

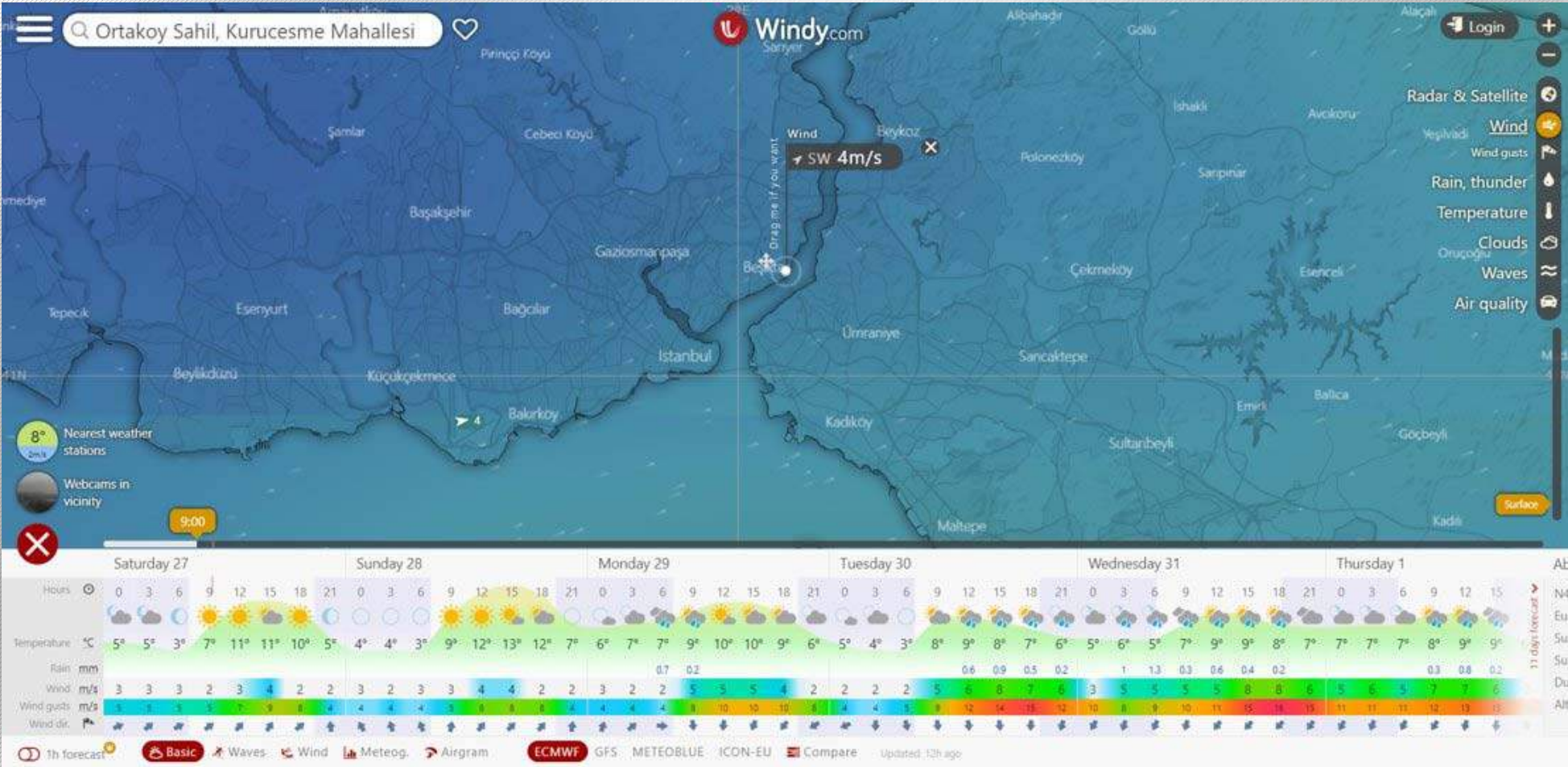
YENİLENEBİLİR ENERJİ MİNİ MBA SERTİFİKA PROGRAMI

RÜZGAR ENERJİSİ
Enis AMASYALI,
Mahir Tosun
Borusan EnBW Enerji



İstanbul, 27.03.2021

BAU'da bu sabah rüzgar?



○ GÜNDEM:

1- Dünyada ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisi

2- Rüzgar Enerjisi, Sistemler, Bileşenler ve Karakteristik

3- Örnek Uygulama ve Fizibilite Hesabı

DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ



Elektrik Sektörü Genel Görünüm

Yenilenebilir Enerji



2009

İki misli elektrik enerjisine
ihtiyaç duyulacağı ön görülüyor

2030



Elektrik Sektörü Görünüm

Yenilenebilir Enerji



1875



2004

- Artan atmosferik CO₂ dünyamızı ısıtmakta,
- enerji üretimi de CO₂ emisyonunun önemli bir kısmını oluşturmaktadır

Karbon kısıtlamaları yenilenebilir enerjiye olan talebi artırmaktadır



Elektrik Sektörü Genel Görünüm

Yenilenebilir Enerji

Endüstriyelleşme

Şehirleşme

GSMH büyümesi

Nüfus

Elektrik talebi

Yenilenebilir Enerji

Çevresel faydalar

Gaz ithalatının/cari açığın azaltılması

Kırsal gelişim

Rekabetçi yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi

Elektrik fiyatı etkisi

Arz Güvenliği

Petrol krizi

Yerli kaynaklar

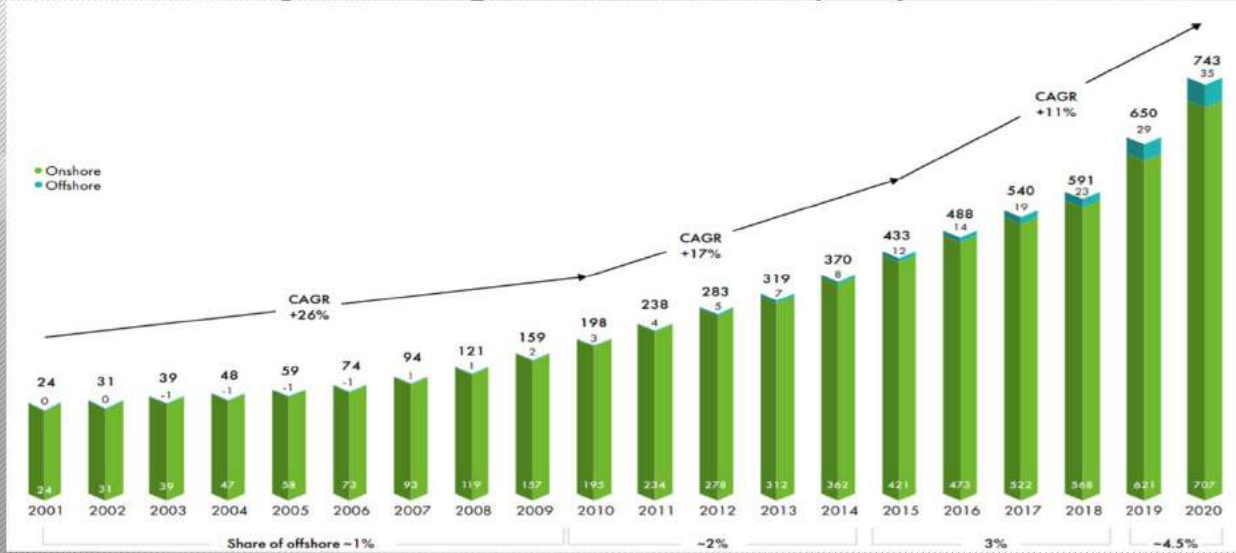
Üretimi çeşitlendirme

İklim değişikliği

Dünyada Rüzgar Enerjisi

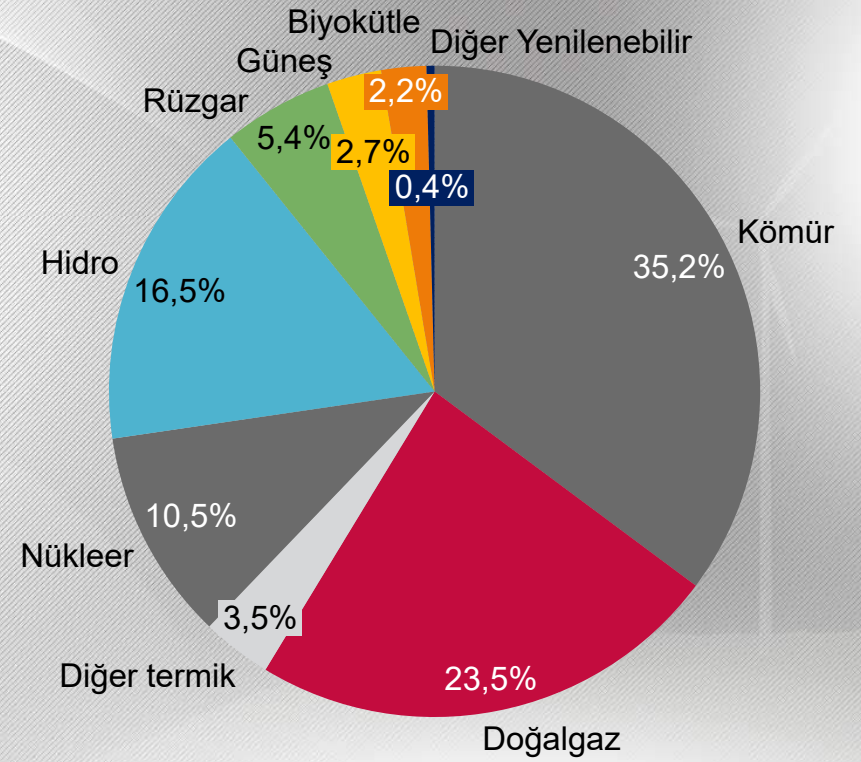
Kurulu Güç / Üretim

Dünyada Rüzgar Kurulu Gücü (GW)



Kurulu güç: 743 GW / 2020

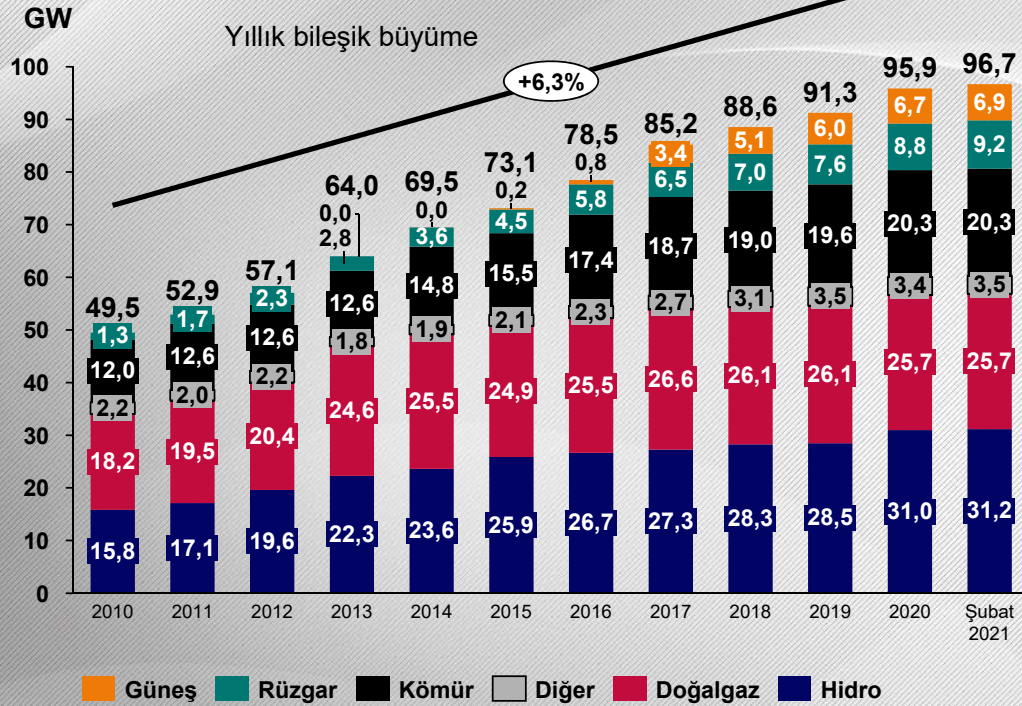
Rüzgar + Güneş üretiminin toplam üretimdeki payı; %5,4 / 2019



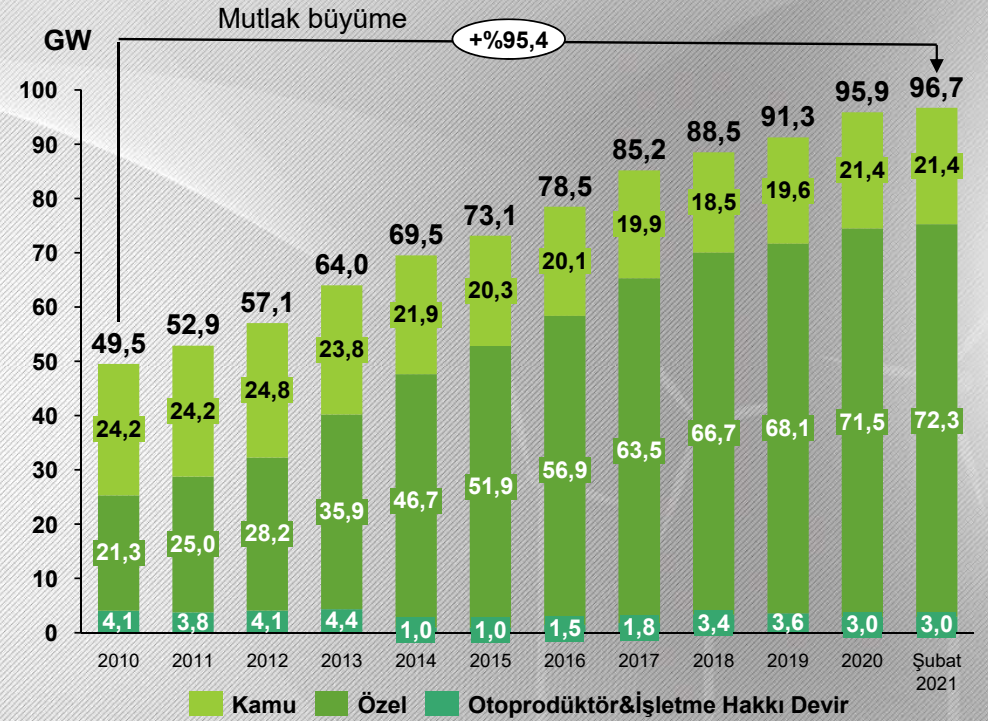
Türkiye Elektrik Sektörü Genel Görünüm

Kurulu Güç

Kaynaklar bazında kurulu güç (GW)

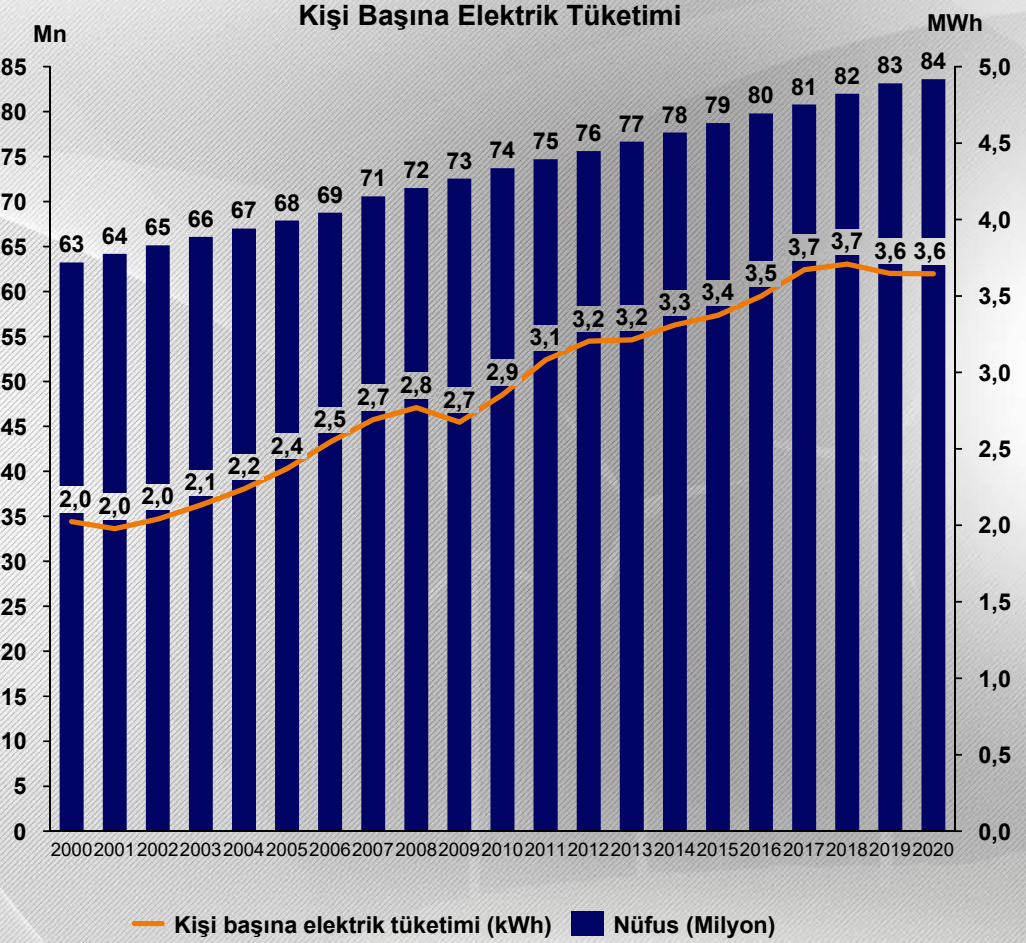
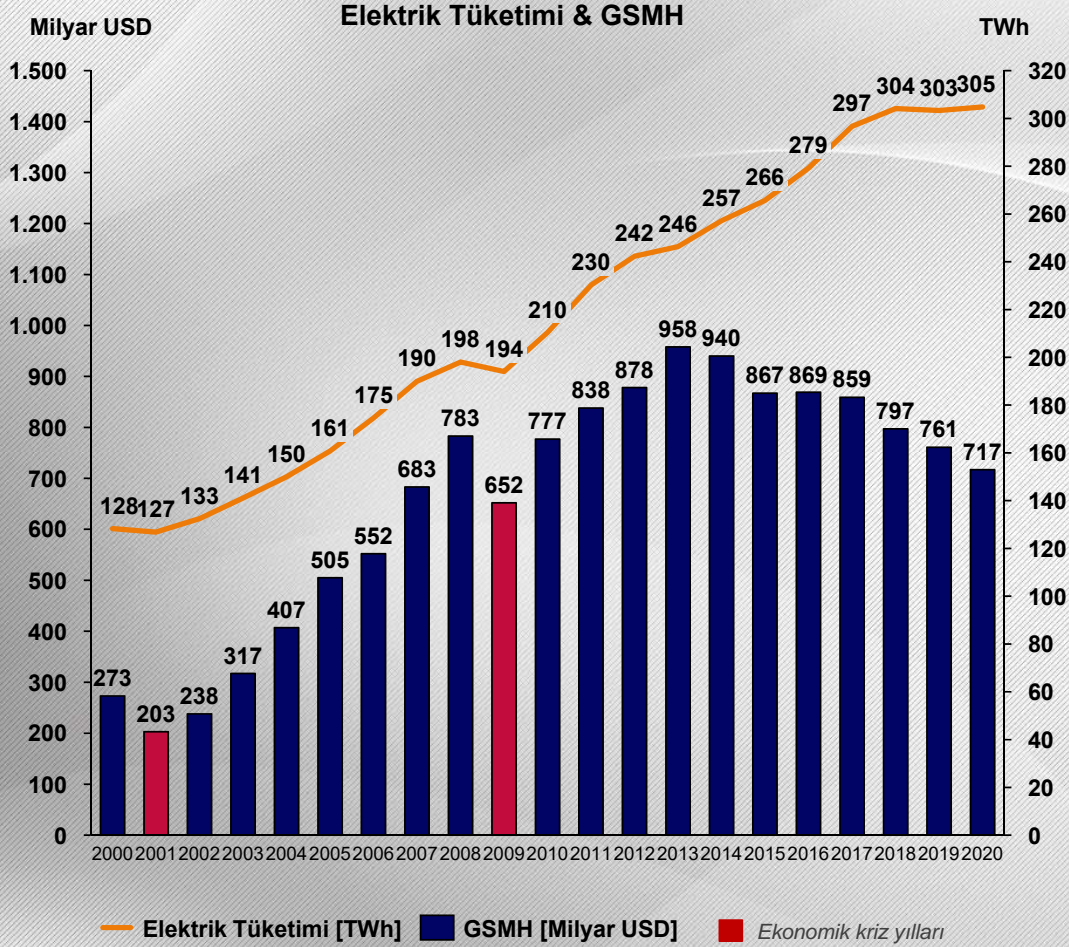


Kurulu güç gelişimi (GW)



Türkiye Elektrik Sektörü Genel Görünüm

Tüketim



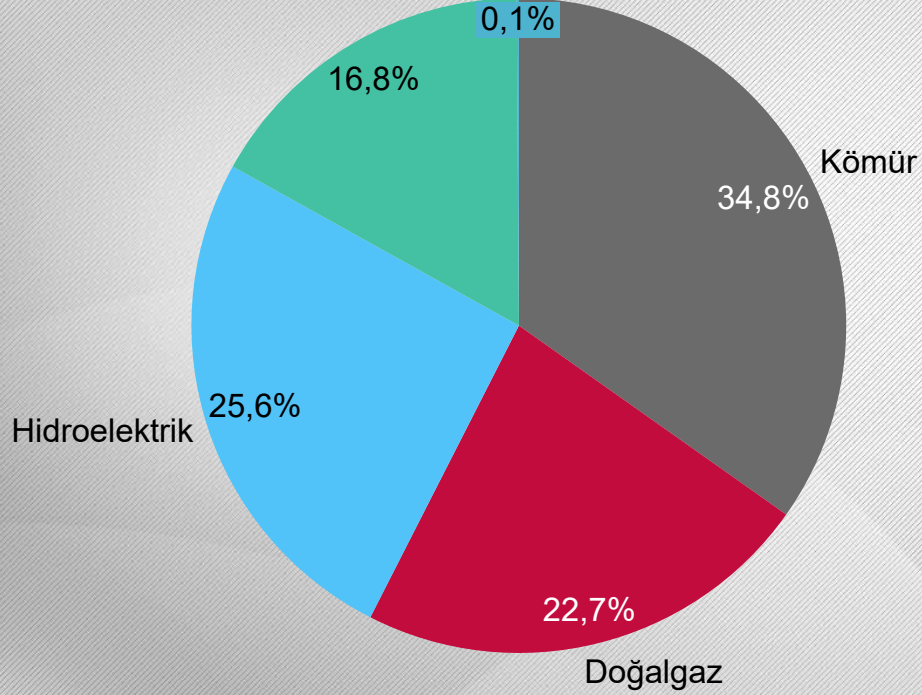
Kaynak: TÜİK, TEİAŞ, Dünya Bankası

Türkiye Elektrik Sektörü Genel Görünüm

Üretim

2020 Yılı Üretim

Jeotermal & Rüzgar & Güneş & Biyokütle Diğer



- 2020 yılında yenilenebilir enerjinin toplam üretimdeki payı 42,4% olmuştur.

Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

48.000 MW, >7,0 m/s – 50m yükseklikte

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ

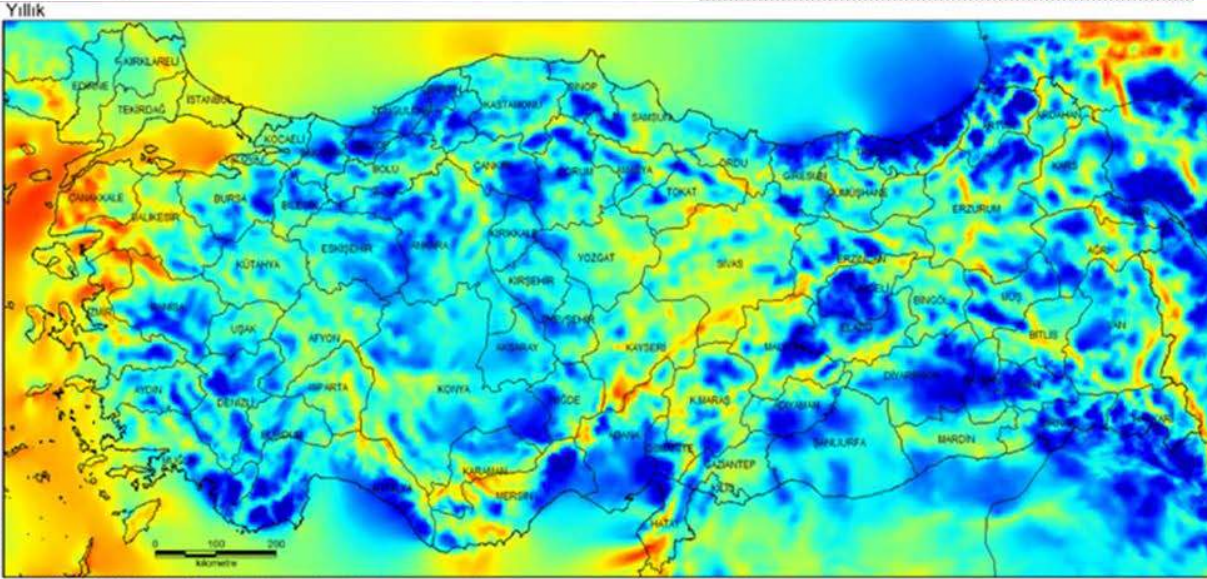
(Yıllık Ortalama Rüzgar hızı > 7,0 m/s - 50 m a.g.l.)

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI (m/s)	ORTALAMA RÜZGAR GÜÇ YOĞUNLUĞU (W/m ²)	TOPLAM KURULABİLECEK GÜÇ MİKTARI (MW)
7,0 – 7,5	400 – 500	29 259,36
7,5 – 8,0	500 – 600	12 994,32
8,0 – 9,0	600 – 800	5 399,92
> 9,0	> 800	195,84
Total		47 849

KARASAL ALANLAR (MW)	DEÑİZ ÜSTÜ ALANLAR (MW)
37 836	10 013

Not:

Hesaplamalarda; rüzgar enerjisi uygulamaları açısından kullanılabilir alanlara 5 MW/km² gücünde RES kurulabileceği kabul edilmiştir.



Kaynak: ETKB

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ

(Yıllık Ortalama Rüzgar hızı > 6,5 m/s - 50 m a.g.l.)

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI (m/s)	ORTALAMA RÜZGAR GÜÇ YOĞUNLUĞU (W/m ²)	TOPLAM KURULABİLECEK GÜÇ MİKTARI (MW)
6,5 – 7,0	300 – 400	83 906,96
7,0 – 7,5	400 – 500	29 259,36
7,5 – 8,0	500 – 600	12 994,32
8,0 – 9,0	600 – 800	5 399,92
> 9,0	> 800	195,84
TOPLAM		131 756,40

Not:

Hesaplamalarda; rüzgar enerjisi uygulamaları açısından kullanılabilir alanlara 5 MW/km² gücünde RES kurulabileceği kabul edilmiştir.

Rüzgar Sektörüne Genel Bakış

Türkiye'de Rüzgar

1998 senesinde Demirer Holding tarafından İzmir Çeşme'de kurulan 1,5 MW'lık **Alize Rüzgar Santrali**



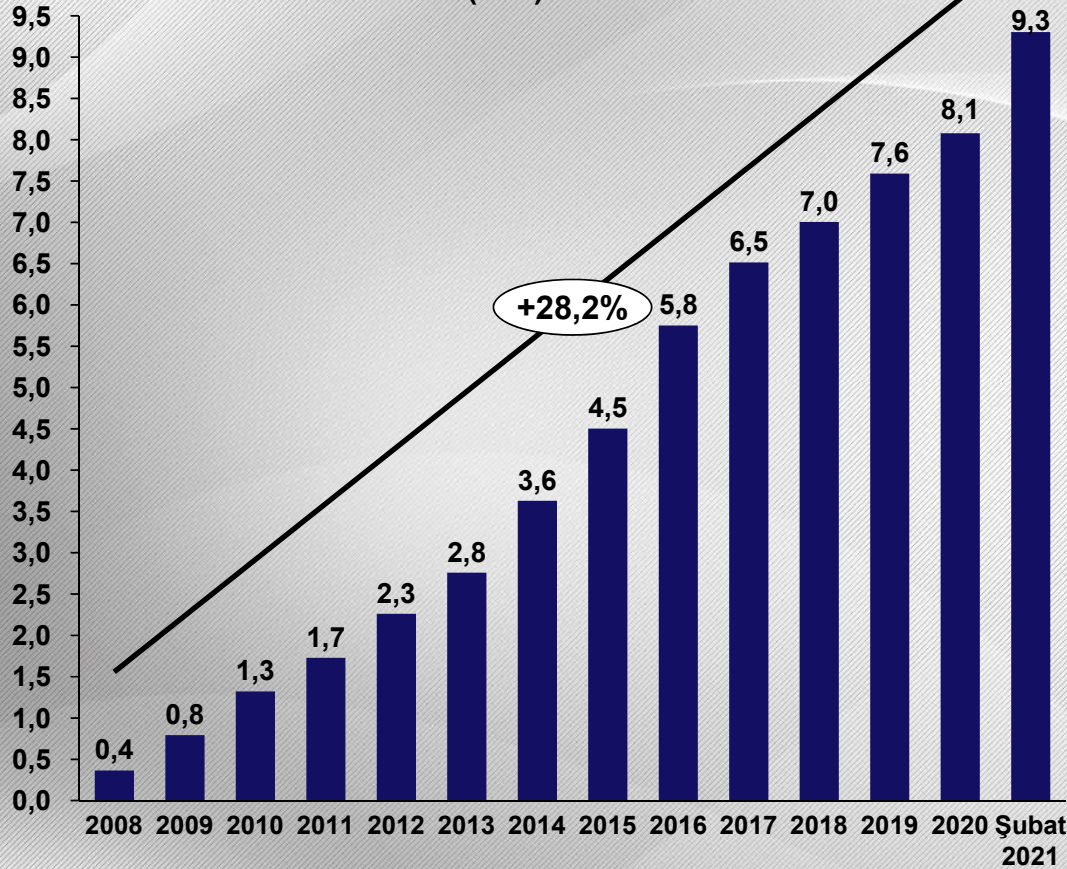
1998'den 2003'e kadar:

- Alaçatı'daki ARES (7,2 MW)
- Bozcaada'daki BORES (10,2 MW)
- Hadımköy'deki Sunjüt RES (1,2 MW)

Rüzgar Sektörüne Genel Bakış

Türkiye'de Kurulu Güç & Rüzgarın Üretimdeki Payı

Türkiye Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü Gelişimi (GW)



Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Genel Görünüm

- Büyüme: YBBO %30,5 (2008 - 2020)
- Kapasite: 9,3 GW (Şubat 2021)
- Pay: %10 (Kurulu Güç)
% 8,4 (Üretim)

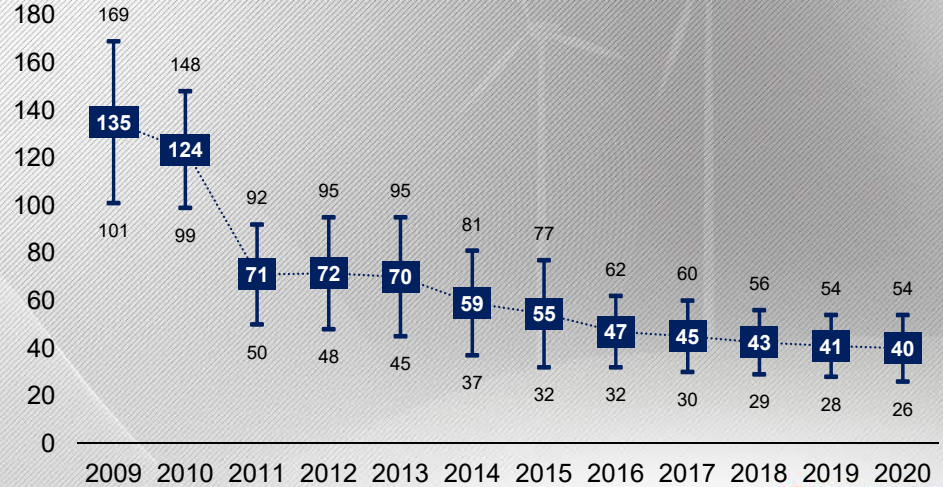
Türkiye'nin son 2008-2020 yıllarındaki rüzgar üretimiyle

- 80,4 milyon ton CO₂ salımı
- Cari açık azaltımı

Rüzgar enerjisinin seviyelendirilmiş elektrik maliyeti:

2009 yılında 135 USD/MWh

2020 yılında 40 - 54 USD/MWh

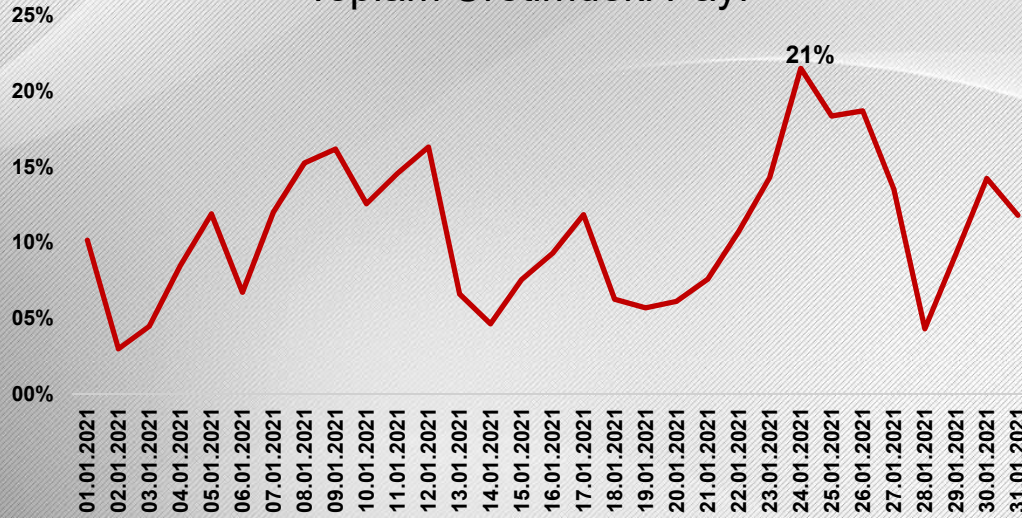


Kaynak: TEİAŞ

Rüzgar Sektörüne Genel Bakış

Rüzgar Enerjisi Artık Enerji Çeşitliliğinde Önemli Bir Kaynak

Ocak 2021 Ayı Türkiye Rüzgar Üretiminin Toplam Üretimdeki Payı



24 Ocak 2021'de rüzgar üretiminin payı toplam üretimde 21%'e çıkarak rekor kırmıştır.

Kaynak: TEİAŞ, EMBER

Wind meets Denmark's 100% power demand on Sep 15

September 19 (Renewables Now) - Wind power generation covered 100% of Denmark's electricity demand for the first time ever on September 15, according to preliminary statistics by the country's transmission system operator Energinet.

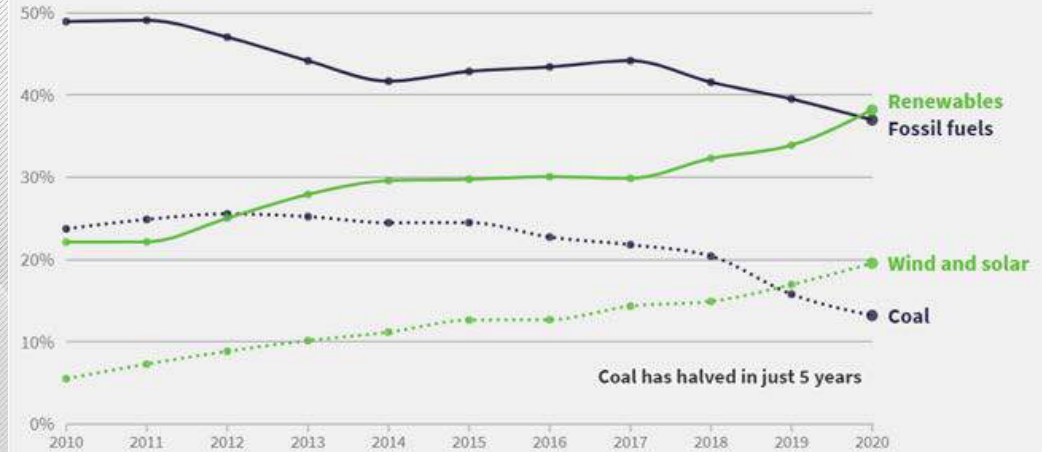
The strong winds spurred production from wind turbines and helped supply 130% of the country's electricity demand from midnight to midnight last Sunday. The excess power was sold abroad.



The Nojsomheds Odde wind farm in Denmark. Source: European Energy A/S

Renewables have overtaken fossil fuels for the first time in the EU

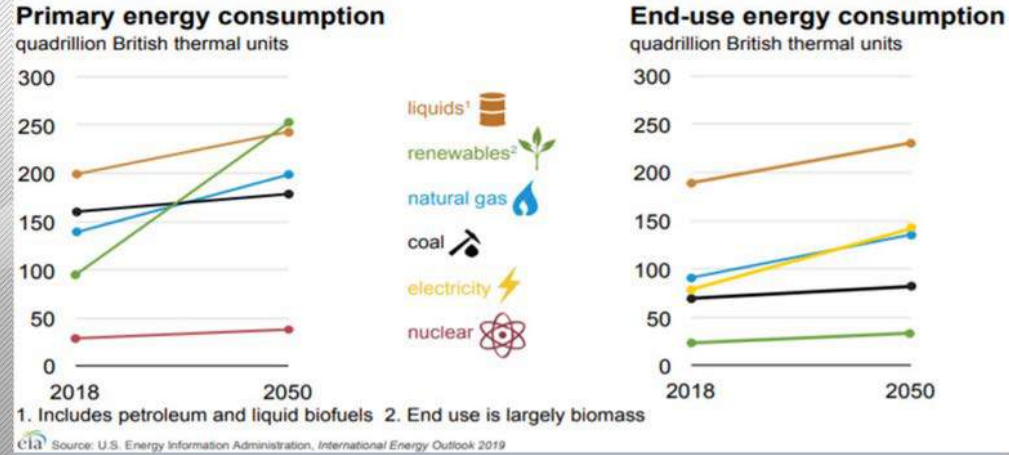
% share of electricity production in EU-27



"Europe's Power Sector in 2020", published by Ember and Agora Energiewende on 25th January 2021.

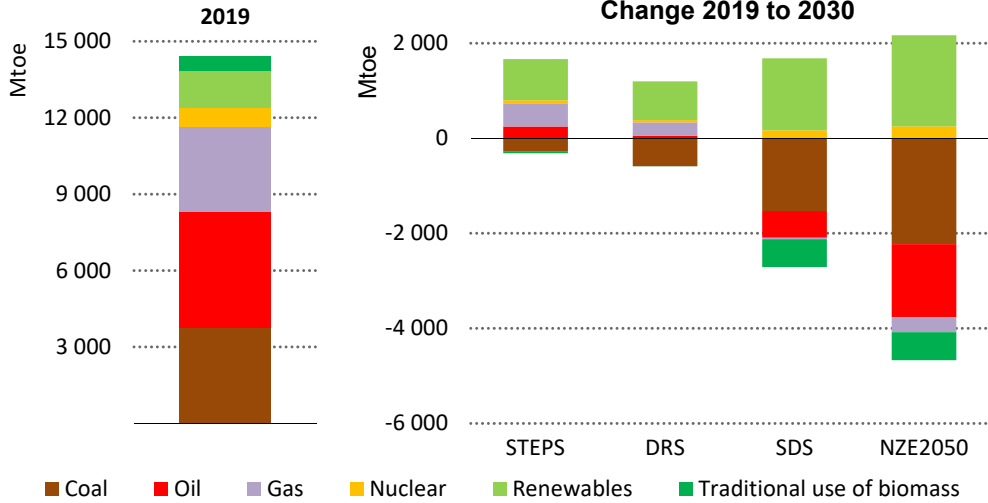
Genel Enerji Görünümü ve Geleceğe bakış

Arz Talep Öngörülerini



- Son kullanıcı tüketimi hızla elektrik yönüne evrilmektedir.
- Yenilenebilir kaynaklar elektrik talebinde petrol bazlı kaynakların hızla önüne geçmektedir
- Rüzgar ve Güneş kaynaklı elektrik talep oranı toplamda ~50%'ye gitmektedir
- Dünya çapında sunulan gelişim senaryolarında primer enerji kaynak kullanımı açısından net değişimin yenilenebilir odaklı olacağını göstermektedir.

Total primary energy demand forecast

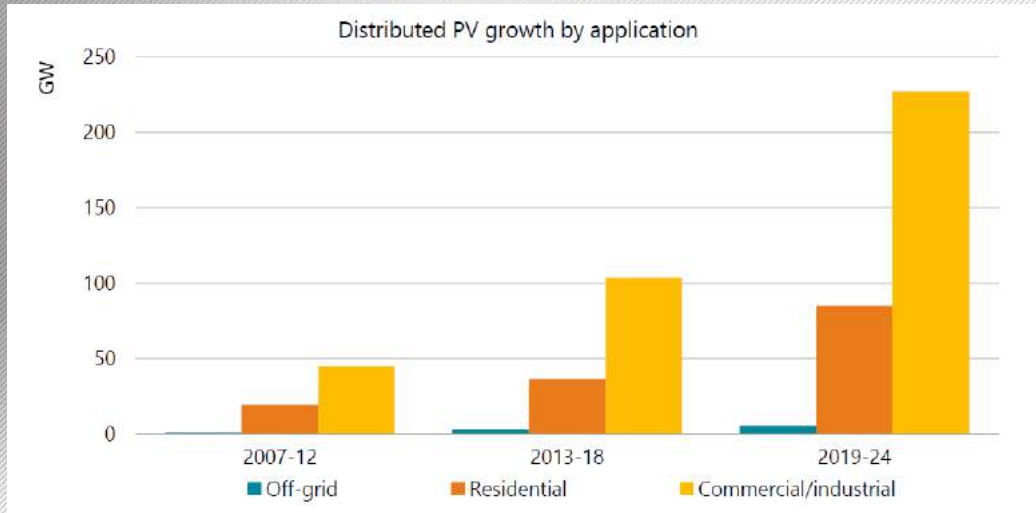
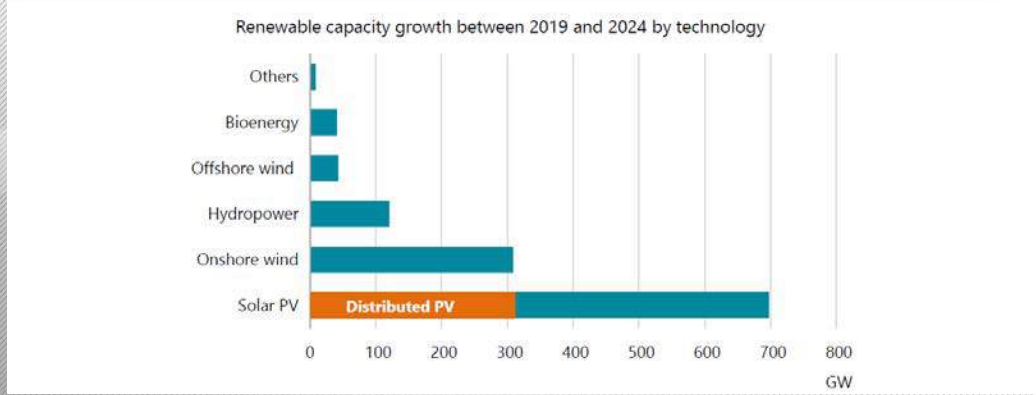


Kaynak: IEA Renewables

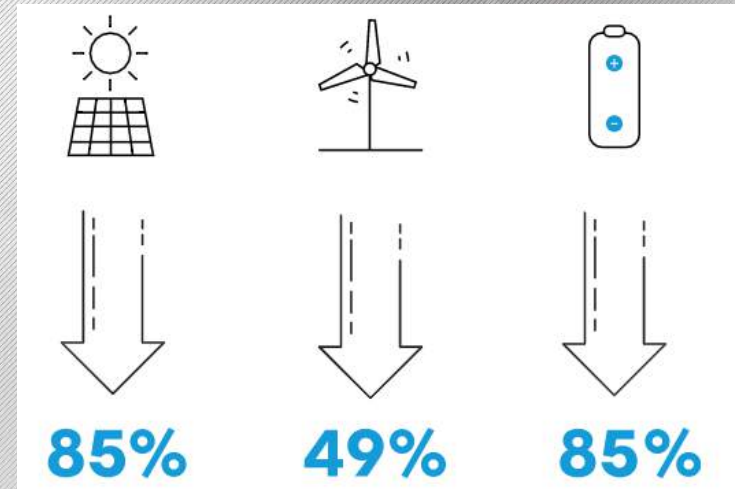
Genel Enerji Görünümü ve Geleceğe bakış

Arz Talep Öngörülleri

Solar PV drives strong rebound in renewable capacity expansion



- Güneş Enerjisi artışının yenilenebilir içerisindeki payı ~%50
- Güneş içerisinde öne çıkan ise dağıtık pv santralleridir (distributed pv)
- Yenilenebilir enerji talebindeki artışın ana parametrelerinden birisi de 2010 yılından 2019'a teknoloji maliyetlerindeki değişim.



Kaynak: IEA World Energy Outlook, BloombergNEF 2019 Technology cost declines since 2010

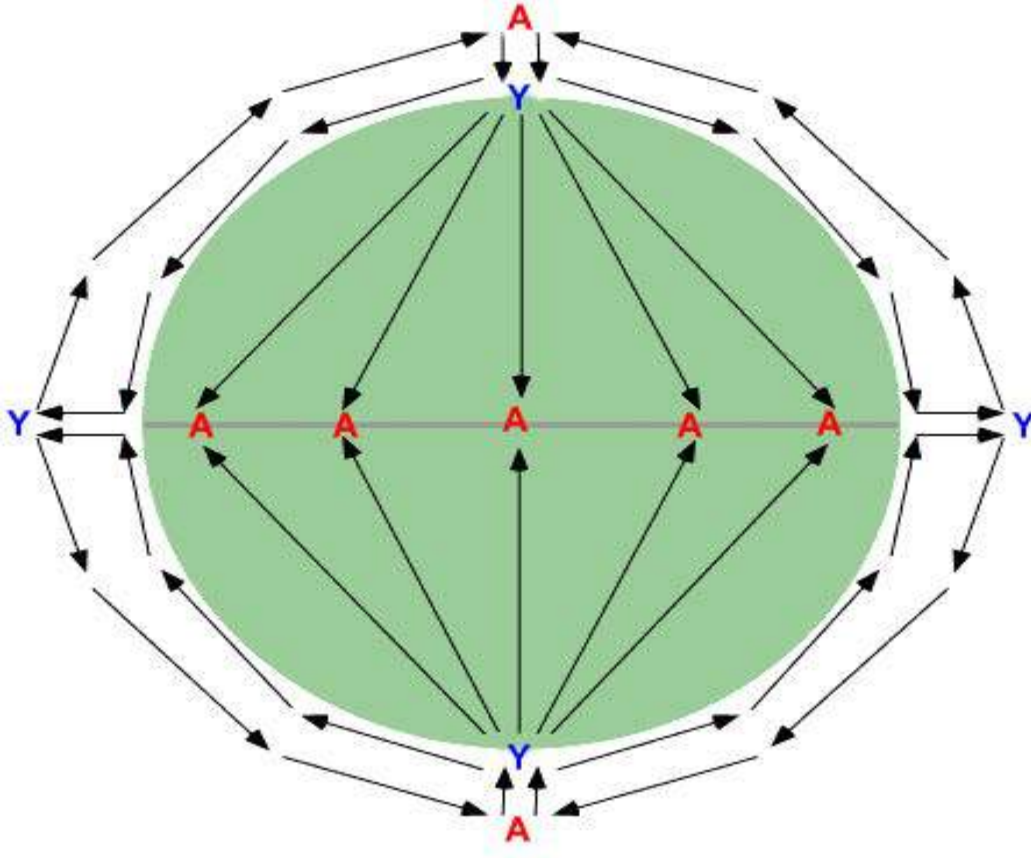
RÜZGAR ENERJİSİ, SİSTEMLER, BİLEŞENLER VE KARAKTERİSTİKLERİ



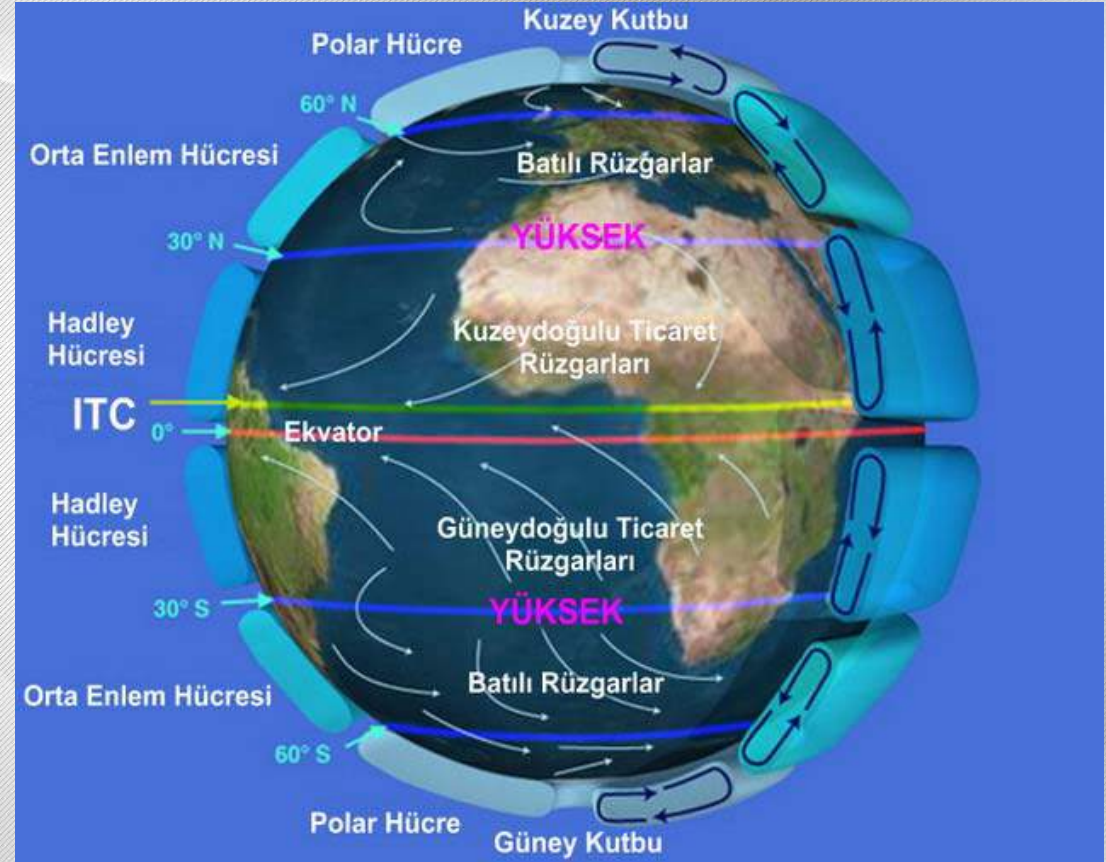
Rüzgar Genel Prensipleri

Global Rüzgarlar

Tek hücreli rüzgar akışı



Atmosferin genel sirkülasyonu



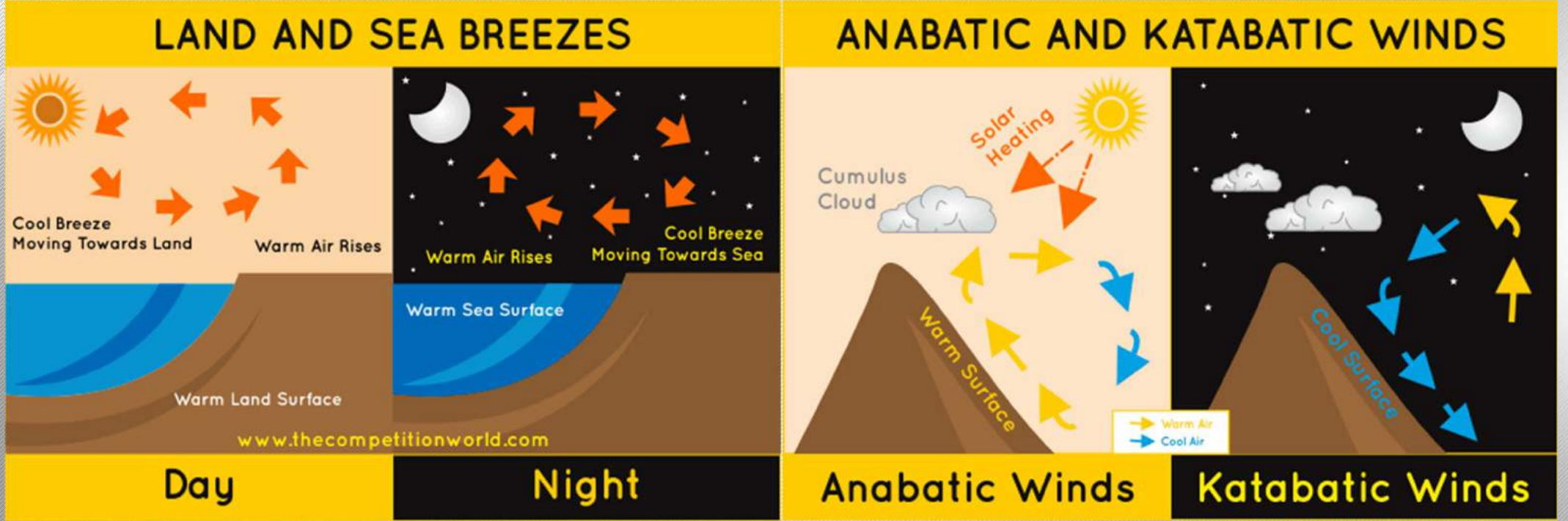
Rüzgar Genel Prensipleri

Farklı Bölgelerde Lokal Rüzgarlar



Rüzgar Genel Prensipleri

Daha Küçük Ölçekli Lokal Rüzgarlar



Deniz Meltemi

Kara Meltemi

Vadi Meltemi

Dağ Meltemi

Rüzgar Türbini

Ferrari? 5,5 MW Rüzgar Türbini?...



- **Ferrari 488**
- 661 hp
- 0-100 km/h @ 3,0 s
- 100-0 km/h @ 2,9 s
- Max 330 km/h



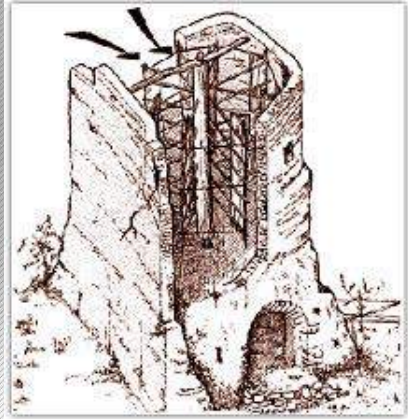
- **5,5 MW Rüzgar Türbini**
- 7375 hp
- 0-100km/h @ 2,6 s
- 100-0 km/h @ 1,0 s
- Max 344 km/h (kanat uç hızı)

Rüzgar Türbinleri Tarihçesi

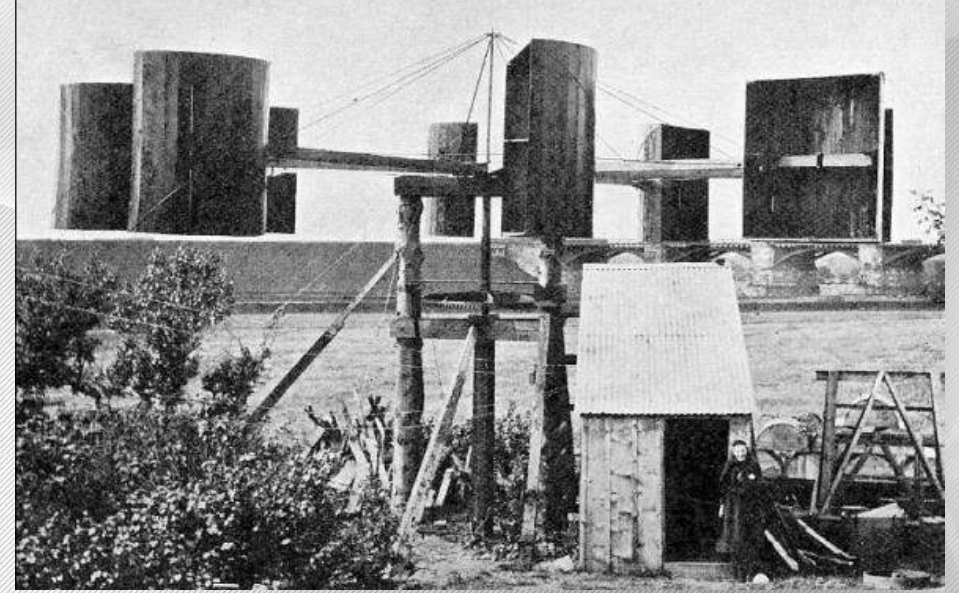
Rüzgar Türbinlerinin Ataları



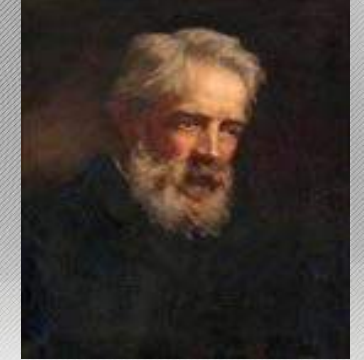
Architecture of the Islamic World, Its History and Social Meaning, Page 188,
Edited by George Michell, 1978 Thames & Hudson Ltd, London



9. yy, Persler
Düşey eksenli-Savonius

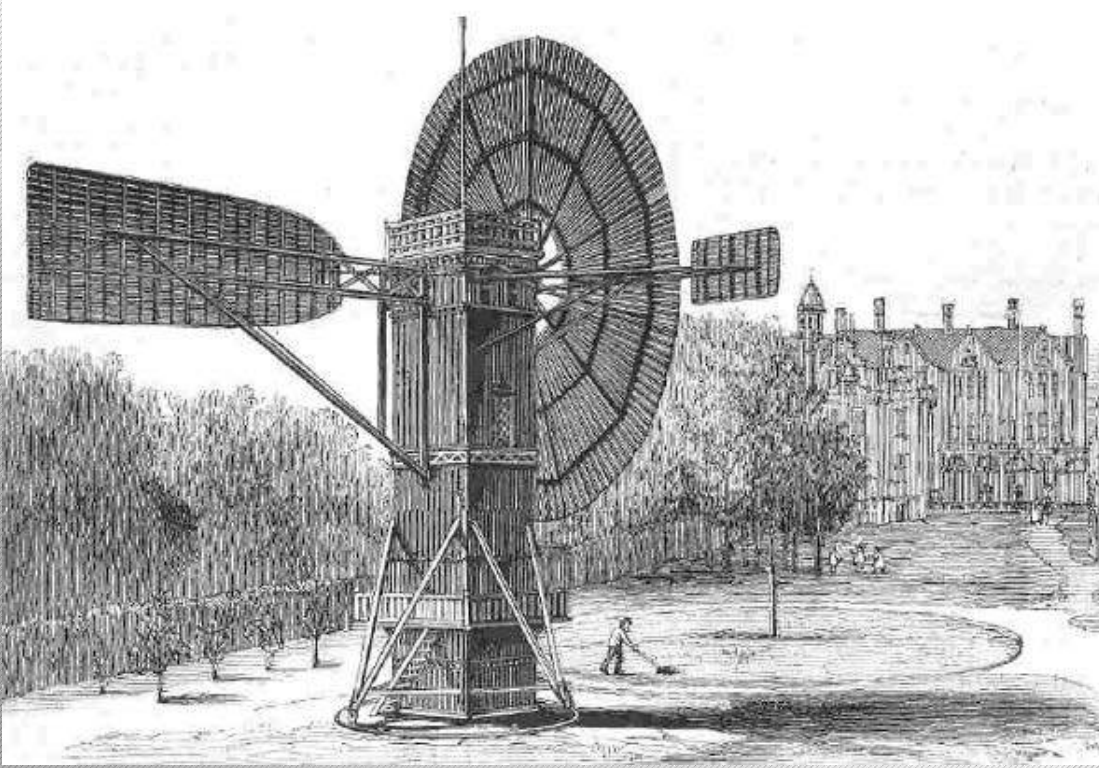


James Blyth, 1887,
İskoçya

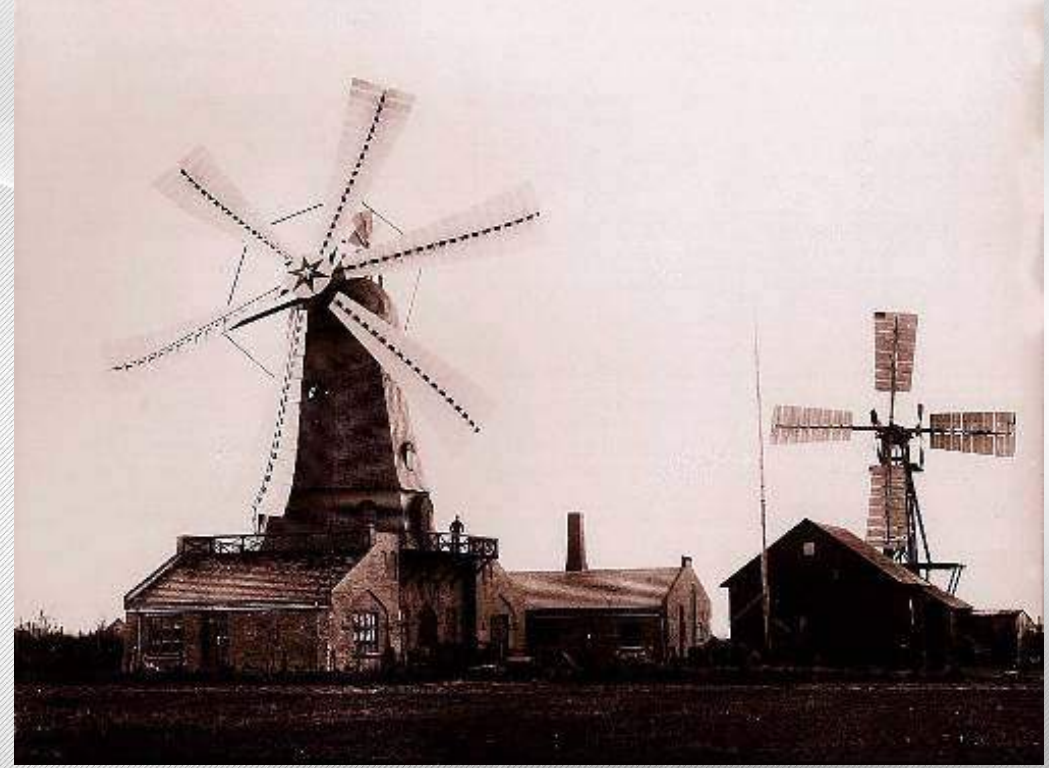


Rüzgar Türbinleri Tarihçesi

Rüzgar Türbinlerinin Ataları



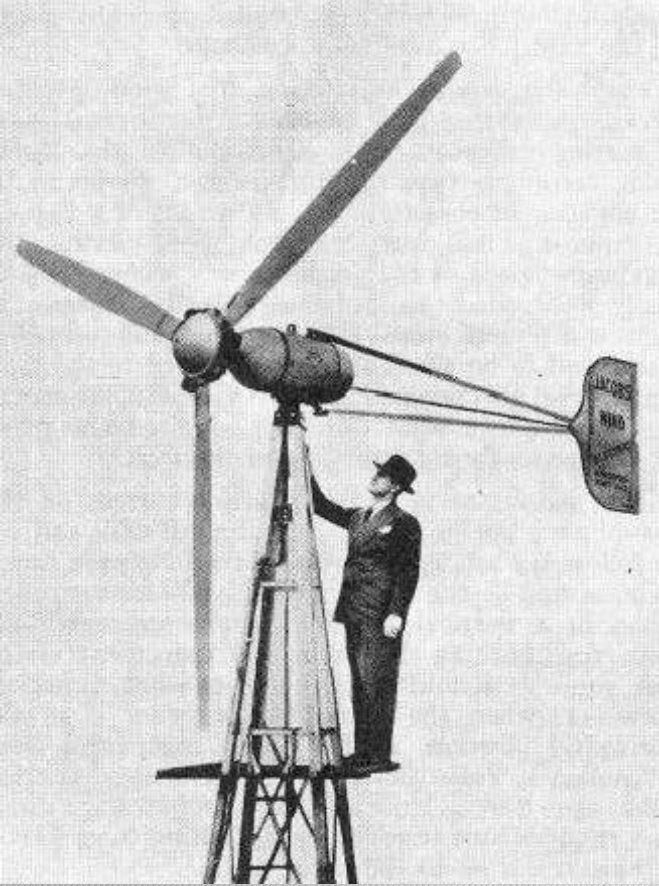
Brush Windmill, 17 m, 12 kW,
1888
Cleveland, ABD



La Cour, 11 m ve 23 m
1891 ve 1897
Askov, Danimarka

Rüzgar Türbinleri Tarihçesi

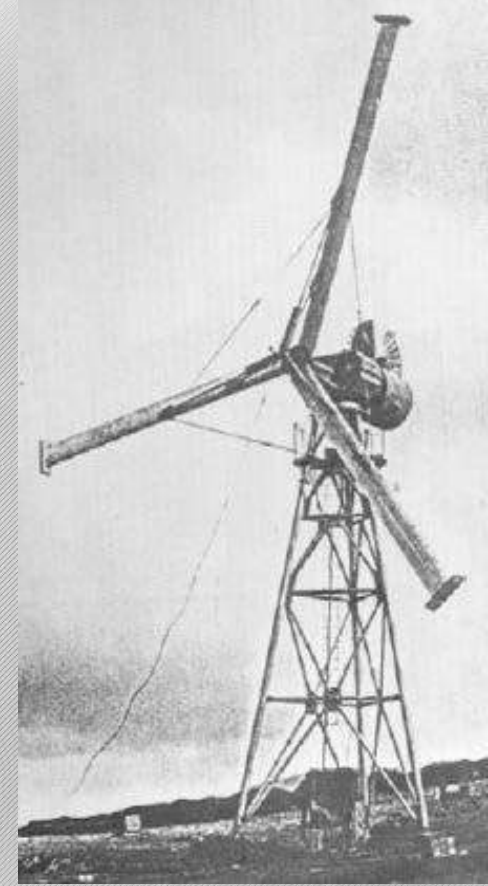
Rüzgar Türbinlerinin Ataları



Jacobs,
4,6 m, 2,5 kW,
1930'lar ABD



John Brown Türbini
24 m, 100 kW
1954 İskoçya



Isle of Man Türbini
15 m, 100 kW
1959 İngiltere

Rüzgar Türbinleri Tarihçesi

Rüzgar Türbinlerinin Ataları



Tvind, 54 m, 1,2 MW, 1977
Ulfborg, Danimarka
İlk MW'lık rüzgar türbini



Rüzgar Türbinleri Tarihçesi

Modern Rüzgar Türbinlerine Geçiş Dönemi



Avrupa'daki Ar-Ge için kurulan türbinler
Danimarka, Hollanda, İtalya, Almanya, İspanya
(1989-1992)



Rüzgar Türbinleri Tarihçesi

Bugün...



Deniz üstü (offshore) türbinler 10-12 MW güç ve 220 metreye varan kanat çaplarına sahiptir

Rüzgar Türbinleri Tarihçesi

Günümüzden Örnekler: Balabanlı RES, Bandırma RES

Balabanlı RES:
3,6 MW
Kule yüksekliği: 115m
Rotor çapı: 130m



Bandırma RES:
3,3 MW
Kule yüksekliği: 90m
Rotor çapı: 112m



Rüzgar Ölçüm ve Saha Analizleri

Ölçüm Cihazları ve Sistemleri

Anemometre



Wind Vane



Sıcaklık & Nem Sensörleri



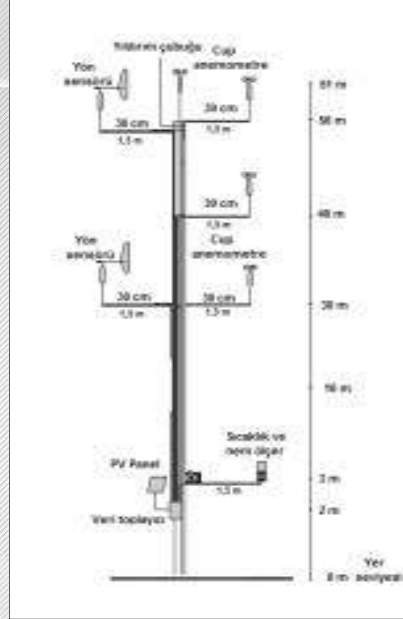
Data Logger



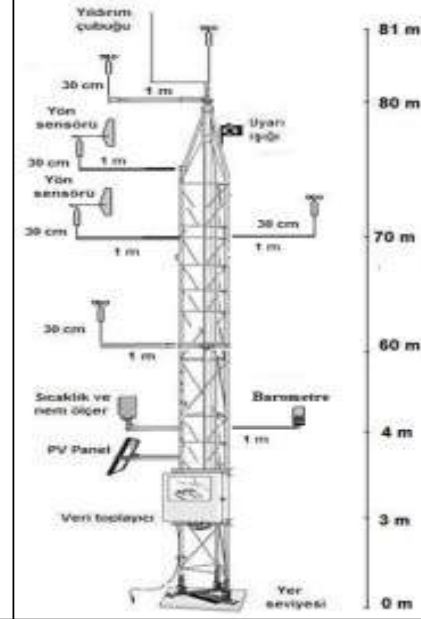
Rüzgar Verisi

```
#BEGINDATA 1.8.2012
01.08.2012 00:00:00 0 8.5972 9.9139 7.5365 0.35
01.08.2012 00:10:00 0 8.0028 8.9081 7.2164 0.31
01.08.2012 00:20:00 0 8.1400 9.0452 7.1250 0.31
01.08.2012 00:30:00 0 7.2300 7.9022 6.4382 0.30
01.08.2012 00:40:00 0 7.2300 7.9022 6.4382 0.30
01.08.2012 00:50:00 0 7.2300 7.9022 6.4382 0.30
01.08.2012 01:00:00 0 7.4770 8.0394 6.5764 0.21
01.08.2012 01:10:00 0 7.7651 8.5880 6.8964 0.26
01.08.2012 01:20:00 0 7.8657 8.4052 7.0793 0.24
01.08.2012 01:30:00 0 7.4405 8.1766 6.5306 0.24
```

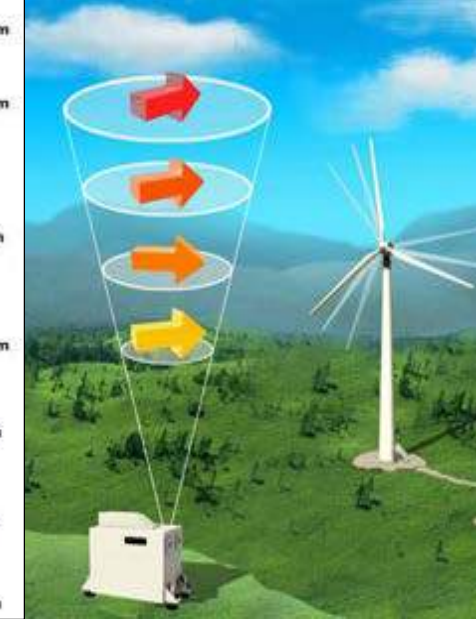
Boru tipi rüzgar ölçüm sistemi



Kafes tipi rüzgar ölçüm sistemi



LIDAR tipi rüzgar ölçüm sistemi



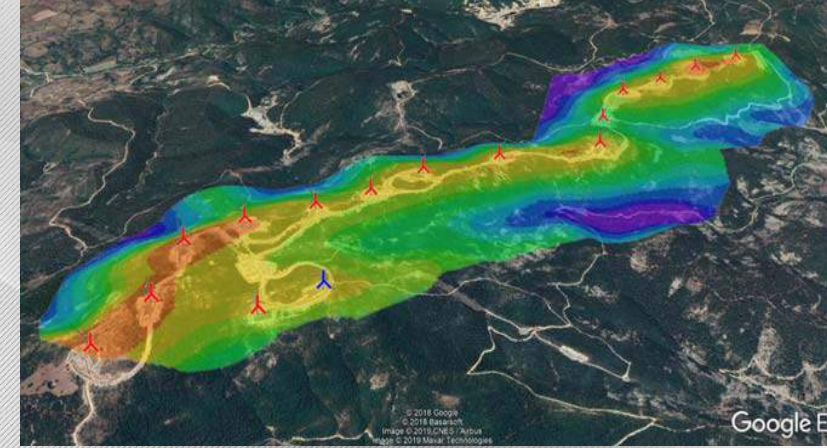
Rüzgar Ölçüm ve Saha Analizleri

Saha Planlaması ve Yıllık Enerji Üretimi (AEP) Hesabı

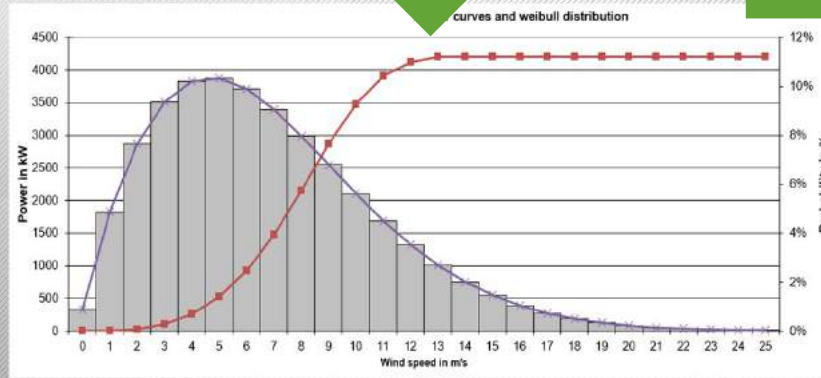
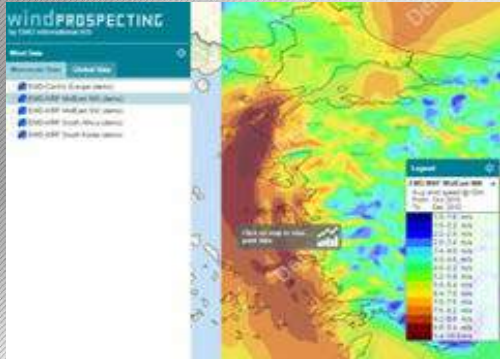


```
#BEGINDATA 1. 8. 2012
01.08.2012 00:00:00 0 8.5972 9.9139 7.5365 0.35
01.08.2012 00:10:00 0 8.0028 8.9081 7.2164 0.31
01.08.2012 00:20:00 0 8.1400 9.0452 7.1250 0.31
01.08.2012 00:30:00 0 7.2302 7.9022 6.4392 0.30
01.08.2012 00:40:00 0 7.1890 8.8624 5.9363 0.50
01.08.2012 00:50:00 0 7.5045 8.4966 6.0734 0.31
01.08.2012 01:00:00 0 7.4770 8.0394 6.5764 0.21
01.08.2012 01:10:00 0 7.7651 8.5880 6.8964 0.26
01.08.2012 01:20:00 0 7.8657 8.4052 7.0793 0.24
01.08.2012 01:30:00 0 7.4405 8.1766 6.5306 0.24
```

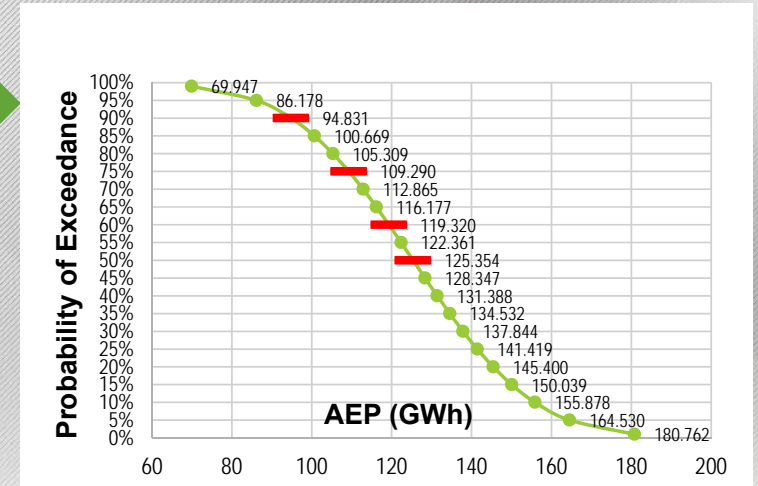
Ham Veri



Google E



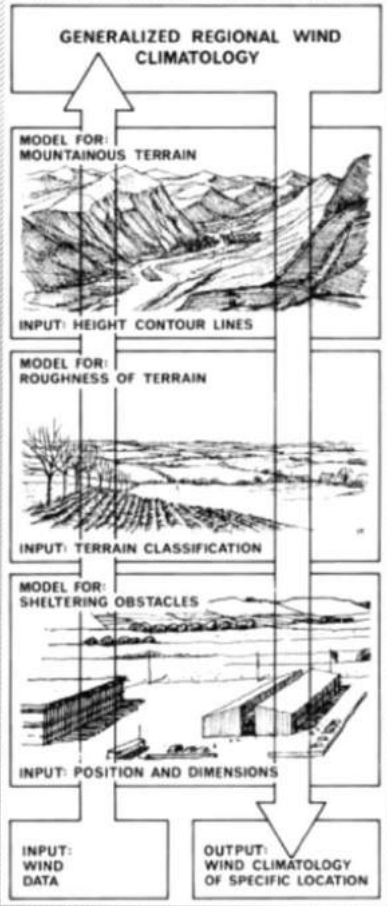
Rüzgar hız dağılımı (Weibull), Türbin Güç Eğrisi



Üretim Analizi

Rüzgar Ölçüm ve Saha Analizleri

Saha Modelleme



Navier-Stokes Equations
3 - dimensional - unsteady

Glenn Research Center

Coordinates: (x,y,z) Time: t Pressure: p Heat Flux: q
 Velocity Components: (u,v,w) Density: ρ Stress: τ Reynolds Number: Re
 Total Energy: Et Prandtl Number: Pr

Continuity: $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$

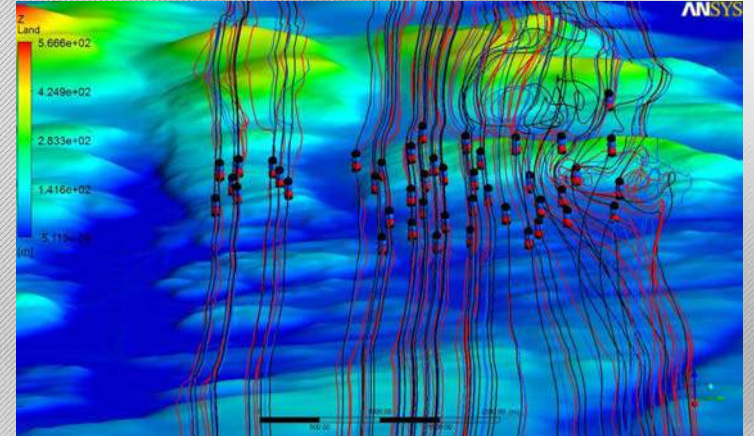
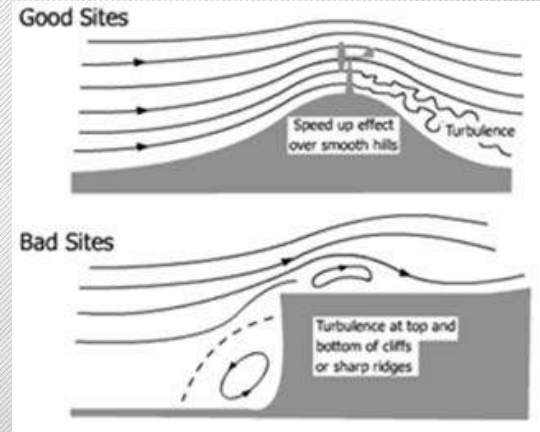
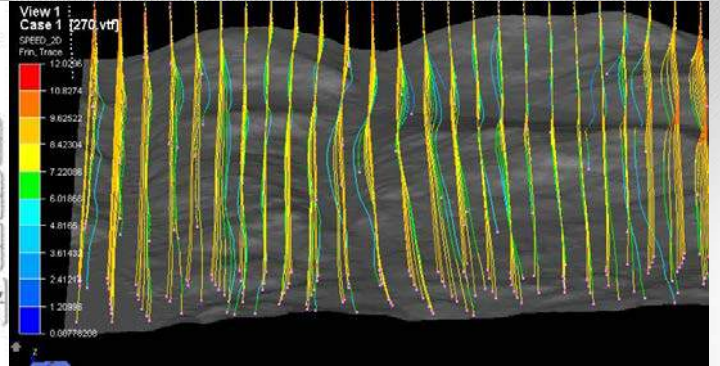
X - Momentum: $\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right]$

Y - Momentum: $\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right]$

Z - Momentum: $\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right]$

Energy: $\frac{\partial(E_t)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_t)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_t)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_t)}{\partial z} = \frac{\partial(uq)}{\partial x} + \frac{\partial(vq)}{\partial y} + \frac{\partial(wq)}{\partial z} + \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right]$

$+ \frac{1}{Re} \left[\frac{\partial}{\partial x} (u \tau_{xx} + v \tau_{xy} + w \tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u \tau_{xy} + v \tau_{yy} + w \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (u \tau_{xz} + v \tau_{yz} + w \tau_{zz}) \right]$

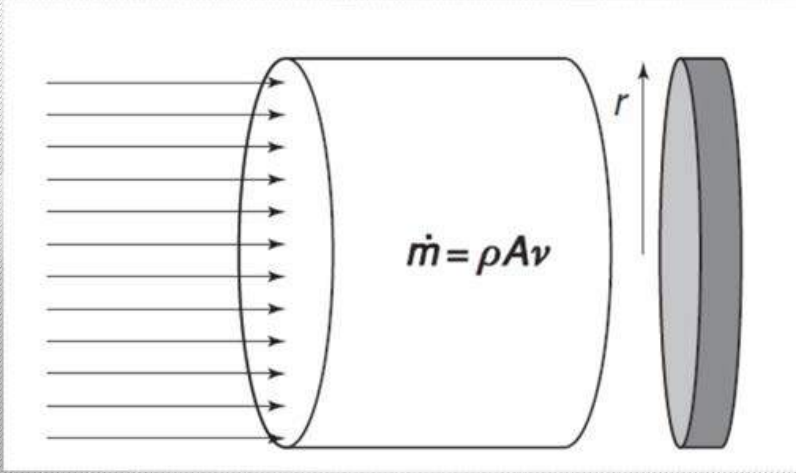


WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program)

Metodoloji 80'lerin başında Avrupa Rüzgar Atlası'nın hazırlanmasında kullanıldı ve 1989'da yayınlandı.

CFD (Sayısal Akışkanlar Dinamiği) Analizleri

Rüzgar Türbini Güç Denklemi



$$\dot{E} = \frac{1}{2} \dot{m} v^2$$

$$\dot{m} = \rho Av$$

$$\dot{E} = P = \frac{1}{2} \rho Av v^2 = \frac{1}{2} \rho Av^3$$

$$P_t = \frac{1}{2} \rho Av^3 c_p$$

Süpürme Alanı
(m^2)

Hız
(m/s)

Güç
(W)

Hava Yoğunluğu
(kg/m^3)

Güç Katsayısı

Rüzgar Türbini

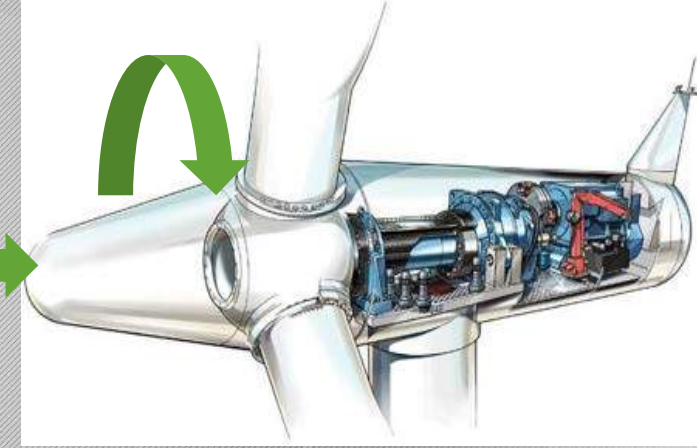
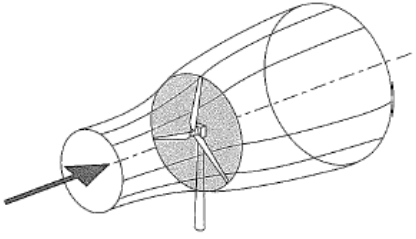
Çalışma Prensibi

Rüzgar Enerjisi

Kanat üzerinde kuvvet

Rotorun dönmesi

Dişli kutusundan generatöre aktarım



Kinetik Enerji

Mekanik Enerji

Elektrik Enerjisi

Komponent

Rotor

Dişli Kutusu

Generatör

Konvertör

Verim

45-52%

95-97%

97-98%

96-99%



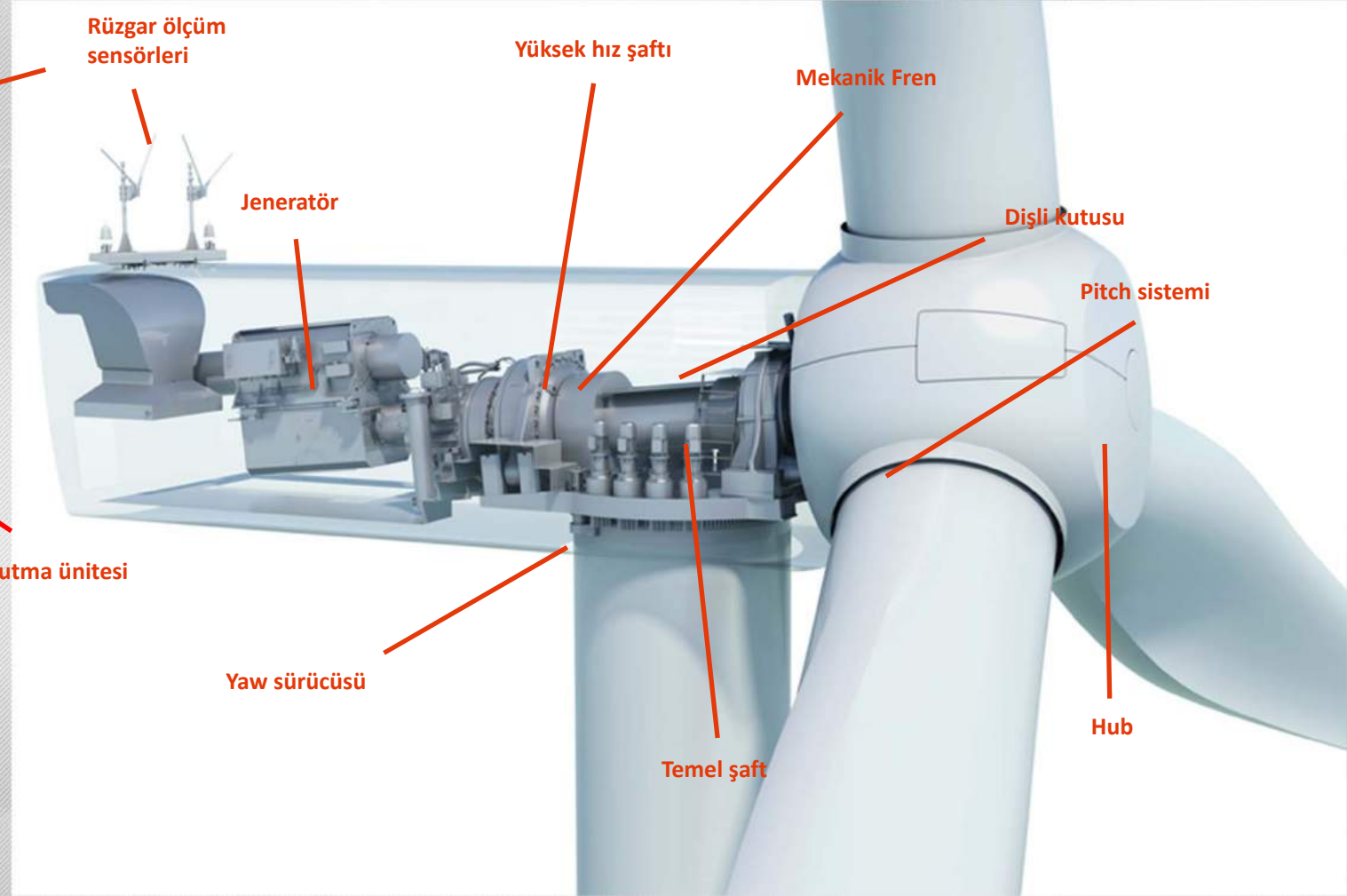
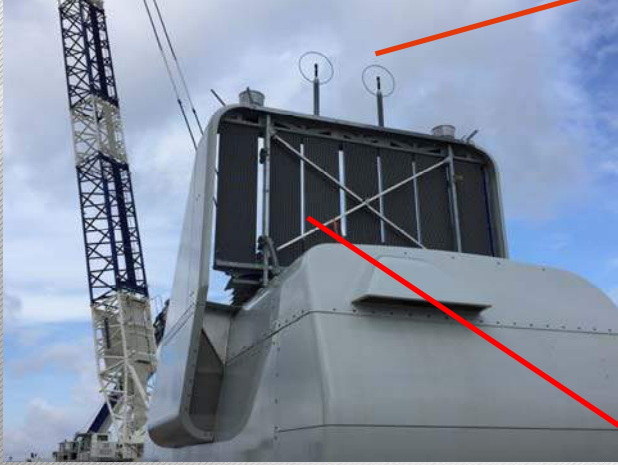
[youtube: how it works](#)

Genel: %42 – 50% verimlilik bugün... Teorik maksimum verim 59,3% (kayıpsız)

Rüzgar Türbini

Modern Rüzgar Türbini Tipleri

Dişli Kutulu (Geared)



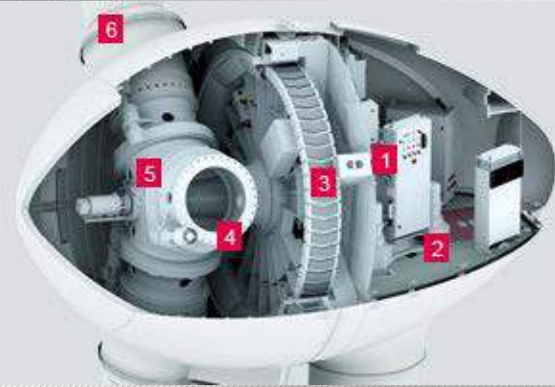
Rüzgar Türbini

Modern Rüzgar Türbini Tipleri

Dişli Kutusuz (Direct Drive)

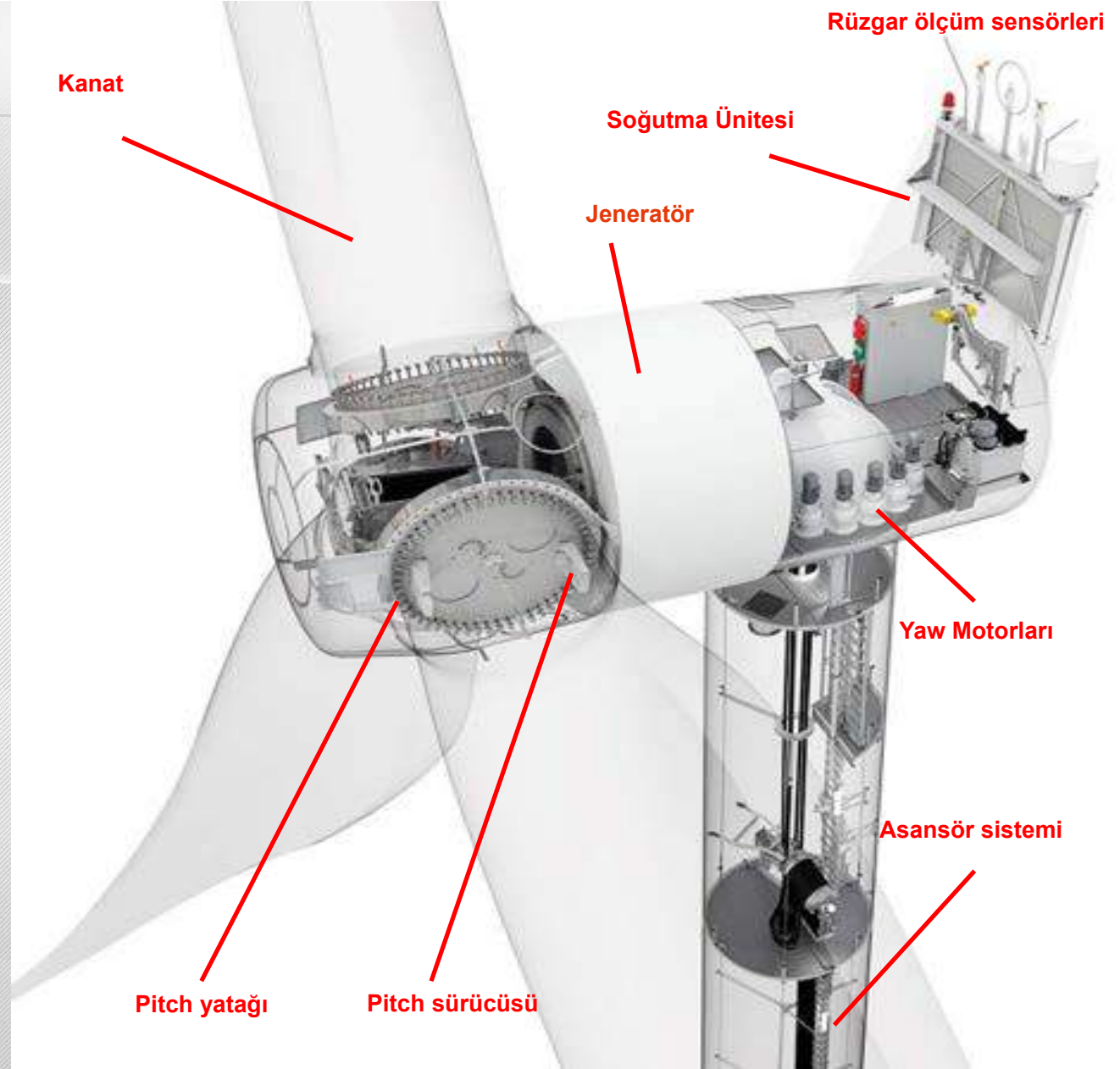


Daimi mıknatıslı jeneratör



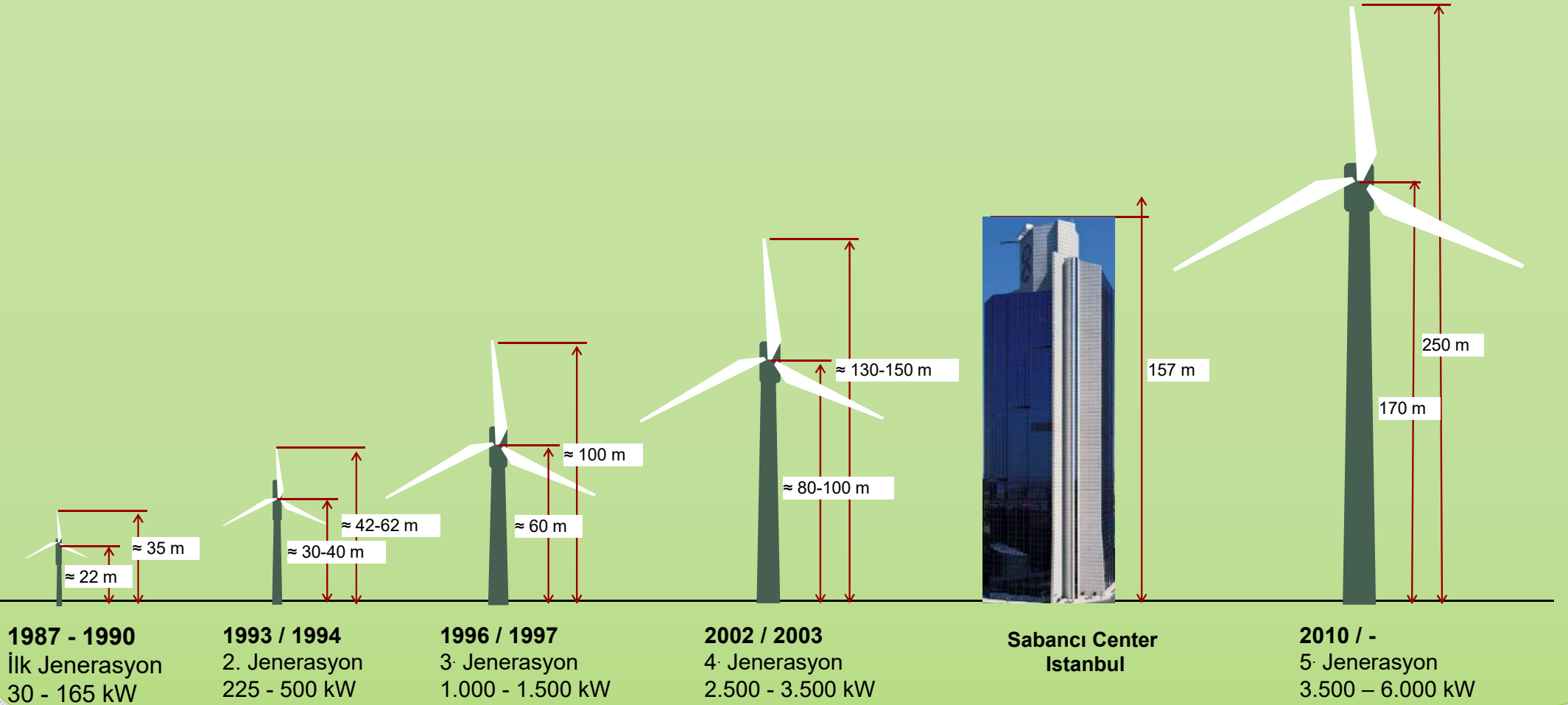
- 1 Main carrier
- 2 Yaw drive
- 3 Annular generator
- 4 Blade adapter
- 5 Rotor hub
- 6 Rotor blade

Bakır sargılı jeneratör



Rüzgar Türbini

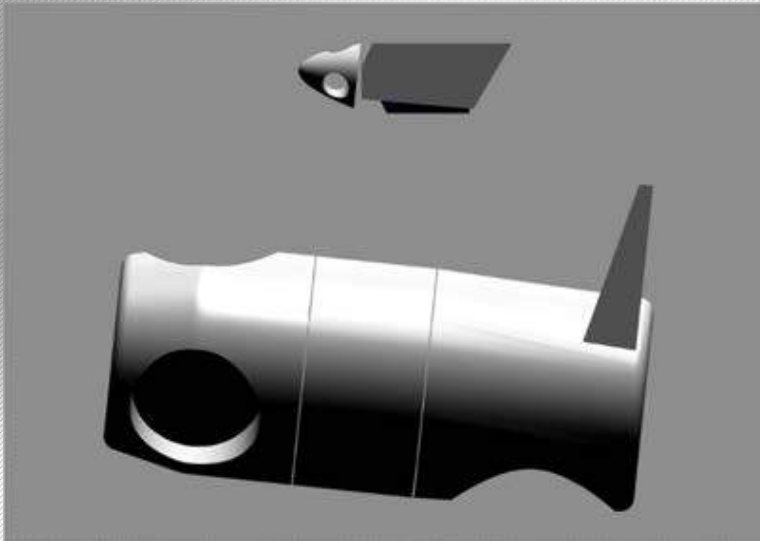
Kule Yüksekliklerinin Gelişimi



Nasel

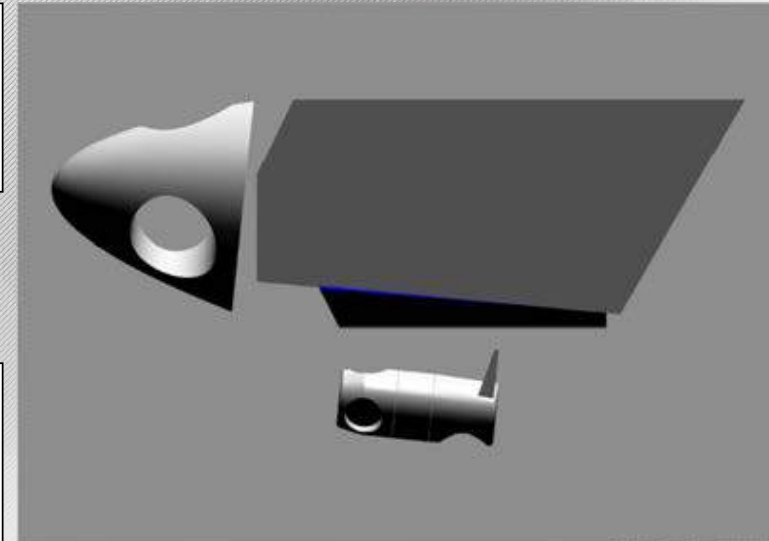


Aynı teknoloji ile ölçeklendirilseydi 1980 deki türbinin ağırlığı/boyutu ne olurdu?



- 30 kW
- 10 m rotor
- 1.3 tons

- 3600 kW
- 130 m rotor
- 1584 ton



- 3600 kW
- 130 m
- 96 tons

- 3600 kW
- 130 m
- 96 tons

Rüzgar Enerji Santrali

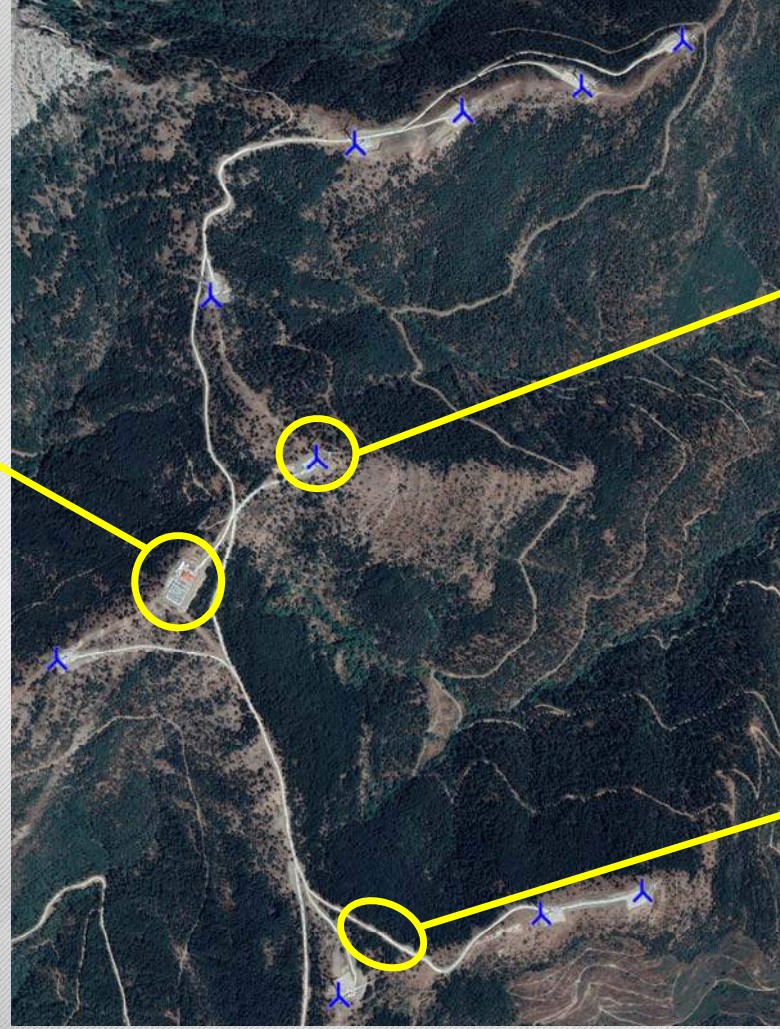
Türbin Dışındaki Santral Altyapısı ve Diğer Bileşenler; Fuat RES, 30 MW, 10xV112 3MW



Elektrik İşleri (154kV Şalt ve Kontrol Merkezi)



Enerji İletim Hattı



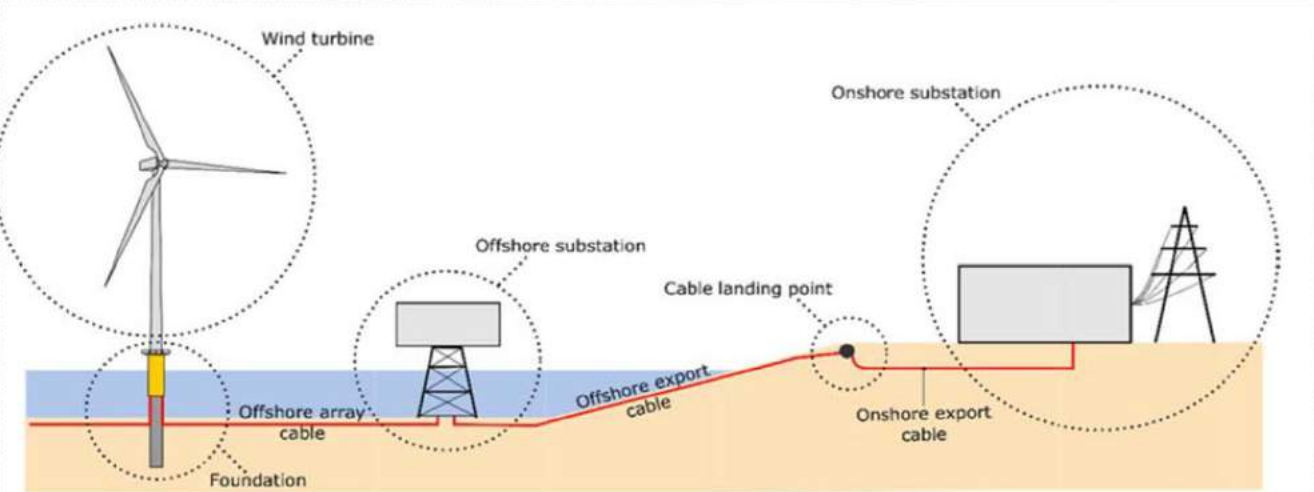
İnşaat İşleri (Temeller)



İnşaat İşleri (Yollar)

Rüzgar Enerji Santrali

Deniz Üstü (offshore) Türbinler



Overview of a wind farm.

Yüzen (Floating) Deniz-üstü Türbinler

30 MW

135 houses

Siemens 6 MW wind turbines

258 m

325 m

Eiffel Tower Paris

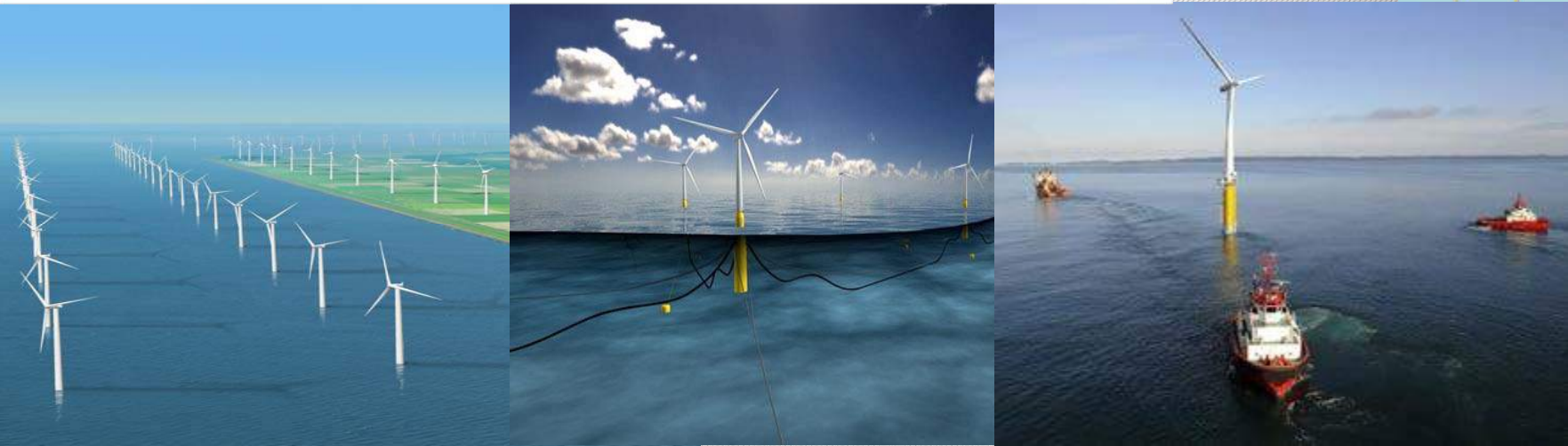
The world's first floating wind farm consists of five Siemens wind turbines each with a capacity of 6 MW. The Hywind Scotland project is located 25 km off the Scottish coast in waters ranging between 90 and 120 meters deep.

Each turbine is mounted as a slender cylinder filled with ballast, which stabilizes the wind turbine. A three-point anchor system attaches the floating turbine to the seabed. Interarray cables transport power to shore.

According to the consulting firm MAKI, some 3-4 gigawatts of floating wind power could be installed by 2030.

FLOATING WINDFARM

www.siemens.com/wind



Full story of Hywind Scotland – world's first floating wind farm <https://www.youtube.com/watch?v=PUlFvXaISvc>

Türbin Teknolojileri

Zincirin Eksik Halkası (Depolama)

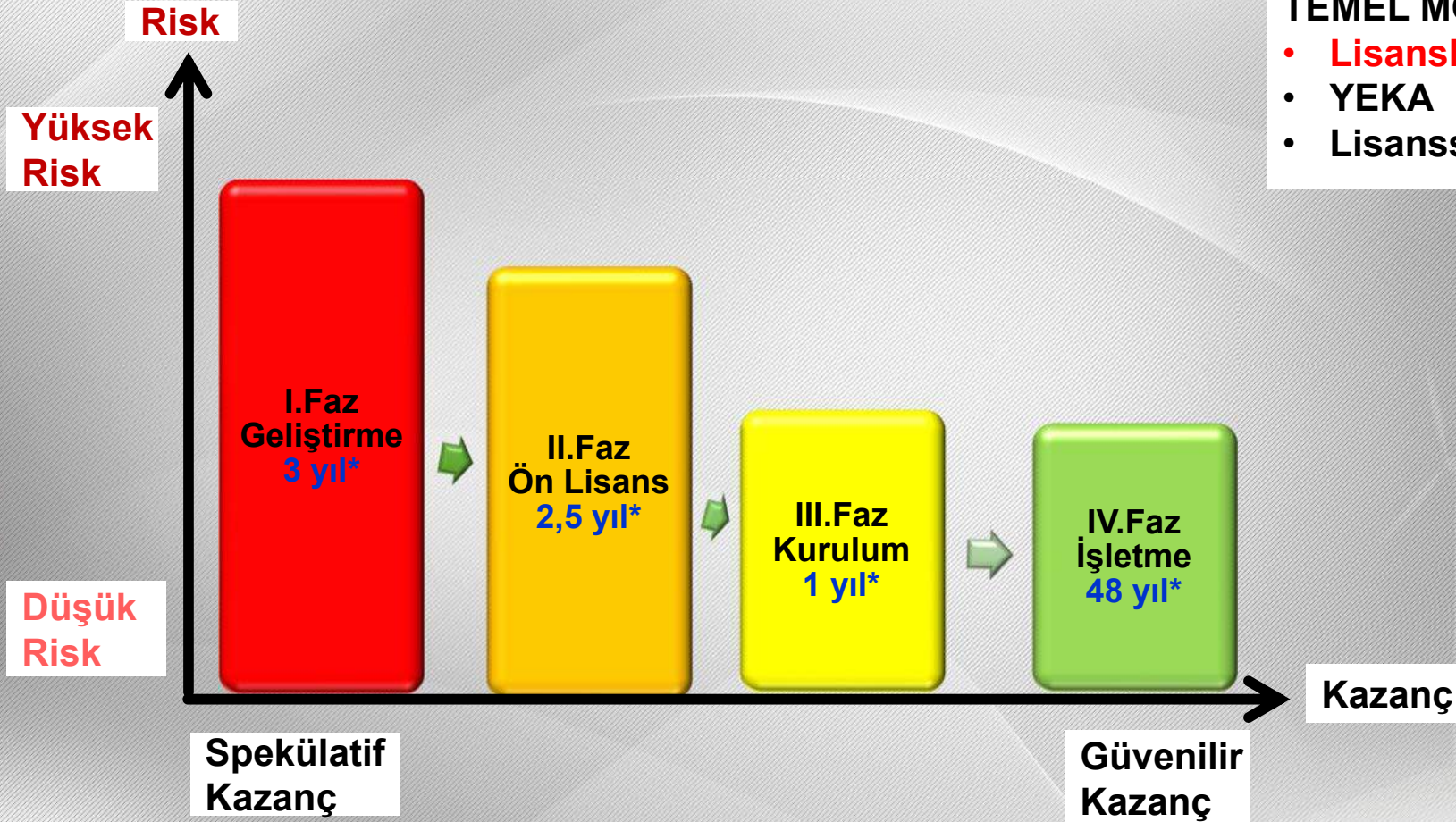


Örnek Uygulama ve Fizibilite Hesapları



Rüzgar Enerji Santralleri Yatırım-İşletme Süreci

Risk-Kazanç İlişkisi



TEMEL MODELLER:

- Lisanslı-Kapasite tahsisi
- YEKA
- Lisanssız

* 30-60 MW için ortalama süreler

Rüzgar Enerji Santralleri Yatırım-İşletme Süreci

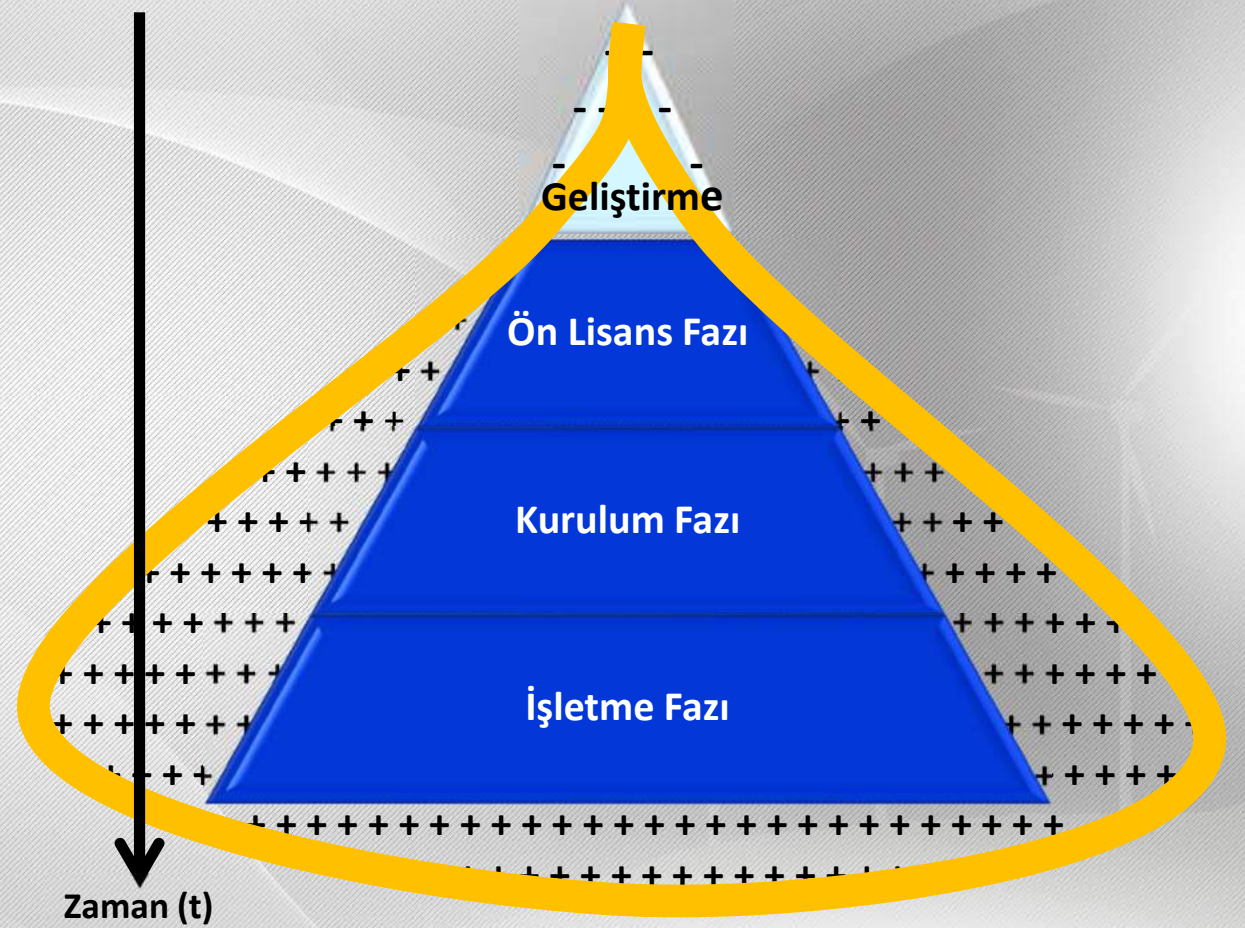
Geliştirme Fazı

Aktiviteler:

- Saha seçimi, rüzgar ölçümleri, tesis yerleşimi
- Elektrik ve inşaat işleri için temel tasarım
- Toplam sahip olma maliyeti çerçevesinde fizibilite
- Ön yatırım kararı, ön lisans başvurusu ve yarışma



PROJE YÖNETİMİNDE «SOĞAN SENDROMU»



Rüzgar Enerji Santralleri Yatırım-İşletme Süreci

Çevresel Etki Değerlendirme



FLORA İZLEME

FAUNA İZLEME

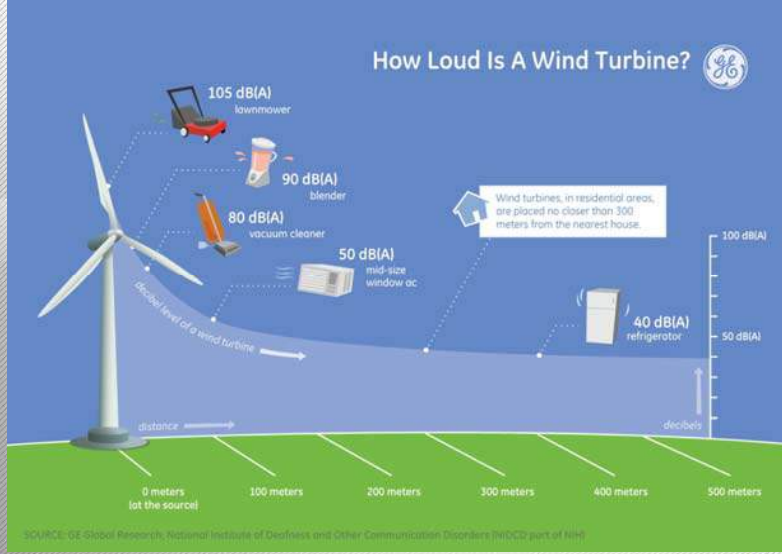
ORNİTOLOJİK (KUŞ) İZLEME



Rüzgar Enerji Santralleri Yatırım-İşletme Süreci

Çevresel Etki Değerlendirme

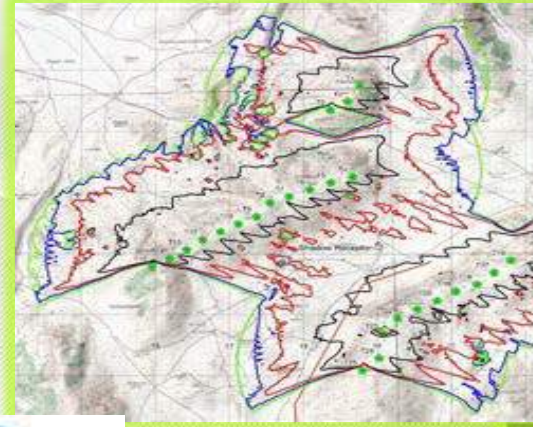
SES (GÜRÜLTÜ) ANALİZİ



ATIK YÖNETİMİ



GÖLGE ETKİSİ



GÖRSEL ETKİ ANALİZİ



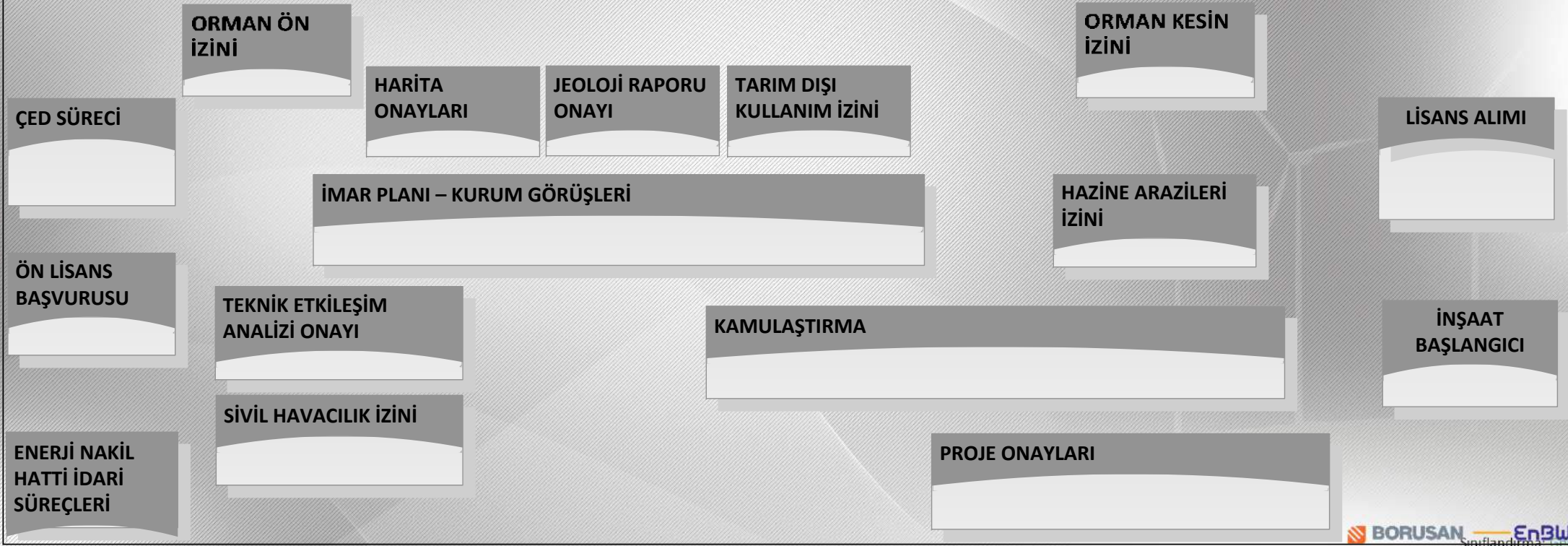
Rüzgar Enerji Santralleri Yatırım-İşletme Süreci

Ön Lisans Fazı

Aktivitelere:

- Kurumlardan alınan görüş ve izinler
- Detay tasarım
- Tedarikçi sözleşmeleri
- Finansman

RÜZGAR ENERJİ GÜÇ SANTRALİ - ELEKTRİK ÜRETİM ÖN LİSANS-LİSANS SÜRECİ



Rüzgar Enerji Santralleri Yatırım-İşletme Süreci

Kurulum (Lisans) Fazı

Aktiviteler:

- Sağlık, emniyet, çevre, kalite çerçevesinde proje yönetimi
- İnşaat, montaj, devreye alma
- Proje onayları, çeşitli diğer idari süreçler
- Bakanlık kabulü



Rüzgar Enerji Santralleri Yatırım-İşletme Süreci

Kurulum (Lisans) Fazı, <https://www.youtube.com/channel/UCSL02eVY4uD0uMAPac28KQ>

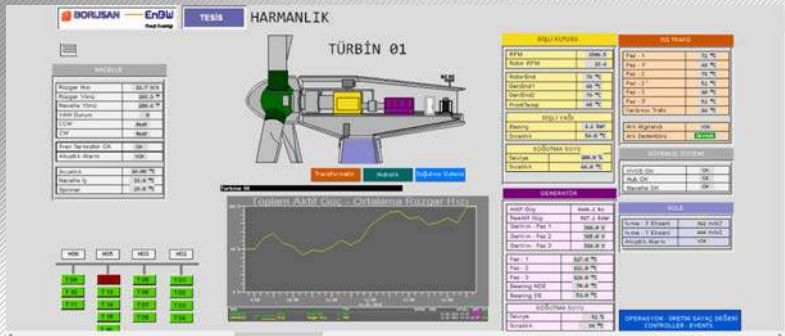


Rüzgar Enerji Santralleri Yatırım-İşletme Süreci

İşletme Fazı

Aktiviteler:

- İşletme
- Bakım ve onarım işleri
- Sigorta konuları
- Satış, izleme ve kontrol
- Kapasite artışları



Rüzgar Enerji Santralleri Yatırım-İşletme Süreci

Yanlış Hesap...

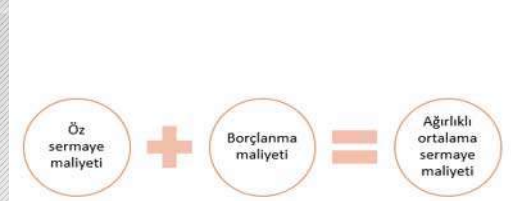


Rüzgar Enerji Santralleri Yatırımı

Fizibilite Değerlendirmesi

Dikkate alınan temel konular:

- Üretim
- Uzun dönem satış fiyatı öngörüsü
- Yatırım maliyeti (Capex)
- İşletme maliyeti (Opex)
- İş-zaman planı
- Yatırımcı beklentisi (WACC*)
- Kur öngörülerini
- Finansman


$$WACC = \frac{E}{D + E} (r_e) + \frac{D}{D + E} (r_d)(1 - t)$$

Where:
E = market value of equity
D = market value of debt
r_e = cost of equity
r_d = cost of debt
t = corporate tax rate



Kullanılan güncel temel yaklaşımlar:

- IRR (Internal Rate of Return, İç Karlılık Oranı)
- NPV (Net Present Value, Net Bugünkü Değer)

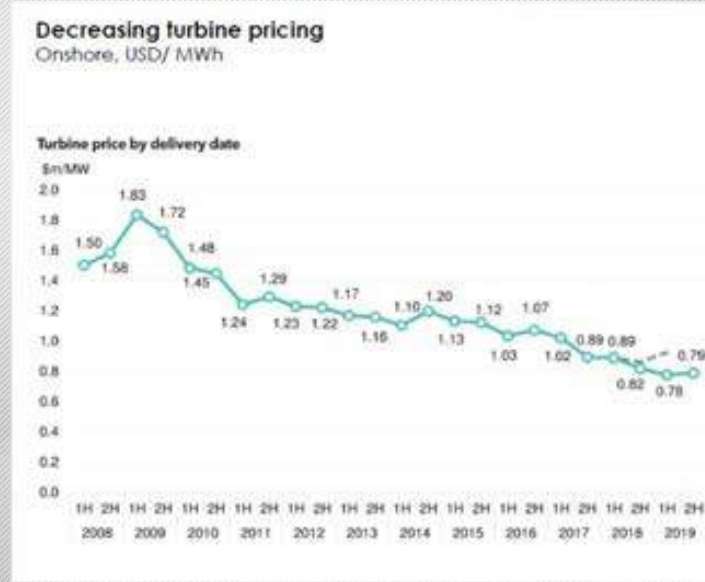
*) WACC: Weighted Average Cost of Capital / Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyeti

Rüzgar Enerji Santralleri Yatırımı Fizibilite Değerlendirmesi

Yatırım ana iş paketleri (Capex):

1. Veri toplama
 2. Proje yönetimi, mühendislik
 3. İdari süreçler
 4. Arazi edinimi
 5. Rüzgar türbini: %70
 6. İnşaat işleri
 7. Elektrik işleri
 8. Enerji iletim hattı
 9. Risk
- %10
- %20

Not: Yüzde değerler ortalama mertebe olarak belirtilmiştir. Değerler, projenin büyüklüğüne, özelliklerine ve güncel fiyatlara göre farklılık gösterecektir.



İşletme ana iş paketleri (Opex):

1. Bakım
2. Personel, altyapı
3. İdari maliyetler
4. Sigorta

Kaynak: "Decreasing turbine pricing" GWEC Market intelligence, BNEF H2 2018 Wind turbine Pricing Index

Rüzgar Enerji Santralleri Yatırımı

Fizibilite Değerlendirmesi

Örnek, basitleştirilmiş IRR, NPV, geri-dönüş hesabı (mevcut YEKDEM mevzuatına göre)

IRR	10.9%
NPV (mln USD)	4.1
Simple Payback Period (year)	14
Discounted Payback Period (year)	34

Installed Capacity (MW)	50
Capex / MW (mln USD)	1
EBITDA %	75%
Feed-in Tariff (USD/MWh)	40
Feed-in Tariff Period (Years)	10
Market Price (USD/MWh)	55
Capacity Factor	35%
Annual Generation (GWh)	153
Local Incentive (USD/MWh)	1.5
Local Incentive Period (Years)	5
Licence Period (years)	49
Investment Start Year	2021
Commercial Operation Start Year	2024
Commercial Operation End Year	2072
Reinvestment Year	2042
Reinvestment Capex (of original Investment)	70%
Inflation Adjustment	2%
WACC (Investor Expectation)	10%
Capex Distribution	
2021	5%
2022	10%
2023	70%
2024	15%

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
Revenue (mln USD)				6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	10.2	10.4	10.5	10.7	10.9	11.0	11.2	11.4	11.5
OPEX (mln USD)				-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-2.6	-2.6	-2.6	-2.7	-2.7	-2.8	-2.8	-2.8	-2.9
EBITDA (mln USD)	0.0	0.0	0.0	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.3	8.4	8.5	8.6
CAPEX (mln USD)	-2.5	-5.0	-35.0	-7.5																		
Operating Cash Flow (mln USD)	-2.5	-5.0	-35.0	-2.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.3	8.4	8.5	8.6
Discounted Cash Flow (mln USD)	-2.3	-4.1	-26.3	-1.8	3.0	2.7	2.5	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.2	1.1
Cumulative Cash Flow	-2.5	-7.5	-42.5	-45.2	-40.3	-35.5	-30.7	-25.9	-21.3	-16.7	-12.1	-7.5	-2.9	4.8	12.8	20.5	28.5	36.7	44.9	53.3	61.9	70.5
Payback	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cumulative Discounted Cash Flow	-2.3	-6.4	-32.7	-34.5	-31.5	-28.8	-26.3	-24.1	-22.1	-20.3	-18.7	-17.3	-15.9	-13.9	-12.1	-10.3	-8.7	-7.3	-5.9	-4.7	-3.5	-2.5
Payback	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Girdi
Sonuç

$$WACC = \frac{E}{D + E} (r_e) + \frac{D}{D + E} (r_d)(1 - t)$$

Where:
 E = market value of equity
 D = market value of debt
 r_e = cost of equity
 r_d = cost of debt
 t = corporate tax rate

Rüzgar Enerji Santralleri Yatırımı

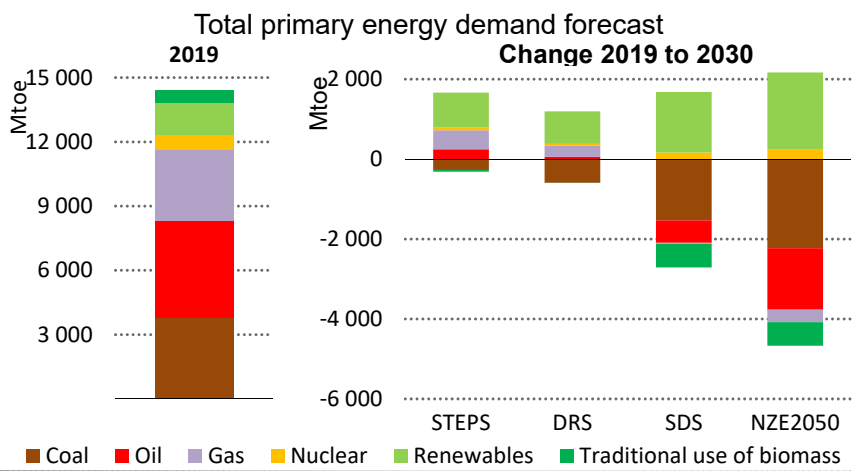


TEŞEKKÜRLER

 **BORUSAN** — **EnBW**
Enerji Ortaklığı

Genel Enerji Görünümü ve Geleceğe bakış BACKUP

Arz Talep Öngörülerini-SENARYO AÇIKLAMALARI



The **Stated Policies Scenario (STEPS)** is based on today's policy settings and an assumption that the pandemic is brought under control in 2021. In this scenario, global GDP also returns to pre-crisis levels in 2021, and global energy demand in early 2023, but outcomes vary sharply by fuel. Renewables meet 90% of the strong growth in global electricity demand over the next two decades, led by continued high levels of solar PV deployment, but global coal use never gets back to previous levels. By 2040, coal's share in global energy demand dips below 20% for the first time in modern energy history.

- In the **Delayed Recovery Scenario (DRS)**, the same policy settings lead to different energy outcomes because a prolonged pandemic has deeper and longer lasting economic and social impacts. Global GDP does not recover to pre-crisis levels until 2023, and global energy demand only returns in 2025. Oil demand flattens out below the 100 mb/d mark, some 4 mb/d below the level in the STEPS. Behavioural changes due to the pandemic affect the oil outlook in multiple ways, but the DRS, like the STEPS, does not yet show oil demand reaching a clear peak.
- Today's policy settings, as modelled in the STEPS and in the DRS, produce a much slower rebound in emissions than was seen after the 2008-09 financial crisis. However, they do not deliver a decisive break in the trend for global CO₂ emissions. A slightly lower trajectory for emissions in the DRS than in the STEPS is due to reduced economic activity, rather than structural changes in the way that energy is consumed or produced. A higher carbon intensity of the economy in this scenario illustrates the peril of mistaking low growth for a solution to climate change.
- A structural transformation of the energy sector will require massive investment in new, more efficient and cleaner capital stock. Drawing on the IEA Sustainable Recovery Plan, the **Sustainable Development Scenario (SDS)** sees a near-term surge of investment in clean energy technologies over the next ten years. Along with action to reduce emissions from existing infrastructure, this is enough to make 2019 the definitive peak year for global CO₂ emissions. In the SDS, CO₂ emissions are nearly 10 Gt lower than in the STEPS by 2030, and reductions in air pollutant emissions produce significantly cleaner air than experienced during the 2020 lockdowns.

- The SDS sets out a possible pathway for a very ambitious transformation of the energy sector which incorporates full implementation of existing net-zero pledges for 2050 and earlier. The **Net Zero Emissions by 2050 (NZE2050)** case, explored in detail for the first time in this *Outlook*, sets out what additional measures would be required over the next ten years to put the world as a whole on track for net-zero emissions by mid-century. Achieving this goal would involve a significant further acceleration in the deployment of clean energy technologies together with wide-ranging behavioural changes.

Source: IEA World Energy Outlook 2020

Yenilenebilir Enerji Santralleri

Geleceğe Bakış

Dijital İkiz



Yenilikçi Rüzgar türbinleri

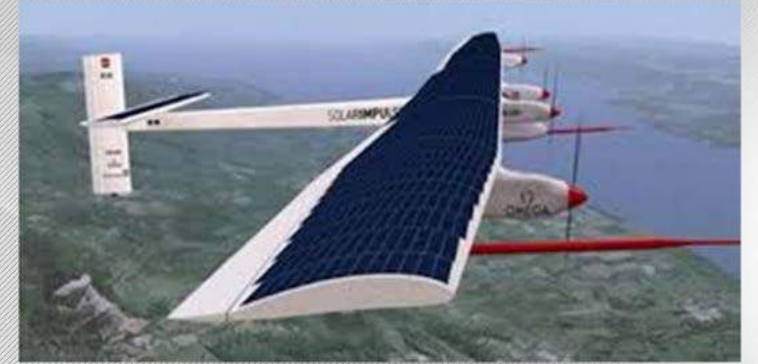


Altaeros Energy Uçan Rüzgar Türbini



EnBW Nezy² rüzgar türbini

Yenilikçi Güneş Enerjisi Kullanımı



Solar Impulse 2



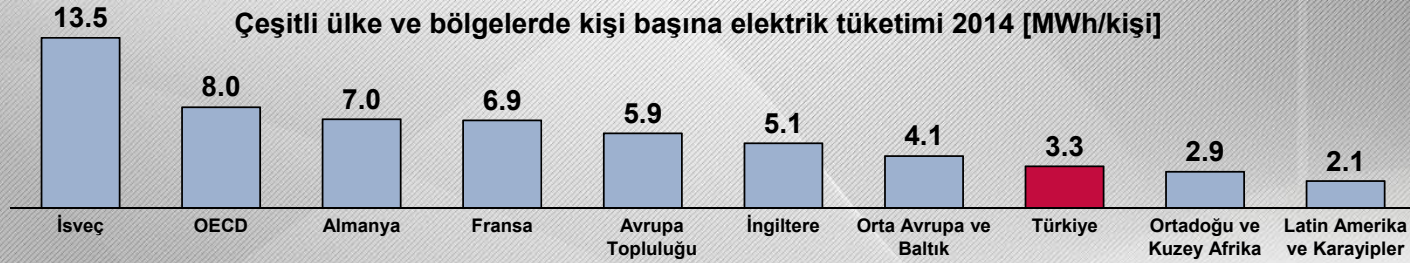
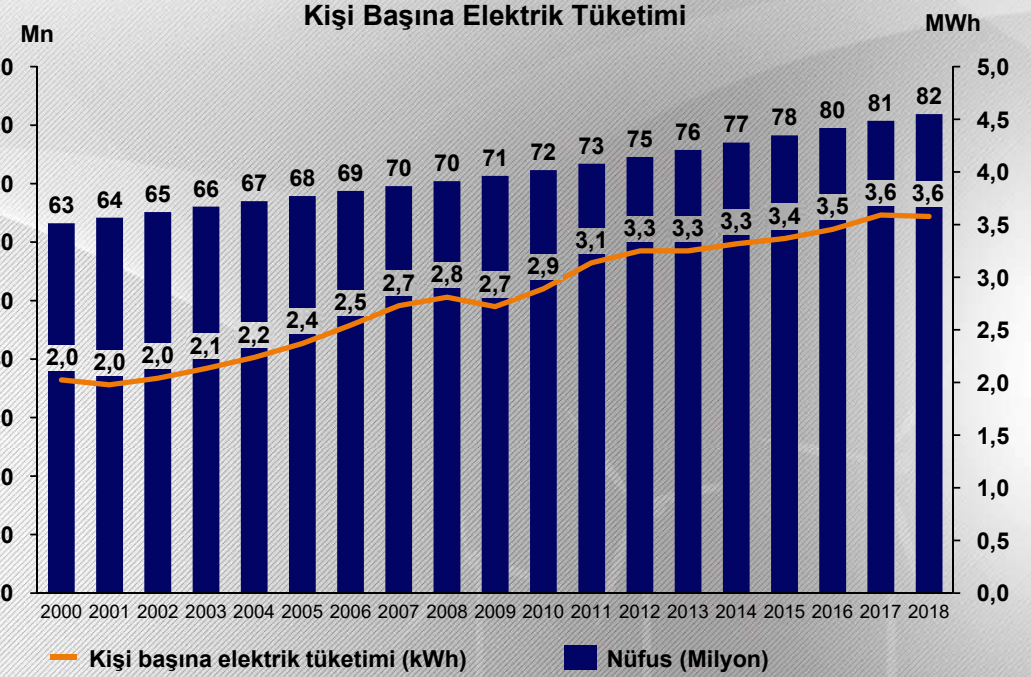
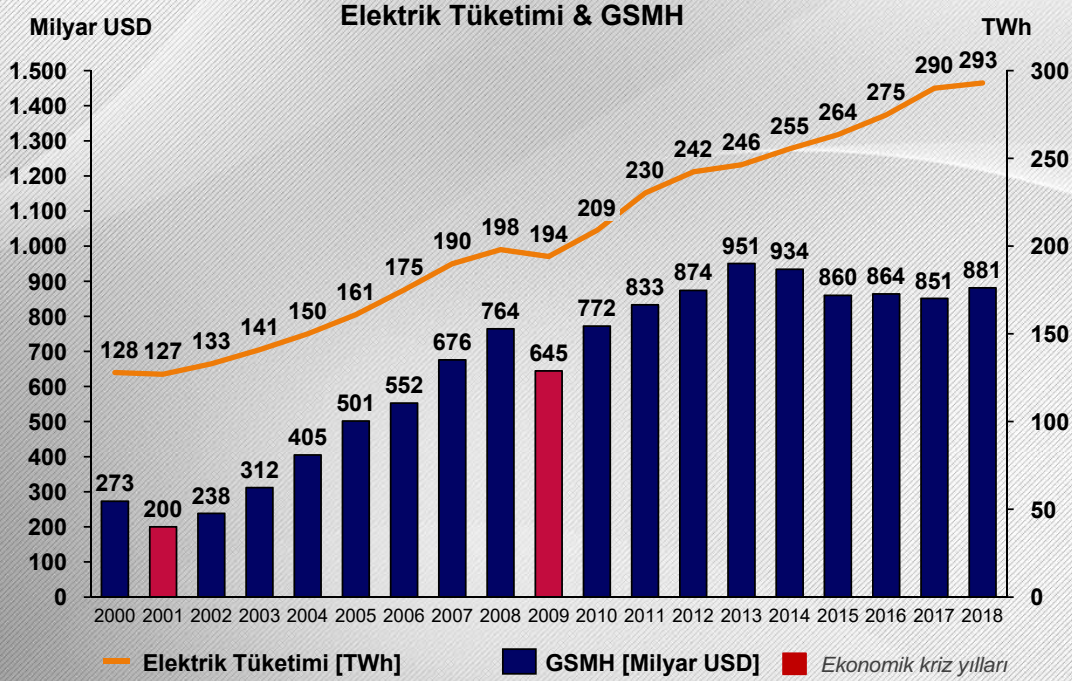
Singapur Yüzer GES 60MW

Rüzgar Türbinin Komponentleri - Kanat



Türkiye Elektrik Sektörü Genel Görünüm

Tüketim



Kaynak: TÜİK, TEİAŞ, Dünya Bankası

Rüzgar Türbini Güç Denklemi

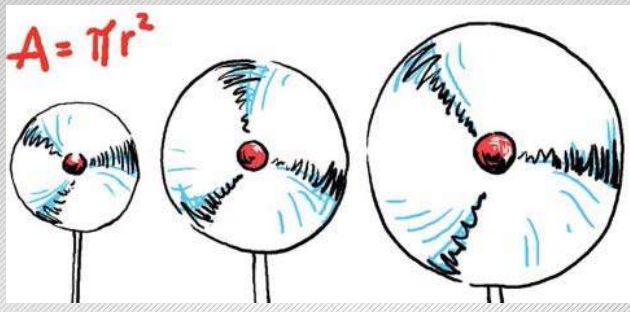
ρ - Hava Yoğunluğu

A - Süpürme Alanı

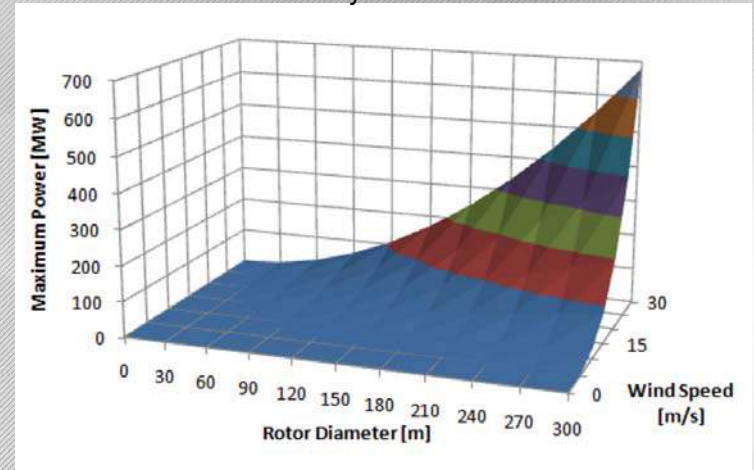
v - Hız

Hızın kübü olması nedeniyle dramatik etki

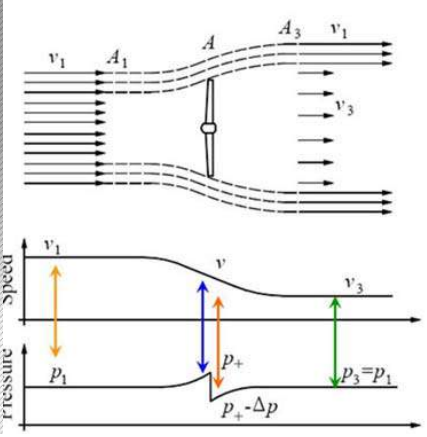
Elevation (Meters)	Relative Performance (%)
0 (sea level)	100%
305	97%
610	94%
915	91%
1,220	88%
1,524	85%
1,829	82%
2,134	79%
2,439	76%
2,744	73%
3,049	70%



r (m)	Çap 108	Çap 158
Süpürme alanı (m ²)	9.161	19.607



C_p - Güç Katsayısı ve Betz Limiti



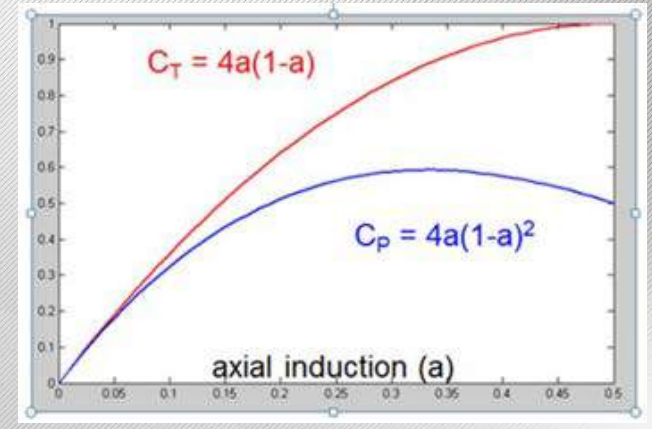
$$P_{\text{available}} = \frac{1}{2} \rho A v_1^3$$

Induction factor a

$$v = (1-a) v_1$$

$$v_3 = (1-2a) v_1$$

$$P_{\text{turbine}} = \frac{1}{2} \rho A v_1^3 C_p$$



Induction factor a

$$v = (1-a) v_1$$

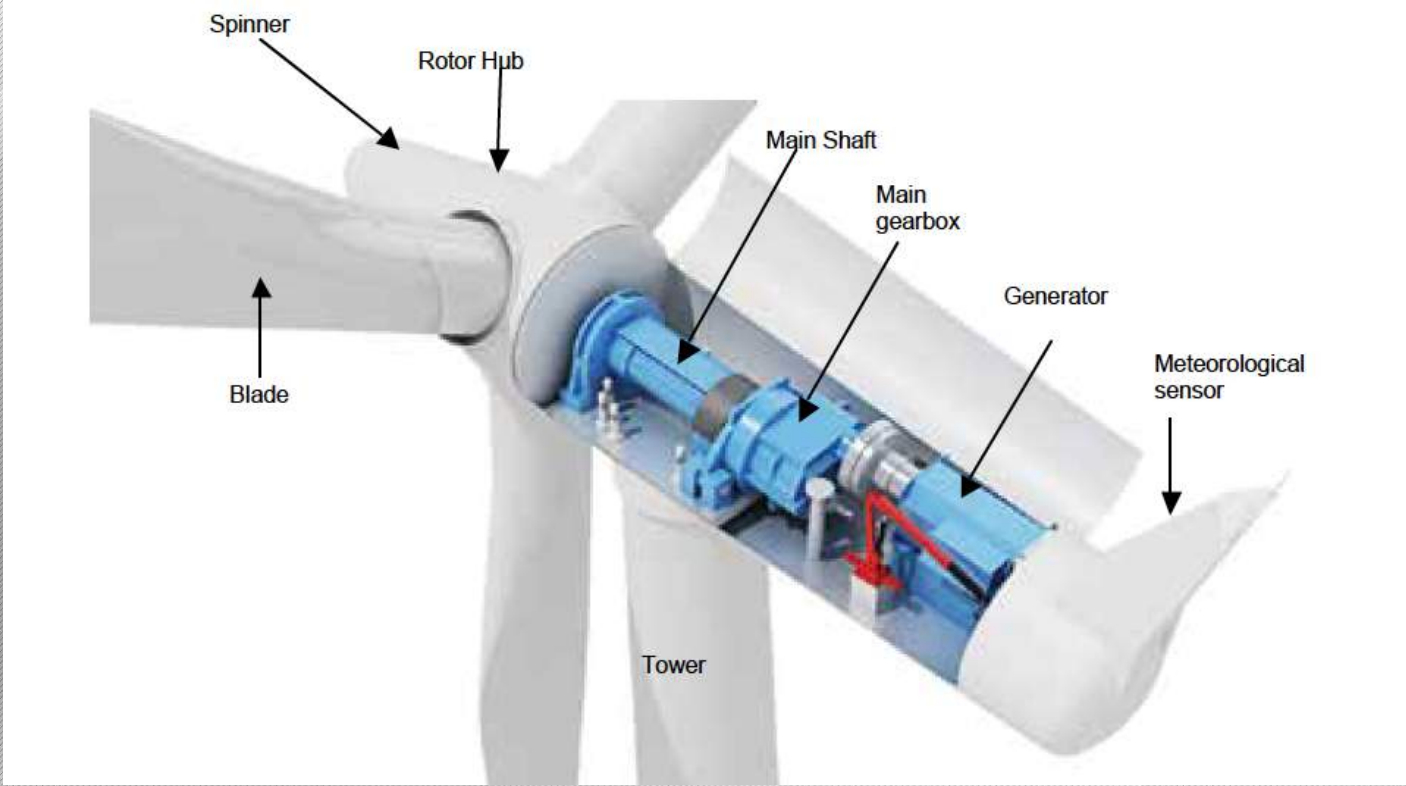
$$v_3 = (1-2a) v_1$$

- $a = 0$: no slowing of wind; boring, not interesting, non-profitable
 - $a = 1/2$: $v_3 = 0$; full thrust on rotor disc, $C_T = 1$
 - $a = 1/3$: $v = 2/3 v_1 \rightarrow$ optimal C_p
- $C_p = 16/27 \rightarrow 59.3\%$ maximum theoretical efficiency!

Rüzgar Türbini

Modern Rüzgar Türbini Tipleri

Dişli Kutulu (Geared)



Dişli Kutusuz (Direct Drive)

