

RÜZGAR ENERJİ SEKTÖRÜNDE KULE ve TEMEL TEKNOLOJİLERİ

Mert GENÇ

GENSER Mühendislik, Ins. Yük. Müh.

Eylül, 2017

4. İZMİR RÜZGAR SEMPOZYUMU

İÇERİK

- 1) Kule tipleri
- 2) Kule-temel bağlantı tipleri
- 3) Temel sistemleri
- 4) Uygulama örneği

GENSER Mühendislik

➤ 2011 yılında kurulmuş, İzmir merkezli yapı mühendisliği **proje** ofisidir.

➤ Rüzgar türbini temel tasarımı ve saha kontrollüğü, güneş santralleri statik dizaynları ve yapısal çelik projelendirme hizmetleri vermektedir.

➤ 120'den fazla rüzgar santrali tecrübesi

➤ 2014 yılından itibaren **GENoSER** ismiyle marka patent başvurusunu almıştır.

www.genoser.com

SUNUM KAPSAMI

- 1) Kule tipleri
- 2) Kule-temel bağlantı tipleri
- 3) Temel sistemleri
- 4) Uygulama örneği

1. KULE TIPLERİ

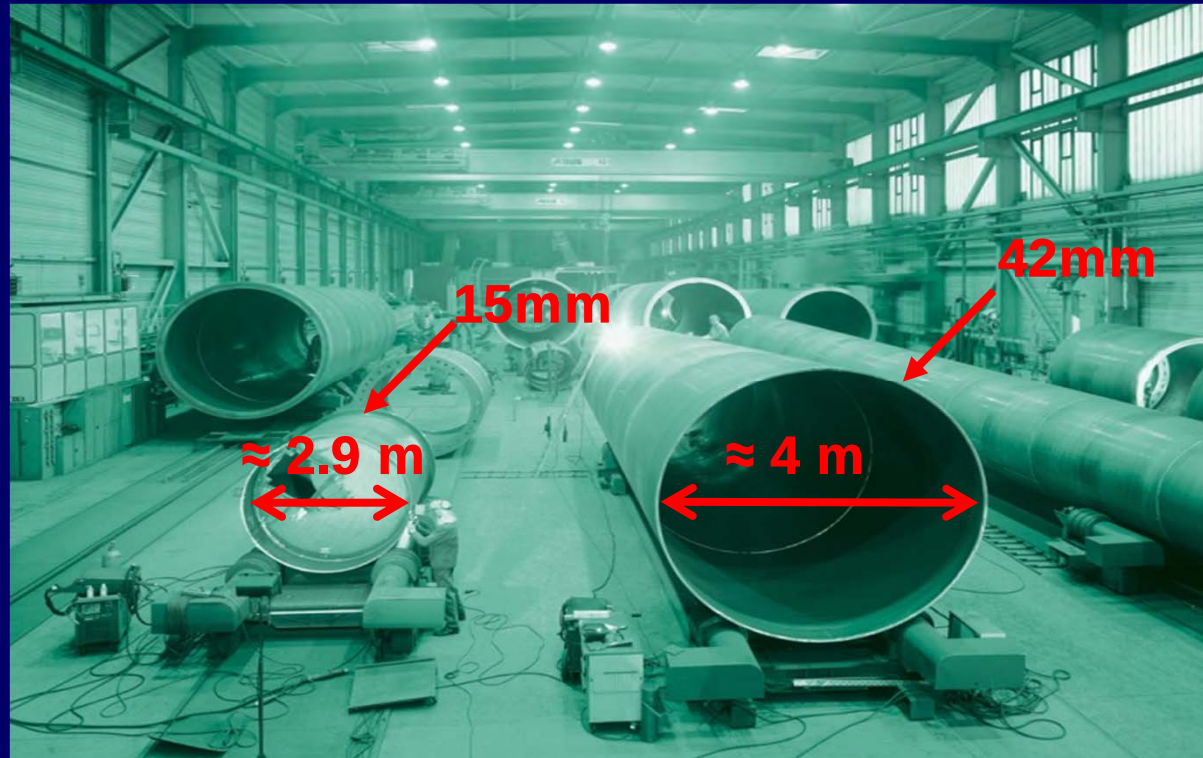
BORU KESİTLİ ÇELİK KULE



- Tüm yönlerde aynı kesit özellikleri
- Yüksek burulma rijitliği
- Göreceli olarak kolay montaj
- Düşük bakım maliyeti

1. KULE TIPLERİ

BORU KESİTLİ ÇELİK KULE



➤ 2.5 mW hh=80 m türbin

1. KULE TIPLERİ

KAFES SİSTEM ÖRGÜ KULE (lattice)



- Daha az çelik malzeme
- Daha az lojistik gideri
- Daha az enerji tüketimi
- Daha küçük temel boyutları

➤ Bakım gereksinimi

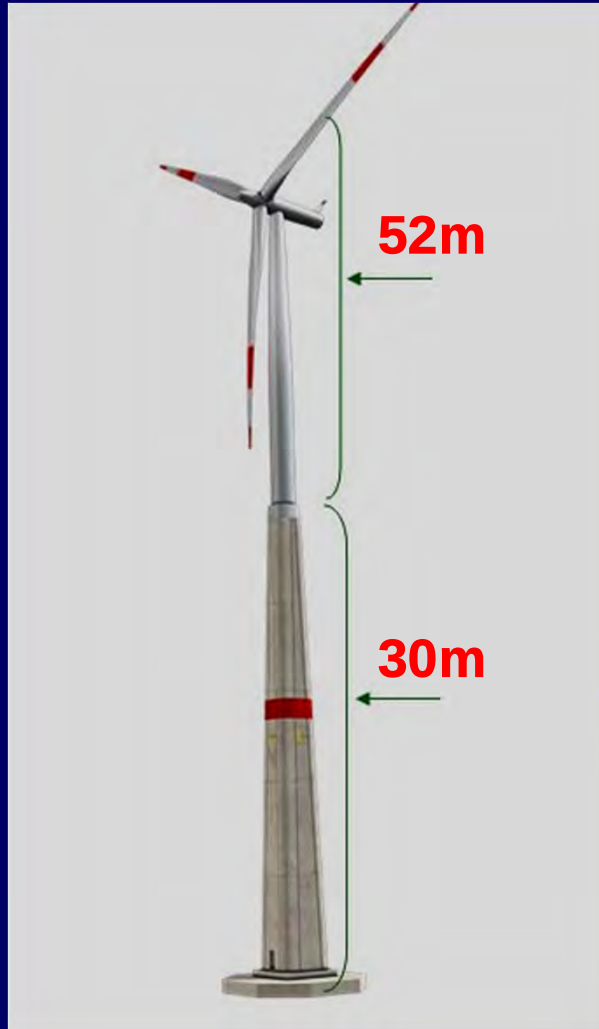
(10.000 bulon 20 yılda 3 kez kontrol !)

➤ Geniş taban çapı ($\approx 7\text{m}$)

➤ Görsellik ?

1. KULE TIPLERİ

HİBRİD KULE (betonarme+çelik)



3 parçalı çelik kısım

Ardgermeli prefabrik
betonarme kısım

1. KULE TIPLERİ

HİBRİD KULE (betonarme+çelik)



➤Ön üretimli parçalar

- 1) Kule tipleri
- 2) Kule-temel bağlantı tipleri
- 3) Temel sistemleri
- 4) Uygulama örneği

2. KULE – TEMEL BAĞLANTI TIPLERİ

ANKRAJ SEPETLİ BAĞLANTI



➤ **Sahada kurulum (donatı montajı öncesi)**

2. KULE – TEMEL BAĞLANTI TIPLERİ

ANKRAJ SEPETLİ BAĞLANTI



➤ Sahada kurulum (donatı montajı sonrası)

2. KULE – TEMEL BAĞLANTI TIPLERİ

ANKRAJ SEPETLİ BAĞLANTI



➤Türbin tipine göre değişken

2. KULE – TEMEL BAĞLANTI TIPLERİ

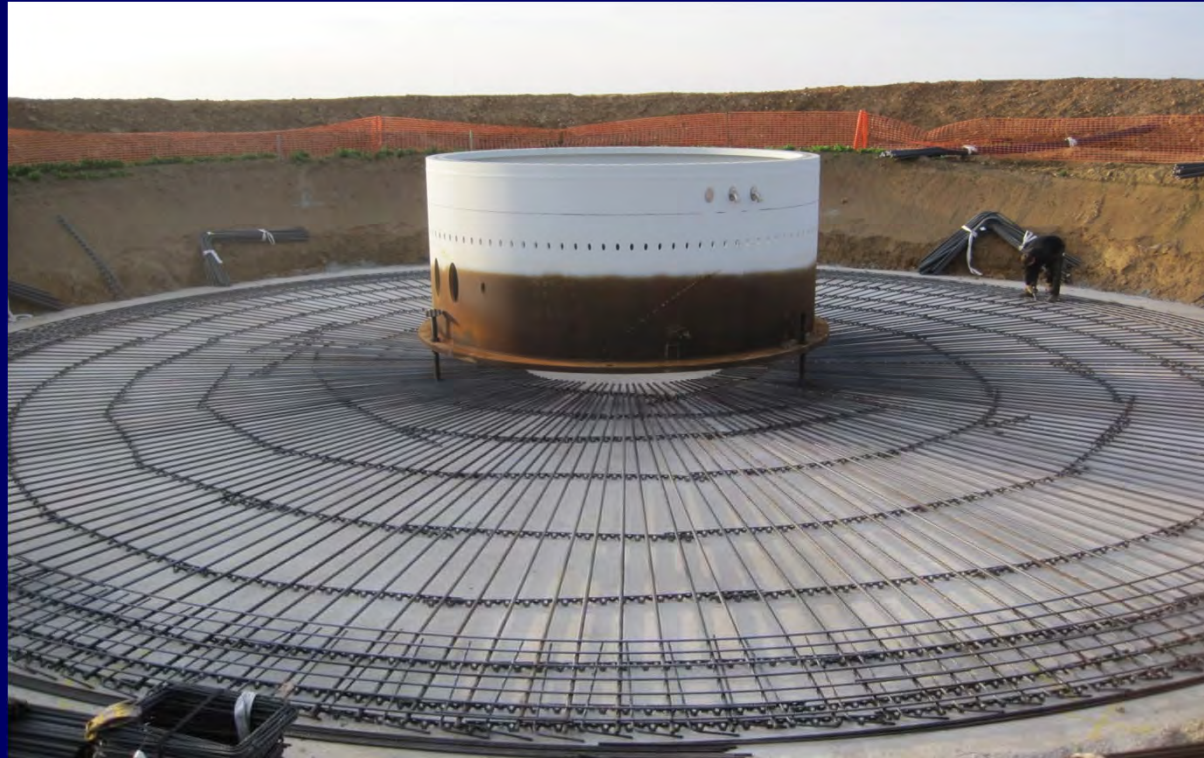
ANKRAJ SEPETLİ BAĞLANTI



➤Kot ayar somunları

2. KULE – TEMEL BAĞLANTI TIPLERİ

BAĞLANTI PARÇALI BİRLEŞİM



2. KULE – TEMEL BAĞLANTI TIPLERİ

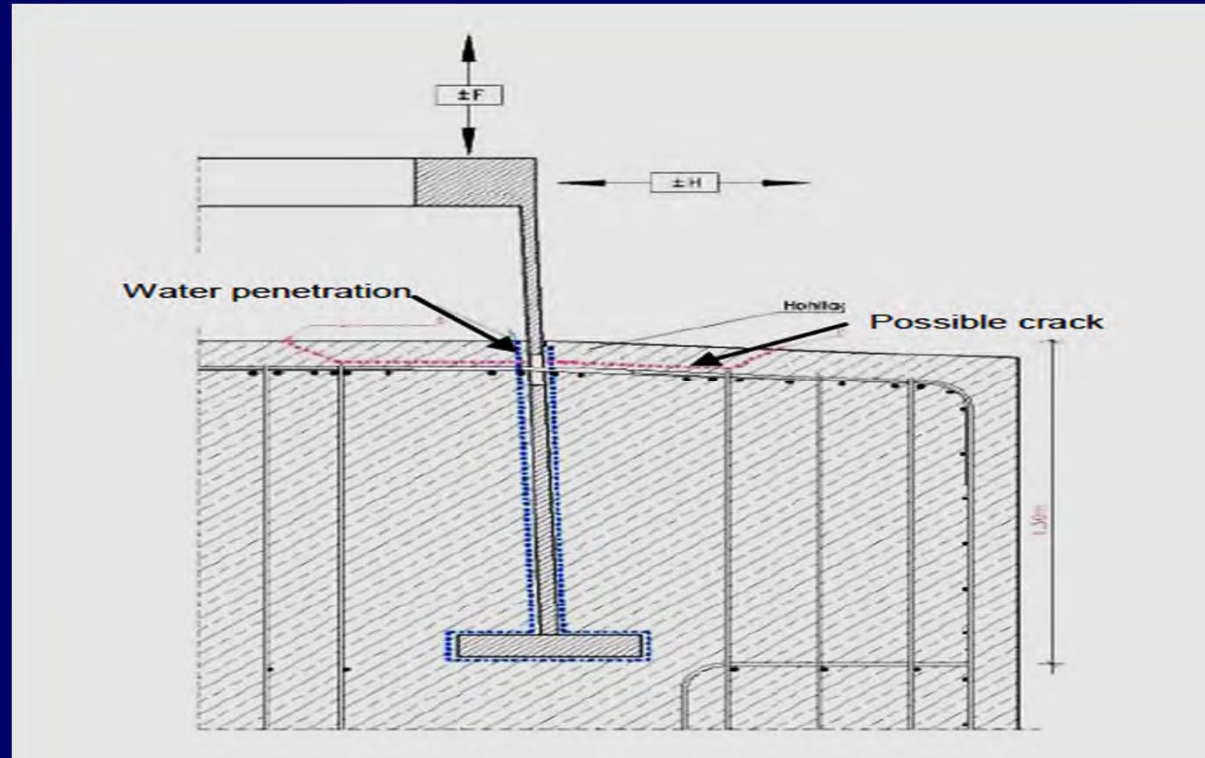
BAĞLANTI PARÇALI BİRLEŞİM



➤ Donatı geçişi

2. KULE – TEMEL BAĞLANTI TIPLERİ

BAĞLANTI PARÇALI BİRLEŞİM



➤ Büyük türbinlerde betonda çatlama !

2. KULE – TEMEL BAĞLANTI TIPLERİ

ADAPTÖRLÜ BAĞLANTI



➤Bağlantı parçası + bulon + ankraj plakası

- 1) Kule tipleri
- 2) Kule-temel bağlantı tipleri
- 3) Temel sistemleri**
- 4) Uygulama örneği

3. TEMEL SİSTEMLERİ

PROBLEMİN ZORLUĞU !

- Bağımsız ve yüksek yapılar
- Hub yükseklikleri 80-100 m
- 2.5 MW' lık bir türbinde yaklaşık 400 ton düşey yük
- Çok yüksek devrilme momentleri
- Yüksek ($e=M / N$) oranı
- 20 yıl boyunca her bir kanat dönüşünde oluşan yükleme-boşaltma çevrimi

3. TEMEL SİSTEMLERİ

PROBLEMİN ZORLUĞU !

TÜRBİN:

HAREKET EDEN BİR MAKİNE

+

ZEMİN :

DAVRANIŞI %100

BİLİNMEYEN BİR ORTAM !

=

TEMEL TASARIMI



3. TEMEL SİSTEMLERİ

MALİYETLER

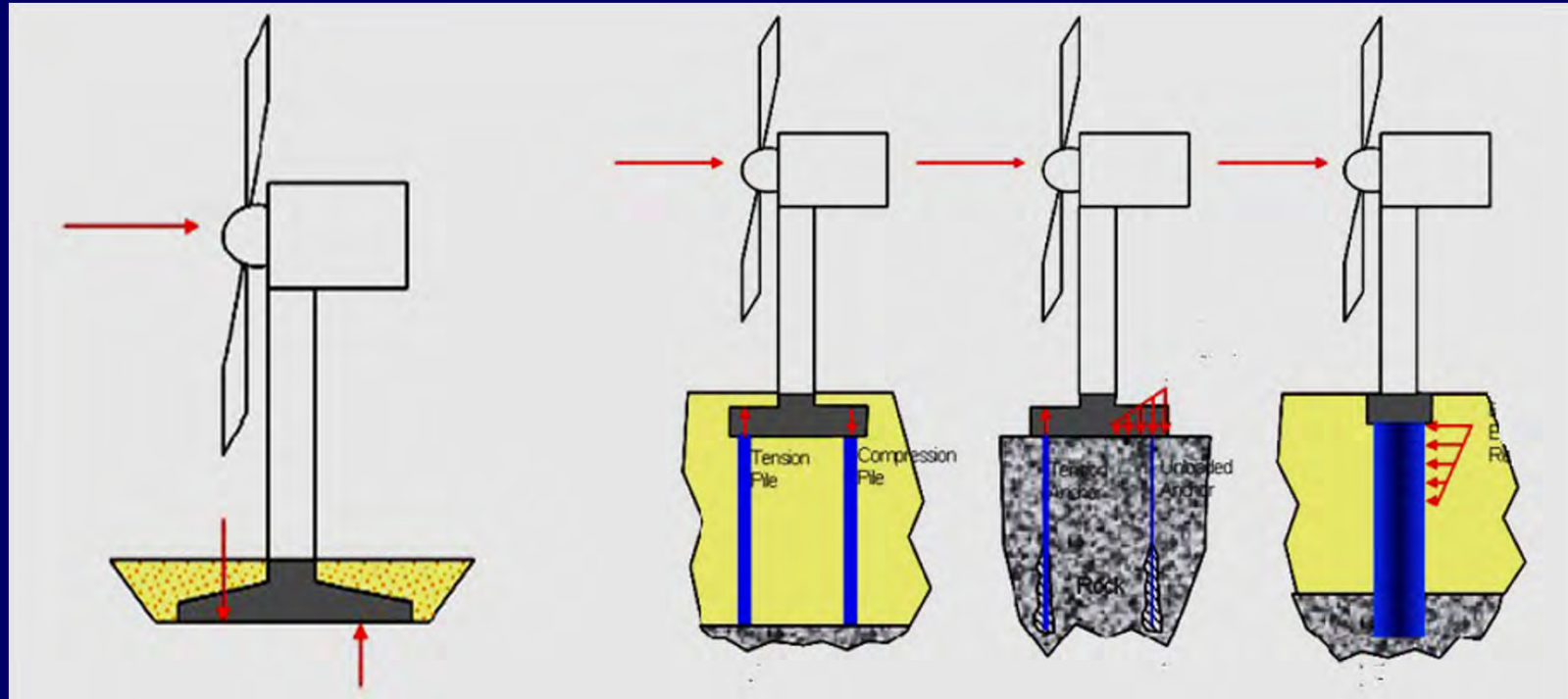
		Karasal	Denizaşırı
Türbin	:	%33	%21
Kanatlar	:	%22	%15
Kule	:	%20	%13
Temel	:	%9	%21
Şebeke	:	%6	%21
<u>Tasarım</u>	:	<u>%10</u>	<u>%9</u>

1.0-2.0 milyon €/MW

2.5-3.5 milyon € /MW

3. TEMEL SİSTEMLERİ

Temel Sistemleri



yüzeysel plak

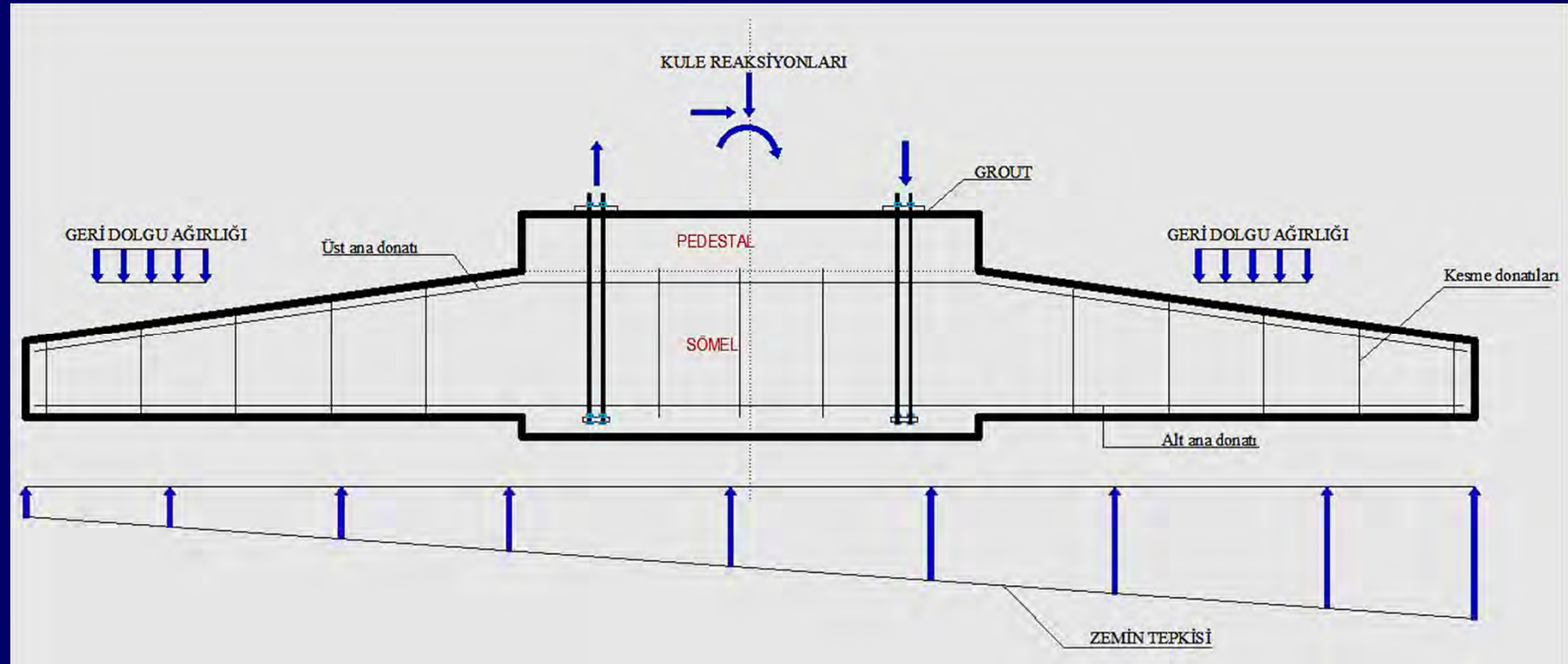
grup kazıklı

kaya ankrajlı

tekil kazıklı

3. TEMEL SİSTEMLERİ

YÜZEYSEL PLAK TEMEL



yüzeysel plak yük aktarım prensibi

3. TEMEL SİSTEMLERİ

YÜZEYSEL PLAK TEMEL



yüzeysel temel donatı düzeni
(2.5 mW R80 m hub)

3. TEMEL SİSTEMLERİ

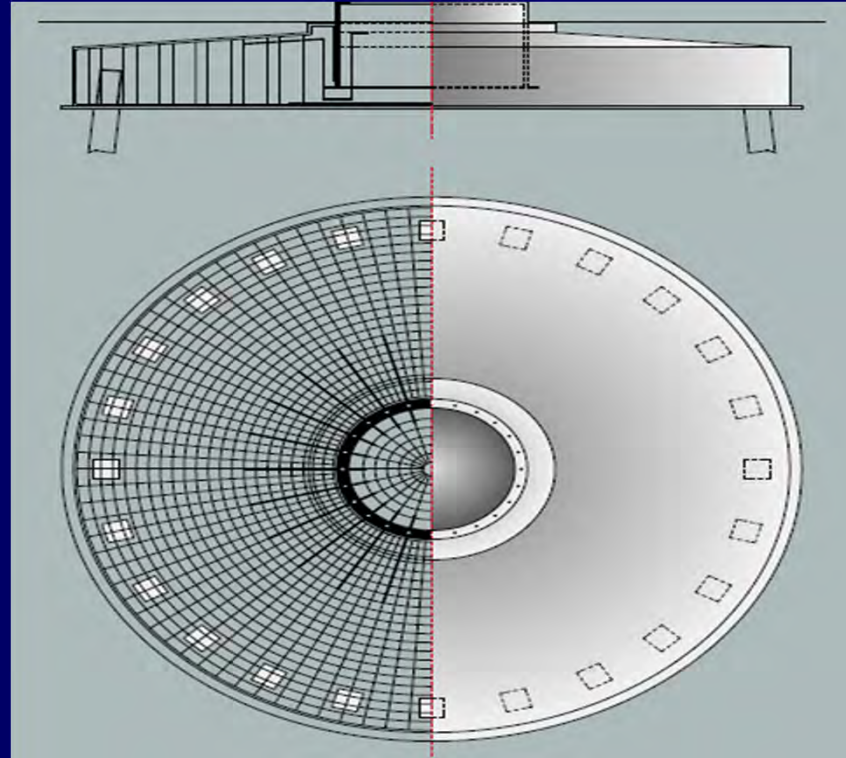
YÜZEYSEL PLAK TEMEL



yüzeysel temel donatı düzeni
(2.5 mW R80 m hub)

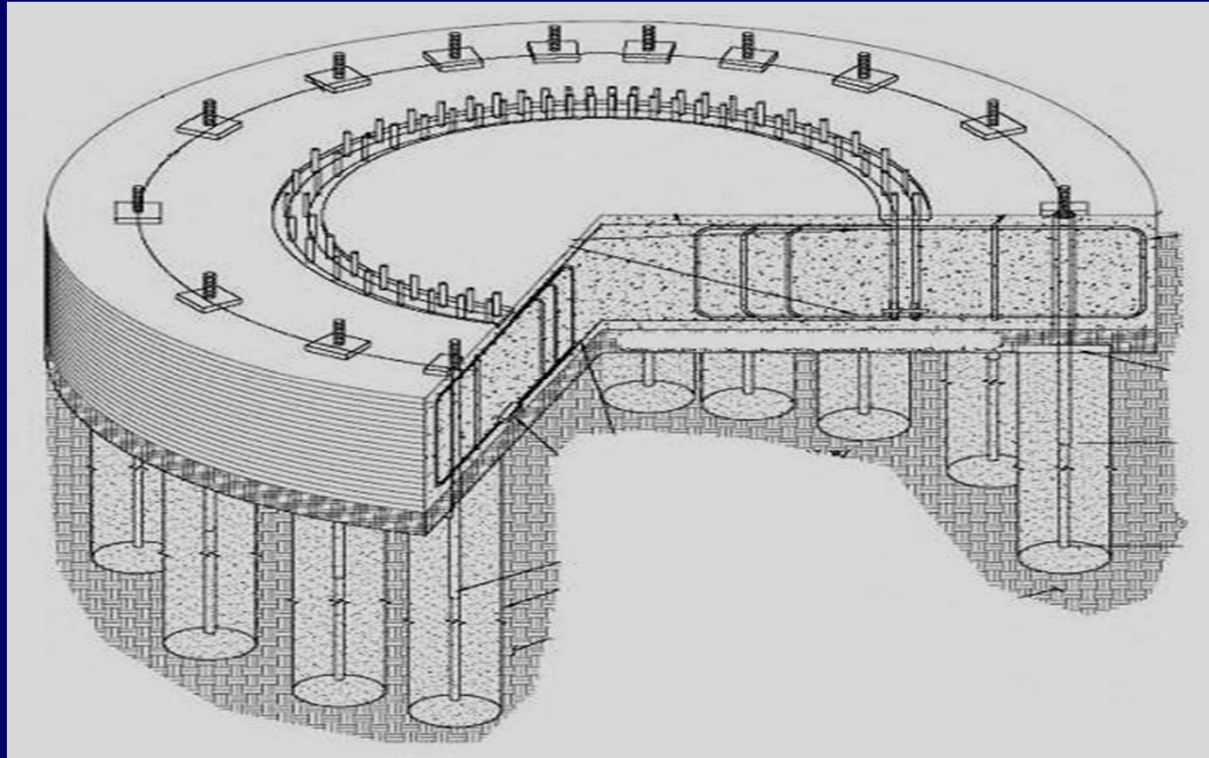
3. TEMEL SİSTEMLERİ

DERİN TEMEL (grup kazıklı)



3. TEMEL SİSTEMLERİ

KAYAYA ANKRAJLI TEMEL



3. TEMEL SİSTEMLERİ

KAYAYA ANKRAJLI TEMEL



- 1) Kule tipleri
- 2) Kule-temel bağlantı tipleri
- 3) Temel sistemleri
- 4) Uygulama örneği

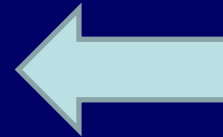
4. UYGULAMA ÖRNEĞİ

➤ Statik hesap aşaması

YAPILAN TAHKİKLER → iç dayanım

1. Alt ve üst ana donatı hesabı
2. Kesme donatısı hesabı
3. Zımbalama kontrolü
4. Çekme bölgesi donatıları
5. Çatlak genişliği kontrolü
6. LSP altında beton basınç gerilmesi kontrolü
7. Grout harcı basınç gerilmesi kontrolü
8. Ankraj plakası üstü basınç gerilmesi kontrolü

Tüm hesaplar **YORULMA**
yükleri için tekrarlanır
Yaklaşık **50 adet** kontrol !

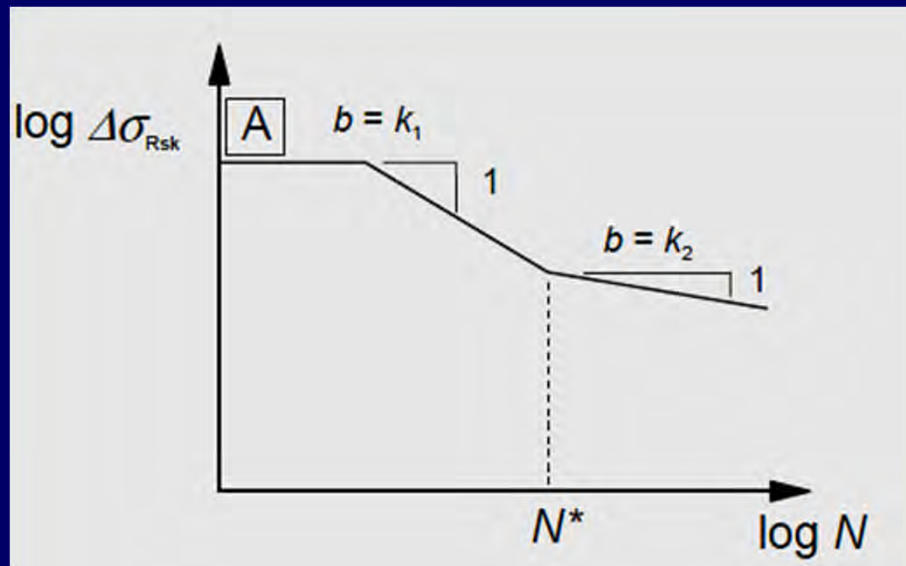


4. UYGULAMA ÖRNEĞİ

➤ Statik hesap aşaması

YORULMA KONTROLÜ

➤ Donatı



Büküm çapı önemli !

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ

➤ Statik hesap aşaması

YAPILAN TAHKİKLER → dış dayanım

1. Temel taban basıncı kontrolü
2. Çekme gerilmesi kontrolü
3. Devrilme kontrolü **> 1.5**
4. Kayma kontrolü
5. Oturma kontrolü
6. Dönme rijitliği kontrolü

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ

$$F_{\text{devrilme}} < 1.0 !$$



<http://wattsupwiththat.com/2011/03/19/the-reality-of-wind-turbines-in-california-video/>

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ

Kullanılan şartnameler

1. *Türbin imalatçısı tasarım kriterleri*
2. *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*
3. *TS 500: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*
4. *EN 61400-1 (IEC 61400-1) Wind Turbines – Part 1: Design Requirements*
5. *EN 1991-1-1: 2002- Actions on Structures*
6. *EN 1992-1-1: 2004- Design of Concrete Structures*
7. *EN 1993-1-1: 2005 Design of steel structures*
8. *Eurocode 7: EN 1997-1: 2004 Geotechnical Design*
9. *DNV/ Riso Guidelines for Design of Wind Turbines (2nd Edition)*
10. *EN 206-1: 2006 Concrete Part 1: Specification, performance, production and conformity*
11. *ACI 318- 05: Building Code Requirements for Structural Concrete (with particular emphasis on Chapter 15- “Footings”)*
12. *Post Tensioning Institute: Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors*

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ



Temel kazısı / kırımı

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ



Grobeton dökümü

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ



Ankraj sepeti kurulumu

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ



Alt donatı + pedestal donatı montajı

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ



Sehpa/kesme donatısı montajı

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ



Üst donatı montajı

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ



Kablo boruları

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ



Betonlama

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ

Çap → 19-20m

Beton → 450 m³



4. UYGULAMA ÖRNEĞİ



Geri dolgu

4. UYGULAMA ÖRNEĞİ



Groutlama + torklama

