



DENİZÜSTÜ RÜZGAR ELEKTRİK SANTRALLARI

Dr Murat DURAK (Meteoroloji Mühendisi)

Dolunay Güçlüer Küpeli (Harita Yük. Müh.)

Ekim 2020

DENİZÜSTÜ RÜZGAR ELEKTRİK SANTRALLARI

Dr Murat DURAK (Meteoroloji Müh.)

Dolunay Güçlüer Küpeli (Harita Yük. Müh.)

Ekim 2020

Prof Dr Osman Sevaioğlu Anısına,



ÖNSÖZ

Bu kitap, yazarların Murat Durak (23 yıl) Dolunay Güçlüer Küpeli (12 yıl) rüzgar enerji sektör tecrübesinin bir eseri olarak çıkmıştır ve yazımı 3 yılı aşmıştır.

1. Bölümde rüzgar enerji kullanımının tarihsel gelişimim detaylı olarak incelenmiştir. Hem dünya hem de ülkemizi çin yıllara göre tarihsel kronoloji hazırlanmıştır. 2. Bölümde deniz meteorolojisi üzerinde durulmuştur.

Oşioğrafi biliminin anlatıldığı 3. Bölümde; Dr Murat Durak'ın 1996-1997 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi rahmetli hocası Prof Dr İstemi Ünsal'dan aldığı fiziksel ve dinamik oşinografi dersinin çok faydası olmuştur.

4. Bölümde denizüstü rüzgar ölçümlerinin nasıl yapıldığı ve özellikle de Almanya FINO 1-2-3 projesi üzerinde durulmuştur.

Bölüm 5, denizüstü rüzgar türbinlerinin ve kullanılan diğer teçhizatın detaylı anlatıldığı bölüm olarak düşünülmüştür.

DRES ekipmanlarının üretim süreci ve özellikle limanda üretimi ile ilgili bilgiler için 6. Bölüm hazırlanmıştır.

Denizüstü RES projelerinde kullanılan bir çok özel gemi ve diğer yardımcı ekipman bulunmakta olup konunun ayrı bir bölüm olarak yazılmasında fayda görüldüğünden konu ile ilgili diğer kitaplarda bulunmayan bir Bölüm 7 yazılmıştır.

DRES projelendirme, EPC ve uygulaması, Bölüm 8, 9 ve 10'da anlatılmıştır. Özellikle Almanya ve İngiltere'de yapılan denizüstü RES'lerden örnek verilmiştir. Bunun temel nedeni ise adı geçen ülkeden projelere ait kaynaklar bulunabilmiştir.

DRES projelerine başlayan ülkelerde ve bu ülkelerdeki uygulamalarda elde edilen tecrübeler için Bölüm 11 oluşturulmuştur.

Denizüstü RES piyasa gelişimi ve mevcut piyasa durumu Bölüm 12 ile anlatılarak kitap bitirilmiştir.

Kitaptaki bilgilerin toparlanmasında bize destek veren ve bilgi gönderen herkese çok teşekkür ederiz.

Bu kitabı yazarken bizlere maddi ve manevi her şekilde arkamızda duran ailelerimize ise hayatımız boyunca minnettar kalacağız.

Kitabın bitirildiği tarihlerde enerji sektörünün önemli isimlerinden Prof Dr Osman Sevaioğlu'nu kaybettik. Kendisi yaşasa idi, kitabı inceleyip yorumlar verecekti. Bu yüzden bu çalışma Osman Hoca'ya ithaf edilmiştir.

Ekim 2020

Dr Murat DURAK
Yük. Müh. Dolunay Güçlüer Küpeli

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
1. GİRİŞ VE TARİHÇE.....	1
1.1. Rüzgar Enerjisi Kullanımı Tarihsel Süreç	3
1.2. Rüzgar Enerjisi Ülkemizde Tarihsel Süreç.....	9
2. DENİZ METEOROLOJİSİ	15
2.1. Küresel Rüzgarlar	16
2.1.1. Tek-Hücre Modeli	16
2.1.2. Üç-Hücre Modeli	17
2.2. Hava Kütleleri.....	17
2.2.1. Hava Kütlelerinin Kaynak Bölgeleri	18
2.2.2. Hava Kütlelerinin Sınıflandırılması	18
2.3. Siklonik ve Antisiklonik Akış.....	19
2.3.1. Siklonlar ve Cephe Sistemleri.....	20
2.3.2. Tropikal Siklonlar	21
2.4. Rüzgar ve Dalgalar	23
2.4.1. Bulutlar	24
2.4.2. Yüksek Seviye Bulutlar	26
2.4.3. Orta Seviye Bulutlar	26
2.4.4. Alçak Seviye Bulutlar.....	27
2.5. Deniz Bozuluma Göre Rüzgar Şiddeti Tahmini	28
2.6. Yerel Rüzgarlar.....	29
2.6.1. Kara ve Deniz Meltemleri.....	29
2.6.2. Dağ ve Vadi Rüzgarı	29
2.7. Rüzgar Oluşumu	30
2.7.1. Jeostrofik Yaklaşım	30
2.7.2. Gradyan Rüzgar	31
2.7.3. Atmosferik Sınır Tabaka (Atmospheric Boundary Layer).....	31
2.7.4. Düşey Rüzgar Profili	32
2.7.5. Atmosferik Kararlılığın Rüzgara Etkisi	32
2.8. Rüzgar İstatistiği ve Formüller	33
2.8.1. Normal Dağılım.....	34
2.8.2. Rüzgar Güç Formülasyonu	34
2.8.3. Weibull Dağılımı	36
2.8.4. Atmosferik Kararlılığın Rüzgara Etkisi	37
2.8.5. Ekstrem (Aşırı) Rüzgar Hızı Dağılımı	37
2.9. Rüzgar Türbülansının Analizi.....	37
2.9.1. Türbülans Yoğunluğu	37
2.9.2. Türbülans Frekans Bileşenlerinin Analizi.....	38

3. GENEL OŞİNOGRAFI	39
3.1. Kara ve Denizlerin Dağılımı	39
3.2. Deniz Suyunun Kimyasal Özellikleri	40
3.3. Deniz Suyunun Fiziksel Özellikleri	41
3.3.1. Derinlik	41
3.3.2. Tuzluluk	42
3.3.3. Sıcaklık	43
3.3.4. Yoğunluk	44
3.3.5. Denizlerde Işık	45
3.4. Dinamik Oşinografi	46
3.4.1. Upwelling	46
3.4.2. Ekman Spirali	46
3.4.3. Thermohaline Döngüsü	47
3.4.4. Gel-git	47
3.4.5. Rip (Çeken) Akıntı	49
3.5. Okyanus Akıntıları	50
3.5.1. Atlas Okyanusu Akıntıları	51
3.5.2. Hint Okyanusu Akıntıları	52
3.5.3. Pasifik Okyanusu Akıntıları	52
3.6. Türkiye'de Denizlerindeki Akıntılar	53
4. DENİZÜSTÜ RÜZGAR ÖLÇÜMÜ	57
4.1. Rüzgar Hızını Ölçen Aletler	57
4.1.1. Anemometre	58
4.1.2. NRG Inc Anemometre	59
4.1.3. Vector Inc Anemometre	59
4.1.4. Ultrasonik Anemometre	60
4.1.5. Isıtmalı (Heated-Icefree) Anemometre	62
4.2. Uzaktan Algılama Teknolojisi	63
4.2.1. SODAR Uzaktan Algılama Ölçüm Teknolojisi	63
4.2.2. LIDAR Uzaktan Algılama Ölçüm Teknolojisi	65
4.2.3. Uzaktan Algılama Sistemleri Yer Seçimi ve Çalıştırılması	66
4.2.4. Ölçümlerin Doğrulaması (Verification, Validation)	67
4.3. Yön Sensörü	68
4.3.1. NRG 200 P Yön Sensörü	69
4.3.2. Ammonit GmbH Yön Sensörü	70
4.4. Diğer Sensörler	70
4.4.1. Sıcaklık Sensörü	70
4.4.2. Nem Sensörü	71
4.4.3. Basınç Sensörü (Barometre)	71
4.5. Sensörlerin Kalibrasyonu	72
4.5.1. Anemometre Kalibrasyonu İçin Gerekli Şartlar	72
4.5.2. Kalibrasyon Prosedürü	73
4.5.3. Rüzgar Ölçümlerinde Hata Payı (Belirsizlik)	73
4.6. Almanya'da Yapılan Denizüstü Rüzgar Ölçümleri	75
4.6.1. FINO 1 Denizüstü Meteoroloji Ölçüm İstasyonu	76
4.6.2. FINO 2 Denizüstü Meteoroloji Ölçüm İstasyonu	80
4.6.3. FINO 3 Denizüstü Meteoroloji Ölçüm İstasyonu	86
4.7. Hollanda'da Yapılan Denizüstü Rüzgar Ölçümleri	91
4.7.1. IJMuiden Meteoroloji İstasyonu	92
4.7.2. Liechteiland Goere Meteoroloji Ölçüm İstasyonu	93
4.7.3. Europlatform Meteoroloji Ölçüm İstasyonu	94
4.7.4. K13a Meteoroloji Ölçüm İstasyonu	94
4.7.5. Hollande Kust Zuid Meteoroloji Ölçüm İstasyonu	94
4.7.6. Borssele Wind Farm Zone Meteoroloji Ölçüm İstasyonu	95
4.7.7. Hollanda Ölçümlerine Ait Genel Değerlendirme	95
5. DENİZÜSTÜ RÜZGAR ELEKTRİK SANTRALI EKİPMANI	99
5.1. Denizüstü Rüzgar Türbini (DRT)	101

5.1.1. Ana Yatak (Main Bearing)	103
5.1.2. Döner Halka (Slewing Rings)	103
5.1.3. Dişli Kutusu (Gearbox).....	104
5.1.4. Uyarı Işığı (Aviation veya Obstacle Light).....	104
5.1.5. Fren Sistemi	105
5.1.6. RT Elektronik Kontrol Sistemi.....	106
5.1.7. DRT Aerodinamiği	108
5.1.8. RT Gölgeleme Etkisi (Wake Effects)	109
5.1.9. Kayıplar	110
5.1.10. RT Güç Üretimi	110
5.2. Denizüstü Rüzgar Türbini Temel Tasarımı	111
5.2.1. Tekil Kazıklı Temel (Monopile).....	112
5.2.2. Grup Kazıklı Temel (Tripod).....	114
5.2.3. Kafes Temel (Jacket)	114
5.2.4. Vakumlu Kova Keson Temel (Suction Bucket)	115
5.2.5. Ağırlık Temel (Gravity).....	116
5.2.6. Yüzer (Floating) Temeller	116
5.2.7. Deniz Tabanı Stabilitesi ve Oyulma (Scour) Koruması.....	119
5.3. DRT'lerde Güvenlik.....	121
5.3.1. Kişisel Koruma Cihazları.....	121
5.3.2. DRT Yıldırım Koruma Sistemi.....	121
5.3.3. Yangın Koruma Sistemi.....	124
5.4. Denizüstü RES Elektrik Sistemi	125
5.4.1. Denizaltı Kablolama	126
5.4.2. Denizüstü Şalt Sahası	126
5.4.3. Denizaltı Enerji Nakil Hattı	127
5.4.4. Karaüstü Enerji Nakil Hattı	128
5.4.5. Karaüstü Trafo Merkezi.....	128
6. DENİZÜSTÜ RES EKİPMAN ÜRETİMİ	129
6.1. DRT Üretim Limanı	129
6.2. Denizüstü Şalt Sahası Üretim Limanı.....	130
6.3. İşletme ve Bakım Limanı.....	130
6.4. DRT Temel Üretimi.....	132
6.5. Kuru Rıhtımda (Dry Dock) Üretim.....	133
6.6. DRES Şalt Sahası-Kara Arası Kablo (ENH)	135
7. DENİZÜSTÜ RES PROJELERİNDE KULLANILAN GEMİLER.....	137
7.1. DRES Araştırma Gemileri (Survey Vessels).....	137
7.2. Personel Ulaştırma Gemileri (Staff Transportation Vessel/Barge).....	138
7.3. Römorkör Gemileri (Anchor Handling Tugs)	138
7.4. Kablo Kanal Açıcı Robot (Anchor Trenching Machine)	139
7.5. Denizaltı Kablo Serme Gemileri (Cable Laying Vessels)	139
7.6. Çakıl/Taş Döküm Gemisi (Rock Dump Vessel).....	140
7.7. DRT Nakliye Gemileri	140
7.8. DRES Nakliye ve Montaj (Jack Up) Gemileri.....	141
7.9. DRES Bakım Gemileri (Maintenance Vessels)	143
8. DENİZÜSTÜ RES PROJELENDİRME SÜRECİ	145
8.1. DRES Proje Sahası Belirlenmesi	147
8.2. Deniz Tabanı (Seabed) Koşulları.....	148
8.2.1. Sondaj ve Örnekleme.....	149
8.2.2. Arazi Deneyleri.....	150
8.3. DRES ÇED Süreci	151
8.4. Modelleme Çalışmaları.....	152
8.4.1. Gel-Git Modellemesi	153
8.4.2. Fırtına Dalgaları.....	153
8.4.3. Akıntı Modellemesi	153
8.4.4. Deniztabanı Araştırması	153

8.4.5. Ornitoloji İncelemesi	154
8.4.6. Balık Populasyonu ve Deniz Memelileri	156
8.4.7. Balıkçılık Faaliyeti İncelemesi	156
8.4.8. Gemi Trafiği İncelemesi	156
8.5. DRT Mikrokpnüşlandırma (Micrositing)	157
9. DENİZÜSTÜ RES PROJE EPC (Eingineering, Procurement and Construction).....	161
9.1. DRES Proje Riskleri	162
9.2. DRES EPC Hizmet Alımı.....	162
9.2.1. Proje Geliştirici Firmalar	162
9.2.2. Mühendislik ve Danışmanlık Firmaları	163
9.2.3. DRES İş Güvenliği (Health and Safety) Firmaları	165
9.2.4. Denizüstü Meteoroloji Ölçüm İstasyon Tedarik Firmaları	165
9.2.5. Denizüstü DRES ÇED Firmaları	166
9.2.6. Deniz Bilimi Mühendislik Firmaları.....	166
9.2.7. Denizüstü DRT Tedarik Eden Firmalar.....	166
9.2.8. DRT Temel Dizaynı Yapan Firmalar	169
9.2.9. DRT Temel Üretim Firmaları	169
9.2.10. DRT Kule Üretim Firmaları	172
9.2.11. DRES Araştırma Gemi Kiralama Firmaları.....	172
9.2.12. DRES Denizaltı Kazı Firmaları	172
9.2.13. Nakliye Firmaları.....	173
9.2.14. DRT Gemi Montaj Firmaları	173
9.2.15. DRES Konteyner Satış/Kiralama Firmaları	175
9.2.16. DRES Personel Tedarik Firmaları	175
9.2.17. DRES İnşaat Firmaları.....	175
9.2.18. Denizaltı Kablo Montaj Firmaları.....	176
9.2.19. Denizaltı Kablo Tedarik Firmaları.....	178
9.2.20. DRES Şalt Dizaynı Yapan Firmalar	179
9.2.21. Denizüstü Şalt Sahası Tedarik Firmaları	179
9.2.22. DRES Elektrik Montaj Yapan Firmalar.....	180
9.2.23. DRES İşletme ve Bakım Firmaları	181
9.2.24. DRES İşletme ve Bakım Gemi Firmaları	181
9.2.25. DRES Bakım Firmaları	181
10. DENİZÜSTÜ RES ROJE UYGULAMA (NAKLİYE, İNŞAAT VE MONTAJ).....	183
10.1. DRES İnşaat İşleri	183
10.2. DRT Nakliye İşleri	183
10.3. DRES Limanda Yapılacak İşler.....	184
10.4. Verilere Yarıvargram Sürecinin Uygulanması	186
10.4.1. Kuru Yük Taşımacılık (Dry Transport)	186
10.4.2. Su Üstünde Yüzdürme (Wet towing).....	186
10.4.3. Tekil Kazıklı Temel (Monopile) Denizüstü Nakliyesi	188
10.4.4. Ağırlık Temel (Gravity) Denizüstü Nakliyesi	188
10.4.5. Grup Kazıklı Temel (Tripod) Denizüstü Nakliyesi	189
10.4.6. Kafes Temel (Jacket) Denizüstü Nakliyesi.....	189
10.4.7. Vakumlu Kova Keson Temel (Suction) Denizüstü Nakliyesi	190
10.4.8. Yüzer (Floating) Temel Denizüstü Nakliyesi	191
10.4.9. DRT Kanat Nakliyesi	191
10.4.10. Denizüstü Şalt Nakliye	192
10.5. DRT Montaj İşleri	193
10.5.1. DRT Karaüstü Montaj İşleri	193
10.5.2. Denizüstü Montaj	193
10.5.3. Tekil Kazıklı Temel (Monopile) Montajı	194
10.5.4. Ağırlık (Gravity) Temel Montajı	194
10.5.5. Grup Kazıklı (Tripod) Temel Montajı.....	197

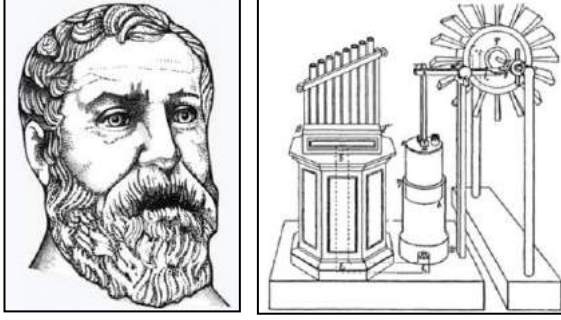
10.5.6. Kafes (Jacket) Temel Montajı.....	197
10.5.7. Vakumlu Kpova Keson (Suction Bucket) Temel Montajı	198
10.5.8. Yüzer (Floating) Temel Montajı.....	198
10.5.9. DRT Kule Montajı.....	199
10.5.10. DRT Pervane Montajı.....	199
10.5.11. DRT Nasel Montajı.....	200
10.5.12. DRT Tek Parça Montaj.....	200
10.6. DRES Denizüstü Şalt Sahası Montajı.....	200
10.7. DRT-DRES Şalt Sahası Denizaltı OG Kablolama	201
10.8. DRES Şalt Sahası-Kara Arası Denizaltı Kablolama.....	203
10.9. DRES Şalt Sahası-Kara Arası Denizaltı Kablolama.....	203
11. DRES KAZANILAN TECRÜBELER.....	205
11.1. OWEZ DRES (Hollanda)	205
11.2. Gemini DRES (Hollanda).....	213
11.3. Thornton Bank DRES (Belçika).....	216
11.4. Borkum West DRES (Almanya).....	219
11.5. Budentiek DRES (Almanya)	222
11.6. Greater Gabbard DRES (İngiltere)	223
11.7. Scroby Sands DRES (İngiltere)	225
11.8. Horns Rev DRES (Danimarka).....	228
11.9. Nysted DRES Projesi (Danimarka)	232
11.10. Middelgeunden DRES Projesi (Danimarka).....	234
11.11. Kazanılan Tecrübeler.....	236
12. DENİZÜSTÜ RÜZGAR ENERJİ PİYASASI.....	239
12.1. Avrupa Ülkeleri	239
12.1.1. Avrupa Ülkelerinde Proje Geliştirme ve Yatırım Bütçesi	243
12.1.2. DRES Elektrik Satış Anlaşmaları (Power Purchase Agreement)	244
12.1.3. Avrupa'da Yapılan 2019 DRES İhaleleri	245
12.1.4. Avrupa DRT Pazar Payı	245
12.1.5. Dünyada DRES Durumu	245
12.2. Dünyada 2030 Yılına Kadar Olan Kapasite Projeksiyonu.....	247
12.2.1. Avrupa 2030 Yılına Kadar Olan Kapasite Projeksiyonu	247
12.2.2. Asya Ülkeleri 2030 Yılına Kadar Olan Kapasite Projeksiyonu	248
12.2.3. Kuzey Amerika 2030 Yılına Kadar Olan Kapasite Projeksiyonu	248
12.2.3. Dünya Ülkeleri 2030 Yılına Kadar Olan Kapasite Projeksiyonu	249
12.3. DRES Sivil Toplum Kuruluşları.....	249
KAYNAKLAR... ..	249
ÖZGEÇMİŞ.....	253

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
CFD	: Computational Fluid Dynamics
DRES	: Denizüstü Rüzgar Elektrik Santralı
DRT	: Denizüstü Rüzgar Türbini
ENH	: Enerji Nakil Hattı
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GT	: Jeneratör Sıcaklığı
kW	: Kilo Watt
MW	: Mega Watt
NWP	: Numerical Weather Prediction (Sayısal Hava Tahmini)
NTYV	: Noktasal Toplam Yarıvariogram
P	: Üretim
PCA	: Principal Component Analysis
PLSR	: Partial Least Square Regression
RES	: Rüzgar Elektrik Santralı
RP	: Reaktif Güç
RŞ	: Rüzgar Şiddeti
RT	: Rüzgar Türbini
RİTM	: Rüzgar İzleme ve Tahmin Merkezi
SAB	: Standart Alansal Bağımlılık
SBK	: Standart Alan Bağımlılık Katsayısı
SD	: Standartlaştırılmış Değer
SEK	: Saha Etki Katsayısı
T	: Sıcaklık
TAK	: Toplam alan Bağımlılık
V	: Rüzgar Şiddeti
VB	: Vibrasyon
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
WRF	: Weather Research and Forecasting Model
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları

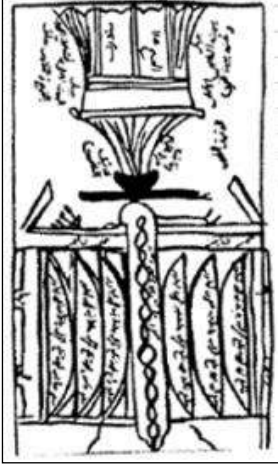
BÖLÜM 1: GİRİŞ VE TARİHÇE

Kelime anlamı olarak devir, hengam ve alem anlamlarını taşıyan rüzgarın meteorolojide anlamı ise, en basit anlamda hareket eden hava parselidir. İlk insanlar rüzgarın kaynağının nedenin bilmemekle beraber, onu kullanma yoluna gitmişlerdir. Bu yönde belki ilk uygulamalar, tahıl öğütme ve yelkenli gemilerin yüzdürülmesi ile başlamıştır. Eski Yunanlılar ve onları takiben Romalılar yelkenli gemilerini yüzdürmek için kullanmışsa da, toplumun diğer faaliyetlerinde rüzgar gücünden faydalanma onlar tarafından yapılmamıştır. Dairesel hareketli yel değirmenlerinden yararlanma Orta ve Doğu Asya toplumlarında görülmüştür. Bunun örnekleri İran, Afganistan, Pakistan, Tibet ve Doğu Asya ve Çin'de karşımıza çıkmaktadır. Yel değirmeni ile ilgili ilk çizim, MÖ 10-70 yıllarında Mısır İskenderiye'de yaşamış olan Hero of Alexandria tarafından yapılmıştır (Şekil 1.1).



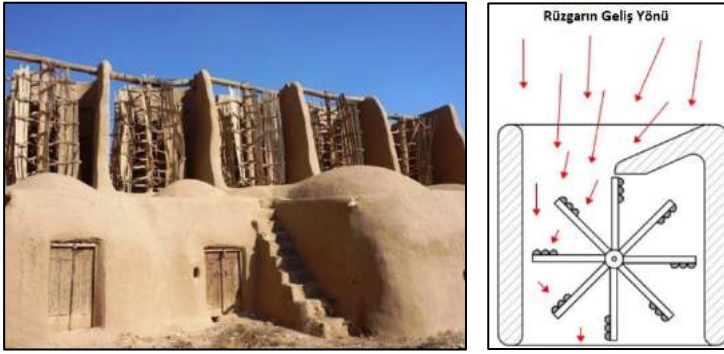
Şekil 1.1. Hero of Alexandria ve yel değirmeni çizimi.

İnsanlar, milattan önceki devirlerde bile, yelkenli gemilerin yüzdürülmesi dışında; düşük seviyelerdeki suların daha yükseğe çıkarılmasında ve buğday öğütülmesinde rüzgar enerjisinden faydalanmıştır. Özellikle İran'da bulunan yel değirmenleri, Haçlı Seferleri ile beraber, Batı'ya alınmıştır. Rüzgar enerjisinin toplum tarafından kullanımı, sanılının aksine Batı Medeniyetlerinde değil; Asya Medeniyetlerinden olan Çin, Tibet, Hindistan, Afganistan ve İran'da olmuştur. Rüzgar türbinleri (RT) hakkında ilk yazılı bilgiler, M.Ö. 200 ~ 300 yıllarında yatay eksenli yel değirmenleri ile ilgili olarak yazılmıştır. Ayrıca M.Ö. 700 yıllarında İranlıların da dikey eksenli yel değirmenleri kullandığı somut kanıtlardan bilinmektedir. Rüzgar gücü kullanım olarak Asya'dan Avrupa'ya 10. yüzyıl civarında geçmiştir. Bu geçişin ilk belirtileri olarak 11. ve 12. yüzyılda İngiltere'de yel değirmenlerinin kullanımı gösterilebilir. 1190'lı yıllarda Alman Haçlıları, yel değirmenlerini Suriye'den ülkelerine götürmüşlerdir. Ortaçağ dönemlerinden bu yana kullanılan yel değirmenleri kuyulardan su çekmek ve tahıl öğütmek amacı ile kullanılmıştır. Hollanda ve Akdeniz'deki bir çok adada bunların örnekleri bulunmaktadır. Tarihçiler, MÖ 1700'lü yıllarda Babillilerin Mezopotomya civarında sulama amaçlı yel değirmenlerinin kullanıldığını söylemektedirler. İlk yazılı bulgular da, MS 700'lü yıllarda İran'da bulunmuştur. Konu ile ilgili en çarpıcı ve eski bilgi, 9. yüzyılda Ali el-Tabari (834 - 927) tarafından kaleme alınmasına rağmen olay 2 yüzyıl önce meydana gelmiştir. Halife Ömer'i 644 yılında öldüren ve Medine'de köle olarak yakalanmış İranlı teknisyen Abu Lulu, İranlı bir yel değirmen yapımcısı olarak bilinmektedir. Bununla ilgili diğer bir kayıta, 957 yılında coğrafyacı Ali el-Mesudi tarafından bahsedilmekle beraber, biraz daha değiştirilmiştir. Yel değirmenlerinin ilk kullanımı sadece İran'da değil; Tibet, Hindistan ve Afganistan'da da görülmektedir. Yel değirmenleri ile ilgili ilk teknik kayıt denilebilecek, yel değirmeni tasarım kayıtları da 1300'lü yıllarda Suriyeli gökbilimci el-Dimashqi tarafından Şekil 1.2 ile görülen çizimdir. Çizim ile 2 katlı ve etrafı duvar ile örülmüş bir yel değirmeni tasvir edilmiştir ve Seistan bölgesine ait bir yel değirmenidir.



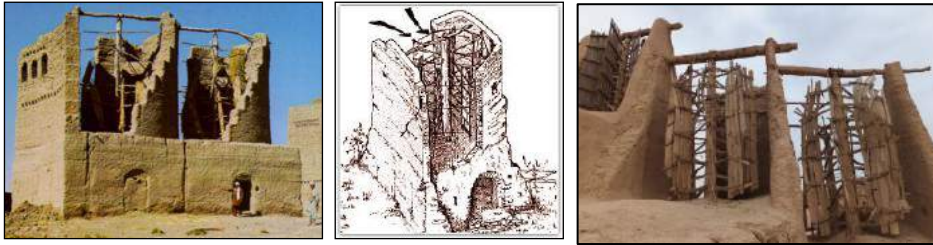
Şekil 1.2. Yel değirmeni ile ilgili en eski tasvirlerden biri.

Tarihi kaynaklara göre ilk yel değirmeni MS 644 yılında İran-Afganistan sınırındaki Seistan'da görülmüştür. 10. yüzyılda yaşamış olan gezgin el-Mesudi, İran'da ve Ortadoğuda yel değirmeni gördüğünü kaydetmiştir. Milattan önce 1000 – 1300'lü yıllarda İran tarafından kullanılan (Persian) bir yel değirmenini pervane kısmının tasarımı, Şekil 1.3 ile verilmiştir. Bu tasarıma panemone denmektedir. Düşey eksene sahip bu yel değirmenleri 1970'li yıllarda İran'ın Zahedon bölgesinde tahıl öğütmek için hala kullanılmakta idi. Yel değirmeni odanın içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 1.3. Yatay eksenli İran yel değirmeni pervanesi.

Yukarıda pervane tasarımı verilen yel değirmeninin resmi ise Şekil 1.4 ile verilmiştir. İran'ın Horasan bölgesine ait olan bu yel değirmeni, 3 metre yükseklikte bir kaidenin üzerinde konulmaktadır. Düşey eksene sahip bir pervaneye sahiptir ve unun öğütüldüğü kısım alt kattadır.

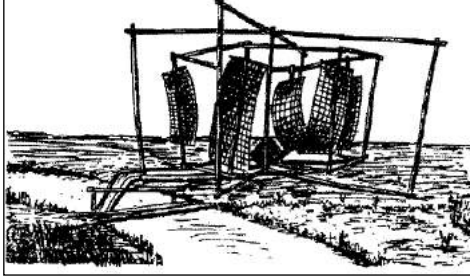


Şekil 1.4. İran yel değirmeni.

Yapı malzemesi olarak toprak kullanılan doğu medeniyeti yel değirmenlerinde pervane yerden 3 metre yükseklikte ve çapı da 4.5 m civarındadır. Kuzey-güney yönünde 2 metre civarında bir boşluk bulunmaktadır ve rüzgar bu boşluktan girip çıkmaktadır. Pervane merkezindeki milin çapı 50 cm civarındadır. Bu tip bir yel değirmeni çalıştığında bir günde 1 tona yakın bir tahıl öğütemekte idi.

Günümüzde bazı kaynaklarda, bu yel değirmeni tasarımının yani yatay eksenli yel değirmenlerinin Çin kökenli olduğu da iddia edilmektedir. Bu durumu destekleyecek fazla kanıt bulunmamıştır. Doğu

medeniyeti uzmanı Joseph Needham'a göre, konu ile ilgili en erken referans, 1200'lü yılların başına gitmektedir. Semerkant'a Çinli devlet adamı Yehlu Chhu-Tshai tarafından yapılan ziyaret sonrası yazdığı şiirde, kendi ülkesindeki modellere benzer yel değirmenlerinin Semerkant'ta kullanıldığını belirtmektedir. Çin'deki yel değirmenleri ciddi bir şekilde ilk defa 1656 yılında Jan Nieuhoff tarafından incelenmiştir. Nieuhoff'un ilk çizdiği Çin'e ait yel değirmeni, batıdakilerden oldukça farklı bir tasarıma sahiptir. Bir direk ile tutturulmuştur ve Çin'in özellikle doğu bölgelerinde pirinç tarlalarını sulamak için kullanılmıştır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Çin yel değirmeni.

1.1 Rüzgar Enerjisi Kullanımı Tarihsel Süreç

Rüzgar enerjisi kullanımının yıllara göre kronolojik bilgileri ilerleyen sayfalarda verilmiştir.

635: İranlı yel değirmeni teknisyeni Abu Lulu, MS 634 yılından itibaren Müslümanlara on yıl liderlik eden ikinci halife Hz Ömer'e gelerek rüzgarla çalışan bir değirmen inşa edebileceğini belirtmiştir.

900 Yılları: 10'uncu yüzyılda yaşamış olan Arap coğrafyacı Mesudi, İran'ın Seistan ve civar illerini "rüzgar ve kum ülkesi" biçiminde tarif ediyor ve şu bilgilere yer veriyordu:

"Bu gölgenin karakteristik bir özelliği, bahçe sulamasında kullanılam pompaları çalıştırmak için rüzgar gücü kullanılmasıdır".

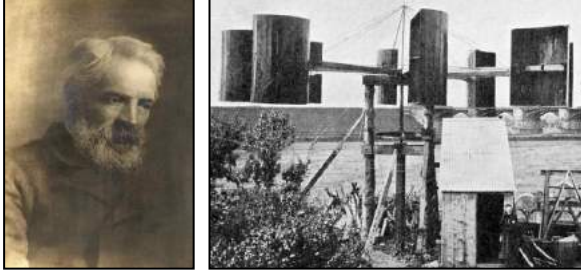


Şekil 1.6. İran Seistan Bölgesi kum fırtınası.

1000 Yılları: Çin'de deniz suyundan tuz üretmek için rüzgar enerjisinden faydalanmışlardır.

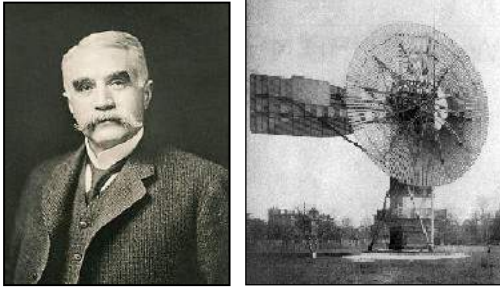
1180: Avrupa'nın kuzeybatısında yel değirmenleri görülmeye başlanmıştır. Batı Dünyası, Haçlı Seferleri sırasında yel değirmenleri ile karşılaşmıştır. Özellikle tahıl öğütme amaçlı kullanılmıştır.

1887: İskoçya'da bilinen ilk elektrik üretim amaçlı rüzgar türbini Glasgow'da mühendislik eğitimi almış olan Prof James Blyth tarafından geliştirilmiştir. O zamanki adı ile Anderson's College (şimdi Strathclyde University) öğretim görevlisi olan Blyth, 10 m yüksekliğindeki rüzgar türbinini yazlık evinde elektrik üretimi amacı için kullanmıştır (Şekil 1.7). Blyth, oturduğu bölge olan Marykirk sokak aydınlatması için rüzgar türbini kullanımını teklif etmişse de; teklifi "şeytan işi" olarak görülerek reddedilmiştir.



Şekil 1.7. James Blyth ve ilk elektrik üretimi yapan türbini.

1888: Amerika’da Charles Brush rüzgar enerjisinden elektrik üretimi için çalışmalara başlamıştır. 17 metrelik çapa sahip bu yeldeğirmeninde 1:50 rpm’e sahip dişli kutusu kullanılmıştır. Charles F. Brush, verimliliği yüksek doğru akım dinamo kullanarak ulusal şebekeye elektrik vermiştir (Şekil 1.8). Kendisinin sahip olduğu Brush Elektrik Şirketi, daha sonra Edison General Elektrik Şirketi ile birleşerek bugünkü adı ile General Elektrik Şirketi (GE) olmuştur. 1887 kışında, Charles F. Brush, dünyanın o zamanki en büyük pervane çapına sahip rüzgar türbinini geliştirmiştir. 17 metre pervane çapına sahip olan RT Şekil 1.44 ile görülmektedir. Bu büyük boyuna rağmen sadece 12 kW kurulu gücünde idi. Bunun nedeni ise, pervanenin yavaş dönmesi idi. Pervanenin hızlı döndüğü zaman daha verimli çalıştığını bulan kişi ise, Danimarkalı Poul La Cour idi.



Şekil 1.8. Charles F. Brush ve rüzgar türbini.

1891: Danimarkalı Meteorolojist Poul la cour, aynı zamanda aerodinamik çalışmalarda da bulunmuştur. Danimarka’da kurduğu Askov Folk High School’da rüzgar enerjisi ile ilgili dersler vermiştir ve 1897 yılında da 89 W gücünde ilk elektrik üretim amaçlı rüzgar türbinini yapmıştır. Bazı teorik deneyler de yapan Poul la Cour, Askov Folk High School’da rüzgar enerjisi dersleri vererek konunun önemini anlatmaya çalışmıştır. Aşağıdaki Şekilde La Cour’un test olarak kullandığı 2 adet RT görülmektedir. Poul la Cour, o zamana kadar bilinen en verimli rüzgar türbinini geliştirmiştir. Geliştirdiği rüzgar türbininde regülasyon ünitesi de bulunmaktaydı. Az kanatlı rüzgar türbinlerini daha verimli çalıştığını ilk Poul la Cour anlamıştır.



Şekil 1.9. Poul la Cour ve türbinleri.

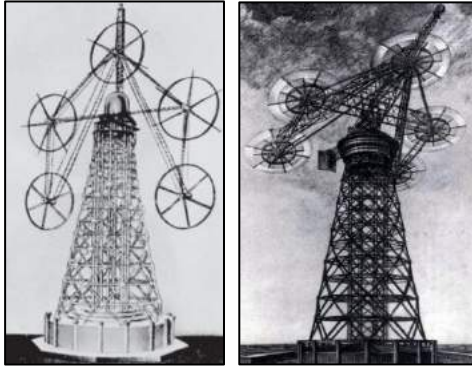
1895: Poul la Cour, geliştirdiği türbinleri rüzgar elektrik santraline çevirmiştir ve Askov Köyünün elektriğini sağlamaya başlamıştır.

1900: Danimarka’da 2500 yel değirmeni 30 MW’a yakın elektrik üretimi yapmaktaydı.



Şekil 1.13. Günümüzdeki türbinlere en yakın ilk RT .

1932: Denizüstü rüzgar türbinini ilk düşünen kişi olan Hermann Honnef 19 Temmuz 1878'de Grafenwerth'te (Almanya) doğmuştur. Onun fikirleri arasında rüzgar türbinlerinin entegrasyonu ve böylece elektrik dalgalanmalarının telafi edilmesi, hidrojen üretimi ile ara depolama, açık deniz tesislerinde deniz rüzgarlarının kullanılması ve yüksek seviye rüzgarlarının kullanılması sayılabilir. Honnef, 1930'larda rüzgar santrallerini öngörmüştür. Bunlar 500 m yüksekliğe kadar inşa edilecek ve 160 metre çapında üç adet karşı dönen rüzgar rotoru taşıyan bir rüzgar türbini de tasarlamıştır (Şekil 1.14). Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra Lahr yakınlarındaki Dinglingen'deki Honnef fabrikasını kurdu. 500 kalifiye işçi ve 50 mühendis ile Münih, Frankfurt, Stuttgart ve Leipzig'de vinçler, mobil köprüler ve bağlantısız radyo kuleleri inşa etmiştir. 1925'te Berlin yakınlarındaki Koenigs Wusterhausen istasyonunda merkez kulenin yapımına katıldı. Daha sonra Berlin'e taşınan Honnef, büyük kurulu güçlü rüzgar santralleri ile elektrik üretme vizyonu için kampanya yürüttü. 1941 yazında Bötzw'da (Oberkrämer) rüzgar türbin test alanı inşaatına başladı. Bu test alanında 10 metreye kadar çift rotorlu rüzgar türbinleri test edildi. Daha sonra yapılan araştırmalar, ikiz rotorun sadece yüzde beş daha fazla güç verdiğini, ancak aynı zamanda iki kat inşaat maliyeti gerektirdiğini gösterdi. Test alanındaki en büyük tesis 15 kW gücünde idi. İkinci Dünya Savaşı'nın sona ermesi ile birlikte, işinden vazgeçmek zorunda kaldı.



Şekil 1.14. Hermann Honnef'in tasarladığı RT.

1933: ABD'de Amiral Richard Evelyn Byrd Antartika'ya düzenlediği ikinci seferde 2.5 kW Jacobs RT'yi yanına alarak kampın aydınlatma ihtiyacını karşılamıştır (Şekil 1.15). 1935 yılında kamp terk edilmiştir ve tekrar 1947 yılında kampa geri döndüğünde sistemin hala çalıştığı gözlenmiştir. 1955 yılında deniz üssü yapılana kadar orda kalmıştır.



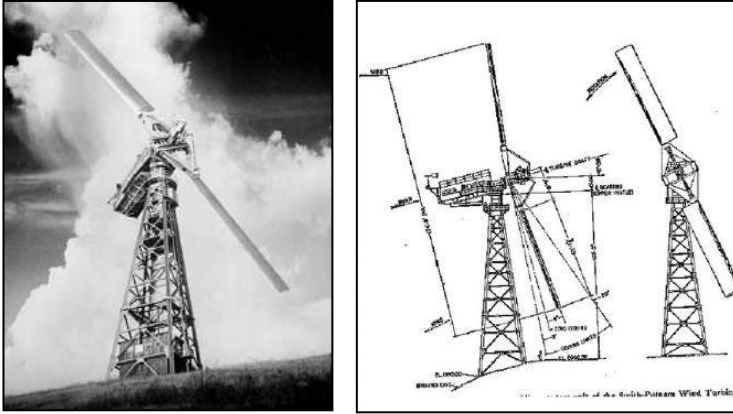
Şekil 1.15. Antartika'da 2.5 kW RT .

1940 Yılları: Jacobs Wind firması 2.5 kW kurulu gücünde seri üretime başlayara ABD’de bir çok bölgeye satmıştır. Şekil 1.16 ile Marcellus Jacobs, üretimini yaptığı rüzgar türbini ile birlikte görülmektedir.



Şekil 1.16. Jacobs rüzgar türbini.

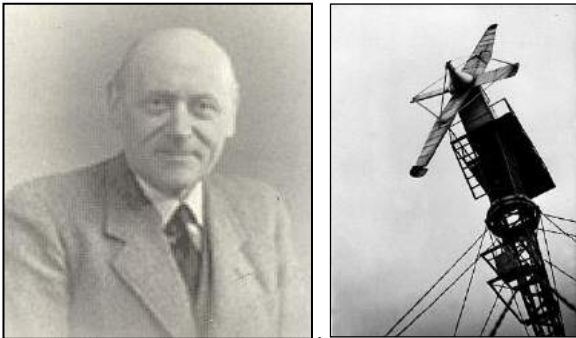
1941: ABD Vermont’ta ilk MW sınıfında RT üretilmiştir. 1.25 MW kurulu gücünde olan bu türbin Palmer Cosslett Putnam tarafından tasarlanarak S. Morgan Smith Company tarafından imal edilmiş ve adına Smith-Putnam RT denilmiştir (Şekil 1.17). Savaş koşulları yüzünden gerekli malzeme sağlamadığından yeterli güçlendirme yapılamamış ve 1100 saat çalıştıktan sonra kanadı zayıf bir noktadan kırılmıştır.



Şekil 1.17. Smith-Putnam RT.

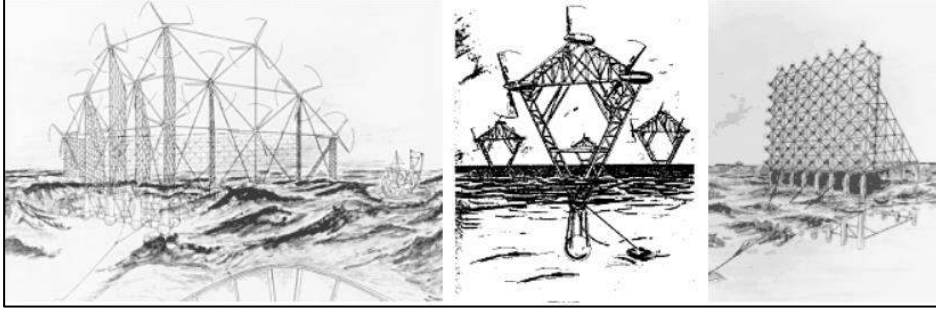
1957: Jacobs Wind firması tüm dünyaya sattığı RT sayısı 30 000’i geçmiştir.

1957: Poul La Cour’un ilk öğrencilerinden olan Johannes Juul, 1950 yılında ilk alternatif akım (AC) ile çalışan 200 kW kurulu gücünde ve 24 m kanat çaplı RT’yi geliştirmiştir (Şekil 1.18). Modern türbinlerde kullanılan acil durum aerodinamik fren vb gibi özellikleri hala kullanılmaktadır.



Şekil 1.18. Johannes Juul ve Juul türbini.

1971: ABD’de Prof William Heronemus, yüzer Denizüstü RT ile ilgili olarak teklifte bulunmuştur; çizdiği proje eskizleri aşağıda görülmektedir.



Şekil 1.19. Willlim Horenous’un teklif ettiği yüzer DRES.

1972: ABD’de Denizüstü RES ile ilgili detaylı sayılabilecek ilk çalışma, Ismael Dambolena tarafından yapılmıştır. Dambolena, Massachusetts Üniversitesinde yaptığı doktora çalışmasında DRES’in şebekeye entegrasyonunu araştırmıştır.

1975: ABD’de ilk RES işletmeye alınmıştır; 4149 evin elektrik ihtiyacı karşılanıyordu.

1978: ABD’de Public Utility Regulatory Act (PURPA) kanunlaşarak yürürlüğe girmiştir. PURPA ile yenilenebilir enrji kaynaklarının kullanımı zorunlu hale getirilmişti.

1980: Rüzgar türbini üreticisi Zond kurulmuştur. Günümüzde GE olarak yoluna devam etmektedir.

1980: Danimarka’da Danregn Vindkraft RT üreticisi kurulmuştur. Daha sonra Bonud Energy adını alacak ve Siemens Wind Power olarak ve sonrada GAMESA ile birleşerek yoluna devam edecektir.

1981: ABD California eyaleti Tax Credit teşvik mekanizmasını getirmiştir.

1983: Danregn Vindkraft ismini Bonus Wind Energy olarak değiştirmiş ve ABD pazarına yönelmiştir.

1984: ABD’de 15 adet RES devrede olup 146000 evin elektrik ihtiyacını karşılamaktaydı.

1984: Almanya’da Enercon türbin firması kurulmuştur. Kurulduğundan bu yana Almanya’da pazar liderliğini sürdürmektedir.

1986: Danimarka’da 1898 yılında kurulan makine üreticisi Vestas, rüzgar türbini üzerine yoğunlaşma kararı alarak diğer falliyetlerini bırakmıştır.

1987: NASA, 2-kanatlı ve 3-kanatlı 3 MW kruulu gücünde RT’ler üzerinde çalışmalara başlamıştır.

1990: ABD’de 46 RES 300 000 evin elektrik ihtiyacı için çalışmaktaydı.

1991: İngiltere’de ilk RES devreye alınmıştır. Cornwell’de toplam 10 adet RT işletmeye girmiştir.

1992: ABD, Production Tax Credit (PTC) teşvik mekanizmasını getirmiştir. RES işletmenin ilk 10 yılında tarifeye ek olarak 1.5 c\$/kWh teşvik verilmiştir. PTC, ABD’de RES gelişimindeki en önemli teşvik mekanizması olmuştur.

1994: Vestas, OptiSlip teknolojisini geliştirerek RT’lerin şebeke ile daha uyumlu çalışmasını sağlamıştır.

1994: Türbin üreticisi Gamesa Eolica, İspanya’da kurulmuştur.

1995: Vestas denizüstü (offshore) türbin üretimine başlamıştır.

1995-2000: Rüzgar türbinleri kurulu gücü 750 kW lara ulaşmış ve kanat çapı 50 m’leri bulmuştur.

1996: Dünya RES kurulu gücü 10 000 MW'ı aşmıştır.

1997: Amerikalı Enron firması, rüzgar türbin üreticisi Zond ve Tacke'yi satın almıştır.

1998: Çinli RT üreticisi Goldwind kurulmuştur.

2000: Dünya RES kurulu gücü 17 400 MW'ı aşmıştır.

2001: Amerikalı GE firması, Enron şirketinin iflası sonrası Enron Wind'i satın alarak GE Wind olarak yoluna devam etmiştir.

2004: Danimarkalı RT üreticileri olan Vestas ve NEG-Micon firmaları Vestas çatısı altında birleşmiştir.

2005: Dünya RES kurulu gücü 59100 MW olmuştur.

2009: Texas'ta bulunan Roscoe Wind Farm 781,5 MW kurulu güçle dünyadaki en büyük RES olmuştur. Toplamda 634 RT bulunmaktaydı.

2010: ABD'de 581adet RES yaklaşık 10 milyon evin elektrik ihtiyacı için karşılamaktaydı. Avrupa'da DRES projeleri hız kazanmaya başlamıştır.

2012: ABD California'da bulunan Alta Wind Energy Center'da 1320 MW kurulu güçle dünyadaki en büyük RES kurulmuştur ve 440 adet RT montajı yapılmıştır.

2012: ABD RES toplam kurulu güç 60 000 MW olarak kayıtlara geçmiştir.

2012: Çin'in RES kurulu gücü 75 000 MW'a ulaşmıştır.

2012: İngiltere'de denizüstü RES kurulu gücü 3000 MW'ı bulmuştur.

2012: Dünya'nın RES kurulu gücü 282 587 MW olarak açıklanmıştır.

2013: Dünya'nın RES kurulu gücü 318 596 olarak açıklanmıştır.

2014: Dünya'nın RES kurulu gücü 369 553 olarak açıklanmıştır.

2015: Dünya'nın RES kurulu gücü 432 419 olarak açıklanmıştır. Avrupa Ülkelerinde kullanılan DRT'lerin ünite kurulu gücü artmaya başlamıştır.

2016: Dünya'nın RES kurulu gücü 487 657 olarak açıklanmıştır.

2017: İskoçya Peterhead kıyılarından 15 mil uzaktaki rüzgar çiftliği artık çalışan 5 büyük rüzgar türbinine sahip 30 MW kurulu gücünde dünyanın ilk denizüstü yüzer RES projesi işletmeye alınmıştır.

2018: Dünya'nın denizüstü RES kurulu gücü 591 549 MW olarak açıklanmıştır.

2019: Dünya'nın RES kurulu gücü 600 000 MW'ı geçmiştir.

1.2 Rüzgar Enerjisi Ülkemizde Tarihsel Süreç

Ülkemizdeki yel değirmenlerinin mimari yapısı gereği 18. ve 19. yüzyılda yapıldıkları kabul edilmektedir. Türkiye'deki tarihsel süreç ise ilerleyen sayfalarda özetlenmeye çalışılmıştır.

1774-1789: Padişah I. Abdülhamit tarafından Kadıköy'e 4 yeldeğirmeni yaptırılmıştır. Semtin ismi, un ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulan bu yeldeğirmenlerinden gelmektedir.

1960-1961: Tarım Bakanlığı, Tarım ve Enerji İstatistiklerine göre Türkiye'de su çıkarma amaçlı 718 ve elektrik üretim amaçlı 41 olmak üzere toplam 759 yel değirmeni tespit edilmiştir.

1966-1967: Tarım Bakanlığı, Tarım ve Enerji İstatistiklerine göre Türkiye'de su çıkarma amaçlı 307 ve elektrik üretim amaçlı 2 olmak üzere toplam 309 yel değirmeni tespit edilmiştir.

1978-1979: Tarım Bakanlığı, Tarım ve Enerji İstatistiklerine göre Türkiye’de su çıkarma amaçlı 871 ve elektrik üretim amaçlı 23 olmak üzere toplam 894 yel değirmeni tespit edilmiştir.

1984: Türkiye’de elektrik üretim amaçlı ilk rüzgar türbini Çeşme Altinyunus otelinde işletmeye alınmıştır. Vestas marka ve 55 kW kurulu güce sahipti.



Şekil 1.20. Ülkemizde işletmeye alınan ilk rüzgar türbini.

1992: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB) kurulmuştur.

1996: Demirer Holding, Türkiye’nin 108 yerinde rüzgar ölçüm istasyonları kurmuştur.

1998: Türkiye’de rüzgar enerjisinin asıl miladı yine Çeşme’de 1998 yılının Şubat ayında kurulumu tamamlanan her biri Enercon 500 kW gücünde 3 türbinden oluşan Germiyan RES ile başlamıştır. Bu santral o yılların mevzuatına göre bir fabrikanın enerji tüketiminin karşılamak amaçlı otoprodüktör tesisi olarak kurulmuş ve sonrasında üretim lisanslı projeye çevrilmiştir.



Şekil 1.21. Germiyan RES.

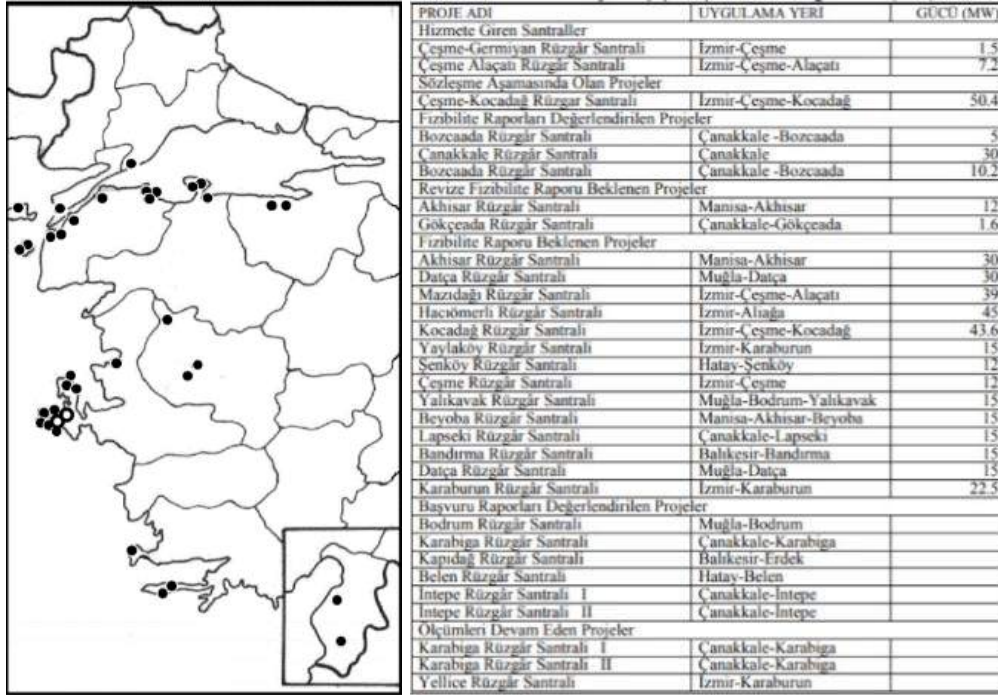
1998: Ağustos ayında Güçbirliği Holding tarafından Türkiye’deki ilk RES projesi olan 7.2 MW kurulu güçlü (0.6 MWx12) ARES projesi İzmir Alaçatı’da Y.İ.D. model ile devreye alınmıştır.



Şekil 1.22. Alaçatı RES.

1999: 3096 sayılı Kanun kapsamında, Yap-İşlet-Devret modeli ile özel sektör tarafından gerçekleştirilmek üzere, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nda değerlendirilmekte olan rüzgâr

enerjisi santrali başvuru sayısının toplam sayısı, 1999 yılı sonlarında yaklaşık 40 adet ve söz konusu başvuruların toplam kurulu gücü de 1400 MW civarındaydı. Bu projelerden sadece 2 adedi YİD kapsamında yapılmış olup diğer projeler 2001 yılında 4628 Sayılı Kanun ile Üretim Lisansı alarak işletmeye alınmıştır.



Şekil 1.23. 1999 Yılında Ülkemizdeki YİD projeleri.

1999: İlk yerli çelik rüzgar türbin kuleleri Yalova Gemlik'te yaptırılarak 2000 yılında işletmeye girecek olan Bozcaada RES projesinde kullanmıştır.

2000: Demirer Holding tarafından Türkiye'nin ikinci RES projesi olan 10.2 MW kurulu güçlü (0.6 MWx12) Bores Bozcaada'da Y.İ.D. model ile devreye alınmıştır.

2002: Enercon-Demirer ortaklığı ile ilk yerli kanat fabrikası İzmir'de kurulmuştur.

2003: İstanbul Hadımköy'de kendi enerjisini üretme amacıyla otoproduktör lisansı ile kurulmuş her biri 600 kW gücünde 2 adet türbinden oluşan Sunjüt rüzgar santrali kurulmuştur.

2005: "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" çıkarılmıştır. Bu Kanun, Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının önünü açmıştır.

2000-2007: yılları arasında geliştirilen yaklaşık 4.000 MW proje herhangi bir yarışmaya tabi tutulmadan lisanslanmış ve bunların büyük çoğunluğu işletmeye geçmiştir

2006: O zamanki adı ile Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) daha sonra Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), 2006 yılında Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyel atlasını (REPA) hazırlamıştır. YEGM, 2018 yılında kapanmıştır.

2006: Türkiye'de RES kurulu gücü 59 MW idi.

2006: Milli Rüzgar Enerji Sistemleri Geliştirilmesi ve Prototip Türbin Üretimi (MİLRES), bütçesi 55 milyon TL olan milli rüzgar türbin kamu Ar-Ge projesi olarak hayata geçirilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi, Sabancı Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul Ulaşım A.Ş. ve TÜBİTAK kurumları tarafından ortaklaşa yürütülmektedir.



Şekil 1.24. Milres.

2007: Türkiye’de RES kurulu gücü 135 MW’tır.

2007: EPDK 1 Kasım 2007 tarihinde rüzgar enerjisi için tüm ülke genelinde başvuru alacağını bildirdikten sonra bir gün içinde 751 adet proje ve 78.151 MW başvuru yapılmıştır. Bu başvuru kapasitesi Türkiye’nin o yıllarda olan kurulu gücünün yaklaşık 2 katına isabet etmekte idi.

2008: Türkiye’de RES kurulu gücü 353 MW’e yükselmiştir.

2009: 21 Mayıs 2009 tarihli Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesinde, rüzgar enerjisi kurulu gücünün 2023 yılına kadar 20 GW’a çıkarılmasının hedeflendiği belirtilmiştir. 31 Mayıs 2015 tarihi itibarıyla Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ)’nin açıkladığı verilere göre rüzgar enerjisi kurulu gücü 3933 MW olup santral sayısı 99’dur. Türkiye toplam kurulu gücü 71429 MW olup rüzgar elektrik santralleri 5,5%’ lik bir paya sahiptir.

2009: Türkiye’de RES kurulu gücü 791 MW’a ulaşmıştır.

2010: Türkiye’de RES kurulu gücü 1320 MW olarak kayıtlara geçmiştir.

2011: 1 Kasım 2007 başvuruları inceleme ve değerlendirmeye alınarak seçme ve eleme kriteri oluşturulmuştur (TEİAŞ Yarışma Yönetmeliği). Buna göre, üretilecek kWh başına en yüksek katkı payını verecek olan yatırımcının TEİAŞ’ın bildirmiş olduğu bağlantı kapasitesini almaya hak kazanacağı bir yarışma düzeni oluşturulmuştur. Ağırlıklı olarak 2011 yılı içerisinde yapılan yarışma sonuçlarında yaklaşık 8.000 MW’lık üretim lisansı EPDK tarafından verilmiş ve toplamda yaklaşık 12.000 MW’lık üretim lisansı oluşmuştur.

2011: Türkiye’de RES kurulu gücü 1728 MW olarak açıklanmıştır.

2012: Türkiye’de RES kurulu gücü 2260 MW olmuştur.

2013: Türkiye’de RES kurulu gücü 2760 MW’a ulaşmıştır.

2014: Türkiye’de RES kurulu gücü 3380 MW olmuştur.

2015: EPDK tarafından alınan RES başvuruları sonucunda 3000 MW kapasite için 1999 RES projesi ve 42423 MW kapasite başvurusu yapılmıştır.

2016: Türkiye’de RES kurulu gücü 5150 MW’a ulaşmıştır.

2017: Türkiye’de RES kurulu gücü TÜREB tarafından 6800 MW olarak açıklanmıştır.

2018: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye’deki ilk 1000 MW’lık Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) ihalesi yapılmıştır. İhaleyi Siemens-Türkerler-Kalyon Ortak Girişim Grubu kazanmıştır. İhale fiyatı ise 3.48 USD/kWh olmuştur. İhale şartnamesine göre, Türkiye’nin beş ayrı bölgesinde toplamda bin megavatlık rüzgar enerjisi kapasitesi kurulması için yapılan ihaleyi kazanan konsorsiyum, kanat, jeneratör tasarımı, malzeme teknolojileri ve üretim teknikleri, yazılım ve yenilikçi dişli kutusu alanlarından en az üçünde toplam beş alanda 10 yıl boyunca Ar-Ge çalışması yapacaktır. Ar-Ge çalışmaları için her yıl 5 milyon dolarlık bütçe ayrılırken, yüzde 80’i yerli mühendislerden oluşan 50 teknik personel ile Ar-Ge faaliyetleri yürütülecektir.

2018: Türkiye’de RES kurulu gücü 7000 MW’a ulaşmıştır.

2019: Türkiye’de RES kurulu gücü 7500 MW’ı geçmiştir.

2019: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye’deki ikinci 1000 MW’lık Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) ihalesini yapmıştır. 4 ayrı bölge için toplam bin megavatlık Rüzgar Enerjisi Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) ihalesi 9 şirketin katılımıyla yapılmıştır. Aydın, Muğla, Balıkesir ve Çanakkale bağlantı bölgeleri için açık eksiltme usulüyle yapılan ihaleyi aşağıdaki şirketler kazanmıştır:

- Balıkesir bölgesi için kilovatsaat başına en düşük teklifi 3,53 dolar-cent ile Enercon Rüzgar Enerji Santrali Kurulum Hizmetleri Ltd. Şti.,
- Çanakkale bölgesi için kilovatsaat başına en düşük teklifi 3,67 dolar-cent ile Enerjisa Üretim Santralleri AŞ,
- Aydın bağlantı bölgesi 250 megavatlık ilk ihalede kilovatsaat başına en düşük teklifi 4,56 dolar/cent ile Enerjisa Üretim Santralleri AŞ,
- Muğla bağlantı bölgesinin 250 megavatlık ihalesinde kilovatsaat başına en düşük teklifi 4,00 dolar/cent ile Enercon Rüzgar Enerji Santrali Kurulum Hizmetleri Ltd. Şti.

2020: Türkiye RES kurulu gücü 9000 MW’ı geçmiştir.

BÖLÜM 2: DENİZ METEOROLOJİSİ

Rüzgarın oluşumu ilk çağlardan bu yana insanların kafasını meşgul etmiştir. Konuyu ilk olarak Aristoteles “Meteorologica” isimli kitabında anlatmaya çalışmıştır. Meteoroloji biliminin ilk kitabı olan Meteorologica’da anlatılan şeylerin çoğu yanlış olsa da, yüzyıllarca doğru olarak kabul edilmiştir. Doğrulara ise ancak 17. yüzyılda kavuşulabilmiştir. İnsanlar rüzgar ile ilgili 18 yüzyıl yanlış bilgilere sahip olmalarına rağmen, rüzgar enerjisinden faydalanmayı bilmiştir.

Bilindiği gibi, rüzgarın kaynağı güneştir ve yeryüzünün eşit olmayan ısınması ve soğuması sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin etkisi ile oluşur. Yani, farklı sıcaklık dağılımının yarattığı fiziksel olaylar rüzgar oluşumuna neden olur. Farklı sıcaklık dağılımını ise, enlem, kara-deniz, yükseklik ve mevsimler etkilemektedir. Meteorolojik açıdan rüzgar aşağıdaki yerlerde oluşabilir:

- Basınç gradyanının (iki nokta arasındaki değişim) yüksek olduğu yerler,
- Yüksek, engebesiz tepe ve vadiler,
- Güçlü jeostrofik rüzgarların etkisi altında kalan bölgeler,
- Kıyı şeritleri,
- Kanal etkilerinin meydana geldiği dağ silsileleri, vadiler ve tepeler,
- Denizler.

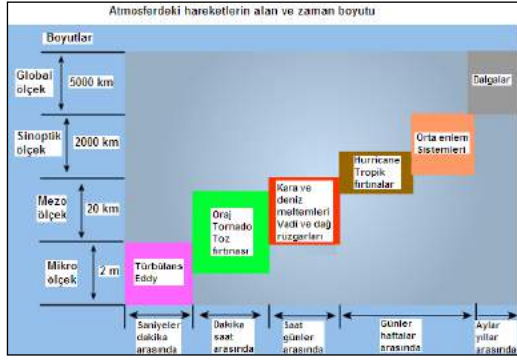
Rüzgarın oluşumunda topoğrafya ile ilişkisi de çok önemlidir. Örneğin, dağ rüzgarı, vadi rüzgarı, kara ve deniz meltemleri, fön rüzgarları, anabatik-katabatik rüzgarlar bu etkileşimden meydana gelen rüzgarlardır. Topoğrafyanın rüzgar üzerinde üç önemli etkisi bulunmaktadır. Bunlar, pürüzlülük, orografik ve perdeleme olarak sayılmaktadır. Orografik etkilerden kasıt, tepeler, sırtlar, basamaklı arazi yapısı, oluk, vadi ve yüksek platoların bulunması sayılabilir. Bu elemanlar, rüzgar üzerinde ilave bir etkiye sahiptir.

Atmosferde meydana gelen hareket, alan ve zaman ölçeklerine göre hareket etmekte olup 4 farklı kategoride değerlendirilmektedir. Bunlardan en büyüğü, genel sirkülasyondur. Zaman boyutu olarak haftalardan yıllara kadar uzanabilmekte, alan boyutu ise, 1000 km – 40000 km arasında değişmektedir. Ticaret rüzgarları ve jet akımları genel sirkülasyona örnektir. Meteorolojik terminolojide sinoptik ölçek olarak bilinen sistemler günler ile haftalar arasında değişmekte, alan boyutu ise, 100 km – 5000 km arasında değişen ölçektedir. Alçak ve yüksek basınç sistemleri, tayfunlar ve hurricaneler bu sınıfa girmektedir. Mezo ölçekte görülen ve dakikalar ile günler arasında zaman ölçeğine sahip sistemler 1 – 100 km arasında etki etmektedir. Kara ve deniz meltemleri, orajlar (thunderstorm) ve tornadolar mezo ölçekli atmosferik hareketlerdir. En küçük ölçek olan mikro ölçek hareketler ise, 1 km nin altında bir alanda etkili olup, etki süresi saniyeler ile dakikalar arasında değişmektedir. Türbülans, zamansal olarak mikro ölçekli bir harekettir. Tablo 2.1 ile bu sınıflandırma verilmiştir.

Tablo 2.1. Atmosferik hareketlerin zaman ve alan ölçeği.

Adı	Zaman Ölçeği	Uzunluk	Örnek
Genel sirkülasyon	Hafta – yıl	1000 – 40000 km	Ticaret rüzgarları, jet akımı
Sinoptik ölçek	Gün – hafta	100 – 5000 km	Basınç sistemleri, tayfun
Mezo ölçek	Dakika – gün	1 – 100 km	Meltem, Oraj, Tornado
Mikro ölçek	Saniye - dakika	< 1 km	Türbülans

En küçük en hızlı hareketler, moleküler difüzyon ve ses dalgalarıdır (10^{-7} m), bunu toz hareketleri (dust devil, 1-10 m) izler. Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için atmosferik hareketlerin alan ve zaman boyutu Şekil 2.1 ile verilmiştir.



Şekil 2.1. Atmosferdeki hareketlerin alansal ve zamansal ölçekleri.

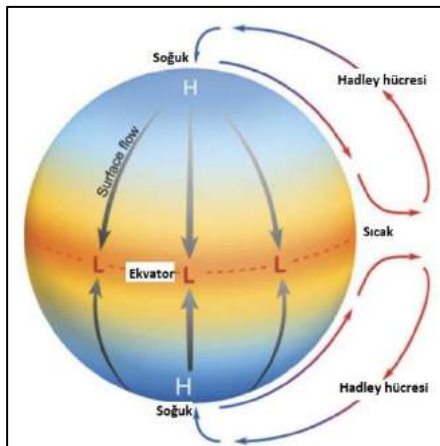
Dünyada meydana gelen rüzgarları küresel ve yerel rüzgarlar olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür.

2.1 Küresel Rüzgarlar

Rüzgarlar, dünya yüzeyi üzerinde basınç farklılıklarının nedeni olarak ortaya çıkmaktadır. Yeryüzü tarafından emilen güneş radyasyonu miktarı, kutuplara göre ekvatorda daha büyüktür. Isıdaki bu farklılık, atmosferin en alt tabakası olan troposferde çeşitli global ölçekte sirkülasyonların oluşumuna sebebiyet vermektedir. Her ne kadar rüzgar enerjisi uygulamalarında kullanılan rüzgarlar yerel rüzgarlar olsa da, dünyanın genel sirkülasyonuna da bakmakta fayda vardır. Küresel ölçekte meydana gelen rüzgarlara atmosferin genel sirkülasyonu da denir. Atmosferik sirkülasyonu başlatan mekanizma da, dünya yüzeyinin homojen olmayan ısınmasıdır. Atmosferin genel sirkülasyonunun anlaşılabilmesi için çeşitli modeller bulunmaktadır. Bunlar arasında tek-hücre ve 3-hücre modelini incelenmek gerekmektedir.

2.1.1 Tek-Hücre Modeli

Tek-hücre modeline göre dünya uniform bir şekilde sularla kaplıdır ve kara ile denizler arasındaki farklı ısınmanın meydana getirdiği fiziksel olaylar dikkate alınmamaktadır. Ayrıca güneş sürekli ekvator üzerindedir ve rüzgarlar mevsimlerle değişmemektedir. Dünyanın dönmediği kabul edilen tek-hücre modeline göre sadece basınç gradyanı kuvvetinin olduğu ve büyük bir termal olarak hareket eden konveksiyon hücresi şeklinde bir hareket vardır (Şekil 2.2). Adını İngiliz meteorolojist George Hadley'in adına ithafen Hadley hücresi de denen bu model 18. yüzyılda geliştirilmiştir. Gerçekte böyle basit hücresel bir modelle atmosferik genel sirkülasyonu açıklamak yeterli değildir. Çünkü dünya dönmektedir ve Coriolis kuvvet, kuzey yarımkürede güneye yönelmiş yüzey havasını sağa yönlendirerek bütün enlemlerde doğulu rüzgarlar meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu rüzgarlar dünyanın dönüş yönüne zıt yönde esmekte ve dünyanın hızını yavaşlatmaktadır. Dolayısıyla daha gelişmiş bir genel sirkülasyon modeline ihtiyaç duyulmaktadır.

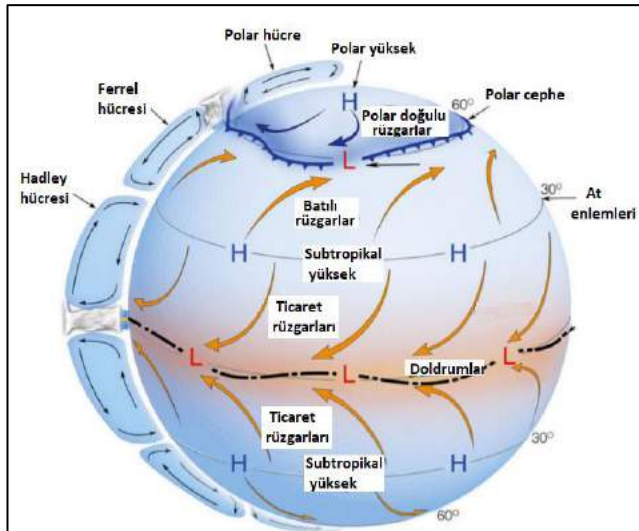


Şekil 2.2. Hadley tek-hücre modeli.

Hadley hücre modeline alternatif olarak üç-hücre modeli geliştirilmiştir.

2.1.2 Üç-Hücre Modeli

Tek-hücreli modelin atmosferik genel sirkülasyonu açıklayamaması nedeni ile geliştirilmiş olup gerçeğe en yakın modeldir. Ekvator üzerinde yatay basınç gradyanlarının zayıf ve rüzgarların da çok düşük şiddette estiği doldrular bölgesi bulunmaktadır. Bu kuşakta sıcak hava yükselerek büyük kümülüs ve orajlar meydana getirir, bunlara konvektif sıcak kuleler de denir (convective hot towers). Çünkü çok büyük miktarda gizli ısı açığa çıkarılır. Bu enerji, Hadley hücresinin enerjisini de tedarik eder ve Hadley hücresinin tropopoz (atmosferde yaklaşık 10-11 kmdeki tabaka) kadar ulaşmasını sağlar. Tropopoz, kendisine kadar ulaşan bu hava kütesine bir kapak vazifesi görerek havanın kutuplara doğru yönelmesine neden olur. Coriolis kuvveti, kutba yönelmiş bu hava akımını, kuzey yarımkürede sağa doğru, güney yarımküre de sola doğru saptırarak her iki yarımkürede de yükseklerde batılı rüzgarların oluşmasına sebep olur. Tropiklerden kutuplara doğru ilerleyen bu hava radyasyon yoluyla soğuyarak daha yoğun bir hale gelir. Orta enlemlere yaklaşıldığında ise konverjans (toplanma) meydana gelir. Yukarı seviyelerde konverjans meydana gelmesi de aşağı seviyelerde diverjans (ayrılma) alanlarının meydana gelerek yüksek basınç sistemlerinin oluşmasını sağlar. Bu yüzden 30° enlemlerinde subtropikal yüksek basınç kuşağı oluşur. Yukarıda konverjans yapan bu hava aşağı doğru çöker ve daha sıcak ve kuru bir havaya dönüşür. Bunun sonucu olarak bu enlemlerde genelde açık ve sıcak yeryüzeyi meydana gelir. Dünyanın ana çölleri bu yüzden bu kuşak üzerinde bulunmaktadır. Denizler üzerinde ise bu kuşak at enlemleri (horse latitudes) olarak adlandırılır. At enlemlerindeki havanın bir kısmı tekrar ekvatora döner fakat Coriolis kuvvetten dolayı sağa saptırılır ve kuzey yarımkürede kuzeydoğulu; güney yarımkürede de güneydoğulu olan ticaret rüzgarlarının oluşmasına neden olur. Ekvator yakınında kuzeydoğulu ticaret rüzgarları ile güneydoğulu ticaret rüzgarlarının konverjans yaptığı bölgeye intertropikal konverjans kuşağı denir. Bu bölgede yüzeyde konverjans yapan hava yükselir ve hücrenel hareketine devam eder. Bu arada 30° enlemlerindeki havanın hepsi ekvatora doğru yönelmez, bir kısmı kutuplara doğru yönelir ve Coriolis kuvvetin saptırıcı etkisi ile her iki yarımkürede de hakim batılı rüzgarların (prevailing westerlies) oluşmasına sağlar. Bu yumuşak karakterli hava kutba doğru yol alırken, kutuplardan gelen hava ile karşılaşır. Bu iki farklı fiziksel karakterdeki hava karışmak istemeyip bir sınır ile ayrılacaktır. Bu sınır boyunca cephe oluşur. Yüzeydeki hava konverjans yapar ve yükselerek fırtına gelişimine yol açar. Yükselen havanın bir kısmı at enlemlerine geri döner. Bu ortadaki hücreye de Ferrel hücresi denir. Polar cephenin arkasındaki soğuk hava Coriolis kuvvetin yolundan saptırması yüzünden kuzeydoğulu bir akış meydana gelir. Bu bölgeye polar doğulu rüzgarlar kuşağı denir. Kışın, soğuk hava ile beraber polar cephe orta ve subtropikal enlemlere kadar iner. Cephe boyunca yükselen havanın bir kısmı kutuplara doğru yönelir ve Coriolis kuvveti yine hareketi sağa doğru saptırarak yüksek seviyelerde batılı rüzgarların oluşumunu sağlar. Yükselen havanın sonunda kutuplara ulaşır ve yavaşça yüzeye doğru çökerek polar cepheye doğru harekete devam eder ve polar hücre de böylelikle oluşarak 3-hücreli model tamamlanmış olur (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Atmosferin genel sirkülasyonu.

2.2 Hava Kütleleri

Dünya yüzeyinin fiziksel karakteristiklerinin farklılıkları (okyanus ve karalar) farklı sıcaklık, yoğunluk, nem vb gibi hava kütlelerinin oluşumuna neden olurlar. Hava kütlesi, geniş bir alanı kapsayan, yatay

olarak belli bir homojenliğe sahip, sıcaklık ve nem gibi özellikleri açısından benzerlik taşıyan büyük hava parselidir.

Büyük bir hava parseli, homojen bir yer üzerinde durur veya çok yavaş hareket ederken, yerin termal ve nemsal özelliklerini alır. Hava kütlesi aldığı bu özellikleri gittiği yerlere taşıyarak, üzerinde hareket ettiği yerin özelliklerine göre değişime uğrar. Hava kütlelerinin olduğu geniş homojen alanlara (çöller, buzullar, okyanus parçaları) kaynak bölgesi, kaynak bölgesinden ayrıldıktan sonra üzerinde hareket ettiği alanlara da geçiş bölgesi adı verilir. Kaynak bölgelerinin coğrafi yapılarına göre hava kütlelerini dörde ayırmak mümkündür:

E; Ekvatorial Hava Kütlesi,
T; Tropikal Hava Kütlesi,
P; Polar (Kutupsal) Hava Kütlesi
A; Arktik Hava Kütlesi.

Kaynak Bölgelerinin karasal ve denizsel olması açısından da 'denizsel-m' ve 'karasal-c' olmak üzere ikiye ayrılır. T. Bergeron, yukarıdaki sınıflamalardan farklı olarak iki termodinamik alt sınıflama daha geliştirmiştir: "soğuk- k" ve "sıcak-w". Aşağıda ana hava kütleleri tipleri verilmiştir:

A: Arktik Hava.

cPk, cPw: Kutup Karasal Hava Kütlesi, üzerinde hareket ettiği yerden soğuk veya sıcak.

mPk, mPw: Kutup Denizsel Hava Kütlesi, üzerinde hareket ettiği yerden soğuk veya sıcak.

cTk, cTw: Tropikal Karasal Hava Kütlesi, üzerinde hareket ettiği yerden soğuk veya sıcak.

mTk, mTw: Tropikal Denizsel Hava Kütlesi, üzerinde hareket ettiği yerden soğuk veya sıcak.

E: Ekvatorial Hava Kütlesi,

M: Muson Hava Kütlesi,

S: Süperior Hava Kütlesi.

2.2.1 Hava Kütlelerinin Kaynak Bölgeleri

Hava kütlelerinin olduğu alanlar, kaynak bölgeleri olarak adlandırılır. Hava kütleleri, geniş alanları kaplayan ve yatay yönde türdeş hava kütlelerinin gelişmesine elverişli koşulların bulunduğu yerlerde, özellikle de, sübsidans, diverjans ve görece sakin hava hareketlerinin egemen olduğu yüksek basınç alanlarında oluşur. İdeal bir hava kütlesi doğuş bölgesi, iki temel özelliği taşımaktadır:

- (1) Fiziksel olarak türdeş özelliklere sahip geniş bir yüzey;
- (2) Havanın, üzerinde bulunduğu yüzeyin sıcaklık ve nem özelliklerini kazanana kadar uzun bir süre orada kalmasını sağlayacak nitelikteki durgun bir atmosfer dolaşımı.

Çok değişken arazi özellikleri ya da hem su hem de kara yüzeylerinden oluşan birleşik bir yüzey ve farklı sıcaklık koşullarının bir bölgeye yaklaşmasına neden olan kuvvetli konverjan hava akışları da, hava kütlelerinin oluşumuna uygun değildir. Sakin ya da hafif rüzgar koşulları egemen sübsidans ve yatay diverjans koşulları ile tanımlanan yüksek basınçlar ve onları niteleyen antisiklonik dolaşım desenleri, bir hava kütesinin içerisindeki yatay tek tip sıcaklık koşullarının gelişmesi için en uygun koşulları sağlar. Uygun hava kütlesi doğuş bölgeleri için, Kuzey Amerika ve Avrasya'nın kışın karla kaplı geniş düzlükleri ve ovaları, geniş subtropikal ve tropikal okyanuslar ve yazın aşırı ısınan Büyük Sahra çölü örnek olarak verilebilir. Hava kütesinin kalınlığı, doğuş bölgesindeki kalış süresinin uzunluğunu ve hava ile altındaki yüzey arasındaki sıcaklık farklığının büyüklüğüne bağlıdır. Genel olarak siklonik sistemler, yaklaşan yüzey rüzgarlarının egemen olduğu dinamik doğuşlu basınç yapıları oldukları için, siklonların etkisinde kalan bölgeler hava kütlelerinin oluşmasına uygun değildir.

Alçak basınç sistemlerindeki rüzgarlar, yaklaşma kuşaklarında olduğu gibi, bölgeye sürekli olarak farklı sıcaklık ve nem özellikleriyle nitelenen hava taşımaktadır. Alçak basınç alanlarındaki bu farkları giderecek zaman yeterli olmadığı için, bu sistemlerde kuvvetli sıcaklık gradyanları ortaya çıkar ve hava kütlesi oluşumu gerçekleşemez.

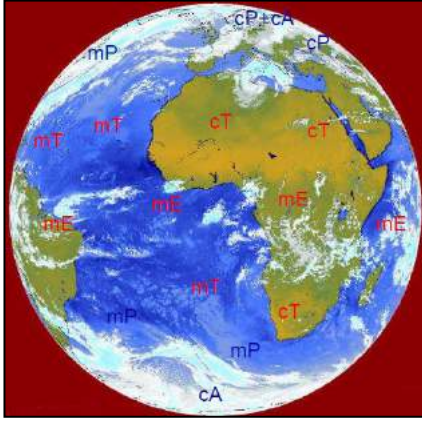
2.2.2 Hava Kütlelerinin Sınıflandırılması

Hava kütlelerinin sınıflandırılmasında, hava koşulları ve hava olaylarını üretme özellikleri ve buna bağlı olarak da kaynak bölgelerinin doğası ve kaynak bölgelerinden ayrıldıktan sonra uğrayacakları değişiklikler (modifikasyonlar) açıklanmalıdır. Hava kütlesi sınıflandırması, kaynak bölgesinin enlemine (coğrafi kuşağına) ve orada egemen olan yüzeyin doğasına (su ya da kara) dayanır. Hava

kütleleri, çeşitli fiziki coğrafya ve meteoroloji etmen ve özellikleri dikkate alınarak genel olarak altı çeşit olarak düşünülebilir:

- cA (kontinental arktik)
- cP (kontinental polar)
- cT (kontinental tropikal)
- mP (maritim polar)
- mT (maritim tropikal)
- mE (maritim ekvatorial)

Bu sınıflandırma, genel olarak maritim arktik (mA) ve kontinental ekvatorial (cE) hava kütlelerini içermez. Bunun nedeni, mA ve cE hava kütlelerinin çok ender olarak oluşabilmesi ve çok dar alanları kaplamasıdır.



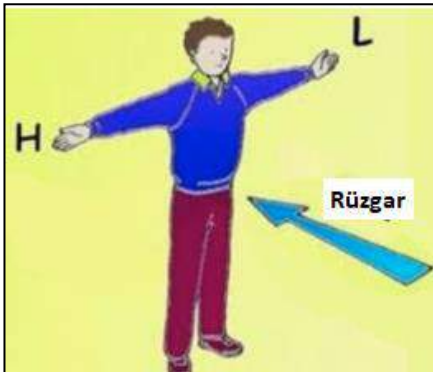
Şekil 2.4. Hava kütleleri.

Yukarıdaki sınıflandırmalara genellikle sıcaklık ve enlemsel olarak yapılmaktadır. En yaygın hava kütleleri, Arktik, Bermuda, Auletian, İzlanda, Sibirya ve Azor örnek verilebilir.

2.3 Siklonik ve Antisiklonik Akış

Çevresine göre daha düşük basınca sahip bölgeler Siklon olarak adlandırılır ve hava haritalarında L harfi ile gösterilir. Çevresine göre yüksek basınca sahip bölgeler Antisiklon olarak adlandırılır ve hava haritalarında H ile gösterilir. Bu kavramlar, aynı zamanda gölgelerdeki rüzgar akışı hakkında bilgi vermektedir. Rüzgar akışı, yüksek basınçtan alçak basınca doğrudur. Dünyanın dönüşünden dolayı kuzey yarımkürede sağa doğru; güney yarımkürede ise sola doğru meyil ederler (Coriolis kuvveti). Siklonlar, hava kütleleri ve cephesel son boyunca görülmektedir. Kuzey yarımkürede siklonik dönüş yönü saat ibaresinin tersi yönünde, antisiklonik yönde saat ibresi yönündedir. Bu kabullere istinaden Buys Ballot Kanunu (veya Baric Wind Law) aşağıdaki gibi açıklanabilir;

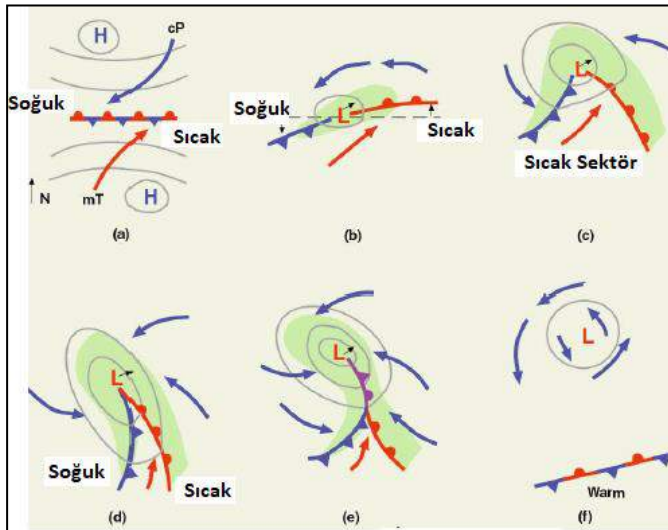
Kuzey yarımkürede yüzümüzü rüzgarın geldiği yöne dönersek, solumuzda alçak basınç; sağımızda da yüksek basınç bulunur (Şekil 2.5). Güney yarımkürede ise bu durumun tam tersidir.



Şekil 2.5. Buys Ballot kanunu.

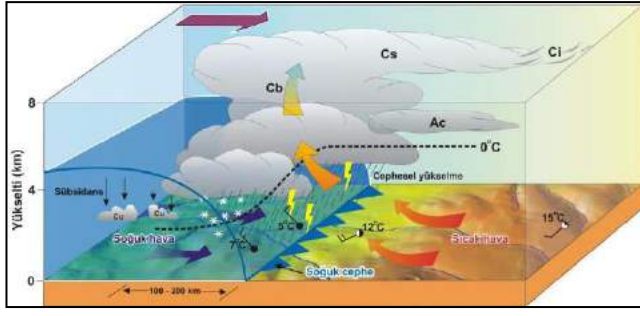
2.3.1 Siklonlar ve Cephe Sistemleri

Hava kütleleri, atmosferin genel sirkülasyonu içerisinde hareket ederler. Kaynak bölgelerinden diğer bölgelere doğru hareket ederler. İki farklı karakteristiğe sahip hava kütlesi karşılaştığında aralarında bir geçiş bölgesi (transition zone) oluşur. Farklı değerlerdeki sıcaklık, basınç, nem, yoğunluk, rüzgar şiddeti ve yönü gibi meteorolojik değişkenlerin oluşturduğu bu bölgeye cephesel zon veya kısaca cephe denilir. Bu bölge boyunca atmosferin özellikleri yatay ve düşey olarak değişim gösterir. Cephesel bölge ne kadar güçlü ise, sıcaklık, basınç, rüzgar şiddeti ve yoğunluk farkları yüksek olur. Cephe sistemleri, hava haritalarında çizgisel olarak gösterilir. Soğuk cephe öne doğru üçgen şeklinde ve mavi olarak; sıcak cephe ise, öne doğru yarım ay ve kırmızı renk ile gösterilmektedir. Cephe sistemi dalgaya benzer bir şekil alabilir ve buna cephesel dalga (frontal wave) denir. Cephesel dalganın oluşumundan önce izobarlar, cephe sistemlerine paralel bir halde bulunurlar (Şekil 2.6a). Dalga oluşumu başladığında güneyde sıcak hava, kuzeyde ise soğuk hava bulunur (Şekil 2.6b). Cephesel dalga global sirkülasyon ile aynı yönde hareket eder. Dalga geliştikçe dalga boyu büyümeye başlar (Şekil 2.6c). Dalganın merkezindeki basınç düşer yani derinleşir (deepening). Dalga derinleşmeye başladıkça hızı yavaşlar. Dalga boyunca soğuk havanın yerini sıcak hava alır ve buna sıcak cephe denir. Dalganın batı tarafı soğuk cephe olarak adlandırılır. Sıcak havanın yerini soğuk hava alır. Soğuk cephe ile sıcak cephe arasındaki bölge sıcak sektör olarak adlandırılır (Şekil 2.6c). Bu bölgede hava sıcaktır. Bu gölgenin doğu ve batısındaki hava soğuktur. Bu geçiş, sıcaklık ve basınç değişimine neden olur. Eğer dalga gelişmeye devam ediyorsa, basınç düşer ve sıcak sektörde yağış meydana gelir. Sıcak hava daha az yoğundur ve soğuk havanın üstüne çıkmaya meyyledir. Bunun sonucunda atmosferik basınç düşme eğilimine girer ve cephesel dalganın yaklaştığına işaret eder. Yavaş hareket eden iyi gelişmiş bir dalga hareketinde atmosferik basınç birkaç gün önceden düşmeye başlar. Atmosferik basıncın okumaları arasındaki fark yani basınç tendansı (pressure tendency) bu tip hava sistemlerinin tahmin edilmesinde kullanılır. Soğuk hava geçtikten sonra atmosferik basınç artmaya başlar. İyi gelişen sıcak cephenin ilk habercisi Cirrus bulutlarıdır. Daha sonra cirrostratus, altostratus, altocumulus ve nimbostratus görülür. Kısa süreli sağanak yağışlar bu bulutları takip eder. Arkasından gelen soğuk cephe rüzgarın yönünü değiştirir. Kuzey yarıkürede ssat ibresi yönünde (veering) olarak görülür. Basınç ve sıcaklık hızla düşerek sağnak yağış hattı (squall line) görülür. Bu evrede düşey gelişimli (konvektif) bulutlar görülebilir. Soğuk cephe daha hızlı ve daha büyük bir cephesel eğime sahip olduğundan dolayı hızlı geçiş yapar. Soğuk cephe daha yavaş hareket eden sıcak cepheye yaklaştıkça alçak basınç derinleşir ve sıcak sektör daha da küçülür (Şekil 2.6d). Nihai olarak her iki soğuk cephe sıcak cepheyi yakaladığında; sıcak hava soğuk havanın üzerine çıkar ve cephesel sistem yok olmaya başlar. Soğuk cephenin sıcak cepheyi yakalaması oklüzyon cephe olarak adlandırılır. Soğuk hava sıcak havanın yerini alır ve basınç yavaşça artar buna dolma (filling) denir ve genellikle oklüzyon cephenin oluşumundan birkaç gün sonra görülür.



Şekil 2.6. Cephesel dalga sistemi.

İyi gelişmiş bir soğuk cephenin blok diyagramı ve cephe yüzeyi boyunca yükselen sıcak havada gelişen kümülüs tipi bulutlardan, kuvvetli sağanak ve gökgürültülü sağanak yağışların oluşması aşağıdaki blok diyagramda görülmektedir.



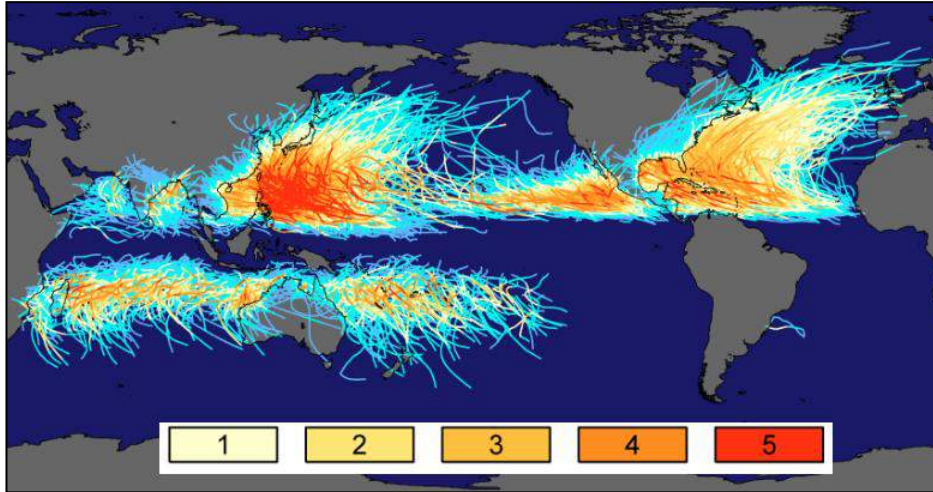
Şekil 2.7. Cephesel dalga sistemi blok diyagramı.

2.3.2 Tropikal Siklonlar

Tropikal siklon terimi, tropik okyanuslar üzerinde meydana gelen siklonlar için kullanılan bir terimdir. Okyanus ana kaynağı olduğundan denizciler tarafından çok dikkat edilmesi gereken bir meteorolojik olaydır. Bu siklonlar okyanusun ısı enerjisini alarak atmosferin yukarılarına taşırlar ve görülme sıklıkları az olmakla birlikte ciddi tahribata yol açarlar. Tarihte Columbus, yeni dünyaya yaptığı ikinci yolculukta tropik bir fırtına ile karşılaşmıştır. Her ne kadar gemisi zarar görümemişse de ciddi bir tecrübe kazanmıştır. Columbus'un 4. yolculuğunda çok güçlü bir tropikal fırtına ile karşılaşmak üzere iken; tecrübelerine dayanarak Cirrus bulutlarını görünce gemisini güvenli bir yere almış ve fırtınanın geçmesinden sonra yoluna devam etmiştir. Diğer filodaki gemilerin kaptanları durumu anlamadığından 500 gemicinin ölmesine neden olmuştur. Tropikal siklonların sınıflandırması rüzgar şiddetine göre yapılmaktadır. 1-10 dk arasındaki ortalama rüzgar şiddetine hesaba katılmaktadır.

- a) Tropikal depresyon: 1 dakikalık ortalama rüzgar şiddeti < 33 knot
- b) Tropikal fırtına: 1 dakikalık ortalama rüzgar şiddeti 34-63 knot
- c) Kasırga (Hurricane): 1 dakikalık ortalama rüzgar şiddeti > 64 knot
- d) Kuvvetli Kasırga (Major hurricane): 1 dakikalık ortalama rüzgar şiddeti > 96 knot

Kasırganın Kuzey Pasifik okyanusundaki adı ise Tayfundur (Typhoon); Filipinler civarında Bagyo'dur. Tropikal siklonlar, Kuzey Atlantik okyanusu Kuzey ile Güneybatı Pasifik ve Kuzey Hint Okyanusu civarında görülürler. Şekil 2.8 ile bölgeler ve şiddeti görülmektedir.



Şekil 2.8. Tropikal siklonlar görülme yerleri ve şiddetleri.

Kuzey Atlantikte yılın her zamanı tropikal siklonlar meydana gelebilmektedir. Siklonlar, özellikle 35° N enleminde Haziran – Kasım aylarında ciddi bir tehdit oluşturur. Ağustos, Eylül ve Ekim ayları görülme olasılığının en yüksek olduğu aylardır. Yılda görülen 12 tropikal fırtınanın 6'sı Kasırga şiddetine ulaşır.

Doğu Kuzey Pasifik bölgesinde ise 15 Mayıs'tan Kasım sonuna kadar yaklaşık 17 fırtına görülebilir ve 9 tanesi Kasırga şiddetine ulaşır.

Batı Kuzey Pasifik global olarak en fazla tropikal fırtına görülen bölgedir. Yılda ortalama 25 adet fırtına görülür ve 17 adedi Kasırga şiddetine ulaşır. Burada görülen tayfunlar en geniş ve güçlü fırtınalardır. 130 knot rüzgar şiddeti ve 600 mile yakın fırtına sirkülasyon çapı bulunur. Nisan-Aralık ayları arasında görülür ancak özellikle Temmuz-Ekim aylarında çok güçlüdür.

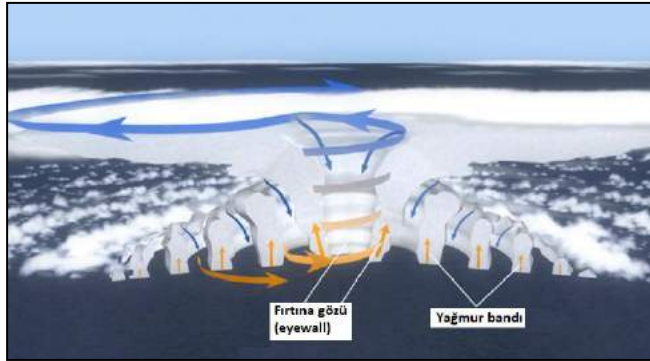
Kuzey Hint Okyanusunda görülen tropikal siklonlar, Bengal körfezi ile Arap Denizi arasında oluşur ve özellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında görülür. Genellikle kısa süreli fırtınalardır.

Güney Hint Okyanusunda 100°E enlemi civarında görülen 11 tropikal siklonun 4 tanesi Kasırga şiddetine ulaşmaktadır. Aralık-Mart ayları arasında görülür. Tablo 2.2 ile bu fırtınaların aylara göre görülme frekansı verilmiştir.

Tablo 2.2. Tropikal siklon görülme sıklığı.

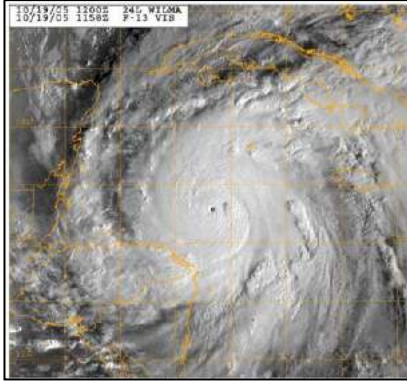
Bölge		Ocak	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık Ortalama
Kuzey Atlantik	Tropikal fırtına				0.1	0.1	0.6	1	3.2	4.1	2.1	0.7	0.1	12.1
	Kasırga						0.1	0.5	1.6	2.6	1.21	0.5		6.4
Doğu Kuzey Pasifik	Tropikal fırtına					0.7	1.9	3.5	4.3	3.7	2.2	0.3	0.1	16.6
	Kasırga					0.3	0.8	1.8	2.1	2.5	1.3	0.2		8.9
Batı Kuzey Pasifik	Tropikal fırtına	0.4	0.2	0.4	0.7	1.2	1.6	3.7	5.8	5.0	3.8	2.6	1.4	26.6
	Tayfun	0.2		0.2	0.4	0.7	1.0	2.2	3.5	3.4	2.9	1.6	0.7	16.7
Güneybatı Pasifik ve Avustralya	Tropikal fırtına	3.5	3.8	3.2	1.7	0.3	0.1				0.2	0.5	2.2	15.6
	Kasırga	1.5	1.9	2.0	1.0	0.1						0.3	1.2	8
Güney Hint Okyanusu	Tropikal fırtına	2.7	2.5	2.0	1.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.3	0.5	1.2	1.4	12.5
	Kasırga	1.5	1.5	1.3	0.7	0.2					0.1	0.6	0.6	6.6
Kuzey Hint Okyanusu	Tropikal fırtına	0.1	0.1		0.2	0.8	0.6	0.1		0.3	1.0	1.3	0.6	4.9
	Siklonlar				0.1	0.4	0.1				1.1	0.6	0.2	1.6

Tropikal siklonlar düşey gelişimli (konvektif) bulutlardan oluşurlar, bütün enerjisini okyanustan alır. Bu sistemlerin gelişebilmesi için kararsız bir atmosfer yapısı ve orta troposferde nemli hava tabakasının bulunması gerekmektedir. Atmosferik kararlılık güçlü bir düşey konveksiyon hareketine neden olacağından gizli ısı oluşumuna yol açar. Şekil 2.9, gelişmiş bir tropikal siklonun idealize edilmiş kesitini göstermektedir. Troposferin alt tabakasında siklonik sirkülasyonun çapı değişebilmekle birlikte birkaç yüz km lere ulaşabilir. Bu siklon spiral bulut kümeleri ve güçlü yağmurları beraberinde getirir.



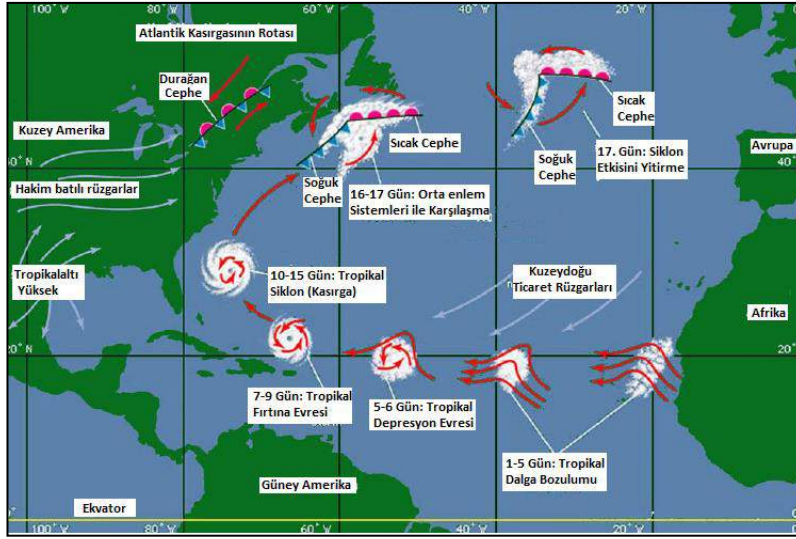
Şekil 2.9. Gelişmiş bir tropikal siklon.

Siklonik akışın en güçlü olduğu bölge atmosferik sınır tabakanın hemen üstüdür. Yani yerden 1000 – 2000 m arasında siklonik akış çok güçlüdür. Bu seviyenin altında yüzey sürtünmesi nedeni ile rüzgarın şiddeti azalır. Tropikal siklonun oluşumu birkaç günü bulabilir, bazen 1 haftaya kadar da çıkabilir. Bununla beraber, 2007 yılında Atlantikte Humberto Kasırgasının 1 günden daha az bir zamanda oluştuğu da gözlemlenmiştir. Gelişmiş bir siklon 1 günden 1 aya kadar etki süresi olabilmektedir. 2005 yılında Atlantikte görülen Wilma Kasırgasının en yoğun olduğu zamanki uydu görüntüsü Şekil 2.10 ile görülmektedir.



Şekil 2.10. Wilma kasırgası.

Yukarıda açıklanan prototip kasırgalar, genellikle Afrika açıklarında başlayarak Atlantik bölgesine yönelen kasırgaları idealize etmektedir. Buradan da orta enlemlere geçerek orta enlem sinoptik sistemleri ile karşılaşır ve güçleri azalarak yok olma evresine girerler (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Tipik bir tropikal siklon rotası.

Bu sistemlerden çok şiddetli yağmurlar düşer. Kasırga kara içlerine yaklaşırsa sel felaketi de görülür.

2.4 Rüzgar ve Dalgalar

Denizin üstündeki rüzgar ile denizin arasında bir ilişki vardır. Dolayısı ile, rüzgarın tahmin edilebilirliği denizin tahmin edilebilirliğini sağlar veya tersi de geçerlidir. Denizdeki dalga boyutlarına bakılarak da rüzgarın şiddeti hakkında bilgi alınabilir. Denizlerdeki rüzgar şiddeti İngiliz Amiral Francis Beaufort (1774-1857) tarafından geliştirilen ve Beaufort Skalası adı verilen 0-12 arasında yapılan bir sınıflandırmaya göre bulunabilir. Beaufort Skalası Tablo 2.3 ile verilmiştir.

Tablo 2.3. Beaufort skalası.

Beaufort No	Hız (m/s)	Knot	Hız (km/saat)	MPH	Tanım	Açıklama
0	0-0.2	<1	<1	<1	Sakin	Duman dikey olarak yükselir.
1	0.3-1.5	1-3	1-5	1-3	Esinti	Duman hafif esinti ile yükselir. Rüzgar yönü belirsizdir.
2	1.6-3.3	4-7	6-11	4-6	Hafif rüzgar	Yapraklar kırırdar. Esinti insan yüzünde hissedilir. Rüzgar yönü belirsizdir.
3	3.4-5.4	8-12	12-19	8-12	Tatlı rüzgar	Yapraklar ve ince dallar hareket eder.
4	5.5-7.9	13-18	20-28	13-18	Orta rüzgar	İnce dallar hareket eder. Kağıt ve tozlar yükselir.

5	8.0–10.7	19-24	29–38	19-24	Sert rüzgar	Ağaçlar sallanmaya başlar.
6	10.8–13.8	25-31	39–49	25-31	Şiddetli rüzgar	Büyük ağaç dalları hareket eder. Şemsiye kontrolü zorlaşır.
7	13.9–17.1	32-38	50–61	32-38	Çok şiddetli rüzgar	Büyük ağaçlar sallanır. Yürüme zorluğu başlar.
8	17.2–20.7	39-46	62–74	39-46	Fırtına	Ağaçlardaki ince dal ve çöpler kırılır.
9	20.8–24.4	47-54	75–88	47-54	Şiddetli fırtına	Binalarda hafif hasarlar oluşur. Çatı kiremitleri kırılır.
10	24.5–28.4	55-63	89–102	55-63	Tam fırtına	Binalar hasarlanır. Büyük ağaçlar kökünden sökülür.
11	28.5–32.6	64-72	103–117	64-72	Çok şiddetli fırtına	Geniş ölçekli hasarlar meydana gelir.
12	> 32.7	73-82	> 118	73-82	Tayfun Kasırga	Herşey zarar görür.

2.4.1 Bulutlar

Bulutlar, görünür buhar veya buz parçacıklarının oluşturduğu atmosferde yer seviyesinin yukarısında görülen meteorolojik olaydır. Bulutun sisten en önemli farkı, sisin yere değmesidir. Bulutların oluşumunun en önemli nedeni, yükselen hava içerisindeki su buharının yoğunlaşmasıdır. Bulut parçacığının çapının büyüklüğü 1 ile 100 mikron arasında değişir.

Bulutun, şekli, boyutu, kalınlığı gibi parametreler atmosferin durumu ile ilgili önemli bilgiler vermektedir. Deniz meteorolojisi açısından dikkat edilmesi gereken ilk bulut yüksek seviye bulutları olan Cirrus bulutlarıdır. Yüksek seviye bulutları ince buz kristallerinden oluşur. Orta seviye bulutlar çığunlukla su damlacıkları ve buz kristalleri; alçak seviye bulutlar ise tamamen su damlacıklarından oluşur. Tablo 2.4, yüksekliklere göre bulutların enlemsel sınıflandırması görülmektedir.

Tablo 2.4. Bulut sınıflandırması.

Bulut Grubu	Tropikler	Orta Enlemler	Kutuplar
Yüksek Seviye	6-18 km	5-13 km	3-8 km
Orta Seviye	2-8 km	2-7 km	2-4 km
Alçak Seviye	0-2 km	0-2 km	0-2 km

Bulut tiplerini sınıflandırmak için sadece yükseklik yetmez; bu üç sınıfta 10 çeşit bulut tipi vardır.

- 1) Bulutların görünüş, oluşum koşullarına göre sınıflandırılmasıdır. Konu ile ilgili genel kullanımı 1803 yılında Luke Howard tarafından yapılmış ve Dünya Meteoroloji Organizasyonu tarafından 1956 yılında basılan International Cloud Atlas kitabında kabul edilmiştir. Buna göre bulutlar 5 sınıfa ayrılmıştır.

- (a) Genera; yani bulutların oluşumuna göre
- (b) Species; Bulut yapısı ve şekline göre
- (c) Varieties; bulutların özellikleri ve yapılanmaları
- (d) Supplementary features and accessory clouds ; küçük bulutlardan büyüterek oluşan bulutlar,
- (e) Mother clouds; oluşan bulutun oluştuğu ana buluta göre yapılanması.

Genera olarak adlandırılan bulutlar; cirrus, cirrocumulus, cirrostratus, altocumulus, altostratus, nimbostratus, stratocumulus, stratus, cumulus ve cumulonimbus olmak üzere 10 çeşittir.

On dört bulut Species sınıfına girer. Fibratus, uncinus, spissatus, castellanus, floceus, stratiform, nebulosus, lenticularis, fractus, humitis, mediocris, congestus, calvus, ve capillatus.

Varieties bulutlar 9 adettir; intortus, vertebratus, undulatus, radiatus, lacunosus, duplicatus, translucidus, perlucidus ve opacus.

Supplementary features and accessory clouds 9 çeşittir; incus, mamma, virga, arcus, praecipitatio, tuba, pileus, valum ve pannus.

- 2) Bulut sınıflandırması, yüksekliklerine göre de yapılmaktadır. Bunlar; yüksek seviye, orta seviye ve alçak seviye bulutlarıdır. Yüksek seviye bulutları, cirrus, cirrocumulus, cirrostratus; bazen altostratus ve cumulonimbus bulutunun üst kısmıdır. Orta seviye bulutları, altocumulus,

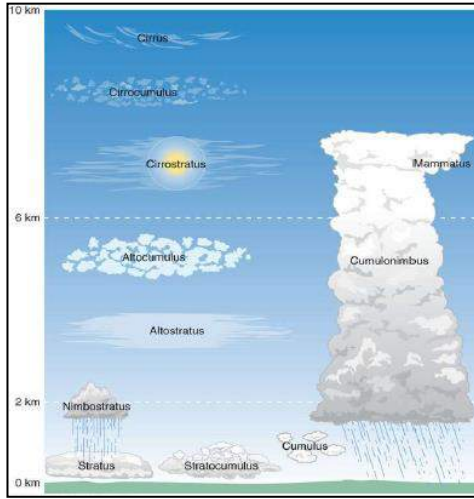
alto stratus, nimbostratus ve cumulus ile cumulonimbus bulutlarının bir kısmı. Alçak seviye bulutları stratocumulus, stratus, cumulus, cumulonimbus tabanı ve bazen de nimbostratus.

- 3) Bulutlar, oluştukları kompozisyona göre de sınıflandırılabilir. Bunlar su bulutları buz kristali bulutları ve karışık bulutlardır. Su bulutları, su parçacıklarından; buz kristal bulutları tamamı ile buz kristallerinden; karışık bulutlar ise her ikisinin karışımından oluşmaktadır. Cirrostratus ve cirrus daima buz kristalinden; cirrocumulus bazen karışımından sadece cumulonimbus daima karışımından oluşur. Geri kalan bütün bulutlar su parçacıklarından oluşmaktadır.

Bulutlar Luke Howard tarafından 1803 yılında aşağıdaki Latince kelimeler kullanılarak ayrılmıştır:

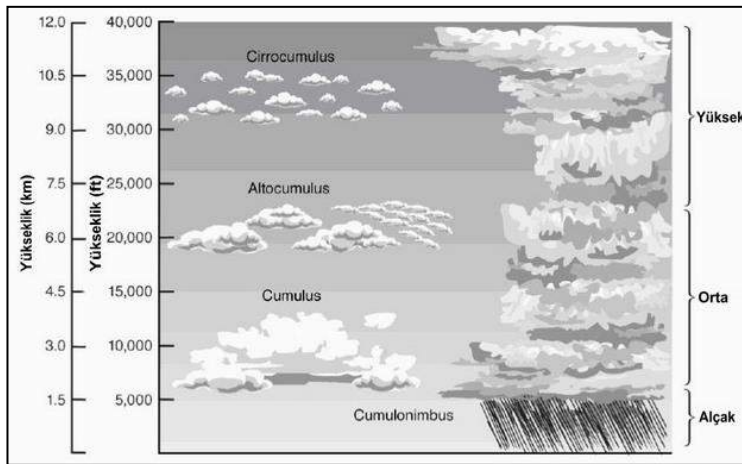
- SIRRUS (Cirrus)-püskül
- KÜMÜLUS (Cumulus)-yığın,küme
- STRATUS (Stratus)-tabaka
- NIMBUS (Nimbus)-yağmur getiren

On adet bulut ismi vardır ve bunların bazıları ortak kelimelerden oluşmuştur. Alto kelimesi orta anlamına gelmektedir. Bulutlar yerden olan yüksekliklerine göre üç gruba ayrılmaktadır. Yüksekliklere göre bulut sınıflandırmasını anlayabilmek için aşağıdaki Şekil 2.12 incelenmelidir.



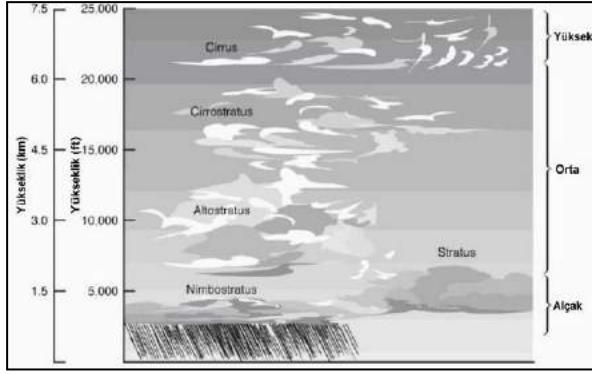
Şekil 2.12. Bulut yüksekliklerine göre sınıflandırma.

Kümüliform bulutların yükseklik ve isimleri aşağıdaki Şekil 2.13 ile görülmektedir.



Şekil 2.13. Kümüliform bulutlar (düşey gelişim).

Stratiform bulutların yükseklik ve isimleri aşağıdaki Şekil 2.14 ile görülmektedir.



Şekil 2.14. Stratiform bulutlar (tabaka şeklinde gelişim).

2.4.2 Yüksek Seviye Bulutlar

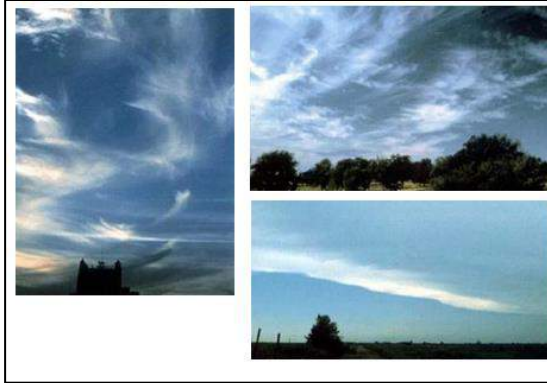
Bu bulutlar, buz kristallerinden oluşmuştur, yükseklikleri 5500-14000 metre arasındadır.

- Cirrus
- Cirrostratus
- Cirrocumulus

Cirrus bulutları, beyaz renkte, çok ince iplikler halinde veya dar şeritler şeklinde bağımsız bulutlardır. Görünümleri lif veya ipek parlaklığındadır. Bu bulutlar genellikle Cirrocumulus ve Altocumulus bulutları ile Cumulonimbus bulutlarının üst kısımlarından meydana gelir. Cirrus bulutları, çok ufak buz kristallerinden meydana gelmiştir.

Cirrostratuslar gökyüzünü tamamen veya kısmen kaplar ve genellikle Hale olayını meydana getirirler. Bunlar şeffaf, saça benzer, beyazımsı lifler halinde düzgün görünümlü bulutlardır. Cirrostratuslar küçük buz kristallerinden oluşurlar. Bu bulutlar fazla kalın olmadıklarından şeffaf görünürler. Güneş ve ay ışığını geçirirler.

Cirrocumulus, kum taneleri veya küçük dalgacıklar halinde, oldukça küçük kümeciklerden meydana gelmiş ince, beyaz ve gölgesiz bulut örtüsüdür. Bulutlar toplu halde oldukları gibi, ayrı ayrı parçacıklar halinde de görülebilirler.



Şekil 2.15. Cirrus bulutları.

2.4.3 Orta Seviye Bulutlar

Orta seviye bulutlar, genellikle 2000-7000 metre yükseklikte su damlacıklarından oluşan bulutlardır:

- Altocumulus
- Altostratus
- Nimbostratus

Altocumulus bulutları, genellikle gölgeli, beyaz renge sahiptir. Bu bulutlar kısmen lif halinde yayılmış olduğu gibi ayrı ayrı durumda olan ince tabakalar, yuvarlak kütlelerden ve tomurcuklardan meydana gelir.

Altostratus, gökyüzünün büyük bir kısmını veya tamamını kapatan, çizgili, lif veya düzgün görünüşteki grimsi veya mavimsi renkteki bulut tabakasıdır. Bazı kısımları çok ince olduğundan, Güneş; sanki buzlu cam arkasındaymış gibi bir görünüm alır.

Nimbostratus, genellikle koyu gri renkteki bulut tabakasıdır. Bunlar çoğu zaman yere kadar ulaşan ve devamlılık gösteren yağmur ve karın düştüğü bulutlardır. Çok kalın olduklarından, güneş ve ayın görülmesi mümkün değildir. Nimbostratus bulutunun altında, parçalar halinde alçak bulutlar meydana gelebilir. Bu bulutlar yatay ve dikey olarak çok geniş sahaları kaplarlar. Su damlaları, yağmur damlaları, kar kristalleri, kuşbaşı kar taneleri ve bunların karışımından meydana gelirler. Nimbostratusler dikey gelişmeli bulutlar sınıfından oldukları için; en alçak bulut seviyesinden, yüksek bulut seviyesine kadar çok kalın bir tabakayı tamamen kaplarlar.



Şekil 2.16. Orta seviye bulutları.

2.4.4 Alçak Seviye Bulutlar

2000 metrenin altında genellikle su damlacıklarından oluşan bulutlardır:

- Stratocumulus
- Stratus
- Cumulus
- Cumulonimbus (Dikine gelişimi en fazla olan bulut)

Cumulus bulutlarının üst kısımları karnabahar görünümünde olan; küme, kubbe veya kuleler halinde dikine olarak gelişen, genel olarak yoğun durumda bulunan bağımsız bulutlardır. Cumulus'lerin güneşle aydınlanan kısımları çoğu zaman parlak beyaz görünüme sahiptir. Bu bulutların tepe ve yan kısımları tomurcuğu andıran kümeler halinde olmasına karşılık, tabanları daha koyu ve hemen hemen düzdür. Cumulusler bazı zamanlarda düzensiz şekillerde de bulunabilirler. Cumulus bulutları genel olarak su damlacıklarından meydana gelmiştir. Bulut içindeki sıcaklığın sıfırın altına düştüğü yerlerde, aşırı soğumuş su damlaları ve buz kristalleri de bulunur. Dikine gelişmeye sahip Cumulus'lerde yağmur ve sağanak şeklinde yağışlar meydana gelir.

Cumulonimbus, dağ ve kuleler biçiminde, büyük bir dikine uzanışa sahip, yoğun ve koyu bir buluttur. Üst kısımları genellikle düz, lifli veya çizgili bir görünüme sahiptir. Cumulonimbus bulutlarının üst kısımları örs veya sorguç şeklinde yayılır. Bu bulutların altında düzensiz biçimde alçak bulutlar oluşabilir. Bunlar Cumulonimbus'lerle bir arada veya ayrı olarak bulunabilirler. Gökyüzünün büyük bir bölümünü kapladıklarında, tabanları Nimbostratus bulutunu andırır. Bu durumda bulutun yapmış olduğu yağış şekline bakılmalıdır. Sağanak yağışlarla birlikte şimşek, gök gürültüsü veya dolu varsa bulut; Cumulonimbus bulutudur. Bu bulutlar tek bulut halinde oldukları gibi, birçok Cumulonimbus bulutunun meydana getirmiş olduğu büyük bir bulut silsilesi halinde de olabilirler. Böyle bir Cumulonimbus grubu içindeki her Cumulonimbus bulutuna Oraj meydana getirmesi sebebiyle Oraj Hücresi adı verilir.

Stratocumuluslar gri veya beyazımtırak renkte, yada her iki renge birden sahip olan bulutlardır. Bu bulutlar toplu halde veya ayrı ayrı olabilen mozaik görünümünde yuvarlak kütleler ve tomarlardan meydana gelirler. Stratocumulusu meydana getiren elemanlar, genellikle sıralar halinde ve tepeleri düz şekildedir.

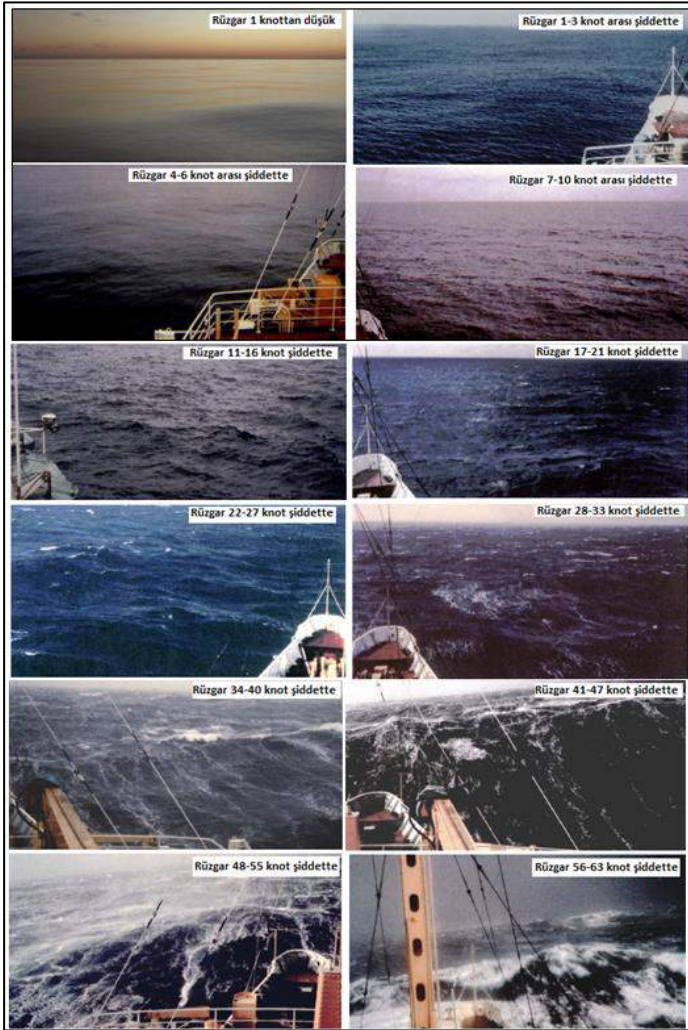
Stratus, genellikle gri renkte, düzgün görünüme sahip bulutlardır. Stratus'lerden çisenti, buz prizmaları ve kar grenleri yağışı meydana gelir. Güneş bu bulutlardan görüldüğü zaman, bulutun sınırları kolayca teşhis edilebilir. Çok düşük sıcaklıklar dışında Stratus, hale olayını meydana getirmez. Bu bulutlar bazen düzensiz sıralar halinde de meydana gelebilir. Stratus'lerin karakteristik yağışı çisenti olup, rüzgarın sakin veya hafif olduğu dönemlerde görüşü kısıtlayacak şekilde yere yakın seviyelerde görülebilmektedirler.



Şekil 2.17. Alçak seviye bulutları.

2.5 Deniz Bozulumuna Göre Rüzgar Şiddeti Tahmini

Denizdeki dalgaların büyüklüğüne göre rüzgar şiddeti sınıflandırması aşağıda Şekil 2.18 ile görülmektedir (1 knot=0.5 m/s).



Şekil 2.18. Deniz durumuna göre rüzgar şiddeti.

Gemilerde anemometre olmadığı zaman dalganın boyu ve Beaufort Skalasına göre rüzgar şiddeti anlaşılır. Tecrübeli gemiciler gemi sallanması, bayrak dalgalanması vb gibi gözlemleride hesaba katarlar. En önemli değişikliklerden birisi de deniz yüzeyindeki bozulumlardır. Deniz yüzeyinin bozulumu, dalganın boyutu, deniz spreysi ve köpük miktarı gibi parametrelerde hesaba katılır. Rüzgarın oluşumu ile ilgili 3 husus çok önemlidir:

- Rüzgar şiddeti: Rüzgar şiddeti ne kadar yüksek olursa, deniz yüzeyindeki bozulum artar,
- Rüzgarın etki süresi: Rüzgarın esiş süresi artması da deniz yüzeyinin bozulumunu artırır,
- Feç (fetch) mesafesi: Rüzgarın etki ettiği mesafedir. Verilen bir rüzgar şiddeti ve etki süresinde feç mesafesi arttıkça deniz yüzeyinin bozulumu da artar. Eğer feç mesafesi düşükse, yüksek rüzgar şiddetinde dahi deniz yüzeyi bozulumu fazla olmayabilir.

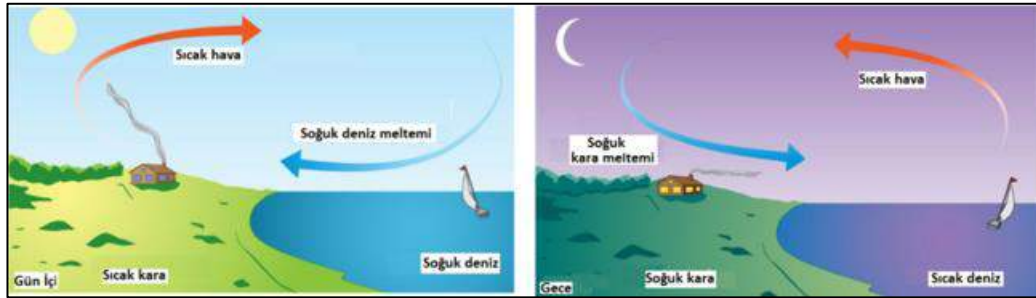
2.6 Yerel Rüzgarlar

Küresel ölçekte rüzgarlar incelendikten sonra yerel olarak oluşan rüzgarın incelenmesi gerekmektedir. Rüzgar enerjisi uygulamalarında kullanılan rüzgarlar yerel rüzgarlardır. Genellikle kara-deniz etkileşimi, gündüz-gece değişimleri, topoğrafik yapı, kanal etkisi gibi sebeplerden ortaya çıkar.

2.6.1 Kara ve Deniz Meltemleri

Kara ve deniz meltemleri, kara ile deniz arasındaki sıcaklık gradyanının (farkının) bir sonucudur. Deniz meltemi, bazen önemli hızlara ulaşabilmektedir. Deniz seviyesi üzerinde 10 metrede 6-9 m/s hızlara kadar çıkabilmektedir ve karaların içine doğru bazen 50 km kadar bir derinliğe ulaşabilmektedir. Lokal deniz meltemi, genellikle sadece en alçak 100 metre seviyesine kadar etkili olabilmektedir. Deniz meltemi, özellikle yazın antisiklonik (yüksek basınç) yapı süresince esen sinoptik rüzgar hızı düşük olduğunda daha fazla sıklıkta görülmektedir. Deniz ve kara arasındaki farklı sıcaklıklara dayanan deniz melteminin hızı, hava sisteminin geçişi yüzünden sinoptik rüzgarın boyutuna bağlıdır ve güçlü bir sinoptik deniz melteminin gelişimini engeller. Deniz melteminin gelişimi genellikle sabah başlar ve öğleden sonra son bulur. Buna karşın, kara meltemi geceleyin başlar ve birkaç saatte son bulur. Kara meltemi, deniz meltemine göre daha zayıftır. Rüzgar, deniz melteminden oluştuğunda, daha pürüzsüz deniz yüzeyi üzerinden geldiğinden rüzgar yüzey sürtünmelerinden daha az etkilenir ve daha hızlıdır. Genelde deniz seviyesindeki rüzgar hızları, dağdakiler kadar yüksek değildir. Deniz seviyesinde türbülans daha azdır ve deniz meltemleri, deniz seviyesi üzerindeki nemli ve tuzlu havayı beraberinde taşırlar.

Güneşten gelen enerji, karalar ve denizler tarafından farklı şekilde yutulur. Bu farklı yutulmalar sonucunda kara ve deniz arasında bir sıcaklık farklılığı ortaya çıkar. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında denizlerin sıcaklığı karaların sıcaklığından daha düşüktür. Kışın ise tersi bir durum söz konusudur. Benzer mekanizmalar gece ve gündüz ölçeğinde de geçerli olmaktadır. Güneş ışıınımı ile karalar, denizler ve bunlarla temas halinde olan hava da farklı ısınır. Isınan hava çevresine nazaran daha hafiftir ve yükselmeye başlar. Karalarda gündüz ısınan havanın yükselmesiyle denizlerdeki soğuk hava yükselen havanın yerini alır. Yukarılarda ise, karadan denize doğru bir hava taşınımı söz konusudur. Gece şartlarında bu döngü tersine işler. Denizden karaya esen rüzgara deniz meltemi denir (Şekil 2.19). Karadan denize doğru esen rüzgar da, kara meltemi olarak adlandırılır.

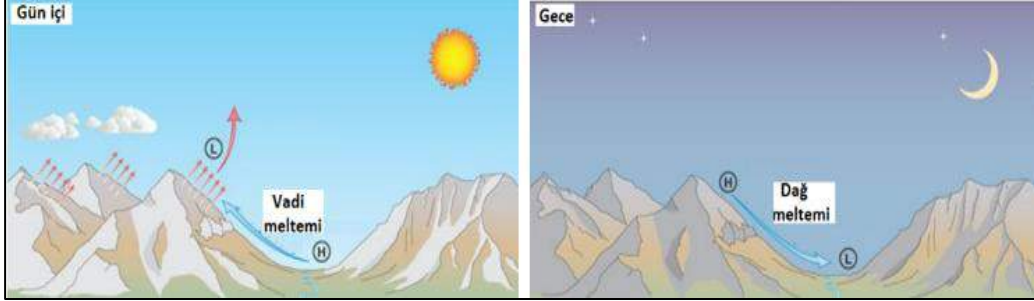


Şekil 2.19. Kara ve deniz meltemi.

2.6.2 Dağ ve Vadi Rüzgarı

Güneşten gelen enerji, karalar ve denizler tarafından farklı şekilde yutulur. Bu farklı yutulmalar sonucunda kara ve deniz arasında sıcaklık farklılığı ortaya çıkar. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında denizlerin sıcaklığı karaların sıcaklığından daha düşüktür. Kışın ise tersi bir durum söz konusudur. Benzer mekanizmalar gece ve gündüz ölçeğinde de geçerli olmaktadır. Güneş ışıınımı ile karalar, denizler ve bunlarla temas halinde olan hava da farklı ısınır. Isınan hava çevresine nazaran daha hafiftir ve yükselmeye başlar. Karalarda gündüz ısınan havanın yükselmesiyle denizlerdeki soğuk hava yükselen havanın yerini alır. Yukarılarda ise, karadan denize doğru bir hava taşınımı söz konusudur. Gece şartlarında bu döngü tersine işler. Dağlık alanlarda oluşur. Dağ yamaçları güneşten gelen radyasyonla gün boyunca ısınır. Dolayısıyla sıcak olan vadi ile temas halindeki hava ısınır. Isınan hava yamaçlar boyunca yükselmeye başlar. Yükselen bu havanın yerine yukardan düşey olarak daha soğuk ve ağır olan hava geçer. Belirli bir süre sonra bu hava ısınır ve yükselir. Bu işlem gün boyunca devam eder ve bir çevrim oluşturur (Şekil 2.20). Geceleri aynı fiziksel nedenden dolayı tam tersi yönde bir çevrim oluşturur. Bu yüzden vadi rüzgarları geceleri yamaçtan vadiye doğru eser. Vadideki hava parseli gün boyunca ısındığından, eğimli yüzey boyunca yükselir. Buna meteorolojik terminolojide “anabatik rüzgar” denir. Bu rüzgarların hızları 3 m/s civarında olup rüzgar enerjisi için oldukça düşüktür. Enerji

üretimi için yetersiz olan anabatik rüzgarlar, bazen türbülansın artmasıyla sırtlarda bulunan rüzgar türbinleri için önemli olabilmektedir. Buna karşın dağ yüzeyindeki hava gece boyunca soğuduğundan, vadiye doğru hareket eder ve bu oluşan rüzgara da katabatik rüzgar denir. Katabatik rüzgarlar bazen çok güçlü olabilmektedirler. Bu rüzgarlar, vadi veya geçite yönlendiğinde daha da hız kazanır. Diğer katabatik rüzgarlar platolardan boşalan rüzgarları da içermektedir. Geceleri soğuk ve nemli hava parseli, vadideki ılık hava parselinin üzerine çöktüğünde yer değiştirirler ve bu sırada oldukça hızlanabilirler. Bazen 20-30 m/s hıza kadar çıkabilirler.



Şekil 2.20. Vadi ve dağ meltemi.

2.7 Rüzgar Oluşumu

Meteorolojik parametreler içerisinde en karmaşık yapıya sahip olan rüzgar oluşumu, yapısında bir çok fiziksel olayı barındırmaktadır. Meteorolojik olarak rüzgar oluşumunu açıklamaya en yakın teori jeostrofik rüzgar yaklaşımıdır.

2.7.1 Jeostrofik Yaklaşım

Jeostrofik denge, sinoptik ölçekli istemlerde, basınç alanı ve yatay hız gradyanı arasında yaklaşık bir bağıntı veren diagnostik bir yaklaşımdır ve aşağıdaki eşitlik ile bulunur:

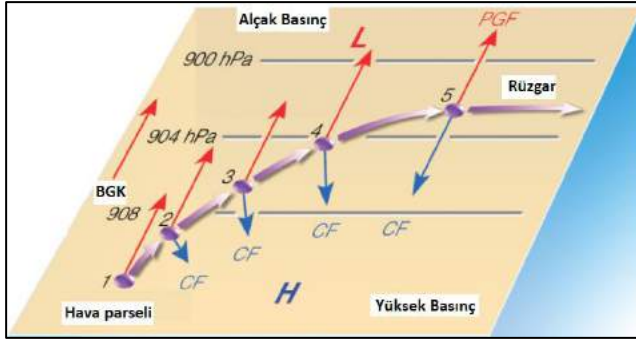
$$v_g = \frac{1}{f} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n} \right)$$

Bu eşitliği sağlayan yatay hız alanına da jeostrofik rüzgar denir. Formülde kullanılan ρ , hava yoğunluğu; f , enlemin fonksiyonu olan Coriolis parametresi ($f=2 \omega \sin \phi$, ϕ enlem; ω ise dünyanın açısal hızı olup değeri 7.269×10^{-5}) olarak verilmektedir.

Jeostrofik rüzgar, teorik bir rüzgardır ve gerçek rüzgara oldukça yakın bir ifadedir. Aşağıdaki kabuller altında yapılır:

- İvme yoktur,
- Hareket yatay ve izobarlara paralel eser,
- Sürtünme yoktur,
- Basınç gradyanı kuvveti ile Coriolis kuvvetin dengesinden oluşur.

Jeostrofik rüzgar, yatay basınç gradyanı ve Coriolis kuvvetin dengede olduğu rüzgardır ve bu yüzden ivme sıfırdır (Şekil 2.21). Kuzey yarımkürede solunda alçak basınç, sağında da yüksek basınç vardır. Şekil, kuzey yarımkürede yeryüzünden aşağı yukarı 1 km yükseklikte (sınır tabakanın üzerinde) meydana gelen rüzgarın oluşumunu göstermektedir. İzobarlara (eş basınç eğrileri) bakıldığında basınç gradyanı kuvvetinin güneyden kuzeye doğru olduğu görülmektedir. Basınç gradyanı kuvveti, hava parselini basıncın düşük olduğu bölgeye doğru yani kuzeye doğru harekete geçirecektir. Bununla beraber, hava parseli harekete başlar başlamaz, parsel üzerine sağa doğru sapıtıcı Coriolis kuvveti de etki edecektir. Hava parselinin hızı arttıkça Coriolis kuvveti de büyüyecektir ve hava parselini daha çok sağa sapıtacaktır. Bu durum, Coriolis kuvvetinin, basınç gradyanı kuvvetine eşit olmasına kadar devam edecektir. Sistemin üzerine etkiyen net kuvvet eşit olduğunda rüzgarın hızı artmayıp sabit kalacaktır ve parsel izobarlara paralel olarak hareket edecektir.



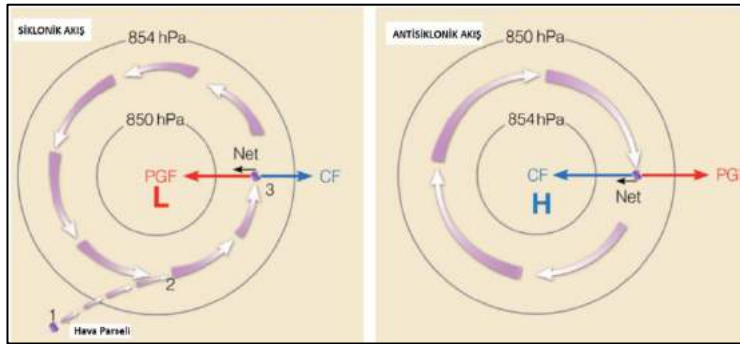
Şekil 2.21. Jeostrofik rüzgar oluşumu.

2.7.2 Gradyan Rüzgar

Gerçek rüzgara daha iyi bir yaklaşım, doğrusal olmayan akışta, örneğin dairesel yapıdaki akışlarda meydana gelen ve merkezkaç kuvvetin de dikkate alınmasıyla elde edilebilir. Gerçekte bütün alçak ve yüksek basınçlı hareket sistemlerinde gözlenen akış eğriseldir. Bu yüzden merkezkaç kuvvetin hesaba dahil edilmesi gerekmektedir. Genellikle V_{gr} ile gösterilen gradyan rüzgar aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$K V_{gr}^2 = -f V_{gr} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}$$

Burada $K=1/r$ olup (r : yarıçap), hava parselinin yörüngesinin eğriliğidir. Alçak basınç merkezi etrafındaki gibi siklonik bir akış için pozitif, yüksek basınç merkezi etrafındaki gibi antisiklonik bir akış için ise negatiftir.



Şekil 2.22. Gradyan rüzgar.

Dairesel izobarlı bir basınç merkezi ve bu merkez etrafındaki sürtünmesiz ve yatay hareket göz önüne alındığında hava parseli üzerine, basınç gradyanı kuvveti, yatay Coriolis kuvvet ve izobarların eğriliğinden dolayı ortaya çıkan ve büyüklüğü V^2/R 'ye eşit olan bir merkezkaç kuvveti etki eder. Bu üç kuvvet arasında denge oluştuğu zaman rüzgar ivmesiz ve daimidir.

Rüzgar profili, yani rüzgarın düşey değişimi bir çok parametreye bağlı olarak değişim göstermektedir. İnsan hayatını ilgilendiren olaylar ve rüzgar enerjisi için gerekli olan rüzgar karakteristiklerinin atmosferik sınır tabaka içindeki özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, öncelikle atmosferik sınır tabaka kavramı ile ilgili bilgi vermek faydalı olacaktır.

2.7.3 Atmosferik Sınır Tabaka (Atmospheric Boundary Layer)

Atmosferik sınır tabaka, yüzeydeki değişikliklerden en fazla etkilenen ve bu etkilenmeye hızlı bir şekilde tepki veren atmosferik yüzey tabakası olarak tanımlanmaktadır. Atmosferik sınır tabakada momentum, ısı ve kütle alışverişi meydana gelir. Kalınlığı 100 m ile 2 km arasında değişen bu tabakanın %10 ile ifade edilen tabaka yüzey tabaka olarak adlandırılır. Yüzey tabakada rüzgarların oluşum nedenleri şöyle sayılabilir:

- Yeryüzeyinden birkaç yüz metre yükseklikte esen ve farklı basınç alanlarının oluşturduğu rüzgarlar (jeostrofik veya gradyan rüzgar),
- Deniz meltemlerinin de oluşma nedeni olan yeryüzeyi eğimi,
- Tropikal siklonların ve fırtınaların nedeni olan atmosfer kararsızlığı.

Yüzeye yakın tabakadaki hava akımları için aşağıdakiler genellikle doğrudur:

- Rüzgar şiddeti yükseklikle artmaktadır,
- Rüzgar hızında türbülans bulunmaktadır.

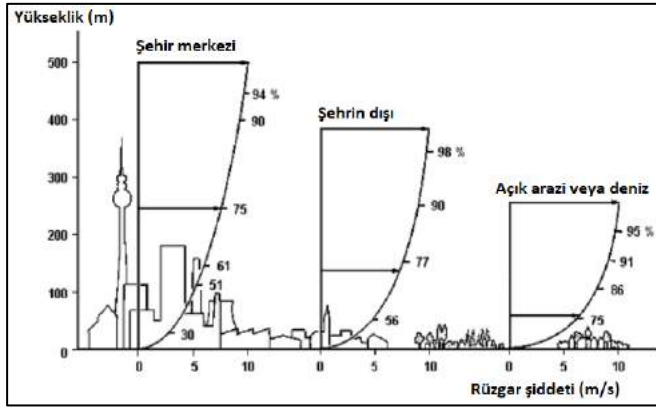
Rüzgar potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan rüzgar eşitlikleri atmosferik sınır tabaka için geliştirilmiştir. Atmosferik sınır tabakada rüzgara etki eden faktörler arasında;

- Büyük ölçekli basınç ve sıcaklık gradyanları,
- Yüzey sürtünmesi ve momentum alışverişine neden olduğundan dolayı pürüzlülük parametresi,
- Sınır tabakada rüzgar kaymalarını meydana getiren sınır tabaka yüksekliği,
- Sıcaklık ve momentumun yatay taşınımı,

sayılabilir.

2.7.4 Düşey Rüzgar Profili

Yüzey yakınlarında atmosferik sınır tabakaya kadar olan bölgedeki rüzgarın profilidir (düşey değişimi), Şekilden de görüldüğü gibi, yüzey yakınlarında yüksek türbülans meydana gelmektedir. Yeryüzünden uzaklaştıkça, yüzey pürüzlülüğünün etkileri azaldığından türbülans gittikçe azalmaktadır. Atmosferik sınır tabakanın üzerinde ise, akış laminar hale gelmektedir. Buradaki akış jeostrofik rüzgar karakteri taşır.



Şekil 2.23. Düşey rüzgar profili.

2.7.5 Atmosferik Kararlılığın Rüzgara Etkisi

Atmosferik kararlılık 3 kategoride incelenir: kararlı, kararsız ve nötr. Rüzgarın düşey dağılımı, rüzgar enerjisi ve pervane üzerine etkileyen yük için (fatigue) önemlidir. Monin-Obukhov kararlılık uzunluğu olarak z/L 'yi belirlemiştir. Monin-Obukhov uzunluğu L , yüzeydeki ısı akışına bağlıdır ve aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir:

$$L = \frac{T_0}{kg} \frac{C_p u_*^3}{H_0}$$

eşitlikteki parametreler:

T_0 : Yüzey mutlak sıcaklığı

H_0 : Yüzey ısı akısı

C_p : Havanın sabit basınçtaki ısı kapasitesi

u_* : Sürtünme hızı

k : von Karman sabiti (0.4)

g : Yerçekimi sabiti

Buna göre,

$z/L = 0$ (nötr)

$z/L = 10$ (kararlı)

$z/L = -10$ (kararsız)

atmosfer koşullarını anlatmaktadır. Bu üç profil içerisinde RT pervane ömrü için en uygun olan nötr atmosferdir. Çünkü rüzgar kayması (wind shear) bulunmamaktadır. Bununla beraber, enerji üretimi açısından kararsız atmosfer en uygundur çünkü büyük rüzgar kaymaları meydana gelmektedir.

Atmosferik kararlılık, kısa bir süre için söz konusu olan bir atmosferik olay değildir. Günlük ve bazen de haftalık süreleri kapsayan bir olay olabilir. Bazı bölgelerde, yüzey büyük bir alanda uniform olup atmosfer ile farklı termal etkileşimde bulunabilir. Örneğin, çöllerde yüzeyin günlük ısınması ve müteakip olarak havanın konveksiyon yolu ile ısınması sonucu kararsız bir atmosferik yapı meydana gelmektedir. Gece ise, çölün hızlı soğuması nedeniyle oluşan konveksiyonel soğuma, kararlı bir atmosferik yapı meydana getirir. Nüfusu yüksek olan şehirlerde, çoğunlukla kararsız atmosferik yapısına sahiptirler, çünkü büyük şehirler aşağı seviyedeki atmosfer tabakası için ısı kaynağı gibi davranırlar

Rüzgarlar, etki ettikleri alana göre 3 türe ayrılabilir: Makro, mezo ve mikro ölçekler. Makro ölçekteki rüzgarlar, global sirkülasyon neticesinde oluşan ve 200 – 10,000 km lik bir alanda etkili olan rüzgarlardır ve atmosferde yerden 1000 metre yüksekte görülürler. Yeryüzünden 100 – 1000 m arasında ve 10 – 200 km lik bir alanda etkili olan rüzgarlar da mezo ölçekli rüzgarlardır. Bunlara en iyi örnek, kara ve deniz meltemleri ile dağ ve vadi meltemleridir. Rüzgar enerjisi uygulamalarında kullanılan mikro ölçekli rüzgarlar ise, etki alanı 10 km civarındadır ve yerden 40 – 100 m arasında eserler. Bu rüzgarlar, orografî, yapılar, engeller, pürüzlülük gibi yüzey koşullarından etkilenirler.

2.8 Rüzgar İstatistiği ve Formüller

Rüzgar hızından rüzgar potansiyelinin hesaplanması bazı adımlarla beraber olmaktadır. Burada, meteoroloji, istatistik, matematik bilgisi gerektirmektedir. Ayrıca, klasik istatistik bilgilerinin yanı sıra, stokastik yöntemlerin de bilinmesi gerekmektedir.

Rüzgar istatistiği, rüzgar enerji potansiyelini bulabilmek için kullanılan eşitliklerdir. Rüzgar verisinin en önemli özelliklerinden birisi ortalamadır ve aşağıdaki eşitlikle bulunur:

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i$$

Burada N, örnek sayısıdır (yani toplam rüzgar verisi). Diğer önemli 2 istatistiksel parametreler ise, mod ve medyandır. Mod, veri serisinin içerisindeki en fazla tekrar eden veri sayısıdır; medyan ise, verilerin küçükten büyüğe veya büyükten küçüğe doğru sıralandığında orta değerdir. Veri setinin değişkenliği de önemlidir. Bunun için standart sapma ve varyans parametreleri bilinmelidir. Standart sapma,

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})^2}$$

eşitliği ile verilmektedir. Eşitlikte kullanılan u_i : rüzgar hızı, $\bar{u}$ ise, incelenen rüzgar zaman serisinin ortalamasıdır. Varyans ise standart sapmanın karesidir, σ^2 .

Büyük veri setlerinde, veri grupları bazı aralıklara bölünmelidir. Bunun sonucu olarak histogram ortaya çıkmaktadır. Histogram parametreleri;

u_i : veri setindeki orta değer,
 w : aralık sayısı,
 m_i : her bir ara veya frekanstaki gözlem sayısını,

ifade etmektedir. Her bir aralığın olasılığı ise,

$$p(u_i) = \frac{m_i}{N}$$

Olasılıkların toplamı ise, her zaman 1 olmalıdır:

$$\sum_{i=1}^N p(u_i) = 1$$

2.8.1 Normal Dağılım

İstatistiki yöntemler içerisinde çok kullanılan normal dağılım (veya Gauss dağılımı), ortalama ve standart sapmaya bağlıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(u) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(u - \bar{u})^2}{2\sigma^2}\right]; \quad -\infty < u < \infty$$

eşitlikte kullanılan $\bar{u}$ ve σ , normal yoğunluk fonksiyonunu belirleyen parametrelerdir.

2.8.2 Rüzgar Güç Formülasyonu

Bilindiği gibi, hareket halindeki her cisim bir kinetik enerjiye sahiptir. Rüzgar da hareket halinde bir meteorolojik parametre olduğundan kinetik enerjiye sahiptir.

Kinetik enerji eşitliğinden yola çıkılarak

$$E = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

olarak bulunur Kullanılan birimler:

E = Watt/m²,

ρ : Hava yoğunluğu (1.223 kg/m³),

A: Hesaplama kullanılan rüzgar türbininin süpürme alanı (m²),

V: Rüzgar şiddeti (m/s).

Hava Yoğunluğu

Bilindiği gibi, rüzgardan elde edilecek rüzgar enerjisi potansiyeli, yoğunluk ile doğru orantılıdır. Hava, nitrojen, oksijen, argon ve diğer bazı gazlardan oluşan bir karışımdır. Nitrojen ve oksijen kuru bir havanın %99'unu oluşturmaktadır. Yeryüzünden 80 km yüksekliğe kadar bu gazların karışımı olduğundan hava yoğunluğunun, sıcaklık ve basınç değişiminin nasıl etkilendiğini anlayabilmek için standart gaz eşitliğini kullanabiliriz. İdeal bir gaz için gaz eşitliği;

$$PV = nRT$$

olarak verilmektedir. Bu eşitlikte

R: Evrensel gaz sabiti,

T: Kelvin cinsinden sıcaklık,

V: Gazın hacmi (kg/m³),

P: Basınç (Pascal, N/m²),

n: Gazın kilomoleküllerinin sayısıdır.

Standart koşullarda 0 °C ve 1 atm basınçta 1 kg mol gaz 22,414 m³ ve R: 8314 J (kmol K). Dolayısıyla 1 atm basınç 0 °C de 101.324 kPa = 105 N/m² olarak bulunur. Buradan

$$\rho = \frac{mP}{nRT}$$

Bir kilo kuru havanın ortalama moleküler kütlesi 28.97'dir. Bu yüzden, 1 kg mol kütle kuru havanın ağırlığı 28.97 kg olarak bulunur.

$$\rho = \frac{mP}{RT} = \frac{28.978}{8.314T} = 3.484 \frac{P}{T} \text{ kg / m}^3$$

Bu eşitlik, kuru bir havada standart koşullarda hava yoğunluğunun 1.2929 kg/m³ olduğunu bize söylemektedir. Herhangi bir lokasyonda P ve T değerleri girilerek hava yoğunluğu kolaylıkla bulunabilir.

Hava yoğunluğuna su buharı ve nemin de etkisi incelenmesi gereken bir konudur. Havadaki su buharının mevcudiyeti, hava yoğunluğunun değerini değiştirebilmektedir. Suyun moleküler ağırlığı (18 g) havanın moleküler ağırlığından (28.97 g) daha hafiftir. Dalton yasasına göre, herhangi bir gazın toplam basıncı, gazı oluşturan karışımdaki gazların herbirinin tek tek basınçlarının toplamına eşittir. Buradaki durumda, kuru hava ve su buharının basınçları toplamıdır. Aşağıdaki eşitlik ile verilen gaz eşitliğindeki yoğunluk;

$$\rho_m = \frac{m_m P_m}{RT} \quad (\text{nemli hava})$$

$$\rho_d = \frac{m_d P_d}{RT} \quad (\text{kuru hava})$$

$$\rho_w = \frac{m_w P_w}{RT} \quad (\text{su buharı})$$

Nemli havanın kuru hava ve su buharı karışım olduğu dikkate alınırsa,

$$\rho = \rho_w + \rho_d$$

Dolayısıyla elimizde,

$$\rho_m = \frac{m_w P_w}{RT} + \frac{m_d P_d}{RT}$$

Özgül nem (q) ile gösterilir ve,

$$q = \frac{m_w}{m_m}$$

ile bulunmaktadır. Dolayısıyla formüllerde yerine konursa,

$$q = \frac{\rho_w}{\rho_m} + \frac{m_w P_w}{m_m P_w + m_d P_d}$$

Nemli hava için yoğunluk formülünden çekilirse,

$$\rho_m = \frac{m_d P_m}{RT^*}$$

elde edilir. Eşitlikteki T^* , virtüel sıcaklıktır. Araziye özel hava yoğunluğunun bulunması ile ilgili diğer bir formülde aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T} \left(1 - \frac{\Gamma z}{T_0} \right)$$

eşitlikte kullanılan parametreler,

z: Yükseklik

g: Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s²)

R: Gaz sabiti (287 Joule derece⁻¹kg⁻¹)

ρ_0 : 1.225 kg/m³

Γ : Yatay sıcaklık gradyanı (6.5 °K/km)

Yüzey tabakada yüksek rüzgar hızlarına, düzgün ve yeterince homojen bir yüzey yapısına sahip bölgeler üzerinde rüzgar profili, logaritmik kanun yardımıyla modellenenebilir:

$$u_{(z)} = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0}$$

Formülde kullanılan $u_{(z)}$, yeryüzeyinden itibaren z yüksekliğindeki rüzgar şiddeti; $z_{(0)}$, yüzeyin pürüzlülük uzunluğu; k, von Karman sabiti (0.40); ve u_* ise, yüzey gerilmesi ($|\tau| = \rho u_*^2$) ile ilgili sürtünme hızıdır.

Bazı durumlarda da ortalama rüzgar şiddetinin düşeydeki değişimi için basit belirlemeler yapılmak istendiğinde kuvvet kanunu tercih edilmektedir:

$$\frac{V_1}{V_{12}} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^\alpha$$

Formülde kullanılan;

h_1 : Rüzgar şiddetinin ölçüldüğü yükseklik (m),

h_2 : Rüzgar şiddetinin hesaplanması istenen yükseklik (m),

V_1 : h_1 yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızı (m/s),

V_2 : h_2 yüksekliği için hesaplanacak olan rüzgar hızıdır (m/s).

Eşitlikte kullanılan üstel terim α , yüzey pürüzlülüğüne ve incelenen iki nokta arasındaki yükseklik farkına bağlı olup, düşük bir hata yüzdesiyle aşağıdaki eşitlikle bulunabilmektedir:

$$z_0 = 15.25 \exp(-1/\alpha)$$

z_0 değeri, 0–1 arasında değişir. Burada verilen eşitliklerden hangisi kullanılırsa kullanılsın, bir bölge üzerindeki rüzgar verisinin uzun bir periyot için incelenmesi durumunda pürüzlülük uzunluğunun farklı rüzgar yönlerine göre ve yıl boyunca bitki örtüsündeki değişime göre farklı değerler alabileceği de unutulmamalıdır.

2.8.3 Weibull Dağılımı

Rüzgar hızının frekans dağılımı, Weibull dağılımı yoluyla çözülür. Weibull dağılımı, 2 parametre ile karakterize edilmektedir. Bu parametreler, şekil (k) ve ölçek (c) parametreleridir.

$$F(V) = 1 - \exp \left[- \left\{ \frac{V}{c} \right\}^k \right]$$

eşitliği ile verilir. Eşitlikteki parametreler;

V: rüzgar hızı

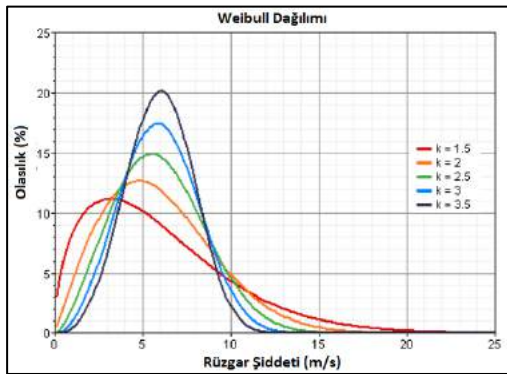
k: şekil faktörü

c: ortalama rüzgar hızına bağlı bir parametre ($V/c \cong 0.89$)

Olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{u}{c} \right)^k \right]; \quad (k > 0, u > 0, c > 1)$$

Şekil 2.24 ile Weibull olasılık dağılımının ölçek parametresi $c=1$ ve k değerlerinin artırılarak çizilen grafik görülmektedir. Eğriler keskinleştikçe, rüzgar hızındaki değişimlerin azaldığı anlamına gelmektedir.

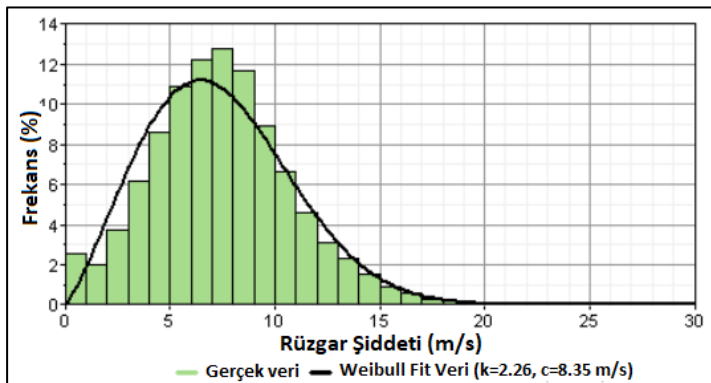


Şekil 2.24. Farklı k değerlerine göre Weibull dağılımı.

Şekil ile verilen ve farklı k değerlerine göre çizilen grafiklerden görüldüğü gibi, k değeri büyüdükçe grafiğin dikliği artmaktadır. Ölçümler sonucu çizilen Weibull grafiğinde k küçük ise, değişken rüzgar; büyük ise, kararlı yapıda bir rüzgar rejimi olduğu anlaşılmalıdır. Şekilde verilen $k=1.5$ aşırı değişken rüzgar, örneğin kutup bölgelerindeki rüzgarlar ve termal rüzgarlar (kara ve deniz meltemi ile dağ-vadi rüzgarı) bu sınıftadır. k'nın 2 olduğu değerler, iklimsel rüzgarlar; 3 değeri ise, ticaret rüzgarları gibi sabit rüzgarları ifade etmektedir. Örneğin, 6 ve 7 m/s hızları arasında $k=2.0$ ve $c=5$ m/s için Weibull dağılımının yoğunluğu;

$$\frac{2}{5} = \left(\frac{6.5}{5} \right)^2 \exp \left[- \left(\frac{6.5}{5} \right)^2 \right] = 0.096$$

Bunun anlamı, 6-7 m/s arasında esen rüzgar hızının yüzdesi 9.6'dır. Şekil 2.25 ile tipik olarak bir rüzgar zaman serisinin Weibull dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.25. Weibull dağılımı.

2.8.4 Rayleigh Dağılımı

Rayleigh olasılık dağılımı, Weibull dağılımının özel bir durumu gibi düşünülebilir. Şekil parametresi $k=2$ eşit olduğunda Rayleigh dağılımı adını alır. Dolayısıyla Rayleigh fonksiyonu tek parametreye bağlı bir fonksiyondur. Sadece ortalama rüzgar hızına bağlı olduğundan dolayı dağılımın tahmini daha kolaydır. Weibull eşitliğinde $k=2$ alınırsa

$$\frac{\pi}{2} \frac{u}{\bar{u}^2} \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{u}{\bar{u}}\right)^2\right]$$

olarak bulunur. Örneğin, $\bar{u}=10$ m/s olan bir bölgede 16 m/s esme sıklığı nedir sorusunun cevabı Rayleigh dağılımı ile,

$$f(16) = \frac{\pi}{2} \frac{16}{10^2} \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{16}{10}\right)^2\right] = 0.034$$

Dolayısıyla 16 m/s esme yüzdesi 3.4'tür, veya yılda 298 saattir (0.034×8760).

2.8.5 Ekstrem (Aşırı) Rüzgar Hızı Dağılımı

Rüzgar ölçümleri yaparken hamlelerde kayıt edilebilmektedir. Standart meteorolojik amaçlı rüzgar ölçümlerinde anemometreler 3 saniyelik hamleli rüzgarı kayıt ederken; rüzgar enerjisi için yapılan ölçümlerde 1 saniyelik hamleler dahi kayıt edilebilmektedir. Ekstrem (aşırı) rüzgarın dağılım fonksiyonu,

$$F_e(u) = \exp\left[-\left(\frac{u}{b}\right)^a\right]$$

ile verilmektedir. Eşitlikteki a ve b iki parametredir. Bu eşitlik literatürde Fischer-Tippett ekstrem dağılım teoremi olarak bilinmektedir. Herhangi bir ekstrem değerin kaç yılda meydana geleceği,

$$M_r = \frac{1}{1 - F_e(u)}$$

eşitliği ile verilmektedir. Örneğin, $a = 4$ m/s ve $b = 18$ m/s olan bir arazi için 36 m/s lik ekstrem rüzgar hızı bulunmasının olasılığı ve bu olasılığın görülme yılı nedir sorusunun cevabı aşağıdaki gibi bulunur:

$$F_e(36) = \exp\left[-\left(\frac{36}{18}\right)^4\right] = 0.939$$

$$M_r = \frac{1}{1 - 0.939} = 16.4$$

Dolayısıyla verilen değerlere arazide 36 m/s rüzgar hızı için 16.4 yılda bir görülebilir.

2.9 Rüzgar Türbülansının Analizi

Rüzgarın türbülansının analizi, rüzgar türbinleri için önemlidir. Çünkü türbülans, rüzgar türbinleri üzerinde yorulmalara (fatigue) neden olur. Ayrıca üretimi de etkilediğinden bilinmesi gerekmektedir. Rüzgar hızının değişiminin deterministik yöntemlerle çözülememesi, istatistiki yöntemlerin devreye girmesini gerektirmektedir. Bu yöntemler iki sınıfa ayrılabilir. Birinci sınıf, rüzgar türbülansının yoğunluğunun salınımı ile ikinci sınıf ise, türbülansın frekans, büyüklük ve zaman olmak üzere üç alt kategoride incelenir. İkinci sınıf, birinci sınıftan daha detaylıdır.

2.9.1 Türbülans Yoğunluğu

Herhangi bir anlık yatay rüzgar hızı olan $u(t)$ referans durağan bir noktada t_0 zamanından ortalama rüzgar hızı,

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} u(t) dt$$

Türbülans yoğunluğu, ortalama rüzgar hızından meydana gelen sapma rüzgar hızlarının standart sapmalarının ortalama rüzgar hızına oranıdır. Yani,

$$I = \sigma / \bar{u}$$

ile verilir. σ : standart sapmadır ve aşağıdaki eşitlik ile verilir:

$$\sigma = \left[d^2(t)\right]^{1/2} = \left[\frac{1}{T} \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} (u(t) - \bar{u})^2 dt\right]^{1/2}$$

Türbülans yoğunluğu artan yükseklikle azalmakta ve yüzey pürüzlülüğünden etkilenmektedir. Aynı büyüklükteki sapmalar için yüksek rüzgar hızlarında azalmaktadır, çünkü türbülans yoğunluğu formülünde rüzgar hızı paydadadır. Bu durum aynı zamanda türbülans yoğunluğunun yükseklikle

azalmasını da açıklamaktadır. Tablo 2.3, türbülans yoğunluğu değerlerinin farklı arazilerdeki ortalama değerlerini vermektedir.

Tablo 2.6. Türbülans yoğunluğu değerleri.

Arazi Tipi	Türbülans Yoğunluğu (I)
Düz, su yüzeyi	0.10
Düz, hafif eğimli	0.15
Tepelik	0.20
Küçük dağlar	0.25
Büyük dağlar	0.30

Logaritmik formül hatırlanırsa;

$$\bar{u}_z = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

Dünyanın yüzeyinde standart sapma değeri için $\sigma=2.5u_*$ (u_* : yüzey veya sürtünme hızı), türbülans yoğunluğu ile birleştirilirse,

$$I = \frac{2.5k\bar{u}_{(z)}}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\bar{u}_z}$$

k: 0.4 alınırsa,

$$I = 1 / \ln(z/z_0)$$

Yukarıdaki eşitliklerden de anlaşılacağı gibi, herhangi bir arazi için pürüzlülük uzunluğu (z_0) bilinir ise, istenilen yükseklikteki türbülans yoğunluğu kolaylıkla hesaplanabilir.

2.9.2 Türbülans Frekans Bileşenlerinin Analizi

Türbülansın analizinde frekans bileşenlerinin kullanılması güç spektral yoğunluğu (power spectral density-PSD) olarak bilinir ve aşağıdaki eşitlik ile açıklanır:

$$\sigma^2 = \int_0^\infty S(n)dn$$

eşitlikte kullanılan $S(n)$, spektral yoğunluk fonksiyonudur. Farklı arazilerdeki farklı ortalama rüzgar hızları için yapılacak çalışmalarda atmosferik türbülans spektrumun karakteristik bir şekli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalardan birisinde

$$\frac{nS(n)}{\sigma^2} = \frac{11.40 f}{1 + 192.4 f^{5/3}}$$

eşitlikte kullanılan n : frekans (Hz) ve $f: nz/\bar{u}$ (boyutsuz frekans) olarak alınmaktadır.

Türbülans Büyüklüğünün (Amplitude) Analizi

Olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(u)$, türbülans sapmalarının büyüklüğünün hesaplanmasında kullanılır. Yapılan çalışmalarda rüzgar sapmalarının Gauss fonksiyonu ile rahatlıkla açıklanabileceği anlaşılmıştır:

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(u-\bar{u})^2}{2\sigma^2}\right]; \quad -\infty < u < \infty$$

Yukarıdaki eşitlik yüksek hızlardaki rüzgarların yapılar üzerine etkiyen rüzgar yükleri ve gerilimlerini hesaplamada da kullanılmaktadır.

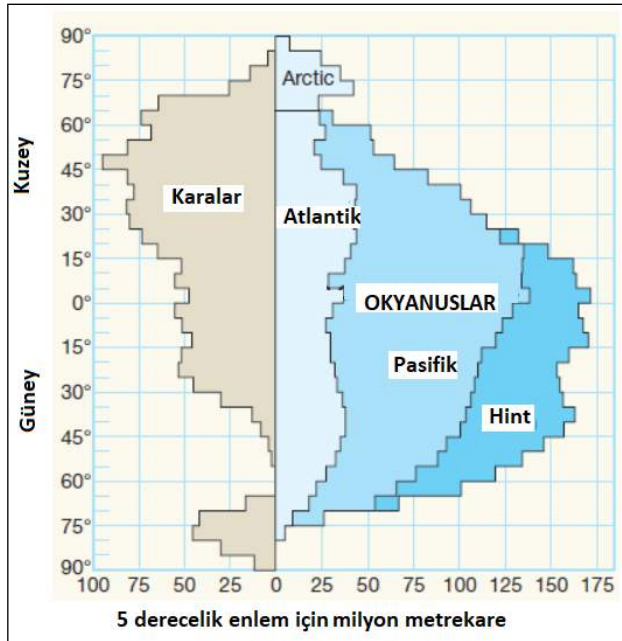
BÖLÜM 3: GENEL OŞİNOGRAFI

Oşinografi terimini kullandığımızda, farklı anlamlara gelebilecek bir terim olduğu belirtilmelidir. Örneğin deniz biyolojisi, deniz kimyası, deniz jeolojisi ve fiziksel oşinografi, dinamik oşinografi gibi okyanus bilimini veya deniz bilimini ifade etmek için genel olarak kullanılmaktadır.

Bu bölümde fiziksel ve dinamik oşinografi üzerinde durulacaktır. Fiziksel oşinografi, birçok bilimi içerir. Matematik, fizik, biyoloji ve kimya gibi temel bilimlerin yanında meteoroloji, hidroloji, kıyı mühendisliği ve jeoloji gibi farklı disiplinleri içerir. Okyanustaki fiziksel durum, hareketler, vb. ile ilgili olan her şeyi toplar. Çoğunlukla hidrografi adı verilen tanımlayıcı fiziksel oşinografi, sıcaklık, tuz içeriği, akımlar, vb gibi durumu incelerken; dinamik oşinografi ise, pratik ve teorik düzeyde olan hareketlerle ilgilidir. Meteorolojik olaylar, gel-git vb gibi konular dinamik oşinografiye örnek olarak verilebilir.

3.1. Kara ve Denizlerin Dağılımı

Su, dünya yüzeyinin %70.8'ini kaplar. Dünyanın yüzeyi 510 milyon km²'dir ve bunun yaklaşık 360 milyon km²'sini denizler ve su kütleleri oluşturmaktadır. Güney yarımkürede, kuzeydekinden nispeten daha fazla su bulunmaktadır. Şekil 3.1 ile çeşitli enlemlerde kara ve deniz dağılımını göstermektedir.



Şekil 3.1. Kara ve denizlerin dağılımı.

Bu şekilde, dünya okyanusları üç ana okyanusa bölünmüştür. 165 milyon km² ile Pasifik Okyanusu, diğer iki bölgeden (Atlantik Okyanusu ve Hint Okyanusu) daha büyüktür. Daha önce Antarktika Okyanusu bağımsız bir okyanus olarak kabul edilmesine rağmen artık üç ana okyanıstan bahsedilmektedir. Üç dünya okyanusuna ek olarak, daha küçük deniz türleri de vardır. Akdeniz ve Karadeniz bunlara örnek verilebilir. Tablo ile dünyadaki okyanus ve diğer ana denizlerin yüzölçümünü vermektedir.

Tablo 3.1. Dünyadaki denizlerin alanı.

	Okyanus/Deniz İsimleri	Alan (10 ⁶ km ²)	Toplam
Okyanuslar (kapalı denizler hariç)	Atlantik	82.2	320.9
	Hint	73.4	
	Pasifik	165.2	
Kıtalararası kapalı denizler	Arktik	14.3	25.2
	Avrupa	3.0	
	Avustralya	8.1	
Kıta içi (Intracontinental) kapalı denizler	Amerika	4.3	6.6
	Baltık Denizi	0.4	
	Hudson Bay	1.2	
	Kızıl Deniz	0.5	
	İran Körfezi	0.2	
Komşu Denizler	Kuzey Denizi	0.6	8.1
	St Lawrence Körfezi	0.2	
	Bering Denizi	2.3	
	Diğer	5.0	
	Bütün Denizler	360.0	
	Dünya Yüzeyi	510	

3.2 Deniz Suyunun Kimyasal Özellikleri

Ortalama 1 kg deniz suyu, %96.5 su ve %3.5 çözünmüş malzemeden oluşur. Tablo 3.2 ile deniz suyundaki ana bileşenler gösterilmiştir. Bu ana bileşenlerin nispi miktarları, tüm okyanuslarda ve denizlerde pratik olarak aynıdır. Sadece en ayrıntılı analizle, bazı çok küçük farklılıklar bulunabilir. Bu sonuç, tüm okyanus ve denizlerden toplanan yüzey örneklerine dayanarak 1865 yılında Forchhammer tarafından hazırlanmıştır. Ünlü “Challenger” seferi, 20 yıl sonra, aynı şeyin daha derin katmanlar için geçerli olduğu sonucuna varmıştır. seçmenler öylesine küçük konsantrasyonlarda görünürler ki, toplam tuzluluk oranını pek etkilemezler (bu terim aşağıda tanımlanmıştır. Sadece küçük izlerde bulunan bu malzemelerin bazı örnekleri Tablo 3 verilmiştir.

Tablo 3.2. Deniz suyundaki bileşenler.

Bileşen	Katyonlar	Gram	%	Bileşen	Anyon	Gram	%
Sodium	Na	10.75	30.6	Chlorine	Cl	19.35	55.3
Magnesium	Mg	1.3	3.7	Sülfat	SO ₄	2.7	7.7
Potasyum	K	0.39	1.1	Bromine	Br	0.066	0.2
Stronium	St	0.01	0.04	Borate	BO ₃	0.027	0.08

İz elementler çok küçük konsantrasyonlarda görünse de, okyanusta toplanan kütleleri okyanusun devasa hacmi (yaklaşık 1370 milyon km³) nedeniyle oldukça büyük olabilir.

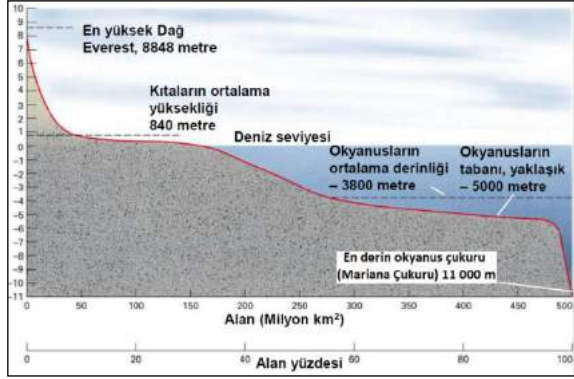
Deniz suyunun iki oksijen kaynağı vardır: (1) atmosfer ve (2) fotosentez sırasında oksijen üreten bitkiler. Bu kaynakların her ikisi de denizin en üst tabakasında bulunur. Daha büyük derinliklerde çok az ışık var. Bununla birlikte, oksijen her yerde kullanılır; hayvanlar onu solumaktadır ve organik maddelerin ayrışmasında ve bakteriler tarafından kullanılmaktadır. Oksijen denizin dibinde büyük derinliklerde bulunur, bunun nedeni suyun daima yavaş bir sirkülasyon yoluyla yenilenmesidir. Bazı bölgelerde oksijen bakımından zengin su dikey olarak batır ve daha derinlerde yatay olarak dışarıya doğru yayılır. Bu, örneğin Antarktika ve Atlantik Okyanusu'nun kuzey kesimlerinde olur. Diğer alanlarda suyun derin bölgelerden yavaşça yükselmesi söz konusudur. Bu nedenle 3000 ila 4000 m derinlik arasında 1000 metreden daha fazla oksijen bulunur. Bazı alanlarda, kapalı havzalar ve fiyortlar, dolaşım o kadar zayıf olabilir veya daha da derin olmayabilir, daha derin katmanlarda kullanılan oksijenin yerini alamaz. Bu, bazen hidrojen sülfid gelişmesiyle birlikte, oksijen eksikliği (anoksi) ile sonuçlanır. Bunun klasik örneği Karadeniz'dir. Burada 200 m'nin altında bir oksijen eksikliği vardır ve bunun yerine hidrojen sülfid var. Karbondioksit, CO₂, tüm organik üretim için gerekli bir gazdır. Bu üretim denizde, deniz dışında olduğundan daha büyük miktarlarda gerçekleşir. Deniz suyunda ayrıca, CO₂ kullanımı çok büyük olduğunda CO₂ üreten karbonat ve bikarbonatta bir CO₂ rezervi vardır. Burada denizdeki tüm yaşam için son derece önemli olan karmaşık bir dengeleme sistemi mevcuttur.

3.3 Deniz Suyunun Fiziksel Özellikleri

Deniz suyunun fiziksel özelliklerini doğrudan gözlemlerle açıklamaya çalışan fiziksel oşinografinin alt bölümüne sinoptik (tanımsal) fiziksel oşinografi denir. Sinoptik fiziksel oşinografi deniz suyunun fiziksel özelliklerinin yatay ve dikey dağılışı durumlarını ve buna ait kuralları açıklar.

3.3.1 Derinlik

Deniz düzeyini esas alıp denizlerdeki derinlikleri, karasal alanlardaki yüksekliklerle karşılaştırıldığında denizlerin karalara göre daha derin olduğu anlaşılır. Şimdiye kadar, denizlerin en derin ve Dünyanın dibi olarak bilinen, Büyük Okyanus'ta Mariana Adalarının yakınında yapılan ölçümlerde 11.521 m. derinlik bulunmuştur. Karaların en yüksek noktası ise Himalayalar'daki 8882 m yüksekliğe sahip Everest tepesidir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Denizlerin derinliği.

Mariana çukuru ilk kez ucuna ağırlık bağlanmış halatla ölçülmüştü. Ultrason teknolojisi sayesinde daha hassas ölçüm yapmak mümkün olmuştur. 1960 yılında araştırmacı Don Walsh ve Jacques Piccard 10 bin 898 metreye kadar dalmışlardır. Dünya denizlerinin diğer derin noktaları, Atlantik'teki Puerto Rico çukuru ile Hint Okyanusu'ndaki Java çukuru ve Kuzey Buz Denizi'ndeki Arktik havuzudur. Bütün denizlerin derinliğinin yaklaşık olarak ortalama derinliği, 3800 m olduğu sanılmaktadır. Okyanusların en derin yerleri ise şöyledir:

Büyük Okyanus: Enderin yeri: 11.521 m; ortalama derinliği: 4.284 m.

Atlas Okyanusu: En derin yeri: 8.750 m; ortalama derinliği: 3.296 m.

Hint Okyanusu: En derin yeri: 7.00 m; ortalama derinliği: 3.962 m.

Başlıca denizlerin en derin noktaları yaklaşık olarak şöyledir:

- Karayib Deniz: 6.296 metre.
- Kuzey Buz Denizi: 5.625 metre.
- Akdeniz: 4.404 metre.
- Japon Denizi: 3.258 metredir.
- Kızıldeniz: 2.369 metre.
- Karadeniz: 2.320 metredir.
- Ege Denizi: 2.201 metredir.
- Marmara Denizi: 1.300 metre.
- Baltık Denizi: 463 metre.

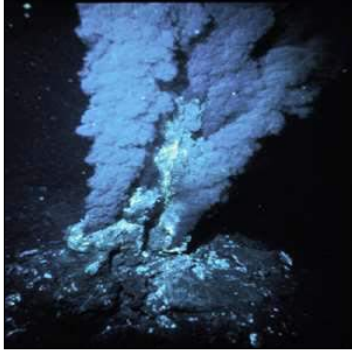
3.3.2 Tuzluluk

Tuzluluk (salinite), denizcilikteki en temel kavramlardan biridir. Okyanuslarda toplanan çözünmüş madde kütlesi yaklaşık 5 x 10¹⁵ tondur. Eğer bu kurutulursa ve tüm dünyaya eşit şekilde yayılırsa, 45 metre kalınlığında bir tuz tabakası oluşturur. Bu nedenle, yüzyılın başından bu yana bilim adamları, kolayca belirlenebilen ideal tuz içeriği üzerinde birçok çışılma yapmıştır. Tuzlu suda en bol bulunan madde klordur ve miktarları Mohr-Knudsen metodu kullanılarak titrasyonla hesaplanabilir. Bu şekilde, tuzluluk S, çok basit bir formülle belirlenebilir.

$$S = 1.80655 Cl$$

Cl, binde (birim başına) birim cinsinden klorürdür ve 1980'lere kadar tuzluluğun belirlenmiş pratik tespiti için kullanılmıştır. Rutin incelemeler sırasında klor titrasyonu hatası nadiren tuzlulukta mille başına 0.02'den fazla olmaz ve hassas bir şekilde belirlenmesiyle bu hata daha da azaltılabilir. 1960'lı yılların başından bu yana, gittikçe daha fazla kullanılan başka bir yöntem vardı ve 1978'de oşinografi

topluluğu bu yeni yöntem ve tanımlamanın eskisinin yerini standart tuzluluk tanımı olarak alması gerektiğine karar vermiştir. Bu, deniz suyunun elektrik iletkenliğinin belirlendiği fiziksel bir yöntemdir ve bundan tuzluluk hesaplanır. İletkenlik ölçümlerinin doğruluğu, klor titrasyonundan daha iyidir. Tuzlu suyun 2 ana kaynağı bulunmaktadır. Bunlar: kayaçların kimyasal ayrışması ve deniz tabanındaki volkanik aktivitelerdir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Deniz dibi volkanik aktivite.

Tuzlu suda çözülmüş bulunan iyonlara ek olarak, çözülmüş gazlar da bulunur. Deniz tuzluluğu birbirine zıt çalışan iki faktörün etkisindedir:

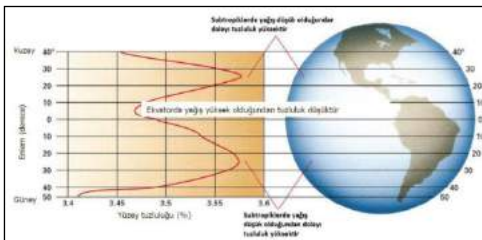
- Tuzluluğu artıran faktörlerin başında buharlaşma, deniz suyunun donması ve dikey karışımlar,
- Tuzluluğu azaltan etkenlerin başında ise yağışlar, buzların çözülmesi, dikey karışımlar ve özellikle kıyı bölgelerindeki nehir sularının karışımıdır.

Aynı zamanda büyük nehirlerin döküldüğü bölgelerde (Karadeniz ve Baltık Denizi gibi) de yüzey tuzluluğu düşüktür. Buna karşın yüzey tuzluluğu yüksek olduğu bölgelerde (Akdeniz ve Kızıl Deniz gibi) buharlaşma, yağıştan fazladır. Yüzey tuzluluğundaki günlük değişimler ya çok düşük ya da hiç yoktur; çünkü buharlaşma ve yağışlardaki değişimler, oldukça düşüktür; ancak sağanak yağış alan bazı bölgelerde, yüzey tuzluluğundaki önemli azalmalar olsa da yağışın ardından bu azalma, dikey karışımlar nedeniyle ortadan kalkar. Yüzey sularının mevsimsel değişimleri de oldukça düşük olup % 10'u geçmediği belirlenmiştir. Bununla birlikte buzların erimesi ve yoğun yağış mevsimlerinde yüzey tuzluluğu az da olsa değişim gözlemlenebilir. Ayrıca yüksek debili nehirlerin döküldüğü bölgelerde de yüzey tuzluluğunun kısmen de olsa azaldığı görülmektedir. Şekil 3.4 ile deniz tuzluluğuna etki eden faktörler görülmektedir.



Şekil 3.4. Tuzluluğa etki eden etkenler.

Yüzey tuzluluğu, yağışların etkili, buharlaşmanın ise az olduğu ekvator bölgesinde düşüktür (Şekil 3.5). Subtropiklerde yağış düşük olduğundan tuzluluk yüksektir.

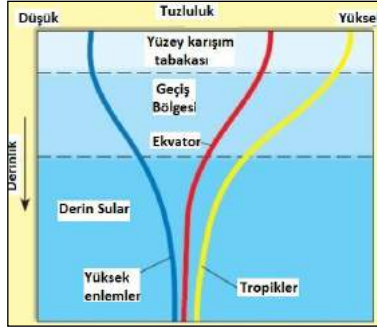


Şekil 3.5. Tuzluluk dağılımı.

Tuzluluğun derinliğe bağlı değişimi incelendiğinde ise 3 farklı tabakadan bahsedilebilir.

- *Yüzey Karışım Tabakası*: Derinliği 100 metreyi geçmeyen ve su hareketlerinin etkisinde bulunan yüzeysel tabakanın tuzluluğu stabildir.
- *Geçiş Bölgesi (Haloklin Tabakası)*: Derinliği 100–180 metre dolaylarında olan ve tuzluluğun çok hızlı ve önemli ölçüde değiştiği tabakadır.
- *Derin Su Tabakası*: Derinliği 180 metreden tabana kadar uzanan ve tuzluluk değişimlerinin çok az düzeyde olduğu tabakadır.

Ancak tabakalaşma derinlikleri bölgesel olarak değişebilir. Örneğin en geniş yüzeysel tabakalaşma ekvator çevresinde, en dar tabakalaşma ise kutuplara yakın bölgelerde görülür.



Şekil 3.6. Derinliğe göre tuzluluğun değişimi.

3.3.3 Sıcaklık

Tüm okyanus ve denizlerde suyun sıcaklığı, yüzeyden derine doğru azalır. Bu değişimler kutup bölgelerinde oldukça az olmasına rağmen ekvatora yakın bölgelerde en üst düzeye ulaşır. Ekvator bölgesinde ve ılıman bölgelerde, derinliğe bağlı olarak sıcaklığın tabakalaşmalar gösterdiği görülür. Buna göre ılıman denizlerde yüzeyden derine doğru üç temel tabaka görülür:

- *Yüzeysel Karışım Tabakası*: Kalınlığı 100 metreyi geçmez. Güneş ışınlarının atmosferle olan ısı alışverişinin ve rüzgârların oluşturduğu karışımların etkisindedir.
- *Geçiş Tabakası*: Sıcaklığın bazı zamanlarda aniden 20 °C ‘den fazla değiştiği ve yaklaşık olarak 5 °C ye düştüğü tabakadır. Bu hızlı sıcaklık değişiminin olduğu tabakaya termoklin adı verilir. Ekvatora yakın bölgelerde termoklin 100 metrede başlarken 15°o enleminden sonraki sularda 100–200 metrelerde başlar. 50° enlemlere doğru ise tekrar yüzeye yaklaşır.
- *Derin Sular*: Suları soğuk olan bu tabakada sıcaklık 2-5°C arasında değişmekle beraber ortalama sıcaklık 3.8° C olarak bilinir. Bazı hallerde sıcaklık derinliğe paralel olarak çok az fakat düzenli olarak yükseldiği görülür. Bunun nedeni derinliğe bağlı olarak artan sıkışmadır; ancak bu ısınma oldukça azdır.

Örneğin, 10 000 metrede ancak 1 °C kadardır (Şekil 3.7). Tüm okyanus ve denizlerde suyun sıcaklığı, yüzeyden derine doğru azalır. Bu değişimler kutup bölgelerinde oldukça az olmasına rağmen ekvatora yakın bölgelerde en üst düzeye ulaşır. Ekvator bölgesinde ve ılıman bölgelerde, derinliğe bağlı olarak sıcaklığın tabakalaşmalar gösterdiği görülür.

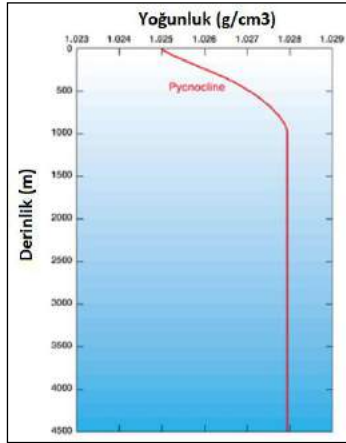


Şekil 3.7. Denizlerde sıcaklığın derinlik ile değişimi.

Tuzluluk yanında, tanımlayıcı oşinografide sıcaklık en önemli parametredir. Yoğunluğu hesaplamak için sıcaklık bilgisi gereklidir ve yüzeyden belli bir mesafedeki sıcaklık koruyucu bir özellik olarak kabul edilebilir ve su kütlesinin kaynağını belirlemek için kullanılabilir.

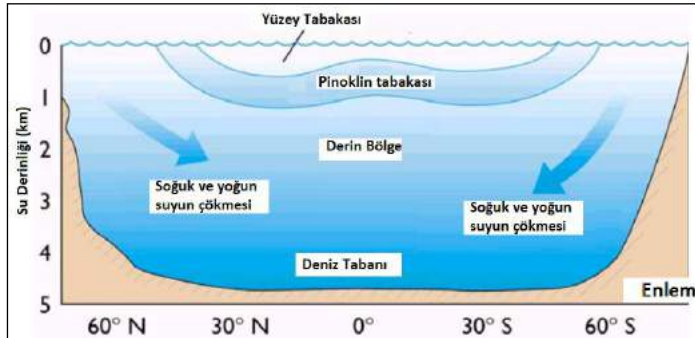
3.3.4 Yoğunluk

Okyanus ve deniz sularının yoğunluğu, derinliğe bağlı olarak artış gösterir. Bu artış düzenli olmayıp tıpkı sıcaklığın derinliğe bağlı değişimi gibi önce yavaş ve belli bir derinlikten sonra ani olarak yükselir. Bu ani basınç değişiminin olduğu tabakaya piknoklin adı verilir. Bu tabakanın üstünde yüzeysel tabaka, altında ise derin tabaka yer alır. Yüzeysel tabaka 100 metre civarındadır. Piknoklin tabaka ise yaklaşık 1000 metre kalınlığındadır. Denizlerde yoğunluğun derinlik ile değişimi Şekil 3.8 ile verilmiştir.



Şekil 3.8. Denizlerde yoğunluğun derinlik ile değişimi.

Kutup bölgeleri ile tuzluluk değişimleri çok yüksek olan bazı kıyısız bölgeler dışında tüm yüzey sularının yoğunluk değişimleri, sıcaklık değişimlerine bağlıdır. Bu nedenle sürekli ılık sularda yoğunluk düşük, soğuk sularda ise yüksektir. Başka bir değişle sıcaklığı yükselten ve tuzluluğu azaltan tüm olaylardan etkilenen sularda yoğunluk düşerken, tuzluluğu artıran ve sıcaklığı azaltan olaylardan etkilenen sularda yoğunluk fazladır (Şekil 3.9).

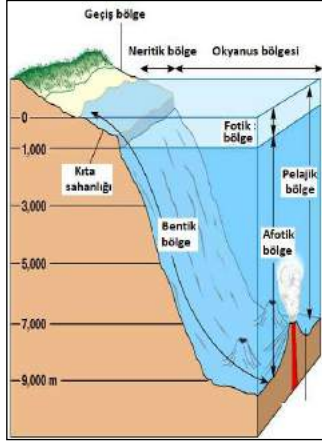


Şekil 3.9. Sıcaklık ve yoğunluk değişimi.

3.3.5 Denizlerde Işık

Doğrudan güneş ışığının enerjisi ve deniz yüzeyine çarpan dağınık ışık, 300 ve 3000 nm dalga boyları arasındadır. Yüzeyden yansıyan ışık miktarı güneş yüksekliğine, bulutluluğa, deniz yüzeyinin pürüzlülüğüne ve dalga boyuna bağlıdır. Ancak, %3-7 ortalama yansımaları tahmin edilebilir. Enerjinin yarısına katkıda bulunan, spektrumun kızılötesi kısmı (750 nm nin üzerindeki dalga boyları), üst metrede emilir. Görünür kısım (350 ve 750 nm arasındaki dalga boyları-günüşiği), derinlik arttıkça zayıflar ve zayıflama kuvvetle dalga boyuna bağlıdır. Okyanus suyunda mavi ışığın dikey iletiminin diğer renklere göre daha fazladır. Yeşil ışığın daha az ve kırmızı ışığın daha da azdır. En az mavi ışık zayıflatıldığı için, yüzeye doğru saçılan ışık da esas olarak mavi ışık olacak ve okyanus mavi görünecektir. Bulanık fiyort ve kıyı suları, genellikle kolektif sarı madde olarak adlandırılan, büyük miktarlarda sarı-kahverengi parçalanmış malzeme ile beslenir. Bu sularda mavi ışık, yeşil ışıktan daha derinlikli, yeşil ise neredeyse kırmızı kadar azaltılacaktır. Suyun rengi daha sonra yeşil veya hatta

kahverengi gözükecektir.Çok miktarda alg, denizi renklendirebilir. Işığın nüfuz ettiği bölge denizin ilk 200 m sidir ve bu bölge fotik bölge olarak adlandırılır.



Şekil 3.10. Fotik bölge.

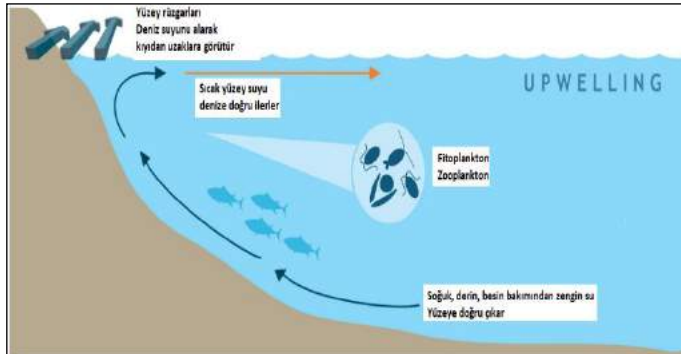
3.4 Dinamik Oşinografi

Dinamik oşinografi denizlerin hareketlerini inceler. Meteorolojik olaylar, akıntılar, lokal hareketler, gelgit hareketleri bu tanım altında incelenir.

3.4.1 Upwelling

Okyanus yüzeyinden esen rüzgarlar suyu uzaklaştırır. Daha sonra su, itilen suyu değiştirmek için yüzeyin altından yükselir. Bu süreç “Upwelling” olarak bilinir (Şekil 3.). Upwelling, açık okyanusta ve kıyı şeridinde meydana gelir. “Downwelling” adı verilen ters işlem, rüzgar yüzey suyunun bir kıyı şeridi boyunca birikmesine neden olduğunda ve yüzey suyu sonunda dibe doğru battığında da oluşur.

Rüzgar bir kıyı şeridine paralel olarak estiğinde, yüzey suları kıyıya doğru itilir ve aşağı itilen suyu değiştirmek için aşağıdan su çekilir. Bu derin, daha soğuk suyun yukarı doğru hareketidir. Su birikmesi sonucu yüzeye çıkan su tipik olarak daha soğuktur ve besin bakımından zengindir. Bu besinler yüzey sularının besin değerini de artırarak deniz yosunu ve fitoplanktonların büyümesini teşvik eder. Bu fitoplanktonlar, besin zincirinde daha yüksek olan büyük hayvan popülasyonları için balık, deniz memelileri, deniz kuşları ve diğer balıklar için yiyecek sağlar. Her ne kadar kıyıdaki yükselen bölgeler okyanus yüzeyinin sadece yüzde birini oluştursa da, dünyanın balıkçılık alanlarının yaklaşık yüzde 50'sine katkıda bulunurlar. Upwelling, deniz hayvanlarının hareketinde de önemli bir rol oynayabilir. Deniz balıklarının ve omurgasızların çoğu, türlerine bağlı olarak, haftalarca veya aylarca, suda gelişerek sürüklenebilecek mikroskobik larvaları üretir. Kıyıdaki sığ sularda yaşayan yetişkin deniz canlıları için, yüzey suyunu açık denizde hareket ettiren yükselme potansiyel olarak sürüklenen larvaları uzak mesafelerden doğal ortamlarından uzaklaştırabilir ve böylece hayatta kalma şanslarını azaltabilir.



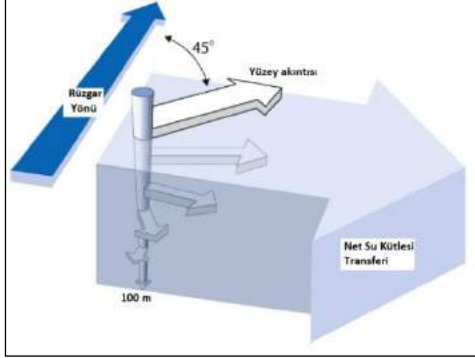
Şekil 3.11. Upwelling.

3.4.2 Ekman Spirali

1902'de ilk teorisini yapan İsveçli bilim adamı Vagn Walfrid Ekman'dan (1874-1954) ismini alan Ekman spirali, Coriolis etkisinin bir sonucudur. Yüzey suyu molekülleri, rüzgârın kuvvetiyle hareket

ettiklerinde sırayla, daha derin su molekülleri katmanlarını altlarına sürüklerler. Her su molekülü katmanı, sığ katmandan sürtünme ile hareket eder ve daha derin olan her katman, hareket yaklaşık 100 metre (330 fit) derinlikte bitinceye kadar üzerindeki katmandan daha yavaş hareket eder. Bununla birlikte, yüzey suyu gibi, daha derin olan su, Coriolis etkisiyle - Kuzey Yarımküre'de sağa ve Güney Yarımküre'de sola saptırılır. Sonuç olarak, art arda daha derin olan her su tabakası daha yavaş sağa veya sola doğru hareket eder ve spiral bir etki yaratır. Daha derin su katmanları, sığ katmanlardan daha yavaş hareket ettiğinden, bükülme ve yüzey akımının karşısında akma eğilimindedirler.

Ekman spirali Coriolis etkisinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Yüzey suyu rüzgar tarafından hareket ettirilince altlarına daha derin su molekülleri katmanlar da sürüklerler. Yüzeydeki su gibi, derin sular da Coriolis etkisi ile saptırılır. Sonuç olarak, her biri arka arkaya daha derin su tabakası daha yavaş sağa veya sola hareket ederek sarmal bir etki yaratır (Şekil 3.12).

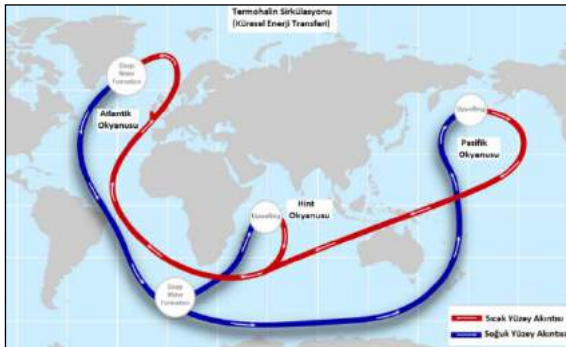


Şekil 3.12. Ekman spirali.

3.4.3 Thermohalin Döngüsü

Termohalin döngüsü veya sirkülasyonu, deniz suyu yoğunluğundaki farktan kaynaklanmaktadır. Yoğunluk farkına esas olarak sıcaklık (ve toplam ısı enerjisi) ve tuz içeriği (tuzluluk) neden olur; Sıcaklık arttıkça yoğunluk da azalır, ayrıca tuzlulukla da artar, ancak sıcaklık buharlaşmayı da artırır ve dolayısıyla tuzluluğu artırır. Bu durum, dünyanın dönmesi ile birlikte, diğer faktörlerin yanı sıra, dünyadaki termal düzenleyiciler olarak hareket eden ve iklimi etkileyen, tropiklerden kuzeye ısı taşıyan ve kuzeyden Antarktika kıtasına kadar soğuk suları taşıyan deniz akımlarını yaratır.

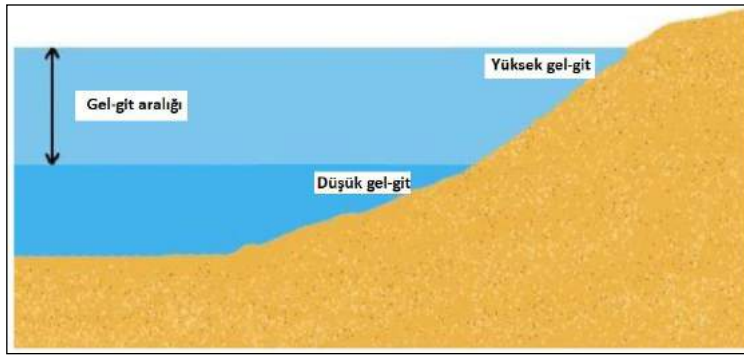
Termohalin döngü, yüzey ısı ve tatlı su akıntıları tarafından oluşturulan küresel yoğunluk grandyanları tarafından yönlendirilen büyük ölçekli okyanus sirkülasyonunun bir parçasıdır. Rüzgar sürümlü yüzey akıntıları (Gulf Stream Akışı gibi), yol boyunca soğuyarak yüksek enlemlerden (Kuzey Atlantik Derin Suyu oluşturan) ekvatorial Atlantik Okyanusu'ndan kutup yönünde ilerlemektedir. Bu yoğun su okyanus havzalarına akar. Güney Okyanusunda yeryüzünün büyük kısmına yerleşmişken, Kuzey Pasifik'te en yaşlı sular (yaklaşık 1000 yıllık bir geçiş süresi ile) yükselmiştir. Bu nedenle, okyanus havzaları arasında geniş çaplı karıştırma gerçekleşir; bu karışımlar, aralarındaki farklılıkları azaltır ve Dünya okyanuslarını küresel bir sistem haline getirir. Su kütleleri hem enerjiyi (ısı biçiminde) hem de maddelerin (katılar, çözünmüş maddeler ve gazlar) dünyaya taşınmasını sağlar. Dolayısıyla, dolaşım hali Dünya'nın iklimi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Termohalin sirkülasyonu.

3.4.4 Gel-git

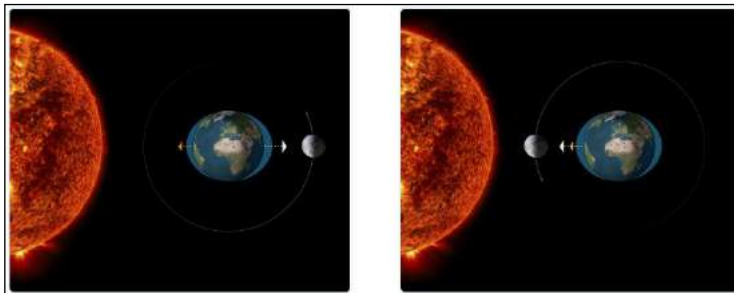
Gel-git (med-cezir) Ay ve Güneş'in konumlarındaki değişimler sonucu kütle çekimlerinde meydana gelen farklılıklar nedeniyle deniz seviyesindeki yükselme ve alçalmalara denir. Gelgit ya da diğer adıyla med cezir, bir gök cisminin başka bir gök cismine uyguladığı kütle çekimi nedeniyle her iki cisimde meydana gelen şekil bozulmalarıdır. En çok bilineni, her bir ay gününde Ay ve Güneş'in göreceli konumlarındaki değişimler sonucu kütle çekimlerinde meydana gelen farklılıklar nedeniyle deniz seviyesindeki yükselme ve alçalmalardır. Galileo 1632'de yayımladığı "Gel-git Üzerine Diyalog" (Dialogue Concerning the Two Chief World Systems-Dialogue on the Tides) kitabında gel-git için "Denizdeki suların, Dünya'nın Güneş etrafında dönmesi sonucu savrulmasıdır" diyerek yanılığa düşmüştür. Gelgitin kütleçekim kuvveti sonucu olduğu 1687'de Newton'ın Principia adlı eserinde açıklanmıştır. 18.yüzyılda su yüksekliğini hesaplayacak tablolar geliştirilmiştir. Günümüzde ise gelgitin oluşacağı zaman, suların ne kadar yükseleceği bilgisayarlarla hesaplanmaktadır. Gel-gitin etkisi sonucunda; akarsu ağzlarında delta oluşumu engellenir. Akarsu vadilerinin ağzlarının tıkanması önlenir. Kıyı kirlenmesi meydana gelir ve haliçler oluşur. Deniz yükseldiği zaman akarsuların ağız kısımlarına sokulur ve haliç şekli meydana gelir. Bu çeşit kıyılara estuar (haliç tipi) kıyılar denir. Deniz, belli aralıklarla alçalıp yükselince kıyı çizgisi değişir. Deniz alçalınca ortaya çıkan, deniz yükselince ortadan kalkan bu kıyılara Watt kıyıları denir. Türkiye'nin çevresindeki denizler iç deniz olduğu için gel-git genliği azdır. Bu nedenle, ülkemiz kıyılarında gel-gitin etkisi hissedilmez. Gel-git büyük ve küçük olma üzere ikiye ayrılır.



Şekil 3.14. Gelgit.

Büyük (Yüksek) Gel-Git (Spring Tide)

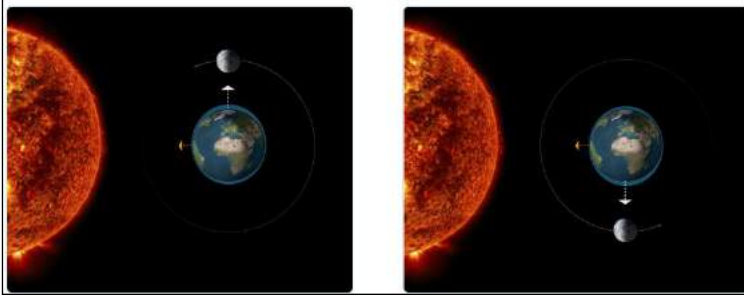
Güneş'in pozisyonu da Ay'ın çekim gücünün etkisini artırabilir. 1 Aylık zaman diliminde 2 kere Güneş, Dünya ve Ay aynı çizgi üzerinde buluşur. Bu gök cisimlerinin bu şekilde dizilmesine «kavuşum» ismi de verilir. Bu zamanlarda Ay, Yeniay durumunda ya da Dolunay durumundadır. Böyle durumlarda Ay ve Güneş'in çekim gücü toplanır ve de yüksek su anında deniz seviyesi daha da yükselir. Buna Yüksek Gel-git (Spring Tide) ya da Büyük Gel-git adı verilir.



Şekil 3.15. Büyük gel-git.

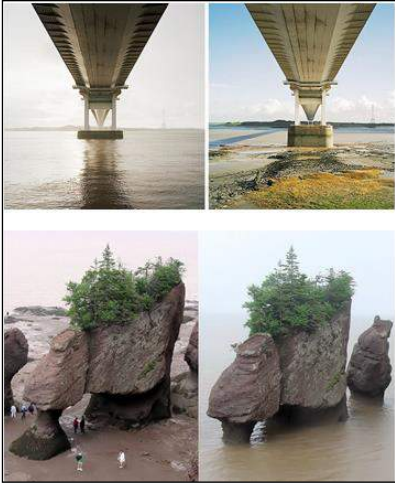
Küçük Gel-Git (Neap Tide)

Ay, genel olarak ilk dördün ya da son dördün olarak gözlemlenmektedir. Bu durumda gel-gitin su seviyesini dengeletirici etkisi oldukça azdır ve bu gel-git, Alçak Gel-Git (Neap tide) olarak adlandırılır.



Şekil 3.16. Küçük gel-git.

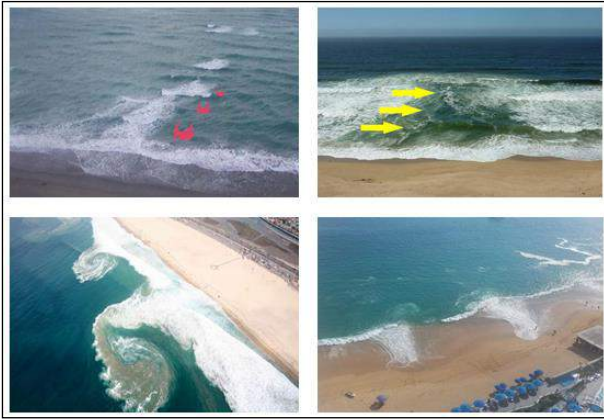
Gel-git öncesi ve sonrası Şekil 3.17 ile görülmektedir.



Şekil 3.17. Gel-git öncesi ve sonrası.

3.4.5 Rip (Çeken) Akıntısı

Rip akıntısı, kıyıya ulaşan dalgaların geri dönüşleri sırasında oluşan güçlü ve tehlikeli akıntıdır. Kıyıya ulaşan dalgalara tepki olarak oluşur. Pek çok sahilde rip dalgası kıyıya dik olarak meydana gelir. Rip akıntısı ancak yüksekten bakıldığında dikkatli gözle anlaşılır. Bu bölgede suyun rengi etrafındaki suyun rengine oranla daha koyudur. Bu bölgede derinlik artar. Akıntının üst kısmı, denizin yüzeyine göre kırışiktır. Genellikle okyanus kıyılarındaki sahil bölgelerinde, belirli dip yapısı ve dalga koşullarında oluşan tehlikeli bir akıntıdır. İngilizcede "rip" akıntısı olarak bilinen bu güçlü akıntıların yönü kıyıdan açığa doğrudur (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Rip (çeken) akıntı.

Sabit, aniden oluşan ve gizli olmak üzere değişik türleri bulunan rip akıntılarında sahile gelen dalga geri dönerken çok hızlı bir şekilde hareket eder. Çeken akıntı deniz tabanında oluşan kum tepeleri ve kum

tepleri arasında kalan çukurlar nedeniyle oluşur. Hızlıca gelen bir dalga tepeler arasında kalan çukura(dalyan) dolar ve önündeki kum tepesine çarpıp hız kazanıp yön değiştirerek geriye denizin açıklarına doğru yön değiştirir. Literatürde 3 çeşit rip akıntısı bulunmaktadır.

Sabit rip akıntısı: Sene içinde uzun süre aynı alanda görünen akıntıdır. Sebebi dip arazisinin yapısı ve çevredeki kıyı (sahil) yapısıdır.

Aniden oluşan rip akıntısı: Sahile vuran dalgaların yüksekliğinin hızla değişimi ile ortaya çıkar ve oldukça tehlikelidir.

Gezici rip akıntısı: Kıyıya paralel ilerleyen akıntının oluşturduğu akıntıdır. Gezici rip akıntısı kıyı boyunca yer değiştirir.

Halk tarafından “kum kayması veya kum göçmesi” adı verilen, ayakların altından kumun birden kaybolması olayına, “rip akıntıları” neden olur. Rip akıntıları kıyıların morfolojik yapısına bağlı olarak dünyanın pek çok sahilinde oluşur. Doğal bir oluşumdur. Kıyıya dik gelen dalgalar kıyıda kayalık, mendirek, rıhtım yüzen kalabalık insan grubu gibi dalganın normal gidişini engelleyen unsurlar etkisiyle oluşur. Kıyıya dalgalarla taşınan sular geri dönüşte denize belli bir basınç uygular ve kıyının genellikle en derin kısmından denize dönerken güçlenerek rip akıntısına neden olurlar. Rip akıntıları derin bir alandan geri dönerken güçlenirler ve deniz dibini karıştırarak bulanık bir görüntü oluştururlar. Akıntı burada oldukça hızlı ve güçlüdür. Rip akıntıları saniyede 1–2 m, hatta bazen saniyede 10–20 metre hızla (saatte 35–70 km), 20–30 metre genişlikte bir hat boyunca denizin açıklığına doğru hareket ederler. Ülkemizde çeken akıntı özellikle Karadeniz kıyılarının tamamında, Ege ve Akdeniz’de de çok nadir olmakla birlikte rüzgarlı havalarda oluşan ve kıyıdan içeri doğru ilerleyen bir akıntıdır.

3.5 Okyanus Akıntıları

Okyanuslar ve denizler dinamik su kütleleridir. Okyanus suları belirli bir yöne doğru binlerce km hareket edebilir. Okyanuslardaki bu hareketlere “akıntı” denir. Veya başka bir deyişle akıntı, deniz yüzeyindeki suların bulundukları yerlerden başka alanlara doğru taşınmasıdır. Akıntıların en önemli sebebi küresel rüzgârlardır. Dünyadaki daimi rüzgârların yönü ile okyanus akıntılarının yönü arasında bir paralellik vardır. Okyanus sularındaki sıcaklık, tuzluluk ve seviye farkları da akıntı hareketlerinin oluşmasını sağlayan yardımcı faktörlerdir. Akıntıların oluşmasına neden olan faktörler şunlardır:

a. Yoğunluk (Sıcaklık) farkı: Yoğunluğu fazla olan soğuk sular, alttan sıcak su alanlarına doğru, yoğunluğu az olan sıcak sular, üstten soğuk su alanlarına doğru akarlar.

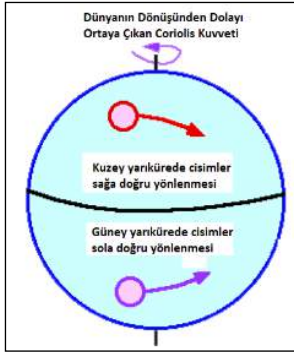
b. Tuzluluk farkı: Yoğun olan tuzlu sular, alttan tatlı su bölgelerine doğru, yoğunluğu az olan tatlı sular ise üstten tuzlu su bölgelerine doğru akarlar.

c. Seviye farkı: Beslenme kaynakları fazla olan denizlerin seviyeleri, beslenme kaynakları az olan denizlere göre fazladır. Örneğin, İstanbul ve Çanakkale boğazındaki akıntılar gibi.

d. Küresel rüzgârlar: Okyanus ve denizlerdeki akıntıların en önemli nedeni, sürekli rüzgârlardır. Rüzgârların süresi ve şiddeti, akıntıların etkili olma süresi ve alanını etkiler.

f. Gel-git olayı: Deniz ve okyanuslardaki akıntıların oluşum sebeplerinden birisi de, gel-git olayıdır. Gel - gitin etkili olduğu kıyılarda şiddetli akıntılar, buna bağlı olarak aşınım ve birikim şekilleri oluşur.

Dünyada hakim küresel rüzgârlardan bir kısmı 35° kuzey ve güney enlemleri üzerinde bulunan subtropikal yüksek basınç alanlarından ekvatora ve 60° kuzey ve güney enlemleri üzerinde bulunan subpolar alçak basınç alanlarına doğru eserler. Böylece alize rüzgârları ile batı rüzgârları adı verilen rüzgârlar oluşur. Ayrıca kutuplardaki daimi yüksek basınç alanlarından kutup 60° enlemleri civarı üzerindeki alçak basınç alanlarına doğru da sürekli rüzgârlar eser. Küresel sürekli rüzgârlar dünyanın (batıdan doğuya) dönmesi neticesi oluşan saptırıcı kuvvetin (coriolis kuvveti) etkisi altında hareket yönlerinden 45° lik bir açı yaparak saparlar. Bu sapma kuzey yarı kürede sağa doğru, güney yarı kürede ise sola doğrudur. Her iki yarı küredeki okyanus akıntıları da bu duruma uyarlar (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Coriolis kuvveti.

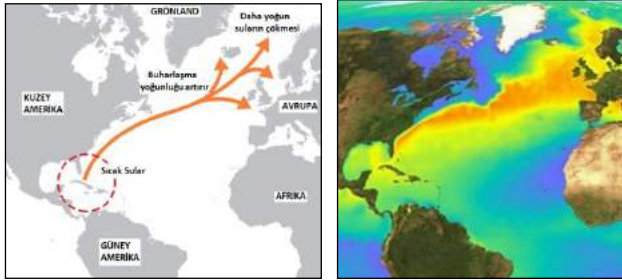
Alçak enlemlerden yüksek enlemlere doğru giden akıntılar sıcak karakterli akıntılardır. Bunlar tropiklerin sıcak sularını orta enlemlere taşırlar. Bu karşılık yüksek enlemlerden alçak enlemlere giden akıntılar soğuk suları orta enlemlere doğru taşırlar. Akıntılar yeraldıkları okyanuslar belirtilmek suretiyle incelenmesi doğru bir yaklaşım olacaktır.

3.5.1 Atlas Okyanusu Akıntıları

Arlas Okyanusunda Gulf stream ve Labrador akıntısı belirleyicidir.

a. Gulf Stream (Körfez akıntısı): Gulf stream, sıcak karakterli bir akıntıdır. Meksika körfezinden doğar. Bu akıntı Meksika körfezine dolarak seviyeyi yükseltir. Yükselen sular da Florida boğazından kuzeydoğuya doğru bir akıntı şeklinde boşalırlar.

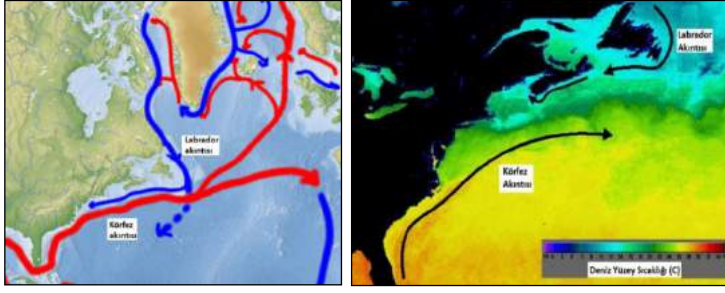
Meksika körfezi yengeç dönencesi ($23^{\circ} 27'$) üzerinde yeralan bir bölge olduğundan tropikal kuşak içindedir ve kuvvetle ısınır. Burada deniz suyunun sıcaklığı 25°C civarındadır. Gulf stream oluşumu üzerinde Meksika körfezinin çevresiyle olan sıcaklık ve seviye farkının da rolü olduğu anlaşılmaktadır. Gulf stream etkisini kuzeydoğuya doğru İskandinavya yarımadasının kuzeyine kadar hissettirir (Şekil 3.20). Gulf streamin bu kadar uzun bir mesafeyi katetmesinde batı rüzgarlarının da rolü vardır. Bu rüzgarlar 35° kuzey paralelinden itibaren akıntıyı daha da ötelere iteklerler. Gulf stream 1000 m derinliğe kadar etkilidir. Genişliği de 80 km kadardır. Yüzeyde sıcaklığı $25-15^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Hızı ortalama 2 km/h saat kadardır.



Şekil 3.20. Gulf stream.

Gulf stream akıntısının batı Avrupa kıyıları ve denizleri üzerinde iklimsel etkisi vardır. Kuzey denizi, İzlanda ve İskandinavya kıyıları bu akıntının ılıtıcı etkisiyle donmazlar. Halbuki aynı enlemlerde bulunan Labrador denizi, Hudson körfezi ve Ohotsk körfezi donar. İskandinavya kıyısında Rusyaya ait Murmansk Bölgesi dahi Gulf streamin etkisinden faydalanır.

b. Labrador soğuk su akıntısı: Kuzey buz denizinden Grönland adasının batısından doğar. Labrador denizini geçer güneye 35° kuzey enlemine kadar etkisini gösterir. Kuzeyin soğuk sularını güneye taşıyarak Kuzey Amerikanın doğu kıyılarını ızlar. Newfoundland adası önlerinde sıcak Gulf stream ile soğuk Labrador akıntısı karşılaşılır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Labrador akıntısı.

Labrador akıntısı, 60° enlemine doğru esen kutup rüzgarlarının etkisiyle oluşur. Akıntının su sıcaklığı 7-10° C civarındadır. Bu akıntı, Grönland buzullarından kopan buzdağlarının güneye doğru seyrine sebep olabilmektedir. Bu buzdağları, Avrupa ve Amerika arasındaki deniz trafiği için tehlike oluşturur. Akıntının hızı 1.5 km/h civarındadır.

c. *Kanarya soğuk akıntısı*: Kuzey Atlantikte Afrikanın batı kıyıları önünde Kanarya soğuk akıntısı. Bu akıntı kuzeydoğu ticaret rüzgarlarının etkisiyle oluşmuştur. Güneybatıya yönelir ve karakter değiştirerek kuzey ekvator akıntısı halinde batıya doğru akar.

d. *Brezilya sıcak akıntısı*: Güney Atlantikte Brezilya kıyıları önünden güneye doğru sıcak suları sevkeder.

e. *Falkland soğuk akıntısı*: Arjantin kıyıları önünden kuzeye doğru yol alır.

f. *Bengal akıntısı*: Afrikanın batı kıyıları önünden kuzeybatıya yönelir ve daha batıda Güney Ekvator akıntısına dönüşür.

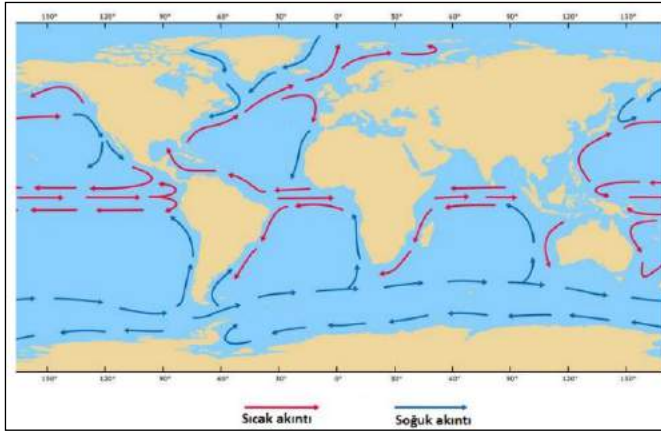
3.5.2 Hint Okyanusu Akıntıları

Bu okyanustaki akıntıların oluşumunda Muson rüzgârlarının etkisi vardır. Bilhassa bu okyanusun kuzey kesimindeki akıntılar muson rüzgârlarının mevsimlik hareketine göre yön değiştirir. Kış musonları karadan okyanusa yani kuzeydoğudan güneybatıya doğru estiklerinde aynı yönde kuzeydoğu muson akıntısı oluşur. Bu akıntı sıcak bir akıntıdır. Madagaskar batısında Agulhas akıntısı adını alır ve sıcak bir akıntıdır.

Yaz musonları okyanustan karaya doğru yani güneybatıdan kuzeydoğuya doğru estiğinde aynı günde giden güneybatı muson akıntısı oluşur. Bu sıcak bir akıntıdır. Hint okyanusunun güneyinde güneydoğu Alizelerinin etkisiyle güney ekvator akıntısı oluşur ve bu akıntı batıya doğru gider Madagaskarın kuzeyinde ikiye ayrılır. Bir kol güneye iner (Mozambik kanalından geçen Agulhas sıcak akıntısı). Diğer kol güneybatı Muson akıntısına karışır.

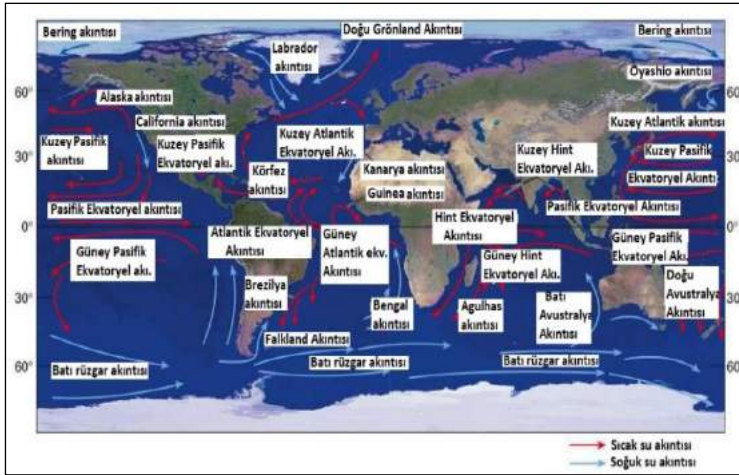
3.5.3 Pasifik Okyanusu Akıntıları

Pasifik Okyanusunun batı kıyılarında Japonya civarında, batı kıyısı önünde sıcak kuro şiyō akıntısı mevcuttur. Bu akıntıyı doğuran kuzeydoğu musonlarıdır. Bunlar kuzey ekvator akıntısını meydana getirirler bu akıntı da kuzey kuzeydoğuya dönerek kuro şiyō sıcak akıntısını oluşturur. Bu akıntı kamçatka civarına kuzeyden gelen soğuk Oya şiyō akıntısı ile karşılaşır. Fakat bir kol kuzey pasifik sıcak akıntısı adıyla Alaska kıyılarına kadar gider. Karakterini korur. Kanada batı kıyıları önündeki bu akıntıya Alaska akıntısı adı verilir. Bu sıcak akıntı iklimin bu kıyılara ılımanlaşmasını sağlar. Kuzey pasifikte Kaliforniya kıyılarında Kaliforniya soğuk akıntısı vardır. Bu akıntı kuzeydoğu alizelerinin etkisiyle oluşmuş bir akıntıdır. Bu yönden esen alizeler nedeniyle soğuk sular yüzeye çıkma imkânını bulmuştur. Kaliforniya akıntısı güneye doğru karakter değiştirir ve kuzey ekvator akıntısını oluşturur. Pasikin güneyinde de alizelerin ve batı rüzgarlarının etkisiyle oluşmuş akıntılar mevcuttur. Güney ekvator akıntısı ve doğu Avustralya sıcak akıntısı alizelerin etkisiyle oluşmuştur. Güney Amerika kıtasının batı kıyıları önündeki Humboldt veya Peru soğuk akıntısı güneydoğu Alizelerinin etkisiyle meydana gelir. Yüksek enlemlere doğru karakter değiştirir ve güney ekvator akıntısı adını alarak batıya doğru gider. Okyanustaki termal karakteristiklere göre olan akıntı paterni Şekil 3.22 ile görülmektedir.



Şekil 3.22. Okyanustaki sıcak ve soğuk akıntı paterni.

Her okyanusun kendine özgü şekil ve topoğrafik yapıları, her okyanusun hendine has akıntı tiplerinin doğmasına sebebiyet vermektedir. Şekil 3.23 ile bütün akıntılar görülmektedir.



Şekil 3.23. Okyanustaki akıntılar.

Yukarıdaki bilgilerin ışığında akıntılar, kendilerini yaratan etmenlere göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

a) *Rüzgar Akıntıları*: Bu akıntılar yüzeyden esen etkin rüzgârlara bağlı oluşur.

b) *Termohalin Akıntılar*: Okyanuslarda oluşan sıcaklık ve tuzluluk değişimleri yoğunluğu direkt etkiler. Böylece bölgesel yoğunluk farkları oluşur ve bu fark akıntılara neden olur. Bu tip akıntılara termohalin akıntı denir. Bunu en iyi şu örnekle açıklayabiliriz; su içeren dikdörtgen bir kap düşünelim. Bunun bir yüzeyini ısıtalım karşı yüzünü de soğutalım. Bir süre sonra ısınan ve yoğunluğu azalan su genişleyerek soğuk tarafa doğru akacak, karşı yüzde soğuyan ve yoğunluğu artan su ise dibe doğru çökecektir ve bu döngü sürüp gidecektir.

c) *Yoğunluk (Boğaz) Akıntıları*: Boğazlar okyanuslarla denizler ya da denizlerle denizler arasında bağlantıyı sağlayan geçitlerdir. Bu geçitlerde oluşan akıntılar başlıca iki ana faktörün kontrolünde gelişir. Bunlardan birincisi; boğaz ile ilişkili olan deniz veya okyanuslardaki yağış, buharlaşma ve akarsuların etkisi gibi hidrolojik değişimlerdir. Örneğin; Cebelitarık Boğazıyla Atlas okyanusuna, Çanakkale ve İstanbul Boğazlarıyla da Karadeniz'e ilişkili olan Akdeniz'in yıllık su (1.202 km³) kaybettiği sudan (3.618 km³) az olduğundan her yıl su seviyesinin yaklaşık bir metre düşmesi gerekirdi. Akdeniz hem Atlantik hem de Karadeniz'den devamlı su alarak seviyesini korur. Zira Karadeniz'in yıllık aldığı su (yağmur ve akarsularla 21.150 km³) kaybettiği sudan (buharlaşma yoluyla 14.650 km³) fazladır. İkincisi ise boğazın şekli, genişliği ve kıvrım durumudur. Bazı istisnalar dışında boğaz akıntıları birbirine zıt iki akıntı oluşturmaktadır.

3.6 Türkiye Denizlerindeki Akıntılar

Bilindiği gibi ülkemizin 3 tarafı denizlerle çevrilidir. Türkiye'nin adalar dahil sahip olduğu 8333 km'lik kıyı şeridinin, %18.77'si Karadeniz, %13.56'sı Marmara Denizi, %29.64'ü Ege Denizi ve %19.94'ü Akdeniz'de bulunmaktadır. Türkiye'ye ait adaların kıyıya uzunluğu 1626 km olup toplam kıyı uzunluğunun %18.08'ini oluşturmaktadır.

Marmara Denizi: Karadeniz'i Ege ve Akdeniz'e bağlayan bir iç denizdir. Karadeniz'e İstanbul Boğazı, Ege Denizi'ne Çanakkale Boğazı ile bağlanır Türkiye'nin Asya ve Avrupa kısımlarını da birbirinden ayırır. Yüzölçümü 11,350 km²'dir. Adalarında bol miktarda mermer bulunması yüzünden denize Yunanca mermer anlamına gelen Marmaros denmiştir.

Akdeniz: Doğuda Asya, kuzeyde Avrupa ve güneyde Afrika kıtaları tarafından çevrelenmiş bir denizdir. Batıda Cebelitarık Boğazı ile Atlas Okyanusu'na bağlanır. Güneydoğudan ise Mısır'daki Süveyş Kanalı (Suez) ile Kızıldeniz'e bağlanmıştır. Akdeniz yaklaşık 2.5 milyon km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Mısır, Fenike, Aka ve Roma gibi büyük antik uygarlıklar Akdeniz havzasında ortaya çıkmıştır.

Ege Denizi: Yüzölçümü 214.000 km²'dir. Ege denizi Anadolu yarımadası ile Yunanistan yarımadası arasında bulunan irili ufaklı 3000 kadar ada ve ada görünümündeki kara parçalarına da içine alan yarı kapalı bir denizdir. Ege denizinin, başka yerlerde çok az görülen, girintili çıkıntılı kıyılara; bu kıyılarda bulunan çok sayıda koy, körfez, boğaz ve yarımada sahip olma gibi bir başka özelliği daha vardır. Tuzluluk oranı Karadeniz'de binde 18, Ege'de binde 25, Akdeniz'de binde 36'dır.

İstanbul Boğazı'nın temel fiziki karakteristiği, dünyanın en dar su yollarından biri olmasıdır. Orta hattından ölçüldüğünde ortalama uzunluğu 17 deniz milidir. Kıyılardaki uzunluk, Anadolu tarafında 19 deniz mili, Trakya tarafında ise daha kıvrımlı yapısından dolayı 30 deniz mili kadardır. İstanbul Boğazı'nın en geniş yerleri kuzeyde, Anadolu Feneri ile Türkeli Feneri arasında 3600 metre, güneyde Ahırkapı Feneri ile İnciburnu Feneri arasında 3220 metredir. Boğazın en dar yeri ise Anadolu Hisarı ile Rumeli Hisarı arasında olup, 698 metredir. Buna göre genişlik, boğazın her iki girişinde orta kısımlardan daha fazladır. İstanbul Boğazı'nın derinliği ana kanal boyunca 30 metre ile 110 metre arasında değişmektedir. En derin yer olan 110 metrelik derinlik, Kandilli açıklığındadır. Boğazda derinlikler genellikle 30-60 metre arasında değişmektedir. Bunun yanında, 30 metrenin altında olan bazı mevkiiler de vardır. İstanbul Boğazı'nda Kandilli önlerinde 45 derece, Yeniköy'de ise 80 dereceye varan toplam 12 adet keskin dönüş vardır. Dip akıntısının sürati Marmara Denizi'nden İstanbul Boğazına girişte yaklaşık 1 knot, Karadeniz çıkışında ise 2 knot tır.. Ülkemiz kıyılarında özellikle Akdeniz akıntısı hakimdir. Atlantik Okyanusu'na bağlı olan Akdenize giren Atlantik suları doğu Akdeniz ve oradan da hareket ederek Ege Denizi'nde Karadibizden gelen sularla birleşir. Türkiye ve Yunanistan kıyılarından geçerek Adriyatik Denizi'ne uğrar ve Ardından Sicilya açıklarında Atlantik'ten gelen sularla birleşir. Atlantik'ten Akdenize giren akıntının kalınlığı 200 m civarındadır. Bu seviyenin altında 400-500 m derinlikte Akdeniz'den Atlantiğe doğru ters bir akıntı vardır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Akdeniz akıntıları.

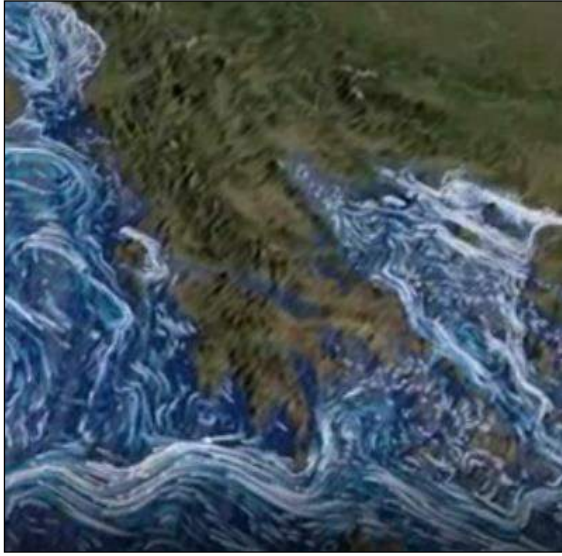
Akdeniz buharlaşmadan dolayı kaybettiği su miktarının ancak üçte birini, buraya akan nehirlerden temin eder. Geri kalanı Atlantik'ten giren büyük ölçüdeki su kütlesidir. Buna bir miktar Karadeniz'den Boğazlar yoluyla gelen su da ilave olur. Cebelitarık Boğazı'ndan giren bu yüzey akıntısı, tüm Afrika sahili boyunca, günde 13 ila 16 mil civarı bir süratle doğu yönünde akar. Mısır'dan sonra İsrail, Lübnan sahillerini takiben kuzeye döner ve kuvveti azalır.

Anadolu'nun güney yakası boyunca, batıya doğru hafif olarak akar, sahilin coğrafyasına uyup Ege kıyılarında kuzeye döner. Kuzeye çıkan akıntı, Çandarlı körfezi önlerinde batıya yönelir, Çanakkale'den inen akıntı ile birleşip Ege'nin batı tarafında, güneybatı yönünde, Mora yarımadasının altına kadar iner. Burada akıntının bir kısmı Adriyatik'e çıkar, diğeri yine Afrika sahillerindeki akıntıya karışır ve böylece Doğu Akdeniz'de saat yelkovanının aksi yönünde dönen bir iç akıntı oluşur.

Bu genel akıntı bazı geniş körfezler içinde veya adalar arasında, daha değişik ve sahili takip eden yönlerle döner. Kuvvetli rüzgarlar, bilhassa uzun süreli güney ve kuzey fırtınaları, bu akıntının hem yönünü, hem süratini büyük ölçüde etkiler.

Ege Akıntıları

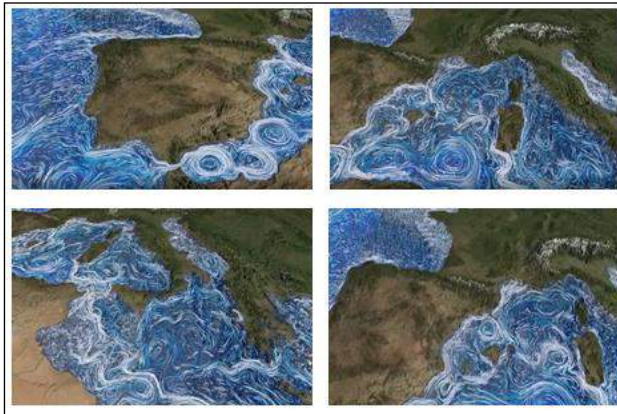
Kuzey fırtınalarında, orta ve bilhassa Batı Ege'de akıntılar, güney ve güneybatı yönde epey süratli akar (İkaria ile Mikonos Adaları arası veya Kafirevs Boğazında olduğu gibi). Bu hallerde, sahillerimiz boyunca kuzeye çıkan akıntı durur veya çok hafifler. Ona mukabil ekimden marta kadar esen kuvvetli güney fırtınaları, kuzey yönlü akıntıyı kuvvetlendirir. Hatta Kuzey Ege'ye yığılan akıntılar, Çanakkale boğazında güneye akan normal satıl akıntısını durdurup tersine döndürebilirler.



Şekil 3.25. Ege akıntısı.

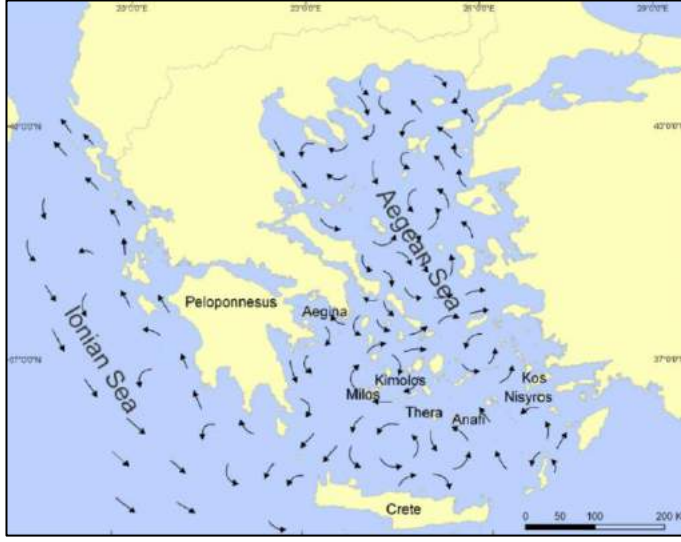
Hava kırılınca, Kuzey Ege'de biriken bu su, güneye doğru daha kuvvetli akar. Buharlaşma sonucu, tuz miktarı ve yoğunluğu artan su, dibe iner ve bir kısmı Cebelitarık'tan Atlantik'e, diğeri de Çanakkale'den Karadeniz'e ters dip akıntısı olarak çıkar.

Şekil 3.26 ile de Google Earth ile birlikte simüle edilmiş görüntü görülmektedir.



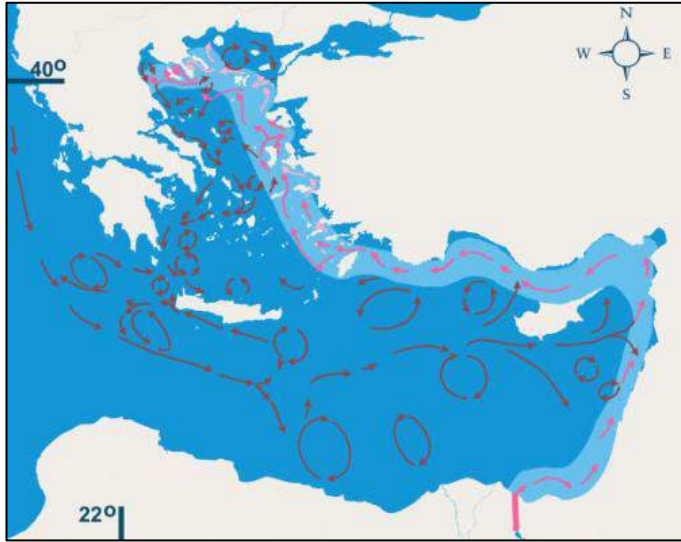
Şekil 3.26. Akdeniz akıntıları Google earth sümulasyonu.

Bütün yukarıda anlatılan bilgilerin ışığında, Ege Denizindeki akıntı paterni Şekil 3.27 ile verilmiştir.



Şekil 3.27. Ege akıntıları paterni.

Doğu Akdeniz akıntı paterni Şekil 3.28 ile de verilmiştir.



Şekil 3.28. Doğu Akdeniz akıntıları paterni.

BÖLÜM 4: DENİZÜSTÜ RÜZGAR ÖLÇÜMÜ

Denizüstü rüzgar elektrik santralleri (DRES) kurulmasının ilk aşaması olan rüzgar ölçümü, projenin başlangıç kısmıdır. Uygun ölçüm sensörleri ile standartlarda yapılan ölçümler, projenin daha sonraki aşamaları olan veri değerlendirmesi, enerji üretiminin belirlenmesi, çevresel koşulların belirlenmesi ve türbin seçiminin yapılması aşamasında en belirleyici unsurdur. Karaüstü RES’lerde olduğu gibi Denizüstü RES projelerinde rüzgar ölçümleri çok önemlidir. Denizüstü RES’lerde karaüstü RES’lere nazaran daha fazla değişken ölçülmekte, ölçüm sisteminin montajı ve bakımı için ciddi bir maliyet gerektirmektedir. DRES projelerinde denizlere ait bazı değişkenlerin de ölçümü yapılmaktadır. Bu değişkenler bu bölümde incelenecektir.

Enerji üretim hesaplamalarında kullanılma amacı için yapılan rüzgar ölçümlerinde ise, kurulması düşünülen rüzgar elektrik santralinde kullanılacak rüzgar türbin boyunun 2/3’ü olmalıdır. Günümüzde denizüstü rüzgar türbin boyunun 120 metre civarında olduğu ve hatta 150 metreye kadar çıkabildiği dikkate alınırsa ölçüm yüksekliğinin en az 100 metre civarında alınması gerekmektedir. RES kurulumu için rüzgar hızı ve yönünün yanısıra diğer bazı meteorolojik ve oşinografik değişkenlerin ölçülmesi gerekmektedir. Hesaplamalarda kullanılan hava yoğunluğu ve türbinin korozyona uğraması gibi durumlar için de sıcaklık, nem, basınç sensörleri de kullanılarak ölçümler yapılmalıdır. Konuya girmeden önce bazı tanımlamaları yapmak gerekmektedir.

Rüzgar şiddeti: Rüzgarın şiddeti, havanın hareket süratini gösterir. Sinoptik meteorolojide rüzgar hızı knot, klimatolojik meteorolojide de saniyede metre (m/s) veya saatte kilometre (km/h) olarak kullanılır. Rüzgarlar, şiddetlerine göre çarptıkları bir yüzeyde basınç meydana getirirler. 1 m/s şiddetle esen rüzgarın çarptığı 1 m²’lik yüzeye yaptığı basınç 0.076 kg’dır. Rüzgar şiddeti, çeşitli tipte anemometreler ile ölçülür. Sinoptik amaçlı çalışmalarda knot birimi kullanılırken, klimatolojik rasatlarda ve RES kurulumu için ölçüm amaçlı çalışmalarda m/s birimi kullanılır. 1 m/s = 1.94 knots veya 1 knot = 0.51 m/s dir.

Rüzgar Yönü: Rüzgarın bulunduğumuz yere doğru geldiği yöne rüzgar yönü denir. Yön, coğrafik kuzey ve pusula yönlerine dayanarak saat yelkovanı istikametinde ölçülür, derece cinsinden belirtilir. Ayrıca derecelerin belirttiği yönleri İngilizce harfler (S, W, E, SW, NE vb) yardımıyla da göstermek mümkündür. Rüzgar yönleri anemometrelerin üst kısmında bulunan rüzgar oklarından tesbit edilir.

4.1 Rüzgar Hızını Ölçen Aletler

Rüzgar, yatay veya yataya yakın yönde yer değiştiren, iki nokta arasındaki basınç farklılığından kaynaklanan hava kütlesi hareketidir. Bu hareket, bir vektör boyunca belli bir kuvvettir. Bunun neticesi rüzgar hız (kuvvet) ve yön olmak üzere iki fiziksel büyüklük halinde ölçülür. Rüzgar hızını ve yönünü tespit ederken tahmin yapılırsa hata payı yüksek olacağından bu hataları en az indirecek şekilde hazırlanmış ve üretilmiş cihazlar kullanılmaktadır. Rüzgar hızı ilk defa 1660’lı yıllarda ölçülmeye başlanmıştır. Günümüzde daha çok hassas olan elektronik cihazlar kullanılmaktadır. Rüzgar ölçüm sensörleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

- A) Doğrudan Ölçüm Yapan Sistemler
 - a) Basınç tablalı anemometre
 - b) Dönen anemometreler
 - Kepçe (cup) anemometre,
 - Ultrasonik anemometre,

- Propeller (Aerovan) anemometre,
- El anemometresi

B) Dolaylı Ölçüm Yapan Sistemler

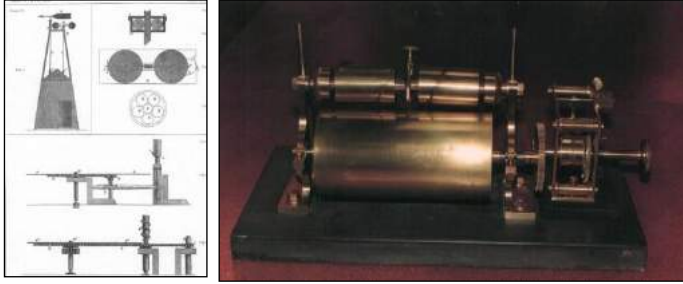
a) Anemograf

- Mekanik anemograf
- Elektrikli anemograf
- Elektronik anemograf

Rüzgar, termal sıcaklık ve basınç gradyan farklılıklarından ortaya çıkar. Hava kütlelerinin yatay (advectif) taşınımı sırasındaki yatay bileşen hızları (u , v) rüzgar olarak ifade edilir. Rüzgarın düşey bileşeni yatay bileşenine göre küçük olduğundan ihmal edilir ve kullanılmaz. Sadece Cumulonimbüs (şiddetli fırtına veya oraj) bulutlarında düşey rüzgar bileşeni (w), yatay rüzgar hız bileşenlerinden büyük olur. Esas olarak rüzgarı yüzey rüzgarları ve yüksek seviye (jeostrofik) rüzgarları şeklinde iki farklı kategoride incelenebilir. Bu iki seviyede rüzgar hızları farklı ölçüm yöntemleriyle yapılmaktadır. Hızdaki ani dalgalanmalar ve değişiklikler hamle (gust) olarak adlandırılır. Rüzgarın frekansı ise, herhangi bir yöndeki esme sıklığıdır. Bir bölgede rüzgar her zaman aynı yönden esmez, her yönden esebilir. Her yönden esen rüzgarın yüzdesi farklıdır. Bu oranlardan en fazlasını kapsayan yöne hakim rüzgar yönü denir.

4.1.1 Anemometre

Anemometre kelimesi Yunanca'dan gelmektedir. Yunanca'da "anemos" rüzgar anlamına gelmektedir; metre de ölçüm demek olduğundan, anemometre en basit anlamı ile "rüzgar ölçer" demektir. Rüzgar ölçümlerinde kullanılan kepçe (cup) anemometre en yaygın olarak kullanılan tiptir. Keping anemometre, İrlandalı astronom Thomas R. Robinson tarafından 1846 yılında icat edilmiştir. Şekil 4.1'de kullandığı eskizleri ve çalıştığı Armagh Gözlemevi'nin çatısına geliştirerek monte ettiği anemometre görülmektedir.



Şekil 4.1. Anemometre ilk tasarımı.

Kepçeli anemometrelerin 2 temel özelliği vardır: birisi yönden bağımsız (omni-directional) olması, diğeri de sadece düşey eksenine dik olarak yerleştirilmesidir. Rüzgar enerji potansiyeli belirleme amaçlı ölçümlerde çoğunlukla kepçe anemometreler kullanılmaktadır. Düşey eksene dik olarak yerleştirme özellikle işletme ve kullanım açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Düşey eksenine dik olarak dönen bir anemometre rotorunun rotasyonel oranı aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$\tilde{S} = F(\tilde{S}, \sqrt{\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2}, \tilde{w})$$

Eşitlikteki $\tilde{u}, \tilde{v}$ ve $\tilde{w}$ anlık yatay ve düşey rüzgar bileşenleri ve $\tilde{S}$ anemometre rotorunun anlık rotasyon hızıdır ve rad s^{-1} ile verilir. Keping anemometre davranışı,

$$F(\tilde{S}, \tilde{h}, \tilde{w}) = \frac{(\tilde{h} + \mu_1 \tilde{w} - \ell \tilde{S})(\tilde{h} + \mu_1 \tilde{w} \Lambda \tilde{S})}{\ell_0 (\ell + \Lambda)} + \frac{\mu_2 \tilde{w}^2}{2 \ell_0 \ell}$$

formülü ile açıklanmaktadır. Eşitlikte kullanılan ℓ , ℓ_0 ve Λ uzunluk biriminden enstrüman sabitleri; μ_1 ve μ_2 birimsiz enstrüman sabitleridir. ℓ kalibrasyon aralığı olarak verilmektedir. Sabit büyüklükteki U rüzgar hızında, anemometre rotorları arasındaki hava sütununun uzunluğudur. ℓ_0 , aralık sabiti olarak adlandırılır ve yaklaşık 0.63 değerindedir. Λ , enstrüman uzunluk ölçek sabitidir. μ_1 ve μ_2 , anemometre açılma reaksiyonudur.

Kepçe anemometrenin ölçümlerinin nasıl kaydettiği birkaç şekilde açıklanabilir. Rüzgar hızı sabit bile olsa, rotorun açısal hızı bir tam $\tilde{\omega}$ dönüşte değişebilir. Yani rotasyon oranı belli bir periyot ölçüldükten sonraki ortalama değer olarak almak gerekmektedir. Kepçe rotorunun 1 dönüşü için geçen zaman Δt olarak alınırsa, ortalama rüzgar şiddeti $2\pi \ell / \Delta t$ olarak bulunur. T periyodu boyunca ortalama rüzgar hızı U ise,

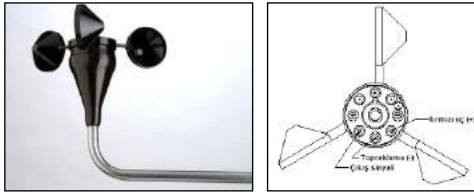
$$U = \frac{N2\pi\ell}{t} = \frac{N2\pi\ell}{\sum_{i=1}^N \Delta t_i} = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{U_i} \right\}^{-1}$$

olarak bulunur.

Günümüzde birçok farklı yapıda anemometre bulunmaktadır. Firmalar farklı özelliklerde ve boyutlarda anemometreler bulunmaktadır. İzleyen sayfalarda günümüzde en çok kullanılan anemometreler ve bunlara ait teknik bilgiler verilmiştir. Kullanılan bütün bilgiler, şekil, grafik, tablo vb gerekli izin alınabilen firmalardan seçilmiştir. Özellikle herhangi bir üreticinin veya üreticilerin reklamının yapılma amacı güdülmemiştir. Üretici firmalar, ürünleri ile ilgili teknik herhangi bir değişiklik yapma haklarına sahiptir, bu yüzden yazarlar ürünler ile ilgili oluşabilecek değişiklik, doğruluk vb gibi şeylerden sorumlu tutulamaz.

4.1.2.NRG Systems Inc Anemometre

Merkezi Amerika'da bulunan NRG Inc Firması, birçok farklı anemometre üretmektedir. Bunlar arasında en fazla kullanılan NRG #40 Hall Effect Anemometer üzerinde durulacaktır. 1 m/s ile 96 m/s arasında ölçüm yapabilen bu anemometre, çok düşük bir atalet momentine sahiptir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. NRG #40 Hall Effect Maksimum kepçe anemometre.

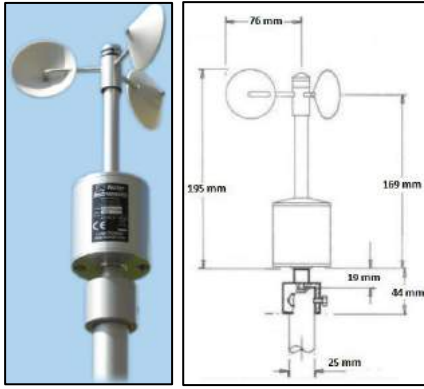
NRG Inc anemometrenin diğer önemli özellikleri Tablo 4.1 ile verilmiştir.

Tablo 4.1. NRG #40 Hall Effect Maksimum kepçe anemometre özellikleri.

Özellik	Açıklama
Sensör ölçüm aralığı	1 m/s den 96 m/s
Sinyal tipi	AC sinus dalgası, frekans rüzgar hızı ile orantılı
Doğruluk seviyesi	5 m/s – 25 m/s arasında 0.1 m/s hata payı
Çıkış sinyal aralığı	0 Hz den 125 Hz
Başlama	0.78 m/s
Atalet momenti	$68 \times 10^{-6} \text{ S-ft}^2$
Rotor süpürme çapı	190 mm
Montaj	13 mm çapında yankol üzerinde
Gerekli malzemeler	5 cm vida anahtarı, elektrik bandı
İşletme sıcaklık aralığı	-55 °C den 60 °C
İşletme bağıl nem aralığı	0 den 100% RH
Ağırlık	0.14 kg
Boyutlar	51 mm çapında 3 kepçe ve yükseklik 81 mm

4.1.3 Vector Instruments Inc. Anemometreleri

İngiltere'de bulunan Vector Instruments Inc. (Vector Inc.) firması, tarafından geliştirilen A100LM anemometre, paslanmaz çelik üzerine alüminyum ile anodize edilmiştir. Deniz ve çevre uygulamalarında da kullanılabilir. Şekil 4.3 ile boyutlarıyla beraber görülmektedir.



Şekil 4.3. Vector Inc. A100LM anemometre.

Tablo 4.2, A100LM anemometreye ait önemli özellikleri vermektedir.

Tablo 4.2. Vector Inc. A100LM anemometre özellikleri.

Özellikler	Açıklama
Ölçüme başlama hızı	0.2 m/s
Ölçüm bitim hızı	0.1 m/s
Maksimum rüzgar hızı	75 m/s
İşletme sıcaklık aralığı	-30 ile +70 °C
İşletme gerilimi	4.25..28V DC
Analog çıkış sinyali	0 ile 2.5V arası

4.1.4. Ultrasonik Anemometre

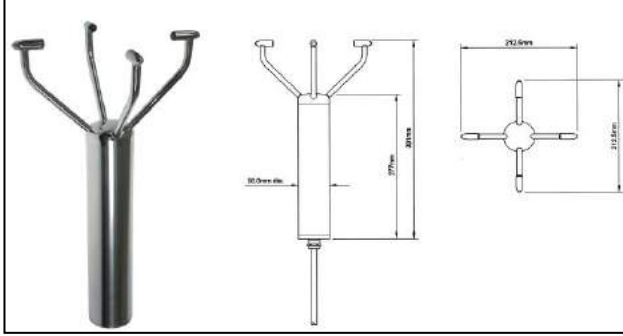
Ultrasonik anemometre, en temel şekli ile birbirine paralel iki tabakadan oluşan ve üzerleri yansıtıcılar ile kaplı olan bir sistemdir. Yatay düzlemde hava hiçbir engelle karşılaşmadan iki tabakanın arasına girmektedir. Dikey düzlemde ise hava girişi yansıtıcılar tarafından engellenmekte ve bu düşey rüzgar hızları ölçülmemektedir. Plakaların arasından geçen rüzgar ultrasonik (ses ötesi, seston hızlı) dalgalar yaratmaktadır. Oluşan bu dalgalar plakaların üzerinde bulunan ve ses enerjisinin yarattığı titreşimler ile çalışan elemanlarından oluşan diafram sistemi tarafından algılanmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi diaframlar üçgen şeklinde konumlandırılmışlardır. Ultra ses, bu diaframın yüzeyinden geçerek üst yansıtıcıya çarpmakta ve burada hemen hemen kayıpsız bir yansıma olayı daha gerçekleşmektedir. Böylelikle enerji kayıplarıyla dalgalanma tamamen sönene kadar birbirini takip eden ve sayısı 200'e kadar varan yansıma gerçekleşir. Dar bir frekans bandı üzerinde yaşanan birim yansımalar faz olarak bir bütünlük oluşturarak sinyal gücünde çok büyük bir artışa sebep olurlar. Net dalga dağılımı karmaşık bir yapıya sahip olmasına rağmen dalga hareketi iki karakterli olarak yorumlanabilir. Rüzgar ölçümü hareket eden dalga davranışı temelleri üzerinde yapılmaktadır. Herhangi bir diafram çifti üzerindeki net faz değişimi aynı eksen üzerindeki rüzgar akışı için gösterge oluşturmaktadır. Üç tane diafram çiftinden ayrı ayrı toplanan veriler ile diaframların oluşturduğu üçgenin kenarları boyunca bileşen vektörleri belirlenir. Bu vektörlerin kombinasyonu ise toplam rüzgar yönü ve şiddetini vermektedir. Bilindiği gibi ses ve dolayısı ile rüzgar hızının ölçüm değerleri ağırlıklı olarak sıcaklık olmak üzere nem miktarı ve basınca bağlı olarak değişmektedir.

Ultrasonik anemometre ölçüm sistemi, rüzgar hızı ile yönünün çok hassas bir şekilde ölçümünü sağlamaktadır. Yöntemin isminden de anlaşılacağı gibi bu teknik ultrasonik (akustik) bir dalga olan bu amaçla özel üretilmiş bir sistem içinde rezonansa tabi tutulmasına dayanmaktadır. Mekanik aşınmaya maruz kalacak hiçbir parçanın olmaması nedeni ile tüm hava koşullarına karşı son derece güvenli ve hassas ölçüm imkanı sunmaktadır. Düşük elektrik tüketimi ve buzlanma gibi diğer klasik ölçüm sistemlerini tamamen fonksiyon dışı bırakan koşullara karşı otomatik önlem alması diğer önemli özelliklerden biridir. Ultrasonik anemometreler 2-boyutlu ve 3-boyutlu olmak üzere iki çeşittir.

2-Boyutlu Ultrasonic Anemometre

Kepçe anemometrelere alternatif olan iki boyutlu ultrasonik anemometrelerde hareketli bir aksam yoktur ve atalet momentleri sıfırdır. Dolayısıyla bu tip sensörlerde parça değişimi olmadığından bakım maliyetleri çok düşüktür. Bu sensör her bir kolda bulunan uçlardan (transducer) yayılan yüksek frekanslı (ultrasonik) ses dalgasının diğer kollar tarafından alımı sırasında geçen sürenin ölçümü prensibine göre çalışır. Eğer ortamda rüzgar hızı sıfırsa her bir koldan yayılan sinyal süreleri birbirine eşittir. Ölçüm

kolları arasında bir rüzgar söz konusu ise, rüzgarın estiği yönün karşısı tarafında bulunan koldan yayılan ultrasonik ses dalgasının diğer kol tarafından alınması sırasında geçen süre artacak ve aynı şekilde esme yönü tarafında bulunan kol tarafından yayılan ultrasonik ses dalgasının karşıdaki kol tarafından alınım süresi ise kısılacaktır. Bu üç kol arasında 0.2 sn aralıklarla yapılan sürekli ölçüm süreleri bir mikroişlemci tarafından hesaplamalarda kullanılarak rüzgarın yönü %1 ve şiddet ± 0.1 m/s hassasiyetle hesaplanır. İleri teknoloji içeren bu sensörler mekanik sensörlere göre daha pahalıdır. Dönen bir parçaları olmadığından atalet momenti sıfırdır. Zıt yönde bulunan 2 ultrasonic transducer kullanımı ile rüzgarın yatay bileşenlerinin ölçümü yapılır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. 2-boyutlu ultrasonik anemometre.

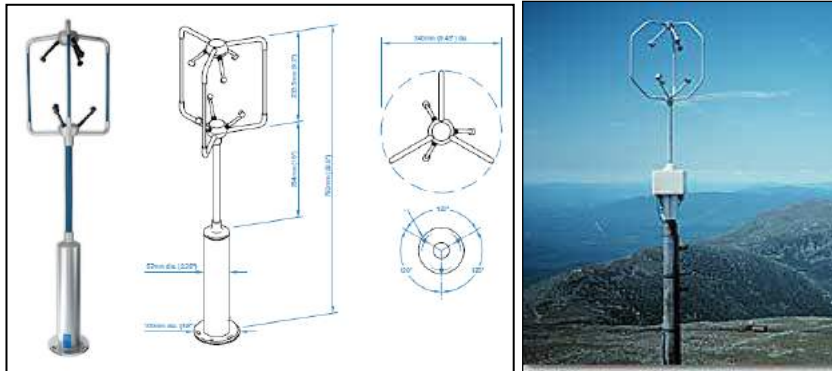
2-boyutlu ultrasonik anemometreye ait teknik özellikler Tablo 4.3 ile verilmiştir.

Tablo 4.3. 2-boyutlu ultrasonik anemometreye ait teknik özellikler.

Özellik	Açıklama
Ölçüm aralığı	0-65 m/s Çözünürlük 0.01 m/s
Kaplama	Paslanmaz çelik
İşletme sıcaklık aralığı	-40 °C ... +70 °C
İşletme gücü	9 – 30 VDC (40 mA 12 VDC)
Güç tüketimi	30 mA
Ağırlık	1.4 kg
Boyutlar	381 mm x 213 mm

3-Boyutlu Ultrasonik Anemometre

2-boyutlu anemometrelerde olduğu gibi, dönen bir parçaları olmadığından atalet momenti yoktur. Zıt yönde bulunan 3 ultrasonik transducer kullanımı ile rüzgarın yatay bileşenlerinin ölçümü yapılır (Şekil 4.5). İki boyutlu ultrasonik rüzgar hız yön sensöründeki prensibe göre çalışır ve bu sensördeki farklılık düşeyde de kollarının mevcut olmasıdır. Bu düşeydeki kollar yardımıyla yatay hız bileşenlerine ilaveten düşey rüzgar hız bileşeni (w) hesaplanır.



Şekil 4.5. 3-boyutlu ultrasonik anemometre.

3-boyutlu ultrasonic anemometreye ait teknik özellikler Tablo 4.4 ile verilmiştir.

Tablo 4.4. 3-boyutlu ultrasonic anemometreye ait teknik özellikler.

Özellik	Açıklama
Doğruluk	0-45 m/s (rez. 0.01 m/s)
Yön rezolüsyonu	0.1°
Kaplama	Alüminyum karbon fiber
İşletme sıcaklık aralığı	-40 °C ... +60 °C
İşletme gücü	9 – 30 VDC
Güç tüketimi	4 W
Ağırlık	1 kg
Boyutlar	750 mm x 240 mm

4.1.5 Isıtmalı (Heated - Icefree) Anemometreler

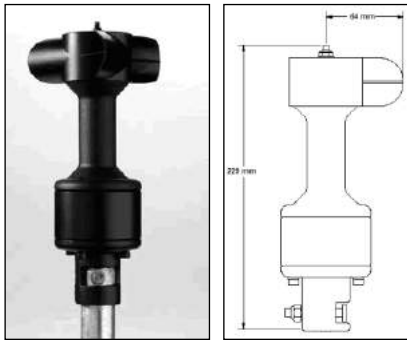
Isıtmalı anemometer, buzlanma riskinin olduğu bölgelerde kullanılmaktadır. Bu anemometreler ile ilgili detaylı bilgilere geçmeden önce buzlanma ile ilgili bilgiler vermek gerekmektedir. Buzlanma, rüzgar ölçümlerinde önemli bir problemdir. Özellikle yüksek bölgelerde, dağlarda sık sık karşılaşılmaktadır. Buzlanma konusu ile ilgili kısmen Avrupa Birliği tarafında fonlanan WECO "Wind Energy Production in COld Climates" isimli bir proje de bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar özellikle dağlık bölgelerin bulunduğu güney Avrupa'da yoğunlaşmaktadır. Anemometrelerin buzlanması, rüzgar enerji tahmin hesaplamalarını etkilemektedir. Anemometrelerin buzlanması sebebi ile, yıllık ve aylık enerji üretimlerinde hatalı sonuçlar bulunabilmektedir. Hataların büyüklüğü, buzlanma gün veya saatlerinin fazlalığına göre değişmektedir. Böyle bölgelerde muhakkak ısıtmalı sensörler kullanılmalıdır.



Şekil 4.6. Buz tutmuş ölçüm sistemi.

NRG Inc Icefree Anemometre

NRG Inc firması tarafından geliştirilen Icefree anemometre, buzlanmanın olabileceği bölgelerde kullanılmak için tasarlanmıştır. Isıtmalı anemometrenin çalışma prensibi kepçe anemometreler ile aynıdır, fakat elektrikle ısıtma yapıldığı için güç tüketimi çok yüksektir. Genellikle 90 m/s hıza kadar ölçüm yapabilmektedir. Atalet momentleri daha düşüktür (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Isıtmalı anemometre.

Gerek NRG #40 Hall Effect Maksimum ve gerekse de Icefree anemometrede de çıkış sinyalleri değişken sinüs dalgası şeklinde olmaktadır ve frekans rüzgar şiddetine göre değişir. Frekans, hassas bir anemometrede 2 Hz ile 100 Hz arasında değişim göstermektedir. Isıtmalı anemometreye ait özellikler Tablo 4.5 ile aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.5. Isıtmalı anemometreye ait teknik özellikler.

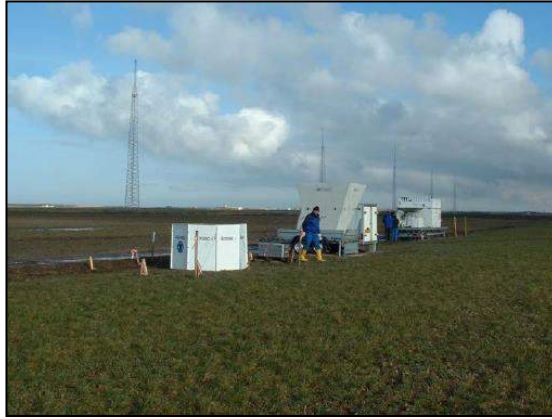
Özellik	Açıklama
Minimum sinyal büyüklüğü	2.2 m/s'de 0.2 V 45 m/s'de 4.0 V
Ölçüme başlama hızı	1.1 m/s
Kaplama	Eloksal kaplamalı cast alüminyum
İşletme sıcaklık aralığı	-40 °C ... +80 °C
İşletme gücü	24 V AC, 1.2 ... 4.8 amper akım
Güç tüketimi	30 W...150 W'a kadar (200 W maks.)
Ağırlık	1 kg
Boyutlar	229 mm x 64 mm
Gerilim koruma	Metal Oxide Varistor (MOV)

4.2 Uzaktan Algılama Teknolojisi

Rüzgar türbinlerinin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Türbin kurulu güçleri ve türbin boyları da büyümektedir. Artan türbin boylarının bulunduğu seviyelerdeki rüzgar ve türbülans bilgisi hakkında tam olarak bilgi alınamamakta ancak tahminler yapılmaktadır. Kara üzerindeki türbinlerin boyları 140 m lere kadar ulaşmasına rağmen; meteoroloji ölçüm istasyon boyları 80 m civarında kalmıştır. Türbin boylarının 140 olması, kanat uzunluğu ile birlikte 200 metreleri geçen bir yükseklikteki rüzgar rejiminin bilinmesini gerektirmektedir. Meteoroloji ölçüm istasyonu ile bu yüksekliklerde ölçümler oldukça maliyetlidir. Bu yüksekliklerde uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak ölçüm ve tahminler yapılabilir.

4.2.1 SODAR Uzaktan Algılama Ölçüm Teknolojisi

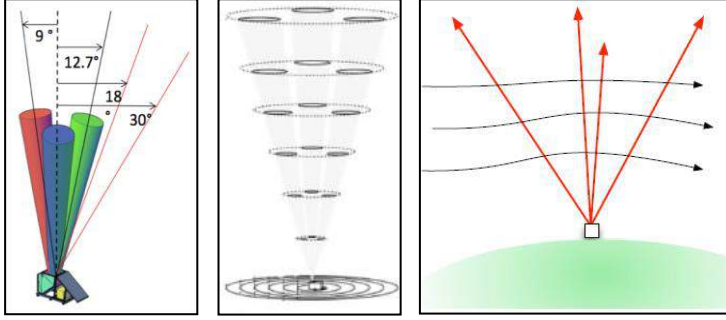
SODAR (SO^Nic De^Tection And Raⁿging) ve LIDAR (LI^ght De^Tection And Raⁿging) uzaktan algılama sistemlerinin rüzgar enerjisi uygulamalarında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bunun temel nedeni ölçüm sisteminin nakliye kolaylığı ve sahadaki ölçümlerin doğrulama ihtiyacı (verification veya validation) olarak sayılabilir. Rüzgar türbininin göbek yüksekliğinde (hub height) rüzgar şiddeti, rüzgar yönü, ve rüzgar kayması (wind shear) ciddi değişimler gösterebilmektedir.



Şekil 4.8. SODAR ve anemometrik ölçümler (Danimarka Hovshore).

SODAR, 5 veya 10 metre çözünürlük ile 150 m yüksekliğe kadar olan rüzgar hızını ve yönünü ölçüp bölgenin rüzgar profilinin çıkarılabilmesini mümkün kılan bir sistemdir. SODAR sisteminde parabolik yüzey içerisinde bulunan radar, gönderdiği sinyaller ve geri yansıması ile ölçüm yapılır. Parabolik gövdeden yayılan sinyallerin yaptığı ölçümler elektronik ünite ve cihazın içerisinde bulunan bilgisayarda değerlendirilerek sonuçlar merkezi bilgisayara gönderilir. SODAR sistemi, aynı anda rüzgarın her üç bileşenini de (u, v, ve w) ölçebilen yegane sistem olma özelliğini taşımaktadır. Kompleks arazilerde tam doğru bir şekilde ölçüm işlemini yapabilmektedir. Ayrıca normal rüzgar ölçüm direklerinde bulunan yankol, boru ve kafes direklerden meydana gelebilecek türbülans ve akış bozulması gibi parametrelerde meydana gelmez. İstenilen yükseklikteki hız ve yön verilerini doğrudan ölçebildiği için korelasyon yöntemlerinin de kullanılmasına gerek kalmaz ve bu nedenle doğabilecek hatalardan da kaçınılmış olunur. Günümüzde 200 metreye kadar ölçüm yapabilen SODAR sistemi ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar, ölçüm yüksekliğini 300 metreye çıkarmaya yöneliktir. SODAR teknolojisi temel olarak belirli frekanstaki ses dalgalarını gök yüzüne iletebilen bir ses kaynağından ve sonrasında rüzgar etkisiyle bu ses dalgalarında oluşan Doppler Shift etkisini yüksek hassasiyetle algılayabilen bir algılayıcıdan oluşur. SODAR, atmosferdeki ses yayılımının algılanması prensibine

göre çalışır. Gökyüzüne iletilen ses dalgalarının mümkün olan en dar açı ile gök yüzünü taraması, kompleks sahalardaki ölçümlerin kalitesini arttırmak açısından önemli bir dizayn parametresidir. Piyasada bulunan farklı SODAR ölçüm cihazları incelendiğinde 100 – 300 aralığında farklı tasarımlar bulunduğu görülmektedir. Özellikle kompleks yapıdaki sahalarda, geniş yayılım açısı nedeniyle yüksek hacimde taranacak alandan kaynaklı belirsizlikler artabilir. Bu nedenle mümkün olan en dar açıdaki dizayn tercih edilmelidir. Bir diğer önemli tasarım parametresi ise yüksek frekansta çalışan bu ekipmanların güç tüketimidir. Sahada uzun süre veri toplayacak olan SODAR cihazının düşük güç tüketiminde veri kaybı yaşamaksızın kayıt yapması ve kaydı yapılan verilerin başarıyla internet üzerinden transfer edilebilir olması gereklidir. Ayrıca, çoğu zaman erişimi güç, kompleks sahalarda kullanılması gerekebilecek bu ekipmanların sahaya kolaylıkla nakledilebilmesi için kompakt yapıda ve kolay kurulabilir bir tasarımda olması gerekmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. SODAR atmosfere dalga yayılımı.

Rüzgar türbinleri, yeryüzünden 1 km mesafeye kadar olan atmosferik sınır tabakada (atmospheric boundary layer) çalışır. Bu tabaka yüksek türbülans seviyesi ile karakterize edilmektedir. Yüze yakın tabaka olduğu için rüzgar kayması da (wind shear) sıklıkla görülür. SODAR, 2000-400 Hz seviyesinde atmosfere üç farklı yönde ses dalgaları göndererek ölçüm yapmaktadır. 1980'lerden itibaren meteoroloji biliminde kullanılmaya başlanan SODAR teknolojisi, rüzgar enerjisi, hava kirliliği, askeri amaçlar için de kullanılmaya başlanmıştır. Almanya'da nükleer santral sahalarda rüzgar şiddet ve yön ölçümleri ile atmosferik kararlılık belirlenmesinde de kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 4.10 ile yaygın olarak kullanılan SODAR sistemleri görülmektedir.



Şekil 4.10. En yaygın kullanılan SODAR cihazları (saat yönünde: Second Wind Triton; AQSystem AQ500; Metek PCS2000-24/LP; ASC 4000i).

Tablo 4.6 ile SODAR uzaktan algılama sisteminin avantaj ve dezavantajları görülmektedir.

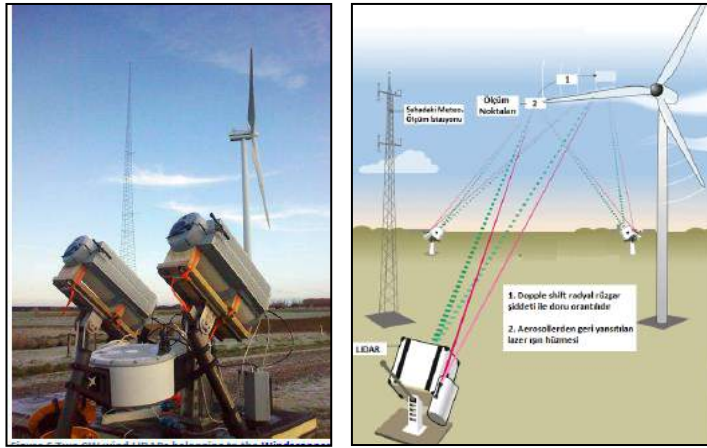
Tablo 4.6. SODAR avantaj ve dezavantajları.

Avantaj	Dezavantaj
Taşıyabilir olması	Civardaki gürültü kaynaklarından etkilenme
Düşük güç tüketimi	Civardaki engellerden etkilenme

SODAR teknolojisi, 2000-4000 Hz bandında ses dalgalarının kısa patlamalarını ölçerek çalışan bir sistemdir. İki çeşit SODAR sistemi bulunmaktadır: mono-statik ve bi-statik SODAR. Monostatik sistemde alıcı ve yayıcı (transmitter) sistem yerde yan yana bulunur. Bi-statik sistemde alıcı ve yayıcı sistem arasında 100 – 200 m civarında bir mesafe bulunmaktadır.

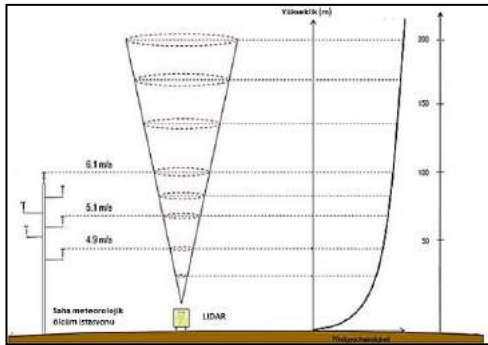
4.2.2 LIDAR Uzaktan Algılama Ölçüm Teknolojisi

LIDAR, lazer ışığının kullanarak rüzgar şiddeti, yönü ve türbülans belirleme tekniğidir. Atmosferdeki partiküllerden cihaz üzerine gelen lazer enerji yansımalarıdır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. LIDAR atmosfere dalga yayılımı.

Atmosferdeki aerosollerden geri saçılan Doppler kaymasını (shift) leri yakalayarak ölçüm yapar. Doppler kayması, geri saçılan ışık huzmesindeki rüzgar şiddeti ile doğru orantılıdır. Geri dönen ışınlardaki Doppler kaymasının derecesine göre sonuç verir. Doppler kaymasının şiddeti atmosferdeki hacme göre değişir. LIDAR farklı açı ve yüksekliklerde kullanılabilir (Şekil 4.12). Havada asılı bulunan aerosollerin geri saçılımı ölçülür.



Şekil 4.12. LIDAR ölçüm tekniği.

2 tür LIDAR vardır: daimi dalga (continuous wave) ve pulsed. Daimi dalga LIDAR lazer ışınlarının atmosfere sürekli gönderilerek ölçüm yapılması prensibine göre çalışır, farklı yüksekliklerdeki ışın huzmesine göre çalışır. Pulsed LIDAR kısa aralıklara ışık göndererek geri dönen saçılmaya göre ölçüm sonuçları verir. Daimi dalga LIDAR, hızlı ve yüksek çözünürlüklü veri topladığından dolayı daha yaygın olarak kullanılmaktadır. LIDAR kullanımının yaygınlaşması da SODAR ile aynı nedenlerden dolayıdır. Aşağıdaki özelliklerden dolayı daha yüksek doğruluğa sahiptir:

- Işık hızı, ses dalgasından 10^6 kat daha hızlıdır,
- LIDAR anten boyutu ışığın dalga boyuna bağlıdır. Lens çapının dalga boyutuna oranı 1000 den daha büyük olduğundan daha iyi sonuçlar ve yüksek veri örnekleme oranı alınır,

- c. LIDAR, rüzgar türbin göbek veya kanatlarına monte edilebilir. LIDAR sistemi rüzgarı 300 – 400 m öncesine kadar ölçebilmektedir. Rüzgar türbin aerodinamik performans ve pitch açılarının ayarlanmasında kullanılabilir. Böylelikle türbin üzerine gelen yorulma azaltılarak türbin ömrü artırılabilir,
- d. LIDAR sistemi, kepçe anemometre gibi noktasal ölçümü değil; hacimse bir ölçüm yapar,
- e. SODAR tekniği ile 200 – 600 m lere kadar ölçüm yapılabilirken; LIDAR ile 2000 metrelere kadar ölçüm yapılabilir.

4.2.3 Uzaktan Algılama Sistemlerinin Yer Seçimi ve Çalıştırılması

Uzaktan algılama teknolojileri, RES projelerinde ve enerji değerlendirme raporlarında aşağıdaki gibi kullanılabilir:

1. Sahadaki meteoroloji ölçüm istasyon verilerinin ekstrapolasyonunda,
2. Sahadaki meteoroloji ölçüm istasyon verilerinin kayma katsayılarının (shear coefficients) hesaplanmasında,
3. Göbek yüksekliğinde rüzgar şiddeti ve yönünün belirlenmesinde,
4. Rüzgar potansiyelinin sahadaki değişiminin belirlenmesinde
5. Atmosferik sınır tabaka içindeki meteorolojik değişkenlerin profilinin belirlenmesinde.

Rüzgar elektrik santral (RES) projelerinde enerji hesaplamalarında en önemli kriterler verinin kalitesi, süresi ve sahayı temsil edebilirliğidir. Uzaktan algılama teknolojisinin kullanımı türbin yerleri ve meteoroloji ölçüm istasyon yeri ile de farklılıklar gösterebilir. Projedeki diğer parametrelerinde uzaktan algılama ölçüm sistemi üzerinde ciddi etkileri olabilir ve bu durum enerji hesaplamalarında farklılıklara yol açabilir. Uzaktan algılama sensörlerindeki belirsizlikler ve atmosferik koşulların mevsimsel değişimleri kısa süreli alınan uzaktan algılama verisi üzerindeki etkileri enerji hesaplamalarına yansiyabilir. Uzaktan algılama sistemlerinin kullanımında aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

1. Uzaktan algılama teknolojisi hala gelişim aşamasındadır. Ekipman konfigürasyonu ve yazılım değişiklikleri ölçüm doğruluğu, kalitesi ve bütünlüğünü etkileyebilmektedir.
2. Ölçüm kalitesi cihazın proje sahası içerisindeki yerine göre değişim gösterebilmektedir. Mükemmel şekilde çalışan SODAR veya LIDAR cihazları bile doğru ölçümler göstermeyebilir. Kompleks arazilerde düzensiz akış veya yüzey yakınındaki pürüzlülük ölçüm doğruluğunu etkiler. Ayrıca SODAR ölçümleri sahaya özgü gürültü kaynaklarından etkilenebilir (ground clutter).
3. Uzaktan algılama ölçümleri, anemometrik ölçümlerden farklıdır. Anemometreler, rüzgar şiddetinin yönden bağımsız olarak ölçüm yapıldığı noktadaki ortalamasını verir, yani skaler bir ortalama. SODAR ve LIDAR uzaktan algılama ölçüm sistemleri, düşey ortalama ve yatay ortalama rüzgar şiddetlerini ölçerek vektörel bir ortalama vermektedir. Türbülanslı havalarda vektörel ortalamalar skaler ortalama değerlerinden daha düşüktür. Bunun anlamı ise, uzaktan algılama ile anemometrik ölçüm metodu aynı sonuçları vermeyebilir.

Yukarıdaki hususlara dikkat ederek uzaktan algılama ölçüm sistemi ile çalışılmalıdır.

Uzaktan Algılama Ölçüm Noktasının Seçimi

Uzaktan algılama ölçüm sisteminin proje sahasındaki yeri, üretici firmanın talimatları ve uygulamadaki tecrübelerle göre belirlenmelidir. Ölçüm noktasının yeri ölçüm kalitesi ve güvenilirliğini doğrudan etkileyeceğinden dolayı aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

1. Proje sahasında bulunan ve standartlara uygun meteoroloji ölçüm istasyonunun bulunması çok önemlidir. Bu istasyondan alınan veriler, uzaktan algılama ölçüm istasyon verileri ile saha ölçümlerinin teyidi yapılacaktır. Sahadaki meteoroloji istasyon verisi ile uzaktan algılama
2. Uzaktan algılama sistemi de sahadaki meteoroloji sistemi ölçümlerindeki elektriksel ve akustik gürültüden oluşan aykırı değerler ayıklanabilir. istasyonu gibi sahayı iyi temsil eden bir yerde olmalıdır.
3. Ormanlık arazilerde özellikle SODAR ölçümlerinde ölçüm cihazının bulunduğu yerin etrafındaki ağaçlar temizlenmelidir. Genel bir kural olarak ölçüm yüksekliğinden 20 m daha büyük bir çap alınabilir. Yani 100 m yüksekliğinde ölçümler için 120 m bir çaptaki ağaçlar temizlenmelidir. Orman arazilerindeki LIDAR ölçümleri için civardaki 10 m mesafeye kadar ağaçlar kesilebilir.
4. SODAR cihazının 20 m civarında herhangi bir bina, kaya veya yükselti olmamalıdır. Civarda gürültü kaynağı olabilecek bir yapı olmamalıdır.
5. Kompleks, türbülanslı akışın olduğu bölgeye uzaktan algılama sistemi konulmamalıdır.

Bu sistemlerde mümkünse en son yazılım ve donanım kullanılmalıdır ve ölçüm süresi boyunca çok gerekmedikçe konfigürasyon değişimi yapılmamalıdır.

4.2.4 Ölçümlerin Doğrulaması (Verification, Validation)

Doğrulama veya validasyon yöntemi incelenen verilerin baksa bir istasyon verisi ile teyididir. Doğrulama yöntemi ile uzaktan algılama sisteminin sahadaki meteoroloji istasyon ölçümleri ile testi ve teyidi yapılmış olunur. Sonuçların kıyaslanması ve doğruluğu meteoroloji ölçüm istasyonunun sensörlerinin hassasiyeti ile uzaktan algılama sisteminin konumuna bağlıdır. Doğru ölçüm yapan hassas sensörlerle ve sistemin yüzey pürüzlülüğünden etkilenmediği doğru lokasyon seçimi ile verinin kalitesi ve temsil edebilirliği artar. Doğrulama yöntemi 6 ayda bir veya yılda en az 1 kez; ayrıca herhangi bir ekipman veya yazılım değişikliğinde de tekrarlanmalıdır. Doğrulama prosedürünü uygularken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

1. Firmanın veya ekipmanın ilgili doküman veya talimatlarına göre işlemler yapılmalıdır.
2. SODAR cihazı konfigürasyonuna göre meteoroloji istasyonundan doğru bir şekilde konumlandırılmalıdır (yaklaşık 100 -150 m). LIDAR daha yakın olabilir.
3. Uzaktan algılama ölçüm sisteminin yapıldığı lokasyonun yüksekliği ile meteoroloji ölçüm istasyon noktası arasındaki yüksekliği farkı 5 m yi geçmemelidir.
4. Ölçüm sisteminin yeri mümkün mertebe uniform bir alanda düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip bir yerde olmalıdır.
5. Meteoroloji istasyonundaki sensörleri kalibrasyonlu olmalı ve her 2 yılda bir tekrar kalibre edilmelidir. Doğrulamanın güvenilirliği anemometrelerin kalitesine ve hassasiyetine bağlıdır.
6. Farklı yüksekliklerde birden fazla sensör olması kıyaslamayı kolaylaştırır.

Uzaktan algılama sistemi ile anemometre ölçüm sisteminin kıyaslanması ve doğrulaması her iki sistemin benzer ölçekte hata payı oranı olduğundan daha zordur. Anemometrik ölçüm hatalarının düzeltilmesi için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında veriye lineer regresyon yudurulması yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Buradaki temel amaç anemometrik ölçümlerin slope ve ofset değerlerinin bulunmasıdır. En küçük kareler yöntemi kullanılarak

$$y = mx+b$$

belirlenir. Eşitlikte kullanılan,

y: uzaktan algılama rüzgar şiddeti;

x: anemometrik ölçüm sistemi rüzgar şiddeti;

m,b: lineer regresyon katsayılarıdır.

Diğer adımda gerçek rüzgar şiddeti z ile uzaktan algılama verisi arasındaki ilişkinin tahminine geçilir.

$$y = \hat{m}z + \hat{b}$$

Güvenilirlik oranı (reliability ratio)

$$\lambda = \frac{\sigma_x^2 - \sigma_u^2}{\sigma_x^2}$$

olarak verilir. Eşitlikte verilen

σ_x : Meteoroloji ölçüm istasyon verisinin standart sapması

σ_u : Meteoroloji ölçüm istasyon sensör standart sapmasıdır.

Slope $\hat{m}$ ve ofset $\hat{b}$ değerleri ise;

$$\hat{m} = \frac{m}{\lambda} ; \hat{b} = \hat{y} - \hat{m}\hat{x}$$

$\hat{x}$: meteoroloji ölçüm istasyon veri ortalaması

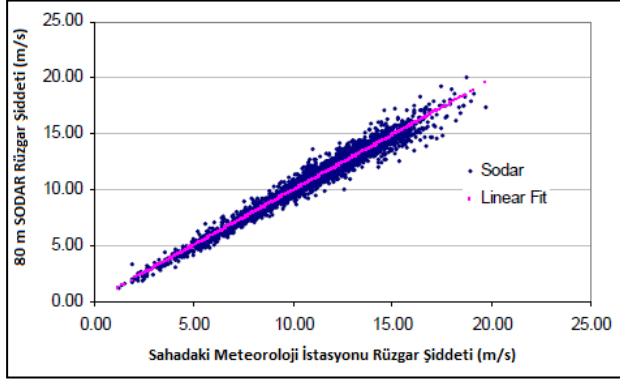
y : uzaktan algılama sistemi veri ortalaması

σ_u : sensör hatası (ölçüm hatası, montaj hatası)

Doğrulama süreci bazı kriterlere göre değişim gösterebilmektedir. Genellikle aşağıdaki kriterlere uyulması gereklidir:

1. **Minimum Ölçüm Süresi Kriteri:** Uzaktan algılama sistemiyle yapılan ölçüm süresi minimum 1 ay olmalıdır.
2. **Minimum Miktar Kriteri:** Rüzgar şiddeti ve yönü doğrulanmış olarak 48 saatlik veri toplanmalıdır. Bu husus, sahanın temsil edilebilirliğini sağlar.
3. **Veri Aralığı Kriteri:** Rüzgar şiddetinin 4-16 m/s aralığında 12 saatlik 2 veri aralığı seçilmelidir. Örneğin 4-8 m/s ile 8-16 m/s aralığında 12 saat veri toplanarak değerlendirme yapılmalıdır.
4. **Belirsizlik Kriteri:** Standart hatanın slope ve offset değeri hesaplanana kadar veri ölçümü yapılmalıdır.

Aşağıdaki Şekil 4.13 ile 80 m anemometrik ölçümler ile uzaktan algılama ölçüm sistemi arasındaki grafik görülmektedir. Bu örnekte doğrulama yapılmamış ve veriler ham şekilde çizdirilmiştir. Doğrulanmamış (uncorrected) bir grafik; slope değeri 0.979; ofset değeri de 0.12 m/s dir. Verilerin standart sapması 3.13 m/s dir. Anemometre tahmini ölçüm hatası 0.20 m/s dir. Gerçek rüzgar şiddetinin doğrulanmış slope değeri 0.984; ofset değeri de 0.07 m/s dir. Slope değerindeki belirsizlik ± 0.024 iken; ofset değerinde ± 0.21 m/s dir.



Şekil 4.13. SODAR ve anemometrik ölçümler.

SODAR ile sahadaki meteoroloji istasyon verilerinin arasındaki korelasyon, ölçüm yüksekliği ve atmosferik kararlılık durumuna bağlıdır.

4.3 Yön Sensörü

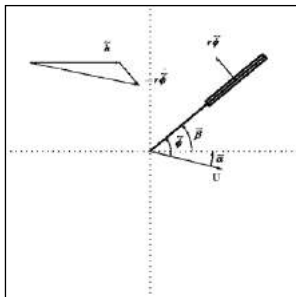
Rüzgar ölçümleri yapılırken rüzgarın hızının yanında, yönü de ölçülmesi gereken bir diğer meteorolojik parametredir. Ölçüm yapılan bölgedeki rüzgar, belirli hakim bir yönden esebileceği gibi, farklı yönlerde ve farklı yüzdelerde de esebilmektedir. Rüzgar yönlerinin değişen frekanslarını ve rüzgar hızlarının dağılımını göstermek için, rüzgar hızı ve yönünün meteorolojik gözlemleri esas alınarak, rüzgar gülü şeklinde bir çizim yapılmaktadır. Bir rüzgar gülü 8 veya 16 yöne göre olabilir, ya da Avrupa Rüzgar Atlası'nda esas alındığı gibi 12 yöne, 30'ar derecelik yön aralıklarına göre de olabilir. Aşağıda verilen Şekil 4.14, yön sensörünün hareketini göstermektedir. Rüzgarın yönü, coğrafi kuzey veya pusula yönü ile bulunarak saat yelkovanı dönüşüne göre daire ile ifade edilir. Yön sensörü, 360 derece boyunca sonsuz olarak hareket eder ve bölgenin rüzgar gülünü (wind rose) çıkarır. U , ortalama rüzgar hızı vektörü; $\tilde{hve\alpha}$ anlık rüzgar hız bileşenleri vektörüdür. Sensör, ϕ açısal hızı ile U tarafından referans verilen yönde hareket eder. Yani sensör merkezi, yatay ve sensöre dik olarak ve r , sensör eksenini ile kütle merkezi arasındaki mesafe olmak üzere, $r\tilde{\phi}$ açısal hızı ile dönmektedir. Bütün açıların küçük olduğu varsayılırsa, hareket eden yön sensörü kanadının anlık yatay açısı β' :

$$\beta' = \tilde{\beta} + \frac{r\tilde{\phi}}{U}$$

ile verilmektedir. Yön sensörü için hareket denklemi:

$$I\tilde{\phi} = -r\frac{1}{2}\rho U^2 AK\tilde{\beta}'$$

eşitliği ile hesaplanır. I , atalet momenti; A , sensör alanı ve K , birimsiz bir sabittir ve genellikle 2π olarak alınır.



Şekil 4.14. Yön sensörü hareketi.

4.3.1 NRG #200 P Yön Sensörü

Şekil 4.15 ile NRG Inc firmasına ait bir yön sensörü verilmiştir.



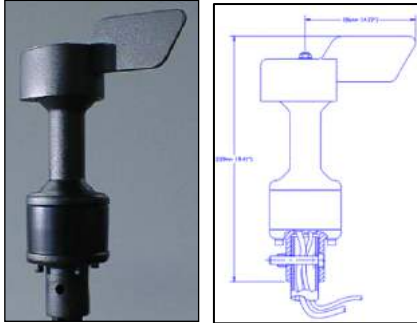
Şekil 4.15. NRG #200P yön sensörü.

Tablo 4.7 ile NRG #200P yön sensörüne ait teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 4.7. NRG #200P yön sensörü.

Özellik	Açıklama
Çıkış gerilimi	1V – 15V DC
Çıkış sinyal range	0 Hz den 125 Hz
Ömür	50 milyon dönme (2-6 yıl)
Rotor süpürme çapı	27 cm
Montaj	13 mm çapında yankol üzerinde
Gerekli malzemeler	5 cm vida anahtarı, elektrik bandı
İşletme sıcaklık aralığı	-55 °C den 60 °C
İşletme bağıl nem aralığı	0 den 100% RH
Ağırlık	0.14 kg
Boyutlar	21 cm uzunluk, 12 cm yükseklik

NRG Inc firmasına ait #2442 ısıtmalı yön sensörü ise Şekil 4.16 ile verilmiştir.

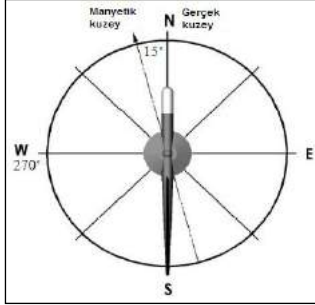


Şekil 4.16. NRG icefree yön sensörü.

Yön sensörü hareketinin daha iyi anlaşılabilmesi için manyetik denklinasyon kavramı açıklanmalıdır. Bilindiği gibi, dünyanın manyetik alanı uniform olmadığından, manyetik kutuplarla gerçek coğrafi kutuplar üst üste gelmez. Ayrıca pusula da gerçek kutbu değil, manyetik kutbu göstermektedir. Coğrafi kutup ile manyetik kutup arasındaki bölgeden bölgeye değişen bu farka “manyetik denklinasyon” denir. Yani, manyetik denklinasyon, gerçek kuzey (coğrafi kuzey) ile pusulanın gösterdiği yön olan manyetik kuzey arasındaki yatay açıdır. Manyetik denklinasyon, pusulanın arazide gösterdiği hata açısı olarak ölçülmektedir. Gerçek kuzeyden batı ile yaptığı açı manyetik kuzeyin derecesini gösterir. Örneğin İstanbul 15 derece batı manyetik denklinasyon vardır. Yani manyetik kuzey İstanbul’da gerçek kuzeyin 15 derece batısındadır. Mersin’de manyetik kuzey 27 derece doğu da denildiğinde, manyetik denklinasyonun 27 derece doğu olduğu anlaşılmalıdır.

Dünyanın manyetik alanı, zamanla çok az bir değişim gösterir. Dolayısıyla ölçüm yapılan arazideki manyetik denklinasyon da zamanla değişir. Bu farklılıktan dolayı, rüzgar yön sensörünün montajını

yaparken manyetik kuzeyi gösteren güncel denklinasyon haritalarından (isogonic map) yararlanılmalıdır. Daha sonra, analiz için hesaplamalar yapılırken gerektiğinde kullanılan yazılım programına yön düzeltme faktörü girilebilir. Yön sensörü montajı yapılırken pusula ile manyetik kuzey yönlerinden birisine ayarlanarak konulabilir. Genellikle manyetik yön tercih edilir. Şekil 4.17’de gerçek kuzey ve manyetik kuzey yönü gösterilmiştir. Manyetik kuzey, gerçek kuzeyin 15 derece batısındadır.

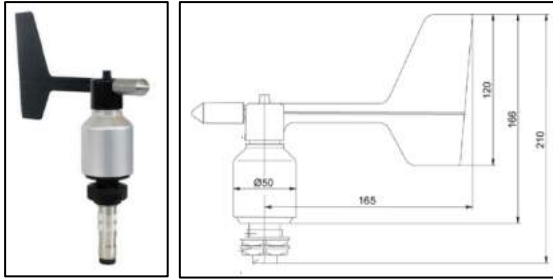


Şekil 4.17. Gerçek ve manyetik kuzey.

Ölçüm direği doğu-batı yönünde yatırıldığında, pusula ile yön sensörünün isteğe bağlı olarak manyetik kuzey veya gerçek kuzey yönünü gösterecek şekilde montajı yapılır ve anemometre de, rüzgarın hakim yönüne doğru monte edilmiştir. Yön sensörünün üzerindeki kuzey işareti ile aynı konuma getirilerek sensörü tutan çelik pim takılır. Direk kaldırıldığında yön sensörü gerçek kuzeyi gösterecektir. Anemometre, ölçüm direğine dik bir şekilde, yön sensörü de yan kola monte edilmelidir.

4.3.2 Ammonit GmbH Yön Sensörü

Şekil 4.18 ile Ammonit GmbH firmasına ait bir yön sensörü verilmiştir.



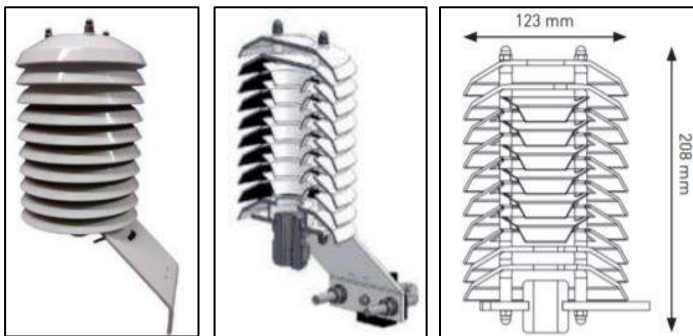
Şekil 4.18. Ammonit yön sensörü.

4.4 Diğer Sensörler

Rüzgar ölçümlerinde ana sensörler, anemometre ve yön sensörü olmakla beraber, yardımcı sensörler de bulunmaktadır. İzleyen sayfalarda bu sensörler incelenecektir.

4.4.1 Sıcaklık Sensörü

Termometre olarak da bilinen sıcaklık sensörü genellikle denizüstü ölçüm istasyonunun 30, 50 ve en üst seviyesinde ölçümlür (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Sıcaklık sensörü.

4.4.2 Nem Sensörü

Bağıl nem, verilen bir sıcaklıkta havanın içerdiği nem miktarının, aynı sıcaklıkta içerebileceği maksimum nem miktarına oranı olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle bağıl nem, havanın buhar içeriğinin kapasitesine oranıdır ve yüzde olarak ifade edilir:

$$\text{Bağıl Nem (RH)} = \text{Aktüel Su buharı Miktarı} / \text{Maksimum Su buharı Miktarı} * 100$$

Rüzgar ölçüm amaçlı kullanılan nem sensörleri, tek veya bazen de sıcaklık sensörü ile beraber kombine olabilmektedir (Şekil 4.20). Neme karşı duyarlı olan materyal karbondan yapılmış olup nem değişiminde direnci değişmektedir, bu direnç değişiminden yararlanılarak bağıl nem ölçülmektedir.



Şekil 4.20. Nem sensörü.

4.4.3 Basınç Sensörü (Barometre)

Basınç, meteorolojik elemanların en önemlilerindendir. Barometrik basınç bir yüzey üzerindeki, bu yüzeyden atmosferin tepesine kadar olan hava sütununun her birim alanı etkileyen kuvvettir. NRG firmasına ait #BP20 barometrik basınç sensörü Şekil 4.21 ile verilmiştir.



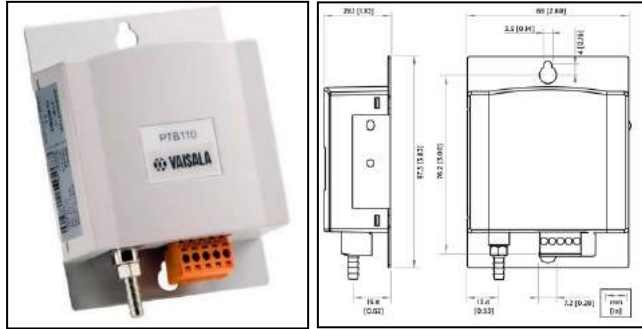
Şekil 4.21. NRG #BP20 basınç sensörü.

NRG #BP20 basınç sensörüne ait teknik özellikler Tablo 4.8 ile verilmiştir.

Tablo 4.8. NRG #BP20 basınç sensörü teknik özellikleri.

Özellik	Açıklama
Uygulama alanları	Rüzgar enerji uygulamaları Meteorolojik amaçlar Çevre amaçlı
Sinyal tipi	Lineer analog gerilim
Doğruluk	+/- 1.5 kPa
Gerekli gerilim	7 V .. 35 V DC
Gerekli akım	15 mA maksimum, 8 mA tipik
Bağlantı	Kablo renklerine göre: Kırmızı: Sensör güç kaynağı Beyaz: Çıkış sinyali Siyah: Sensör topraklaması
Ağırlık	0.1 kg
Boyutlar	57 mm çap 112 mm uzunluk

Çift silikon tabakasının arasına cam bir tabaka konularak ayrıştırılması ile yapılan Vaisala PTB 110 marka basınç sensörü Şekil 4.22 ile verilmiştir.



Şekil 4.22. Basınç sensörü.

Vaisala PTB 110 marka basınç sensörüne ait diğer teknik özellikler Tablo 4.9 ile verilmiştir.

Tablo 4.9. Vaisala basınç sensörüne ait özellikler.

Özellik	Açıklama
Ölçüm aralığı	0 hPa..2000 hPa
Doğruluk	± 0.3 hPa
Çözünürlük	0.1 hPa
Çalışma gerilimi	10 - 30 V DC ve 4 mA
Çalışma aralığı	-40 °C ... + 60 °C
Koruma	IP 30 / IP 65
Ağırlık	0.130 kg
Boyutlar	97 mm (yükseklik) 28 mm (kalınlık) ve 68 mm (en)
Çıkış sinyal aralığı	0..5 V DC

4.5 Sensörlerin Kalibrasyonu

Rüzgar enerjisi yatırımlarında rüzgar hızının doğru bir şekilde yapılması hayati öneme sahiptir. Bu ölçümler denizüstünde yapıldığından dolayı, güvenilir sonuçlar için kalibrasyonlu anemometre kullanılmalıdır.

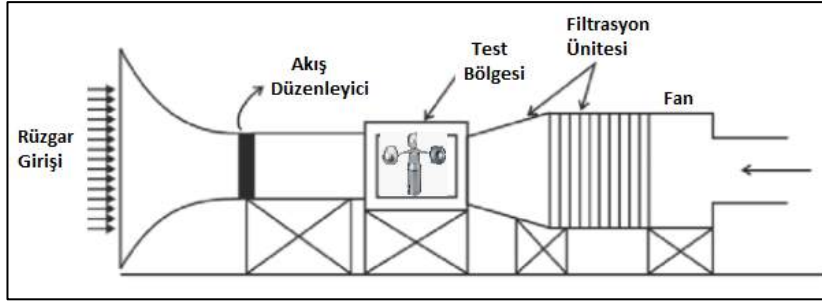
4.5.1 Anemometre Kalibrasyonu İçin Gerekli Şartlar

Anemometre kalibrasyonu için aşağıdaki malzemelerin kullanılması zorunludur:

1. Rüzgar tüneli,
2. Kullanılan bütün ölçüm cihazlarının kalibrasyonlarının olması,
3. ISO 3966 standartlarına uygun pitot tüpleri,
4. Her kalibrasyon öncesi kullanılan bütün cihazların hazırlanarak bunun için ilgili enstitüde kullanılan referans anemometre ile test edilmesi,
5. Akış kalite ölçümünün yapılması,
6. Kalibrasyonun birkaç kez denenmesi.

Rüzgar tüneli yukarıda sayılan maddeler arasında en önemli olanıdır. Şekil 4.23, rüzgar tünelinin resmini göstermektedir. Anemometre şekilde görülen test kısmına konarak testi yapılır. Doğru bir anemometre kalibrasyonu yapabilmek için rüzgar tünelinde aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır:

1. Anemometre rüzgar tüneli içindeki akış alanından fazla etkilenmemelidir,
2. Ölçümler boyunca anemometre rüzgar tüneli blokajı veya sınır etkilerine maruz kalmamalıdır. Blokaj oranı, anemometre rüzgar cephe alanının toplam test alanına oran olarak tanımlanır. Açık test alanında 0.1; kapalı test alanında da 0.05'i geçmemesi gerekir,
3. Anemometre önündeki akış uniform olmalıdır. Akış uniformluğu anemometre kalibrasyona başlamadan önce sağlanmalıdır.



Şekil 4.23. Basit olarak rüzgar tüneli.

Akışın uniformluğu hızla duyarlı sensörler olan pitot tüpleri, Laser Doppler hızölçer ve hız profillerinin yatay ve dikey yönlerinden bulunabilir. Kepçe anemometreler, yatay rüzgar gradyanlarına karşı çok hassastır. Bu yüzden yatay rüzgar gradyanı iki adet pitot tüpü ile test edilmelidir. Uniform akış değeri %0.2 olmalıdır. Anemometrenin eksenini boyunca türbülans yoğunluğu %2'den aşağı olmalıdır. Rüzgar tüneline test her bir anemometre için 5 kez yapılmalıdır. Kalibrasyon ortalama olarak 10 m/s'de %1'lik hatayı geçmemelidir.

Kalibrasyona Başlama

Veri toplama sistemi 10 m/s aralıklarla ve 50 bitlik bir sistemden oluşmalıdır. Kalibrasyon boyunca anemometrenin akış bozulmalarından (flow distortion) etkilenmemesi için tüpün en üst kısmına monte edilir. Pitot tüpü, rüzgar tüneline test kesitine dik olarak yerleştirilir ve sapma 1° yi geçmemelidir. Anemometre test kesitine mümkün olabilecek en dik şekilde yerleştirilmelidir.

4.5.2 Kalibrasyon Prosedürü

Anemometre kalibrasyonuna başlamadan 5 dakika önce çalıştırılmaya başlanmalıdır. Kalibrasyon 4 - 16 m/s arasında 1 m/s aralıklarla kalibre edilmelidir. Örnekleme frekansı, en az 30 sn arasında ve 1 Hz frekansında olmalıdır. Zaman aralığı düşük çözünürlüklü anemometrelerde artırılabilir. Ortalama hava yoğunluğu ρ , aşağıdaki formülle bulunur:

$$\rho = \frac{1}{T} \left[\frac{B}{R_0} + \phi P_w \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) \right]$$

Formülde kullanılan;

B: barometrik basınç (Pa),

T: mutlak sıcaklık (°K),

R_0 : kuru havanın gaz sabiti (287.05 J/kgK),

R_w : su buharının gaz sabiti (461.5 J/kgK),

P_w : buhar basıncı,

P_w : 0.000205 exp(0.0631846 T)

Anemometredeki ortalama akış hızı, ortalama basınç diferansiyeli ΔP_{ref} hesaplanarak aşağıdaki eşitlikle bulunur:

$$\bar{v} = k_b \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{2k_c}{c_h} - \frac{\Delta P_{ref,i}}{\rho}}$$

formülde kullanılan;

c_h : Pitot tüpü düşü katsayısı (head coefficient),

k_c : rüzgar tüneli kalibrasyon faktörü,

k_b : blokaj düzeltme faktörü,

n: örnekleme aralığındaki veri sayısı,

R_A : kuru havanın bağımsız (individual) gaz sabiti (287.05 J/kgK),

Blokaj düzeltme faktörü, genellikle Maskell Teoremi kullanılarak bulunur. Bununla beraber, genellikle kapalı rüzgar tünellerinde 1/4, açık rüzgar tünellerinde ise, 1/6 olarak alınmaktadır.

4.5.3 Rüzgar Ölçümlerindeki Hata Payı (Belirsizlik)

RES kurulum amacı için yapılan ölçümler, bazı hataları içermektedir. Ayrıca ölçümlerin değerlendirilmesi sırasında da bazı hatalar oluşabilmektedir. Bu hata kaynakları:

- Arazi içerisinde ölçüm direğinin yanlış seçimi,

- Yanlış ölçüm sistemi seçimi,
- Ölçüm direğinin yanlış montajı,
- Anemometre yan kol montajı,
- Anemometre kalibrasyonu,
- Anemometre operasyonel karakteristikleri,
- Veri değerlendirme (istatistiki yöntemler vb),

olarak verilebilir. Yukarıda sayılan hata faktörleri, rüzgar ölçümlerinin kalitesi ve dolayısıyla da RES'in yıllık elektrik üretimi üzerinde bazı belirsizliklerin veya hataların oluşmasına neden olmaktadır. Bu hata payları tamamı ile giderilemez, ancak belirli bir hata payı bırakılarak minimize edilebilir. Konu ile ilgili birçok istatistiki yöntemler bulunmaktadır ve bu kısımda bunlardan bir tanesi anlatılacaktır. Rüzgar ölçümleri yapıldığı zaman birbirinden bağımsız hata kaynaklarını hesaplamalara dahil edebilmek için $u^2(v)$ terimi tanımlanabilir ve aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

$$u(\bar{v}) = \sqrt{S_B^2(\bar{v}) + S_A^2(\bar{v})}$$

eşitlikteki 2 parametre,

S_A : A tip belirsizlik

S_B : B tip belirsizlik

olarak adlandırılır ve her iki belirsizlik teriminin toplamından ortaya çıkan belirsizlik, % olarak aşağıdaki terimle ifade edilir:

$$\sigma_E = \frac{\varepsilon}{\sqrt{3}} x_{ort}$$

A tip belirsizlik, ölçülen rüzgar verisinin istatistiksel değerlendirme yaparken oluşacak hatalardan meydana gelen hata terimidir. Genellikle hesaplamaları yapan kişinin dikkat etmesi ile bertaraf edilebilir. Çoğunlukla da sıfır alınır.

B tip belirsizlik ise, anemometre kalibrasyonu, ölçüm cihazlarının işletme karakteristikleri, cihazın (anemometre) yan kol montajı, ölçüm direğinin montajı, rüzgar akışındaki belirsizlik ve veri toplama sisteminin hata payından oluşmaktadır ve aşağıdaki eşitlikte verilmektedir:

$$S_{BV} = \sqrt{u_{v1}^2 + u_{v2}^2 + u_{v3}^2 + u_{v4}^2 + u_{v5}^2 + u_{v6}^2}$$

Eşitlikteki u_{v1} , u_{v2} , u_{v3} , u_{v4} , u_{v5} ve u_{v6} , aşağıdaki Tablo 4.10 ile verilmiştir.

Tablo 4.10. Rüzgar ölçümlerindeki hata kaynakları.

Hatanın Kaynağı	Değer	Kabuller
u_{v1} (Anemometre kalibrasyonu belirsizliği)	$u_{v1} = u(U) = 0.10 \text{ m/s}$	Bu değer, ortalama olarak alınmaktadır.
u_{v2} (Anemometre operasyonel karakteristikleri)	$u_{v2} = \frac{0.005\bar{U}}{\sqrt{3}}$	Tipik olarak ölçümün %0.5'i alınır.
u_{v3} (Ölçüm direği montaj hatası)	$u_{v3} = 0$	Ölçüm direğinin hatasız bir şekilde monte edilmiştir.
u_{v4} (Rüzgar akışındaki belirsizlik)	$u_{v4} = \frac{0.005\bar{U}}{\sqrt{3}}$	Ölçümlerin %0.5'i alınır.
u_{v5} (Anemometre yan kol montaj belirsizliği)	$u_{v5} = 0$	Yan kol montajının hatasız olduğu varsayılmıştır.
u_{v6} (Ölçüm kayıt sistemindeki belirsizlik)	$u_{v6} = \frac{0.5\partial u / \partial f}{\sqrt{3}}$	

Yukarıdaki tabloda verilen bilgiler ışığında 30 m yükseklikte yapılan rüzgar ölçümleri sonucunda yıllık ortalama 7.7 m/s rüzgar hızına sahip bir bölgedeki toplam hata payı (belirsizlik),

$$\begin{aligned}
S_{BV} &= \sqrt{u_{v1}^2 + u_{v2}^2 + u_{v3}^2 + u_{v4}^2 + u_{v5}^2 + u_{v6}^2} \\
&= \sqrt{0.10^2 + \left(\frac{0.005 \times 7.7 \text{ m/s}}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0.0 + \left(\frac{0.005 \times 7.7 \text{ m/s}}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0.0 + \left(\frac{0.5 \times 0.75}{\sqrt{3}}\right)^2}
\end{aligned}$$

$$= 0.241 \text{ m/s}$$

Toplam hata payı (belirsizlik)

$$u(\bar{v}) = \sqrt{S_B^2(\bar{v}) + S_A^2(\bar{v})} = \sqrt{0.0 + 0.241^2} = 0.241 \text{ m/s}$$

%95 emniyet seviyesi (confidence level) ve coverage factor 2 alınır, 7.7 m/s ortalama hız ve 30 m yükseklikte yapılan rüzgar ölçüm direğinde hata,

$$\varepsilon_{95} = 2u = 2 \times 0.241 = 0.482 \text{ m/s}$$

0.482 m/s'lik hata payı, 7.7 m/s'lik rüzgar ölçümünün %6.3'üne eşittir. Yani, yapılan ölçümlerdeki hata payı %6.3'tür.

Denizüstünde rüzgar hızları karaya göre çok daha kuvvetli olduğundan ve dalga, denizaltı su akıntıları gibi nedenlerle rüzgar ölçüm sistemlerindeki yorulma (fatigue) karasal ölçüm sistemlerine göre çok fazladır. Denizüstünde kullanılan meteorolojik sensörler, karaüstünde kullanılanlardan bazı farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar aşağıda belirtilmiştir:

- Isıtmalı sensör kullanımı
- Sonik sensörler kullanımı
- Korozyona, nem ve deniz tuzuna karşı daha dayanıklı

sensörler olması gerekmektedir. Bu amaçla World Meteorological Organization sınıflandırmasına göre Secondary Standard meteorolojik sensörler kullanılmaktadır.

4.6 Almanya'da Yapılan Denizüstü Rüzgar Ölçümleri

Denizüstü rüzgar ölçümleri, genellikle 100-150 metre yüksekliğe kadar yapılabilir. Denizüstü RT'lerin boylarının karaüstünde kullanılanlara oranla daha uzun olması sebebi ile bu yüksekliklere çıkılabilmektedir. Konu ile ilgili en güzel çalışma 2003 yılında Kuzey Denizi ve Baltık Denizde yapılan FINO (Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee) denizüstü meteorolojik ölçümleri örnek verilecektir. 3 adet (FINO1, FINO2 ve FINO3) denizüstü ölçümleri yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda bu ölçüm sistemlerine ait genel bilgiler görülmektedir. Bu projelerin amacı sadece denizüstü rüzgar ölçümleri değil; aynı zamanda da denizüstü ekosisteminin öğrenilmesidir. Bunlara ek olarak civar biyolojik yapısı da incelenmiştir.

Tablo 4.11. FINO denizüstü ölçüm sistemleri genel özellikler.

Sistem Adı	Montaj Yılı	Direk Geometrisi	Yükeklilik (m)	Deniz Derinliği (m)	Kıyıya Uzaklık (km)	Platform Boyutu
FINO 1 Kuzey Denizi	2003	Kare	101	28	45	16x16 m
FINO 2 Baltık Denizi	2007	Kare	101	24	31	12x12 m
FINO 3 Kuzey Denizi	2009	Üçgen	120	23	80	13x13 m

Aşağıdaki Şekilde üç denizüstü meteorolojik istasyonun konumu görülmektedir.

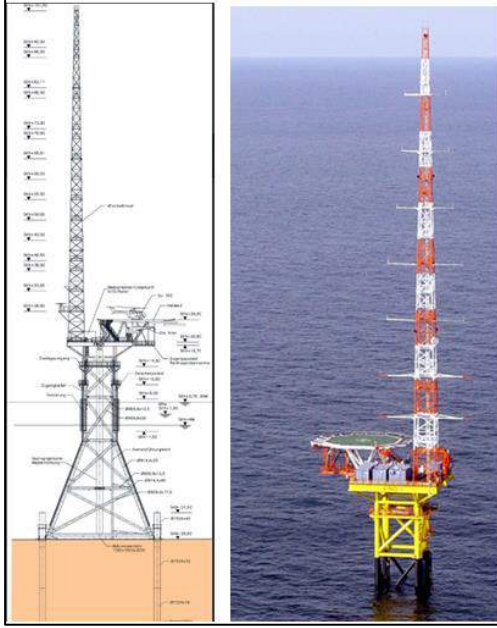


Şekil 4.24. FINO denizüstü meteorolojik sistemleri.

İlerleyen sayfalarda bu denizüstü meteorolojik sistemleri anlatılacaktır.

4.6.1 FINO 1 Denizüstü Meteoroloji Ölçüm Sistemi

Kuzey denizindeki en eski denizüstü meteoroloji istasyonu olan FINO 2003 yılından bu yana çalışmaktadır. Direk geometrisi kare olup 101 metre uzunluğa sahiptir.



Şekil 4.25. FINO 1 denizüstü meteoroloji istasyonu.

Direk üzerindeki ekipman listesi aşağıda özetlenmiştir. Platform, araştırma ve üniversite enstitülerinden kapsamlı ölçüm cihazları ile donatılmıştır. Ölçüm cihazları, yaşam / çalışma alanları (acil durum barınma), akümülatörlü dizel jeneratör ve radar donanımları dört ayrı kapta toplanır. Toprak örneklerinin çıkarılması için bir vinç kullanılır. Su altı görüntülerinin kaydedilmesi için bir kamera sistemi su altında düzenlenmiştir.

Vinç

- 5 yonluk denizüstü vinç
- Montaj yüksekliği 33 m

Konteyner

- Acil durum malzemeleri
- Radar
- Yedek ölçüm sensörleri
- Dizel jeneratör
- Dizel yakıt tankı (10 000 litre kapasite)
- Yağ tankı (100-litre kapasite)
- Denizsuyu pompası

Elektronik Ekipman

- Güç kaynağı
- 20 kVA / 16 kW sürekli kaynak
- 100 kVA / 80 kW sürekli kaynak
- Yıldırım koruma sistemi

Emniyet Ekipmanı

- Yangın koruma sistemi
- Yangın söndürme ekipmanı, yangın koruma battaniyesi
- Optik ve akustik alarm
- Sal sistemi
- Acil durum Salı

- 4'er adet yaşam ünitesi, can yeleği
- İlkyardım ekipmanı

Tasarım

Platformun inşası için - toprak analizlerinin sonuçları dikkate alınarak temel için çeşitli seçenekler analiz edilmiştir. Su derinliği ve yapının bir bütün olarak minimum olası sapması hedefi ışığında kafes yapısı tercih edilmiştir. Platform inşaatının çeşitli alanları için temel teknik veriler aşağıda verilmiştir.

Temel

- 1.5 m çaplı 4 kazıklı,
- Kazık kalınlığı 18 mm / 40 mm
- Kazık uzunluğu 38 m ve ağırlığı 37 ton
- Katodik korozyon koruma

Platform

- Kaynaklı çelik konstrüksiyon
- Boyutları 16 x 16 m

Meteoroloj İstasyonu

- Çelik konstrüksiyon kule
- Denizden yükseklik 101 m; kulenin temel ile birlikte yüksekliği 121 m
- Dikey merdiven
- Dinlenme platformları
- Yıldırım koruma

FINO1 platformu, sürekli çalışan personel ile işletilmemektedir. Platform karadan merkezi olarak izlenmektedir. Platforma gemi veya helikopter ile erişilebilir. Platformda, kötü hava koşullarında bile platforma erişmek için mümkün olan maksimum zaman aralığının sağlanması için bir helikopter pisti bulunmaktadır.

Helikopter Pisti

- Çelik kaynak konstrüksiyon
- Platformdan 5 m yukarıda

Dalga ve Akıntı Koşulları

FINO 1 platformu, "100 yıl dalga" prensibine dayanarak, 17 metre dalga yüksekliğine göre tasarlanmıştır. Bu tasarıma göre, 17 metre yüksekliğe sahip bir dalga sadece bu yerde her 100 yılda bir meydana gelecektir. Platform güvertesi ve alt üstyapının deniz tabanından yüksekliği, 100 yıllık dalga prensibine göre belirlenmiştir. FINO 1 platformunun 2003 yılında hizmete girmesinden bu yana 17 metre yüksekliğinde bir dalga gözlemlenmemiştir. 1 Kasım 2006'da, siklon "Britta", Kuzey Denizi'nin güney bölgesini ulaştığında FINO 1 platformunda, önemli dalga boyu 9.77 metre olarak ölçülmüştür. Buna göre, bu dalganın maksimum yüksekliği 16 metre kadardı. Bu dalga, FINO 1 platformunun alt yoluna büyük hasar vermiş ve pahalı bir onarım süreci gerektirmiştir.



Şekil 4.26. Siklon Britta hasarı.

9 Kasım 2007'de, dalga yüksekliği 10,5 metre ölçülmüştür (siklon "Tilo") ve platformun alt kısmı hasar görmüştür.



Şekil 4.27. 4 Ekim 2009 tarihli dalgalar.

Akıntı Koşulları

FINO1 platformunun 2003 yazında devreye alınmasından bu yana, su akımları ve akış yönleri ölçülmüştür. Bu işlemle 1.5 m/s ye kadar debiler kaydedilmiştir.

Buzlanma ve Buz Oluşumu

Olağanüstü buzlu kışlarda bile, Borkum Riffgrund sahası buz sınırının dışında kalıyor. Bununla birlikte, buz parçalarıyla karşılaşılabilir. Bununla birlikte, buz fragmanları ile bağlantılı platformun altyapısı üzerindeki buzun basıncı, bu altyapının boyutlandırılması için kritik değildir. Platformun tüm ekipmanı (rüzgar ölçüm direği, vb.) ile birlikte, su hattı üzerindeki tüm yüzeylere yüzey yükü olarak uygulanan 3 cm kalınlığındaki buz katmanına karşılık gelen ek bir yük sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. Bu amaç için spesifik bir buz yoğunluğu = 700 kg / m³ olduğu varsayılmıştır.

Rüzgar Koşulları

Ocak 2014'ten bu yana yapılan ölçümlerde 103 metre yükseklikte 9.9 m/s ortalama rüzgar şiddeti değeri kaydedilmiştir. Hakim rüzgar yönü ise güney batıdır.

Meteoroloji

Temel bir çevresel veri bilgisi, yalnızca rüzgar türbinlerinin tasarımı için değil, aynı zamanda kurulum ekipmanlarının seçimi ve benimsenmesi gereken çalışma koşulları için de önem arz etmektedir. Dahası, tüm maliyet etkinliği hesaplamaları, kanıtlanmış rüzgar istatistiklerinin yokluğunda özel olarak belirlenemeyen verim tahminlerine dayanmaktadır. Buna göre, ölçüm platformu üzerinde aşağıdakileri içeren bir dizi meteorolojik değişken kaydedilmiştir:

- Rüzgar şiddeti ve yönü
- Hava sıcaklığı ve nemi
- Basınç
- Yoğunluk
- Yağış
- Toplam radyasyon
- Görüş
- Yıldırım gözlemi

Meteorolojik değişkenlerin ölçümü için, platformda 80 m yükseklikte bir rüzgar ölçüm direği bulunmakta ve maksimum ölçüm yüksekliği 103 m dir. Meteorolojik parametreler, ölçüm direğine ve platformun kafes yapısına çeşitli yüksekliklerde yan kol üzerine takılan sensörlerle yapılmaktadır. Teknik araştırmaların amacı, alt atmosferik sınır tabakasındaki meteorolojik koşulların doğru kaydedilerek anlaşılmasının sağlanmasıdır. Platform dinamiğinin kaydedilmesi için kapsamlı sensör teknolojisi, temel yapıya bağlı olarak dalga ve rüzgar kuvvetlerinin karşılıklı etkilerinin analizini sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar, incelenen deniz alanı için veri kayıtlarının iyileştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Verilerin değerlendirilmesi ve uygulanması, denizüstü rüzgar santrallerinin tasarım, yapım ve işletimindeki mevcut risklerin azaltılmasını sağlayacaktır. Buna göre, hem üreticiler hem de yatırımcılar, tesislerin inşası veya maliyet etkinliğinin değerlendirilmesi açısından daha fazla güvenceye sahip olacaklardır. Platformdan gelen meteorolojik ölçümler, hava tahminlerinin iyileştirilmesi için çeşitli akademik çalışmalarda kullanılmaktadır.

Hidrografya

Oşinografik verilerin toplanması, FINO 1'in hemen yakınında ve civarında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm konsepti, kaydedilen dalga yüksekliği, periyodu ve yönü ile 200 m mesafede bir deniz şamandırası içerir. Deniz altında akustik bir akış ölçer (AWAC), su seviyesi ve farklı su derinliklerinde hız ve yön gibi hava folyosunu kaydetmeye yarar. Bir ölçüm zinciri kullanarak, su sıcaklığı, oksijen içeriği ve tuzluluk gibi çeşitli hidrolojik parametreler ölçülür. Hidrolojik ölçümler, yapılacak olan açık deniz rüzgar türbinlerinin çalışabileceği akıntı ve dalga kaynaklı yükler hakkında bilgi sağlar. Ayrıca kurulum ve işletimde kullanılacak yüzer ekipman seçiminde anahtar göstergelerdir. Ölçülen veriler aynı zamanda Alman Bight'taki hidrografik koşullar hakkında ek bilgi sağlayacaktır.

Buna göre, bu proje ayrıca aşağıdakiler de dahil olmak üzere platformdaki çeşitli hidrolojik parametrelerin ölçümünü içerir:

- Su seviyesi
- Akıntı (farklı derinliklerde şiddet ve yön ölçümü)
- Deniz koşulları (dalga yüksekliği, dalga boyu, dalga yönü)
- Su sıcaklığı
- Oksijen miktarı
- Tuz miktarı

Hidrografya ölçümlerindeki temel amaç, açık deniz bölgesi için mümkün olan en fazla sayıda temsili sonucun belgelendirilmesine izin vermek için ölçülen değişkenler için zaman serilerinin mümkün olan en kapsamlı şekilde kaydedilmesi ve saklanmasıdır. Açık deniz rüzgar gücüne faydalarına ek olarak, bu veriler aynı zamanda fiziksel atmosfer ve oşinografik modellerin geliştirilmesine izin verecek ve deniz ortamının izlenmesine yardımcı olmaktadır.

Deniz Durumu

Alman Federal Hidroloji Enstitüsü (Bundesanstalt für Gewässerkunde - BfG), Hidrometri ve Hidrolojik Değerlendirme Bölümü, su seviyesini, deniz durumunu ve denizin akış yönünü belirlemek için işlevsel olarak kullanmaktadır. Sistem az bakım gerektirecek şekilde geliştirmiştir ve araştırma platformu ile su yüzeyi arasındaki mesafeyi ölçen dört radardan oluşmaktadır. Sistem 2013'ten bu yana kullanılmaktadır. Radar sensörü, farklı deniz durumu parametrelerini (su seviyesi, dalga periyodu, önemli dalga yüksekliği vb.) belirlemek için ölçüm noktasında su yüzeyinin çok doğru ve hızlı bir şekilde örneklenmesini sağlar. Temassız ölçüm prensibinden ötürü, sistem özellikle deniz kenarı bitki örtüsü ile yapılan ölçümlerin etkisi veya dokunma sistemlerinden farklı olarak dalga etkisi nedeniyle ölçüm sistemine zarar vermemesi nedeniyle kıyı ve açık deniz bölgelerinde operasyonel kullanım için uygundur. Deniz durumu ölçüm sistemini diğer üç radar sensörüyle bir diziye genişleterek, denizin yönünü belirlemek için de kullanılmaktadır. Böylece yön bilgisi dört pozisyon veri serisinde aynı anda ölçülen kombinasyonundan elde edilir. Bunlara özellikle kıyı yapılarının tasarımında ve deniz aşırı çalışmaların planlanması için ihtiyaç duyulmaktadır.

Gama Radyasyon Ölçümü

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) radyoaktif radyasyon ölçümü yapmaktadır. Çevresel radyoaktiviteyi sürekli olarak izlemek ve kaza durumunda çevrenin radyoaktif kirlenmesini hızlı bir şekilde kaydetmek ve beklenen radyasyon değerlendirmek için bu ölçümler yapılmaktadır. Sonuçlar, Federal Çevre, Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı'nın (BMU) yıllık raporunda, "Çevresel Radyoaktivite ve Radyasyon" raporunda yayınlanmakta ve teknik olarak değerlendirilmektedir. Bir kaza varsa, ölçülen sonuçlar, insanların sağlığı ve çevrenin korunmasına yönelik olarak karar vermede temel oluşturur.

Çevresel Gürültü Ölçümü

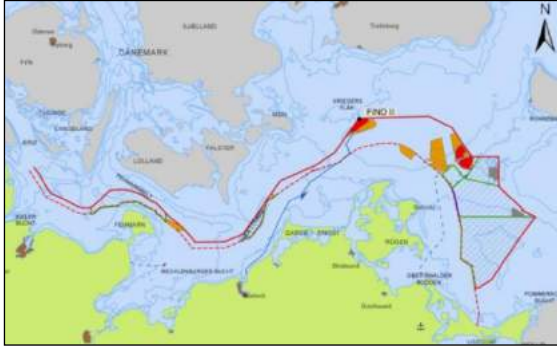
Bu ölçümlerin amacı, Kuzey Denizi'nde operasyonel bir ortak çevresel gürültü izleme programı için bir çerçeve geliştirmektir. Çıktı, yöneticilerin, planlamacıların ve diğer paydaşların, çevresel gürültünün etkisini Kuzey Denizi'nin çevresel durumunu değerlendirmelerine entegre etmek ve çevreyi iyileştirmeye yönelik önlemleri değerlendirecekleri bir altyapı oluşturacaktır. Gürültü kaynakları, dalgalar, hava durumu, hayvanlar ve insan kaynaklı (antropojenik) nakliye ve inşaat tarafından üretilebilir. Antropojenik su altı gürültüsünün hassas deniz faunası üzerindeki olası olumsuz etkileri de incelenmektedir.

Kuş Göç İzlemesi

FINO 1 platformunda kuş gözlemleri de yapılmaktadır.

4.6.2 FINO 2 Denizüstü Meteoroloji Ölçüm Sistemi

FINO 2, kıyıya 33 km uzaklıkta Rügen adasının kuzeyinde monte edilmiştir.



Şekil 4.28. FINO 2 ölçüm istasyonu lokasyonu.

Deniz Tabanı Jeolojik Araştırması

FINO 2 deniz tabanı jeolojisinin araştırılması amacı ile 2003 yılında çalışmalara başlanmıştır. Deniz tabanının 35 m derinine kadar jeolojik sondaj yapılmıştır.

Rüzgar Yüğü Tasarım Koşulları

FINO 2 platformu, aşağıdaki rüzgar koşullarına göre tasarlanmıştır.

Tablo 4.12. FINO 2 rüzgar yük tasarımı.

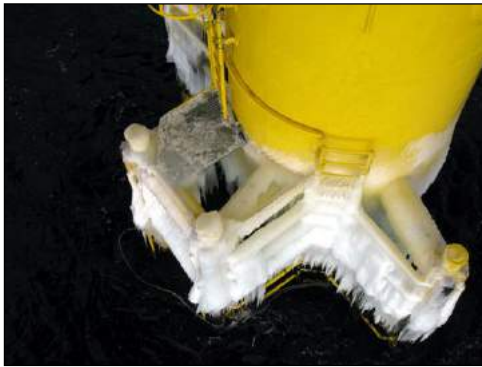
Süre	1 Yıl (m/s)	10 Yıl (m/s)	20 Yıl (m/s)	50 Yıl (m/s)	100 Yıl (m/s)
1 saatlik ort.	25.5	30.1	31.2	32.5	33.5
10 dk ort.	29.1	33.1	34.3	35.8	36.8
1 dk ort.	31.2	35.5	36.8	38.4	39.6
3 sn ort.	36.3	41.5	43.0	44.9	46.4
1 sn ort.	38.2	43.6	45.3	47.3	48.8

Dalga Yüksekliği

Platformun 50 yıllık maksimum dalga yüksekliği $H_{max} = 12.00$ m ve 9.0 saniye olarak tasarlanmıştır.

Buzlanma ve Buz Hareketi

Baltık Denizi'ndeki buz koşulları için yatay ve dikey buz yükleri yaklaşımı, DNV-OS-J101: E 505, API RP 2N ve "Offshore Rüzgar türbinlerinin Teknik Onayı İçin Tavsiye Kararı, Aralık 2001" e göre yapılmıştır. Kalınlık ve basınç dayanımı konusundaki yerel kılavuz değerleri buradan alınmıştır. Buzlanma durumunda, tüm parçalar için çevresel olarak yığılmanın platformun ve ölçüm direğinin yapısının deniz seviyesinden 20 m yüksekliğe kadar olan yapılarında 10 cm kalınlığında bir buz birikimi göz önünde bulundurularak projelendirilmiştir. Deniz seviyesinden 20 m yukarıda, buzun kalınlığı direk yapısı ve tüm bileşenler için çevresel olarak 3 cm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.29. FINO 2 ölçüm istasyonu buzlanma.

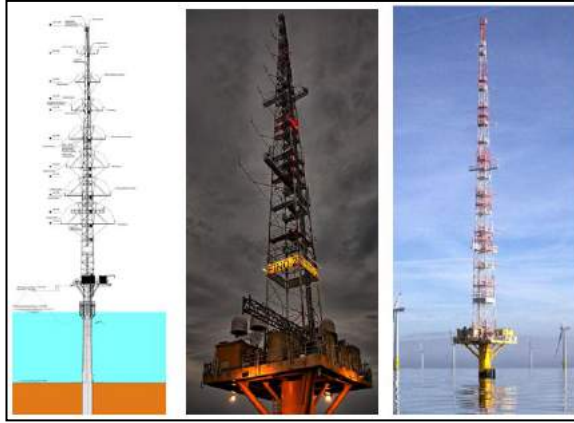
Seçilen meteorolojik ve hidrolojik parametrelerin ölçülmesi ve değerlendirilmesi Rügen adasının

yaklaşık 33 km kuzeyindeki “Kriegers Flak” sahasındaki FINO 2 platformunun temel amacıdır. Ölçümlerin ana kısmı 100m direkte gerçekleştirilir. Aşağıdaki tabloda ölçümü yapılan meteorolojik değişkenler ve ölçümün yapıldığı yükseklik görülmektedir.

Tablo 4.13. FINO 2 ölçüm sensörleri ve yükseklikler.

Ölçüm Yüksekliği (m)	Ölçülen Meteorolojik Değişken	Kullanılan Sensör
102.5 - 92.4 - 82.4 - 72.4 62.4 - 52.4 - 42.4 - 32.4	Rüzgar şiddeti	Kepçe (cup) Anemometer
82.1 - 62.1 - 42.1	Rüzgar şiddeti	Ultrasonik anemometer
91,8 - 71,8 - 51,8 - 31,8	Rüzgar yönü	Yön sensörü
99,3 - 70,3 - 50,3 40,3 - 30,3	Sıcaklık	Sensör
99,3 - 50,3 - 30,3	Nem	Higrometre
90,8 - 60,3	Yağış	Optik yağış sensörü
90,8 - 30,8	Hava basıncı	Barometre
60,3	Global radyasyon	Pyranometre

Şekil ile FINO 2 meteoroloji istasyonuna ait fotolar görülmektedir.



Şekil 4.30. FINO 2 meteoroloji istasyonu.

Ağustos 2007 – Şubat 2011 arasındaki dönemi kapsayan süre için bazı özet bilgiler Tablo ile verilmiştir.

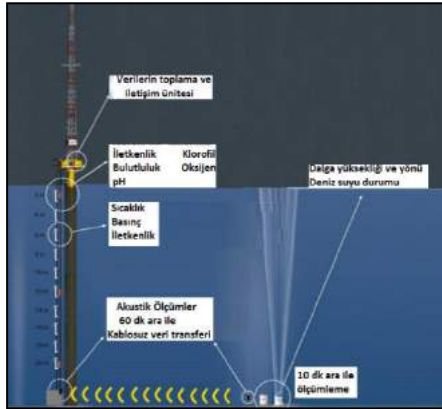
Tablo 4.14. FINO 2 ölçüm özet bilgileri.

Ortalama rüzgar şiddeti	10.0 m / s
Maksimum rüzgar şiddeti (10 dk)	29.5 m / s
Weibull A	11.4 m / s

Weibull B	2.50
Yıllık 4 -25 m/s arası esme saat toplamı	7835 s
Yıllık 0-4 m/s arası esme saat toplamı	918 s
Yıllık 25 m/s üstü esme saat toplamı	7 s

Oşinografik ve Hidrolojik Ölçümler

FINO 2 platformunda diğer FINO 1 ve FINO 3 platformlarında da olduğu gibi, oşinografik ve hidrografik ölçümler yapılmaktadır. Bu ölçümler, tuzluluk, oksijen profili, klorofil ve bulanıklık vb dağılımının yanı sıra deniz durumu ve DRES işletme açısından da önemlidir. Bu araştırmalar, çevre dostu bir nakliye, inşaat ve işletme koşullarının oluşturulmasında önem arz eder.



Şekil 4.31. FINO 2 meteoroloji istasyonu oşinografik ölçümler.

İletkenlik, Sıcaklık ve Basınç (İSB) Ölçümü

Denizaltında 10 farklı seviyede İSB sensörü ile donatılarak ölçümler alınmaktadır. Sistem kendi uzun vadeli akü beslemesine sahip olup önceden programlanmış otomatik olarak üç standart parametreyi iletkenlik, sıcaklık ve basınç değerlerini 10 dk ortalama ile hesaplayıp kaydetmektedir. Veriler depolanarak saatte bir gönderilmektedir.



Şekil 4.32. İSB sensörü.

Oksijen Ölçümü

Oksijen içeriğini belirlemek için, veri kaybının olmaması amacı için çift sensörle ölçümler yapılmaktadır.



Şekil 4.33. Oksijen sensörü.

Bulanıklık ve Klorofil Ölçümü

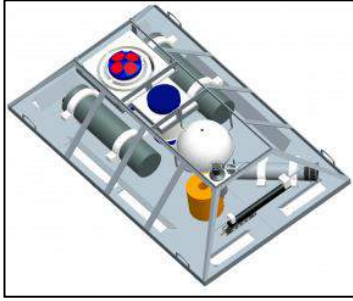
Ayrıca ana seviyelere entegre edilmiş, optik ölçüm yöntemleri yardımıyla bulanıklık ve klorofil floresansını tespit eden bakırdan yapılmış bir sensör kullanılmaktadır.



Şekil 4.34. Bulanıklık ölçüm sensörü.

Akış Ölçer ve Deniz Durum Bilgisayarı

Akış ve deniz durum ölçümleri platformdan bağımsız yapılmaktadır. Deniz suyu kolonunun tamamı boyunca 1 m aralıklarla yüksek çözünürlüklü ölçümler yapılır ve saat başı deniz seviyesi ölçümlerinin yanı sıra her 10 dakikada bir hava akımı ölçümleri içerir. Bu ölçümler platformun hemen yakınında yapılamaz, çünkü platformun ölçümlere etkisi olabilir.



Şekil 4.35. Akış ölçer.

FINO 2 Platformu Ekolojik Ölçümler

Kuş gözlemi ve deniz ekosistemi ile ilgili ölçümler yapılmaktadır. Kuşların üreme ve kışı geçirme arasındaki göçleri sırasında milyonlarca kuş her yıl güneybatı Baltık Denizi'ni geçmektedir. FINO 2'de, DRES'lerin bu göçler ve 2007'deki temel mekanizmalara etkilerini araştırılmaktadır. Sadece gündüz saatlerinde, DRES'ler kuşları etkileyebilir, engel olarak hareket edebilir veya düşük görünürlük koşullarında (sis) çarpışma riskini arttırabilmektedir. Bu amaçla aşağıdaki sistemler kurulmuştur.

Düşey Dönen Gemi Gözlem Radarı

Kuzey denizinde açık deniz planlama bağlamında dikey olarak dönen gemi gözetleme radarları, yoğunluğu, mevsimsel oluşumları (fenolojik) ve göç eden kuşların uçuş yüksekliğini kaydetmek için standart araçlar olarak bu radar kullanılmaktadır. 2007 yılında FINO 2'de 35 metreye kadar 25 W çıkışlı, 2011 yılına kadar faaliyet gösteren bir gemi gözetleme radarı kurulmuştur. 2011 yılında, gemi gözetleme radarı bu amaç için özel olarak geliştirilen sabit ışınlı bir radar ile değiştirilmiştir.



Şekil 4.36. Düşey dönen gemi gözlem radarı.

Sabit Işın Radarı

Dikey dönen gemi gözetleme radarlarının iki dezavantajı vardır: kuşlar ve diğer canlılar (örneğin böcekler) arasında ayırım yapabilmeye yetenekleri sınırlıdır ve geniş radar ışınlarının rüzgar türbinlerinden

gelen güçlü rahatsızlık sinyallerine maruz kalması, kuşların çevrelerinde kuş göçü ile ilgili bazı bilgileri engelleyebilir. Bu tür problemlerin üstesinden gelmek için özel olarak geliştirilmiş bir sabit ışın radarı kullanılır. Geleneksel gemi radarının aksine, bu radar ham sinyalleri kaydeder ve daha odaklı bir radar ışını ile karakterize edilir. Ham sinyallerin kaydedilmesi, belirli kanat atışı paternlerinin tanımlanmasına ve bölgedeki kuş türleriyle ilgili bilgilerin elde edilmesine izin verir. Odaklanmış radar ışını daha fazla çalışma mesafesi sağlar ve rüzgar türbinleri çevresindeki göç oranlarının kaydedilmesini kolaylaştırır. Sabit ışınlı radar (BirdScan M1 modeli) İsviçre Ornitoloji Enstitüsü ile işbirliği içinde geliştirilmiştir.



Şekil 4.37. Sabit ışın radarı.

VARS Otomatik Kamera Sistemi

Ekim 2007'den bu yana FINO 2'nin direği çevresinde uçan kuşları (ve yarasalar) iki adet gelişmemiş kızılötesi kamera sistemi (VARS-Visual Automatic Recording System) ile kaydedilmeye başlanmıştır. Hem gündüz hem de gece, VARS hareketli nesneleri otomatik olarak algılar ve bu nesneleri kısa bir video akışı içine kaydeder. Sistemin geliştirilmesi, eski Alman Federal Çevre, Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz ve Reaktorsicherheit = BMU) tarafından finanse edilen bir araştırma projesine dayanmaktadır. Aydınlatılan açık deniz tesislerinde (FINO 2 gibi) kaç tane göçmen kuşun hangi sıklıkla ve hangi hava koşullarında çekildiğini belirlemek için sürekli kuş algılama çalışmaları yapılmaktadır. Çoğu durumda, kaydedilmiş kuşları tür düzeyinde veya en azından tür gruplarında tanımlanabilmektedir. VARS'ın FINO 2'deki açık deniz koşullarında birkaç yıl boyunca başarılı bir şekilde kullanılması, sistemi açık deniz rüzgar türbinlerine monte etmek için ön koşuldur.



Şekil 4.38. VARS Otomatik Kamera Sistemi.

Otomatik Radyo İzleme (Automatic radio-tracking)

Radyo etiketleme sayesinde, yoldan geçenler küçük ve orta mesafeler boyunca ayrı ayrı izlenebilir. Bunu yapmak için kuşlar, sinyalleri özel antenler ile otomatik olarak kaydedilen küçük radyo vericileri ile donatılmıştır.



Şekil 4.39. Otomatik radio izleme.

FINO 2 meteoroloji istasyonuna ait üretim ile ilgili bazı fotoğraflar aşağıdaki Şekilde görülmektedir.



Şekil 4.40. FINO 2 meteoroloji istasyonu üretim fotoları.

2007 yılında montajı yapılan Fino 2 meteoroloji istasyonuna ait bazı fotoğraflar aşağıdaki verilmiştir.

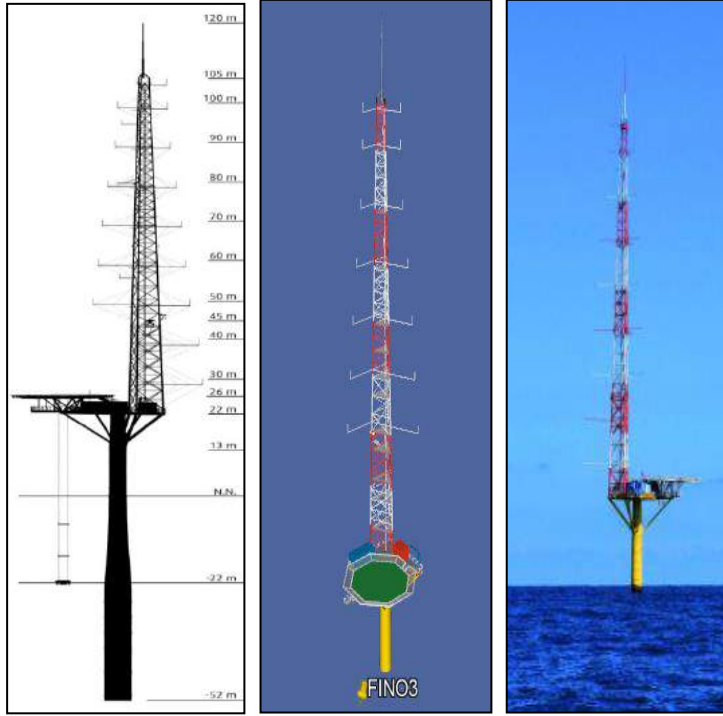


Şekil 4.41. FINO 2 meteoroloji istasyonu montaj fotoları.

4.6.3 FINO 3 Denizüstü Meteoroloji Ölçüm Sistemi

FINO 3 meteoroloji istasyonu en son montajı yapılan ölçüm sistemi olduğundan en detaylı ölçümler bu istasyon üzerinde yapılmaktadır. Almanya'nın Schleswig-Holstein eyaletinde FuE-Zentrum FH Kiel GmbH tarafından 2005 yılı sonunda başlatılan "Competence Center Offshore Wind Energy Utilization - North Sea Development Platform for Technology and Nature Conservation (FINO 3-NEPTUN)" projesi kapsamında FINO 3 Denizüstü Meteoroloji Ölçüm Sistemi çalışmalarına başlanmıştır. Bu çalışma, Schleswig-Holstein Ekonomi Bakanlığı, Avrupa Birliği, European Fund for Regional Development (ERDF) ve Almanya Çevre Bakanlığı tarafından fonlanarak bitirilmiştir. 2006 yılında

planlama başlanarak 2008 Mart ayında inşaatı başlanmıştır ve Ağustos 2009 tarihinde de işletmeye alınmıştır. FINO 3 projesi denizüstü ölçümlerin yanında; bilimsel çalışmalarda kullanılmak üzere de önemli miktarda veri toplamaktadır.



Şekil 4.42. FINO 3 denizüstü meteoroloji ölçüm istasyonu.

FINO 3, kuzey denizinde ve kıyından 80 km uzaklıkta montajı yapılmıştır. Sistemin güverte yüksekliği 22 metre olup, ölçüm sistemi 105 m dir. Ölçüm sisteminin toplam uzunluğu ise 172 m dir. Yan kol uzunlukları 3.1 – 8.8 m arasında değişmektedir güç tedarigi 3 adet jeneratör ile sağlanmakta olup haberleşme uydusu yoluyla yapılmaktadır. Helikopter alanı 5.3 ton olup; sistemin toplam ağırlığı 600 tondur. Bütün malzeme birbirine kaynak ile bağlanmıştır. Deniz seviyesinin üzerindeki platform, deniz dalga ve akıntılarından etkilenmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Platformun üzerinde 3 adet konteyner bulunmaktadır. Birinci konteyner dinlenme, ikinci konteyner acil durum barınağını, üçüncü konteyner dizel jeneratör setini ve dördüncü konteyner de, akü teçhizatlarını taşımaktadır. FINO 3 projesi kapsamında aşağıdaki ölçümler yapılmaktadır:

- Rüzgar ve meteorolojik değişken ölçümleri,
- Hidrografik (oşinografik) ölçümler,
- Deniz ekosistem değişken ölçümleri.

FINO 3'ün güvenilir bir şekilde çalışması, platformda gerçekleştirilen rüzgar enerjisi alanında bilimsel araştırma projelerinin sorunsuz bir şekilde yürütülmesi için planlanmıştır. FINO3'te toplanan ölçüm verileriyle, DRES ve teknolojilerinin optimizasyonu için önemli sonuçlar elde edilmiştir. Temel teknik amaç, araştırma platformunun insanlar ve çevre için güvenli bir şekilde çalışması ve aynı zamanda üzerinde yüksek kaliteli ölçüm kampanyaları yürütülmesi imkânını sağlamaktır. Sorunsuz çalışma, ekipmanın düzenli bakım ve testini, çalışma malzemelerinin tedarikini, bireysel bileşenlerin düzenli olarak gözden geçirilmesini ve onarımını, araştırma işlemlerinin organizasyonu, tüm ilgili makamlarla koordinasyon ve çeşitli bireysel görevleri içerir. FINO 3 meteoroloji istasyonu, meteorolojik, oşinografik ve ekolojik verilerin geliştirilmesine önemli katkı sağlamıştır.

Platformdaki güç kaynağı üç jeneratör tarafından sağlanmaktadır. Bunlar 230V ve 400V şebeke voltajları üretmektedir. Platformda veri iletimi için üç bağımsız uydu bağlantısı bulunmaktadır. Platformda yedekli bir veri toplama işlemi gerçekleştirilir. FINO 3 aşağıdaki ana bileşenlerden oluşur:

- Paratoner
- Üçgen tasarım kafes kule
- Helikopter pisti

- Oşinografik ölçümler için köprü
- Güverte ve iskele
- Platform köşeleri ve direğin taban noktaları için altı çapraz destek
- Tekil kazıklı temel yapısı, ankraj derinliği 30 m ve toplam uzunluğu 55 m

FINO 3'te kullanılan yardımcı ekipmanlar:

- 14 metre uzunluğa ve 5.3 tona kadar olan helikopterler için iniş pisti
- 1.0 ton kapasiteli vinç
- Enerji kaynağı konteyneri
- Tank ve atölye konteyner
- Depo amacı için konteyner
- Pilot dinlenme konteyneri
- 300 litre deniz suyu tankı
- 2.000 litre tatlı su tankı
- Suyu daldırılabilir hortumlu pompa
- Platformu aydınlatmak için lambalar ve spot ışıkları

FINO 3 teknik özellikler aşağıda Tablo ile verilmiştir.

Tablo 4.15. FINO 3 teknik özellikler.

Toplam sistem yüksekliği	172 m	Direk kenar uzunluğu	1.8 – 6 m
Platform yüksekliği	22 m	Yan kol uzunluğu	3.1 – 8.8 m
Su derinliği	22 m	Güverte boyutu	13 m x 13 m
Deniz tabanındaki temel derinliği	30 m	Helikopter pisti boyutu	14 m
Tekil kazık çapı	3.0 – 4.7m	Toplam ağırlık	600 t

Paratoner Sistemi

Yıldırımlar, DRES'lerde açıkta kalan türbinler için önemli bir tehdittir ve yıldırım düşmesi bazen rüzgar türbininin çalışmasını etkileyebilir. FINO 3 platformunda yıldırım araştırma projesi de yapılmaktadır. Bu projenin amacı, rüzgar türbin üreticilerine açık deniz amaçları için uygun yıldırımdan korunma önlemleri geliştirme konusunda yardımcı olmaktır.



Şekil 4.43. Paratoner sistemi.

Dalga Davranışı

Dalga ölçümü denizde meydana gelen büyük dalga davranışlarının anlaşılmasını amaçlamaktadır. Bu çalışmalar, Helmholtz-Zentrums Geesthacht (Malzeme ve Kıyı Araştırma Merkezi) bilim adamları tarafından geliştirilmiştir ve ilk kez FINO 3 araştırma platformunda test edilmektedir. Büyük dalgalar hakkında bilgi (özellikle kırıcılar-breakers) DRT inşaat, montaj ve işletme sırasında bilinmesi gereken konuların başında gelmektedir. Örneğin, büyük ve dik dalgaların DRT'yi nasıl etkilediği henüz tam

olarak bilinmemektedir. Bu rakamları elde etmek için, Helmholtz-Zentrum Geesthacht, FINO 3 kafes kulesinde deniz seviyesinden yaklaşık 50 m yukarıda bir Doppler radarı kullanmaktadır. Özellikle büyük dalgaların sıklığı ve dik dalgaların ürettiği kuvvet sadece araştırmacılar için değil aynı zamanda açık DRT veya petrol platformlarının işletmecileri için de ilgi çekicidir.



Şekil 4.44. Dalga ölçümü için Doppler radarı.

Kuş Göç Bilgisi

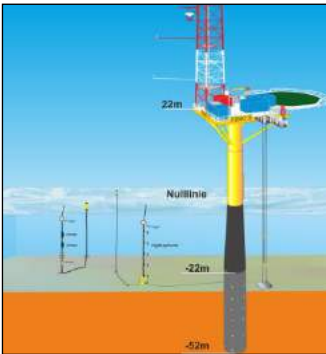
Proje süresince, kuşların uçuş hareketlerinin uzay-zaman dizileri ve Kuzey Denizi'nin Alman bölümünde günlük ve yıllık bazda türlere özgü göç yoğunluklarının değişkenliği hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmaktadır. Ölçümler, Ekim 2003'ten bu yana kısmen aynı anda FINO 1'de kullanılan karşılaştırılabilir uzaktan algılama yöntemleriyle gerçekleştirilir, böylece her iki denizden gelen konumlardan gelen veriler doğrudan karşılaştırılmaktadır.



Şekil 4.45. DRES sahasında görülen kuş göçü.

Akustik Alanı Tahmini

Amaç, FINO 3'teki akustik alanın yanı sıra DanTysk ve Sandbank24 açık DRES projelerinin inşası ve işletilmesinden ortaya çıkan olası değişikliklerin ölçülmesidir. Bunun için FINO3'ün yakınına su kafasının üstüne dağıtılmış birkaç hidrofon bulunan bir akustik ölçüm zinciri kurulmuştur. Bu, su altı gürültüsünün çevresel parametrelerle ve rüzgar çiftliğinin inşaat ve işletme parametreleriyle ilişkisini araştırmak için tasarlanmıştır. Araştırmalar, ses üretiminin ve dağıtımının çevreye bağlı değişkenliği ve ayrıca rüzgar çiftlikleri ile bağlantılı olarak ses basınçlarının tahmin edilebilirliği ile ilgili fiziksel sınırlar hakkında güvenilir iddialar yapılmasını sağlayacaktır.



Şekil 4.46. FINO 3 akustik ölçümleri.

Balık Hareketleri Gözlemi

Projenin amacı, balıkların biyotik ortamlarını izlemek için modern akustik ve optik teknikleri birleştiren bir su altı balık gözlem merkezinin geliştirilmesidir. Su altı balık gözlemi, güvenilir veri iletimi ve

COSYNA'ya (Kuzey ve Kutup Denizleri için Kıyı Gözlem Sistemi) bağlantı sağlayan FINO 3 platformundan yapılmaktadır.

Ses Basınç Seviyesi

Kuzey ve Baltık Denizi'ndeki DRT inşa ve montajı sırasında, su altında kayda değer ses basıncı seviyeleri üretilmekte olup deniz memelilerinin etkilenme seviyesi araştırılmaktadır. Bu projenin amacı, bölgeye ve zamana bağlı olarak ve zaman içinde birkaç inşaat projesinin olası örtüşmesini göz önünde bulundurarak, etkilenen tüm bölge için ses basıncı seviyesinin tahmin hesaplarını geliştirmektir.

Oyulma (Scour) Ölçümü

Bu ölçümler, DRES rüzgar türbinlerinin kurulması ve bu bağlamda önemli bir oyulma olgusuyla ilgilenmektedir. Her DRT'nin güvenli fakat aynı zamanda ekonomik temel tasarımına sahip olmalıdır. Bu tasarımda dikkat edilecek önemli hususlardan birisi, deniz tabanında meydana gelebilecek oyulmanın hesaba katılmasıdır. Oyulma, yapının etrafındaki akışla suyun altındaki tortunun süzülmesini ifade eder. Oyulma, açık deniz yapısının kurulmasını önemli ölçüde zayıflatır. Beklenen oyulma doğru olarak tahmin edilebilmelidir.

Dayanıklılık Analizi (Durability Analysis)

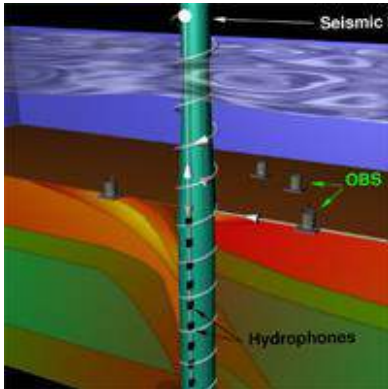
Açık deniz yapılarının boyutlandırılması ve tasarımı öncelikle kalıcı yüklere ve işletme yüklerine göre projelendirilir. Rüzgar, gelgitler, kabarmalar, okyanus akıntıları, kar ve buzlanma, deniz buzu, hava ve su sıcaklıkları, deniz bitki örtüsü, tuzlu ve aşındırıcı ortamlar, Kuzey Denizi'nde yerleşik deniz yapılarına maruz kalan aşırı çevresel baskılar arasındadır. Hidrodinamik analiz için, bu çevresel koşullardan kaynaklanan kuvvetler dikkate alınmalıdır. Projenin genel amacı, çevresel kısıtlamalara tabi sabit açık deniz yapılarının beklenen gerçek ömrünün geliştirilmiş bir analizidir. Bu husus, uzun vadeli bir değerlendirmeye gerektirmektedir. Günümüzde kullanılmakta olan deniz mühendisliği tasarımlarının tasarım kuralları, faydalı, genellikle deneysel tasarım formülleri sunmaktadır. Deniz mühendisliği yapılarının güvenlik değerlendirmesi için, bu basit tasarım konsepti genellikle yetersizdir. FINO 3 platformunda çok çeşitli ölçüm verilerinin ampirik olarak alınmasıyla, açık deniz rüzgar türbinleri veya şalt sahaları gibi sabit açık deniz yapıları için genel olarak uygulanabilir bir yaşam süresi tahmin ve hesaplama metodolojisi geliştirilmeye çalışılmaktadır. Diğer bir amaç, FINO 3 sualtı yapısının, su ürünleri uygulamalarında örnek bir işlev görme kabiliyetini anlamaktır.

Kule Vibrasyon Sensörleri

FINO 3'te rüzgar türbinleri için geliştirilen kule titreşim sensörlerinin testi de yapılmaktadır. Bu sensörler, kulenin en üst noktasında tepesine, kulenin yarı boyutuna ve tabana monte edilmiştir; direğin salınım genliğini ve frekansını toplamaktadır.

Türbin Temel Sismik Kontrolü (FINOSEIS)

DRT üzerine akıntı, dalga hareketi ve rüzgar basıncından kaynaklanan dinamik baskılardan dolayı yakın çevresindeki tortu yapısında değişiklikler olabilir. Bu tür değişiklikler yapı için önemli bir potansiyel risk oluşturabilir. FINOSEIS alt projesinin amacı, zaman içindeki gelişmeyi ve bu tür etkilerin çeşitli sismik yöntemlerle mekansal genişlemesini ölçmektir. Bunların arasında, bir yandan platform üzerinde geliştirilen ve monopilleri yukarı ve aşağı doğru hareket ettiren, diğer yandan platformun çevresinde aktif ve pasif olarak uyarılan ve deniz tabanı arayüzü üzerinde ilerleyen sismik arayüz dalgaları içeren prosedürler yer almaktadır. Yapısal nitelikleri belirlemek için sismik yansıma ölçümleri yapılır.



Şekil 4.47. FINO 3 sismik ölçümler.

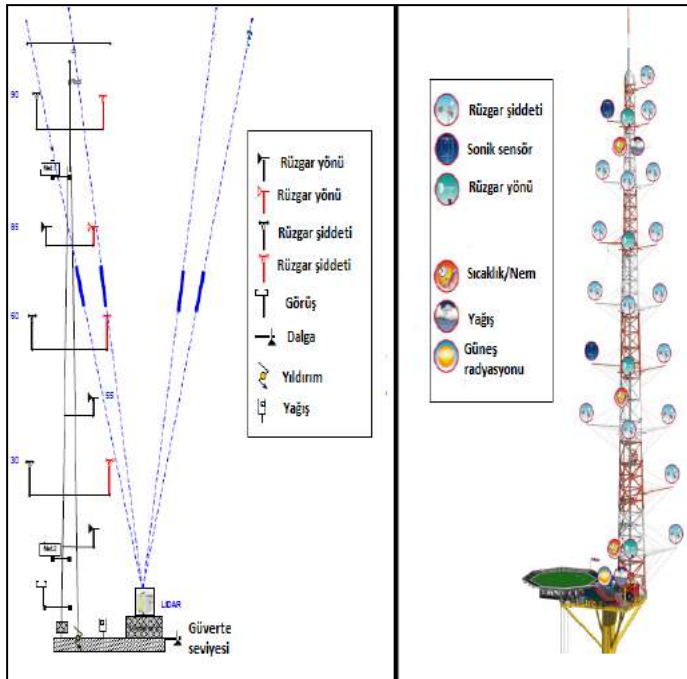
Korozyon Koruma

Denizde kullanılan rüzgar türbinleri aşırı hava koşullarına maruz kalmaktadır. Denizde olması ve karaya uzak olması sebebi ile maliyetler karaüstü RT'lere göre çok daha yüksektir. DRT ile ilgili olarak korozyon koruması konusunda hala istenilen seviyede bir tecrübe mevcut değildir. Korozyon koruma sistemlerinin kullanılmasının bir başka yönü, deniz suyunun kirlenme önleyici tabakaları içeren zehirlerle kirlenmesinin önlenmesidir. Burada, gelecekteki korozyon koruma yüzeylerinin geliştirilmesi temel olarak çevresel açıdan nötr olmayı amaçlamaktadır.



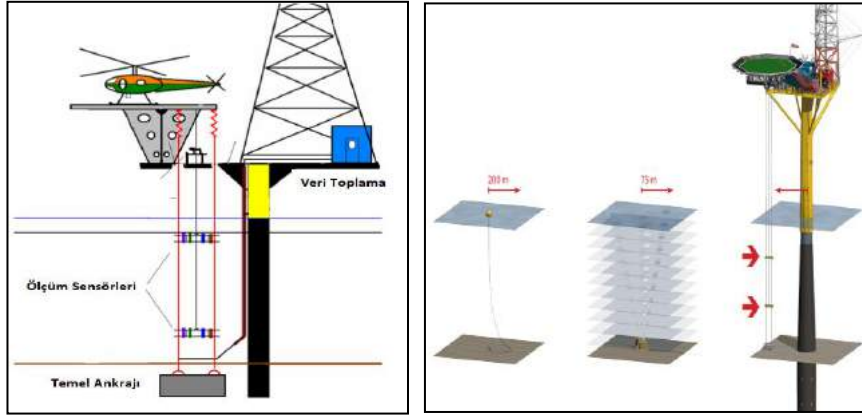
Şekil 4.48. Korozyon koruma ölçümleri.

Deniz ekosistemi (maritime environment) ölçümleri ise, deniz seviyesi, akıntılar, dalgalar, gel git gibi parametreleri içermektedir. Buradaki ana amaç, yük ve stabilite ile ilgili verileri toplamaktır. Yapı üzerine etkiyen bu yüklerin nedeni de akıntı ve dalga oluşumlarıdır. Bu amaçla deniz suyu sıcaklığı, tuzluluk ve oksijen değişimi sürekli ölçülmektedir. Rüzgar şiddeti ölçümleri, 30. metreden başlayarak, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 ve 110 metreler olmak üzere 9 farklı seviyede yapılmaktadır; 40 ve 100 m de ultrasonik anemometreler de bulunmaktadır. Yön ölçümleri de 30 m den başlayarak 50, 70 ve 100. metreler olmak üzere toplam 4 farklı yükseklikten alınmaktadır. Bunların yanında, sıcaklık, nem ve basınç 30, 50 ve 100 m; yağış ölçümü 30 m ve global radyasyon ölçümü de 30 m de yapılmaktadır.



Şekil 4.49. FINO 3 Denizüstü meteoroloji ölçüm sistemi sensörler.

Oşinografik ölçümler kapsamında dalga yüksekliği, denizdeki oksijen miktarı, deniz suyu sıcaklığı, basınç ve iletkenlik değerleri de ölçülmektedir. Şekil ile verilen sistem ile denizüstü meteoroloji istasyonundan 200 m civarına ve 13 farklı tabakada ölçümler yapılmaktadır.



Şekil 4.50. FINO 3 oşinografik ölçümler.

Denizüstü rüzgar ölçümü, karaüstü rüzgar ölçümünden daha detaylı ve pahalıdır. Karaüstü rüzgar ölçüm istasyonunda sadece meteorolojik parametreler ölçülmekte iken; denizüstünde bazı yapısal, deniz ve ekolojik ölçümler de eklenmektedir. Ölçüm sisteminin inşaatı yaklaşık 1.5 yıl sürmüştür. 10 yıldır ölçümler alınmaktadır. FINO 3 inşaat aşamalarına ait fotoğraflar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.51. FINO 3 inşaatına ait fotolar.

FINO 3 Ölçüm Sonuçları

Aşağıdaki Tablo ile FINO 3 denizüstü ölçüm sistemine ait özet bilgiler görülmektedir. 40 m de 9.2 m/s; 106 m de ise 9.6 m/s rüzgar hızı ölçülmüştür.

Tablo 4.16. FINO 3 ölçüm özet sonuçlar.

Değişken Adı	Değeri
Rüzgar hızı (40 m)	9.2
Rüzgar hızı (106 m)	9.6
Hakim Rüzgar Yönü	352 (Kuzey)
Sıcaklık	5.8
Basınç	1023 hPa

4.7 Hollanda'da Yapılan Denizüstü Rüzgar Ölçümleri

Kuzey Denizin Hollanda kısmında DRES projeleri yapılmaya devam edileceğinden Hollanda Ekonomi Bakanlığı denizüstü meteoroloji istasyonları için ciddi bir bütçe ayırmıştır. Bu ölçümlerin bazıları LIDAR sistemleri ile yapılmıştır. Aşağıdaki şekil ile bu ölçüm noktalarının google earth görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.52. FINO 3 inşaatına ait fotolar.

Verilerin alınma tarihleri farklılıklar göstermektedir.

4.7.1 IJMuiden Meteoroloji İstasyonu

IJMuiden meteoroloji istasyonu Kasım 2011-Mart 2016 arasında ölçümler yapmıştır.



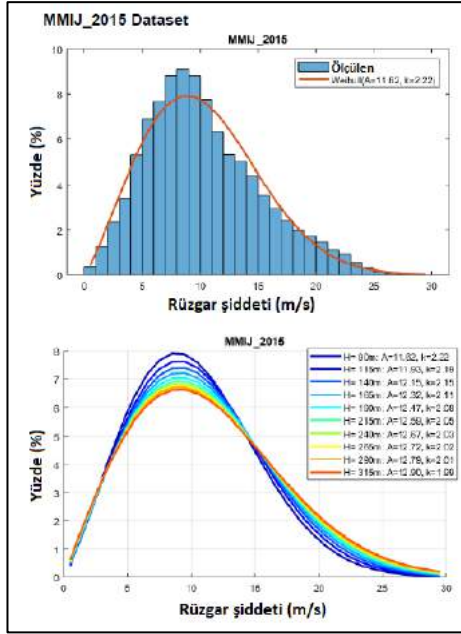
Şekil 4.53. IJMuiden denizüstü meteoroloji ölçüm istasyonu.

Zephyr 300 daimi dalga radarı da IJMuiden meteoroloji istasyonunu 21. metresine monte edilerek 90-315 m arasında 25 m aralıklarla ölçümler yapılmıştır.



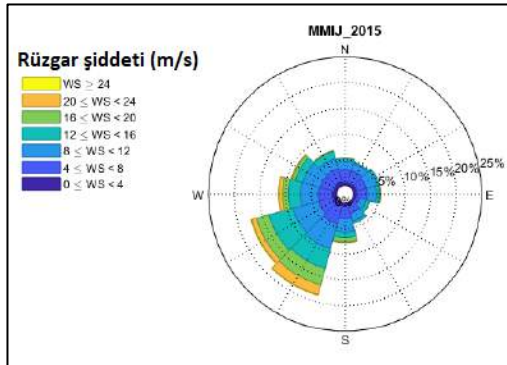
Şekil 4.54. IJMuiden denizüstü meteoroloji ölçüm istasyonuna konulan LIDAR.

IJMuiden rüzgar şiddeti ölçüm sonuçları grafik ile verilmiştir.



Şekil 4.55. IJMuiden rüzgar şiddeti ölçüm sonuçları.

90 m de yön ölçüm sonuçları aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 4.56. IJMuiden yön ölçüm sonuçları.

4.7.2 Lichteiland Goere Meteoroloji İstasyonu

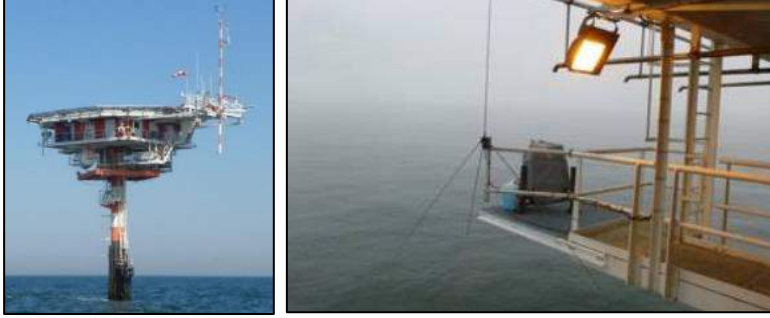
Kuzey Denizinde gemilere deniz feneri olarak hizmet veren bu platformun 23. metresine Windcube V2 pulsed LIDAR konularak 63-240 m arasında 10 farklı yükseklikten ölçümler Kasım 2014'ten bu yana alınmaktadır.



Şekil 4.57. Lichteiland LIDAR.

4.7.3 Europlatform Meteoroloji İstasyonu

Kuzey Denizinde gemilere deniz feneri olarak hizmet veren bu platformun 19. metresine Zephyr 300S LIDAR konularak 63-291 m arasında 10 farklı yükseklikten ölçümler Kasım 2014'ten bu yana alınmaktadır.



Şekil 4.58. Europlatform LIDAR.

4.7.4 K13a Meteoroloji İstasyonu

Kuzey Denizi Den Helder yakınlarında bulunan denizüstü doğalgaz platformunun 35. metresine Zephyr 300S LIDAR konularak 63-291 m arasında 10 farklı yükseklikten ölçümler Kasım 2016'dan bu yana alınmaktadır.

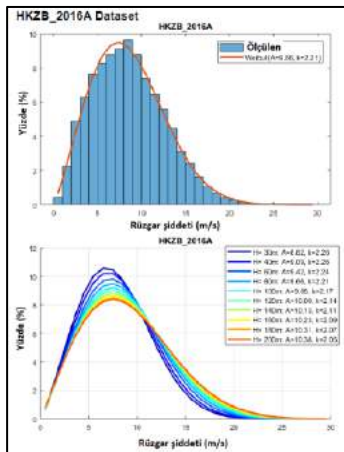


Şekil 4.59. K13a Platformu LIDAR.

4.7.5 Hollande Meteoroloji Kust Zuid

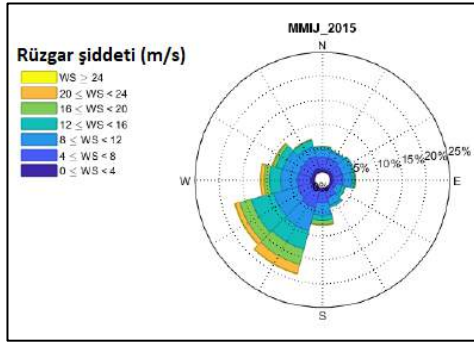
Hollande Kust Zuid (HKZ), Schveningen'in kuzeybatısında DRES projesi geliştirme bölgesi olarak belirlenmiştir. Fugro Oceanor tarafından Zephyr 300S LIDAR denizüstüne konularak Haziran 2016-Haziran 2018 arasında 2 yıl süre ile 30-200 m arasında 10 farklı yükseklikten ölçümler Kasım 2016'dan bu yana alınmaktadır.

30 m den 200 m ye kadar yapılan ölçümleri grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.60. HKZ rüzgar şiddeti ölçüm sonuçları.

80 m de yön ölçüm sonuçları aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 4.61. HKZ yön ölçüm sonuçları.

4.7.6 Borssele Wind Farm Zone

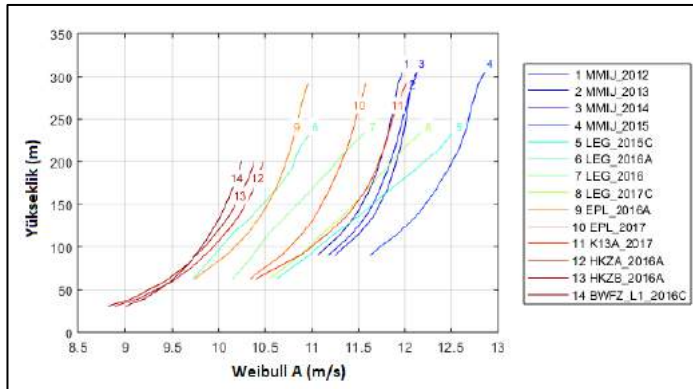
Vlissingen kuzeybatısında bulunan bu bölge DRES projeleri için belirlenmiştir. Fugro Ocean tarafından Şubat 2016 – Şubat 2017 arasında yapılan ölçümler LIDAR kullanılarak 30-200 m arasında 10 farklı yükseklikten ölçümler Kasım 2016'dan bu yana alınmaktadır.



Şekil 4.62. Borssele LIDAR.

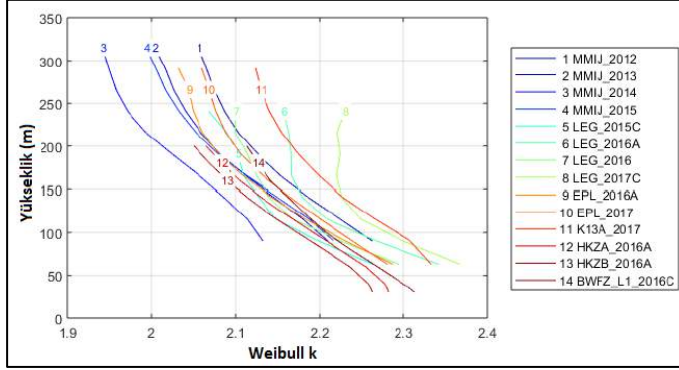
4.7.7 Hollanda Ölçümlerine Ait Genel Değerlendirme

Bütün meteoroloji istasyonlarına ait yapılan ölçümlerin Weibull A ve k parametrelerinin yükseklikle değişimi incelenmiştir. A parametresi rüzgar şiddeti ile doğru orantılıdır. Aşağıdaki şekilde Weibull A parametresinin profili görülmektedir. MMIJ ve K13a istasyonlarında daha yüksek rüzgar şiddeti değerleri bulunduğu için A parametresi daha büyüktür. A değerleri, yükseklikle genellikle artmaktadır; bunun temel nedeni rüzgar şiddetinin yükseklikle artmasıdır. Deniz yüzeyinin pürüzlülük etkisi de yükseklikle azalmaktadır.



Şekil 4.63. Weibull A parametresi yükseklik ile değişimi.

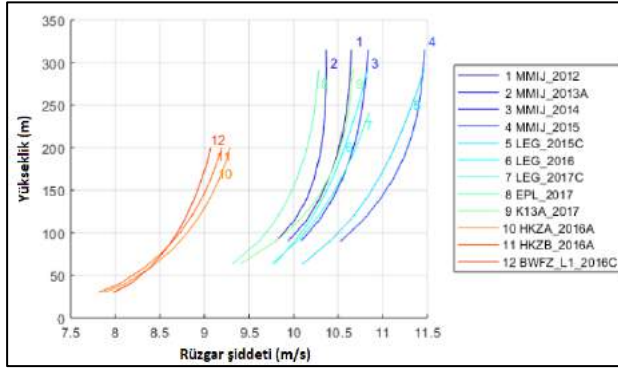
Weibull k parametresi ise yükseklikle azaldığı görülmektedir. Aşağıdaki şekilde bu durum görülebilir. Yükseklikle rüzgarın türbülansı azalır ve akış daha laminar hale gelir. Karaüstü ölçümlerinde k değeri genellikle artış gösterir.



Şekil 4.64. Weibull k parametresi yükseklik ile değişimi.

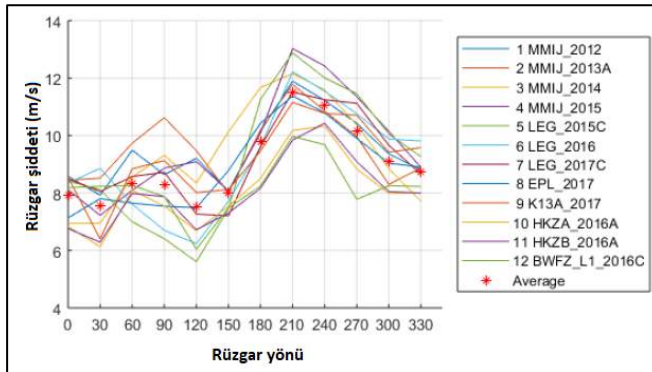
Rüzgar Kayması

Rüzgar şiddetinin yükseklikle değişimi için logaritmik ve güç modeli kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekil ile istasyonların yükseklikle rüzgar şiddeti profilleri görülmektedir.



Şekil 4.65. Rüzgar profilinin değişimi.

Rüzgar şiddetinin yanında rüzgar yön profilinin yükseklikle değişimi incelenmiştir ve aşağıdaki şekilde görülmektedir.

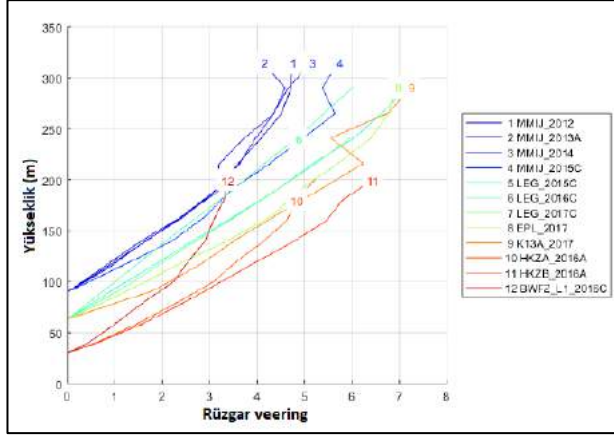


Şekil 4.66. Rüzgar yön profilinin değişimi.

Rüzgar Veering

Rüzgar veering, rüzgar yönünün yükseklikle değişiminin incelenmesidir. Bu işlem için en düşük yükseklik ile referans alınan yükseklik arasındaki farktır. Pozitif rüzgar veering saat yönünde dönüş; negatif veering ise saai ibresinin tersi yönünde dönüş (backing) anlamına gelir. Aşağıdaki şekil

incelendiğinde BWFZ ölçümleri hariç, diğer ölçümlerin kararlı bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir.

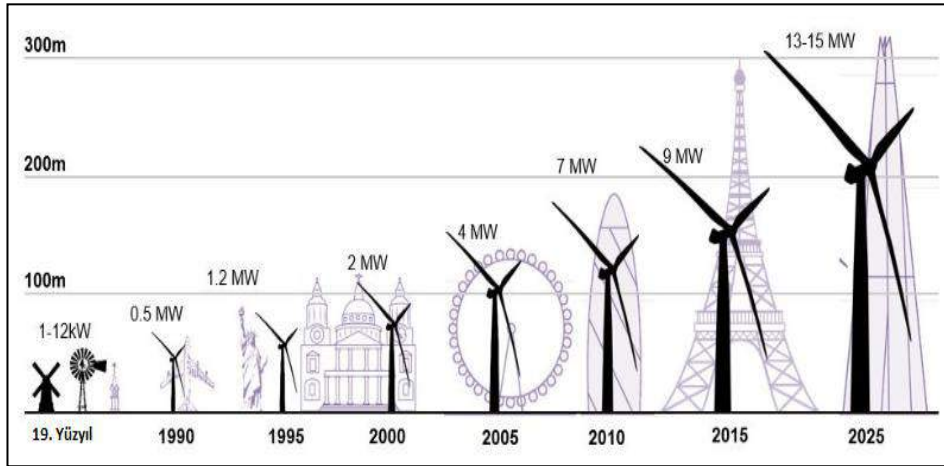


Şekil 4.67. Rüzgar veering.

BÖLÜM 5: DENİZÜSTÜ RÜZGAR

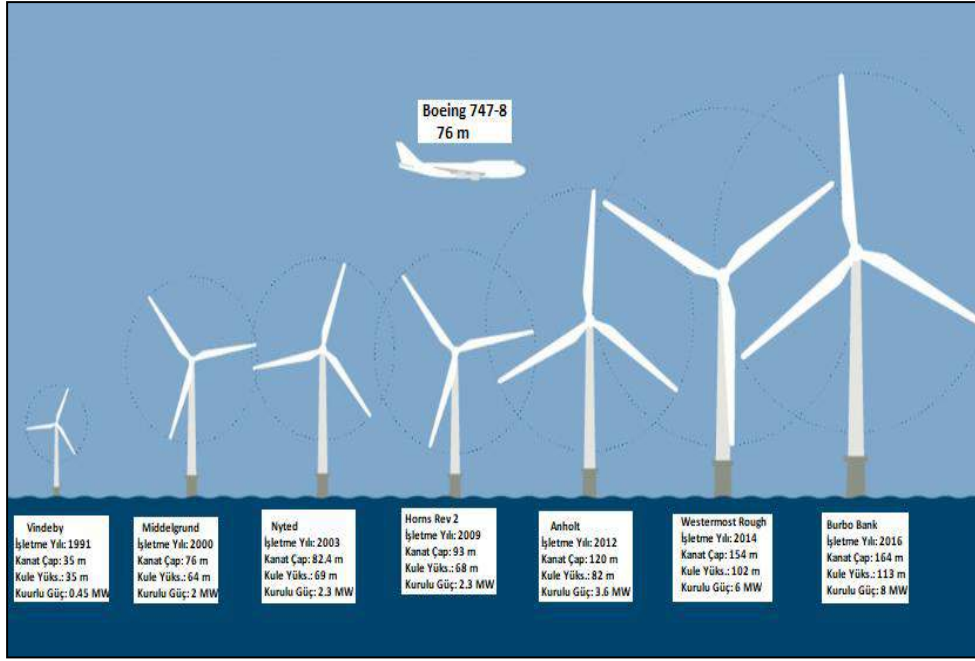
ELEKTRİK SANTRALİ EKİPMANI

1950’li yıllardan sonra doğru akım üreten jeneratörler, yerlerini alternatif akım üreten asenkron jeneratörlere bırakmaya başlamıştır. 1970’li yıllara kadar rüzgar enerjisinde hızlı bir gelişme olmamıştır. Fakat 1970’li yıllardaki petrol krizi ve 1980’li yıllardan itibaren artan çevre bilinci, insanlığı yeni enerji kaynakları aramaya itmiştir. Şekil 5.1, 1980’li yıllardan itibaren rüzgar türbini kurulu gücü ile, pervane çapının gelişimini vermektedir. Özellikle 1995 yılından sonraki gelişim çok çarpıcıdır. 1995’li yıllara kadar kW mertebesinde RT’ler bulunmakta iken; 1998 yılından itibaren MW sınıfına geçilmiştir. Kurulu güç ile beraber RT pervane çapının artışı da dikkat çekicidir. Elektrik amaçlı türbinlerin 1980-2012 yılları arasındaki gelişimi incelendiğinde 75 kW kurulu güçten 7500 kW kurulu güçlere ulaştığı yani 100 kat büyüdüğü görülmektedir. Buna mukabil olarak kanat çapları da 17 m den, 126 m lere gelmiştir; yani kanat çapı 7 kat büyümüştür (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Kurulu güç, pervane çapı ve türbin boyu gelişimi.

Denizüstü RES projelerinde kullanılan ekipmanlar, karaüstünden farklılıklar gösterir. Denizüstü RES projelerinde kullanılan RT'lere bakıldığında ise, ilk denizüstü RES olan Danimarka Vindeby projesinde 0.45 MW kurulu güce sahip ve 35 m kanat çapı ve kule yüksekliğine sahip olan ilk RT'lerden; 8 MW kurulu güç ve 164 m kanat çapı ve 113 m kule yüksekliği olan RT'lere gelinmiştir (Şekil 5.2). DRT'lerin denizüstünde kurulmasından dolayı karaüstü RT'lerden farklı özelliklere sahiptir. Özellikle farklı temel tasarımı, geçiş parçası; ayrıca denizüstünde yapılan şalt sahası deniz koşulları dikkate alınmaktadır.



Şekil 5.2. DRT'lerin yıllara göre türbin boyunun gelişimi.

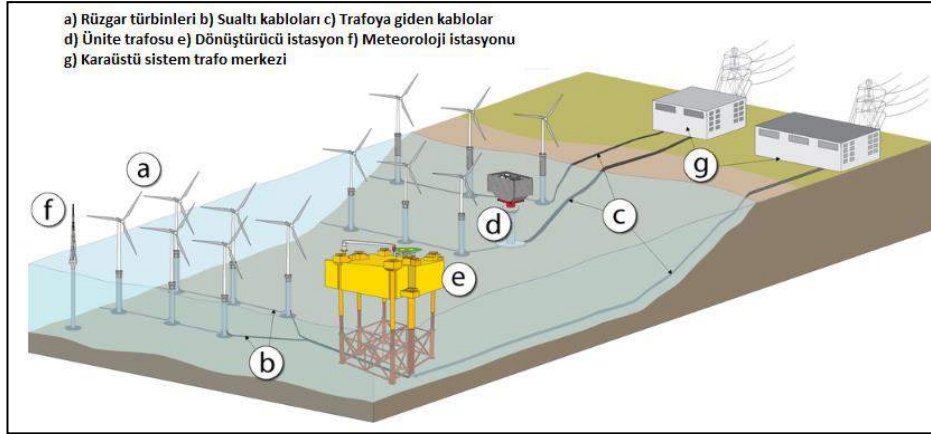
Denizüstü rüzgar elektrik santrallerinin (DRES) karaüstündeki rüzgar elektrik santrallerine göre bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Genel olarak bu uygulama karaüstü türbinlerine göre ilk kurulum maliyeti açısından dezavantajlı olmasına rağmen denizde rüzgar şiddetinin karaya oranla çok daha fazla ve sürekli olabilmesi açısından uzun vadede daha fazla kar getiren bir yatırım olma özelliğini taşır. Denizüstü rüzgar türbini (DRT) teknolojisinin en büyük avantajları olarak;

- Denizde rüzgarın daha yüksek şiddete olması sebebiyle artan enerji üretimi,
- Rüzgarın sürekliliğinin daha fazla olması ve pürüzsüzlüğün düşük olması,
- Daha düşük türbülans,
- Karada RES yapılan alanların azalması,
- Karadaki RES projelerinde imar sıkıntılarını artması,
- Denizüstünde kamulaştırma bedellerinin olmaması,
- Yaşam alanlarından uzak olduğu için görüntü ve gürültü kirliliğine sebep olmaması,
- Deniz ulaşımının kara ulaşımına kıyasla daha kolay ve ucuz olması sebebiyle ulaştırma maliyetindeki tasarruflar,
- Bölgesel gelişim ve istihdam sağlama,
- Denizsel endüstri ve teknolojilerin gelişerek istihdamın artması.

DRES'lerin dezavantajları ise şunlardır;

- Deniz derinliğinden (draftından) kaynaklanan ilave yükseklik için çok daha büyük boyutlu altyapı kesitleri ve temeller,
- Deniz içerisindeki inşaat meteorolojik ve oşinografik koşullara bağlı olması,
- Deniz içerisindeki korozyon ortamından dolayı artan korozyon önlemleri ve daha düşük servis ömürleri,
- Kablo ve enerji iletim sistemlerinin deniz içerisinde yapılmasının zorlukları ve deniz etkilerine karşı alınması gereken ilave önlemler,
- Söküm işleminde (decommissioning) artan zorluklar,
- Deniz içi trafiğini azda olsa etkileme ihtimali,
- DRES işletme bakımının ameteorolojik ve oşinografik koşullara bağlı olması sayılabilir.

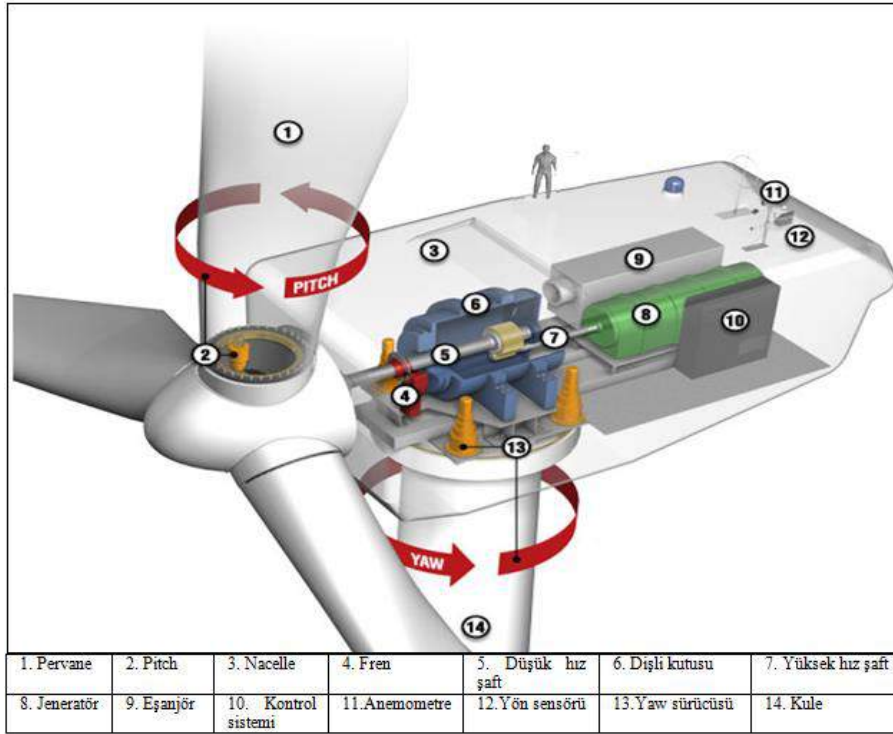
Denizüstü RES'in temel elemanları incelendiğinde 7 ana sistem görülmektedir. DRES temel elemanları DRT, sualtı kablo, ünite trafosu, denizüstü şalt sahası, denizaltı enerji nakil hattı, karaüstü enerji nakil hattı ve karaüstü trafo merkezi olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 5.3. Denizüstü RES temel elemanları.

5.1 Denizüstü Rüzgar Türbini (DRT)

DRT'nin temel elemanları olarak kule, nasel, pervane, ünite (step-up) trafosu, kule geçiş parçası (transition piece) ve kule temeli verilebilir. İlerleyen sayfalarda bunlar incelenecektir. Denizüstü RT'ler karaüstü RT'lerden daha büyük boyuttadır. Şekil 5.4 ile 12 MW kurulu gücünde bir RT'ye ait nasel görülmektedir. Kıyaslama yapılması açısından bir insan naselde görülmektedir.



Şekil 5.4. 12 MW naseli.

Kurulu güçler değişim gösterse de, nasel içerisindeki diğer ekipmanlar değişim göstermemektedir. Sadece büyüklükleri değişim göstermektedir. Bu ana ekipmanlar, ana yatak (main bearing), jeneratör, dişli kutusu, hidrolik sistemi, eşanjör (heat exchanger), şaft, soğutma sistemi, rüzgar sensörleri, uyarı ışığı, iletim sistemi, slewing rings, gibi ekipmanlardan oluşmaktadır.

Rüzgar türbini ünite kurulu gücü özellikle 1990'lı yılların başından itibaren çok hızlı bir gelişme göstermiştir. 1995 yılında 600 kW kurulu gücündeki rüzgar türbinleri kullanılmaya başlanmıştır ve 1997 yılından itibaren 800 kW ve 1 MW gücünde rüzgar türbinleri geliştirilmiştir. 1998 yılındaki 1.5 ve 2.5 MW gücündeki rüzgar türbinlerini takiben 2015 yılından sonra 5 MW üstü denizüstü RT'ler piyasada yerini almıştır.



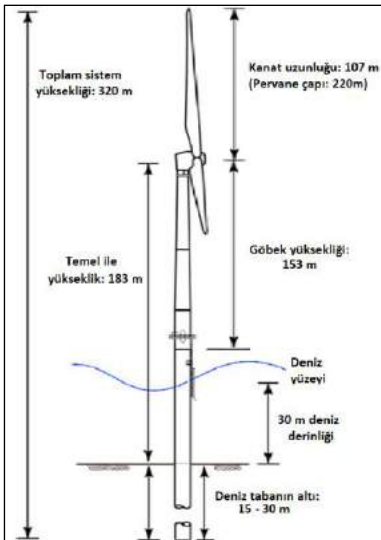
Şekil 5.5. 6 MW naseli üst kısmı.

Günümüzde kullanılan 3-kanatlı denizüstü rüzgar türbinleri 12 MW kurulu gücüne kadar olabilmektedir. GE'nin 2020 yılında piyasaya sürmeyi planladığı 12 MW kurulu güçlü Haliade-X DRT'ye ait bilgiler kitabın yazıldığı tarihlerde kurulu gücü en yüksek DRT idi.



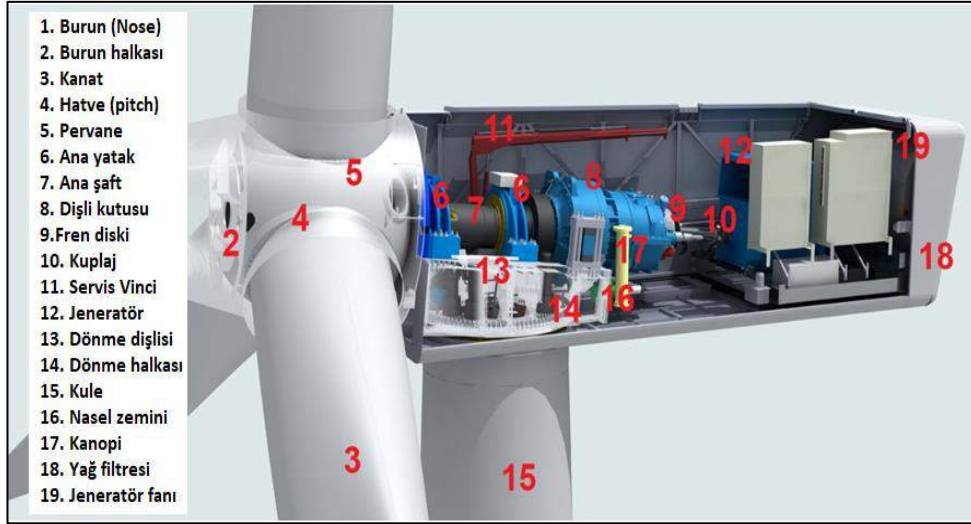
Şekil 5.6 12 MW denizüstü RT boyutları.

GE Haliade-X 12 MW RT detay boyutları örnek olması açısından aşağıdaki Şekil ile verilmiştir. Burada deniz derinliğinin 30 m olduğu ve DRT temelinin deniz tabanına 15-30 m çakıldığı kabulü yapılmıştır.



Şekil 5.7. GE Haliade-X 12 MW DRT boyutları.

GE Haliade-X 12 MW DRT naseli ve içindeki ekipmanlar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.8. GE Haliade-X 12 MW DRT naseli.

Konunun daha iyi görülebilmesi için 5 MW kurulu gücünde bir karaüstü RT ile 12 MW denizüstü RT'ye ait kıyaslama tablosu aşağıda Tablo 5.1 ile verilmiştir.

Tablo 5.1. Karaüstü ve denizüstü RT kıyaslaması.

	Karaüstü RT	Denizüstü RT
Kurulu Güç	5 MW	12 MW
Pervane çapı	126 m	195 m
Göbek (hub) çapı	3	4.64 m
Göbek yüksekliği	90 m	125 m
Devreye giriş hızı	3 m/s	3 m/s
Devreden çıkış hızı	25 m/s	25 m/s
Nominal rüzgar hızı	11.4 m/s	11.2 m/s
Devreye giriş ve nominal pervane hızı	6.9 rpm/12.1 rpm	3 rpm/8.25 rpm
Pervane ağırlığı	110 000 kg	297 650 kg
Nasel ağırlığı	240 000 kg	400 000 kg
Kule ağırlığı	200 718 kg	782 096 kg

5.1.1 Ana Yatak (Main Bearing)

Denizüstü RT'de bulunan ana yatak, jeneratör, dişli kutusu, iletim sistemi gibi ekipmanların üzerine oturduğu yerdir (Şekil 5.9). 6 MW kurulu gücünde bir RT'nin ana yatak ağırlığı 18-24 ton arasındadır. Dişli kutusu, jeneratör ve iletim sisteminin konmuş hali Şekil 5.9'da görülmektedir.

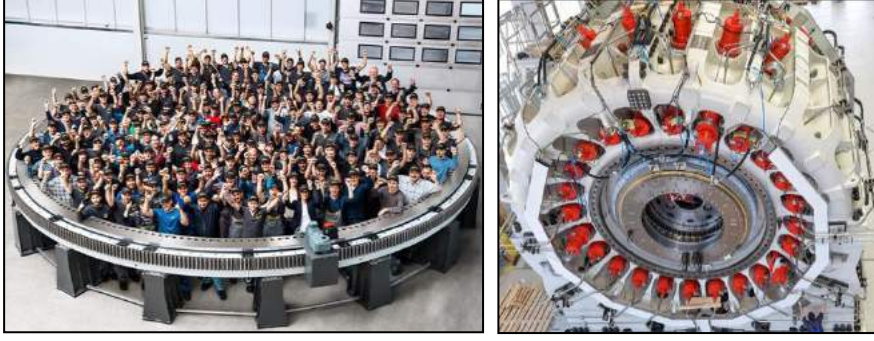


Şekil 5.9. Ana yatak.

Ana yatak, çelikten yapılmış bir ekipmandır ve civatalar ile nasel gövdesine tutturulmuştur.

5.1.2 Dönen Halka (Slewing Rings)

Slewing rings kanatlardaki hatve (pitch) mekanizmasının çalışmasında kullanılmaktadır. Bu yolla, rüzgarın hızına göre ana yatak yönünü belirleyerek naselin rüzgarın esiş yönüne göre 360 derece dönmesi sağlanabilmektedir (Şekil 5.10).



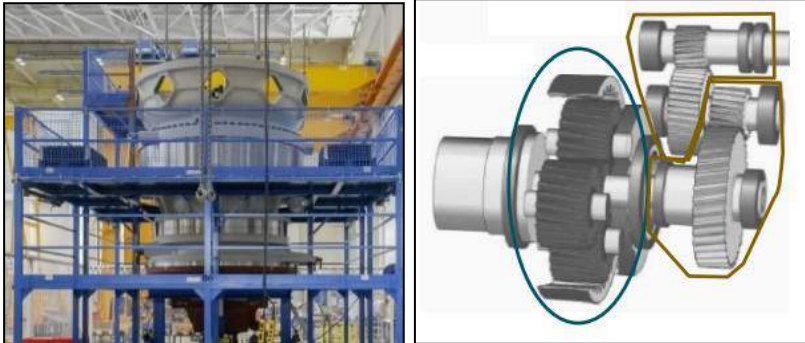
Şekil 5.10. Dönen halka.

Kanatların bağlandığı kısımlar, bazı yüklere ve vibrasyona maruz kaldığından dolayı değişken karakterli olmalıdır.

5.1.3 Dişli Kutusu (Gearbox)

Dişli kutuları, içlerinde çok sayıda dişli olan, mekanik sistemlerde hızı ve torku değiştirmek için kullanılan sistemlerdir. Dişli kutularında kullanılan dişli sayısı, büyüklükleri ve diş sayıları dişli kutularının teorik ve mekanik avantajlarını belirler. Aynı zamanda bu özellikler, dişli kutularında torkun veya hızın (dönüş oranı) kaç kat arttığını belirler.

Dişli kutularında tork ve hızda değişen değerler redüksiyon oranı ile belirtilir. Örneğin; 1:100 redüksiyon oranına sahip bir motorda, dişli kutusu 1 döndüğünde motor şaftının 100 dönüş yaptığı anlamına gelir. Yani hız 100 kat azalırken, tork ise buna bağlı olarak 100 kat artmış olur. Bir çok rüzgar türbin üreticisi dişli kutusuz rüzgar türbin üretimine doğru kaymaktadır.



Şekil 5.11. Dişli kutusu.

5.1.4 Uyarı Işığı (Aviation veya Obstacle Light)

Uyarı ışıkları, “aviation” veya “obstacle light” olarak adlandırılmaktadır. DRES’lerdeki uyarı ışığı sadece uçaklar için değil; daha çok gemilerin uyarılması için de kullanılmaktadır. Karaüstü RES’lerde kanat ve makine dairesi üzerinde uyarı ışığı bulunmakta iken; DRT’lerde ek olarak deniz seviyesinden 15 m yükseklikte de türbin kulesine uyarı ışığı konulmaktadır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. DRT üzerindeki uyarı ışıkları.

Uyarı ışıkları ayrıca DRES içindeki denizüstü şalt sahasına da konulmaktadır. Uyarı ışıkları gece ve gündüz aktif olmalıdır.



Şekil 5.13. DRES uyarı ışıkları.

5.1.5 Fren Sistemi

RT'nin kritik bazı ekipmanlarının herhangi bir ani durum esnasında acil olarak durabilmesi gerekmektedir. Örneğin, jeneratör yüksek ısınması, şebekeden ani kopma vb. gibi normal işletme koşullarında görülebilecek bazı istenmeyen durumlar olabilir. Bu durum için yüksek hız veya aşırı hız koruma sisteminin bulunması esastır. Bu amaçla 2 çeşit fren sistemi bulunmaktadır: kanat ucu fren sistemi veya aerodinamik fren sistemi ve mekanik fren sistemi.

Kanat Ucu Fren Sistemi

Aerodinamik fren sistemi olarak da bilinen bu fren sistemi hatve (pitch) kontrollü ve aktif stall kontrollü RT'lerde pervane kanatlarının kendi yatay eksenleri etrafında 90 derece; stall kontrollü RT'lerde de kanat ucunun 90 derece dönmesi ile yerine getirilmektedir. Şekil 5.14 ile kanat ucunun 90 derece dönmesi görülmektedir. Bu sistem yaylar yardımı ile çalışmaktadır. Yani elektrikler kesilse dahi çalışabilmektedir. Aerodinamik fren sisteminin güvenli bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Durması birkaç rotasyon içerisinde olduğu gibi; kule üzerinde büyük bir stres yaratmamaktadır. Bu yüzden modern RT'lerin durması aerodinamik fren sistemi ile olmaktadır.

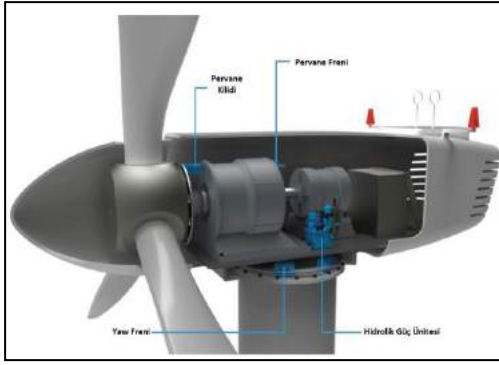


Şekil 5.14. Kanat ucunun dönmesi.

Kanat ucunun dönen kısmı RT kurulu gücüne göre 3-7 metre arasında değişim göstermektedir. Kanadın bu kısmı karbon fiber şaft üzerine yapılmıştır. Aerodinamik fren sistemi, pervane kanatlarında bağımsız olarak çalışmaktadır ve kendi eksenleri etrafında 90° dönebilmektedir. Aerodinamik fren sisteminin yanında hidrolik disk fren sistemi de bulunmaktadır.

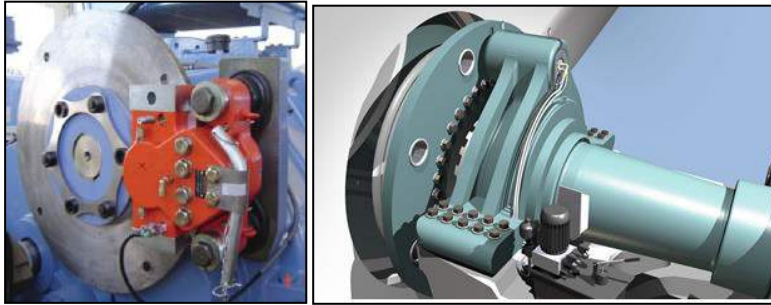
Mekanik Fren Sistemi

Mekanik fren sistemi, aerodinamik fren sisteminin yedeği olarak kullanılmaktadır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. RT fren sistemi.

Mekanik fren, dişli kutusunun yüksek hız şaftının üzerindedir. Çelikten yapılmış olup şafta sabitlenmiştir. Hidrolik sistemi bulunmaktadır ve hidrolik yağının eksilmemesine dikkat edilmelidir. Fren işlemi, fren bloğu ile disk arasındaki sürtünmeden meydana gelir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Mekanik fren sistemi.

RT'ler mekanik freni çok büyük strese maruz kaldığından fren bloğunda özel metal alaşımlar kullanılmaktadır. Bu metaller 700°C'ye kadar çalışabilir. Kıyaslama yapılırsa, arabalardaki fren 300°C'ye kadar çok nadir olarak çıkmaktadır.

5.1.6 RT Elektronik Kontrol Sistemi

Elektronik RT kontrol sistemi, RT işletmede iken RT ile ilgili bazı istatistik ve bilgileri toplayarak kayıt altına almaktadır (Şekil 5.17). Hidrolik pompalar, valfler, motorlar gibi nasel içerisinde bulunan cihazlardan toplanan veriler bu kontrol sistemi tarafından kaydedilmektedir. Bu kontrol sistemi aynı zamanda RES işleticisine modem aracılığı ile alarm da göndermektedir. RT içerisinde bulunan bilgisayar tarafından kaydedilme işlemi yapılmaktadır.



Şekil 5.17. RT kontrol paneli.

RT'lerin hepsinde kontrol ve performans izleme amacı için mikroişlemci bulunmaktadır. İlk ticari RT'lerde merkezi bir izleme sistemi bulunmaktaydı. Günümüzdeki RES'lerin içindeki her bir RT'nin de RES içerisinde bağımsız olarak performansı izlenebilir. Genellikle aşağıdaki fonksiyonlar izlenir:

- Devreye giriş ve çıkış rüzgar hızları (işletme aralığı),
- Jeneratör çıkışının şebekeye verilmesi,

- Naselin oryantasyonu (rüzgar yönüne göre),
- Kanat hatve açısının düzenlenmesi,
- RT normal işletme ve acil durumda durdurulması.

Mikro işlemciler aşağıdaki fonksiyonların kayıtlarını da tutmaktadır:

- RT durumu,
- Rüzgar hız ve yön verisi,
- Jeneratör çıkışı,
- Güç eğrisinin performansı (yani rüzgar hızına karşılık gelen üretimin gerçekleşip gerçekleşmediği).

Sensörler

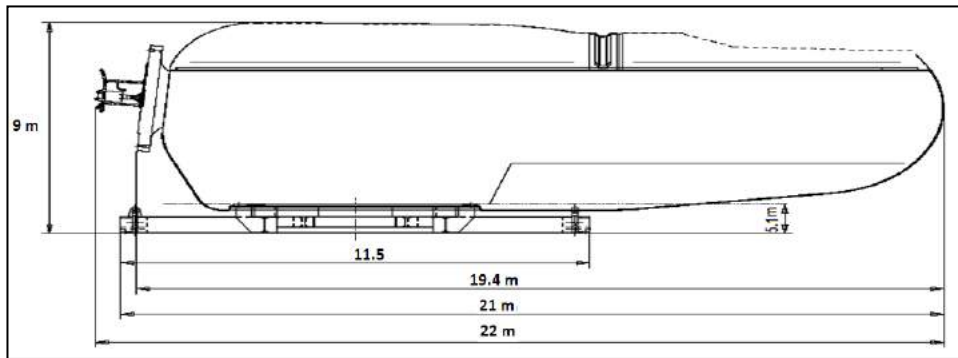
Elektrik korumaya ek olarak RT diğer bazı sensörler yardımıyla koruma ve kontrol altına alınmıştır. Aşağıdaki parametreler de RT’lerde kontrol altına alınmıştır:

- Rüzgar hızı ve yönü,
- Nasel oryantasyonu,
- Pervane hızı,
- Kanat hatve (pitch) açısı,
- Teçhizat vibrasyon seviyeleri,
- Dişli kutusu yağ seviyesi, sıcaklık ve basınç değerleri,
- Jeneratör hızı,
- Hidrolik sıvı seviyesi, sıcaklık ve basınç değerleri,
- Yatak sıcaklıkları,

Nasel; jeneratör, dişli kutusu, ana şaft, hidrolik sistemi, soğutma ünitesi vb gibi ekipmanların bulunduğu bir kabindir veya makina dairesidir. Cam fiber ile güçlendirilmiş plastikten yapılmıştır. Naselin üst kısmı (tavanı) açılabilir. Elektrik üretiminin yapıldığı yer olan naselden kablolar yardımıyla üretilen elektrik yerdeki trafoya iletilir. Rüzgarın geldiği yöne göre 360° dönebilmektedir. Naselin üst kısmında bulunan rüzgar hız ve yön sensörleri yardımıyla rüzgar verileri sürekli izlenir. Naselde ayrıca aşağıdaki ekipmanlar bulunmaktadır:

- Aerodinamik frene ek olarak disk freni bulunmaktadır. Disk freni dişli kutusunun arkasındadır,
- Hidrolik sistem, disk freni ve diğer ekipmanlar için gerekli yağ basıncını sağlar,
- Dişli kutusu ve jeneratör her biri kendisinin ayrı soğutma sistemi bulunmaktadır,
- Sapma (Yaw) sistemi için çalışan elektrik motorları, naselin geldiği yöne doğru dönmesini sağlar,
- Küçük bir çalışma vinci de bulunmaktadır.

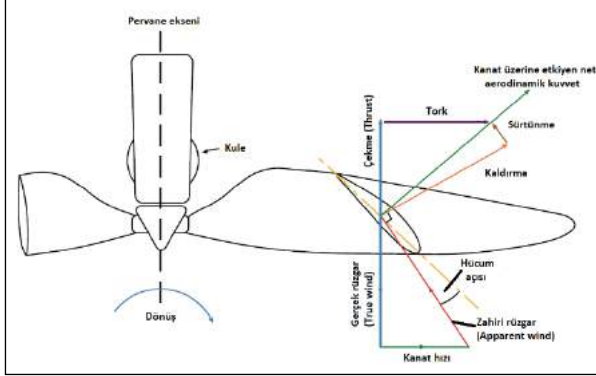
Vestas V174 9500 kW kurulu gücünde bir RT’ye ait nasel boyutları Şekil 5.18 ile görülmektedir. Nasel boyutları 21x9x9 m dir ve toplamda 390 tondur. 174 m kanat çapı olup 23779 m² süpürme alanına sahiptir. Her bir kanat 85 m uzunlukta ve 35 ton ağırlığındadır. Göbek yüksekliği 110 m olup kanat uç noktası 197 m dir.



Şekil 5.18. 9500 kW kurulu gücünde bir RT nasel boyutları.

5.1.7 DRT Aerodinamiği

RT'lerin optimum aerodinamik verimin alınacak şekilde tasarım edilmesi çok önemlidir. Uzun yıllardan bu yana konu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yatay eksen, düşey eksen, tek kanat, çift kanat, çok kanat vb. gibi arge çalışması süregelmektedir. RT tasarımcıları arasında teknik bir terim olan “The Danish Concept”, daha önce bahsedilen Gedser RT ile bağlayan basit, güvenilir ve dinamik tasarımı ifade etmektedir. Teknik olarak yatay eksenli ve 3 kanatlı ve bu üç kanadın göbeğe bağlandığı rüzgar türbinini ifade etmektedir. Modern rüzgar türbinlerinin nasıl çalıştığını anlamak için kanat profili ve bu kanat profili üzerine etkiyen iki önemli aerodinamik kuvvet iyi bilinmelidir. Bunlar sürüklenme (drag) ve kaldırma (lift) kuvvetleridir (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. RT kanat üzerine etkiyen kuvvetler.

Kaldırma (F_L) ve sürüklenme (F_D) kuvvetleri aşağıdaki formüllerle açıklanmaktadır:

$$F_L = 0.5 C_L \rho A u^2$$

$$F_D = 0.5 C_D \rho A u^2$$

Formülde kullanılan

C_L : kaldırma katsayısı,

C_D : sürüklenme katsayısı,

ρ : akışkan yoğunluğu,

A : kanat alanı (m^2),

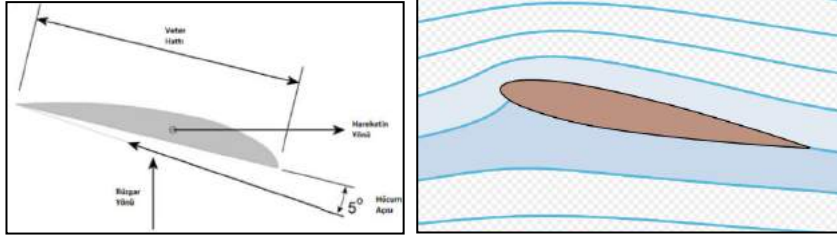
u : havanın hızı (m/s),

olarak verilmektedir.

Kanat Profili (Airfoil)

Bilindiği gibi RT kanat yapısı uçak kanat yapısı ile aynıdır. RT kanadının iyi anlaşılabilmesi için kanat profili (airfoil) konsepti üzerinde durulmalıdır. RT, bağıl rüzgarın etkisi ile çalışmaktadır. Bağıl rüzgar, doğal rüzgar ile pervane hareketinin oluşturduğu rüzgarın toplamıdır ve dönen kanatlar üzerinde aerodinamik kuvvetlerin oluşmasına da katkıda bulunur. Bu kuvvetler, kaldırma ve sürüklenme olarak sınıflandırılmaktadır. Kanat profili üzerine etkiyen en önemli faktör vizkozitedir. Vizkozite, dolaylı olarak kaldırmaya; doğrudan ise sürüklenme ve akış ayrılmasına neden olur. Bu etki Reynolds Sayısı ile açıklanır. Modern RT'lerde kullanılan kanat profili 0.3 m ile 2 m (MW sınıfı) arasında değişmektedir. Oranı tipik olarak 45-90 m/s arasında değişir. Tangential hızda 34-68 m/s arasında değişim gösterebilir. Tüm bunların ışığında RT kanat profili için Reynolds sayısı 0.7 – 10 milyon arasında değişim gösterebilir.

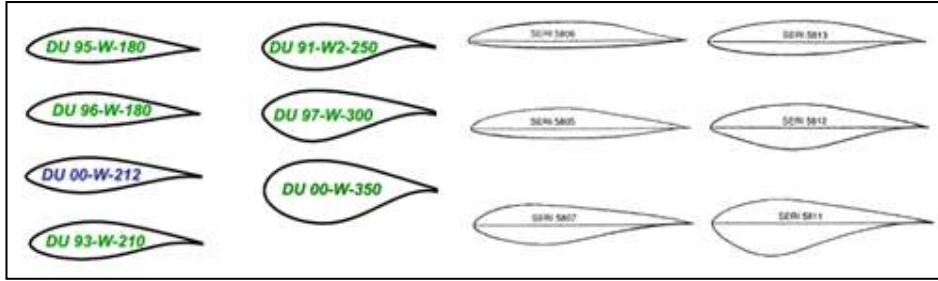
Kanat profilinin veter hattı (referans hattı) ile hava akışı arasında yaptığı açı “hücüm açısı-angle of attack” olarak adlandırılır. Kanat profilinin referans hattına “veter hattı denir”. Hafif eğimli yüzeyler, verilen bir hücum açısı için daha yüksek bir kaldırma kuvveti meydana getirirler. Kanat profili bu fiziksel durum için çok uygundur. Kanat pofili üst yüzeyde daha hızlı bir hava akışı meydana getirir. Yüksek hava akış hızı, kanat profilinin üst kısmında basıncı düşürerek alçak basınç bölgesi meydana getirir.



Şekil 5.20. Kanat profili.

Kanat profili üzerine etkiyen sürüklenme kuvveti, cisim üzerinde akış yönünde meydana gelen bir kuvvettir. Örneğin düz bir plaka üzerinde meydana gelecek maksimum sürüklenme kuvveti hava akışının cisim üzerine 90° dik geldiği durumda iken; minimum sürüklenme kuvveti de hava akışı cismin yüzeyine paralelken meydana gelir.

Bilindiği gibi, yatay eksenli RT'nin kanatlarından elde edilecek maksimum güç, Betz teoremi ile açıklanmaktadır. Öncelikle kanat profilini incelemek gerekmektedir. Son 20 yılda RT'ler için tasarlanmış özel kanat profilleri bulunmaktadır. Şekil 5.21 ile bu tasarımlar görülmektedir. Bu profiller, TUDELFT ve NASA tarafından geliştirilen profiller aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.21. RT için tasarlanmış bazı kanat profilleri.

5.1.8 RT Gölgeleme Etkisi (Wake Effects)

RES'lerde bazı rüzgar türbinleri farklı aralıklarla sıra şeklinde veya arka arkaya dizilebilir. Bu dizilim rüzgar potansiyelinin en yüksek olduğu noktalarda konuşlandırılır. Buna mikrokonuslandırma (micrositing) denir. Bu tip bir yerleştirme veya optimizasyon bazı RT'lerin birbirini gölgeleyerek üretimin düşmesine neden olur. Bu durum özellikle kompleks yapıdaki yani orografik arazilerde büyük önem taşımaktadır. Gölgeleme etkisi bazı RES'lerde yıllık üretimi önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

Gölgelemenin etkilerini kontrol eden bazı fiziksel faktörler bulunmaktadır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

Rüzgara Hakim Yönde Yerleştirme: RT'lerin birbirlerine çok yakın olmaları her zaman tercih edilmemelidir. Bu tip yerleştirme, rüzgar yönünün hakim olduğu bir sahada sıklıkla kullanılmaktadır.

Güç Üretimi: RT kurulu gücü arttıkça, boyutları da buna paralel olarak büyümektedir. Pervane çapının ve kule yüksekliğinin artması, RT'nin gölgeleme etki alanını da artırmaktadır.

Türbülans Yoğunluğu: Çevre türbülans değeri $0.12 U$ dur. RT civarındaki değer ise $0.08 U$ 'dur. (U = rüzgar hızı). Türbülans, gölgelemeye 2 şekilde etki etmektedir. Birincisi, gölge etrafındaki havanın akış hızını artırır; ikinci olarak gölge etki çapının büyümesine neden olmaktadır. RT üzerindeki türbülans arttığında yorulmadan kaynaklanan yüklerde artış göstermektedir.

Atmosferik Stabilite: Atmosferik stabilitenin de (kararlılık) gölge etki alanı ve yapısına önemli etkilerde bulunduğu görülmüştür. Atmosferik stabilite eddy hareketini (küçük türbülans) kontrol ettiğinden gölgeleme için önem arz etmektedir.

Gölge Geometrisi: RT gölge geometrisinin belirli bir şekli ve idealize edilebilen akış modeli bulunmaktadır.

5.1.9 Kayıplar

Betz limiti, rüzgar enerjisinin ancak %59'unun mekanik enerjiye çevrilebildiğini göstermiştir. Ancak bu durum ideal koşullar ve ideal bir makina için geçerlidir. Ayrıca bazı kayıplar meydana gelir. Bu kayıplar:

- Profil kayıpları,
- Kanat uç kayıpları,
- Elektriksel kayıplar.

Bunların detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Profil Kayıpları

Profil kayıpları, profilin sürüklenmesinde meydana gelen ideal bir kanat geometrisinde profil kayıpları ihmal edilebilir. Aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir:

$$K_{profil} = \frac{3}{2} \frac{r}{R} \frac{\lambda_D}{\epsilon}$$

λ_D : uç hız oranı

r: yarıçap

ϵ : kaldırma/sürüklenme

Kanat Ucu Kayıpları

Kanat ucu kayıpları, akışın kanadın ucundaki pozitif taraftan (kanadın alt kısmı) kanadın üst emme tarafına akması sonucunda meydana gelir. Bu yüzden, kanat uçlarına doğru kaldırma azalmaktadır. Uç hız kaybı da aşağıda eşitlik ile verilmektedir:

$$K_{uc} = \frac{1.84}{n\lambda_D}$$

Eşitlikte kullanılan parametreler de λ_D : uç hız oranı, n: kanat sayısı olarak verilmektedir.

Elektriksel Kayıplar

Elektriksel kayıplar, elektrik iletim şebekesinde, trafo merkezinde, şalt sahası, türbin ünite trafosu, kablaj ve diğer elektriksel parametrelerden dolayı ortaya çıkabilecek sorunlardan kaynaklanan kayıplardır.

5.1.10 RT Güç Üretimi

Rüzgar türbinleri rüzgar akışının kinetik enerjisini kullanırlar. Türbinlerde bulunan pervane bozulmamış (undisturbed) rüzgar hızını (V_b) düşürerek pervane arkasında bulunan daha düşük şiddette rüzgar hızına (V_g) çevirirler. Hızlar arasındaki farklılık, rüzgardan çıkarılan enerjiyi ifade etmektedir. Teorik olarak rüzgar türbininden çıkarılan enerji miktarı aşağıdaki ifade ile verilmektedir:

$$P = \frac{\rho}{2} C_p \eta A V^3$$

Burada verilen parametreler ise;

ρ : hava yoğunluğu (kg/m^3),

η : mekanik-elektrik katsayısı,

A: kanat alanı (m^2),

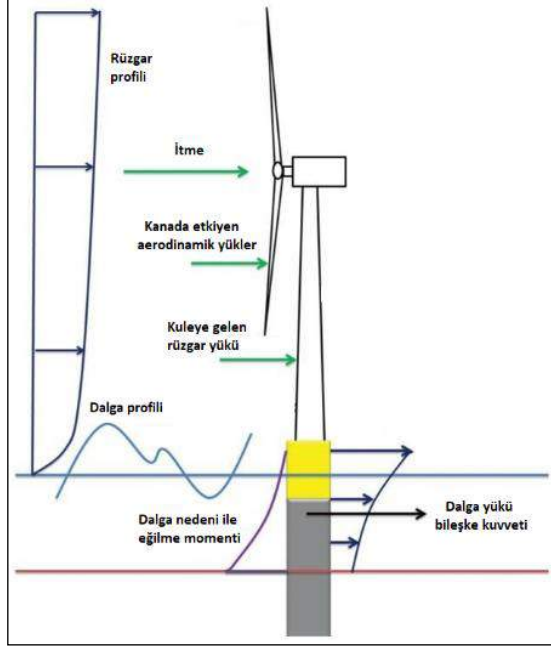
V_b : pervane önündeki bozulmamış rüzgar hızı,

C_p : Betz limiti.

Bilindiği gibi, ideal koşullarda C_p 'nin alabileceği maksimum değer $16/27=0.593$ olmaktadır. Bu ifadeden de görüleceği gibi, RT rüzgarın içindeki enerjinin en fazla %59.3'ünü kullanabilmektedir. Gerçek durumda ise, C_p değeri 0.5'ten fazla olamamaktadır; çünkü RT'nin aerodinamik kayıpları da meydana gelmektedir.

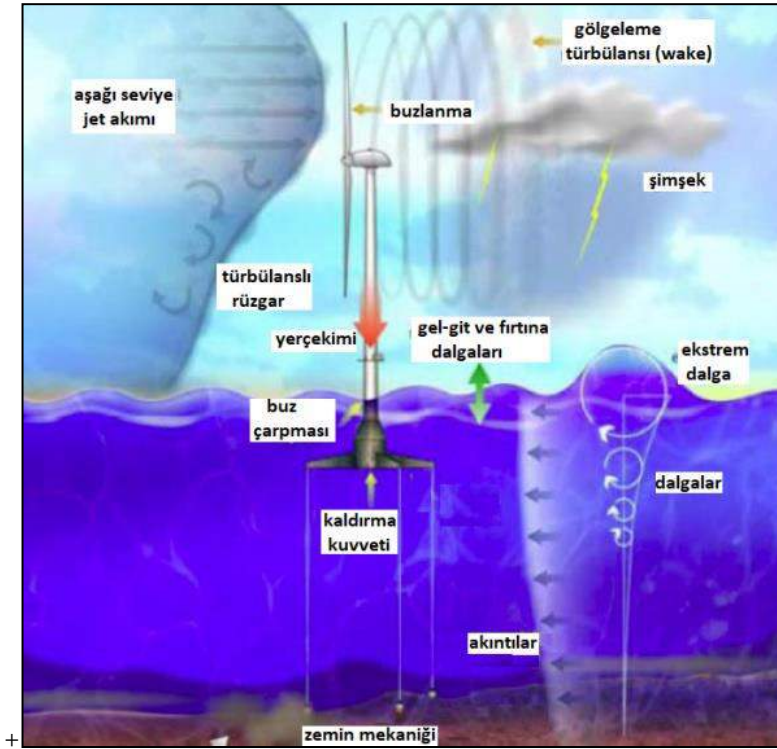
5.2 Denizüstü Rüzgar Türbini Temel Tasarımı

Denizüstü rüzgar türbini (DRT) üzerine etkiyen kuvvetler karaüstü türbinlerden hem farklıdır; hem de daha fazladır. DRT üzerine sadece karaüstü türbinlere ek olarak dalga yükü, akıntı, gel-git, ekstrem dalga, buz çarpması, kaldırma kuvveti etki etmektedir. Denizüstü rüzgar türbini (DRT) üzerine etkiyen dinamik kuvvetler Şekil 5.22 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.22. DRT üzerine etkiyen dinamik yükler.

Şekil 5.23 ile DRT üzerine etkiyen statik ve dinamik yükler gösterilmiştir.



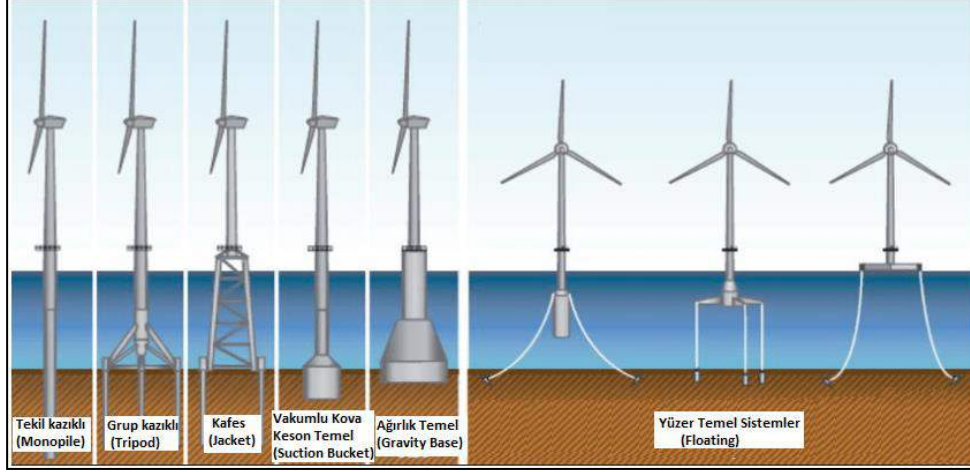
Şekil 5.23. DRT üzerine etkiyen statik ve dinamik kuvvetler.

DRT temeli için geliştirilmiş çeşitli çözümler bulunmaktadır. Bu çözümler, büyük oranda su derinliği ile değişen tasarımlardır. Bu temel tiplerini basitçe 6 gruba ayrılabilir;

- Tekil kazıklı temeller (Monopile) – 20 ile 30 m deniz derinliği,
- Grup kazıklı temeller (Tripod) – 30 ile 40 m deniz derinliği,
- Kafes temeller (Jacket) 50 ile 60 m deniz derinliği
- Vakumlu Kova Keson (Suction bucket) 50 m den serin sularda,

- Ağırlık temeller (Gravity base) 30 ile 50 m deniz derinliği,
- Yüzer temeller (Floating).

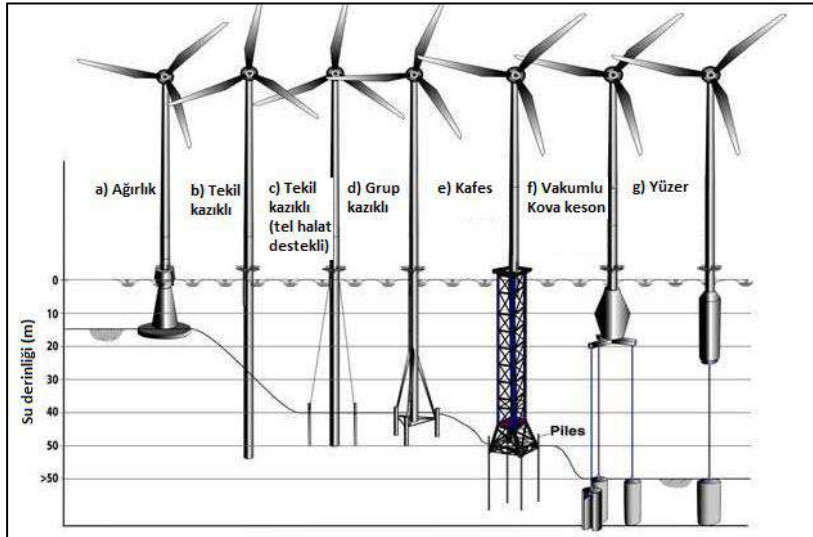
DRT temelinin tipi ve tasarımı çok önemlidir, deniz derinliğinin yanında, etkiyen yükler, deniz tabanı karakteristikleri gibi hususlar da dikkate alınmaktadır. Yukarıda sayılan temel sistemleri aşağıda Şekil 5.24 ile verilmiştir.



Şekil 5.24. DRT temel çeşitleri.

Temelin çeşit ve derinlik ilişkisi Şekil 5.25 ile verilmiştir.

- Tekil kazıklı temeller (Monopile) – 20 ile 30 m deniz derinliği,
- Grup kazıklı temeller (Tripod) – 30 ile 40 m deniz derinliği,
- Kafes temeller (Jacket) 50 ile 60 m deniz derinliği
- Vakumlu Kova Keson (Suction bucket) - 40-60 m,
- Ağırlık temeller (Gravity base) 30 ile 50 m deniz derinliği,
- Yüzer temeller (Floating).



Şekil 5.25. DRT temel çeşitleri ve uygulama derinlikleri.

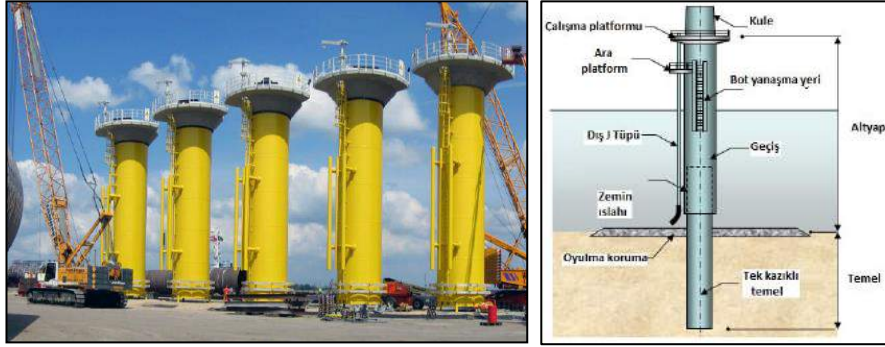
İlerleyen sayfalarda kazık çeşitleri detaylı olarak incelenecektir.

5.2.1 Tekil Kazıklı Temel (Monopile)

DRES uygulamalarında dünyada yapılan ilk projelerde ağırlıklı olarak tekil kazıklı temeller kullanılmıştır. Tekil kazıklı temellerin kullanımı ile deniz üstü yapısının temele ilettiği düşey basınç ve çekme kuvvetler ile eğilme momentlerinin zemin içerisinde sönümlenmesi istenmektedir. Denizüstü yapılarında kazıklı temeller 1940'lerden beri 150 m derinliklere kadar kullanılmaktadırlar. Kazıklı

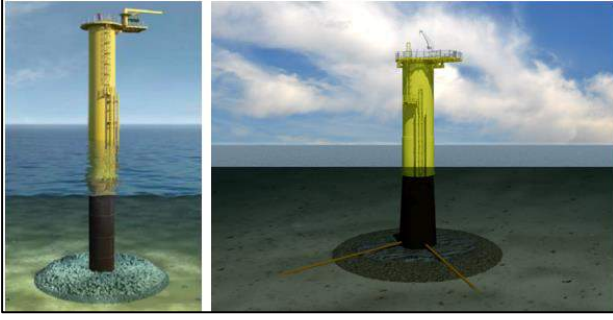
temel kullanımı deniz yapılarında çoğu durumda yüzeysel temel tiplerine göre daha emniyetli olabilmektedir. Zemin sıvılaşma potansiyeli, zeminin homojen olmaması, farklı oturma tehlikeleri ve deniz içindeki bir zeminin kara üzerinde, yüzeyde olan bir zemine göre daha az kontrol edilebilir olması gibi sebepler deniz yapılarında kazıklı temel tipi seçilmesinin yaygınlığının nedenleri arasında sayılabilir. Kazıklı temellerde prensip olarak gerekli refü değerine kadar kazıkların zemine çakılması suretiyle üstyapıdan gelen yükler daha derindeki daha sağlam zemin tabakaları tarafından taşınmaktadır. Malzemenin süneklik yeteneği, mukavemeti gibi nedenlerden dolayı çelik, imalatındaki ve çakımındaki kolaylıklar ve yapısal olarak gösterdiği homojen performanstan ötürü de boru kesit deniz yapılarında en sık kullanılan kazık tipini oluşturmaktadır. Deniz üstü rüzgar türbini temel tasarımında kullanılan kazıklı temeller bugün kullanılan teknikler ve yapılan imalat açısından üçe ayrılmaktadır. Tüm temel tipleri içerisinde kullanımı en yaygın olan “tekil kazıklı temeller”, üçlü veya daha çok 18 kazıktan oluşan “grup kazıklı temeller” ve deniz tabanı üzerine kadar çakılmış olan kazıklar üzerine oturtulan, deniz içindeki kısmı çelik kafes olan “kafes sistemler”.

Günümüzde DRT temel tasarımında en yaygın olarak kullanılan temel tipi tekil kazıklı temellerdir. Büyük çap ve et kalınlıklarında boruların (örneğin 4 m. çap 50 mm. et kalınlığı gibi) çakılmasını veya foraj ile zemine yerleştirilmesini takiben türbin yapısının bir geçiş elemanı vasıtasıyla kazığa bağlanması ile oluşturulur (Şekil 5.26). Statik açıdan değerlendirildiklerinde tek serbestlik dereceli izostatik sistemler olmaları dolayısıyla bu açıdan diğer deniz üstü altyapı sistemlerinden ayrılmaktadırlar.



Şekil 5.26. Tekil kazıklı DRT temeli.

Asgari deniz tabanı hazırlıkları, deniz tabanı hareketlerine ve oyulmaya (scour) karşı dayanıklılığın yanında diğer deniz üstü rüzgar türbini temel tiplerine göre nispeten ucuz olmaları avantajları arasında sayılabilir. Ancak uygulamada yine de oyulmaya karşı önlem oluşturulması amacıyla kazığın deniz tabanı ile birleştiği bölgenin çevresine anroşman tabakası tatbik edilmesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Şekil 5.27). Ayrıca tekil kazıklı temellerde farklı oturma problemleri görülmez ayrıca kazığın gerekli refüye kadar zemine çakılması koşulunun sağlanması durumunda oturma durumu ile de karşılaşılmaz. Depremden kaynaklanan sıvılaşma durumlarında da tekil kazıklı temellerde yapının yan yatması gibi durumlarda söz konusu değildir ancak ankraj boyunun artması dolayısıyla artan moment etkileri devreye girmektedir. Dezavantajları arasında ise büyük çaplı tekil kazığın çakılması için daha büyük ekipmana ihtiyaç duyulması, çakım esnasında deniz tabanına yakın bir seviyede ana kayaya rastlanması durumunda, kısa kazık etkisinin önüne geçmek ve ankraj boyunu yeter derecede sağlamak amacıyla çok pahalı ve zahmetli bir iş olan kaya forajı gereksinimi, tam tersine hakim zemin tabakasının büyük derinliklerdeki gevşek kum veya yumuşak kil gibi zayıf tabakalardan oluşması halinde ise çok daha büyük çakım derinliklerine ihtiyaç duyulması ve bunun yanında zemin yatay direncinin düşük olmasından dolayı artan ankraj boyları, ve sonucunda moment etkileri ve düşey yük etkisi altındaki burkulma durumlarında daha büyük kesitli kazıklara ihtiyaç duyulması, artan su derinliklerinde ve zayıf zemin profillerinde artan serbest boyun neticesi olarak azalan rijitlik ve yanal yükler altında büyük deplasmanlar ile karşılaşılması ve sürekli döngüsel yüklemeler altında (rüzgar ve dalga vb) kazığın deniz tabanı ile birleştiği bölgenin altında bulunan zayıf zemini genişleterek açması (potholing) gibi durumlar sayılabilir.

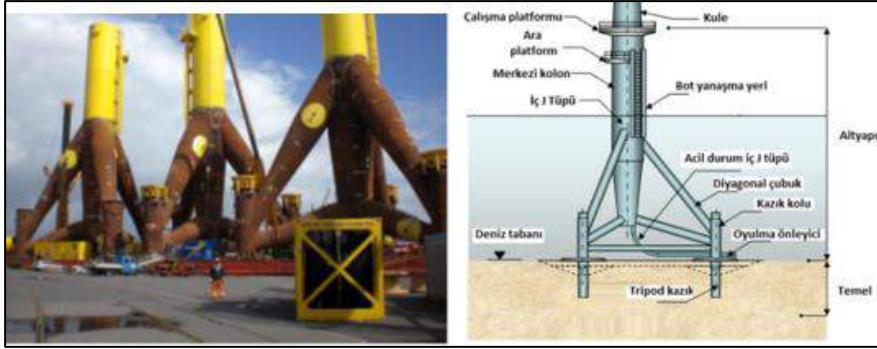


Şekil 5.27. Tekil kazıkların tabanında oyulma (scour) koruma tabakası.

Tekil kazıklı temellerde yanal rijitliği arttırarak çakım boyunu azaltmak için kazık çevresine zaman zaman bayraklar da kaynatılabilmektedir. Bu özel tipin ismi literatürde “finpile” olarak da geçmektedir. Bunun yanında yanal payandalarla güçlendirilebilirler. Bu şekilde yanal payandalarla desteklenmiş tekil kazıklar 20-40 m su derinliklerine kadar kullanılabilmekte, desteksiz tekil kazıklar için ise uygulama su derinliklerinin en fazla 25 m dolaylarında olduğu düşünülmektedir.

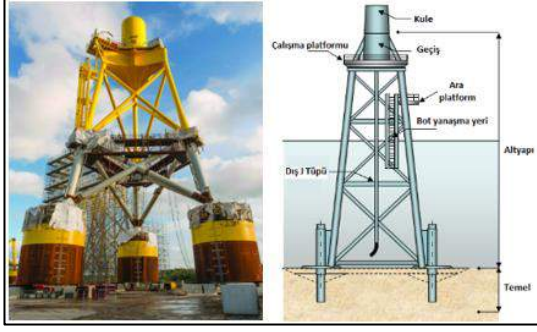
5.2.2 Grup Kazıklı Temel (Tripod)

Grup kazıklı temel, büyük boyutlu tekil kazık çözümünün uygun olmadığı veya bu tip kazıkları çakacak ekipmanın yetersizliği gibi durumlarda daha düşük çaplı ve et kalınlıklı grup kazıklı temeller kullanılmaktadır. Grup kazıklı temeller, genelde üçlü veya dördü konfigürasyonlardan oluşmalarına rağmen daha fazla adette kazıklardan da oluşabilirler. Daha düşük kapasiteli ekipman gereksinimi, daha kolay taşınabilirlik ve dikleştirilebilirlik gibi durumların yanında daha büyük deniz derinliklerine kadar çakılabilmesi grup kazıkların avantajları arasında sayılabilir. Ayrıca çapların daha düşük olmasından dolayı oyulma problemleri de büyük boyutlu tekil kazıklı temellere göre daha seyrek karşılaşılan bir durumdur. En büyük dezavantajları, geçiş (transition piece) elemanının tekil kazıklar için olan geçiş elemanına kıyasla daha karmaşık olması olarak gösterilebilir. Genelde geçiş elemanları çeliktir. 8 MW kapasiteli üç kazıklı bir deniz üstü rüzgar türbini temeli görülmektedir.



5.2.3 Kafes Temel (Jacket)

Kafes sistemler genellikle deniz tabanı seviyesine kadar çakılan kazıkların üzerine oturtulur. Deniz içinde kaynak vb. çelik işçiliğin zahmetlerinden ötürü çelik kafes eleman alt uçlarından bu söz konusu kazıkların içerisine zıvanalı bir şekilde soketlenerek kazıklarla bağlantısı sağlanmaktadır. Kafes sistemin yapısal özelliğinden ötürü çekme ve basınç çubukları sayesinde bu sistemler diğer tiplere göre oldukça rijit olup, ekstrem çevresel koşullarda (büyük su derinlikleri, güçlü dalga ve rüzgar hareketleri, elverişsiz sismik koşullar vb.) daha yüksek performans gösterir ve deplasmanların sınırlandırılmasında yvtrygdmarinliğinden dolayı deniz içi buz etkilerine karşı bazı durumda dayanıksız olabilmektedir. Ancak ülkemiz karasularında böyle bir durum söz konusu değildir. En büyük avantajları arasında karada hazırlanarak, gemiler ile kurulum alanına getirilip yerine monte edilmesi bulunmaktadır. Ayrıca betonarme temellere kıyasla da oldukça hafif olmalarından ötürü deprem durumlarında yapıya gelen yatay kuvvetler dolaylı olarak üzerine oturduğu kazıklara gelen basınç ve çekme kuvvetleri çok daha düşük seviyede olmaktadır. Bu tip temeller 20-40 m. su derinliklerinde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Bu sistemin kule ile bağlantısı ise farklı şekillerde olabilir. Kule ile bağlantı kafes üzeri betonarme tabliye, çelik koni geçiş elemanı veya direkt çelik konstrüksiyon geçiş elemanı ile sağlanabilir.



Şekil 5.29. Kafes DRT temeli.

5.2.4 Vakumlu Kova Keson Temel (Suction Bucket)

Vakumlu kova kesonlar tip olarak hem kazıklı temellere hem de ağırlık temellere benzemektedir. Ancak bu temel tipini diğerlerinden ayıran en belirgin özellik kurulum şeklidir. Vakumlu kesonlar genelde dairesel kesitli ve cidarlı olup, en boy oranı açısından çubuk eleman sınıflandırılmasının dışında kalmaktadır. 5 m'den düşük su derinlikleri için ortalama çaplar 2 ila 4 m arasında değişmekle beraber daha büyük su derinlikleri için bu çaplar 12 ila 15 m değerlerine kadar çıkabilmektedirler. Genelde bu kesonlar çelik malzemeden yapılır ve kuleye bağlanan boru şeklindeki geçiş elemanına çelik flanşlar ve payandalar ile bağlanarak gelen yüklerin homojen bir şekilde keson tabanına etki ettirilmesi hedeflenmektedir. Kesonun yüksekliği yaklaşık olarak kesonun çapına eşit olarak alınmaktadır ve bu şekilde keson içerisinde hapsolan zemin bir ağırlık yapısı şeklinde sisteme dahil olmaktadır. Şekil 5.30 ile vakumlu kova keson temeller gösterilmektedir.



Şekil 5.30. Vakumlu kova keson temeli.

Kurulum şeklindeki farklılığa gelince; bu en-boy oranı yaklaşık 1'e eşit olan kalın cidarlı ve büyük çaplı çelik borular zemin üzerine önce titizlikle oturtulurlar. Ardından bu kesonun üst kısmından açılmış olan bir delikten yukarıya borular ile bağlanan güçlü bir pompa bulunmaktadır. Bu pompa, kesonun cidarları zemine tam olarak oturtulduktan sonra çalıştırılır ve zemin içerisindeki havayı ve suyu güçlü bir basınç ile dışarı pompalar. Bu esnada keson içi ile dışı arasında oluşan basınç farklılığı sebebiyle keson yerçekimi doğrultusunda zemine düşey bir itki yaparak, zemin içerisine batmaya başlar. Bu şekilde keson tamamen zeminin içine batıncaya kadar bu vakum işlemi devam eder. Killi zeminlerde ilgili basınç ayarlanması suretiyle yeterli olmakla beraber, kumlu zeminlerde deniz suyunun zemin içerisinden dışarıya doğru olan akımı sebebiyle efektif gerilme düşer ve bu şekilde kesonun deniz tabanı içerisine batması kolaylaşır. Kesonun zemine arzu edilen miktarda penetre edilmesi işleminin tamamlanmasını takiben pompa montajı için kullanılmış olan vanalar kapatılarak devre dışı bırakılır. Vakumlu kesonunun uygulanma prensibi kovanın içindeki boşluğun, suyun kaldırma kuvvetinin yarattığı belirgin içe doğru akımla dolma zamanının az olması için göreceli olarak daha kısa periyotlu dalgalara maruz kalmalarına bağlıdır. Oluşabilen emme, kovanın zemine batma miktarına bağlı olarak, zeminin permeabilitesi, drenaj yolu ve dalga periyodu ile ters orantılıdır.

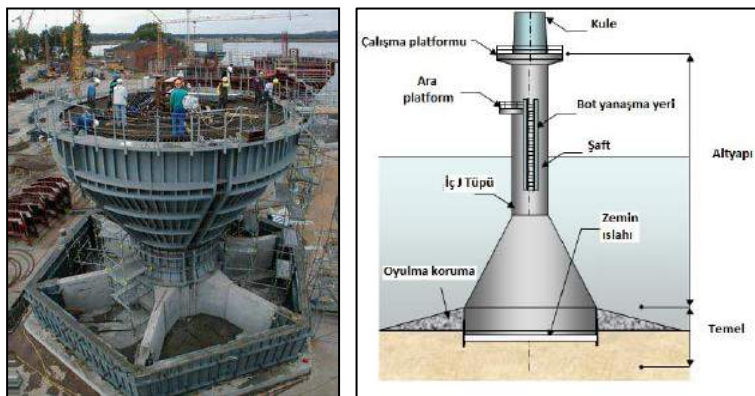
Vakumlu kesonlar tekil olarak kullanımlarının dışında çoklu konfigürasyonlar ile grup kazıklı temeller şeklinde de kullanılabilir. Bu şekilde gerekli kesonların kesitleri düşürülebilir ve gerekli boru tipleri yerel şartlara veya yabancı imalatçı firmanın durumuna göre daha rahat temin edilebilir. Vakumlu kova kesonların ağırlık temellere göre en büyük özellikleri, cidar iç ve dış sürtünmeleri sebebiyle çekme kuvvetlerine karşı çok daha dayanıklı olmaları olup, kazıklı temellere göre ise en önemli üstünlükleri bir ağırlık yapısı gibi davranmalarından ötürü taşıyabilecekleri büyük orandaki uç direnci olmaktadır.

Vakumlu kesonların taşınması ve kurulumu da önemli avantajlarından biridir. Hafif oldukları için sahaya taşınmaları çok kolay olmakta ve kurulum alanında dikleştirilmeleri genelde sıkıntı yaratmamaktadır. Ayrıca deniz tabanı için tesviye ve düzenleme işlemleri de asgari boyutta kalmaktadır. Ancak özellikle düşük su derinliklerinde dalganın etkisinin deniz tabanında daha şiddetli bir şekilde hissedilmesinden ötürü oyulma önlemleri alınması gerekmektedir.

5.2.5 Ağırlık Temel (Gravity Base)

Ağırlık temeller adları üzerinde kendilerine gelen yükleri zati ağırlıklarının karşı koydukları direnç ile karşılarlar. Genelde dairesel kesit şeklinde inşa edilmelerine karşın dairesel temele yakın olacak şekilde kalıp işçiliğini daha basite indirmek amacıyla çokgen kesitli veya tamamen kare kesitli de olabilmektedirler. Çok yaygın olarak bu tip temelerde kullanılan malzeme betonarme olmakla beraber betonarme veya çelik bir keson içerisine balast malzeme doldurulması ile de teşkil edilebilmektedirler. Balast malzeme olarak genelde kum tercih edilirken, kesiti küçültmek ve daha büyük ağırlıklar temin etmek için özgül kütlesi çok daha yüksek olan olivine veya barit gibi elementler de kullanılabilmektedir. Ağırlık temeller düz bir yüzey üzerine oturtulurlar, ancak yüzey tabakasının zayıf olduğu durumlarda deniz içinde belirli bir miktarda tarama yapılarak daha sağlam bir yüzeye de oturtulabilirler. Ayrıca ağırlık temelin etekli yapılması da böyle durumlarda bir başka çözüm yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu şekilde etekli yapılan ağırlık temeli zemin içerisine batırılarak altında bulunan zemini sıkıştırıp, eteklerinden sürtünme direnci de alarak daha stabil bir duruma gelmektedir. Bunların dışında sayılabilecek bir diğer alternatif de ağırlık temelin taşıma gücü ve oturma şartlarını yerine getirebilmesi için deniz tabanı seviyesine kadar çakılmış tekil veya grup kazıkların üzerine oturtulmasıdır.

Ağırlık temeller genelde homojen zeminler üzerinde taşıma gücü ve oturma dağılımları açısından daha iyi sonuç vermektedirler. Ancak 0 ile 25 m arasındaki su derinliklerinde bulunan neredeyse bütün zeminlerde kullanılabilmektedirler. Ağırlık temeller, temel tabanında çekme gerilmeleri meydana getirmeyecek şekilde tasarlanmaktadır. Rüzgar, dalga ve deprem gibi yatay yüklerden kaynaklanan devrilme momenti yapının diğer yönde direnç gösteren ağırlığı ile ve yanal yüklerden kaynaklanan kayma kuvvetleri ise yine yapının ağırlığı ve taban-zemin arası sürtünme katsayısı ile orantılı olarak dengelenmektedir. Genelde bu temel tipleri çok rijit oldukları için yatay deplasman problemleri ile karşılaşmaz. Ancak ağırlık tipi temellerin deprem bölgelerinde kullanılması durumunda dikkat edilecek en önemli hususlardan biri sıvılaşma riskidir. Bu tip temeller yapılan sondajlar neticesinde gevşek yüzeysel kum zemin katmanlarına rastlanması durumunda tercih edilmemelidir. Ağırlık temellerin önemli avantajlarından biri sahaya taşınmalarının kolaylıklarıdır. Tamamen veya kısmen tamamlanmış halde taşıma işlemi yapılabilir. Özellikle balast malzeme tercih edilmesi durumunda boş kesonların gemiler ile kurulum alanına taşınabilmesi çok kolay olmaktadır. Şekil 5.31 ile Danimarka Nysted DRES ağırlık temellerinin gemiler ile kurulum alanına taşınması ve özel teçhizatlı ve vinçli bir duba yardımı ile boğaz kısmından tutularak denize indirildiği görülmektedir.



Şekil 5.31. Ağırlık (gravity) DRT temeli.

5.2.6 Yüzer (Floating) Temeller

DRT temeli tasarımında çok yüksek su derinliklerinde (genelde 50 m den fazla derinliklerde) diğer temel tiplerinin kullanımı fizibil olmaktan çıkmaktadır. Bu durumlarda yüzer temeller tercih edilmektedir. Yüzer temellerin en büyük avantajları diğer temel tiplerine göre ekonomiklik açısından çok daha üstün olmaları olmakla beraber en büyük dezavantajları ise rijitliklerinin diğer temel tiplerine göre çok daha düşük seviyede olması dolayısıyla ekstrem yanal itkilerin (büyük dalga iklimi, şiddetli

sismik hareket vb.) söz konusu olduğu durumlarda üstyapıya (ki burada söz konusu olan üstyapı elemanı kule ve türbin) yer değiştirmelerden kaynaklanan büyük moment etkilerinin etkimesi olarak düşünülebilir.

DRT temel tasarımında öne çıkan iki sistem çekme ayaklı platformlar (Tension leg platforms - TLP) ve dönmesi kısıtlanmış şamandıra sistemleridir. İlk bahsedilen temel tipinde adından da anlaşılacağı gibi deniz seviyesindeki yüzer eleman deniz tabanındaki ankrajlarına öngerilme verilmiş çelik halatlarla bağlanarak dengede tutulmaktadır. Diğer temel tipinde ise şamandıra tipindeki yüzer eleman açılı şekilde kendisine bağlanmış olan ancak öngerilmemiş halatlar ile düzlemde belirli bir tolerans ile tutulmakla beraber şamandıranın alt kısmına yerleştirilen dengeleyici bir eleman yardımıyla dönmesi engellenmektedir. Yüzer temellerde kullanılan ankrajlar, çapa, zemin içerisine monte edilmiş plaka, vakumlu kova veya deniz tabanı altı kazığı şeklinde olabilmektedir.

DRT'ler derin sulara yapılmaya başlandığından dolayı yüzer temelli çözümler kullanılmaya başlanmıştır. Derin sularda sabit temelli çözümler ekonomik olmamaktadır. Yüzer temel çözümleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

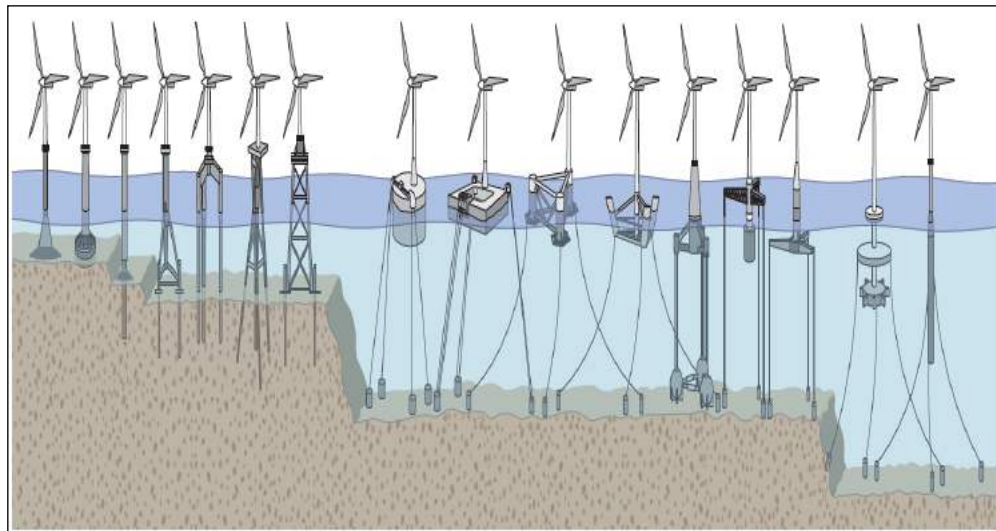
- Barge,
- Semi-submersible,
- Spar,
- Tension leg platform

Şekil 5.32 ile yüzer temelli çözümler görülmektedir.



Şekil 5.32. Yüzer DRT temeli.

DRT'lere ait bütün temeller aşağıda resmedilmiştir (Şekil 5.33).



Şekil 5.33. DRT temelleri.

Pervane kanatlarının üzerine etkiyen aerodinamik kuvvetlerden dolayı RT'leri, rüzgarın kinetik enerjisini dönme (rotasyonel) mekanik enerjiye çevirir. Pervane kanatlarındaki bu kuvvetler uçak kanatlarının maruz kaldığı kuvvetlere çok benzer.

Deniz üstü rüzgar türbinlerinin denizdeki uygulaması ile karadaki uygulamaları arasından en önemli fark kuşkusuz temel tasarımlarındaki farklılıklardan ve denizdeki uygulamaların çeşitli zorluklarından oluşmaktadır. Deniz geotekniğinde kara geotekniğinden farklı olarak karşılaşılan temel farklılıklar arasında aşağıdakiler sayılabilir;

- Deniz içerisinde yapılan temel uygulamalarında suyun kaldırma kuvveti, temele gelen kuvvetler açısından büyük farklılıklar yaratabilmektedir,
- Değişken bir yer altı su seviyesinden bahsedilemeyeceği için zeminin her zaman suya doygun durumda bulunması ve bu şekilde modellenebilmesi,
- Suyun tuzluluğundan kaynaklanan korozyon etkileri nedeniyle özellikle çelik altyapı elemanlarında artan korozyon riskleri ve buna bağlı olarak azalan servis ömürleri,
- Deniz içindeki akımdan veya temele etki eden tekrarlı yüklemelerin temel çevresi zemininde yarattığı yorulma etkisinden (dalga, rüzgar vb) oluşabilecek oyulma durumları ve bunların kontrol edilmesinin güçlükleri,
- Deniz içinde altyapı ile ilgili tüm onarım durumlarında müdahalenin daha zor olması ve daha komplike teknikler yardımıyla yapılabilmesi,
- Zeminin suya tamamen doygun olmasından dolayı zemin cinsine ve granülometrisine bağlı olarak deprem durumunda artan sıvılaşma potansiyelleri.

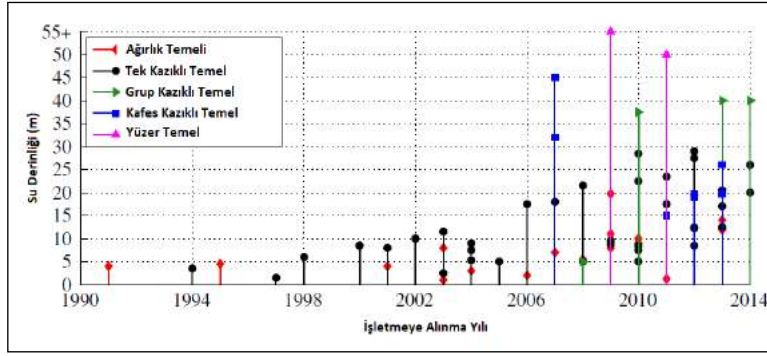
Söz konusu yapı eğer bir rüzgar türbini ise yukarıda sayılan farklılıklar daha da fazla önem kazanmaktadır. Çok büyük ve pahalı yatırımlar olan rüzgar türbinlerinin tasarımında emniyet faktörü büyük önem kazanmaktadır. Deniz üstü rüzgar türbinlerinin geotekniği kara üstü türbinlerin geotekniği ile arasında farklar gösterdiği gibi diğer deniz yapıları ile de aralarında önemli farklar bulunmaktadır. Özellikle aşırı derecede büyük boyutlar sebebiyle, rüzgar ve dalga yükleri gibi kuvvet tesirleri tipik bir iskele yapıya göre özellikle oluşturduğu eğilme momentleri açısından çok daha kritik sonuçlar yaratmaktadır. Tipik bir iskele tasarımında en elverişsiz kuvvet deprem kuvveti olurken dalga ile rüzgar yüklerinin bu kuvvete kıyasla açık olarak daha önemsiz olmasına rağmen deniz üstü rüzgar türbini temel tasarımı için durum çok daha farklıdır. Büyük rüzgar alanı ve artan yükseklik sebebiyle özellikle rüzgar kuvvetleri deniz üstü rüzgar türbini için kritik yük olma hüviyetini taşımaktadırlar.

Aşağıdaki Tablo 5.3 ile bazı DRES'lere ait deniz derinlikleri verilmiştir. Tabloda minimum, maksimum ve ortalama derinlikler ile işletmeye alındığı tarihler görülmektedir.

Tablo 5.3. Çeşitli DRES'lere ait deniz derinlikleri.

DRES Adı	Minimum derinlik (m)	Maksimum derinlik (m)	Ortalama derinlik (m)	İşletme Giriş Yılı
Horns Rev I	6	14	10	2002
Nysted	6	9	7.5	2003
North Hoyle	7	11	9	2004
OWEZ	15	20	17.5	2006
Lillgrund	4	10	7	2007
Prinses Amalia	19	24	21.5	2008
L&I Dowsing	6.3	11.2	8.7	2009
Rhyl Flats	6.5	12.5	9.5	2009
Horns Rev II	9	17	13	2009
Thorton Bank	12	27.5	19.7	2009
Thanet	20	25	22.5	2010
Belwind I	20	37	28.5	2010
Ormonde	20	28	24	2011
Greater Gabbard	24	34	29	2011

Yıllara göre deniz derinlikleri ve kullanılan temel tipleri ile ilgili aşağıdaki Şekil 5.34 bilgi amaçlı verilmiştir.



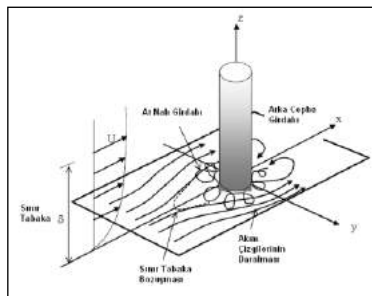
Şekil 5.34. Yıllara göre DRT derinlik/temel kullanımı.

5.2.7 Deniz Tabanı Stabilitesi ve Oyulma (Scour) Koruması

Deniz tabanı stabilitesini etkileyen iki önemli faktör arasında hidrolik ve sismik etkilerden söz edilebilir. Hidrolik kuvvetler temel olarak iki kuvvet şeklinde ele alınabilir. Bunlardan biri deniz içi dip akıntılarından kaynaklanan akıntı kuvvetleri, diğeri ise rüzgar kaynaklı olarak oluşan dalga kuvvetleridir. Dalga mekaniği karmaşık bir konu, hatta başlı başına bir bilim olarak kıyı mühendisliğini prensipleri ile ele alınmaktadır. Dalga tipleri de birçok sınıflandırmaya bağlı olarak kendi içlerinde ayrılabilir. Kıyı yapılarına gelen dalga kuvvetlerini hesaplamakta devreye giren sınıflandırma dalganın kırılan veya kırılmayan dalga olması koşuludur. Her iki durumda da farklı yük tanımları yapılmakla beraber kırılan dalganın yapı üzerindeki tesirinin daha şiddetli olduğu söylenebilir. Bir dalganın kırılması hidrolik koşullara bağlı olmakla beraber dalga mekanizmasının deniz tabanı ile ilişkisiyle de açıklanabilir. Dalga, deniz tabanı ile etkileşim içerisine girmeye başladığı kritik derinlikte kırılmaya başlar. Dalga yüksekliği dalga tepesi ile dalga çukuru arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır. Dalga çukuru deniz tabanına yaklaştıkça deniz tabanındaki sürüklenme etkileri parabolik olarak artmaktadır. Dolayısıyla yapının bulunduğu derinlik kritik derinliğe ne kadar yakınsa deniz tabanında yapı temelinin dalga kaynaklı sürüklenme kuvvetlerine daha çok maruz kalması durumu ortaya çıkar.

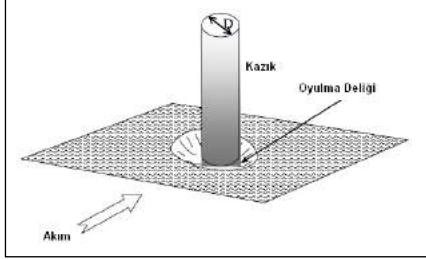
Deniz tabanı stabilitesini etkileyen bir diğer faktör ise deprem etkileridir. Özellikle deniz içi şevlerinde deprem etkilerine bağlı olarak büyük deplasmanlar meydana gelebilir. Bunun dışında deprem etkilerinin deniz tabanı stabilitesini etkileyen en büyük etkilerinden bir sıvılaşma durumudur. Kohezyonsuz zeminlerde dinamik etkilerden dolayı boşluk suyu basıncının artarak zemin danelerini birbirinden ayırıp efektif gerilmeyi ortadan kaldırmasıyla zeminin bir sıvı olarak davranması durumuna sıvılaşma denilmektedir. Böyle bir durumda deniz tabanında büyük değişiklikler meydana gelebilir. Deprem bölgelerinde bu gibi durumlardan dolayı yüzeye yakın zemin tabakalarının arasında sıvılaşma potansiyeli olabilecek kumlu katmanların bulunması hallerinde yüzeysel temellerden kaçınılmalıdır. Kazıklı temel durumunda ise sıvılaşma ile zemin direncinin ortadan kalkması ile kazık üzerindeki moment diyagramının değişimi tasarım esnasında mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Deniz yapılarının temel tasarımlarında, özellikle de boyutların çok büyük olduğu deniz üstü rüzgar türbini temellerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken en büyük konulardan biri oyulmadır. Doğal oşinografik ve jeolojik koşullar etkisiyle oluşan deniz içi akımı veya dalga kaynaklı olarak, herhangi bir deniz yapısının inşaatı durumunda doğal akımda süreksizlik yaratılması halinde deniz tabanında oluşan sediment hareketine oyulma denir. Oyulma, temele gelen deniz akımının yapı önünde “at nalı girdabı” (horseshoe vortex), dalga aşağı yönde ise “arka cephe girdabı” (lee-side vortex) ismi verilen girdaplar oluşturarak temel çevresinde bulunan zemini temelden uzaklaştırarak temel çevresini çukurlaştırması şeklinde oluşur (Şekil 5.35).



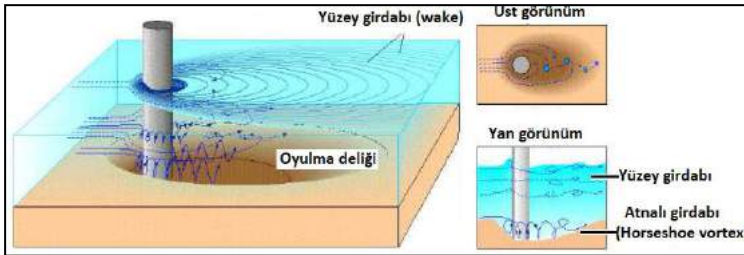
Şekil 5.35. Oyulma mekanizması.

Oyulmalar yerel oyulma, genel oyulma ve kitlesel deniz tabanı hareketi olmak üzere üç çeşit halinde ele alınabilir. Kazık veya kazık gruplarının çevresinde konik oyulma çukurları oluşması yerel oyulma olarak tanımlanırken genel oyulmada temel sisteminin çevresinde sığ bir havuz oluşması söz konusudur. Kitlesel deniz tabanı hareketi yapının mevcudiyetine bağlı olmamakla beraber, kum dalgası, sırt veya topukların hareketleriyle deniz tabanı seviyesini arttırabilir veya azaltabilir. Genelde meydana gelen tüm oyulma vakaları yukarıda anlatılan oyulma tiplerinin kombinasyonu şeklindedir.



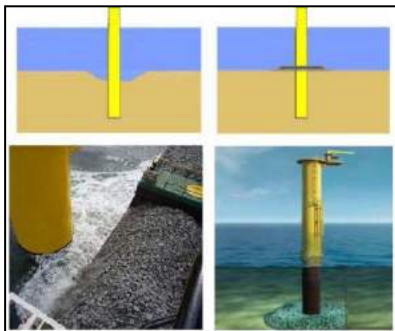
Şekil 5.36. Yerel oyulma.

Gevşek kumlar ve yumuşak silt ve killer gibi zayıf zeminler oyulmaya daha meyillidirler. Deniz tabanı seviyesinde geoteknik etutler neticesinde bu tip zeminler tespit edildiği durumda oyulma analizleri mutlaka titizlikle ele alınmalıdır. Aksi takdirde yapı temelinde uzun vadede çok büyük sıkıntılar yaşanabilir. Kazıklı temellerde oyulmaya bağlı olarak artan serbest boyun neticesinde, artan moment etkileri ve burkulma boyu ile olumsuz gerilme koşulları oluşabilir, sistemin doğal titreşim periyodunun artması sebebiyle daha kısa bir yorulma ömrü ve kazık boyunun yetersiz kalması durumunda kısa kazık etkisinden dolayı toptan göçme gibi durumlar meydana gelebilir. Oyulma etkilerinden dolayı kazıklı yapıların çevresinde kazık çapının 1.5 ila 2 katı arasında bir derinlikte bölge oyulma sonucu yok olabilmektedir. Oyulma durumuna önlem olarak uygulamada çeşitli alternatifler ele alınmaktadır. En sık kullanılan çözüm yöntemi temel çevresine (kazıklı temellerde, kazık çevresinde, en az 5D mesafeyi kaplayacak şekilde) uygun kategoride anroşman taşı yerleştirilmektedir. Benzer bir şekilde temel çevresini korumak adına temelin etrafına düşük dozajlı su içi betonu da dökülebilir. Ancak çoğu zaman oyulma tedbirleri amacıyla alınan ilave önlemler maliyetli olabileceği için (örnek: anroşmanın elde edilmesi, sahaya taşınması, taşınması için uygun ekipmanların kullanılması vb.) kazıklı yapılarda kazık çapı ve et kalınlığını arttırmak suretiyle oyulmaya müsaade etmek de bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Dalga ve akıntı etkileri ile DRT temelini oyulması Şekil 5.37 ile verilmiştir.



Şekil 5.37. Dalga ve akıntılarla DRT temel oyulması (scour).

Oyulma koruması için yapılan çalışmalar Şekil 5.38 ile verilmiştir.



Şekil 5.38. DRT temel oyulma (scour) koruması.

5.3 DRT’lerde Güvenlik

Bilindiği gibi, RT’lerin tasarım ömrü yaklaşık 25 yıldır; yani 140000 işletme saati civarında çalışmaya göre üretilmektedir. Kıyaslama açısından örnek olarak normal bir araba motorunun çalışma ömrü 5000 saattir. Bu yüzden 120000 saat gibi yüksek bir işletme ömrü olan RT’ler de işletme sırasında meydana gelebilecek bir takım aksaklıklara karşı güvenlik için bazı kriterler bulunmaktadır.

5.3.1 Kişisel Koruma Cihazları

Bilindiği gibi yabancıların ve yetkisi olmayan kişilerin RT sahasına girişi yasaktır. Tubular çelik kulede kapı ile RT kapatılmışken; çelik kafes kulelerde kulenin etrafı bariyer veya tel örgü ile çevrilmiştir. RT sahasında yapılan çalışma en az 2 kişi ile yapılmaktadır. RT içinde çalışan herkes, aşağıda belirtilen koruma teçhizatına sahip olmalıdır:

- İş elbisesi ve tırmanma yeleği,
- Koruyucu kask,
- Özel ayakkabı,
- Eldiven, kulaklık ve gözlük.

RT’de bakıma başlamadan evvel aşağıdaki kontroller yapılır:

- Bütün teçhizat, zarar görme ihtimaline karşı kontrol edilir,
- Tırmanma yeleği vücuda göre ayarlanmalıdır,
- Güvenlik halatı ile tırmanma yeleği arasında en fazla 0.4 m olmalıdır,
- Bütün emniyet teçhizatı kuru bir ortamda muhafaza edilmelidir.

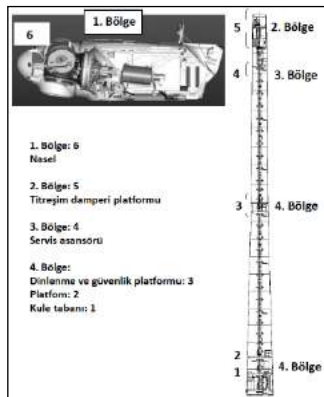
Şekil 5.39 ile DRT’lerde kullanılan kişisel güvenlik teçhizatı görülmektedir.



Şekil 5.39. DRT kişisel emniyet teçhizatı.

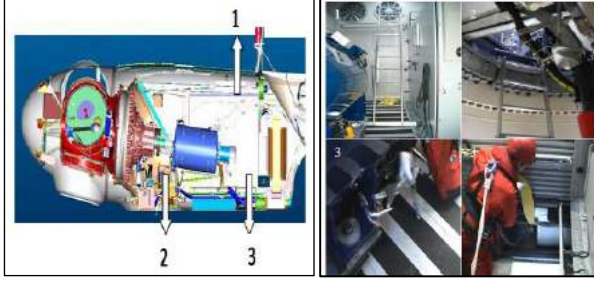
5.3.2 DRT Acil Durum Boşaltma Planı

DRT’lerde acil durumda tahliye planı bulunmaktadır. Tahliye yatay ve dikey olmak üzere ikiye ayrılır. Yatay tahliye, tahliye edilen kişinin yaralandığı anlamına gelir. Dikey tahliye ise ağır yaralanma olmadığı durumda yapılan tahliyedir. Şekil 5.40 ile DRT’den tahliye bölgeleri görülmektedir. DRT den tahliye yapılacak 2 ana bölge bulunmaktadır.



Şekil 5.40. DRT acil durum çıkış bölgeleri.

Neselde iken tahliye yukarıdan yani naselin üzerindeki kapak açılarak veya naselden aşağı doğru 2 adet çıkıştan merdiven yolu ile tahliye mümkündür.



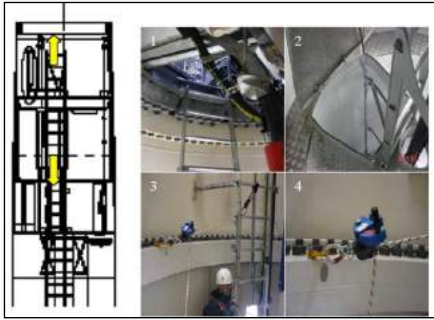
Şekil 5.41.. DRT nasel acil durum 1 nolu acil çıkış bölgesi.

Nasel üzerinden helikopter veya aşağı doğru ip ile sarkıtılarak tahliye yapılır (Şekil 5.42).



Şekil 5.42. DRT naselden acil durum tahliyesi.

2 nolu bölgeden tahliye için yukarı nasele doğru veya merdivenlerden aşağı kule girişine doğru tahliye mümkündür.



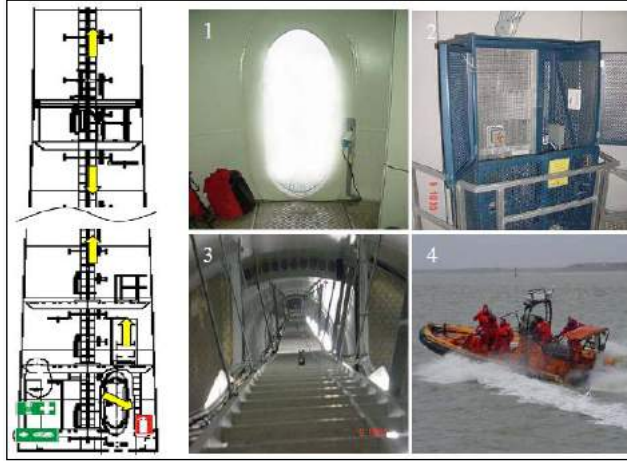
Şekil 5.43. DRT 2 nolu bölge acil çıkış.

3 nolu bölgeden tahliye için yukarı nasele doğru veya merdivenlerden aşağı kule girişine doğru tahliye mümkündür.



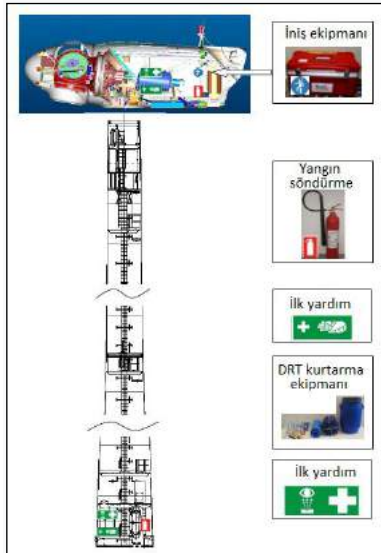
Şekil 5.44. DRT 3 nolu bölge acil çıkış.

4 nolu bölgeden tahliye için doğrudan kule girişindeki kapıdan tahliye yapılabilir. Eğer kapıdan tahliye mümkün değil ise nasek üzerinden tahliye mümkündür.



Şekil 5.45. DRT 4 nolu bölge acil çıkış.

DRT’de acil durum ve ilk yardım ekipmanlarının yeri aşağıda görülmektedir.



Şekil 5.46. DRT’de acil durum ve ilk yardım ekipmanlarının yeri.

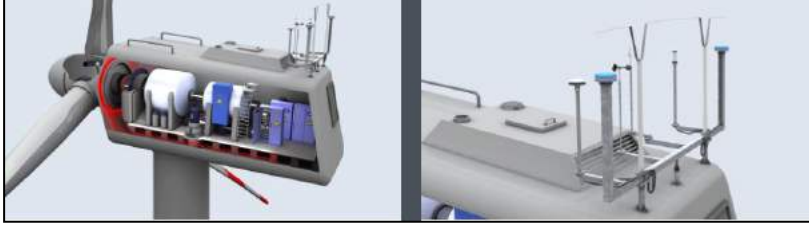
Kapı çıkışından sonra ise tahliye botu ile bölgeden uzaklaşılır.



Şekil 5.47. Tahliye botu.

5.3.3 DRT Yıldırım Koruma Sistemi

DRT, yıldırımdan koruma sistemi ile donatılmıştır.

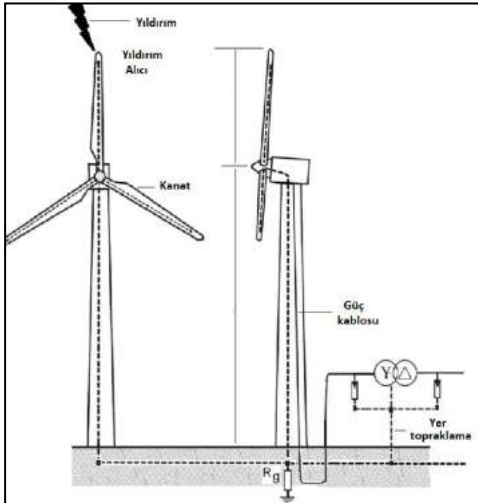


Şekil 5.48. DRT nasel üzerindeki paratonerler.

Yıldırım koruma sistemi; RT'lerde aşağıdaki olayların engellenmesi için konulmaktadır:

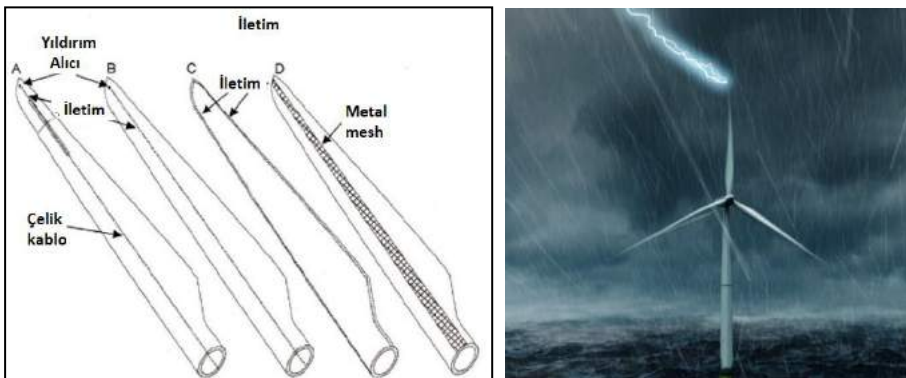
- Elektrik şok,
- Fiziksel hasar,
- Elektriksel veya mekanik ekipmanların yüksek voltajdan korunması.

Bütün bunların sonucunda da insan hayatının korunması, ekonomik kayıpların azaltılması ve ekipmanların korunmasını temin etmektir. Bazı RT üreticileri yıldırımdan korunma için çeşitli standartlar koymuşlardır.



Şekil 5.49. DRT kanatlardaki yıldırım koruma sistemi.

Her bir kanat içten yıldırım koruma teçhizatına sahiptir. Her 3 kanattan gelen bu koruma teçhizatı 50 mm² bakır kablo ile birleşerek toprağa verilmektedir (Şekil 5.50).



Şekil 5.50. Kanat yıldırım koruma alıcı ve iletimi.

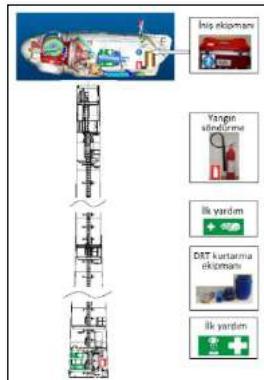
5.3.4 Yangın Koruma Sistemi

Rüzgar türbinleri, yanıcı olmayan maddeler içermektedir. Bütün sistemler yangın için 6 aylık bakımdan geçmektedir. Yapılan bakımlar, konu ile ilgili eğitim almış ehil kişilerden oluşur. RT'yi oluşturan ekipmanların büyük bir çoğunluğu metalden yapılmıştır. Örnek olarak ana ekipmanlar, kule, jeneratör, dişli kutusu, şaft, hidrolik ünite, fren, sürücüler örnek verilebilir. RT içindeki yangının kaynağı ancak nasel tarafında olabilir. RT'nin yanında bulunan step-up trafodaki yangın RT'yi etkilemez. Servis personeli RT'de yangın ihtimaline karşı bütün önlemleri almaktadır. Naselin içerisine sıcaklık sensörü konularak sürekli izlenmektedir. İçerisinin sıcaklığı belli bir dereceyi geçtiğinde sistem otomatik olarak mesaj gönderir ve kendisini kapatır. Sistemin bütünü içerisinde bulunan herhangi bir cihaz arıza yaptığında da sistem, izleme merkezine uyarı mesajı gönderir.

Nasel içerisinde herhangi bir yangın çıkarsa (çalışma anında mühendis veya teknisyen bulunurken) 3 kaçış yolu bulunmaktadır. Birincisi merdiven, ikincisi asansör ve üçüncüsü de halat ile aşağı sarkarak inmedir. Kule, gerekli eğitimi almış personel tarafından ziyaret edildiğinden, kaçış yolları kendileri tarafından bilinmektedir. Nasel çalışırken yapıldığında vinç için üst kapak açıldığından duman için ek bir ventilasyon sistemine gerek kalmamaktadır. RT'lerde yangın durumunda bile çalışabilen aydınlatma sistemleri bulunmaktadır.

RT'lerde genellikle 4 adet yangın söndürücü bulunmaktadır. Tehlike bölgesine göre CO₂ veya köpük ile doludur. Yeri ise, RT tipine göre değişebilmektedir. Bazen kapının hemen sağına ve yakınında veya uzağında bulunabilmektedir. Bütün RT'lerde ilk yardım için ilk yardım seti bulunmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi, RT'den iki çıkış bulunmaktadır. Birincisi kule girişindeki kapı; ikincisi de naselden halat ile acil durum inişidir. İniş için gerekli bütün malzemeler RT nasel dairesinde bulunmaktadır.

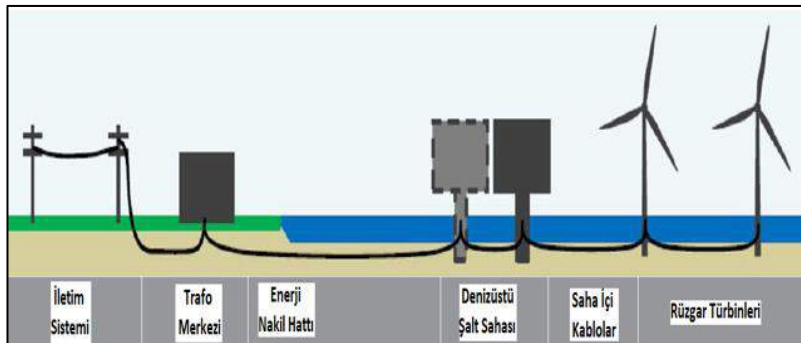
DRT'de acil durum ve ilk yardım ekipmanlarının yeri aşağıda görülmektedir.



Şekil 5.51. DRT'de acil durum ve ilk yardım ekipmanlarının yeri.

5.4 Denizüstü RES Elektrik Sistemi

DRES elektrik sistemi üç bölüme ayrılabilir. Toplama sistemi, şalt sistemi ve iletim sistemi. Öncelikle, üretilen enerjiyi denizaltı kablolar ile gerilim seviyesinin yükseltileceği şalt sistemine ve oradan da iletim sistemi ile ulusal şebekeye bağlantı yapılır.



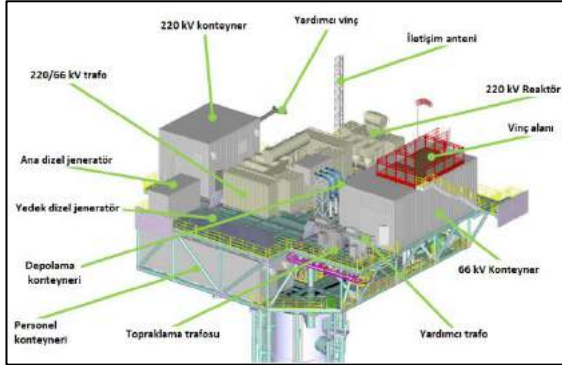
Şekil 5.52. DRES elektrik sistemi.

Tipik bir DRES elektrik tek hat şeması aşağıda Şekil 5.53 ile verilmiştir.



Şekil 5.56. DRES şalt sahası.

Tipik bir DRES şalt sahası şalt sahasında bulunan ekipmanlar aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5.57. DRES şalt sahası.

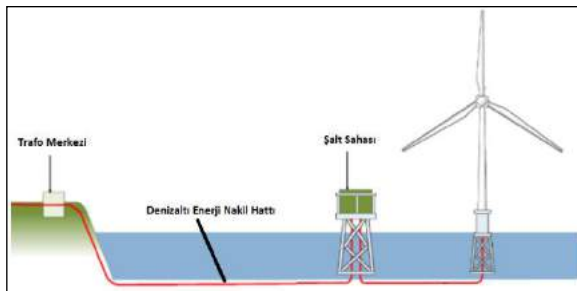
Şalt sahası genellikle alt yapı ve üst yapı olarak ikiye ayrılmaktadır. Alt yapı olarak temel; üst yapı ise çelik konstrüksiyon kısımdır. Deutsche Bucht DRES projesine ait DRES şalts sahasının alt kafes temel (1760 ton) ve üst yapısı (2720 ton) aşağıda görülmektedir.



Şekil 5.58. DRES şalt sahası alt ve üst yapı.

5.4.3 Denizaltı Enerji Nakil Hattı

DRES şalt sahasından çıkan yüksek gerilim kablolarının karaya kadar aldığı mesafede kullanılan kablolardır.



Şekil 5.59. DRES denizaltı enerji nakil hattı.

Bazı DRES'lere ait elektriksel özellikler görülmektedir.

Tablo 5.4. Bazı DRES'lere ait elektriksel özellikler.

DRES Adı	Top.kap./Ünite kur.gücü (MW)	Su derinliği (m)	Kıyıya uzaklık	Saha içi kablo
Thanet (İngiltere)	300/3	14-23	2x132 kV/26 km	33 kV/75km
Greater Gabbard (İngiltere)	504/3.6	4-37	3x132 kV/45 km	33 kV/173 km
Bard 1 (Almanya)	400/5	39-41	2x155 kV/125 km	33 kV/107 km
Horns Rev 1 (Danimarka)	160/2	6-11	150 kV/21 km	30 kV/63 km
Horns Rev 2 (Danimarka)	207/2.3	9-17	150 kV/42 km	33 kV/70 km
Rodsand Rev 2 (Danimarka)	207/2.3	6-12	132 kV/80 km	33 kV/75 km
Princes (Hollanda)	120/2	19-24	3x150 kV/29 km	22 kV/45 km
Nysted (Danimarka)	166/2.3	6-9	132 kV/11 km	33 kV/48 km
Robin Gigg (İngiltere)	180/3	4-12	2x132 kV/12.5 km	33 kV/42 km

5.4.4 Karaüstü Enerji Nakil Hattı (ENH)

Karaüstü ENH, deniz ile karadaki trafo merkezi arasındaki iletim sistemidir (Şekil 5.60). Denizden karaüstü TM'ye kadar yeraltı hattı ile gider.



Şekil 5.60. DRES karaüstü enerji nakil hattı.

5.4.5 Karaüstü Trafo Merkezi

DRES bulunduğu ülkenin iletim şebekesine bağlandığı yerdir.



Şekil 5.60. DRES şebeke girişi (trafo merkezi).

BÖLÜM 6: DENİZÜSTÜ RES EKİPMAN ÜRETİMİ

Bu bölümde DRES ekipmanlarının üretimi ile ilgili bilgiler verilecektir. Avrupa ülkelerindeki uygulamalara bakıldığında limanda DRES ekipman üretiminin yaygınlaşmış olduğu görülmektedir. Burada proje sahasına yakın ve de lojistik açıdan DRES projesinin gereksinimlerine karşılık verebilecek bir limanın bulunması hayati rol oynamaktadır.

6.1 DRT Üretim Limanı

DRT'lerin karaüstü RT'lere oranla büyük boyutu karaiçi nakliyyeyi zorlaştırmaktadır. Bu yüzden DRT üreticileri türbin üretim tesisini büyük limanların olduğu bölgelere kaydırmıştır. Şekil 6.1 ile Siemens DRT üreticisinin İngiltere Hull Limanında bulunan kanat üretim tesisi görülmektedir. Green Port Hull adı verilen tesis 210 milyon sterline mal olmuştur.



Şekil 6.1. Siemens Hull Limanı kanat fabrikası.

Özellikle Avrupa Ülkelerinde kule temeli konusunda bir çok firma bulunmaktadır. Temelin büyüklüğü göz önüne alındığında limana yakın be hatta liman içerisinde üretim tesisi olması projenin ekonomik olarak yapılabilişliğini artırmaktadır. DRT temel üreticileri daha çok offshore petrol ve gaz platform üreticileri tarafından yapılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 6.2 ile Almanya Bremerhaven'da bulunan DRT temel üretim tesisi görülmektedir.



Şekil 6.2. Bremerhaven limanında bulunan temel üretim tesisi.

6.2 Denizüstü Şalt Sahası Üretim Limanı

DRT temelleri gibi, denizüstü şalt sahası ve platformunun üretimi yakındaki bir limanda düşünülebilir. Bu yapı, tek bir ünite şeklinde üretilip nakliyesi yapılmaktadır. Şekilde Hollanda Zwijndrecht limanında bulunan denizüstü şalt sahası üretimi tesisi görülmektedir.



Şekil 6.3. Hollanda Zwijndrecht limanında bulunan denizüstü şalt sahası üretim tesisi.

6.3 İşletme ve Bakım Limanı

DRES projesine yakın bir limanda DRES yedek parça deposu işletme ve bakım dönemi boyunca çok önemlidir. Ayrıca işletme ve bakım dönemi boyunca limanda bir kontrol binası olması önemlidir. DRES ömrü 20-25 yıl olarak düşünüldüğünde böyle bir binanın bulunması önemlidir. Şekil 6.4 ile İngiltere Ramsgate limanını göstermektedir. Bu limandan Thanet (300 MW), Kentish Flats (90 MW) ve London Array (630 MW) DRES projeleri yönetilmektedir. Bu liman projelere lojistik üs olarak hizmet vermektedir. İşletme ve bakım limanı DRES proje sahasına mümkün olan en yakın yerden seçilmelidir. İşletme sırasında acil bir durumda karaya ulaşmak önemlidir. Ayrıca böyle bir limanda helikopter pistinin de olması büyük bir avantajdır.



Şekil 6.4. İngiltere Ramsgate limanı.

Liman Uygunluk Araştırması

DRES limanı seçilirken öncelikle aşağıdaki hususların dikkate alınması gereklidir;

1. DRT ünite kurulu gücü (MW),
2. DRES kurulu gücü (MW),
3. Mevcut TM'ye uzaklık,
4. Su derinliği,
5. Temel tipleri ve tahmini ağırlıkları,
6. DRES şalt sahası özellikleri.

Ayrıca liman civarında birden fazla DRES inşa ihtimali olan yerler seçilmelidir. DRT'ler birkaç şekilde montajı yapılmaktadır. Genellikle 4 veya 6 kaldırma olarak 2 şekilde montajı yapılabilir. Depolama alanının yetersizliği durumunda kanatlar üst üste konabilecek sistemler bulunmaktadır.



Şekil 6.5. DRT kanat depolama.

Knatların yüklenip boşaltılması için gemi vinçler bulunmaktadır. Ayrıca limandaki vinçlerden de faydalanılabilir.



Şekil 6.6. DRT kanadının limanda kaldırılması.

DRT kanadının limanda üretilebilmesi için aşağıdaki hususlar önemlidir;

- Üretim tesisinin bulunması,
- Geniş kargo gemilerinin limanda nakliye için bulunması,
- Rıhtım alanının genişliği,
- Liman deniz derinliği,
- Mobil vinçlerin limanda emreamadeligi,
- Depolama alanı kapasitesi,
- Vinç ve raylı ssitemler,
- Rıhtım uzunluğu,
- Ağır tonajlı gemilerin yanaşabileceği deniz derinliği.

Nasel üretimi veya montajı en zor kısımlardandır. DRT'deki en ağır parça olduğundan dolayı nakliyesi ve muhafaza edilmesi özel şartlar gerektirmektedir. İçerisinde ağır ve değerli mekanik ve elektronik aksam barındırmaktadır. Bu yüzden tozlu olarak tozlu olabilecek ortamlarda muhafaza edilmemelidir. 6 MW kurulu gücünde bir DRT'ye ait tipik özellikler aşağıda verilmiştir:

Nasel ağırlığı : 330 ton
 Nasel genişliği : 7.4 m
 Nasel uzunluğu : 18 m
 Kapladığı alan : 185 m²

Bu boyut ve ağırlıktaki bir ekipmanın muhafaza edilmesi oldukça güçtür.



Şekil 6.7. Limanda nasel muhafazası.

Özellikle nasele yükleme ve boşaltma kritik bir husustur.



Şekil 6.8. Limanda nasele yükleme işlemleri.

6.4 DRT Temel Üretimi

DRT'deki temellerin boyutu ve ağırlığı, karaüstü RT'lerden daha büyük olduğundan limanda üretim düşünülebilir. Tek kazıklı (Monopile) temeller dikey olarak muhafaza edilebilir.



Şekil 6.9. Limanda tek kazıklı temel depolanması.

6 MW bir DRT'ye ait tek kazıklı temel özellikleri;

Geçiş parçası : 550 ton
Temel çapı : 6.5 m

20 m deniz derinliği için;
Temel toplam ağırlık : 1076 ton
Uzunluk : 66 m
Saklama alanı : 578 m²

50 m derinlik için için;
Temel toplam ağırlık : 1464 ton
Uzunluk : 79 m
Saklama alanı : 729 m²

Kafes (Jacket) Temeller

Kafes temeller genellikle liman rıhtımında üretilip DRES proje sahasına montaj için gönderilirler. Daha sonra uygun montaj gemisi ile kafes temel montajı yapılır. Bilindiği gibi, kafes temeller 30-40 m derinlikten sonra ekonomik olmaktan çıkmaktadır. 6 MW bir DRT'ye ait kafes temel özellikleri;

30 m deniz derinliği için;
Kafes kule ağırlığı : 613 ton
4 kafes ayak ağırlık : 328 ton
Kafes ayak uzunluk : 17 m
Toplam uzunluk : 38 m

Saklama alanı : 1302 m²

40 m derinlik için için;

Kafes kule ağırlığı : 684 ton

4 kafes ayak ağırlık : 388 ton

Kafes ayak uzunluk : 23 m

Toplam uzunluk : 58 m

Saklama alanı : 1674 m²



Şekil 6.10. Limandaki rıhtımda kafes temel depolanması.

Ağırlık (Gravity) Temel

Ağırlık temel dizaynı derin olmayan sularda kullanılmaktadır. Boyutun büyük olması sebebi ile limanda üretilerek montaj için DRES proje sahasına taşınmaktadır. 6 MW için özellikler verilmiştir.

Ballast hariç ağırlık : 5970 ton

Çap : 39 m

Kaplama alanı : 1260 m²

Bu temel tasarımı sığ sularda kullanılan bir dizayndır, kayalık yapıdaki deniz tabanı için de kullanılabilir. Limanda üretimde dikkat edilmesi gereken en önemli husus ağırlık temel dizaynının diğer temel dizayn çözümlerinden daha ağır tonaj sahip olmasından dolayı rıhtımın kaldırma kapasitesidir. Avrupa'daki uygulamalarda rıhtımlara güçlendirme yapıldığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil ile Belçika'daki Thornton Bank projesine DRES projesi için üretilen ağırlık temellerin bulunduğu liman görülmektedir. Bu limanda rıhtımın taşıma kapasitesi 6 ton/m² dir.



Şekil 6.11. Thornton Bank DRES limanda temel üretimi.

6.5 Kuru Rıhtımda (Dry Dock) Üretim

Limanda kuru rıhtım (dry dock) üzerinde ağırlık temel üretimi düşünülebilir. Ekonomik olarak yeterli sayıda temel olduğunda bu çözüm düşünülmektedir.



Şekil 6.12. Dry dock ağırlık temel üretimi.

Şalt Sahası

Şalt sahası, DRES içindeki elektromekanik ekipmanlardan tek parça olarak en ağır kısımdır. Ağırlığı 2500 – 4000 ton arasında değişmektedir. Bu yüzden gerek nakliyesi ve gerekse de montajı en önemli sistemlerdendir. Şalt sahasının alt taban kısmı crawler vinç ile taşınabilmektedir. Proje kapasitesine göre bazen birden fazla şalt sahası da yapılabilmektedir. Şalt sahasının limanda üretilebilmesi için kafes temelli limanlardaki kriterlere ihtiyaç duyulmaktadır. Limanın tonaj kaldırma kapasitesi oldukça önemlidir. Gemi erişim kanalı 75 m, rıhtım su derinliği 6 m ve rıhtım kaldırma kapasitesi 20 ton/m² olmalıdır.



Şekil 6.13. DRES şalt sahası alt taban ve tepe kısmı.

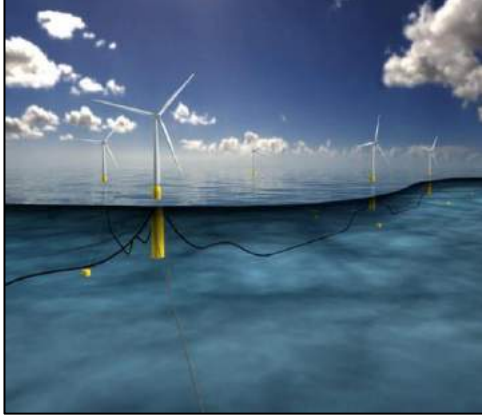
DRES şalt sahası temel konstrüksiyon nakliyesi aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.14. DRES şalt sahası temel nakliye.

Saha İçi Elektrik Kabloları (Inter Array Cabling)

DRES proje sahasında türbinler arasındaki elektrik kablolaj hattı (inter array cables), enerji nakil hattından daha hafiftir. Bu kablounun ağırlığı deniz derinliğine göre değişim göstermekle birlikte 20-40 kg/m dir. Bu kablolar, limanda muhafaza edilmektedir ve bu kabloların montajı için de özel amaçlı gemiler bulunmaktadır.



Şekil 6.15. DRT’ler arası kablo.

Şekil 6.16 ile DRES için kullanılacak kablonun limanda muhafaza halinde görülmektedir.



Şekil 6.16. DRES saha içi kablo.

6.6 DRES Şalt Sahası – Kara Arası Kablo (ENH)

Denizaltı enerji nakil hattı (ENH) olan bu kablo (export cable) DRES şalt sahası ile kara arasındaki yüksek gerilim hattıdır. Deniz derinliğine göre ağırlığı 70-100 kg/m arasında değişmektedir. Özel gemiler yardımı ile 6 m/dk hızda denizaltına dönebilmektedir. Hava ve deniz koşullarına bağlı olarak günde 2000 m denizaltı kablo dönebilmektedir. Genellikle 1 hafta içerisinde denizüstü şalts sahası ile kara arasındaki kablolama işlemi bitirilebilmektedir. Kablo serme gemisi (cable laying vessel), olarak adlandırılan bu gemiler Avrupa’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşağıdaki Şekil ile İsveç’te limanda kablo üreten bir tesis görülmektedir. Yaklaşık 7 dönüm üzerine kurulmuştur.



Şekil 6.17. Limanda DRES ENH kablo üretim tesisi.

Kablo serme gemilerinin boyu 130 m lere ulaşabilmektedir. Gerekli liman koşulları 100 m den büyük rıhtım boyu, en az 5 m deniz derinliği ve liman erişim kanalının 25 m den büyük olması gereklidir.

BÖLÜM 7: DENİZÜSTÜ RES

PROJELERİNDE KULLANILAN

GEMİLER

DRES projelerinde karaüstü RES projelerinde olmayan bazı özel ekipmanlar kullanıldığından bunların tanıtılması için ayrı bir bölüm oluşturulmuştur. Bu bölümde DRES projelerinde kullanılan araştırma gemileri, personel taşıma gemileri, türbin nakliye gemileri, kablo kanal açıcı gemiler, kablo serme gemileri, montaj gemileri, çakıl döküm gemileri vb gibi DRES projelerinde kullanılan özel gemiler ve diğer yardımcı ekipmanlardan bahsedilecektir.

7.1 DRES Araştırma Gemileri (Survey Vessels)

DRES proje planlanması evresinde kullanılan özel yapım gemilerdir. Araştırma gemileri aşağıdaki amaçlar için kullanılmaktadır:

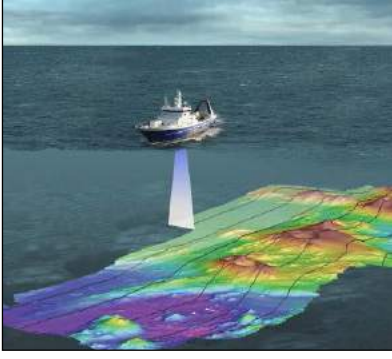
- DRES proje sahası bulunması,
- Denizüstü meteoroloji istasyonu kurulum araştırmaları,
- DRES saha geoteknik çalışmaları,
- DRT mikrokonuslandırma,
- DRES kablo kanal güzergah çalışmaları,
- Sismik araştırma.



Şekil 7.1. Araştırma gemisi.

Kabloların montajından önce çevresel etkileri en aza indirmek ve riskleri ortadan kaldırmak için ve kabloların geçiş güzergahı, mikrokonuslandırma, montaj emniyeti vb gibi birçok teknik detay deniz tabanının haritalandırılması sonrası yapılabilir.

Araştırma gemileri denizaltı batimetrik haritanın çıkarılmasında da kullanılmaktadır.



Şekil 7.2. Denizaltı batimetrik haritalandırılması.

Deniz hidrografisi, jeofizik ve geoteknik konularda da araştırma gemileri kullanılmaktadır. Jeofizik, herhangi bir saha araştırması veya deniz dibi haritalama, batimetri (deniz derinliği) verileri elde etme gibi araştırmalar DRES projeleri için hayati öneme sahiptir. Hidrografik ve jeofizik verilerin toplanması için deniz tabanını, sıg yüzeyleri ve jeolojiyi karakterize etmek için çeşitli akustik tabanlı araçlar kullanılır. Ayrıca, dünyadaki manyetik ve yerçekimi alanındaki yerel varyasyonları algılayan manyetik ve gravimetrik sistemler de kullanılmaktadır. Şekil ile sismik araştırmalarda kullanılan 2 adet araştırma gemisine ait özellikler görülmektedir.



Şekil 7.3. Sismik araştırma gemisi.

7.2 Personel Ulaştırma Gemileri (Staff Transportation Vessel/Barge)

Personel ulaştırma gemileri, ekipmanların ve personelin nakliyesinde kullanılan deniz taşıtlarıdır. Proje geliştirme aşamasında, projenin inşa süreci ile işletme ve bakım aşamasında kullanılırlar.



Şekil 7.4. Personel ulaştırma gemisi.

7.3 Römorkör Gemileri (Anchor Handling Tugs)

Taşıma gemileri gibi gemilerin çekilmesi veya eşlik edilmesinde kullanılmaktadırlar. Ayrıca kurtarma veya yangına müdahale gibi görevleri de vardır.



Şekil 7.5. Römorkor gemi.

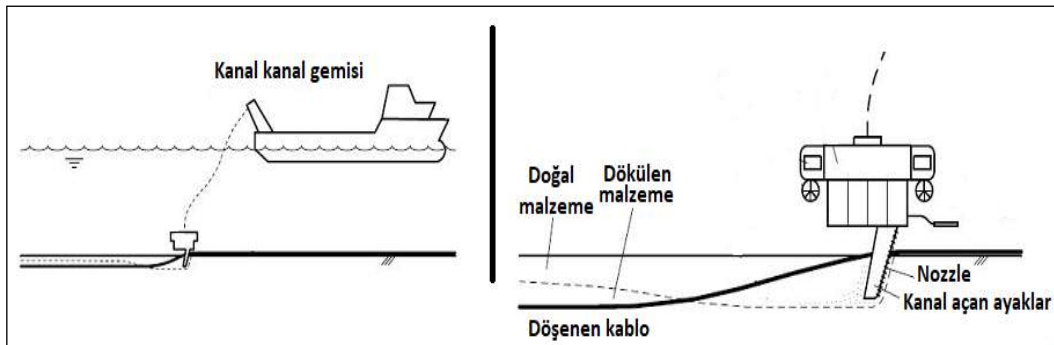
7.4 Kablo Kanal Açıcı Robot (Anchor Trenching Machine)

Deniz tabanına yerleşecek olan kablo kanalının açılmasında kullanılan yardımcı ekipmanlardır. Bu makineler yüksek basınç pompaları ile çalışır.



Şekil 7.6. Kablo kanal açıcı.

Kablo kanal açıcı detay teknik resim ise aşağıda verilmiştir.



Şekil 7.7. Kablo kanal açıcı detay teknik resmi.

7.5 Denizaltı Kablo Serme Gemileri (Cable Laying Vessels)

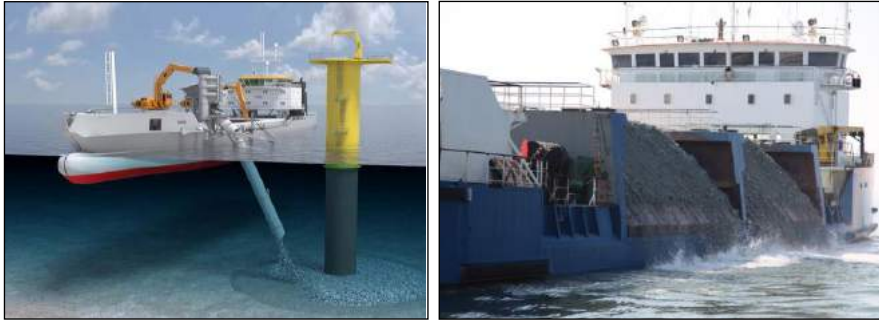
Denizaltı kablolanmanın yapılabilmesi için özel gemiler geliştirilmiştir. Bunlara da Cable Laying Vessel (CLV) adı verilmektedir. CLV'ler 100 km'ye yakın kablo uzunluğunu yönetebilecek yapıdadır.



Şekil 7.8. Denizaltı kablolama için kullanılan özel gemiler.

7.6 Çakıl/Taş Döküm Gemisi (Rock Dump Vessel)

Deniz tabanı koşullarından dolayı kablo kanalı açılmasının mümkün olmadığı yerlerde kablolar deniz tabanının yüzeyinden geçecek şekilde tasarlanmaktadır. Bunların üzerine çalık dökülerek sabitlenerek emniyete alınmaya çalışılır. Böyle durumlarda çakıl veya taş dökme alternatifi ekonomik bir çözüm olabilir. Kablonun hasar riski azaltılmış olunur. Bu gemiler, dinamik konumlandırma sistemlerini kullanır; bu sayede deniz tabanına döküm işlemini mümkün mertebe doğru yapmaya çalışır. Değişken boyutları ve alternatif çözümleri ile sığ sularda yandan boşaltma vinci ile derin sularda düşme boru ile döküm işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 7.9. Çakıl döküm gemisi.

7.7 DRT Nakliye Gemileri

Denizüstü elektrik santralleri (DRES) 1990'lı yılların başından itibaren realize edilmeye başlanmıştır. Rüzgar türbinlerinin kurulu gücü arttıkça boyutları ve ağırlıkları artmıştır. Buna paralel olarak DRES nakliye, inşaat ve montajında çalışan deniz endüstrisi de gelişim göstermiştir. Aşağıda DRT parçalarını taşıyan gemi nakliyesi görülmektedir.



Şekil 7.10. DRT parça bazlı nakliye.

Bazı projelerde DRT'ler tek parça olarak da taşınmıştır.



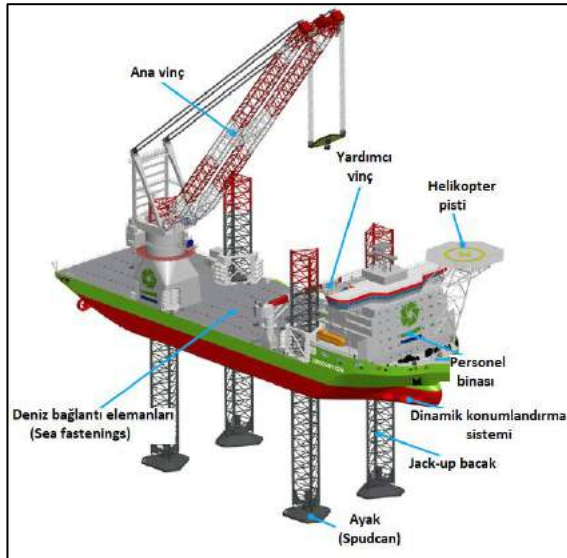
Şekil 7.11. DRT tek parça nakliye.

7.8 DRES Nakliye ve Montaj (Jack Up) Gemileri

Derin sulara DRES montajının yapılmaya başlanması, denizüstü montaj sanayinin karşılaştığı en zor sorunlardandır. Artan türbin yüksekliği ve ağırlıklar denizüstü vinçlerin kapasite ve yan kol uzunluklarının artmasına neden olmaktadır. Türbinlerin limandan proje sahasına nakliye süresini etkilemektedir. Denizde sefer süresinin artması daha fazla RT ekipmanının taşınabilmesi için geniş güverteli gemilerin kullanımını gerektirmektedir. Denizüstü RES montajı sırasında vincin çalışma koşulları hava durumuna bağlıdır. Denizüstü rüzgar türbinlerinin (DRT) montajı ile ilgili farklı teknikler bulunmaktadır. Farklı gemi vinçler, farklı DRT modelleri vb gibi hususlar nakliye ve montaja etki etmektedir.

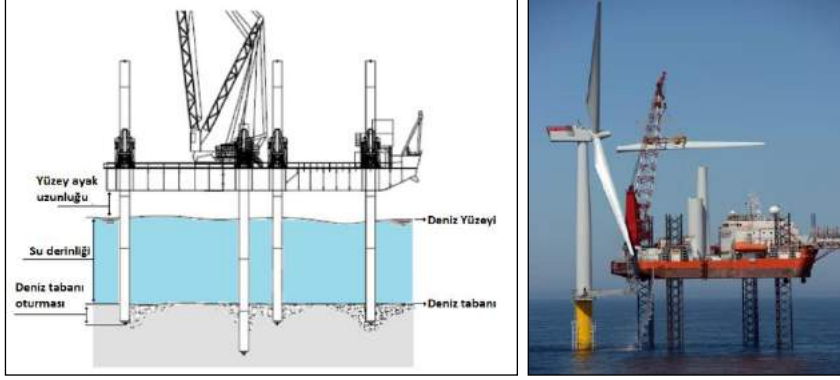
Deniz derinliği, DRES proje sahasının konumunu etkileyen en önemli parametrelerdendir. DRES projesinin kurulacağı deniz derinliği türbin temel maliyetini etkileyen bir parametre olduğundan projedeki en kritik hususlardandır. Zaten karaüstü RES'lere göre çok daha yüksek maliyetli olan türbin temeli DRES proje bütçesindeki önemli kalemlerdendir. Deniz derinliği ayrıca bölgeye gelecek olan gemi vinçler için de önem arz etmektedir. Sadece derin sular değil; çok sığ sularda gemiler için sorun teşkil edebilmektedir. Gemi vincin manevra kabiliyeti açısından da deniz derinliğine dikkat edilmesi gerekmektedir.

DRT montajının yapılabilmesi için özel olarak imal edilmiş gemi vinçler bulunmaktadır. Montaj ile ilgili risk sadece teknik değil, aynı zamanda maliyet ve süre olarak da düşünülmesi gereklidir. Özel yapım gemilere örnek olarak Heavy Lift Vessel (HLV) ve Jack up gemi örnek verilebilir. HLV, dinamik konumlandırma sistemine göre çalışmaktadır. Jack up gemisi ise, 4 ayağını deniz tabanına dayayarak havada asılı platform halini alarak kendini konumlandırabilmektedir.



Şekil 7.12. Jack-up gemisi ana ekipmanları.

Deniz taşıtları fonksiyonlarına göre çok çeşitli olabilirler. Bazılarında yangın söndürme ünitesi, revir vb gibi tesisler olabilir. DRES projelerinde farklı fonksiyonlarda gemiler kullanılmaktadır.



Şekil 7.13. Jack-up gemisi.

DRT'ler self-propelled installation gemi veya Jack Up Barges gemileri tarafından yapılmaktadır. Denizüstü RES projelerinde ağır parçaların yükseğe montajının yapılması gerekmektedir. Montaj yapılırken geminin birkaç metrelik hareketi dahi kanca yüksekliğinde fark ve ciddi sıkıntılara yol açabilir. Bu yüzden jack up ayakları deniz tabanına sabitlenerek montaj yapılır. Bu tip gemi vinçler iki grupta toplanabilir:

- Rüzgar Türbin Montaj Gemileri – RTMG (Wind Turbine Installation Vessel-WTIV)
- Jack up Mavnalar (Jack up Barge - JUB)

RTMG, denizüstü rüzgar türbin montajı için özellikle yapılmış gemilerdir. Bu gemilerin uzayabilen Jack up bacakları vardır ve bacaklar deniz tabanına kadar indirilip sabitlenir. Ağır tonajlı ekipmanı yükseğe monte edecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 7.14. Jack up gemi vinci ile montaj.

Günümüzde 8000 tona kadar taşıma kapasitesi ve 3750 m² boş güverte alanı olan Jack up gemi vinçler bulunmaktadır. Bu gemilerin jack up bacak uzunlukları 32-85 m arasında değişmektedir. Ayan inme hızı ise 0.35 – 0.8 m/dk dır. Gemi yükünün ağırlığı nedeni ile bu hız normaldir. Bu tip gemilerde dinamik konumlandırma sistemi olduğundan türbinin montajını yapabilmek için kesim koordinata yerleşebilme özelliği vardır. Ayrıca personelin kalabilmesi için bazı jack up gemilerde yatak kapasitesi 100'ü geçmektedir. Bu tip gemiler imal edilirken deniz derinliği ve kıyıya uzaklık gibi parametreler dikkate alınmaktadır. Türbin boyutlarının büyümesi daha geniş güverte hacmini de beraberinde getirmektedir. DRT montajında kullanılan bazı gemi vinçlere ait tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 7.1. Çeşitli gemi vinçler.

Gemi Adı	Tipi	Belirgin Dalga Yüks.(m)	Yüzey Ayak (m)	İnşa Yılı
Vagant	JUB	1.5	3	2002
Pauline	JUB	2	6.5	2002

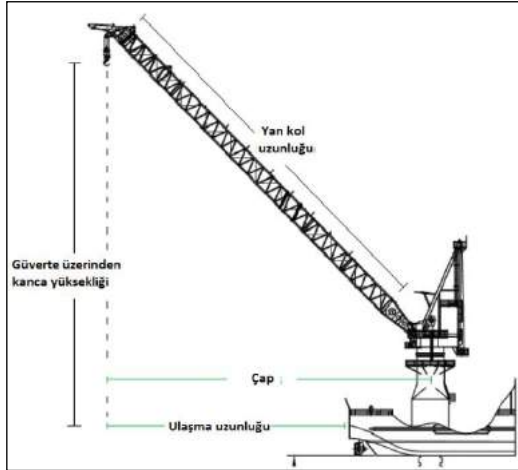
Sea Worker	JUB	1.5	13.5	2008
SeaFox 7	JUB	3.7	13.5	2008
Goliath	JUB	3.7	13.5	2009
JB 116	JUB	3.7	13.5	2010
JB 117	JUB	3.7	13.5	2011
MPI Resolution	WTIV	3	7.8	2003
Kranken	WTIV	2	17.5	2009
Zaratan	WTIV	1.5	14	2012
Windcarrier	WTIV	1.8	15	2012
SeaFox 5	WTIV	2	20	2012

Jack up Vinç Gemi Güverte Vinçleri

RTMG'lerde DRT montajının yapılabilmesi için gemi güvertesinde vinç bulunur. Bu vinci kapasitesini aşağıdaki 3 parametre belirlemektedir:

- Yan kol uzunluğu (boom length)
- Ulaşma yarıçapı (outreach radius)
- Emniyetli çalışma yükü (safe working load)

Emniyetli çalışma yükü, yükün ulaşım yarıçapına bağlıdır. Gemi vinci güverte üzerindeki vinç aşağıda görülmektedir.



Şekil 7.15. Jack up gemi vinci.

Bu gemilerde genellikle 2 adet vinç bulunmaktadır. Birisi ana vinç, diğeri de yardımcı vinçtir. Bu gemilerdeki vinci ve jack up ayakların konumu çok önemlidir. Vinci konumu nakliye kapasitesinin belirlenmesi açısından önemlidir.

7.9 DRES Bakım Gemileri (Maintenance Vessels)

Dumb barge, küçük bir vinç taşıyan, nehir ve deniz taşımacılığındaki hafif yükler için kullanılan bir mavnadır. DRES pojelerinde yardımcı montaj gemisi olarak kullanılmaktadır. Vinci genellikle 360° dönebilen rotasyonel vinçtir. Deniz tabanına basan 2 ayağı bulunmaktadır. Böylelikle yükler kaldırılırken stabilite kazanmaktadır. Dumb mavnaya aşağıdaki amaçlar için DRES projelerinde kullanılabilir:

- Yardımcı montaj gemisi,
- Dalgıç ekipmanı taşıma ve dalış destek gemisi,
- Denizaltı kablolama yardımcı gemi,
- Jeneratör, oyulma koruma, zemin

Tipik bir dumb mavnaya ait özellikler;

Uzunluk : 91 m
 Beam uzunluk : 27 m
 Draft : 5 m

Aircraft : 80 m

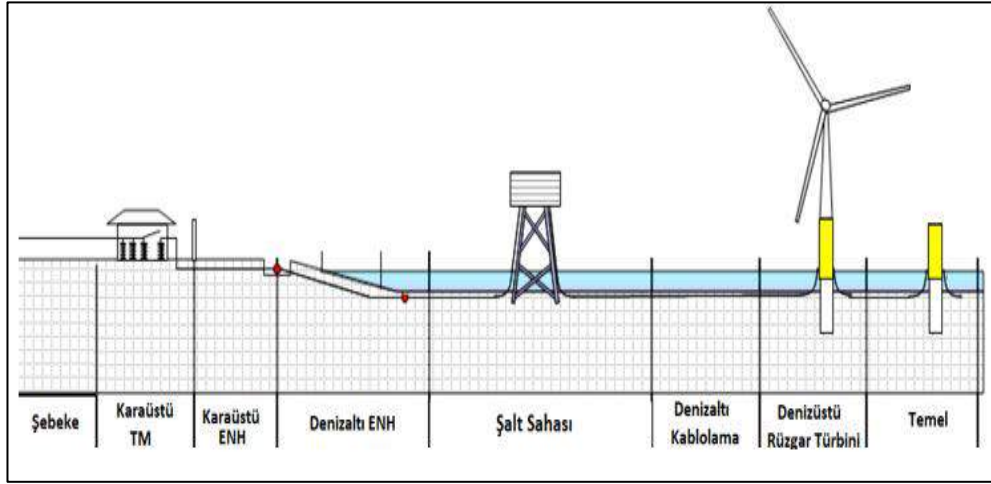
DRES bakım gemisinde DRT platformuna çıkabilmek için özel bir düzenek mevcuttur. Bu özel gemiler ilk olarak Hollanda Gemini DRES projesinde kullanılmıştır. Yaklaşık 40 kişi taşıma kapasitesine sahiptir.



Şekil 7.16. DRES bakım gemisi.

BÖLÜM 8: DENİZÜSTÜ RES PROJELENDİRME SÜRECİ

DRES proje gelişimi, tasarımdan üretime bir çok farklı süreci içerisinde barındırmaktadır. Karaüstü RES projelerine ek olarak deniz süreci de hesaba katılmaktadır. Aşağıdaki şekilde DRES projesindeki ana süreçler görülmektedir.



Şekil 8.1. DRES proje süreci.

DRES proje geliştirilmesinde bir çok aşama bulunmaktadır ve bu aşamalar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir. Burada süreç dört aşamaya ayrılmıştır:

- DRES proje sahasının özelliklerinin anlaşılabilmesi için yapılacak ön mühendislik çalışmaları. Bunlara örnek olarak rüzgar potansiyeli, dalga, gel-git, akıntı durumu, kuş göç etkileşimi, jeolojik etüt ve jeoteknik çalışmaları gibi ofis çalışmalarından bahsedilebilir,
- İzin ve onay süreçlerinin planlanması (ÇED, oşinografik izinler, ENH vb),
- Detay dizayn ve mühendislik çalışmaları,
- Ticari ve hukuki işlemler. Enerji satış anlaşması, deniz izinlerinin alınması, finansman temini vb hususlar.

Saha Araştırması

Saha araştırması, DRES yatırımcısına proje kurulacak sahayı anlamasını sağlar. Deniz tabanını anlama, rüzgar potansiyeli belirleme, kablo rotasını belirleme, temel dizaynı vb gibi bir çok kriter bu aşamada belirlenir. Mühendisler, meteorolojistler, jeologlar, okyanus bilimciler, ornitologlar gibi farklı disiplinlerdeki bilim adamlarının çalışması gerekmektedir. Bu aşamada ciddi bir bütçe de gereklidir. Gemi kiralamanın yanında helikopter ve hatta uçak kiralınması bile gerekebilir.

Rüzgar Potansiyelinin Belirlenmesi

Rüzgar potansiyeli, DRES'in ana dizayn parametrelerden birisidir. DRT tipi ve DRT'nin temel, kanat, kule dizaynı proje sahasının rüzgar potansiyeli ile ilişkilidir.

Okyanus Gözlemleri

DRES için detaylı okyanus gözlemleri yapılmaktadır. Bu gözlemlerden çıkan sonuçlara göre dizaynlar ve mühendislik hesapları yapılmaktadır. Özellikle akıntı ve dalga yükseklikleri bunların başında gelmektedir. Ayrıca deniz canlılarına yapılacak etkileşim, deniz tabanı jeotekniği de anlaşılmalıdır.

Jeofizik ve Jeoteknik Çalışmalar

Jeofizik ve jeoteknik etütleri; batimetrik ölçümler, deniz tabanı jeotekniği üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bunlar özel amaçlı araştırma gemileri kullanılmaktadır.

İzin ve Onay Süreci

DRES projelerindeki izin ve onay süreci, ülkelere göre değişmektedir. Bütün ülkeler ÇED zorunlu kılmaktadır. ÇED sürecinden sonra izin ve onay süreci başlamaktadır.

Tasarım ve Mühendislik

Çevresel raporlara ilaveten ciddi bir tasarım ve mühendislik çalışmaları yapılmaktadır. Denizüstü RES proje tecrübesi olan mühendislik firmaları Avrupa'da vardır.

Liman Altyapısı ve Lojistik

DRES projelerinde limas altyapısı çok önemli bir husustur. Bütün ekipmanlar limandan nakliyesi yapılmaktadır. Limanın belirli standartlarının olması gerekmektedir. Her limandan nakliye yapılamayabilir. Liman hususu, DRES projelerinin ekonomik yapılabilirliğini etkileyen önemli faktörlerdendir. Avrupa'faki büyük kurulu güçlü DRES projeleri incelendiği zaman; büyük limanlara yakın yerlerde proje sahalarının olduğu görülmektedir. Ayrıca DRES projeleri Kuzey Denizinde olduğundan dolayı Avrupa ülkelerinin büyük limanlarının Kuzey Denizinde olması ciddi bir avantajdır. Bu limanların rıhtım depolama kapasitesi de oldukça yüksektir. Avrupa'da konu ile ilgili ciddi bir endüstri bulunduğundan artık üreticiler ile liman arasındaki koordinasyon kolaylıkla yapılarak nakliye gerçekleştirilmektedir. Avrupa'daki uygulamalara bakıldığında bu nakliye aşağıdaki yöntemlerden birisi kullanılarak yapılmaktadır;

1. Fabrikada yükleyip limanın rıhtımına boşaltma ve daha sonra DRES proje sahasına montaj için bekleme,
2. DRT üreticisinin fabrikasından yükleme yapıp limana yakın bölgelerde depolama alanı kiralama ve montaj için bekleme,
3. DRT üreticisi tarafından nakliye gemisine yükleme ve DRES proje sahasında montaj gemisine boşaltma,
4. DRT üreticisi tarafından doğrudan montaj gemisine yükleme.

Yukarıda sayılan yöntemlerden en ekonomik ve ideal olanı 4 numara ile verilendir ve üretim tesisinin limana yakın olduğu bölgelerde tercih edilmektedir.

Denizüstü Rüzgar Elektrik Santral (DRES) projeleri 1991 yılında Danimarka Vidneby DRES projesi ile başlamıştır. 11 adet 450 kW DRT kullanılmıştır. Ancak asıl ivme 2000'li yılların başından itibaren yaşanmıştır. Danimarka ile başlayan süreç, Almanya, İngiltere ve Belçika ile devam etmiştir. 2019 sonu itibarı ile İngiltere DRES pazarında 8183 MW kurulu güç ile lider konumundadır. 2017 Hollanda ilk sıfır sübvansiyonlu DRES ihalesini yapmıştır. Bunu takiben, Almanya DRES projelerine teşviği kaldırarak ihale sistemine geçeceğini açıklamıştır. İlk zamanlarda DRES proje maliyeti ve elektrik tarife fiyatı yüksek iken; teknolojik ilerleme, kazanılan know-how, türbin kurulu gücünün artması, seri üretim, ölçek ekonomisi vb gibi nedenlerden dolayı maliyet aşağılara çekilmiştir.

DRES projelerinde 6 ana sistemden bahsedilebilir. Bunlar DRT, DRT temel ve altyapısı, denizaltı kablolama, denizüstü şalt sahası, karaüstü enerji nakil hattı ve trafo merkezidir. Bunlar ilerleyen sayfalarda kısaca açıklanmıştır.

DRT: Denizüstü rüzgar türbinleri, göbek (hub), kanat, makine dairesi (nacelle), dişli kutusu, vb gibi elemanlardan oluşur. DRT'ler, kara üstü RT'lerden daha büyüktür.

DRT Temel ve Altyapısı: DRT'nin temel ve altyapı sistemidir. Bu yapılar sabit veya yüzer (floating) olabilir. İlk yapılan DRES'ler kıyıya yakın olduğundan sığ sularda inşa edilmiştir ve tek kazıklı temel (monopile) kullanılmıştır. Proje kapasteleri artmaya başladığında daha derin sulara doğru gidilmiştir ve deniz derinliği 30-60 m'lere ulaşmıştır. Buna mukabil olarak DRES endüstrisi alternatif temel

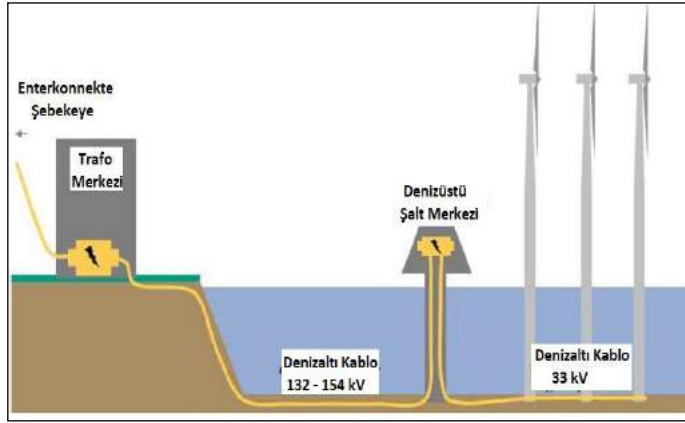
çözümleri üretmeye başlamıştır. Tekil kazıklı temel ve kafes temel altyapıya ek olarak grup kazıklı, ağırlık, vakumlu kova keson ve yüzer gibi temel çözümleri de geliştirilmiştir.

Denizaltı Kablolama (Inter Array Cabling): DRT'leri birbirine denizaltından bağlayan kablolardır. Bu kablolar denizüstü şalt sahasında toplanır.

Denizüstü Şalt Sahası: DRT'lerden gelen kabloların toplandığı ve enterkonnekte şebekeye verilmek için kullanılan iletim sisteminin alt sistemidir.

Enerji Nakil Hattı: DRES şalt sahasından çıkarak karadaki trafo merkezine elektriği nakleden hattır.

Trafo Merkezi: DRES'in karadaki bağlantı noktasıdır ve buradan iletim sistemine bağlanır. Aşağıda Şekil ile bütün sistem basitçe gösterilmiştir.



Şekil 8.2. En basit hali ile bir DRES.

DRT'ler karaüstü RT'lerden daha büyük ve de denizüstünde monte edildiğinden olduğundan dolayı farklı altyapı çözümleri geliştirilmiştir. İşletmede olan en büyük ünite kurulu gücüne sahip RT, 8.4 MW ile İngiltere'de çalışmaktadır. Önümüzdeki dönemde bu ünite kurulu gücünün 25– 50 MW'lara çıkacağı öngörülmektedir. Halihazırda GE 12 MW üreteceğini açıklamıştır.

8.1 DRES Proje Sahası Belirlenmesi

Denizüstü RES'ler son 10 yılda özellikle Avrupa ülkelerinde yapılmıştır. Kara (onshore) RES ile denizüstü (offshore) DRES arasındaki en önemli farkları anlamak gerekmektedir. Bu farklar:

- Denizüstünde daha kararlı ve yüksek rüzgar hızlarının bulunması sebebiyle daha fazla enerji üretimi,
- Denizüstü RES'lerde montaj ve inşaat işlerinin daha yüksek meblağlara yapılması,
- Ulaşım nedeni ile bakım masraflarının daha yüksek olması,
- Denizüstü RES projelerinde finansman olanaklarının zorluğu,
- Denizüstü RES'lerin işletme ve bakım sürecinin karaüstü RES'lerden farklılıklar göstermesi sayılabilir.

Herhangi bir yerde DRES yapılabilmesi için bazı hususlar dikkate alınmalıdır. Özellikle kıyıdan uzaklık ve deniz derinliği DRES fizibilitesi açısından bakılan en önemli hususları oluşturmaktadır. Diğer önemli hususlar ise aşağıda görülmektedir:

- Rüzgar potansiyeli,
- Bölgenin oşinografik yapısı,
- Doğal koruma,
- Elektrik iletimi ve karadaki enterkonnekte sisteme bağlantı koşulları,
- Denizüstü ve altı doğal koruma alanları ve canlılar,
- Balıkçılık ve deniz trafiği,
- Boru hatları ve kablolar,
- Askeri kullanım,
- Ülkemize özel kıta sahanlığı hususu.

Yukarıda sayılan hususlardan dolayı DRES saha bulunması karaüstü RES projeleri gibi değildir ve devletin müdahil olduğu bir süreç işlemektedir. DRES rüzgar ölçümlerinin maliyeti çok yüksektir. Ülkemizde DRES projesi henüz uygulanmamıştır. Bu yüzden denizüstü herhangi bir ölçüm de bulunmamaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Denizcilik Meteorolojisi birimi, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts verilerini kullanarak matematiksel modelleme ile denizüstünde tahminler yapmaktadır. Ancak bu modelleme ile DRES projesi için gereken hassasiyette tahmin yapılması mümkün değildir. Bu nedenle, santral kurulacak alanın özelliğine istinaden, bir denizüstü meteoroloji ölçüm istasyonu kurulması gerekmektedir. Denizüstü meteorolojik ölçüm istasyonu, DRES için gerekli olan rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, yoğunluk, basınç, sıcaklık gibi ana bileşenlerin yanında denizaltı ekolojisi, oşinografi gibi bilimsel çalışmalara veri toplamak için çok önemlidir.

Ofis çalışması safhası saha araştırmaları dışında bütün yatırımı ilgilendiren, fizibilite yoğunluklu bir safhadır. Bu aşamada bölgenin rüzgar enerjisine uygunluğu, deniz üstü inşaat için bölgenin bürokratik açıdan uygunluğu, bölgedeki mevcut deniz yapıları, bölgedeki mevcut elektrik şebekesinin durumu veya şebekenin bölgeye uzaklığı, bölgenin depremselliği, ve genel jeolojik değerlendirmeler yapılmakta, maliyet, kar-zarar ve yatırım analizleri yapılarak bölgenin yatırıma uygunluğu incelenmekte, ve sahaya mobilize olacak olan jeolojik ve geoteknik firmalar için planlama hazırlanmaktadır. Bu aşamadan sonra ise saha araştırmaları yoğun olarak başlamaktadır. Ofis çalışmasından sonra yürütülmesi gereken ilk çalışma jeolojik çalışmalardır. Jeolojik çalışmalarda bölgenin jeolojik durumu ve tarihi incelenmektedir. Genel olarak temin edilebilen jeolojik haritalar yardımıyla yerinde de gözlemler sonucu bölgenin jeolojik tarihi, katmanlaşma ve tektonik hareketler hakkında bilgi edinilebilmektedir. Üçüncü aşama olan jeofizik çalışmalar ise artık ölçümlerin yoğun olarak başladığı safha olarak karşımıza çıkmaktadır. Jeofizik çalışmalar kendi içinde üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- Batimetrik harita çalışmaları,
- Deniz tabanı haritalanması,
- Sismik yöntemler ile tabakalaşmanın incelenmesi şeklindedir.

8.2 Deniz Tabanı (Seabed) Koşulları

DRES kurulması planlanan bölgedeki deniz tabanının yapısı DRT temelinin projelendirilmesi açısından önemlidir. Bu yüzden deniz tabanı ile ilgili jeolojik etüt çalışmaları yapılmalıdır. Deniz tabanının yapısı jack up gemilerin ayaklarını basabilmesi için de önem arz eder. Bu yüzden DRT yakınındaki noktadan jeolojik sondaj yapılması çok önemlidir.

Çevresel Koşullar

DRES projelerinde çevresel koşullar hesaba katılmaktadır. Özellikle montaj süresi boyunca rüzgar şiddeti ve yönü, yağmur, kar, buz, sıcaklık, yıldırım, yetersiz deniz derinliği, denizin durumu, görüş mesafesi vb gibi birçok parametre hesaba katılmaktadır. DRT montajı uygun şartlar oluştuğunda yapılmaktadır. Özellikle rüzgar şiddeti ve denizin durumu DRT nakliye ve montajı sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardandır. Rüzgar şiddetinin yüksek olduğu bölgelerde DRES yapıldığından bölgesel rüzgar şiddeti tahmini çok önemlidir. Kule ve makine dairesi (nacelle) için 10 m/s rüzgar şiddetine kadar gemi vinç çalışmakta iken; kanat montajında bu değer 7 m/s dir. Montajın süresi, personelin tecrübesi, DRT ünite kurulu gücü (yani boyut ve ağırlıkları) ve vincin performansına bağlı olarak değişmektedir. Denizin durumu (dalga durumu) DRT nakliye ve montajını etkileyen ikinci önemli parametredir. Gemiler için belirgin dalga yüksekliği (significant wave height - SWH) önemlidir. Bu değer, DRT montaj gemileri için belirgin dalga yüksekliği 1.5 – 3.7 m arasında değişmektedir. Belirgin dalga yüksekliği, en yüksek dalganın 1/3'ü yüksekliğidir. Deniz seviyesindeki değişimler de dikkate alınmaktadır. Ortalama deniz seviyesi, gel-gitlerin durumu ve yerel hava tahminleri de dikkat edilmesi gereken hususlar arasındadır.

DRT temel tasarımında en önemli faktörlerden biri olan su derinliğinin doğru olarak tespiti için detaylı ve titiz batimetrik ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Batimetrik ölçümler ile deniz tabanının topoğrafik durumu tespit edilerek aynı su derinliklerinden geçen ve genelde 0.5 m veya 1 m de bir yerleştirilen eş derinlik çizgileri ile deniz altı batimetrik haritası oluşturulmaktadır. İskele veya rıhtım gibi deniz yapılarına oranla DRT lerin yapısal olarak daha lokal (daha küçük etki alanında bulunması) olmaları sebebiyle batimetrik ölçümlerin çok daha hassas bir şekilde daha sık bir karelej ile yürütülmesi gerekmektedir. Batimetrik ölçümler, günümüzde sonarlı (echo sounder) özel tekneler yardımıyla rahatlıkla yapılabilmektedir. Bu tekneler, tekne dibinden deniz içine doğru gönderilen ses dalgalarının deniz tabanına temas ederek tekne altındaki alıcıya geri yansması ile elde edilen hız ve frekans değerleri, deniz suyu yoğunluğu gibi parametrelerle ilişkili olarak belirli dönüşümlerle mesafeye ve

dolayısıyla su derinliğine dönüştürülmesi prensibine göre çalışır. Sonar (echo sounder) sisteminin yanı sıra teknelerde ayrıca iskandil ipleri kullanılarak belirli bölgelerde elektronik olan cihazın doğruluğu el ile yapılan bu ölçümler ile kontrol edilmektedir. Sonar teknolojisinin ortaya çıkmasından önce batimetrik harita oluşturma işlemi iskandil ipi ile yapılan ölçümlere dayanmaktaydı. Deniz tabanının haritalanması konusunda ise kullanılan en yaygın yöntem yanal taramalı sonar (side scan sonar system) ile ölçüm yöntemidir. Bu yöntemde batimetrik ölçümlerde kullanılan dip taramalı sonar cihazına benzer bir sistem ile deniz tabanı üzerindeki oluşumlar, kaya parçaları veya bölgeye sürüklenmiş veya bölgede zamanında batmış çeşitli metal nesneler tanımlanabilmektedir. Özellikle batık arama gemileri bu sistemi kullanılmaktadır. Deniz tabanına gönderilen sinyaller belirli bir miktarda zemin içerisine de yayılarak yüzey tabakalaşma durumu hakkında bilgi verebilirler. Ses dalgasının karşılaştığı ortamın yoğunluğuna göre yansıtılan dalgalar elde edilmekte ve bu şekilde yoğun/az yoğun katmanların dağılışı belirlenebilmektedir. Bu yöntemle aynı zamanda deniz tabanındaki akımdan kaynaklanan sediment hareketi de takip edilebilmektedir. Sonardan gönderilen sinyal yeterli büyüklükteki kum dalgalarına çarptığı durumda bu kum dalgalanmaları elde edilen profile görüntülenebilmektedir. Bu şekilde deniz tabanının oyulmaya meyilli olup olmadığı öngörülebilir. Deniz tabanının haritalanması konusunda ayrıca çelik nesneleri tanımlayabilen magnetometer ismi verilen elektromagnetik bir cihaz da kullanılmaktadır.

Jeofizik çalışmalar kapsamında yapılan diğer ölçümler ise sismik yöntemler yardımıyla yapılan zemin tabakalaşmasının incelenmesidir. Yanal taramalı sonar cihazlarına benzer olarak çeşitli çalışma prensipleri olan çeşitli cihazlar yardımıyla "boomer", "sparker", "pinger", "chirp profiler" veya ses tabancası kullanılarak yapılan yüksek çözünürlüklü dijital ölçümler elde edilmektedir. Hangi cihazın seçileceği direkt olarak yerindeki koşullar ile ilişkili olmakla beraber en sıklıkla kullanılan yöntem ses tabancası kullanılarak yapılan yüksek çözünürlüklü dijital ölçüm yöntemidir. Bu yöntemlerin çoğunda ses cihazları ve alıcıları deniz tabanına yerleştirilmektedir. Bu sebepten dolayı deniz akımı ve koşullarından etkilenme seviyeleri tekne tabanına yerleştirilmiş olan yanal taramalı sonara göre daha yüksek seviyededir. Son faz olan geoteknik zemin etütleri ise bu aşamalar içerisinde en çok zaman alan teknik çalışmalardır.

Sondaj ve Numune Almaya Dayalı Zemin Etütleri

Saha araştırması aşamaları içerisindeki en son aşama deniz tabanı altında bulunan zeminin numune alınarak çıkartılan sondaj loglarının kullanılmasıyla temel tasarımına esas zemin kesitinin ve yerinde (in-situ) deneyler ve laboratuvar deneyleri ile zemin özellikleri ve parametrelerinin belirlenmesi işlemidir. Geoteknik saha araştırmaları temel zeminin malzeme özelliklerini beş unsur dahilinde ortaya çıkarmaktadır;

- Makroskopik (örnek: tarihsel ve bölgesel karakteristikler),
- Mekanik (örnek: mukavemet ve arazi gerilme koşulları),
- Mikroskopik (örnek: dane büyüklüğü, yuvarlaklık ve şekil),
- Kimyasal (örnek: moleküler yapı),
- Su muhteviyatı.

Bu ölçümler ise üç aşama halinde; sondaj ve örnekleme, arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri yapılması şeklinde tamamlanarak elde edilen sonuçlar ışığında geoteknik zemin etüt raporu oluşturulur.

8.2.1 Sondaj ve Örnekleme

Geoteknik zemin etütlerinin başlangıç noktası sondaj ve örnekleme aşamasıdır. Bu aşamanın titizlikle yürütülmesi, sonrasında yapılacak olan laboratuvar deneylerinin ve yaklaşık olarak eş zamanlı yürütülen arazi deneylerinin başarısını arttıracaktır. Sondaj yapılırken en önemli husus delme işlemleri sırasında sondaj kuyusunun çevresini veya sondaj kuyusundan çıkarılması hedeflenen numunelerde örselenmeyi en aza indirmektir. Sondaj sırasında yumuşak zemin katmanları için daha fazla sondaj tekniği alternatifi ortaya çıkarken, özellikle kaya, çatlaklı kaya veya katı kil gibi sert zemin tabakalarında sondaj yapılabilmesi için bu alternatifler azalmaktadır. Bu tip sert zeminlerde genelde tercih edilen yöntem elmas uçlu yüksek hızlı sondajlardır. Deniz üstündeki sondajlar genellikle duba, jack-up platformları veya yarı batık dubalar üzerinde yürütülür.

Deniz üstü sondajlarının kara sondajlarına göre en büyük komplikasyonu, denizdeki dalga ikliminden kaynaklanmaktadır. Dalgalı ve rüzgarlı olumsuz koşullarda denizde sondaj yapmak zorlaşmakta ve duruma göre işlem tamamen ertelenmektedir. Bu sebepten dolayı denizde sondajlar hava durumu iyice araştırılarak belirli bir takvime göre ayarlanmalıdır. Deniz sondajlarında iş takvimi meteorolojik veriler gözetilerek ortaya çıkarılmalıdır. Sondaj işlemleri ile eş zamanlı yürütülen örnekleme ise en az sondaj işlemi kadar özen gösterilmesi gereken bir işittir. Örnekleme yapılması esnasında alınan numunenin hem

alınması hem çıkartılması hem de çıkartıldıktan sonra saklanması işlerinde esas olan husus örneğin en az örselenecek şekilde elde edilmesidir.

Örnekleme işinde çeşitli metotlar ve teknolojiler kullanılmaktadır. Bunların arasında en yaygın olarak kullanılan yöntem hidrolik makaralı düzenekler yardımıyla örnekleme yapmaktır. Daha özel olarak bu sistemler de kendi aralarında örselenmiş numune elde eden, kavrayarak örnekleme, itmeli ve pistonlu örnekleme ve numunenin örselenmemiş halde elde edilmesini hedefleyen, uzaktan kumandalı örnekleme, vibrasyonlu örnekleme, kutu örnekleme ve kaya örnekleme çeşitli tiplere ayrılmaktadır. Örnekleme işleminin tamamlanmasından sonra elde edilen zemin numunelerinin yerinde bulunduğu duruma oldukça yakın olacak bir durumda laboratuara iletilmeleri gerekmektedir. Öncelik tüm sondaj ve örnekleme çalışmalarında olduğu gibi zeminin taşınma veya saklanma sırasında da örselenmesini, mekanik olarak bozulmasını engellemektir. İtmeli ve pistonlu sistemler ile elde edilen numuneler ilgili boruların içinde aynen korunabilir. Elde edilen numunelerin dış ortam ile nem ve ısı alışverişini en aza indirecek, ve bunun yanında fiziksel etkilerden de numuneleri koruyacak metal kaplarda korunması sağlanmalıdır. Elde edilen numuneler ayrıca kimyasal veya fiziksel olarak özelliklerini kaybetmemeleri açısından 7 °C gibi bir sıcaklıkta saklanmalı, saklanma sıcaklığı ne çok düşük ne de çok yüksek olmalıdır. Özellikle suyun donma sıcaklığı altında numuneler kati suretle muhafaza edilmemelidir. Bu durumda numune içerisindeki suyun donup genişleyerek zeminin diğer zemin özelliklerini önemli oranda etkileyen boşluk büyüklüğü gibi temel bir özelliğinde farklılaşmaya neden olabilir.



Şekil 8.3. Çelik sandık içerisinde numune örnekleri.

8.2.2 Arazi Deneyleri

Denizdeki zemin etütlerinde arazi deneyleri olmazsa olmaz hale gelmektedir. Arazi deneyleri laboratuvar deneyleri ile birbirlerini tamamlayarak, deniz tabanı altı zeminlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Yapılan arazi deneyleri sonucunda elde edilen veriler, literatürde tanımlanmış çeşitli korelasyon ve formülasyonlar yardımıyla zemin parametre ve özelliklerine geçişi sağlamaktadır. Bir zemin etütünün başarısı laboratuvar deneyleriyle arazi deney sonuçlarının arasındaki uyumla da tanımlanabilir.

Ülkemizde deniz inşaatlarında en yaygın olarak kullanılan deney standart penetrasyon deneyi (SPT) olmakla beraber dünyada son zamanlarda bu alanda daha çok tercih edilen deney çeşitli üstünlüklerinden ötürü koni penetrasyon deneyi (CPT) olmaktadır. Bunların yanında yaygın olarak kullanılan deneyler arasında arazi vane deneyi gösterilebilir.

Genelde inşaatın başlamasıyla beraber, kazıklı yapılarda düşey ve yanal kazık yükleme deneylerinden de söz edilebilir ancak bu deneyler amaç bakımından uygulama sonu duruma dair bilgi vermek amacını taşıdığından dolayı bu deneyleri bu kapsamda incelemek uygun olmayacaktır.

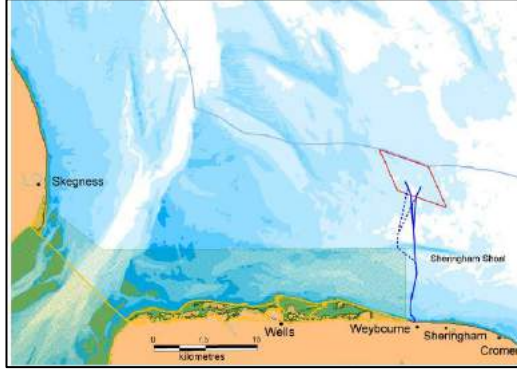
Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Standart penetrasyon deneyi en eski arazi deney yöntemlerinden biridir. 1920lerde geliştirilen yöntem 1958 yılında ASTM D1586 ile standardize edilmiştir. Bugün de dünyada en yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Uygulanması son derece kolay ve ucuz bir deneydir. Bu sebepten dolayı, hata payı çok çeşitli faktörler sebebiyle fazla olan bir deney olmasına karşın görünen gelecekte de yaygınlıkla kullanılması muhtemeldir. Ancak kritik projelerde (deniz üstü rüzgar türbinlerinin temel zemini incelemesi bu kapsama girmektedir) yerini daha gelişmiş başka deneylere bırakmaktadır. Elde edilen SPT sonuçları, çıkartılan zemin numuneleriyle beraber değerlendirilerek, derinliğe bağlı sondaj logu ismi verilen özet tablolarda belirli bir formatta sergilenirler.

8.3 DRES ÇED Süreci

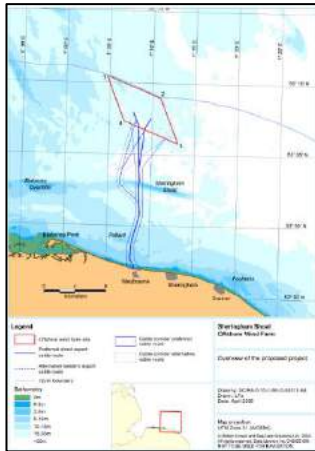
Bu kısımda İngiltere Norfolk Coast Sheringham Bölgesinde kıyıya 17 km mesafede kurulan Sheringham Shoal DRES projesi anlatılacaktır. Proje sahası, Sheringham Shoal denilen ve deniz tabanının kumla kaplı olduğu (sand bank) bir bölgede bulunmaktadır. Deniz derinliği 16-22 m arasında değişmektedir. Sahanın seçimi yapılırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir;

1. Saha 12 deniz mili kıta sahanlığı içinde kalmaktadır,
2. Kıyıya mümkün mertebe en uzak bölge seçilerek rüzgar şiddetinin en yüksek olduğu bölge hem de kuşların göç yolunu etkilememeye çalışılmıştır,
3. Bölgedeki gemi trafiğinin düşük olmasına dikkat edilmiştir,
4. Proje sahası civarında petrol platformu, denizaltı kablo vb bulunmamaktadır.



Şekil 8.4. Sheringham Shoal DRES proje sahası.

Proje, iki ayrı denizaltı kablolama ile karaüstündeki TM'ye bağlanmaktadır. Kara üstünde 800 m enerji nakil hattı (ENH) yapılmıştır. 400 kV üzerinden bağlanması planlanmıştır.



Şekil 8.5. Sheringham Shoal DRES projenin genel görünümü.

Aşağıdaki Tablo ile projeye ait genel bilgiler görülmektedir.

Kurulu Gücü	315 MW
DRT Sayısı	45
DRT Ünite Kurulu Gücü	7 MW
Toplam alan	35 km ²
Kıyıya uzaklık	17 km
Yıllık üretim	830 000 000 kWh/yıl

Kullanılacak DRT'ler 7 MW ünite kurulu gücünde planlanmıştır. 50 kV denizaltı kablolama kullanılacaktır. 3-faz AC denizaltı XLPE tip kablo kullanılmaktadır. Bu kablo ile DRT'lerden üretilen elektrik denizüstü şalt sahasına taşıyacaktır. Burada 150 kV'ye yükseltilerek denizaltından karaüstü

TM'ye gidecektir. Karaüstünden kablo kanalı yapılarak 800 m mesafede bulunan trafo merkezine yeraltından kablo döşenecektir.

Şekil 8.6. Karaüstü kablo kanal hattı.

DRT temelini inşaatı ve montajı sırasında deniztabanı bozuluma uğrayacaktır. Bu yüzden bunun önceden hesaplanarak ÇED raporlarında belirtilmesinin yanında inşaat aşamasında yaklaşık çıkacak toprak miktarının belirlenmesi çok önemlidir.

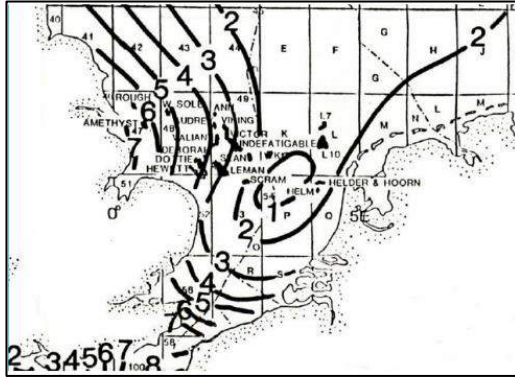
DRT'den kaynaklanan gürültü 2 ana kısma ayrılabilir; kanatlardan ve mekanik aksamdan. Kanatlardan meydana gelen gürültü aerodinamik gürültüdür, rüzgarın kanada değmesinden meydana gelir. Mekanik aksam gürültüsü ile kastedilen, jeneratör, dişli kutusu gibi aksamdır. Aşağıdaki Şekil ile 35 dB gürültü seviyesine göre oluşturulan saha sınırı görülmektedir.

Şekil 8.7. DRES gürültü seviye haritası.

DRES proje sahasında detaylı hidrodinamik ve jeomorfolojik mühendislik çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre DRES dizayn edilmektedir. Aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir;

8.4.1 Gel-Git Modellemesi

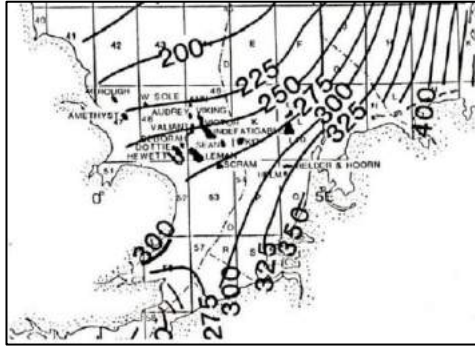
DRES kurulacak sahada meteorolojik etkilerden dolayı meydana gelebilecek gel-gitlerin öngörülmesi önemlidir. Şekilde DRES sahasına ait modellenmiş bir gel-git haritası görülmektedir. Burada ortalama dalga yükseliği 4.5 m dir.



Şekil 8.8. DRES proje sahasında gel-git modellemesi.

8.4.2. Fırtına Dalgaları

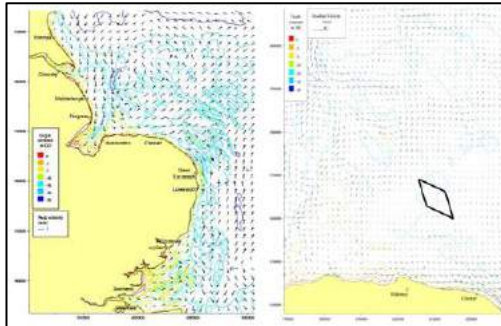
Meteorolojik fırtınaların yarattığı dalgaların boyutu DRES proje sahasında etkili olabilir. Bu yüzden meteoroloji modellemesi de yapılmalıdır. Aşağıdaki şekilde cm olarak dalga boyu yükseklik modellemesi görülmektedir. Bu tahminlerde 50 yıllık ekstrem değerler alınır.



Şekil 8.9. DRES proje sahasında dalga boyu modellemesi.

8.4.3 Akıntı Modellemesi

DRES kurulacak proje sahası için sahaya özel akıntı modellemesi yapılmalıdır. Aşağıdaki Şekilde DRES proje sahasındaki akıntı paterni verilmiştir.

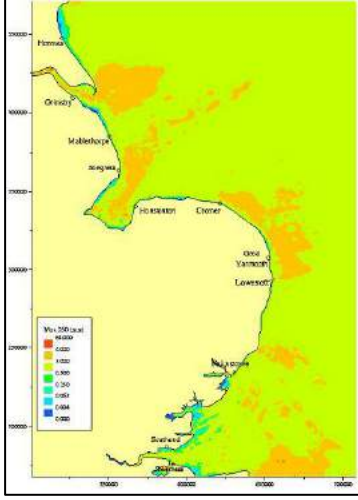


Şekil 8.10. Akıntı modellemesi.

8.4.4 Deniztabanı Araştırması

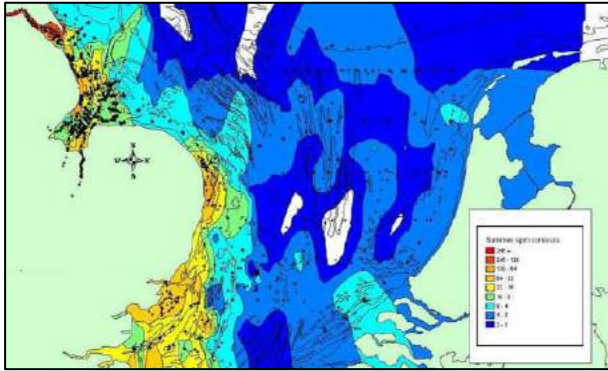
Deniztabanı ile ilgili yapılan çalışmalar inşaat, işletme ve DRES demonte sürecinde oldukça önemlidir. Deniz tabanındaki sediment toplanması, gel-git, akıntı ve dalgalar nedeni ile meydana gelmektedir. Sediment transferi, dalgaların boyutu, akıntının hızı, gel-git şiddeti, deniz derinliği, parametrelerine

bağlıdır. Her bölgede hangisinin ne kadar etki ettiği değişebilmektedir. Aşağıdaki Şekil ile DRES proje sahasına taşınan sediment tane büyüklüğü modeli gösterilmiştir. Şekilde İngiltere Sheringham Shoal DRES projesine ait sediment taşınım modellemesi görülmektedir. Gel-git akıntıları sediment taşıyan en önemli etkindir. Sığ sularda büyük dalgalar sedimentasyon hızını artırır.



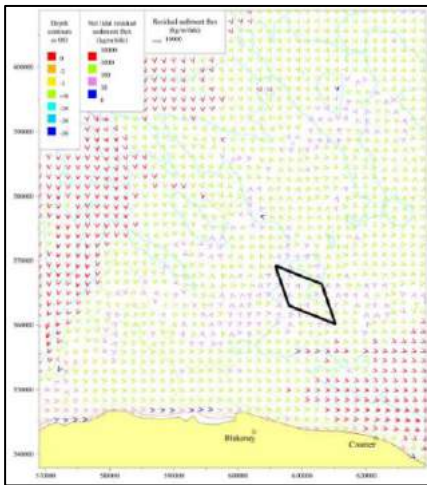
Şekil 8.11. Maksimum boyutta sedimentasyon modellemesi.

Asılı sedimentasyon modellemesine ait şekil aşağıda görülmektedir.



Şekil 8.12. Asılı sediment modellemesi.

Projeyle ait sediment akışı aşağıdaki Şekil ile verilmiştir.



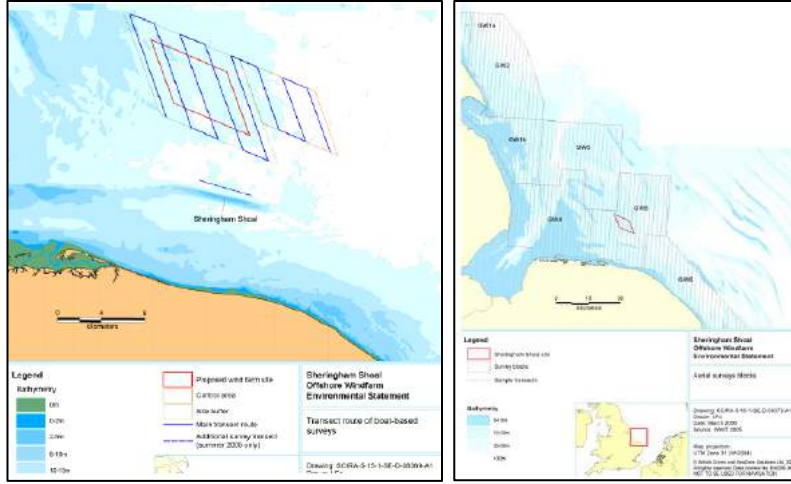
Şekil 8.13. Net sediment akışı modellemesi.

8.4.5 Ornitoloji İncelemesi

DRES'ler kuşlara 3 ana etkisi görülebilir.

- DRT kanat, kule vb gibi yapılara çarpma,
- Beslenme, üreme, dinlenme alanlarının yer değiştirmesi,
- Doğrudan olmayan etkiler.

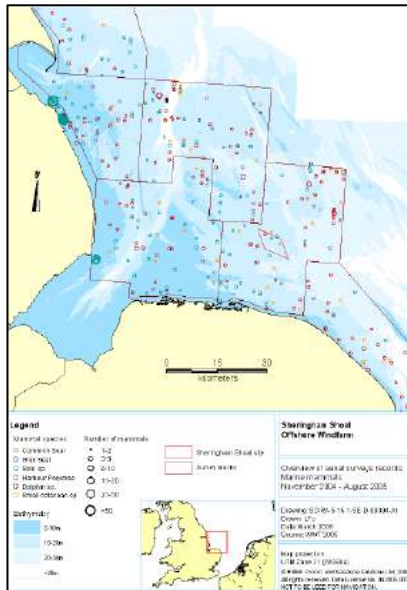
Denizin üzerinde fazla zaman geiren kuş türleri için ornitoloji gözlem ve raporunun hazırlanması gereklidir. Kuş gözlemleri, araştırma amaçlı gemiler kullanılarak yapılmaktadır. Şekil ile kuş gözlemlerinin yapıldığı alan örnek olarak gösterilmiştir. Kuş gözlemleri hem havadan hem de deniz üzerinden yapılabilir. Aşağıdaki şekilde havadan yapılan ornitoloji gözlemleri (aerial survey) saha sınırları görülmektedir.



Şekil 8.14. Ornitoloji gözlemleri bölgesi.

8.4.6 Balık Popülasyonu ve Deniz Memelileri

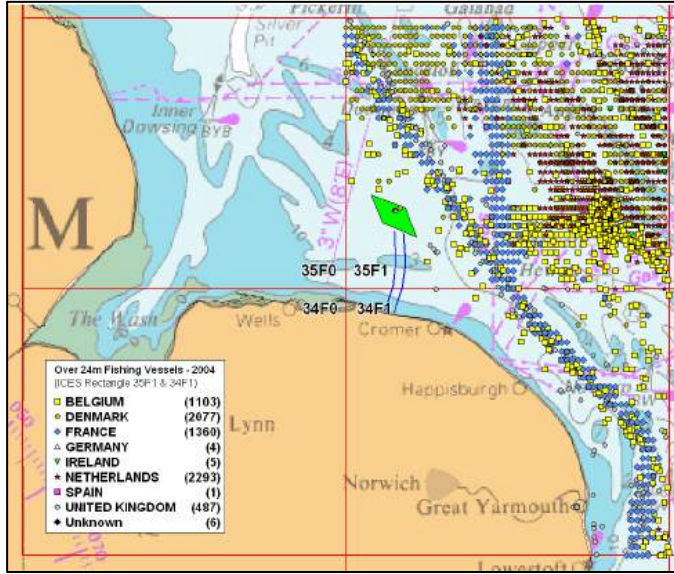
DRES kurulması planlanan sahada incelenen önemli biyolojik çalışmalardandır. Balıkların popülasyonu, dağılımı, çeşidi, göçü vb gibi çalışmalar yapılmaktadır. Deniz memelileri konusunda yapılan çalışmalar ikiye ayrılabilir: inşaat dönemi ve işletme dönemi etkileşim. Aşağıdaki Şekilde deniz memelileri çalışması görülmektedir. İnşaat döneminde en önemli etkiler gürültü ve çarpma riskidir. Gürültü özellikle inşaat ve montaj sırasında DRT temeli ve kablo kanalı açılırken meydana gelmektedir. Çarpışma riski ise özellikle fok ve yunuslar için tehlike arz etmektedir.



Şekil 8.15. Deniz memelileri çalışması.

8.4.7. Balıkçılık Faaliyeti İncelemesi

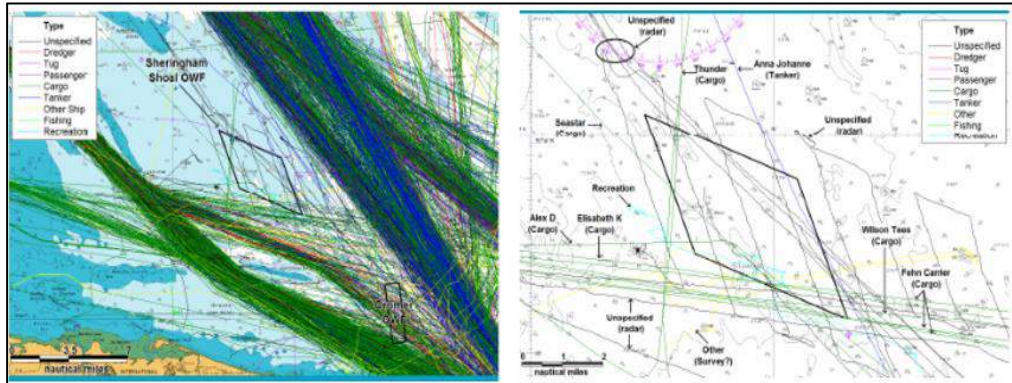
Balıkçılık faaliyeti DRES proje sahası civarında yapılabileceğinden bu hususunun da dikkate alınması gerekmektedir. Şekil ile proje sahasında ülkelere göre balıkçılık faaliyetleri görülmektedir.



Şekil 8.16. Sheringham Shoal balıkçılık faaliyetleri.

8.4.8. Gemi Trafiği İncelemesi

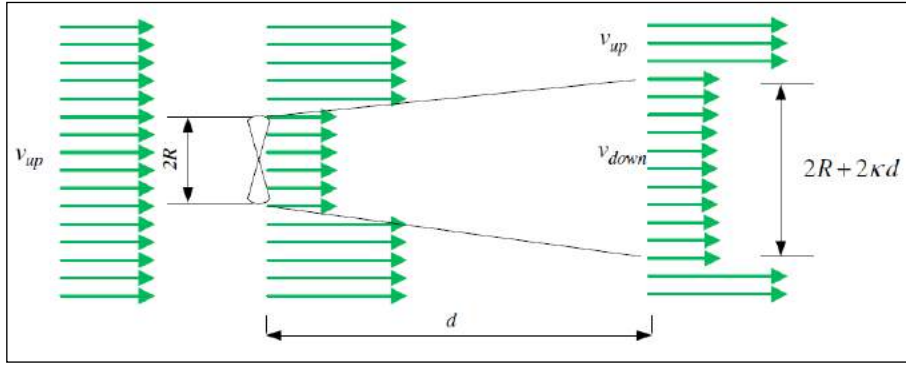
DRES proje sahasında gemi trafiği de incelenmelidir. Şekil ile Sheringham Shoal DRES proje sahasındaki gemi trafiği görülmektedir. Günde 0.7 gemi geçişi hesaplanmıştır.



Şekil 8.17. Sheringham Shoal gemi trafiği incelemesi.

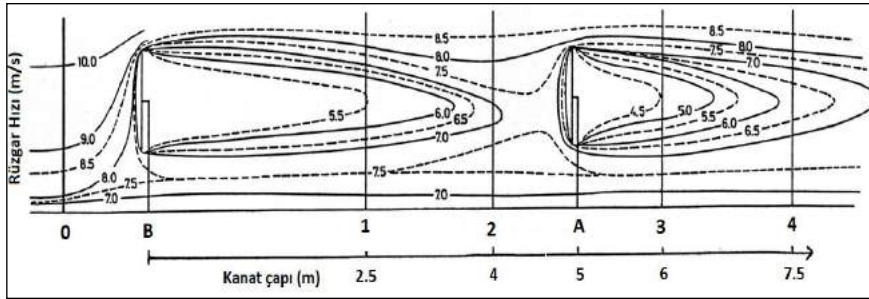
8.5 DRT Mikrokonuşlandırma (Micrositing)

Denizüstü rüzgar elektrik santrali kurulacak saha içinde DRT'lerin optimum ekonomik koşullarda en fazla üretim yapabilecek şekilde optimum olarak yerleştirilmesi işlemine mikrokonuşlandırma denir. DRES'lerdeki en önemli teknik hususlardan birisi mikrokonuşlandırmadır. Yıllık enerji üretimini belirleyen ana faktör olan bu husus, karaüstü RES'lerde olduğu gibi DRES projeleri için de planlaması en baştan itibaren detaylı mühendislik çalışması gerektirmektedir. Yıllık enerji üretimi, DRT emreamadeligi, işletme ve bakım verimi vb gibi parametrelere de ilişkilidir. Gölgeleme kaybı (wake loss) mikrokonuşlandırma yapılırken dikkat edilmesi gerek en önemli kriterdir. Konu ile ilgili olarak yapılan en eski çalışma Danimarka'da NIBE A ve NIBE B rüzgar türbinleri kullanılarak yapılmıştır. NIBE projelerinde bulunan sonuçlar günümüzde hala geçerlidir. 1986 yılında yapılan bu çalışma Jensen modeli olarak da bilinir. Aşağıdaki Şekil ile verilen Jensen modeline göre RT pervanesine değen akış, pervanenin arkasında belli bir mesafe sonra düzelmektedir. RT üzerine gelen uniform rüzgar şiddeti türbinin arkasında değişime uğrar. Bu değişim profili aşağıdaki Şekil ile gösterilmiştir.



Şekil 8.18. RT arkasındaki gölgeleme profili.

O dönemin en yüksek kurulu gücü 600 kW olan NIBE B türbinine gelen akışın NIBE A türbinine doru olan akış görülmektedir. Yukarıda bulunan sonuçlar günümüzde hala daha geçerlidir. Rüzgar türbin mikrokonuslandırması yapılırken dikkate alınan kriterler bu çalışma sonucundan sonra şekillenmiş ve geliştirilerek kullanılmıştır.



Şekil 8.19. NIBE B ve NIBE A hız profili.

Türbinin arkasındaki hız azalması (V_{def}) aşağıdaki eşitlik ile verilir:

$$V_{def} = 1 - v_{down}/v_{up}$$

$$Vel_{def} = 1 - v_{down}/v_{up} = (1 - \sqrt{1 - C_T}) / (1 + \kappa d/R)^2$$

Eşitlikte kullanılan;

C_T : İtme katsayısı (thrust coefficient)

κ : Gölgeleme yayılma katsayısı

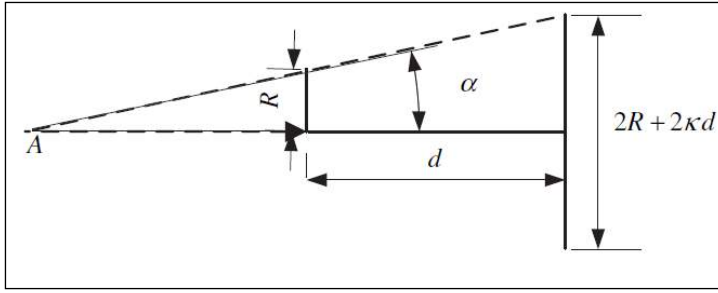
d : Türbin arkasındaki esafe

Eğer C_T ve κ değeri bütün türbinler için eşit alınırsa eşitlik aşağıdaki şekilde basitleştirilebilir

$$Vel_{def} = 1 - v_{down}/v_{up} = \frac{a}{(1 + bd)^2}$$

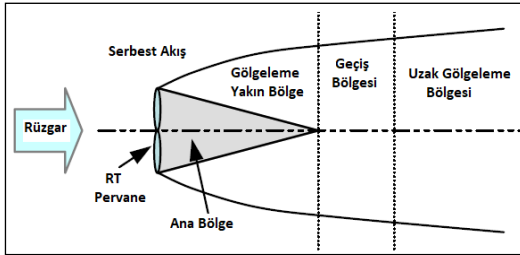
Burada $a = 1 - \sqrt{1 - C_T}$, $b = \kappa/R$.

Türbinin pervane yarıçapına ait gölgeleme profili ise aşağıda görülmektedir.



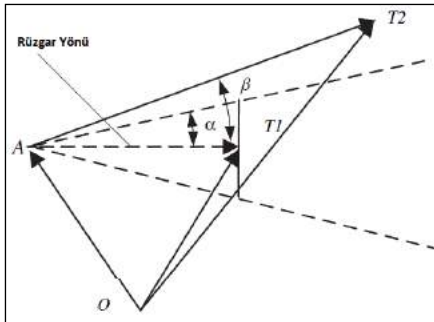
Şekil 8.20. Türbinin pervane yarıçapına ait gölgeleme profili.

Rüzgarın estiği yön olarak Θ alınırsa pervaneler rüzgara dik olarak durur ve türbinin arkasındaki rüzgar hızının düştüğü ve gölgelemenin olduğu bölge (wake region) oluşur.



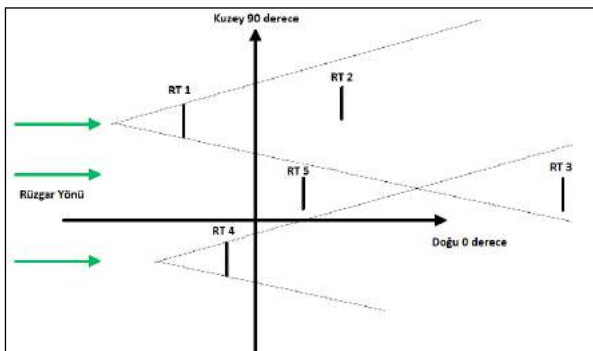
Şekil 8.21. RT arkasındaki gölgelemenin etkili olduğu bölge.

Gölgeleme teorisi ile ilgili diğer bir yaklaşım ise aşağıdaki Şekil ile verilmiştir.



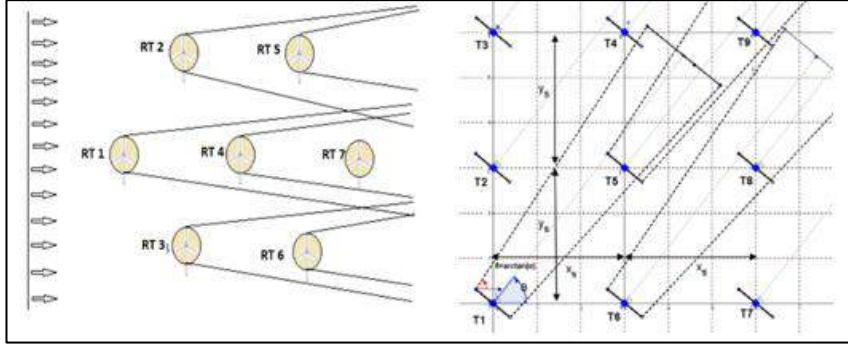
Şekil 8.22. 5 adet RT gölgeleme etkileşimi.

Aşağıdaki Şekil ise, 5 adet RT'nin gölgeleme profili görülmektedir. Batıdan doğuya doğru rüzgarın estiği bir durumda RT 2, RT 1'in gölgelemesi altındadır. RT 3 ise RT 1 ve RT 4'ün gölgeleme etkisinde bulunmakta iken; RT 5 herhangi bir gölgeleme etkisinde kalmamaktadır.



Şekil 8.23. 5 adet RT gölgeleme etkileşimi.

Aynı konfigürasyona sahip DRES projesinden değişen rüzgar yönüne göre gölgeleme profilinin değişimi ise aşağıda görülmektedir.



Şekil 8.24. Değişen rüzgar yönü ve gölgeleme açısı.

Danimarka sahiline yaklaşık 15 km mesafede bulunan işletmedeki Horns REV 1 DRES'ten 12 Şubat 2008 tarihinde saat 10.10 sularında bir pilotun tesadüfen çektiği 2 fotoğraf denizüstü rüzgar enerjisi camiası içinde çok bilinen 2 fotoğraftır. Kıyıdan yaklaşık 15 km batıda bulunan Horns Rev 1'deki Şekil (a) güneydoğudan; Şekil (b) güneyden pilot Christian Steiness tarafından çekilmiştir.

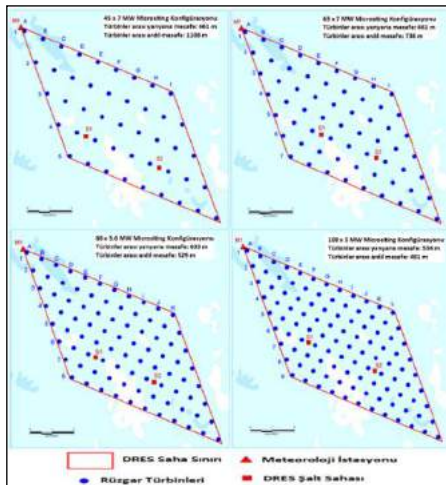


(a)

(b)

Şekil 8.25. Horns Rev 1 gölgeleme fotoğrafları.

Farklı mikrokonuslandırma konfigürasyonları aşağıda görülmektedir.



Şekil 8.26. Farklı mikrokonuslandırma konfigürasyonları.

İsveç'te kurulu gücü 110.4 MW olan ve 48 adet 2.3 MW ünite kurulu güçlü DRT'den oluşan DRES projesine ait mikrokonuslandırma sonuçları incelenecektir. Kanat çapı 92.6 m ve 65 m göbek yüksekliğine sahiptir. RT'ler arasında 3.3 D; arka arkaya ise 4.3 D olacak şekilde mikrokonuslandırma yapılmıştır.



Şekil 8.27. Lillgrund DRES mikrokonuslandırma.

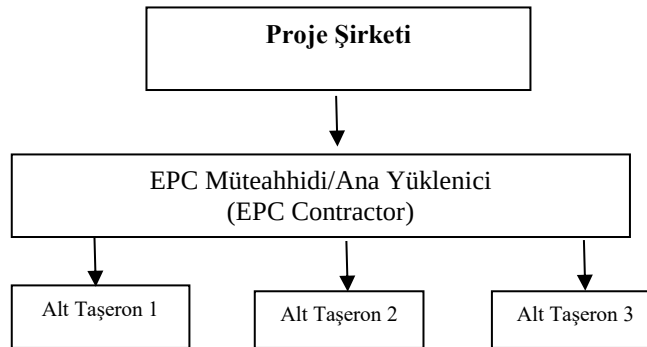
BÖLÜM 9: DENİZÜSTÜ RES PROJE

EPC (Engineering Procurement and Construction)

Denizüstü rüzgar elektrik santral (DRES) projeleri gibi büyük ölçekli uluslararası yatırımlarda mühendislik, tedarik ve inşaat işlerinin İngilizce karşılıklarının baş harfleriyle kısaltılarak EPC (engineering, procurement and construction) olarak adlandırılan sözleşmeler (EPC Sözleşme) sıklıkla kullanılmaktadır. Projenin yapısına ve müteahhidin kapsamında göre, “E&P”, “EPCM”, “Mühendislik”, “Design & Build” gibi pek çok farklı sözleşme tipleri de uygulamada kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, işletme dönemi içerisinde ise “O&M” yani “İşletme ve Bakım” veya çeşitli yönetim sözleşmeleri de uygulamada sık kullanılan sözleşmeler arasında yer almaktadır. İçerisinde mühendislik, tedarik, inşaat, işletme, yönetim gibi pek çok unsuru barındırabilen bu sözleşmeler esas itibarıyla risklerin paylaşımını ihtiva eder niteliktedir. Projenin niteliğine, yerine, işlerin kapsamına, tedarik edilecek malzeme ve ekipmanların menşesine kadar pek çok husus sözleşmenin yapısının belirlenmesinde ve risklerin paylaşımında kritik rol oynamaktadır. Bu tip projelerde genellikle proje finansmanı yöntemi ile yapılmaktadır. Ayrıca finansman projenin inşaat dönemi ve işletme dönemi olarak 2 aşamada yapılmakta ve refinansman yöntemi ile projenin finansmanı yeniden yapılandırılmaktadır. Herhangi bir DRES projesinin proje finansmanı yöntemi ile kredilendirilebilmesi için projenin bankable olması gereklidir. Bunun için aranan temel özellikler aşağıda sıralanmıştır;

- Projenin teknik olarak fizibil olması,
- Ana firmanın finansal gücü,
- Teknoloji riski olmaması,
- Projede tecrübeli taşeronların kullanımı,
- Stabil ve tahmin edilebilir nakit akışı,
- İşletme döneminde garantili elektrik satış anlaşması,
- Sözleşme altyapısının güçlü olması,
- Projenin bütün idari izinlerini alınmış olması.

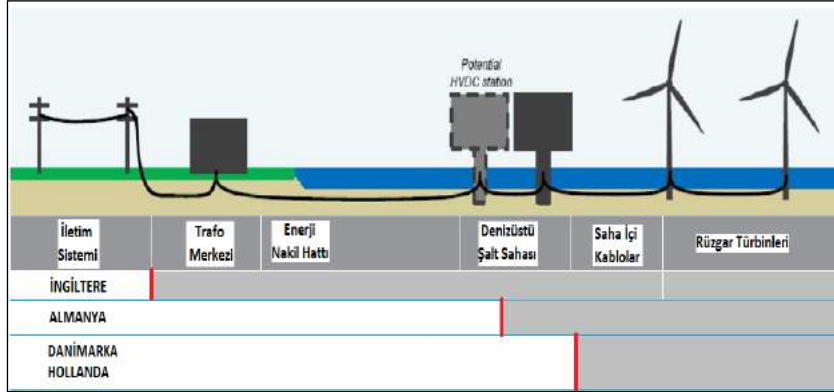
Bankable bir projede yukarıdaki hususlar çok önemlidir. EPC proje yapısında aşağıdaki gibi bir sistem olmaktadır;



Şekil 9.1. DRES EPC proje diyagramı.

9.1 DRES Proje Riskleri

DRES proje riskleri, ülkelere göre değişmektedir. Her ülkedeki izin ve lisans süreçleri farklılıklar göstermektedir. Ana özelliklerden bahsetmek gerekirse İngiltere ve Fransa iletim sistemi DRES yatırımcısı tarafından üstlenilmekte iken; Almanya, Hollanda ve Danimarka'da devlet tarafından yapılmaktadır. İngiltere'de DRES sahası ile ilgili yapılan bütün çalışmalar yatırımcı tarafından üstlenilirken; Danimarka ve Hollanda'da saha değerlendirmesi, meteorolojik ve oşinografik ölçümler devlet tarafından üstlenilmektedir.



Şekil 9.2. DRES elektrik sistemi ülkelere göre sorumluluk.

DRES proje başlangıcından sonuna kadar olan süreçte aşağıdaki işler yapılmaktadır.

9.2 DRES EPC Hizmet Alımları

Bu bölümde DRES projelerinde kullanılan firmalara ait bilgiler verilmektedir. Yazılı olan firmalara ait bilgiler, internet ve offshore wind power fuarlarına (Wind Europe Offshore 2019) yapılan ziyaretler sonucunda yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Herhangi bir firmanın reklamını yapma amacı güdülmemiştir.

9.2.1 Proje Geliştirici Firmalar

DRES projeleri için proje geliştirici firmalar özellikle Danimarka, İngiltere, Almanya ve Hollanda'da bulunmaktadır.

Projekt Projektierungsgesellschaft für regenerative Energiesysteme mbH

Almanya kökenlidir ve Sandbank 24 DRES projesi geliştirerek Vattenfall Europe Windkraft GmbH'a projeyi satmışlardır.

<https://www.projekt-firmengruppe.de/home.html>

wpd AG

Almanya Bremen'de bulunan proje geliştirici şirkettir.

<https://www.wpd.de/>

PNE AG

Almanya Cuxhaven'de bulunmaktadır ve aşağıdaki tabloda görülen projeleri geliştirmiştir.

Proje Adı	DRT Sayısı	Kurulu Güç (MW)
Borkum Riffgrund 1	78	312
Borkum Riffgrund 2	56	448
Gode Wind 1 & 2	55 + 42	582
Gode Wind 3 & 4	30	242

Proje Adı	DRT Sayısı	Kurulu Güç (MW)
Atlantis I	73	584
HTOD5 (Nautilus II)	68	476

<https://www.pne-ag.com/>

9.2.2 Mühendislik ve Danışmanlık Firmaları

Ramboll (Danimarka)

Ramboll firmasının merkezi Danimarka'da bulunmaktadır. DRES için rüzgar ölçümleri, ÇED çalışması, mikrokonuslandırma, jeolojik çalışmalar, fizibilite raporları, temel dizaynı, şalt sahası dizaynı gibi mühendislik konularında çalışmaktadır.

<https://www.ramboll.com/>

Tablo 9.1. Ramboll bazı proje referansları.

Proje Adı-Ülke	Kurulu Gücü (MW)	Yapılan İş
Anholt-Danimarka	400	Şalt sahası dizaynı, DRT temel dizaynı, ÇED, deniz ulaşım risk analizi
Greater Gabbard-İngiltere	500	Teme dizaynı
Mejlfak-Danimarka	120	Jeolojik çalışmalar, ÇED, ekonomik analiz
Westermose Rough-İngilt.	-	Şalt sahası diaynı
Burke Bank-İngiltere	90	Temel dizaynı
Sheringham Shoal-İngilt.	317	Temel dizaynı, şalt sahası dizaynı
Guangdong-Çin	3200	Temel dizaynı

COWI (Danimarka)

COWI firmasının merkezi Danimarka'da bulunmaktadır. DRES için jeolojik çalışmalar, fizibilite raporları, temel dizaynı, DRES elektrik dizaynı gibi mühendislik konularında çalışmaktadır.

<https://www.cowi.com/>

Tablo 9.2. COWI bazı proje referansları.

Proje Adı-Ülke	Kurulu Gücü (MW)	Yapılan İş
Hohe See-Almanya	497	Tek kazıklı temel dizaynı, jeolojik çalışmalar, DRT yük analizi, gemi çarpma risk analizi
Rentel-Belçika	309	Tek kazıklı temel dizaynı
Dantysk-Almanya	288	Tek kazıklı temel dizaynı
London Array-İngiltere	630	Tek kazıklı temel dizaynı
Formosa 1-Tayvan	600	Temel dizaynı
Changhua-Tayvan	110	Kafes temel dizaynı, oyulma koruma, yük hesapları
Horns Rev 3-Danimarka	200	Şalt sahası dizaynı
Thornton Bank-Belçika	528	Kafes kule dizaynı
Ormonde-İngiltere	150	Kafes kule dizaynı
Kareham-İsveç	48	Yerçekimi temel dizaynı
Rodsand-Danimarka	215	Yerçekimi temel dizaynı
FOWPI-Hindistan	200	Proje geliştirme, ÇED, elektrik dizaynı, meteorolojik ölçümler, rüzgar analizi
Storgrundet-İsveç	-	DRES ön mühendislik çalışmaları. Meteorolojik ölçümler, dalga, akıntı, buzlanma analizi.

Suurhiekkä Finlandiya	DRES-	240	Şalt sahası dizaynı, meteorolojik ölçümler, temel dizaynı
--------------------------	-------	-----	---

Marico Marine (İngiltere)

Gemi trafiği konusunda çalışmalarda bulunmaktadır. DRES'teki DRT'lerin gemilerle çarpışma riski ile ilgili olarak da çalışmalar da bulunmaktadır. Çalıştığı DRES projeleri arasında Gunfleet, Fluor, Dunkirk, Thanet&Dudgeon ve Greater Gabbard bulunmaktadır.

<http://www.marico.co.uk/services/offshore-renewable-energy>

Miros (İngiltere)

Deniz yüzeyi üzerinde ölçümler yapan bir şirkettir. Dalga, atmosfer ölçümleri yapmaktadır.

<https://www.miros-group.com/markets/offshore-operations/>

Aelous

İngiltere merkezli mühendislik firmasıdır. Aşağıdaki projelerde çalışmıştır;

- Belçika Belwind 165 MW
- Belçika Northwind 216 MW
- Hollanda Gemini 600 MW
- Belçika Nobelwind 165 MW
- İngiltere Rampion 400 MW
- Tayvan Formosa 600 MW

<https://www.aeolus-energy.com/>

StormGeo

Norveç merkezli hava tahmini ve deniz meteorolojisi konusunda hizmetler vermektedir.

<https://www.stormgeo.com/>

Gusto MSC

Hollanda merkezli DRT montaj, planlama konularında hizmet vermektedir.

<https://www.gustomsc.com/our-markets/offshore-renewables>

Swan Hunter

İngiltere merkezli DRES proje yönetimi konusunda mühendislik ve danışmanlık hizmetleri vermektedir. DRES inşaat aşamasında personel tedarigi de yapmaktadır.

<https://www.swanhunter.com/>

Inocean AS

Norveçli DRES projelerine mühendislik hizmetleri vermektedir. DRES şalt sahası dizaynı da yapmaktadır. Referansları arasında Dowin Alpha, Dolwin Beta ve Sway DRES projeleri bulunmaktadır. Dolwin Beta DRES projesi 916 MW bağlantı kapasitene sahip dünyadaki en yüksek bağlantı kapasiteli denizüstü şalt sahasıdır.

<http://www.inocean.no/what-we-do/offshore-wind/>



Şekil 9.3. Dolwin Beta DRES şalt sahası.

9.2.3 DRES İş Güvenliği (Health and Safety) Firmaları

STC-KNRM

Hollanda merkezli firma olup, DRES HSE konusunda hizmet vermektedir. İş güvenliği, ilk yardım, arama ve kurtarma eğitimleri düzenlemektedir.
<https://www.stc-knrm.nl/en/>

Biardo

Hollanda menşeli olup iş güvenliği ve ilk yardım ekipmanı, DRES iş elbiseleri tedariki yapmaktadır.
<https://www.biardo.com/>

9.2.4 Denizüstü Meteoroloji Ölçüm İstasyon Tedarik Firmaları

DRES projeleri için meteorolojik ölçüm istasyon tedarik firmaları Danimarka, Hollanda ve Almanya'da bulunmaktadır.

Akrocean

Fransa merkezli Akrocean açık deniz izleme ve saha değerlendirmesi için hizmet veren bir şirkettir. AKROCEAN, optimize edilmiş bakım müdahaleleriyle birkaç çeşit orta/uzun vadeli açık denizüstü ölçüm kampanyasının gerçekleştirilmesine olanak tanıyan kendi açık ve modüler yüzer LiDAR ve RADAR satışı ve kiralaması yapmaktadır.
<http://www.akrocean.com/>

DEGIMA

İspanya merkezli olup DRES meteoroloji istasyonu çelik konstrüksiyon üretimi yapmaktadır.
<https://www.degima.es/en/naval/>

EPSILINE

Fransa'da bulunan şirket, LIDAR cihazı satışı ve kiralanması konusunda faaliyet göstermektedir.
<http://www.epsiline.com/>

FloatMast

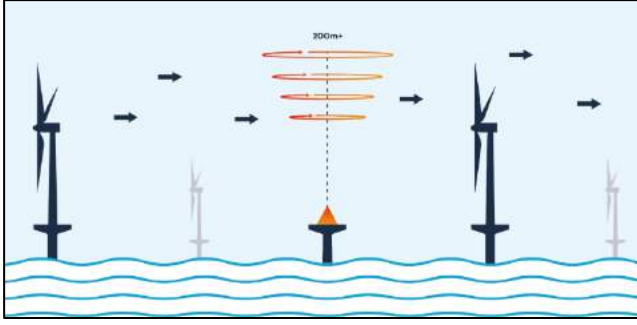
İngiltere merkezli şirket yüzer meteoroloji ölçüm istasyonu kurmaktadır. Yunanistan'da pilot projesi bulunmaktadır.
<http://www.floatmast.com/>



Şekil 9.4. Floatmast Ltd yüzer met mast.

ZX Lidars

ZX Lidars, merkezi İngiltere'de bulunan LIDAR üreten bir firmadır.
<https://www.zxlidars.com/>



Şekil 9.5. ZX Lidars.

Wise Automasjon

Norveç merkezli denizüstü meteorolojik ölçümler yapan bir şirkettir.
www.automasjon.no

9.2.5 Denizüstü DRES ÇED Firmalar

GeoSea (Deme Group)

Belçika merkezli olan GeoSea, denizaltı jeolojik etüt çalışmaları yapmaktadır. İşletmede olan Westermest Rough ve Thornton Bank; geliştirme aşamasında olan Saint Brieue, Teeside, Humber Getaway ve Quantum DRES projelerine hizmet vermiştir.
<https://www.deme-group.com/about-geosea>

Ramboll (Danimarka)

Ramboll firmasının merkezi Danimarka'da bulunmaktadır. DRES için rüzgar ölçümleri, ÇED çalışması, mikrokonuşlandırma, jeolojik çalışmalar, fizibilite raporları, temel dizaynı, şalt sahası dizaynı gibi mühendislik konularında çalışmaktadır.
<https://www.ramboll.com/>

9.2.6 Deniz Bilimi Mühendislik Firmaları

London Offshore Consultants

İngiltere Londra merkezli olup deniz mühendisliği konusunda hizmetler vermektedir.
<https://loc-group.com/services/consulting-engineering/marine-engineering-consultancy/>

BMT Grup

Avustralya ve Belçika'da bulunan şirket denizüstü mühendislik hizmetleri sunmaktadır.
<https://www.bmt.org/industries/offshore/>

Baltic Taucherei- und Bergungsbetrieb Rostock GmbH

Almanta Rostock'ta bulunan şirket dalgıçlık hizmetleri vermektedir.
<http://www.baltic-taucher.com/>

DHI A/S

DRT çevre etkileri konusunda çalışmakta olan Danimarka merkezli firmadır.
<https://www.dhigroup.com/areas-of-expertise/energy/offshore-wind>

9.2.7 Denizüstü DRT Tedarik Eden Firmalar

Denizüstü DRT firmaları, karaüstü DRT firmalarının devamı şeklinde olmuştur. Karaüstü RT firmalarının hepsi DRT üretimi yapmamaktadır.

MHI Vestas

Danimarka'lı Vestas şirketinin üretimini yaptığı şirkettir.
<http://www.mhivestasoffshore.com/>

Tablo 9.3. Vestas MHI DRT modelleri.

DRT Modeli	Kurulu Gücü	Kanat Çapı	Göbek Yüksek.	Süpürme Alanı (m ²)	Nasel Boyutları
------------	-------------	------------	---------------	---------------------------------	-----------------

V174-9.5	9.5	174	110 m	23779	9hx21x9w
V164-10	10	164	110 m	21124	9.3hx20.7lx8.8w
V117-4.2	4.2	117			6.8hx12.8lx4.0w

SiemensGamesa

Almanya ve İspanya’da üretim yapmaktadır. Göbek yükseklikleri sahaya özel olarak dizayn edilmektedir.

<https://www.siemensgamesa.com/products-and-services/offshore>

Tablo 9.4. SiemensGamesa DRT modelleri.

DRT Modeli	Kurulu Gücü	Kanat Çapı	Göbek Yüksek.	Süpürme Alanı (m ²)
SWT-7.0-154	7.0	154	-	18600
SG 8.0-167	8	167	-	21900
SG 10.0-193	10	193	-	29300

General Electric DRT

Almanya ve ABD’de üretim yapmaktadır.

<https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind>

Tablo 9.5. GE DRT modelleri.

DRT Modeli	Kurulu Gücü	Kanat Çapı	Göbek Yüksek.	Süpürme Alanı (m ²)
Haliade-X 6 MW	6.0	150	100	17860
Haliade-X 12 MW	12	220	150	21900



Şekil 9.6. GE Haliade-X 12 MW DRT.

Senvion

Almanya Hamburg’da üretim yapmaktadır. Göbek yükseklikleri sahaya özel olarak dizayn edilmektedir.

<https://www.senvion.com/global/en/products-services/>

Tablo 9.6. Senvion DRT modeli.

DRT Modeli	Kurulu Gücü	Kanat Çapı	Göbek Yüksek.	Süpürme Alanı (m ²)
Senvion 6.3M-152	6.3	152	-	18146

Mingyang

Çin Guangdong eyaletinde üretim yapmaktadır.

<http://www.myse.com.cn/en/hsfdztjfa/list.aspx>

Tablo 9.7. Mingyang DRT modelleri.

DRT Modeli	Kurulu Gücü	Kanat Çapı	Devreye Giriş Hızı
MySE5.5-155	5.5	155	10.1
MySE6.45-180	6.45	180	10.5
MySE 7.0-158	7	158	11.1



Şekil 9.7. Mingyang MySE6.0 MW DRT.

Goldwind

Çin Pekin’de üretim yapmaktadır.

<http://www.goldwindglobal.com/solution/igo>

Tablo 9.8. Goldwind DRT modeli.

DRT Modeli	Kurulu Gücü	Kanat Çapı	Göbek Yüksek.
GW 154/6700	6.7	154	103



Şekil 9.8. Goldwind DRT.

Envision Energy

Çin Shanghai eyaletinde üretim yapmaktadır.

<https://www.envision-group.com/en/windturbines.html>

Tablo 9.9. Envision DRT modeli.

DRT Modeli	Kurulu Gücü	Kanat Çapı	Göbek Yüksek.
EN130-4.0	4	130	90

Fujian Fuchuan Yifan New Energy

Çin Fujian eyaletinde 5 MW DRT üretimi yapmaktadır.

http://fcyfxny.com.cn/index.php?tp0_id=2&language=en



Şekil 9.9. Fujian DRT.

Donfang Electric

7 MW ve 10 MW dişli kutusuz (direct drive) DRT üretimi yapmaktadır.

<http://www.dongfang.com.cn/index.php?s=/home/article/lists/category/55.html>



Şekil 9.10. Donfang DRT.

9.2.8 DRT Temel Dizaynı Yapan Firmalar

ISC Innovative Engineering

Danimarka merkezlidir. DRES şalt sahası ve DRT teme dizaynı konusunda uzmanlaşmıştır. Rentel DRES ve Lillgrund DRES projelerinde kullanılan DRT temel dizaynlarını yapmıştır.

www.isc.dk

Ramboll (Danimarka)

Ramboll firmasının merkezi Danimarka'da bulunmaktadır. DRES için rüzgar ölçümleri, ÇED çalışması, mikrokonuslandırma, jeolojik çalışmalar, fizibilite raporları, temel dizaynı, şalt sahası dizaynı gibi mühendislik konularında çalışmaktadır.

<https://www.ramboll.com/>

COWI (Danimarka)

COWI firmasının merkezi Danimarka'da bulunmaktadır. DRES için jeolojik çalışmalar, fizibilite raporları, temel dizaynı, DRES elektrik dizaynı gibi mühendislik konularında çalışmaktadır.

<https://www.cowi.com/>

9.2.9 DRT Temel Üretim Firmaları

ASM Industries

ASM firması, DRT kule ve temel üretimi yapan Portekiz menşeli bir firmadır.

<https://asm-industries.com/en/home/>



Şekil 9.11. ASM Industries temel üretimi.

Ideol

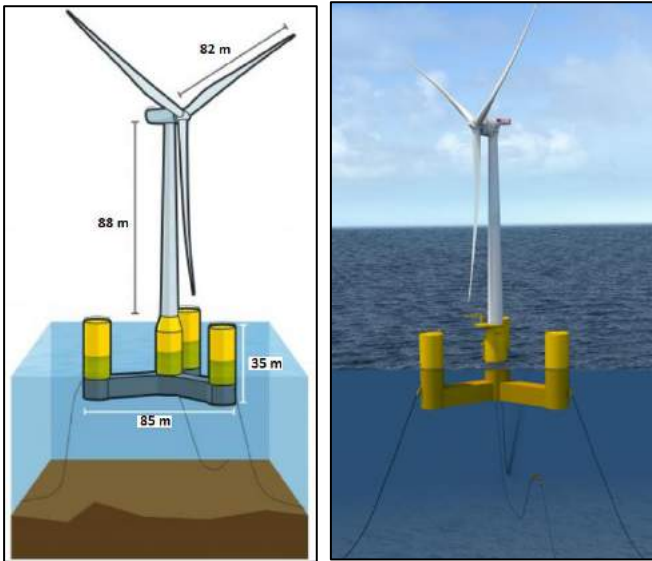
Fransa’da Yüzer DRT temelleri üretimi yapmaktadır.
<https://www.ideol-offshore.com/en>



Şekil 9.12. Yüzer DRT temeli.

Naval Energies

Yüzer DRT temel ve türbini üretimi yapmaktadır.
<https://www.naval-energies.com/en/>



Şekil 9.13. Naval Energies DRT.

Steelwind Nordenham

Almanya Nordenham’da bulunan şirket, tek kazıklı temel ve geçiş parçası üretimi yapmaktadır. Merkur DRES projesi, Tayvan’da Yunlin DRES tedarik sağladığı projeler arasındadır.
<http://www.steelwind-nordenham.de/steelwind/index.shtml.en>



Şekil 9.14. Steelwind Nordenham.

EOLFI

Yüzer DRT temel ve türbini üretimi yapmaktadır.
<https://www.eolfi.com/en>

Bladt Industries

Danimarka’da bulunan Bladt Industries, DRES DRT temel ve şalt sahası imalatının yapmaktadır.
<https://www.bladt.dk/home.aspx>

DRES şalt sahası referansları arasında Bligh Bank 2, Hornsea, Robin Rigg, Nordsee One, Sandbank, Walney, Gunfleet, RodsandB sayılabilir.



Şekil 9.15. Bladt Industries RodsandB DRES ve Robin Rigg DRT şalt sahaları.

DRES temel referansları arasında London .Array, Meerwind, Sheringham Shoal, Belwind sayılabilir.



Şekil 9.16. Bladt Industries Baltic 2 DRES ve London Array DRT temelleri.

SIF Group

Hollanda merkezli şirket DRT temel ve geçiş parçası üretimi yapmaktadır. Temel üretimi yaptığı DRES’ler arasında Borssele, Seamade, Deutsche Bucht, Norther, Hohe See, Beatrice, Humber, Amrum Bank ve Docking Shoal sayılabilir.
<https://www.sif-group.com/en/>



Şekil 9.17. Sif Group tek kazıklı temel (monopile) üretimi.

EEW SPC

Almanya Erndtebrück’te üretim tesisi bulunmaktadır. Sandbank, Beatrice, Walney, Veja Mate, Wiking, Baltic I&II ve Gwynt y Mor DRES projeleri referansları arasındadır.
<https://eew-group.com/industries/offshore-wind/>

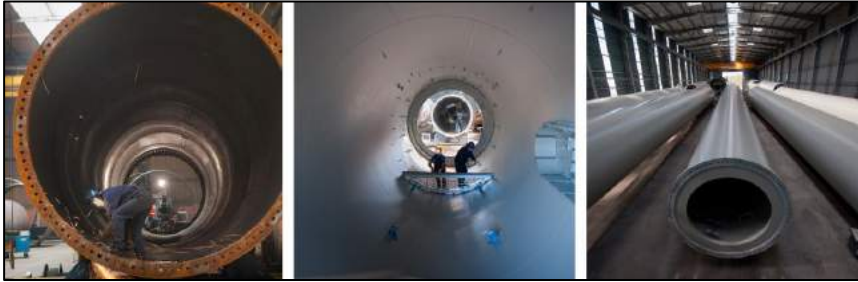
Smulders

Belçika merkezli Smulders, çelik yapılar üreten bir şirket olup DRES projelerinin temel ve geçiş parçası (transition piece) üretimini yapmaktadır. DRT temeli ürettiği projeler Blyth, Moray East, Beatrice, Kriegers Falk; geçiş parçası üretimini yaptığı projeler ise Seamade, Triton Knoll, Norther, Hohe See, Rentel, Rampion, Dudgeon, Kentish Flats, Eneco Luck-hterduien DRES projeleri sayılabilir.
www.smulders.com

9.2.10 DRT Kule Üretim Firmaları

ASM Industries

DRT için kule, temel üretimi yapan Protekizli bir şirkettir.
<https://asm-industries.com/en/home/>



Şekil 9.18. ASM Industries kule üretimi.

9.2.11 DRES Araştırma Gemi Kiralama Firmaları

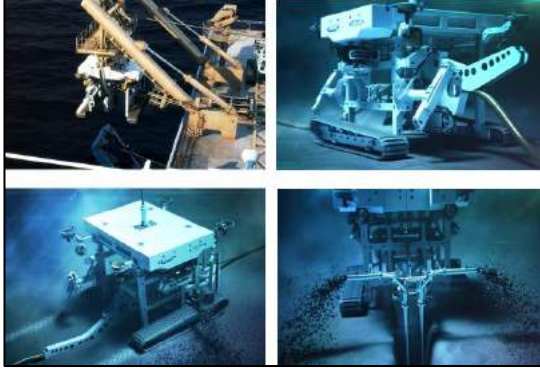
Braveheart Marine

Hollanda merkezli DRES projeleri için araştırma gemisi, personel gemisi, bakım gemisi kiralama hizmetleri vermektedir.
<https://www.braveheartmarine.com/>

9.2.12 DRES Denizaltı Kazı Firmaları

Global Offshore

İngiltere’de bulunan şirket, denizaltı kablo kanalı kazılması ve güç kablolarının yerleştirilmesi konularında hizmet vermektedir. Merkur ve Kincardine projeleri servis sağladığı DRES’lerdir.
<https://www.globaloffshore.co.uk/>



Şekil 9.19. Denizaltı kablo kanal kazı robotu.

9.2.13 Nakliye Firmaları

Blue Water Shipping A/S

Danimarka merkezli şirket, liman operasyonları, depolama, DRT nakliye hizmetlerini vermektedir. Bedentiek, Meervind, Gumbur Getaway, London Array, Riffgat, Dan Tysk, Eneco Luchterduinen Anholt ve Tahkoluoto DRES projeleri çalıştıkları projeler arasındadır.
<https://www.bws.net/en/what-we-do/business-areas/wind-logistics>

Neptune Marine

Hollanda merkezli şirket, DRT nakliye ve montajında çalışmaktadır.
<https://www.neptunemarine.com/>

Safeway BV

Safeway BV Hollanda merkezli bir şirkettir.
<https://www.vanaalstgroup.com/>

9.2.14 DRT Gemi Montaj Firmaları

Norsea & ALS

Norveç merkezli Jack-up gemi vinçlerle DRT nakliye ve montajı yapmaktadır.
<https://www.norseagroup.com/>



Şekil 9.20. Borkum Riffgrund DRES şalt sahası.

MPI – OFFSHORE

İngiltere merkezli olup DRES projeleri için nakliye ve montaj hizmetleri vermektedir. Kablo montajı da yapmaktadır. London Array ve Walney Extension DRES projelerinde çalışmıştır.
<https://www.mpi-offshore.com/>



Şekil 9.21. MPI Offshore DRES montaj gemileri.

Seafox

Hollanda merkezli olup jack-up gemi filosu ile DRT nakliye ve montajı yapmaktadır. Doggerbank DRES projesi referansları arasındadır. Bu projedeki meteoroloji ölçüm istasyonu demontajını da yapmıştır.

<https://www.seafox.com/>



Şekil 9.22. Doggerbank DRES meteoroloji istasyonu demontajı.

Seajacks

İngiltere merkezli şirket, İngiltere karasularında inşa edilen birçok DRES projesinde nakliye ve montaj faaliyetinde bulunmuştur. DRT'lerin yanısıra temellerin montajını da yapmıştır. Veja Mate (DRT ve temeller), East Anglia, Meerwind, Sheringham Shoal referanslarından bazılarıdır.

<http://www.seajacks.com/>



Şekil 9.23. Seajack projelerinden fotolar.

Jackup Barge

Şirketin merkezi Hollanda'dır. Proje referansları arasında Borwin Beta, Kriegers Flak, Bard 1, Lincs DRES projelerinde DRT ve şalt sahası nakliye ve montaj faaliyetlerinde bulunmuştur.

<https://www.jackupbarge.com/>



Şekil 9.24. Borwin Beta DRES şalt sahası montajı.

Jumbo Maritime

Hollanda merkezli şirket, 128 MW Tayvan’da inşa edilen Formosa1 ve Formosa 2 DRES projelerinin nakliye ve montajını yapmıştır.
<https://www.jumbomaritime.nl/>

9.2.15 DRES Konteyner Satış/Kiralama Firmaları

ELA Container Offshore GmbH

DRES şalt sahasında kullanılmak üzere konteyner sstış ve kiralama hizmeti veren Alman şirkettir. Van Oord firmasına ve Helwin Alpha DRES projesinin şalt sahası için konteyner sağlamıştır.
<https://www.ela-offshore.com/en/>



Şekil 9.25. Helwin Alpha DRES şalt sahası konteyneri.

9.2.16 DRES Personel Tedarik Firmaları

DRES projeleri için eleman tedrik eden firmalar aşağıda verilmiştir.

All NRG

<https://www.allnrg.com/>

IPS Powerful People

<https://www.ipspowerfulpeople.com/>

Oceanwide

<https://www.oceanwidecrew.com/>

9.2.17 DRES İnşaat Firmaları

C-Ventus

Hollanda merkele C-Ventus Offshore Windfarm Services, 2011 yılında offshore rüzgar santrali kurulumu, İşletme ve Bakım (O&M) ve santralin sökülmesi konularında çalışmaktadır. C-Ventus, deniz mühendisliği, inşaat ve denizütü petrol ve gaz hizmetleri sağlayan küresel bir tedarikçi olan DISA International'a aittir. Proje referansları arasında NoordzeeWind, Ormonde, Budentiek ve Noordsee Ost bulunmaktadır.
<https://www.c-ventus.nl/company/>

Jan De Nul Group

Lüksemburg merkezli Jan De Nul Group, petrol, gaz ve yenilenebilir enerji pazarları için denizaltı yapılarının kurulumu için özel hizmetler sunmaktadır. DRES projeleri için deniz tabanının hazırlanması, her türlü açık deniz yapısının montajı, dengelenmesi ile kaldırma ve kurtarma projelerinde de çalışmaktadır. Çalıştığı DRES projeleri Burbo Bank Extension, Race Bank ve Belwind DRES.
<https://www.jandenul.com/en/activities/offshore-services>



Şekil 9.26. Belwind DRES ENH montajı.

Van Oord

Hollandalı DRES inşaat firmasıdır. Arkona ve Deutsche Bucht referansları arasındadır.
<https://www.vanoord.com/offshore-wind>



Şekil 9.27. Arkona DRES türbin ve şalt sahası montajı.

Bourbon Subsea Services

DRES nakliye ve denizaltı inşaat işleri yapan fransız şirkettir. Edinburg semi submersible yüzer DRT montajını yapmıştır.
<https://www.bourbonoffshore.com/en>



Şekil 9.28. Semi submersible yüzer DRT.

Marketex Offshore Constructions

Estonya merkezli DRES inşaat firmasıdır.
<https://www.moc.ee/>

9.2.18 Denizaltı Kablo Montaj Firmaları

Briggs

Denizaltı kablo montajı ve bakımı yapan İngiliz şirkettir. Thanet DRES projesinde çalışmıştır.
<https://www.briggsmarine.com/services/subsea-cable>



Şekil 9.29. Thanet DRES denizaltı kablo montajı.

Azimuth Marine

Denizaltı kablo nakliye ve montajı yapan Hollanda merkezli şirkettir.
<https://www.azimuth-marine.nl/>



Şekil 9.30. Azimuth DRES denizaltı kablo montaj gemileri.

Blue Offshore

Hollanda merkezli şirketin referansları arasında Honrsea, Beatrice, Borssele ve Baltic DRES projeleri bulunmaktadır.

<https://www.blueoffshore.com/company/>



Şekil 9.31. Baltic 2 DRES kablo kablo montaj gemileri.

JD Contractor A/S

Kablo kanalı açma, kablo serme, denizaltı araştırmaları konusunda çalışmakta olan Danimarkalı firma dünyadaki ilk DRES projelerinden olan Tuno Knob'ta da çalışmıştır.

<https://www.jdcon.dk/>

Seaway Offshore Cables

Almanya merkezli şirket, Bard Offshore 1, Beatrice, Nordsee One, Amrumbank ve Tayvan Yunlin DRES projelerinde denizaltı kablo kanalı açma ve kablo serme işlemlerini yapmıştır.

<https://www.seawayoffshorecables.com/about-us/>



Şekil 9.32. Bard Offshore 1 DRES rüzgar türbin nakliyesi.

Oceanteam

Norveç merkezli şirket, denizaltı kablo nakliye ve kablo serme işlemini yapmaktadır.

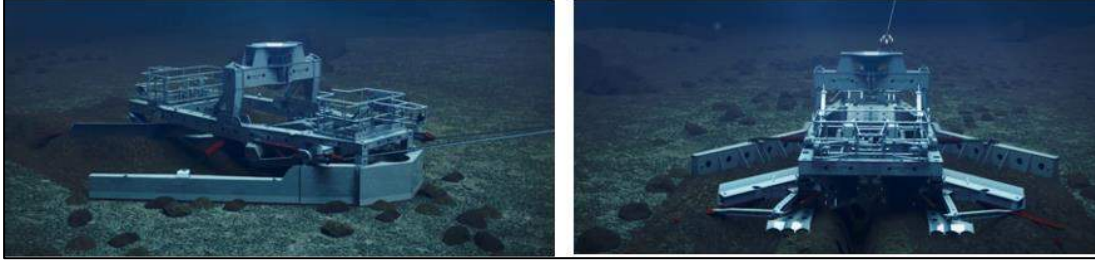
<http://www.oceanteam.nl/>

Wind Cable Servies

Hollanda merkezli şirket, denizaltı kablo nakliye ve kablo serme işlemini yapmaktadır.
<http://www.wind.nl/>

Osbit

İngiltere’de bulunan Osbit, kablo kanalı açma ve denizaltı serme işlemini yapmaktadır.
<https://www.osbit.com/>



Şekil 9.33. Denizaltı kablo kanalı açılması.

9.2.19 Denizaltı Kablo Tedarik Firmaları

First Subsea & BMP

DRT ler için kablo klemens üretimi yapmaktadır. İngiltere merkezli olup Harada DRES projesinde DRT’ler arası kablolamayı yapmıştır.
<http://www.firstsubsea.com/our-products.html>



Şekil 9.34. Harada DRES projesi DRT kablolama.

NEXANS

Nexans, dünyadaki önemli kablo üreticilerindendir. Ayrıca montajını da yapmaktadır. Kablo tedarik ve montajı yaptığı bazı projeler arasında Saint Vrieuc, Belwind, Beatrice, Hornsea 2, Borssele 1-2 DRES projeleri bulunmaktadır.
<https://www.nexans.com/>



Şekil 9.35. Nexans DRES kablo serme gemisi.

Ningbo Orient Wires&Cables Co., Ltd

Çin kökenli olan Orient Cable, denizaltı kablo üretim ve montajını yapmaktadır.
<http://www.orientcable.com/en/Subsea-Cable.html>

NKT

1981 yılından bu yana kablo sanayinde aktif olarak tedarik sağlayan şirket, Kriegers Falk, Rentel, Burbo Bank, Horns Rev 3, Riffgat Baltic 1 ve Nordergründe DRES projelerine kablo sağlamıştır.



Şekil 9.36. NKT Kriegers Falk ve Baltic 1 DRES kablo serme işlemi.

9.2.20 DRES Şalt Dizaynı Yapan Firmalar

ISC Innovative Engineering

Danimarka merkezlidir. DRES şalt sahası ve DRT teme dizaynı konusunda uzmanlaşmıştır. Lilgrund, Hornsea 2, Triton Knoll, Albatros, Kriegers Flak, Nordsea One ve Sandbank DRES projelerinde kullanılan şalt sahası dizaynlarını yapmıştır.
www.isc.dk



Şekil 9.37. Lilgrund ve Triton Knoll DRES şalt sahaları.

Ramboll (Danimarka)

Ramboll firmasının merkezi Danimarka'da bulunmaktadır. DRES için rüzgar ölçümleri, ÇED çalışması, mikrokonuslandırma, jeolojik çalışmalar, fizibilite raporları, temel dizaynı, şalt sahası dizaynı gibi mühendislik konularında çalışmaktadır.

<https://www.ramboll.com/>

COWI (Danimarka)

COWI firmasının merkezi Danimarka'da bulunmaktadır. DRES için jeolojik çalışmalar, fizibilite raporları, temel dizaynı, DRES elektrik dizaynı gibi mühendislik konularında çalışmaktadır.

<https://www.cowi.com/>

9.2.21 Denizüstü Şalt Sahası Tedarik Firmaları

Iv-Offshore & Energy

Merkezi Hollanda'da bulunan Şirket, DRES şalt sahası ve HVDC/AC platform konularında EPC olarak çalışmaktadır. Referansları arasında Borssele Alpha and Beta, Helwin ve Dowin Alpha bulunmaktadır.
<https://iv-groep.nl/nl/markten/offshore-energie>

Smulders

Smulders, çelik yapılar üreten bir şirket olup DRES projelerinde EPC şalt sahası üretim ve montajını yapmaktadır. Merkezi Belçika'da bulunmaktadır. Burbo Bank, Walmey 03, Gode Wind, Seamade DRES projelerinin şalt sahaları referansları arasındadır.



Şekil 9.38. Gode Wind, Walney 03 ve Burbo Bank DRES şalt sahaları.

Bladt Industries

Danimarka merkezli Bladt Industries çelik yapılar üreten bir şirkettir ve DRES projelerinde EPC şalt sahası üretim ve montajını yapmaktadır. Bligh Bank, Nordsee, Anholt, Walney 1-2, Princess Anilia, Nysted, Northwind, Gunfleet DRES projelerinin şalt sahaları referansları arasındadır.

<https://www.bladt.dk/home.aspx>



Şekil 9.39. Walney 1, Northwind ve Gunfleet DRES şalt sahaları.

Scaldis Salvage and Maritime Contractors

DRES şalt sahası montajı konusunda çalışmaktadır. Merkezi Belçika'da olup; Amrumbank West, Budentiek, Gemini ve Blight Bank DRES projelerinde çalışmıştır.

<http://www.scaldis-smc.com/>



Şekil 9.40. Amrumbank West 1 ve Gemini DRES şalt sahası montajı.

9.2.22 DRES Elektrik Montaj Yapan Firmalar

BIC Electric

DRES elektrik projelendirme, bağlantı, devreye alma konularında çalışmaktadır.

<https://www.bic-electric.com/>

Aibel AS

Norveç merkezli şirket, Dogger Bank, Dolwind Epsion, Hywind DRES projelerinde elektrik montaj ve şalt sahaları montajı EPC olarak çalışmıştır.

<https://www.aibel.com/our-business/offshore-wind>

9.2.23 DRES İşletme ve Bakım Firmaları

Windcat Workboats

İngiltere merkezli DRES planlama çalışmaları ve işletme aşamasında DRES personeli için tekneleri kiralayan bir şirkettir.

<http://www.windcatworkboats.com/>

Deutsche Windtechnik

Almanya merkezlidir.

<https://www.deutsche-windtechnik.com/>

9.2.24 DRES İşletme ve Bakım Gemi Firmaları

DRES işletme ve bakım aşamasında gemi kiralayan bazı şirketler aşağıda verilmiştir.

DAMEN, Acta Marine, Bibby Marine Services, MHO-CO A/S

www.damen.com

www.actamarine.com

<https://www.bibbymarineservices.com/>

<https://www.mho-co.dk/>

9.2.25 DRES Bakım Firmaları

Aşağıdaki firmalar tarafından DRT kanat ve kule bakımı için erişim ekipmanı sağlanmaktadır.

Kaufer Befahrtechnik

<https://www.kaeufer.de/>



Şekil 9.41. DRT kanat ve kule erişimi.

Sky-Access

<https://www.sky-access.com/>

Ostensjo Rederi

<https://www.ostensjo.no/>

BÖLÜM 10: DENİZÜSTÜ RES PROJE UYGULAMA (NAKLIYE, İNŞAAT VE MONTAJ)

RES santral ihalesi sonuçlandıktan sonra DRES inşaat ve montaj aşamasına geçişmektedir. DRES kurulumu için yapılacak işler, genellikle 7 sınıfa ayrılabilir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- Ekipman üretim süreci
- Denizde inşaat işleri
- Nakliye işleri,
- Limanda yapılacak işler,
- Montaj işleri,
- Elektrik işleri,
- Devreye alma ve testler.

Elipman üretim süreci daha önceki bölümlerde anlatıldığından dolayı diğer süreçler incelenmiştir.

10.1 DRES İnşaat İşleri

DRES inşaat işleri ile ilgili olarak deniz tabanının hazırlanması gereklidir. Bunun için zemin ıslahı ve oyulma koruma (scour protection) örnek verilebilir.



Şekil 10.1. Deniz tabanının hazırlanması.

10.2 DRT Karaüstü Nakliye İşleri

DRT nakliyesi iki aşaması vardır; karaüstü ve denizüstü nakliye. Karaüstü nakliye üretim tesisinden nakliyenin yapılacağı limana kadar olan nakliye sürecidir. Normal RT'lerin karayolu nakliyesi ile ilgili olan standartlara sahiptir. Karayolu nakliyesi yapılırken aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulur;

- i. Nakliye yapılacak mesafe,
- j. DRT boyutları,
- k. Nakliyesi yapılacak ekipmanın ağırlığı,

- l. Nakliye yolu üzerindeki keskin virajlar ve yolun durumu,
- m. Nakliye yolu üzerinde çıkabilecek ağaç, köprü, demiryolu hattı, enerji nakil hattı vb,
- n. Alınması gereken izin ve onaylar,
- o. Nakliyenin toplam maliyeti.

Karayolu nakliyesi planlanırken detaylı bir etüt yapılarak rapor hazırlanır. Raporda aşağıdaki hususlara değinilmektedir;

- a. Pervane kanatlarının nasıl taşınacağı,
- b. Kule parçalarının nasıl taşınacağı,
- c. Taşınacak bütün ekipmanın boyut ve ağırlıkları,
- d. DRT üreticisinin tavsiyeleri ve standartları,
- e. Yol ve dönüşler için gerekli standartlar,
- f. Yol üzerindeki köprü, emiryolu vb durumu,
- g. Alt geçitlerin durumu,
- h. Köprü, üst geçit ve aly geçitlerin boyutları ve kaldırma kapasiteleri,
- i. Yol üzerinde dinlenme/bekleme alanlarının mevcudiyeti,
- j. Yol üzerindeki trafik ışıkları,
- k. Resmi kurumlardan alınacak olan izin ve onay listesi.

Karayolu ile yapılan nakliye DRES proje sahasına erişimin yapılacağı limana kadardır.



Şekil 10.2. DRT karayolu nakliyesi.

Gerekli izinler alındıktan sonra DRT'lerin nakliyesi demiryolu ile yapılabilir. Limanlarda demiryolu ulaşımı genellikle bulunduğundan dolayı uygulamada yapılan bir nakliyedir.



Şekil 10.3. DRT demiryolu nakliyesi.

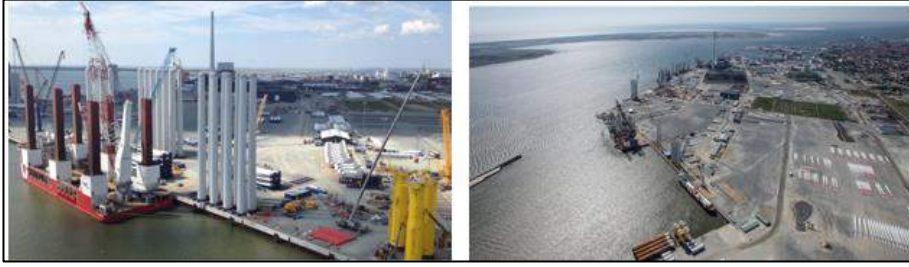
10.3 DRES Limanda Yapılacak İşler

DRES projeleri için liman ayarlaması çok önemlidir. Avrupa'da yapılan ilk projelerde bu konu üzerinde planlama yapılmadığından dolayı ciddi sıkıntılarla karşılaşmıştır. Özellikle limandaki depolama alanı hususu ciddi zaman ve maliyet kaybına; dolayısıyla projelerin gecikmesine yol açmıştır. Almanya'daki bazı DRES projelerinin lojistiğini sağlayan Almanya Sassnitz'de bulunan Mukran Limanı depolama alanı aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.4. Almanya Mukran Limanı.

MHI Vestas firmasına ait Esbjerg üretim/montaj limanı ise aşağıda verilmiştir. V164-8 MW DRT üretiminin hızlandırılması için bu liman seçilmiştir. Toplam 5600 m² üzerinde kurulu bir montaj tesisidir.



Şekil 10.5. Danimarka Esbjerg limanı montaj tesisi.

İngiltere’de işletmeye alınan Blyth DRES için kulenin limanda nakliyeyle hazır hale getirilmiş hali aşağıda verilmiştir.



Şekil 10.6. Blyth DRES projesi kule nakliyeyle hazır hale getirilmesi.

İngiltere Blyth DRES projesine ait ağırlık temellerin limanda denizüstü nakliyeyle hazır haldeki durumu aşağıdaki şekilde görülmektedir. 5 adet Vestas V164-8.3 MW kurulu güçlü DRT’ye ait temellerdir. 26 yıl operasyonel ömre sahiptir. 1800 m³ beton kullanılmış olup toplam ağırlık 1100 tondur.



Şekil 10.7. Blyth DRES projesi ağırlık temeller.

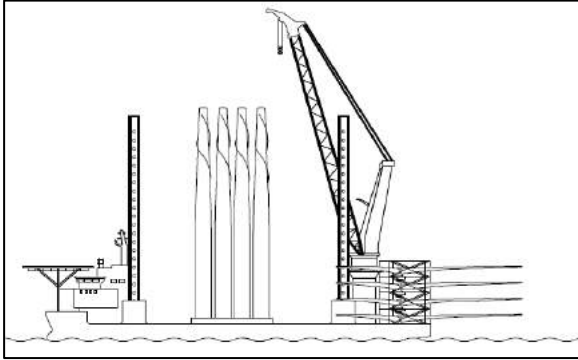
10.4 Denizüstü Nakliye

Denizüstü DRES ekipmanlarının nakliyesi 2 türlü yapılmaktadır. Birincisi gemi üzerinde taşımadır ve buna “dry transport- kuru yük taşımacılığı” denir. İkincisi ise ekipman suda yüzdürülerek taşınır ve bu da “wet towing” olarak adlandırılır. DRT nakliyesi için öncelikle uygun gemi seçilir. Deniz üzerinde nakliye yapılırken aşağıdaki kriterlere dikkat edilir;

- Hava koşulları,
- Uygun deniz nakliye rotası,
- Akıntı, gel-git durumu,
- Bölgedeki gemi trafiği.

10.4.1 Kuru Yük Taşımacılık (Dry Transport)

Bu nakliye metodunda gemi veya mavnaya üzerinde DRES ekipmanlarının taşınması yapılır. Gemi üzerinde ekipmanlar sabitlenmektedir.



Şekil 10.8. Kuru yük taşıma.

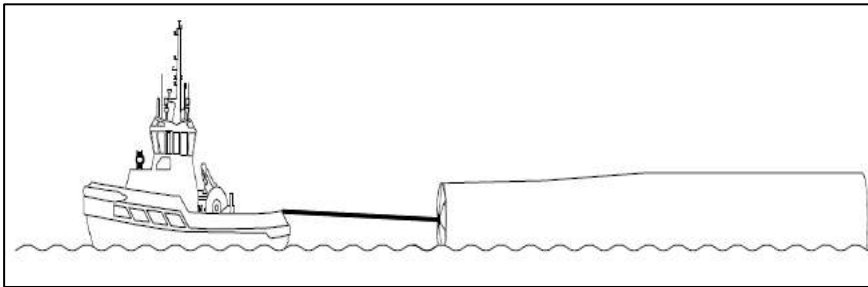
DRT için kule ve kanatlar bazı gemilerde birlikte nakliye yapılabilir.



Şekil 10.9. Kuru yük taşıma.

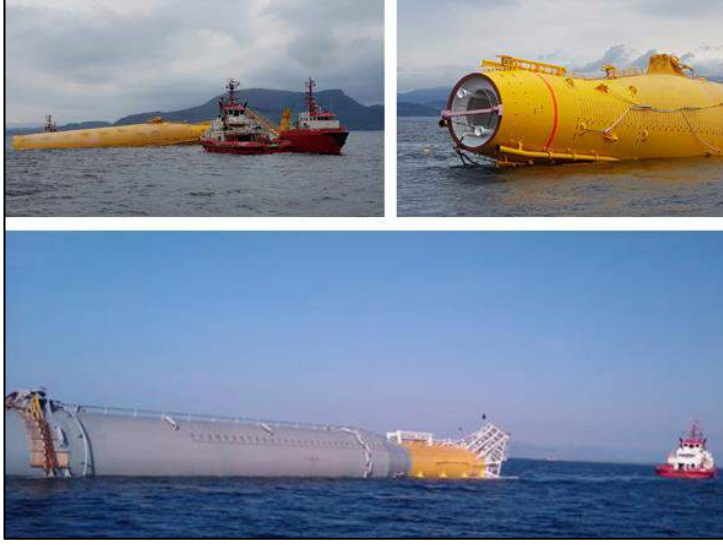
10.4.2 Su Üstünde Yüzdürme (Wet Towing)

Denizde yüzdürme yoluyla yapılan bu teknikte özellikle temeller ve kule için uygulanır. DRT kulesinin su üzerinde yüzdürülmesi aşağıda resmedilmiştir.



Şekil 10.10. Kulenin su üstünde yüzdürülmesi resmedilmesi.

30 MW Hywind Scotland DRES projesinde ise, denizüstünde yüzdürölme görölmektedir. Bu nakliye yönteminde yükler ve ekipmanın geometrisi dikkate alınarak nakliye yapılır.



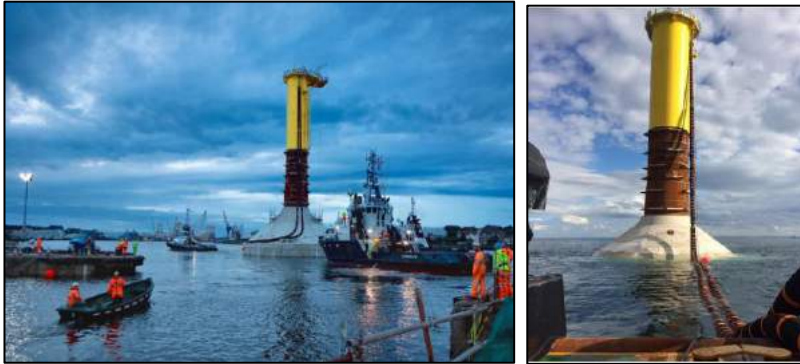
Şekil 10.11. Geçiş parçasının su üstünde yüzdürölmesi.

Geçiş parçası kuru yük taşımacılığı ise aşağıda görölmektedir.



Şekil 10.12. Geçiş parçası kuru yük taşımacılığı.

Bazı projelerde temel ile birlikte geçiş parçası yüzdürölmüşür.



Şekil 10.13. Temel ile geçiş parçası yüzdürölmesi.

10.4.3 Tekil Kazıklı Temel (Monopile) Denizüstü Nakliyesi

İlk projelerde kullanılan tekil kazıklı temeller genellikle gemi güvertesinde kuru nakliye olarak taşınmaktadır.



Şekil 10.14. Tekil kazıklı temel gemi güvertesinde taşıma.

Mavna ve tug-boat ile birlikte de taşınmalar yapılmıştır.



Şekil 10.15. Tekil kazıklı temel gemi güvertesinde taşıma.

10.4.4 Ağırılık Temel (Gravity) Denizüstü Nakliyesi

Belçika Thorthon DRES projesinde hazırlanan ağırılık temeller limanda görülmektedir.



Şekil 10.16. Ağırılık temel limanda gemilere yüklenme.

Gemi ve tugboat ile deniz üzerinde yüzdürülerek taşınma aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.17. Ağırılık temel gemi ve tug-boatlar ile deniz üzerinde yüzdürülme.

Deniz yüzeyinde yüzdürülerek ağırılık temel taşıma ise aşağıda anime edilmiştir.



Şekil 10.18. Ağırlık temel gemi ve tugboatlar ile deniz üzerinde yüzdürülme animasyon.

10.4.5 Grup Kazıklı Temel (Tripod) Denizüstü Nakliyesi

Almanya ilk DRES projesi Alpha Ventys DRES'e ait temellerin limanda nakliyeye hazır hale getirilişi aşağıda verilmiştir.



Şekil 10.19. Grup kazıklı temel limanda nakliyeye hazırlanması.

Grup kazıklı temel gemi üzerinde nakliyesi aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.20. Grup kazıklı temel gemi üzerinde nakliye.

10.4.6 Kafes Temel (Jacket) Denizüstü Nakliyesi

Kafes temellerde yüzdürülerek değil, kuru nakliye şeklinde gemi güvertesinde taşınmaktadır. 588 MW kurulu güçlü Beatrice DRES projesine ait temeller gemi üzerinde aşağıda verilmiştir.



Şekil 10.21. Kafes kazıklı temel limanda nakliye hazırlanması.

Kafes kazıklı temel gemi üzerinde nakliyesi aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.22. Kafes kazıklı temel gemi üzerinde nakliye.

10.4.7 Vakumlu Kova Keson Temel (Suction) Denizüstü Nakliyesi

Vakumlu kova keson temellerin limanda nakliyeye hazır hale getirilişi aşağıda verilmiştir.



Şekil 10.23. Vakumlu kova keson temel limanda nakliye hazırlanması.

Vakumlu kova keson temelin deniz üzerinde yüzdürülerek taşınımı aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.24. Vakumlu kova keson temel gemi ve tugboatlar ile deniz üzerinde yüzdürülme.

Kafes kazıklı temel gemi üzerinde nakliyesi aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.25. Vakumlu kova keson temel gemi üzerinde nakliye.

10.4.8 Yüzer (Floating) Temel Denizüstü Nakliyesi.

Son yıllarda artan derinliklerde kurulan DRES temelleri için yüzer temellerde kullanılmaya başlanmıştır. Fransa Atlantik kıyısında SEM-REV projesinde kullanılan yüzer temeller aşağıda görülmektedir. 2 MW Floatgen DRT için test aşamasında olan bu yeni teknolojik çözüm ileriki yıllarda gelişeceği düşünülmektedir.



Şekil 10.26. Yüzer temelin yüzdürülerek nakliyesi.

Gemi ve tugboat ile deniz üzerinde yüzdürülerek taşınma aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.27. Yüzer temelin gemi ve tugboat ile çekilerek nakliyesi.

10.4.9 DRT Kanat Nakliye

EnBW Baltic 2 DRES projesine ait pervane nakliyesi için gemiye yüklenme işlemi görülmektedir.



Şekil 10.28. DRT kanadın gemiye yüklenmesi.

EnBW Baltic 2 DRES projesine ait kulenin gemiye yüklenmesi görülmektedir.



Şekil 10.29. DRT kulenin gemiye yüklenmesi.

DRT kule ve kanatların birlikte gemi üzerinde taşınması aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.30. DRT gemide nakliyesi.

10.4.10 Denizüstü Şalt Nakliye

DRES şalt sahası karada tek parça olarak imal edilerek montajı yapılmakta ve gemiye yüklenmektedir. Aşağıdaki şekilde DRES projesine ait bir denizüstü şalt sahasının montajı görülmektedir.



Şekil 10.31. DRES denizüstü şalt sahası gemiye yüklenme.

DRES denizüstü şalt sahası gemi ile yüzdürülerek nakliye işlemi bazı projelerde kullanılmıştır.



Şekil 10.32. DRES denizüstü şalt sahası gemi ile yüzdürülerek nakliye işlemi.

10.5 DRT Montaj İşleri

DRT montaj planlaması sadece rüzgar türbin montaj planının içermez; aynı zamanda etkin bir deniz ulaşım planlaması da yapılmalıdır. Montaj için kullanılacak liman, gemiler, hava durumu vb gibi önemli kriterler de dikkate alınmaktadır. Nakliye ve montaj planlaması karaüstü RES projelerinde olduğu gibi DRES projelerinde de çok önemlidir. Nakliye yapıp DRT'ler proje sahasına ulaştığında hemen montajının yapılması arzu edilir. Nakliye ve montaj aktivitelerinde ekipmanın zarar görmemesi esastır. Bu işlem çoğunlukla DRT üreticisi tarafından yerine getirilmektedir. DRES projeleri için öncelikle ekipman üretimi, nakliyesi, montajı ve devreye alınması olarak sınıflandırılabilir.

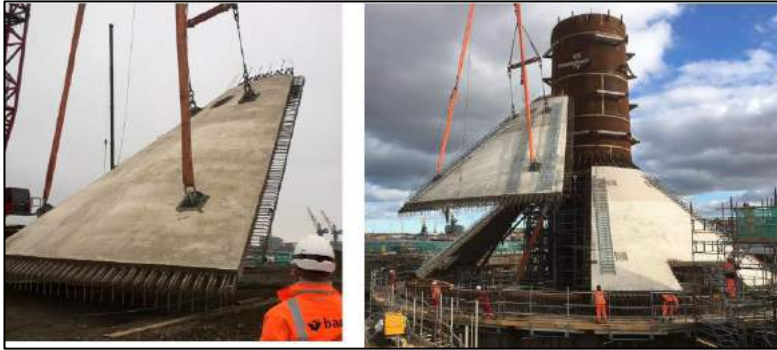
10.5.1 DRT Karaüstü Montaj İşleri

Genellikle limanda yapılan ön montajlardır. Kule ve kanat montajları yapılır.



Şekil 10.33. DRT limanda ön montaj işlemleri.

Temel ön montajları da genellikle limanda yapılmaktadır.



Şekil 10.34. DRT limanda temel ön montaj işlemleri.

DRT kule ve geçiş parçası limanda ön montaj işlemleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 10.35. DRT kule ve geçiş parçası limanda ön montaj işlemleri.

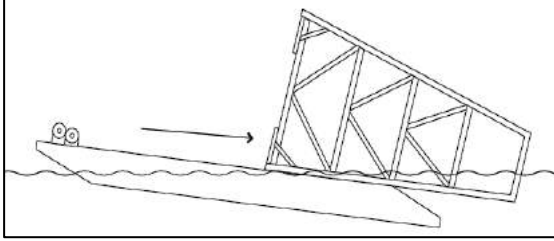
10.5.2 Denizüstü Montaj

Denizüstü DRT montajından önce ciddi etütler yapılmalı ve bunlar raporlanmalıdır. DRT montajı kara üstünde önemli bir hususken; deniz üstünde çevre şartlarının daha az kontrol edilebilirliği sebebi ile daha da önemlidir. Yapılacak etütlerde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir;

- DRES proje sahasındaki hava koşulları,
- DRES proje sahasındaki deniz koşulları,
- Sahaya ulaşım rotasının hava ve deniz koşulları,
- Montaj için boyut ve ağırlıkların hesaba katılarak vinç ihtiyacının dizayn edilmesi,
- Montaj için gereken zaman planlamasının yapılması,
- Montaj için gerekecek ana ve yardımcı vinçlerin planlanması,
- Tecrübeli personel ile organizasyon planının yapılması.

Denize İndirme (Launching)

Denize indirme özellikle temeller için kullanılan bir terimdir. Denize indirme sırasında aşağıdaki planlamalar yapılır;

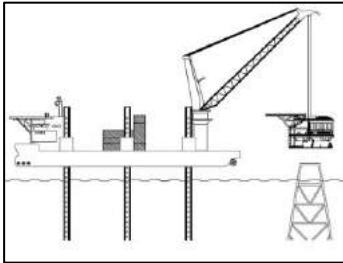


Şekil 10.36. Denize indirme.

- Su derinliği ve deniz tabanı yapısı,
- İndirilen ekipmanın ağırlığı ve dalma hızı,
- Çevresel şartların kontrolü,
- Ekipmanın güvenli bir şekilde indilebilmesini sağlayacak diğer önlemler.

Kaldırma (Lifting)

Denize indirilen ekipmanın veya montajı yapılacak parçanın kaldırılarak gerekli yere montajı yapılma işlemidir. Türbin ve şalt sahası için uygulanır. Aşağıdaki Şekil ile şalt sahasının üst kısmının kaldırılması görülmektedir.



Şekil 10.37. Kaldırma.

10.5.3 Tekil Kazıklı (Monopile) Temel Montajı

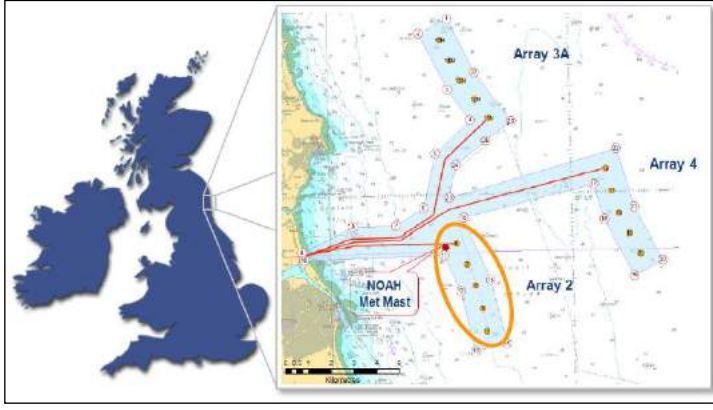
Bu temel dizaynının uzunluğu bir avantajdır. Deniz tabanında fazla bir iş gerektirmemektedir. Tekil kazıklı temelde geçiş parçası (transition piece) ve tekil kazık bulunmaktadır. Tekil kazıklı temellerin nakliyesi için bir kaç yol vardır; suyun üzerinde yüzdürülerek taşıma ve nakliye gemisinin güvertesinde taşıma. Tekil kazıklı temel montajı için aşağıdaki gemiler kullanılmaktadır;

- Towed deck mavnalar,
- Jack-up mavnalar,
- Yüzer geni vinçler,
- Kargo gemileri.

Tekil kazıklı temel montajı en yaygın olarak jack-up gemi kullanılarak yapılmaktadır.

10.5.4 Ağırlık (Gravity) Temel Montajı

Bu kısımda gravity temel ile ilgili bilgiler verilecektir. 5 adet 8.3 MW ünite kurulu güçlü toplam 42.5 MW Blyth DRES projesinde kullanılan gravity base anlatılacaktır. İngiltere’de kıyıya yaklaşık 5.6 km mesafede ve 38 m derinlikte kurulan Blyth DRES aşağıda Şekil ile görülmektedir.



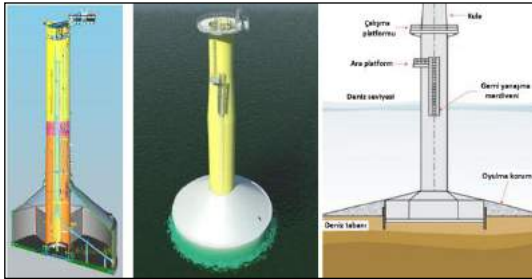
Şekil 10.38. Blyth DRES.

Blyth DRES özet bilgi aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 10.1. Blyth DRES özet bilgi.

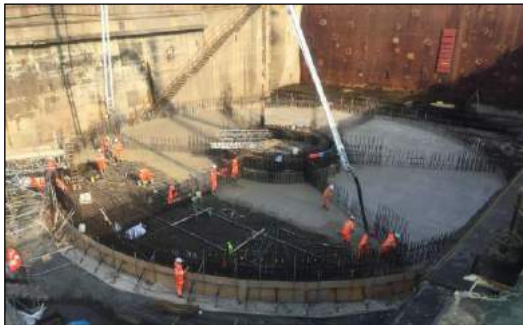
Kurulu Güç	41.5 MW	Su derinliği	38 m
Türbin	5 x MHI Vestas V164-8.3 MW	Kablo rotası	11 km denizaltı; 1.5 km karaüstü ENH
Yeri	Bylth 5.6 km	Proje başlangıcı	2013
Şebeke bağlantısı	Bylth TM	Ticari işletme	2017

DRT’lerde kullanılan temel tipleri Şekil ile görülmektedir. Gravity temel en önemli özelliği ağırlıktır. Gravity temel monopil temelin ağır olanı denilebilir. İncelenen projedeki temele 1800 m³ beton dökülmüştür. 500 tondan fazla da çelik kullanılmıştır.



Şekil 10.39. Ağırlık temeli.

Temel yaklaşık 30 m çapında ve 1.1 m derinliğindedir. Belçika Hoboken kentinde üretilmiştir.



Şekil 10.40. DRT ağırlık temeli.

350 m³ beton kullanılmış olup 186 ton betonarme ile güçlendirilmiştir. Daha sonra slipform duvar eklenmiştir.



Şekil 10.41. Gravity base DRT slipform duvar eklenmesi.

Daha sonra bu temelin üzerine DRT ile bağlantıyı sağlayacak olan ve toplamda 30 m uzunluk ve 330 ton ağırlığa eriştirecek olan çelik boru da eklenir.



Şekil 10.42. Gravity base DRT temeli.

Daha sonra bu temel sisteminin üzeri kapatılır (roof segment).



Şekil 10.43. DRT ağırlık temeli.

Temelin geçiş parçası da üretilerek limanda nakliyeyle hazır hale getirilir.



Şekil 10.44. Nakliyeyle hazır jale gelmiş DRT temeli.

Daha sonra da denizüstünde montaj işlemlerine başlanır.



Şekil 10.45. Tek kazıklı temel ve geçiş parçası montajı.

10.5.5 Grup Kazıklı (Tripod) Temel Montajı

Almanya Borkum’da yapılan Trianel DRES projesinde grup kazıklı temel kullanılmıştır. 40 DRT ve toplam 200 MW kurulu güce sahip Trianel DRES projesi Borkum Adasının 45 km kuzeyinde bulunmaktadır.



Şekil 10.46. Trianel DRES grup kazıklı temel montajı.

10.5.6 Kafes (Jacket) Temel Montajı

Almanya Wikinger DRES projesinde kullanılan kafes temel montajına ait fotoğraflar aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.47. Wikinger DRES kafes temel montajı.

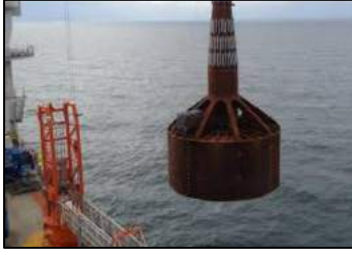
Gemini DRES projesine ait montaj ve kafes temel montajın bitmiş hali aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.48. Gemini DRES kafes temel montajı ve bitmiş hali.

10.5.7 Vakumlu Kova Keson (Suction Bucket) Temel Montajı

Vakumlu kova keson temeller son yıllarda derin sularda kullanılmaya başlanmıştır. Aşağıda Borkum Riffgrund 1 DRES'e ait vakumlu kova keson temelin denize indirilişi verilmiştir.



Şekil 10.49. Borkum Riffgrund 1 DRES vakumlu kova keson temel montajı.

10.5.8 Yüzer (Floating) Temel Montajı

Yüzer DRT temelleri henüz ticari olarak kendini kanıtlamamış olsa da; bazı projelerde kullanılmaya başlanmıştır. Fransa Le Croisic şehrine 20 km açığa Atlantik Okyanusu'nda 2 MW kurulu güçlü DRT'ler kullanılarak ilk DRES işletmeye alınmıştır. Fransa'daki ilk DRES olan bu projeye Floatgen adı verilmiştir. 1900 m³ beton kullanılarak toplamda 4360 ton ağırlığa sahiptir.



Şekil 10.50. Yüzer DRT temeli limanda üretim süreci.

Limanda nakliyyeye hazır hale getirilmiş olarak ise aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.51. Yüzer DRT temel nakliyyeye hazır hale getirilmesi.

Montajı yapılmış ve işletmede olan yüzer temelli DRT aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.52. Yüzer temelli DRT.

10.5.9 DRT Kule Montajı

Denizüstü rüzgar türbinlerinde kule montajında öncelikle temel ve geçiş parçası montajı yapılmaktadır.



Şekil 10.53. Blyth Scotland DRES kule ilk kısmının geçiş parçasına montajı.

Blyth Scotland DRES kule ilk kısmına ikinci kısmın montajı aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.54. Blyth Scotland DRES kule ilk kısmına ikinci kısmın montajı.

10.5.10 DRT Pervane Montajı

Kulenin montajı tamamı ile bitirildikten sonra pervane montajına geçilmektedir. Bunny ear ve rotor star method olmak üzere 2 tip pervane montajı bulunmaktadır. Bunny ear pervane montajında iki kanat nasele gemi üzerinde monte edilerek kaldırılır.



Şekil 10.55. Bunny ear yöntemi.

Rotor star yöntemi ile montaj tekniği aşağıda görülmektedir.



Şekil 10.56. Rotor star yöntemi ile montaj.

10.5.11 DRT Nasel Montajı

İngiltere’de bulunan 150 MW kurulu güçlü Ormonde DRES projesine ait montaj fotoları izleyen sayfalarda verilmiştir. Kasım 2009 – Ağustos 2011 arasında inşaat ve montaj çalışmaları yapılmıştır.



Şekil 10.57. Ormonde DRES montajı.

Toplamda 8.7 km² alanda kurulmuş olup 553 milyon EURO’ya mal olmuştur. 30 adet 5 MW DRT kullanılmıştır. Her bir DRT arasında 560 m mesafe bulunmaktadır. 21 m derinliğe sahip bölgede kurulmuştur. Kanat çapı 126 m ve göbek yüksekliği 90 m dir.



Şekil 10.58. Ormonde DRES nasel montajı.

10.5.12 DRT Tek Parça Montaj

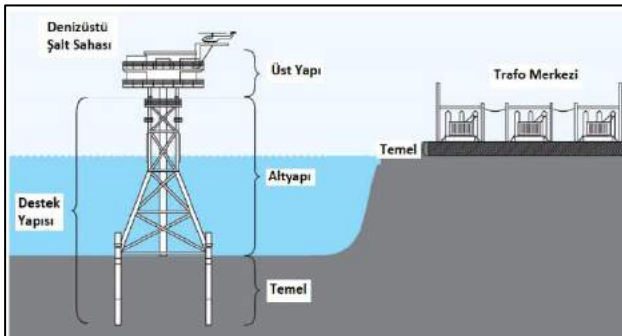
Blyth Scotland DRES projesinde ise, DRT tek parça olarak denizüstünde monte edilmiştir.



Şekil 10.59. Blyth Scotland DRES DRT tek parça montajı.

10.6. DRES Denizüstü Şalt Sahası Montajı

Denizüstü şalt sahası ve karaüstü şalt sahası ana ekipmanları Şekil ile verilmiştir.



Şekil 10.60. DRES denizüstü ve karaüstü şebeke bağlantısı.

Denizüstü şalt sahası için öncelikle şalt sahasının temeli denize çakılır.



Şekil 10.61. DRES denizüstü şalt sahası denize çakılması.

Daha sonra temelin üzerine şalt sahasının montajı yapılır.



Şekil 10.62. DRES denizüstü şalt sahası temel üzerine indirilmesi.

Daha sonra elektrik bağlantıları yapılarak şalt sahası deneme işletmesi yapılır.

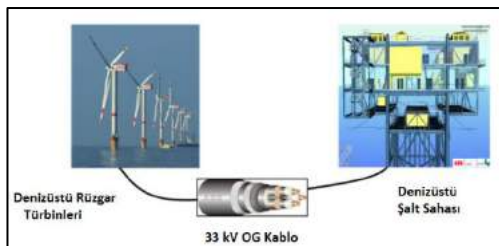


Şekil 10.63. Montajı bitirilmiş denizüstü şalt sahası.

Denizüstü şalt sahası genellikle denizden 20-25 m yükseklikteki platform üzerine konulur. Ağırlıkları ise 1200-1500 ton arasında olabilmektedir. Platformun üzerinde atölye, dinlenme odası, helikopter pisti bulunmaktadır.

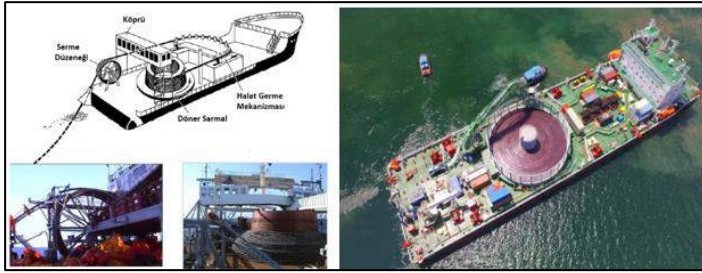
10.7. DRT-DRES Şalt Sahası Denizaltı OG Kablolama

DRT'ler arasındaki kablolar öncelikle denizaltından denizüstündeki şalt sahasına ulaştırılır. Aşağıda şematize edilmiştir.



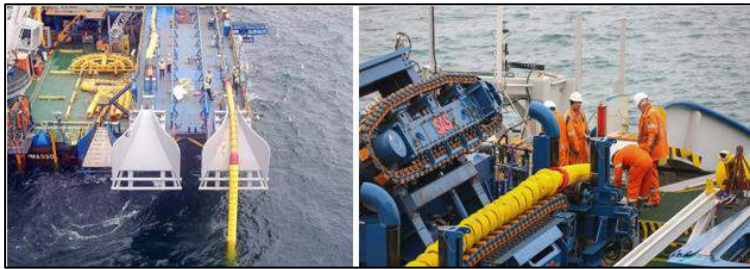
Şekil 10.64. DRT-şalt sahası denizaltı OG kablolama.

OG kablolama için özel gemiler bulunmaktadır.



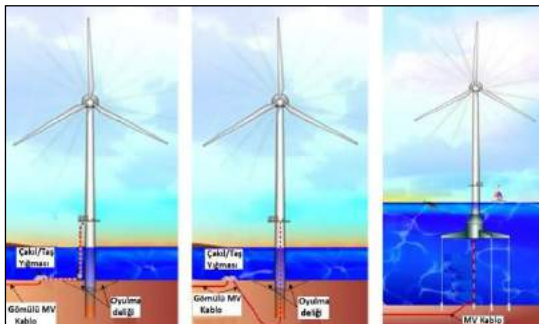
Şekil 10.65. Denizaltı kablo serme gemisi.

Kablo gemiden özel bir mekanik düzenek ile zarar verilmeden suya serilmektedir.



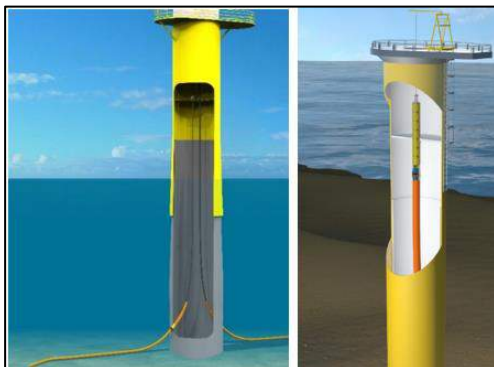
Şekil 10.66. Denizaltı kablo serme gemisi.

Farklı DRT temellerine göre DRT'ye OG kablo giriş ve çıkışı aşağıda görülmektedir.



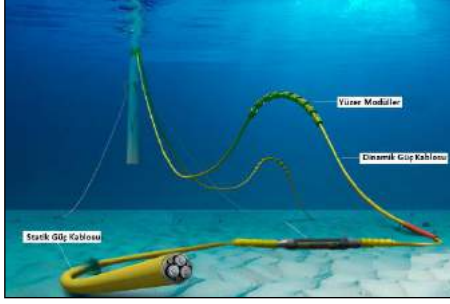
Şekil 10.67. DRT'ye kablo girişi.

DRT'ye kablo girişinde geçiş parçası içerisinden geçerek yukarıya ulaşmaktadır.



Şekil 10.68. DRT'ye kablo girişi.

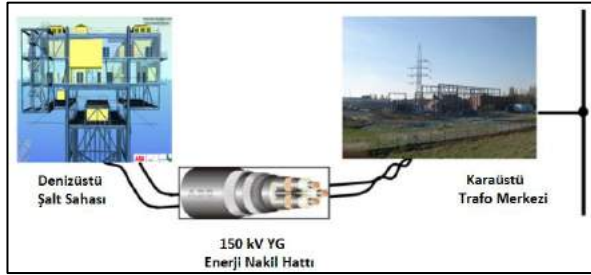
Yüzer DRT'ye kablo girişi için aşağıda resmedilmiştir.



Şekil 10.69. Yüzer DRT'ye kablo girişi.

10.8 DRES Denizüstü Şalt Sahası-Kara Arası Denizaltı Kablolama

Denizüstü şalt sahasından çıkan yüksek gerilim (YG) hattının karaya kadar olan kısmıdır.



Şekil 10.70. Denizüstü şalt sahası-kara arasındaki YG kablolama.

YG kablonun denizaltına serilmesi özel gemiler yolu ile yapılır.



Şekil 10.71. Özel gemi ile YG kablonun denizaltına serilmesi.

Denizaltından geçirilen YG hattı karaya getirilerek, karadan yeraltından trafo merkezine ulaştırılır.



Şekil 10.72. Denizüstü şalt sahası-kara arasındaki YG kablolama.

10.9 DRES Karaüstü Enerji Nakil Hattı

Karaya getirilen YG hattı yeraltına serilerek TM'ye götürülür.



Şekil 10.73. Yeraltıdan TM'ye YG kablo çekilmesi.

Alman Alpha Ventus DRES projesine ait yeraltı kablo serilmesi işlemi aşağıda verilmiştir.



Şekil 10.74. TM'ye YG kablo çekilmesi.

Çekilen kablolar, TM'ye bağlanarak DRES'in şebeke bağlantısı bitirilmiş olunur.

BÖLÜM 11: DRES KAZANILAN TECRÜBELER

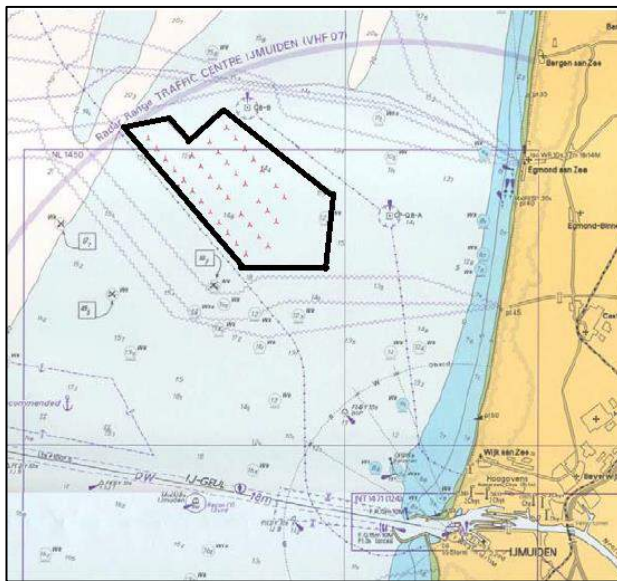
Bu bölümde Avrupa Ülkelerinde işletmede olan bazı DRES projelerine ait proje tecrübesi anlatılacaktır. Hollanda, Danimarka, Almanya, İngiltere ve Belçika’da yapılan ilk DRES projelerine ait tecrübeler anlatılacaktır.

11.1 OWEZ DRES (Hollanda)

Hollanda’nın ilk projesi olan Egmond aan Zee DRES projesi (OWEZ) projesinin başlangıcı 1999 yılına kadar gitmektedir. Yatırım kararı ise 2005 yılında verilmiştir. OWEZ projesi NoordzeeWind firması tarafından yatırımı yapılarak finanse edilmiştir. Projenin geliştirilmesi Bouwcombinatie Egmond şirketi tarafından yürütülmüştür. Projenin realize edilmesi zamanında ise konsorsiyum kurulmuştur. Konsorsiyum üyeleri, Shell Wind Energy, Nuon Renewable Energy, Ballast Nedam Infra ve Vestas’tan oluşmaktadır. Projeye ait genel özellikler aşağıda verilmiştir;

Proje Adı	: Offshore Wind Farm Egmond aan Zee Offshore Wind Farm (OWEZ)
Yatırımcı	: Shell Wind Energy, Nuon Renewable Energy
Kurulu Gücü	: 108 MW
DRT Modeli	: Vestas V90 - 3 MW
DRT Sayısı	: 36
Proje Yeri	: Hollanda kuzey kıyısı 10 km mesafe
Proje Alanı	: 30 km ²
Su Derinliği	: 15-20 m

Projenin yeri aşağıdaki şekilde görülmektedir.

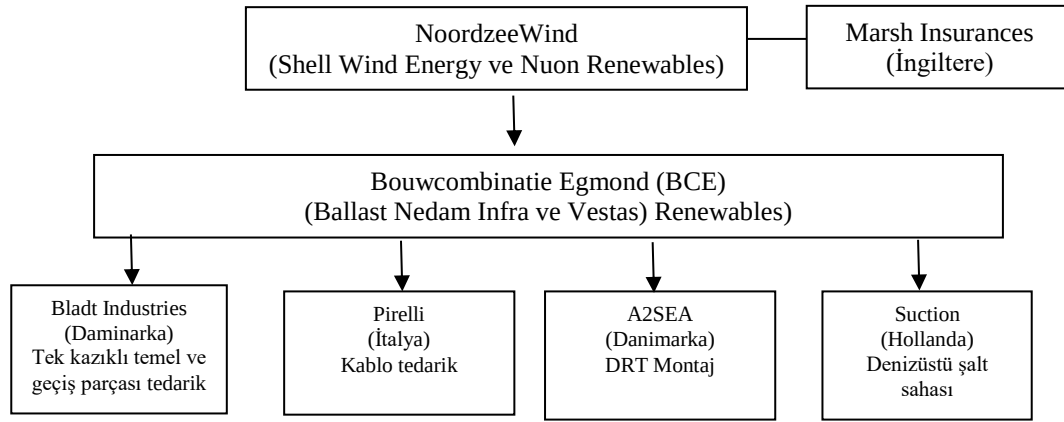


Şekil 11.1. Egmond aan Zee DRES proje yeri.

Hollanda'daki ilk DRES projesi olduğundan dolayı proje EPC olarak anahtar teslim konseptinde yaptırılmıştır. Bu tarz büyük ve ilk defa yapılan projelerde finansal yetkinlik, lojistik, teknik kapasite, know-how yanında uzman kadro da gereklidir. Konsorsiyuma dahil edilen Vestas ve Ballast Nedam ile bu sorunların üstesinden gelinmiştir. Hollanda Hükümeti pilot proje başlatma kararı alarak Egmond aan Zee bölgesinde çalışmalara başlamış ve 2000 yılında ön ÇED çalışmasını bitirmiştir. Değişik 6 bölge üzerinde çalıştıktan sonra Egmond aan Zee bölgesine karar kılınmıştır. NoordzeeWind firması 2002 yılında yapılan ihaleyi kazanarak çalışmalara başlamıştır. Nihai yatırım kararı da konsorsiyum tarafından 2004 yılında alınmıştır. DRT üretim işleri 2005 yılı sonunda bitirilmiştir ve 2006 Mart tarihinde de denizüstündeki inşaat işlerine başlanmıştır. 20 yıllık işletme süreci sonunda demonte işlemi de NoordzeeWind firması tarafından yapılacağı karara bağlanmıştır.

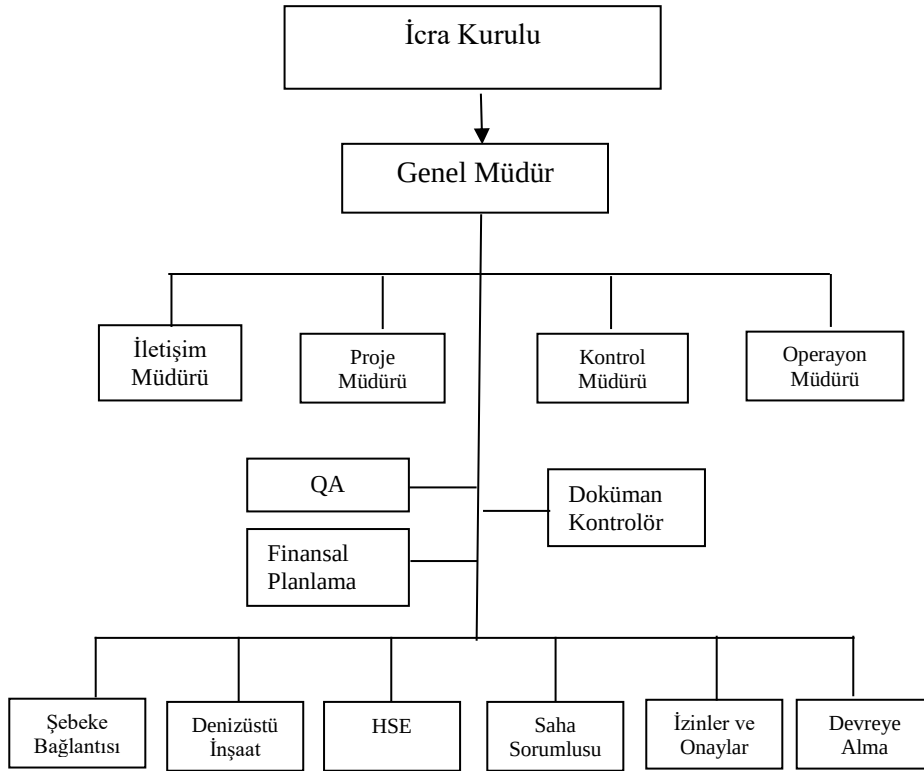
Proje Yönetimi

Projenin yönetimi, NoordzeeWind tarafından Mart 2005 tarihinde EPC olarak verilen Vestas ve Ballast Nedam Infra tarafından oluşturulan Bouwcombinatie Egmond (BCE) şirketi tarafından yapılmıştır. Projenin nütün, mühendislik, tedarik, inşaat ve montaj işleri BCE tarafından yürütülmüştür. Şekil ile projenin EPC diyagramı görülmektedir.



Şekil 11.2. OWEZ DRES proje diyagramı.

OWEZ projesinin izin ve onay sürecine Hollanda'daki resmi kurumlar aktif bir şekilde yer almıştır ve izin prosedürleri hızlandırılmıştır. Çevre, Ekonomi ve Ulaştırma Bakanlıkları, projenin izin ve onay aşamalarında çalışmıştır. Gerekli izinlerin alınması 2 yılı bulmuştur. Proje için 2 ÇED Olumlu raporu alınmıştır. Birincisi Ekonomi Bakanlığı, Kamu İşleri ve Ulaştırma Bakanlığı ile ve Su İdaresi Bakanlığı tarafından alınmıştır. İkinci ÇED onayı, türbinlerin mikrokonuslandırması bitirildikten sonra alınmıştır. Başlangıçta 2.75 MW ünite kurulu gücü planlanmış ancak daha sonra 3 MW olarak değiştirilmiştir. DRT'lerin alansal dağılımı yapılırken kuşların göç yolu, gemi trafiği, ekonomik yerleşim gibi kriterler göz önüne alınmıştır. Denizaltı kablo güzergahı da ileride proje kurulu gücünün artışı da düşünülerek seçilmiştir. Projenin mühendislik yönetimi SenterNovem tarafından yapılmıştır. Proje için ciddi bir akademik araştırmada yürütülmüştür. Tüm bu işleri için NoordzeeWind 27 milyon EURO hibe almıştır. Bu hibe 2 ana tema için alınmıştır. Birincisi Teknoloji ve Ekonomi Temasıdır. Bu tema, temellerin jeomorfolojik yapısı ve etkisini, enerji üretim tahminleri, kullanılan türbinlerin uygunluğu, işletme ve bakım stratejisi, inşaat, nakliye ve montaj konularını kapsamaktadır. İkinci tema olan Çevre ve Tabiat Teması, OWEZ projesinin çevresel etkilerini ve bu etkileşimin minimuma indirilmesi konusunu kapsamaktaydı. Projede yaklaşık 25 kişilik bir ekip çalışmıştır.



Şekil 11.3. OWEZ DRES proje ekibi.

OWEZ DRES Proje Tarihçesi

OWEZ DRES projesinin planlama süreci 2000 yılına dayanmaktadır. Projeni ilk planlama süreci 2000-2002 arasında yapılmıştır. Proje yerel ve merkezi otoritenin desteği ile yapılabilmektedir. Hollanda yönetim kültürü gereği, bütün işlemlerde işbirliği ve uzlaşma temelinde yapılmıştır. Projeye ait itirazlar erken süreçte dikkate alınarak gereği yapılmıştır. Yerel çevreci gruplar yenilenebilir enerji kaynaklarını genellikle destekleseler de; OWEZ DRES projesi hakkında şüpheli bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Uluslararası organizasyonlar olan Greenpeace ve WWF, OWEZ DRES hakkında olumlu görüş bildirmişlerdir. Ocak 2003 tarihinde Hollanda Yüksek Mahkemesi proje ile ilgili temyiz başvurularını sonuçlandırarak projenin önünü açmıştır. Hollanda'da bulunan Egmond Kuş Derneği (Egmond Bird Society) ÇED raporuna itiraz etmiştir ve kuş ölümlerini önlemek için alınan önlemlerin yetersiz olduğunu belirtmiştir. Yüksek Mahkeme, bu itirazları reddederek önlemlerin yeterli olduğu kanaatine varmıştır. Egmond Kuş Derneği projenin gerekliliğini de sorgulamış ancak Yüksek Mahkeme bu aşamanın geçtiğini belirterek projenin yapılmasında kamu yararı olduğu kararını vermiştir. Bu itirazlar, projenin biraz gecikmesine yol açmıştır.

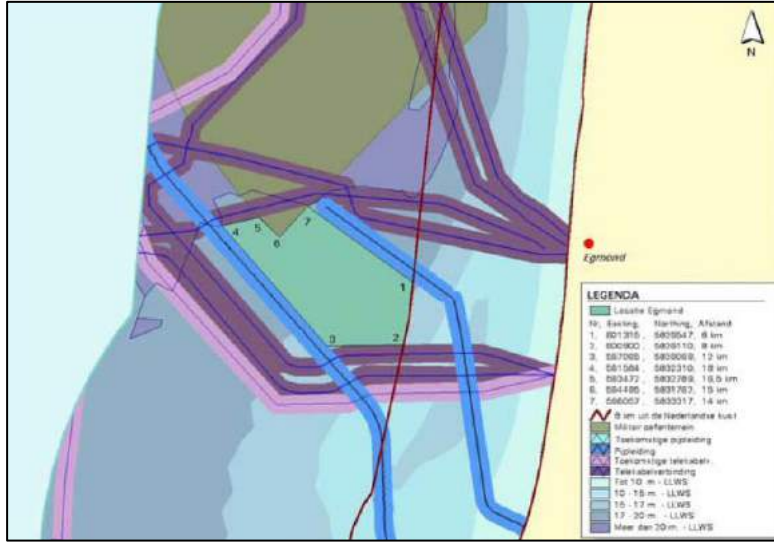
Elektrik sistem operatörü olan TenneT, şebeke bağlantısının nasıl olabileceğini çalışarak en uygun bağlantı noktalarını önermiştir. OWEZ DRES projesi için IJmuiden limanı seçilmiştir. Bu tip büyük projelerde yerel ve merkezi otoritenin yanında yerel belediye işbirliği de çok önemlidir. Velsen Belediyesi'ne bağlı olan Egmond aan Zee bölgesi, özellikle kablo güzergahı ile ilgili yerel belediyenin itirazları olmuştur. Kablo güzergahına ek olarak DRT'lerin görüntü kirliliği yaratması konusunda endişeler olmuştur. Bölgenin sahil şeridi turistik amaçlar için de kullanıldığından dolayı turizmcilerin de çeşitli endişeleri olmuştur. Bu endişelerin giderilebilmesi için NoordzeeWind çeşitli bilgilendirme toplantıları, yerel medya ve internet sitesi kurarak bilgilendirme yapmıştır.

Proje Ekonomik Veriler

OWEZ DRES projesi için toplam yatırım tutarı 200 milyon EURO olmuştur. 2002 yılında NoordzeeWind ile yapılan anlaşmaya göre 3 çeşit teşvik verilmiştir. Birincisi 27 milyon EURO hibe; ikincisi gelir vergisinden %44 muafiyettir. Son ve en önemli teşvik ise sabit fiyat alım garantisidir. Tarife fiyatı olarak piyasa elektrik tarife fiyatının üzerine 9.7 EUROc/kWh elektrik fiyat tarifesini uygulanmıştır.

Teknoloji

OWEZ DRES projesi yaklaşık olarak 30 km² alanda kurulmuştur. Kurulan alan uluslararası gemi trafiği ve balıkçılık faaliyetlerinin yakınında bulunmaktadır. Saha için 500 m emniyet sınırı belirlenmiştir.



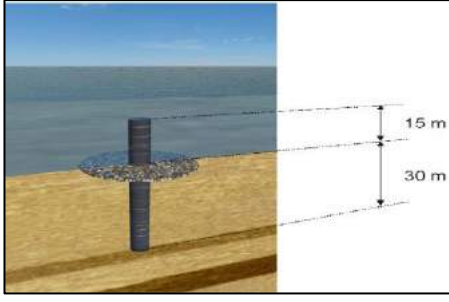
Şekil 11.4. OWEZ DRES saha sınırları.

Projede 36 adet Vestas V90 3 MW DRT kullanılmıştır. Temel dizaynı tek kazıklı temel (monopile) olmuştur. DRT'ler arasında 600 m mesafe; arka arkaya ise 1 km mesafe bırakılmıştır. Sahada 116 m uzunluğunda meteoroloji istasyonu ile meteorolojik ölçümler yapılmıştır. Kullanılan Vestas V90 DRT'ler 70 m uzunluğunda tekil kazıklı (monopile) temeller üzerine oturtulmuştur. Bu temeller Danimarkalı Bladt tarafından üretilmiştir. Deniz tabanının düz olması ve derinliğin uygun olması sebebi ile tekil kazıklı temeller kullanılmıştır. Temeller deniz tabanından 30 m derinliğe kadar çakılmıştır. Deniz seviyesinden 70 m göbek yüksekliği ve 90 m kanat çapı dikkate alındığında deniz seviyesinden 115 m maksimum yükseklik bulunmaktadır. Sistemin toplam yüksekliği ise 185 m dir. DRT temel tasarımı olarak Nieuwegein'de bulunan Infra Consult and Engineering tarafından yapılmıştır. Kullanılan temel, tek kazıklı (monopile) çelik temel çözümü olmuştur. 45 m uzunluğunda, 4.6 m çapında ve et kalınlığı 40-60 mm arasında değişmektedir. Üretimi ise Danimarka Bladt Industries tarafından yapılmıştır.



Şekil 11.5. OWEZ DRT temeli.

Temelin altında oyulma koruması (scour protection) yapılmıştır. Deniz suyunun temel etrafında toprak erozyonuna yol açmaması için bu önlem alınmaktadır.



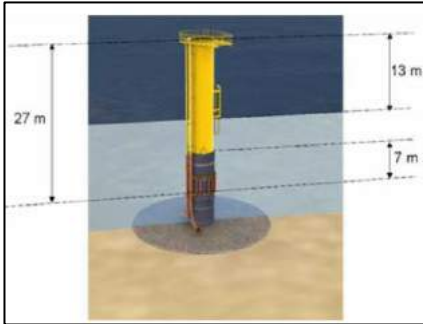
Şekil 11.6. OWEZ DRT temel oyulma koruması.

Geçiş parçası (transition piece) ise 147 ton ağırlığında olarak dizayn edilmiştir.



Şekil 11.7. OWEZ DRT temel geçiş parçası.

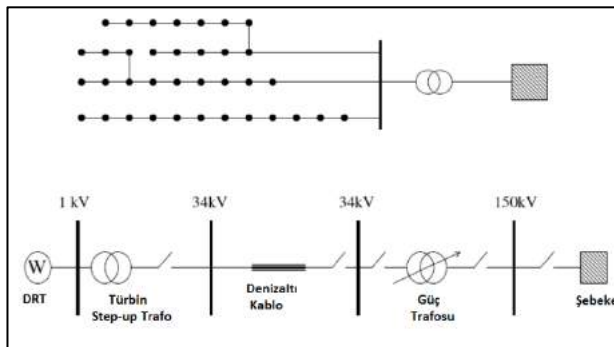
OWEZ DRT temel ile geçiş parçası birleştirilmiş konstrüksiyonu aşağıda görülmektedir.



Şekil 11.8. OWEZ DRT temel ile geçiş parçası birleştirilmiş hali.

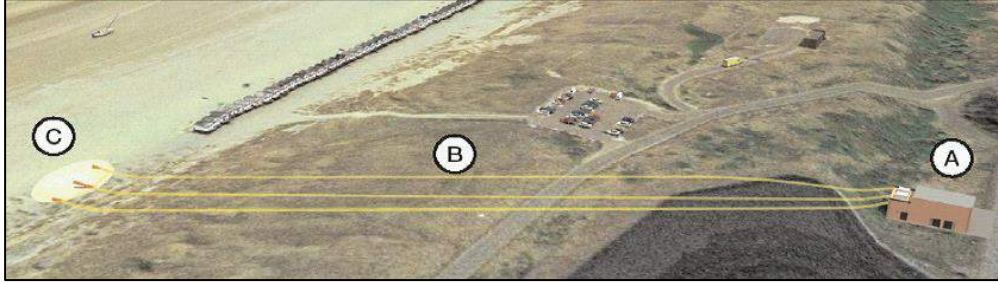
Şebeke Bağlantısı

OWEZ DRES projesindeki toplam 36 adet DRT; 12 DRT'lik 3 dala ayrılmıştır. Her bir 12 DRT'lik dal 34 kV denizaltı kablosu ile 3 metre derinden geçerek birbirine bağlanmaktadır. Toplamda 72 km denizaltı kablosu kullanılmıştır. Bu kablolar denizüstü şalt sahasında birleşerek buradan da 150 kV seviyesine yükseltilmiş ve karaüstü TM'ye 7 km yüksek gerilim hattı ile bağlanmıştır.



Şekil 11.9. OWEZ DRES basitleştirilmiş tek hat şeması.

Macaristan'dan Ganz firması ile anlaşarak trafo üretilmiştir. Trafo boyutları; l: 10 m, w: 5 m ve h: 4 m dir. 4 ton yağ ile birlikte toplam ağırlığı 26 tondur. Trafoyu tuz ve tozdan korumak için 24 mx6mx7 m boyutlarında bir trafo köşkü yapılmıştır. A ile trafo köşkü görülmektedir. B, geçiş güzergahı; C ise denizden kablunun çıkış yeridir.



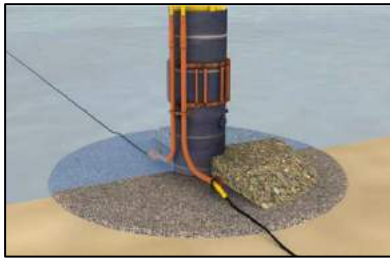
Şekil 11.10. OWEZ DRES trafo köşkü.

OWEZ DRES yeraltı ENH ve TM girişi aşağıda görülmektedir. 7 km 150 kV yeraltı kablosu çekilerek şebeke entegrasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 11.11. OWEZ DRES yeraltı ENH ve TM girişi.

DRT'lere denizaltı kablo girişi ise aşağıda görülmektedir.



Şekil 11.12. OWEZ DRT denizaltı kablo girişi.

Nakliye

DRT ekipmanlarının nakliyesinde özellikle kanat nakliyesine dikkat edilmiştir. IJMuiden limanı kullanılmıştır. Aşağıdaki şekilde liman ve ekipmanlar görülmektedir.



Şekil 11.13. IJMuiden limanı.

Ijmuiden limanı projenin nakliye limanı olarak kullanılmıştır. 2005 yılı sonuna doğru limanda bazı düzenlemeler yapılmıştır. Bu liman aynı zamanda işletme ve bakım limanı olarak kullanılmıştır. DRT ekipmanlarının nakliyesinde özellikle kanat nakliyesine dikkat edilmiştir.



Şekil 11.14. IJMuiden limanındaki malzemelerin depolanması.

Geçiş parçası limandan proje sahasına Svanen isimli gemi ile taşınmıştır.



Şekil 11.15. Temel ve geçiş parçasının gemiye yüklenmesi.

Tek kazıklı temel, hidrolik çekiç ile deniz tabanına çakılmıştır.



Şekil 11.16. Temelin hidrolik çekiç ile çakılması.

Sea Energy isimli montaj gemisi tarafından kule ve nasel montajı yapılmıştır.



Şekil 11.17. Montajın yapılması.

Montaj ve İşletme Aşaması

OWEZ DRES projesinin montaj ve devreye alınması Bouwcombinatie Egmond (BCE) tarafından yapılmıştır. Bazı alt taşeronlar ile çalışılmıştır. NoordzeeWind ve BCE montaj ve devreye alma işlerini; Ballast Nedam gemisi olan Svanen DRT'lerin montajını üstlenmiştir.



Şekil 11.18. Ballast Nedam Svanen montaj gemisi.

Denizaltı Kablo Montajı

Kablo montajı karada kum üzerinde başlamıştır.



Şekil 11.19. Ballast Nedam Svanen montaj gemisi.

Denizaltı için ise özel kablo kanal kazıcı (water jetting) robotu kullanılmıştır.



Şekil 11.20. Denizaltı kablo kazıcı.

Kablolara DRT'lere J-tube içerisinden geçerek bağlanmıştır. Platform üzerindeki kablo girişi aşağıda görülmektedir.



Şekil 11.21. Platform üzerinden J-tube'den geçen kablo.

Bütçe

Proje anahtar teslim EPC olarak verilmiştir. Dağılımı ise aşağıda görülmektedir.

Maliyet Kalemi	Maliyet (milyon EURO)	Yüzde (%)
Denizüstü meteoroloji istasyonu	3	1.3
Proje geliştirme	8	3.6
Şebeke bağlantısı	5	2.3
Proje yönetim	4	1.84
Sigorta giderleri (CAR)	3.5	1.61
Infocentrum İletişim Merkezi	0.2	0.04
Yasal İzinler	0.5	0.22
Finansman giderleri	1	0.45
EPC Bütçe	200	91
Toplam	217.7	100

Adam Saat Çalışma (Man Hour)

Projedeki bütün adam saat çalışma HSE birimine aktarıldığından aşağıdaki rakamlar örnek olarak verilmiştir.

Şirket / Adam Saat	2005	2006 (Toplam)	2006 (Karaüstü)	2006 (Denizüstü)
BCE	22225	106696	97691	9005
Vestas	6600	64038	41588	22450
İnşaat taşeronu	12410	113737	42576	71161
Elektrik taşeronu	1282	43559	24959	18600
İşletme & Bakım	617	882	560	322
NSW-MEP Kapsamı	701	4625	4265	360
NoordzeeWind	8007	27937	23130	4807
Toplam	51872	361474	234769	126705

İşletme

Projenin 20 yıl işletilmesinden sonra demonte işlemi Noordzeewind tarafından yapılacaktır. Bu işlem için The International Maritime Organization prosedürü uygulanacaktır. Demonte işlemi sonrası deniz tabanı eski haline getirilecektir.

OWEZ DRES Projesine Devlet Müdahiliyeti

OWEZ DRES projesi Hollanda'nın ilk DRES projesi olduğundan dolayı Hollanda Devleti aktif bir şekilde izin sürecine müdahil olmuştur. Bu durum ise izinlerin alınmasını hızlandırmıştır. Bazı bakanlıklar, projeye doğrudan müdahil olmuştur ve izin bizzat alınmıştır. Özellikle projenin yerinin belirlenmesi çeşitli bakanlıkların ortak çalışması sonucu ortaya çıkmıştır. ÇED prosedürü özellikle bütün tarafların mutakabati ile yapılmıştır. Devletin müdahiliyeti proje için pozitif bir faktör olmuştur. Ayrıca mahkeme ve temyiz süreçlerinde NoordzeeWind çalışmalarına devam etmiştir. NoordzeeWind firmasının aldığı 27 milyon EURO hibe, sabit tarife ve gelir vergisi teşviği projenin finansmanı için belirleyici unsurlar olmuştur. NoordzeeWind projenin EPC olarak anahtar teslim yapılmasını tercih etmesi, projenin riskini üçüncü kişilere transfer etmesidir. Bu boyuttaki bir projenin yürütülmesi ciddi bir bilgi, know-how ve finansal güç gerektirmektedir. Bu yüzden Vestas ve Ballast Nedam EPC ana taşeron olarak seçilmiştir. Bu proje, Hollanda'daki ilk DRES projesi olduğundan dolayı ciddi bir bilgi ve tecrübe oluşturmıştır. Bundan sonra yapılacak projelerde dikkat edilmesi gereken hususları öğretmiştir. Proje denizüstü yapılar konusunda Hollanda'ya tecrübe kazandırmıştır.

11.2 Gemini DRES (Hollanda)

Avrupa'daki kurulu gücü en yüksek DRES projelerinden olan Gemini DRES, Hollanda Groningen'in 85 km açıklarında kurulmuştur.



Şekil 11.22. Gemini DRES.

Gemini DRES, projesine ait temel özellikler aşağıda verilmiştir.

Proje Adı	: Gemini DRES
Yatırımcı	: Northland Power (60), Siemens (%20), Van Oord (%10) ve HVC (%10)
Kurulu Gücü	: 600 MW
DRT Modeli	: Siemens SWT 4.0 MW (150 adet)
Proje Yeri	: Hollanda Groningen Kuzey Denizi 80 km mesafede
Proje Alanı	: 68 km ²
Su Derinliği	: 28-36 m

Gemini DRES Tarihçesi

2010 yılında proje ile ilgili ön çalışmalara başlanılmıştır. DRES proje inşaatı 2014-2017 arasında yapılmıştır. Toplam yatırım tutarı 2.8 milyar EURO olmuştur. İlk DRT Şubat 2016'da devreye alınılmış olup 2017 Nisan tarihinde ise DRES tümüyle işletmeye alınmıştır. Saha ile ilgili ÇED süreci ve paralel olarak yürüten diğer izin süreçleri 36 ay sürede bitirilmiştir. Projenin nakliye limanı olarak Esbjerg kullanılmıştır.



Şekil 11.13. Esbjerg limanı.

Finansal Veriler

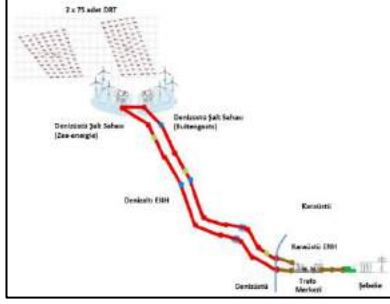
Avrupa'daki kurulu gücü en yüksek DRES projelerinden olan Gemini DRES projesi 2.6 milyar EURO'ya mal edilmiştir. Proje finansmanı kullanılmıştır ve 6 ay gibi kısa bir süre içerisinde finansman tedariki yapılmıştır. Bu boyuttaki bir proje için çok hızlı bir süreçte finansman kapaması yapılmıştır. Ana finansörler ise European Investment Bank (EIB), Euler Hermes, EKF ve ONDD olmuştur. Toplamda 12 adet finansör çeşitli oran ve risklerde Gemini DRES için proje finansmanına katılmıştır.

Teknoloji

Gemini DRES projesinde Siemens SWT 4.0 MW DRT kullanılmıştır. 130 m kanat çapı ve 88.5 m göbek yüksekliğine sahip DRT'ler kullanılmıştır. Her biri 73 m uzunluğunda ve 7.5 m çapında tek kazıklı temel kullanılmıştır.

Şebeke Bağlantısı

DRT'ler arasında 33 kV orta gerilim ile bağlanmıştır. DRES projesinde 2 adet denizüstü şalt sahası kullanılmıştır. Toplamda 110 km ENH ile Eemshaven'deki karaüstü trafo merkezine hat çekilerek şebeke bağlantısı sağlanmıştır.



Şekil 11.14. Gemini DRES şebeke bağlantısı.

Gemini DRES denizüstü şalt sahası aşağıda verilmiştir. Şalt sahası 58 m uzunlukta ve 1.2 m çapında kafes temel üzerine kuruludur.



Şekil 11.15. Gemini DRES şebeke bağlantısı.

Karaüstünde başlanacağı trafo merkezi (TM) aşağıda görülmektedir.



Şekil 11.16. Gemini DRES karaüstü TM.

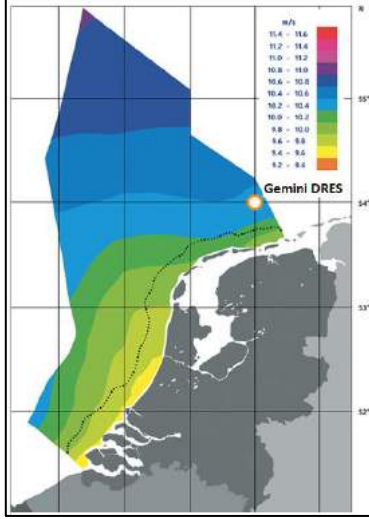
Nakliye ve Montaj

Gemini DRES, Hol Groningen'in 85 km açıklarında kurulmuştur. 990 ton kaldırma kapasiteli denizüstü vinç ve 5000 tonajlık kablo gemisi kullanılmıştır. DRT'nin toplam ağırlığı 1347 tondur; bu ağırlığa tek kazıklı temel, geçiş parçası, nasel ve pervane dahildir.



Şekil 11.17. Gemini DRES nakliye ve montaj faaliyeti.

Projenin yapıldığı bölge, rüzgar atlasına göre ortalama rüzgar şiddeti 10.2- 10.4 m/s dir.



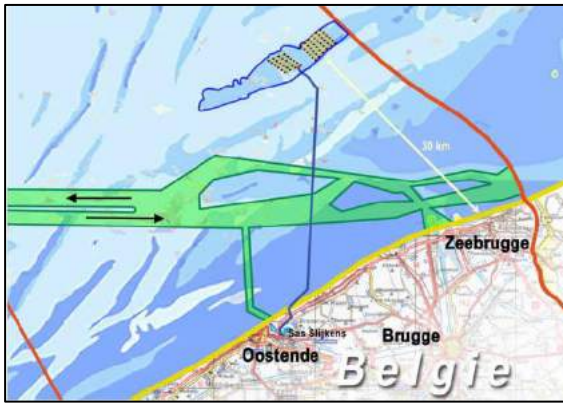
Şekil 11.18. Gemini DRES rüzgar atlası.

11.3 Thornton Bank DRES Projesi (Belçika)

Thornton Bank DRES projesi, Belçika'nın ilk DRES projesidir. Saha seçimi ve projenin teklif edilmesi özel bir şirket olan C-Power tarafından yapılmıştır. C-Power çeşitli Belçikalı şirketlerin kurduğu bir konsorsiyumdur. Bu girişim ile DRES projelerinin Belçika'da yapılması ve öğrenilebilmesi açısından önemlidir ve bu yüzden Belçika Hükümeti projeye stratejik olarak yaklaşmıştır. Projenin ilk düşünülen yeri sahile yakındı; ancak çevresel kaygılardan dolayı proje sahasının yeri değiştirilmiştir. Kıyıya uzak bir bölge uygun bulunmuştur. Projenin uzağa taşınması, denizaltı enerji nakil hattının uzamasından dolayı ekonomik fizibiliteyi etkilemiştir. Bu yüzden Belçika Hükümeti şebeke bağlantısı maliyetinin %30'unu hibe olarak katkıda bulunmuştur. Projenin temel özellikleri aşağıda verilmiştir;

Proje Adı	: Thornton Bank DRES
Yatırımcı	: C-Power (Interelectra, Sucofe, Ecotech Finance, SIIF Energies konsorsiyumu)
Kurulu Gücü	: 325 MW
DRT Modeli	: Repower 5 ve 6.15 MW
DRT Sayısı	: 36
Proje Yeri	: Belçika Kuzey Denizi 27 km mesafede
Proje Alanı	: 14 km ²
Su Derinliği	: 10-24 m
Web	: http://www.c-power.be/index.php/general-info/about-us

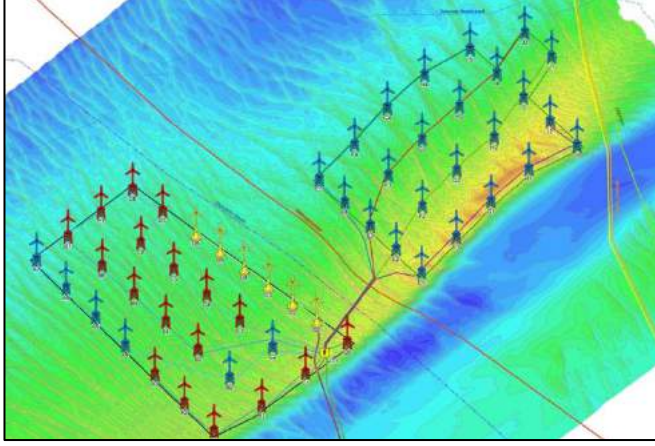
Thornton Bank DRES projesi MW kurulu gücünde ve toplamda adet DRT'ye sahiptir. Aşağıda projenin yeri görülmektedir.



Şekil 11.19. Thornton Bank DRES proje yeri.

Thornton Bank DRES projesinden DRT'ler 2 ana dala ayrılmıştır ve büyük kum kütlesi olan Thornton Bank bölgesi üzerinde kurulmuştur. Proje finansmanı ayarlanmasında yaşanan sıkıntılar nedeni ile 1

yıl kadar gecikmiştir. 3 aşamalı projenin ilk aşaması olan 30 MW kapasite 2009 yılında işletmeye alınmıştır. Diğer fazlar ise 2012 ve 2013 yılında devreye girmiştir. Proje C-Power tarafından planlanmış ve geliştirilmiştir. Çevresel nedenlerden dolayı kıyıya yaklaşık olarak 30 km mesafede yapılmıştır. Thornton Bank DRES projesi DRT mikrokonuslandırma aşağıda görülmektedir. DRT aralığı türbin kanat çapının 5 katı olarak seçilmiştir.



Şekil 11.20. Thornton Bank DRES projesi DRT mikrokonuslandırma.

Projenin yasal izinlerinin alınabilmesi için Federal Ministry for Marine Environment bünyesinde oluşturulan bir ekip sayesinde tek bir Kurum üzerinden bütün izin ve onay süreci yönetilmiştir. Bu sayede kamu izin sürecine müdahil olmuştur. Projenin onay ve izin sürecinde birçok farklı Bakanlık ve kamu kurumu müdahil olsa da; C-Power tek bir Kurum üzerinden işlemlerini takip etmiştir. Proje başvurusu 2002 Ağustos tarihinde yapılmış ve Nisan 2003'te ön izin alınmıştır. Diğer Bakanlıklardan ise izinlerin alınması Şubat 2004 tarihinde tamamlanmıştır.

Denizaltı Kablo Onayı

Denizaltı kablo ile karaüstü TM arasındaki projenin onayı Mart 2004 tarihinde alınmıştır. Karaüstü toplam 3.8 km enerji nakil hattı projelendirilmiştir. Trafo merkezi bağlantısı için onay şebeke operatörü ELIA tarafından verilmiştir.

ÇED Onayı

Projenin ÇED raporu için Ekim 2003-Ekim 2005 tarihleri arasında gözlemler ve ölçümler yapılmış ve bu gözlemlere istinaden ÇED raporu hazırlanmıştır. C-Power, bu süreçte internet sayfasında bütün bilgiler yayınlayarak şeffaf bir süreç izlemiştir.

Saha Teknik Araştırmalar

DRES proje sahasında jeoteknik çalışmalar 2004 yılında başlamıştır. Deniz tabanı araştırması yapılarak proje sahasının jeolojik ve jeofizik yapısı anlaşılmaya çalışılmıştır. Aynı yıl denizüstü meteoroloji ölçüm istasyonu dikilerek sahanın meteorolojik koşulları belirlenmiştir.

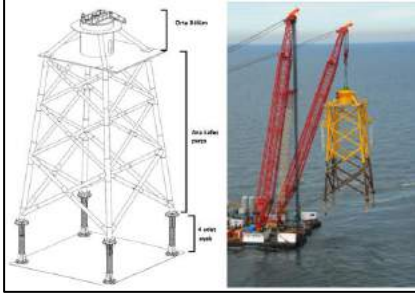
Ekonomi ve Finansman

DRES projesinin ekonomisi coğrafik ve jeofiziksel parametrelere bağlıdır. Karaya uzaklık, su derinliği, deniz tabanı yapısı en önemli parametrelerdir. Belçika Hükümetinin Thornton Bank DRES proje sahasının yerini değiştirmesi projenin ekonomik fizibilitesini olumsuz yönde etkilemiştir. Bu durumu dengeleyebilmek için tarife artırılmış ve şebeke bağlantısına da katkıda bulunulmuştur. Şebeke bağlantısı toplam proje bütçesinin %20'sini oluşturmuştur.

Toplam Yatırım Tutarı	: 500 milyon EURO
MW başına Yatırım	: 1,667,000 EURO
ENH Hibe	: ENH bedelinin %33'ü (maksimum 25 milyon EURO)
Elektrik Satış Tarifesi	: Normal tarife + 10.7 EUROc/kWh

Teknoloji

Projede 5 ve 6.15 MW ünite kurulu güçlü DRT'ler kullanılmıştır. Thornton Bank DRES projesinde yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmalar kafes (jacket foundation) temel kullanılmasına karar verilmiştir. Bu çözüm derin denizlerde pahalı olsa da proje için uygunluğuna karar verilmiştir.



Şekil 11.21. Thornton Bank DRES kafes temel.

Şebeke Bağlantısı

Thornton Bank DRES projesinin 150 kV yüksek gerilim üzerinden bağlantı yapılmıştır. Santral sahası için 34.5 kV ve yaklaşık 50.75 km denizaltı kablosu döşenmiştir. Denizüstü şalt sahası ile karaüstü bağlantı arasında 3 faz 150 kV ve 40 km denizaltı kablosu döşenmiştir.



Şekil 11.22. Thornton Bank DRES şebeke bağlantısı.

Thornton Bank DRES denizüstü şalt sahası aşağıda görülmektedir.



Şekil 11.23. Thornton Bank DRES denizüstü şalt sahası.

Proje karaüstünde Slijkens şehrinde bulunan trafo merkezine 3.3 km ENH ile bağlanmıştır.



Şekil 11.24. Thornton Bank DRES karaüstü ENH kablo çekilmesi.

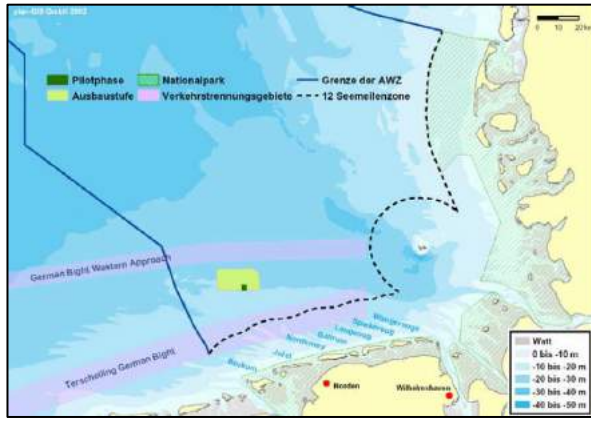
11.4 Borkum West DRES Projesi (Almanya)

Almanya’da işletmeye alınan ilk DRES projesi olan Borkum West, Prokon Nord Energiesysteme GmbH tarafından geliştirilmiştir. Proje sahası Alman Körfezi’ni (German Bight) iki ana gemi trafiği güzergahı arasında bulunmaktadır. Toplam 12 adet 5 MW ünite kurulu güçlü DRT kullanılmıştır ve projenin kurulu gücü 60 MW’tır. Proje ile ilgili temel bilgiler aşağıda verilmiştir.

Proje Adı	: Borkum West DRES
Yatırımcı	: Prokon Nord Energiesysteme GmbH
Kurulu Gücü	: 60 MW
DRT Modeli	: 5 MW
DRT Sayısı	: 12
Proje Yeri	: Borkum 45 km açığı
Su Derinliği	: 30 m
Kıyıya uzaklık	: 45 km

Teknik Veri

Proje 2 aşamalı olarak planlanmıştır. İlk aşama 12 adet DRT ile başlanacak ve daha sonra DRT sayısı 196’ya çıkarılacaktır. Şekil ile projenin yeri görülmektedir.



Şekil 11.25. Borkum West proje sahası.

Zaman Planlaması

Borkum West DRES projesi planlaması 1998 yılına kadar uzanmaktadır. Resmi planlama prosedürü ise 1999 yılında başlamıştır. Projeyi geliştiren Prokon Nord 1999 yılında ÇED çalışmalarına başlamış ve Eylül 1999 tarihinde inşaat ruhsatı başvurusunda bulunmuştur. Başvuru Almanya The Federal Maritime and Hydrographic Agency’a (BSH) yapılmıştır. 16 Mayıs 2000 tarihinde BSH, DRES projesinin ÇED çalışma metodolojisini açıklamıştır. Eylül 2000 tarihinde ÇED çalışmalarına başlanmıştır. Germanischer Lloyd, Ekim 2001 tarihinde gemi trafiği risk çalışmasını bitirerek BSH’ye sunmuştur. Projeye ait ön onay Temmuz 2001 tarihinde verilmiştir. Kablo rotası için 2001 Şubat tarihinde başlayan araştırmalar 30 Nisan 2002 tarihinde bitirilmiş ve BSH tarafından nihai onay Aralık 2004 tarihinde Prokon Nord firmasına verilmiştir.

Proje Planlama Aşamaları

Projeyi geliştiren Prokon Nord, projenin özellikle ÇED hususunda herhangi bir sıkıntı yaşanmaması için gerekli önlemleri almıştır. Aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir;

- Biyolojik çeşitlilik dikkate alınarak ekosisteme en aza zarar verilecek yer seçilmeye çalışılmıştır,
- Proje sahası, gemi trafiği rotasına güvenli bir mesafede planlanarak çarpışma riski en aza indirilmiştir,
- Kuş göç yolları proje sahası seöiminde dikkate alınmıştır,
- Proje yeri 54 °N olarak belirlenerek yerel balıkçılık faaliyetlerinin engellenmemesine çalışılmıştır,
- East Frisian adalarına zuak bir nokta seçilerek yerel turizme negatif etkileri en aza indirilmiştir.

Yasal Planlama

Denizaltı kabloların geçirilmesi ile ilgili aşağıdaki izinler alınmıştır;

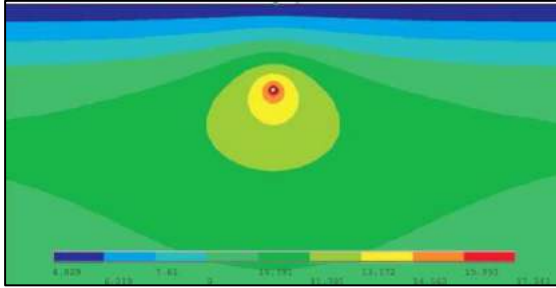
- a) İnşaat ön izni (BSH),
- b) Deniz tabanına kablo serebilmek için deniz polisi izni,
- c) Deniz kablo güzergahı için kiralama anlaşması,
- d) Milli park dışı izni,
- e) Şebeke bağlantı izni (E.On)

Şebeke bağlantısı için farklı izinler gerekmiştir. Özellikle denizaltı kablo güzergahı ile ilgili olarak alternatif çalışmalar yapılmıştır. Aşağıdaki şekilde bu güzergahlar görülmektedir.



Şekil 11.26. Borkum West DRES denizaltı kablo güzergahı çalışması.

En önemli engel olarak Wattenmeer Ulusal Parkı geçilirken yaşanmıştır. Alman Kuzey Denizinde bir çok alan Milli Park statüsünde olduğundan dolayı birçok alternatif güzergah üzerinde çalışılmıştır. Projenin imar planı onayı Lower Saxony Eyaleti tarafından yapılmıştır. İncelenen 7 farklı kablo güzergahı alternatifi sonucunda kamu otoriteleri ile birlikte karar verilerek deniz trafiğinin yoğun olduğu bölgede deniz tabanına 3 m; diğer bölgelerde ise 2 m gömerek kablo geçirilmiştir. Kablo güzergahı için ÇED raporunda yüksek gerilim hattının deniz altında geçeceği yerlerde oluşturacağı elektromanyetik etki üzerinde durulmuştur. Ayrıca kablo etrafındaki sıcaklık dağılımı da modellenmiştir.



Şekil 11.27. Borkum West DRES denizaltı kablo güzergahı çalışması.

Borkum West DRES projesinden ana izin BSH'dan alınmış olsa da; diğer bir çok kamu kurumundan da çeşitli izinler alınmıştır. Yerel yönetim, bölgesel yönetim, turizm, balıkçılık, çevre, tabiat koruma, elektrik iletim ve dağıtım şirketleri gibi toplamda 50'ye yakın Kurumdan izin/onay alınmıştır. Saha için sivil toplum kuruluşları ile de anlaşılmıştır.

Saha Araştırması

Borkum West firması tarafından DRES proje sahasında araştırmalar yapılmıştır. Standard Investigation Programme adı verilen bu çalışmalarda kapsamında aşağıdaki metodoloji izlenmiştir;

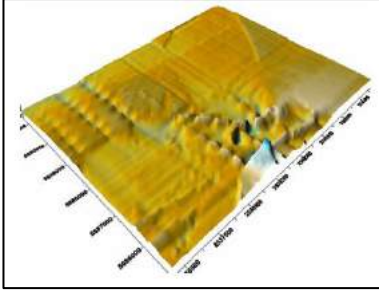
- a) 2 yıl kesintisiz inceleme,
- b) Montaj sırasında izleme,
- c) İşletme sırasında ilk 3 yıl izleme,

Bu çalışmalara araştırma gemisi Victor Hansen katılmıştır. Ayrıca araştırma&keşif uçağı kullanılarak 15 ten fazla uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalara bir çok enstitü ve bilimsel kuruluş müdahil olmuştur. Bunlar arasında Alfred Wegener Institute for Polar und Meeresforschung Bremerhaven, Vogelwarte Helgoland, Forschungs und Technologiezentrum Westküste Büsum, BioConsult SH, Nautik Nord sayılabilir. Araştırmalar Ağustos 2000-Mayıs 2003 Mayıs arasında yapılmıştır.



Şekil 11.28. Borkum West DRES saha çalışmaları.

Deniz tabanının özellikleri Nautika Nord tarafından çalışılarak sediment yapısı, batimetrik haritalar çıkarılmıştır.



Şekil 11.29. Borkum West proje sahası batimetrik haritası.

Meteorolojik ölçümler için ise FINO 1 meteoroloji ölçüm istasyonu verileri kullanılmıştır.

Ekonomik Veri

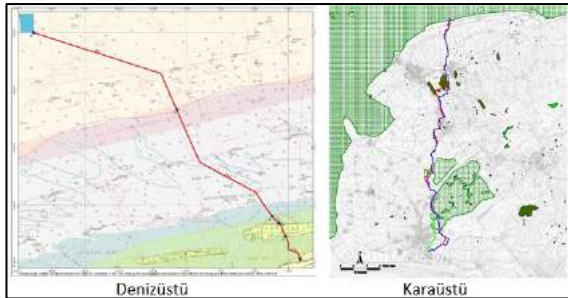
Borkum West DRES projesinin toplam yatırım tutatı 138 milyon EURO olmuştur. Bunun 30 milyon EURO bedeli enerji nakil hattı; kalanı da DRT'ler için harcanmıştır. MW başına ise 2.3 milyon EURO olmuştur.

Teknoloji

Projeye başlanıldığında o zamanki en yüksek kurulu güç olan 5 MW Multibrid markası proje için seçilmiştir. Pervane çapı 110 m olup pitch kontrollü ve dişli kutulu DRT'dir. Temel dizaynı olarak çok kafes temel (Tripod) çözümü uygun bulunmuştur.

Şebeke Bağlantısı

Projenin şebeke bağlantısı 110 kV yüksek gerilim üzerinden yapılmıştır. Bağlantı için denizde 70 km; karada ise 45 km enerji nakil hattı çekilmiştir. Bağlantı noktası Emden Borsum'da bulunan trafo merkezi olarak uygun görüş verilmiştir. HVAC sistemindeki yüksek enerji kayıplarından dolayı bipolar HVDC iletim hattı çözümü benimsenmiştir.



Şekil 11.30. Borkum West DRES proje bağlantısı.

Kazanılan Tecrübe

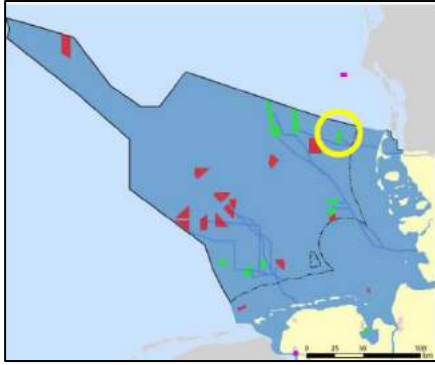
Projeden kazanılan en önemli tecrübe çevresel etkilerin en aza indirilerek projenin baştan ştbaren planlanmasıdır. Özellikle gemi rotası ve Milli Park hususu dikkate alınan en önemli hususlar olmuştur. Diğer projelerde bu detayda inceleme yapılmamıştır. Burada bulunan sonuçlar diğer projeler için de kullanılmıştır.

11.5 Budentiek DRES Projesi (Almanya)

Budentiek DRES projesi özel şirketler tarafından geliştirilen bir projedir. Özel şirket ve kişilerin kurduğu konsorsiyum yapısında geliştirilmiştir. Schleswig Holstein Eyaleti sınırları içerisinde bulunmaktadır. Özet bilgiler aşağıda görülmektedir;

Proje Adı	: Budentiek DRES
Yatırımcı	: OSB Offshore-Bürger-Windpark GmbH (OSB)
Kurulu Gücü	: 240 MW
DRT Modeli	: Vestas V90 - 3 MW
Proje Yeri	: Borkum 45 km açığı
Su Derinliği	: 16-20 m
Proje Alanı	: 35 km ²
Kıyıya uzaklık	: 34 km

Budentiek DRES için toplam 80 adet DRT kullanılmıştır ve kurulu gücü 240 MW olmuştur. Vestas V90 modeli kullanılmıştır. Kanat çapı 90 m, göbek yüksekliği ise 80 m olmuştur. Projenin yeri Şekil ile görülmektedir.



Şekil 11.31. Budentiek DRES proje yeri.

Zaman Planlaması

Proje planlama ve montaj aşaması olarak ikiye ayrılmıştır. Proje 2001 Temmuz tarihinde önerilmiştir ve 2002 Aralık tarihinde ön onay olarak çalışmalara başlanmıştır. Almanya The Federal Maritime and Hydrographic Agency'dan (BSH) ön onay alındıktan sonra diğer çalışmalara başlanmış ve 2006 yılında izinler bitirilmiştir. 2007 yılı başında projenin finansmanı bitirilerek inşaat ve montaja başlanmıştır. Kablo güzergahı onayı 2006 baharında alınmıştır.

Proje Planlama

Projenin geliştiricisi olan OSB GmbH, çoklu ortaklık yapısına sahip kooperatife benzer yapıda kurulmuştur. Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) ve NSH Nord Bank Kiel kredi sağlamıştır. Projenin montaj sürecini F+Z Bilfinger Berger ve Vestas üstlenmiştir. Kamuoyunun bilgilendirilmesi için çeşitli toplantılar yapılmış olup özellikle yerel halkın projeye desteği alınmaya çalışılmıştır. Projenin onay sürecinde gemi çarpışma riski üzerinde de durulmuştur.

Şebeke Bağlantısı

Denizaltı kablo yaklaşık 50 km olup; kara üstü de 20 km enerji nakil hattı ile geçilmiştir. Karaüstünde 3 şehir ve 10 yerleşim bölgesi geçilerek toplam 90 özel şahıs arazisine girilmiştir. Sylt bölgesi sakinleri projeye itiraz etmişlerdir. 150 kV yüksek gerilim hattı ile Flensburg Bölgesinde bulunan trafo merkezine bağlanmıştır. Denizaltı kabloların derinliği DRT'ler arasında 0.8 m, deniz tabanında ise 1.5 m; mercan bölgesinde ise 3 m deniz tabanının derininden geçirilmiştir.

Saha Araştırması

Budentiek DRES projesi ÇED araştırmaları gemi ve uçaklarla yapılmıştır. İki Danimarka araştırma gemisi kullanılmıştır. Kuşlar ve deniz memelileri hakkında detaylı çalışmalar yapılmıştır. DRES projelerinin ÇED sürecine uçakların müdahil olması Budentiek projesi ile başlamıştır. Deniz tabanı araştırmaları conic penetration test (CPT) yöntemiyle yapılmıştır. Mohiba isimli jack-up gemisi kullanılmıştır.



Şekil 11.32. Budentiek DRES CPT test çalışması.

Proje Ekonomisi

Projenin özsermayesi ortaklardan toplanmıştır. Yaklaşık 20 000 hissedardan her hisse için 4750 EURO alınmıştır ve böylelikle 100 milyon EURO toplanmıştır. Kalan 320 milyon EURO için kredi ayarlanmıştır. Proje başlangıçta 1.4 milyon EURO/MW olarak planlanmasına karşın aşağıdaki nedenlerden dolayı 2 milyon EURO/MW olmuştur.

- a) DRT fiyatlarının, bakır ve dolayısı ile kablo maliyetinin artması,
- b) Almanya piyasasının eski çekiciliğini kaybetmesinden dolayı servislerdeki maliyet artışı,
- c) Finansman maliyetinin artması.

İlk iki husus Alman kamuoyu kontrolü dışında iken; son husus ise DRES proje finansman maliyetinin karaüstü RES'lere göre daha fazla riskli görülmesi sebebi ile olmuştur. Denizüstü RES proje finansman maliyeti kara üstünden 2 kat daha fazladır.

Teknoloji

Budentiek DRES projesinde Vestas V90 DRT (3 MW) kullanılmıştır. Vestas DRT'de aşağıdaki modifikasyonlar yapılmıştır;

- a) Condition Monitoring daha da geliştirilmiştir,
- b) Yağ soğutmalı trafo kullanılmıştır.

Temelin uzunluğu 70 m dir. Bunun 30 metresi deniz tabanına çakılan kısmı, 20 metresi deniz derinliği ve son 20 metresi de deniz üstündeki platform kısmıdır.

Kazanılan Tecrübe

Butendiek DRES projesinden kazanılan en önemli tecrübe, küçük yatırımcıların da projeye müdahil olabilmesidir. Finansman maliyetinin dikkat edilmesi gereken bir husus olduğu da bu projede anlaşılmıştır. Projenin başlangıçta planlanan yatırım tutarı ile gerçekleşen arasında ciddi bir fark olmuştur. Bu artış DRT fiyatındaki artıştan meydana gelmiştir. Almanya'daki DRES projelerinin diğer ülkelerden daha maliyetli olduğunu göstermiştir. Diğer nedenler arasında Almaya'daki projelerin kıyıya uzak olarak yapılması da sayılabilir.

11.6 Greater Gabbard DRES Projesi (İngiltere)

Greater Gabbard DRES projesi, Outer Thames Estuary bölgesinde bulunmaktadır. Şekil ile DRES projesinin yeri görülmektedir. Proje sahası İngiliz Hükümeti tarafından geliştirilerek önerilmiştir. Daha sonra genişleme ihtimali de bulunan bir sahadadır.



Şekil 11.33. Greater Gabbard DRES proje sahası.

DRES proje sahası Suffolk sahiline 23 km mesafede olup Inner Gabbard ve Galloper kum bankının olduğu sığ sular bölgesidir. Saha İngiliz kara suları dışında bulunmaktadır. Toplamda 500 MW DRES kurulması planlanmıştır.

Proje Adı	: Greater Gabbard Offshore Wind Ltd (GGOWL)
Yatırımcı	: Greater Gabbard Offshore Winds Ltd (Airtricity ve Flour Ltd ortak girişimi)
Kurulu Gücü	: 500 MW
Yıllık enerji ürt.	: 1750 GWh
DRT Modeli	: Vestas V90 - 3 MW
Proje Yeri	: Borkum 45 km açığı
Su Derinliği	: 4-8 m (Inner Gabbard), 3-10 m (the Galloper), 20-50 m (Bank açıkları)
Proje Alanı	: 147 km ²
Rüzgar şiddeti	: 8.50 – 9.50 m/s (80 m)

Zaman Planlanması

GGOWL DRES projesinin ÇED başvurusu Ekim 2005'te yapılmıştır. Daha sonra proje sahası 50 yıllığına Crown Estate'den kiralanmıştır. 36 ay inşaat süresi planlanmıştır. Karaüstü inşaat işleri 2007'de; denizüstü inşaat işleri 2008'de başlamıştır. Devreye alma ise 2009 yılı içerisinde olmuştur.

Proje Planlanması

GGOWL DRES projesinin yatırımcı firması Airtricity ve Flour Ltd'nin ortak girişimi olan Greater Gabbard Offshore Wind Ltd olmuştur. Airtricity DRES projelerinde tecrübeli bir şirket olup daha önce İrlanda'da Arklow Bank DRES projesini de yapmıştır. GGOWL DRES projesinde ÇED ve izin sürecine müdahil olan şirketler;

Proje Yönetimi ve Koordinasyon	: Project Management Support Services Ltd
Mühendislik ve Gemi Trafığı	: SeaRoc
Ornitolojik Çalışmalar	: British Trust for Ornithology
Bentik ekoloji, deniz ekosistemi	: Centre for Marine and Coastal Studies
Denizaltı akustik raporu	: Subacoustech Ltd
Marine arkeoloji çalışmaları	: Maritime Archaeology Ltd
Kıyı ile ilgili çalışmalar	: ABPmer Ltd
Hukuk danışmanlığı	: Eversheds Ltd
DRT temel dizaynı	: Ramboll Ltd
Denizaltı kablo ve güzergah	: Metoc Ltd
Gürültü çalışması	: ISVR Consulting

Yasal Süreçler

GGOWL yasal izinler, 2004 yılında çıkarılan Energy Act Kanununda belirlenen izin süreçlerden oluşmaktadır. DRES sahasındaki her bir DRT etrafında 50 m çapa kadar herhangi bir geminin yaklaşması yasaklanmıştır. Saha seçilirken aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir;

- Yüksek rüzgar şiddeti,
- Kıyıya mesafe,
- Denizüstü faaliyetlerin seyrek olduğu bölge,
- Kuş nüfusunun az olduğu bölge,
- Milli park olmaması,
- DRES lojistik için liman emreamadeliği,

g) Askeri olarak izin alınabilen bölge.

Teknoloji

Projede kullanılacak DR ile ilgili farklı çalışmalar yapılmıştır ve bunların sonucu olarak DRT karaüstü yüksekliğinin 170 m'yi geçmemesi yönünde karar kılınmıştır. 105 m göbek yüksekliği ve 130 m pervane çapı kullanılması uygun bulunmuştur. Yapılan deniz tabanı zemin etütlerinin sonucu olarak tek kazıklı temel (monopile) kullanılması uygun bulunmuştur.

Şebeke Bağlantısı

Şebeke bağlantısı için Sizewell trafo merkezi seçilmiştir. 132 kV yüksek gerilim ve 42 km enerji nakil hattı ile bağlantı yapılmıştır.

Kazanılan Tecrübe

GGOWL DRES yapıldığı zamanki kurulu gücü en yüksek DRES projesi idi. İngiltere Hükümeti, projenin yapılabilmesi için ciddi bir siyasi destek vermiştir. Proje ekibinin Arlow Bank projesindeki tecrübeleri bu projede kullanılmıştır. Kıyıya 23 km mesafede olması görsel etkileri azaltmıştır.

11.7 Scroby Sands DRES Projesi (İngiltere)

Scroby Sands DRES projesi, 2004 yılında işletmeye giren İngiltere'deki ilk DRES projelerindendir. Projenin yatırımı E.ON UK Renewables Offshore Wind Ltd (EROWL) tarafından yapılmıştır. Proje sahası, Great Yarmouth bölgesinden 3 km açıkta bulunmaktadır. 60 MW kurulu gücünde olup toplam 30 adet DRT kullanılmıştır.

Proje Adı	: Scroby Sands
Yatırımcı	: E.ON UK Renewables Offshore Wind Ltd (EROWL)
Kurulu Gücü	: 60 MW
Yıllık enerji ürt.	: 171 GWh
DRT Modeli	: Vestas V80 - 2 MW (kanat çapı 80 m; göbek yüksekliği 68 m)
Proje Yeri	: Great Yarmouth 3 km açığı
Su Derinliği	: 3-12 m
Proje Alanı	: 10 km ²

Projenin Tarihçesi

EROWL, 2002 yılında yapılan DRES ihalesini kazanarak pojenin yatırımcısı olmuştur. Projenin inşaatı 2003 sonbaharında başlamış ve 20 Temmuz 2004 tarihinde ilk DRT devreye alınmıştır. Kötü hava koşulları ve özellikle yüksek rüzgar şiddeti çalışmaları olumsuz etkilemiştir. 14 Aralık 2004 tarihinde DRES devreye alınmıştır. Projenin kısa tarihçesi;

- Saha ilk değerlendirme: 1993-1994,
- Denizüstü meteoroloji istasyonu montajı: 1995,
- İhale tarihi: Haziran 2002,
- İhalenin sonuçlandırılarak EROWL tarafından alınması: Şubat 2003,
- Temel montajının başlaması: Kasım 2003,
- Karaüstü ENH çekilmesi: Nisan 2004,
- DRT montajı: Mayıs 2004,
- Denizaltı kablo serilmesi: Mayıs 2004-Ağustos 2004,
- Test ve devreye alma: Temmuz 2004-Kasım 2004.

Projenin yeri aşağıda görülmektedir.



Şekil 11.34. Scroby Sands DRES proje sahası.

Proje Planlama

Projenin planlamasına 1993 yılında başlanmıştır. EROWL, ihaleyi aldıktan sonra Vestas Celtic Wind Technology Ltd firması ile EPC anahtar teslim anlaşarak projeye başlanmıştır. Vestas Celtic Ltd aşağıdaki alt taşeronlarla çalışmıştır;

- a) Proje Yönetimi: Halliburton KBR,
- b) Kazıkların imalatı: Cambrian Engineering ve Isleburn Mockay,
- c) Temel montajı: Mammoet Van Oord,
- d) Denizaltı ve denizüstü kablolar: AEI Cables ve CNS Subsea,
- e) DRT montajı: A2SEA (derin bölgelerde) ve Seacore (sığ bölgelerde),
- f) Karaüstü ENH: Pirelli Calbes Ltd.

Çevresel İnceleme

Projenin ÇED onayı İngiltere Çevre Bakanlığı tarafından verilmiştir. Çevresel incelemede özellikle aşağıdaki hususlara bakılmıştır;

- a) Foklar ve kuşların durumu,
- b) Sahilin profili ve jeomorfolojisi,
- c) Deniz dalga ve akıntı durumu,
- d) Vibrasyon ve gürültü seviyesi,
- e) Sediment ve hidroloji
- f) Gemi trafiği ve çarpışma riski
- g) Turizm aktivitelerine etki.

Media Stratejisi

EROWL, Scroby Sands DRES projesinin tanıtımı ve çevreye uyumu ile ilgili olarak etkin bir medya ve kamuoyu bilgilendir stratejisi izlemiştir. Bu amaçla Great Yarmouth bölgesinde bir bilgilendirme merkezi kurmuştur. Bu merkezde proje ile ilgili görsel ve yazılı bilgiler ile videolar paylaşılarak bölge sakinleri sürekli bilgilendirilmiştir.



Şekil 11.35. Scroby Sands DRES bilgilendirme merkezi.

Proje Ekonomisi

Scroby Sands DRES projesinin toplam yatırım tutarı 80 milyon sterlin olmuştur. EROWL, 10 milyon sterlin İngiliz Hükümeti'nden hibe almıştır.

Yatırım Kalemi	Maliyet (milyon Sterlin)	Yüzde (%)
Proje geliştirme	1.737	2.2
İnşaat ve Montaj	71.511	89.3
Diğer operasyonlar	6.825	8.5
Toplam	80.073	100

Bütçenin %2.2'si ön proje etütleri ve proje geliştirme sırasında kullanılmıştır. Aşağıda detaylar verilmiştir.

Proje geliştirme aşaması harcamaları	Maliyet (milyon Sterlin)	Yüzde (%)
Geliştirme, tasarım, danışmanlık	1.409	81.1
Ön çevre etüdü	30	1.7
Hukuk/sigorta	33	1.9
Ön incelemeler ve gözlemler	173	10
Diğer	92	5.3
Toplam	1.737	100

İnşaat öncesi 71.512 milyon Sterlin detay ise aşağıda görülmektedir.

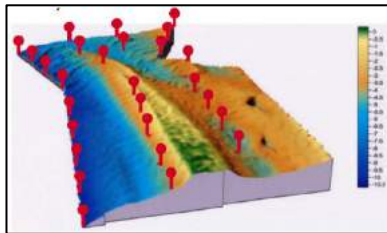
İnşaat öncesi harcamalar	Maliyet (milyon Sterlin)	Yüzde (%)
Çevresel gözlem	1.60	0.2
Hukuk/sigorta	1.747	2.4
Saha gözlemler	0.87	0.1
Ön incelemeler ve gözlemler	1.73	10
Proje yönetimi	4.551	6.4
Elektrik dizaynı	1.111	1.6
Satınalma/üretim	38.986	54.5
Nakliye	1.225	1.7
Karaüstü ön montaj	2.200	3.1
Karaüstü montaj	1.825	2.6
Denizüstü montaj	16.700	23.4
Devreye alma	2.175	3.0
Diğer	7.45	1.0
Toplam	1.737	100

İnşaat sürecinde ana ekipman maliyetinin dağılımı aşağıda görülmektedir.

İnşaat sürecinde ekipman maliyeti	Maliyet (milyon Sterlin)	Yüzde (%)
Kanatlar	6.450	9
Kablolar	8.267	12.1
Şebeke bağlantısı	0.645	0.9
Nasıl	22.175	31
Kazıklar	19.565	27.4
Kuleler	4.775	6.7
Diğer ekipman	9.274	13
Toplam	71.611	100

Teknoloji

1993-1994 yılları arasında yapılan ön çalışmayı müteakip, 1995 yılında meteoroloji istasyonu dikilmiştir. Great Yarmouth limanında lojistik açıdan uygun bir liman olduğuna karar verilerek bölgedeki şebeke bağlantısından da gerekli teyitler alınmış ve detay çalışmalar yapılmıştır. DRT modeli olarak Vestas seçilmiştir. Yapılan jeofizik ve jeolojik çalışmalar sonucunda ağırlık temel (gravity foundation) uygun bulunmuştur. DRT'ler 2 ana dal üzerine yerleştirilmiştir. DRT'lerin yer seçiminde deniz tabanı kum bankının (kütle) üzerinde bulunmasına dikkat edilmiştir. Şekil ile DRT'ler görülmektedir.



Şekil 11.36. Scroby Sands DRES mikrokonuslandırması.

Proje çok büyük bir kum bankının üzerinde bulunduğundan dolayı oyulma koruması (scour protection) yapılmıştır.

Şebeke Bağlantısı

Kablo güzergahının planlanması aşamasında bölge halkı, balıkçılar, yerel ve merkezi kamu otoriteleri ile birlikte çalışılarak bütün tarafların mutabakatı ile kablo güzergahı belirlenmiştir. Denizüstünde şalt sahası yapılmamıştır. Ota gerilim 33 kV denizaltı kablosu karaya getirilerek burada inşa edilen şalt sahasına oradan da karaüstü Admiralty Road trafo merkezine bağlanmıştır.



Şekil 11.37. Scroby Sands DRES şebeke bağlantısı.

Montaj

Projenin temelleri Mammoet Van Oord tarafından jack-up gemileri kullanılarak yapılmıştır. A2SEA, 30 ünite DRT'lerin derin sularda olan 24'ünü; kalan sıg sulardaki 6 adet DRT'yi de Seacor Ltd tarafından montajı yapılmıştır. Kablo serilme işi, hava koşulları nedeni ile planlanandan daha zor olmuştur. Kuvvetli akıntılar nedeni ile dalgıçların müdahalesi de olamamıştır. DRT'ler Vestas'ın Campeltown'da bulunan tesislerinde montajı yapılmıştır. Diğer ekipmanların montajı Lowestoft limanında yapılarak Great Yarmouth limanına getirilmiştir. DRES işletme sürecinde Ocak 2005'te %83 olan emreamadelik Ağustos 2005'te %96'lara çıkmıştır.

Kazanılan Tecrübe

İngiltere karasularında yapılan ilk DRES projelerindendir. Projenin planlaması çok önceden başlamasına karşın; uygulama aşaması kısa bir zaman dilimine sığdırılmaya çalışılmıştır. Denizaltı kablo serilmesi akıntı koşulları sebebi ile çok zor ve maliyetli olmuştur. Ayrıca derin ve sıg sularda yapılan montajlarda farklı vinçler gerekmiştir.

11.8 Horns Rev DRES (Danimarka)

Kuzey denizinde yapılan ilk DRES projesidir. Danimarka Esbjerg limanının batı kıyısı yakınlarında inşa edilmiştir. Yatırımı, Elsam (dağıtım şirketi) ve Eltra (iletim şirketi) tarafından yapılmıştır. Eltra elektrik bağlantısı ve trafo merkezi işlerini de yapmıştır.



Şekil 11.38. Horns Rev DRES proje sahası.

Proje Adı	: Horns Rev DRES
Yatırımcı	: Elsam (dağıtım şirketi) ve Eltra (iletim şirketi)
İşletmeci	: Elsam
Kurulu Gücü	: 160 MW
Yıllık enerji ürt.	: 600 GWh

DRT Modeli : Vestas V80 - 2 MW
Proje Yeri : Borkum 45 km açığı
Su Derinliği : 6-14 m
Proje Alanı : 20 km²
Kıyıya uzaklık : 14 km

Proje Planlama

DRES projelerinin planlaması Danimarka'da 1980 li yıllarda başlamıştır. Konu ile ilgili raporlar ve ön etütler yapılmıştır. İlk çalışmalar sonucu, Vindeby ve Tuno Knob bölgelerinde yapılması gerektiği konusunda uzlaşmıştır. Bu iki DRES projesi ilk DRES projeleri olmuştur. Daha sonra Offshore Action Plan hazırlanarak DRES projelerinin ekonomik, çevre ve teknik hususları etaylı olarak incelenmiştir. İlk etapta 5 adet DRES projesi yapılması kararlaştırılmıştır. Bu plan kapsamında Nysted ve Horns Rev DRES projeleri realize edilmiştir. Ancak daha sonra gelen hükümet kalan 3 projeyi iptal etmiştir.

Yasal Planlama

Horns Rev DRES için gemi trafiği, balıkçılık, askeri izinler konsuu çözülerek aşağıdaki konularda çalışmalar yapılmıştır;

- a) ÇED raporu,
- b) Kamuoyu bilgilendirme,
- c) Özel mülkiyetin kamulaştırma çalışmaları,
- d) İnşaat ruhsatı,
- e) Üretim lisansı.

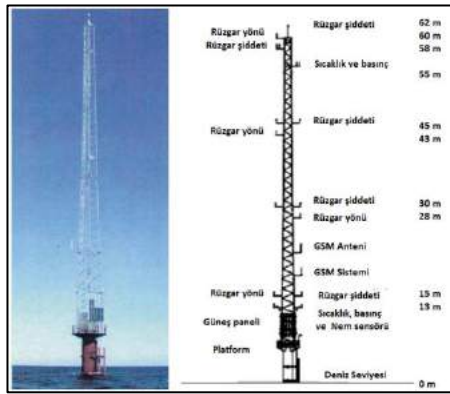
Denizaltı kablo izni ise Danish Energy Agency tarafından verilmiştir.

Saha Teknik Çalışmaları

Teknik çalışmalara 1999 yılının bahar aylarında başlanmıştır. ÇED ve jeofizik çalışmaları için 1 yıl, oşinoğrafik çalışmalar için 2 yıl etütler yapılmıştır. ÇED raporunda deniz ekosistemi de detaylı olarak incelenmiştir. Bu amaçla gemi ve uçaklar da kullanılmıştır. Oşinoğrafik çalışmalar için Doppler radar kullanılarak akıntı, dalga, su derinliği, sıcaklık ve tuzluluk incelenmiştir.

Meteoroloji İstasyonu

Projede 62 m yüksekliğe sahip meteoroloji istasyonu kurulmuştur. Rüzgar şiddeti ve yönü 4 farklı seviyede (62, 45, 30 ve 15 m) ve diğer meteorolojik değişkenler 13 m de ölçülmüştür.



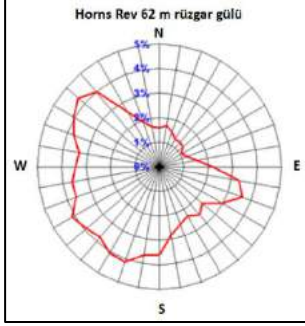
Şekil 11.39. Horns Rev DRES meteoroloji istasyonu.

Proje Ekonomik Verisi

Horns Rev DRES projesini toplam yatırım tutarı 278 milyon EURO olmuştur. DRT başına 2.97 milyon EURO, MW başına ise 1.738 milyon EURO yatırım yapılmıştır. Elektrik tarife fiyatı ise 0.43 EURO cent/kWh olmuştur.

Teknoloji

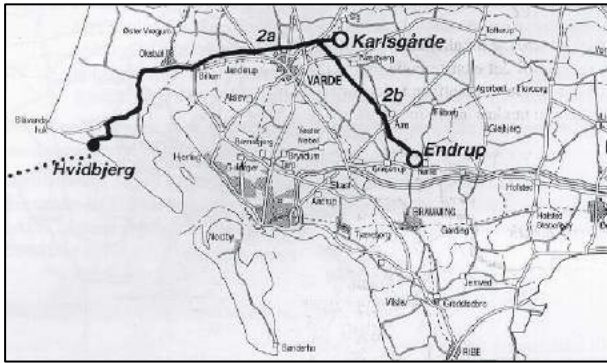
Projede Vestas V80 – 2 MW DRT kullanılmıştır. Tek kazıklı temel (monopile) çözümü uygun bulunmuştur. DRT'ler arasında 560 m mesafe bırakılmıştır. Bunun temel nedeni ise, sahanın rüzgar rejimi farklı yönlere esmektedir. Hakim rüzgar yönü kuzeydoğu ve güney yönleridir.



Şekil 11.40. Horns Rev DRES 62 m rüzgar gülü.

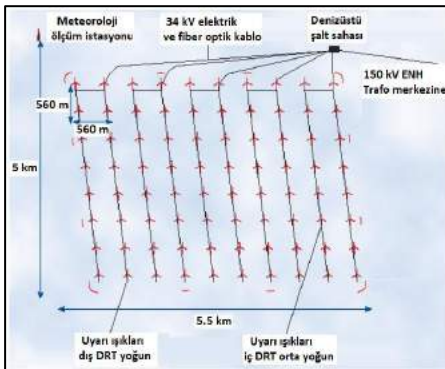
Şebeke Bağlantısı

Şebeke bağlantısı iletim şirketi Eltra tarafından üstlenilmiştir. 150 kV yüksek gerilim üzerinden sistem entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil ile projenin enerji nakil hattı güzergahı görülmektedir.



Şekil 11.41. Horns Rev DRES şebeke bağlantısı.

Denizaltında 21 km; karaüstünden de 34 km 150 kV ENH ile Karlsgaarde trafo merkezine bağlantı yapılmıştır. Denizaltı kablo derinliği 1-1.5 m arasında değişmiştir.



Şekil 11.42. Horns Rev DRES şebeke bağlantısı.

Kablolaraya ait özellikler;

Kablo üreticisi : Nexans
Çap : 192 mm
Ağırlık : 71 kg/m
Tipi : 3-kondüktör PEX

İşlerme ve Bakım Aşaması

Proje EPC ile değil; çoklu taşeron seçimi ile yapılmıştır. EPC çözümü pahalı bulunduğu için bu yol seçilmiştir. Projenin nakliye işleri Ballast Nedam'a verilmiştir. Temel inşaat ve montajını MTHS

Entrepreneur A/S, kule üretim ve montajı Vestas ve A2SEA, kablo üretim ve montajı Nexans, denizüstü şalt sahası üretim ve montajı Alstom, DRT üretim ve montajı Vestas tarafından yapılmıştır.



Şekil 11.43. Horns Rev DRES türbin montajı.

Denizüstü şalt sahası 1150 ton kaldırma kapasiteli Asian Hercule montaj gemisi tarafından yapılmıştır.



Şekil 11.44. Horns Rev DRES şalt sahası montajı.

Denizaltı kablo serilmesi, 2002 bahar aylarında başlanmış ve Henry P. Lading isimli gemi kullanılmıştır. Kuvvetli deniz akıntılarının bulunduğu proje sahasında 3 günde serilmiştir.



Şekil 11.45. Horns Rev DRES denizaltı kablo serilmesi.

Karaüstü ENH, 2001 Eylül-2002 Mayıs tarihleri arasında çekilmiştir. Montaj sürecinde inşaat gemilerinden birisi denizaltında korumasız olarak bulunan kabloya çapa atarak kopmasına neden olmuştur ve 2 milyon EURO tamir maliyeti sigortadan karşılanmıştır.

Liman

DRT nakliyesi montaj gemisi olan Ocean Hanne tarafından gerçekleştirilmiştir. Limanda yer kiralanıp nakliye icra edilmiştir. Esbjerg limasını kullanılmıştır.



Şekil 11.46. Horns Rev DRT nakliyesi.

Devreye Alma ve Testler

Horns Rev devreye alma ve testler, Kasım 2002 ile Temmuz 2003 tarihleri arasında yapılmıştır. Vestas DRT testlerden sorumlu olmuştur. Ancak V80 modelinin montajının yapıldığı dönemde DRT henüz prototip olduğundan bazı testler karaüstünde değil de; denizüstünde yapılmıştır. Bu durum montaj ve devreye almayı geciktirmiştir. Bu yüzden 2002 Aralık ayında olan devreye alınma tarihi Haziran 2003 tarihine çekilmiştir. Ayrıca devreye alma sırasında bağlantı kablolarına arızalar çıkmıştır ve 2002 yılının son günlerinde DRT'lere 15 gün kadar elektrik verilememiştir. Bu durum, diğer arızaların yanında SCADA ve türbin kontrol yazılımında bazı problemlere yol açmıştır. Ayrıca mekanik aksamda bazı sıkıntılar görülmüştür. 8 adet DRT dişli kutusu ve sürücü sistemi ciddi bir şekilde arızalanmıştır. Bütün bu işlemlerin maliyeti DRT üreticisi tarafından karşılanmıştır.

İşletme

Prototip aşamasında olan bir DRT modelinin seçilmesi, testlerinin yeterince yapılmamış olması ve ticari olarak kendini ispatlamamış bir model olan V80, işletme aşamasında bazı sıkıntıların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yeni türbin konsepti sebebi ile genişlemeden dolayı ünite trafolarında sıkıntılar meydana gelmiştir. İlk işletme yılında trafo ızalasyonunun yeterli olmadığı görülmüştür. Deniz ortamının daha fazla dikkate alınması gerektiği anlaşılmıştır. Projenin devreye alınması 15 Aralık 2002 olarak planlanmasına karşın 11 Temmuz 2003'te işletmeye geçebilmiştir. Bazı türbinlerde kalite kontrol problemleri ortaya çıkmıştır. Kanatlar, dişli kutuları, jeneratör ve trafolarla meydana gelen arızalardan dolayı 2003 sonbaharında DRES emreamadeliği %50'lere kadar düşmüştür. Özellikle ünite trafolarındaki ızalasyon dolayı Aralık 2003 tarihinde bütün trafolar değiştirilmiştir. Yeni trafolar hem korozif ortamda çalışma; hem de ventilasyonu daha iyi olduğundan dolayı DRES'in emreamadeliği artmıştır. DRES'in normal olarak çalışabilmesi için 2 işletme yılı geçmiştir. 2004 yılında jeneratörler ile ilgili olarak problemlerle karşılaşmıştır. Bu sorunun çözülebilmesi için pervaneler ve nasel demonte edilerek tekrar karaya çıkarılmıştır ve Ringkøbing'te tamir edilmiştir. Bunun için en az 30 DRT'nin çalışabileceği şekilde planlama yapılmıştır. Pervanelerdeki boyama ve kaplama Nakskov'da tekrar yapılmıştır; yıldırım paratoner sistemi ise Lolland'da geliştirilmiştir. Bütün türbinlerin 2. kez işletmeye alınması Aralık 2004 tarihini bulmuştur. DRES emreamadeliği %96'lara ulaşmıştır.

Kazanılan Tecrübe

Projenin ön izin kapsamında Danish Energy Agency (DEA), Elsam ile birlikte bilgilendirme toplantıları yaparak kamuoyunu bilinçlendirmişlerdir. ÇED sürecinde turizm kaygıları nedeni ile projenin yerinin kıyıda daha uzakta yapılması talep edilmiş ancak DEA tarafından kabul görmemiş ve turizmciler ikna edilmiştir. Planlama aşamasında herhangi bir sıkıntı yaşanmamıştır. Saha araştırmalarındaki teknik konular anlaşarak projenin meteorolojisi, oşinografisi ve jeolojik yapısı anlaşılmıştır. Projenin yapım süreci EPC anahtar teslim olarak değil, çoklu taşeron sistemi ile yapılmıştır. Projenin inşaat ve montaj maliyeti daha düşük olmuştur ancak riskleri yatırımcı üstlenmiştir. Projenin yönetimi Elsam Engineering tarafından yürütülmüştür. DRT inşaat ve montajında biraz gecikme yaşanmıştır. En önemli sorun ise, prototip aşamasında olan bir DRT'nin kullanılması ve türbin ile ilgili bazı iyileştirme ve çözümlerin karaüstünde fabrikada değil; montaj sırasında ve hatta işletme sırasında denizüstünde yapılması bir çok problemi de beraberinde getirmiştir. Elsam ve Vestas'ın planlanan tarihte santralı işletmeye alabilmek için aceleci davranmaları sıkıntının ana kaynağı olmuştur. Montaj ve devreye alma sırasında ilk sıkıntı lojistik konusunda yaşanmıştır. Projenin lojistik planlamasının zayıf olduğu anlaşılmıştır. Bu yüzden karaüstü planlamanın yetersizliği denizüstündeki faaliyetleri de etkilemiştir.

11.9 Nysted DRES Projesi (Danimarka)

1995 yılında Danish Energy Agency tarafından Danimarka karasularında 4 adet DRES potansiyel sahası belirlenmiş ve 1997 yılında Enerji Bakanlığı ile Danimarka dağıtım ve iletim şirketleri arasında protokol imzalanarak projeye start verilmiştir. Elsam ve Elkraft (daha sonra ENERGI E2 adını alacaktır) ile yapılan protokol gereği toplam 5 proje ve 750 MW kurulu güç üzerinde anlaşılmıştır. Özet bilgi aşağıda verilmiştir;

Proje Adı	: Nysted DRES
Yatırımcı	: ENERGI E2
Proje Yeri	: Danimarka Baltık Denizi Lolland Bölgesi
Su Derinliği	: 6-10 m
Proje Alanı	: 24 km ²
Kıyıya uzaklık	: 9 km
Kurulu Gücü	: 165.6 MW

DRT Sayısı : 72
DRT Modeli : Bonus A/S 2.3 MW ünite kurulu gücü
Göbek yüksekliği: 69 m
Pervane çapı : 82.4 m

Zaman Planlaması

Projenin Danimarka Hükümeti ile 1997 yılında yapılan protokolü müteakip çalışmalara başlanmıştır ve 1999 yılında Nysted ve Horns Rev planlamaya alınmıştır. 2000 yılı yazında Nysted DRES projesinin ÇED raporu sunulmuş ve 2001 yılında ÇED onayı alınmıştır. Haziran 2002 tarihinde temellerin inşasına başlanmış ve 2003 yazında montaj faaliyetleri başlamıştır. İlk DRT, Mayıs 2003 tarihinde şebeke bağlantısı bitirilmiştir ve test çalışmalarına başlanmıştır. Aralık 2003 tarihinde DRES devreye alınmıştır.

Proje Planlama

Nysted DRES proje planlamasını iki proje ekibi yürütmüştür. ENERGIE E2, DRES tarafını; SEAS Transmission şirketi ise elektrik işlerini yürütmüştür. SEAS Distribution proje yönetimini yürütmüştür. Pirelli 132 kV denizüstü şalt sahasını tedarik etmiştir. ABB, 33 kV kablo ve SCADA sağlamıştır. A2SEA montajı yapmıştır.

Proje Planlama

Haziran 1999 tarihinde SEAS Distribution şın onayı aldıktan sonra ÇED çalışmalarına başlamıştır. 2001 yılında Danish Energy Agency ENERGI E2 başvurusunu almıştır. 2006 yılına kadar ÇED ve diğer teknik çalışmalar yapılarak projenin izin ve onay süreci tamamlanmıştır. Yapılan çalışmalarda GREEN Group müdahil olmuştur. Green Group, WWF, Grrenpeace, Danish Ornithological Society, Danish Society for Conservation of Nature'den oluşmuştur.

Meteorolojik ve Oşinoğrafik Araştırmalar

Nysted DRES için meteorolojik ve oşinoğrafik çalışmalar 1997 yılında başlamıştır. 2 adet denizüstü meteoroloji istasyonu dikilmiştir.

Proje Ekonomik Veri

Projenin şebeke bağlantısının maliyeti, yatırımcı ile şebeke işleticisi tarafından bölüşülmüştür. DRT'ler arasındaki bağlantı ise yatırımcı tarafından üstlenilmiştir. Elektrik şebeke bağlantısı, toplam proje bütçesinin %12'sini oluşturmuştur. Toplam yatırım tutarı 250 milyon EURO olmuştur ve MW başına 1.51 milyon EURO yatırım yapılmıştır. Aşağıda diğer detaylar verilmiştir;

Yatırım Kalemi	Maliyet (milyon €)	Yüzde (%)
DRT Maliyeti	120	48
Temeller	45	18
DRT arası kablolama	15	6
SCADA	10	4
Şalt sahası, denizaltı ve denizüstü ENH	30	12
Diğer	30	12
Toplam	250	

Teknoloji

ENERGI E2 tarafından hazırlanan teknik şartnameyi Bonus A/S uymuştur (daha sonra Siemens tarafından satın alınmıştır) ve daha önceki Vindeby ve Middlegrunden projelerinden olan referanslar sayesinde ihaleyi almıştır.

Temel seçimi ile ilgili olarak yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucunda ağırlık temel (gravity foundation) çözümü uygun bulunmuştur. Kule boyu 69 m olarak seçilmiştir; kara üstündeki türbine göre %10 daha kısa kule yüksekliği seçilmiştir. Denizüstünde rüzgar şiddeti daha yüksek olduğundan bu konfigürasyon uygun bulunmuştur. Bonus A/S ile bakım anlaşması yapılmıştır ve proje sahasına 1.2 m dalga yüksekliğine kadar ulaşım sağlanabilmektedir.



Şekil 11.47. Nysted DRES feribot ile DRT ulaşımı.

İşletme sürecinde aşağıdaki iyileştirmeler yapılmıştır;

- a) Bazı DRT’lerin dişli kutusu değiştirilmiştir,
- b) Paratoner sistemi geliştirilmiştir,
- c) Trafolarda soğutma işlemi iyileştirilmiştir,
- d) Ana trafonun soğutması daha iyi hale getirilmiştir.

Bonus A/S, her bir DRT için ilk 10 yılda yıllık 2 ziyaret; daha sonra ise artarak yapılacak bir ziyaret programı planlamıştır.

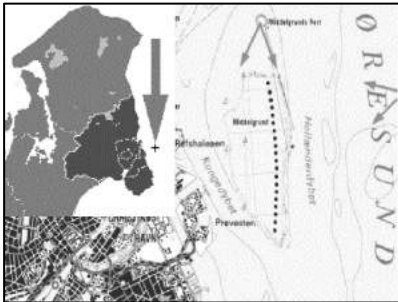
Kazanılan Tecrübe

Nysted DRES, Danimarka Hükümetinden ciddi bir politik destek görmüştür. Bu proje DRES projelerinin ekonomik, çevre ve teknik etkileşiminin görülebilmesi için önemlidir. Proje çoklu taşeron seçimi sistemine göre yapılmıştır. Projede çalışan ekip tecrübeli olduğundan dolayı planlamada herhangi bir sıkıntı ile karşılaşılmamıştır. Şebekenin güçlendirilmesi de dahil olmak üzere bir çok konu zamanında planlanmıştır. Çevreci grupların da projeye aktif bir şekilde müdahil edilmesi projedeki çevre kaygılarını gidermeye yardımcı olmuştur.

11.10 Middelgrunden DRES Projesi (Danimarka)

Middelgrunden DRES projesi 40 MW kurulu gücünde ve her biri 2 MW ünite kurulu gücüne sahip 20 adet DRT’den oluşmuştur. 2000 yılında işletmeye alınmış ve finansmanı kooperatif modeline göre yapılmıştır. Copenhagen Elektrik Şirketi ile 8650 üyenin oluşturduğu kooperatife aittir. Proje Kopenhag’ın elektriğinin %3’ünü karşılamaktaydı. Kopenhag limanının 3.5 km doğusunda bulunan proje sahası için ÇED sürecine özel bir önem verilmiştir. Proje ile ilgili özet bilgi aşağıda verilmiştir;

Proje Adı	: Middelgrunden DRES
Yatırımcı	: ENERGI E2
Proje Yeri	: Danimarka Baltık Denizi Lolland Bölgesi
Su Derinliği	: 4-8 m
Kıyıya uzaklık	: 2.5 km
Kurulu Gücü	: 40 MW
DRT Sayısı	: 20
DRT Modeli	: Bonus A/S 2 MW ünite kurulu gücü
Göbek yüksekliği	: 64 m
Pervane çapı	: 76 m
Rüzgar şiddeti	: 7.2 m/s
Temel ağırlığı	: 1800 ton



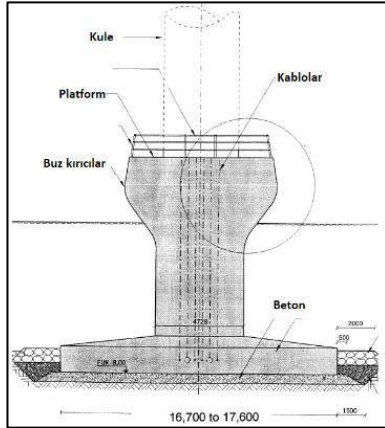
Şekil 11.49. Middelgrunden DRES projesinin yeri.

Projenin Tarihçesi

1996 yılında Copenhagen Environment and Energy Office projenin yapılması kararını almıştır. Danish Action Plan for Offshore Wind hedefine göre projenin yeri belirlenmiş ve ön çalışmalara başlanmıştır. Yerel bir kooperatif kurularak projeye halkın yatırımcı olarak katılımı sağlanmıştır. Projenin kronolojik gelişimi;

Projenin yapım kararı alınması	: Eylül 1996
Projenin 27 DRT olarak duyurulması	: Haziran-Eylül 1997
Projenin 20 DRT olarak duyurulması	: Eylül 1998
Ön onay alınması	: Mayıs 1999
ÇED halkın katılımı toplantıları	: Temmuz-Ekim 1999
Danish Energy Agency onayı	: Aralık 1999
İnşaat başlangıcı	: Mart 2000
Deniz tabanı düzeltmeler	: Mayıs-Haziran 2000
Temellerin denize indirilmesi	: Ekim-Kasım 2000
DRT'ler arası denizaltı kablo serilmesi	: Kasım 2000
Kule ve pervane montajı	: Kasım-Aralık 2000
İlk DRT işletmeye alınması	: Aralık 2000
DRES devreye alma	: Mart 2001

Projenin ÇED aşamasında özellikle gürültü konusunda itirazlar gelmiştir ve türbin gürültü seviyesinin azaltılabilmesi için ek izolasyon talep edilmiştir. Danish Society for the Conservation of the Nature ÇED sürecine müdahil edilerek çevreci grupların projeye iştiraki sağlanmıştır. Projeye balıkçılar, yatçılar ve turizmcilerin itirazları olmuş ancak bu itirazlar ikna edilerek giderilmiştir. Yapılan detay mühendislik çalışmalarda ağırlık temel çözümü uygun bulunmuştur.



Şekil 11.50. Middelgrun DRT türbin ağırlık temeli.

Kıydan rahatlıkla görülebilen ve Kopenhag havalimanına yakın olduğundan ülkeyi ziyaret eden herkesin rahatlıkla farkedebileceği bir yerdedir. Projeye ulaşım için tekneler kullanılmaktadır. Her DRT’de tekne yanaşabilmesi için bir platform bulunmaktadır.



Şekil 11.51. Middelgrun DRT tekne yanaşma platformu.

Yıllık 100 milyon kWh elektrik enerjisi üretimi öngörülmüştür. Projenin finansmanı için kooperatif modeline göre 8650 kişiden alınan kişi başına 567 EURO ile özsermaye ihtiyacı karşılanmıştır. Tarife fiyatı ise;

1-10 yıl : 44 EUROc/kWh
11-20 yıl : piyasa fiyatı

11.11 Kazanılan Genel Tecrübeler

DRES projelerinin planlama ve geliştirme aşamaları karaüstü RES'lerden farklılıklar göstermektedir. DRES planlaması çok daha kompleks ve risklerin yüksek olduğu süreçleri barındırmaktadır. Hem elektrik santrali hem de denizüstü yapı olması sebebi ile bir çok parametre dikkate alınmalıdır. Ayrıca farklı bir çok mühendislik disiplini de birlikte çalışmak zorundadır. Projelerde aşağıdaki hususların özellikle dikkate alınması gerekmektedir;

- a) Proje ön planlama,
- b) Detay proje planlama,
- c) İmalat planlaması,
- d) Tedarik ve satın alma,
- e) Mühendislik ve dizayn,
- f) Montaj, test ve devreye alma,
- g) İşletme ve bakım,
- h) DRES demonte.

Her bir aşama tecrübeli kişiler tarafından dikkatli bir şekilde planlanmalıdır.

Proje Ön Planlama

Proje ön planlama safhasında DRES projesi ile ilgili ön etüt çalışmaları yapılır. Bu çalışmalarda DRES'in bağlanabileceği TM, lojistik için uygun liman, ön ÇED, halkın projeye yaklaşımı, ön etüdü yapılan sahanın idari durumu, askeri, millî park, arkeolojik öalışmalar ve ön ekonomik fizibilite hazırlanarak ilk aşama bitirilmiş olunur. Bu husslarda sıkıntı olmayacağı anlaşıldıktan sonra projenin detay incelemesine ve planlamasına geçilir.

Proje Detay Planlama

Projenin detay planlaamsında artık uygulamaya yönelik hususlar dikkate alınır ve kapsamlı analizler yapılır. Aşağıdaki hususlar detaylı olarak planlanır.

Proje yönetim: Proje yönetiminin belirlenmesi, raporlama prosedürleri ve kalite yönetimi gibi hususlar belirlenir.

Proje onay prosedürü: DRES, şebeke bağlantısı, şebekenin güçlendirilmesi, ileride yapılabilecek kapasite artırımı gibi konular analiz edilir.

Saha araştırması: DRES proje sahasının coğrafik, meteorolojik, oşinoğrafi, kimyasal, biyolojik, ekolojik özellikleri araştırılır.

Mühendislik planlama: Fabrika testleri, imalat, nakliye, montaj, saha testleri, devreye alma, işletme ve bakım ile DRES demonte prosedürleri belirlenir.

İhale süreci: İhale dökümanlarının hazırlanarak standartlarının belirlenmesi sürecidir.

İmalat süreci: Temel imalatı, DRT imalatı, DRES şalt sahası iöalatı, kablo imalatı ve diğer ekipma imalat planlamasını kapsar.

Karaüstü nakliye: İmalatın yapıldığı fabrikadan DRES proje sahasına nakliyenin yapılacağı limana kadar olan süreçlerdir.

Denizüstü nakliye: DRT ve diğer ekipmanın denizüstü nakliyesinin planlanmasıdır.

İnşaat planlaması: Temel montajı için deniz tabanı hazırlanması, oyulma koruması yapılması gibi süreçlerdir.

Montaj planlaması: Temel montajı, DRT montajı, denizüstü şalt sahası montajı, denizaltı kablo serilmesinin planlanmasıdır.

Şebeke bağlantısı: DRES'in şalt sahasından çıkan yüksek gerilimin karaüstündeki trafo merkezine enerji nakil hattı ile bağlanmasıdır.

Test ve devreye alma: DRT'lerin saha testleri ve devreye alınmasıdır.

İşletme ve bakım: DRES'in işletme ve bakım faaliyetleridir.

Demonte: DRES'in demonte prosedürüdür.

DRES Projelerine Devletin Müdahiliyeti

DRES projelerine hükümet veya devletin müdahiliyeti olumlu sonuçlar vermiştir. Projenin izin ve onay süreçleri daima hızlanmıştır. Avrupa'da özellikle ilk projelerde bu strateji uygulanmıştır. Saha araştırması ve saha uygunluğu devletler tarafından belirlenmiş ve projelere ilk start verilmiştir. Devletin müdahiliyeti bazı avajların yanında bazı dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Onay sürecinde süreçlerin paralel yürütülmeden daha çok adım adım şeklinde olmasına yol açmıştır. İlk projeler, öğrenme projeleri olduğu için süreçler adım adım takip edilmiştir. Devlet her ne kadar müdahil olsa da; projenin ilk aşamasından itibaren diğer paydaşların da müdahil olması çok önemlidir. Bölge halkı, çevreci gruplar, balıkçılar, gemicilik şirketleri, turizmcilerle bilgilendirme toplantıları yapılmalı ve süreçler haberdar edilmelidir.

Öneriler

- Kamu tarafından sahanın seçilerek önerilmesi sahada ileride çıkabilecek sorunların önünü almaktadır. Saha araştırmasının yatırımcı tarafından yapılması daha maliyetli bir iştir.
- Projede kullanılacak teknoloji seçilirken yapılacak çalışmalara tüm paydaşlar müdahil edilebilir.
- Detay proje planlamada ana işler ve izinler paralel olarak planlanabilir. DRES sürecinin hızlandırılması açısından bu husus önem arz eder.
- Tek kamu kurumunun onay sürecinde yetkili kılınması Holland EEZ projesinde olduğu gibi en hızlı proje izin sürecidir.
- Profesyonel bir medya ve iletişim süreci projeye olan itirazları daha doğmadan elimine edebilir.

Tedarik ve Taahhüt

DRES projesi ister EPC olarak anahtar teslim veya çoklu alt yüklenici ile yapılmış olsun; projenin yatırımcısı süreci dikkatli planlamalı ve yönetmelidir. Burada proje yatırımcısının riski nasıl bölüştüreceğini bilmesi gereklidir. DRES projelerinde riskler karaüstü RES'lerden daha fazladır. Atmosferik koşulların yanında deniz koşulları da hesaba katılmalıdır.

Montaj ve Şebeke Bağlantısı

Danimarka'da ilk yapılan projelerde denizüstü nakliyenin daha zor olması beklenirken; karaüstü nakliye de daha fazla sıkıntılarla karşılaşmıştır. Denizcilik şirketleri, denizüstü aktiviteleri daha iyi planladıkları görülmüştür. Özellikle limanda boş depolama sahaları ile ilgili ciddi sıkıntılar yaşanmıştır. İlk DRES projelerinde kullanılan DRT'lerde test çalışmalarının karada yapılmasının zaruri olduğu görülmüştür. Proje zaman planına uyabilmek amacı ile bazı testlerin denizüstü montaj, devreye alma ve hatta işletme sırasında yapılmaya çalışılması ciddi sıkıntılara ve yüksek maliyetlere neden olmuştur. Maliyet bazen 5 kata kadar çıkmıştır. Fabrika testleri, yatırımcı ve işletmeci için çok önemlidir.

Denizaltı kablo serilmesine özel bir önem verilmelidir. Enerji kablolarının karakteristiği fiber optik iletişim kablolarından daha farklıdır ve maliyeti daha yüksektir. Gerek hava koşulları ve gerekse de dalga ve akıntılar bu süreci zorlaştırmaktadır.

BÖLÜM 12: DENİZÜSTÜ RÜZGAR ENERJİSİ PİYASASI

Bu bölümde Avrupa Ülkeleri ve Dünya olarak iki kısımda incelenme yapılmıştır.

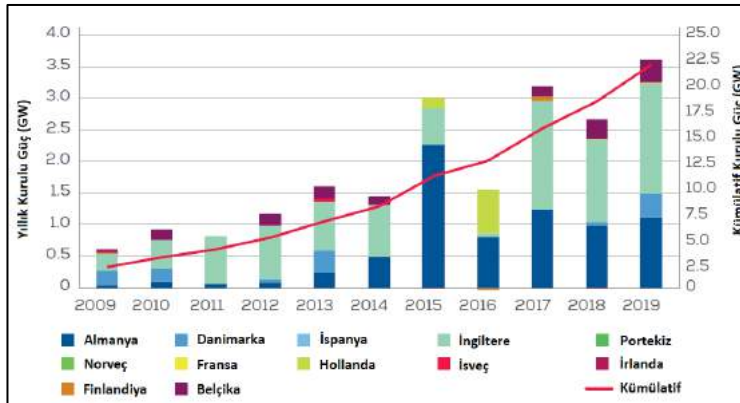
12.1 Avrupa Ülkeleri

1980’lerde yaşanan büyük endüstriyel ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak özellikle Almanya ve Danimarka gibi ülkelerin öncülüğünde rüzgar türbinleri gün geçtikçe gelişerek günümüze gelmiştir. Karaüstünde RT’ler kurulurken Danimarka denizüstüne RT kurmanın çalışmalarını başlatarak 1991 yılında ilk denizüstü rüzgar elektrik santralini (DRES) Vindeby’de o zamanki adıyla Bonus marka 11 adet 450 kW’lık türbinler kullanarak 4.95 MW gücündeki proje ile başlamıştır. İzleyen sayfalarda sunulan veriler, GWEC ve WindEurope’den alınmıştır. 2019 yılında toplam 502 adet DRT montajı yapılarak 3627 MW yeni kapasite eklenmiştir ve Avrupa’da toplam kurulu güç 2019 yılı sonu itibarı ile 22 072 MW olmuştur. Özellikle Kuzey Denizi’nde işletmeye alınan toplam DRT sayısı ise 5047 dir. 2019 yılında eklenen ek kapasite ile toplamda 10 adet DRES ve 502 adet DRT işletmeye alınmıştır. Önümüzdeki yıllarda 1.4 GW kapasite için 6 milyar EURO finansal kaynak ayrılmıştır.

Avrupa Ülkelerinde İngiltere, Almanya, Danimarka ve Belçika’nın DRES projelerine ağırlık verdiği görülmektedir. İngiltere 1764 MW, Almanya 1111 MW, Danimarka 374 MW, Belçika 370 MW ve Portekiz 8 MW devreye almıştır.

Almanya ve İngiltere işletmeye alınan projeler, toplam kapasitenin %95’ine tekabül etmektedir. Siemens Gamesa %63 MHI Vestas %33 kapasite ile montajı yapılan toplam denizüstü rüzgar türbinlerinin (DRT) %96’sını oluşturmaktadır. GE ilk DRT’yi (6 MW kurulu güç) Almanya Merkür DRES projesinde 2018 yılında kullanmıştır.

2018 yılı sonu itibarı ile 11 Avrupa ülkesinde 4543 adet denizüstü RT ile 18499 MW kurulu güce ulaşılmıştır (Şekil 12.1.). İngiltere toplam DRES kurulu gücünün %44’üne sahiptir. Onu Almanya %34 ile takip etmektedir. Danimarka ve Belçika %7; Hollanda ise %6 paya sahiptir.



Şekil 12.1. Avrupa ülkeleri DRES kurulu gücü gelişimi.

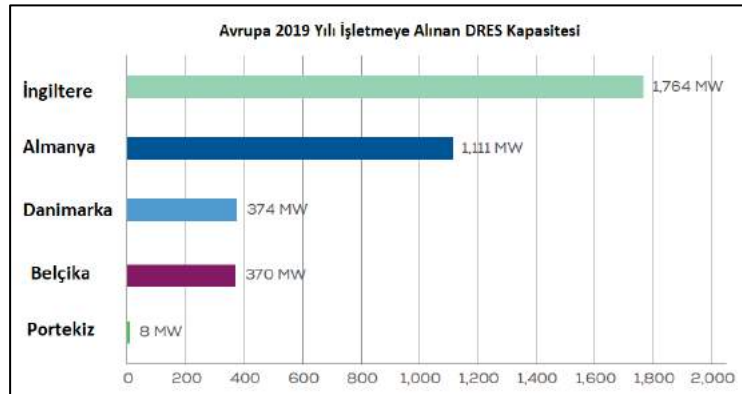
Tablo 12.1 ile de Avrupa Ülkelerinde 2019 yılı sonu itibarı ile DRES ve DRT sayıları ile kurulu güç değerleri görülmektedir. Toplam DRES kurulu gücünün 22 072 MW’a ulaştığı Avrupa’da İngiltere

9945 MW ile ilk sırayı almaktadır; onu 7445 MW ile Almanya izlemektedir. Avrupa Ülkelerinde önümüzdeki yıllarda DRES projelerine ağırlık verileceği öngörülmektedir.

Tablo 12.1. Avrupa ülkeleri DRES durumu.

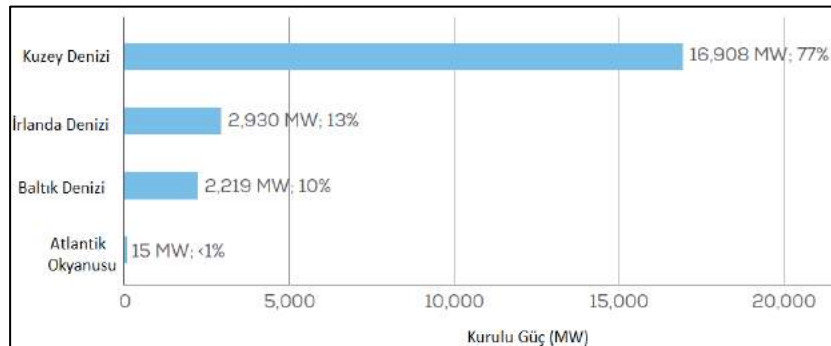
Ülke	DRES Sayısı	Toplam Kurulu Güç (MW)	DRT Sayısı
İngiltere	40	9945	2225
Almanya	28	7445	1469
Danimarka	14	1703	559
Belçika	8	1556	318
Hollanda	6	1118	365
İsveç	5	192	80
Finlandiya	3	71	19
İrlanda	1	25	7
İspanya	2	5	1
Fransa	2	2	2
Norveç	1	2	1
Toplam	110	22 072	5047

2019 yılında işletmeye alınan kapasiteye bakıldığında ise, İngiltere'nin 1764 MW ile ilk sırayı aldığı görülmektedir. Bu kapasite ile birlikte İngiltere'nin DRES kurulu gücü 10 000 MW'a yaklaşmıştır. Almanya 2019 yılında DRES projelerinde hız keserek 1111 MW yeni kapasite işletmeye alarak 7500 MW'a yaklaşan kurulu güce sahip olmuştur. Danimarka 374 MW kapasite artılı yaparak kurulu gücünü 1703 MW'a yükseltmiştir. Belçika, 2019 yılında eklediği 370 MW ile 1556 MW kapasiteye ulaşırken; Portekiz 8 MW kurulu gücünde ilk DRES projesini işletmeye almıştır.



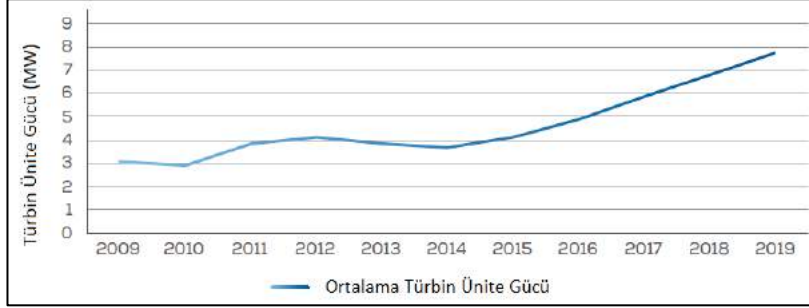
Şekil 12.2. Avrupa ülkeleri 2019 yılında işletmeye alınan DRES kurulu gücü.

2019 yılı sonu itibarı ile deniz havzaları bağlamında işletmeye alınan DRES kurulu gücü Şekil 12.4 ile verilmiştir. Kuzey Denizi işletmedeki bütün DRES projelerinin 16.908 MW ile %77'ine ev sahipliği yapmaktadır. Kuzey Denizini, İrlanda Denizi %13; Baltık Denizi %10 ve Atlantik Okyanusu %1'den küçük bir oranla takip etmektedir.



Şekil 12.4. Avrupa ülkeleri denizlere göre DRES projeleri.

DRT ünite kurulu gücü 2014 yılından itibaren yılda %16 büyümeye göstermiştir. Avrupa ülkeleri içerisinde 2019 yılında ünite kurulu gücü en yüksek DRT 8.8 MW (MHI Vestas V164) ile İngiltere’de işletmeye alınmıştır. 2019 yılında işletmeye alınan DRT ünite kapasitesi önceki yıla göre 1 MW artarak 7.8 MW olarak kayıtlara geçmiştir. DRT ünite kapasitesi 2009 yılından bu yana 3 kat artış göstermiştir. 2019 yılında 3 MW olan ünite kapasitesi özellikle 2015 yılından itibaren artışa geçmiştir.



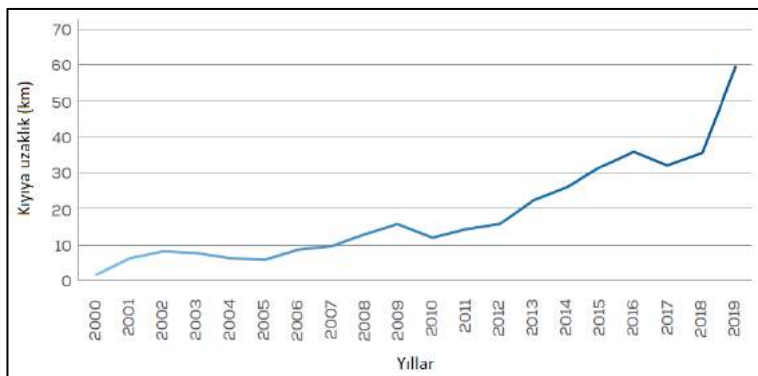
Şekil 12.5. DRT ünite kurulu gücünün gelişimi.

DRES’lerin kurulduğu proje sahasının su derinliği ise 2019 yılında 33 m olmuştur; 2018 yılında bu derinlik 30 m idi. DRES proje sahaları sahiliden gittikçe uzaklara doğru kaymaktadır. Derinlikteki artış farklı temel çözümlerini de beraberinde getirmektedir.



Şekil 12.6. DRES projeleri su derinliğinin yıllara göre değişimi.

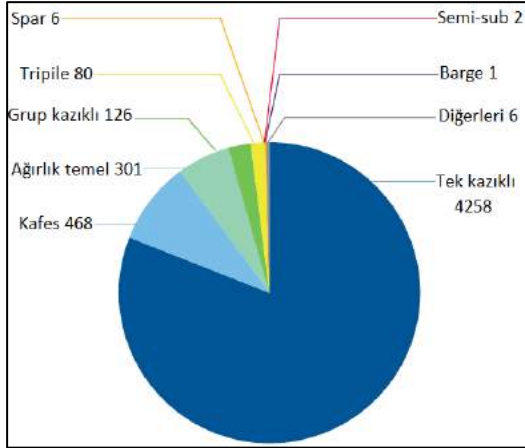
Proje sahalarının kıyıya uzaklığı ise, 2019 yılında 59 km olmuştur. Bir önceki yıl bu uzaklık 35 km idi. Almanya’da EnBW’nin Albatros ve İngiltere Hornsea One DRES projelerinin kıyıya uzaklığı 100 km yi geçmiştir. Kıyıya uzaklığın artışı özellikle temel ve kablo maliyetini etkilemektedir. İşletme ve bakım maliyeti de etkilenmektedir.



Şekil 12.7. DRES proje sahalarının kıyıya uzaklığı.

Kullanılan temel çözümlerine bakıldığında yaklaşık ise 2019 yılında inşaatı bitirilen DRT’lerde %70 ile tek kazıklı temel (monopile foundation) en fazla kullanılan temel çözümdür. Avrupa bugüne kadar işletmeye alınan DRES’lerdeki DRT temellerine bakıldığında ise 4258 DRT temeli %81 ile ilk

sıradadır. Kafes temel (jacket) %8.9, ağırlık temel (gravity) %5.7, grup kazıklı temel (Tripod) %2.4 ile sıralanmaktadır. Şekil ile DRT’lerde kullanılan temel çözümü sayıları görülmektedir.



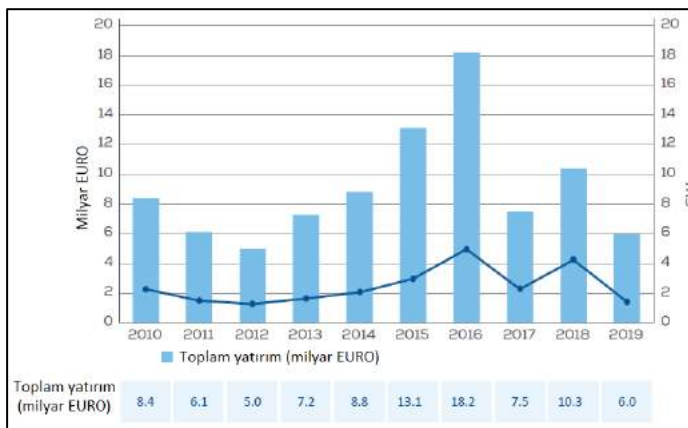
Şekil 12.8. DRT temel çözümü sayıları.

DRES projelerine finansman açısından bakıldığında ise, 2019 yılında 6 milyar EURO yatırım yapıldığı görülmektedir. Finansal kapaması yapılan 480 MW Saint Nazaire (Fransa) ve 450 MW Neart na Gaoithe (İngiltere) en dikkat çeken yatırımlar olmuştur. Saint Nazaire Fransa’daki ilk yatırımı olup MW başına 5 milyon EURO olarak; Neart na Gaoithe ise MW başına 5.1 milyon EURO olarak maliyetlendirilmiştir. Su derinliğinin yüksek ve kıyıya uzaklık bu iki projenin maliyetini etkileyen faktörler olmuştur. Tablo ile 2019 yılında yapılan finansman kapaması yapan DRES projeleri yatırımlarına ait finansal veriler bulunmaktadır.

Tablo 12. Avrupa ülkeleri 2019 yılı yatırım.

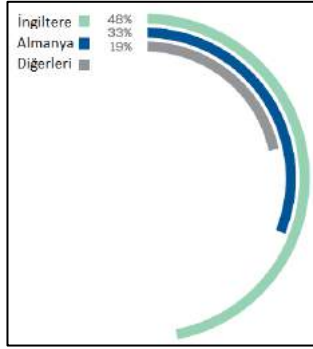
Ülke	DRES Adı	Kurulu Güç (MW)	Yatırım Tutarı (milyar €)	1 MW Yatırım Maliyeti (milyon €)
İngiltere	Nearth na Gaoithe	450	2.3	5.1
Hollanda	Fryslan	383	0.8	2.0
Fransa	Saint Nazaire	480	2.4	5.0
Norveç	Hywind Tampen	88	0.5	5.5

Şekil ile 2010-2019 yılları arasında Avrupa’da yapılan toplam DRES yatırımlarını göstermektedir.



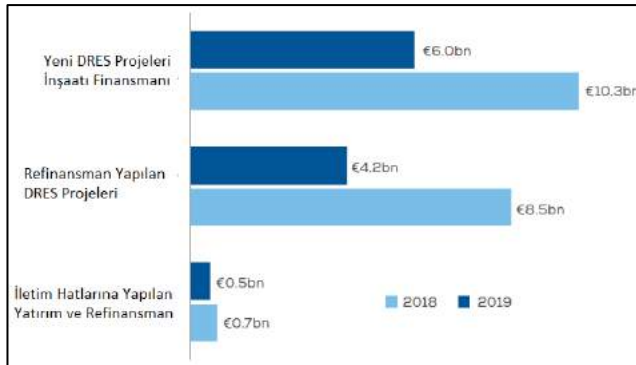
Şekil 12.9. DRES yıllara göre yatırım tutarları.

DRES projelerine maliyet açısından bakıldığında CAPEX’in (capital expenditure) 2015 – 2018 yılları arasında düşüş gösterdiği görülmektedir. Bu düşüşün önümüzdeki yıllarda da süreceği öngörülmektedir. 2010 yılından bu yana İngiltere, 43 milyar EURO yatırım yaparak Avrupa’daki toplam DRES yatırımlarının %48’ini oluşturmuştur. Almanya, 28 milyar EURO ve %33’lük pay ile ikinci sırayı almıştır.



Şekil 12.10. DRES Avrupa ülkelere göre yatırım yüzdeleri.

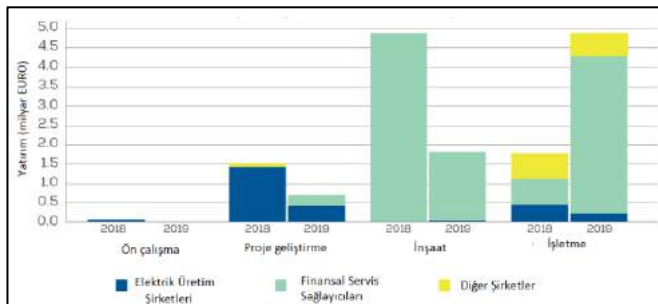
2019 yılında yeni yatırımlara ek olarak refinansman işlemleri gerçekleştirilmiştir. DRES projesi işletmeye alındığında riskin profili değişmektedir. İnşaat dönemi boyunca olan riskler, artık projenin işletmedeki risklerine geçmektedir. Bu süreçte krediyi geri ödeyebilme ile ilgili riskler başlamaktadır. Finansörler, projenin geliştirme ve inşaat aşaması ile ilgili risklerin ortadan kalkarak işletme dönemi ile ilgili riskler olduğunu bilmekte ve refinansman yolunu tercih etmektedir. Bu yüzden DRES projelerinde refinansman yöntemi 2015 yılından itibaren uygulanmaktadır. Bankalar veya kreditorler, ilk önce DRES projelerinin inşaat dönemini kapsayacak şekilde 2- 3 yıllık kredi vermektedirler. Bu süre boyunca DRES herhangi bir gelir üretmez ve ek olarak hava koşulları, kazalar vb gibi nedenlerden dolayı projede gecikmeler yaşanabilir. DRES işletmeye alındıktan sonra ise risk faktörleri azaldığından dolayı daha uygun şartlarda kredi faiz oranlarında refinansman imkanı mümkün olabilmektedir. Borcun bu yeniden yapılandırılmasına refinansman denilmektedir. 2019 yılında Avrupa’da DRES projelerinde 10.2 milyar EURO’luk finansman yapılmıştır. Aşağıdaki Şekilde 2018 ve 2019 yıllarında yapılan finansman ve refinansman görülmektedir.



Şekil 12.11. DRES finansman ve refinansman.

12.1.1 Avrupa Ülkelerinde Proje Geliştirme ve Yatırım Bütçesi

2018 yılına nazaran 2019 yılında proje geliştirme faaliyetlerinde ve dolayısıyla bütçesinde düşüş gözlemlenmiştir. 2018 yılında devreye alınan, inşaatı devam eden ve geliştirilmeye çalışılan toplam 3.9 GW DRES kapasitesi olmuştur ve toplam yatırım tutarı ise 7.4 milyar EURO olarak kayıtlara geçmiştir.



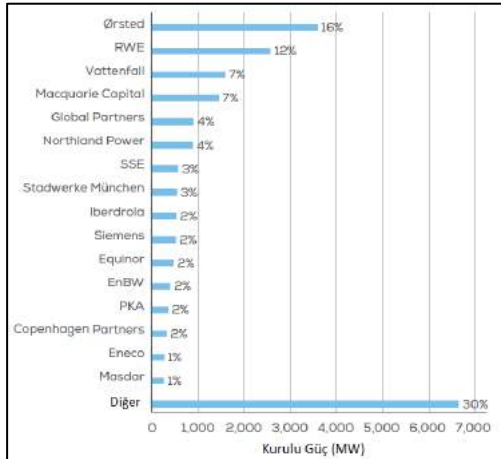
Şekil 12.12. DRES 2018 – 2019 yatırımcı profili.

Aşağıdaki şekilde Avrupa 2019 yılına ait DRES yatırımcı profili görülmektedir. Grafik incelendiğinde DRES yatırımcı profilinin %83 ile Finansal Hizmet Sağlayıcı fonlarından oluştuğu görülmektedir. Bu fonlar varlık yönetimi (asset management) ve altyapı fonu (infrastructure fund) sağlayıcılarını kapsamaktadır. Bu tarz yatırımcılar riski daha az olan yatırımlara yöneldiğinden dolayı özellikle işletmedeki DRES projelerinde yüksek pay oranına sahiplerdir. Geriye kalan kısımda ise elektrik üretim şirketleri ve diğer yatırımcılar bulunmaktadır.



Şekil 12.13. DRES 2019 yılı yatırımcı profili.

DRES işletmecisi/yatırımcı profili incelendiğinde ise Ørsted firması Avrupa DRES pazarının %16'sına sahiptir. RWE %12 ve Vattenfall %7 ile ilk üç sırayı almaktadır.



Şekil 12.14. Avrupa DRES işletmecisi/yatırımcı firmalar.

12.1.2 DRES Elektrik Satış Anlaşmaları (Power Purchase Agreement)

DRES projelerinde devlet alım garantisi ile elektrik satışı yapılmaktadır. 2018 yılında özel bir şirket ile DRES arasında imzalanan ilk ikili anlaşma ile özel elektrik satış anlaşması yapılmıştır. İlaç ve tıbbi ürünler sektöründeki hizmet veren Novozymes ve Novo Nordisk ile Danimarka'da bulunan 120 MW kurulu güçlü Kriegers Flak arasında 2018 yılında ilk özel elektrik satış anlaşması imzalanarak serbest piyasa koşulları başlamıştır. 2019 yılında ise 5 adet özel ve toplam 360 MW kapasiteli ikili elektrik satış anlaşmaları imzalanmıştır. Bunlar DRES projelerinde yapılan ilk uygulamalardır ve serbest piyasa koşullarının oluşumu için önem arz etmektedir. Aşağıdaki tabloda 2019 yılında yapılan bu anlaşmalara ait detaylar görülmektedir.

Tablo 13. Avrupa ülkeleri 2019 yılı ikili elektrik satış anlaşmaları.

Ülke	Şirket Adı	Kurulu Güç (MW)	DRES
Almanya	Covestro	100	Borkum Riffgrund 3
İngiltere	Northumbrian Water Ltd	23	Race Bank
Almanya	Deutsche Bahn	25	Nordsee Ost
Belçika	Google	92	Elicio Nortger
İngiltere	Bristol Airport	4	-

12.1.3 Avrupa’da Yapılan 2019 DRES İhaleleri

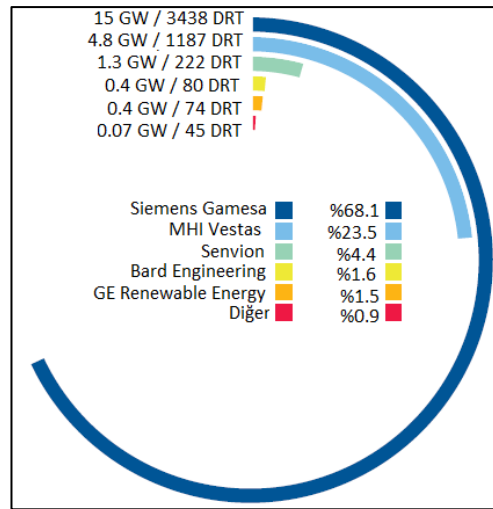
2019 yılı, şimdiye kadarki Avrupa’da en fazla DRES kapasitenin ihale edildiği yıl olmuştur. İngiltere’de 5.5 GW DRES ihalesi yapılmış ortalama fiyat 46.16 EURO/MW civarında gerçekleşmiştir. Bu bedele şebeke bağlantısı da dahildir. İngiltere’deki bu ihaleler, Innogy (RWE) tarafından geliştirilen 1400 MW kurulu güçlü Sofia DRES ile Equinor (%50) ve SE Renewables (%50) konsorsiyumu tarafından geliştirilen Dogger Bank (3 x 1200 MW) projelerinden oluşmaktadır. Fransa’daki ihalede ise EDF ve Innogy konsorsiyumunun oluşturduğu 600 MW kurulu güçlü Dunkirk DRES 44 EURO/MW ile ihaleyi kazanmıştır. Hollanda’da 760 MW Kust 3&4 DRES ihalesini Vattenfall kazanmıştır.

Tablo 13. Avrupa ülkeleri 2019 yılı ikili elektrik satış anlaşmaları.

Ülke	DRES	Kurulu Güç (MW)	Kullanım Fiyatı (Strike Price - €/MWh)	İhaleyi Kazanan
Hollanda	Kust Zuid 3&4	760	-	Vattenfall
Fransa	Dunkirk	600	44	EDF+Innogy
İngiltere	Sofia	1400	44.99	Innogy
	Seagreen Phase 1	454	47.21	SSE Renewables
	Forthwind	12	44.99	2-B Energy
	Doggerbank Teeside A	1200	47.21	SSË Renewables + Equinor
	Doggerbank Creyke Beck A	1200	44.99	SSË Renewables + Equinor
	Doggerbank Creyke Beck B	1200	47.21	SSË Renewables + Equinor

12.1.4 Avrupa DRT Pazar Payı

DRT Pazar paylarına bakıldığında ise, Siemens Gamesa (%68.1) açık ara ilk sırayı almaktadır. MHI Vestas (%23.5) ve Senvion’un (%4.4) toplam pazarın %96’sını oluşturduğu görülmektedir.



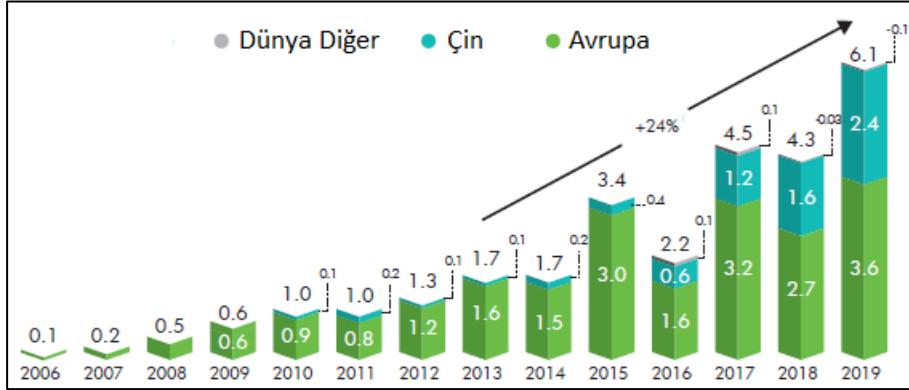
Şekil 12.15. DRT Pazar payları.

12.1.5 Dünyada DRES Durumu

Avrupa ülkelerinin yanında Asya ve ABD’de DRES projeleri gerçekleştirilmektedir. Asya’da özellikle Çin, Tayvan, Japonya, Güney Kore, ve Vietnam’da projeler geliştirilmektedir. Yaklaşık 30 yıllık geçmişi olan DRES sektöründen ve özellikle Avrupa tecrübesinden öğrenilen bilgiler diğer dünya ülkeleri tarafından kullanılmaktadır. En önemli know-how, özel sektör ve kamunun birlikte çalışmasıdır. Dünyada 2019 yılında eklenen 6.1 GW kapasite topla kurulu gücü 30 GW’a yaklaştırmıştır. Çin, 2.4 GW yeni kapasite ekleyerek, 2019 yılında işletmeye giren en yüksek kapasiteye sahip olmuştur. İngiltere, 1.8 GW ve Almanya 1.1 GW ile ilk üç sırayı almıştır.

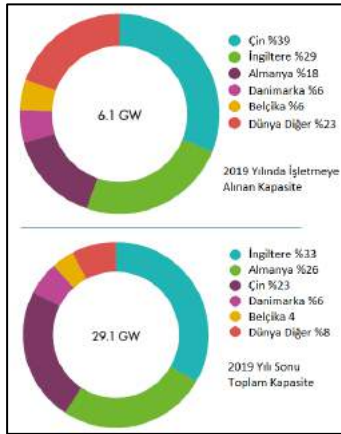
ABD’de DRES projelerinin geliştirilmesi ile ilgili proje çalışmaları hız kazanmıştır.

Dünyadaki DRES kurulu güç artışının 2006-2019 yılları arasındaki kümülatif dağılımına bakıldığında, özellikle 2013 yılından itibaren kurulu gücün yükseldiği görülmektedir (Şekil 12.16). 2019 yılı sonu itibarı ile Avrupa DRES kurulu gücünün %75'ine sahiptir. Bununla beraber, önümüzdeki yıllarda Asya ve ABD'de artış beklenmektedir.



Şekil 12.16. Dünyada 2006-2019 yılları arasında DRES kurulu güç gelişimi.

Dünya'da 2019 yılında yapılan projeler ve 2019 yılı sonu toplam kapasite ve bölgelere göre yüzdeleri aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 12.17. Dünya'da 2019 yılında yapılan projeler ve 2019 yılı sonu toplam kapasite ve yüzdeleri.

2019 yılı itibarı ile Dünyada bulunan DRES kurulu gücüne ait ülkelere göre kurulu güç değerleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 13. Dünyada 2019 yılı sonu itibarı ile DRES durumu.

Ülke	2109 Yılı İşletmeye Alınan	2019 Yılı Sonu Toplam Kurulu Güç (MW)
İngiltere	1764	9723
Almanya	1111	7493
Belçika	370	1556
Danimarka	374	1118
Belçika	8	1556
Avrupa Diğer	8	310
Çin	2395	6838
Güney Kore	0	73
Asya Diğer	1	25
Amerika	0	30
Toplam	6145	29 136

Çin, 2019 yılı sonu itibarı ile 6.4 GW kurulu güç ile İngiltere ve Almanya'dan sonra 3. sıradadır. Yaklaşık 5 GW'lık bir kapasiteyi 2021 yılı sonuna kadar işletmeye alınması planlanmaktadır. Çin Hükümetinin garanti ettiği sabit tarife olan 0.85 RMB/kWh 2021 yılı sonuna kadar işletmeye alınacak projeleri kapsadığından dolayı projenin yatırımcıları işlemleri hızlandırmaktadır. 2022 yılında Çin, İngiltere'yi geçerek Dünya lideri konumuna gelecektir. 2022 yılından sonra sabit tarife uygulaması son bulacağından dolayı projelerde yavaşlama beklenmektedir.

Tayvan, 2019 yılında sadece 128 MW kurulu gücü olmasına rağmen, 2025 yılına kadar 5.5; 2030 yılına kadar da toplam 10 GW kurulu güce ulaşmayı hedeflemektedir.

Güney Kore, "Green Growth" adını verdiği stratejiyi 10 yıl önce başlatmış ancak uygulamadaki aksaklıklar yüzünden yeterli ilerlemeyi kaydedememiştir. 2030 yılına kadar 12 GW DRES hedefi koymuştur.

Japonya, DRES projelerindeki ilerlemesi bürokratik engeller ve net hedefler konulmamasından dolayı istenen hızda olmamıştır. Ancak 2017 yılında hareketlenme başlamış ve Temmuz 2020 tarihinde Japon Hükümeti 4 adet DRES proje bölgesi belirlemiştir. Yüzer temelli DRT'lerin kullanılacağı DRES projeleri için proje sahaları belirlenmiştir. 2025 yılından sonra Japonya'da ciddi bir hareketlenme beklenmektedir.

Vietnam, 500 MW DRES kapasitesi için lisanslandırma yaparak ilk DRES projesinin 2022 yılında işletmeye girmesinin önünü açmıştır. 2030 yılına kadar 5.2 GW hedef koymuştur.

12.2 Dünyada 2030 Yılına Kadar Olan Kapasite Projeksiyonu

Dünyada DRES piyasasındaki aktif ülkeler 2030 yılına kadar çeşitli kapasite projeksiyonları hazırlamıştır. Burada belirlenen rakamlar Global Wind Energy Council (GWEC) tarafından hazırlanan Global Offshore Wind Report 2020 raporundan alınmıştır.

12.2.1 Avrupa 2030 Yılına Kadar Olan Kapasite Projeksiyonu

DRES projelerinin doğduğu yer olan Avrupa DRES projelerine büyük önem vermektedir. Özellikle İngiltere konu ile ilgili olarak ciddi hedefler koymuştur. Diğer Avrupa ülkeleri de 2030 yılına kadar kapasite projeksiyonları belirlemiştir. Özellikle ana marketler olan İngiltere, Almanya, Danimarka ve Belçika net hedefler belirlemiştir. İlk DRES projesinin yapıldığı 1991 yılından bu yana geçen 30 yıl içerisinde DRES projeleri piyasa ile rekabet edebilir hale gelmiştir.

Şekil ile Avrupa Ülkelerinde 2030 yılına kadar olan kapasite projeksiyonu görülmektedir. 2025 yılına kadar piyasa büyümesi yıllık olarak %25; 2025-2030 arasında ise %11 civarında büyüme beklenmektedir. Avrupa'da 2025 yılında 8.7 GW kurulu güce ulaşılması beklenmekte; 2030 yılına kadar ise 15 GW hedeflenmektedir. Ayrıca AB Komisyonunun öngörüsüne göre, 2050 yılında 240 GW DRES kapasitesine ulaşılması belirtilmiştir.

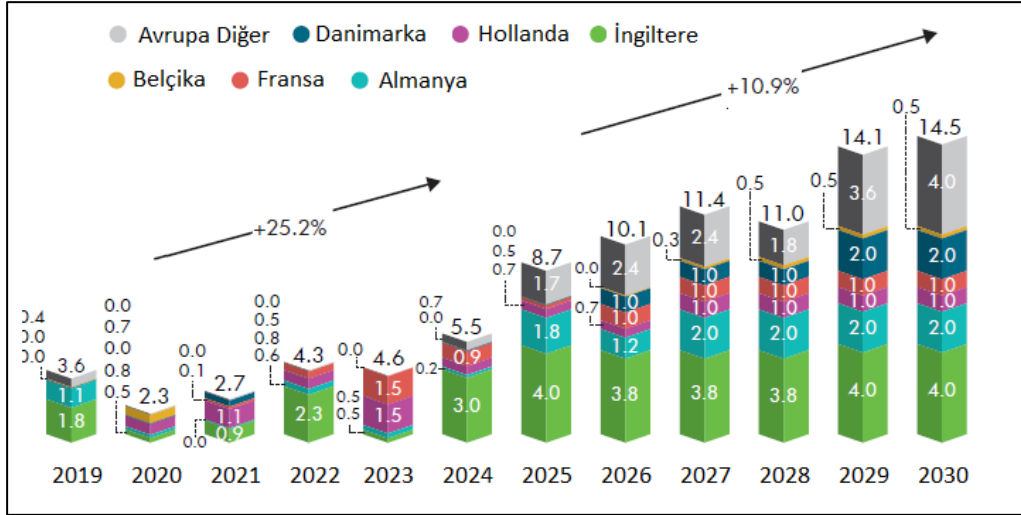
İngiltere, Avrupa'da DRES piyasa liderliğini sürdürmeyi devam ettirerek 2030 yılına kadar 40 GW kapasite hedefi koymuştur.

Almanya, WindSee Gesezt Kanunu kapsamında DRES projeleri için yeni düzenlemeler getirmiştir. DRES kapasite projeksiyonu 2030 yılında 20 GW; 2040 yılına kadar ise 40 GW olarak hedeflemektedir.

Danimarka, 2020 yılında onayladığı Climate Action Plan kapsamında Baltık ve Kuzey Denizinde 2 adet enerji adası belirlemiştir. Bu enerji adalarına 5 GW DRES kapasitesinin 2030 yılına kadar kurulması planlanmıştır.

Hollanda, sıfır teşvik ile 760 MW DRES projesi ihalesini bitirmiştir.

Fransa, Multiannual Energy Program kapsamında 2020-2028 yılları arasında 9 GW DRES kapasitesi belirlemiş ve 2030 yılına kadar 6.2 GW DRES işletme kapasitesi hedeflemiştir.

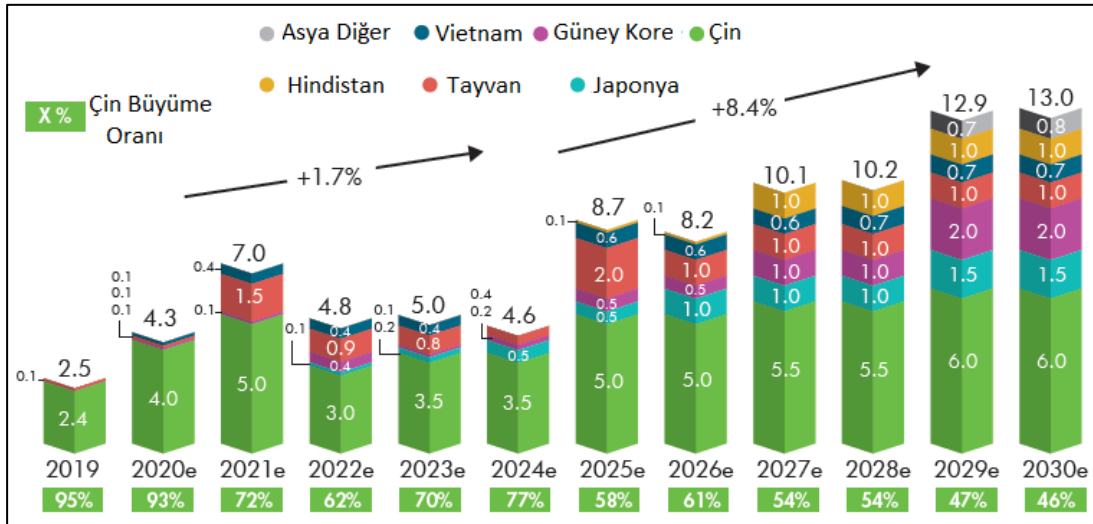


Şekil 12.18. Avrupa Ülkelerinin 2030 yılına kadar olan kapasite projeksiyonu.

GWEC tahminlerine göre Avrupa 2030 yılına kadar piyasa liderliğini sürdürecektir.

12.2.2 Asya Ülkeleri 2030 Yılına Kadar Olan Kapasite Projeksiyonu

Japonya, 2003 yılında Asya'daki ilk DRES projesini 2 adet V47-660 kW ile devreye almasına rağmen; Asya DRES piyasasının başlangıcı 2014 yılında olmuştur. Çin Hükümeti, 2014 yılında National Offshore Wind Development Plan açıklayarak ilk adımı atmıştır. 2017 yılında 1 GW DRES kurulu gücüne ulaşan Çin, 1 yıl sonra da İngiltere'yi geçmiştir. Asya pazarında ikinci büyük DRES piyasası ise Tayvan'dır. 2030 yılına kadar Asya'da DRES yıllık olarak %8.4 oranında büyümesi öngörülmektedir. Aşağıdaki Şekilde Asya Ülkelerinde 2030 yılına kadar olan kapasite projeksiyonu verilmiştir. GWEC tarafından yapılan kapasite projeksiyonuna göre, işlk 5 Pazar Çin (52 GW), Tayvan (10.5 GW), Güney Kore (7.9 GW), Japonya (7.4 GW) ve Vietnam (5.2 GW) olarak sıralanmaktadır. Çin haricindeki diğer Asya ülkelerinde DRES piyasası başlangıç evresindedir.



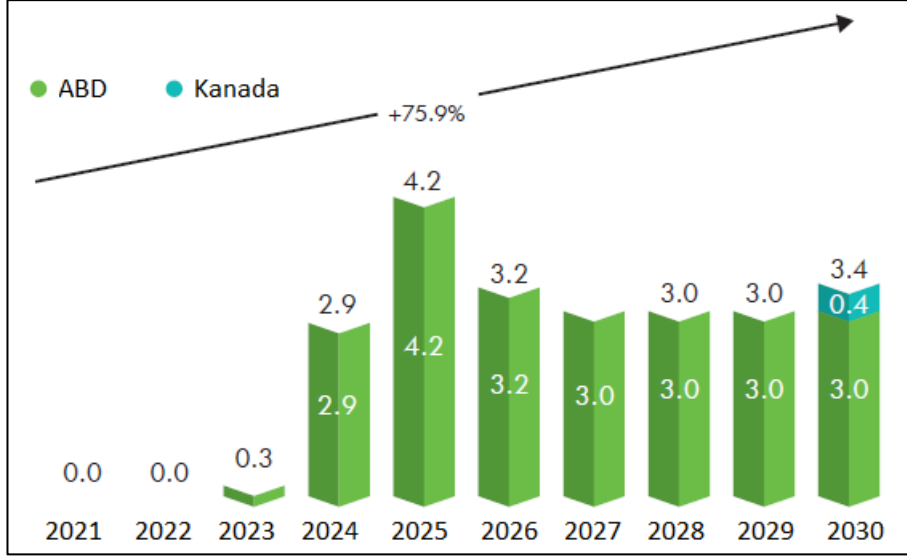
Şekil 12.19. Asya Ülkelerinde 2030 yılına kadar olan kapasite projeksiyonu.

GWEC tahminlerine göre, 2030 yılında Asya Ülkeleri, %42 pazar payına sahip olacaktır.

12.2.3 Kuzey Amerika 2030 Yılına Kadar Olan Kapasite Projeksiyonu

Kuzey Amerika'da ilk DRT 2013 yılında Maine kıyısında deneme amaçlı olarak kurmuştur. 6 MW kurulu güçlü bir DRT'nin 1/8 oranında küçültülmüş prototipi kurularak çalışmalara başlanmış ancak istenilen düzeyde ilerleme sağlanamamıştır. Ticari ilk DRES 30 MW kurulu gücünde ve Aralık 2016 tarihinde Rhode Island'da kurulmuştur. Kitabın yazıldığı tarihlerde birçok DRES projesi geliştirme aşamasında olup GWEC kapasite projeksiyonuna göre 2030 yılında 10 GW kapasite tahmin edilmiştir.

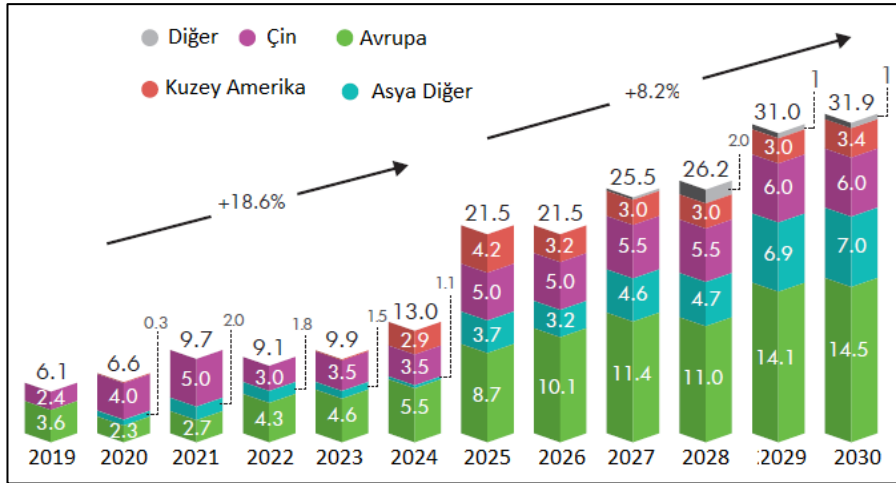
Bunun 1 GW'ı Kanada, 9 GW ise ABD'de olarak projekte edilmiştir. Şekil ile GWEC kapaite projeksiyon çalışmasının yıllara göre gelişimi verilmiştir.



Şekil 12.20. Kuzey Amerika Ülkelerinde 2030 yılına kadar olan kapasite projeksiyonu.

12.2.4 Tüm Dünya Ülkelerindeki DRES 2030 Kapasite Projeksiyonu

GWEC 2020 DRES Kapasite Projeksiyon raporuna göre, dünyadaki ülkeler de 2030 yılına kadar bir hedef belirlemişlerdir. 2030 yılına kadar dünyada 205 GW DRES kapasitesi olacağı öngörülmüştür. 2019 yılında işletmeye alınan dünyadaki toplam RES kapasitesinin %10'unu DRES kapasitesi oluştururken; 2025 yılından sonra bu oran %20'ye çıkacağı beklenmektedir.



Şekil 12.20. Dünya DRES 2030 yılına kadar olan kapasite projeksiyonu.

DRES için hazırlanan ülkelere örnek olarak Türkiye, Brezilya, Hindistan, Sri Lanka, Avustralya ve Meksika örnek verilebilir.

12.3 DRES Sivil Toplum Kuruluşları

Denizüstü RES piyasası için de ulusal rüzgar enerjisi birliklerinin yanında özel birlikler kurulmuştur. Aşağıda bazı birliklerin web adresleri verilmiştir.

Danimarka Denizüstü Rüzgar Enerjisi Birliği

<https://www.winddenmark.dk/>

Alman Denizüstü Rüzgar Enerjisi Birliği

<https://bwo-offshorewind.de/en/>

Stiftung Offshore Windenergie
<https://www.offshore-stiftung.de/>

Polonya Denizüstü Rüzgar Enerjisi Birliği
<http://www.ptmew.pl/en/home.php?lang=EN>

KAYNAKLAR

- Ahrens, C.D.**, 1988. Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment, 3th Edition. West Publishing Company.
- Alhilal, S. ve Ahmed, S.**, 2015. Wind Energy: Site Characterization and Application of Remote Sensing, International Journal of Academic Scientific Research ISSN:2272-6446. Vol.3, Issue 4.
- American Meteorological Society**, Glossary of Meteorology, (http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page)
- Assessment Wind Measurement Program North Sea**, 2014. Netherlands Enterprise Agency, Report No: 14-2781, Revision 1.
- Bewell, R.**, 2016. Construction and Installation Gravity Base Foundations for Offshore Wind Turbines. Blyth Demonstrator Project.
- Gould, B.I.**, 2014. Offshore Wind Power Plant Electrical Systems. BOEM Offshore Renewable Energy Workshop. USA.
- Braedley, S. ve Mikkelsen, T.**, 2012. SODAR Remote Sensing for Wind Energy. RISO, Denmark.
- Brosnan, U.**, 2018. Offshore Wind Handbook. Glasgow. UK.
- Carroll, R.**, Rupport, D., Stefanski, L. ve Crainicenu, C., 2016. Measurement Error in Nonlinear Models: A Modern Perspective. 2nd edition. CRC Press.
- Certification of Navigation and Sviation Aids of Offshore Wind Farms**, 2017. Service Specification, DNVGL-SE-0176.
- Dambolena, I.** 1972. A Planning Methodology for the Analysis and Design of Offshore Wind-Power Systems. PhD Dissertation. Amherst, MA: University of Massachusetts Amherst, Department of Industrial Engineering and Operations Research.
- Dinamik Meteoroloji Ders Notları**, İTÜ, 1995.
- Duncan, J.B.**, Werff, P.A. ve Bot, E.T., 2018. Understanding of the Offshore Wind Resource up to High Altitudes (≤ 315 m). TNO Report.
- Durak, M. ve Özer, S.**, 2006. Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama.
- Durak, M.**, 2019. Denizüstü Rüzgar Elektrik Santral (DRES) Projeleri İçin Rüzgar Ölçümleri, 5. Rüzgar Enerjisi Sempozyumu. 3-5 Ekim, İzmir.
- Durak, M.**, 2019. Meteoroloji Sözlüğü: Resimli ve Açıklamalı (Basım aşamasında).
- Esteban, M.D.**, Gutierrez, J.S.L., ve Negro, V., 2019. Gravity Based Foundations in the Offshore Wind Sector, Journal of Marine Science and Engineering.
- Global Wind Report**, 2019. GWEC Market Report, Brussels.
- Global Offshore Wind Report**, 2020. GWEC Market Report, Brussels.
- Gould, B.I.**, 2014. Offshore Wind Power Plant Electrical Systems. BOEM Offshore Renewable Energy
- Gerdes, G.**, Tiedermann, A., ve Zeelenberg, S., 2016. Case Study: European Offshore Wind Farms-A Survey for the Analysis of the Experiences and Lessons Learnt by Developers of the Offshore Wind Farms, Final Report, Deutsche Wind Guard GmbH.
- Gould, B.I.**, 2014. Offshore Wind Power Plant Electrical Systems. BOEM Offshore Renewable Energy Workshop. USA.
- Hasager, C.B.**, Rasmussen, L., Peña, A., Jensen, L.E. ve Réthoré, P.E., 2013. Wind Farm Wake: The Horns Rev Photo Case. Energies Journal, 6, 696-716; doi:10.3390/en6020696.
- Hermann Honnef, H.** 1932. Windkraftwerke. Braunschweig, Germany: Friedrich Vieweg & Sohn Akt-Ges.
- Jeppsson, J.**, Larsen, P.E., Larsson, A., 2008. Technical Description Lillgrund Power Plant. u.o.: The Swedish Energy Agency, Vattenfall Vindkraft AB.
- Jahrbuch Windenergie**, 2018. Marktübersicht, 28. Auflage. Bundesverband Windenergie.

- Kadioğlu, M.** ve Çakır, S., 2012. Meteoroloji: Atmosferimizi Anlamak. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kaisen, M.J.** ve Synder, B., 2010. Offshore Wind Energy Installation and Decommissioning Cost Estimation in the U.S. Outer Continental Shelf. Energy Research Group Louisiana. US.
- Katic, I.,** Hojstrup, J., ve Jensen, N.O. 1986. A Simple Model for Cluster Efficiency. European Wind Energy Association Conference and Exhibition, 7-9 October, Rome, Italy.
- Kusiak, A.** ve Song, Z., 2010. Design of Wind Farm Layout for Maximum Wind Energy Capture. Journal of Renewable Energy 35, 685-694.
- Kutlu, Y.,** 2011. Denizüstü Rüzgar Türbini Temel Tasarımı ve Türkiye’de Kazıklı Bir Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Klimatoloji ve Meteoroloji Ders Notları,** Prof Dr Hasan Tatlı, Çanakkale OMÜ, 2017.
- Knorr, K.,** Horst, D., Bofinger, S. and Hochloff, P., 2017. Energiewirtschaftliche Bedeutung der Offshore Windenergie für die Energiewende, Stiftung Offshore Windenergie.
- Marktdesign für eine Effiziente Netzanbindung von Offshore Windenergie,** 2019. Eine Studie im Auftrag Orsted Offshore Wind, DIW Econ GmbH, Berlin.
- Mellor, G.L.,** An Introduction to Physical Oceanography, American Institute of Physics, 1996.
- Mikkelsen, T.,** 2014. Remote Sensing of Wind. Technical University of Denmark, Roskilde.
- Musial, W.,** 2018. Offshore Wind Energy Facilities Characteristics. BOEM’s Offshore Wind and Maritime Industry Knowledge Exchange Workshop.
- Malhotra, S.,** 2011. Selection, Design and Construction of Offshore Wind Turbine Foundations, Wind Turbines, Dr. Ibrahim Al-Bahadly (Ed.), ISBN: 978-953-307-221-0, InTech.
- Neumann, K.,** Hartmann, E. and Dukurt, R., 2012. Plattform Zukunftsberufe Offshore Windenergie. Studie im Auftrag der Stiftung Offshore Windenergie und der Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation. Hamburg and Berlin.
- Noonan, M.,** Stehly, T., Mora Alvarez, D. F., Kitzing, L., Smart, G., Berkhout, V., & Kikuch, Y. 2018. IEA Wind TCP Task 26: Offshore Wind Energy International Comparative Analysis.
- Offshore Wind Farm Egmond aan Zee General Report,** 2008. NoordzeeWind Report.
- Offshore Wind Power in Europe,** 2019 Key Trends and Statistics, Wind Europe, 2020.
- Offshore Wind Power Plant Technology Catalogue,** Components of Wind Power Plants, AC Collection Systems and HVDC Systems, Oct 2017.
- Pond, S.** and Pickard, G.L., Introductory Dynamical Oceanography, Pergamon Press, 1991.
- Pickard, G.L. and Emery, W.J., Descriptive Physical Oceanography, Butterworth-Heinemann.
- Potenziale der Offshore Windenergie in der Wachstumregion Ems-Achse,** 2012. Mariko GmbH Report, Bremerhaven.
- Scira Offshore Energy Ltd,** Sheringham Shoal Offshore Wind Farm Environmental Statement, 2006.
- Shepherd, D.G.,** 1990. Historical Development of Windmill. Cornell University, New York.
- Sorensen, H.C.,** Hansen, L.K., ve Larsen, J.H., 2005. Middelgrunden 40 MW Offshore Wind Farm Denmark-Lessons Learned. Copenhagen Offshore Wind Conference.
- Supply Chain,** 2016. Port Infrastructure and Logistics Study for Offshore Wind farm Development in Gujarat and Tamil Nadu.
- Technical Project Description for Offshore Wind Farms (200 MW),** 2015. Offshore Wind Farms at Vesterhav Nord, Vesterhav Syd, Saeby, Sejero Bugt, Smalandfarvandet and Bornholm, Denmark.
- Thor, S.E.,** 2009. Assessment of the Lillgrund Wind Farm Power Performance and Wake Effects. İsveç.
- Transport and Installation of Wind Power Plants,** 2017. Standard, DNVGL-ST-0054.
- Tuzuner, A.,** Almassri, I., ve Goren, S. 2016. A Stochastic Optimization Model for Determining the Optimal Micrositing of wind Turbines. The Online Journal of Science and Technology - Volume 6, Issue 2.
- UK Offshore Wind Supply Chain: Capabilities and Opportunities,** 2014. BVG Associates Report.
- Uraz, E.,** 2011. Offshore Wind Turbine Transportation & Installation Analyses: Planning Optimal Marine Operation for Offshore Wind Projects, MSc Thesis, Gotland University.
- Use of Remote Sensing for Wind Energy Assessments,** 2011. Recommended Practice, DNV-RP-J101.
- Wadham, D.,** 2019. Offshore Wind Contract Structures and Financing Strategies, Ashurst, İngiltere.
- Wallasch, K.,** Luers, S., Rehfeldt, K. and Vogelsang K., 2017. Perspektiven für den Weiterbetrieb von Windenergieanlagen nach 2020. Bundesverband Windenergie.
- Yttervik, R.,** 2013. Transport and Installation of Offshore Wind Turbines. MARE-WINT Opening Lectures.

Web:

<https://www.renewableenergyworld.com/ugc/articles/2014/11/history-of-wind-turbines.html>

<https://www.flowcut.nl/cases-nl/the-history-of-windturbines-and-windfarms-1>
<https://www.windopzee.net/en/borssele-bwz/data/index.html>
<http://www.noordzeewind.nl/en/knowledge/reportsdata/>
<https://offshorewind.rvo.nl/photos/all>
<http://www.oceanservice.noaa.gov/education/kits/currents/welcome.html>
<https://www.bladt.dk/allphotos/offshore-substations.aspx>
<https://www.jackupbarge.com/>
<https://www.4coffshore.com/offshorewind/>
<https://www.damen.com>
<https://chpv.co.uk/portfolio#renewables>
<http://www.windpowerphotos.com/>
<http://www.seajacks.com/self-propelled-jack-up-vessels/>
<https://windcarrier.com/operations-maintenance>
<https://www.hmsbroker.com/vessels-for-charter/wind-turbine-installation-vessels/>
<https://www.renewableenergyworld.com/ugc/articles/2014/11/history-of-wind-turbines.html>
<https://www.flowcut.nl/cases-nl/the-history-of-windturbines-and-windfarms-1>
<https://www.windopzee.net/en/borssele-bwz/data/index.html>
<http://www.noordzeewind.nl/en/knowledge/reportsdata/>
<https://www.geminiwindpark.nl/about-gemini-wind-park.html#o2>



Dr Murat Durak Özgeçmiş

Murat Durak 1971 yılında Urfa’da doğmuştur. 1997 yılında İTÜ Meteoroloji Mühendisliğinden mezun olmuştur. Aynı bölümde rüzgar enerjisi konusunda yüksek lisans ve doktora yapmıştır.

Profesyonel anlamda iş kariyerine 1997 yılında AKEN Akhisar Enerji Üretim San. ve Tic. A.Ş.’de Rüzgar Enerjisi Koordinatörü olarak başlayıp 4 yıl süre ile görev yapmıştır. 2001 yılında Almanya merkezli uluslararası bir şirket olan Umweltkontor Renewable Energy AG’nin Türkiye’de açmış olduğu Umweltkontor Yenilenebilir Enerji A.Ş.’ye Ülke Müdürü olarak işe başlamış ve Kıdemli Proje Müdürü olarak yurtdışı görevlendirmelerinde çalışmıştır. Başta Almanya olmak üzere; Yunanistan, Belçika ve Fransa’da rüzgar proje geliştirme konusunda çalışmıştır. 2004 -2008 yılları arasında GAMA Güç Sistemleri AŞ’de proje müdürü olarak çalışmış ve GAMA Enerji AŞ’nin rüzgar elektrik santral projelerini geliştirmiştir.

2008 yılından bu yana Enermet Enerji Meteoroloji Mühendislik AŞ’yi kurarak aynı şirkette Genel Müdür olarak çalışmalarına devam etmektedir.

Dr Murat Durak, bir çok rüzgar elektrik santral projesi geliştirmiş ve yönetmiştir. Çeşitli ulusal ve uluslararası kuruluş ve organizasyonlarda aktif olarak görev alan Durak, rüzgar enerjisi alanında Türkiye’nin en büyük sivil toplum kuruluşu olan Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği’nin 2007-2011 yılları arasında Yönetim Kurulu Başkanlığı’nı yürütmüştür. Almanya, Kazakistan ve Suudi Arabistan’da çalışmıştır.

Mesleği ile alakalı bir çok makale ve rüzgar ve güneş enerjisi ile ilgili kitapları bulunmaktadır.

Evli ve 2 çocuk babasıdır.



Yük. Müh. Dolunay Güçlüer Küpeli

Dolunay Güçlüer Küpeli 1983 yılında Ankara da doğdu. İlk orta ve lise eğitimini burada tamamladı. İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik /Harita mühendisliğinden 2007 yılında mezun oldu. Yüksek lisansını Konsantre güneş enerji santrallerinin kurulması için en uygun yer araştırmasını çoklu karar sistemine göre Konya ili örneğinde inceledi. Lisans ve yüksek lisans eğitimi sırasında pek çok konferans ve seminerde görev aldı, TÜBİTAK ve diğer arge projelerinde çalıştı, burslu olarak bir sene yurtdışında eğitim gördü. Halen Geomatik bölümündeki doktora eğitimine devam etmektedir.

2009 yılında Ankara’da rüzgar ve güneş enerjisi üzerine proje geliştirme ve proaktif danışmanlık yapan Enermet Enerji Meteoroloji A.Ş. firmasında beş sene kadar çalıştı.

2014 yılından itibaren Borusan EnBW Enerji firmasında çeşitli görevlerde bulunmuştur. Son olarak Rüzgar ve Güneş Mühendisliği departmanında Kıdemli Mühendis olarak görev almaktadır.

Dolunay Güçlüer Küpeli aynı zamanda TWRE (Turkish women in Renewable and enegy) – Enerji ve Yenilenebilir Enerjide Türk Kadınları Grubunda danışma kurulunda görev almaktadır. Yenilenebilir enerji sektöründeki kadın istihdamının artırılması ve kadınların güçlendirilmesi üzerine katkıda bulunmaktadır.

Evli ve bir çocuk annesidir.