

## Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampüs Alanının Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi\*

Sedat YAYLA<sup>1</sup>, Hasan YUMAK<sup>1</sup>, Atilla BAYRAM<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 65080 Van, Türkiye

**Özet:** Bu çalışmada; Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanındaki rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi amacıyla kampüs alanına bir adet rüzgar ölçüm direği kurulmuştur. Bu direk üzerine 30 m yüksekliğe bir adet anemometre ve rüzgâr yön sensörü takılmıştır. Burada bir yıl boyunca (Nisan 2004-Mart 2005) ölçülen rüzgar hız ve yön değerleri bir data logger'a kaydedilmiştir. Ölçülen veriler Wasp programı yardımıyla analiz edilerek, bölgenin rüzgâr potansiyeli belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda; 30 m de ortalama rüzgâr hızı 3.87 m/s ve güç yoğunluğu da 78 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Rüzgâr ölçüm verilerinin sonuçlarına göre Vestas V52 (850 kW) türbin seçilmiştir. Seçilen türbin için bölgede bir yılda üretilebilecek enerji miktarı, 30 m yükseklikte ölçülen verilere göre 237 MWh olarak hesaplanmıştır. Rüzgar yönü ölçümleri ise; hakim rüzgar yönünün kuzey-doğu (poyraz) olduğunu göstermiştir. Bu çalışma sonunda; Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanında ölçülen rüzgar hızının ve ilgili parametrelerinin ortalaması, Türkiye ortalamasının üstünde olduğu görülmüştür.  
**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar potansiyeli, rüzgar enerjisi, rüzgar hızı, türbin seçimi.

### Determining Wind Energy Potential of the Campus of Yuzuncu Yil University

**Abstract:** The aim of this study is to determine the wind potential in the campus area of Yuzuncu Yil University. A wind measurement mast was assembled in the campus area. Anemometer and wind vane were mounted at 30 m on this mast. The wind speed and wind vane were measured and data logger during one year (April 2004-March 2005) in the area. The measured data were analyzed with Wasp program and wind potential of the region was determined. As a result of the analysis, it was determined that mean speed was measured to be 3.87 m/s, power density was 78 W/m<sup>2</sup>. According to results of measured data, Vestas V52 (850 kW) turbine was found to be suitable for the area under investigation. It was calculated that this turbine will be able to generate at energy 237 MWh year at 30 m. As for measurements of wind direction, the dominant wind directions were shown to be from northeast. In conclusion, mean of measured wind speed and other parameters depending on it in campus region of Yuzuncu Yil University were determined to be more than mean of Turkey.  
**Key words:** Turbine select, wind potential, wind energy, and wind speed.

#### Giriş

Enerji üretimi ve tüketimi önemli çevre sorunlarına neden olmaktadır. Enerji kaynaklı çevre sorunlarına en iyi çözümlerden biri yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıdır. Rüzgar enerjisi çevre üzerinde olumsuz etkileri en az olan önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Atmosferde bol ve serbest olarak bulunması, yenilenebilir ve temiz bir enerji olması, enerji miktarının rüzgar hızının kübü ile orantılı olması, enerjinin depolanması başka bir enerjiye çevrilmesiyle mümkün olması, çevre kirliliği yaratmaması gibi özellikler, rüzgar enerjisini avantajlı kılmaktadır (Çakmak ve Yıldız, 2003).

Dünyamızda enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık % 4-5 oranında artmaktadır. Buna karşılık günümüzde halen kullanmakta olduğumuz fosil yakıt rezervleri de hızlı bir şekilde tükenmektedir. Ayrıca; fosil yakıtların çevreye vermiş oldukları zararlar, birçok ülkeyi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir.

Ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynakları yönünden oldukça zengindir. Bu enerji kaynaklarının başlıcaları; rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji ve biyomas enerjisidir. Bir çok alanda olduğu gibi, endüstri alanında da büyük gelişmeler kaydeden ülkemiz için de; bu kaynakların başında gelen rüzgar ve güneş, ileri yılların ana enerji kaynağı olmaya adaydır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan, dünyada ve özellikle Avrupa'da büyük bir gelişme içerisinde olan rüzgâr enerjisinin Türkiye'de kullanımı yok denecek kadar azdır. Türkiye'nin teorik olarak rüzgâr enerjisi potansiyeli 83,000MW'dır ve bu potansiyel teorik olarak elektrik üretiminin tamamını karşılayabilecek yeterliliktedir (Çağlar ve ark., 2008).

Yeryüzünün ihtiyaç duyduğu enerjinin tümü güneş'ten alınır. Güneş, yeryüzüne her saat 10<sup>17</sup> kWh'lik enerji yayar. Güneş'ten gelen enerjinin yaklaşık % 1-2'si rüzgar enerjisine dönüşür. Yani rüzgar enerjisi, hız enerjisine (kinetik enerjiye) dönüşmüş güneş enerjisidir denilebilir (Karadeli, 2001).

Karalar, denizler ve atmosfer farklı özgül ısılarına sahip olduğu için, güneşten gelen enerji ile farklı ısı ve sıcaklıklara sahip olurlar. Sıcaklık dağılımı çevresel ve coğrafik koşullara bağlıdır. Yeryüzünde meydana gelen bu sıcaklık farklılıkları ve buna bağlı olarak basınç farklılıkları, rüzgarın oluşmasına neden olmaktadır. Yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru hareket eden hava, rüzgar olarak isimlendirilmektedir.

Rüzgar kaynağı; küresel, bölgesel ve yerel olarak değişmektedir. Küresel rüzgar kaynağı; kutuplar ve ekvator arasındaki hava devinimlerine bağlı olarak oluşan rüzgarlardır. Enerji üretimi açısından denizler, karalar, dağlar ve vadiler arasındaki hava akımlarına dayalı yerel ve bölgesel rüzgarlar çok daha önemlidir.

\*Bu çalışma 2005 tarihinde Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yapılan "Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampüs Alanının Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi" isimli yüksek lisans tezinden özetlenmiştir. Ayrıca bu çalışma Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Proje No 2003-DPT-MİM1, 2007 tarafından desteklenmiştir.

Rüzgar, bilindiği gibi etkileri bakımından yönü, hızı ve frekansı olmak üzere üç belirgin özelliği olan bir iklim öğesidir. Rüzgar yönünün, iklimler ve özellikle günlük hava koşulları bakımından önemi vardır. Çünkü rüzgarlar, kendilerini oluşturan hava kütlelerinin özelliklerine göre sıcaklık, soğukluk ve nem getirirler veya çevreyi kuruturlar. Rüzgarın esme hızı, hava hareketlerinin gücünü gösteren bir işarettir. Hızla esen rüzgarlar, çarptıkları yüzeye bir basınç yaparlar. Rüzgarın esme sıklığına gelince, rüzgar yönleri zaman zaman değişir ve bu değişimler hava koşulları üzerinde önemli etkiler yapar. Bu yüzden rüzgarın hangi yönden ne kadar sıklıkla estiğinin bilinmesi gerekir. Rüzgarın esiş sıklığına, o rüzgarın frekansı denir. Frekans, söz konusu rüzgarın esme süresi veya sayısının, belirli zaman ölçülerine göre % oranı belirtilerek ifade olunur.

Rüzgar enerjisi ve rüzgar potansiyelini belirleme üzerine yerel ve bölgesel bazda bir çok çalışma yapılmış ve bu araştırmalar sonucunda olumlu gelişmeler sağlanmıştır. Rüzgar özelliklerinin, yerel coğrafi farklılık ve yeryüzündeki ısı farklılığı nedeniyle, zamansal ve yöresel olarak farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu yüzden, yüksek kapasitede rüzgar santralleri kurmadan önce, uzun süreli rüzgar ölçümleri ve kapsamlı fizibilite çalışmaları yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla teknik olarak yapılması gereken ilk çalışma, arazi üzerinde en uygun nokta veya noktalara rüzgar ölçüm istasyonu kurularak; rüzgar hızı, rüzgar yönü ve yoğunluğu gibi değerlerin ölçülmesidir (Uçar ve Balo, 2009). Rüzgar enerji sistemlerinin tasarlanabilmesi için; rüzgar karakteristiklerinin ayrıntılı olarak bilinmesi gerekir. Rüzgar hızı ve ilgili parametre ölçümleri kullanılarak bu başarılmıştır. Fakat farklı bölgelerde rüzgar hızı ve yönü değişiklik gösterdiğinden rüzgar enerji sistemlerinin tasarlanması sanıldığından çok daha zor bir iştir. Dünyanın farklı bölgelerinde rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi için bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri de Avrupa rüzgar atlasıdır (Özdemir ve Türkeli, 2003). Rüzgar enerjisi potansiyelinin sağlıklı bir şekilde belirlenebilmesi için, yüzey pürüzlülüğünden en az etkilenen şekilde yüksek direkler ve görüş mesafesinin fazla olduğu yerlere ölçüm istasyonu kurulmalıdır (Altai ve Farrugia, 2003).

Yapılan çalışmalar, Türkiye'de hakim rüzgar yönünün genelde poyraz yönünde olduğunu ve poyraz'ın hakimiyetinin Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında daha fazla olduğunu göstermiştir (Nak, 1990). Başka bir araştırma sonucuna göre de Van ilindeki hakim rüzgar yönünün doğudan ve batıdan esen rüzgarlar olduğu belirlenmiştir. Kış aylarında bariz olarak doğu yönü, hakim rüzgar yönü olurken sıcak aylarda batı yönü hakim duruma geçmektedir (Çelik, 1986). Yapılan çalışmalar atmosferin üst tabakalarında rüzgar hızı dağılımının iki değişkenli normal (Gaussian) eğrisi ile temsil edilebileceği göstermiştir. Şimdiye kadar yapılmış birçok veri işlem yöntemleriyle, özellikle yeryüzüne yakın yerlerde, rüzgar hızı sıklık yoğunluğunun Weibull dağılımına uyduğu ortaya çıkarılmıştır (Şen, 2002). İdeal bir türbin ile üretilen aylık rüzgar enerjisinin tahmin edilebilmesi için, iki parametrelili Weibull dağılım metodunun kullanılması en ideal yöntemdir (Jung Chang ve ark., 2003).

Bu çalışmada, Van ili Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanının rüzgar enerjisi potansiyeli araştırıldı ve bu potansiyele uygun rüzgar türbini seçimi yapıldı. Ayrıca; rüzgar özellikleri, etkileri ve ölçümünü tanımlanırken yaşadığımızdaki büyük önemi de dile getirilmeye çalışıldı.

## Materyal Ve Yöntem

**Rüzgar enerjisi ölçüm direği:** Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanının, rüzgar potansiyelinin ve rüzgar türbin performansının belirlenmesi amacıyla; mikroişlemci kontrollü ölçüm cihazları, standartlara uygun şekilde, 30 m uzunluğunda galvanizli borudan yapılmış olan bir ölçüm direği üzerine takılmıştır (Şekil 1). Bu bölgeye yerleştirilen ölçüm direği 43.28 enlem ve 38.56 boylamında bulunmaktadır. Çizelge 1'de, kullanılan ölçüm direği üzerinde ölçülen parametreler ve ölçüm yükseklikleri verilmektedir.



Şekil 1. Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüsüne kurulan rüzgar ölçüm istasyonu.

Çizelge 1. 30 m'lik ölçüm direği üzerinde ölçülen parametreler ve ölçüm yükseklikleri

Ölçüm Yüksekliği	Ölçülen Parametreler
30 m	Rüzgar hızı
30 m	Rüzgar yönü

**Anemometre:** Rüzgar hızının (30 m) belirlenmesi amacıyla; NRG firmasının üretmiş olduğu "The maximum #40" adlı anemometresi kullanılmıştır. Anemometre, kir ve aşınmaya karşı dirençli teflon malzemeden yapılmıştır. Bu anemometre dikey eksenli olup, 3 adet kupası vardır. Kupanın her bir dönüşü, 4 kutuplu bir mıknatıs tarafından tek bobinde sinüzoidal bir dalga voltajına sebep olur. Rüzgar hızı ile direkt orantılı olarak, kupanın her dönüşü için iki sinüzoidal dalga periyodu üretilir. Bu kupanın bir dakikadaki dönme sayısı, data-logger tarafından sinüzoidal dalga olarak algılanıp kaydedilir. Çizelge 2'de kullanılan anemometrenin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 "The maximum #40" Anemometresinin Özellikleri

Özellikler	Boyutları
Kupa Çapı	51 mm
Rotor Süpürme Çapı	190 mm
Rotorun Eşik Hızı	0.78 m/s

Şekil 2'de kupalı tip bir anemometre verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi kupa geometrisi kar ve yağmuru üzerinde tutmayacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2. Ölçümlerde kullanılan üç kupalı NRG anemometresi.

**Rüzgar yön sensörü (wind vane):** Rüzgar yön sensörü (wind vane); dönüş açısını 12 sektöre bölerek, her sektör üzerinde rüzgarın ne yoğunlukta estiğini gösteren bir rüzgar gülü oluşturur. Böylece bölgeye ait hakim rüzgar yönü belirlenmiş olur. Bu uygulamada NRG firmasına ait 200 sensinden rüzgar yön sensörü (wind vane) kullanılmıştır. Çizelge 3'de kullanılan rüzgar yön sensörünün (wind vane) özellikleri verilmiştir. Ayrıca şekil 3'de rüzgar yön algılayıcısı ve bu algılayıcıdan elde edilen verilerle oluşturulmuş bir örnek rüzgar gülü şekil 4'de verilmiştir.

Çizelge 3. Rüzgâr yön sensörünün (wind vane) özellikleri

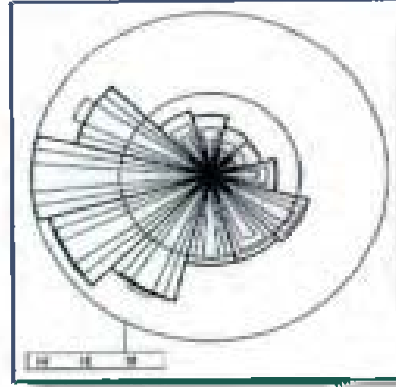
Özellikler	Boyutları
Dönme Açısı	360°
Toplam Uzunluğu	21 cm
Süpürme çapı	27 cm
Toplam Yüksekliği	12 cm
Ağırlığı	0.1 kg
Eşik Hızı	1 m/s

**Data logger:** Ölçüm istasyonunda rüzgar hızı, rüzgar yönü ve atmosferik verileri 30 s aralıklarla ölçüp bunları belleğinde istatistiksel olarak değerlendirip ortalamasını, standart sapmasını, extrem (max ve min) değerleri

10'ar dakikalık zaman periyotlarında kayıt eden, NRG firmasına ait Symphonie data logger kullanılmıştır.



Şekil 3. Rüzgar yön sensörü (wind vane)



Şekil 4. Rüzgar Gülü

Bu data logger verileri standart bir MMC kart üzerine kayıt etmektedir. Symphonie data logger üzerinde 12 adet kanal bulunmaktadır. Yani bu data logger üzerine, 12 adet sensör bağlanabilmektedir. Alınan veriler interface kablosu veya flash kart ile bilgisayara aktarılmıştır. Şekil 5'de kullanılan data logger'ın kapağı açık durumda resmi verilmiştir.



Şekil 5. Ölçüm verilerini değerlendirip kaydeden NRG 9300 model Data Logger.

**Yöntem:** Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanlarında rüzgâr hız ve yön bilgileri ile rüzgâr ölçüm istasyonu çevresindeki engellerden, arazi yüzey pürüzlülüğü ve arazinin topografik özelliklerinden yola çıkılarak; bölgenin rüzgâr atlası istatistiklerinin ve enerji potansiyelinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Danimarka RISO Ulusal Laboratuvarında geliştirilmiş olan ve Avrupa Rüzgâr Atlasını hazırlanmasında kullanılan WASP 8 (Rüzgâr Atlası Analiz ve Uygulama Programı) bilgisayar programı kullanılmıştır. Şekil 7'de bölgenin uydu fotoğrafı verilmiştir.

Rüzgâr ölçüm istasyonundan alınan rüzgâr ölçüm kayıtlarının, bilgisayar ortamında düzeltilmiş halinin ve bu istasyona ait 1/25000 ölçekli harita üzerindeki UTM koordinatlarının, WASP 8 ortamına aktarılıp değerlendirilmesi ile, ilk etapta ölçüm yüksekliğine ait frekans dağılım tablosu elde edilmiştir. Bu tablo yardımıyla ölçüm yüksekliğindeki rüzgârın sektörler (yönlere) göre esme sıklığı, hakim rüzgâr yönü, ortalama rüzgâr hızı, ortalama enerji yoğunluğu ile rüzgâr hız verilerinin Weibull dağılımına uygunluğu ve Weibull parametreleri gibi istatistiksel değerler belirlenmiştir.



Şekil 6. Bölgenin uydu fotoğrafı.

#### Bulgular Ve Tartışma

**Rüzgâr Hız ve Yön Verilerinin Analizi (30 m)**  
**Bölgesel rüzgâr iklim tahmini:** 19 Mart 2004- 23 Mart 2005 tarihlerini kapsayan bir yıllık ölçümler sonucunda elde edilen rüzgâr hızı verilerine göre, Weibull dağılımını kullanarak 5 ayrı yükseklikte 4 ayrı pürüzlülük değerindeki için ölçek (skala) parametresi, şekil parametresi, en olasılıklı hız ve güç yoğunluğu gibi parametrelerin alacağı değerler Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Bölgesel rüzgâr iklim özeti (30 m)

Yükseklik	Parametre	0.00	0.03	0.10	0.40
		m	m	m	m
	Weibull A (m/s)	6.4	4.4	3.9	3.1

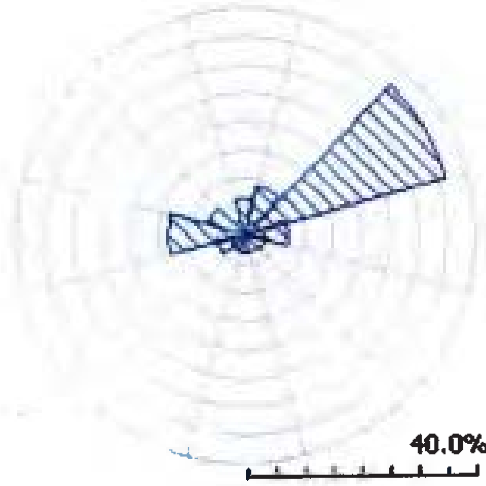
10.0 m	Weibull k	2.03	1.73	1.74	1.75
	Ortalama hız [m/s]	5.64	3.94	3.45	2.72
	Güç Yoğunluğu [W/m <sup>2</sup> ]	207	84	56	27
25.0 m	Weibull A [m/s]	7.0	5.3	4.8	4.0
	Weibull k	2.08	1.85	1.85	1.84
	Ortalama hız [m/s]	6.17	4.71	4.25	3.58
50.0 m	Güç Yoğunluğu [W/m <sup>2</sup> ]	265	133	98	58
	Weibull A [m/s]	7.5	6.1	5.6	4.9
	Weibull k	2.13	2.04	2.02	1.98
100.0 m	Ortalama hız [m/s]	6.63	5.44	4.98	4.31
	Güç Yoğunluğu [W/m <sup>2</sup> ]	320	184	143	95
	Weibull A [m/s]	8.1	7.3	6.7	5.9
200.0 m	Weibull k	2.08	2.19	2.22	2.23
	Ortalama hız [m/s]	7.17	6.43	5.92	5.20
	Güç Yoğunluğu [W/m <sup>2</sup> ]	415	286	220	148
	Weibull A [m/s]	8.9	9.0	8.2	7.1
	Weibull k	2.00	2.13	2.16	2.19
	Ortalama hız [m/s]	7.91	7.96	7.28	6.33
	Güç Yoğunluğu [W/m <sup>2</sup> ]	580	554	419	273

**Ölçülen rüzgâr karakteristikleri:** Rüzgâr ölçüm istasyonunda (RÖİ) 30 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı verileri analiz edilerek ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu hesaplanmıştır. Elde edilen bu verilerin Weibull dağılımına uygunluk gösterdiği Çizelge 5'de görülmektedir. Ayrıca Çizelge 5'de ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğunun ölçülen değerleri ile Weibull dağılımı yardımıyla hesaplanan değerleri arasında 5%'den az bir sapma olduğu için, Weibull dağılımına uygunluk gösterdiği görülmektedir (Çalışkan, 2001).

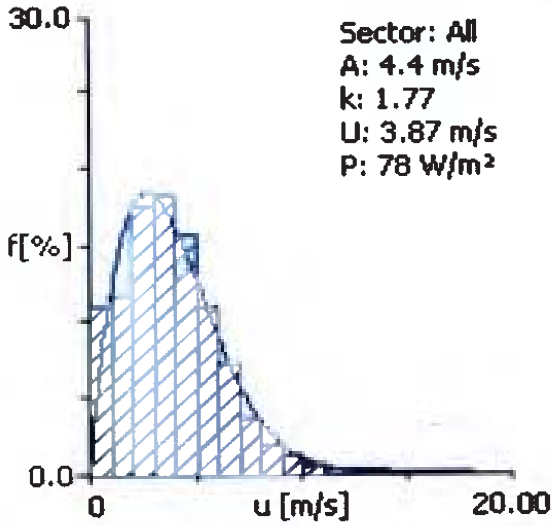
Çizelge 5. Rüzgâr hızlarının ölçülen değerleri ile Weibull dağılımının karşılaştırılması

Birim	Ölçülen	Weibull	Sapma (%)
m/s	3.79	3.87	2.08
W/m <sup>2</sup>	77.21	77.74	0.68

Şekil 7'de görülen rüzgâr gülünde, rüzgâr esme sıklığının en fazla olduğu yönün poyraz olduğu görülmektedir. Şekil 8'de de 30 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı verilerine göre olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği ve rüzgâr parametrelerinin değerleri verilmiştir.



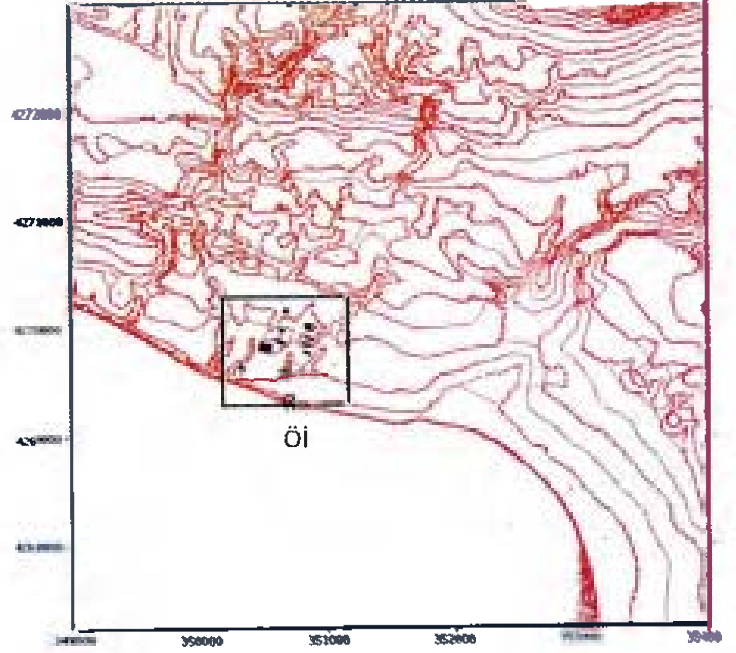
Şekil 7. RÖİ'de 30 m için esme sıklığına göre oluşan rüzgar gücü.



Şekil 8. RÖİ'de 30 m için olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği.

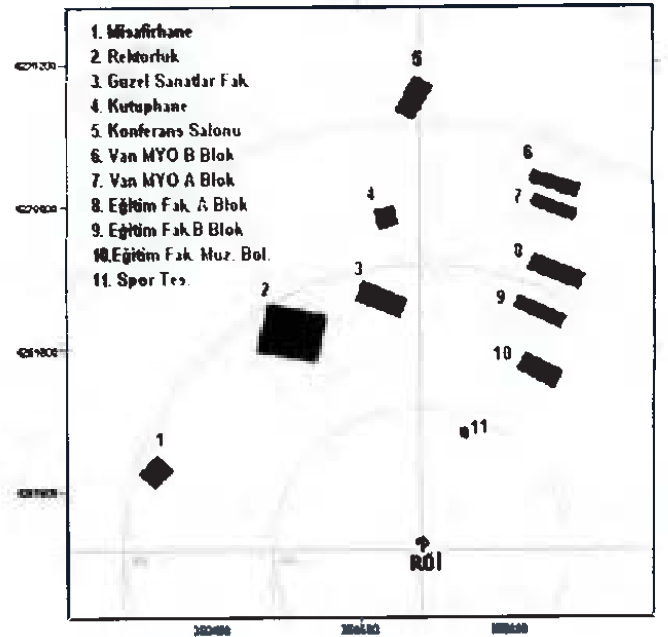
Çizelge 6'da rüzgar esme sıklığının en fazla 60° açıda olduğu görülmektedir. Burada kuzey yönü 0 olarak baz alınmıştır ve bütün açılar saat ibresi yönünde verilmiştir. Ayrıca bu çizelgede; rüzgar ölçüm istasyonunda 30 m'de şekil parametresi, skala (ölçek) parametresi, ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu gibi parametrelerin sektörlere bağlı değerleri verilmektedir.

Rüzgar ölçüm istasyonu etrafında bulunan çevresel engelleri gösteren bölgenin 1/25000 ölçekte sayısal verilerden (Selçuk, 2003) faydalanılarak sayısallaştırılmış haritası Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Bölgenin 1/25000 ölçekte sayısallaştırılmış haritası.

**Çevresel engeller ve topoğrafik yapı:** Yakın çevresel engellerin RÖİ'ye bakan yüzlerinin iki köşesinin, RÖİ'ye olan mesafesi R1, R2 ve RÖİ ile yaptıkları açı ise A, A'dır. Kuzey yönü sıfır derece kabul edilerek saat ibresi yönünde engel açıları belirlenmiştir. Gözeneklilik ise, engellerin rüzgarı geçirme oranıdır. Bölgedeki engellerin, sadece binalardan oluştuğu ve binaların rüzgarı hiç geçmediği göz önüne alınarak geçirgenlik değeri 0 alınmıştır. Şekil 10'da rüzgar ölçüm istasyonu etrafında çevresel engellerin mesafe ve açı değerleri girilerek oluşturulan bölgenin şekli gösterilmiştir.



Şekil 10. RÖİ etrafında bulunan yakın çevresel engeller.

Çizelge 6. Sektörlere göre rüzgar hızı parametrelerinin değerleri (30 m)

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Tüm
A	3.5	3.1	4.7	3.0	3.1	5.2	4.5	2.9	3.6	4.9	5.6	3.8	4.4
k	1.59	2.00	2.36	1.45	1.45	1.36	1.20	1.03	1.14	2.18	2.75	1.57	1.77
U	3.18	2.75	4.14	2.70	2.85	4.79	4.22	2.91	3.41	4.38	5.01	3.44	3.87
E	50	24	71	34	40	213	184	84	107	91	114	64	78
f	6.6	8.9	36.2	7.1	3.3	3.2	3.0	3.0	5.3	13.6	7.0	2.7	100

**Bölgenin tahmin edilen enerji potansiyeli:** Rüzgar ölçüm istasyonunu ve analiz alanını göz önüne alınarak, tüm bölgeye ait rüzgar parametrelerinin ortalama, minimum ve maksimum değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Rüzgar hızları ve maliyet göz önünde bulundurularak; Vestas V52 (850 kW) türbin, bölge için uygun görülmüştür. Çizelge 7'de, seçilen bu türbine göre hesaplanan yıllık enerji potansiyelinin de ortalama, minimum ve maksimum değerleri verilmiştir.

Çizelge 7. Rüzgar parametrelerinin tüm bölge için 55 m'de tahmin edilen ortalama, minimum ve maksimum değerleri (30 m)

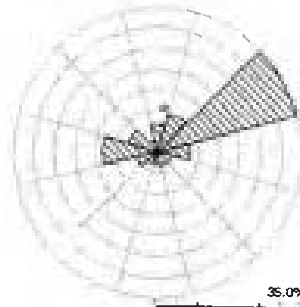
Parametreler	Ortalama	Minimum	Maksimum
Weibull-A	6.3 m/s	6.0 m/s	6.6 m/s
Weibull-k	2.06	2.03	2.10
Ortalama hız	5.56 m/s	5.35 m/s	5.83 m/s
Güç yoğunluğu	195 W/m <sup>2</sup>	171 W/m <sup>2</sup>	224 W/m <sup>2</sup>
Yıllık enerji potansiyeli (AEP)	1381 MWh	1243 MWh	1558 MWh
Rakım	1676.7 m	1646.0 m	1732.5 m

Wasp programı; sayısallaştırılmış harita yardımıyla sadece rüzgar ölçüm istasyonunun olduğu yeri değil, bölgenin topoğrafik yapısına bağlı olarak 500 m ile 100 km arasında bir bölgenin de Weibull yardımıyla analizini yapmaktadır. Yüzcüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanına yerleştirilen rüzgar ölçüm istasyonunun kapsadığı tüm alan için, Weibull dağılımı ile analiz edilen parametreler Çizelge 7'de verilmiştir.

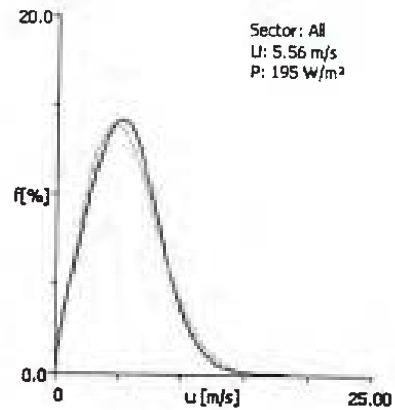
30 m yükseklikte yapılan rüzgar hızı ölçüm verileri ve maliyet göz önünde bulundurularak, Vestas V52 (850 kW) türbin, bölge için uygun görülmüştür. Bu türbinin rotor çapı 52 m ve hub yüksekliği 55 m'dir.

Şekil 11'de; 55 m yükseklikte tahmin edilen esme sıklığına göre oluşturulan rüzgar gücü gösterilmiştir. Şekil 12'de ise; 30 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızları

göz önünde bulundurularak, 55 m yükseklik için hesaplanan ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri ve bu değerlere göre çizilen Weibull grafiği gösterilmiştir.



Şekil 11. Seçilen türbin yüksekliğinde esme sıklığına göre oluşturulan rüzgar gücü.



Şekil 12. Seçilen türbin yüksekliğinde olasılık yoğunluk grafiği.

Çizelge 8'de, Vestas V52 (850 kW) türbinin sektörlere göre rüzgar parametrelerinin aldığı değerler verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi, gerçek enerji potansiyelinin en yüksek olduğu yön 3. sektör yani kuzeydoğu (poyraz)'dur. Bu sektörde üretilebilecek gerçek enerji potansiyeli 100 MWh'tır.

Çizelge 8. Seçilen türbin için her bir sektöre göre rüzgâr parametrelerinin aldığı değerler (30 m)

Sektör	Açı [°]	Frekans [%]	Weibull-A [m/s]	Weibull-k	Hız [m/s]	Güç Yoğunluğu [W/m <sup>2</sup> ]	Yıllık Enerji Potansiyeli [MWh] (İdeal Türbin)	Yıllık Enerji Potansiyeli [MWh] (Gerçek Türbin)
1	0	6.6	5.7	1.96	5.07	155	76	12
2	30	9.7	5.3	2.35	4.74	108	80	17
3	60	34.6	6.5	2.88	5.82	174	480	100
4	90	7.7	4.6	1.82	4.05	86	48	9
5	120	3.5	4.6	1.69	4.14	100	25	4
6	150	3.2	7.1	1.48	6.46	457	68	7
7	180	3.1	6.2	1.31	5.68	380	52	6
8	210	3.0	4.4	1.23	4.13	164	28	3
9	240	5.2	5.2	1.38	4.79	208	63	8
10	270	13.3	7.1	2.65	6.31	233	237	43
11	300	7.1	8.2	3.26	7.38	331	180	34
12	330	2.9	6.6	1.97	5.88	241	48	7
Tüm			6.3	2.06	5.56	195	1387	237

### Sonuç

Bu çalışmada, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Zeve kampüsü alanına yerleştirilen bir gözlem istasyonunda; 30 m'de rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı bir yıl süre ile ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda, rüzgâr hızlarının Weibull dağılımına uygunluk gösterdiği saptanmıştır. Bir yıllık rüzgâr hız ve yön verileri, Wasp programı yardımıyla analiz edilmiş ve bu analiz ışığında bölgede 30 m'de ortalama rüzgâr hızı 3.87 m/s olarak bulunmuştur. Güç yoğunluğu ise 78 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu programa; bölgenin sayısallaştırılmış haritası ve çevresel engeller girilerek rüzgâr hız ve güç yoğunluğu hesapları, sayısallaştırılmış harita yardımıyla yüzey pürüzlülükleri hesaba katarak yapılmıştır. Yapılan rüzgâr yönü ölçümleri; esme sıklığına ve güç yoğunluğuna göre, hâkim rüzgâr yönünün poyraz olduğunu göstermiştir. Rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu verilerini göz önünde bulundurarak bölgede çalıştırılacak uygun bir türbin seçimi yapılmıştır. Seçilen türbin Vestas V52 (850 kW)'dir. Bu türbinin; ideal şartlarda bu bölge için yıllık, 30 m'de 1387 MWh ve gerçek bölge şartlarında 237 MWh enerji üretebileceği Wasp programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu bölge içerisinde enerji potansiyeli en yüksek olan yerin; (351246,4272327) ile (351743,4271850) UTM koordinatları arasında kalan alan olduğu görülmüştür.

Türkiye'nin Ege denizi kıyısı boyunca rüzgâr enerji potansiyelini belirlemek için; kıyı boyunca çeşitli noktalara kurulan 10 m uzunluğundaki ölçüm istasyonlarında ölçülen yıllık ortalama rüzgâr hızlarının ortalaması 3.83 m/s ve yıllık ortalama güç yoğunluklarının ortalaması 99.2 W/m<sup>2</sup>'dir. Ayrıca Türkiye'nin Ege, Marmara, Karadeniz gibi değişik bölgelerinde kurulan 10 m uzunluğundaki ölçüm istasyonlarında yapılan ölçümler sonucunda yıllık ortalama rüzgâr hızlarının ortalaması 2.58 m/s ve yıllık ortalama güç yoğunluklarının ortalaması 25.82 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Aras, 2003).

Bu sonuçlar ışığında; Yüzüncü Yıl Üniversitesi Zeve Kampüsü alanında rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi amacıyla ölçülen rüzgâr parametrelerinin; Türkiye genelinde ölçülen rüzgâr parametrelerinin ortalamasının çok üstünde olduğu ve Türkiye'nin en fazla rüzgâr alan bölgesi olarak bilinen Ege bölgesinde ölçülen rüzgâr parametrelerinin ortalamasına yakın olduğu görülmüştür.

### Kaynaklar

- Aras, H., 2003. Wind Energy Status and Its Assessment in Turkey. *Renewable Energy*. 28 (2003) 2213-2220.
- Altai, K., Farrugia, R. N., 2003. Wind Characteristics on the Caribbean Island of Puerto Rico. *Renewable Energy*. 28 (2003) 1701-1710.
- Çağlar, Ü., Cengiz, C., Çakan, E., Onan, M. T., Kocaoğlu, Ş., 2008. Türkiye'nin Atıl Enerji Kaynağı: Rüzgâr Enerjisi. 2. Ulusal İktisat Kongresi / 20-22 şubat 2008 / DEÜ İİBF İktisat Bölümü / İzmir-Türkiye.
- Çakmak, G., Yıldız, C., 2003. Diyarbakır İli Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Rüzgâr Türbini Tasarımı. III. Gap ve Sanayi Kongresi Bildiriler Kitabı. 381-388.
- Çelik, N., 1986. Van'ın İklim Analizi (Yüksek Lisans Tezi). I Ü, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Klimatoloji ve Meteoroloji Bilim Dalı, Yay. No:123, İstanbul.
- Güney, İ., Sağlam, Ş. 2001. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Kullanım Durumu ve Bir Türbin Tasarım Örneği. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Kayseri. 165-169 s.
- Karadeli, S., 2001. Rüzgâr Enerjisi. Temiz Enerji Vakfı. Sayı No: 011584.
- Nak, A., 1990. İstanbul'da Rüzgâr Analizi (Yüksek Lisans Tezi). I Ü, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Klimatoloji ve Meteoroloji Bilim Dalı, Yay. No:309, İstanbul. 89.
- Jung Chang, T., Ting Wu, Y., Yi Hsu, H., Ren Chu, C., Min Liao, C., 2003. Assessment of Wind Characteristics and Wind Turbine Characteristics in Taiwan. *Renewable Energy*. 28 (2003) 851-871.
- Özdemir, B., Turkeli, M., 2003. An Investigation of Wind Characteristics on The Campus of Izmir Institute of Technology, Turkey. *Renewable Energy*. 28 (2003) 1013-1027.
- Şen, Z., 2002. İstatistik Veri İşleme Yöntemleri (Hidroloji ve Meteoroloji). Su Vakfı Yayınları, İstanbul. 208-216 s.
- Ucar A, Balo F., 2009. Investigation of wind characteristics and assessment of wind-generation potentiality in Uludağ-Bursa, Turkey. *Applied Energy*. 86: 333-9.