

## RÜZGÂR ENERJİ SANTRALLERİNİN GELECEĞİ

Ahmet Selim KOCATÜRK\*, Aytekin DURANAY\*, Bülent FIRAT ve Yalçın ÜNSAN  
\* *İstanbul Teknik Üniversitesi* | [duranaya@itu.edu.tr](mailto:duranaya@itu.edu.tr), [firatb@itu.edu.tr](mailto:firatb@itu.edu.tr), [unsany@itu.edu.tr](mailto:unsany@itu.edu.tr)

### ÖZET

Bu çalışmada rüzgâr enerji santrallerinin Avrupa Kıtası ve Dünya üzerindeki mevcut durumlarının incelenmesi yapılmıştır. Bir sonraki aşamada literatürde 2030 senesine kadar yapılan projeksiyonlar incelenmiştir. Aynı incelemeler, ADRES (Açık Deniz Enerji Santralleri) ve KES (Kıyı Enerji Santralleri) için de yapılmıştır. Çalışmanın sonunda ADRES ve KES ler için Türkiye için ne tür bir beklenti içinde olabileceğimiz üzerinde kestirim yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Açık Deniz Rüzgâr Enerji Santralleri.

### ABSTRACT

In this study, the research on the current status of wind energy turbines in Europe and the world are presented. In the second stage, the future projection of the developments up to 2030 are investigated. In addition to that, Offshore Wind Turbines (OWT) and Coastal Energy Turbines (CET) are also considered. The study ends with discussing the future projects and expectations of OWTs and CETs in Turkey in the near future.

**Keywords:** Offshore Wind Turbines (OWT) and Coastal Energy Turbines (CET).

### 1. Giriş

1990'lı yıllardan itibaren rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi dünya genelinde artmaya başlamış ve bu artış 2000'li yıllarda ivmelenerek devam etmektedir. Dünya genelinde yaşanan bu artışın tabii ki çeşitli nedenleri vardır. Bunun en önemli nedeni, rüzgârın yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olmasıdır. Devletler sürdürülebilir bir çevre yönetimi ile enerji kaynaklarında kaynak çeşitliliği yapmak ve daha da önemlisi dışa bağımlılığı önlemek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bunun yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları sayesinde fosil yakıt tüketimi düştüğü gibi karbondioksit emisyonlarında da büyük oranlarda azalmalar görülecektir. Örneğin Avrupa'da Kyoto sözleşmesince öngörülen 355,8 milyon tonluk CO<sub>2</sub> emisyonu azalmasının sadece 105 milyon tonluk kısmı offshore rüzgâr enerjisiyle gerçekleştirilmiş olacak. CO<sub>2</sub> 'nin birim fiyatının 25 Euro/ton olduğu düşünülürse 3 milyar Euro gibi bir katkı sağlanmış olacaktır. Avrupa Birliği'nin yapmış oldukları öngörülere göre 2020 yılında tüketilen toplam enerjinin %20'si yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanacaktır [2].

### 2. Dünyanın Rüzgâr Enerjisi Üretimi İle İlgili Durumu

Dünya genelinde 2016 yılı itibarıyla rüzgâr enerjisinden, son yılda eklenen %17'lik artışla 64 GW dâhil edilmiş olup toplam yaklaşık 435 GW enerji elde edilmektedir [11].

Şekil 2.1 de rüzgâr enerjisinde söz sahibi ilk 15 ülkenin üretim kapasiteleri sunulmuştur. Türkiye, en büyük üretici olan Çin'in kapasitesinin %3 ü kadar bir kapasiteye sahiptir. Diğer bir deyişle Çin, Türkiye'ye göre 31 kat fazla üretim yapmaktadır. Türkiye rüzgâr enerjisi üretiminde Dünya'da 15. Sırada olup, kapasite artırımında % olarak Dünya'da 4. sırada, MW olarak kapasite artırımında 7. Sırada.

Position 2015	Country/Region	Total capacity end 2015** [MW]	Added capacity 2015*** [MW]	Growth rate 2015 [%]	Total capacity end 2014 [MW]
1	China	148'000	32'970	29.0	114'763
2	United States	74'347	8'598	13.1	65'754
3	Germany	45'192	4'919	11.7	40'468
4	India *	24'759	2'294	10.2	22'465
5	Spain	22'987	0	0.0	22'987
6	United Kingdom	13'614	1'174	9.4	12'440
7	Canada	11'205	1'511	15.6	9'694
8	France	10'293	997	10.7	9'296
9	Italy	8'958	295	3.4	8'663
10	Brazil	8'715	2'754	46.2	5'962
11	Sweden	6'025	615	11.1	5'425
12	Poland	5'100	1'266	33.0	3'834
13	Portugal	5'079	126	2.5	4'953
14	Denmark	5'064	217	3.7	4'883
15	Turkey	4'718	955	25.4	3'763
	Rest of the World	40'800	5'000	14.0	35'799
	<b>Total</b>	<b>434'856</b>	<b>63'690</b>	<b>17.2</b>	<b>371'374</b>

\* by november 2015

\*\* Includes all installed wind capacity, connected and not-connected to the grid.

\*\*\* Includes the net capacity added during the year 2015.

© WWEA - 2016

Şekil 2.1 Dünyadaki kurulu rüzgâr gücü [11]

### 3. Başlıca Ülkelerdeki Enerji Politikaları ve Üretimleri

Rüzgâr enerjisi birçok ülkede teşvik edilmektedir. Bu durum, rüzgâr enerjisi diğer enerji kaynaklarıyla rekabet edinceye kadar devam edecektir. Avrupa Birliği ülkeleri ürettikleri enerjilerinin ortalama % 22 oranında yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayacaklarını planlayarak zaten yeterli teşviği vermiş durumdadırlar. Bu tür hedefler rüzgâr da dâhil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasına yöneliktir. Avrupa'nın yanı sıra diğer bölgelerdeki ülkeler de buna benzer hedefleri tutturabilmek adına piyasa destek yöntemlerini kullanırlar. Bu yöntemlerden bazıları, üretilen birim enerji başına prim ödenmesi, özel tarifelerin uygulanması, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan elektrik santrallerine vergi

teşviği verilmesidir [1]. Son yıllarda ülkeler kendi yenilenebilir enerji kaynaklarının ayrıntıları hakkında vermiş oldukları bilgilerde cimri davranmaktadırlar. Bazı ülkelerin son senelerin bilgisine ulaşılsa da, en güvenilir kaynak 2005-2006 yılları civarında olduğundan hareketle, bazı ülkelerdeki durum aşağıdaki gibidir:

### 3.1. Almanya

Rüzgâr enerjisinde dünya lideri olarak belirtilebilecek bir konumda olan Almanya teknik altyapısını artık tamamlamış durumdadır. 2007 yılı sonu itibariyle Almanya'nın yaklaşık kurulu gücü 130 GW civarındayken bunun % 16,1'lük kısmını yani 22 GW'lık kısmını rüzgâr enerjisi oluşturmaktadır. Tablo 3.1'de Almanya'nın Kurulu gücü ve bunun dağılımı görülmektedir.

**Tablo 3.1** Almanya'nın kurulu gücünün dağılımı [1]

Kaynak	Kurulu Güç (MW)	Yüzde
Nükleer	21.400	16,5
Hard coal	30.500	23,6
Brown coal	22.200	17,1
Doğal gaz	19.500	15,1
Hidrolik	8.200	6,3
Rüzgâr	22.247	17,2
Diğer	5.410	4,2

Almanya'da rüzgâr enerjisi projeleri daha çok Kuzey Almanya ve kıyı kesimlerinde bulunmaktadır. Ülkenin güney kısmında da az sayıda bu tür çeşitli projelere rastlamak mümkündür.

### 3.2. Danimarka

Günümüz rüzgâr türbinlerinin ilk olarak uygulandığı ülke olan, rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminde öncü ülke olan Danimarka'nın kurulu gücü 13 GW civarındadır. Bunun yaklaşık % 24'lük kısmını rüzgâr enerjisi oluşturmaktadır. Tablo 3.2'de Danimarka'nın Kurulu gücü ve bunun dağılımı görülmektedir.

**Tablo 3.2** Danimarka'nın kurulu gücünün dağılımı [1]

Kaynak	Kurulu Güç (MW)	Yüzde
Termik	830	6,3
Kojenerasyon	9.000	67,8
Biokütle	300	2,3
Rüzgâr	3.136	23,6

Danimarka'da 5376 adet rüzgâr türbini bulunmaktayken bunların 376'sını offshore rüzgâr türbinleri oluşturur. Burada bahsedilen türbinlerin ortalama 2,1 MW büyüklüğündeki türbinlerle değiştirilmesi durumunda ülkede elektrik enerjisi ihtiyacının % 100'ü karşılanması mümkündür. Danimarka'da yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek olan elektrik enerjisi devlet

tarafından sabit alış fiyatı güvencesi alınmış ve yatırımcılar bu koşullar altından yatırımlarını yapmıştır. Ancak 2004 yılında gelen hükümetin rüzgâr enerjisine soğuk bakması sebebiyle o yıl içerisinde sadece 6 MW'lık bir kapasite artışı gözlenmiştir. Bu durumdan da anlaşılacağı gibi ülkelerin politikaları, bakışları çok önemli bir yere sahiptir [1].

### 3.3. İngiltere

İngiltere'nin Kurulu gücü 2007 yılı itibariyle 80 GW civarındadır ve bunun yalnızca % 2,4'lük kısmını rüzgâr enerjisinden sağlanmaktadır. Tablo 3.3'te İngiltere'nin Kurulu gücü ve bunun dağılımları görülmektedir.

**Tablo 3.3** İngiltere'nin kurulu gücünün dağılımı [1]

Kaynak	Kurulu Güç (MW)	Yüzde
Kömür ve fuel oil	33.770	42,5
Gaz	27.024	34,0
Nükleer	12.098	15,2
Hidrolik	4.256	5,4
Rüzgâr	2.389	3,0

İngiltere'de rüzgâr enerjisi son yıllarda özellikle offshore rüzgâr türbinleriyle birlikte büyük bir atılım göstermiş ve 2009 yılı itibariyle dünyada offshore rüzgâr türbini kurulu güçleri sıralamasında birinci sıraya yükselmiştir. 2009 yılı itibariyle 688MW offshore rüzgâr enerjisi kurulu gücüne sahip olan İngiltere'nin 2012 yılı sonunda 2.500 MW'lık offshore rüzgâr enerjisi kurulu gücü olması beklenmektedir [7].

### 3.4. İspanya

İspanya'nın 2007 yılı itibariyle yaklaşık kurulu gücü 70 GW civarındadır. 15 GW'lık rüzgâr enerjisi kapasitesi toplam kurulu gücün % 17,4'lük kısmını oluşturmaktadır. Tablo 3.4'te daha detaylı bir şekilde kurulu gücün dağılımları görülmektedir.

**Tablo 3.4** İspanya'nın kurulu gücünün dağılımı [1]

Kaynak	Kurulu Güç (MW)	Yüzde
Termik	22.028	31,5
Hidrolik	16.658	23,8
Nükleer	7.876	11,3
Kombine çevrim	8.259	11,8
Rüzgâr	15.145	21,6

### 3.5. Portekiz

Portekiz'in toplam enerji kapasitesi 2007 yılı itibariyle yaklaşık 14 GW civarındayken bunun % 12,7'lik kısmını rüzgâr enerjisi oluşturmaktadır. Ülkenin kurulu gücü ve bunların dağılımı tablo 3.5'te görülmektedir.

**Tablo 3.5** Portekiz'in kurulu gücünün dağılımı [1]

Kaynak	Kurulu Güç (MW)	Yüzde
Termik	5.460	39,2
Hidrolik	4.386	31,5
Kojenerasyon	1.033	7,4
Diğer yenilenebilir	896	6,4
Rüzgâr	2.150	15,4

Portekiz'de de son yıllarda çeşitli teşvikler ve yatırımlar vardır.

### 3.6. Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri'nde 2007 yılı itibariyle yaklaşık 970 GW kurulu güç bulunurken bunların yalnızca %0,012'lik kısmı rüzgâr enerjisinden oluşmaktadır. Tablo 3.6'da ülkenin kurulu gücü, kaynaklarına göre görülmektedir.

**Tablo 3.6** ABD'nin kurulu gücünün dağılımı [1]

Kaynak	Kurulu Güç (MW)	Yüzde
Kömür	483.707	49,6
Nükleer	189.689	19,5
Doğal gaz	161.236	16,5
Hidrolik	66.391	6,8
Fuel oil	28.453	2,9
Rüzgâr	16.818	1,7
Diğer	28.000	2,9

2006 yılında yapılan bir araştırma sonucuna göre, ABD yenilenebilir enerji sektörü açısından en çekici yer olarak bulunmuştur. Bu gelişmeler sonrasında, ülkedeki rüzgâr enerjisi projeleri kapsamında 2007 yılında 16 GW olan rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2009 yılı sonunda 35 GW'a kadar yükselmiş ve bununla birlikte dünyada rüzgâr enerjisinden en fazla elektrik üreten ülke konumuna gelmiştir [6].

### 3.7. Çin

Çin'in Kurulu gücü 2007 yılı sonu itibariyle yaklaşık 450 GW civarındayken bunun yalnızca 6 GW'lık kısmını rüzgâr enerjisi oluşturmaktadır. Tablo 3.7'de Çin'deki Kurulu güç ve bunların dağılımı görülmektedir. 2006 yılında 2 GW olan rüzgâr enerjisi kapasitesinin, 2007'de 6 GW, 2008'de 12 GW, 2009'da ise 26 GW civarlarına kadar gelmesi, Çin'in de rüzgâr enerjisine

yöneldiğini göstermektedir. Çin, Şu an itibariyle dünyada rüzgâr enerjisinden elektrik üreten en büyük ülke konumundadır. Ayrıca şu anda dünyada Avrupa dışındaki tek offshore rüzgâr çiftliği Çin’de bulunmaktadır [1,3,7].

**Tablo 3.7** Çin’in kurulu gücünün dağılımı [1]

Kaynak	Kurulu Güç (MW)	Yüzde
Termik	324900	72,9
Nükleer	6480	1,5
Hidrolik	108262	24,3
Rüzgâr	6050	1,4

### 3.8. Hindistan

Hindistan’ın 2007 yılı sonu itibariyle toplam kurulu gücü 122 GW civarındayken bunun % 6,5’lik kısmı yani 8 GW kadar rüzgâr enerjisinden oluşmaktadır. Tablo 3.8’de daha detaylı bir şekilde ülkenin kurulu gücü, kaynaklarına göre görülmektedir.

**Tablo 3.8** Hindistan’ın kurulu gücünün dağılımı [1]

Kaynak	Kurulu Güç (MW)	Yüzde
Termik	80.201	66,3
Nükleer	2.720	2,2
Hidrolik	30.135	24,9
Rüzgâr	8.000	6,6

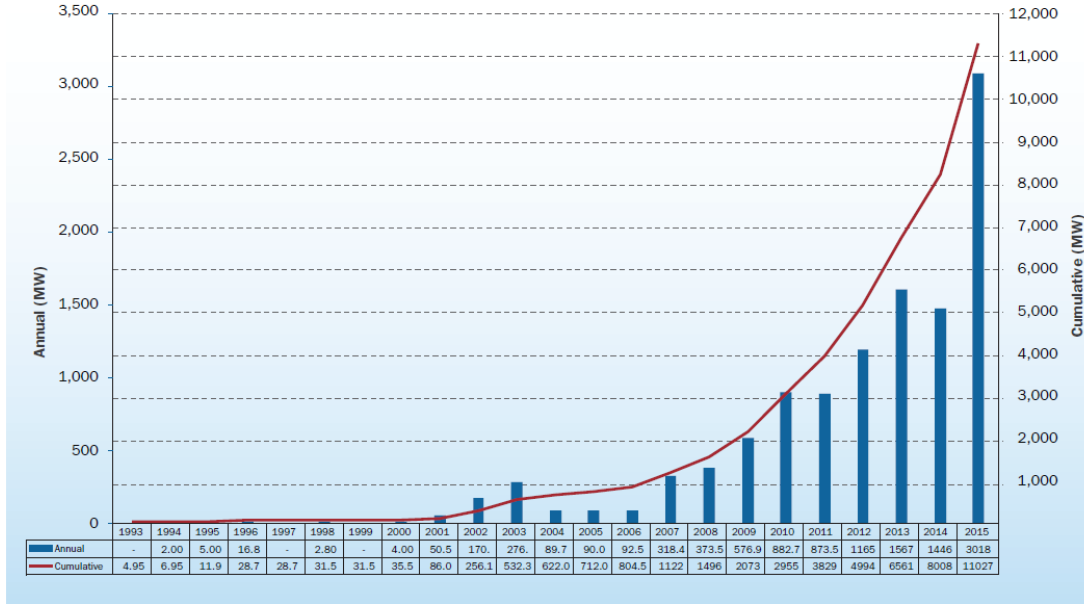
Hindistan’da da yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin çalışmalar başlamış bulunmaktadır. 2005 yılında kabul edilen Ulusal Yenilenebilir Enerji Yasası 2006 yılı itibariyle yürürlüğe girmiştir [1].

### 3.9. Dünya Geneline Offshore Rüzgâr Enerjisi Üretimi

2000’li yılların başından itibaren rüzgâr enerjisinin kullanımındaki artışla paralellik gösteren offshore rüzgâr enerjisi kullanımı bugünlerde de aynı hızıyla artışına devam etmektedir. Dünya üzerinde bulunan offshore rüzgâr enerjisi kapasitesinin yaklaşık % 99’luk kısmı Avrupa’da bulunmaktadır. Avrupa dışındaki tek rüzgâr çiftliği Çin’de bulunmaktadır. Çin’de bulunan çiftliğin kapasitesi ise sadece 102 MW gücündedir [3,6].

2015 yılında eklenen offshore rüzgâr çiftlikleriyle birlikte bugün Avrupa offshore rüzgâr türbinlerinin toplam kurulu gücü 12 GW’a ulaşmıştır [13]. Şekil 3.1’de 1993 yılından 2015 yılına kadar olan sürede, offshore rüzgâr enerjisi piyasasındaki artış görülmektedir [9].

Dünya üzerindeki offshore rüzgâr enerjisi üretimine bakacak olursak, Danimarka, İngiltere ve Almanya’nın yaklaşık %80-85’lik bir paya sahip oldukları göze çarpmaktadır. Tablo 3.9’da Avrupa ülkelerinde şu an çalışmakta olan projeler, yapım aşamasındaki projeler, yapılması onaylanan projeler ve ileriki yıllarda yapılması planlanan projeler yer almaktadır.



Şekil 3.1 Avrupa'da offshore rüzgâr piyasasındaki gelişim (1993-2015) [9]

Tablo 3.9 Avrupa ülkelerinde offshore rüzgâr enerjisi üretimi [9]

Country	BE	DE	DK	ES	FI	IE	NL	NO	PT	SE	UK	Total
No. of farms	5	18	13	1	2	1	6	1	1	5	27	80
No. of turbines	182	792	513	1	9	7	184	1	1	86	1,454	3,230
Capacity installed (MW)	712	3,295	1,271	5	26	25	427	2	2	202	5,061	11,027

### 3.9.1 Danimarka

Danimarka offshore rüzgâr enerjisi kullanımında da öncü ülkelerden biridir. İlk offshore rüzgâr çiftliği 1991 yılında 5 MW kapasitesinde kurulmuştur. Günümüz offshore rüzgâr enerjisi piyasasında yaklaşık % 11.5'lik bir paya sahip olan Danimarka'da şu anda hizmet vermekte olan 1,271 MW civarında offshore rüzgâr çiftliği vardır. Yapımı devam eden ve yapılması planlanan projelerin sonunda yaklaşık 2.500 MW'lık kurulu gücün olması beklenmektedir [7].

### 3.9.2 İngiltere

İngiltere ilk offshore rüzgâr enerjisi üretimine 2000 yılında başlamış olup 2003 yılından bugüne kadar her yıl yeni projelerle kapasitesini arttırmıştır. 2008 yılı sonunda 574 MW kurulu güce ulaşırken bu değer 2009 sonunda 688 MW'a çıkmıştır. 2015 yılı sonu itibariyle 5.061 GW (%45,9) kurulu güce sahip olan İngiltere diğer ülkelerin açık ara önünde yer almaktadır.



### 3.9.3 Almanya

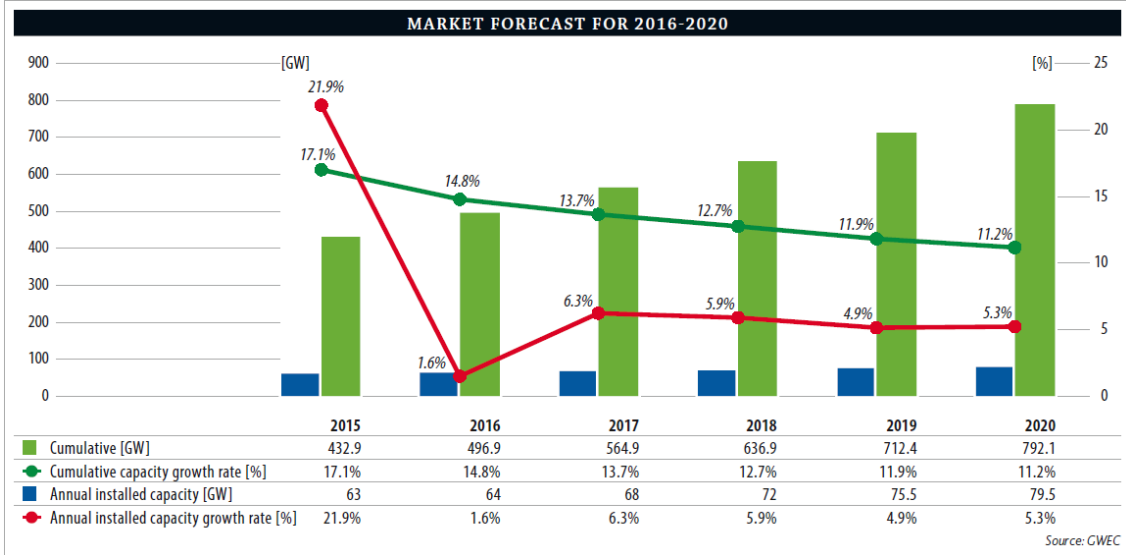
Son yıllarda göstermiş olduğu atılımla Almanya’da offshore rüzgâr enerjisi piyasasında kendine bir yer edinmiştir. Almanya ilk offshore rüzgâr enerjisi projesini 2003 yılında gerçekleştirmiş olup, 2009 yılından itibaren ciddi atılımlar yapmaya başlamıştır. 2015 yılı sonu itibariyle 3,292 MW kurulu güce sahip olan Almanya’nın Avrupa offshore piyasasındaki payı % 29.9’dur

### 3.9.4 Avrupa’da Offshore Rüzgâr Enerjisi Üretimi

2015 sonu itibariyle dünya offshore rüzgâr türbini ünitelerinin %91’i (11,034 MW) Avrupa’nın 11 ülkesinin açık denizlerinde kuruludur. Kalan yaklaşık %9’un neredeyse tamamı sırasıyla Çin (%8.4), Japonya ve Güney Kore’dedir. Toplam kapasiteye baktığımızda Birleşik Krallık dünya genelinin %40’ına sahip iken bunu %27 ile Almanya, %10.5 ile Danimarka, %6 ile Belçika, %3.5 ile Hollanda ve %1.6 ile İsveç takip etmektedir. Diğer offshore rüzgâr türbinlerine sahip Avrupa ülkelerinden Finlandiya, İrlanda, Norveç, İspanya ve Portekiz’in marketteki payı ise sadece %0.5’tir [10].

### 3.10 Dünya Rüzgâr Enerjisi Üretiminin Geleceği

Son 10 yılda yaşanan büyümenin ileriki yıllarda da aynı şekilde devam etmesi bekleniyor. Şu anda dünya genelinde 400 GW’tan fazla kurulu gücün olduğu bilinmekte olup, bu değerın 2020 yılında şekil 3.2’de görüldüğü gibi 800 GW olması tahmin ediliyor [10].

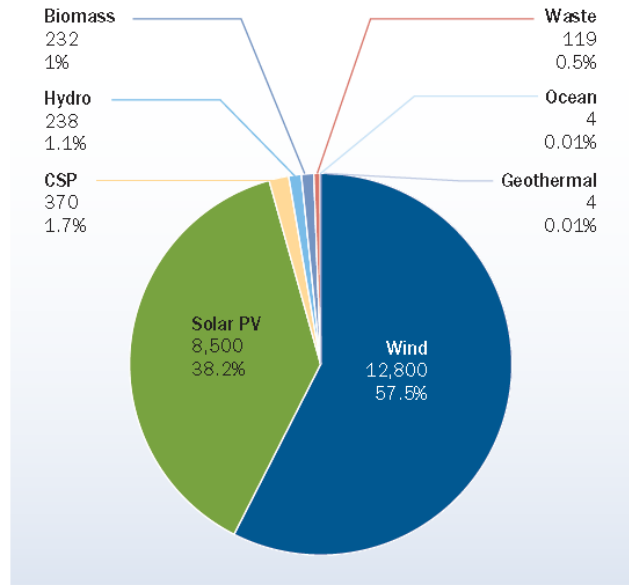


Şekil 3.2 Toplam rüzgâr enerjisi kurulu gücü (1997-2020) [10]

Şekil 3.3’de görüldüğü üzere, 2015 yılında Avrupa’da yaklaşık 22.3 GW yenilenebilir enerji kaynakları yatırımı hayata geçirilmiş ve bunun 12.8 GW’lık kısmı rüzgâr enerjisi olarak gerçekleşmiştir [14]. 2015 yılında Avrupa’nın rüzgâr enerjisine yaptığı yatırımın yaklaşık dörtte birini offshore rüzgâr enerjisi oluşturmaktadır [13].



Offshore rüzgâr enerjisinde yaşanan gelişmeler sonrasında ülkelerin artık offshore rüzgâr çiftliklerine yöneldiği gözlemleniyor. Bu yönelme önümüzdeki yıllarda da devam edecek gibi görünüyor. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi 2030 yılında offshore rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik miktarının karadan üretilenle aynı seviyelere gelmesi bekleniyor. Dünyanın önde gelen rüzgâr türbini üretici firmaları yeni tasarımlarını özellikle offshore için yapmaktadırlar [7].



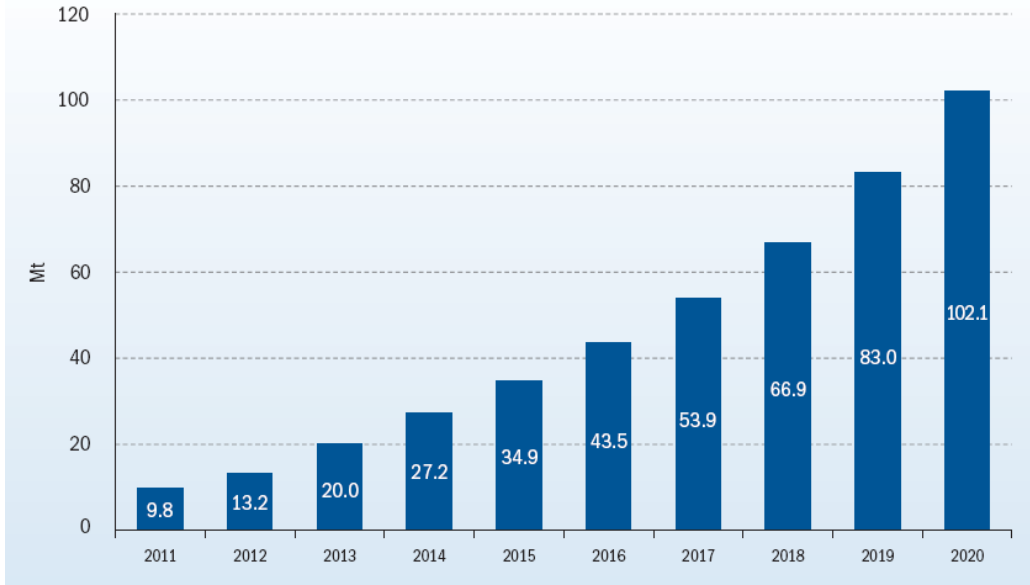
Şekil 3.3 2015 Avrupa Yenilenebilir Enerji Yatırımları Oranları Toplam 22,267.9MW [14]

ANNEX 1: CAPACITY SCENARIOS PER COUNTRY (MW)

	2014			2020 Target (Central scenario)			Low 2030 scenario			Central 2030 scenario			High 2030 scenario		
	Onshore	Offshore	Total	Onshore	Offshore	Total	Onshore	Offshore	Total	Onshore	Offshore	Total	Onshore	Offshore	Total
Austria	2,095	-	2,095	3,400	-	3,400	5,000	-	5,000	5,800	-	5,800	6,650	-	6,650
Belgium	1,247	713	1,959	3,000	1,500	4,500	2,650	2,200	4,850	3,300	3,000	6,300	4,000	3,800	7,800
Bulgaria	690	-	690	1,500	-	1,500	1,000	-	1,000	1,220	-	1,220	1,440	-	1,440
Croatia	347	-	347	600	-	600	1,600	-	1,600	1,800	-	1,800	2,000	-	2,000
Cyprus	147	-	147	300	-	300	447	-	447	483	-	483	581	-	581
Czech Republic	282	-	282	1,000	-	1,000	1,040	-	1,040	2,200	-	2,200	4,320	-	4,320
Denmark	3,603	1,271	4,874	3,700	2,800	6,500	3,300	2,650	5,950	4,600	3,530	8,130	6,000	5,320	11,320
Estonia	303	-	303	700	-	700	365	-	365	433	750	1,183	500	1,500	2,000
Finland	607	26	627	2,500	26	2,526	5,000	26	5,026	8,500	26	8,526	12,000	26	12,026
France	9,285	-	9,285	18,500	1,500	20,000	19,000	6,000	25,000	26,250	9,000	35,250	28,000	15,000	43,000
Germany	38,369	1,049	39,418	45,000	6,500	51,500	60,000	15,000	75,000	62,500	17,500	80,000	65,000	22,500	87,500
Greece	1,980	-	1,980	4,500	-	4,500	8,000	-	8,000	9,000	-	9,000	12,000	500	12,500
Hungary	329	-	329	600	-	600	925	-	925	973	-	973	1,051	-	1,051
Ireland	2,246	25	2,272	4,000	25	4,025	5,500	25	5,525	6,892	800	7,692	8,390	1,200	9,590
Italy	8,665	-	8,665	12,000	-	12,000	10,768	-	10,768	13,600	-	13,600	16,768	500	17,268
Latvia	62	-	62	200	-	200	234	-	234	308	-	308	430	-	430
Lithuania	279	-	279	600	-	600	878	-	878	1,110	-	1,110	1,200	1,000	2,200
Luxembourg	58	-	58	100	-	100	123	-	123	141	-	141	169	-	169
Malta	-	-	-	30	-	30	30	-	30	49	-	49	80	-	80
Netherlands	2,565	247	2,812	4,000	1,400	5,400	5,872	6,000	11,872	6,067	6,500	12,567	6,391	7,000	13,391
Poland	3,834	-	3,834	10,000	-	10,000	7,900	500	8,400	11,800	1,350	13,150	13,500	2,200	15,700
Portugal	4,913	2	4,915	5,700	25	5,725	5,924	27	5,951	6,373	27	6,400	7,012	27	7,039
Romania	2,954	-	2,954	3,200	-	3,200	4,500	-	4,500	5,000	-	5,000	6,000	-	6,000
Slovakia	3	-	3	300	-	300	300	-	300	331	-	331	486	-	486
Slovenia	3	-	3	30	-	30	33	-	33	49	-	49	75	-	75
Spain	22,982	5	22,987	26,000	5	26,005	35,000	5	35,005	44,500	5	44,505	52,000	500	52,500
Sweden	5,220	212	5,432	6,000	212	6,212	8,600	202	8,802	13,300	1,000	14,300	18,000	2,000	20,000
UK	7,953	4,494	12,447	11,500	9,500	21,000	12,300	12,000	24,300	17,000	23,000	40,000	20,000	35,000	55,000
Total	121,021	8,044	129,065	168,960	23,493	192,453	206,291	44,635	250,926	253,578	66,488	320,066	294,043	98,073	392,116

Şekil 3.4 Offshore – Onshore rüzgâr enerjisi üretimi (2021-2030) [12]

EWEA 2020 yılında Avrupa'nın offshore rüzgâr enerjisi kapasitesinin 40 GW civarında olmasını öngörmektedir. Buna ulaşılması durumunda 102 milyon tonluk CO2 emisyonunda azalma beklenmektedir. Şekil 3.5'te offshore rüzgâr türbinlerinin 2020 yılına kadar CO2 emisyonlarındaki azalmaya katkısı görülmektedir [7].



Şekil 3.5 Offshore rüzgâr türbinlerinin CO2 emisyonlarındaki azalmaya katkısı [7]

2020 ile 2030 yılları arasında ise 110 GW'lık offshore rüzgâr kapasitesinin Avrupa sularına eklenmesi tahmin edilmektedir. Böylece 2030 yılında 150 GW'a ulaşacak olan offshore rüzgâr kapasitesi sayesinde 315 milyon tonluk CO2 emisyonu engellenecektir [7].

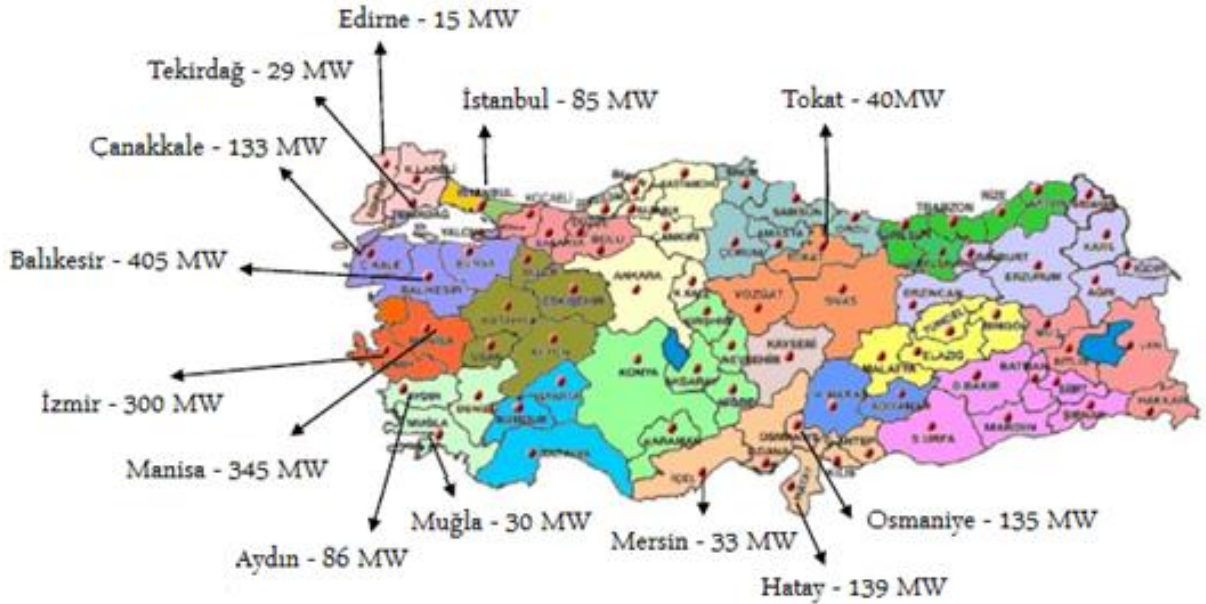
#### 4. Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Üretimi İle İlgili Durumu

Dünya genelinde gerçekleşen rüzgâr enerjisi üretimine Türkiye biraz geç de olsa dâhil olmuştur. 2000'li yılların başında ufak kapasiteli rüzgâr türbinleri vardı ve 2007 yılı itibariyle Türkiye'nin Kurulu rüzgâr gücü 150 MW civarındaydı. O yıllardaki rüzgâr enerjisi kapasitesi Türkiye'nin toplam enerji kapasitesinin ancak % 0,37'lik bir kısmını oluşturuyordu. 2007 yılı itibariyle Türkiye'nin Kurulu gücü 40 GW civarındadır. Tablo 4.1'de Türkiye'deki Kurulu gücün kaynaklarına göre dağılımları yer almaktadır [1,6].

2008'den itibaren rüzgâr enerjisi projelerinde artış gözlemlenmektedir. 2009 yılında kurulu gücünü 800 MW'a yükselten Türkiye, 2011 yılı itibariyle 1.645 MW'lık kurulu güce ulaşmıştır. Bugünlerde ise yaklaşık 2 GW'lık kapasiteye sahip olduğu tahmin edilmektedir. Bu artışın temel sebebi elbette diğer ülkelerde olduğu gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimdir. Devletin son yıllarda vermiş olduğu teşvikler yatırımcıları bu sektöre çekmeyi başarmış ve kapasiteyi yukarıya çekmeyi sağlamıştır. 2015 yılında ise kurulu rüzgâr gücünün toplam kurulu güce oranının % 5'e çıkması beklenmektedir. Ancak bunlar bile yeterli değildir. Avrupa ülkelerinin belirlemiş oldukları % 20'lik hedeflere bakılırsa ve Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin 50 GW civarında olduğu düşünülürse, Türkiye rüzgâr enerjisi üretiminde yolun daha başında olduğu anlaşılmaktadır. Şu anda Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyelinin ancak % 4-5'lik kısmını kullanabilmektedir [1,4].

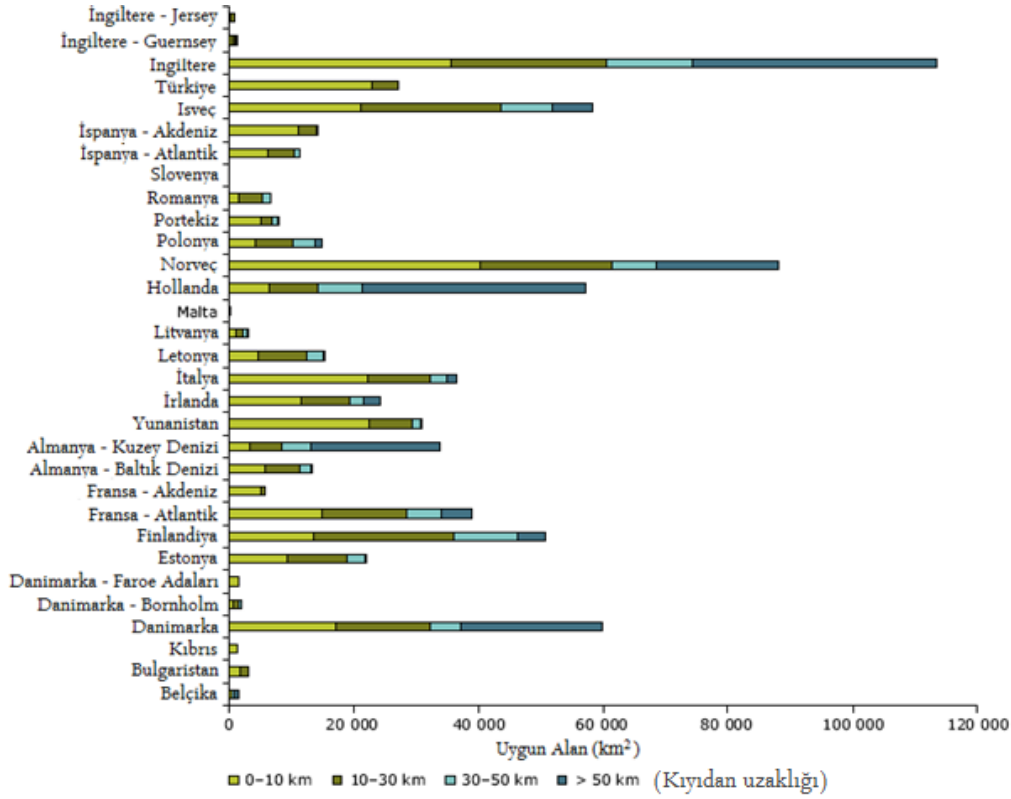
Tablo 4.1 Türkiye'deki enerji kaynakları gösterimi [1]

Kaynak	Kurulu Güç (MW)	Yüzde
Fuel oil	2.218	5,5
Motorin	214	0,53
Kömür	9.837	24
Doğal gaz	12.748	32
LPG + Nafta	47	0,12
Hidrolik	13.062	32
Çok yakıtlılar	1.924	4,7
Diğer yenilenebilir	64	0,16
Rüzgâr	150	0,37



Şekil 4.1 Türkiye'de illere göre rüzgâr enerji santralleri [8]

Offshore rüzgâr enerjisinde ise Türkiye'nin bir çalışma içerisinde olduğunu söylemek henüz mümkün değildir. Ama etrafı denizlerle çevrili bir ülkenin bundan faydalanmaması düşünülemez. Şekil 4.2'de Avrupa ülkelerinin offshore için uygun alanlarını görülmektedir. Bu şekilde, Kuzey Avrupa ülkelerinin ve Kuzey Denizi'ne kıyısı olan ülkelerin ardından Türkiye'nin geldiği görülmektedir.



Şekil 4.2 Türkiye'nin offshore rüzgâr enerjisi için uyumlu alanlardaki yeri [4]

## 5. ADRES'lerde Maliyet Analizi

Rüzgâr enerjisi sektöründe son yıllarda gerçekleşen yeniliklerle birlikte kW başına rüzgâr türbini maliyeti düşmeye başlamıştır. Rüzgâr türbini maliyeti, kurulacak olan yerin şartlarına bağlı olduğundan projeden projeye değişiklikler göstermektedir. Özellikle offshore rüzgâr türbinlerinin yapım maliyetlerinde çok büyük değişiklikler gözlemlenmektedir. Türbinin kurulacak yerinin su derinliği, offshore temelini maliyetini artırırken, kıyıya olan mesafesi ise kablo bağlantısı ve yükleme maliyetlerini artırır. Karada kurulan rüzgâr türbinlerinde türbin maliyeti, toplam maliyetin % 74-82'lik kısmını oluştururken offshore rüzgâr türbinlerinde % 30-50'lik bir kısmı oluşturur. Tablo 5.1'de onshore ile offshore rüzgâr türbinlerinin yaklaşık maliyetleri ve bu maliyetlerin dağılımları görülmektedir. Tipik bir onshore rüzgâr türbininin maliyeti kW başına 800 ile 1.100 Euro arasında değişmekteyken, offshore rüzgâr türbininin maliyeti kW başına 1.200 ile 2.000 Euro arasında değişim göstermektedir.

Tablo 5.2'de offshore rüzgâr türbinlerinin kıyıya olan mesafesinin değişimine göre maliyetlerindeki değişim görülmektedir. Kıyıya olan mesafenin artışı en çok kablo bağlantısı için yapılan maliyeti etkilerken yükleme maliyetlerini de artırmaktadır.

Offshore rüzgâr türbinlerinin kurulduğu yerin su derinliği de çok önemlidir. Su derinliğinin artışı temel maliyetini ve yükleme maliyetini artırmaktadır. Tablo 5.3'te su derinliğine bağlı offshore rüzgâr türbinlerinin maliyetleri görülmektedir. Su derinliğinin 50 m olduğu yerde kW başına maliyet 2.500 Euro civarındayken 10 m su derinliğinde kW başına maliyet 1.800 Euro civarındadır.

**Tablo 5.1** Onshore ile offshore rüzgâr türbinleri için maliyet öngörüsü [4]

Masraf Türü	Onshore	Offshore
	Toplam Yatırım Maliyetinin Paylaşımı	Toplam Yatırım Maliyetinin Paylaşımı
Türbin	% 74-82	% 30-50
Temel	% 1-6	% 15-25
Yükleme	% 1-9	% 0-30
Kablo Bağlantısı	% 2-9	% 15-30
Danışmanlık	% 1-3	-
Finansal Masraflar	% 1-5	-
Yol Yapımı	% 1-5	-
Diğer Masraflar	-	% 8
<b>Toplam Maliyet</b>	800-1.100 EUR/kW	1.200-2000 EUR/kW

**Tablo 5.2** Kıyıya mesafenin offshore rüzgâr türbini yatırımına etkisi [4]

Masraf (EUR/kW)	Kıyıya mesafe (km)							
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-100	100-200	>200
Türbin	772	772	772	772	772	772	772	772
Temel	352	352	352	352	352	352	352	352
Yükleme	465	476	488	500	511	607	816	964
Kablo Bağlantısı	133	159	185	211	236	314	507	702
Diğerleri	79	81	82	84	85	87	88	89
<b>Toplam Maliyet (EUR/kW)</b>	1.800	1.839	1.878	1.918	1.956	2.131	2.534	2.878
<b>Maliyet Katsayısı</b>	1	1,022	1,043	1,065	1,086	1,183	1,408	1,598

**Tablo 5.3** Su derinliğinin offshore rüzgâr türbini yatırımına etkisi [4]

Masraf (EUR/kW)	Su derinliği (m)			
	10-20	20-30	30-40	40-50
Türbin	772	772	772	772
Temel	352	466	625	900
Yükleme	465	465	605	605
Kablo Bağlantısı	133	133	133	133
Diğerleri	79	85	92	105
<b>Toplam Maliyet (EUR/kW)</b>	1.800	1.920	2.227	2.514
<b>Maliyet Katsayısı</b>	1	1,067	1,237	1,396

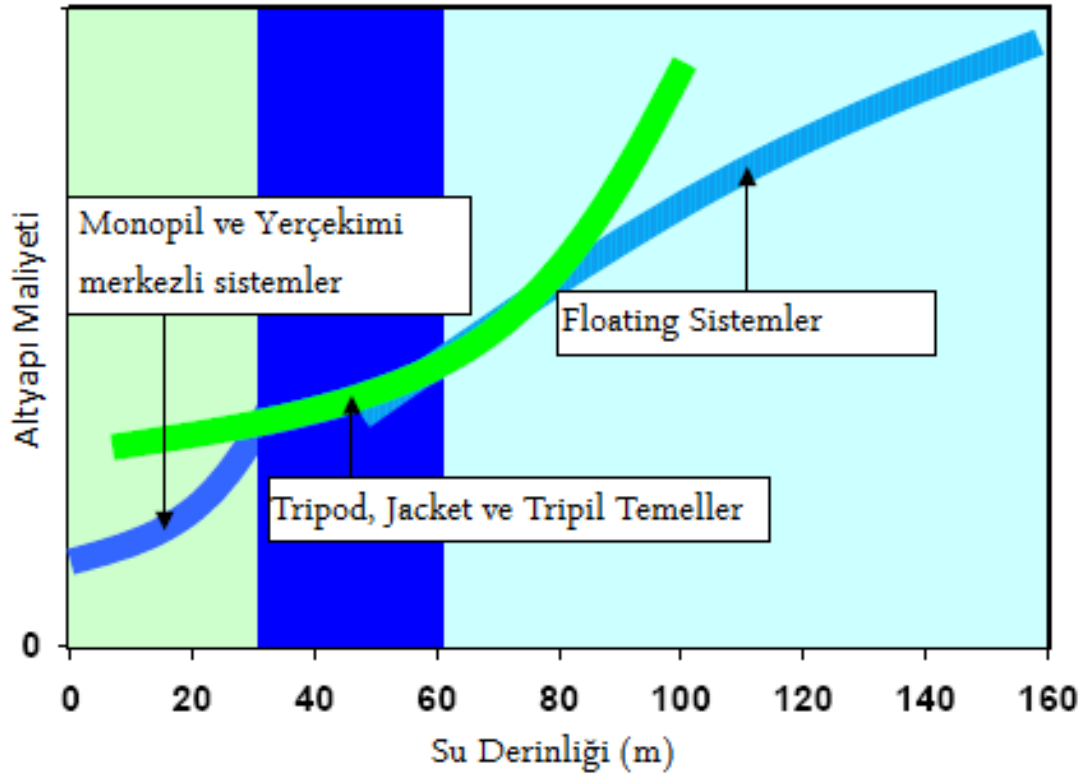
Şekil 5.1’de farklı su derinliklerinde ne tür sistemlerin kullanılması gerektiği görülmektedir. Offshore rüzgâr türbinlerinin yapımında maliyeti etkileyen en önemli parametrelerden birini su derinliği oluşturmaktadır.

Offshore rüzgâr türbinlerinin kurulması istenen yerin fiziki şartlarına göre hangi sistemin kullanılacağı belirlenmektedir. Sığ sularda en çok kullanılan temel tipleri, monopil ve yerçekimi merkezli temellerdir. Bu temellerin kullanılmasının sebebi üretiminin kolay ve ucuz olmasıdır.

Yerleştirildiklerinde ise gerekli dayanıklılık sınırlarını sağlamaktadırlar. Ancak su derinliğinin yüksek olduğu yerlerde bu temeller gerekli dayanıklılıkları sağlayamazlar. Dolayısıyla derin sularda tripod, jacket ve tripil temeller kullanılır. Bu temellerin üretimleri nispeten biraz daha pahalı ve karmaşıktır. Açık denizlerde ise gezici sistemler (floating systems) kullanılmaktadır [5].

**Tablo 5.4** Su derinliğinin ve kıyıya mesafenin offshore rüzgâr türbini yatırımına etkisi [4]

Maliyet Katsayısı		Kıyıya mesafe (m)							
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-100	100-200	>200
Derinlik (m)	10-20	1	1,022	1,043	1,065	1,086	1,183	1,408	1,598
	20-30	1,067	1,09	1,113	1,136	1,159	1,262	1,501	1,705
	30-40	1,237	1,264	1,29	1,317	1,344	1,464	1,741	1,977
	40-50	1,396	1,427	1,457	1,487	1,517	1,653	1,966	2,232



**Şekil 5.1** Su derinliğine göre uygun sistem [5]

## 6. Sonuç

Ülkemizin rüzgâr enerjisi potansiyeli çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Bu çalışmalardaki verilere bakıldığında Türkiye'nin çok önemli bir potansiyele sahip olduğu, fakat bu potansiyelin elektrik enerjisi üretimi amacına yönelik olarak yeterli düzeyde kullanılmadığı görülmektedir. Günümüzde mevcut potansiyelin yalnızca çok küçük bir bölümü kullanılmaktadır ancak son yıllarda yapılan projeler, bu oranın ileriki yıllarda artacağını göstermektedir.

Avrupa'da bu teknolojinin uygulanmasında liderlik yapan ülkelerin gelişimlerinden yola çıkarak, Türkiye'de de benzer senaryoların gerçekleşeceğini söylemek mümkündür. Karalarda rüzgâr türbinleri için uygun alanların tükenmiş olması ve kurulum maliyetlerinin artmasıyla birlikte offshore rüzgâr türbinleri, daha cazip hale gelecek ve kurulumlarına başlanacaktır. Türkiye'ye ait veriler incelendiğinde, ülkemizde offshore rüzgâr türbinlerinin kurulmasının önümüzdeki 15 sene içerisinde başlayacağını söylemek mümkündür.

Offshore rüzgâr türbinlerinin, yüksek verimle elektrik enerjisi üretmesinin yanı sıra hem çevre kirliliği hem de görsel kirlilik yaratmamaları dolayısıyla önemli faydaları bulunmaktadır. Offshore rüzgâr çiftliklerinin artmasıyla birlikte CO<sub>2</sub> emisyonlarında büyük azalmalar meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra, offshore rüzgâr çiftlikleri kıyıdan uzakta olduklarından karadaki rüzgâr türbinleri kadar görselliği bozmamaktadır ve türbinlerin çalışması esnasında meydana gelen gürültüleri duyulmamaktadır. Bu olumlu yanlarının karşısında, kurulum maliyetlerinin daha yüksek olması tek olumsuz yanı olarak belirtilebilmektedir. Ancak bu alandaki çalışmaların son yıllarda artmasıyla birlikte, ileriki yıllarda geliştirilen tekniklerle kurulum maliyetlerinde düşüş meydana geleceği öngörülmektedir.

Türkiye'nin enerji gereksinimini dışa bağımsız ve sürdürülebilir bir şekilde elde etmesi, ülke ekonomisinin gelişimi ve diğer ülkelerle rekabet edebilmesi bakımından offshore rüzgâr enerjisi önemli bir rol oynamaktadır. Ancak bu hedefin gerçekleştirilmesinde uygulanacak devlet politikaları büyük önem taşımaktadır. Rüzgâr enerjisi üreticilerine çeşitli destek ve teşvikler verilerek ülkemizin potansiyelinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Avrupa ülkelerinde devletlerin vermiş oldukları teşviklerin rüzgâr enerjisi üretimindeki etkisinin önemli düzeyde olduğu bilinmektedir. Buradan yola çıkarak Türkiye'de yeni başlayan bu teşviklerin ileriki yıllarda da devam etmesi gerektiği görülmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Durak, M. ve Özer, S., 2007, Rüzgâr Enerjisi: Teori ve Uygulama
- [2] EWEA, 2007, Delivering Offshore Wind Power in Europe: Policy Recommendations for Large Deployment of Offshore Wind Power in Europe by 2020
- [3] AWS Truewind, September 17, 2009, Offshore Wind Technology Overview
- [4] EEA Technical Report, No: 6, 2009, Europe's Onshore and Offshore Wind Energy Potential



- [5] S. Butterfield, W. Musial, J. Jonkman and P. Sclavounos, 2005, Engineering Challenges for Floating Offshore Wind Turbines, *Copenhagen Offshore Wind Conference*, Copenhagen, Denmark, October 26–28.
- [6] WWEA, 2010, 9<sup>th</sup> World Wind Energy Conference and Exhibition Large Scale Integration of Wind Power, Istanbul, Turkey, June 15-17
- [7] EWEA, November 2011, Wind in our Sails: The Coming of Europe's Offshore Wind Energy Industry
- [8] <http://www.limitsizenerji.com/component/content/article/64-makaleler/437-tuerkye-elektrk-enerjs-htyacinin-karilanmasinda-ruezgar-enerjsnn-yer?directory=950>, Erişim Tarihi: 12 Mayıs 2012.
- [9] EWEA, The European Offshore Wind Industry - Key Trends and Statistics February 2015
- [10] GWEC Global Wind Report – Annual Market Update 2015
- [11] WWEA, Community Power: benefits for society and outlook in tendering systems, March 2016
- [12] EWEA, Wind energy scenarios for 2030, August 2016
- [13] Renewables 2016 Global Status Report
- [14] EWEA, Wind in power 2015 European statistics