

Türkiye’de Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerji Sistemlerinin Gelişimi

Zeynep İLKILIÇ

Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ
zeynepilkilic00@hotmail.com

Özet

Bu çalışmada Türkiye’deki rüzgar enerjisi potansiyeli ve rüzgar enerji sistemlerinin kullanımı incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı Türkiye’deki rüzgar potansiyeli ve rüzgar enerji dönüşüm sistemlerinin geleceğini araştırmaktır. Çoğu bölgelerin rüzgar enerji potansiyeli incelenmiş ve Türkiye’deki gelişimleri tartışılmıştır. Değişik bölgeler göz önüne alınarak yerel rüzgar hızlarında saatlik olarak veriler alınmış ve analiz edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan veriler 2015 yılı için Elektrik İşleri Etüt İdaresi’nden (EİEİ) alınmıştır. Türkiye’nin teorik kullanılabilir rüzgar enerji potansiyeli Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB)’e göre 131.756,40 MW kara ve deniz gücü 17.393,20 MW olarak tespit edilmiştir. Türkiye 1998 yılında toplam kurulu gücü 1.5 MW iken bu kapasite 2015’te 4.718,30 MW’a yükselmiştir.

Anahtar kelimeler: Rüzgar, rüzgar enerjisi, yenilenebilir enerji, rüzgâr tarlaları

Wind energy and development of wind energy systems in Turkey

Abstract

In this study, the potential of wind energy and assessment of wind energy systems in Turkey were studied. The main purpose of this study is to investigate the wind energy potential and future wind conversion systems project in Turkey. The wind energy potential of various regions was investigated; and the exploitation of the wind energy in Turkey was discussed. Various regions were analyzed taking into account the wind data measured as hourly time series in the windy locations. The wind data used in this study were taken from Electrical Power Resources Survey and Development Administration (EIEI) for the year 2015. Turkey’s total theoretically available potential for wind power is around 131.756,40 MW and sea wind power 17.393,20 MW annually, according to TUREB (TWEA). When Turkey has 1.5 MW nominal installed wind energy capacity in 1998, then this capacity has increased to 4718,30 in 2015.

Keywords: Wind, wind energy, renewable energy, wind plants

1. Giriş

Yeryüzündeki rüzgar enerjisi potansiyeli, güneşin dünya etrafındaki havayı ısıtıp alçak ve yüksek basınç alanlarının oluşmasına bağlı olarak değişmektedir. Isınan havanın yoğunluğunun azalması ile bir alçak basınç alanı ve soğuyan havanın yoğunluğunun artması sonucu da bir yüksek basınç alanı meydana gelmektedir. Yüksek basınç alanından alçak basınç alanına hava akımının meydana gelmesi ile yer yüzünde rüzgarlar oluşmaktadır. Aynı zamanda rüzgar, güneşin karayı denizden daha çabuk ısıtmasından da meydana gelmektedir. Gün boyunca esen kıyı rüzgarları, kara üzerinde ısınmış havanın yerini deniz üzerindeki soğuk havanın alması ile oluşmaktadır. Gece boyunca da bu işlem tersinden meydana gelir, yani kara denizden daha hızlı soğuduğu için rüzgar karadan denize doğru eser. Hava hareketinin bir yerden diğer bir yere daha hızlı olması halinde daha kuvvetli rüzgarlar, fırtınalar, kasırgalar ve hatta tornadolar meydana gelmektedir.

Rüzgar enerjisi, yenilenebilir özelliğe sahip olup ve çevre bakımından da temiz bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Rüzgar enerjisini diğer enerji çeşitlerine dönüştüren teknoloji, diğer güç kaynaklarına oranla daha ekonomiktir. Taşıma sorunu bulunmayıp ve aynı zamanda kullanımı da yüksek bir teknolojiyi gerektirmez. Buna göre rüzgar gücü yoğunluğu iyi olan yerlerde rüzgar enerji sistemleri kurularak büyük ekonomik yararlar sağlanmaktadır.

Atmosferde bol ve serbest olarak bulunması, elde edilmesi kolay ve çevre kirliliği olmayan temiz bir enerji kaynağı olması rüzgar enerjisinin bazı avantajlarıdır. Güneş ve dünya var olduğu sürece var olan ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisinden yararlanmak için başka bir enerji şekline dönüştürülmesi gerekir. Rüzgar enerjisinin önce mekanik sonra elektrik enerjisine dönüştürülmesi gerekmektedir. Betz teoremine göre rüzgardan elde edilebilecek enerji, rüzgar hızının üçüncü kuvveti ile orantılı olarak değişmektedir. Küresel ısınmaya sebep olan gazların atmosfere salınmasını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılması ve kullanılmasına önem verilmektedir [Gourieres, 1982. Hepbasli, 2004].

Dünyada rüzgar enerjisinden ilk olarak yaklaşık 500 yıl önce Mısır'da kayıkların bir sahilden diğerine yözdürülmesi için faydalanılmıştır. M.Ö. 200 yılında ilk olarak bir eksene tutturulmuş pervaneler ile dönüş hareketi üreten bir makine şeklinde çalışan yel değirmenlerinin yapıldığı da söylenmektedir. Yel değirmenleri M.S. 10. yüzyıla kadar İran ve Afganistan'da değirmenlerde tahıl öğütme işlerinde kullanılmıştır. Yel değirmenleri konusundaki ilk yazılı belgelere 12. yüzyılda rastlanmaktadır. 1889 yılında ABD'de yel değirmeni üretimi yapan fabrikalar kurulmuştur. Çok kanatlı yel değirmenleri 19. yüzyılın ikinci yarısında ABD'de yapılmaya başlanmıştır [Frandsen, 1992].

Çok kanatlı yel değirmenlerinin yapılmasından sonra yel değirmenleri geliştirilmek suretiyle rüzgar enerjisi su pompalama işlerinden kullanılmıştır. Dizel motorlar icat edilinceye kadar, ABD'deki büyük demiryolları çok pervaneli rüzgar sistemlerine bağlı kalmıştır, yani buhar lokomotiflerinin su ihtiyacı için su pompalama, yel değirmenlerinin pervaneleri ile yapılmıştır. 1930 ve 1940'lı yıllarda yel değirmenlerinin pervaneleri daha da geliştirilerek ABD'de yüz binlerce elektrik üreten rüzgar türbini imal edilmiştir. Bunlarda yüksek hızda dönen ve elektrik jeneratörünü çalıştıran iki veya üç kanatlı pervaneler şekline getirilmiştir. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisinin gelişimine, 1980'li yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı öncülüğünde yürütülen araştırma ve geliştirme çalışmalarının büyük bir etkisi olmuştur. Çok kanatlı eski tip rüzgar türbinleri yerine daha modern ve çağdaş olan rüzgar enerjisi çevrim sistemleri (WECS) kurulmuştur. Yakıtsız bir enerji olan rüzgar enerjisi ile çalışan bu türbinler öncelikle çiftliklere elektrik üretmede, depolama pillerini doldurmada, pilleri şarj etme, su depolama, taşımacılık, su pompalama, tahılların öğütülmesi ve soğutma işlerinde

kullanılmıştır [Freris, 1990.; Özgür, 2008.; İlkılıç, 1990.; berger.com., energy.iastate.edu].

Rüzgar enerjisi temiz bir enerji kaynağı olduğu için ne kadar çok kullanılırsa o kadar az hava kirliliğine, asit yağmurlarına ve sera gazı emisyonuna sebep olunur. Ayrıca rüzgar enerjisi kırsal alanlarda yaşayanlar için bir iş kaynağı olarak da düşünülebilir. Rüzgarın bol miktarda bulunması, tükenmemesi, yerli olması, ucuz ve güvenli olması rüzgarın bir alternatif enerji kaynağı olmasını sağlamaktadır. Dünyada kullanılan birçok enerji kaynağının sonlu olması ve ayrıca fosil kökenli enerji kaynakları ülkelerin politik araçları olarak kullanılması bakımından geleceğin enerjisi olarak kullanılacak yenilenebilir enerji kaynaklarından biri rüzgar enerjisidir. 1973 yılında OPEC üyesi olan devletlerin yapmış oldukları petrol ambargosu ve 1982'deki petrol krizi ve bunları takip eden diğer enerji krizleri sonucu fosil kökenli enerji fiyatlarında artışlar meydana gelmiştir. Bu fiyat artışlarının bir sonucu olarak gelişmiş ülkelerdeki fosil kökenli enerji kaynaklarının sınırlı olması sebebiyle rüzgâr enerjisine olan ilgiyi tekrar artırmıştır. Yapılan çok sayıda araştırma çalışmaları sonunda bir çok yeni rüzgar türbini tasarımı yapılmıştır. Rüzgar enerjisi öncelikle ev ve iş yerlerinde kullanıldıktan sonra gelişmeler devam ederek dünyada rüzgar santrallerinin kurulu gücü hızlı bir şekilde artış göstermiştir.

Rüzgar enerjisi, sonlu enerjilerin yerine geçebilecek bir enerji olup güneş ve dünya var olduğu sürece devam edecek olan bir enerji çeşidi olduğu için dünyadaki sera etkisinden dolayı meydana gelen iklim değişikliğini önlemede büyük bir önem taşımaktadır. Gelişmiş ülkeler küresel ısınmaya sebep olan sera gazı emisyonlarından korunmak için dünyada rüzgar enerjisinden yararlanmayı teşvik etmek ve desteklemek zorundadır. Yapılan araştırmalara göre dünya elektrik ihtiyacının %12'si rüzgardan sağlandığı için 2020 yılına kadar sera gazı olarak bilinen 11 milyar ton CO₂ azaltılabilir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin Japonya'nın Kyoto şehrinde imzaladıkları Kyoto Protokolü iklim değişikliğine göre, AB 2010 yılına kadar kendi sera gazı gaz emisyonlarını 1990 seviyelerine göre %8 azaltmayı taahhüt etmiştir. Eğer bugünkü büyüme aynı şekilde devam ederse, 2020 yılına kadar, rüzgar enerjisi yılda 109 milyon ton koruma sağlayacaktır [Balat, 2008; epa.gov, 2007; Richardson, 1993; Ackermann, 2002]. Bu miktar Kyoto Protokolünde belirlenen miktardan %30 daha fazladır. En önemli konulardan biri, Uluslararası Greenpeace Örgütüne göre 2050 yılına kadar dünyada elektrik üretiminin yaklaşık %17,7'si rüzgardan elde edilmesi durumunda 2.455 milyon ton CO₂ tasarrufu sağlanacağı bu da CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azalması demektir [Kyoto Protokolü, Çevre ve Orman Bakanlığı, 1998; Da Rosa, 2005]. Kyoto Protokolüne göre 2020 yılına kadar olan CO₂ emisyonunu 1/3 azaltma hedefi, 2050 yılına kadar ise bu miktarı yarıya indirme hedefi, sadece rüzgar enerjisinden yararlanmak suretiyle başarılabilir [Lund, 2006].

2. Rüzgar Enerji Sistemlerinin Dünyadaki Gelişimi

Rüzgar enerjisi teknolojisi son yıllarda büyük gelişmeler kaydetmiş ve bu gelişmeler sonucunda 200 MW kapasiteli rüzgar güç santralleri kurulmuştur. 1990 yılında dünyanın kurulu rüzgar gücü 2160 MW iken, 1994 yılında 3738 MW'a yükselmiştir. 1995 yılında dünyanın kurulu rüzgar gücü 4843 MW düzeyinde iken, 1996 yılında 6097 MW'a, 1997 yılında da 7475 MW ve 1998 yılında ise 7500 MW'a ulaştığı resmi kaynaklardan anlaşılmaktadır. 1999 yılının sonunda dünyanın kurulu rüzgar gücü 2.8 kat artarak 13455 MW'a ulaşmıştır. Dünyanın kurulu rüzgar gücü 2003 yılı sonunda 33400 MW, 2006 yılının sonunda 74000 MW ulaşmış ve 2015 yılına kadar bu güc 432.883,00 MW'a ulaşmıştır [TÜREB, 2016].

2015 yılı Aralık ayı itibarı ile dünyada işletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu gücü 432.883,00 MW olarak hesaplanmıştır. Bu gücün 147.771 MW'ı Avrupa'da, 100.969 MW'ı ABD, 175.831 MW'ı Asya'da, 4.823 MW'ı Pasifik ülkelerinde ve 3.489 MW'ı da Orta Doğu ve Afrika ülkelerinde bulunmaktadır [greenpeace.org, 2016]. 2010 yılından sonra yıllık %20'lik bir artışla 2020 yılı sonunda 1.2 milyon MW'a ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu kurulu güçle üretilebilecek elektrik enerjisi dünya elektrik tüketiminin %10'unu karşılayabilecektir. 2040 yılında dünya elektrik talebinin %20'den fazlasının karşılanmasında rüzgar enerjisinin kullanılacağı tahmin edilmektedir. Bu rakam dünyadaki toplam elektrik üretiminin ortalama %1'ine karşılık gelse de bazı ülkelerde rüzgar enerjisinin toplam üretim içindeki payı çok yüksektir.

Kurulu rüzgar güç santrallerinin büyük çoğunluğu Avrupa, ikinci olarak Amerika Birleşik Devletleri ve geriye kalan kısmı da Asya kıtası ile kalan diğer kıtalarda bulunan ülkelerdedir. Avrupa'da en büyük kurulu rüzgar güç santralleri 44.947 MW güç ile Almanya'da, 23.025 MW güç ile İspanya'da, 13.603 MW güç ile İngiltere'de, 10.358 MW güç ile Fransa ve 8.958 MW güç ile İtalya'da bulunmaktadır. Asya kıtasında ise Çin ve Hindistan rüzgar enerji santrallerine önem veren devletler arasındadır [eie.gov.tr, 2016].

Avrupa'da rüzgar enerjisi kullanımı son yıllarda büyük bir artış göstermiştir. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği (EWEA), rüzgar enerjisi üretiminin 2010 yılında 40.000 MW, 2020 yılında ise 180.000 MW'tan daha fazla olacağı tahmin etmektedir. Rüzgar enerjisinden kullanım artışı gerçekleşirken birim maliyetlerin de sürekli düşmesi beklenmektedir. Buna göre Avrupa'nın rüzgar enerjisi kullanımı 2000 yılından günümüze ve 2020 yılına kadar da hedeflenen kurulum gücü aşağıdaki tabloda görülmektedir [eie.gov.tr, 2013].

Tablo 1. Avrupa’da yıllara göre kurulu ve hedeflenen rüzgar enerjisi

Yıllar	Kurulu güç(MW)
2000	12.880
2001	17.313
2002	23.159
2003	28.567
2004	34.205
2005	40.500
2006	48.000
2015	147.771
2020*	180.000

*= hedeflenen rakam.

Kurulu gücün artış oranı 2000 yılından 2001 yılına kadar %25 artış sağlanmış, yine %25 artışla 2002 yılına ulaşılmış ve 2000 yılı ile 2015 yılı 11,5 kat artış sağlanmıştır, buradaki %1150 artış oranı ile 147.771,00 MW’a ulaşmıştır.

3. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Türkiye geniş anlamda yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olup ve bu yenilenebilir enerji kaynaklarının başında rüzgar enerjisi gelmektedir. Rüzgardan elde edilebilecek güç rüzgar hızının küpü ve kullanılacak rüzgar türbininin rotor süpürme alanı ile doğru orantılıdır. Güç elde etmede önemli bir faktör olan rüzgarın hızı, yerden yükseldikçe logaritmik olarak artış göstermektedir. Bir yörede kurulacak rüzgar santralinden elde edilebilecek güç, yalnızca kullanılan türbin sayısı ve türbin büyüklüğü ile sınırlanmakta ve doğal karakteri ile sınırsız bulunmaktadır. Bölgelerimizin yıllık ortalama rüzgar hızı ve yoğunluğu Tablo 2’de görülmektedir[eie.gov.tr, 2001; eie.gov.tr, 2005].

Tablo 2. Türkiye’nin değişik bölgelerinde rüzgar enerjisi potansiyeli.

Bölge	Yıllık ortalama rüzgar hızı (m/s)	Yıllık ortalama rüzgar yoğunluğu (W/m ²)
Marmara Bölgesi	3.29	51.91
Ege Bölgesi	2.65	23.47
Akdeniz Bölgesi	2.45	21.36
İç Anadolu Bölgesi	2.46	20.14
Kara Deniz Bölgesi	2.38	21.31
Doğu Anadolu Bölgesi	2.12	13.19
Güney Doğu Anadolu Bölgesi	2.69	29.33
Ortalama	2.58	25.82

Rüzgar enerjisi bakımından en iyi olan bölgeler Tablo 2’de görüldüğü gibi Marmara Bölgesi, Ege Bölgesi ve Güney Doğu Anadolu Bölgesidir. Türkiye’de yerleşim alanları dışında 10 m yükseklikteki rüzgar hızı yıllık ortalaması, Ege Bölgesi ve diğer kıyı alanlarında 4.5–5.6 m/s, iç kesimlerde 3.4–4.6 m/s arasındadır. 10 m yükseklikte yıllık ortalama rüzgar hızı 4–5 m/s olan yörelerimizde, türbin kurulması açısından önemli

olan 50 m. yükseklikteki güç yoğunluğu çoğu kez yıllık ortalama olarak 500 W/m² düzeyini aşmaktadır [EIE, 2005; meteor.gov.tr; energy.gov.tr; eia.doe.gov].

Bölgelere göre rüzgar hızı ve yoğunluğu dikkate alındığı zaman kurulu rüzgar gücü en çok Ege ve Marmara bölgelerinde bulunmaktadır. Büyük rüzgar türbinleri, rüzgar çiftliği olarak adlandırılan diziler halinde kurulmaktadır. Bir rüzgar çiftliğinin yaklaşık toplam gücü 1–150 MW arasında değişmektedir. Tek bir türbinin gücü 50 kW'tan 2 MW'a kadar olabilir. Ancak günümüzde ekonomik şartlar açısından 500 kW'tan küçük türbinler pek fazla kullanılmamaktadır. Ancak küçük türbinler, genellikle şebekenin olmadığı ya da ulaşımın ekonomik olmadığı yerlerde uygulanır. Şehir dışında bulunan yerleşim yerleri ile tesisler, küçük türbinler oldukça uygun olan kullanım alanlarıdır. Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli oldukça ileri bir düzeydedir. Türkiye'deki bazı yörelerin rüzgar hızları aylık olarak Elektrik İşleri Etüt (EİE) İdaresi tarafından ölçülmektedir. Bu ölçümlerden biri aşağıdaki tablodan görülmektedir [EIE, 2001].

Tablo 3. EİE İdaresi tarafından ölçülen bazı yörelerin aylık ortalama rüzgar hızları (m/s)

Yöre	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
Akhisar	5.2	6.2	2.7	2.7	4.3	5.4	8.7	9.0	5.0	7.1	5.6	8.3
Bababurnu	6.0	6.0	5.9	6.0	3.0	5.3	6.2	6.4	4.5	5.7	5.9	8.2
Bandırma	-	-	8.1	6.6	6.5	6.8	8.2	9.6	6.1	8.4	8.1	12.0
Belen	4.8	4.9	5.4	6.0	5.0	9.3	11.5	10.3	8.2	5.3	5.6	5.8
Datça	4.6	5.1	4.7	4.5	6.5	5.6	8.0	9.9	6.2	5.5	5.3	5.4
Foça	5.6	5.5	5.6	5.3	4.8	5.5	5.8	6.3	4.7	5.8	6.0	7.4
Gelibolu	7.4	6.7	8.3	6.0	5.2	5.8	5.7	7.6	5.7	7.4	7.0	9.1
Gökçeada	7.7	6.9	8.1	6.7	5.3	5.9	6.2	7.8	5.7	7.5	7.6	10.8
Kocadağ	8.0	7.7	8.0	7.0	7.0	8.6	8.6	6.5	7.2	5.3	7.1	-
Sinop	3.9	4.2	4.9	4.7	4.5	4.8	4.4	4.1	-	-	5.3	5.2

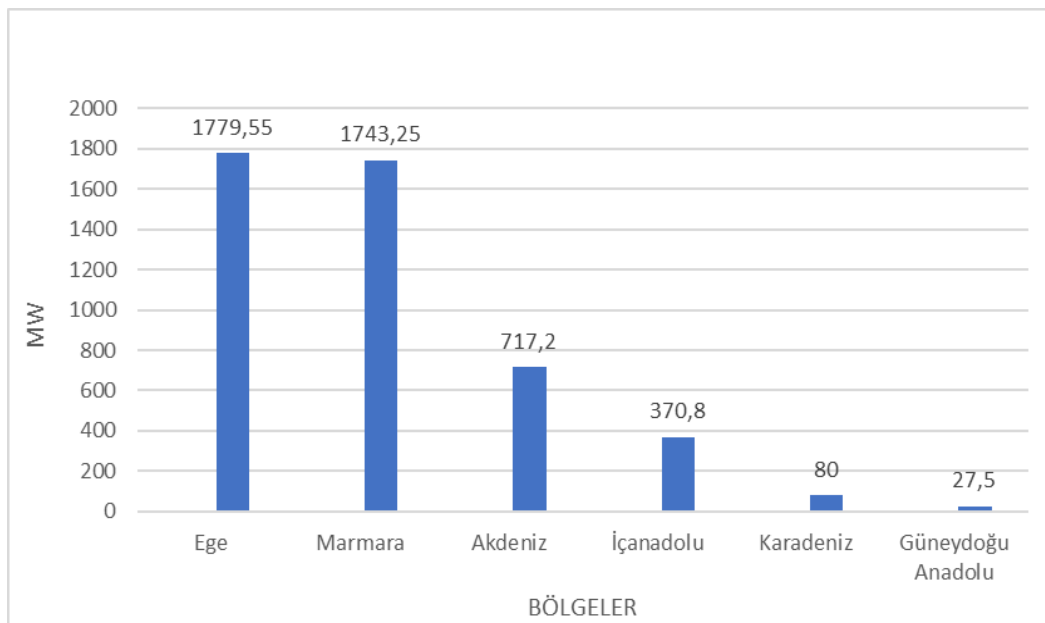
4. Türkiye'de Rüzgar Enerjisinin Kullanımı

Türkiye, dünyada rüzgar enerjisinin kullanılmasına elverişli olan ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiye'nin halen elektrik üreten 36 barajın 10 katı kadar rüzgar enerjisine sahip olduğu iddia edilmektedir. Dünyadaki gelişime paralel olarak 2020 yılında Türkiye'de tüketilmesi beklenen elektrik enerjisinin %10'unun rüzgardan karşılanması hedeflenmektedir. Buna göre 54 milyar kWh'lık elektrik enerjisini rüzgardan üretmek gerekir. Bunun için gerekli kurulu rüzgar gücü yaklaşık Türkiye'nin ekonomik rüzgar potansiyeline karşılık gelmektedir. Türkiye'de 50 metre yükseklikte rüzgarlı alanların rüzgar enerji potansiyeli bakımından düşük ve yüksek potansiyelli gibi yedi değişik sınıfa ayrılmaktadır. Rüzgar gücü ve hızına göre düşük olan birinci ve ikinci sınıf rüzgar alanları göz ardı edildiği zaman diğer sınıflar aşağıdaki tabloda görülmektedir. Tabloya alınan rüzgar enerji sınıfları zengin sınıflar olarak kabul edilmekte ve kurulabilecek rüzgar santrallerinden elde edilebilecek rüzgar gücü de hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 4'te görülmektedir.

Table 4. 50 metre yükseklikte toplam rüzgar enerjisi potansiyeli [İlkılıç, 2012]

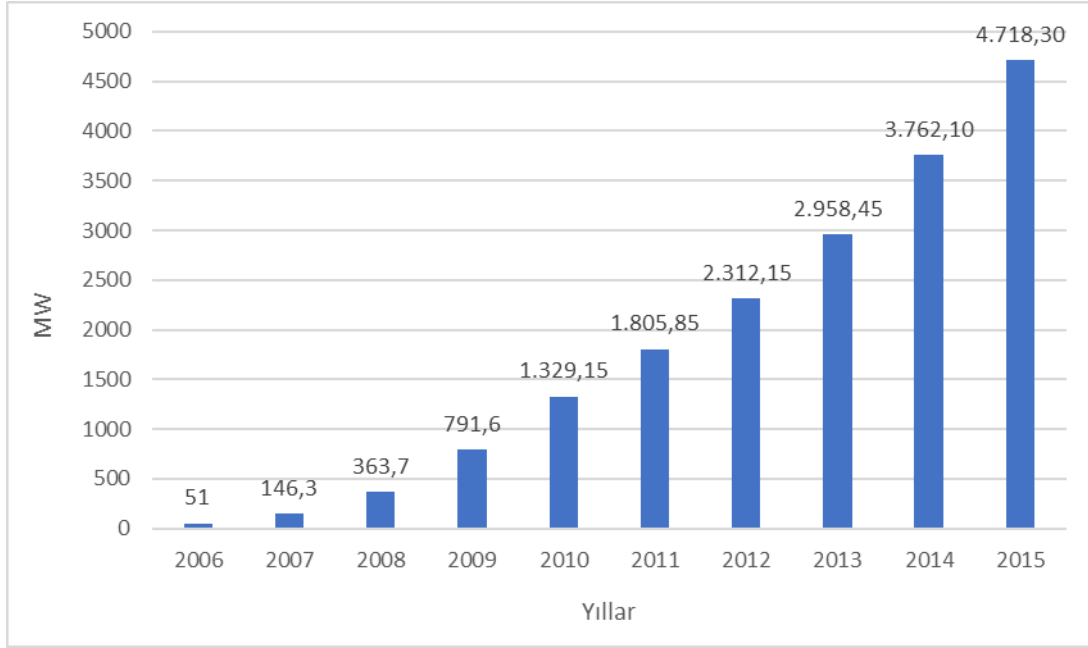
Rüzgar sınıfı	Rüzgar gücü (W/m ²)	Rüzgar hızı (m/s)	Toplam alan (km ²)	Toplam Potansiyel (MW)
3	300-400	6.5-7.0	16.781,39	83.906,96
4	400-500	7.0-7.5	5.851,87	29.259,36
5	500-600	7.5-8.0	2.598,86	12.994,32
6	600-800	8.0-9.0	1.079,98	5.399,92
7	>800	>9.0	39,17	195,84
	Toplam		26.351,28	131.756,40

Rüzgar potansiyeli bakımından iyi olan bölgelerde rüzgar enerji santralleri kurulmaktadır. Ege ve Marmara bölgeleri en çok rüzgar enerji santrallerinin kurulduğu bölgelerin başında gelmektedir. Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu gücün bölgelere göre dağılımı Şekil 1.’de görülmektedir [tureb.com.tr, 2016].



Şekil 1. İşletmedeki rüzgar enerji santralleri gücünün bölgelere göre dağılımı

Türkiye’de ilk defa rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi 1986 yılında İzmir’in Çeşme ilçesi Altın Yunus Tesisleri’nde kurulan 55 kW elektrik üreten rüzgar türbininden elde edildi. Uluslararası alanda ilk olarak, 1998 yılında Çeşme Germiyan Köyü’nde kurulan rüzgar türbininde elektrik üretildi.



Şekil 2. Türkiye’deki rüzgar enerjisi santralleri için kümülatif kurulum

Yap-İşlet-Devret Modeli ile işletmeye açılan ilk rüzgar enerjisi tesisi ise 1998 yılında işletmeye açılan Alaçatı'daki ARES adlı 12 adet türbinden oluşan rüzgar enerjisi çiftliğidir. Yap-İşlet-Devret modeli ile o zaman kurulmuş olan Türkiye'nin en büyük rüzgar enerjisi santrali Çanakkale-Bozcaada Rüzgar Enerji Santrali (BORES) ise 10,2 MW gücünde olup 2000 yılında Bozcaada'da 17 adet 600 kW'lık rüzgar enerji santrali idi. 2006 yılında Balıkesir-Bandırma'da 30.00 MW'lık 20 adet rüzgar türbini kuruldu. 2008 yılında Türkiye'nin en büyük rüzgar gücü santrali olarak bilinen İstanbul-Çatalca'da Ertürk A.Ş. tarafında 60.00 MW'lık 20 adet 3.000 kW'lık türbinlerden oluşan bir rüzgar çiftliği kurulmuştur. Türkiye'nin rüzgar enerji sistemlerinin gelişimi incelendiği zaman her yıl artan bir kapasite ile karşılaşılır. 2006'da 51 MW iken 2011 yılında 1.805,85 MW'a yükselmiştir. Kurulum gücü bu şekilde yükselerek 2015 yılının sonunda 4.718,30 MW'a kadar çıkmıştır. Şekil 2.'de her yıl yükselen Türkiye'nin kurulum gücü görülmektedir [tureb.com.tr, 2016].

Türkiye’de 2006 yılında MW gücünde türbinler bulunurken 2007 yılında 95,3 MW'lık güç santralleri kurulmuştur. Rotor A.Ş. tarafından yapılan Osmaniye-Bahçe'de 135.00 MW'lık 54 adet 2.500 kW'lık rüzgar çiftliği, Soma A.Ş. tarafından yapılan Manisa-Soma'da 140.80 MW'lık 176 adet 800 kW'lık rüzgar çiftliği ve Bares Elektrik Üretimi A.Ş. tarafından yapılan Balıkesir-Kepsut'ta 142.50 MW'lık 57 adet 2.500 kW'lık rüzgar çiftliği bulunmaktadır.

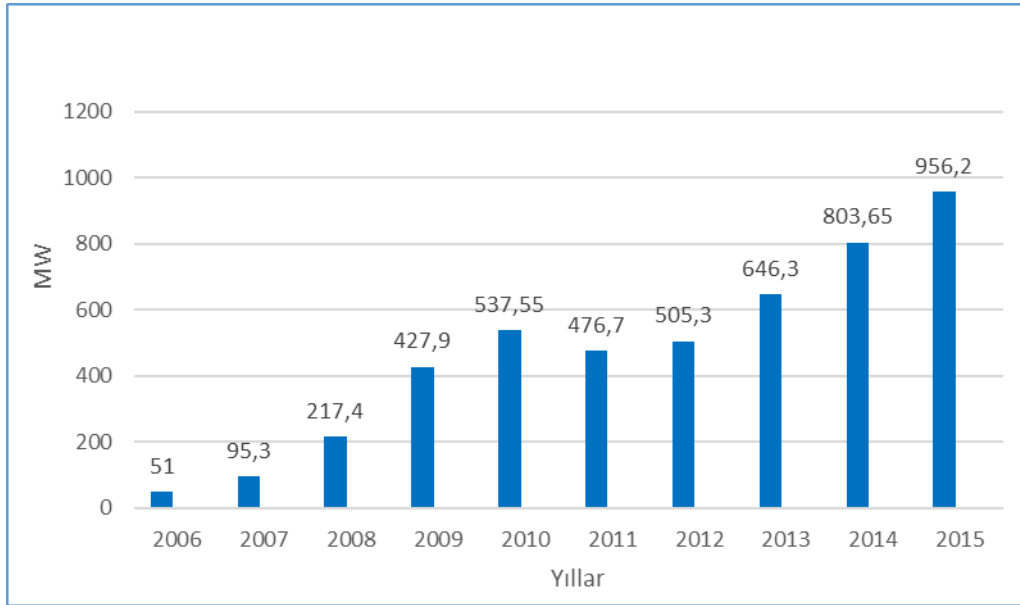
Şekil 3, incelendiği zaman 2008 yılında 217,4 MW, 2009 yılında 427,9 MW, 2010 yılında 537,55 MW, 2011 yılında 476,7 MW, 2012 yılında 505,3 MW, 2013 yılında 646,3 MW, 2014 yılında 803,63 MW ve 2015 yılında 956,2 MW'lık rüzgar enerjisi

santrali kurulmuştur. 10 yıllık kurulu gücünün toplamı 4.718,30 MW olarak önemli kaynaklardan elde edilmiştir.

Tablo 5. İllere göre kurulu gücün oranları ve güç miktarı [tureb.com.tr, 2016]

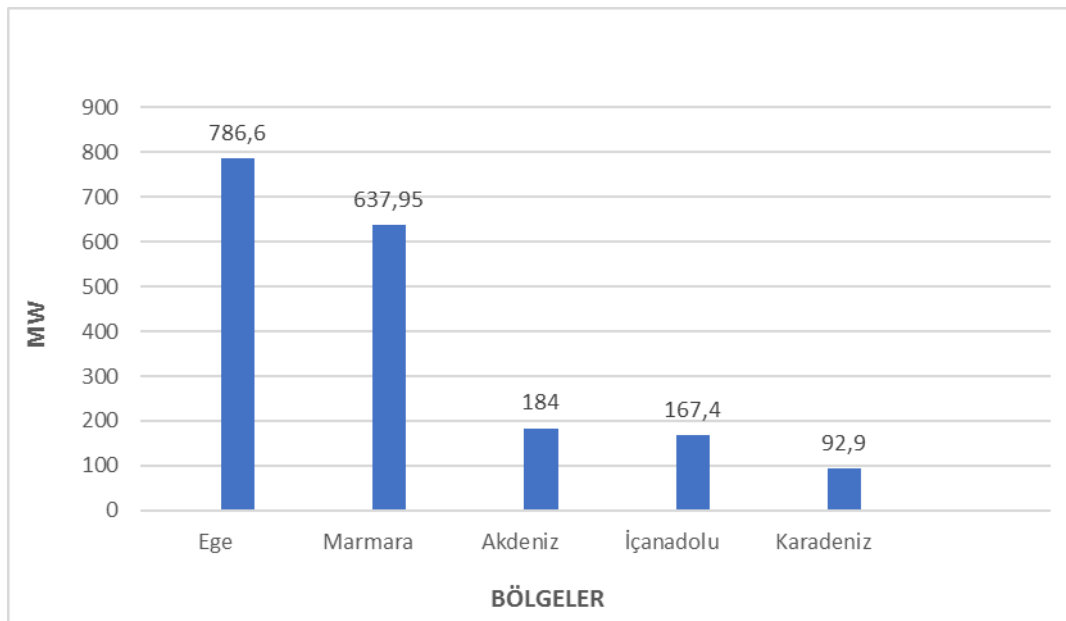
İl	% Oran	Kurulu Güç (MW)	İl	% Oran	Kurulu Güç (MW)
Balıkesir	19.58	923.65	Kayseri	2.65	124.8
İzmir	17.11	807.2	Kırıkkale	2.33	110.0
Manisa	12.19	574.95	Sivas	1.65	78.0
Hatay	7.73	364.5	Uşak	1.14	54
Çanakkale	6.21	293.05	Bursa	1.12	52.8
Aydın	3.93	185.6	Tokat	0.85	40.0
Osmaniye	3.92	185.0	Amasya	0.85	40.0
İstanbul	3.75	178.55	Bilecik	0.85	40.0
Kırşehir	3.56	168.0	Muğla	0.63	29.6
Mersin	3.05	143.7	Adıyaman	0.58	27.5
Tekirdağ	7.76	130.20	Kahraman Maraş	0.51	24
Afyon	2.72	128.2	Edirne	0.32	18
TOPLAM				100	4.718,30

Türkiye’de rüzgar enerji sistemlerinin kurulu gücü illere göre dağılımı Tablo 3’te görülmektedir. Tabloya göre en yüksek kurulum gücü %19,58 ve 923,65 MW güç ile Balıkesir birinci sırada bulunmaktadır. Balıkesir’i %17,11 (807,2 MW) ile İzmir, %12,19 (574,95 MW) ile Manisa, %7,73 (364,5 MW) ile Hatay ilk sıralarda gelmektedir. Tablo 3’te bazı yörelerin aylık ortalama rüzgar hızları incelendiği zaman rüzgar enerji yoğunluğunun Bandırma, Gökçeada, Gelibolu ve Akhisar yörelerinin rüzgar enerji güç santralleri için daha uygun oldukları görülmektedir. En az rüzgar enerji santralleri Kahramanmaraş ve Edirne illerinde bulunmaktadır. Bölgelerin rüzgar enerji yoğunluğu incelendiği zaman da Güney Doğu Anadolu Bölgesinde rüzgar güç santrallerinin bulunmadığı dikkatleri çekmektedir. Türkiye’de rüzgardan elektrik elde etmede Bandırma, Antakya, Kumköy, Sinop, Mardin, Siverek, Gökçeada, Çorlu ve Çanakkale gibi yöreler elverişlidir.



Şekil 3. Türkiye’de kurulu rüzgar gücünün yıllara göre artışı [TWEA, 2015]

Türkiye’de mevcut ve kurulmakta olan rüzgar enerji santrallerin toplam kapasitesi, 1 GW olarak hesaplanmıştır. Rüzgar enerjisine dayalı toplam kurulum potansiyeli ise bazı rakamlara göre 2,5 GW, bazılarına göre ise 10 GW düzeyindedir. Mevcut ve kurulmakta olan santrallerin bilgilerine Türkiye’de rüzgar enerjisi ile ilgili linklerden ulaşılabilir [tureb.com.tr, 2015].



Şekil 4. Türkiye’de inşa halinde olan rüzgar enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı [tureb.com.tr, 2016]

Şekil 4'te görüldüğü gibi Türkiye'de inşa halinde bulunan kurulum gücü 2016 verilerine 1.868,85 MW olarak kurulu güce eklenirse toplam rüzgar enerjisi kurulum gücü 5.587,15 MW olacaktır. Buna bağlı olarak bazı yörelerde rüzgar enerji santrallerinin tedarik sözleşmeleri imzalanmış olup inşa haline geçmeleri beklenmektedir.

Türkiye'nin rüzgar potansiyelinin 10.000 megavat civarında olduğu hesaplanmasına rağmen, halen toplam 4.718,30 MW'lık rüzgar enerjisi santrali bulunmaktadır. 1.868,85 MW'lık rüzgar santrali inşa halinde olup bir kısım santral için de türbin tedarik sözleşmesi imzalanmıştır.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisinin fosil ve diğer enerji kaynaklarına göre birçok üstünlükleri bulunmaktadır. Öncelikle rüzgar enerjisi yenilenebilir, temiz ve bedava olan bir enerji kaynağıdır. Dünya ve güneş durduğu sürece bu kaynağın tükenme ihtimali hiç bulunmamaktadır. Rüzgar enerjisinin kullanılması ile hava kirliliği problemi azalır ve fosil yakıtların sebep olduğu hava kirliliği rüzgar türbinleri için söz konusu değildir. Bu türbinler yakıt olarak rüzgarı kullandıkları için atmosfere zehirli gaz atıkları salmaz, küresel ısınmaya katkıda bulunmayarak iklim değişikliğine de sebep olmaz.

Rüzgardan enerji elde edilirken yanma olmadığı için karbon emisyonu yoktur ve karbonla ilgili zararlı işlemlere de katkısı olmamaktadır. Elde edilmesi kolay olduğu için yakıt maliyeti yoktur. Her yerde bol veya yeteri kadar bulunduğu için yakıt ithalini ve ithalat bağımlılığını ortadan kaldırır. İstihdam ve bölgesel kalkınma sağlayarak işsizliğin azalmasına sebep olur. Ülkemizde rüzgar türbin ve kulelerini üreten firmanın olduğu düşünülürse, hem bu yapım için hem de yapım aşamasında, inşaat faaliyetleri yöredeki insanlara iş imkânları sağlar. Kırsal kesimlerde elektrik ağını geliştirir. Ayrıca kırsal kesimlere kurulan rüzgar türbinleri arazi için ödenen satın alma veya kira bedelleriyle yöredeki insanlara ciddi bir ekonomik katkı sağlayabilir.

Yeryüzünde sürekli var olduğu, her zaman ve her yerde bulunduğu için enerji güvenliği sağlar. Rüzgar bedava estiği için yakıt fiyatının yükselme ve düşme riski yoktur. Kurulması fazla zaman almadığı için termik ve hidrolik güç santrallerine göre daha çabuk kurulur. Rüzgar çiftliklerinin söküm maliyetleri yoktur veya çok azdır. Çünkü sökülen türbinlerin hurda değeri söküm maliyetlerini karşılamaktadır. Bu çiftliklerin ömürlerini tamamlamasından sonra türbinlerin kullanıldığı alan eski haline kolayca getirilebilmektedir. Rüzgar santrali içinde veya etrafında tarım ve sanayi faaliyetleri yapılabildiği için arazi dostudur. Rüzgar çiftlikleri kuruldukları alanın sadece %1'lik bir bölümünü işgal ederler ve geri kalan kısımlar tarımsal faaliyetlerde rahatlıkla kullanılabilir.

6. References

1. Gourieres, D.L. 1982. Wind Power Plants Theory and Design, Pergamon Press, Oxford.
2. Hepbasli and O. Ozgener, A review on the development of wind energy in Turkey, Renewable Sustainable Energy Reviews **8** (2004), pp. 257–276.
3. Frandsen, S., and Christensen, C. J. 1992. Accuracy of Estimation of Energy Production from Wind Power Plants. Wind Engineering 16(5) Denmark.
4. Freris, L. L. 1990. Wind Energy Conversion Systems, Prentice Hall International (UK) Ltd.
5. Ozgür, M.A. 2008. Review of Turkey's renewable energy potential, Renewable Energy, 33(11), 2345-2356.
6. İlkılıç, C. 1990. Rüzgar Enerjisinin Mekanik Enerjiye Dönüştürülmesi, *MSc Thesis*. Fırat University.
7. History of wind energy, <http://www.bergey.com/primer.html>, 2003.
8. A history of wind energy, wind energy manual-history of wind energy, http://www.energy.iastate.edu/renewable/wind/wem/wem-4_history.html, 2003.
9. Balat, H. 2008. Contribution of green energy sources to electrical power production of Turkey: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(6), 1652-1666.
10. http://www.epa.gov/climatechange/emissions/co2_human.html(28.08.2007)] Human-Related Sources and Sinks of Carbon Dioxide.
11. Richardson, R. D., and Mc Nerney, G.M. 1993. Wind Energy Systems. Proceedings of the IEEE 81(3): 378 – 389.
12. Ackermann, T., and Soder, L. 2002. An overview of wind energy-status 2002, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6(1-2), 67–128.
13. Kyoto Protokolü, Çevre ve Orman Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Birleşmiş Milletler 1998.
14. Da Rosa AV. Fundamentals of renewable energy processes. Amsterdam: Elsevier Inc; 2005.
15. Lund, H., The Kyoto mechanisms and technological innovation, Energy, 31, 2325-2332, 2006.
16. <http://www.ruzgarenerjisibirliigi.org.tr/guncel/04-01-16-Turkiyedeki-ruzgar-santralleri.pdf>, Rüzgar Enerji projelerinin son durumu.
17. <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/globalwindenergyoutlook.pdf>, Global Wind Energy Outlook 2016.
18. http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/ruzgar/DUNYADA_RES_GUCU2016.doc.
19. http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/ruzgar/dunya_RES.html
20. http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/ruzgar/RGI_AYLIK_HIZLAR.xls, 2001.
21. www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx, 2005.
22. The wind projects of EIE. Turkish general directorate of electrical power resources survey and development administration (EIE) web site, www.eie.gov.tr, 2002.

23. TSMS, Turkish State Meteorological Service. Research Studies on Solar and Wind Energy. <http://www.meteor.gov.tr>, 2003 [in Turkish].
24. Ministry of Energy and Natural Resources of Turkey, MENR. Distribution of electricity production by utilities between 2006–2013 in Turkey, <http://www.enerji.gov.tr/elektrik.asp>, 2013.
25. Energy Information Administration, EIA. Turkey Country Analysis Brief, <http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/turkey.html>, May 2003.
26. EIE (General Directorate of Electrical Power Resources Administration). http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/ruzgar/RGI_AYLIK_HIZLAR.xlsS; 2001.
27. İlkılıç, C., Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 1165-1173, 2012.
28. www.tureb.com.tr, Türkiye’de Rüzgar Enerji Santrallerinin Bölgelere Göre Dağılımı, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, Ocak 2016.
29. www.tureb.com.tr, Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Gelişimi, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, Ocak 2016.
30. www.tureb.com.tr, Türkiye’de Rüzgar Enerji Santralleri İllere Göre Kurulu Gücü, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, Ocak 2016.
31. Turkish Wind Energy Association (TWEA). Wind power plants under operation in Turkey; 2015.
32. www.tureb.com.tr, Türkiye’de İnşa Halinde Bulunan Rüzgar Enerji Santrallerinin Bölgelere Göre Dağılımı, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, Ocak 2016.