Created with a trial version of Syncfusion Essential PDF

Deniz Üstü (Off-Shore) Rüzgâr Santralleri Bilgilendirme Notu

Mart 2021

TSKB

Hazırlayanlar

Çiğdem Demirok – Kredi Tahsis

Emre Yanık – Kalkınma Finansmanı Kurumları

Sena Serhadlıoğlu – Mühendislik ve Teknik Danışmanlık

Zümray Şentürk – Kredi Analiz

İÇİNDEKİLER

Grafik Listesi....iii
Tablo Listesi....iii
Şekil Listesi....iii
Kısaltmalar....iv
1. Yönetici Özeti....1
2. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinin Gelişimi....2
2.1. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinin Gelişimi....2
2.2. Lisans Yarışmaları....3
2.3. Rüzgâr YEKA Gelişmeleri....4
2.4. Deniz Üstü YEKA Gelişmeleri....5
3. Dünyada Deniz Üstü RES Gelişimi....6
3.1. Avrupa....7
3.1.1. İngiltere....7
3.1.2. Danimarka....8
3.1.3. Almanya....8
3.2. Asya ve Amerika....8
3.2.1. Çin....9
3.2.2. Japonya....9
3.2.3. ABD....9
4. Teknik Açıdan Deniz Üstü RES'ler....10
4.1. Meteorolojik ve Oşinografik Parametreler....10
4.2. Rüzgâr Hızı Ölçüm İstasyonları....12
4.3. Türbin Dizilimi ve Enerji Üretim Potansiyeli....13
4.4. Türbin Teknolojisi....14
4.5. Kurulum Gemileri....14
4.6. Şebeke Bağlantısı....15
5. Türkiye'de Deniz Üstü RES Gelişimindeki Engeller....18
5.1. Projenin Konumu ve Yerel Özellikler....18
5.2. Kıta Sahanlığı Mevzusu....19
5.3. Yasal Mevzuat ve İzin Durumları....20
5.4. Finansman Yapısı....21

Grafik Listesi

Grafik 1. Dünya Rüzgâr Santral Kapasite Dağılımı 6

Tablo Listesi

Tablo 1. Gerçekleşen YEKA RES İhaleleri 4
Tablo 2. YEKA RES-1 Kapsamında Önlisansı Olan RES'ler 4
Tablo 3. Ertelenen YEKA Deniz Üstü RES İhalesi 5
Tablo 4. Avrupa'daki Yeni DRES Yatırımların Ülke Dağılımı 7
Tablo 5. 2020 Yılında Asya ve Amerika Kıtalarında Kurulmuş Deniz Üstü RES Kapasiteleri 8
Tablo 6. Deniz Üstü RES'lerde Kullanılan Temel Tipleri 11
Tablo 7. 2020 Yılında Avrupa'da Gerçekleşmiş DRES Yatırımları 17
Tablo 8. Avrupa Deniz Üstü ve Kara Üstü Rüzgâr Yatırımları (Finanse Edilen) 21
Tablo 9. Avrupa Deniz Üstü Ve Kara Üstü Yeni Proje ve Yeniden Finansman Borçları 22

Şekil Listesi

Şekil 1. Deniz Üstü RES'lerde Kullanılan Temel Tipleri 11
Şekil 2. Operasyonel Olarak Kullanılan Deniz Üstü Rüzgâr Ölçüm İstasyonu Tipleri 12
Şekil 3. Deniz Üstü RES'lerde Meydana Gelen İzbölgesi 14
Şekil 4. Deniz Üstü Türbin Kurulum Gemisi Örneği 15
Şekil 5. Deniz Üstü RES'in Şebekeye Bağlanması (Üstten Görünüm) 15
Şekil 6. Türkiye Deniz Üstü RES Potansiyel Haritası 19
Şekil 7. Yunanistan ve Türkiye Tarafından Kabul Edilen Mevcut Deniz Sınırları 20

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BMDHS	Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi
CNY	Çin Yuanı
DRES	Deniz Üstü Rüzgâr Enerjisi Santrali
EÇG	Enerji Çalışma Grubu
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FiT	Tarife Garantisi (Feed-in-Tariff)
GES	Güneş Enerjisi Santrali
GW	Gigavat
GWEC	Global Rüzgâr Enerjisi Konseyi (Global Wind Energy Council)
GWh	Gigavatsaat
kWh	Kilovatsaat
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
MW	Megavat
MWh	Megavatsaat
REPA	Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	Rüzgâr Enerjisi Santrali
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TSKB	Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
TÜREB	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği
TWh	Teravatsaat
YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

1. Yönetici Özeti

Türkiye'de rüzgâr enerjisi üretimi 1998 yılında İzmir'de kurulmuş ve 1,5 megavat (MW) kurulu güce sahip Germiyan Rüzgâr Enerjisi Santrali (RES) ile başlamıştır. 2020 yılı sonu itibarıyla Türkiye'nin rüzgâr enerjisindeki kurulu gücü 8.832 MW olmakla birlikte rüzgârın enerji üretimindeki payı yaklaşık %9'dur.

Dünya geneline bakıldığında mevcut durumda işletmede olan deniz üstü rüzgâr santrallerinin (DRES) büyük bir kısmı Birleşik Krallık, Almanya, Çin, Danimarka, Belçika ve Hollanda'da bulunmaktadır. Küresel Rüzgâr Enerji Konseyi (Global Wind Energy Council) tarafından hazırlanmış Küresel Rüzgâr Raporu 2020'ye göre dünya üzerinde işletmedeki DRES'lerin toplam kurulu gücü 35,2 gigavat (GW) seviyesine ulaşmıştır. Özellikle son 10 sene içinde yaşanan teknolojik gelişmeler, düşen yatırım maliyetleri ve güçlü teşvik programları sayesinde DRES'lerin geliştirilmesine destek vermiştir.

Türkiye'de ise, 2017 yılında düzenlenmiş ilk YEKA ihalesinden sonra Haziran 2018 tarihinde 1.200 MW kurulu güçte DRES ihalesi duyurusu Resmî Gazete'de yapılmıştır, fakat yeterli miktarda talep gelmemesi nedeniyle ihale ileriki bir zamana ertelenmiştir. Bu süreç içerisinde DRES gelişimi için gerekli teknik ve idari altyapının oluşturulması için çalışmalar yapılmıştır.

DRES'lerin kurulacağı alanların belirlenmesi, türbin ve temel tiplerinin belirlenmesi ve ilgili santrallerin potansiyel enerji üretim tahminlerinin yapılabilmesi için çeşitli teknik parametrelerin ölçülerek değerlendirilmesi gerekmektedir. Gerekli meteorolojik ve oşinografik ölçümlerin tamamlanması birkaç yıl sürmektedir, bu nedenle DRES'lerin yatırım dönemi karasal RES'lere oranla daha uzun sürmektedir.

Türkiye'de DRES'lerin kurulumu için yerel özelliklere (örneğin denizlerin hızlı bir şekilde derinleşmesi, deniz tabanı yapısı vb.) dikkat edilerek gerekli meteorolojik ve oşinografik ölçüm verilerinin toplanmasına, finansman yapısının ve mevzuatların belirlenmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

2. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinin Gelişimi

2.1. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinin Gelişimi

1998 yılında İzmir'de 1,5 megavat (MW) kurulu güce sahip Germiyan RES ile başlayan Türkiye'nin rüzgârdan elektrik üretimi macerası, son dönemde yenilenebilir enerji santrallerine verilen teşviklerin etkisiyle hızlanarak sürmektedir. 1998 yıl sonunda 8,7 MW'a yükselen ve toplam kurulu güç içerisinde binde 4 seviyesinde pay alan RES kurulu gücü, 2020 yılı sonu itibarıyla %9'un üzerinde pay ile 8.832 MW'a yükselmiştir.[1] RES kurulu gücünde dikkat çeken diğer bir nokta ise Covid-19 salgını nedeniyle yurtdışı menşeli ekipman tedarikinde zorluk yaşanmasına rağmen 2020 yılının, 2016 yılı ile birlikte en yüksek yıllık kurulu güç artışı (1,2 gigavat) izlenen yıl olmasıdır. 2020 yılında RES kurulu gücündeki artış, Türkiye toplam kurulu gücündeki net 4,6 gigavat (GW) artışta %27'lik bir pay almıştır.

Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği kapsamında üretim faaliyeti göstermek üzere Enerji Piyasası Denetleme Kurumu'ndan (EPDK) lisans almış tüzel kişiler, tesis tamamlanma tarihine kadar gerçekleştirdikleri faaliyetleri her yılın Temmuz ve Ocak aylarında EPDK'ya bildirmekle yükümlüdür. Söz konusu bildirimlerden hareketle, EPDK tarafından Ocak ve Temmuz ayları itibarıyla açıklanan ilerleme raporlarına göre, 2020 Temmuz ayında inşa halindeki toplam 26,8 GW kurulu gücün 4,7 GW'ı (yaklaşık %18'i) RES'lerden meydana gelmektedir. Söz konusu göstergeden RES kurulu gücündeki artışın önümüzdeki dönemde de devam edeceği anlaşılmaktadır.

Kurulu güçlerindeki gelişime paralel olarak elektrik üretiminde de RES'lerin payında artış izlenmektedir. Rüzgârın 2010 yılı genelinde Türkiye toplam elektrik üretiminde %1 olan payı, 2020 genelinde %8 seviyesine yükselmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Fatih Dönmez tarafından yapılan açıklamaya göre, 2021 yılı Ocak ayı genelinde rüzgârdan elektrik üretimi, tarihinde ilk defa aylık bazda %10'u geçmiştir.[2] Söz konusu dönemde elektrik üretiminin %10,7'si RES'lerden sağlanmıştır.

Türkiye'nin rüzgâr potansiyeline çeşitli kamu belgelerinde yer verilmektedir. Mayıs 2020'de yayınlanan Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) 2019-2023 Stratejik Planı'na göre, 2019 yılında 7,6 GW olan RES kurulu gücünün 2023 yılında 11,9 GW'a yükseleceği öngörülmektedir. ETKB Bakan Yardımcısı Dr. Alparslan Bayraktar'ın 11 Mart 2021'de Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) "Turkey 2021: Energy Policy Review" raporu lansmanında yaptığı açıklamaya göre, Türkiye 10 yıl boyunca kurulu gücüne her yıl 1 GW RES ve GES kapasitesi eklemeyi hedeflemektedir.[3] 24 Mart 2021 tarihinde Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB) tarafından düzenlenen TÜREK@home "Türkiye Rüzgâr Piyasa Görünümü" oturumunda bir değerlendirme yapan Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakan Yardımcısı Abdullah Tancan, toplam kurulu gücü 2.000 MW olan mini rüzgâr Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA-RES) yarışması düzenleyeceklerini belirtmiştir.[4]

[1] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ)

[2] https://www.bloomberght.com/ruzgar-elektrigi-ilk-kez-10-u-asti-2275152

[3] IEA, https://www.iea.org/events/turkey-2021-energy-policy-review

[4] https://www.enerjigunlugu.net/ruzgarda-2-bin-mwlik-mini-yeka-yarislari-yolda-42017h.htm, erişim: 29.03.2021

Türkiye'nin rüzgâr enerjisi uygulamaları açısından en iyi alanlarının nereler olduğunun tespit edilmesi ve belirlenen bu alanlardaki rüzgâr enerjisine dayalı elektrik üretim imkânlarının belirlenmesi amacıyla, ETKB tarafından Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Söz konusu Atlas'a göre Türkiye'nin batı bölgeleri, rüzgâr enerjisi potansiyeli kapsamında öne çıkmaktadır ve Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir.[5] Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüzölçümünün %1,3'üne denk gelmektedir.

2.2. Lisans Yarışmaları

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından 2013 yılından açıklanan 3.000 MW yeni RES kapasitesi için başvurular Nisan 2015'te alınmıştır. Ancak, kanuni düzenlenme ve yönetmeliklerdeki eksikler nedeniyle söz konusu dönemde yarışmalar yapılamamıştır. Mevzuattaki eksiklerin giderilmesi amacıyla, "Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Önlisans Başvurularına İlişkin Yarışma Yönetmeliği" 13 Mayıs 2017 tarih ve 30065 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.[6]

Mayıs 2017'deki Yönetmeliği takiben, Haziran 2017'de, TEİAŞ Genel Müdürlüğü tarafından 2018 yılı sonuna kadar bağlanabilir kapasite olarak belirlenen ve Nisan 2015 yılında kapasite için önlisans başvurusu alınan 3.000 MW'lık RES kapasite tahsisinin 710 MW'lık kısmı için açık eksiltme yöntemiyle ihaleler yapılmıştır. Söz konusu ihalelerde birçok tahsis eksi fiyatlarla gerçekleşmiştir. Eksi fiyat öneren yatırımcılar, üretecekleri elektriği sabit bir fiyattan değil, piyasa fiyatına endeksli bir rakam üzerinden satmayı teklif etmişlerdir.

13 Nisan 2017 tarihli Resmî Gazete'de yer alan "Rüzgâr Enerjisi Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) ve Bağlantı Kapasitelerinin Tahsisine İlişkin Yarışma İlanı"na göre 1.000 MW gücündeki rüzgâr enerjisine dayalı elektrik enerjisi üretim tesislerinin kurulacağı rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynak alanlarının tahsis edilmesi amacıyla 7 USDcent/kilovatsaat (kWh) tavan fiyattan yarışma ilanına çıkılmıştır. YEKA kullanım hakkı sözleşmesinin imzalandığı tarihten itibaren 15 yıl geçerli olacağının duyurulduğu ihalede, son teklif verme tarihi 27 Temmuz 2017 olarak belirlenmiştir.

25-29 Aralık 2017 tarihleri arasında 2.130 MW'lık RES bağlantı kapasitesi tahsisi için yarışmalar yapılmıştır. İhalelerde 32 farklı bölgede 76 projeye kapasite tahsis edilerek toplam kapasitenin 2.110 MW'lık kısmı tahsis edilmiştir. Dört gün boyunca en yüksek teklif Ardahan bölgesi için Ceres Elektrik'ten (7,29 USDcent/kWh) gelirken, en düşük teklif PNE Wind Ltd. Şti'nden (-2,87 USDcent/kWh) ile Çanakkale bölgesi için verilmiştir. Bir diğer değişle, üretilen elektriğin geçerli piyasa takas fiyatının 2,87 USDcent/kwh aşağısında bir fiyatla satılması söz konusudur.

EPDK'nın, Mart 2020'de açıkladığı ve 5-9 Ekim 2020 tarihinde alınması planlanan 2.000 MW'lık rüzgâr enerjisi santralleri önlisans başvuruları, 22 Eylül 2020 tarihli Resmî Gazete'de yayınlanan 10 Eylül 2020 tarih ve 9534 sayılı Kurul kararı ile süresiz olarak ertelenmiştir. EPDK tarafından Resmî Gazete'nin 3 Mart 2021 tarihli sayısında yayımlanan Kurul Kararı ile yeni RES yatırımları için sağlanması öngörülen 2.000

[5] 50 metre yükseklikteki yerler ve 7 m/s ve üzeri hızlar dikkate alınarak belirlenmiştir.
[6] Resmi Gazete, https://resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/05/20170513-8.htm

MW'lık önlisans başvuru hakkının bu sefer iptal edildiği açıklanmıştır.[7] Karara göre kapasite; lisanslı yatırımlar yerine, YEKA Yönetmeliği çerçevesindeki yatırımlar için kullandırılacaktır.

2.3. Rüzgâr YEKA Gelişmeleri

ETKB'nin YEKA ismiyle başlattığı yeni süreçte, yerli ekipman üretimi şartıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi için belirli alanların yatırımcılara aktarılmasına yönelik ihaleler düzenlenmektedir. YEKA sisteminde, ihale edilen kurulu gücün bir an önce enerji üretimine geçmesini teşvik etmek amacıyla, satın alım garantisi süresi anlaşma imzalandıktan hemen sonra başlamaktadır.

YEKA ihalelerinde, önceden belirlenen bir tavan fiyat ile kapalı teklif usulü işleyen bir ihalenin ardından en düşük beş teklif açık eksiltmeye davet edilmektedir. Bu kapsamda, tüm isteklilerin ihale duyurusunda belirtilen asgari finansal ve teknik gereksinimleri karşılaması gerekmekte, teklif sahiplerinin teklif ve tamamlama garantilerini ibraz etmeleri istenmektedir.

Bu kapsamda 2015 Eylül ayında Karapınar, YEKA olarak ilân edilmiştir. 2017 ve 2018 yıllarında 1.000'er MW kapasiteli rüzgâr YEKA ihaleleri tamamlanmıştır.

Tablo 1. Gerçekleşen YEKA RES İhaleleri

	YEKA RES-1	YEKA RES-2
Yer	Edirne, Kırklareli, Sivas, Eskişehir	Aydın, Balıkesir, Çanakkale, Muğla
Tarih	03/08/2017	30/05/2019
Kapasite (MW)	1.000	1.000
Kazanan Fiyat	34,8 USD/MWh	35,3-45,6 USD/MWh
Sponsor Şirket	Kalyon, Siemens-Gamesa, Türkerler	EnerjiSA (Aydın, Çanakkale) Enercon (Balıkesir, Muğla)
Satın Alım Garanti Süresi	15 yıl	15 yıl
Yerli Ekipman Oranı	%65	%55

Kaynak: TSKB

Gerçekleştirilen 1.000 MW'lık YEKA RES-1 ihalesini Siemens Gamesa-Türkerler-Kalyon konsorsiyumu kazanmıştır. Siemens Gamesa Yenilenebilir Enerji şirketi, kurulan fabrikada nasel üretimine 2019 yılı Kasım ayı sonunda başlamıştır. Bu proje kapsamında, yapılması planlanan RES için ön lisans başvurusu 2018 yılı Kasım ayında gerçekleştirilmiştir. EPDK, 24 Eylül 2020 tarihinden itibaren geçerli olmak üzere projeler için şirkete iki yıl süre ile önlisans hakkı sağlamıştır.[8] Proje kapsamında 6 RES inşa edilmesi planlanmıştır.

Tablo 2. YEKA RES-1 Kapsamında Önlisansı Olan RES'ler

Önlisans No	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Santral Adı	Kurulu Gücü (MW)
ÖN/9562-22/04627	24/09/2020	24/09/2022	Gürün RES	90
ÖN/9562-20/04625	24/09/2020	24/09/2022	Kangal RES	160
ÖN/9562-21/04626	24/09/2020	24/09/2022	Sergen RES	145
ÖN/9562-19/04623	24/09/2020	24/09/2022	Balkaya RES	260
ÖN/9562-18/04624	24/09/2020	24/09/2022	Eskişehir RES	50
ÖN/9562-17/04622	24/09/2020	24/09/2022	Edirne RES	295

Kaynak: TSKB

[7] Resmi Gazete, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/03/20210303-10.pdf
[8] EPDK, http://lisans.epdk.gov.tr/epvys-web/faces/pages/lisans/elektrikUretimOnLisans/elektrikUretimOnLisansOzetSorgula.xht

2018 yılı Mayıs ayında tamamlanan ve toplam kurulu gücü 1.000 MW olan YEKA RES-2 ihalelerinden ikisini EnerjiSA (2 x 250 MW) ve diğer ikisini Enercon (2 x 250 MW) kazanmıştır. Enercon, Muğla bölgesini 4,00 USDcent/kWh ve Balıkesir bölgesini 3,53 USDcent/kWh fiyat teklifi ile, EnerjiSA ise Aydın bölgesini 4,56 USDcent/kWh ve Çanakkale bölgesini 3,67 USDcent/kWh fiyat teklifi ile kazanmıştır. Her biri 250 MW kurulu güce sahip olan ve Aydın ve Çanakkale'de inşa edilmesi planlanan RES'lerin finansmanı konusunda EnerjiSA, 7 banka ile anlaştığını 21 Eylül 2020 tarihinde duyurmuştur.[9] "Sürdürülebilirlikle Bağlantılı Kredi Sözleşmesi" kapsamında sağlanacak finansman 650 milyon euro tutarındadır.

26 Mart 2020'de Resmî Gazete'de yayımlanan "Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun"a göre daha önce dolar bazında yapılan YEKA ihalelerinde değişikliğe gidilmiştir. Söz konusu değişikliğe göre megavatsaat başına tavan fiyatın döviz yerine Türk lirası üzerinden belirlenmesine karar verilmiştir.[10] 2017'den beri uygulanmakta olan YEKA ihalelerinin 2021 ve sonrasında da Türkiye'nin enerji dönüşümünde önemli bir rol oynamaya devam etmesi öngörülmektedir.

2.4. Deniz Üstü YEKA Gelişmeleri

2017 yılındaki YEKA ihalelerinin ardından 2018 yılında da YEKA ihalelerine devam edilmiştir. Haziran 2018'de 1.200 MW deniz üstü RES (DRES) projesi ihalesinin duyurusu Resmî Gazete'de yapılmıştır.[11] 23 Ekim'e kadar başvuruların tamamlanması gereken ihale, yeterli miktarda talep gelmemesi nedeniyle ertelenmiştir.

Tavan fiyat olan 80 dolar/MWh'dan başlayarak açık eksiltme usulüyle gerçekleşeceği açıklanan ihalede çıkan fiyat üzerinden alınacak elektriğin süresinin, santralin geçici kabulünün yapıldığı tarihten itibaren 50 teravatsaat (TWh) elektriğin sisteme verileceği ana kadarki zaman dilimini kapsayacağı açıklanmıştır. Deniz üstü YEKA'da ayrıca en az %60 yerli katkı oranı belirlenmiştir ve projede çalışacak kişilerin %80'inin Türkiye uyruklu olması gerekmektedir. Söz konusu deniz üstü proje için Saros, Kıyıköy ve Gelibolu aday bölgeler olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Ertelenen YEKA Deniz Üstü RES İhalesi

	YEKA Deniz Üstü RES (Ertelendi)
Yer	Gelibolu, Saroz, Kıyıköy
Kapasite (MW)	1.200
Tavan Fiyat	80 USD/MWh
Satın Alım Garanti Süresi	-
Satın Alım Garanti Miktarı	50 TWh
Yerli Ekipman Oranı	60%

Kaynak: TSKB

[9] https://www.haberturk.com/enerjisa-ya-650-milyon-euro-kredi-2810416-ekonomi

[10] Resmi Gazete, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/03/20200326M1-1.htm

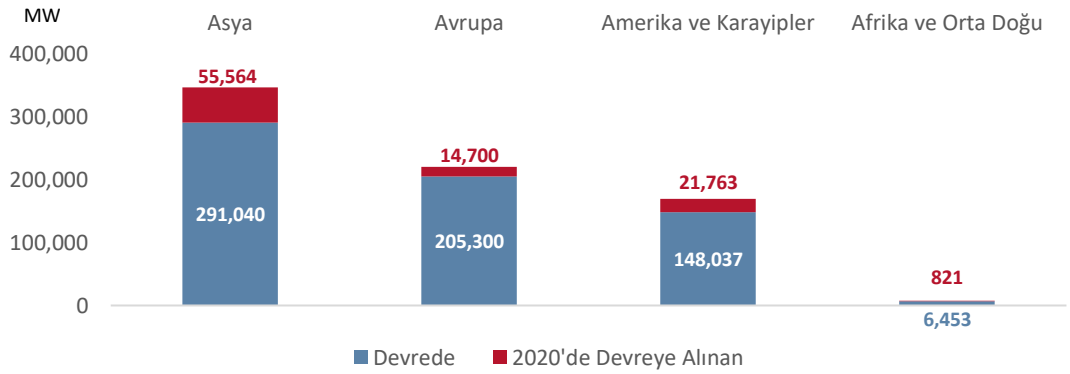
[11] Resmi Gazete, https://www.resmigazete.gov.tr/ilanlar/eskiilanlar/2018/06/20180621-4.htm#%C3%8702

3. Dünyada Deniz Üstü RES Gelişimi

Dünya genelinde artan enerji ihtiyacı, bazı fosil yakıt rezervlerinin kısıtlı olması ve bu yakıtların kullanıldıklarında karbon salımı oluşturmaları nedeniyle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak çeşitli alternatif enerji türleri mevcuttur. Bunlardan biri de özellikle son yirmi yılda hızlı bir artış gösteren DRES'lerdir. Günümüzde DRES ile elektrik üretimi teknolojisi başta Avrupa olmak üzere dünyada giderek yaygınlık kazanmaktadır.[12]

2020 yılı sonu itibarıyla dünyadaki operasyonel rüzgâr santrallerinin toplam kurulu gücünün yaklaşık 743 GW seviyesine ulaştığı tahmin edilmektedir.[13,14] İlgili kurulu kapasitenin %95'inin karasal, %5'lik kısmının ise deniz üstü rüzgâr santrallerinden oluştuğu hesaplanmaktadır. Deniz üstü RES'ler toplam rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulu gücüne oranla küçük bir paya sahiptir; bununla birlikte, özellikle son 10 senede yaşanan teknolojik gelişmeler, düşen yatırım maliyetleri ve güçlü destek programları sayesinde DRES'ler sürekli bir artış göstermiştir. Mevcut durumda, kurulu DRES'lerinin büyük bir kısmı İngiltere, Almanya, Çin, Danimarka, Belçika ve Hollanda'da bulunmaktadır.

Aşağıda yer alan tablo, 2020 yılı sonu itibarıyla kurulu karasal ve deniz üstü RES'lerin toplam kapasitesini göstermektedir. Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi (Global Wind Energy Council, GWEC) tarafından hazırlanan Küresel Rüzgâr Raporu 2020'ye göre, 2020 yılında toplam 6,1 GW kurulu güçte DRES kurulumu yapılarak toplam kurulu güç yaklaşık 35,2 GW seviyesine ulaşmıştır. Aynı raporda, deniz üstü RES'lerin Covid-19 salgınından diğer enerji santrallerine oranla daha az etkilenmiş olduğu da belirtilmektedir.



Grafik 1. Dünya Rüzgâr Santral Kapasite Dağılımı
Kaynak: GWEC ve WindEurope[15], TSKB

Küresel ısınmaya engel olmak maksadıyla yenilenebilir enerji yatırımlarında artış beklentileri devam etmektedir. GWEC'in DRES'lere dair beklentileri, mevcut durumdaki DRES kapasitesine 2024 yılına kadar yeni 48 GW kapasite ekleneceği ve 2025-2030 yılları arasında ise ilave 157 GW kurulu güçte yatırımın

[12] Şahin, M., E., (2020), Açık deniz rüzgâr sistemleri üzerine bir inceleme ve Danimarka modeli, R.T. Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1, (1), sayfa:54-67
[13] GWEC, Windsights, https://gwec.net/windsights/, erişim: 22.03.2021
[14] WindEurope (2021), Wind Energy in Europe, 2020 Statistics and the Outlook For 2021-2025
[15] GWEC Windsights ve WindEurope (2021) istatistikleri kullanılarak grafik oluşturulmuştur.

yapılacağı yönündedir.[16] Aşağıda dünyadaki coğrafi bölgeler ve ülkeler itibarıyla DRES'lerin gelişimine kısaca değinilmektedir.

3.1. Avrupa

Dünyadaki ilk DRES, 1991 yılında Danimarka'da kurulmuştur.[12] 2020 yıl sonu itibarıyla Avrupa'nın toplam kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi 220 GW seviyesine ulaşmış olup bu kapasitenin 195 GW'lık kısmı karasal, 25 GW'lık kısmı ise deniz üstü RES'lerden oluşmaktadır.[14] Avrupa'da 2020 yılında toplam 2.927 MW kurulu gücünde DRES devreye alınmıştır. Hollanda 1.495 MW yeni kapasite ile Avrupa bölgesinde en yüksek yatırımları tamamlayan ülke olmuştur. Avrupa Birliği Ulusal Enerji ve İklim Planları kapsamında 2021-2025 yılları arasında bölgede 29.000 MW yeni DRES kurulumu hedeflenmektedir.[14]

Tablo 4. Avrupa'daki Yeni DRES Yatırımların Ülke Dağılımı

2020 Yılı Yeni Yatırımların Ülke Dağılımı	MW
Hollanda	1.495
Belçika	710
İngiltere	485
Almanya	220
Portekiz	17
Toplam	**2.927**

Kaynak: WindEurope, TSKB

3.1.1. İngiltere

Ülkenin coğrafi konumu ve iklim koşulları nedeniyle İngiltere'de yenilenebilir enerji kaynakları çerçevesinde hem deniz üstü hem de karasal rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulmasına odaklanılmıştır.

Ülkede ilk DRES işletimine 2000 yılında başlanmıştır ve 2020 yıl sonu itibarıyla yaklaşık 10.428 MW kurulu kapasite bulunmaktadır. Mevcut durumda, dünyanın en büyük DRES santrallerinden sayılan ve İngiltere'nin doğu kıyısına 120 km uzaklıkta bulunan Hornsea Rüzgâr Santrali'nin[14] kurulu kapasitesi 1.218 MW'tır.

Ülkede 2013 yılında uygulamaya konulmuş "Elektrik Piyasası Reformu" kapsamında tüketicilere ve geliştiricilere değişken toptan satış fiyatlarından doğrudan koruma sağlayan ve DRES proje geliştiricileri için ön yatırım maliyetlerini teşvik eden bir fark kontratı (*contract for differnece, CfD*) programı kullanılmaktadır.[17]

Wind Europe raporuna göre 2021-2025 dönemleri arasında İngiltere'de 15.000 MW kurulu güce sahip yeni DRES yatırımları yapılması beklenmektedir.[18] 2050 yılına kadar net sıfır karbon emisyonu hedefleyen İngiltere, 2030 yılına kadar elektriğinin üçte birini de DRES'lerden karşılamayı planlamaktadır.

[16] Global Wind Energy Council (GWEC), https://gwec.net/gwec-wind-power-industry-to-install-71-3-gw-in-2020-showing-resilience-during-covid-19-crisis/#:~:text=5%20November%20%2C%202020,GWEC%3A%20Wind%20power%20industry%20to%20install%2071.3%20GW%20in%202020,crucial%20contribution%20to%20economic%20recovery, erişim: 22.03.2021

[17] GWEC, Global Offshore Wind Report 2020

[18] WindEurope (2021), Wind energy in Europe 2020 – trends and statistics

3.1.2. Danimarka

Dünyadaki ilk DRES kurulumu Danimarka'da gerçekleşmiştir. Yüzey alanı küçük olan ülke, 1970'lerde yaşanan küresel elektrik krizi sonrasında DRES teknolojisine yönelmiştir.[17] 2020 yılı sonu itibarıyla ülkede kurulu DRES'lerin toplam gücü 1.703 MW seviyesine ulaşmıştır.

Ülkede, enerji sektörünün özelleştiği 2002 yılına kadar, yenilenebilir enerji projeleri kamu hizmeti yükümlülüğü tarifesi kapsamında finanse edilmiştir. Daha sonrasında ise 20 yıla kadar dengeleme sübvansiyonlu tarife garantisi (Feed-in-Tariff, FiT) ile bir fiyatlandırma sağlanmıştır.[17]

Ülkede, DRES yatırımlarıyla ilgili araştırma-geliştirme çalışmaları sürdürülerek teknolojinin ilerlemesi ve altyapısının güçlenmesi için çalışılmaktadır.

3.1.3. Almanya

Ülkede tarife garantisi Nisan 2000'de yürürlüğe girmiştir.[17] Almanya'daki ilk DRES projesi 2003 yılında gerçekleştirmiş olup 2020 yıl sonu itibarıyla DRES toplam kurulu kapasitesi 7.689 MW seviyesine ulaşmıştır. Wind Europe'a göre 2021-2025 dönemleri arasında Almanya'da 16.000 MW RES yatırımı yapılacağı ve bu kapasitenin 3.000 MW'lık kısmını DRES yatırımlarının oluşturacağı tahmin edilmektedir.[14]

3.2. Asya ve Amerika

Asya Bölgesinde ilk DRES yatırımı Japonya tarafından 2003 yılında gerçekleştirilmiş, fakat sonrasında uzunca yıllar önemli bir gelişim kaydedilmemiştir. 2014 yılında Çin hükümetinin Ulusal Deniz Üstü Rüzgâr Enerji Gelişim Planı'nı açıklamasından sonra 2017 yılında Çin 1.000 MW'lık DRES kurulumlarını gerçekleştirebilecek konuma gelmiştir.[17] Bölgedeki toplam kurulu DRES kapasitesinin %95'i Çin'de konumlanmış durumdadır. 2020 yıl sonu itibarıyla Çin'de kurulu DRES'lerin toplam kapasitesi dünyadaki kurulu kapasitenin yaklaşık %28'ini oluşturmaktadır.[13] Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi Pazar Bilgisi (market intelligence) tahminlerine göre önümüzdeki 5 yıl boyunca Çin Asya Bölgesi'ndeki DRES yatırımlarını %70'e yakın pazar payı ile domine edecektir. Tayvan'ın ise bölgede Çin'den sonra gelecek en büyük ikinci kapasiteye ulaşılması beklenmektedir.

Amerika ve Karayip bölgesinde en fazla DRES yatırımları Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından yapılmaktadır. ABD'deki ilk DRES yatırımı toplam kapasitesi 30 MW olan Block Island Rüzgâr Santrali'dir. Teknik olarak ülkedeki toplam deniz üstü rüzgâr enerjisi kaynak potansiyelinin 2.000 GW seviyesinde olduğu belirtilmektedir.[17]

Tablo 5. 2020 Yılında Asya ve Amerika Kıtalarında Kurulmuş Deniz Üstü RES Kapasiteleri

Ülkeler	MW
Çin	3,061
Güney Kore	60
ABD	12
Toplam	**3,133**

Kaynak: GWEC, TSKB

3.2.1. Çin

Çin'in ilk DRES projesi 2010 yılında kurulmuş Donghai Bridge RES'tir. Çin'deki DRES ile ilgili asıl gelişmeler ancak 2014 yılında Ulusal Enerji İdaresi'nin "Ulusal Deniz Üstü RES Geliştirme Planı"nın ve ilk tarife garantisinin (FiT) duyurulmasından sonra hız kazanmıştır. DRES'ler için tarife garantisi Çin Yuanı (CNY) 0,85/kWh olarak belirlenmiştir. [17]

2020 yılına gelindiğinde ülkede başlayan ve sonrasında dünyaya yayılan Covid-19 salgınına rağmen Çin'de 52 GW kurulu RES yatırımları devreye alınmış, rüzgârda rekor büyüklükte yatırım gerçekleştirilmiştir.[19] Bu yıl içinde devreye alınan yatırımlardan 3.061 MW'lık kısım DRES yatırımları olup bu sayede toplam DRES kurulu güç kapasitesi 9.897 MW seviyesine ulaşmıştır. Proje geliştiricileri ve yatırımcılar, 2021 yılı sonuna kadar geçerli olan CNY 0,85 /kWh düzeyindeki destek tarifesinden yararlanmak için projelerini devreye almaya çalışmaktadırlar.[17] 2022 ve sonrasında teşviklerin kalkmasıyla DRES yatırımlarının düşeceği yönünde bir beklenti mevcuttur.

Çin'in 2060 yılında karbon sıfır ülke konumunda olabilmesi için 2021-2025 yılları arasında yıllık 50.000 MW ve 2026 sonrasında ise yıllık 60.000 MW rüzgâr enerji yatırımı yapması gerekeceği belirtilmektedir.[19] Ancak bu ölçüde bir rüzgâr yatırımının gerçekleşip gerçekleşmeyeceği, gerçekleşse bile bunun ne kadarının DRES yoluyla olacağı konusunda net bir öngörü bulunmamaktadır.

3.2.2. Japonya

2011'de Yenilenebilir Enerji Yasası'nın onaylanmasının ardından, Japonya Haziran 2012'de rüzgâr enerjisi için tarife garantisi başlatmıştır. Satın alma fiyatları yüksek olmasına (20 yıl alım garantisi ile kara RES'leri için EUR 0,17/kWh; DRES için EUR 0,28/kWh) rağmen, nispeten karışık izin ve onay süreçleri ülkede RES yatırımlarının yapılmasında zorluklar meydana getirmiştir. Kasım 2018'de Japonya, DRES projeleri için önceden belirlenmiş bölgelerde yapılacak rekabetçi ihaleler yürütme kararı almıştır. Mart 2020'de ise Ekonomi ve Ticaret Bakanlığı, 2020 mali yılı için FiT fiyatlarını açıklamıştır. Yatırımcının ilgisini DRES gelişimine yönlendirmek için Japon Yeni (JPY) 36/kWh fiyatından başlayan bir açık artırma sistemine geçilmiştir.[17]

3.2.3. ABD

ABD'de ilk DRES yatırımı 2016 yılında 30 MW kurulu gücündeki Block Island RES ile Rhode Adası'nda gerçekleştirilmiştir. Ülkedeki federal yönetim biçiminin farklı eyaletlerde farklı uygulamalar/kurallar getirmesinden ötürü DRES yatırımlarının ilerlemesi yavaş seyretmiştir. 2020 yılında 12 MW kurulu gücünde pilot bir DRES projesi Okyanus Enerjisi Yönetim Bürosu tarafından devreye alınmıştır. Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi'ne göre 2026 yılına kadar toplam 10.603 MW kurulu gücünde 15 adet DRES projesinin gerçekleştirilmesi beklenmektedir.[17]

[19] GWEC, https://gwec.net/a-gust-of-growth-in-china-makes-2020-a-record-year-for-wind-energy/#:~:text=Excluding%20this%20latent%20volume%2C%20the,China%20would%20total%2045.4%20GW.&text=45.5%20GW%20is%20still%20a,for%20the%20Chinese%20wind%20market, erişim: 22.03.2021

4. Teknik Açıdan Deniz Üstü RES'ler

Karasal RES'lerin kurulumundan deniz üstünde kurulacak santrallere geçişi destekleyen çeşitli teknik ve sosyal faktörler bulunmaktadır. Teknik açıdan en önemli faktörler arasında ortalama rüzgâr hızlarının deniz üstünde daha yüksek ve türbinlerin maruz kaldığı türbülansların daha düşük olması sayılabilir.[20] Üretilecek enerji, rüzgâr hızıyla doğrudan ilintili olduğu için, denizlerde daha yüksek bir enerji potansiyeli bulunmaktadır. DRES'lerin yerleşik alanlardan uzak olması nedeniyle görsel etkinin azalmasında etkisi vardır. Ayrıca santrallerin kurulumu ve işletmesi sırasında limanların kullanımında artışa ve istihdam yaratımına katkı sağlanmaktadır.

RES projelerinin yaşam döngüsü genel olarak 5 ana başlıkta toplanabilir.[21] Bu başlıklar; projenin fizibilitesi (geliştirme öncesi), proje geliştirme, inşaat, işletme ve devreden çıkarma (decommissioning) olarak özetlenebilir. Bu bölümde, özellikle DRES'lerin konumuna ve saha için uygun türbin ve temel tipine karar verilmesindeki en önemli etmenler olan teknik ölçümler, analizler (nümerik modeller) ve gerekli teknolojiler (örneğin kurulum gemileri) ele alınacaktır.

4.1. Meteorolojik ve Oşinografik Parametreler

RES'lerin (ister karasal ister deniz üstü) sağlıklı bir şekilde tasarlanması ve geliştirilmesi için özellikle projenin fizibilite döneminde çeşitli teknik değerlerin düşük belirsizliklerle ölçülmüş olması gerekmektedir. DRES'lerin geliştirilmesi için yapılacak ölçümlerin hem meteorolojik (ortalama rüzgâr hızları, yönleri, sıcaklık, nem oranı vb.) hem de oşinografik (dalga boyu, ortalama dalga hızı, akım vb.) parametreleri içermesi gerekmektedir.[21]

Meteorolojik faktörler santralin nereye kurulması gerektiği, sahaya uygun türbin tipinin belirlenmesi, santraldeki türbinlerin dizilimi ve üretilecek potansiyel enerjinin hesaplanmasında girdi sağlamaktadır. İlgili meteorolojik parametrelerin ölçülmesinde kullanılan ölçüm istasyonları hakkında bir sonraki başlıkta bilgi verilecektir. Kurulacak rüzgâr ölçüm istasyonlarında, en az 1 (bir) sene süre ile ölçüm noktalarındaki ortalama rüzgâr hızları, rüzgâr yönü hava yoğunluğu, bağıl nem, sıcaklık ve basınç gibi parametreler ölçülmektedir. Böylelikle kurulması planlanan RES'in yerel rüzgâr koşulları belirlenerek rüzgâr akış modellerine girdi sağlanmaktadır. Bu nümerik modeller ile, rüzgâr türbinlerinin olası konumu ve rüzgâr türbinlerinin güç eğrileri kullanılarak bölgenin potansiyel enerji üretim değerleri hesaplanmaktadır. İlgili rüzgâr ölçümlerinin farklı yüksekliklerde gerçekleştirilmesi ve düşünülen türbin göbek yüksekliğine ekstrapole edilmesi önem taşımaktadır. Bu işlem sırasında oluşacak belirsizlikleri azaltmak için ilgili ölçüm yüksekliklerinin planlanan türbin göbek yüksekliğine yakın mertebelerde olması gerekmektedir. DRES kurulumlarında genellikle 100 metre ve üstü türbin göbek yükseklikleri kullanıldığından, yapılacak ölçümlerin de bu yükseklikler çerçevesinde yapılması beklenmektedir.

Bölgenin oşinografik özellikleri ise suyun fiziksel özellikleri (sıcaklık, yoğunluk, tuzluluk vb.), dalga, akıntı, su seviyesi gibi parametreleri içermektedir. Bu özellikler incelenerek kurulacak deniz üstü türbinlerinin

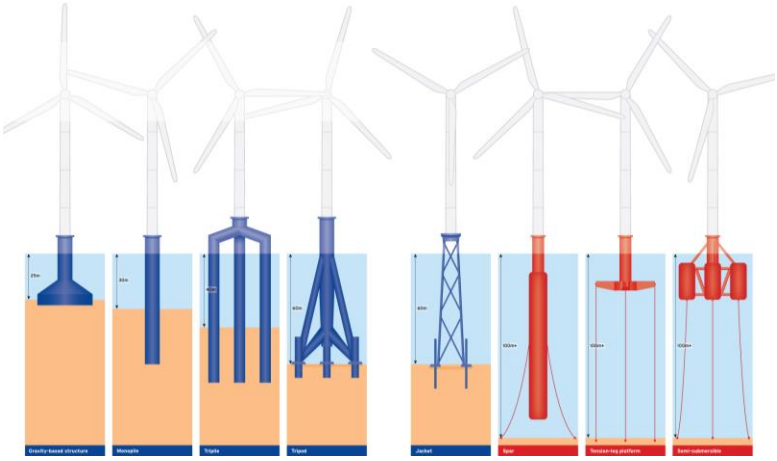
[20] Serri, L. ve diğerleri, "Floating offshore wind farms in Italy beyond 2030 and beyond 2060: Preliminary results of a techno-economic assessment", *Applied Sciences* (2020), **10**, 8899

[21] AWS Truepower (2015), Metocean data needs assessment for U.S. offshore wind energy, Prepared for US Department of Energy, Contract DE-EE0005372: National Offshore Wind Energy Resource and Design Data Campaign – Analysis and Collaboration

yapısal yükleme hesaplamaları ve korozyon tahminleri yapılmakta, şantiye erişimi ve inşaat planlaması gibi konular için de girdi sağlanmaktadır.[21]

Meteorolojik ve oşinografik parametrelerin yanı sıra, DRES'lerin kurulacağı denizlerdeki su derinlikleri ve deniz tabanı topografyası (batimetri) da oldukça önemli bir unsurdur. Kurulacak DRES'in temel tipi seçimi bölgenin batimetrik özellikleri dikkate alınarak yapılmaktadır. DRES'lerin dünya çapındaki uygulamalarında en çok 3 çeşit temel karşımıza çıkmaktadır:[22]

- Ağırlık tipinde,
- Kazıklı tipte (tekil kazıklı, grup kazıklı, jacket (kafesli kazıklı)),
- Yüzer tip.



Şekil 1. Deniz Üstü RES'lerde Kullanılan Temel Tipleri
(Soldan sağa: ağırlık temel, tekil kazıklı, üç kazıklı, grup kazıklı, kafesli kazıklı, seren (spar) yüzer, çekme kazıklı (tension-leg) platform, yarı dalmış (semi-submersible) yüzer) ve deniz derinlikleri
Kaynak: Wind Power Monthly[22]

Aşağıdaki tabloda ilgili temellerin kurulabileceği derinlikler ve özellikleri özetlenmektedir:[23]

Tablo 6. Deniz Üstü RES'lerde Kullanılan Temel Tipleri

Temel Tipi	Derinlik (m)	Özellikler
Ağırlık temeller	<25	• Sığ sular için tercih edilen bir temel tipidir. • Betonarme veya balast malzemeyle doldurulmuş çelik kesonları kullanılarak hazırlanırlar. • Bu temeller için deniz tabanında hazırlık yapılması gerekmektedir. • Rüzgâr ve dalga kaynaklı yüklere öz ağırlığı ile karşılık vermektedir.
Kazıklı temeller	Tekil kazıklı (monopile) <30; Üç kazıklı (tripile) <40;	• Tekil kazıklı temeller sığ sularda en yaygın olarak kullanılan temel tipidir. • Tekil kazıklı temeller diğer kazıklı temellere oranla inşası daha kolay ve kurulumu daha ekonomiktir. • Tekil kazıklı temellerin dikimi için sınırlı zemin alanı gereklidir ve inşaatı için deniz tabanında asgari hazırlık gerekmektedir.

[22] https://www.windpowermonthly.com/article/1210054/foundations-types-depth-limits-alternative-solutions, Son erişim: 19.03.2021
[23] Hujav, N., Caceoğlu, E., ve Baidol, Y., "Deniz üstü rüzgâr türbinleri: temel tipi seçimi ve deniz tabanı zemin araştırmaları, 5. İzmir Rüzgâr Sempozyumu (2019), syf: 197-210.

Temel Tipi	Derinlik (m)	Özellikler
	Grup kazıklı(tripod) <60; Kafesli (jacket) <60	• Grup kazıklı temeller tekil kazıklılara oranla daha derin sularda kullanılır, fakat bu temelin yerleştirilmesi daha pahalıdır. • Kafes sistemli (jacket) temeller, yapının stabilitesi için deniz tabanına çakılan temeller üzerine oturtulmaktadır. • Kafes sistemli temeller, zemin şartlarına tekil kazıklı temellere oranla daha az hassastırlar.
Yüzer	> 60	• Deniz derinliklerinin yüksek olduğu noktalarda bahsedilen diğer temel tipleri ekonomik olmaktan çıktıkları için yüzer tipte temeller kullanılmaktadır. • Bu tipteki temeller statik yükün dengelenmesi için kullanılan yöntemlere göre farklılık göstermektedir (bakınız Şekil 1 kırmızı ile gösterilmiş temeller)

Kaynak: Hujav, N., Caceoğlu, E., ve Baidol, Y (2019)

4.2. Rüzgâr Hızı Ölçüm İstasyonları

Bir önceki bölümde bahsedilmiş meteorolojik parametreler farklı platformlar üzerine monte edilecek sensörler ile ölçülebilmektedir. Uygulamada en yaygın olarak kullanılan platformlar, denizde kurulan sabit temelli ölçüm direkleri (bakınız Şekil 2a) ve yüzer (bakınız Şekil 2b) ölçüm istasyonlarıdır.

a) Sabit temelli rüzgâr ölçüm direği
Kaynak: Munoz-Esparza, D. ve diğerleri[24]

b) Yüzen LIDAR (Floating Lidar, FLidar)
Kaynak: Axys Technologies[25]

Şekil 2. Operasyonel Olarak Kullanılan Deniz Üstü Rüzgâr Ölçüm İstasyonu Tipleri

Sabit temelli ölçüm direkleri, ortalama olarak azami 60 metreye kadar derinlikteki denizlerde kurulan ve deniz tabanına temeli bulunan platformlardır. Bu tipteki ölçüm platformlarına karasal rüzgâr ölçüm direklerindeki gibi direkler dikilmekte, çeşitli yüksekliklerde anemometre ve rüzgâr yön sensörleri gibi

[24] Munoz-Esparza, D. ve diğerleri, "Turbulent fluxes, stability and shear in the offshore evironment: Mesoscale modelling and field observations at FINO1", *Journal of Renewable and Sustainable Energy* (2012), **4**, 063136

[25] "FLiDAR NV acquired by AXYS Technologies", https://axystechnologies.com/flidar-nv-acquired-by-axys-technologies/ erişim: 17.03.2021.

sensörler konumlandırılarak meteorolojik ölçümler yapılmaktadır. Sabit temelli ölçüm direklerinin ekonomik bir şekilde kurulumu deniz derinliği arttıkça azalmaktadır. Fakat birazdan bahsedilecek olan yüzer sistemlere oranla, oşinografik parametrelerin de ölçülmesine olanak sağladıklarından, özellikle uzun dönemli ölçümler için sabit temelli direkler idealdir. Sabit tabanlı ölçüm platformu ile ölçülebilecek oşinografik parametreler kapsamında dalga yüksekliği, deniz suyu sıcaklığı, basınç, iletkenlik değerleri sayılabilir.[26] Sabit tabanlı ölçüm direklerinin bir diğer avantajı ise kurulu oldukları alandaki denizaltı ekolojisi ile ilgili veri toplanmasına olanak sağlamalarıdır. Fakat bu platformların kurulumu genellikle oldukça pahalıdır ve bozulan sensörlerin değiştirilmesi, bakım-onarım faaliyetleri gibi konular oldukça masraflı ve zordur. Teknik açıdan düşünüldüğünde, sabit temelli ölçüm direklerinin kurulması ile santralin kurulacağı alanda sadece tek bir ölçüm yapılmış olması, santraldeki tüm türbin noktalarının temsil edilememesine neden olmaktadır.

Yüzer ölçüm istasyonlarının kurulumu sabit tabanlı ölçüm direklerine oranla çok daha kolay ve daha az maliyetlidir. Daha da önemlisi, düşünülen santral sınırları içinde belirli sürelerde ölçümler tamamlandıktan sonra istasyonların farklı noktalara taşınması ve böylece birden fazla noktada rüzgâr ölçümleri yapılarak yerel rüzgâr koşullarının daha iyi anlaşılması mümkün olabilmektedir. Yüzer ölçüm istasyonlarına entegre edilmiş bir uzaktan algılama (remote sensing) cihazı ile (örneğin Lidar) deniz seviyesinden belirli yüksekliklerde, belli açılarda çoklu lazer ölçümleri toplanarak üç boyutlu rüzgâr hızı bileşenleri çözümlenmektedir.[21] Yüzer ölçüm istasyonlarının kurulum ve kullanım masrafları sabit temelli ölçüm direklerine oranla yaklaşık olarak 10 kat daha az maliyetlidir.[27]

Yapılacak ölçümlerin en az 1 sene ve yüksek emreamadeliklerle toplanması, mümkünse daha uzun yıllar ölçümlere devam edilmesi gerekmektedir. Böylelikle bölgesel rüzgâr ve deniz koşulları daha yüksek doğruluk payı ile değerlendirilebilmektedir.

4.3. Türbin Dizilimi ve Enerji Üretim Potansiyeli

Bir RES'te farklı türbin noktalarında ve belli bir türbin göbek yüksekliğinde rüzgâr hızı tahminleri yapılabilmesi için çeşitli nümerik modeller kullanılmaktadır. Önceki bölümlerde anlatılmış olan meteorolojik parametrelerin ölçülmesinde kullanılmış enstrümantasyon, ölçüm süresi, miktarı ve kalitesi, kullanılacak nümerik model sonuçlarının doğruluğunu birebir etkilemektedir.[21] Hazırlanan nümerik model sonuçları daha sonrasında seçili türbin özellikleri (örneğin türbin güç eğrileri) de hesaba katılarak santralin potansiyel enerji üretim analizi çalışmalarında kullanılmaktadır.

Santralde üretilecek potansiyel enerji miktarını etkileyen bir diğer husus da türbinlerin birbirlerine karşı olan konumlandırmalarıdır. Türbinden geçen rüzgârın enerjisinin bir kısmı türbin tarafından alınmaktadır ve türbin arkasındaki rüzgârın hızında bir düşüş, türbülans enerjisinde ise bir artış meydana gelmekte, bu da momentum kaybına neden olmaktadır.[28] Türbinin arkasında kalan bu türbülanslı alan izbölgesi (*wake*) alanı olarak tanımlanmaktadır.

[26] Durak, M. (2019), *Denizüstü rüzgâr elektrik santral (DRES) projeleri için rüzgâr ölçümleri*, 5. İzmir Rüzgâr Sempozyumu, İzmir
[27] Bingöl, F. (2019), *Ege Denizi rüzgâr atlası ve deniz üstü rüzgâr ölçümleri, 5. İzmir Rüzgâr Sempozyumu*, İzmir
[28] Önel, H., C. (2019), *Numerical simulations of wind turbine wake interactions using actuator line and LES models*, Thesis, Middle East Technical University

Türbinlerin birbirleriyle olan mesafeleri arttıkça türbülans kaynaklı enerji kayıpları meydana geldiği için santralin enerji üretim potansiyeli düşmektedir. Büyük çapta kurulan DRES'lerde birden fazla türbin sırası bulunması durumunda türbülans kaynaklı enerji kayıpları %15-20 seviyelerinde olabilmektedir. Enerji kaybı haricinde, mesafe kaynaklı artan türbülans nedeniyle türbinlerin üzerindeki yapısal yükler de artmakta ve ekonomik ömürleri azalmaktadır.[28]

Şekil 3. Deniz Üstü RES'lerde Meydana Gelen İzbölgesi
Kaynak: Önel, H., C. (2019)

4.4. Türbin Teknolojisi

Deniz üstü rüzgâr türbinlerinin kurulu gücünde 2015 yılından itibaren yıllık olarak yaklaşık %16 seviyesinde artış meydana gelmektedir.[29] WindEurope'un Avrupa'daki DRES'lerin ve büyüme trendlerinin incelendiği raporunda belirtildiği üzere, 2020 yılında kurulan DRES'lerde kullanılan türbinlerin ortalama nominal kurulu gücü 8,2 MW'tır. Türbinlerin kurulu kapasitelerindeki artışın 2022'den sonra devreye girecek projeler için yaklaşık 10 MW-13 MW arasında olacağı öngörülmektedir. Aynı raporda, Avrupa'da 2020 yılında toplam kurulu gücü 2.918 MW olan DRES'lerin kurulduğu belirtilmektedir. 2020 yılı içerisinde kurulmuş kapasitenin 1.493 MW'ı Hollanda, 706 MW'ı Belçika ve 483 MW'ı İngiltere tarafından kurulmuştur.

Raporda, geçtiğimiz sene için Avrupa'da en çok tercih edilmiş türbin tipinin 8 MW ile 8,4 MW arasında kurulu kapasite ile çalışabilen Siemens-Gamesa SG 8.0-167 DD türbini olduğu, Siemens-Gamesa'yı ise Vestas'ın V164-9,5 MW türbin tipinin izlediği belirtilmiştir.

4.5. Kurulum Gemileri

DRES'lerin kurulumları için gerekli gemilerin (içindeki kaldırma ekipmanları dahil) seçimi, inşaat öncesi dönemde izlenmiş meteorolojik (örneğin rüzgâr hızı) ve oşinografik parametreler (örneğin dalga yüksekliği) çerçevesinde yapılmaktadır.[21] DRES kurulum gemileri arasında kablo döşeme, kaldırma (jack-up), taşıma, vinç, işçilerin konaklama gemileri sayılabilir. Kaldırma ve kablo döşeme gemileri, kurulacak platformların dengesini sağlamak amacıyla deniz tabanına sabitlenecek ayaklar bulundururlar.

[29] WindEurope (2021), Offshore Wind in Europe – key trends and statistics 2020

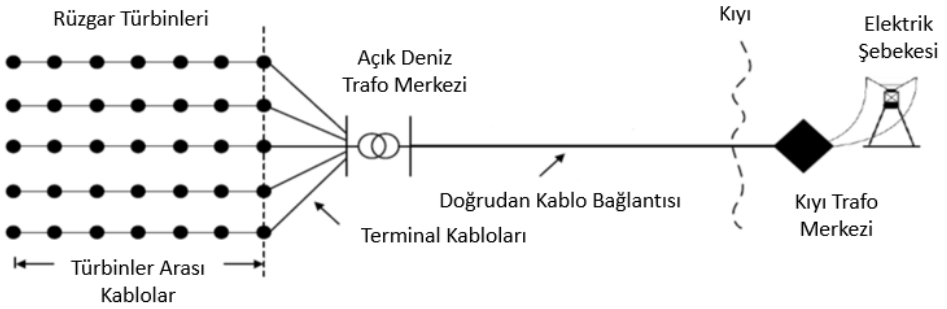
DRES kurulum gemilerinin tasarımının iyileştirilmesi ile daha zorlu meteorolojik ve deniz koşulları altında çalışmaları sağlanabilirse, gemilerin operasyonel çalışma saatleri artarak inşaat kalemine ait maliyetler azalabilir.[30] Deniz üstü operasyonlarda kullanılan gemilerinin teknik olarak tasarımlarının iyileştirilmesi halihazırda devam eden araştırma konularından birisidir.

Şekil 4. Deniz Üstü Türbin Kurulum Gemisi Örneği
Kaynak: DNV [31]

WindEurope'un raporunda bahsedildiği üzere 2020 yılında kurulan DRES'lerde aktif olarak yer almış en az 9 adet gemi tedarikçisi bulunmaktadır.[29] Bu gemi tedarikçileri, türbin temellerinin, türbinlerin ve deniz üstü trafo merkezlerinin kurulumunda ve türbinler arası kablo bağlantıları ile deniz üstü trafo merkezinden karadaki trafo merkezine olan kablolama işlemlerinde yer almışlardır.

4.6. Şebeke Bağlantısı

DRES'lerin ulusal şebekeye bağlantısının sağlanması hem teknik hem de mevzuat açısından çeşitli zorlukları beraberinde getirmektedir. Şekil 5'te DRES'ten üretilen elektriğin şebekeye ulaştırılması gösterilmektedir.[32]



Şekil 5. Deniz Üstü RES'in Şebekeye Bağlanması (Üstten Görünüm)
Kaynak: Rentschler, M., U., T., ve diğerleri (2020)

[30] LeanWind (2017), *Driving cost reductions in offshore wind*, The LeanWind Project Final Publication
[31] DNV, https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Fresh-breeze-for-offshore-wind-farms.html, erişim: 21.03.2021
[32] Rentschler, M., U., T., ve diğerleri (2020), Parametric study of dynamic inter-array cable systems for floating offshore wind turbines, *Marine Systems and Ocean Technology*, 15, syf:16-25.

Türbinlerin birbirleri ile bağlanmasıyla bir şebeke hattı oluşmaktadır. Oluşan şebekenin nihai bağlantı noktası bir açık deniz trafo merkezinde sona ermektedir, böylelikle türbinlerden üretilen enerji buradaki trafo merkezinde toplanmaktadır. Açık deniz trafo merkezinde toplanan enerji deniz altı kablolarıyla kıyıdaki trafo merkezine aktarılmaktadır.[32]

Teknik açıdan bakıldığından santralin kıyıya olan mesafesi ve bağlantı noktasındaki şebekenin emreamadeliği karşılaşılan en önemli iki kısıtlayıcı faktördür.[33] DRES projelerinin kıyıdan uzaklığı, santralin karada bulunan iletim sistemine bağlanması için gerekli yer altı kablolama uzunluklarının ve kablo kaynaklı enerji kayıplarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Santral kıyıdan uzaklaştıkça gerekli yer altı kablo miktarı artacağı için proje yatırım maliyetleri artmaktadır.[34] Kablolama haricinde, deniz üstü trafo merkezinin kurulumu için gerekli izinlerin alınması, kurulumu ve/veya işletimini üstlenecek partinin belirlenmesi gibi konular da belirlenmelidir.[35]

DRES kurulumları ile yüksek güç kapasiteleri sağlanabilmektedir, fakat santralin iletim sistemi üzerindeki etkileri yatırım öncesinde dikkatli bir şekilde incelenmelidir.[21]

4.7. Yatırım ve İşletme Giderleri

DRES'lerin yatırım maliyetlerine çeşitli faktörler etki etmektedir. Bunlardan bazıları şöyledir:[36]

- Santralin boyutu,
- Deniz derinliği, santralin kıyıya uzaklığı, şebekeye bağlantı, alandaki dalga yüksekliği gibi mekâna yönelik değişken koşullar,
- Tedarik zincirine bağlı kısıtlar (örneğin kurulum gemilerinin tedariki, vasıflı işçi bulmaktaki sorunlar),
- Emtia ve enerji fiyatları,
- Döviz kurları,
- Ekipman tedarikçilerinin ve kurulum şirketlerinin farklı fiyatlandırma stratejileri.

Toplam yatırımın yaklaşık %30-%45'i arasındaki maliyetin türbinlerin tedariki için harcandığı öngörülmektedir.

WindEurope'un hazırladığı "Avrupa'da Deniz Üstü Rüzgâr İstatistikleri 2020" raporunda belirtildiği üzere 2020 yılında toplam kurulu gücü 7,1 GW olan yeni DRES yatırımı finanse edilmiştir. Bu yeni yatırımların ortalama yatırım harcaması 3,4 milyon EUR/MW olarak hesaplanmıştır. Finansmanı sağlanacak projelerin yatırım tutarları arasında gözle görülür farklılıklar mevcuttur (bakınız Tablo 7). Fransa'daki santrallerin ihaleleri 2011 yılında yapılmış fakat izin süreçleri çok uzamıştır. Bununla birlikte santrallerin sadece Fransa'da üretilmiş türbinlerin kullanılmasına izin vermesi nedeniyle ortalama yatırım tutarları yükselmiştir. Raporda, İngiltere'deki Dogger Bank (A ve B) santrallerinde ise kıyıya mesafelerin 130 km

[33] WindEurope (2018), *Floating offshore wind energy – A policy blueprint for Europe*
[34] Schwartz, M. ve diğerleri (2010), *Assessment of offshore wind energy resources for the United States*, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-500-45889
[35] WindEurope (2019), *Industry position on how offshore grids should develop*
[36] 2018 Offshore Wind Technologies Market Report, U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy

olması nedeniyle iletim hattı maliyetleri yükselmiştir. Kincardine RES ise yüzer tipte bir DRES olduğundan yatırım maliyetleri ortalamanın çok üzerinde kalmıştır.

Tablo 7. 2020 Yılında Avrupa'da Gerçekleşmiş DRES Yatırımları

Ülke	Santral Adı	Kapasite (MW)	Yatırım Maliyeti (milyar EUR)	Birim Maliyet (milyon EUR/MW)	Beklenen Devreye Alınma Tarihi
Fransa	Fecamp	497	2,4	4,9	2023
	Saint-Brieuc	496	2,3	4,6	2023
Almanya	Kaskasi	342	1,4	4,1	2022
Hollanda	Hollandse Kust Noord	759	1,6	2,0	2023
	Hollandse Kust Zuid 1-4	1.500	3,4	2,3	2022/23
Birleşik Krallık	Kincardine	50	0,4	8,3	2021
	Dogger Bank (A ve B)	2.400	9,4	3,9	2024/25
	Seagreen	1.075	3,3	3,1	2023

Kaynak: WindEurope, TSKB

İşletme maliyetleri santraldeki türbinlerin verimli bir şekilde çalışması için gerekli tüm türbin ve santral bakım-onarım giderlerini, iletim sistemi giderlerini, santralin kurulu alanı için gerekebilecek kira bedellerini ve santrale ait diğer tüm giderleri kapsamaktadır. Santralin işletme maliyetlerine etki eden en önemli konular santralin limana/kıyıya olan uzaklığı, yerel meteorolojik ve oşinografik koşullar (santrale ulaşım açısından) ve santraldeki toplam türbin sayısı olarak sıralanabilir.[36] İşletme maliyetleri santrallere ve kuruldukları alanlara bağlı olduğundan bu konuda belli bir mertebe zikretmek oldukça zordur, fakat sabit temelli DRES'lerin ortalama olarak 115.000 – 131.000 EUR/MW/yıl mertebesinde işletme maliyetleri olduğu tahmin edilmektedir.[20]

5. Türkiye'de Deniz Üstü RES Gelişimindeki Engeller

Türkiye'de henüz kurulu bir DRES bulunmamakla birlikte, ilgili teknolojinin ülkemizde de kullanılması için teknik ve idari çalışmalar yürütülerek bir altyapının hazırlanması gerekmektedir.

Önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere, DRES projelerinin kurulacakları bölgelerde çeşitli kıstaslara bakılmalıdır. Bunlardan en önemlileri arasında bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli, deniz derinliği ve taban yapısı, kıyıya uzaklığı, çevresel ve sosyal faktörler bulunmaktadır. Bunlarla birlikte kurulacak DRES projesi alanının askeri yasak bölge ve eğitim-atış sahası içerisinde bulunmaması, deniz trafiğini engellememesi ve kıta sahanlığı açısından sorun teşkil etmemesi gerekmektedir.[37]

Ülkemizdeki denizlerin derinlikleri, topografik özellikleri, kıta sahanlığı mevzusu, finansal yapı ve yerel mevzuatlar çerçevesinde DRES gelişimi için gerekli izinlerin belirlenmesi, bu teknolojinin geliştirilmesinde önem teşkil etmektedir.

5.1. Projenin Konumu ve Yerel Özellikler

DRES projelerinin kurulacakları yerlerin belirlenmesindeki en önemli teknik parametreler arasında bölgenin rüzgâr potansiyeli ve deniz tabanı topografyası (batimetrik özellikleri) yer almaktadır.

Denizlerde karaya oranla daha yüksek rüzgâr hızlarının bulunması sebebiyle daha fazla enerji üretimi yapılabilmektedir. Dünya Bankası'nın Ekim 2019'da yayımlamış olduğu "Küreselleşmek: Deniz Üstü Rüzgârın Büyüyen Piyasalara Genişletilmesi Raporuna" göre, Türkiye su derinliği 50 metreden az bölgelerde 12 GW, 50-1000 metre arasındaki derinliklerde ise 57 GW olmak üzere toplamda yaklaşık 69 GW'lık deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyeline sahiptir.[38] Raporda, DRES'ler için Ege Denizi, Karadeniz ve Marmara denizlerindeki rüzgâr hızlarının söz konusu yatırımlar için elverişli olduğu da belirtilmiştir.

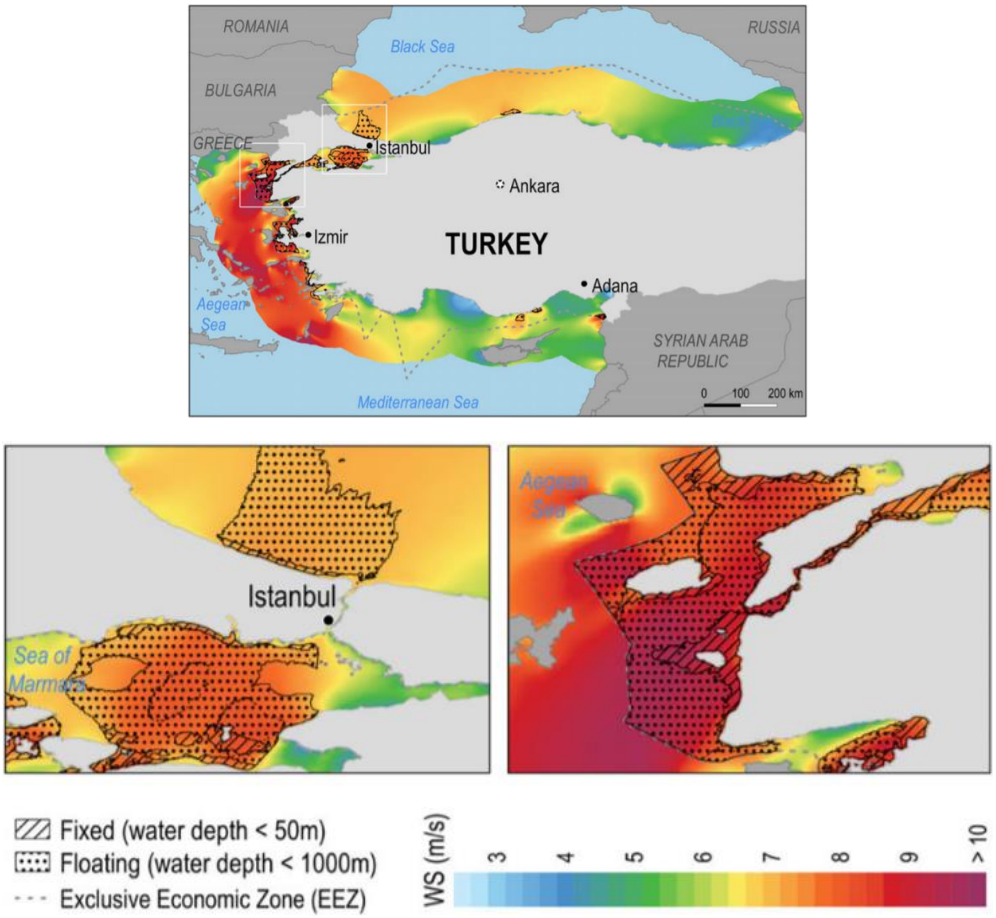
DRES kurulum aşamasında en büyük maliyet parametrelerinin başında türbinlerin temel inşası ve deniz altından en yakın kara parçasına çekilen iletim hatları gelmektedir. İlgili parametreler de santralin karaya olan uzaklığı ve deniz tabanı derinliği ile belirlenmektedir.

Deniz üstü rüzgâr türbinlerinin kurulmasında, planlanan derinlik arttıkça yapım maliyetleri oldukça yükselmektedir. DRES'lerdeki yatırım maliyetlerinin ortalama %33'ünü türbin, %24'lük kısmını ise temel inşası oluşturmaktadır. Deniz üstü rüzgâr enerji santrallerinin montaj maliyeti de yüksek olduğundan, daha çok 50 MW ve üzeri olan projeler tercih edilmektedir. Bu nedenle, DRES'lerin toplam yatırım maliyetleri kara üstü sistemlere göre daha yüksektir.[39]

2018 yılında Saros (Edirne-Enez, Keşan), Gelibolu-Şarköy (Çanakkale, Tekirdağ) ve Kıyıköy'ün (Kırklareli-Vize) Türk kara suları içerisindeki alanlardan herhangi ikisinde kurulacak ve maksimum kurulu gücü 1.200 MW'ı aşmayacak DRES'ler için ihale yapılması planlanmıştır. Ancak ihale için yeterli katılım olmadığından,

[37] Durak, M. (2018), *Denizüstü Rüzgâr Elektrik Santral (DRES) projeleri için rüzgâr ölçümleri*, 5. İzmir Rüzgâr Sempozyumu, İzmir
[38] Dünya Bankası, http://documents1.worldbank.org/curated/en/716891572457609829/pdf/Going-Global-Expanding-Offshore-Wind-To-Emerging-Markets.pdf
[39] https://www.enerjiportali.com/denizustu-offshore-ruzgar-enerjisi-santrali-nedir/

ilgili ihale ileriki bir tarihe ertelenmiştir. Şekil 6'da ihale alanlarını da içeren Türkiye'nin DRES potansiyeli gösterilmektedir.



Şekil 6. Türkiye Deniz Üstü RES Potansiyel Haritası
(Paralel çizgiler sabit temelli DRES, noktalı alanlar yüzer DRES'ler için uygun alanları temsil etmektedir; renk göstergesinde maviden kırmızıya gidildikçe artan rüzgâr hızı potansiyeli gösterilmektedir.)
Kaynak: Dünya Bankası

DRES geliştirilmesi kapsamında ihale prosedürlerinin belirlenmesi, finansal çerçevenin hazırlanması, liman altyapısının oluşturulması için 2019 yılının Mart ayında Türkiye ile Danimarka arasında 3 yıl geçerli olacak bir işbirliği anlaşması imzalanmıştır.[40] Danimarka'da hem karasal hem de deniz üstü rüzgâr potansiyelinin yüksek olması ve ülkenin yaklaşık 7.300 km uzunluğunda bir sığ bir kıyı şeridine sahip olması rüzgar teknolojisinin çok hızlı bir şekilde gelişmesinde rol oynamıştır.[41]

5.2. Kıta Sahanlığı Mevzusu

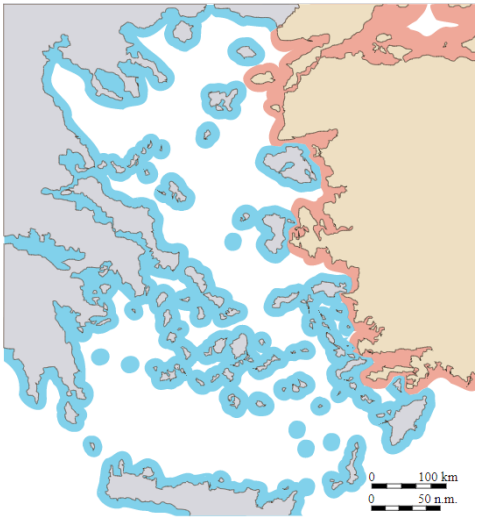
Şekil 6'da görüldüğü üzere, Türkiye'deki en iyi deniz üstü rüzgâr potansiyeli Ege Bölgesi'nde, sonra da Marmara Denizi'nde bulunmaktadır. Fakat her iki bölgede de deniz derinliklerinin hızlı bir şekilde artması, sabit temelli türbinlerden daha çok yüzer temelli türbinlerin kurulumu için uygun alanların varlığını

[40] http://www.rekabetregulasyon.com/mavi-vatanda-yeni-firsatlar-deniz-ustu-offshore-ruzgar-santralleri/ , erişim: 23.03.2021
[41] Şahin, M., E., (2020), Açık deniz rüzgâr sistemleri üzerine bir inceleme ve Danimarka modeli, R.T. Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1, (1), sayfa:54-67

göstermektedir. Rüzgâr potansiyeli ve deniz derinliğinin yanı sıra, özellikle Ege Bölgesi'nde kıta sahanlığı dikkate alınarak santrallerin konumlandırılması gerekmektedir.

Yunanistan, "Kıta Sahanlığı Sözleşmesi" ve sonrasında bu sözleşmenin yerini almış Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi'ni (BMDHS) imzalamıştır. Fakat Türkiye bu sözleşmelerde taraf olmadığı için, Yunan adaları çevresindeki kıta sahanlığını ve Münhasır Ekonomik Bölge alanını tanımamaktadır.[42] İki ülke, Ege Denizi'ndeki hava ve deniz yetki alanlarının sınırlandırılması ile ilgili sorunlar yaşamaktadır. Buradaki başlıca nedenlerden biri her iki ülkenin Ege'ye paralel olarak neredeyse eşit uzunlukta anakara kıyı şeridine sahip olmasına karşın, Ege'de bulunan adaların çoğunluğunun Yunanistan'a ait olması nedeniyle BMDHS'ye göre Yunanistan'ın deniz yetki alanlarının adil olmayan bir biçimde genişlemesidir.

Mevcut durumda, Türkiye ve Yunanistan Ege Denizi'nde 6 deniz mili (11 km) genişliğinde karasularını tanımaktadırlar. Bu durumda, Yunanistan'ın sahip olduğu adalar da düşünüldüğünde Yunanistan'ın karasuları Ege Denizi'nin yaklaşık %40'ını kapsamaktadır.



Şekil 7. Yunanistan ve Türkiye Tarafından Kabul Edilen Mevcut Deniz Sınırları
Kaynak: Wikipedia[43]

5.3. Yasal Mevzuat ve İzin Durumları

Türkiye'de DRES gelişimiyle ilgili kanuni bir düzenleme henüz bulunmamaktadır. DRES projelerinde planlanmada yaşanan gecikmeler projenin yatırım maliyetlerinde ciddi artışlara neden olduğu için, ilgili yasal mevzuatın gerekli tüm izin ve lisansları içerecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir.[44]

Planlanan DRES projelerinin çevreye olan etkisinin incelendiği çevresel etki değerlendirme (ÇED) raporuna ek olarak denizaltı faunası da dikkate alınmalıdır. DRES projelerinin izin ve lisans süreçlerinde Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığından ve Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü gibi farklı kuruluşlardan da görüş ve izinlerin alınması gerekmektedir.[45]

[42] Wikipedia, https://tr.wikipedia.org/wiki/Ege_sorunu, erişim: 23.03.2021
[43] Wikipedia, Ege Sorunu (https://tr.wikipedia.org/wiki/Ege_sorunu#/media/Dosya:Aegean_6_nm.sv, erişim: 22.03.2021)
[44] EWEA (2013), Deep water - the next step for offshore wind energy, A report by the European Wind Energy Association
[45] Denizüstü Rüzgâr Enerji Santralleri: Çanakkale Örneği, Mustafa Özgür Köroğlu, Koray Ülgen

5.4. Finansman Yapısı

Deniz üstü RES yatırımına yönelik finansmanı, yatırımın kendisinden bağımsız bir şekilde değerlendirmek mümkün değildir. Türkiye'de henüz faaliyette ya da planlama aşamasında olan bir DRES yatırımı bulunmadığından, bu bölümde, özellikle Avrupa'da 2010-2019 yılları arasında gerçekleşmiş DRES yatırımları ve finansmanları örnek olarak incelenmiştir.

Avrupa'da 2019 yılında gerçekleşmiş RES yatırımlarının yaklaşık %31'ini DRES yatırımları oluşturmaktadır.[46] 2010 ile 2019 yılları arasında DRES yatırımları incelendiğinde 13,2 ve 20 milyar euro tutarındaki yatırımlar ile 2015 ve 2016 yıllarının önce çıktığı görülmektedir. 2019 yılı içerisinde DRES yatırımları yaklaşık 6 milyar euro tutarında olup tamamı proje finansmanı kredileri ile finanse edilmiştir.[46]

Finanse edilen kapasiteye bakıldığında; 2010-2019 yıllarındaki DRES yatırımları değişkenlik göstermekle birlikte, 2010-2014 yılları arasında toplam 10,1 GW, 2015-2019 yılları arasında ise toplam 16,4 GW dolayında yatırım yapıldığı anlaşılmaktadır. DRES yatırımlarının, toplam rüzgâr santrali yatırım finansmanındaki payı 2010-2014 yılları arasında yıllık ortalama %36; 2015-2019 yılları arasında ise yıllık ortalama %43 dolayında geçekleşmiştir.

Tablo 8. Avrupa Deniz Üstü ve Kara Üstü Rüzgâr Yatırımları (Finanse Edilen)

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DRES	Proje Finansmanı	5,1	5,5	2,7	6,1	7,8	13,0	15,8	7,0	8,8	6,0
	Kurumsal Finansman	1,0	3,0	0,0	1,4	1,3	0,2	4,2	0,3	1,4	0,0
	Toplam Finansman (mil EUR)	**6,1**	**8,5**	**2,7**	**7,5**	**9,1**	**13,2**	**20,0**	**7,3**	**10,2**	**6,0**
	Toplam kapasite (GW)	**2,8**	**2,6**	**0,8**	**1,9**	**2,0**	**3,0**	**5,3**	**2,4**	**4,3**	**1,4**
Karasal RES	Proje Finansmanı	6,0	4,2	4,9	2,9	6,0	4,7	5,3	7,2	8,6	7,5
	Kurumsal Finansman	7,2	5,4	6,0	6,9	8,4	8,9	7,4	7,7	6,0	5,6
	Toplam Finansman (mil EUR)	**13,2**	**9,6**	**10,9**	**9,8**	**14,4**	**13,6**	**12,7**	**14,9**	**14,6**	**13,1**
	Toplam kapasite (GW)	**8,6**	**7,0**	**6,8**	**6,4**	**8,4**	**7,3**	**7,3**	**10,1**	**11,7**	**10,3**
Yatırım Finansmanı Payı (%)	DRES	32	47	20	43	39	49	61	33	41	31
	Karasal RES	68	53	80	57	61	51	39	67	59	69
	Toplam	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Kapasite Payı (%)	DRES	25	27	11	23	19	29	42	19	27	12
	Karasal RES	75	73	89	77	81	71	58	81	73	88
	Toplam	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Kaynak: WindEurope, TSKB

Avrupa'daki deniz üstü ve karasal RES yeni proje ve yeniden finansman borçlarının 2019 yılında 20,3 milyar euro tutarında olduğu izlenmektedir. Söz konusu borçların %43 oranındaki 8,8 milyar euro'luk kısmı DRES projelerinin finansmanı kaynaklıdır. 2010-2019 yılları arasında DRES payı, değişkenlik göstermekle birlikte,

[46] WindEurope (2020), Financing and investment trends – The European wind industry in 2019

2010-2014 yılları arasında yıllık ortalama %35, 2015-2019 yılları arasında ise yıllık ortalama %54 dolayında gerçekleşmiştir. 2019 yılında gözlemlenen 20,3 milyar euro tutarındaki borçların 11 milyar euro tutarındaki kısmı yeni proje yatırımlarının finansmanı, geri kalan 9,3 milyar euro tutarındaki kısmı ise projelerin yeniden finansmanı amacıyla verilmiştir. [46]

Tablo 9. Avrupa Deniz Üstü Ve Kara Üstü Yeni Proje ve Yeniden Finansman Borçları

Borçlar (mil EUR)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DRES – yeni proje + refinansman	2,3	3,9	1,6	2,3	5,2	7,3	12,4	8,4	16,4	8,8
Karasal RES – yeni proje + refinansman	6,3	4,0	5,5	5,5	6,1	5,3	9,1	8,4	10,2	11,5
Toplam borç	**8,6**	**7,9**	**7,1**	**7,8**	**11,3**	**12,7**	**21,5**	**16,7**	**26,6**	**20,3**
DRES payı (%)	27	49	23	29	46	57	58	50	62	43
Karasal RES payı (%)	73	51	77	71	54	42	42	50	38	57
Toplam (%)	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Kaynak: WindEurope, TSKB

Kasım 2020 tarihinde İskoç SSE ve Norveçli Equinor şirketleri toplam kurulu gücü 3,6 GW ve yatırım maliyeti 6 milyar İngiliz Sterlini olacak dünyanın en büyük DRES'i Dogger Bank RES'in ilk iki fazı için finansal anlaşmayı tamamladıklarını bildirmişlerdir. Birleşik Krallık'ın doğu kıyısında konumlanacak projenin, ülke talebinin %5'ini veya 6 milyon evin yıllık enerji ihtiyacını karşılamaya yetecek kadar yenilenebilir elektrik üreteceği belirtilmiştir.[47]

Türkiye'de ise henüz DRES yatırımı bulunmamaktadır. Mevcut durumda DRES'lerle ilgili bir mevzuatın bulunmaması, yüksek yatırım maliyetleri, DRES'lerin karasal RES projelerine göre daha uzun yatırım dönemi gerektirmesi, yüksek finansman maliyetleri, döviz kurundaki oynaklıklar, ileri teknoloji ihtiyacı gibi konular yatırımcının üstleneceği riskleri artırmaktadır. Bütün bu faktörlerin, potansiyel yatırımlar için finansman temininde çeşitli engeller doğurması güçlü ihtimal olarak değerlendirilmektedir.

[47] https://www.enerjigunlugu.net/dunyanin-en-buyuk-denizustu-resi-icin-finansal-anlasma-tamamlandi-40159h.htm, erişim: 22.03.2021

MECLİSİ MEBUSAN CAD.
NO:81 FINDIKLI İSTANBUL 34427, TÜRKİYE
T: +90 (212) 334 50 50 F: +90 (212) 334 52 34

Bu rapor, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası (TSKB) A.Ş.'nin uzman kadrosunca güvenilir olarak kabul edilen kaynaklardan elde edilen veriler kullanılarak hazırlanmıştır. Raporda yer alan görüşler ve öngörüler, teknik ve akademik bilgiler ile sektör temsilcileriyle yapılan görüşmelerden elde edilen sonuçları yansıtmakta olup bu verilerin tamlığı ve doğruluğu konusunda TSKB'nin herhangi bir sorumluluğu bulunmamaktadır. Raporda yer verilen değerlendirme, görüş, düşünce ve öngörüler, TSKB nezdinde açık ya da gizli bir garanti ve beklenti oluşturmaz. Diğer bir ifadeyle; bu raporda yer alan tüm bilgi ve verileri kullanma ve uygulama sorumluluğu, doğrudan veya dolaylı olarak, bu rapora dayanarak yatırım kararı veren ya da finansman sağlayan kişilere aittir ve ortaya çıkan sonuçtan dolayı üçüncü kişilerin doğrudan ya da dolaylı olarak zarara uğramaları durumunda TSKB hiçbir şekilde sorumlu tutulamaz.

©2021 Bu raporun tüm hakları saklıdır. TSKB'nin izni olmadan raporun içeriği herhangi bir şekilde basılamaz, çoğaltılamaz, fotokopi veya teksir edilemez, dağıtılamaz.