

WindPRO PROGRAMI İLE RÜZGÂR ANALİZİ VE ENERJİ ÜRETİM MİKTARININ BELİRLENMESİ

Faruk ORAL¹ (ORCID:0000-0002-4114-0785)*

Rasim BEHÇET² (ORCID:0000-0002-6897-3066)

Emre GÖNEL¹ (ORCID: 0000-0003-0604-1439)

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye

²Inönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye

Geliş / Received: 01.04.2017

Kabul / Accepted: 25.10.2018

ÖZ

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hem teknolojisi hem de kullanımı en hızlı biçimde gelişen enerji kaynaklarından biridir. Günümüzde modern rüzgâr türbinleri yardımı ile rüzgârdan elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Bu santrallerin kurulmadan önce, bölgede standartlara uygun olarak ölçülen rüzgâr hızı ve yön değerlerini kullanılarak, rüzgâr enerji potansiyel analizlerin yapılması gerekmektedir. Analiz sonucunda; bölgenin rüzgâr karakteristiği belirlenerek, kurulacak rüzgâr enerji santralinin boyutlandırılması yapılabilmektedir. Enerji üretimi amaçlı yapılan rüzgâr analizlerinde, analizin doğruluğu ve harcanan zaman, en önemli iki büyük parametredir. Bu çalışmada; Sakarya-Esentepe bölgesi için üç aylık rüzgâr verileri kullanılarak hem istatistiksel yöntem ile hem de WindPRO programı ile rüzgâr enerjisi analizi yapılarak ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu değerleri bulunup, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu bulunmuştur. Ayrıca bu program yardımıyla seçilmiş bölge için verilen bir rüzgâr türbini için enerji üretim miktarı ile kapasite faktörü yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Rüzgâr enerjisi, Windpro, Weibull dağılımı, Enerji üretimi

DETERMINATION OF THE AMOUNT OF ENERGY PRODUCTION AND WIND ANALYSIS WITH WINDPRO SOFTWARE

ABSTRACT

Wind energy is one of the fastest growing energy sources in technology and use within renewable energy sources. Nowadays, electrical energy can be generated from modern wind turbines. Before constructing wind power plants in a region, it is necessary to do the analysis of wind energy potentials with using the wind speed and direction measured according to standards in the region. Finding the wind characteristics of the region and sizing the wind power plant can be determined from the results of analysis. The accuracy of the analysis and the time spent are the two biggest parameters in wind analysis for energy production purposes. In this study, the values of mean wind speed and power density are calculated with wind energy analysis using both statistical way and WindPRO software package according to the data for three months obtained from Sakarya-Esentepe region and both results are compared. It is found that both results are very close to each other. In addition, the amount of energy, could be produced, and capacity factor are approximately calculated with the software package for a given wind turbine in the selected region.

Keywords: Wind energy, Windpro, Weibull distribution, Energy production

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.:+90 434 222 00 30 ; e-mail / e-posta: foral@beu.edu.tr

*WindPRO PROGRAMI İLE RÜZGÂR ANALİZİ VE ENERJİ ÜRETİM MİKTARININ BELİRLENMESİ***1. GİRİŞ**

Rüzgâr enerjisi temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Rüzgâr enerjisi, rüzgârı meydana getiren hava akımının sahip olduğu kinetik enerjidir. Bu enerjinin bir bölümü faydalı mekanik veya elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Günümüzde modern rüzgâr türbinleri kullanılarak rüzgârdan elektrik enerjisi üretimi dünyada oldukça yaygınlaşmıştır. 2015 yılı sonu itibariyle dünya rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasitesi 432.88 GW değerine ulaşmıştır [1].

Türkiye'nin, Ege Bölgesi, Akdeniz Bölgesinin doğu ve kuzeydoğu kısımları, Marmara Bölgesinin güney kısmı ile İç Anadolu Bölgesinin batı kısımları, iyi sayılabilecek rüzgâr potansiyeline sahiptir. Günümüzde enerji ihtiyacının arttığı, temiz enerji kaynaklarının önem kazandığı bir zamanda, Türkiye'nin bu enerji potansiyelini kullanması önem arz etmektedir. 2015 yılı sonu itibariyle Türkiye' de toplam rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasitesi 4718.3 MW değerine ulaşmıştır [2].

Elektrik enerjisi üretimi amaçlı bir rüzgâr enerji santralının projelendirilmesi ve ekonomisi, temel olarak seçilen santral sahasında üretilebilecek enerji miktarına göre yapılmaktadır. Bu enerji miktarının belirlenmesi, ekonomik analizlerin yapılması, kullanılacak rüzgâr türbin tipinin seçimi ve rüzgâr türbininin konuşlandırılacağı yerlerin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametreler, rüzgâr hızı ve yön değerleridir. Bu nedenle muhtemel rüzgâr potansiyeli iyi olabilecek alanların uygun bir yerde standartlara uygun rüzgâr ölçüm istasyonu kurularak, rüzgâr değerlerinin düzenli periyotlarda ölçülmesi gerekmektedir. Rüzgâr verilerini kullanarak bir bölgenin rüzgâr karakteristiğinin belirlenmesi, enerji üretimi amaçlı rüzgâr enerji santral analizinin yapılması, uygun rüzgâr türbin tipinin seçimi ve rüzgâr türbinlerinin araziye konuşlandırılacağı yerlerin en doğru bir biçimde belirlenmesinde, WindPRO yazılımı, en çok kullanılan programlardan birisidir.

Bu çalışmada; enerji üretimi amaçlı yapılan rüzgâr analizlerinde kullanılan WindPRO yazılımı incelenmiştir [3]. Bu amaç ile Sakarya-Esentepe bölgesinde bulunan rüzgâr ölçüm istasyonundan elde edilen rüzgâr verilerinin istatistiksel analizi yapılarak, WindPRO yazılımı kullanılarak bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu program kullanılarak örnek bir rüzgâr enerji santralının elektrik enerjisi üretimi tahminlenerek bulunmuştur.

2. RÜZGAR İSTATİSTİĞİ

Rüzgâr türbinlerinden elektrik enerjisi üretimi amaçlı faydalanabilmek için, öncelikli olarak bölgenin rüzgâr karakteristiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Rüzgâr karakteristiğinin belirlenmesinde en önemli parametreler, rüzgâr hızı ve yönüdür. Rüzgâr türbinleri, belirli bir rüzgâr hızı aralığında enerji üretebilmektedirler. Bu nedenle, rüzgâr enerji üretim santrallerinin kurulacağı yerin belirlenmesi, türbin tipi seçiminin yapılması ve üretilecek enerjinin hesaplanmasında, bölgenin rüzgâr karakteristiğinin oluşturan ortalama rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, sektörlerine göre rüzgâr şiddeti ve esme sayıları ile ortalama güç yoğunluğu (aylık ve yıllık) bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaç ile rüzgâr verilerinin istatistiksel analizi yapılmaktadır.

Rüzgâr verilerinin ölçümü, belli bir tarih aralığında yapıldığı için çoğunlukla farklı tarih ve zamanlarda aynı hızlar gözlemlenebilir. Bir rüzgâr serisinde, bir rüzgâr hızının (v_i) gözlemlenen toplam sayısı m_i ise, bu rüzgâr hızının esme ihtimali $p(v_i)$;

$$p(v_i) = \frac{m_i}{n} \quad (1)$$

eşitliğiyle gösterilir. Burada n , rüzgâr serisindeki ölçüm değerleri sayısını veya toplam gözlem sayısını ifade etmektedir. Rüzgâr verilerinin değerlendirilmesinde en önemli özelliklerden biri, ortalama rüzgâr hızıdır. Ortalama rüzgâr hızı; ölçülen veya gözlemlenen rüzgâr hızı değerlerinin ortalamasıdır. Bir rüzgâr serisinin ortalama hızı (v_m);

$$v_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^w m_i v_i \quad (2)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Burada w , gözlemlenen farklı rüzgâr hızı sayısını ifade etmektedir. Rüzgâr hareket halinde bir hava akımı olduğundan kinetik enerjiye sahiptir. Bu nedenle v hızında, A dikey kesit alanından akan bir havanın sahip olduğu güç P_v ;

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

F. ORAL, R. BEHÇET, E. GÖNEL

eşitliği ile temsil edilir. Eşitlikte ρ , havanın yoğunluğunu göstermektedir. Belirli bir tarih aralığında gözlemlenen bir rüzgâr serisinin ortalama güç yoğunluğu P_m , aşağıdaki verilen eşitlikle ifade edilir [4].

$$P_m = \frac{1}{2} \rho A \sum_{i=1}^w p(v_i) v_i^3 \quad (4)$$

Weibull dağılımı; birçok bilimsel çalışmada rüzgâr verilerinin analizlerinde kullanılmıştır. Rüzgâr enerjisi ile ilgili yapılan çoğu çalışmada, rüzgâr hız verilerinin Weibull dağılımı özelliği gösterdiği belirlenmiştir [5-14]. Weibull yoğunluk fonksiyonu; rüzgârın herhangi bir hızda esme sıklığını gösteren fonksiyondur. Weibull yoğunluk fonksiyonunun elde edilebilmesi için şekil (k) ve ölçek (c) parametrelerinin bilinmesi gerekir. İki parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel ifadesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir [16].

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (5)$$

Weibull dağılımı parametrelerinin belirlenmesinde, literatürde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. En yüksek olasılık yöntemi, basitleştirilmiş en yüksek olasılık yöntemi, grafik yöntemi ve moment yöntemi en çok kullanılan yöntemlerdendir. Bu çalışmada WindPRO yazılımı kullanılarak Weibull dağılımı parametreleri bulunmuştur. Weibull dağılımı için, ortalama rüzgâr hızı ve ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu;

$$v_m = \int_0^{\infty} v f(v) dv = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (6)$$

$$P_m = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \rho v^3 f(v) dv = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (7)$$

eşitlikleri ile ifade edilir [15-17]. Burada, $\Gamma(\cdot)$ gama fonksiyonunu göstermektedir.

Rüzgâr türbininin ürettiği enerji, rüzgâr türbinini güç üretim eğrisi yardımı ile hesaplanır. Bir rüzgâr türbininin kapasite faktörü ise; türbinin enerji üretim performansını ifade eder, verilen zaman aralığında türbinin ürettiği enerjinin, o zaman aralığına nominal güçte üretebileceği enerji miktarına oranı olarak ifade edilir. Bu çalışmada, verilen rüzgâr türbininin kapasite faktörü, rüzgâr türbinini güç eğrisi kullanılarak WindPRO yazılımı ile bulunmuştur.

3. WindPRO YAZILIMI

Rüzgâr enerjisi analizlerinde en çok kullanılan programlar; WASP ve WindPRO yazılımlarıdır. WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) yazılımı; Danimarka Teknik Üniversitesine bağlı Risø Ulusal Laboratuvarı tarafından geliştirilen bir rüzgâr analizi ve uygulama programıdır. Günümüzde rüzgâr enerjisi analizleri ile ilgili birçok çalışmada halen kullanılmaktadır. WindPRO yazılımı; Danimarka’da faaliyet gösteren EMD firmasının geliştirmiş olduğu ileri derecede rüzgâr enerji santral (RES) analizi yapan programdır. Bu yazılım aynı zamanda WASP yazılımını da alt program olarak kullanmaktadır [3, 18].

WindPRO yazılımı rüzgâr veri analizlerini; ölçülmüş olunan rüzgâr hız değerlerinin 2 parametrelili Weibull dağılımına uygun bir dağılım gösterdiğini varsayarak yapmaktadır. WindPRO kullanım amacına ve ihtiyaçlara göre paket oluşturulabilecek modüller bir programdır. Bu programda bazı modüller birbirlerine bağımlı olarak çalışmaktadır. WindPRO yazılımı birçok modülden oluşmaktadır. Bu modüllerin her biri değişik bir amacı gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. WindPRO yazılımında; BASIS, METEO, STATGEN (MCP), MODEL, PARK, OPTIMIZE, LOSS & UNCERTAINTY, DECIBEL, SHADOW, ZVI, IMPACT, PHOTOMONTAGE, ANIMATION, 3D-ANIMATOR, eGRID, WINDBANK gibi modüller kullanılır [18].

BASIS modülü; WindPRO yazılımının temel modülüdür. WindPRO kapsamındaki diğer tüm modüllerin kullanılması için BASIS modülüne ihtiyaç duyulur. Bu modülde, proje yönetimi, rüzgâr türbinini kataloğu, harita yönetim sistemi, veri girişi, özel araçlar gibi temel bilgileri içermektedir. Harita yönetimi sistemi; internet üzerindeki veya sayısal ortamlardaki haritaların program ile bağlantısını sağlamakta ve arka fonda gösterilen haritalar üzerinde proje çalışması yapılmasına, veri girişine imkân sağlamaktadır. Rüzgâr türbinini kataloğu; çok sayıda türbine ait verileri içermekte olup sürekli olarak güncellenmekte ve kullanıcı tarafından eklenebilecek türbin özellikleriyle geliştirilebilmektedir. Yine bu modüldeki özel araçlar yardımı ile katmanlar halinde veri

WindPRO PROGRAMI İLE RÜZGÂR ANALİZİ VE ENERJİ ÜRETİM MİKTARININ BELİRLENMESİ

girişi yapılabilen, fondaki harita üzerindeki eş yükselti eğrilerinin renk tanıma özelliği sayesinde gelişmiş yöntemlerle sayısallaştırılması, arazi yapısının pürüzlülük ve perdeleyici engel nesnelere girilmesi, topografyanın rüzgâr türbini ve ölçüm istasyonu ile birlikte profil kesitinin sunumu gibi işlemlerin yapılmasını mümkün kılmaktadır [18].

METEO modülü; arazide ölçülen rüzgâr verilerinin programa yüklenmesini ve bu verilerin analizi gerçekleştirir. Weibull dağılımı parametreleri, rüzgâr hızı ve yön değerlerinin frekans dağılımı, sektörel ortalama rüzgâr hızı ve yönü, yüksekliğe göre ortalama rüzgâr hızı değişimi, seçilecek rüzgâr türbininin hub yüksekliğindeki rüzgâr hızı değeri gibi sonuçlar elde edilebilir. Rüzgâr verilerini görsel olarak kontrol etmek, noktalı, yönsel dağılım, günlük aylık grafikler üretmek mümkündür. Ayrıca rüzgâr verileri görsel veya filtreler kullanılarak devre dışı bırakılarak hatalı veriler elimine edilebilir. Bu modül; seçilen bir rüzgâr türbini için üretim sahası içerisinde ölçülmüş rüzgâr verilerine dayalı olarak herhangi bir hesaplama modeli kullanmadan enerji üretim miktarını tahmini hesaplanmasını yapabilmektedir. Üretim sahasının ortalama enerji yoğunluğu, enerji yoğunluğunun sektörel değişimi, belirlenen rüzgâr türbininden elde edilecek enerji miktarının tahminlenmesi, rüzgâr türbini güç eğrileri gibi sonuçlar elde edilebilir. Elde edilen bu sonuçlar, tablo ve grafiksel olarak sunulabilmektedir [18].

MODEL modülü; WASP, ATLAS ve diğer hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modelleri için ara yüz olarak kullanılır. WASP modeli ile hesaplama yapabilmek için programın arka fonundaki sayısal harita üzerinde; arazi yapısının pürüzlülük, eş yükseklik eğrileri ile perdeleyici engel nesnelere girilmesi gerekmektedir. Bu model girilen arazi yapısı değerleri ile METEO modülündeki girilen rüzgâr değerlerini kullanarak tek bir konumda istenilen sayıda farklı türbin tipi için enerji üretim miktarı hesaplanabilir [18].

PARK modülü; bir veya daha fazla RES'nin kayıplar dikkate alınarak yıllık enerji üretim miktarlarının hesaplanmasını sağlar. Hesaplamalar için farklı tip ve hub yüksekliğine sahip türbinler kullanılabilir. WindPRO'nun tabakalı gösterim özelliği sayesinde farklı konumlardaki RES'lerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir. Bu şekilde uygun RES bölgeleri seçilebilir. Ayrıca RES analizi sonucu, rüzgâr türbinlerinin güç ve verim grafiklerini sunmaktadır. Bu modül METEO veya MODEL modüllerini gerektirir.

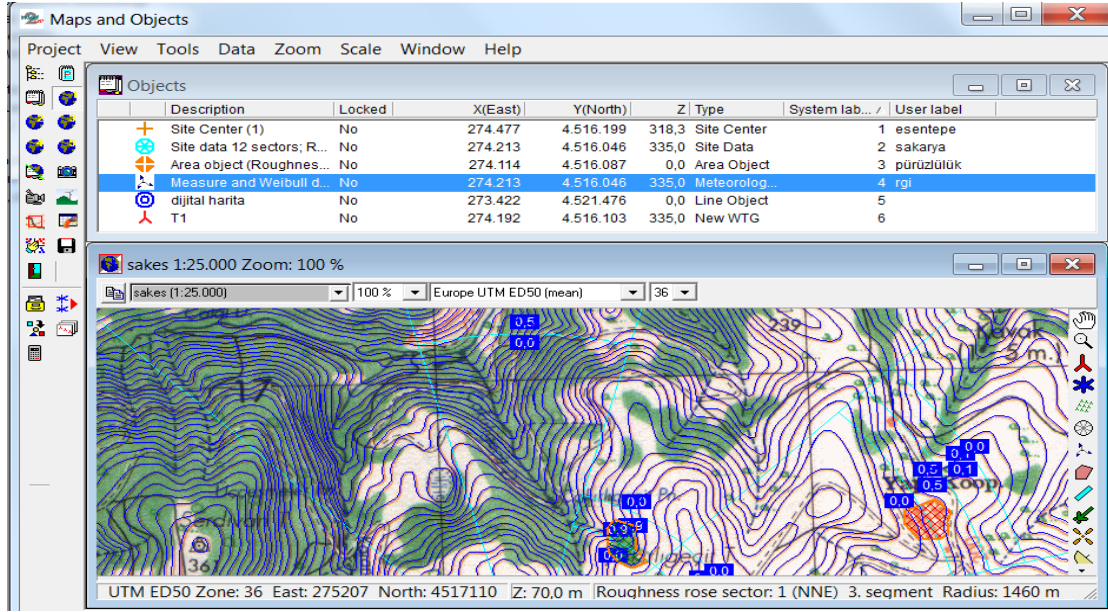
OPTIMIZE modülü; RES projelendirmesinde rüzgâr türbini yerleşimini en uygun konuma getirme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu işlemi, bir RES yerleşiminin sınırlandırılmış bir alan içerisinde toplam enerji üretimine göre optimizasyon yapılarak uygun yerleşim belirlenebilir. MCP modülü; mevcut ölçülmüş olunan rüzgâr verilerinin başka ölçüm istasyonunun verileri ve uzun dönem verilerle korelasyon amaçlı kullanılır.

Rüzgâr türbinlerinin gürültü düzeylerinin hesaplanması işlemi DECIBEL modülü kolaylaştırmaktadır. Elde edilen eş gürültü eğrileri yardımı ile gürültü sınırının aşılmadığı Rüzgâr türbini konumlandırma tasarımı yapılabilir. SHADOW modülü; tanımlanmış veya özel algı noktaları için bir veya birden fazla rüzgâr türbininin neden olacağı gölge etkisinin yıllık saatinin hesaplanmasında kullanılır. ZVI modülü ise; uzak mesafelerdeki görsel etkinin analizinde ve rüzgâr türbin gurubunun bir bölge üzerindeki görsel etkisinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

IMPACT modülü, planlanan bir rüzgâr santralının yakındaki rüzgâr santralleri üzerindeki çevresel etkilerinin belirlenmesinde kullanılabilir. PHOTOMONTAGE modülü; bir RES'nin inşa edilmeden önce gerçekçi görsel canlandırması için kullanılmaktadır. ANIMATION modülü yardımı ile de tasarım aşamasındaki bir RES'nin bilgisayar ekranında türbin kanatlarının gerçek hızda dönmeleri izlenebilir. eGRID modülü rüzgâr türbinlerinin şebekeye entegrasyonunun tasarım ve hesap işlemlerinde kullanılır. Bir RES yatırımının mali ve ekonomik uygunluğunun belirlenmesi aşamasında, WindBANK modülü hesaplama işlemlerini bayağı kolaylaştırmaktadır.

WindPRO programında; rüzgâr hızı ve yönü bilgileri, bölgenin sayısal haritası, bölge pürüzlülük bilgileri ile yakın çevre engel bilgileri, kullanılan temel verilerdir. Başlangıçta programda, tasarımı yapılacak projeye ait proje adı, coğrafi koordinatlar, bölgesel saat dilimi gibi bilgiler girilmektedir. Bu bilgiler girildikten sonra bölgenin topoğrafik haritası sayısallaştırılıp programa yüklenmektedir. Sonraki işlemde ise programda bulunan meteorolojik data aracı yardımı ile rüzgâr verileri yazılıma atılarak istatistiksel olarak analizi yapılabilir. Sonraki adımda ise; alan obje ve site data araçları yardımı ile bölge pürüzlülük ile yakın çevre engel bilgileri programa aktarılmaktadır. Programa bu temel bilgiler girildikten sonra RES analizinin yapılması için bütün şartlar sağlanmış olacaktır [3].

WindPRO programının iki ara yüz ekranı bulunmaktadır. Şekil 1'de harita ve objelerin tanımlandığı ara yüz ekranı görülmektedir. Bu ara yüzde; topoğrafik harita aktarımları, rüzgâr türbinlerini de içine alan santral sahasının oluşturulması, eşyüksekti eğrilerinin meydana getirdiği sayısal harita bilgilerinin yüklenmesi, engel ve pürüzlülük bilgileri, rüzgâr ölçüm istasyonu yeri bilgileri gibi işlemler yapılabilir. Diğer ara yüz ekranında ise; ana menüler, program ayarları, program modülleri ve bu modüller ile yapılan hesaplamaların sonuç raporlarına ulaşılabilir [3].



Şekil 1. WindPRO programında harita ve obje ara yüz ekranı [3]

4. MATERYAL VE METOT

Çalışmaya örnek teşkil etmesi bakımından, Sakarya – Esentepe bölgesinde kurulan rüzgâr ölçüm istasyonundan elde edilen 2006 ve 2007 yıllarını kapsayan Aralık, Ocak ve Şubat aylarına ait rüzgâr verileri kullanılmıştır. Bu istasyon, 274213E, 4516046 N (UTM koordinat sistemine göre) koordinatlarında olup deniz seviyesinden 340 m yüksekliğindedir. Rüzgâr ölçüm istasyonunda; 10 ve 30 metrelerde rüzgâr hızı, 30 metrede rüzgâr yönü ve 3 metrede çevre sıcaklığı değerlerinin ölçümü periyodik olarak yapılmaktadır.

Analiz çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada; rüzgâr verilerinin istatistiksel analizi yapılmıştır. Bu analizde, ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu değerleri; hem istatistiksel yöntem ile hem de WindPRO programı yardımı ile yapılarak, sonuçlar karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada ise; seçilen bir rüzgâr türbini kullanılarak üretilebilecek enerji miktarının belirlenmesi amacı ile rüzgâr elektrik santral analizi yapılmıştır (RES). Bu analizde; WindPRO yazılı kullanılmıştır. Bu amaçla Sakarya – Esentepe bölgesinin sayısal yükseklik haritası oluşturulmuştur. Yaklaşık 150 km²'lik bir alanı kapsayan sayısal harita yardımı ile bir noktada ölçülmüş olan rüzgâr verileri bölge geneline yayılarak bölgede muhtemel rüzgâr enerjisi potansiyeli olan alanlar araştırılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Gözlemlenen rüzgâr verilerinin istatistiksel analizi, Eşitlik 2, Eşitlik 4 ve WindPRO programına göre yapılarak sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan görülebileceği gibi; WindPRO programı kullanılarak yapılan analizde; 30 metrelik yükseklik için ortalama rüzgâr hızının 5.35 m/s, Weibull şekil parametresi 1.89, ölçek parametresi 6.03 m/s, ortalama güç yoğunluğu değeri 185.62 W/m² olarak bulunmuştur. Rüzgâr verilerinin istatistiksel analizinde, gözlemlenen (gerçek) ortalama rüzgâr hızı 5.21 m/s, ortalama güç yoğunluğu ise 187.22 W/m² olarak hesaplanmıştır. Ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğunun en büyük değerinin Ocak ayında gerçekleştiği belirlenmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, ortalama rüzgâr hızı ile güç yoğunluğunun gözlemlenen ve WindPRO sonuçlarının bir birine çok yakın olduğu görülmüştür.

Tablo 2'de; WindPRO programına göre 30 m yükseklik için sektörel ortalama rüzgâr hızı, Weibull parametreleri ile frekans değerleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde; en yüksek rüzgâr frekansının Kuzey-Kuzeydoğu istikametinde, %32 değerinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Hâkim rüzgâr yönü olan Kuzey-Kuzeydoğu istikametinde; ortalama rüzgâr hızı 5.62 m/s, Weibull şekil parametresi 1.965, ölçek parametresi 6.34 m/s olarak bulunmuştur. En düşük rüzgâr frekansı %1.4 oranında Batı yönünde meydana gelmiştir. En yüksek ortalama rüzgâr hızı 7.28 m/s değerinde Güney yönünde gerçekleşmiştir.

WindPRO PROGRAMI İLE RÜZGÂR ANALİZİ VE ENERJİ ÜRETİM MİKTARININ BELİRLENMESİ

WindPRO programı kullanılarak rüzgâr hızı frekans dağılımı elde edilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3 de sırasıyla 30 ve 10 m yüksekliği için rüzgâr hızının frekans dağılımı verilmiştir. Sektörel 30 m ve 10 m yükseklikleri için rüzgâr hızı frekansı Şekil 4’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi 30 ve 10 m yüksekliklerdeki en büyük rüzgâr hızı frekanslarının hâkim yönde gerçekleştiği bulunmuştur. Yine Doğu-Kuzeydoğu istikametindeki rüzgâr frekansının önemsenecek büyüklükte olduğu (%19.8), diğer yönlerdeki rüzgâr hızı frekanslarının nispeten küçük olduğu belirlenmiştir. Şekil 5’de 30 m yükseklik için rüzgâr hızı değerlerinin sektörel frekans değişimi verilmiştir. 5-10 m/s ile 10-15 m/s arasındaki rüzgâr hızlarının en büyük frekans değerinin, hâkim rüzgâr yönü istikametinde olduğu bulunmuştur. Şekil 6’da 30 m yükseklik için ortalama rüzgâr hızının yönsel değişimi verilmiştir. Ortalama rüzgâr hızının en büyük değerinin güney istikametinde gerçekleştiği (7.28 m/s) görülmüştür. Hâkim rüzgâr yönünde de ortalama rüzgâr hızı değerinin büyük olduğu (5.62 m/s) belirlenmiştir. Şekil 7’de 30 m yükseklikte sektörel ortalama enerji yoğunlukları verilmiştir. Hâkim rüzgâr yönünde enerji yoğunluğunun 500 kWh/m²’den büyük olarak gerçekleştiği bulunmuştur. 5-10 m/s ve 10-15 m/s aralıklarındaki rüzgâr hızı değerlerinin hâkim enerji yoğunluğu yönünde gerçekleştiği belirlenmiştir. Şekil 8’de ortalama saatlik rüzgâr hızı ve yön değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi saatlik ortalama rüzgâr hızı ve yön değerlerinde önemli bir değişimin olmadığı görülmüştür.

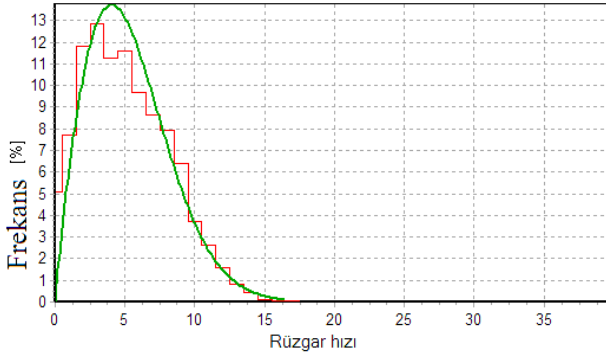
Tablo 1. Ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu değerleri (Yükseklik: 30 m)

| Aylar | WindPRO sonuçları | | | | Gözlemlenen | |
|----------|----------------------|------|---------|------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| | V _m (m/s) | k | C (m/s) | P _m (W/m ²) | V _m (m/s) | P _m (W/m ²) |
| Aralık | 4.25 | 1.55 | 4.73 | 120.43 | 4.24 | 121.12 |
| Ocak | 6.22 | 2.11 | 7.02 | 258.00 | 6.16 | 261.19 |
| Şubat | 5.37 | 1.99 | 6.06 | 177.06 | 5.23 | 178.54 |
| Ortalama | 5.35 | 1.89 | 6.03 | 185.62 | 5.21 | 187.22 |

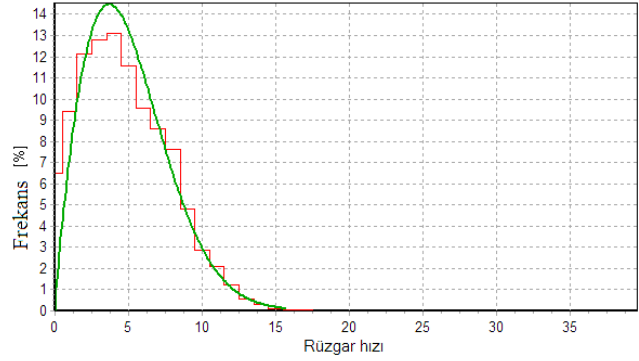
Tablo 2. WindPRO programına göre sektörel ortalama rüzgâr hızı, Weibull parametreleri ve frekans değişimi (Yükseklik: 30 m)

| Sektör | v _m (m/s) | C (m/s) | k | Frekans (%) |
|----------|----------------------|---------|-------|-------------|
| 0-N | 4.35 | 4.91 | 2.155 | 9.0 |
| 1-NNE | 5.62 | 6.34 | 1.965 | 32.0 |
| 2-ENE | 5.49 | 6.17 | 1.789 | 19.8 |
| 3-E | 4.78 | 5.39 | 1.892 | 3.8 |
| 4-ESE | 5.58 | 6.29 | 1.939 | 5.2 |
| 5-SSE | 5.30 | 5.97 | 1.891 | 4.6 |
| 6-S | 7.28 | 8.13 | 3.170 | 9.8 |
| 7-SSW | 4.74 | 5.34 | 1.912 | 3.3 |
| 8-WSW | 4.18 | 4.69 | 1.741 | 3.0 |
| 9-W | 3.18 | 3.31 | 1.112 | 1.4 |
| 10-WNW | 3.71 | 4.18 | 1.941 | 2.6 |
| 11-NNW | 4.05 | 4.56 | 1.907 | 5.6 |
| Ortalama | 5.35 | 6.03 | 1.889 | 100.0 |

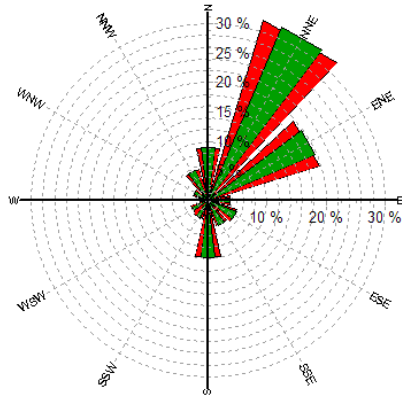
F. ORAL, R. BEHÇET, E. GÖNEL



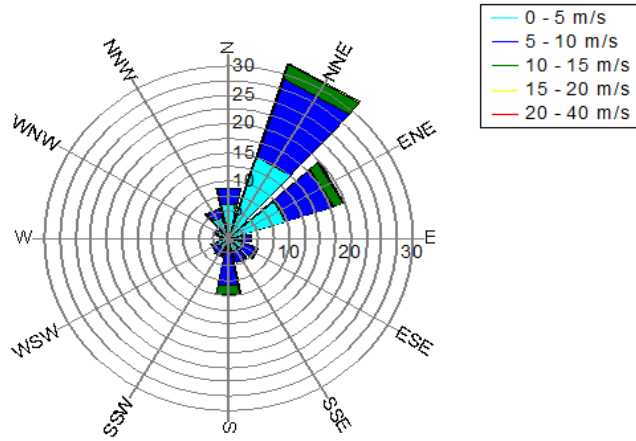
Şekil 2. Rüzgâr hızının frekans dağılımı



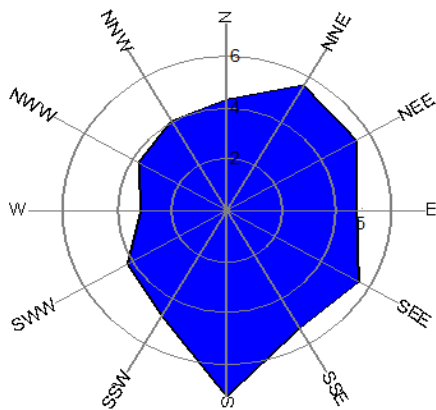
Şekil 3. Rüzgâr hızının frekans dağılımı



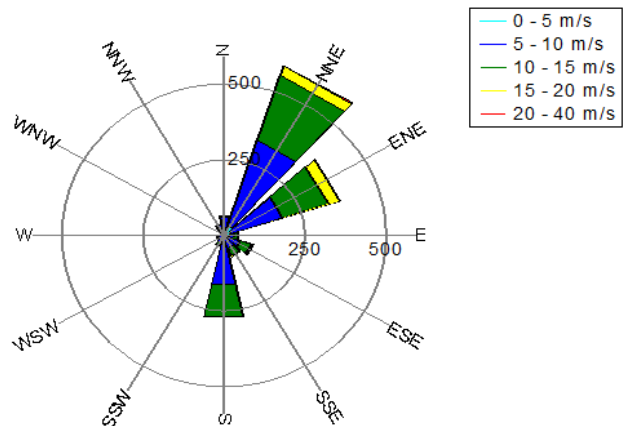
Şekil 4. Sektörel rüzgâr hızı frekans değişimi



Şekil 5. Rüzgâr hızı değerlerinin sektörel değişimi (%) (Yükseklik: 30 m)

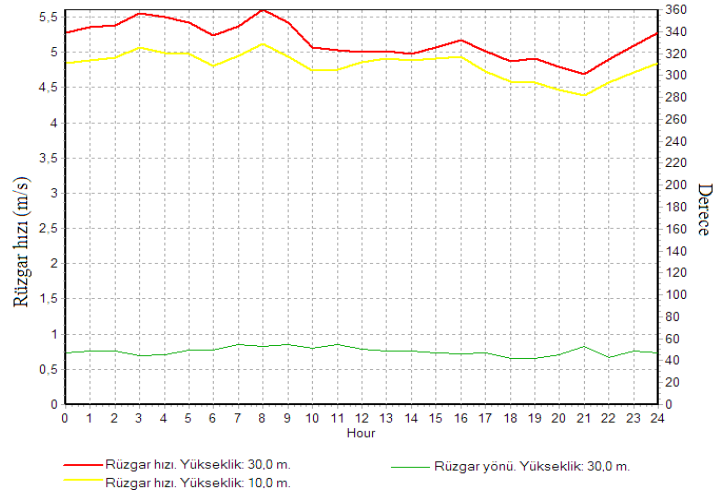


Şekil 6. Sektörel ortalama rüzgâr hızı (m/s) (Yükseklik: 30m)



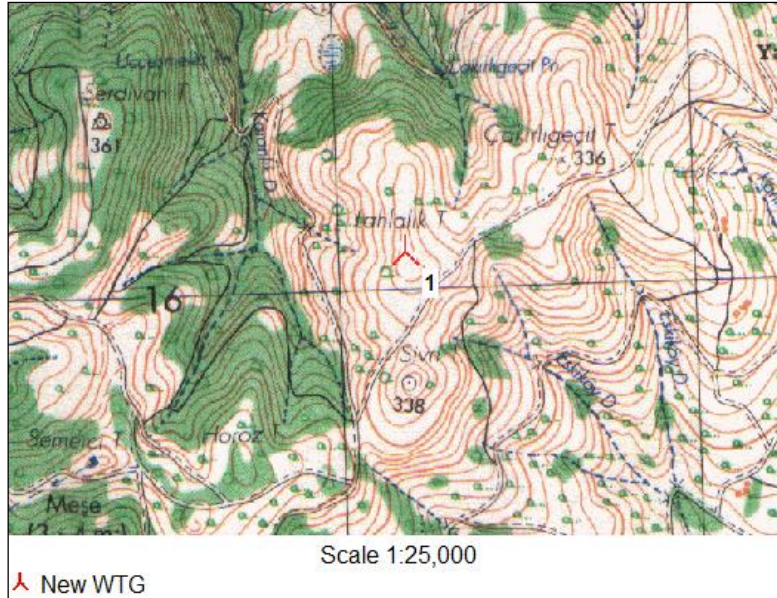
Şekil 7. Rüzgâr hız değerlerine göre sektörel ortalama enerji yoğunluğu (kWh/m²) (Yükseklik: 30m)

WindPRO PROGRAMI İLE RÜZGÂR ANALİZİ VE ENERJİ ÜRETİM MİKTARININ BELİRLENMESİ

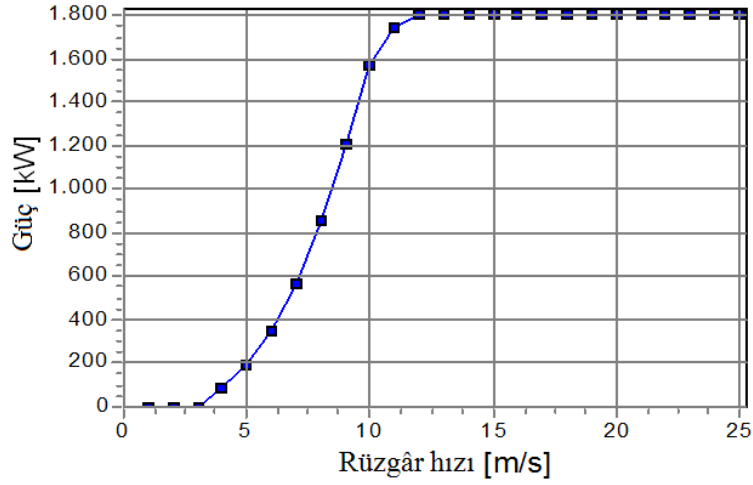


Şekil 8. Ortalama rüzgâr hızı ve yönünün saatlik değişimi

İkinci aşama olarak RES analizi yapılarak üretilebilecek enerji miktarı tahminlenmiştir. RES analizinde enerji üretim sahası olarak; arazinin topoğrafik yapısı ile ulaşım imkânlarının daha uygun olması nedeniyle Tahtalık Tepe civarları seçilmiştir (Şekil 9). Ayrıca analizde; örnek teşkil etmesi bakımından enerji üretim amaçlı nominal gücü 1800 kW, hub yüksekliği 80 m ve rotor çapı 90 m olan bir adet VESTAS V90 tipi rüzgâr türbini kullanılmıştır (Tablo 3). Söz konusu rüzgâr türbininin güç eğrisi Şekil 10'de verilmiştir. Örnek rüzgâr türbini için WindPRO programı kullanılarak yapılan analiz sonucu, Tablo 3'de verilmiştir. Yapılan RES analizi sonucunda üç aylık zaman dönemi için üretilebilecek enerji miktarı 1009.3 MWh olarak bulunmuştur. Söz konusu rüzgâr türbininin kapasite faktörü %25.9 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9. Rüzgâr türbininin konumu



Şekil 10. Rüzgâr türbini güç eğrisi [3]

Tablo 3. Rüzgâr türbininin özellikleri ve RES analizi sonuçları [19]

| | |
|--|---------------------|
| RT üretici firma | VESTAS |
| RT tipi | V90 |
| Hub yüksekliği (m) | 80 |
| Rotor çapı (m) | 90 |
| Türbin gücü (kW) | 1800 |
| Rüzgâr türbini süpürme alanı (m ²) | 6362 |
| Devreye girme rüzgâr hızı (m/s) | 3.5 |
| Nominal rüzgâr hızı (m/s) | 12 |
| Devreden çıkma rüzgâr hızı (m/s) | 25 |
| Türbin yerleşim koordinatı | 274.192 – 4.516.103 |
| Toplam enerji üretimi (MWh) | 1009.3 |
| Kapasite faktörü (%) | 25.9 |

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, rüzgâr enerji santral analizleri ile santral sahasında üretilecek enerji miktarının tahminlenmesinde sıklıkla kullanılan WindPRO yazılımı tanıtılmış ve örnek bir uygulama olarak, Sakarya-Esentepe bölgesinde bulunan rüzgâr ölçüm istasyonundan elde edilen rüzgâr hızı ve yönü verileri kullanılarak RES analizi yapılmıştır.

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda; rüzgâr hızı ortalaması ve güç yoğunluğu değerlerinin, gözlemlenen sonucu ile WindPRO sonucunun bir birine yakın gerçekleştiği bulunmuştur.

WindPRO programında yapılan analizde; ortalama rüzgâr hızı 5.35 m/s, ortalama güç yoğunluğu 185 W/m² olarak hesaplanmıştır. Hâkim rüzgâr yönü; %32 frekans değerinde Kuzey-Kuzeydoğu istikametinde gerçekleştiği bulunmuştur. Enerji üretme potansiyeline sahip büyük hız (5-15 m/s) frekanslarının önemli bir kısmı (yaklaşık %30 ve üzeri) hâkim yönde gerçekleştiği belirlenmiştir. Ortalama enerji yoğunluğunun sektörel değişiminin ağırlıklı kısmı hâkim rüzgâr yönünde olduğu görülmüştür. Saatlik ortalama rüzgâr hızı ve yön değerlerinin değişiminde önemli sapmaların olmadığı belirlenmiştir. RES analiz sonucu belirtilen rüzgâr türbini için tahmini enerji üretimi miktarı 1009.3 MWh, enerji santralinin kapasite faktörü değeri %25.9 olarak hesaplanarak bulunmuştur.

WindPRO PROGRAMI İLE RÜZGÂR ANALİZİ VE ENERJİ ÜRETİM MİKTARININ BELİRLENMESİ

Enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithalat yoluyla gidermeye çalışan Türkiye'nin sahip olduğu enerji kaynaklarını, çeşitlendirmeyi artırarak verimli ve ekonomik kullanması gerekmektedir. Bu neden ile muhtemel rüzgâr enerjisi üretimi bakımından iyi sayılabilecek potansiyellere sahip yerlerde rüzgâr enerji santralleri kurularak değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu açıdan rüzgâr enerji santrallerinin analizlerinde yaygın olarak kullanılan WindPRO programının kullanımı, gerek proje aşamasında zaman tasarrufu sağlaması ve gerekse doğruya yakın sonuçlar vermesi bakımından önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] Global Wind Energy Council (GWEC), Global Wind Report 2015, 2016.
- [2] Turkish Wind Energy Association (TWEA), Turkish Wind Energy Statistics Report, 2016.
- [3] EMD International A/S, WindPRO Software, ver. 2.5, 2006.
- [4] JONSON, G.L., Wind Energy Systems, KS, 2001.
- [5] SEGURO, J.V., LAMBERT, T.W., “Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 85, 75-84, 2000.
- [6] CELİK, A.N., “A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey”, Renewable Energy, 29, 593-604, 2003.
- [7] KARSLI, V.M., GECIT, C., “An investigation on wind power potential of Nurdağı-Gaziantep Turkey”, Renewable Energy, 28, 823-830, 2003.
- [8] AKPINAR, E.K., AKPINAR, S., “Determination of the wind energy potential for Maden-Elazığ Turkey”, Energy Conversion and Management, 45, 2901-2914, 2004.
- [9] OZERDEM, B., TURKELI, M., “An investigation of wind characteristics on the campus of Izmir Institute of Technology Turkey”, Renewable Energy, 28, 1013-1027, 2003.
- [10] KOSE, R., OZGUR, M.A., ERBAS, O., TUGCU, A., “The analysis of wind data and wind energy potential in Kutahya Turkey”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8, 277-288, 2004.
- [11] SAHİN, B., BILGILI, M., AKILLI, H., “The wind power potential of the eastern Mediterranean region of Turkey”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 93, 171-183, 2005.
- [12] GOKCEK, M., BAYULKEN, A., BEKDEMİR, S., “Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli Turkey”, Renewable Energy, 32, 1739-1752, 2007.
- [13] BILGILI, M., SAHİN, B., KAHRAMAN, A., “Wind energy potential in Antakya and İskenderun regions Turkey”, Renewable Energy, 29, 1733-1745, 2004.
- [14] OZERDEM, B., TURKELI, H.M., “Wind energy potential estimation and micro-siting on Izmir Institute of Technology Campus Turkey”, Renewable Energy, 30, 1623-1633, 2005.
- [15] PERSAUD, S., FLYNN, D., FOX, B., “Potential for wind generation on the Guyana coastlands”, Renewable Energy, 18, 175-189, 1999.
- [16] MAYHOUB, A.B., AZZAM, A., “A Survey on the Assessment of Wind Energy Potential in Egypt”, Renewable Energy, 11, 235-247, 1997.
- [17] CELİK, A.N., “A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey”, Renewable Energy, 29, 593-604, 2003.
- [18] NIELSEN, P., WindPRO 2.5 User Guide, 1.edition, Jan. 2006., EMD International A/S, Jan. 2006.
- [19] <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/971-vestas-v90-1.8> (erişim tarihi 26.06.2018)