

Bandırma rüzgar enerjisi potansiyelinin araştırılması ve seçilen rüzgar türbinlerinin ekonomik analizi

Asiye ASLAN*

Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Gönen Meslek Yüksekokulu, Gaz ve Tesisatı Teknolojisi Bölümü,
Gönen, Balıkesir.

Geliş Tarihi (Received Date): 20.01.2016
Kabul Tarihi (Accepted Date): 09.03.2016

Özet

Bu çalışmada, 2010-2014 yılları arasında Bandırma Meteoroloji İstasyonundan temin edilen, saatlik ölçülen rüzgar hızı verileri kullanılarak Bandırma rüzgar enerji potansiyeli değerlendirilmiştir. Maksimum yıllık ortalama rüzgar hızı ise 2010 yılında 4.60 m/s olarak elde edilirken, minimum yıllık ortalama rüzgar hızı 2013 yılında 3.69 m/s olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte seçilen altı farklı rüzgar türbininin kapasite faktörleri ve türbinlerden elde edilen enerji miktarları hesaplanmıştır. Rüzgar enerji projelerinin ekonomik olup olmadığını ve yatırımcıya kar sağlayıp sağlamayacağını belirleyen geri ödeme süresi yöntemi kullanılarak bölge için seçilen rüzgar türbinlerinin ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır. En kısa geri ödeme süresi 7.28 yıl ile Enercon E58 (1000 kW) türbini için hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Rüzgar enerjisi, ekonomik değerlendirme, geri ödeme süresi.

Investigation of Bandırma wind energy potential and economic analysis of the selected wind turbines

Abstract

In this study, Bandırma wind energy potential were assessed by using the hourly measured wind speed data from 2010 to 2014, which is obtained from Bandırma State Meteorological Service. The maximum annual average wind speed was obtained as 4.60 m/s in 2010, while the minimum average annual wind speed was obtained as 3.69 m/s in 2013. However, the capacity factors and the amounts of energy which is obtained from the wind turbines were calculated for selected six different wind turbines. Economic evaluation was conducted for selected wind turbines using payback period method that determines the feasibility of the wind power projects and the state of the contribution to

* Asiye ASLAN, asiye_aslan@yahoo.com, Tel: 0 (266) 762 08 68.

investigator's profits. The shortest payback period was calculated for Enercon E58 (1000 kW) wind turbine with 7.28 years.

Keywords: *Wind energy, economic evaluation, payback period.*

1. Giriş

Gelişmekte olan teknoloji ile birlikte ham petrol ve doğal gaz fiyatlarındaki artışlar ve bunların çevre üzerindeki olumsuz etkileri, bir gün bu enerji kaynaklarının bitecek olması yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmaktadır. Bugün gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler kendi olanakları içinde değişik enerji kaynaklarının kullanılmasına öncelik vermektedirler. Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir.

Rüzgar enerjisinin ana kaynağı güneş enerjisidir. Güneş enerjisi karaları ve denizleri aynı oranda ısıtmaz. Bu nedenle oluşan basınç farkı rüzgarı meydana getirir. Rüzgarın yoğun olarak olduğu bölgelere kurulan rüzgar tribünleri ise rüzgarın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye, daha sonra elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgardan elde edilecek enerji tamamen rüzgarın hızına ve esme süresine bağlıdır. Rüzgar enerjisi temiz ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Bölgesel olduğundan dünya pazarında büyük ölçüde bağımsızdır. Bunun yanında gürültü kirliliği yaratması, yatırım maliyeti yüksek olması, kuşların ölümüne neden olması ve iletişim için kullanılan cihazların dalgalarını bozması ise bazı dezavantajları arasındadır.

Dünya rüzgar enerji potansiyelini belirleyebilmek amacıyla Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalarda, 5.1 m/s üzerinde rüzgar kapasitesine sahip bölgelerin, uygulamaya dönük ve toplumsal kısıtlar nedeni ile %4'ünün kullanılacağı öngörüsüne dayanarak, dünya teknik rüzgar potansiyeli 53000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Rüzgar enerji potansiyeli yüksek olan kıtalar/bölgeler sırasıyla; Kuzey Amerika (14000 TWh/yıl), Doğu Avrupa ve Rusya (10600 TWh/yıl), Afrika (10600 TWh/yıl), Güney Amerika (5400 TWh/yıl), Batı Avrupa (4800 TWh/yıl), Asya (4600 TWh/yıl) ve Okyanusya (3000 TWh/yıl) şeklindedir [1]. Bu veriler, Kuzey Amerika, Doğu Avrupa ve Rusya ve Afrika'nın dünya rüzgâr enerji potansiyelinin %66'sına sahip olduğunu göstermektedir [1].

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan rüzgar hız ölçümlerine göre 6.5 m/s'nin üzerindeki rüzgar hızları değerlendirildiğinde, Türkiye kara rüzgar potansiyeli 131,756.40 MW; rüzgar hızının 6.5-7.0 m/s olduğu yerlerdeki rüzgar potansiyeli ihmal edilip rüzgar hızının 7.0 m/s'nin üzerinde olduğu bölgeler dikkate alındığında, Türkiye kara rüzgâr potansiyeli 48,000 MW olarak belirlenmiştir. Ayrıca rüzgar hızının 6.5 m/s'nin üzerinde olduğu alanlarda Türkiye deniz rüzgar potansiyeli 17393.20 MW olarak tespit edilmiştir [1].

Literatürde, bölgelerin rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve ekonomik değerlendirmeler ile ilgili birçok çalışmaya rastlanmıştır. Eskin v.d. [2] Gökçeada rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek için dört farklı lokasyondan elde edilen rüzgar verilerini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar Gökçeada'da rüzgar enerjisi potansiyelinin kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Uçar ve Balo [3] Uludağ-Bursa rüzgar enerjisi ve

rüzgar enerjisinden elektrik üretimin potansiyelini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında 2000-2006 yılları arasındaki rüzgar verilerini kullanmışlardır. Seçilen dört farklı rüzgar türbininin teknik ve ekonomik değerlendirmesini yapmışlar ve türbinlerden üretilen enerji maliyetini 0.255 ve 0.306 \$/kW h değerleri arasında elde etmişlerdir. Bilgili v.d. [4] Antakya ve İskenderun bölgelerinin rüzgar enerji potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmalarında 1997-2001 rüzgar verilerini kullanmışlar ve bu bölgelerin rüzgar enerji potansiyeline göre bölgesel dağılım haritasını oluşturmuşlardır. Çelik [5] Çanakkale merkez ve Bozcaada rüzgar enerji potansiyelini araştırmıştır. Bu bölgelerde 50m yükseklikte, 7 m/s üzerinde yıllık ortalama rüzgar hızı olduğunu tespit etmiştir. Köse [6] Kütahya'daki rüzgar enerji potansiyelini değerlendirmiştir. Gözlemlenen bölgede 2001 Temmuz'dan 2003 Şubat'a kadar 20 ay süreyle rüzgar verilerinin ortalama değerleri alındığında, 30 m yükseklikte 4.62 m/s rüzgar hızı ve 36.62 W/m² güç yoğunluğu değerleri elde edilmiştir.

Bu çalışmada birinci aşamada saatlik ölçülen rüzgar hızı verileri dikkate alınarak Bandırma rüzgar enerji potansiyelinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. İkinci olarak seçilen altı farklı rüzgar türbininin kapasite faktörleri ve türbinlerden elde edilen enerji miktarları hesaplanmıştır. Bunun yanında rüzgar enerji projelerinin ekonomik olup olmadığını ve yatırımcıya kar sağlayıp sağlamayacağını belirleyen ve yaygın olarak kullanılan geri ödeme süresi (*GÖS*) yöntemi kullanılarak bölge için seçilen rüzgar türbinlerinin ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır.

2. Rüzgar verileri

Bu çalışmada beş yıl boyunca (2010-2014) ve saatlik ölçülen rüzgar hız verileri analiz edilmiştir. 10 m yükseklikte ölçülen tüm veriler Bandırma Meteoroloji İstasyonundan temin edilmiştir.

2.1. Rüzgar hızının Weibull dağılımı

Literatürde birçok dağılım fonksiyonu olmasına rağmen, Weibull dağılımı en yaygın kullanılan dağılım fonksiyondur. Weibull dağılım fonksiyonu iki parametrelidir [7]. Weibull dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$f_w(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

burada v rüzgar hızı, c Weibull ölçek parametresi ve k boyutsuz Weibull şekil parametresidir. Weibull k ve c parametrelerini hesaplamak için çeşitli yöntemler bulunmakla beraber bu çalışmada, ortalama rüzgar hızı standart sapma yöntemi kullanılmıştır [3, 8, 9]. Bu yöntem ile Weibull faktörleri aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_m}\right)^{-1.086} \quad 1 \leq k \leq 10 \quad (2)$$

$$c = \frac{v_m}{\Gamma(1+1/k)} \quad (3)$$

denklemden sırasıyla v_m ve σ ortalama rüzgar hızı ve rüzgar hızının standart sapmasıdır.

2.2. Ekstrapolasyon yöntemi

Eğer Weibull parametreleri belirli bir yükseklik için biliniyorsa, farklı yükseklikler için aşağıdaki ifadeler kullanılarak hesaplanabilir [8]:

$$k_h = k_o \left[1 - 0.088 \ln \left(\frac{h_o}{10} \right) \right] / \left[1 - 0.088 \ln \left(\frac{h}{10} \right) \right] \quad (4)$$

$$c_h = c_o \left(\frac{h}{h_o} \right)^n \quad (5)$$

denklemden h_o bilinen yükseklik, c_o bilinen Weibull ölçek parametresi ve k_o ise bilinen Weibull şekil parametresidir. Üs olan n değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$n = [0.37 - 0.088 \ln(c_o)] / \left[1 - 0.088 \ln \left(\frac{h}{10} \right) \right] \quad (6)$$

3. Rüzgar türbinlerinin kapasite faktörü ve üretilen enerji miktarı

Bir rüzgar türbininin performansını değerlendirmek için kapasite faktörü önemli göstergelerden birisidir. Kapasite faktörü (C_F), rüzgar türbininin çıkış gücünün (P_{out}) nominal gücüne (P_R) oranını temsil eder. Rüzgar türbininin kapasite faktörü aşağıdaki gibi hesaplanabilir [9]:

$$C_F = \frac{P_{out}}{P_R} = \frac{e^{-(v_i/c)^k} - e^{-(v_r/c)^k}}{(v_r/c)^k - (v_i/c)^k} - e^{-(v_o/c)^k} \quad (7)$$

denklemden sırasıyla, v_i , v_r ve v_o açma rüzgar hızı, nominal hız ve kesme rüzgar hızıdır. Herhangi bir (T) zaman periyodu için rüzgar türbininden elde edilen enerji aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$E_{out} = C_F P_R T \quad (8)$$

4. Ekonomik analiz

Rüzgar türbininin enerji maliyetinin hesaplanmasında aşağıdaki prosedür takip edilmiştir. [7, 9]. C_I projenin ilk yatırım maliyeti, C_{OM} operasyon ve bakım maliyeti olarak düşünüldüğünde; C_{OM} , C_I değerinin m kadar yüzdesi olarak ifade edilebilir:

$$C_{OM} = m C_I \quad (9)$$

Türbinin n yıllık ömrü için, operasyon ve bakım maliyetleri iskonto değerinin bugünkü değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$BD(C_{OM})_{1-n} = mC_I \left[\frac{(1+I)^n - 1}{I(1+I)^n} \right] \quad (10)$$

denklemden I , reel iskonto oranıdır.

İlk yatırım C_I dahil olmak üzere, tüm masrafların birikmiş net bugünkü değeri ise aşağıdaki gibidir:

$$NBD(C_A)_{1-n} = C_I \left\{ 1 + m \left[\frac{(1+I)^n - 1}{I(1+I)^n} \right] \right\} \quad (11)$$

Bir sonuç olarak, projenin yıllık operasyon maliyeti aşağıdaki denklemden elde edilebilir:

$$NBD(C_A) = \frac{NBD(C_A)_{1-n}}{n} = \frac{C_I}{n} \left\{ 1 + m \left[\frac{(1+I)^n - 1}{I(1+I)^n} \right] \right\} \quad (12)$$

Bir yılda türbinden elde edilen enerji miktarı ise aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$E_{out} = 8760 P_R C_F \quad (13)$$

Rüzgardan üretilen elektriğin maliyeti para/kWh cinsinden aşağıdaki denklem ile elde edilebilir:

$$C = \frac{NBD(C_A)}{E_{out}} = \frac{C_I}{8760n} \left(\frac{1}{P_R C_F} \right) \left\{ 1 + m \left[\frac{(1+I)^n - 1}{I(1+I)^n} \right] \right\} \quad (14)$$

Rüzgar enerjisinin faydaları ise enerji üretim maliyeti esas alınarak değerlendirilir. Proje elektrik satış yoluyla yılda B_A kadar bir yarar elde ederse, o zaman projenin ömrü boyunca tüm faydaların birikmiş net bugünkü değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir [7, 9]:

$$NBD(B_A)_{1-n} = B_A \left[\frac{(1+I)^n - 1}{I(1+I)^n} \right] \quad (15)$$

5. Geri ödeme süresi (GÖS) analizi

Yatırımların karlılık analizinde kullanılan Geri ödeme süresi (GÖS) analizi yaygın ve anlaşılması en kolay yöntemlerdendir. GÖS tüm maliyetlerin net bugünkü değeri ile tüm faydaların net bugünkü değerinin eşit olduğu süre olarak hesaplanır. Bu noktada türbin projesi yatırımcıya kar sağlamaya başlar. GÖS aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir [7,9].

$$GÖS = -\frac{\ln\left(1 - \frac{IC_I}{B_A - mC_I}\right)}{\ln(1 + I)} \quad (16)$$

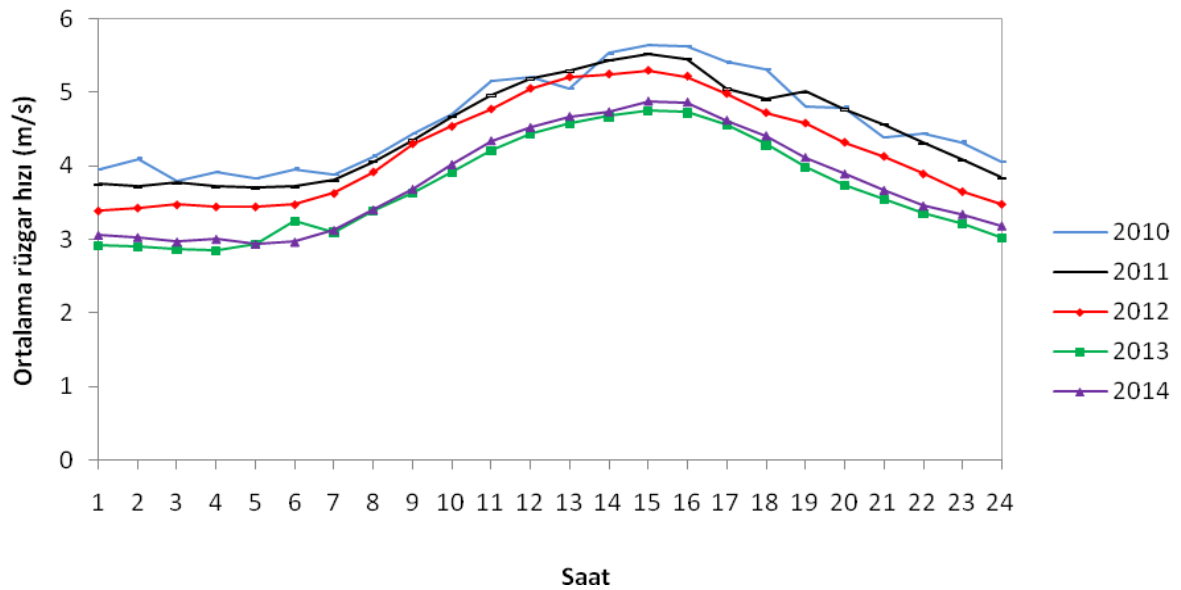
Bu çalışmada aşağıda belirtilen kabuller doğrultusunda ekonomik hesaplamalar yapılmıştır.

- (1) Kurulum, ulaşım, özel ücret vs. dahil olmak üzere, diğer başlangıç maliyetleri türbin maliyetinin %30 olarak kabul edilir.
- (2) Reel iskonto oranı, I yaklaşık faiz ve enflasyon oranı arasındaki fark olarak alınabilir. Faiz ve enflasyon oranı sırasıyla %20 ve %16 olarak kabul edilir. Yani reel iskonto oranı %4'e eşittir.
- (3) Yıllık işletme ve bakım maliyetleri, m , türbin maliyetinin %5'i olarak alınır.
- (4) Türbin ömrü, n , 20 yıldır.
- (5) Yerel enerji satış fiyatı 0.11 \$/kW h olarak alınmıştır [10].

6. Bulgular ve tartışma

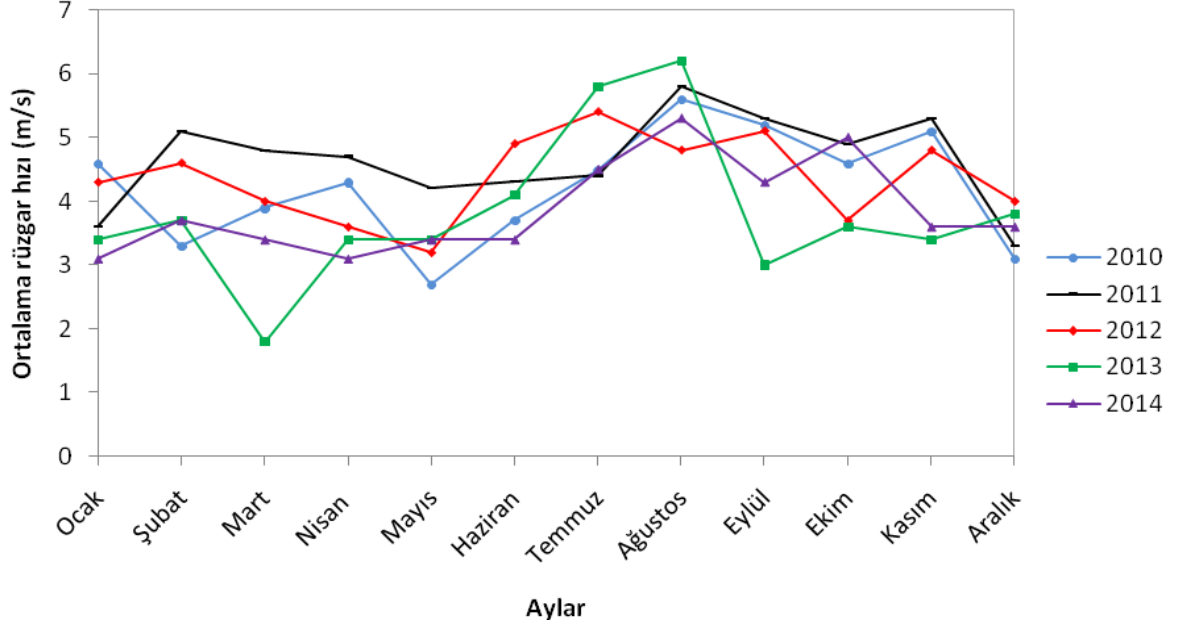
Bu çalışmada Bandırma meteoroloji istasyonunda ölçülen verilerden yararlanılarak rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Bunun yanında seçilen altı farklı türbin için kapasite faktörü, türbinlerden elde edilen enerji miktarı ve türbinlerin geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Şekil 1'de 2010-2014 yılları arası 5 yıllık ortalama rüzgar hızı günlük dağılımı verilmiştir. Şekilden rüzgar hızlarının Saat:7.00'dan sonra artmaya başladığı, Saat:15.00'da maksimum değer aldığı ve daha sonra gün sonuna doğru tekrar azaldığı görülmektedir. Maksimum ortalama rüzgar hızı 2010 yılı 5.64 m/s elde edilirken, minimum ortalama rüzgar hızı 2013 yılında 2.84 m/s olarak elde edilmektedir. Maksimum yıllık ortalama rüzgar hızı ise 2010 yılında 4.60 m/s elde edilirken, minimum yıllık ortalama rüzgar hızı 2013 yılında 3.69 m/s olarak elde edilmektedir.



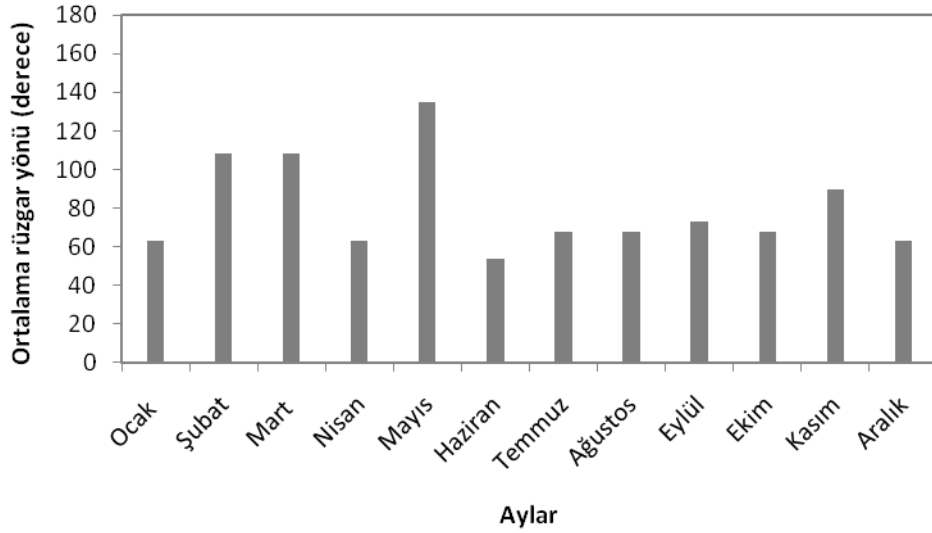
Şekil 1. Ortalama rüzgar hızı günlük dağılımı.

Şekil 2’de 2010-2014 yılları arası 5 yıllık ortalama rüzgar hızı aylık dağılımı verilmiştir. Maksimum aylık ortalama rüzgar hızı 2013 yılı Ağustos ayında 6.20 m/s olarak elde edilirken, minimum aylık ortalama rüzgar hızı 2013 yılı Mart ayında 1.80 m/s olarak elde edilmektedir.



Şekil 2. Ortalama rüzgar hızı aylık dağılımı.

Şekil 3’te ise 2010-2014 yılları arası 5 yıllık ortalama rüzgar yönünün derece cinsinden aylık dağılımı verilmiştir. 0° Doğu yönünü gösterecek şekilde grafik çizilmiştir. Şekilden ağırlıklı olarak aylık dağılımda hakim rüzgar yönünün Kuzey Kuzey Doğu (70°) olduğu, Mayıs ayında ise Kuzey Batı (130°) yönünde rüzgar eğilimi olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Ortalama rüzgar yönünün aylık dağılımı.

Ekonomik değerlendirme yapılabilmesi için altı farklı türbin seçilmiştir. Teknik ve ekonomik özelliklerin farklılık göstermemesi için aynı üreticinin türbinlerinin seçilmesi uygun görülmüştür. Seçilen türbinlerin teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Seçilen türbinlerin teknik özellikleri [9,11].

	Enercon E30	Enercon E33	Enercon E53	Enercon E58	Enercon E66	Enercon E70
C_f (\$/kW)	1900	1300	1300	1300	1300	1300
Nominal güç (kW)	200	300	800	1000	1500	2000
Göbek yüksekliği (m)	50	41	60	59	60	64
Açma rüzgar hızı (m/s)	2.5	3	3	2.5	3	2.5
Nominal rüzgar hızı (m/s)	11	11.5	12	12	12.5	13.5
Kesme rüzgar hızı (m/s)	25	25	34	34	25	34

Tablo 2’de seçilen türbinlerin 2010-2014 yılları arası hesaplanan yıllık Weibull şekil ve ölçek parametreleri verilmiştir. Seçilen türbinlerin farklı göbek yükseklikleri için değerler ekstrapolasyon yöntemi ile elde edilmiştir. Şekil parametresi değerleri 1.556 ile 1.648 arasında değişmekte olup, ölçek parametresi değerleri 6.356 ile 7.648 m/s arasında değişmektedir.

Tablo 2. Seçilen türbinlerin Weibull şekil ve ölçek parametreleri.

	Enercon E30	Enercon E33	Enercon E53	Enercon E58	Enercon E66	Enercon E70
Şekil parametresi, k	1.591	1.556	1.622	1.622	1.622	1.648
Ölçek parametresi, c (m/s)	6.825	6.356	7.525	7.525	7.525	7.648

Tablo 3. Seçilen türbinlerin aylık ve yıllık kapasite faktörü (C_f) değişimi.

	Enercon E30	Enercon E33	Enercon E53	Enercon E58	Enercon E66	Enercon E70
Ocak	0.341	0.280	0.320	0.335	0.305	0.335
Şubat	0.374	0.311	0.351	0.366	0.336	0.343
Mart	0.318	0.255	0.296	0.311	0.280	0.287
Nisan	0.300	0.235	0.277	0.291	0.260	0.265
Mayıs	0.262	0.200	0.240	0.253	0.224	0.228
Haziran	0.320	0.254	0.296	0.309	0.278	0.280
Temmuz	0.413	0.343	0.387	0.399	0.367	0.364
Ağustos	0.439	0.371	0.414	0.425	0.394	0.392
Eylül	0.387	0.321	0.363	0.377	0.345	0.282
Ekim	0.370	0.306	0.347	0.361	0.330	0.335
Kasım	0.305	0.244	0.284	0.299	0.269	0.277
Aralık	0.324	0.263	0.303	0.318	0.288	0.297
Yıllık	0.361	0.295	0.356	0.370	0.339	0.324

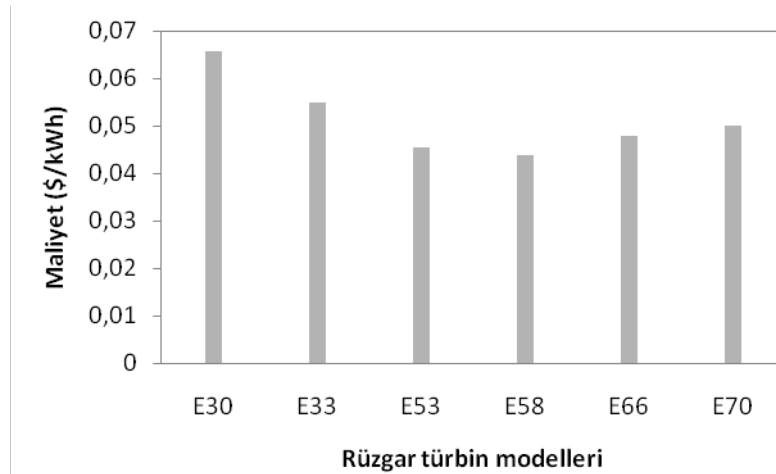
Tablo 3 ve 4’te seçilen türbinlerin aylık ve yıllık kapasite faktörü ve üretilen enerji miktarları değişimi verilmiştir. En yüksek aylık kapasite faktörü 0.439 ile Enercon E30 (200 kW) türbini için elde edilmiş olup, en düşük aylık kapasite faktörü 0.200 ile Enercon E33 (300 kW) türbini için elde edilmiştir. Üretilen enerji miktarları aylık

değerleri 573.49 ile 38.36 ile kW h arasında değişmektedir. En yüksek değer Enercon E70 (2000 kW) türbini için Ağustos ayında, en düşük değer Enercon E30 (200 kW) türbini için Mayıs ayında elde edilmiştir. En yüksek yıllık kapasite faktörü 0.370 ile Enercon E58 (1000 kW) türbini için elde edilmiş olup, en yüksek yıllık üretilen enerji miktarı 5678.82 kW h ile Enercon E70 (2000 kW) türbini için elde edilmiştir.

Tablo 4. Seçilen türbinlerin aylık ve yıllık üretilen enerji miktarı (E_{out} , kW h) değişimi.

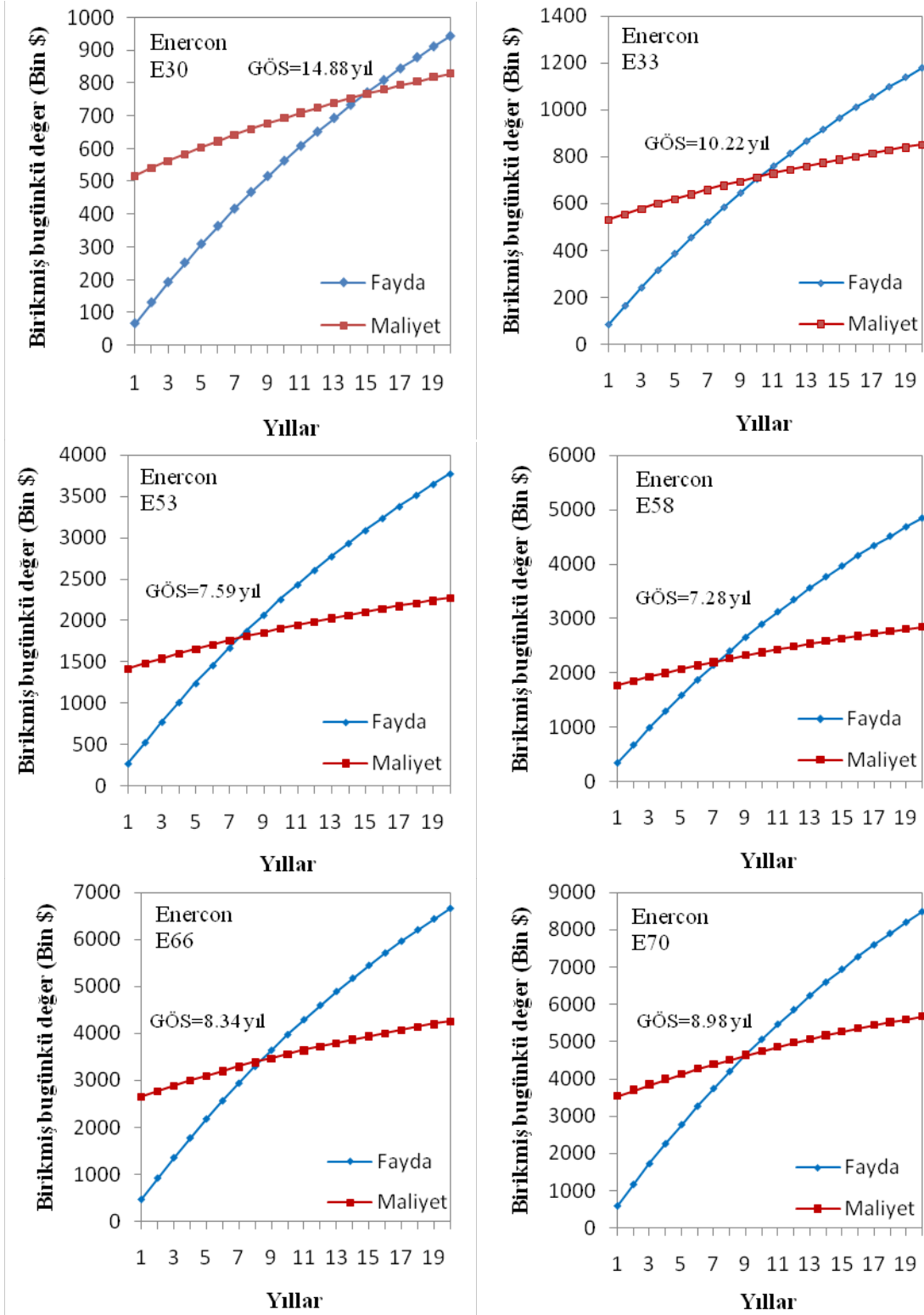
	Enercon E30	Enercon E33	Enercon E53	Enercon E58	Enercon E66	Enercon E70
Ocak	49.92	61.51	187.01	245.14	334.87	490.36
Şubat	54.61	68.30	205.36	267.67	368.39	501.04
Mart	46.50	55.95	172.95	227.07	307.35	419.53
Nisan	43.81	51.67	161.93	212.64	285.66	387.80
Mayıs	38.36	43.80	140.49	185.36	245.77	333.65
Haziran	46.84	55.64	173.41	226.23	305.33	409.72
Temmuz	60.30	75.21	226.34	291.44	402.13	532.59
Ağustos	64.09	81.27	241.79	310.92	431.91	573.49
Eylül	56.62	70.34	212.43	275.21	378.51	412.17
Ekim	54.03	67.03	202.66	263.86	362.13	490.20
Kasım	44.67	53.50	166.00	218.67	295.10	404.86
Aralık	47.37	57.75	176.97	232.70	316.34	434.69
Yıllık	632.84	777.06	2498.80	3243.06	4455.29	5678.82

Şekil 4. Türbinlerinin enerji maliyetlerini vermektedir. Şekil incelendiğinde en düşük maliyette enerji üreten türbin 0.044 \$/kW h ile Enercon E58 (1000 kW) türbini iken en yüksek maliyet ise 0.066 \$/kW h ile Enercon E30 (200 kW) türbini için elde edilmiştir.



Şekil 4. Rüzgar türbin enerji maliyetleri.

Şekil 5'te seçilen türbinlerin hesaplanan geri ödeme süreleri verilmiştir. 20 yılın altında elde edilen geri ödeme süreleri ekonomik olarak kabul edilmektedir. Şekilden seçilen tüm türbinlerin 20 yılın altında geri ödeme süresi olduğu görülmektedir. En kısa süre 7.28 yıl ile Enercon E58 (1000 KW) türbinden elde edilmiş olup, en uzun süre ise 14.88 yıl ile Enercon E30 (200 KW) türbinden elde edilmiştir.



Şekil 5. Seçilen türbinlerin geri ödeme süreleri.

7. Sonuçlar

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Maksimum yıllık ortalama rüzgar hızı ise 2010 yılında 4.60 m/s elde edilirken, minimum yıllık ortalama rüzgar hızı 2013 yılında 3.69 m/s olarak elde edilmektedir.
- Maksimum aylık ortalama rüzgar hızı 2013 yılı ağustos ayında 6.20 m/s olarak elde edilirken, minimum aylık ortalama rüzgar hızı 2013 yılı mart ayında 1.80 m/s olarak elde edilmektedir.
- Bandırmada hakim rüzgar yönü Kuzey Kuzey Doğu (70°) olarak elde edilmiştir.
- Weibull şekil parametresi değerleri 1.556 ile 1.648 arasında değişmekte olup, ölçek parametresi değerleri 6.356 ile 7.648 m/s arasında değişmektedir.
- En yüksek yıllık kapasite faktörü 0.370 ile Enercon E58 (1000 kW) türbini için elde edilmiş olup, en yüksek yıllık üretilen enerji miktarı 5678.82 kW h ile Enercon E70 (2000 kW) türbini için elde edilmiştir.
- En düşük maliyette enerji üreten türbin 0.044 \$/kW h ile Enercon E58 (1000 kW) türbini iken en yüksek maliyet ise 0.066 \$/kW h ile Enercon E30 (200 kW) türbini için elde edilmiştir.
- Geri ödeme süreleri değerlendirildiğinde seçilen tüm türbinler bölge için ekonomik olarak uygundur. En kısa geri ödeme süresi 7.28 yıl ile Enercon E58 (1000 kW) türbini için hesaplanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Şenel, M.C. ve Koç, E., Dünyada ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme, **Mühendis ve Makine**, 56, 663, 46-56, (2015).
- [2] Eskin, N., Artar, H. ve Tolun, S., Wind energy potential of Gokceada Island in Turkey, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 12, 839-851, (2008).
- [3] Uçar, A. ve Balo, F., Investigation of wind characteristics and assessment of wind generation potentiality in Uludag-Bursa, Turkey, **Applied Energy**, 86, 333-339, (2009).
- [4] Bilgili, M., Şahin, B. ve Kahraman A., Wind energy potential in Antakya and Iskenderun regions, Turkey, **Renewable Energy**, 29, 1733-1745, (2004).
- [5] Çelik, A. N., Review of Turkey’s current energy status: A case study for wind energy potential of Canakkale province, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 15, 2743-2749, (2011).
- [6] Köse, R., An evaluation of wind energy potential as a power generation source in Kutahya, Turkey, **Energy Conversion and Management**, 45, 1631-1641, (2004).
- [7] Johnson GL. Wind energy systems. Electronic edition, Manhattan, KS, 2001.
- [8] Gokcek, M., Bayulgen, A., Bekdemir S. Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kirklareli, Turkey, **Renewable Energy**, 32, 1739-52, (2007).
- [9] Mohammadi, K. and Mostafaeipour, A., Using different methods for comprehensive study of wind turbine utilization in Zarrineh, Iran, **Energy Conversion and Management**, 65, 463-470, (2013).
- [10] Güncel Elektrik Fiyatları Tarifesi, <http://enerjienstitusu.com/elektrik-fiyatlari> (27.07.2015)
- [11] Enercon E-30, <http://en.wind-turbine-models.com/turbines/376-enercon> (27.07.2015)