

## TÜRKİYE, SAMSUN-HAVZA RÜZGÂR ENERJİ POTANSİYELİ DEĞERLENDİRMESİ

**Hayati MAMUR (ORCID: 0000-0001-7555-5826)<sup>1\*</sup>**  
**Mehmet KARAYEL (ORCID: 0000-0001-7155-8288)<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

<sup>2</sup>Elektrik Programı, Meslek Yüksekokulu, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı, Türkiye

Geliş / Received: 03.11.2016

Kabul / Accepted: 06.11.2017

### ÖZ

Bu çalışmada Türkiye, Samsun ili, Havza ilçesinde kurulan bir rüzgâr analiz kulesi ile bu bölgenin rüzgâr enerji potansiyelinin ölçümü yapılmıştır. Analiz edilen rüzgâr verileri, 2014–2015 tarihleri arasında yaklaşık 12 ay için 80 m yükseklikteki bir kulenin 80 m, 78 m, 57 m ve 30. m'lerindeki anemometreler yardımıyla 10 dk aralıklarla toplanmış ve kaydedilmiştir. Ayrıca kulenin 5 m ve 6 m yüksekliklerine yerleştirilen sıcaklık, nem ve basınç çeviricileri yardımıyla diğer hava değişkenleri de alınmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre, 80 m kule yüksekliğindeki ortalama rüzgâr hızı 4,9 m/s, 5 m'deki ortalama basınç değeri 928,52 hPa ve 6 m'deki sıcaklık ve nem değerleri de sırasıyla 12,61°C ve %72,14 olarak hesaplanmıştır. Bu verilere bağlı olarak üretilebilecek enerjinin Watt/m<sup>2</sup> olarak değerleri 30 ve 80 m için bulunmuştur. Son olarak da, kulenin 78 m ve 28 m yüksekliklerine yerleştirilen rüzgâr yönü çeviricileri ile de hâkim rüzgâr yönü olarak Kuzey yönü belirlenmiştir. Elde edilen değerlere göre, bu seçilen alanın büyük rüzgâr türbini yatırımları için elverişsiz olduğu saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgâr potansiyeli, rüzgâr enerjisi, rüzgâr hızı, rüzgâr türbini

## EVALUATION OF WIND ENERGY POTENTIAL IN HAVZA-SAMSUN, TURKEY

### ABSTRACT

In this study, the wind potential measurement of the defined region has been carried out by means of a wind tower installed in Havza–Samsun, Turkey. The analyzed wind data have been accumulated and registered from 2014 to 2015 dates in 10 min intervals through the tower of 80 m having three anemometers at 80 m, 78 m, and 57 m. Moreover, other air variables have been taken with the aid of temperature, humidity and pressure transmitters placed at 5 m and 6 m heights of the tower. According to the evaluations, the average wind speed at 80 m tower height has been calculated 4.9 m/s. Also, the average pressure value at 5 m tower height, the temperature value at 5 m tower height, and the humidity value at 6 m tower height have been defined 928.52 hPa, 12.61°C, and 72.14%, respectively. Depending on this data, the energy that can be produced is found in Watts/m<sup>2</sup> for heights of 30 m and 80 m. Finally, the dominant wind direction of the selected region has been determined as the North direction by means of two wind direction transmitters installed at 78 m and 28 m heights. According to the obtained values, it is determined that this selected area is not suitable for large wind turbine investments.

**Keywords:** Wind potential, wind energy, wind speed, wind turbine

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 236 201 21 63; e-mail / e-posta: hayati.mamur@cbu.edu.tr

*TÜRKİYE, SAMSUN-HAVZA RÜZGÂR ENERJİ POTANSİYELİ DEĞERLENDİRMESİ***1. GİRİŞ**

Temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisi atmosferde serbest olarak bulunur ve oluşum kaynağı güneştir. Güneş ışınları yeryüzünde her bölgeye değişik ışınım miktarlarında ulaşır ve bu bölgelerin farklı ısınmasına yol açar. Bölgelerin farklı ısınması yeryüzünde sıcaklık farklarına neden olur. Yeryüzü sıcaklık farklarının neticesinde de basınç değişimleri meydana gelir. Bunların sonucunda da rüzgâr enerjisi oluşur.

Rüzgâr enerjisi ağaçlar, bitki örtüleri ve fiziki engeller nedeniyle yeryüzüne yakın yerlerde azdır. Bu nedenledir ki, deniz kıyılarındaki rüzgâr enerji potansiyeli iç kesimlerdeki rüzgâr enerji potansiyeline göre yüksektir [1]. Karasal alanlarda yüzeye yakın yerlerde esen rüzgarlar türbülanslı iken, yükseklik arttıkça bu türbülans azalır ve kendisini daha düzgün esen bir rüzgara bırakır. Ayrıca, yükseklik arttıkça arazinin yapısına ve atmosferik şartlara bağlı olarak da rüzgâr hızı üstel bir eğri şeklinde artış gösterir [2]. Rüzgâr enerjisi basınç farklılıklarının olduğu yerler, paralel vadiler, yüksek düzlükler ve az eğimli vadilerde çok olmaktadır.

Rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde rüzgâr hızı ve yönü başlıca iki parametredir. Rüzgârın doğası gereği, hızında ve yönünde sıklıkla değişimler meydana gelir. Meydana gelen ani değişimler frekans olarak isimlendirilir. Rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde rüzgâr hızı m/s biriminde verilirken, rüzgârın yönü saat yönüne doğru derece olarak belirlenir. Bu değişkenlere ek olarak, rüzgâr enerji potansiyeli belirlenirken hava yoğunluğunu hesaplamak için basınç, çevre sıcaklığı ve nem miktarlarının da ölçülmesi gerekir [3].

Rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için rüzgâr türbinleri kullanılır. Bu türbinler farklı şekil ve boyutlarda yapılmaktadır [4]. Kanat süpürme alanlarına göre büyük rüzgâr türbinleri ve küçük rüzgâr türbinleri olarak iki gruba ayrılır. 200 m<sup>2</sup> kanat süpürme alanının altındaki rüzgâr türbinleri küçük rüzgâr türbinleri olarak isimlendirilir [5]. Bu süpürme alanı güç değeri olarak yaklaşık 50 kW'a karşılık gelir. Diğerleri ise büyük rüzgâr türbinleri grubundadır. Rüzgâr türbinlerinin verimleri de büyüklüklerine göre farklılıklar sergilemektedir. Bu rüzgâr türbinlerinden alınabilecek maksimum verim Betz kriteri ile belirlenir ve bu değer de en yüksek %59'dur [6]. Büyük rüzgâr türbinlerinde bu verimlilik %30-45'ler civarında iken, küçük rüzgâr türbinlerinde %15-30'lar civarındadır [7]. Bu verimi rüzgâr türbinlerindeki kayk momentini de olumsuz yönde etkilemektedir [8]. Son zamanlarda teknolojik gelişmeler rüzgâr türbinlerini diğer elektrik enerji çevrim santralleri ile rekabet edebilecek düzeye getirmiştir [9].

Bazı ülkeler kendi rüzgâr enerji potansiyellerini belirlemek ve rüzgâr türbini kurulumlarının getirebilecek olası faydalarını araştırmak için çeşitli fizibilite çalışmaları yapmıştır [10-13]. Bu bakımdan, 6 m/s rüzgâr hızlarının altında kalan bölgelerde büyük rüzgâr türbinlerinin kurulumları yapılan araştırmalara göre ekonomik olmamaktadır. Bu sebeple, büyük rüzgâr türbinlerinin kurulacağı yerlerde mutlaka yaklaşık bir yıllık rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu potansiyelin belirlenmesi rüzgârın yönünün, esme sıklığının ve hızının ölçümleri sonucunda gerçekleşir. Çünkü rüzgâr türbini enerji santrali kurulurken, hâkim rüzgâr yönü dikkate alınır ve rüzgâr türbinleri rüzgâr yönüne dik bir yüzey üzerine yerleştirilir. Öte yandan, küçük rüzgâr türbinlerinde bu rüzgâr hızı değeri şebekeye bağlı olarak çalışanlarda 4,5 m/s ve şebekeden bağımsız çalışanlarda ise 4 m/s olarak ekonomikliği araştırılmıştır. Küçük rüzgâr türbinlerinde bu rüzgâr hızı değerinin küçük olma nedeni kurulum maliyetlerinin büyük rüzgâr türbinlerine göre oldukça düşük olmasıdır [9].

Bir bölgenin rüzgâr enerjisinin belirlenmesi için rüzgâr kulesi kullanılır ve bunun tipik olarak 30 m yüksekliğe sahip olması gerekir [14]. Bu rüzgâr kulesinden rüzgâr değişkenleri 10 dk aralıklarla alınır ve kaydedilir [15]. Bu kulelerin kurulamadığı alanlarda da rüzgâr tahmini olarak Beaufort ölçeği kullanılarak belirlenir [16].

Yapılan çalışmalara göre Türkiye'de Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz bölgeleri yüksek rüzgâr enerjisi potansiyellerine sahiptir [1, 17]. Bu verilere göre Türkiye Avrupa ülkelerine göre daha yüksek bir rüzgâr potansiyeline sahiptir [18]. Son yıllarda, Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen teşvikler rüzgâr enerjisinin kullanımını arttırmıştır [19-20]. Ama Türkiye Avrupa Ülkeleri kadar bu kaynağını günümüzde yeterince değerlendirememektedir [21, 22].

Rüzgâr enerji potansiyelinin çeşitli bölgelerde belirlenmesi için literatür incelendiğinde, hem ulusal hem de uluslararası çalışmalara rastlanmaktadır. Akpınar [23] Türkiye'de Maden-Elazığ için bir rüzgâr enerji potansiyeli değerlendirmesi yapmış ve 5,63 m/s ortalama rüzgâr hızı hesaplamıştır. Arıkan ve ark. [24] Türkiye'de Marmara Bölgesi için 46.996,28 MW'lık bir rüzgâr enerji potansiyelinin varlığını belirlemişlerdir. Bunlara ek olarak, Türkiye'de Gökçeada için on yıllık ve üç yıllık rüzgâr verileri ile rüzgâr enerji potansiyeli değerlendirmesi Eskin ve ark. [25] tarafından yapılmıştır. Bunun yanı sıra, Bozcaada için yenilenebilir enerji potansiyeli Kalmcı [26] tarafından araştırılmış ve kayda değer rüzgâr potansiyelinin olduğu ifade edilmiştir. Yumak ve ark. [15] Van Gölü kenarına kurdukları bir rüzgâr analizi kulesi ile buranın rüzgâr enerji potansiyelini yaklaşık 2,5 yıl boyunca aldıkları verilerle hesaplamışlardır. Dahası, Zontul ve ark. [27] ise Kırklareli için Devlet Meteoroloji Müdürlüğünden temin ettikleri rüzgâr verilerinden istatistiksel yöntemleri kullanarak rüzgâr enerji potansiyeli tahmini yapmışlardır. Bu araştırmaların yanı sıra diğer dünya ülkelerindeki yapılan rüzgâr enerji potansiyeli

H. MAMUR, M. KARAYEL

belirleme çalışmalarına Khaf [14], Bushehr [28] ve Chalus [29], Ürdün'ün beş bölgesinde [30], Oran [31], Tamaulipas sahili [32], Kudat ve Labuan [33] şehirleri ve yerleşim yerleri için de rastlanmaktadır.

Sunulan bu çalışmaya gelince, Türkiye, Samsun-Havza ilçesinde 80 m yüksekliğinde kurulan bir rüzgâr analiz kulesi yardımıyla bu bölgenin ilk defa rüzgâr hızı verileri yaklaşık bir yıl boyunca ölçülmüş ve bunun sonucunda değerlendirmeleri yapılmış ve literatürdeki bu boşluk doldurulmuştur. Rüzgâr verilerine bağlı olarak rüzgâr türbinlerin kurulumunda kullanılabilecek rüzgâr yönü belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Rüzgâr Potansiyeli Belirlenen Yer

Havza Türkiye'de Samsun ilinin bir ilçesidir. Amasya ve Samsun arasında kalan bir yerleşim alanıdır ve 675 m rakıma sahiptir. Karadeniz Bölgesinde yer alır ve denize uzaklığı ise kuş uçuşu yaklaşık 50 km'dir. Kısmen ova kısmen de dağlık ve engebeli bir arazi yapısına sahiptir. İlçe merkezi üç tarafı dağlarla çevrili bir vadi içerisine kurulmuştur. Deniz ile yerleşim yeri arasındaki Canik Dağları bu yerleşim yerinin Karadeniz ile olan bağımlı kesmektedir. Bu bölgenin uydu görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Rüzgâr potansiyeli belirlenen Havza ilçesi

### 2.2. Rüzgâr Analiz Kulesi

Büyük rüzgâr türbinlerinin kurulması için gerekli olan hava analiz direğinin uzunluğunun büyük rüzgâr türbini direğinin 2/3'i kadar olmalıdır. Bu bağlamda, büyük rüzgâr türbinin direğinin 100 m olduğu düşünülürse hava analiz direğinin boyu da yaklaşık 67 m olmalıdır. Yapılan çalışmada hava analiz direğinin uzunluğu 80 m olarak alınmış ve bunun üzerine yerleştirilen alıcılar da IEC 61400 standart ölçülerine göre yerleştirilmiştir. Rüzgâr analizi için 80 m yüksekliğinde bir rüzgâr analiz direği kurulmuştur.

Yıldırımdan korunmak için kulenin en tepesine 2 m uzunluğunda bir paratoner de yerleştirilmiştir. Dört tane Adolf Thies marka First Class model (Biral, Bristol, İngiltere) rüzgâr anemometreleri kulenin 80 m, 78 m, 57 m ve 30. m'lerine montajlanmıştır. Rüzgâr yönü verilerini alan Adolf Thies marka First Class model iki tane rüzgâr yönü çeviricisi de 78 m ve 28 m yüksekliklere konumlandırılmıştır. Soğuk havalarda anemometrelerin ve rüzgâr yönü çeviricilerinin etkilenmemesi için bu çeviriciler rezistanslı çeviriciler olarak seçilmiştir.

Hava yoğunluğunun hesaplanması için TECH-SEN/HT102 marka/model sıcaklık, TECH-SEN/BAP102-A marka/model atmosfer basıncı ve TECH-SEN/HT102 marka/model nem çeviricileri (Tech-Sen, Ankara, Türkiye) de, sırasıyla, kulenin 6 m, 5 m ve 6 m yüksekliklerine tutturulmuştur. Bu değişkenlerin elektriksel bağlantıları AMMONIT METEO40 veri kaydedici cihazına (Ammonit, Berlin, Almanya) bağlanmıştır. Bu

## TÜRKİYE, SAMSUN-HAVZA RÜZGÂR ENERJİ POTANSİYELİ DEĞERLENDİRMESİ

cihazda kullanılan 49,5 MB büyüklüğündeki dâhili bir hafızaya veriler kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler LTE 3G marka GSM modemi ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Kayıtlar için ASCII tabanlı bir dosya seçilmiştir.

Rüzgâr yönü çeviricileri ve rüzgâr anemometrelerinin rezistanslarının beslenmesi için 200 W gücünde bir mikro rüzgâr türbini ve ayrıca tüm sistemin elektriksel beslemesi için de 20 W gücünde bir solar panel şebekenden bağımsız bir şekilde bağlanarak kullanılmıştır. Solar panelin ürettiği elektrik enerjisi, maksimum güç noktasını izleyen bir çevirici yardımıyla 12 V, 12 Ah'lik bir aküyü beslemiştir. Akü tarafından da sistemin elektrik enerjisi sağlanmıştır.

Bunlara ilave olarak, mikro rüzgâr türbininden elde edilen enerji bir maksimum güç noktası izleyen çeviriciden geçirilerek, iki tane birbirine seri bağlı 12 V, 30 Ah'lik akünün beslenmesi için kullanılmıştır. Bu aküler anemometrelerde ve yön çeviricilerinde bulunan rezistansların beslenmesini sağlamıştır. Sistemin ve çeviricilerin besleme gerilimi 12 V iken, çeviricilerde bulunan rezistansların besleme gerilimi 24 V'tur.

### 2.3. Eşitlikler

Rüzgâr verilerinin hesaplanması için aşağıdaki eşitlikler kullanılır. Atmosferde sürekli hareket halinde bulunan rüzgâr enerji potansiyeli belirli bir kütle ve kinetik enerjiye sahiptir. Anlık rüzgârın gücü aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

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

burada,  $P_r$  rüzgâr anlık gücü (W),  $\rho$  hava yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $A$  rüzgârın ilerleme yönüne dik kesit alanı ( $\text{m}^2$ ) ve  $v$  rüzgâr hızıdır (m/sn). Hesaplamalarda  $A$  rüzgârın ilerleme yönüne dik kesit alanı  $1 \text{ m}^2$  olarak alınmıştır.

Anlık rüzgâr gücünün tamamı rüzgâr türbinlerinde elektrik enerjisine çevrilmez. Rüzgâr türbinlerinde elektrik enerjisine çevrilen güç miktarı:

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

ile ifade edilir. Burada,  $P_t$  rüzgâr türbini gücü (W),  $C_p$  rüzgâr türbininin güç sabiti ve  $A$  ( $A = \pi \cdot R^2$ ) rotor dönüşü sırasında kanatların süpürdüğü alan ( $\text{m}^2$ ),  $R$  türbin kanat süpürme yarıçapıdır (m).

Güç sabiti değeri türbin kanatlarının en uç noktasındaki lineer hız ( $u$ ) ve kanatlara çarpan rüzgâr hızının ( $v$ ) bir fonksiyonudur  $C_p = f(u/v)$ . Bir rüzgâr türbininin güç sabiti aşağıdaki eşitlikle [29]:

$$C_p = \frac{P_t}{P_r} = \frac{I \cdot V}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3} \quad (3)$$

verilir. Burada,  $I$  ve  $V$  değerleri, sırasıyla, rüzgâr türbininden sağlanan akım (A) ve gerilimdir (V).

Rüzgâr türbinlerinin bulunduğu ortamda hava yoğunluğu sabit olduğu sürece, rüzgârın hızına bağlı olarak hava akımı bir kinetik enerjiye sahiptir. Rüzgâr olmadığı havanın akımının kinetik enerjisi sıfırlanır. Eğer sabit bir hızla akan rüzgâr varsa, bu durumda rüzgârın kullanılabilir birim kütle başına toplam kinetik enerjisi:

$$E_{kin} = \frac{v^2}{2} \quad (4)$$

ile ifade edilir. Burada,  $E_{kin}$  rüzgârın kinetik enerjisidir (J/kg).

Rüzgâr türbinlerinin etkisi altında kaldığı rüzgârın gücünü belirlemek için, birim zamanda rüzgâr türbininin rotoru boyunca geçen havanın kütle akış miktarının bilinmesi gerekir. Birim zamanda akan havanın kütlesi  $\dot{m}$  (kg/s) aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v \quad (5)$$

burada  $A \cdot v$  ifadesi havanın hacimsel akış oranıdır ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Böylece, rüzgâr türbininin bulunduğu ortamdaki rüzgârdan elde edilebilecek en yüksek güç aşağıdaki eşitlikle verilir:

H. MAMUR, M. KARAYEL

$$P_r = \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_{kin} \quad (6)$$

Bugün pek çok rüzgâr türbini, %15–45 arası bir değerle verimle çalışarak rüzgârın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirmektedir. Kinetik enerji mekanik enerjinin bir formudur ve böyle olması nedeniyle tamamen çalışma enerjisine çevrilebilir. Bu nedenle, bir sistemin kinetik enerjisinin ekserjisi veya çalışma potansiyeli çevrenin sıcaklık ve basıncına bakılmaksızın kendi kinetik enerjisine eşittir.

Rüzgâr türbinlerinde giriş gücünü dolayısıyla rüzgâr gücünü etkileyen diğer bir değişken de rüzgâr türbininin kurulmuş olduğu yükseklikteki hava yoğunluğudur. ISA (International Standard Atmosphere) şartlarında, deniz seviyesinde +15°C sıcaklıkta ve 1013,25 mb (1 mb = 98 Pa, 1 atm = 101300 Pa) atmosfer basıncında, havanın yoğunluğu 1,225 kg/m<sup>3</sup>'tür. Deniz seviyesinden yükseldikçe hava yoğunluğu ve atmosfer basıncı azalır. Dolayısıyla rüzgâr türbini tarafından üretilen güç, azalan hava yoğunluğu ve atmosfer basıncına göre azalır.

Rüzgâr türbininin kurulduğu alandaki havanın birim hacimdeki yoğunluğu aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\rho = \frac{P}{287 \cdot T} \quad (7)$$

burada,  $P$  havanın atmosfer basıncı (Pa), 287 sabit değeri hava için gaz sabiti (j/kg.k),  $T$  Kelvin cinsinden ortam sıcaklığıdır ( $^{\circ}\text{C} + 273,12 = \text{K}$ ) [5].

Rüzgâr türbinlerinin yıllık enerji üretimlerinin (YEÜ) hesaplanmasında değişik yazılımlar kullanılabilir. YEÜ için rüzgâr türbini güç eğrisinin ve kurulan alana ait yıllık rüzgâr hızı olasılık dağılımının bilinmesi gerekir. Rüzgâr türbini güç eğrisi rüzgâr enerji potansiyeli analizleri ile elde edilir. Bir bölgenin yıllık rüzgâr hızı dağılımının elde edilmesi için Weibull ve Rayleigh olmak üzere iki olasılık dağılım fonksiyonu kullanılır.

Weibull olasılık dağılım fonksiyonu:

$$h_w(v) = \frac{k}{A} \cdot \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^k} \quad (8)$$

ile ifade edilir. Burada;  $h_w(v)$  Weibull yıllık rüzgâr hızı olasılık dağılım fonksiyonu,  $k$  rüzgâr hızı dağılım şeklini gösteren parametre (şekil parametresi),  $A$  rüzgâr hızı için bağıl birikmiş frekans veya ölçek parametresi olarak ifade edilir. Weibull rüzgâr hızı olasılık dağılım fonksiyonunda şekil  $k$  ve ölçek  $A$  parametresi gibi iki bilinmeyen vardır [17]. Bunları bulmak için analitik ve deneysel eşitlikler kullanılır. Elde edilen Weibull olasılık dağılım fonksiyonu bir olasılık fonksiyonu olduğundan belirli bir hata oranı taşır. Burada gözlemeleme sayısına bağlı olarak hata oranında değişim görülür. Eğer gözlem sayısı artarsa, hata oranında da düşüş olur. Elde edilen verilerin Weibull rüzgâr hızı olasılık dağılım fonksiyonuna uygunluğu hata miktarının düşürülmesi için önemlidir.

Rayleigh rüzgâr hızı olasılık dağılım fonksiyonu ise:

$$h_R = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v}{v_{mean}} \cdot e^{-\left[\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{v}{v_{mean}}\right)^2\right]} \quad (9)$$

ile ifade edilir. Burada;  $h_R$  Rayleigh rüzgâr hızı olasılık dağılım fonksiyonu ve  $v_{mean}$  ise rüzgâr türbininin kurulduğu arazinin ortalama rüzgâr hızıdır (m/s). Rayleigh dağılımı ortalama rüzgâr hızı  $v_{mean}$  gibi tek bir bilinmeyene sahiptir. Bu nedenle, bir bölgenin rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi için yapılan çalışmada Rayleigh rüzgâr hızı olasılık dağılım fonksiyonuyla rüzgâr hızının esme saati yüzdesi bulunabilir. Elde edilen olasılık fonksiyonunun alanı bire eşittir.

Sonunda, rüzgâr türbininin yıllık üreteceği toplam elektrik enerjisi miktarı [26]:

$$E = \int_{v_{min}}^{v_{max}} P_r \cdot f(v) \cdot t \cdot dv \quad (10)$$

eşitliğiyle bulunur. Burada;  $E$  YEÜ miktarı (kWh),  $v_{min}$  rüzgâr türbininin elektrik enerjisi üretmeye başladığı rüzgâr hızı,  $v_{max}$  rüzgâr türbininin elektrik enerjisi üretimini emniyet için sonlandırdığı rüzgâr hızı,  $f(v)$  rüzgâr hızı dağılım fonksiyonu ve  $t$  ise bir yıllık saat olarak zamandır (1 yıl = 8760 saat) [5].

*TÜRKİYE, SAMSUN-HAVZA RÜZGÂR ENERJİ POTANSİYELİ DEĞERLENDİRMESİ*

**3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Gerçekleştirilen çalışmada, rüzgâr verileri Mart 2014–Mart 2015 tarihleri arasında yaklaşık bir yıllık bir dönem için 10 dk aralıklarla kaydedilmiştir. Bu verilerin alınma aralığında rüzgâr analiz direğine yıldırım düşmesi sonucu direğin tepe noktasında bulunan anemetreler bozulmuştur. Bu nedenle Kasım 2014–Ocak 2015 ayları arasında ölçüm yapılamamıştır. Toplam veri kaybı yaklaşık olarak 62.400 dk olmuştur. Bu kayıp veriler toplam alınan verilerin yaklaşık %11,68’ine karşılık gelmektedir. Bu değer Enerji Piyasası Denetleme Kurulunun (EPDK) “alınan verilerdeki kayıp %20’yi geçmemelidir” tanıdığı tolerans aralığına girmektedir.

EPDK’nın belirlemiş olduğu 16 farklı rüzgâr yönü için, 30 m ve 80 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızları, üretilebilecek güç ( $W/m^2$  - %) ve frekans (esme sayısı - %) değerleri Tablo 1’de detaylıca verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, 30 m yükseklik için en fazla güç S (South/Güney) tarafından gelen rüzgârlarda elde edilmiştir. Bu değer karşımıza tüm gücün %32,58’i olarak çıkmaktadır. 80 m yükseklik için de değerlendirildiğinde, bu değer tüm gücün %31,66’sına karşılık gelmektedir. Yine Tablo 1’de en düşük değerlere bakıldığında ise, ESE (East-South-East/Doğu-Güney-Doğu) yönünden esen rüzgârlarda; 30 m yükseklik için en düşük oran olan %0,38 elde edilirken, bu değer 80 m yükseklikte 0,09 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere bağlı olarak seçilen bölgenin 30 m ve 80 m’lerine ait yıllık ortalama rüzgâr hızları, standart sapmaları ve maksimum esme sayısı ve hâkim yönü genel bir değerlendirme olarak Tablo 2’de sunulmuştur.

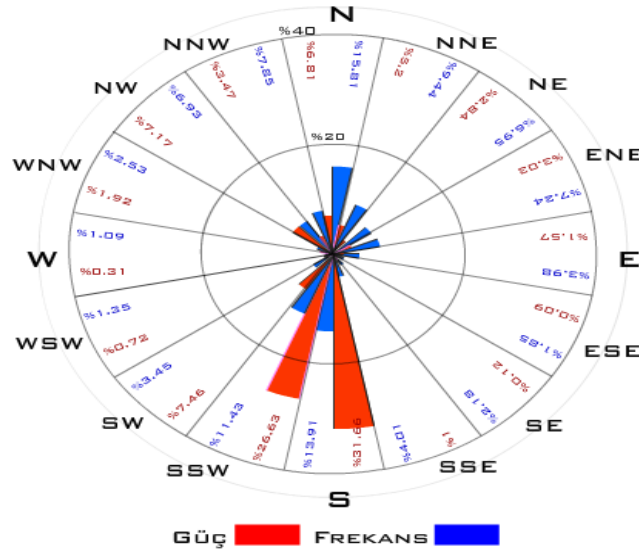
Şekil 2 ve Tablo 1 birlikte değerlendirildiğinde ise, rüzgârların esme frekansı N (North/Kuzey) yönünde %15,81’e karşılık gelerek en fazla değeri almasına rağmen, bu yönde elde edilebilecek güç değeri toplam güç değerinin %6,81’ini karşılamaktadır. Fakat S yönünde esen rüzgârların frekansı tüm frekansların %13,91’ine karşılık gelmesine rağmen, tüm gücün %31,66’sını karşılamaktadır.

**Tablo 1.** Rüzgâr güç ve frekansı

Yönler	30 m yükseklik					En üst seviye 80 m yükseklik				
	Ortalama rüzgâr hızı	Güç		Frekans		Ortalama rüzgâr hızı	Güç		Frekans	
		Değer	Yüzde	Değer	Yüzde		Değer	Yüzde	Değer	Yüzde
	m/s	Watt/m <sup>2</sup>	%	Esme sayısı	%	m/s	Watt/m <sup>2</sup>	%	Esme sayısı	%
Sakin				40					41	
N	3,46	576.408,73	9,53	12.905	27,37	4,13	607.932,72	6,81	7.419	15,81
NNE	4,18	208.830,51	3,45	3.327	7,06	4,44	464.408,07	5,20	4.432	9,44
NE	3,76	136.381,70	2,25	2.685	5,70	3,97	253.821,35	2,84	3.260	6,95
ENE	3,90	187.344,45	3,10	2.880	6,11	4,06	270.185,12	3,03	3.399	7,24
E	3,02	80.872,97	1,34	1.926	4,09	3,70	139.902,84	1,57	1.868	3,98
ESE	2,45	22.928,82	0,38	1.401	2,97	1,83	8.204,49	0,09	866	1,85
SE	3,74	70.885,14	1,17	1.484	3,15	2,02	10.374,30	0,12	1.021	2,18
SSE	6,62	813.523,94	13,45	3.114	6,61	3,28	89.339,42	1,00	1.884	4,01
S	7,91	1.970.739,73	32,58	4.962	10,52	7,24	2.824.461,28	31,66	6.531	13,91
SSW	7,11	975.592,80	16,13	2.779	5,89	7,26	2.375.768,36	26,63	5.366	11,43
SW	5,07	135.230,13	2,24	1.158	2,46	6,32	665.647,19	7,46	1.618	3,45
WSW	3,31	40.062,33	0,66	729	1,55	3,82	64.014,35	0,72	635	1,35
W	2,82	38.140,37	0,63	992	2,10	2,52	27.763,36	0,31	512	1,09
WNW	4,62	272.870,40	4,51	2.032	4,31	3,66	171.653,65	1,92	1.186	2,53
NW	5,10	332.033,95	5,49	2.740	5,81	5,08	639.355,45	7,17	3.253	6,93
NNW	4,59	186.538,15	3,08	2.032	4,31	4,04	309.587,47	3,47	3.685	7,85
<b>TOPLAM</b>		<b>6.048.384,12</b>	<b>100,00</b>	<b>47.146</b>	<b>100,00</b>		<b>8.922.419,41</b>	<b>100,00</b>	<b>46.935</b>	<b>100,00</b>

**Tablo 2.** 30 m ve 80 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı, standart sapması ve maksimum esme sayısı, hâkim yönü

30 m yükseklik				En üst seviye 80 m yükseklik			
Yıllık ortalama rüzgâr hızı (m/s)	Rüzgâr hızı yıllık standart sapma	Maksimum esme sayısı	Hâkim yön	Yıllık ortalama rüzgâr hızı (m/s)	Rüzgâr hızı yıllık standart sapma	Maksimum esme sayısı	Hâkim yön
4,62	3,1	12.905,00	N	4,90	3,4	7.419,00	N



Şekil 2. 80 m yükseklikteki rüzgârgülü

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye, Samsun ili Havza ilçesinde kurulan 80 m'lik bir rüzgâr analiz direği yardımıyla seçilen yerin rüzgâr enerji potansiyeli verileri alınmış ve değerlendirilmesi yapılmıştır. 30 m yükseklik için en fazla güç S (South/Güney) tarafından gelen rüzgârlarda elde edilmiştir. Bu değer tüm gücün %32,58'idir. 80 m yükseklik için de değerlendirildiğinde, bu değer tüm gücün %31,66'sına karşılık gelmektedir. En düşük değerlere bakıldığında ise, ESE yönünden esen rüzgârlarda; 30 m yükseklik için en düşük oran olan %0,38 elde edilmiştir. Bu değer 80 m'de 0,09 olarak hesaplanmıştır. Rüzgârların esme frekansı N yönünde %15,81'e karşılık gelmiş ve en fazla değer alınmıştır. Bu yönde elde edilebilecek güç değeri toplam güç değerinin %6,81'ini karşılamıştır. Verilere bağlı olarak yapılan hesaplamalarda seçilen yerin 80 m yükseklikteki rüzgâr hızı 4,9 m/s olarak tespit edilmiştir. Rüzgâr hâkim yönü de Kuzey olarak bulunmuştur. Bir yıl boyunca ortalama sıcaklık, basınç ve nem değerleri de, sırasıyla 12,61°C, 928,52 hPa ve %72,14 olarak tespit edilmiştir. Bu değerlere göre üretilebilecek enerji miktarı Watt/m<sup>2</sup> olarak 30 m ve 80 m yükseklikleri için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre seçilen yer büyük rüzgâr türbinlerinin kurulumu için ekonomik olmamasına rağmen, küçük rüzgâr türbinlerinin hem şebeke bağlantılı hem de şebeke bağlantısız olanları için uygun olduğu yargısına varılmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1] İLKİLİÇ, C., AYDIN, H., "Wind Power Potential and Usage in the Coastal Regions of Turkey", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44, 78–86, 2015.
- [2] MOHANDİS, M., REHMAN, S., ABİDO, M., BADRAN, S., "Convertible Wind Energy Based on Predicted Wind Speed at Hub-Height", Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 38, 140–148, 2016.
- [3] SHU, Z.R., LI, Q.S., CHAN, P.W., "Statistical Analysis of Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Hong Kong", Energy Conversion and Management, 101, 644–657, 2015.
- [4] SOGUKPINAR, H., BOZKURT, I., BARAN, M.F., TURKMENLER, H., PALA, M., ENGIN, K.E., KAYA, A.I., "Micro-Turbine Design, Production and Testing", International Journal of Engineering Technologies, 1, 141–145, 2015.
- [5] MAMUR, H., "Design, Application and Power Performance Analyses of a Micro Wind Turbine", Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 23, 1619–1637, 2015.
- [6] BUKALA, J., DAMAZIAK, K., KARIMI, H.R., KROSCZYNSKI, K., KRZESZOWIEC, M., MALACHOWSKI, J., "Modern Small Wind Turbine Design Solutions Comparison in terms of Estimated Cost to Energy Output Ratio", Renewable Energy, 83, 1166–1173, 2015.
- [7] PAGNINI, L.C., BURLANDO, M., REPETTO, M.P., "Experimental Power Curve of Small-Size Wind Turbines in Turbulent Urban Environment", Applied Energy, 154, 112–121, 2015.



*TÜRKİYE, SAMSUN-HAVZA RÜZGÂR ENERJİ POTANSİYELİ DEĞERLENDİRMESİ*

- [8] MAMUR, H., TOPALOĞLU, I., KORKMAZ, F., ARI, M., ATACAK, I., “Design and Experimental Analysis for Reduction of Cogging Torque by Pole Shifting in Permanent Magnet Synchronous Generator”, *Elektronika ir Elektrotehnika*, 20, 39–43, 2014.
- [9] CİVELEK, Z., LÜY, M., ÇAM, E., MAMUR, H., “A New Fuzzy Logic Proportional Controller Approach Applied to Individual Pitch Angle for Wind Turbine Load Mitigation”, *Renewable Energy*, 111, 708–717, 2017.
- [10] SANGROYA, D., NAYAK, J.K., “Development of Wind Energy in India”, *International Journal of Renewable Energy Research*, 5, 1–13, 2015.
- [11] GOH, H.H., LEE, S.W., CHUA, O.S., GOH, K.C., TEO K.T.K., “Wind Energy Assessment Considering Wind Speed Correlation in Malaysia”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1389–1400, 2016.
- [12] HIP-WAH, H., “Wind Energy in Malaysia: Past, Present and Future”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 279–295, 2016.
- [13] OZTURK, M., YUKSEL, Y.E., “Energy Structure of Turkey for Sustainable Development”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1259–1272, 2016.
- [14] ALAVI, O., “Wind Resource Assessment and Wind Power Potential for the City of Khaf, Iran”, *International Journal of Renewable Energy Research*, 5, 660–667, 2015.
- [15] YUMAK, H., UCAR, T., YAYLA, S., “Wind Energy Potential on the Coast of Lake Van”, *International Journal of Green Energy*, 9, 1–12, 2012.
- [16] BENLİ, H., “Potential Application of Solar Water Heaters for Hot Water Production in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 99–109, 2016.
- [17] BULUT, Y.M., AÇIKALP, E., “Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanmasında Parametre Tahmin Yöntemlerinin İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part: C, Tasarım ve Teknoloji*, 1, 49–54, 2013.
- [18] BASARAN, S.T., DOGRU, A.O., BALCIK, F.B., ULUGTEKIN, N.N., GOKSEL, C., SOZEN, S., “Assessment of Renewable Energy Potential and Policy in Turkey–Toward the Acquisition Period in European Union”, *Environmental Science & Policy*, 46, 82–94, 2015.
- [19] ATA, R., “The Current Situation of Wind Energy in Turkey”, *Journal of Energy*, 1–8, 2013.
- [20] KAYGUSUZ, K., TOKLU, E., AVCI, A.C., “Energy Security in a Developing World: A Case of Turkey”, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 4, 265–277, 2015.
- [21] KAPLAN, Y.A., “Overview of Wind Energy in the World and Assessment of Current Wind Energy Policies in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 562–568, 2015.
- [22] ONAR, S.Ç., KILAVUZ, T.N., “Risk Analysis of Wind Energy Investments in Turkey”, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21, 1230–1245, 2015.
- [23] AKPINAR, E.K., AKPINAR, S., “Determination of the Wind Energy Potential for Maden-Elazığ, Turkey”, *Energy Conversion and Management*, 45, 2901–2914, 2004.
- [24] ARIKAN, O., ISEN, E., KOCAMAN, C., KEKEZOĞLU, B., “Wind Energy Potential of Marmara Region in Turkey”, *International Journal of Energy and Environment*, 6, 17–26, 2015.
- [25] ESKIN, N., ARTAR, H., TOLUN S., “Wind Energy Potential of Gökçeada Island in Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 839–851, 2008.
- [26] KALINCI, Y., “Alternative Energy Scenarios for Bozcaada Island, Turkey”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 468–480, 2015.
- [27] ZONTUL, M., AYDIN, M., DOĞAN, G., SENER, S., KAYNAR, O., “Wind Speed Forecasting using Reptree and Bagging Methods in Kırklareli-Turkey”, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 56, 17–29, 2013.
- [28] DABBAGHIYAN, A., FAZELPOUR, F., ABNAVI, M.D., ROSEN, M.A., “Evaluation of Wind Energy Potential in Province of Bushehr, Iran”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 455–466, 2016.
- [29] NEDAELI, M., “Wind Energy Potential Assessment in Chalus County in Iran”, *International Journal of Renewable Energy Research*, 2, 338–347, 2015.
- [30] AMMARI, H.D., AL-RWASHDEH, S.S., AL-NAJIDEEN, M.I., “Evaluation of Wind Energy Potential and Electricity Generation at Five Locations in Jordan”, *Sustainable Cities and Society*, 15, 135–143, 2015.
- [31] BOUDIA, S.M., GUERRI, O., “Investigation of Wind Power Potential at Oran, Northwest of Algeria”, *Energy Conversion and Management*, 105, 81–92, 2015.
- [32] CARRASCO-DIAZ, M., RIVAS, D., OROZCO-CONTRERAS, M., SÁNCHEZ-MONTANTE, O., “An Assessment of Wind Power Potential along the Coast of Tamaulipas, Northeastern Mexico”, *Renewable Energy*, 78, 295–305, 2015.
- [33] ISLAM, M.R., SAIDUR, R., RAHIM, N.A., “Assessment of Wind Energy Potentiality at Kudat and Labuan, Malaysia using Weibull Distribution Function”, *Energy*, 36, 985–992, 2011.