



Küçük Güçlü Rüzgâr Santrallerinin Kurulumu ve Şebekeye Etkilerinin Teknik ve Ekonomik Açından Değerlendirilmesi: Uygulama Çalışması

Ali Erduman¹, Ali Durusu^{2*}, Bedri Kekezoğlu²

¹Hakkari Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 30000, Hakkâri, Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul, Türkiye
*adurusu@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 1 Mayıs 2018 ve Kabul Tarihi 5 Ağustos 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.420155)

Öz

Fosil enerji kaynakların çevreye vermiş olduğu olumsuz etkiler gün geçtikçe artmaktadır. Bu zararların azaltılması amacıyla yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasına yönelik çalışmalarda hız kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke içerisinde kullanımının artması, teknik ve ekonomik açıdan nerede ve nasıl konumlandırılması gerektiği sorusunu beraberinde getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan küçük güçlü rüzgâr enerji sistemlerinin dağıtım şebekesi içerisinde ve insanların yaşam alanlarında nasıl konumlandırılacağı da güncel problemlerden bir tanesidir. Yapılan bu çalışmada dağıtım sistemlerinde tüketicinin kendi iç ihtiyaçları için kullandıkları rüzgâr santrallerinin teknik ve ekonomik kurulumu amacıyla örnek bir bölge incelenmiştir. Bununla birlikte kurulan küçük güçlü rüzgâr enerji sistemi üzerinden şebekeye olan etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar yönetmeliklerde belirtilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, küçük güçlü rüzgâr türbinleri, enerji dağıtım şebekesi

Installation and Grid Effect Evaluation of Small-Power Wind Power Plant Considering Technical and Economic Criteria: A Case Study

Abstract

The adverse effect of fossil energy sources on the environment is increasing every day. In order to decrease the adverse effect, expanding the use of renewable energy resources are encouraged. The increasing use of renewable energy resources in the electrical network has brought together the question of where and how to technically and economically positioned of these plant. It is a current problem that how to integrate the small-power wind power plant to the grid and how to install in the people's living area. In this study, a small-power wind power plant which is used for self-electricity consumption is examined considering technical and economic criteria. Also, grid effect of small-power wind power plant is examined and obtained results are compared with values indicated in the current regulations.

Keywords: Wind power, small-power wind power plant, electricity distribution network

1. Giriş

Konvansiyonel enerji üretim sistemleri üzerinde kullanılan fosil bazlı yakıtlı çevresel etkilerinin yanında ülkelerin ekonomik ilerlemelerinin önünde de engel oluşturmaktadır (Akella ve ark, 2009). Fosil enerji kaynaklarının oluşturduğu bu problemlerin azaltılması amacıyla insanoğlu yeni enerji üretim araçları üzerine odaklanmış ve özellikle temiz enerji kaynağı olmaları sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. N.L. Panwar ve arkadaşları tarafından sunulan gelecek enerji üretim senaryolarına göre yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının 2040 yılına kadar %47,7 değerine ulaşabileceği ifade edilmektedir (Panwar ve ark, 2011). Önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi sistemlerinin bu artışta önemli bir payı bulunmaktadır. Dünya Rüzgâr Enerjisi Birliği verilerine göre 2016 yılı sonunda dünyada toplam

rüzgâr enerjisi kurulu gücü 486,790 GW'a ulaşmış olup 2018-2021 yılları için yapılan tahminlere göre de 230,2 MW'lık rüzgâr santralının kurulması öngörülmektedir (Council, 2017).

Rüzgâr enerjisi kullanımı lisanslı ve lisanssız olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Lisanslı kullanım bağlantılı büyük güçlü enerji santrallerinde ön plana çıkarken, lisanssız kullanım ise sıklıkla dağıtım şebekesi üzerinden bağlı olan tüketicilerin kendi ihtiyaçları için kullanılmaktadır. Dağıtım sisteminde lisansız santrallerin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. 2020 yılına kadar 270 MW kurulum değeri ile birlikte lisanssız kullanımın toplamda 1,9 GW değerine ulaşması beklenmektedir (Gsanger, 2017). Lisanssız rüzgâr santrallerin kurulumunda artışın en önemli sebebi ülkelerin bu konuda yapmış oldukları destekleme mekanizmalarıdır. Küçük güçlü rüzgâr santrallerin elektrik üretiminde ülkelere göre destek miktarları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Küçük güçlü rüzgâr santrallerin ülkelere göre desteklenme fiyatları (Gsanger, 2017)

Ülke/Bölge	Limit Güç	Destek [€/kWh]	Ülke/Bölge	Limit Güç	Destek [€/kWh]
Kanada/Nova Scotia	<50 kW	0,34	Japonya	<20 kW	0,464
	>50kW	0,089		>20 kW	0,185
Çin		0,134-0,201	Lüksemburg		0,091
			Portekiz	<3,68 kW	0,432
Çin Taipei	1-20 kW	0,237	Sırbistan		0,092
	>20 kW	0,078	Slovenya	<1 MW	0,095
Çek Cumhuriyeti		0,071	İsviçre	<10 MW	0,179
Danimarka	<10 kW	0,33	İngiltere	<50 kW	0,097
	10-25 kW	0,2		<100 MW	0,0635
Yunanistan	< 50 kW	0,25	ABD-Hawaii	<100 MW	0,11
İtalya	< 1 MW	0,3	ABD-Vermont	<15 MW	0,2
İsrail	< 15 kW	0,25	İsrail	15-50 kW	0,32

Tablo 2. Türkiye’de rüzgâr enerjisi üretim tesislerinde yerli ürün kullanılması durumunda verilecek destek miktarları

Parça	Destek [\$cent/kWh]
Kanat	0,8
Jeneratör ve güç elektroniği	1
Türbin kulesi	0,6
Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı	1,3

Rüzgâr santrallerin kurulumun ve yerli üretiminin artmasını teşvik eden bazı ülkeler aynı zamanda rüzgâr santrallerinde kullanılan bileşenleri de parça başına desteklemektedir. Türkiye’de parça başına destek miktarları Tablo 2’de verilmiştir (Resmi Gazete, 2005).

Dağıtım sistemi içerisindeki küçük güçlü rüzgâr santralleri sayısındaki artışla birlikte şebeke üzerinde güç kalitesi, gerilim kararlılığı ve gerilim seviyesinin düzenlenmesi, kayıpları, şebeke kapasitesinin verimli kullanılması, güvenilirlik vb. konuların yeniden analiz edilmesi gerekmektedir (Barker ve De Mello, 2000). Analizlerin doğru yapılmadığı durumlarda gerilim düşümü, gerilim dengesizliği, gerilim yükselmesi, harmonikler ve fliker gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkabilmektedir (Taşçıkaraoğlu, 2008; Zehir ve ark, 2017). Lisanssız elektrik üretim sürecinin Türkiye’de yeni yaygınlaşmaya başlaması ile ileride bu muhtemel sorunların ortaya çıkması öngörülmektedir. Dağıtım şebekesi içerisinde bu sorunların oluşmaması amacıyla rüzgâr enerji kaynaklı lisanssız elektrik üretiminin incelenmesi zorunlu kılınmıştır. Öngörülen problemlerin azaltılması amacıyla dağıtım sistemlerinin yapısı ve kurulacak test sistemlerinden elde edilecek sonuçların değerlendirilmesi gerekmektedir (Durusu ve Erduman, 2017).

Küçük güçlü rüzgâr santralleri sıklıkla tüketicinin kendi iç ihtiyaçlarını karşılaması amacıyla kurulmaktadır. Bu durum türbinlerin kuruldukları konumlarını da dikkate almayı gerektirmektedir. Özellikle kurulum yapılması planlanan alanda yaşayan insanların rüzgâr türbinlerinin kurulmasından kaynaklı bir risk taşıyıp taşımadığı, rüzgâr türbinlerinin kurulacağı bölgenin toprak yapısının kurulumu uygun olup olmadığı, rüzgâr türbinlerinin kurulduğu bölgelerin kuşların göç yolu veya konaklama yolu üzerinde olup olmadığı, rüzgâr türbinlerinin askeri veya

sivil anten sistemlerine olan uzaklığı, rüzgâr türbinlerinin çevresinde oluşturacağı gürültü değeri vb. bileşenlerin değerlendirilmesi gerekmektedir (Teschner ve Alterman, 2018).

Bu çalışmanın ikinci kısmında rüzgâr santrallerinin teknik ve ekonomik fizibilite analizine yönelik matematiksel altyapı sunulmuştur. Üçüncü kısımda Bakırköy Belediyesi Botanik Parkı içerisine rüzgâr türbinleri için fizibilite analizi yapılmış ve en uygun türbin tipi belirlenmiştir. Dördüncü bölümde kurulumu tamamlanan sistem üzerinden alınan veriler analizi edilmiş ve standartlar ışığında yorumlanmıştır. Çalışma sonuç bölümü ile sonlandırılmıştır.

2. Rüzgâr Santrallerinin Fizibilite Analizi

Rüzgâr türbinlerinin kurulum aşamasından önce teknik ve ekonomik analizlerin gerçekleştirilmesi ve uygun görülmesi durumunda projenin kurulum safhasına geçilmesi, mali kayıpların önlenmesi ile birlikte enerji sisteminin işletiminin kolaylaştırılması açısından önem taşımaktadır. Bu bölümde rüzgâr santrallerinin kurulum öncesi çalışmalarına ait teorik altyapı sunulmuştur.

2.1 Rüzgâr santrallerinin teknik analizi

Rüzgâr santrallerinin teknik fizibilitesinin yapılabilmesi amacıyla ilk olarak türbinlere ait çıkış gücünün belirlenmesi gerekmektedir. Bir rüzgâr türbininden elde edilecek güç miktarı türbinin kurulduğu bölgenin rüzgâr rejimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda rüzgâr türbinine rüzgâr hızına bağlı çıkış gücü ifadesi denklem (1)’de gösterilmiştir.

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (1)$$

Burada, ρ hava yoğunluğu (kg/m^3), A rüzgâr türbininin süpürme alanını (m^2), v is rüzgâr hızını (m/s) ve C_p kullanılan rüzgâr türbininin verimini ifade etmektedir. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde A rüzgâr türbininin süpürme alanı ifadesi denklem (2) yardımıyla elde edilmektedir.

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (2)$$

Bu ifade de D rotor çapının m cinsinden ifadesidir. Dolayısı ile süpürme alanın, rotor çapının karesiyle orantılı olarak artmaktadır. Rotor çapı mekanik tasarımın bir sonucu olduğu için güç hesabında önemli bir

parametredir. Rüzgâr türbinlerin verimi (C_p) rüzgâr türbinlerin yapısına göre değişmekte ve türbinlere göre farklılık göstermektedir. Bu ifadeler türbin üreticileri tarafından her bir rüzgâr hızı için belirlenmekte ve sunulmaktadır.

Rüzgâr türbinlerinin teknik fizibilite analizi gerçekleştirilirken türbinin kurulması planlanan bölgeye ait rüzgâr rejiminden yararlanılmaktadır. Bu amaçla bölgeye ait rüzgâr hızı ölçüm yolu ile ya da hazır veri setleri kullanılarak elde edilmektedir. Buna karşın mevcut veri setinin elde edildiği ölçüm yüksekliği ile incelenen rüzgâr türbinin kule yüksekliği farklılıklar gösterebilmektedir. Yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızının değişeceği dikkate alındığında yeni yükseklik değeri için rüzgâr hızının yeniden tanımlanması bir zorunluluk halini almaktadır. Buna göre farklı yüksek değerleri için rüzgâr hızı değeri Denklem 3 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{V_h}{V} = \left(\frac{H_h}{H}\right)^\alpha \quad (1)$$

Burada, verilen V anemometrenin ölçüm yaptığı H yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s), V_h rüzgâr türbinin kurulum yapıldığı H_h yükseklikteki rüzgâr hızı (m/s) ve α sürtünme katsayısını göstermektedir. Sürtünme katsayısı rüzgâr tribünün kurulduğu bölgede yapılan ölçümler ile elde edilebildiği gibi uzun süreli ölçümlerle de elde edilebilmektedir. Genel olarak Tablo 3'deki değerler kullanılabilir.

Rüzgâr santrali üzerindeki güç çıkışının elde edilmesinden sonra türbinlere ait enerji üretimi Denklem 4 gösterildiği şekilde P ortalama rüzgâr gücü (W) ve h zaman (saat) ifadeleri kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$E_w = Ph \quad (4)$$

Tablo 3. Yeryüzü Karakteristiklerine göre sürtünme katsayıları (Masters, 2013)

Yeryüzü Karakteristiği	Sürtünme Katsayısı (α)
Pürüzsüz sert toprak, durgun su	0,10
Toprak seviyesinde uzun çimenli bölge	0,15
Toprak seviyesinin üzerinde daha uzun mahsul	0,20
Kırsal orman alanları, birçok ağaç	0,25
Ağaçlık ufak kasabalar	0,30
Uzun binalarla dolu büyük şehirler	0,40

Rüzgâr santrallerinde bölgesel verim kapasite faktörü ile ifade edilmektedir. Türbinden elde edilecek yıllık enerji miktarı kullanarak kapasite faktörü ifadesi Denklem 5 ile elde edilmektedir (Masters, 2013).

$$KF = \frac{E_w}{P_R \times 8760} \quad (5)$$

Burada P_R rüzgâr türbini üreticinin beyan etmiş olduğu nominal türbin gücünü ifade etmektedir.

2.2 Rüzgâr santrallerinin ekonomik analizi

Rüzgâr türbinlerinin ekonomik analizi noktasında en önemli parametre yapılan yatırımın geri dönüş süresidir. Yatırım maliyeti C , ve üretilen enerjinin satış bedeli C_E kullanılarak projeye ait geri dönüş süresi Denklem 6'da gösterildiği şekilde hesaplanabilmektedir.

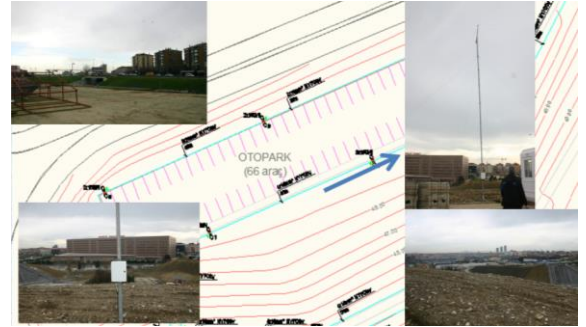
$$GDS = \frac{C}{E_w \cdot C_E} \quad (6)$$

3. Küçük Güçlü Rüzgâr Enerji Sistemi Fizibilite Analizi

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında İstanbul'a kurulacak küçük güçlü rüzgâr türbinlerine ait fizibilite analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak gölge özellikleri irdelenmiş, buna bağlı olarak farklı rüzgâr türbini seçenekleri değerlendirilmiştir.

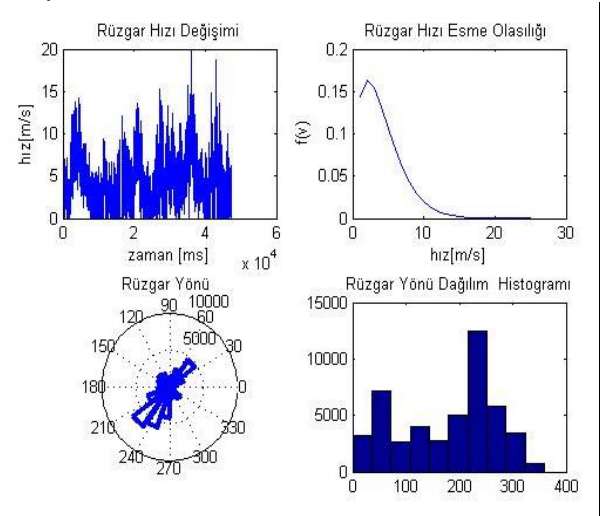
3.1 Bölge özellikleri

Bu çalışmada Marmara bölgesi İstanbul ili Bakırköy ilçesi sınırları içerisindeki Bakırköy Botanik Parkı ele alınmış ve rüzgâr potansiyeli incelenmiştir. Şekil 1'de, 40,9983 K, 28,87707 D koordinatlarında ve deniz seviyesinden 49 m yükseklikte bulunan Bakırköy Botanik Parkın yerleşimi verilmiştir.



Şekil 1. Bakırköy Botanik parkı rüzgâr türbini kurulum alanı

Fizibilite analizinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla ile olarak bölgenin rüzgâr profilinin tespit edilmesi için rekreasyon alanının en yüksek noktasına direk yüksekliği 12 m olan ATLANTIS RHY08 marka bir rüzgâr ölçüm sistemi kurulmuştur. Bölgenin rüzgâr verileri ölçülmüş ve ölçüm sonucunda hâkim rüzgâr yönünün kuzeydoğu, ortalama rüzgâr hızının 12 metre yükseklikte 3,8 m/s olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2'de bölgenin rüzgâr dağılımı histogramı, rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı esme olasılığı gösterilmiştir.



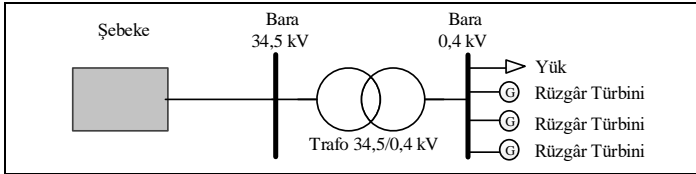
Şekil 2. Bakırköy Botanik Park alanının genel rüzgâr dağılım bilgileri

Bölgenin pürüzlülük oranı LUTRON marka El anemometresi ve ATLANTIS RHY08 marka bir rüzgâr ölçüm sistemi ile eş zamanlı yapılan ölçümler ile 0,365673 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen değerler literatürde tanımlanan değerlere yakınsadığı görülmüştür. Kurulum yapılacak bölge konum itibarıyla yoğun yerleşim alanıdır. Rekreasyon alanı bir fazlı ve üç fazlı yüklerden oluşmaktadır. Rekreasyon alanındaki elektriksel yük profili Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Bakırköy Botanik Parkı elektriksel yük dağılımı

Tip	Adet	Güç [W/adet]	Toplam Güç [W]
Aydınlatma	66	35	2310
Aydınlatma	26	150	3900
Aydınlatma	33	300	9900
Aydınlatma	70	440	30800
Aydınlatma	7	1600	11200
Motor	18	4097	73746

Rüzgâr türbinlerinin kurulması planlanan bölgeye ait basitleştirilmiş tek hat diyagramı Şekil 3’de sunulmuştur. Tablo 4 ‘deki yükler tek hat şeması üzerinde tek bir yük olarak gösterilmiştir. Dağıtım şebekesine 1 MVA ve 34,5/0,4 kV’luk transformator üzerinden bağlantının yapılması öngörülmüştür.



Şekil 3. Parka ait elektrik tek hat şeması

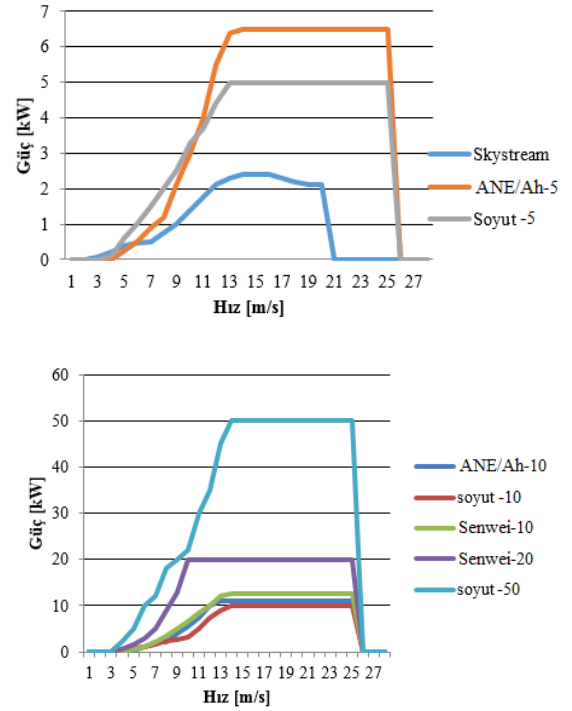
3.2 Rüzgâr Türbinlerin Şebekeye Paralel Bağlantı Şartları

Rüzgâr santrallerinin güçlerine göre şebekeye bağlantı noktaları ve şebekeye etkileri farklılık göstermektedir. Bu etkilerin minimize edilmesi için şebekeye paralel bağlantı, elektriksel koruma ve kontrolü ile şebekeye paralel çalışma durumu TS EN 50438 standardında belirtilen şartlarla düzenlenmiştir (TS EN 50438, 2015). Ayrıca, küçük güçlü rüzgâr türbinlerin lisansız elektrik üretimi amacıyla kullanımı, 10 Mart 2012 tarihinde 8229 Sayı ile yayınlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğin Bağlantı Kriterlerinin 14. maddesinde ve 15. maddesinde tanımlanan özelliklere göre tanımlanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada da yukarıda sıralanan yasal düzenlemeler dikkate alınmış ve analizler bu çerçevede gerçekleştirilmiştir.

3.3 Rüzgâr Türbinlerinin Seçimi ve Yerleşimi

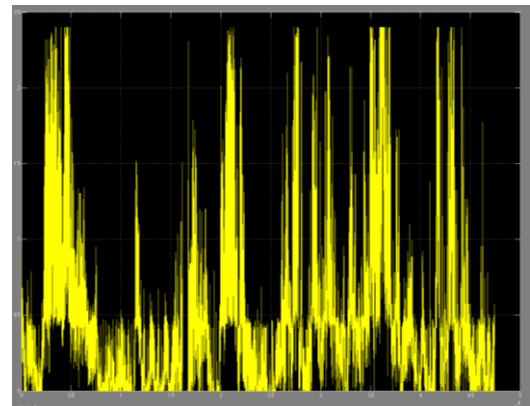
Çalışma kapsamında incelenen bölge üzerine kurulabilecek 2,4 -50 kW güç aralığında 8 farklı rüzgâr türbine ait teknik ve ekonomik analizler gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr türbini seçimi amacı ile türbinlerinin mekanik yapısı, şebeke bağlantısı tipi, üretim kapasitesi, kurulum maliyeti, kapasite

faktörü, temin süresi ve görsel yapısı gibi özellikleri dikkate alınmıştır (Bahaj ve ark, 2007). Çalışma kapsamında dikkate alınan rüzgâr türbinlerinin üretim eğrileri Şekil 4’te ve teknik özellikleri Tablo 5’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Rüzgâr türbinlerin güç üretim eğrileri

Çalışma kapsamında ele alınan rüzgâr türbinlerine ait çıkış güçleri bölge üzerinden elde edilen rüzgâr verileri kullanılarak elde edilmiştir. 12 m’de ölçülen rüzgâr hızları çalışmada kullanılan ticari rüzgâr türbinlerinin kule yüksekliklerine göre yeniden düzenlenmiştir. Rüzgâr hızlarına göre rüzgâr türbinlerinin üretebilecekleri güç değerlerini hesaplamak amacıyla Matlab Paket Programı kullanılmıştır. Buna göre örnek olarak Skystream rüzgâr türbinine ait hesaplan güç çıkış eğrisi Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Skystream rüzgâr türbininin güç çıkışı değişimi

Tablo 5. 2,4 -50 kW arasında sekiz farklı ticari rüzgâr türbinin teknik özelliklerinin karşılaştırılması

Model	Skystream	ANE/Ah-5	ANE/Ah-10	Soyut-5	Soyut-10	Soyut-50	Senwei-10	Senwei-20
Rotor çapı [m]	3,72	5,4	7,6	5,82	8,23	8,12	8	12,35
Nominal güç (P_{max}) [W]	2400	5000	1000	5000	10000	50000	10000	20000
Nominal rüzgâr hızı [m/s]	13	11	12	12	12	12	10,8	9
Çalışma rüzgâr hızı aralığı [m/s]	3-25	3-30	3-30	3-25	3-25	3-35	3-35	3-35
Devreye girme hızı [m/s]	2	2	2,5	3	3		2	3
Çalışma gerilimi [V]	220VAC	DC500V/DC 240V/AC220 0	AC380	12-24-48V DC	12-24- 48V DC	AC380	DC240V/5 00 V, AC220V/3 80V	AC220V/3 80V
Kule yüksekliği [m]	24	8	12	12-15	12-15	20-25	16	16

Hesaplanan güç eğrileri kullanılarak elde edilen enerji üretim miktarlarının nominal üretilebilecek enerjiye oranlanması yapılarak rüzgâr türbinlerine ait kapasite faktörü tespit edilmiştir. Yapılan ekonomik analizde geri dönüş süresinin hesaplanması amacıyla enerji satış fiyatı 0,3 kWh/TL olarak alınmıştır. Rüzgâr türbinlerinin maliyet, kapasite faktörü ve geri dönüşüm süresi karşılaştırılmasına ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda, geri dönüşüm yılı en kısa olan seçenek Senwei 20 kW rüzgâr türbini olurken geri dönüşümü en uzun olan seçenek Soyut 10 kW rüzgâr türbini olarak tespit edilmiştir. TS EN 50438 standardında belirtilen şartlara ve enerji üretimi kısıtları birlikte dikkate alındığında bölgeye büyük güçlü rüzgâr türbinleri yerine gücü 3,5 kW altında bir türbinin bağlanması daha uygun olacağı görülmüştür. Buna göre bölge üzerine Skystream 2,4 kW rüzgâr türbinlerinin kurulması kararlaştırılmıştır. Bölgede görsel etki ve farkındalık yaratması amacıyla her bir faza bir adet olmak üzere üç adet rüzgâr türbini kurulumu yapılmıştır.

4. Kurulum Sonrası Şebekeye Etkilerin Analizi

Çalışma kapsamında fizibilitesi gerçekleştirilen rüzgâr türbinlerinin kurulumu tamamlanmış ve kurulum sonrası türbinlerin şebekeye etkileri ilgili yönetmelikler kapsamında değerlendirilmiştir. Bu amaçla türbinlerin bağlantı noktalarından güç analizörleri yardımıyla TS EN 50160/AC (2013) standardına göre bir hafta boyunca 10 dk. aralıklarla eş zamanlı olarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerde eş zamanlı akım gerilim, güç, enerji, fliker, ana ve ara harmonikler, gerilim dengesizlikleri, vb. güç kalite parametrelerinin tamamı incelenmiş ve elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Yapılan ölçümler sırasında 1. ve 3. faza bağlı olan rüzgâr türbinler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

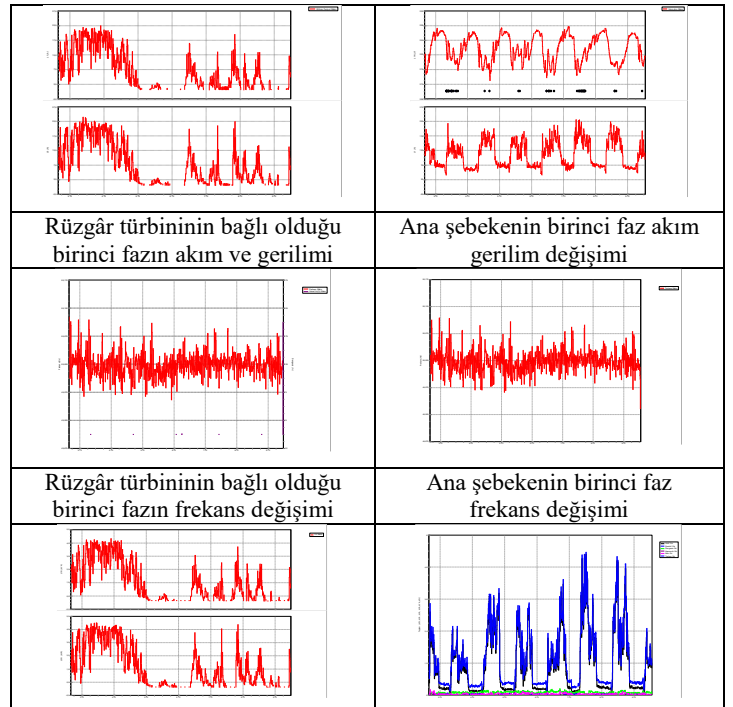
Tablo 6. Farklı Ticari rüzgâr türbinlerin maliyet ve geri dönüşüm yılları bazında karşılaştırılması

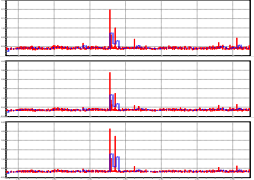
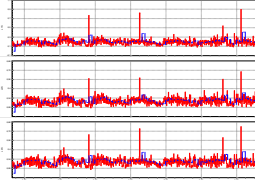
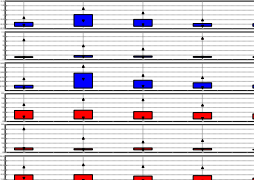
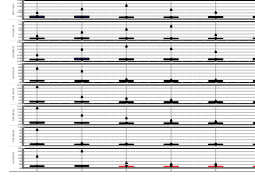
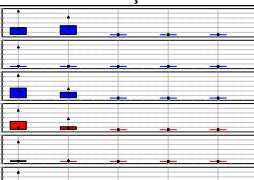
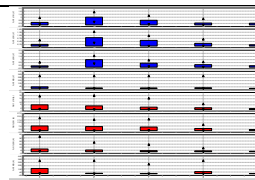
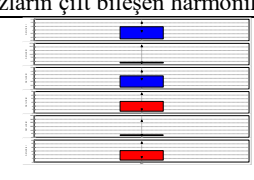
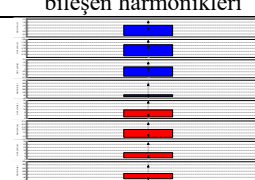
Türbin Tipi	Güç [kW]	Kule yüksek. [m]	Maliyet	KF	GDS [yıl]
Skystream	2,4	30	7300 [€]	0,18	11
ANE/Ah-5	5	30	25000 [\$]	0,14	19
ANE/Ah-10	10	30	40000 [\$]	0,13	20

Soyut-5	5	12	15500 [\$]	0,10	23
Soyut-10	10	15	21000 [\$]	0,06	25
Soyut-50	50	25	120000 [\$]	0,16	13
Senwei-10	10	30	40000 [\$]	0,23	11
Senwei-20	20	30	52000 [\$]	0,29	10

Kurulumu tamamlanan ve işletmeye alınan sistem üzerinden alınan ölçüm sonuçları TS EN 50438 çerçevesinde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sistem üzerinde harmonik ve fliker değerlerinin limitler dahilinde kaldığı, benzer şekilde gerilim değişiminin de izin verilen sınırlar dahilinde olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 6. Bakırköy parkında 02.12.2013 ve 09.12.2013 tarihleri arasında yapılan ölçümler



Rüzgâr türbininin bağlı olduğu birinci fazın güç değişimi	Ana şebekenin birinci faz güç değişimi
	
Rüzgâr türbininin bağlı olduğu fazların fliker değişimi	Ana şebekenin birinci faz fliker değişimi
	
Rüzgâr türbininin bağlı olduğu fazların tek bileşen harmonikleri	Ana şebeke fazlarının tek bileşen harmonikleri
	
Rüzgâr türbininin bağlı olduğu fazların çift bileşen harmonikleri	Ana şebeke fazlarının çift bileşen harmonikleri
	
Rüzgâr türbininin bağlı olduğu fazların THD değerleri	Ana şebeke fazlarının THD değerleri

5. Sonuç ve Öneriler

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında İstanbul Bakırköy İlçesinde bulunan Bakırköy Botanik Parkı'na kurulması planlanan rüzgâr türbinlerine ait teknik ve ekonomik fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak bölgenin rüzgâr potansiyeli irdelenmiş ve rüzgâr hızının düşük olmasına bağlı olarak büyük güçlü rüzgâr türbini kurulumuna uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak belirlenen 8 farklı rüzgâr türbini içerisinde bölgeye en uygun olanına yapılan teknik ve ekonomik analizler neticesinden karar verilmiştir. Belirlenen türbinin kurulum safhasından sonra sisteme olan etkisi yapılan ölçümler ile gözlemlenmiştir. İlgili standartlar çerçevesinden ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi ile tüm limit değerlerin sağlandığı görülmüştür. Gerçekleştirilen proje ile ilgili bölgedeki enerji ihtiyacının bir kısmının sağlanmasının yanında toplumun yenilenebilir enerji kaynakları konusunda bilinçlendirilmesine de katkı sağlanmıştır.

Kaynaklar

Akella, A.K., Saini, R.P. ve Sharma, M.P., *Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems*. Renewable Energy, 2009. 34(2): p. 390-396.

Panwar, N.L., Kaushik, S.C. ve Kothari, S., *Role of renewable energy sources in environmental protection: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. 15(3): p. 1513-1524.

Council, G.W.E., *Global Wind Report Annual Market Update 2016*. 2017.

Gsänger, J.-D.P.A.S., *2017 Small Wind World Report Summary*. 2017.

Resmi Gazete, Kanun No: 5346, *Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun*. 2005.

Barker, P.P. ve De Mello, R.W., *Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems*. in *Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE*. 2000. IEEE.

Taşcıkaraoğlu, A., *Rüzgâr türbinlerinin güç kalitesi üzerine etkilerinin modellenmesi*. Y.Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2008.

Zehir, M.A., et al., *Impacts of microgrids with renewables on secondary distribution networks*. Applied Energy, 2017. 201(Supplement C): p. 308-319.

Durusu, A. ve Erduman, A., *Feasibility Analysis, Installation and Grid Effect of Small Size Wind Energy Plant: A Case Study of Bakırköy Botanical*. in *IV. International Multidisciplinary Eurasian Congress, Rome, 2017*.

Teschner, N.A. ve Alterman, R., *Preparing the ground: Regulatory challenges in siting small-scale wind turbines in urban areas*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 81(Part 2): p. 1660-1668.

Masters, G.M., *Renewable and efficient electric power systems*. 2013: John Wiley & Sons.

Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 50438, *Mikro jeneratörlerin alçak gerilim dağıtım şebekelerinde paralel olarak bağlanması için kurallar*, 2015.

Bahaj, A.S., Myers, L. ve James, P.A.B., *Urban energy generation: Influence of micro-wind turbine output on electricity consumption in buildings*. Energy and Buildings, 2007. 39(2): p. 154-165.

Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 50160, *Genel elektrik şebekeleri tarafından sağlanan elektriğin gerilim karakteristikleri*, 2013.