

# DENİZ ÜSTÜ RÜZGAR TÜRBİNLERİ: TEMEL TİPİ SEÇİMİ VE DENİZ TABANI ZEMİN ARAŞTIRMALARI

Nejan Huvaj, **Eray Caceoğlu**, Yelaman Baidol

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

# SUNUŞ

- Giriş
- Deniz Üstü Rüzgar Türbinleri İçin Geoteknik Mühendisliği ve Temel Tipleri
- Deniz Üstü Rüzgar Türbinleri İçin Deniz Tabanı Saha Araştırmaları
- Sonuç

## Vindeby Deniz Üstü Rüzgar Türbini (DRT) Çiftliği



- Danimarka, 1991
- 450 kW'lık 11 DRT
- 35 m rotor çapı

**Kaynak:**

<http://www.thegwpf.com/content/uploads/2017/10/Screenshot-2017-10-18-16.49.20-1024x734.png>

## Walney DRT Çiftliği



- Birleşik Krallık
- 102 tane 3.6 MW, 40 tane 8.25 MW, 47 tane 7 MW'lık DRT
- Toplam 1026 MW güç kapasitesi
- 107 – 164 m rotor çapı

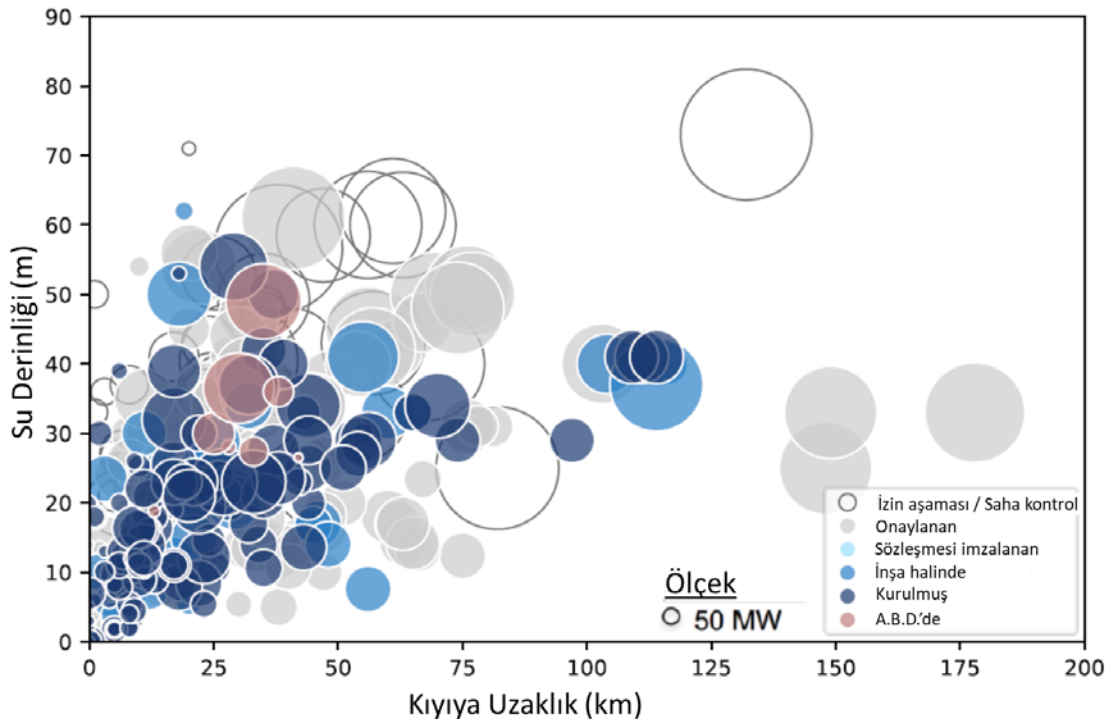
**Kaynak:** <https://news.sky.com/story/worlds-largest-offshore-wind-farm-opens-off-cumbria-coast-11491285>

## 2018 sonu itibariyle Avrupa'daki durum (U.S. Department of Energy & WindEurope):

- DRT çiftliği sayısı 105
- Üretim 17979 MW
- Öne çıkan ülkeler

Ülke	DRT Çiftliği Sayısı	DRT Sayısı	Kapasite (MW)	2018'de İşletmeye Alınan Kapasite (MW)
Birleşik Krallık	39	1975	8183	2120
Almanya	25	1305	6380	835
Danimarka	14	514	1329	28

# DRT'LERDE GÜNCEL TRENDLER



Kaynak: U.S. Department of Energy

- Daha derin denizlerde inşaat yapılması
- Güç kapasitesi ve rotor çapının artması

# DRT'LERDE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ

- Horns Rev 1 (80 adet 2 MW DRT)
- Nysted (72 adet 2.3 MW DRT)

## Toplam maliyette çeşitli kalemlerin payları:

- Türbin, ulaşım ve kurulum %49
- **Temel maliyeti %21**
- Kablolama %16
- Temel maliyetlerini düşürmek!

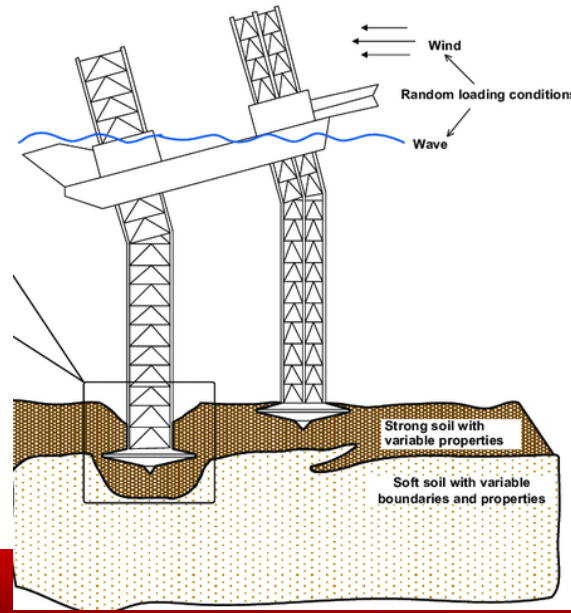
**Kaynak:** European Wind Energy Association (2009)

# DRT GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

- Yüksek maliyetli zemin etütleri
  - Özel gemilerin kullanımı
  - Örselenmemiş numune alımı



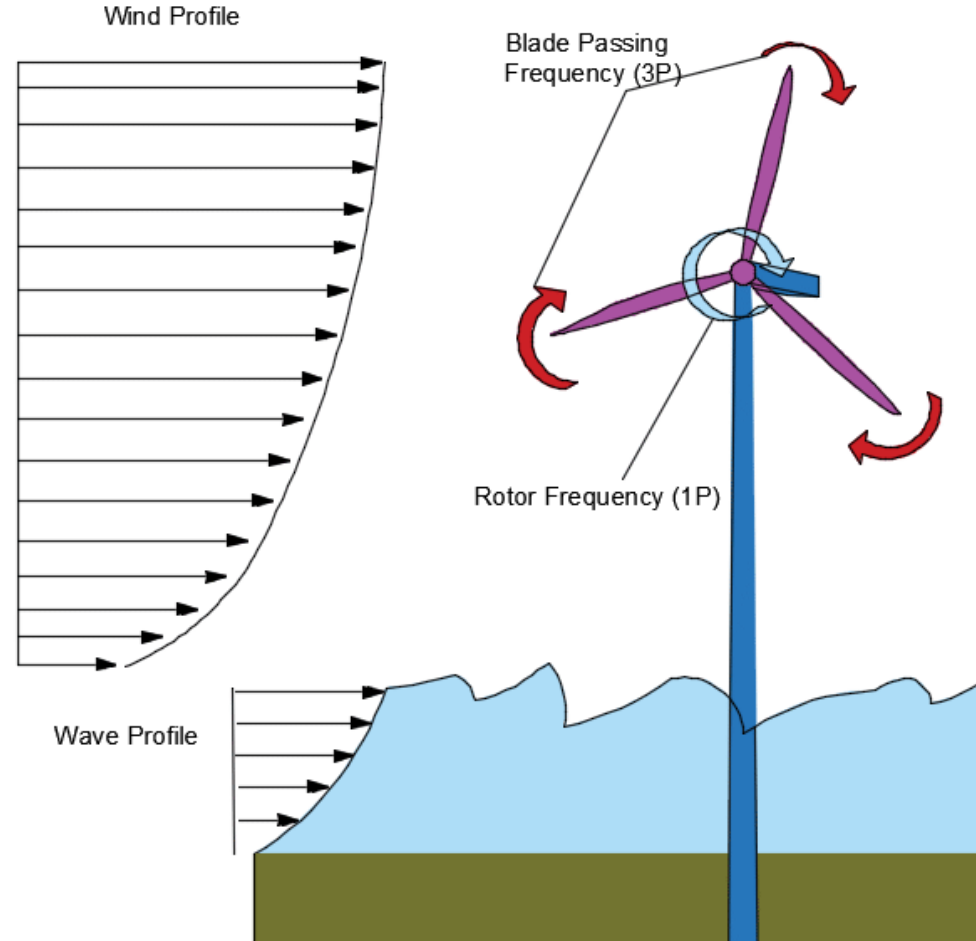
- Nadir rastlanan zemin koşulları
  - Yüksek karbonat içeriği, Gaz içeriği
  - Zımbalama göçmesi





# DRT GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

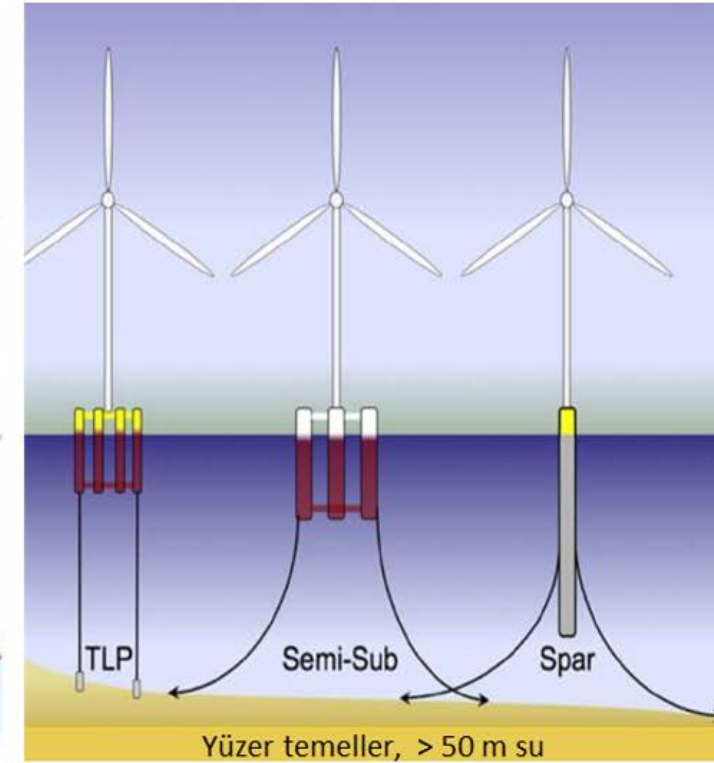
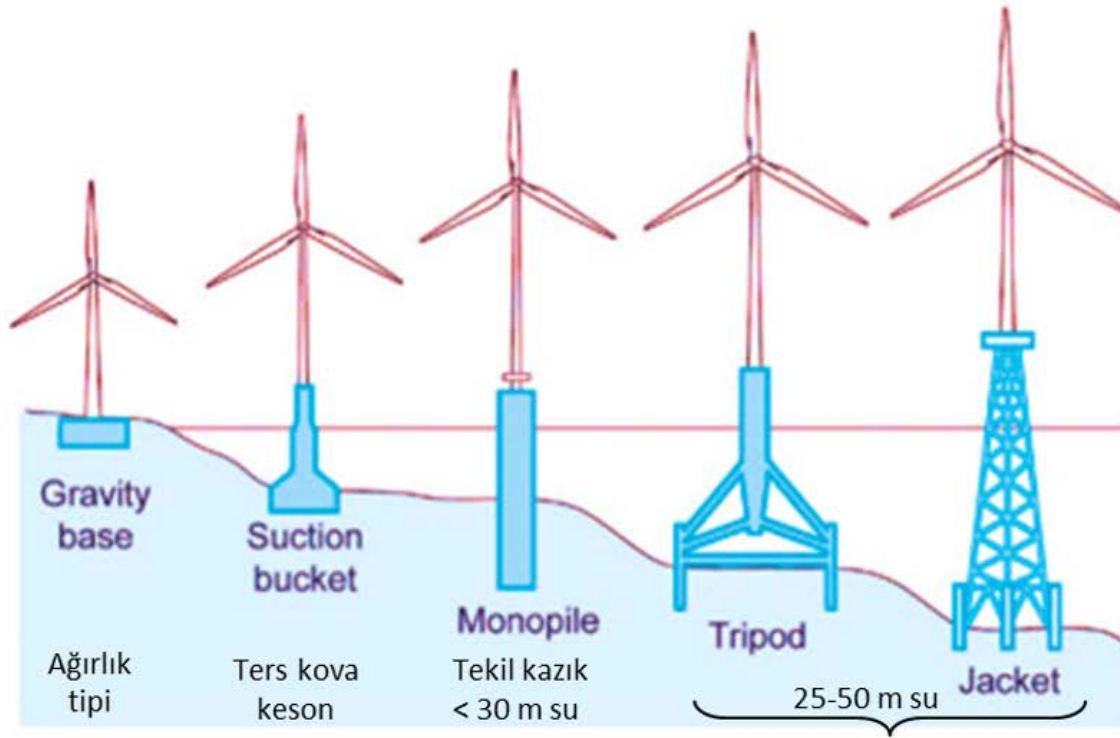
- Yapıya uygulanan yükler
  - Çevresel kaynaklı
  - Tekrarlı
  - Yüksek büyüklüğe sahip
- İnşaat esnasında tasarımda değişiklik yapılamaması



# DRT TEMEL ÇEŞİTLERİ

1. Kazıklı temeller
  - Tekil kazıklı
  - Grup kazıklı
  - Kafes sistemli
2. Ağırılık tipi temeller
3. Vakumlu kova keson tip temeller
4. Yüzer tip temeller

# DRT TEMEL ÇEŞİTLERİ

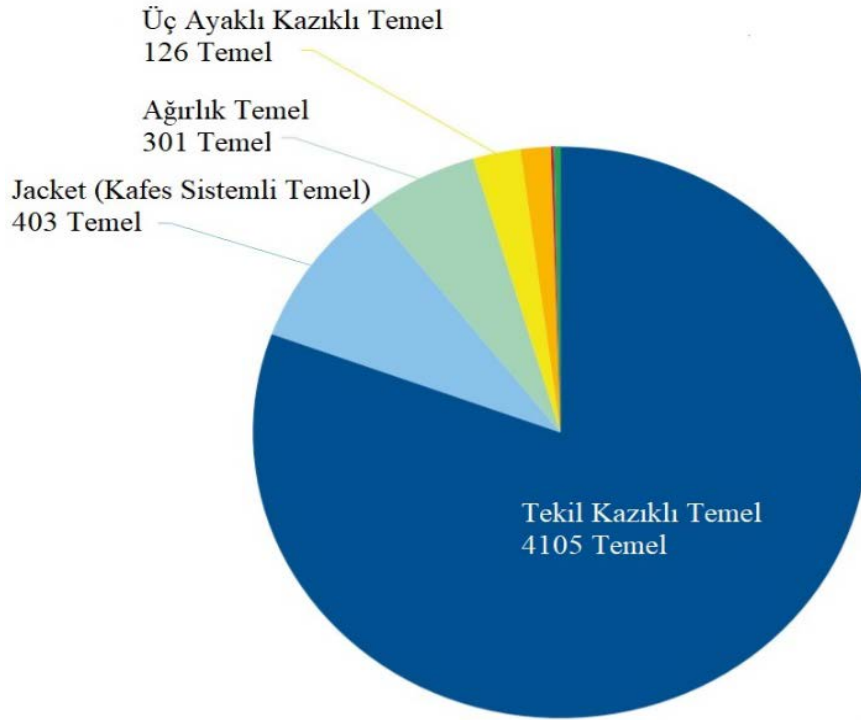


## Kaynak:

- <https://www.windpowerengineering.com/projects/offshore-wind/foundations-that-float/>
- Moulas, D., Shafiee, M., Mehmanparast, A. (2017), Damage Analysis of Ship Collisions with Offshore Wind Turbine Foundations, Ocean Engineering, 143, p.149-162

# DRT TEMEL ÇEŞİTLERİ

## Temel Tiplerinin Payları



**2018 yılında işletmeye alınan DRT temelleri:**

- %75 tekil kazık
- %25 kafesli kazık

**Kaynak:** WindEurope

## Tekil Kazıklı Temeller



**Kaynak:**

<https://www.windpoweroffshore.com/article/1305728/first-gemini-monopiles-arrive-netherlands>

<https://www.delta.tudelft.nl/article/gently-now-developing-quiet-way-driving-down-monopiles>

- Geçiş parçası
- Kolay tasarım ve analiz
- Deniz tabanında asgari hazırlık
- Nispeten ucuz üretim
- Sınırlı alan kullanımı
- Gürültü kirliliği



# Kafes Kazıklı Temeller



- Kazıklar üzerine kurulum
- Rijit
- Ekstrem koşullarda kullanım
- Zemin şartlarına daha az hassas
- Karmaşık yapısından dolayı pahalı

**Kaynak:** <http://cipartners.dk/first-jacket-installation-beatrice-offshore-wind-farm/>

# Grup Kazıklı Temeller



- Genelde üç veya dört ayaklı
- Geçiş bölgelerinde avantajlı (ekstrem dalga)
- Yerleştirilmesi pahalı

**Kaynak:**

<https://www.eurotrib.com/story/2009/3/12/114958/542>

# Ağırlık Temeller



**Kaynak:** Blyth Offshore Demonstrator Wind Farm

- Yüklere karşı öz ağırlık ile direnç
- Üretimi tekil kazıklara göre daha ucuz
- Ağır yük taşıma gemileri
- Deniz tabanında hazırlık gerekliliği



# Vakumlu Kova Keson Temeller



- Farklı yerleştirme yöntemi
- Deniz tabanında itilen kovalar, içindeki su vakumlanarak boşaltılarak yaratılan basınç farkı
- Derin sularda kullanılabilirliği
- Kolay taşınabilirlik
- Ucuz kurulum

**Kaynak:** <https://www.powermag.com/vattenfall-pioneers-innovative-offshore-wind-foundations/>

# Yüzer Temeller



- Kolay kurulum
- Çevreye ve deniz tabanına az zarar vermesi

**Kaynak:** <https://deepresource.wordpress.com/2017/06/11/floating-wind-turbines-2/>

# MEVCUT DENİZ TABANI ZEMİN ETÜDÜ ŞARTNAMESLERİ

Şartname Adı	Ülke	Yıl
ISO 19905-1: Petroleum and natural gas industries - Site specific assessment of mobile offshore units - Part 1: Jack-ups	İsviçre	2012
API 2000: Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Working Stress Design	-	2000
DNVGL-RP-C212: Offshore soil mechanics and geotechnical engineering	Norveç	2017
DNVGL-ST-0126: Support structures for wind turbines	Norveç	2018
DNV-OS-J101: Design of Offshore Wind Turbine Structures	Norveç	2014
BSH No-7004: Standard Ground Investigations - Minimum requirements for geotechnical surveys and investigations into offshore wind energy structures, offshore stations and power cables	Almanya	2014
ISSMGE TC1: Geotechnical and Geophysical Investigations for Offshore and Nearshore Developments	Birleşik Krallık	2005
DS 472: Forudsætninger for vindmøllekonstruktioner I Danmark	Danimarka	2007

# MEVCUT DENİZ TABANI ZEMİN ETÜDÜ ŞARTNAMESİ

Şartname Adı	Ülke	Yıl
ISO 19905-1: Petroleum and natural gas industries - Site specific assessment of mobile offshore units - Part 1: Jack-ups	İsviçre	2012
API 2000: Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Working Stress Design	-	2000
<b>DNVGL-RP-C212: Offshore soil mechanics and geotechnical engineering</b>	<b>Norveç</b>	<b>2017</b>
DNVGL-ST-0126: Support structures for wind turbines	Norveç	2018
DNV-OS-J101: Design of Offshore Wind Turbine Structures	Norveç	2014
BSH No-7004: Standard Ground Investigations - Minimum requirements for geotechnical surveys and investigations into offshore wind energy structures, offshore stations and power cables	Almanya	2014
<b>ISSMGE TC1: Geotechnical and Geophysical Investigations for Offshore and Nearshore Developments</b>	<b>Birleşik Krallık</b>	<b>2005</b>
DS 472: Forudsætninger for vindmøllekonstruktioner I Danmark	Danimarka	2007

# DENİZ TABANI ZEMİN ETÜDÜ AŞAMALARI

## DNV-RP-C212

1. Jeolojik çalışmalar
2. Jeofizik incelemeler
3. Geoteknik araştırmalar

## ISSMGE TC1

1. Büro araştırmaları
2. Jeofizik zemin incelemeleri
3. Geoteknik araştırmalar

# DENİZ TABANI ZEMİN ETÜDÜ AŞAMALARI

Yapılacak işlemlerin sırası:

Varsa, bölgesel mevcut jeolojik, jeofizik ve geoteknik bilgiler ile mevcut temellerin performans bilgilerinin toplanması



Jeofizik incelemelerin deniz tabanı batimetrisi ve incelemeleri ile deniz tabanı altı profillerini içerecek şekilde yapılması



Yapı ve temelin yeri ve tipi belirlendikten sonra, belirlenen yerde, detaylı geoteknik araştırmalar ile topoğrafik haritalama ve deniz tabanı zemin araştırmalarının yapılması



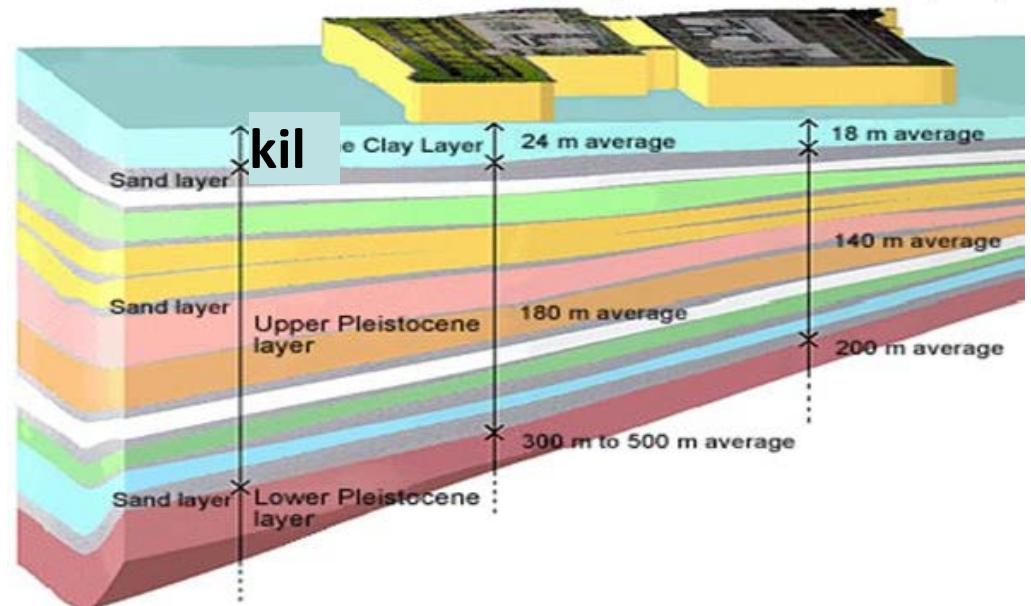
Geoteknik saha araştırmalarının ön tasarımlara göre yapılması

# TEMEL ESASLAR

- Her bir temel için zemin katmanlarının belirlenmesi
- Zemin **katmanlarının yatay ve düşey değişkenliğinin belirlenmesi**
- Zayıf katmanların düşünülmesi

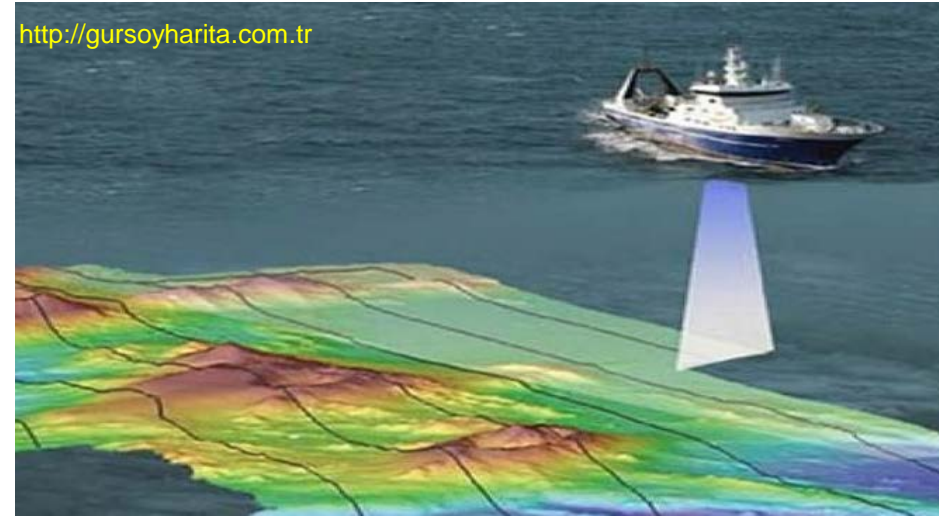
## Dikkat edilecek faktörler

- Yapının tipi, büyüklüğü ve önemi
- Su derinliği
- Hali hazırda var olan bölgesel bilgiler
- Temele binen yük çeşitleri
- Bulunulan aşama
- İnsan ve çevreye olan kabul edilebilir risk



# BÜRO ÇALIŞMALARI

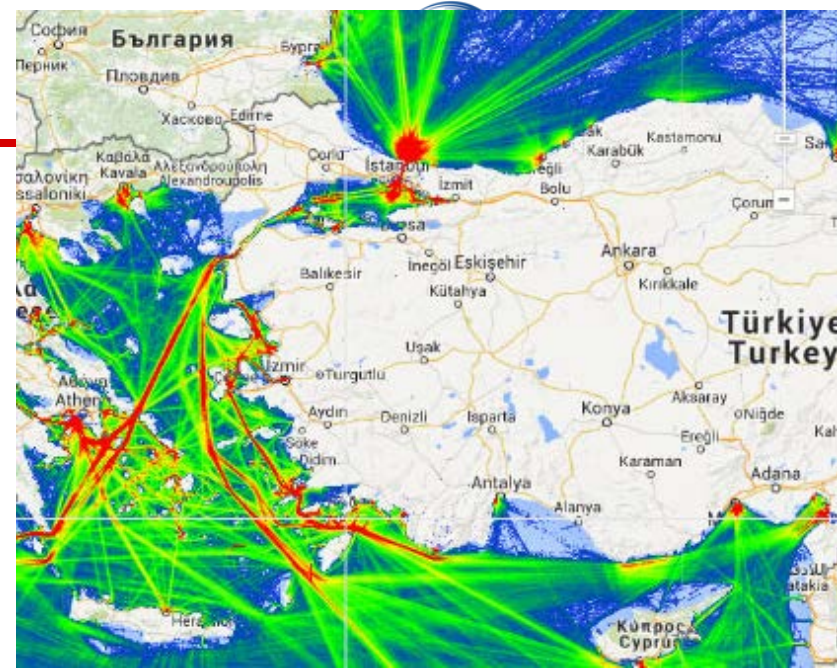
- Kaynak taranması, toplanması ve değerlendirilmesi
- Deniz tabanı batimetrisi
- Deniz tabanı jeolojisi
- Sismik aktivite kayıtları
- Var olan geoteknik bilgiler
- Varsa mevcut temel performansları
- Meteorolojik veriler
- Teknik olmayan bilgiler (gemi trafiği, çevre koruma bölgeleri gibi)





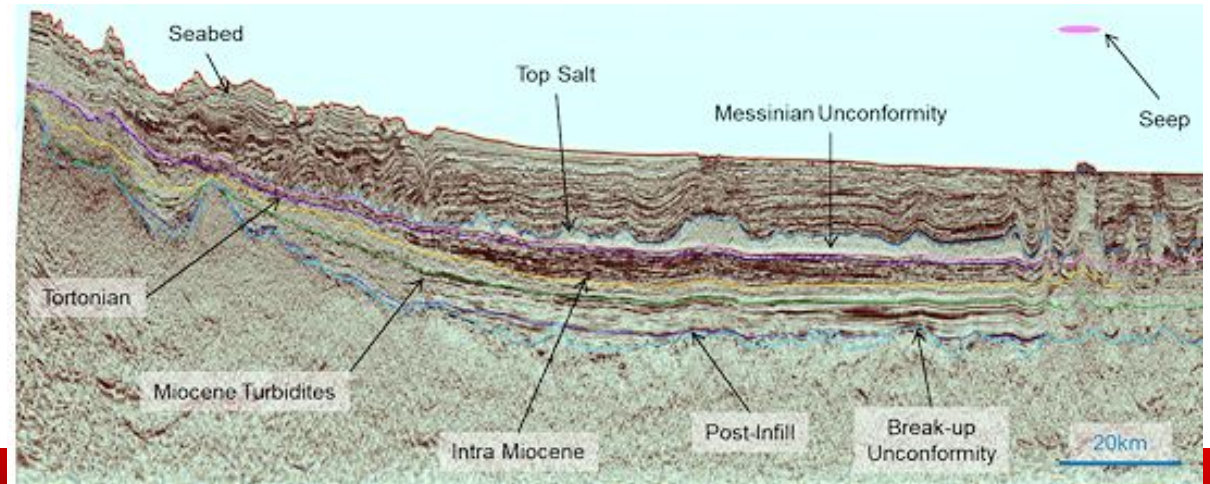
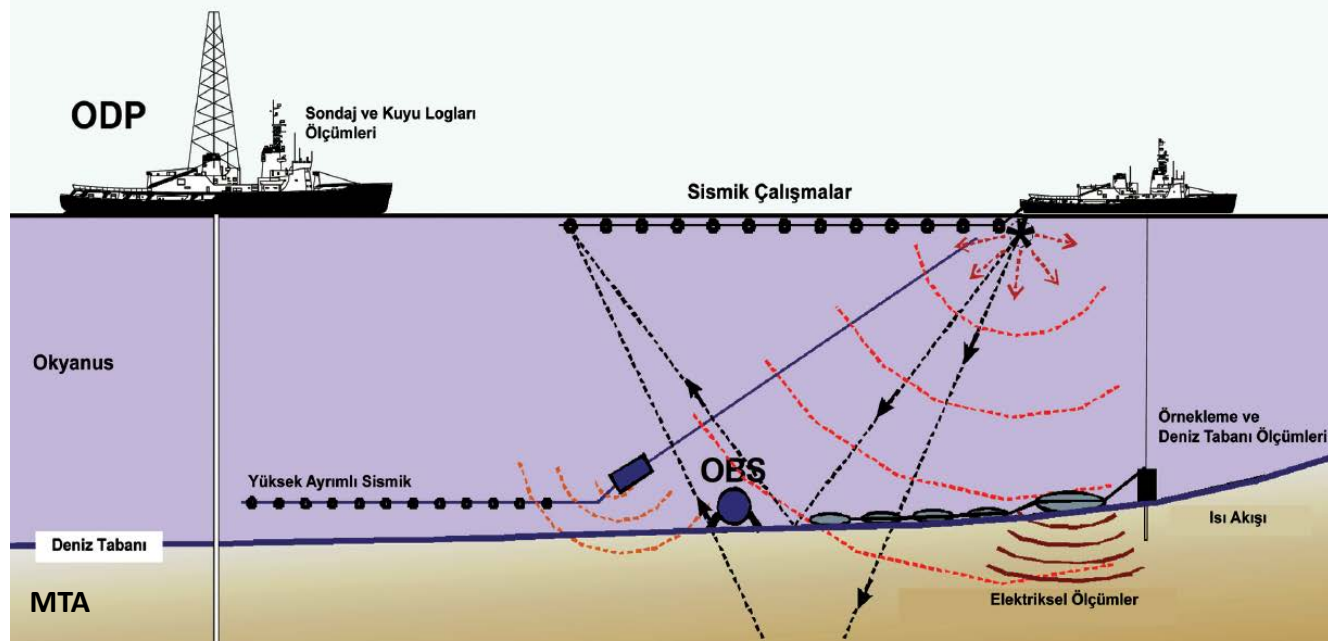
# BÜRO ÇALIŞMALARI

- Kaynak taraması, toplanması ve değerlendirilmesi
  - Deniz tabanı batimetrisi
  - Deniz tabanı jeolojisi
  - Sismik aktivite kayıtları
  - Var olan geoteknik bilgiler
  - Varsa mevcut temel performansları
  - Meteorolojik veriler
  - Teknik olmayan bilgiler (**gemi trafiği, çevre koruma bölgeleri gibi**)

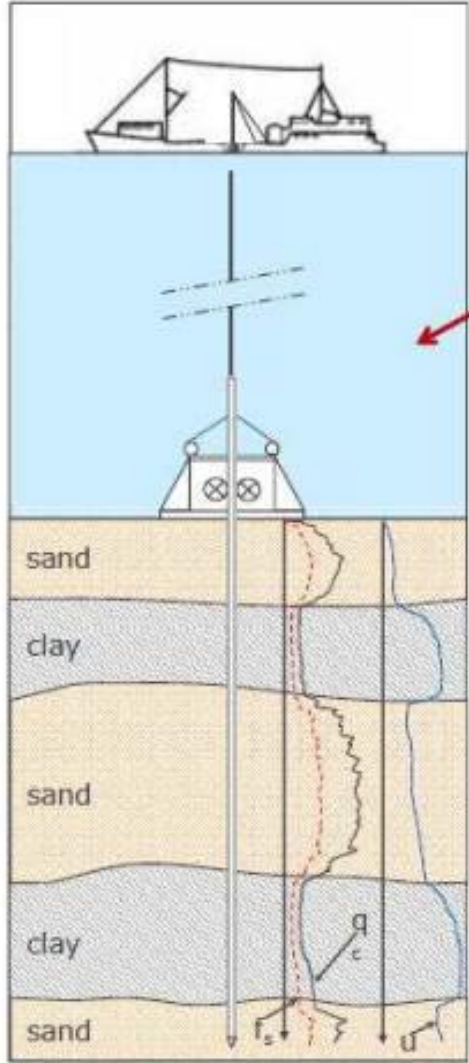


# JEOFİZİK İNCELEMELER

- **Deniz tabanı batimetrisi**
  - Sismik yansımalar
  - Sismik kırılma
  - Elektriksel özdirenç
- Jeolojik risklerin ve deniz altı jeolojik oluşumların haritalanması
- Deniz tabanı altının da incelenmesi



# GEOTEKNİK ARAŞTIRMALAR



- Deniz üstü geoteknik mühendisliğinde en yaygın olarak kullanılan test **koni penetrasyon deneyi CPT**'dir.
- Deniz tabanına, koni şeklinde ucu olan ve sensörler ile basınç ve sürtünme ölçümleri yapabilen bir prop (ölçüm cihazı), belli bir hızda (2 cm/sn) itilir.



# ÖRNEK ÇALIŞMA: SHERINGHAM SHOAL DRT ÇİFTLİĞİ



- İşletime alınma tarihi: 2012
- 317 MW üretim kapasitesi
- 88 DRT
- Kıyıdan 20 km açıklıkta
- 20 m deniz derinliği
  
- Tekil kazıklı temeller
- 4.7 – 5.7 m kazık çapı
- 27 – 37 m penetrasyon derinliği

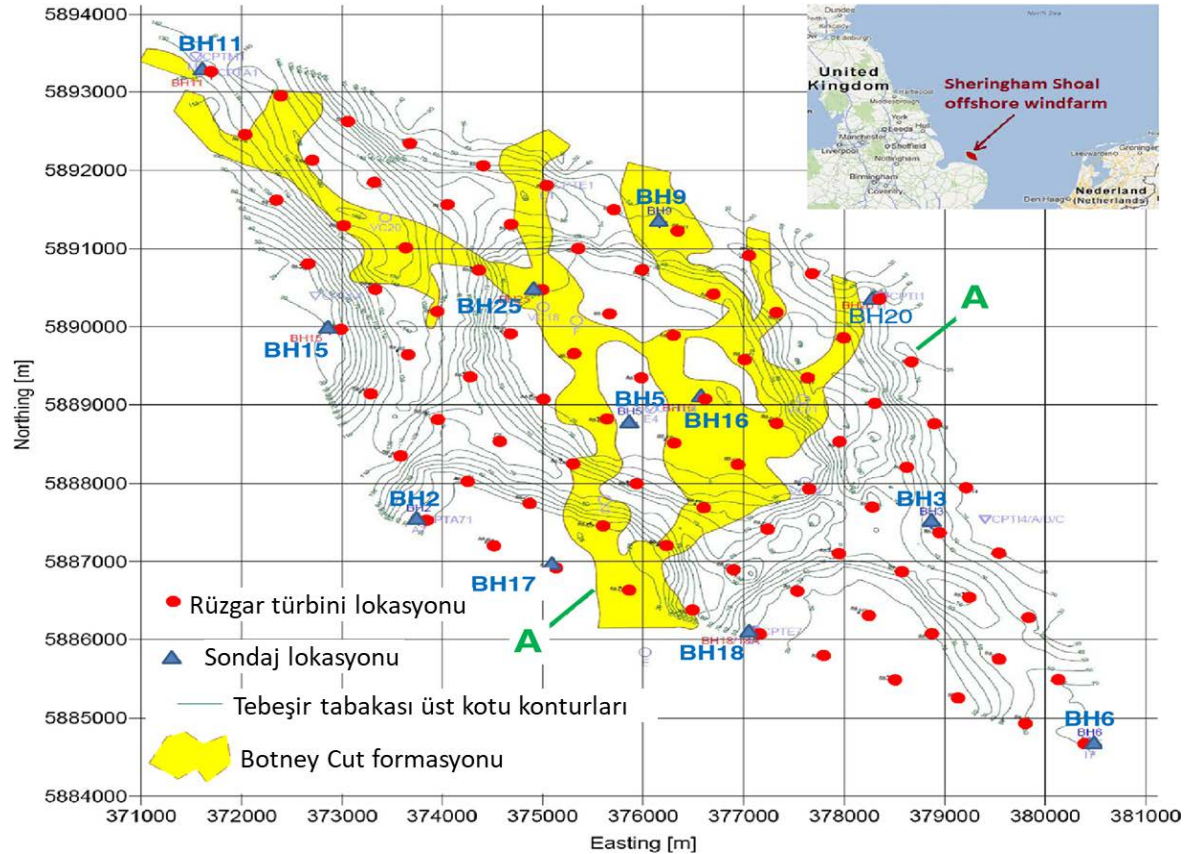
**Kaynak:**

<http://sheringhamshoal.co.uk/about/overview.php>

# ÖRNEK ÇALIŞMA: SHERINGHAM SHOAL DRT ÇİFTLİĞİ

- DNV
  - Ön saha araştırmaları: 2005 – 2006
  - Detaylı geoteknik araştırmalar: 2008
  - Toplam 12 sondaj (5 ön araştırma, 7 detaylı araştırma)
  - Sondaj derinlikleri: 26 – 70 m
- 
- Aşırı konsolide olmuş kil ve sıkı kum birimleri
  - Farklı derecelerde ayrıışmış tebeşir tabakaları

# ÖRNEK ÇALIŞMA: SHERINGHAM SHOAL DRT ÇİFTLİĞİ



# SONUÇ

Türkiye’de atılması gereken adımlar:

1. Rüzgar potansiyelinin detaylı ölçümlerle belirlenmesi
2. Belirlenen potansiyel yerlerde meteorolojik ölçümlerin yapılması
3. Deniz üstü rüzgar potansiyeli atlası hazırlanması
4. Deniz Mekansal Planlama çalışmaları yapılması
5. Ülkemizdeki deprem riski göz önünde bulundurularak ve dünya çapındaki şartnameler incelenerek, önce zemin etüdü daha sonra DRT tasarım şartnameleri hazırlanması