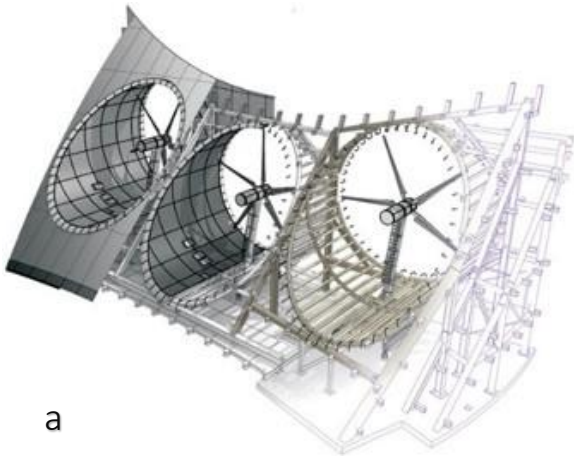
Londra'da Castle House bölgesinde yer alan 43 katlı ve 148m yüksekliğindeki Strata SE1 Kulesi bünyesinde rüzgâr türbinlerinin bulunduğu ilk binalardan biridir (Şekil 10). Binada 9m çapında, 5 kanatlı her biri 19 kW, toplamda yılda 50 MWh enerji üreten 3 adet türbin bulunmaktadır. Türbinler binanın tepesinde ve yapının taşıyıcı sistemi ile bütünleşmiş biçimde yer almakta ve binanın enerji ihtiyacının % 8 ini karşılamaktadır. Binanın yarım elips biçimindeki plan formu ve hakim rüzgâra karşı oluşan konkav yapısı rüzgârın çatıdaki türbinlere ulaşmasını sağlamaktadır.



Şekil 10. Strata SE1 binası (Kaynak: HRC, 2022).

Rüzgâr yaklaşım prensibi Pearl River Kulesi'ne benzemektedir. Binada güneyden esen hâkim rüzgârın geldiği yönde oluşturulmuş konkav plan formu rüzgârı toplayıcı özellik göstermektedir. Burada toplanan rüzgâr çatıdaki boşluklara yerleştirilmiş rüzgâr türbinlerine aktarılmaktadır. Bina Pearl River Kulesi kadar yüksek olmadığından cephede oluşan basınç çatı boşlukları ile tahliye edilebilmektedir. Yapıda rüzgâr alan cephenin arkasında kalan cephede oluşacak alçak basınç, planda tasarlanmış gemi burnu formu ile engellenmiştir. Böylece rüzgârın binaya yapacağı basınç etkisi azaltılmıştır. Ancak bu form çatıdaki türbin boşluklarının olduğu kısımdaki özel tasarım ile bu kısımda alçak basınca izin vermekte, böylece türbinlerden geçen hava akımı artmaktadır.

Rüzgâr türbinlerinin yılın % 85 lik kısmında aktif olması beklenmektedir. Yapının yarım elips şeklindeki plan formu negatif basınç etkisi yaratmakta ve planın rüzgârı karşıladığı kısımdaki konkav yapı pozitif etki yaratarak rüzgârın çatıdaki türbinlere ulaşmasını sağlamaktadır (Şekil 11). Binanın tasarım prensibi gayet basit ve etkilidir. Ancak bu binada da, gelecekte oluşabilecek olan çevre binaların değişebileceği olasılığı göz ardı edilmiştir. Tek yönden rüzgârı alma prensibine dayalı olan bu bina için; rüzgârı aldığı yönde yapılacak olan başka bir binanın türbinlerinden elde edilecek enerji kazancını kesmesi olasılığı bulunmaktadır. Çünkü bu bina, çok yüksek değil ve de bulunduğu çevrenin kent dokusu daha da yoğun yapıdadır.



a



b

**Şekil 11.** Strata SE1 Kulesi rüzgâr türbinleri (a) Rüzgâr türbini görünüşü; (b) Bina entegre rüzgâr türbini görünüşü (Kaynak: (a) Aeworldmap, 2022; (b) Aeworldmap, 2022).

### The Lighthouse Kulesi

The Lighthouse Kulesi Dubai'de yapılması düşünülmüş bir projedir. Bina yapımına 2009 yılında başlanmış ancak sonra durdurulmuştur. Bina 84 kat ve 402m yüksekliğinde tasarlanmıştır. Bina iki ayrı kule olarak yükselmekte ve 10. katta köprü ile bağlanmaktadır (Şekil 12). Binanın 300-400 m yükseklikleri arasında, gövdesi ve çatı kısmına gelen bölümüne 3 adet yatay rüzgâr türbini yerleştirilmiştir. Rüzgâr türbinleri, 29m çapında olup 225 kW'lık enerji üretebilmektedir.



**Şekil 12.** Lighthouse Kulesi (a) Bina görünüşü; (b) Rüzgâr türbini-rüzgâr etkileşimi (**Kaynak:** (a) Skyscrapercenter, 2022; (b) Skyscrapercenter, 2022).

Bina, uzun cepheleri kuzey-batı, güney-doğu aksına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu şekilde kuzey batıdan gelecek olan körfez rüzgârını alması düşünülmüştür. Binada rüzgâr yönünde konumlandırılmış yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılmıştır. Bina körfeze yaklaşık 3 km uzaklıktadır. Binanın çevresinde genellikle alçak katlı çevre binalar yer almaktadır.

Bina plan olarak uzun dikdörtgen formunda olup, 3. boyutta piramidal bir form almaktadır. Bu piramidal form rüzgârın binanın üst kısmında yer alan türbinlere ulaşmasını sağlamaya yardımcı olmaktadır (Şekil 9). Binanın cephe yüzeyinin yaklaşık  $\frac{1}{4}$  lük kısmını bu rüzgâr türbinleri kaplamaktadır. Burada türbinlerin performansının artırılmasından ziyade ikonikleştirilmeleri ön planda tutulmuştur.

Binanın konumlandığı yerin etrafında yoğun bir kentsel yapılaşma-çevre yapıları bulunmaktadır. Bina tasarlandığı zaman açısından çevre yapılaşma koşulları göz önünde bulundurularak rüzgârı direk olarak karşılayacak biçimde konumlandırılmıştır. Ancak gelecekte, rüzgârın geldiği yöndeki komşu parselde yapılacak olan bu binanın yüksekliğinde veya daha yüksek bir bina Lighthouse Kulesi'nin rüzgârını kesecektir. Tasarım ekibi bunun için bina formuna dair hiçbir önlem almamıştır. Böyle bir durum karşısında binanın türbinlerden elde edilen enerji kazancında büyük oranda kayıp olacağı ortadadır.

### Anara Kulesi

Anara Kulesi, 135 katlı ve 600m üzeri yüksekliği olacak biçimde öneri proje olarak geliştirilmiştir. Binanın çatısında büyük bir rüzgâr türbini bulunmaktadır (Şekil 13). Üçgen plan formundan oluşan bina, üçgenin sivri kısmı hakim rüzgâra bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Plan olarak Strata SE1'e benzeyen bina, Strata SE1 Kulesi'nin tersine yapının konkav formu rüzgâr yönünün tersinde konumlandırılmıştır. Buradaki amaç binanın rüzgâr yüklerinden mümkün olduğunca az etkilenmesini sağlamaktır. Strata SE1 Kulesi'ndeki rüzgârı toplama fikri, binanın çok yüksek olması nedeni ile burada uygulanmamıştır.

Öneri proje, rüzgârdan, sadece üst kısmına denk gelen tarafı ile yararlanmaktadır. Buradaki türbinin etrafında huni biçimli tasarım rüzgârı toplayarak türbine etki eden rüzgâr miktarını arttırmaktadır. Henüz bu büyüklükte bir türbin denenmemiştir. Projenin inşa edilebilmesi durumunda kullanılacak olan türbin ile bir rekora imza atılacaktır. Proje tasarım aşamasında öneri olarak kalmış ve sonrasında iptal edilmiştir.

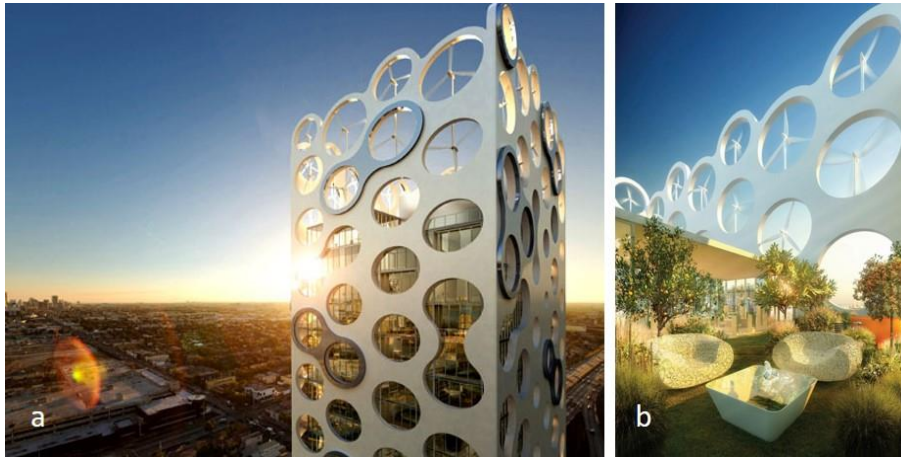


**Şekil 13.** Anara Kulesi (a) Bina görünüşü; (b) Rüzgâr türbini-görünüşü (**Kaynak:** (a) Arcdaily, 2008; (b) Arcdaily, 2008).

### COR Kulesi

Amerika’da Florida Eyaleti’nin Miami şehrinde Design District’te yapılması planlanmış öneri projedir. Proje, karma kullanımlı olarak konut, ofis, ticari işlevlerden oluşmaktadır (Şekil 14). Projenin toplam inşaat alanı 44 500 m<sup>2</sup> dir ve 40 kattan oluşması planlanmıştır (Zinzade, 2010). Projede 113 konut birimi toplam inşaat alanının yarısını oluşturmaktadır. İnşaat alanının 20 000 m<sup>2</sup> lik kısmını ise ofis alanları oluşturmaktadır. Mimarı Chad Oppenheim projede kullandığı rüzgâr türbinlerini dairesel form içinde yerleştirmiş ve bu dairesel formu binanın tüm cephelerinde bir tasarım öğesi olarak kullanarak binaya mimari bir kimlik kazandırmayı amaçlamıştır.

COR Kulesi’nde; rüzgâr türbinlerinin yanında fotovoltaik paneller ve güneş enerjisi ile ısınan sıcak su sistemi ile çevre fiziksel özelliklerinden en yüksek derecede faydalanarak sürdürülebilirliğin sağlanmasına çalışılmıştır. Binanın dış kabuğu hem taşıyıcı sistemini oluşturmakta hem de termal izolasyonu sağlamaktadır.

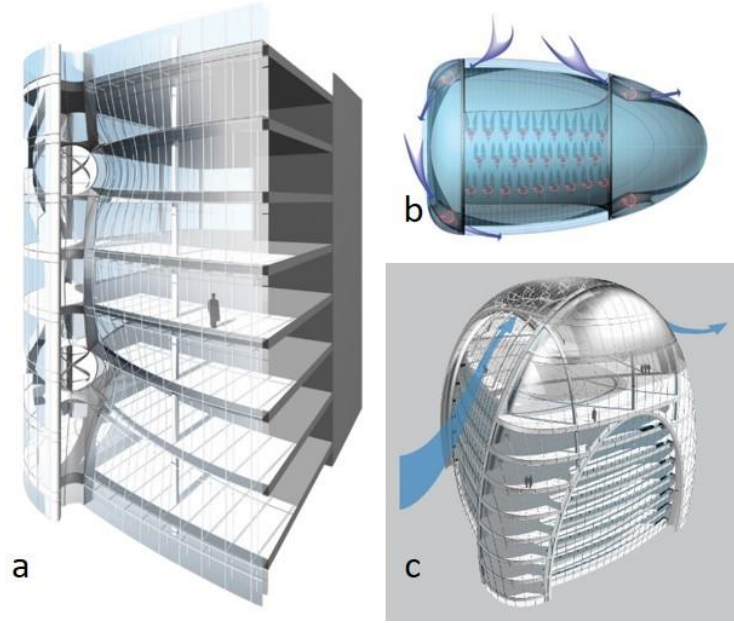


**Şekil 14.** COR Kulesi (a) Bina görünüşü; (b) Bina tepe teras alanı-rüzgâr türbini görünüşü (**Kaynak:** (a) Inhabitat, 2006, (b) Inhabitat, 2006).

### Clean Technology Kulesi

Bina, Adrian Smith ve Gordon Gill tarafından 2008 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmaya yönelik olarak bir prototip olarak tasarlanmış öneri projedir (Şekil 15). Karma kullanımlı bu projenin ilkinin Chicago’da olmak üzere dünya çapında yapılması hedeflenmektedir. Bu projede rüzgâr türbinleri binaya entegre biçimde, binanın köşelerinde konumlandırılmıştır. Rüzgâr türbinlerinin binanın köşesinde konumlandırılması ile bina köşelerinde sorun oluşturan rüzgâr kuvvetinden faydalanmak amaçlanmıştır.

Binanın cephesi rüzgârı türbinlere yönlendirecek biçimde tasarlanmıştır. Ayrıca binanın yüksekliği arttıkça rüzgâr enerjisinden daha fazla yararlanmak için türbinlerin sayıları arttırılmıştır. Binada büyük rüzgâr türbinleri yerine daha küçük rüzgâr türbinleri kullanılmıştır. Bu hem binanın taşıyıcı sistem açısından fayda sağlamakta hem de daha düşük hızlı rüzgârdan faydalanmaya imkân tanımaktadır. Binada düşey eksenli rüzgâr türbinleri kullanılmıştır. Bu sayede her yönden gelebilecek rüzgârdan enerji elde edilmesi sağlanmaktadır.



**Şekil 15.** Clean Technology Kulesi binası (a) Bina entegre rüzgâr türbini konumu; (b) Rüzgâr türbini-rüzgâr etkileşimi; (c) Bina tepesinde rüzgâr yönlenmesi (**Kaynak:** (a) Inhabitat, 2008; (b) Inhabitat, 2008; (c) Inhabitat, 2008).

Binanın tepesinde konumlandırılan çift katmanlı çatı boşluğu rüzgârı daha düşük seviyelerde konumlandırılmış birçok rüzgâr türbinine yönlendirmektedir. Rüzgâr türbinlerinin oluşturduğu negatif basınç da iç mekânların havalandırmasında kullanılmaktadır.

Bina öneri proje olduğu için yapılacağı yer, yakın çevre yapılaşma özellikleri ve rüzgâr hızı-yönü büyük önem taşımaktadır. Binanın rüzgârı hangi cepheden alacağı belli olmadığı için dört köşesinde rüzgâr türbini olacak biçimde tasarlanmıştır. Ancak bina rüzgârı ön köşesinden alacak olursa binanın arka köşesinde yer alan türbinlerden rüzgâr basıncının düşük olmasından dolayı yeterli verim elde edilemeyeceği öngörülmektedir. Bu da verim alınamayan türbinler için ekstra yatırım maliyeti anlamına gelmektedir.

### Burj Al-Taqa Kulesi

Dubai Enerji Kulesi olarak da bilinen Burj al-Taqa Kulesi, Dubai'de Eckhard Gerber tarafından 68 katlı ve 322 metre yüksekliğinde 2006-2007 yılları arasında tasarlanmış ancak inşa edilmemiş bir yüksek yapıdır (Şekil 16). Binanın sıfır emisyon üretmesi ve kendi enerjisinin büyük bir kısmını da kendisinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılaması amaçlanmaktadır. Bunun için binada rüzgâr türbinleri ve fotovoltaik paneller kullanılmıştır (Inhabitat, 2007).

Binanın ekolojik yaklaşımında İran rüzgâr kulelerinin doğal havalandırma mantığının günümüz koşullarına göre uyarlandığı görülmektedir. Sıcaklığın 50 OC ye ulaştığı bölgede rüzgâr kuleleri doğal bir havalandırma sağlamaktadır. Binanın silindirik biçiminin ortasında merkezi bir atriyum bulunmaktadır. Bu atriyum ile bina içine temiz hava girişi sağlanmaktadır. Gelen hava deniz suyu veya hava kanalları ile doğal olarak önceden soğutulmaktadır. Binanın atriyum boşluğunda yer alan bitkiler havanın nemli ve temiz olmasına ve bina

içinde termal konforun oluşmasına da yardımcı olmaktadır. Bu havalandırma yöntemi ile binanın tüm enerji harcamasında %40 oranında enerji tasarrufu sağlanacağı öngörülmektedir (Designbuild, 2008).

Binada çift cidarlı cam cephe sistemi uygulanmıştır. Cam cephe sisteminde kullanılan camlar, istenmeyen ısı geçişini azaltacak ve gün ışığından en yüksek seviyede faydalanmayı sağlayacak özel vakumlu camlardır. Bu camlar diğer camlara göre üçte iki oranında daha az ısı geçişini sağlamakta bu da yapay iklimlendirme sistemleri için gereken enerjinin azalması anlamına gelmektedir.

Bina çevresinin 60°'si (yaklaşık altıda birini) zeminden çatıya kadar fotovoltaik panellerle kaplanmıştır. Bu hem enerji sağlanması hem de ofis mekânlarının güneşten daha az etkilenmesine yardımcı olmaktadır.

Binanın çatısında darrieus tipi 60m yüksekliğinde bir rüzgâr türbini yer almaktadır. Rüzgâr türbini ile direk enerji elde edilebileceği gibi aynı zamanda binanın ortasında yer alan atriyum boşluğunda yükselen havanın çatıdan dışarı atılmasında da baca vazifesini görmektedir. Proje 2008 yılındaki küresel finans krizi sonrasında kamuya resmi bir açıklama yapılmamasına rağmen iptal edilmiştir.



Şekil 16. Butj Al Taqa (a) Bina görünüşü; (b) Bina atriyum görünüşü (Kaynak: (a) Inhabitat, 2007; (b) Inhabitat, 2007).

## DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMALAR

Çalışmada incelenen rüzgâr türbini kullanımının olduğu sekiz binanın değerlendirmesi belirlenen beş ana kriter üzerinden yapılmış ve elde edilen veriler ile Tablo 1 oluşturulmuştur. Bu kriterlerden ilki 'Rüzgâr türbini uygulama biçimi'dir. Bu kriter kendi içinde 'bina bağımsız', 'bina monte' ve 'bina entegre' olmak üzere üç alt başlıkta değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kriteri literatürde kullanıldığı biçimde alınmıştır. İkinci kriter, 'Rüzgâr türbini binadaki konumu'dur. Bu kriterde kendi içinde 'çatı', 'gövde arasında', 'gövde üzeri boşlukta' ve 'gövde bina köşesi' alt başlıklarında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kriteri de literatürde yer almaktadır. Ancak 'gövde bina köşesi' alt başlığı yazar tarafından eklenmiştir. Üçüncü kriter, 'Rüzgâr yönüne göre bina konumu'dur. Dördüncü kriter, Bina formunda rüzgar hızını arttırıcı uygulama olması'dır. Beşinci kriter, 'Rüzgâr türbini mekân üzerindeki olumsuz etkisini azaltıcı önlemler'dir. Kullanılan son üç değerlendirme kriteri de yazar tarafından belirlenmiştir.

Yüksek yapılarda rüzgâr türbini uygulanmış örneklerin incelenmesi sonucunda; rüzgâr türbini uygulamalarının daha çok 'bina-entegre' uygulamalar şeklinde olduğu görülmektedir. Bina-entegre rüzgâr türbinleri, bina-bağımsız ve bina-monte türbinlere kıyasla enerji sağlanması açısından daha potansiyelli uygulamalar olarak değerlendirilmektedir. Bina entegre rüzgâr türbini uygulamalarının en iyi performansı elde etmek amacıyla mimari tasarım aşamasından itibaren bina formunun belirlenmesinde büyük etkilerinin olduğu belirlenmiştir (Tablo 1).

Rüzgâr türbinlerinin binanın çoğunlukla çatısında (en üst noktasında) veya buraya yakın bölümlerinde yerleştirilmiş oldukları ve binanın en üst noktasına doğru kesit alanının küçüldüğü ve heykelsi bir görünüm ile tasarlandıkları tespit edilmiştir (Tablo 1).

Rüzgâr yönüne göre binanın konumlanmasına, yapımı gerçekleşmiş olan binalar ile öneri olarak kalmış The Lighthouse Kulesi ve Anara Kulesi binalarında dikkat edildiği belirlenmiştir. COR Kulesi, Clean Technology Kulesi ve Burj Al Taqa Kule'lerinde ise binanın yüksekliği ile etki eden rüzgâr kuvvetinden faydalanmaya çalışıldığı tespit edilmiştir. Bina formunda rüzgâr hızını artırıcı uygulamaların COR Binası dışındaki tüm örneklerde olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 1.** Yüksek yapılarda rüzgâr türbini uygulamalarının incelenmesi (**Kaynak:** Çalışma kapsamında yazar tarafından oluşturulmuştur).

		Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi	Pearl River Kulesi	Strata SE 1	The Lighthouse Kulesi	Anara Kulesi	COR Kulesi	Clean Technology Kulesi	Burj Al Taqa Kulesi
Rüzgâr türbini uygulama biçimi	Bina bağımsız	X	X	X	X	X	X	X	X
	Bina monte	✓	X	X	X	X	X	X	X
	Bina entegre	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rüzgâr türbini binadaki konumu	Çatı	X	X	✓	✓	✓	X	X	✓
	Gövde arasında	✓	X	X	X	X	X	X	X
	Gövde üzeri boşlukta	X	✓	X	X	X	✓	X	X
	Gövde bina köşesi	X	X	X	X	X	X	✓	X
Rüzgâr yönüne göre bina konumu		✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X
Bina formunda rüzgâr hızını artırıcı uygulama olması		✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓
Rüzgâr türbini mekân üzerindeki olumsuz etkisini azaltıcı önlemler		✓	✓	✓	X	X	X	X	X

Yüksek yapılarda rüzgâr türbinlerinin mimari, strüktürel ve çevresel bütünlük bağlamında ele alınması gereklidir. Mimari açıdan, özellikle türbinlere yakın mekânlar; türbin hareketinin sebebiyet verebileceği, gürültü iletimi, dönen kanatlar yüzünden ışığın titreyerek yansımaları, elektromanyetik parazit gibi olaylar yüzünden ekonomik anlamda değer kaybı yaşamaktadır. Bunu engelleyebilmek için türbinlerin yakınındaki yerler mekân organizasyonu açısından sık kullanımı olmayan alanlar ve/veya servis mekânları (asansörler, merdivenler, çekirdek vb.) olarak kullanılarak tampon bölgeler oluşturulmaya çalışılmalıdır. Strüktürel açıdan, binanın strüktürünün üzerine gelecek türbin yüküne göre sağlamlaştırılmalıdır. Rüzgâr türbinlerinin kanat hareketinden kaynaklanan ve türbin askıları aracılığıyla da binaya iletilen pervane devri (*blade pass frequency*) olarak tabir edilen vibrasyon hareketinden kaynaklanan rahatsızlığın da giderilmesi gereklidir. Çevresel açıdan, görsel etki ve gürültü yayılımı çevre özelliklerine göre düşünülmelidir. İncelenen

örneklerde Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, Pearl River Kulesi ve Strata SE1 Kulesi binalarında rüzgâr türbininin mekân üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiyi azaltmaya yönelik uygulamaların olduğu tespit edilmiştir. Yapımı gerçekleştirilmemiş öneri olarak kalmış binalarda ise bu yönde bir uygulamanın olmadığı görülmüştür.

Oluşan basınç alanlarının olumsuz etkilerine ek olarak rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, yüksek yapının nasıl konumlandığı ve formu da rüzgârdan elde edilecek enerjinin verimliliği üzerinde etkilidir. İncelenen Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, Pearl River Kulesi ve Strata SE1 Kulesi binaları özellikle hâkim rüzgâr yönüne göre konumlandırılmış ve rüzgâr akışının binaya entegre olan rüzgâr türbinlerine yönlendirilmesine yönelik olarak biçimlendirilmiş yüksek yapılardır.

Yüksek yapılarda rüzgâr enerjisinden faydalanmaya yönelik tüm etkenler göz önünde bulundurulduğunda, çoğu yüksek yapının, türbin maliyetinin fazlalığı ve türbinlerden yeterli enerji için gerekli koşulları sağlayamadıklarından tercih edilmedikleri görülmektedir. Yüksek yapılar yapılmaya başladıkları andan itibaren gelişiminin her evresinde tartışılan, eleştirilen bir yapı türü olmuştur. Rüzgâr enerjisinin yüksek yapılar için büyük bir potansiyel olduğu düşünüldüğünde 'Yüksek yapılarda neden daha fazla rüzgâr türbini görmüyoruz' sorusu yüksek yapılarla ilgili yeni bir tartışmanın başlangıcı olarak görülebilir.

## SONUÇ

Rüzgâr enerjisinden en fazla verimin elde edildiği alanlar; yüksek, açık alanlar ve deniz kıyı şeritleri gibi alanlardır. Bu açıdan bakıldığında yüksek yapılardaki rüzgâr türbini kullanımları da enerji ihtiyacının karşılanması için bir avantaj olarak görülebilir. Buna karşılık yüksek yapıların üzerindeki ve çevresindeki rüzgâr koşulları sürekli değişkenlik göstermektedir. Komşu binaların üzerinde oluşan ve binanın kendisi tarafından yaratılan basınç alanları (vorteks) rüzgâr hızının sabit olmamasına ve hatta rüzgâr türbininin genişliği boyunca rüzgâr hızının değişmesine neden olmaktadır. Bu iki etkide rüzgâr türbininin verimliliğini büyük ölçüde düşürmektedir. Rüzgâr türbinlerinin kullanılması; strüktürel sistem üzerindeki rüzgâr yüküne karşı tasarıma yardımcı olmasına karşın, değişen çevre şartları karşısında nasıl tepki vereceğinin öngörülememesi, önemli bir sorun oluşturmaktadır. Maliyeti yüksek olan rüzgâr türbinlerinin, çevre yapılaşmasının artması durumunda rüzgâr hesapları değişmektedir. Yüksek yapılarda rüzgâr türbinlerinin kullanılması sırasında kentsel gelişme kararları önemli rol oynamakta ve tasarımda belirleyici olmaktadır.

Yüksek yapılarda rüzgâr türbinlerinin kullanımlarının incelenmesi sonucunda, Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi örneğinde olduğu gibi, bina formunun belirlenmesinde ve alana yerleşiminde rüzgâr enerjisinin aktif kullanımının sağlanması, Strata SE1 Kulesi örneğinde olduğu gibi, bina formunun belirlenmesinde cephelerde oluşan alçak basıncın dikkate alınmasının gerektiği, The Lighthouse Kulesi örneğinde olduğu gibi, binanın konumlandığı yerin etrafında yoğun bir kentsel yapılaşma-çevre yapıları oluşum sürecinin bina formunun belirlenmesindeki payının önemi, Clean Technology Kulesi örneğinde olduğu gibi, düşey eksenli rüzgâr türbinlerinin kullanılmasının enerji etkinliğine faydası, Burj Al-Taqa Kulesi örneğinde olduğu gibi, bina içinde yükselen havanın tasarım kriterinde mekâna etkisi, bu tür yapıların tasarlanmasında göz önünde bulundurulması gerekli tasarım kriterleri olarak belirlenmiştir.

Günümüz koşullarında yüksek yapılarda rüzgâr türbini ile rüzgâr enerjisinden faydalanması yönündeki örnekler son derece az olsa da gezegenimizin geleceği açısından özellikle yüksek yapılarda bu uygulamaların hala büyük bir potansiyel oluşturdukları düşünülmektedir. Rüzgâr enerjisinden ve/veya yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmaya yönelik yapılacak her yeni yüksek yapı, enerjimizin yenilenebilir kaynaklardan sağlamaya yönelik bir adım olması açısından önem taşımaktadır. Tüm teknik zorluklara rağmen, gelecekte teknolojik imkânların bugünden daha iyi olacağı kesindir. Yüksek yapılarda, yerel rüzgâr koşullarından yararlanan daha küçük ölçekli türbinlerin kullanılması gibi alternatifler, rüzgâr enerjisinin geleceğinin aslında parlak olduğu şeklinde düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR:

- Adach, C.W. (2009). *Bahrain World Trade Center*. Web adresinden 10 Ocak 2022 tarihinde erişildi: <http://adachchristopher.blogspot.com/2009/11/bahrain-world-trade-center.html?m=1>
- Aeworldmap, (2022). *Castle House London*. Aeworldmap. Web adresinden 10 Ocak 2022 tarihinde erişildi: <https://aeworldmap.com/2010/01/31/castle-house-Kulesi-london-u-k/castle-wind-model/>
- Ali, M.M. ve Armstrong, P.J. (2006). *Strategies for integrated design of sustainable tall buildings*. AIA Report On Univercity Research, University of Illinois at Urbana-Champaign School of Architecture.
- Archdaily, (2008). *Anara Tower by Atkins Design Studio*. Archdaily. Web adresinden 10 Ocak 2022 tarihinde erişildi: <https://www.archdaily.com/8293/anara-Kulesi-by-atkins-design-studio>
- Begeç, H. (2013). Sürdürülebilir yüksek yapı tasarımında yönelimler. *Ege Mimarlık*, (83), 30-36.
- Cruickshank, A. (2018). Placetech web adresinden 10 Ocak 2022 tarihinde erişildi: <https://placetech.net/strategy/worlds-smartest-buildings-pearl-river-Kulesi-guangzhou/>
- CNN Money (2022). *World's greenest skyscraper*. CNN Money. Web adresinden 10 Ocak 2022 tarihinde erişildi: [https://money.cnn.com/2010/02/22/technology/zeb\\_pearl\\_river.fortune/index.htm](https://money.cnn.com/2010/02/22/technology/zeb_pearl_river.fortune/index.htm)
- CTBUH (2021). *Tall building criteria*. CTBUH. Web adresinden 21 Aralık 2021 tarihinde erişildi: <https://www.ctbuh.org/resource/height>
- Designbuild (2008). *Burj al-Taqa – The Energy Tower*. Designbuild. Web adresinden 21 Aralık 2021 tarihinde erişildi: <https://www.designbuild-network.com/projects/dubai-Kulesi/>
- Frechette, R. ve Gilcrist, R. (2008). Towards zero energy: A case study of Pearl River Kulesi, Guangzhou, China. *CTBUH 8th World Congress*, 3-5 Mart, Dubai.
- Günel, M. H., Ilgın, H. E. ve Sorguç, A. G. (2007). *Rüzgâr enerjisi ve bina tasarımı*. Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi.
- Günel, M. H. ve Ilgın, H. E. (2008). Bir mimari tasarım kriteri olarak rüzgâr enerjisi kullanımı. *Ege Mimarlık*, (65), 6-11.
- Ilgın, H. E. ve Günel, M. H. (2007). The role of aerodynamic modifications in the form of tall buildings against wind excitation. *Metu JFA*, 2, 17-25.
- Inhabitat (2006). *New Green Tower In Miami – The COR Building*. Inhabitat. Web adresinden 19 Ocak 2022 tarihinde erişildi: <https://inhabitat.com/new-green-Kulesi-in-miami-the-cor-building/cor-building-miami-miami-design-district-green-building-sustainable-skyscraper-leed-Kulesi-green-high-rise-in-miami-chad-oppenheim-architecture-and-design-buro-happold-ysreal-seinuk/>
- Inhabitat (2007). *Burj Al-Taqa: Zero-Energy Tower for the Middle East*. Inhabitat. Web adresinden 21 Aralık 2021 tarihinde erişildi: <https://inhabitat.com/burj-al-taqa-energy-Kulesi-for-the-middle-east/>
- Inhabitat (2008). *Smooth Operator: The Clean Technology Kulesi*. Inhabitat. Web adresinden 19 Ocak 2022 tarihinde erişildi: <https://inhabitat.com/smooth-operator-the-clean-technology-Kulesi/>
- Irwin, P., Kilpatrick J., Robinson J. ve Frisque, A. (2008). Wind and tall buildings: Negatives and positives. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 17, 915-928.
- Lepik, A. (2004). *Skyscrapers*. Munich: Prestel Verlag.
- Milne, I. (2016). Bahrain World Trade Center: Harnessing wind energy a post occupancy evaluation. A.Wood, D. Malott ve J. He (Eds.), *Conference e-proceedings: Cities to Megacities*. CTBUH International Conference, 16-21 Ekim 2016, Hong Kong.
- Morhayim, L. (2003). Ekolojik mimari tasarım anlayışının İstanbul'daki yüksek ofis yapıları örneğinde değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özer, Z. (1996). Fosil yakıtsız yaşama doğru. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 338 (1), 56-61.
- Sev, A. (2009). *Sürdürülebilir Mimarlık*. İstanbul: YEM Yayınları.
- Skyscrapercenter (2022). *Lighthouse Tower*. Skyscrapercenter. Web adresinden 10 Ocak 2022 tarihinde erişildi: <https://www.skyscrapercenter.com/building/lighthouse-Kulesi/219>

- Smith R. F. ve Killa S. (2007). Bahrain World Trade Center (BWTC): The first large-scale integration of wind turbines in a building. *Structural Design Tall and Special Buildings*, 16.
- Taranath, B (1988). *Structural Analysis and Design of Tall Buildings*. U.S.A.: McGraw-Hill Book Company.
- You, K. ve Kim, Y. (2009). The wind-induced response characteristics of a typical tall buildings. *The Strucural Design of Tall and Special Buildings*, Korea, 18, 217–233.
- HRC (2022). *Strata SE1*, HRC web adresinden 11 Mayıs 2022 tarihinde erişildi: <https://hrc-europe.com/wp-content/uploads/2015/12/Strata-Kulesi-2.jpg>
- Zinzade, D. (2010). *Yüksek yapı tasarımında sürdürülebilirlik boyutunun irdelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi ). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.