

## Rüzgar Türbinlerinde Kurulum ve Bakım Süreçleri: Bandırma Örneği

### Installation and Maintenance Processes in Wind Turbines: The Case of Bandırma

İsmail Yavuz<sup>a</sup> , Harun Özbay<sup>b</sup> 

<sup>a</sup>Vestas Rüzgar Enerji Sistemleri, Ege Bölge Müdürlüğü, 10200, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

<sup>b</sup>Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

[ismailyavuzz@gmail.com](mailto:ismailyavuzz@gmail.com), [hozbay@bandirma.edu.tr](mailto:hozbay@bandirma.edu.tr)

[Araştırma Makalesi/Research Article](#)

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received :26 September 2020

Accepted : 20 October 2020

##### Keywords:

Wind Energy, Wind Turbine equipment, Installation Steps, Wind Turbine Maintenance

#### ABSTRACT

Wind energy is one of the fastest-growing renewable energy technologies. Its use is spreading out on the worldwide with the decrease in costs and the increase in the capacity factor. In terms of location and climate conditions, wind energy potential of our country is much more advantageous than many countries. Turkey is one of the world's fastest growing renewable energy market.

In this study, basic components of wind turbines, installation and service processes are investigated. The process of wind turbines starting with the transportation process and continuing with equipment installations will be investigated. Brief information on the issues to be considered in operation and maintenance will be given. In addition, Balıkesir province Bandırma district was examined in terms of wind potential and detailed information about the installed wind power plants was presented.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim : 26 Eylül 2020

Kabul : 20 Ekim 2020

##### Anahtar Kelimeler:

Rüzgar Enerjisi, Rüzgar Türbin ekipmanları, Kurulum Aşamaları, Rüzgar Türbini Bakımı

#### ÖZET

Rüzgar enerjisi en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji teknolojilerinden biridir. Maliyetlerin düşmesi ve kapasite faktörünün artması ile birlikte dünya çapında kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Ülkemizin bulunduğu konum ve iklim koşulları açısından sahip olduğu rüzgar enerjisi potansiyeli birçok ülkeye göre çok daha avantajlı durumdadır. Türkiye, dünyanın en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji pazarlarından biridir.

Bu çalışmada, rüzgar türbinlerinin temel bileşenleri, kurulum ve servis süreçleri incelenmiştir. Rüzgar türbinlerinin nakliye süreci ile başlayan ve ekipman kurulumları ile devam eden süreci incelenmiştir. İşletme ve bakım konusunda dikkat edilmesi gereken hususlar konusunda bilgi verilmiştir. Ayrıca Balıkesir ili Bandırma ilçesi rüzgar potansiyeli açısından incelenip kurulu rüzgar enerji santralleri hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

## 1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji, doğal süreçlerden faydalanılarak üretilen ve üretilirken enerji kaynaklarını tehlikeye atmayan enerjidir; yenilenebilir enerjinin sürekliliği neredeyse tükenmez ancak birim zaman için mevcut olan enerji miktarı ile sınırlıdır. Bu kaynaklar güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerjisi, biokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi olarak sıralanabilir [1-3].

Yenilenebilir enerji, fosil yakıtlara dayanan geleneksel enerjiye bir alternatiftir ve temiz bir enerji kaynağı olarak çevreyi kirletmeyen yöntemler ile üretilmektedir. Enerji ile ilgili CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak, enerji dönüşümünün merkezinde yer alır. Dünyayı, iklim değişikliğine neden olan fosil yakıtların tüketilmesinden hızla uzaklaştırmak için yenilenebilir enerjinin tüm çeşitlerinin kullanımının teşvik edilmesi çok önemlidir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisinin kullanımı zaman içerisinde gelişerek fosil yakıtlara alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle 1950 ve sonrasında küçük güçlü rüzgar türbinlerinin kurulması ile birlikte ucuz ve rekabete imkan sunan bir alternatif enerji kaynağı olarak ortaya çıktı. Çevre üzerinde minimum zararlı etkiye sahip olması da rüzgar enerjisine olan ilgiyi arttırdı. Devlet kurumları, alternatif enerji kaynağı olması açısından rüzgar teknolojileri araştırmalarını finanse etti. Bilim insanları ve araştırmacılar, saha koşullarında verimli çalışan ve dayanıklı rüzgar türbinlerini başarı ile tasarladılar. Günümüzde teknolojinin de gelişmesi ile birlikte hem kara hem de açık deniz (offshore) rüzgar türbinleri, 1990 ve öncesinde geliştirilen rüzgar türbinlerinden çok daha fazla enerji üretebilmektedir.

Rüzgar türbin üretiminin gelişmesi, kurulum ve bakım süreçlerinin büyümesine ve uzmanlaşmasına sebep olacaktır. Yerel bir yenilenebilir enerji endüstrisinin geliştirilmesi, tüm disiplinler için yeni faaliyet alanları ve beraberinde istihdam imkanları oluşmasına katkı sağlayacaktır [4].

## 2. RÜZGAR ENERJİSİ

Rüzgar enerjisi; güneş enerjisinin farklı bir şekli olup, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Güneşin dünyaya gönderdiği enerjinin %1-2 gibi küçük bir miktarı rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Güneşin, yer yüzeyini ve atmosferi homojen ısıtmamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımı oluşur. Oluşan hava akımının ısınması ile birlikte atmosfere doğru bir hareket başlar ve soğuk hava kütlesi ile yer değiştirir. Bu yer değişimine rüzgar adı verilir. Rüzgarın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik gösterir. Rüzgar, hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir [1].

Rüzgarı oluşturan hava akımı ile meydana gelen kinetik enerji sayesinde elektrik üretimi gerçekleştirilir. Bu, rüzgar türbinleri veya rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülür. Rüzgar, türbin kanatlarına çarpar ve kanatları döndürerek türbin ana milinin dönmesini sağlar. Ana milin bağlı olan jeneratörün de dönmesi sağlanır. Belirli bir dönüş hızına ulaşan jeneratörde manyetik alan oluşur. Şebeke bağlantı şartlarının oluşması ile sonucunda rüzgar türbininden elektrik elde edilir.

Rüzgar enerjisinden elde edilecek güç miktarı türbinin büyüklüğüne ve kanatların uzunluğuna bağlıdır. Çıkış gücü, rotorun boyutları, hava yoğunluğu ve rüzgar hızının küpü ile orantılıdır. Teorik olarak, rüzgar hızı ikiye katlandığında, rüzgar enerjisi potansiyeli sekiz kat artar.

Rüzgar türbini kapasitesi zamanla artmıştır. Bugünün yeni rüzgar enerjisi projeleri, karada yaklaşık 2 MW ve açık denizde 3-5 MW türbin kapasitesine sahiptir [5].

Kinetik enerji ve momentumun korunumu ilkelerinden yola çıkarak atmosferde serbest olarak hareket eden rüzgarın teorik gücünün matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

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

$P_{avail}$  = Rüzgar türbininin üreteceği güç gösterir. Birimi Watt'tır.

$\frac{1}{2}$  sabiti = Formüldeki sabit bir sayı olarak değeri 0.5'tir.

$\rho$  = Hava yoğunluğunu gösterir. Uluslararası Standart Atmosfer koşullarında (deniz seviyesinde, +15°C sıcaklıkta ve 1013,25 mb atmosfer basıncında) havanın yoğunluğu 1,225 kg/m<sup>3</sup> tür.

$A$  = Rüzgar türbininin kanatlarının süpürdüğü alanı ifade eder ve birimi metrekaredir.

$v$  = Rüzgar türbininin kurulacağı yerdeki ortalama rüzgar hızının değeridir.

$C_p$  = Rüzgar türbin veriminin yüzdelik ifadesidir. Sabit bir değer olan "Cp" değerinin maksimumu yaklaşık olarak 0,5926'dır. Bu değer Betz limiti adı da verilir.

## 2.1. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi

Rüzgar, yüzyıllardır yelkenli gemilere güç sağlamak için kullanılmıştır. Birçok ülke refahlarını yelkencilik yeteneklerine borçludur. Dünya, rüzgarla çalışan gemiler tarafından keşfedildi. Gerçekten de, Watt 18. yüzyılda buhar motorunu icat edinceye kadar rüzgar, gemiler için neredeyse tek güç kaynağıydı. Karadaki rüzgar türbinleri yüzyıllar öncesine dayanıyor. Babil imparatoru Hammurabi'nin MÖ 17. yüzyılda sulama için rüzgar türbinleri kullanmayı planladığı bilinmektedir. M.Ö. üçüncü yüzyılda yaşayan İskenderiye Kahramanı, dört yelkenli basit bir yatay eksenli rüzgar türbini tanımladı.

Persler, M.S. yedinci yüzyılın ortalarında rüzgar türbinlerini yoğun bir şekilde kullanıyordu. Bu ilk makineler kuşkusuz kaba ve mekanik olarak verimsizdi, ancak amaçlarına yüzyıllardır iyi hizmet ettiler [6].

Genel olarak rüzgar enerjisinin geçmişten günümüze kadar olan gelişimini özetleyecek olursak;

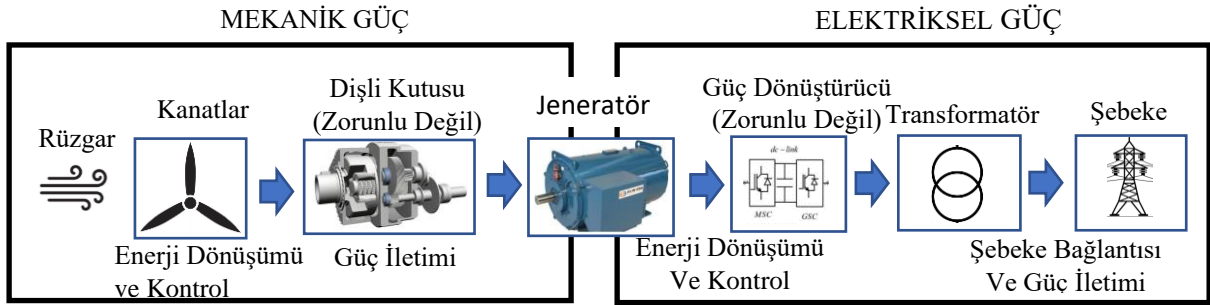
- ✓ Rüzgar enerjisinin mekanik enerjiye çevrilip kullanılması M.Ö. 5000'lere denk gelir. İlk başlarda deniz ulaşımında gemilerde kullanılır. ( Mısır )
- ✓ M.Ö.2000 dolaylarında un öğütme gibi işlemlerde kullanılan makineler inşa edilir (Pers – Çin)
- ✓ Rüzgar türbinleri M.S.1000'lere doğru daha gelişmiş makinelerle tarım endüstrisinde su pompalama, öğütme işlemlerin ve testere gibi fonksiyonlar için kullanılır
- ✓ 1900'lerin başında ilk elektrik üreten türbinler kullanılmaya başlanır
- ✓ 1941'de ilk mega watt (MW) seviyesinde üretim alınır (Smith-Putnam wind turbine)
- ✓ 1970'lerden sonra rüzgar türbinleri bugünkü halini almaya başlamıştır.



Şekil 1. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi.

## 2.2. Rüzgar Enerjisi ve Temel Kavramlar

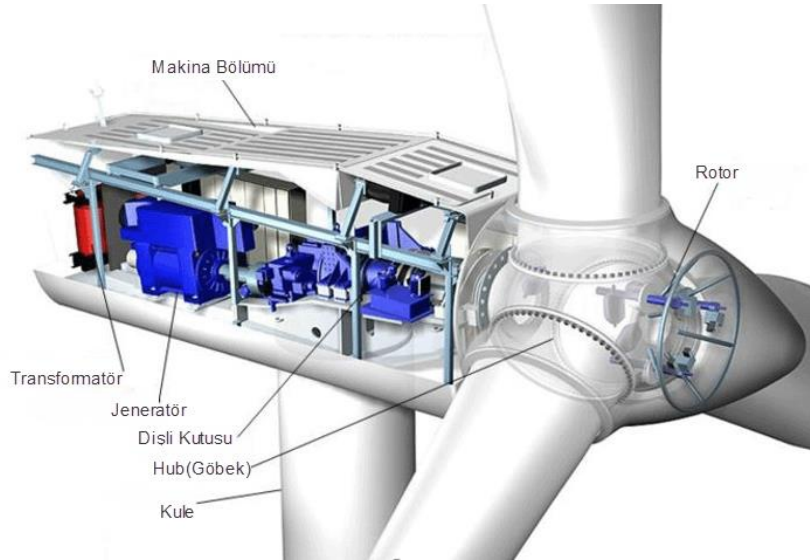
Bir rüzgâr türbini genel olarak kule, jeneratör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur. Rüzgârın kinetik enerjisi pervanede mekanik enerjiye dönüşür. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılır. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır [7-9].



Şekil 2. Rüzgar Türbini Çalışma Prensibi.

Bir rüzgar türbinin temel bileşenleri genel olarak aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

Pervane Kanatları: Rotora bağlı kanatlar, rüzgar enerjisinin kinetik enerjiye dönüşmesini sağlayan en önemli ekipmandır. Modern bir 3MW'lık bir rüzgar türbinin, her bir kanadının uzunluğu yaklaşık olarak 45m'dir.



Şekil 3. Rüzgar Türbini Ekipmanları Yerleşimi.

**Kule:** Rüzgar türbininin kulesi, nacelle, rotor ve kanatları taşır. Genel olarak, yüksek bir kuleye sahip olmak bir avantajdır, çünkü rüzgar hızları yerden yükseldikçe artar. Tipik modern 2MW'lık bir türbin 70-80 metre bir kuleye sahip olmaktadır. Kuleler ya boru şeklindeki kuleler ya da kafes kuleler olabilir. Gelişen teknoloji ile birlikte rüzgar türbinlerinin boyutları da her geçen gün büyümektedir. Özel tasarım kuleler sayesinde günümüzde 150m uzunluğundaki kuleler ile karşılaşılabilir. Uzun kuleler için hibrid ya da parçalı kule gibi farklı teknolojiler kullanılabilir [10].

**Fren sistemi:** Rüzgar türbinlerinin güvenli bir şekilde çalışması için etkili bir fren sistemi gereklidir. Rüzgar türbinlerinde bağımsız iki sistem vardır; aerodinamik ve Mekanik fren sistemi. Mekanik fren türbinin servise alınması ya da acil duruş gerektiren durumlarda kullanılır. Aerodinamik fren ise arıza oluşması durumunda türbinin yumuşak bir şekilde durmasını sağlar [11].

**Jeneratör Sistemi:** Rüzgar türbinlerinde genellikle asenkron jeneratör kullanılır. Bu jeneratörler elektromanyetik alan prensibine göre mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler. Modern rüzgar türbinlerinde jeneratör kapasitesi 16MW'a kadar çıkarılmıştır.

**Rüzgar Ölçer (Anemometre):** Anemometre ya da ultrasonik rüzgar sensörleri rüzgarın hızını ve yönünü ölçmek için kullanılır. Rüzgar ölçüm sensörlerinin sinyalleri, rüzgar türbininin elektronik kontrolörü tarafından, yaw sistemi kullanılarak rotorun rüzgara karşı dönmesini sağlar.

**Düşük Hız Mili (Şaft):** Rüzgar türbininin düşük hızlı şaftı, rotor göbeğini dişli kutusuna bağlar.

**Makine Bölümü (Nacelle):** Makine bölümü, kulenin üstünde durur ve dişli kutusu, jeneratör gibi rüzgar türbininin önemli bileşenlerini içerir.

**Dişli Kutusu (Gear Box):** Dişli kutusu rotor'dan gelen düşük dönüş hızını yüksek hızlara çıkararak jeneratöre aktarılmasını sağlar. Dişli kutusunun dönüş oranı kullanılacak jeneratöre ve senkron hızına göre değişiklik gösterebilir.

**Kontrol Ünitesi:** Rüzgar türbininin durumunu sürekli olarak izleyen, rüzgarın hızındaki değişikliklere göre türbinin devreye girmesini ve devreden çıkmasını kontrol eden, herhangi bir arıza durumunda rüzgar türbinini otomatik olarak durduran bir sistemdir [12].

### 3. RÜZGAR ENERJİ SANTRALLERİNİN (RES) KURULUMLARI ve SERVİS SÜRECİ

#### 3.1. RES Kurulumunda Göz Önünde Bulundurulması Gerekenler

- Rüzgar türbini kurulumunda önce lisans işlemlerinin tamamlanmış ve yeterli fizibilite çalışmalarının yapılmış olması gerekmektedir.
- Yerel yönetmeliklerin incelenmesi
- Saha seçimi ve detaylı analizi

- Arazi mülkiyeti, ulaşım ve taşıma
- Kapasite faktörünün analiz edilmesi
- Rüzgar hızının ve güç yoğunluğunun belirlenmesi
- Arazi yapısı ve trafo merkezine uzaklık
- Yerel ve çevresel kabul edilebilirlik
- EPDK İşlemleri
- Lisans alınmasından sonra gerçek fizibilite raporu
- İlk yatırım maliyeti
- Satın alma, finansal işlemler, montaj-kabul ve işletmeye alma
- İşletme dönemi maliyetleri ve teknoloji değişim süreçleri
- Satış fiyatı senaryoları (teşvikli, teşviksiz, yük dengesizliği vb.)

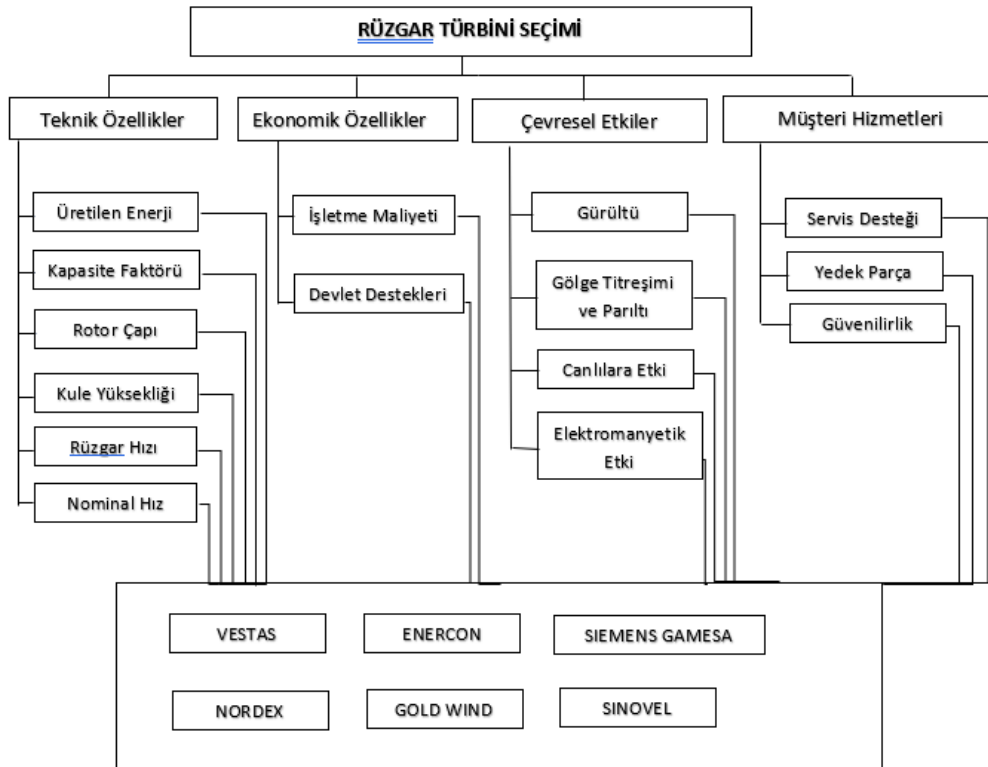
### 3.2. RES Kurulumunda Göz Önünde Bulundurulması Gerekenler

Üretici firmalar farklı teknoloji ve özelliklerde türbin üretimi gerçekleştirdiğinden dolayı türbin markası seçiminden önce yatırımcının ihtiyaç duyduğu sistemi detaylı analiz etmesi gerekmektedir. Ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel etkenlerin belli bir teknik-ekonomik yaklaşımla incelenmesi sonucunda saha için en uygun rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin seçilmesi beklenmektedir. Finansal koşullarında göz önünde bulundularak tespit edilen sistemi uygulayabilecek en uygun markanın belirlenmesi son derece önemlidir [13].

Rüzgar türbini marka, model ve gücü seçilirken daha çok ön plana çıkan aşağıdaki kriterlere göre seçim yapılır.

- ✓ Arazi yapısı ve mikro konuşlandırma sonucuna göre sahanın rüzgar sınıfı
- ✓ Türbinin yatırım harcamaları (CAPEX) ve operasyonel harcamalarının (OPEX) belirlenmesi
- ✓ Servis desteği ve malzeme tedariki
- ✓ Türbinin yıllık enerji üretimi (AEP), kayıp üretim faktörü (LPF) ve güç eğrisi performansları vb.

Türbin marka ve modeli seçimi ile ilgili olarak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlere verilecek örneklerden birisi de Analitik Hiyerarşi Yöntemi'dir.



Şekil 4. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) ile Rüzgar Türbini Seçimi.



### 3.3. Saha Çalışmaları

Rüzgar türbinlerinin kurulumu ile birlikte sahadaki alt yapı çalışmalarının belirli sıralamalarla yürütülmesi gerekmektedir.

- ✓ Türbin sahasına ulaşım için yolların açılması
- ✓ Türbin sahasındaki kazı çalışmaları, türbin temellerinin açılması,
- ✓ Türbinler arası yüksek gerilim (HV) hatlarının açılması ve kabloların yerleştirilmesi
- ✓ Türbin temelinin atılması ve kulenin oturtulacağı çelik tabanın tamamlanması
- ✓ Şebeke bağlantısı için şalt binası yapımı
- ✓ Şalt binasına hücrelerin yerleştirilmesi ve türbin kesicileri ile bağlantıların yapılması
- ✓ Santral ile Elektrik dağıtım merkezi arasındaki HV bağlantısının yapılması



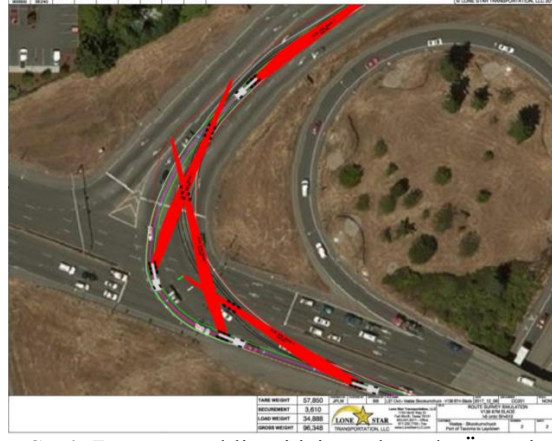
Şekil 5. Türbin Temel Çalışması.



Şekil 6. Şalt Binasının Yapımı.

### 3.4. Rüzgar Türbini Ekipmanlarının Transferi

Rüzgar türbini ekipmanlarının liman ya da üretim merkezlerinden sahaya nakliye edilmesi gerekmektedir. Özellikle uzun ve ağır ekipmanlarının sahaya taşınması için özel organizasyonlar ve planlamalar yapmak gerekmektedir.



Şekil 7. Kanat Nakliyesi için Yol Etüdü Örneği.

- ✓ Nakliye öncesi güzergah etüdü (Road Survey) yapılması [14]
- ✓ Nacelle, Drive Train, Hub ve Kulelerin taşınması
- ✓ Kanatların taşınması



Şekil 8. Kanat Nakliyesi.

### 3.5. Rüzgar Türbini Kurulumu

Rüzgar türbin montajında kullanılan türbin parçaları ağırlık ve boyut olarak büyük parçalar oldukları için ağır iş makineleri ile gerçekleştirilen bir operasyondur. Bunun için teknik emniyet kurallarına ve hava şartlarına dikkat edilmelidir. Rüzgar türbini montaj sektöründe bu işe özel emniyet kuralları bulunmaktadır. Örneğin, hava şarjlı ve yıldırımlı olduğu zamanlarda veya rüzgar hızı 6 m/s üzerinde ise rotor montajı yapılması önerilmemektedir. Her türbin parçasının kaldırılması için ayrı ayrı aparat bağlama noktaları ve kaldırma yönergeleri vardır. Birbirine bağlanan her ekipmanın cıvata çapı ve kalitesine göre torqlama değerleri mevcuttur. Bağlanan her cıvatanın ise hangi eleman tarafından ve kaç Nm değerinde sıkıldığı ve hangi aletle yapıldığı gibi bilgiler kayıt altına alınmaktadır. Bununla ilgili kayıt raporları ve kontrol listeleri ayrı ayrı tutulması gerekmektedir [15].

Rüzgar türbininin kurulum adımları:

- ✓ Kurulum gerçekleştirecek ana vinç ve yardımcı vinç kurulumları
- ✓ Yerde Cooler top montajının yapılması
- ✓ Kule Montajı
- ✓ Nacelle Montajı
- ✓ Drive Train Montajı
- ✓ Hub Montajı
- ✓ Kanatların montajı



Şekil 9. Kule Montajı.



Şekil 10. Kanat Montajı.

### 3.6. Enerjilendirme ve Devreye Alma

Rüzgar türbini ana ekipmanlarının montaj işlemi tamamlandıktan sonra sırayla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir.

- ✓ Nacelle ve kule işlemcisi arasındaki HV, alçak gerilim (LV) ve haberleşme bağlantılarının yapılması
- ✓ Nacelle içi kablolama, hidrolik ve soğutma sistemi bağlantılarının yapılması
- ✓ Dişli kutusu ve Jeneratör hizalaması
- ✓ Yazılımın türbin işlemcisine yüklenmesi
- ✓ Türbin testlerinin tamamlanması
- ✓ Scada bağlantısı için gerekli konfigürasyonunun yapılması

### 3.7. Rüzgar Türbinlerinde Servis Süreci

Rüzgar türbinlerinin planlı ve plansız bakım periyodları rüzgar türbin teknolojisine ve türbin tipine bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Enerji birim fiyatlarının her geçen gün düşmesi, üretici ve yatırımcı firmalarda bakım ve arıza maliyetlerini azaltmaya yönelik baskı oluşturmaktadır. Bu nedenle ideal bakım süresi için çeşitli araştırmalar ve uygulamalar yapılmaktadır. Türbin markasına ve tipine göre çeşitli farklılıklar gösterebilir. Ortalama bir türbinin bakım süresi 50-70 adam saat olarak düşünülebilir. Ancak türbinin, dişli kutusuz olması ya da pitch sisteminin elektrik olması durumunda bu süreler farklılık gösterecektir.

Bakım faaliyetlerinin içeriği aşağıdaki şekilde genellenebilir.

- Görsel Bakım
- Yağlama Bakımı
- Elektrik Bakım
- Mekanik Bakım
- Temizlik



Rüzgar türbinlerinin işletmeleri yatırımcı firmalar tarafından yürütülürken, bakım ve arıza çalışmaları genel olarak türbin üreticisi firmalar tarafından verilmektedir. Ancak türbin sahibi firmalarda kendi bakım ekiplerini kurarak bu hizmetleri verebilirler. Bu hususta dikkat edilmesi gereken en önemli konu, bakım maliyetlerini düşürmek için türbin üreticisi firmasının tamamı ile devre dışı bırakılması halinde arıza durumlarında daha uzun süreli duruşlar yaşanabileceği ve yedek parça tedarikinde sıkıntılar yaşanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Rüzgar santrali sahiplerinin türbin bakım kontratları yaparken maksimum kazanç elde edilecek modele göre anlaşma yapmaları son derece önemlidir. Sözleme yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

**Açıklamalar:** Yıllık sabit ve değişken ücretler, emre amadeli başlangıç ve bitiş tarihleri, garanti süresi, çalışma günleri, mucbir sebepler, doğal felaketler, yedek parça tedarik süreci, raporlamalar gibi detayların kontratın açıklamalar ve yorumlamalar bölümünde tarif edilmesi gerekmektedir.

**Yatırımcı yükümlülükleri:** Yüklenicinin sorumluluğundaki görevleri yerine getirebilmesi için yatırımcı tarafından sahaya ulaşım, scada yetkilendirmesi, tesislerin kullanımı gibi yükümlülüklerin detaylı olarak belirtilmesi gerekmektedir.

**Yüklenici yükümlülükleri:** Yüklenicinin kontrat kapsamında yapmakla yükümlü olduğu standart bakım çalışması, çalışanların standartları, ekipman ve yedek parça tedariki gibi detayların tarif edilmesi gerekmektedir.

**Fiyat ve Ödeme:** Yüklenici tarafından gerçekleştirilecek olan çalışmaların karşılığında yapılacak ödemelerin miktarı ve süresi bu bölümde belirtilir.

**Garanti süreleri:** Servis kapsamında değiştirilen malzemelerin garanti sürelerinin belirlenmesi ve kontratın kısa süreli yapılması durumunda izlenecek yolların bu kısım altında detaylı olarak belirtilmesi gerekmektedir.

**Türbin performansı:** Rüzgar türbininin kontrat kapsamında çalışması gereken güç performansı ve emre amadeli şartlarının bulunduğu bölümdür.

**Mucbir sebepler:** Servis hizmetinin verilemeyeceği durumların detaylı olarak belirtildiği bölümdür.

**Sigorta:** Yüklenici ve yatırımcı tarafından yapılacak olan sigortaların kapsamı ile ilgili detaylı bilginin bulunduğu kısımdır.

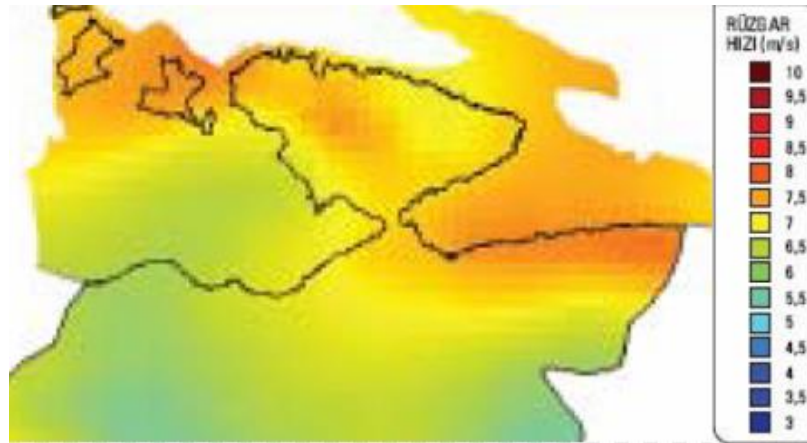
**Anlaşmazlık durumu ve kontratın sonlandırılması:** Anlaşmazlık durumunda izlenecek yolların ve kontratın sonlandırılması için oluşması gereken şartların detaylı olarak belirtildiği bölümdür.

**Servis kontrat süresi:** Kontrattın süresi ve uzatma opsiyonlarının detaylandırıldığı kısımdır.

**Servis kontrat iptali:** Kontratın iptali ya da askıya alınması ile ilgili detayları içerir [16].

#### 4. BANDIRMA'DA RÜZGAR ENERJİSİ

Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) verilerine göre Balıkesir ili teorik rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından 13.827M gücüyle Türkiye'nin ilk sırasında yer alırken, 2019 verilerine göre işletmedeki santrallerin toplam kurulu gücü bakımından 1.135MW ile ikinci sırada yer almaktadır. Bandırma ise rüzgar hızı ve kapasite faktörü açısından ildeki potansiyeli yüksek en önemli ilçelerinden biridir [17].



Şekil 11. Bandırma Rüzgar Hız Dağılımı – 50m

2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu'nun yürürlüğe girmesi ile birlikte özel sektör tarafından RES lisans başvurularına ciddi talep oluşmuştur. Lisans başvurularının EPDK tarafından onaylanması ile Bandırma ilçesi RES yatırımcıları için gözde konumlardan biri haline gelmiştir [18]. Bandırma'nın yüksek rüzgar potansiyeli ile birlikte yatırım maliyetini azaltacak avantajları sayesinde 2006 yılı itibarı ile RES yatırımlarına ev sahipliği yapmıştır. Liman kenti olması dolayısı ile rüzgar türbininin kanat ve kule gibi büyük parçalarının yurtdışından rahatlıkla sevk edilebiliyor olması, arazi koşullarının nispeten uygunluğu, ulaşım kolaylığı, kurulum ve servis faaliyetleri için kalifiye eleman bulma kolaylığı Bandırma'nın en önemli avantajları arasında sayılabilir.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) ve Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği'nin (TUREB) istatistiksel raporlarından yararlanılarak 2006 yılından günümüze kadar işletmeye alınan rüzgar enerji santrallerinin listesi Tablo 1'de görülmektedir.

**Tablo 1.** 2006-2020 yılları arasında Bandırma içerisinde işletmeye alınan RES'ler

S.	Santral Adı	Firma	Kurulu Güç (MW)	Türbin Üreticisi	Türbin Modeli	Türbin Gücü	İşletmeye Giriş Tarihi
1	Şah Rüzgar Santrali	Galata Wind Enerji	105	VESTAS	V90-3.0	3 MW	2011/2013
2	Bandırma RES	Bandırma Enerji ve El. Ür. Tic.	89.7	VESTAS	V90-3.0 / V112-3.3	3 MW/3.3 MW	2009/2010/2014
3	Edincik Rüzgar Santrali	Edincik Enerji El. Ür. A.Ş.	77.4	NORDEX	N100/N117	2.5 MW/2,4 MW/3 MW	2013/2015/2016
4	Bandırma RES	Yapısan El. Ür. A.Ş.	30	GE	GE1.5se	1.5 MW	2006
5	Bandırma RES Ext.	Yapısan El. Ür. A.Ş.	21.5	NORDEX	N90	2.5MW	2012
6	Bandırma 3 RES	Bursa Temiz En. El. Ür.	41.8	NORDEX	N90/N117	2.5 MW/2.4 MW	2008/2016
7	Ayyıldız RES	Ak Enerji El. Ür. A.Ş.	28.2	VESTAS	V90-3.0 / V112-3.3	3 MW/3.3 MW	2009/2017

Rüzgar türbinlerinin kurulacağı yerlerin belirlenmesinde yükseklik, arazi şartları, eğim, bakı, rüzgar hızı, hakim rüzgar yönü ve yıllık kapasite faktörü verileri kullanılmaktadır. Yükselti faktörü ve rüzgar hızı arasında korelasyon olduğundan dolayı yükseltinin artmasına veya azalmasına göre kapasite faktörü değişmektedir. Bandırma ve çevresinin fiziki yapısı incelendiğinde şehrin doğu ve batı yönlerinde yükseltinin arttığı görülmektedir. Ayrıca hakim rüzgar yönüne bakan yamaçların ve hakim rüzgar yönünün (kuzey-kuzeydoğu) aynı yönde olması rüzgar türbini kurulumu için avantaj sağlamaktadır.

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) üzerinden yükseklik, arazi kullanımı, eğim, bakı, yol, rüzgâr hızı faktörlerinden oluşan veri katmanları kullanılarak yapılan incelemelerde Bandırma'nın batısında kalan dağlık bölge ile doğusundaki Karadağ çevresinin rüzgar enerji santrallerinin kurulumu için en uygun yerler olduğu tespit edilmiştir [19]. Mevcut rüzgar türbinlerinin kurulduğu bölgeleri Şekil 12 üzerinden incelediğimizde rüzgar türbini kurulumu için tespit edilen alanların kullanıldığını rahatlıkla gözlemlemekteyiz.

Santrallerin üretim verileri üzerinden (enerjiatlası.com) genel olarak incelemelerde bulunduğumuzda ortalama %35-40 civarında kapasite faktörü ile üretim yaptıklarını hesaplayabiliriz. Bandırma'daki tüm santrallerin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizmasından (YEKDEM) faydalandığını ve birim kWh elektriği minimum 0,073\$ üzerinden satış yapacağını göz önünde bulundurduğumuzda santralin amortisman ve karlılığını rahatlıkla hesaplayabiliriz [20].



**Şekil 12.** Bandırma RES Haritası

Bandırma'nın yüksek rüzgar potansiyelinin yanında, liman kenti olması ve sanayisinin gelişmiş olması bu sektördeki büyük firmalarında ilçeye yatırım yapmalarına olanak sağlamıştır. İlçenin ekonomik gelişimine katkı sağlamak ile istihdamın artmasında ve kalifiye eleman yetişmesinde de ciddi rol oynamaktadır. Ayrıca Bandırma'nın sektörün öncülüğünü yapan firmaları barındırmasından dolayı son yıllarda uzmanlaşan teknik personellerin yurtdışı projelerde uzman olarak görev almalarının da önü açılmış oldu.

## 5. SONUÇ

Mevcut fosil yakıtların sınırlı olması, karbon ayak izinin azaltılmasında önemli bir rol oynaması olması ve enerji fiyatlarındaki istikrarsızlığı dengelemesi açısından rüzgar enerjisi son derece önemli bir role sahiptir. Rüzgar

türbinleri sahip oldukları yüksek kapasite oranları ve düşük birim enerji maliyetleri sayesinde geleneksel enerji üretim yöntemleri ile rekabet edecek düzeye gelmiştir.

Türkiye'deki rüzgar potansiyelin yüksek olması ve devlet mekanizmalarının da yenilenebilir enerjiyi desteklemesinden dolayı, önümüzdeki yıllarda daha büyük ve güçlü türbinlerin kurulacağı öngörülmektedir. Daha büyük rüzgar türbinleri ile birlikte nakliye ve kurulum süreçlerinin de bu doğrultuda iyileştirilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Rüzgar türbinlerinin işletme ve bakım faaliyetleri için ise yatırımcı firmalarının uzun vadeli uygulanabilir çözümlere sahip olması gerekir. Yatırımcı firma, rüzgar türbini kurulduktan sonra yüksek performans ve minimum duruş ile çalışması için her türlü kestirimci bakım faaliyetini doğru planlama ile organize etmesi gerekir.

Ülkemizin sahip olduğu enerji potansiyelinden yararlanarak, enerji alanında yerleşme hedefiyle dışa bağımlılıktan kurtulmak için gerekli politikaların geliştirilmesi gerekmektedir. Rüzgar türbinlerinin üretimi, kurulumu ve bakımını yürütecek uzman ve yetişmiş eleman sayısının artırılması ilerleyen yıllar için son derece önem arz etmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü), Rüzgar Enerjisi, 19.04.2020, [http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar\\_enerjisi.aspx](http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx)
- [2] H. Özbay, "PDM-MPPT based solar powered induction heating system," Engineering Science and Technology, an International Journal, 2020. Doi: 10.1016/j.jestech.2020.06.005.
- [3] A. Karafil and H. Özbay, "Design of Stand-Alone PV System on a Farm House in Bilecik City, Turkey" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, vol. 5, no. 3, pp. 909-916, 2018.
- [4] IRENA (International Renewable Energy Agency), "Future of Wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects", October 2019.
- [5] IRENA (International Renewable Energy Agency), "Wind Energy", <https://www.irena.org/wind>, 2020.
- [6] G. L. Johnson, "Wind energy systems" Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.
- [7] U. Elibüyük and İ. Üçgül, "Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri" SDÜ Yekarum e-Dergi vol. 2, no. 3, pp. 1-14, 2014.
- [8] M. Karabacak, T. V. Küçük, Ö. Atmaca, T. Kamal and Y. Candaş, "Design and Implementation of a Wind Turbine Emulator for Wind Energy Conversion Systems", 7th International Conference on Advanced Technologies, pp. 135-139, 2018.
- [9] M. Karabacak, F. Kılıç, Y. Candaş, Ö. Atmaca, and T. V. Küçük, "Değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde kanat ucu hız oranı tabanlı maksimum güç izleme denetimi; kapsamlı bir tasarım", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi vol. 21, no. 4, pp. 662-671, 2017.
- [10] E. K. Akpınar and S. Akpınar, "An assessment on seasonal analysis of wind energy characteristics and wind turbine characteristics", Energy conversion and management vol. 46, no. 11-12, pp. 1848-1867, 2005.
- [11] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins and E. Bossanyi, "Wind energy handbook", vol. 2, New York: Wiley, 2001.
- [12] W. Tong, "Wind power generation and wind turbine design", WIT press, 2010.
- [13] A. Sarucan, M. C. Akkoyunlu, and B. A. Ş. Aydoğan, "Analitik hiyerarşi proses yöntemi ile rüzgâr türbin seçimi", Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi vol. 25, no. 1, pp. 11-18, 2010.
- [14] Lone Star Transportation, "Transportation Survey", Tansport feasibility report of the V136-3..45 MW™ IEC IIIA, 2019.
- [15] O. Kunt, C. Karakuş, İ. Mert and B. Tanç, "2.5 MW Kapasiteli Bir Rüzgar Türbinin Mekanik Montaj Aşamaları", IX. Clean Energy Symposium, UTES'13, pp. 730-741, 2013.
- [16] A. Kısar and G. Hassan, "Rüzgar Santrallerinde İşletme ve Bakım", Rüzgar Enerjisi Sempozyumu, pp. 135-139, 2001.
- [17] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası, Balıkesir ili rüzgar Kaynak Bilgileri, <https://eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/REPA>, 2020
- [18] A. İbrahim. "Balıkesir'de Rüzgâr Enerjisi", Doğu Coğrafya Dergisi vol. 18, no. 29, pp. 29-50, 2013.
- [19] F. Arslan and M. Üzülmöz, "Bandırma'da Rüzgâr Enerji Santralleri İçin Potansiyel Alanların Belirlenmesi", 2. Uluslararası Bandırma ve Çevresi Sempozyumu UBS'19, pp. 103-113, 2019.
- [20] H. Özbay, S. B. Efe and E. İşen, "Bandırma için Güneş Enerji Santrali Maliyet Analizi", 3. Uluslararası Bölgesel Kalkınma ve Üniversitelerin Rolü Sempozyumu, pp. 295-301, 2019.