

Denizüstü Rüzgâr Enerji Santralleri: Çanakkale Örneği

Offshore Wind Energy Plant: A Case study of Çanakkale

Mustafa Özgür KÖROĞLU, Koray ÜLGEN

TEİAŞ 19. Bölge, Tesis ve Kontrol Müdürlüğü,
Antalya, Türkiye.
mozgur.koroglu@teias.gov.tr

Koray ÜLGEN
Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü
İzmir, Türkiye
koray.ulgen@ege.edu.tr

Özet

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de henüz uygulama alana bulamamış olan Denizüstü (Offshore) Rüzgâr Enerjisi ile ilgilenecek kişilerin ve özel/kamu kuruluşlarının dikkatlerini bu konuya çekmektir. Bu amaç doğrultusunda Denizüstü Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin (DRES) tasarım aşamaları ve bu santrallerin karada bulunan enterkonnekte şebekeye bağlantı şekilleri teknik olarak incelenmiştir. Örnek olarak, Çanakkale, Biga Yarımadası, Gülpınar Mevkii, Tuzla Çayı açıklarında kurulacak bir denizüstü rüzgâr enerji santrali için kurulum aşamaları anlatılmıştır. Aynı kurulu güce sahip örnek bir denizüstü ve bir karaüstü rüzgâr santralinin, bir yıllık saatlik rüzgâr yön ve hız verileri kullanılarak, bir yılda üretecekleri güç bakımından karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca, yüksek gerilim doğru akım ve yüksek gerilim alternatif akım iletim seçeneklerinden birinin tercih edilmesi gerektiğinde hangi bağlantı şeklinin hangi şartlarda kullanılmalı gerektiğinin maliyet ve teknik yönden analizi de yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, rüzgar enerjisi, denizüstü rüzgar santralleri,

Abstract

In this study, the main target is to get people, private/government companies attention upon OFFSHORE WIND ENERGY issue which has not found application area in Turkey. For this purpose, offshore wind plant design criteria and types of grid connectivity issues are studied. As a case study, an offshore wind plant design criteria are described which is located in Çanakkale, Biga Peninsula, Gülpınar district, off Tuzla Stream. An offshore wind farm and an onshore wind farm which have same installed capacity at the geographically same location are determined. Yearly yield and frequent of wind are determined according to year of hourly wind

direction and speed. On the other hand, while choosing transmission way, high-voltage direct current or high voltage alternating current, according to not only investment cost but also technically suitable and feasible. Also, these transmissions alternatives compared each other and their advantages and disadvantages are described.

Keywords: At Renewable energy, Wind energy, Offshore wind power plants.

1. Giriş

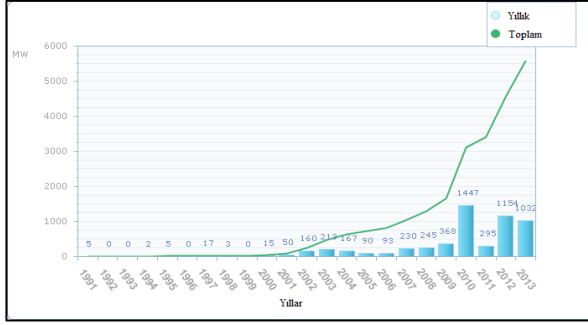
Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2013 Haziran ayında Londra'da yayınladığı ve enerji-iklim ilişkisi üzerine olan rapora göre küresel ısınmanın yaklaşık üçte ikisinden sorumlu olarak enerji sektörü gösterilmiş ve 2020 yılına kadar olası muhtemel küresel ısınmanın 2°C sınırlandırılması için enerji sektörüne yönelik dört öneriden birinde yenilenebilir enerjinin önemsenmesi gerektiği yer almıştır [1].

Yani, enerji sektöründeki gelişmeler dikkate alınmadığı takdirde gelecekte, dünya üzerindeki yaşamı tehdit edecek iklim değişikliklerinin olması kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle, enerji üretiminde minimum karbon salınımına sahip, mevcut doğal kaynakların kullanıldığı, sürdürülebilir, yani daimi, yani güneş var oldukça var olacak yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da artmaktadır [1].

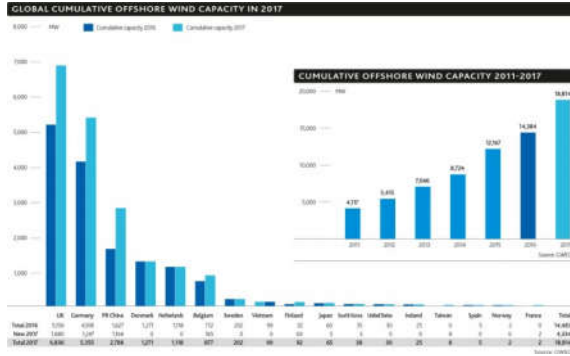
2. Denizüstü rüzgâr enerjisi

1980'lerde yaşanan büyük endüstriyel ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak özellikle Amerika ve Danimarka gibi ülkelerin öncülüğünde rüzgâr türbinleri gün geçtikçe gelişerek günümüze gelmiştir. O yıllarda yaşanan önemli bir gelişme daha vardır ki, o da, ilk 'Karadan Uzakta Rüzgâr Türbinlerinin' geliştirilmesidir. [2]. Denizüstü rüzgâr enerjisi faydalanmasına günümüzde 12 ülke öncülük etmektedir. Bunların 10 tanesi Avrupa'da, diğer ikisi Çin ve Japonya'dır [2].

Şekil 1’de, 1991’de, Danimarka’da, Lolland’ın kıyısı dışında Vindeby’de, Bonus marka 11 adet 450 kW’lık türbinler ile kurulan, 4.95 MW gücündeki ilk denizüstü rüzgâr enerji santralinden, 2013 yılına kadar ki çalışır vaziyette bulunan santrallerin toplam kurulu gücü ve yıllara göre dâhil olan kapasite miktarı[6] ve şekil 2’de 2011-2017 arası küresel ve 2016-2017 arası yıllık ölçekte ülkeler bazında toplam denizüstü rüzgâr enerjisi santralleri (DRES) kurulu güçleri görülmektedir



Şekil 1. Yıllara göre ve toplam DRES kurulu güçleri [3]



Şekil 2. Küresel ve yıllık ölçekte toplam DRES kurulu güçleri [26]

Konferans bildirimlerinin düzenlenmesi için sayfa düzeninde aşağıdaki hususlara uyulması beklenmektedir.

2.1. DRES’lerin Kurulum Aşamaları

Denizüstü RES yapımındaki aşamalar genel olarak üç grup halinde toparlamamız mümkündür. Bunlar şöyle sıralanabilir:

Proje aşamasında;

- Rüzgâr potansiyeli ve bu potansiyelin belirlenmesi için denizüstü ölçüm istasyonları
- Deniz derinliği
- Deniz tabanı yapısı
- Kıyıya uzaklık
- Elektrik iletimi ve karadaki enterkonnekte sisteme bağlantıkoşulları
- Denizüstü ve altı doğal koruma alanları ve canlılar
- Askeri kullanım
- Sivil havacılık

- Balıkçılık
- Deniz trafiği
- Boru hatları ve kablolar
- Yerel yetkililerden çeşitli izinlerin alınması
- Finansal planlama.

Tedarik ve yapım aşamasında;

- Rüzgâr türbinleri seçimi ve montajı
- Temel seçimi
- Sualtı kablo döşenmesi
- Denizüstü trafo merkezi
- Deniz yapı elemanları
- Malzemelerin belirlenen bölgeye taşınması ve montajı için gerekli ekip ve ekipmanlar.

İşletme ve bakım aşamasında;

- Kurulacak bir kontrol merkezi, tahmini üretilecek elektrik miktarını hava tahminlerine göre belirler ve iletim sistemi operatör aracılığıyla şebekeye elektrik bağlantısını sağlar. Ayrıca kontrol merkezi türbinlerin her birini ve santralin diğer bileşenlerini kontrol eder.
- Bir bakım kuruluşu, türbinlere ait parçaların bakım ve onarımını gerçekleştirir. Türbinlere erişim için helikopter veya servis erişim gemi tedarik eder. Mümkün olan kıyıdan uzak yerlerde bulunan bazı denizüstü rüzgâr santrallerinde servis ekipleri denizüstünde kurulan konaklama birimlerinde yaşarlar [2-5].

- Başlık bölümü ve sayfa genişliğindeki şekiller dışında bildirinin metin bölümü 80 mm genişliğinde iki sütundan oluşmalıdır.
- Sütunlar arası 10 mm boşluk bırakılmalıdır.
- Metin uzunluğu (sayfa başlığı ve altlığı hariç) en fazla 235 mm.
- Paragraf girintisi ve satır aralıkları örnek dosyayla (PDF formatında) karşılaştırarak kontrol edilmelidir.
- Hazırlanacak makale en az 2 en fazla 6 sayfa olmalıdır.

3. Örnek çalışma : Çanakkale DRES

Çanakkale ili, Gölpinar mevki, Tuzla Çayı açıklarındaki yer alan kıyı şeridinde, 100 MW kurulu gücünde bir DRES’in kurulması için gereken aşamalar ve bu santralden üretilen enerjinin, karada kurulacak aynı güçteki bir rüzgâr santralindeki ile karşılaştırılması ve DRES’in Çanakkale ilindeki ulusal şebekeye bağlantı şekli hakkında bilgi verilecektir. DRES’in kurulacağı yerin koordinatları 39°35’14.64" Kuzey boylamı, 26°5’45.31" Doğu enleminde yer almaktadır [2].

Rüzgâr hızı ölçümü ve potansiyeli: Santral kurulması düşünülen alanda rüzgâr ölçümü için ne denizüstünde ne de santralin kurulması düşünülen alanın yakın çevresinde kara üzerinde de bir ölçüm istasyonu mevcut değildir. Fakat, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün Denizcilik Meteorolojisi biriminin deniz taşımacılığı, rüzgâr rejimleri, akıntı sistemleri ve fırtınaların oluşumları hakkında sistematik bilgi ihtiyacını karşılamak ve gemi güvertelerinde gönüllü gemilerce yapılan gözlemlerin belirli bir esasa dayanarak temin

edilecek veya Avrupa Orta Ölçekte Rüzgâr Tahmini Merkezinin (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) çeşitli ölçüm sonuçlarını bir araya getirerek matematiksel modelleme ile çıkarılan günlük haritalardaki verilere istinaden ilgili bölgedeki rüzgâr gücü tahmini yapılabilir. Fakat bu değerlerin hiçbiri, DRES santralinde kullanılması planlanan denizüstü rüzgâr türbin yüksekliğinde denizüstünde kurulacak bir ölçüm istasyonundaki veriler kadar kesin bir sonuç elde edemez. Bu nedenle, santral kurulacak alanın özelliğine istinaden, bir denizüstü ölçüm platform veya ölçüm direği kurulur. Ölçüm platformları santral için gerekli olan rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, yoğunluk, basınç, sıcaklık gibi ana bileşenlerin yanında denizaltı ekolojisi gibi bilimsel çalışmalara veri toplamak gibi daha kapsamlı donanımlara sahiptir [2, 7].

Deniz derinliği: Su derinliği türbin yerleşimine etki eden en önemli denizbilimsel parametresidir. Denizüstü rüzgâr türbinlerinin çeşitli derinliklerdeki yerleşiminin ekonomik etkisi görülmek istediğinde, derinlik arttıkça temel maliyetlerinin de oldukça arttığı Tablo.1'de gösterilmektedir. Aynı şekilde, su derinliği 10 metreden 35 metreye çıktığında bir denizüstü transformatör platformu için de %20'lik bir maliyet artışı beklenmektedir. Bu nedenle denizüstü rüzgâr santrali kurulacak alanın su derinliği yapım maliyetlerini yükseltmektedir [8].

Santral yapılacak alanda deniz derinliği kıyından 1 km boyunca 2-9 metrelerde, kıyından 2 km uzaklıkta da 20-22 metreler civarındadır [2, 9].

Tablo 1. Deniz derinliğine bağlı olarak temel maliyetinin değişimi [5].

Beher MW başına maliyet			
Su Derinliği (m)	10	20	40
Danimarka Kronu (milyon)	3	4,6	10-13

Deniz tabanı yapısı: Deniz tabanının niteliği, bir rüzgâr türbinin temelini inşası için önemlidir. Örnek olarak yine Baltık Denizi ve Kuzey Buz Denizini karşılaştırsak, her iki denizalanı için de deniz tabanının çoğunluğu ince kumdan meydana gelir. Bu, nispeten geniş kaya yığınları ve çakıllı topraklı alanlar ile serpiştirilir. Tek kazık (monopile) temeller kullanılır ise rüzgâr türbininin titreşimli karakteristiğinde yüzeyin sertliği rol oynar [8].

Bölgenin deniz tabanı şekilleri ve yapısı hakkında Jeoloji Y. Mühendisi Sn. Tahir Öngör'ün DRES için seçilen yer hakkındaki raporunun sonuç bölümünde, bu alanın en çok 2-5 m kadar kalınlıkta gevşek ve zayıf bir zemin katmanının bulunduğunu; bunun altında ise neojen marn ve marnli kumtaşlarından oluşan, pekişmiş ve çimentolanmış, orta sert, yataya yakın tabakalı, bu özelliklerinden ötürü de taşıma gücü yüksek ve DRES yapısının yükleri altında konsolidasyon oturması beklenmeyen bir anakayanın yer aldığı bu zamana kadar bölgede yapılan çalışmalar doğrultusunda söylenebilmektedir [2].

Kıyıya uzaklık ve kıyı şeridinin yapısı: Santralin kıyıya olan uzaklığı; türbinlerin nakliyesi, enerji iletimi için denizden karaya dönecek deniz altı kablo mesafesinin artmasına, iletim kayıplarının artmasına, uzaklığa göre iletim şeklinin değişmesine, buna istinaden denizüstü bir trafo istasyonu veya konverter kurulmasına gerek duyulması, santrale ulaşımın zorlaşması gibi önemli etkileri yüzünden yatırım maliyetini direkt olarak artmasına neden olur [2].

0-2 km arasında değişmektedir. Kurulacak DRES'in kıyından 1,5-2 km açıkta ve 15-20 metre derinlikte olması planlanmıştır. Kıyı, şeridinin turistik potansiyel açısından, diğer turistik merkezlerle karşılaştırıldığında daha az popüler olduğu düşünülmektedir [2].

Denizüstü rüzgâr türbini seçimi: Denizüstü ve karasal rüzgâr türbinleri arasında bazı teknik farklılıklar bulunmaktadır. Deniz deyince akla su ve tuz gelmektedir. Karasal bir rüzgâr türbininin, denizüstünde kullanılabilmesi için bazı özelliklerinin denize uygun hale getirilmesi diğer bir tabirle denizleştirilmesi ve denizüstü standartlara uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

Denizüstünde rüzgâr hızları karaya göre çok daha kuvvetli olduğundan ve dalga, denizaltı su akıntıları gibi nedenlerle rüzgâr türbini üzerindeki yorulma (fatigue) karasal türbinlere göre çok fazladır. denizüstünde esen rüzgâr hızlarının yüksek ve türbülans yoğunluğunun az olması nedeniyle, rüzgârın bir engele çarptıktan sonra (türbin kanatları) düzmesi için gereken mesafe karasal türbinlerden fazladır. Bu nedenlidir ki, karasal türbin arası mesafe pervane çapının 3-5 katı olmakta iken, denizüstü türbinlerde 6-8 kanat çapı olmaktadır [10].

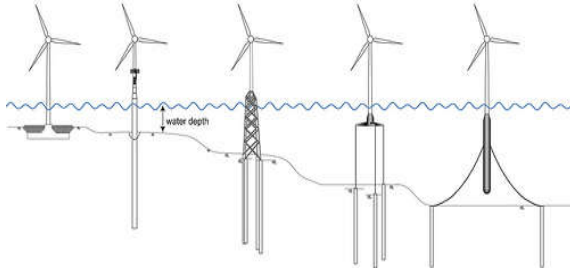
Rüzgâr türbini seçimi ve onların saha içindeki yerlerine konuşturulması için profesyonel bir programa ve detaylı saha, rüzgâr, nem, basınç, sıcaklık verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma kapsamında her ne kadar profesyonel bir yazılım ve detaylı ölçüm verilerine sahip olunmasa da, yapılacak olan yıllık güç hesaplamaları için gerekli olan türbin güç eğrisi kullanımı için farazi bir seçim yapılmıştır. Bu seçim rastgele yapılmamış olup, Birleşik Krallık'ta, Liverpool Körfezi'nde, 53.4833 enlem, -3.1755 boylam koordinatlarında, 90 MW kurulu güce sahip, 2008 yılında faaliyete geçmiş olan Burbo Bank DRES'inde 25 adet bulunan Siemens firmasının SWT-3.6-100 model 3.6 MW [11] gücündeki denizüstü rüzgâr türbinleri, karaüstü rüzgâr türbinlerinin de, 2012 itibarıyla Türkiye'de faaliyette bulunan karadaki rüzgâr santrallerinde kullanılan en yüksek güçlü türbin olan GE firmasının ürettiği 2,5 XL-100 model türbinlerinden 40 adet kullanılması tasarlanmıştır bu teorik çalışma için uygun bulunmuştur [2].

Temel seçimi: Denizüstü rüzgâr çiftliği kurulumu için istenen en ulaşılmaz uyarılama, onun deniz tabanı üzerindeki temeli ve kule tasarımı ile ilişkilendirilmiştir. Bu yapı, genel olarak temel diye adlandırılırsa da, onun kara üzerinde bulunan yerleşimi gibi basit bir temelden çok daha fazlasıdır. Temel seçiminde göz önünde bulundurulması gereken birkaç temel husus vardır. Bunlardan birincisi, denizüstü rüzgâr türbininin kurulu gücü, kule yüksekliği ve ağırlıkları., ikincisi

temelin kurulacağı deniz tabanının yapısı ve son olarak da, temelin yapılacağı yani santralin kurulacağı alandaki su derinliğidir [8].

Denizüstü rüzgâr türbinleri için temel inşası, hidrodinamik ve rüzgâr yüklemesi ve karmaşık dinamik davranışlarla başa çıkmak demektir. Dalgalar ve rüzgâr yüklerinin birleşik etkisini ortaya çıkarmak temel inşası için hayati öneme sahiptir. Ayrıca, çok büyük su derinliklerinde gereken yapım işleri, maliyetin önemli bir parçası ve tüm kurulumun titreşimsel karakteristiği üzerinde hayli fazla etkiye sahip olabilmektedir.

Gerçekte günümüzde 4 ana tasarım göz önünde bulundurulur, bunlar: Yerçekimi merkezli (Gravity), Tek kazık (Monopile), Üçayak (Tripod) ve Çeket (Jacket) temelleridir. Kurulu olan denizüstü rüzgâr santrallerindeki temel yapıları incelediğinde, bunların; %65'nin tek kazık, %25'nin yerçekimi merkezli, %8'nin çeket ve %2'nin üçayak tipi olduğudur [12]. Bu temel çeşitleri Şekil 3'de gösterilmiştir [2].



Şekil 3. DRES'lerde kullanılan temeller [9].

Denizüstü transformatör merkezi: Kurulacak DRES'in kıyıdan olan mesafesinin 1,5-2 km'lerde olması nedeniyle denizüstü trafo merkezi kurulmasına ihtiyaç yoktur [2].

Denizaltı kablo seçimi: Kıyıya olan mesafe yakın olmasından dolayı 4 adet 36 kV ve minimum 450 A akım taşıma kapasiteli XLPE kablo kullanmak yeterli olacaktır [13-16].

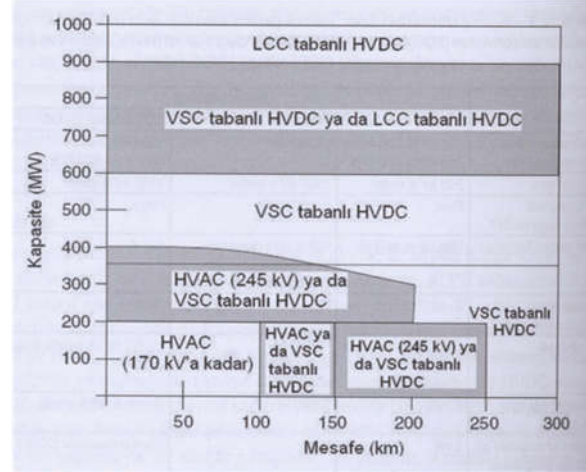
Kıyıda transformatör merkezi: DRES'in üretimini karaya taşıyacağı planlanan dört sıra 36 kV'luk kablunun, kıyıda kurulacak bir trafo merkezinde toplanarak, buraya monte edilecek 100 MVA gücünde 34.5/154 kV ONAN-ONAF soğutmalı bir transformatora ihtiyaç olacaktır [2, 13-16].

Üretilen enerjinin iletilmesi: Denizüstü rüzgâr çiftliğinin karaya doğru olan güç iletiminin başlangıcı, her bir rüzgâr türbininin ürettiği gücün, türbin tabanında ya da yakınında yer alan orta gerilim yükseltici trafo yardımıyla 33-36 kV optimum bir orta gerilim seviyesine sahip alternatif akım şebekesinde toplamaktır. Denizüstü rüzgâr çiftliklerinin karaya olan iletim bağlantıları için üç alternatif vardır. HVAC (High Voltage Alternate Current = Yüksek Gerilim Alternatif Akım),

LCC (Line Commuted Converter = Hat Anahtarmalı Konverter) tabanlı HVDC (High Voltage Direct Current = Yüksek Gerilim Doğru Akım) veya

VSC (Voltage Source Converter = Gerilim Kaynağı Konverteri) tabanlı HVDC (High Voltage Direct Current = Yüksek Gerilim Doğru Akım) teknolojileridir [17-20].

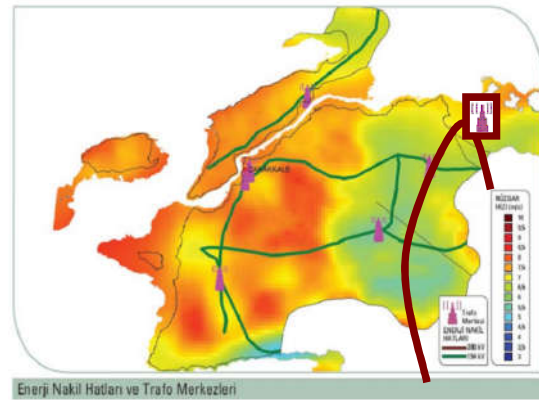
Birbirine göre dezavantaj ve avantajları olan bu iletim çeşitlerinin karşılaştırılması Şekil.4'de verilmiştir.



Şekil 4. İletim sistemlerinin ekonomik temelli karşılaştırmaları [17].

Kurulacak DRES'in gücü ve karadan uzaklığı dikkate alındığında alternatif akım iletimi en uygun seçenektir. Zaten seçilen denizaltı kabloları da bu açıklamalara istinaden seçilmiştir [3,17-20].

Çanakkale ili sınırlarında TEİAŞ'a ait 154 kV ve 380 kV hatları ve trafo merkezleri Şekil 5'de göstermektedir. Bu şekle göre Gölünar mevkiinde kurulması düşünülen DRES'e en yakın bağlantı noktasına, karada kurulacak 154/34,5 kV transformator yardımıyla 154 kV'a yükseltilecek 1272 MCM'lik bir havai hat yardımıyla iletim gerçekleştirilebilir. Bu noktaya en yakın TEİAŞ trafo merkezi 36 km mesafedeki 154 kV Ezine Trafo Merkezidir [2].



Şekil 5. Çanakkale ili TEİAŞ 154 kV ve 380 kV trafo merkezleri.

Denizüstü ve altı doğal koruma alanları, göç yolları ve canlı faunası, askeri kullanım, sivil havacılık, balıkçılık, arkeolojik alan: DRES kurulacak alanda bu konularla ilgili bir çalışmaya veya veriye rastlanamamıştır [2].

Deniz trafiği ve limanlar: Bu aşamaya ilgili güncel ve resmi bir veri elde edilememiş olsa da TR 213 pafta

numaralı 1/100.000 ölçekli harita üzerinde inceleme yapıldığında herhangi bir ticari rota veya liman tespit edilmemiştir. En yakın liman Bozcaada-Çanakkale seferlerinin gerçekleştirildiği Yükyeri iskelesidir.

Boru hatları ve kablolar: 1:100,000 ölçekli harita üzerinde incelemede herhangi bir boru hattı veya denizaltı kablosu tespit edilmemiştir [2].

Yerel yetkililerden çeşitli izinlerin alınması: Bu aşamaya ilgili vey Türkiye’de böyle bir çalışma örneği olmadığı için veri elde edilememiştir. Fakat, karasada kurulacak türbinler için gerekli olan Çevre Etki Değerlendirme raporuna ek olarak denizaltı faunasının da dikkate alınacağı ve Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığından ve Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü gibi farklı kuruluşlardan da izin alınması gerekmektedir [2].

Türbin ve temel montaj çalışmaları: DRES’e ait türbin ve temellerin ithal edileceği kesindir. Bu ekipmanın belirlenen sahaya götürülmesi işinin nasıl olacağı konusu kesin değildir. Üç yöntem vardır;

- Birincisi, bu ekipmanın imal yerinden direkt olarak gemilere yüklenip sahaya getirilip montajlarının yapılmasıdır.
- İkinci bir seçenek olarak da, ekipmanın kara yolu ile getirilip belirlenen saha için en yakın yükleme yeri olan Yükyeri İskelesi’nin kullanılmasıdır.
- Üçüncüsü ise yine karayolu ile getirilen ekipmanların (Yükyeri iskelesinin yükleme için gereken şartları taşımadığı düşünüldüğünde) santralin kurulacağı sahaya yakın bir yere bir yükleme iskelesi inşa edilerek bu iskelenin kullanılması şeklinde olacaktır.

Taşıma, yükleme ve operasyon maliyetleri ve teknik yönden incelemelerin yapıldıktan sonra hangisinin daha uygun olacağına karar verilmelidir [2].

4. Aynı güçteki denizüstü ve karaüstü res’lerin karşılaştırılması

DRES ve karada kurulacak eşdeğer santrallerinin güçlerinin karşılaştırılması aşamasında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden (DMİ) alınan veriler kullanılmıştır. DRES kurulumunda gereken rüzgâr yön ve hız değerleri için DMİ’nin 39°50’ Kuzey Enlem, 26°04’ Doğu Boylam koordinatında, Bozcaada’da kurulu bulunan 17111 no’lu otomatik ölçü istasyonun 30 metre yükseklikten aldığı rüzgâr hızı ve yönü ölçümleri kullanılmıştır. Karaüstü RES kurulumunda gereken rüzgâr yön ve hız değerleri için de DMİ’nin 39°48’ Kuzey Enlem, 26°20’ Doğu Boylam koordinatında, Ezine’de kurulu bulunan 17671 no’lu otomatik ölçü istasyonun 73 metreden aldığı 1 yıllık, saatlik rüzgâr hızı ve yönü ölçümleri kullanılmıştır [21].

Rüzgâr türbini seçiminde ise bu çalışmada; 100 MW kurulu gücündeki DRES için Siemens SWT-3.6-107 model [22] rüzgâr türbininden 28 adet kurulacaktır. Karada kurulacak 100 MW’lık RES’i içinde GE firmasının ürettiği 2,5 XL-100 model [23] türbinlerinden 40 adet kullanılması tasarlanmıştır. Tabii olarak, türbin seçimi ve alan içindeki dağılımı, birbirleri arasındaki mesafe vb. bilgiler tamamıyla tecrübelerle dayanarak seçilmiştir.

Daha net ve kesin bilgiler özel ticari programlar (WASP, WINDPRO vb.) yardımıyla yapılmaktadır. Bu projede WASP yazılımı kullanılarak OWC Wizard (Observed Wind Climate=Gözlemlenmiş Rüzgâr İklimi) programı yardımıyla ilgili istasyonlardan alınan ölçüm verilerine ve türbin güç eğrilerine göre; rüzgâr histogram ve rüzgâr sıklıklarının belirlenip, güç yoğunluğu hesabı yapılmıştır [2].

DMİ’nin Bozcaada ve Ezine’den alınan bir yıllık, saatlik olarak alınan rüzgâr yön ve hızlarına göre yapılan hesaplamalar sonucunda görülmektedir ki: DRES kurulacak bölgedeki, Ortalama Rüzgâr Hızı, 3.53 m/s ve Ortalama Güç Yoğunluğu 178.21 W/m² iken karada kurulacak RES’in Ortalama Rüzgâr Hızı, 2.18 m/s ve Ortalama Güç Yoğunluğu 51.36 W/m². Ayrıca, 28 adet 3.6 MW’lık türbinlerin güç eğrilerine göre hesaplanan bir yıllık üretilen güç: 145.6 GWh iken, 40 adet 2.5 MW’lık türbinlerin güç eğrilerine göre hesaplanan bir yıllık üretilen güç: 88.9 GWh’dır [2].

Üretilen güçlerdeki bu farklılık, 2.5 MW’lık türbinler 12 m/s rüzgâr hızında tam yükte çalışırken, 3.6 MW’lık türbinler 14 m/s’de tam yükte çalışmasına rağmen elde edilmiştir. Bunun nedeni, denizüstünde pürüzlülüğün az olması dolayısıyla rüzgâr enerjisinden faydalanmanın daha en üst seviyede olmasından kaynaklanmaktadır [2].

5. Sonuçlar ve öneriler

Karasal bölgelerin büyük bölümüne RES’ler kurulmuş Avrupa kıtası, kısıtlı kara alanına sahip, Kyoto protokolü imzalamış ve aynı zamanda yüksek miktarda enerji ihtiyacıyla Japonya ve son yıllardaki hızlı endüstrileşme hamlesiyle enerjiye olan ihtiyacı günden güne artan Çin başta olmak üzere kara üzerindeki RES’lerin kurulabileceği verimli rüzgâr sahalarının yüzölçümü giderek azalmaktadır.

Günümüzde yüksek rüzgâr potansiyeline sahip, fakat eski rüzgâr türbinlerinin kurulu olduğu bölgeler için yeni MW sınıfı rüzgâr türbinleri eski kW sınıfı rüzgâr türbinlerinin değiştirilmesi (repowering) çalışmaları yapılarak aynı bölgeden üretilen enerji miktarı artırılmaya çalışılmaktadır. Ancak yapılan bu yeniden güçlendirme çalışmalarının maliyetleri yüksek olmakta ve istenilen oranda verimli rüzgâr sahası oluşturulmasına çok fazla hizmet etmemektedir. Bu sebeple önümüzdeki dönemlerde, kurulum maliyeti yüksek olan denizüstü RES’lerin devreye alınması çok da hayal ürünü olmayacaktır [1, 24].

Bir karşılaştırma yapıldığında, her ne kadar denizüstü ve karaüstü RES aralarındaki 2 katı yatırım maliyeti farkının kapanması için yıllık üretim sonucu ortaya çıkan yaklaşık 2 katı kazanç yeterli görülmesi de, ile denizüstü, rüzgârdan enerji üretimi üzerine yapılan AR-GE çalışmalarıyla; mevcut türbin güçleri artırılmakta (7 MW seviyelerinde), okyanuslarda elektrik üretimine uygun çalışan (200m derinliklerde), yüzen ve sığ sularda kullanıma uygun çok amaçlı temeller yapılmakta, neredeyse konvansiyonel bir güç santralının üretim kapasitesinde (1000 MW’lar mertebesinde) DRES yapımları planlanmakta, üretilen enerjinin daha fazla mesafelerde, en az kayıpla karaya iletimi veya okyanuslarda üretilen enerjinin hidrojene dönüştürülerek depolanması ve kara üzerindeki kısıtlı alanlarla

karşılaştırıldığında neredeyse sınırsız uygulama alanları ile Denizüstü Rüzgar Enerji Santralleri ile Karaüstü RES'i arasındaki kurulum maliyeti açısından finansal farkın kısa zamanda kapanacağı ve talebin denizüstüne kayacağını söylemek yanlış olmayacaktır [2, 24].

Yaşanabilir bir dünyada, bir ihtiyaçtan öte gereklilik olan enerjinin üretiminde, yenilenebilir enerji kaynakların kullanımına öncelik verilip, bu konuda yapılacak yatırımların teşvik edilmesi, araştırma ve geliştirme çalışmalarına gereken önemin verilmesi, en önemlisi de: yenilenebilir enerji kaynaklardan gelişmiş bir mühendislik çalışması ile zor ve pahalı bir şekilde elde edilen enerjinin en etkin ve kayıpsız bir şekilde iletilmesi, dağıtılması, depolanması ve kullanılmasına yönelik çalışmalar yürekten desteklenmelidir [25].

KAYNAKÇA

- [1] International Energy Agency, “Four energy policies can keep the 2°C climate goal alive” *World Energy Outlook Special Report*, 126pgs, 2013.
- [2] Köroğlu, M.Ö., “Yüksek Gerilim Alternatif Akım ve Yüksek Gerilim Doğru Akım Şebeke Bağlantılı Denizüstü (Offshore) Rüzgar Santrallerinin Tasarım Esasları” Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir*, 119 sf., 2012.
- [3] Xu, L., and Andersen, B.R., “Grid connection of large offshore wind farms using HVDC”, *Wind Energy*, 9(4): 371-382, 2006.
- [4] Hausler, M., and Owman, F., “AC or DC for connecting Offshore Wind Farms to the Transmission Grid”, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. 2002.
- [5] Erisson, E., Halvarsson, P., Wensky, D., Hausler, M., “System Approach on Designing an Offshore Windpower Grid Connection”, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2003.
- [6] LORC Knowledge, “Denizüstü Rüzgâr İstatistikleri”, <http://www.lorc.dk/offshore-wind-farms-map/statistics/> (Erişim tarihi: 27 Temmuz 2013).
- [7] Neumann, T., “Erection of German Offshore Measuring Platform in the North Sea”, *DEWI Magazin*, Nr 23, 2003.
- [8] Hau, E., *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, Springer, Germany, 775p, 2005.
- [9] Danish Energy Authority, “Future Offshore Wind Power Sites-2025”, *Danis Energy Authority*, 2007.
- [10] Durak, M. ve Özer, O., 2008, *Rüzgâr Enerjisi: Teori ve Uygulama*, İmpress Yayınevi, Ankara, 543sf., 2008.
- [11] LORC Knowledge, “Denizüstü Rüzgar Çiftlikleri”, <http://www.lorc.dk/offshore-wind-farms-map/burbo-bank-1> (Erişim tarihi: 27 Temmuz 2013).
- [12] European Wind Energy Association (EWEA), www.ewea.org (Erişim tarihi: 14 Haziran 2011).
- [13] Yauck, J., “Turning Great Lakes wind into energy”, <http://bayviewcompass.com/archives/2246> (Erişim tarihi: 9 Eylül 2011).
- [14] Brakelmann, H., “Aspects of Cabling in Offshore Windfarms” Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2003.
- [15] Electricity Supply Board National Grid, “Wind Farm Connection Requirements”, *ESBNG*, Ireland, 2002.
- [16] Erisson, E., Halvarsson, P., Wensky, D., Hausler, M., “System Approach on Designing an Offshore Windpower Grid Connection”, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2003.
- [17] Elektrik Mühendisleri Odası (EMO), “Güç Sistemlerinde Rüzgâr, (Çev. Özşar, Ç. ve Bodur, A.)”, *TMMOB-Elektrik Mühendisleri Odası, GY/2009/4*, Ankara, 727sf., 2009
- [18] Bresesti, P., Kling, W.L., Hendriks, R.L., and Vailati, R., “HVDC Connection of Offshore Wind Farms to the Transmission System”, *IEEE Trans. Energy Con.*, 22(1): 37-43, 2007.
- [19] Kirby, N.M., Xu, L., Luckett, M., and Siepmann, W., “HVDC transmission for large offshore wind farms”, *Power Engineering Journal*, 16(3): 135-141, 2002.
- [20] Frandsen, S., Barthelmie, R., Pryor, S., Rathmann, O., Larsen, S., Jørgen Højstrup, J., and Thøgersen, M., “Analytical modelling of wind speed deficit in large offshore wind farms”, *Wind Energy*, 9(1-2): 39-53, 2006.
- [21] Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ), “İstasyon Bilgileri Veritabanı”, <http://www.dmi.gov.tr/kurumsal/> (Erişim tarihi: 13 Kasım 2011).
- [22] Siemens Wind Power, “SWT-3,6-107 Rüzgâr Türbini Teknik Özellik Broşürü”, *Siemens AG*, Almanya, 8 Sf., 2010.
- [23] General Electric (GE), “2,7/2,5/2,3 Wind Turbine”, Technical Brochure, General Electric Company, 6p. 2004.
- [24] Ackermann, T., *Wind Power in Power Systems*, Wiley, 1120 pgs, 2012.
- [25] Courault, J., “Energy Collection of Large Offshore Wind Farms”, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2001.
- [26] The Global Wind Energy Council (GWEC), <http://gwec.net/global-figures/graphs/> (Erişim tarihi: 14 Haziran 2011).