

# Makale İncelemesi

## Türkiye'de Rüzgar Enerjisinin Mevcut Durumu

### Raşit Ata

*Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Celal Bayar Üniversitesi, 45140 Manisa, Türkiye*

Yazışmalar Raşit Ata ile yapılmalıdır; [rasit.ata@cbu.edu.tr](mailto:rasit.ata@cbu.edu.tr) Received 13 Şubat 2013;

Accepted 5 Nisan 2013

Akademik Editör: Mattheos Santamouris

Telif Hakkı© 2013 Raşit Ata. Bu, Creative Commons Attribution Lisansı altında dağıtılan, orijinal çalışmaya uygun şekilde atıfta bulunulması koşuluyla, herhangi bir ortamda sınırsız kullanım, dağıtım ve çoğaltmaya izin veren açık erişimli bir makaledir.

Rüzgar enerjisi uygulamaları ve farklı ölçeklerde türbin kurulumları bu yüzyılın başından itibaren artış göstermiştir. Rüzgâr enerjisinin atmosferi kirleten fosil yakıtlara göre alternatif temiz bir enerji kaynağı olması nedeniyle rüzgâr enerjisini elektriğe dönüştüren sistemler hızla gelişmiştir. Türkiye'nin yerli fosil yakıt kaynakları son derece sınırlıdır. Buna ek olarak, Türkiye'nin coğrafi konumu rüzgar enerjisinin yaygın kullanımı için çeşitli avantajlara sahiptir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynakları Türkiye'de sürdürülebilir enerji gelişimi ve çevre kirliliğinin önlenmesi için en verimli ve etkili çözümlerden biri olarak . Yenilenebilir kaynaklar arasında Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli çok yüksektir. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'ne (OECD) göre Türkiye teorik olarak yılda 166 TWh rüzgar potansiyeline sahiptir. Ancak kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi, toplam ekonomik rüzgâr potansiyelinin yaklaşık %14'ü kadardır. Bu çalışmada, Türkiye'nin kurulu elektrik gücü kapasitesi ve elektrik enerjisi üretimi araştırılmış ve ayrıca Türkiye'de rüzgar enerjisinin mevcut durumu incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan rüzgar verileri 2012 yılı için Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği'nden (TÜREB) alınmıştır. Bu makale, Temmuz 2012 sonu itibarıyla Türkiye'deki rüzgar enerjisi uygulamalarını da içeren rüzgar enerjisi değerlendirmesini gözden geçirmektedir.

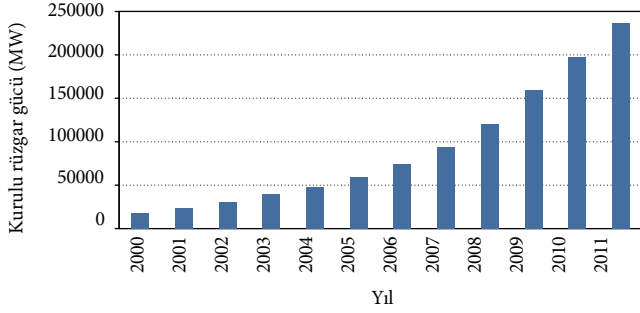
### 1. Giriş

Küresel çevre kirliliğine bağlı olarak son yıllarda güneş, rüzgar, biyokütle ve jeotermal enerji gibi sürdürülebilir ve yeşil güç kaynaklarına eğilimler büyük ölçüde artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ülkelerin geleceği için çok önemli olduğu artık yaygın olarak kabul edilmektedir. Rüzgar enerjisi, ekonomik yenilenebilir kaynaklardan biridir ve geleneksel enerji kaynaklarına değerli bir tamamlayıcıdır. Rüzgâr teknolojisi 1970'lerin başından bu yana kademeli olarak geliştirilmiştir. 1990'ların sonunda rüzgar enerjisi en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak yeniden ortaya çıkmıştır [1]. Rüzgârdan elektrik üretim maliyeti, gelişen teknolojiyle birlikte giderek azalmaktadır. Şu anda, rüzgar enerjisi Amerika, Asya ve özellikle Avrupa'daki birçok ülkede elektrik üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. , 2001 yılında dünyada kurulu rüzgar gücü 24.322 MW iken, 2011 yılı sonunda 237.016 MW'a yükselmiştir [2].

Ülkemiz, tüm dünya ülkelerinin büyük çoğunluğunda olduğu gibi, enerji tedarikinde kısa ve uzun vadeli bazı sorunlarla karşı karşıyadır. Türkiye öncelikle yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarını artırmaya çalışmalıdır.

Toplumsal temel gereksinimlerini karşılamak ve ekonomik büyümeyi gerçekleştirmek, enerji tüketimi ve üretiminden kaynaklanan yerel ve küresel çevre sorunlarından mümkün olduğunca kaçınmak ve özellikle enerjide dışa bağımlılığı azaltmak. Bu sadece ülkemiz için değil diğer dünya ülkeleri için de geçerlidir [3].

Özellikle son on yılda, rüzgar enerjisinin gelişimi hakkında birçok bilimsel çalışma sunulmuştur. Türkiye'de rüzgar enerjisinin gelişimi hakkında genel bir inceleme Şahin [4] tarafından ele alınmıştır. Ackerman ve Ş [5], Şahin [6], Thresher ve diğerleri [7] ve Joselin Herbert ve diğerleri [8] gibi bazı yazarlar rüzgar mühendisliği ve türbinlerindeki gelişmeleri araştırmışlardır. 9-11'de yazarlar kompozit rüzgar türbini kanatları için kontrol teknikleri sunmuşlardır. Birçok yazar rüzgar enerjisinin durumunu ve Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyelini incelemiştir [12-33]. Türkiye'deki rüzgar enerjisi durumu, yenilenebilir enerji potansiyeli ve gelişimi hakkında genel bir inceleme araştırmacılar tarafından [34-41]'de ele alınmıştır. Bu çalışmalarda Türkiye'nin kurulu rüzgâr gücü kapasitesi ve elektrik enerjisi üretimi araştırılmış ve ayrıca Türkiye'nin mevcut rüzgâr enerjisi durumu araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Özgener ve Hepbaşlı [42]



ŞEKİL 1: Dünyanın kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi.

Türkiye'deki rüzgar enerjisi uygulamalarının gelecekteki yönlerini sunmuştur. Birçok yazar yenilenebilir enerji kaynaklarının durumunu, potansiyelini, kullanımını, çevre kirliliğini ve gelecek perspektiflerini araştırmıştır, örneğin Evrendilek ve Ertekin [43], Ocak [44], Yıksal [45], Oğulata [46], Keleş ve Bilgen [47], Çapık ve ark. [48], Yüksel ve Kaygusuz [49], Volkan ve Ediger [50], Kaya [51], Kaygusuz ve Sari [52] ve Akpınar ve ark. Ayrıca Kenisarın ve diğerleri [54] dünyada rüzgar enerjisi mühendisliğini ve Türkiye'deki gelişimini tartışmıştır.

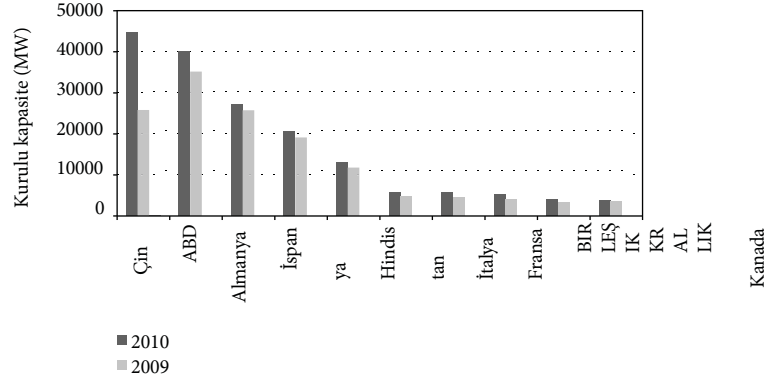
Bu makalede, öncelikle rüzgar enerjisi ve önemi ele alınmakta, ardından Türkiye'deki rüzgar enerjisi santrallerinin mevcut durumu ve gelişimi ayrıntılı olarak incelenmektedir.

## 2. Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Durumu

Rüzgar enerjisi en gelişmiş ve en yaygın yenilenebilir enerji kaynağıdır ve ticari açıdan en uygun olanıdır. Temiz bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisi, güneş var olduğu sürece yok olma ihtimali bulunmayan çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Süreklilik arz etmesine ve ihtiyaç duyulduğunda mevcut miktarın elde olup olmayacağına tam olarak bilinmemesine rağmen sürekli büyüyen bir enerji kaynağıdır. Örneğin, 2001 yılında dünya kurulu rüzgar gücü 24.322 MW iken, Haziran 2011'de 215.000 MW'a yükselmiştir [2]. Şekil 1, 2000 ve 2011'in ilk yarısı arasında dünyadaki kurulu rüzgar gücü kapasitesini göstermektedir [2, 55]. Kurulu rüzgar enerjisinde bir artış eğilimi vardır ve bu dönemde ortalama artış oranı %25'tir. Kurulu rüzgar gücünün 2011 yılı sonunda 24.500 MW'a ulaşacağı tahmin edilmektedir [2].

Dünyadaki kurulu rüzgâr kapasitesinin yaklaşık %43,7'si Avrupa'da, %22,5'i Kuzey Amerika'da ve %31,1'i Asya'dadır. Ancak Çin, Avrupa'nın %52'sine ve dünya kurulu kapasitesinin %22,7'sine eşit olan 44.733 MW ile en yüksek kurulu rüzgar kapasitesine sahiptir. Şekil 2'de 2009 ve 2010 yılları arasındaki ilk on rüzgar enerjisi pazarı gösterilmektedir [56].

Şekil 2'de görüldüğü gibi Çin 2009 ve 2010 yılları arasında %73 ile kurulu rüzgar enerjisi kapasitesinde en yüksek gelişmeyi göstermiştir. ABD de %14,2 ile yüksek bir gelişme göstermiştir. Almanya, İspanya ve Hindistan için bu dönemdeki kurulu rüzgâr kapasitesi artış oranı sırasıyla %5,5, 7,9 ve 10,6'dır. Asya kıtasındaki ülkelerde ise rüzgar enerjisinin kurulu gücü son dönemde artış göstermiştir,



ŞEKİL 2: Dünyadaki toplam kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi açısından ilk on ülke.

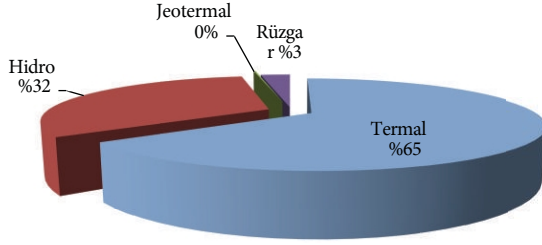
2010 yılı verilerine göre dünya rüzgar enerjisi kurulu gücünün %43,7'si Avrupa kıtasındadır.

Türkiye ile hemen hemen benzer rüzgar sistemlerinin etkisi altında olan Balkan ülkelerinin 2010 yılı verilerine göre, sınır komşumuz Yunanistan 1208 MW rüzgar enerjisi kurulu gücüne sahipken, Bulgaristan 375 'ın üzerinde kurulu rüzgar gücüne sahiptir. Komşularımızla kıyaslandığında, sadece ülkemizin yüzölçümünün büyüklüğü göz önüne alındığında bile ülkemizin potansiyelinin önemi ortaya çıkmaktadır.

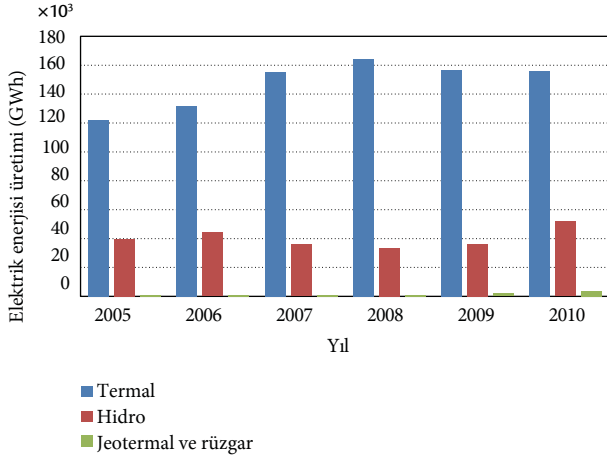
## 3. Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Durumu

Türkiye'deki enerji politikasının temel amacı, ekonomik büyümeyi ve sosyal kalkınmayı destekleyerek, çevresel ve ekonomik unsurları dikkate alarak yeterli enerjiyi kullanıma sunmaktır [57]. Büyüme gelecekte de devam edeceği hesaplanmıştır. Türkiye'nin hidrolik, termik (doğal gaz, kömür, linyit, fuel-oil, LPG, vb.) ve rüzgar kaynaklarından elde edilen toplam kurulu güç kapasitesi 2010 yılı sonunda 49.524 MW olup, 2009 yılına göre %10,6'lık bir artış göstermiştir. 2000 yılından 2010 yılına kadar toplam kapasite %74,6 oranında artmıştır. Bu, IEA üyesi ülkelerdeki en büyük artışlardan biriydi ve CCGT'lerin yanı sıra kömür ve hidroelektrik kapasitede de önemli bir artış yansıtıyordu [58]. Doğal gaz, hidroelektrik, petrol ve kömür santralleri birlikte %97'lik bir paya sahiptir. Türkiye'nin kurulu güç kapasitesinin kaynaklara göre dağılımı Şekil 3'te verilmiştir [59]. Şekil 3'ten de görüldüğü gibi termik kaynaklı santrallerin oranı çok yüksektir ve bunların yaklaşık %75'i doğal gaz santralleridir.

Toplam brüt elektrik enerjisi üretimi 2010 yılında 211.207,7 GWh olarak gerçekleşmiş ve üretim oranındaki değişimler ekonomik durumlara ve teknolojik gelişmelere bağlı olmuştur. Bu dönemde ortalama artış oranı yaklaşık %8,4 olmuştur [59]. Türkiye'nin 2005-2010 yılları arasındaki elektrik enerjisi üretimi Şekil 4'te gösterilmektedir [59]. Elektrik enerjisi üretimi giderek artmasına rağmen 2009 yılında elektrik enerjisi üretiminde bir düşüş yaşanmıştır. Elektrik üretimi 2009 yılında 2008 yılı değerlerine göre yaklaşık %2'lik bir düşüşle 194.812 GWh yani 198.418 GWh olarak gerçekleşmiştir.



ŞEKİL 3: Türkiye'nin kurulu güç kapasitesinin dağılımı.

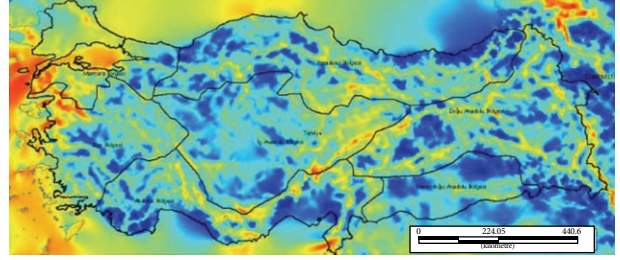


ŞEKİL 4: 2005-2010 yılları için Türkiye'nin brüt elektrik enerjisi üretimi.

2005-2010 yılları arasında brüt elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre yıllık gelişimi Tablo 1'de verilmiştir [59]. Tablo 1'den de görüldüğü üzere elektrik enerjisinin %73'ü termik kaynaklardan sağlanmaktadır. Bu dönemde doğal gazın elektrik enerjisi üretimindeki oranının yaklaşık %33,6 arttığı görülmektedir. Elektrik enerjisi üretiminde doğal gaz tüketimi 2000 yılında %37 iken 2010 yılında %46'ya ulaşmıştır [39]. Ancak dünyada elektrik enerjisi üretiminde doğal gazın payı %21,4'tür [60]. Türkiye'nin ihtiyaç duyduğu doğal gazın neredeyse tamamını ithal etmesi nedeniyle elektrik üretiminde dünyadan daha yüksek oranda kullanılması ekonomik açıdan incelenmesi gereken önemli bir noktadır [39]. Öte yandan, rüzgârdan elektrik enerjisi üretimi son yıllarda hızla artmaktadır.

#### 4. Türkiye'de Rüzgar Enerjisinin Mevcut Durumu ve Geleceği

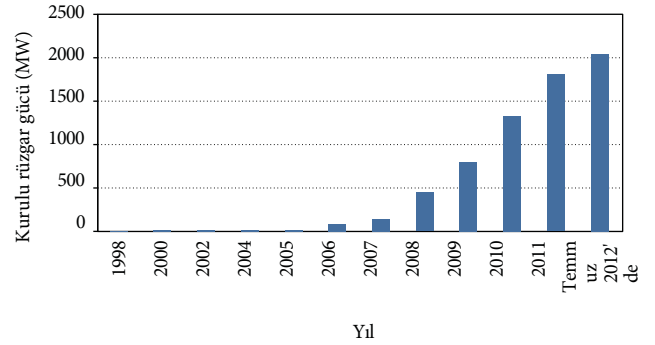
Türkiye Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından Mayıs 2002'de yayınlanan Türkiye rüzgar atlası, 50 m yükseklikteki rüzgar hızları için en yüksek potansiyele sahip bölgelerin Türkiye'nin Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz bölgeleri ile Orta Anadolu'nun bazı dağlık bölgeleri olduğunu göstermektedir [61]. Şekil 5, Türkiye'de 50 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızının dağılımını göstermektedir [3]. Buna ek olarak,



Rüzgar hızı (m/s)



ŞEKİL 5: Türkiye'de 50 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızının saçılması.



ŞEKİL 6: Türkiye'de kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi.

ABD uzay çalışmaları tarafından meteorolojik veriler Türkiye'nin yüksek rüzgar kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir [39].

Türbin kurmak için önemli olan yerden 50 m yükseklikteki güç yoğunluğu, yerden 50 m yükseklikte yıllık ortalama rüzgar hızı 4-5 m/s olan yerlerde çoğunlukla yıllık ortalama 500 w/m<sup>2</sup>'yi aşmaktadır<sup>2</sup>. Sahada yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkan tahmini rakamlar, Türkiye'nin teknik rüzgar enerjisi potansiyeli, kurulu gücü ve ortalama verimleri Tablo 2'de mevcuttur [3]. Bu tabloda Türkiye toprakları rüzgar enerjisi kaynak derecesine göre sınıflandırılmıştır. Bu tablodan Türkiye topraklarının yaklaşık %37'sinin orta üstü kapasiteye sahip olduğu görülmektedir.

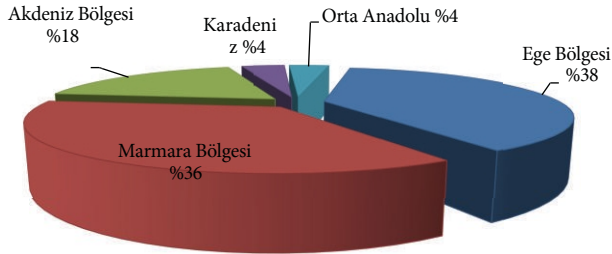
Türkiye'de elektrik enerjisi üretmeye yönelik ilk küçük ölçekli uygulama 1986 yılında Ege Bölgesi'nde 16,5 me'de 55 kW kurulu güce sahip bir santral ile başlamıştır. Büyük ölçekli ilk santral de 1998 yılında Çeşme-Germiyan'da 1,74 MW kapasite ile kurulmuştur. 1998 yılında Çeşme-Alaçatı'da 12 adet\* 600 kW rüzgar türbini içeren ARES rüzgar santrali kurulmuştur. Türkiye'deki en büyük rüzgâr enerjisi santrali 2012 yılında Manisa-Soma'da inşa edilen 140,1 MW kapasiteye sahiptir. Türkiye'de işletmede olan mevcut rüzgâr enerjisi santralleri Tablo 3'te listelenmiştir [62]. Elektrik üretimi için kurulu rüzgâr gücü kapasitesi Şekil 6'da gösterilmektedir [62].

TABLO 1: Türkiye'nin brüt elektrik enerjisi üretiminin kaynak dağılımı (GWh).

| Kaynaklar               | 2005     | 2006     | 2007     | 2008     | 2009     | 2010     |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Taş kömürü+ İthal kömür | 13246.2  | 14216.6  | 15236.2  | 15857.5  | 16595.6  | 19104.3  |
| Linyit                  | 29946.3  | 32432.9  | 38294.7  | 41858.1  | 39089.5  | 35942.1  |
| Fuel-oil                | 5120.7   | 4232.4   | 6469.6   | 7208.6   | 4439.8   | 2143.8   |
| Dizel                   | 2.5      | 57.7     | 13.3     | 266.3    | 345.3    | 4.3      |
| Doğal gaz               | 73444.9  | 80691.2  | 95024.8  | 98685.3  | 96094.7  | 98143.7  |
| Yenileme. ve atıklar    | 122.4    | 154.0    | 213.7    | 219.9    | 340.1    | 457.5    |
| Diğerleri               | 359.3    | 50.3     | 43.9     | 43.6     | 18.0     | 31.9     |
| Toplam termal           | 122242.3 | 131835.1 | 155196.2 | 164139.3 | 156923.4 | 155827.6 |
| Hidro                   | 39560.5  | 44244.2  | 35850.8  | 33269.8  | 35958.4  | 51795.5  |
| Jeotermal+ rüzgar       | 153.4    | 220.5    | 511.1    | 1008.9   | 1931.1   | 3584.6   |
| Toplam                  | 161956.2 | 176299.8 | 191558.1 | 198418.0 | 194812.9 | 211207.7 |

TABLO 2: Türkiye'de rüzgar hızı, gücü ve potansiyel enerji miktarının alansal dağılımı.

| Rüzgar kaynağı | Kazans | Rüzgar hızı (m/s) | Toplam alan (km <sup>2</sup> ) | Rüzgarlı topraklar (%) | Potansiyel kapasite (MW) |
|----------------|--------|-------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Orta           | 3      | 300-400           | 16781.39                       | 2.27                   | 83906.96                 |
| İyi            | 4      | 400-500           | 5851.87                        | 0.79                   | 29259.36                 |
| Mükemmel       | 5      | 500-600           | 2598.86                        | 0.35                   | 12994.32                 |
| Mükemmel       | 6      | 600-800           | 1079.98                        | 0.15                   | 5399.92                  |
| Mükemmel       | 7      | >800              | 39.17                          | 0.01                   | 195.84                   |
| Toplam         |        |                   | 26351.28                       | 3.57                   | 131756.40                |



ŞEKİL 7: Türkiye'deki rüzgar enerjisi santrallerinin bölgelere göre dağılımı.

Tablo 3'e bakıldığında, mevcut rüzgar enerjisi ülkenin yedi coğrafi bölgesinden sadece beşinde, Ege, Marmara, Akdeniz, Karadeniz ve İç Anadolu bölgelerinde aktif olduğu görülmektedir. Ege 786,2 MW kurulu güç ile ilk sırada yer alırken, Marmara bölgesi 730,65 MW kurulu güç ile ikinci sırada yer alan Akdeniz bölgesini 372,5 kurulu rüzgar enerjisi santrali kapasitesi takip etmektedir. Türkiye'deki rüzgar enerjisi santrallerinin bölgelere göre dağılımı Şekil 7'de gösterilmektedir.

Kurulu gücün illere göre dağılımına bakıldığında, Tablo 4'te görüldüğü gibi, Balıkesir toplam kapasitenin yaklaşık %20'sine sahip olarak ilk sırada yer almaktadır. Manisa %17'lik pay ile ikinci sırada yer alırken yine Ege bölgesinden bir şehir olan İzmir toplam kapasitenin %16'sı ile üçüncü sırada yer alırken, diğer iller

listelenmiştir. Yakın gelecekte, aktif rüzgar enerjisi santrallerine sahip illerin sayısının daha da artması beklenmektedir.

2010 yılında 528 MW yeni rüzgar enerjisi kapasitesi eklenmiştir

Türkiye'deki toplam kurulu güç 1329 MW'a ulaştı. Bu, bir önceki yıla göre %66'lık bir büyüme oranını temsil etmektedir. TEİAŞ'a (devlete ait iletim şirketi ve sistem operatörü) göre 2011 yılında 415.8 MW'a kadar rüzgar projesinin eklenebileceği öngörülmektedir [61].

Kurulu rüzgar kapasitesinin yılda 500-1.000 MW arasında artması ve 2015 yılına kadar 5 GW'ın üzerine çıkması beklenmektedir. Türkiye, 2023 yılına kadar 20 GW'a kadar rüzgar enerjisi kurmayı ve bu tarihe kadar elektrik üretiminin %30'unu yenilenebilir kaynaklardan sağlamayı ummaktadır. Ancak bu hedefe ulaşmak için iletim altyapısının, bu tür büyük ölçekli gelişmelerin elektrik şebekesine bağlanmasına izin verecek şekilde önemli ölçüde iyileştirilmesi gerekecektir. Bu konunun yakın gelecekte ele alınması gerekecektir [61].

Türkiye'de öngörülen rüzgar enerjisi geliştirme kapasitesi Tablo 5'te görülebilir [54]. Bu tabloda iki farklı varsayım yapılmıştır. Her iki tahmine göre de rüzgardan elde edilen güç artacak ve 2030 yılına kadar 10.000 MW'ı aşacaktır.

Yeni yenilenebilir enerji yasası, Türkiye'deki rüzgar enerjisi santralleri için oldukça cazip teşvikler getirmiştir. 2007 yılının başlarında Türk hükümeti yenilenebilir enerji kanununu güncelleyerek rüzgar üreticilerine 50/MWh ile 55/MWh arasında sabit bir tarife içeren 10 yıllık anlaşmalar garanti etmiştir. Brezilya'daki 73/MWh veya Portekiz'deki 66/MWh diğer gelişmekte olan pazarlardaki tarifelerden biraz daha düşük olmasına rağmen, bu tarife yüksek rüzgar potansiyeli ile birleştiğinde

TABLO 3: Türkiye'de işletmede olan rüzgar enerjisi santralleri (Temmuz 2012).

| Rüzgâr çiftliğinin adı | Kurulu kapasite (MW) | Türbin gücü    | Türbin markası | Konum                  | Üretim tarihi |
|------------------------|----------------------|----------------|----------------|------------------------|---------------|
| Çeşme                  | 1.50                 | 0,5 MW         | Enercon        | İzmir-Çeşme            | 1998          |
| Ares                   | 7.20                 | 0,6 MW         | Vestas         | İzmir-Çeşme            | 1998          |
| Bozcaada               | 10.20                | 0,6 MW         | Enercon        | C, anakkale-Bozcaada   | 2000          |
| İntepe                 | 30.40                | 0,8 MW         | Enercon        | C, anakkale-İntepe     | 2007          |
| Karakurt               | 10.80                | 1,8 MW         | Vestas         | Manisa-Akhisar         | 2007          |
| Burgaz                 | 14.90                | 0,8 MW+ 0,9 MW | Enercon        | C, anakkale-Gelibolu   | 2007          |
| Sayalar                | 34.20                | 0,9 MW         | Enercon        | Manisa-Sayalar         | 2008          |
| Çatalca                | 60.00                | 3 MW           | Vestas         | İstanbul-C, atalca     | 2008          |
| Yuntdag                | 57.50                | 2,5 MW         | Nordex         | İzmir-Aliğa            | 2008          |
| Kemerburgaz            | 24.00                | 2 MW           | Enercon        | İstanbul-Gaziosmanpaşa | 2008          |
| Mare manastır          | 39.20                | 0,9 MW+ 0,8 MW | Enercon        | İzmir-Çeşme            | 2006/2007     |
| Sunjut                 | 1.20                 | 0,6 MW         | Enercon        | İstanbul-Hadımkoşu     | 2003          |
| Teperes                | 0.85                 | 0,85 MW        | Vestas         | İstanbul-Silivri       | 2006          |
| Bandırma               | 35.00                | 1,5 MW         | GE+ Nordex     | Balıkesir-Bandırma     | 2006          |
| Samsun                 | 114.00               | 3 MW           | Vestas         | Balıkesir-Samsun       | 2008          |
| Datca                  | 29.60                | 0,8 MW+ 0,9 MW | Enercon        | Mugla-Datca            | 2008          |
| Sebenoba               | 30.00                | 2 MW           | Vestas         | Hatay-Samandağ         | 2008          |
| Akbük                  | 31.50                | 2,1 MW         | Suzlon         | Aydın-Didim            | 2009          |
| Çamseki                | 20.80                | 2 MW+ 0,8 MW   | Enercon        | C, anakkale-Ezine      | 2009          |
| Keltepe                | 20.70                | 0,9 MW         | Enercon        | Balıkesir-Susurluk     | 2009          |
| Gökçeada               | 135.00               | 2,5 MW         | GE             | Osmaniye-Bahçe         | 2009/2010     |
| Düzova                 | 30.00                | 2,5 MW         | GE             | İzmir-Bergama          | 2009/2010     |
| Mazı-3                 | 30.00                | 2,5 MW         | Nordex         | İzmir-Çeşme            | 2009/2010     |
| Ayyıldız               | 15.00                | 3 MW           | Vestas         | Balıkesir-Bandırma     | 2009          |
| Bandırma               | 60.00                | 3 MW           | Vestas         | Balıkesir-Bandırma     | 2009/2010     |
| Soma                   | 140.10               | 2 MW+ 0,9 MW   | Enercon        | Manisa-Soma            | 2011/2012     |
| Belen                  | 36.00                | 3 MW           | Vestas         | Hatay-Belen            | 2009/2010     |
| Sarıkaya               | 28.80                | 2 MW+ 0,8 MW   | Enercon        | Tekirdağ-Sarıkaya      | 2009          |
| Kocadağ-2              | 17.50                | 2,5 MW         | Nordex         | İzmir-Urla             | 2010          |
| Bandırma-3             | 25.00                | 2,5 MW         | Nordex         | Balıkesir-Bandırma     | 2010          |
| Mersin                 | 33.00                | 3 MW           | Vestas         | Mersin-Mut             | 2010          |
| Boreas-1               | 15.00                | 2,5 MW         | Nordex         | Edirne-Enez            | 2010          |
| Aliğa                  | 90.00                | 2,5 MW         | Nordex         | İzmir-Aliğa            | 2010          |
| Sarıbük                | 15.00                | 3 MW           | Vestas         | Hatay-Belen            | 2010          |
| Ziyaret                | 57.50                | 2,5 MW         | GE             | Hatay-Samandağ         | 2010/2011     |
| Soma                   | 90.00                | 2,5 MW         | Nordex         | Manisa-Soma            | 2010          |
| Kuyucak                | 25.60                | 2 MW+ 0,8 MW   | Enercon        | Manisa-Kırkgözü        | 2010          |
| Sares                  | 22.50                | 2,5 MW         | GE             | C, anakkale-Ezine      | 2010/2011     |
| Turguttepe             | 24.00                | 2 MW           | Vestas         | Aydın-C, ine           | 2010          |
| C, ataltepes           | 16.00                | 2 MW           | Enercon        | Balıkesir              | 2010          |
| Çanakkale              | 29.90                | 2,3 MW         | Siemens        | C, anakkale-Ezine      | 2011          |
| Susurluk               | 45.00                | 2,5 MW         | Nordex         | Balıkesir-Susurluk     | 2011          |
| Seyitali res           | 30.00                | 2 MW           | Enercon        | İzmir                  | 2011          |
| Soke-C, atabük         | 30.00                | 2 MW           | Gamesa         | Aydın                  | 2012          |
| Aksu                   | 72.00                | 2 MW           | Vestas         | Kayseri                | 2012          |
| Amasya                 | 40.00                | 2,5 MW         | Nordex         | Amasya                 | 2012          |
| Metristepe             | 40.00                | 2,5 MW         | Nordex         | Bilecik                | 2012          |
| Dağpazarı              | 39.00                | 3 MW           | Siemens        | Mersin                 | 2012          |
| Sarıkoşu               | 27.00                | 3 MW           | Alstom W.      | Hatay                  | 2012          |
| Sarıhres               | 93.00                | 3 MW           | Vestas         | Balıkesir              | 2011          |

TABLO 3: Devamı.

| Rüzgâr çiftliğinin adı | Kurulu kapasite (MW) | Türbin gücü | Türbin markası | Konum     | Üretim tarihi |
|------------------------|----------------------|-------------|----------------|-----------|---------------|
| Ayres                  | 5.00                 | 1,8 MW      | Vestas         | Çanakkale | 2011          |
| Akres                  | 45.00                | 2,5 MW      | Nordex         | Manisa    | 2011          |
| Karadağ                | 10.00                | 2,5 MW      | GE             | İzmir     | 2012          |
| Bozyaka                | 12.50                | 2,5 MW      | Nordex         | İzmir     | 2011          |
| Killik                 | 40.00                | 2,5 MW      | Nordex         | Tokat     | 2012          |
| Saray                  | 4.00                 | 2 MW        | Enercon        | İstanbul  | 2012          |
| Toplam                 | 2041.35              |             |                |           |               |

TABLO 4: Türkiye'de kurulu kapasitenin illere göre dağılımı.

| İller     | Kurulu kapasite (MW) |
|-----------|----------------------|
| Balıkesir | 423.10               |
| Manisa    | 345.70               |
| İzmir     | 325.40               |
| Hatay     | 165.50               |
| Osmaniye  | 135.00               |
| Çanakkale | 133.70               |
| İstanbul  | 90.05                |
| Aydın     | 85.50                |
| Mersin    | 72.00                |
| Kayseri   | 72.00                |
| Tokat     | 40.00                |
| Amasya    | 40.00                |
| Bilecik   | 40.00                |
| Mug̃la    | 29.60                |
| Tekirdağ  | 28.80                |
| Edirne    | 15.00                |

TABLO 5: Türkiye'de rüzgar enerjisi geliştirme kapasitesinin tahmini.

| Yıllar      | Rüzgar enerjisi, MW* [35] | Rüzgar enerjisi, MW* |
|-------------|---------------------------|----------------------|
| [54] 2000** | 19                        | 19                   |
| 2010**      | 1329                      | 1329                 |
| 2015        | 5142                      | 7230                 |
| 2020        | 7849                      | 10620                |
| 2025        | 9733                      | 13160                |
| 2030        | 11200                     | 15885                |

\*Yazarların rüzgar türbini kullanım faktörünü varsayarak yaptıkları hesaplama.

\*\*İstatistiksel veriler.

iyi pazar beklentileri sağlamaktadır. Yasa ayrıca arazi erişimi, üretim ve lisanslar için daha düşük maliyetlerin yanı sıra rüzgar ekipmanı için KDV veya gümrük vergisi olmamasını da garanti etmektedir [4]. Bu yasanın birçok yatırımcıyı Türkiye'de yenilenebilir enerjiler ve özellikle rüzgar enerjisi ile ilgili aşağıda verilen yatırımları yapmaya teşvik ettiği görülmektedir.

## 5. Rüzgar Enerjisi Ekonomisi

Rüzgar enerjisi santrallerinin ekonomisi bir dizi faktörden etkilenmektedir. Bunlar arasında rüzgarın kalitesi

TABLO 6: Yakıt türüne göre elektrik üretim maliyetleri (cent/kWh).

| Güç kaynağı            | Minimum | Maksimum |
|------------------------|---------|----------|
| Büyük hidro            | 3.0     | 13.0     |
| Küçük hidroelektrik    | 4.0     | 14.0     |
| Belediye katı atıkları | 4.2     | 6.3      |
| Biyolojik kütle        | 4.2     | 7.9      |
| Doğal gaz              | 4.3     | 5.4      |
| Kömür                  | 4.5     | 7.0      |
| Tarımsal kalıntılar    | 4.5     | 9.8      |
| Rüzgar                 | 4.7     | 7.2      |
| Jeotermal              | 4.7     | 7.8      |
| Hidrolik               | 5.2     | 18.9     |
| Nükleer                | 5.3     | 9.3      |
| Güneş termal hibrit    | 6.0     | 7.8      |
| Dalga/gelgit           | 6.7     | 17.2     |
| Enerji bitkileri       | 10.0    | 20.0     |
| Güneş PV               | 28.7    | 31.0     |

TABLO 7: Avrupa'da kurulu tipik bir 2 MW rüzgar türbininin maliyet yapısı (C2006).

|                     | Yatırım<br>(€1,000/MW) | Toplam maliyetin<br>payı<br>% |
|---------------------|------------------------|-------------------------------|
| Türbin (eski işler) | 928                    | 75.6                          |
| Şebeke bağlantısı   | 109                    | 8.9                           |
| Arazi kirası        | 48                     | 3.9                           |
| Elektrik tesisatı   | 18                     | 1.5                           |
| Danışmanlık         | 15                     | 1.2                           |

kaynak, teknoloji verimliliği ve güvenilirliği, uzun vadeli güç sözleşmelerinin mevcudiyeti ve en az birkaç saat sonrasını tahmin etme yeteneği. Rüzgar enerjisinin değerine katkıda bulunan en önemli faktörler rüzgar kaynağı, şebekenin özellikleri ve gelişen piyasa kuralları ile ilgilidir. İlave rüzgar kapasitesi geliştirildikçe, bu değişkenler daha kesin olarak belirlenecektir. Rüzgar enerjisi ile diğer enerji üretim yöntemleri arasındaki maliyet karşılaştırması Tablo 6'da gösterilmiştir [40]. Rüzgar enerjisinin diğer yaygın enerji kaynakları kadar ekonomik olarak kullanılabilir olduğu görülebilir.

Bir rüzgar türbini için toplam enerji maliyetinin yaklaşık %75'i türbin, temel, elektrik ekipmanı ve şebeke bağlantısı gibi ön maliyetlerle ilgilidir.

Açıkçası, dalgalanan yakıt maliyetlerinin enerji üretim maliyetleri üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Bu nedenle bir rüzgar türbini, maliyetlerin %40-70 kadarının yakıt ve işletme ve bakımla ilgili olduğu doğal gaz santrali gibi geleneksel fosil yakıtlı teknolojilere kıyasla *sermaye yoğunudur*. Tablo 7 tipik bir 2 MW rüzgar türbininin fiyat yapısını vermektedir [63].

## 6. Sonuçlar

Küresel iklim değişikliği koşulları altında tüm ülkeler atmosfere karbondioksit salınımını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Rüzgar enerjisi, yenilenebilir kaynaklar arasında en uygun enerji kaynağıdır çünkü rüzgar enerjisi Türkiye de dahil olmak üzere dünya genelinde büyük bir potansiyele sahiptir, sürdürülebilir ve çevreyi kirlilemez. Bu nedenle, elektrik üretimi için çok önemli hale gelmiştir. Genel olarak, Türkiye'deki potansiyel rüzgar enerjisi alanları kuzey ve kuzeybatı kesimlerinde, Ege Denizi ve Marmara Denizi kıyıları boyunca uzanmaktadır. Türkiye'nin Ege, Marmara, Doğu-Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu bölgeleri, Türkiye'nin diğer bölgelerine kıyasla genellikle daha yüksek rüzgar enerjisi potansiyeli vaat eden bölgeler olarak görülmektedir. Türkiye'de mevcut rüzgar gücü 2009 yılı sonu itibarıyla 801 MW'tır. Bu kapasite 2010 yılı sonunda 1329 MW' ulaşmıştır. Bu kapasite Temmuz 2012 sonunda 2041,35 MW olmuştur. Türkiye'nin kurulu rüzgâr kapasitesi, Türkiye'nin toplam ekonomik rüzgâr potansiyelinin yaklaşık %14'üdür. Ancak lisanslı projelerin kurulmasıyla bu oran daha da artacaktır.

Türkiye, büyümesini karşılama konusunda ciddi zorluklarla karşı karşıyadır. enerji talebini artırmaktadır. Hızla büyüyen bir ekonomiyi beslemek için ülkenin elektrik tüketimi her yıl ortalama %8-9 oranında artmaktadır ve enerji sisteminin arz ve talebini dengelemek için üretim, iletim ve dağıtım tesislerine önemli yatırımlar yapılması gerekmektedir. Son olarak, Türkiye enerji ithal eden bir ülkedir. Diğer ülkelere daha az bağımlı olmak için Türkiye'nin kendi sürdürülebilir kaynaklarını kullanması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında, rüzgar enerjisi ekonomik, sürdürülebilir, çevre dostu ve Türkiye'de bilinen bir enerji kaynağı olduğu için çok cazip bir seçimdir.

## Referanslar

- [1] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, and E. Bossanyi, *Wind Energy Handbook*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2001.
- [2] Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği, Yıllık rapor, 2011, <http://www.windea.org/>.
- [3] I. Akova, "Türkiye'de rüzgar enerjisinin gelişme potansiyeli," *Echos Ge'ographiques de Turquie*, cilt 16, 2011.
- [4] A. D. Sahin, "A review of research and development of wind energy in Turkey," *Clean Soil Air Water*, vol. 36, no. 9, pp. 734-742, 2008.
- [5] T. Ackerman ve L. So'der, "Wind energy technology and current status: a review," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 4, pp. 315-374, 2000.
- [6] A. D. Sahin, "Progress and recent trends in wind energy," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, pp. 501-543, 2004.
- [7] R. Thresher, M. Robinson ve P. Veers, "Rüzgar enerjisi teknolojisi: mevcut durum ve Ar-Ge geleceği," *Sürdürülebilir Enerji Fiziği Konferansı Bildirileri*, Berkeley'deki California Üniversitesi, 2008.
- [8] G. M. Joselin Herbert, S. Iniyar, E. Sreevalsan, and S. Rajapandian, "A review of wind energy technologies," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, no. 6, pp. 1117-1145, 2007.
- [9] U. K. Galappaththi, A. K. M. De Silva, M. MacDonald, ve O. R. Adewale, "Kompozit rüzgar türbini kanatları için muayene ve kalite kontrol tekniklerinin gözden geçirilmesi," *Insight: Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, cilt 54, s. 82-85, 2012.
- [10] Z. Qi and E. Lin, "Integrated power control for small wind power system," *Journal of Power Sources*, vol. 217, pp. 322-328, 2012.
- [11] J. Yang, C. Peng, J. Xiao, J. Zeng, and Y. Yuan, "Application of videometric technique to deformation measurement for large-scale composite wind turbine blade," *Applied Energy*, vol. 98, pp. 292-300, 2012.
- [12] A. Öztopal, A. D. Sahin, Z. Sen, and N. Akgu'n, "On the regional wind energy potential of Turkey," *Energy*, vol. 25, pp. 189-200, 2000.
- [13] H. Balat, "Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyeli," *Enerji*, cilt 23, s. 51-56, 2005.
- [14] R. T. Ogulata, "Energy sector and wind energy potential in Turkey," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 7, pp. 469-484, 2003.
- [15] R. K. Ko'se, "An evaluation of wind energy potential as a power generation source in Ku'tahya Turkey," *Energy Conversion and Management*, vol. 45, pp. 1631-1641, 2004.
- [16] M. G. Go'kc,ek, A. Bayu'iken, ve S. Bekdemir, "Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli Turkey," *Renewable Energy*, vol. 32, pp. 1739-1752, 2007.
- [17] M. Durak ve Z. S, en, "Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyeli ve Akhisar örneği," *Renewable Energy*, vol. 25, no. 3, pp. 463- 472, 2002.
- [18] E. K. Akpınar ve S. Akpınar, "Determination of the wind energy potential for Maden-Elazığ, Turkey," *Energy Conversion and Management*, vol. 45, no. 18-19, pp. 2901-2914, 2004.
- [19] R. Ko'se, M. Arif Ozgur, O. Erbas, and A. Tugcu, "The analysis of wind data and wind energy potential in Kutahya, Turkey," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 8, no. 3, pp. 277-288, 2004.
- [20] M. Bilgili, B. Sahin, and A. Kahraman, "Wind energy potential in Antakya and Iskenderun regions, Turkey," *Renewable Energy*, vol. 29, pp. 1733-1745, 2004.
- [21] N. Eskin, H. Artar, ve S. Tolun, "Türkiye'deki Gökçeada'nın rüzgar enerjisi potansiyeli," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 839-851, 2008.
- [22] A. Ucar and F. Balo, "Evaluation of wind energy potential and electricity generation at six locations in Turkey," *Applied Energy*, vol. 86, no. 10, pp. 1864-1872, 2009.
- [23] Y. Oner, S. Ozcira, and N. Bekiroglu, "Prediction wind energy potential using by wind data analysis in bababurnu-Turkey," in *Proceedings of the International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP '09)*, pp. 232-235, June 2009.
- [24] B. Sahin and M. Bilgili, "Wind characteristics and energy potential in Belen-Hatay, Turkey," *International Journal of Green Energy*, vol. 6, no. 2, pp. 157-172, 2009.
- [25] B. Sahin, M. Bilgili, and H. Akilli, "The wind power potential of the eastern Mediterranean region of Turkey," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 93, no. 2, pp. 171-183, 2005.

- [26] I. T. Togrul ve C. Ertekin, "A statistical investigation on the wind energy potential of Turkey's geographical regions," *Energy Sources Part A*, vol. 33, no. 15, pp. 1399-1421, 2011.
- [27] M. Bilgili ve E. Simsek, "Wind energy potential and turbine installations in Turkey," *Energy Sources Part B*, vol. 7, pp. 140-151, 2012.
- [28] E. Camadan, "Türkiye elektrik endüstrisinde rüzgar enerjisinin mevcut durumu ve geleceği üzerine bir değerlendirme," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 4994-5002, 2011.
- [29] C. İlkılıç, "Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 1165-1173, 2012.
- [30] C. İlkılıç, ve I. Türkbay, "Determination and utilization of wind energy potential for Turkey," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 2202-2207, 2010.
- [31] A. A. Coskun ve Y. O. Türker, "Rüzgar enerjisi ve Türkiye," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 184, pp. 1265-1273, 2012.
- [32] M. S. Celiktaş and G. Kocar, "Foresight analysis of wind power in Turkey," *International Journal of Energy Research*, vol. 36, pp. 737-748, 2012.
- [33] A. N. Celik, "Review of Turkey's current energy status: a case study for wind energy potential of Canakkale Province," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 2743-2749, 2011.
- [34] A. Hepbaşlı ve O. Ozgener, "A review on the development of wind energy in Turkey," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 8, no. 3, pp. 257-276, 2004.
- [35] H. Aras, "Türkiye'de rüzgar enerjisinin durumu ve değerlendirilmesi," *Renewable Energy*, vol. 28, pp. 2213-2220, 2003.
- [36] M. Bilgili, "A global review of wind power installations and their development in Turkey," *Clean Soil Air Water*, vol. 37, no. 3, pp. 195-202, 2009.
- [37] M. Gökcük, "Developing Wind Energy in Turkey," 2012, <http://www.intechopen.com/>.
- [38] K. Kaygusuz, "Türkiye'de yenilenebilir elektrik enerjisi üretiminde rüzgar enerjisinin durumu," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 2104-2112, 2010.
- [39] O. Güler, "Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminde rüzgar enerjisinin durumu," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 473-478, 2009.
- [40] E. Erdoğan, "On the wind energy in Turkey," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 361-371, 2009.
- [41] C. İlkılıç, H. Aydın, ve R. Behçet, "Türkiye'de ve dünyada rüzgar enerjisinin mevcut durumu," *Energy Policy*, vol. 39, pp. 961-967, 2011.
- [42] O. Ozgener and A. Hepbaşlı, "Current status and future directions of wind energy applications in Turkey," *Energy Sources*, vol. 24, no. 12, pp. 1117-1129, 2002.
- [43] F. Evrendilek ve C. Ertekin, "Assessing the potential of renewable energy sources in Turkey," *Renewable Energy*, vol. 28, no. 15, pp. 2303-2315, 2003.
- [44] M. Ocak, Z. Ocak, S. Bilgen, S. Keleş, ve K. Kaygusuz, "Energy utilization, environmental pollution and renewable energy sources in Turkey," *Energy Conversion and Management*, vol. 45, no. 6, pp. 845-864, 2004.
- [45] I. Yüksel, "Küresel ısınma ve Türkiye'de sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji kaynakları," *Renewable Energy*, vol. 3, pp. 802-812, 2008.
- [46] R. Oğulata, "Potential of renewable energies in Turkey," *Journal of Energy Engineering*, vol. 133, pp. 63-68, 2007.
- [47] S. Keleş ve S. Bilgen, "Renewable energy sources in Turkey for climate change mitigation and energy sustainability," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 5199-5206, 2012.
- [48] M. C. Apik, A. O. Yılmaz, and T. C. Avcı, "Present situation and potential role of renewable energy in Turkey," *Renewable Energy*, vol. 46, pp. 1-13, 2012.
- [49] I. Yüksel ve K. Kaygusuz, "Renewable energy sources for clean and sustainable energy policies in Turkey," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 4132-4144, 2011.
- [50] S. Volkan ve E. K. Ediger, "Renewable energy potential as an alternative to fossil fuels in Turkey," *Energy Conversion & Management*, vol. 40, pp. 743-755, 1999.
- [51] D. Kaya, "Renewable energy policies in Turkey," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 10, pp. 152-163, 2006.
- [52] K. Kaygusuz ve A. Sari, "Renewable energy potential and utilization in Turkey," *Energy Conversion Management*, vol. 44, pp. 459-478, 2003.
- [53] A. Akpınar, M. İ. Kömürcü, M. Kankal, İ. H. Özölçer, ve K. Kaygusuz, "Energy situation and renewables in Turkey and environmental effects of energy use," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 2013-2039, 2007.
- [54] M. Kenisarin, M. V. Karslı, and M. Caglar, "Wind power engineering in the world and perspectives of its development in Turkey," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 10, pp. 341-369, 2006.
- [55] Küresel kümülatif kurulu rüzgar kapasitesi 1996-2010, <http://www.gwec.net/>.
- [56] Wind Energy International 2011/2012 yılı, <http://www.sonnenseite.com/>.
- [57] AŞ, Sektör Raporu, "Elektrik Enerjisi Üretimi Sektör Raporu," Türkiye, 2008.
- [58] IEA Ülkelerinin Enerji Politikaları, 2010, <http://www.iea.org/>.
- [59] Türkiye Elektrik Üretim ve İletim İstatistikleri, 2010, <http://www.teias.gov.tr/>.
- [60] Temel Dünya Enerji İstatistikleri, Uluslararası Enerji Ajansı, 2011.
- [61] Küresel Rüzgar Raporu-Yıllık pazar güncellemesi, 2010, <http://www.gwec.net/>.
- [62] <http://www.tureb.com.tr/>.
- [63] Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği tarafından hazırlanan bir rapor, Rüzgar enerjisinin ekonomisi, Mart 2009, <http://www.wind-energy-the-facts.org/>.