

RÜZGÂR TÜRBİNİ TAHMİNİ YILLIK ENERJİ ÜRETİM HESAPLAMA YÖNTEMLERİ ve ARAZİYE UYGUN RÜZGÂR TÜRBİNİ SEÇİMİ

Ersin Şekerci¹

Monier Elfarra²

Can Albasan³

^{1,2}Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü

³Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnönü Bulvarı, 06531, Ankara

¹ e-posta: esekerci@modelenerji.com ² e-posta: monier@parsmakina.com

³ e-posta: calbasan@modelenerji.com

Anahtar sözcükler: Rüzgâr Enerjisi, Weibull parametreleri, Yıllık enerji üretim tahminleri,

ABSTRACT

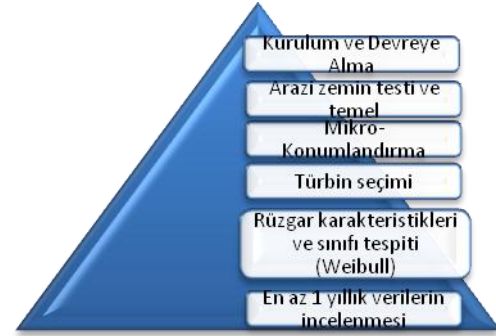
For a maximum power output, the wind turbines should be selected according to the wind characteristics of the terrain. The most suitable the wind turbine, the higher the annual energy production is expected. The selection is based on wind speed data collection measured for at least one year. In this study, two methods for the calculation the annual energy production are addressed. The first method is based on the Weibull distribution while the second one is based on Rayleigh distribution. In addition to that, the correct selection of the wind turbine according to the terrain wind characteristics is proposed.

1. GİRİŞ

Weibull ve Rayleigh fonksiyonları kullanılarak, araziye yerleştirilmesi planlanan rüzgâr türbinlerinin tahmini yıllık enerji üretim (YEÜ) hesaplarının yapılması ve arazinin rüzgâr değerlerine göre, uygun rüzgâr türbini seçiminin yapılması konuları işlenmiştir.

2. GENEL BAKIŞ

Rüzgâr santrali kurulumu hem çevresel, hem insani, hem ekonomik ve hem de teknik açıdan değerlendirmesi gereken bir husustur. Yıllık enerji üretim hesaplama yöntemlerine değinmeden önce, rüzgâr çiftliği projelerinde göz önünde bulundurulması gereken iş akış sırasının basit bir özetini grafik 1 de görebilirsiniz:



Grafik.1 Rüzgâr çiftliği planlaması

Rüzgâr çiftliği projesinin başlangıç noktası, teknik olarak rüzgâr hızı verilerinin toplanması ile başlamaktadır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken hususlar; rüzgâr ölçüm direğinin ve ölçüm ekipmanlarının, uluslararası normlara uygun olması ve etraftaki engellerden etkilenmeyecek bir şekilde dikilerek ölçümlerin yapılmasıdır. Bu aşamadan sonra, **en az 1 yıl** süre ile rüzgâr hız ölçümleri yapılarak, bu verilerin incelenmesi, doğruluklarının araştırılması gerekmektedir. Rüzgâr hız ölçümlerinin sıresinin uzatılması ve eğer arazi geniş bir yer kaplıyorsa, farklı noktalarda rüzgâr ölçüm direkleri dikilerek veri toplanması, rüzgâr santrali projesinin riskini azaltmaktadır. Aynı zamanda, arazinin yakınlarında meteoroloji için rüzgâr verileri alınan istasyonlar mevcut ise, bu verilerin de değerlendirmeye alınması ve uzun süreli tahminlerin yapılması gerekmektedir. Ülkemizdeki yapılan bazı rüzgâr ölçümlerinde, çok fazla anemometre ve kalibrasyon hatasına rastlanmıştır. Bu yüzden özellikle rüzgâr ölçümü ve data değerlendirmede alanında uzman firmalarla iş birliği yapılması gerekmektedir. Böyle büyük yatırım yapacak yatırımcının, projesi için iyi ve uzman firmalarla fizibilite çalışması yapması gereklidir. Resim.1 de Genivar firmasına ait rüzgâr ölçüm direğinin resmi görülmektedir.[7]



Resim.1 Genivar şirketinin ölçüm direği[7]

Veriler incelendikten sonra, arazinin rüzgâr karakteristiği ve sınıfının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu adım, RES (Rüzgâr Enerjisi Santrali) yatırımları için çok büyük önem taşıyan bir aşamadır. Çünkü, arazinin rüzgâr karakteristiği ve sınıfı, rüzgâr türbini seçiminde en önemli kriterdir. **Arazi sınıfına** uygun, farklı rüzgâr türbini üreticilerine ait rüzgâr türbinlerinin seçimi yapıldıktan sonra, Mikro-konumlandırma dediğimiz, rüzgâr türbinlerinin birbirinden ve etrafındaki engellerden en az şekilde etkilenecek şekilde yerleştirilmesi anlamına gelen aşama gerçekleştirilir. Mikro-konumlandırma, aday rüzgâr türbini seçiminden sonra yapılması önerilen bir işlemdir. Çünkü, rüzgâr türbinleri yerleştirirken birbirlerinden en az şekilde etkilenmeleri için **kanat çapı** ve **kule yüksekliği** gibi bilgilerin bilinmesine gerek vardır. Mikro-konumlandırma sonucunda bulunan çiftlik verim değerleri ve daha önce belirlenen rüzgâr karakteristiği değerleri (ortalama hız, Weibull parametreleri ...) göz önünde bulundurularak, tahmini yıllık enerji üretim hesapları gerçekleştirilir. Bu değerlendirmeler sonunda en verimli türbin seçilir. Türbin seçimi yapılırken, tercih edilen rüzgâr türbininin performansı, referansları, garantileri, servis ve bakım imkânlarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ayrıca, RES arazisi, bir yerleşim yerine yakınsa, gölgeleme haritasını ve ses haritasını da çıkarmak, yatırımın geleceği için önemli bir husustur.

Yıllık enerji üretim değerleri, yatırım için çok büyük bir önem taşımaktadır. RES yatırımcısı, proje finansmanını ve yatırımın geri dönüş süresini yıllık enerji üretim hesaplarından elde edilen bilgilere göre yapabilmektedir.

RES projelerinde bundan sonraki aşama, arazi zemini testi ve bu zemin testi sonrasında temel atılmasıdır. RES projelerinin son aşamasında, rüzgâr türbinlerinin sahaya nakledilmesi için arazi ve güzergâhtaki iyileştirmeler, sonrasında da, kurulum ve devreye alma yer almaktadır. Bu süreç işlerken, rüzgâr çiftliğinin şebeke bağlantısının altyapısı da düzenlenir.

Görüldüğü üzere, rüzgâr santrali yatırımlarında önemli hususlardan birincisi, rüzgâr çiftliği yapılacak arazinin rüzgâr karakteristiği ile rüzgâr türbininin uyuşmasıdır. İkincisi ise, araziye konulacak rüzgâr türbinlerinin

arazide tahmini yıllık enerji üretim hesaplarının güvenilir ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesidir.

3. ARAZİYE UYGUN RÜZGÂR TÜRBİNİ SEÇİMİ

Ülkemizdeki rüzgâr enerjisi, genel anlamda, uluslararası türbin üreticileri tarafından tam olarak değerlendirilememektedir. Bunun en önemli nedeni, Türkiye’de rüzgârın çoğunlukla düşük hızlarda esmesi ve dolayısıyla, yüksek hızlı rüzgarlar için tasarılan rüzgâr türbinlerinin ülkemizin RES yatırımlarına uygun bölgelerinde dahi düşük bir performans ile çalışmalarını yapmaktadır. Bunun en büyük sebebi ise arazinin rüzgâr karakteristiğinin rüzgâr türbinini ile uyuşmamasıdır. Tablo.1 de IEC’ye göre, rüzgârların hızlarına göre sınıflandırması yer almaktadır:

Türbin Sınıfları	Sınıf I	Sınıf II	Sınıf III	Sınıf IV	Sınıf S
Ortalama hız (m/sn)	10	8.5	7.5	6	Özel
Dayanılabilir azami rüzgâr hızı (10 dk ortalaması) (m/sn)	50	42.5	37.5	30	Özel
Dayanılabilir azami rüzgâr hızı (3 sn ortalaması) (m/sn)	69.5	59.5	52.5	42	Özel

Tablo.1 IEC’ye göre türbin sınıfları

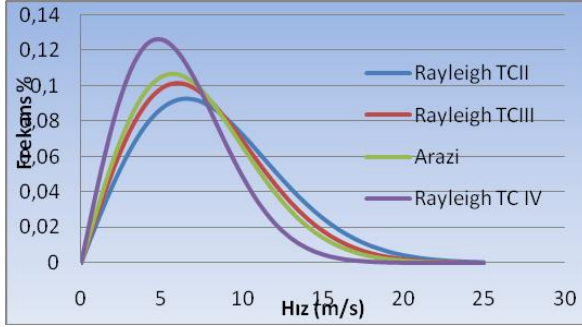
Avrupalı rüzgâr türbini üreticileri, daha çok Avrupa’da yaygın olan rüzgâr hızlarına, yani sınıf I ve sınıf II tip rüzgârlara uygun türbinleri üretmektedirler. Ülkemizde, özellikle 70 ve 100 metre yüksekliklerde 12 ay boyunca esen rüzgâr hızları incelendiğinde, rüzgâr değerleri açısından en kuvvetli bölgelerde bile, sınıf III tip rüzgâr hızlarının yaygın olduğu görülmektedir.

Tablo.1’de görüldüğü üzere, yıl boyunca esen rüzgârlar hızlarına göre sınıflara ayrılmaktadırlar. Bu sınıflandırma aslında, rüzgâr enerjisinin verimliliğini, yani rüzgârdan enerji elde etmek için tercih edilecek rüzgâr türbininin uygun sınıfta bir rüzgâr türbini olmasının gerekliliğine işaret etmektedir. Mesela “sınıf I” türü rüzgârlara uygun bir türbin, verimli çalışabilmek için, “sınıf II” ve “sınıf III” türü rüzgârlara kıyasla çok daha yüksek rüzgâr hızlarına ihtiyaç duymaktadır. Bu da, rüzgâr türbininin, yapısal olarak daha ağır ve daha büyük olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Buna karşın, III“ sınıf rüzgarlar için dizayn edilmiş rüzgâr türbinleri, yapısal olarak daha hafiftir. Çünkü, maruz kaldığı rüzgâr hızları, “sınıf I” rüzgârlara kıyasla çok daha düşüktür. Buna karşın, “sınıf III” rüzgarlara göre dizayn edilmiş türbinler, düşük rüzgâr hızlarında çalışmaları nedeni ile, bu hızlarda daha fazla enerji üretebilmek için, daha fazla alanı süpürebilmek durumundadırlar.

Dolayısı ile, bu sınıf türbinler daha uzun kanatlara sahip olmaktadır. Sonuç olarak, araziye uygun rüzgâr türbini seçimi, hem performans açısından hem de rüzgâr türbini ömrü açısından çok önemlidir.

Arazi ve rüzgâr türbini uyumunu karşılaştırmak için diğer bir değerlendirme ise arazideki rüzgâr hızlarının frekans dağılımı ve Sınıf I, Sınıf II, Sınıf III ve Sınıf IV rüzgâr hızlarının frekans dağılımlarını aynı grafik üstünde karşılaştırılması ile gerçekleştirilmektedir.

Aşağıda yer alan Grafik.2, gerçek bir arazi değerlendirmesine aittir.



Grafik.2 Arazi ve rüzgâr türbini sınıfı değerlendirilmesi

Bu grafikte görüldüğü üzere, arazideki rüzgâr hızları sınıf III ve sınıf IV arasında bulunmakla birlikte, sınıf III'e çok daha yakındır. Yalnız, bu değerlendirmede rüzgâr türbini yapısal olarak incelenmemektedir. Söz konusu grafik sadece "performans" konusunda, RES arazisinin hangi rüzgâr sınıfına daha yakın olduğu konusunda bize yol göstermektedir.

Sonuç olarak, RES arazisinin rüzgâr karakteristiği ile rüzgâr türbininin uyumu, verim açısından çok önemlidir. Bu durumun sağlanamaması halinde, RES yatırımlarının geri dönüş sürelerinde uzamalar söz konusu olacaktır.

4. TAHMİNİ YILLIK ENERJİ ÜRETİMİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ:

Dünyada hali hazırda yıllık enerji üretimlerinin hesaplanmasında birçok program kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları arasında WasP (Rüzgâr Atlası Analiz ve Uygulama programı) ve WindRose programları bulunmaktadır. Danimarka RISO Ulusal Laboratuvarında geliştirilmiş olan WasP programının, rüzgâr çiftliği planlaması, rüzgâr verilerinin değerlendirilmesi, mikro-konumlandırma ve tahmini yıllık enerji üretimi hesapları gibi konularda değişik modülleri bulunmaktadır [2]. WasP, Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından da tavsiye edilen programlar arasında bulunmaktadır [3]. WindRose programı ise, Visual Basic kodlamasıyla yazılmış, ara yüz olarak Excel programı kullanan ve herkes tarafından kolayca kullanılabilir bir programdır. WindRose programına arazinin rüzgâr verilerini girerek, rüzgâr değerlendirilmesi ve tahmini yıllık enerji üretimlerinin hesaplanması gerçekleştirilebilmektedir [4].

Rüzgâr türbinlerinin yıllık enerji üretimi hesapları için iki farklı girdiye ihtiyaç vardır. Bunlardan birincisi, rüzgâr türbini güç eğrisi değeridir. Güç eğrisi değerleri, rüzgâr türbininin kanat tasarımına, mekanik ve elektriksel kayıplara bağlıdır. Her rüzgâr türbini modelinin farklı bir kanat yapısı ve sonuç olarak farklı güç eğrisi değerleri bulunmaktadır. Rüzgâr türbininin yıllık enerji üretim değerlerini hesaplamak için ikinci girdi olarak da, araziye ait rüzgâr verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Aşağıda, Denklem 1'de, yıllık enerji üretim değerlerinin genel hesaplama yöntemi görülmektedir.[5]

$$E_{tot} = \int_{v_{min}}^{v_{max}} P_g \times f(v) \times 8760 \times dv \quad \text{Denklem.1}$$

E_{tot} :	Yıllık Üretilen Toplam Enerji [kWsaat]
P_g :	Rüzgâr Türbini Güç Eğrisi Fonksiyonu [kW]
$f(v)$:	Rüzgâr Hızı Olasılık Fonksiyonu
V_{max} :	Rüzgâr türbininin devreden çıkma hızı (m/sn)
V_{min} :	Rüzgâr türbininin devreye girme hızı (m/sn)

Yukarıdaki formülden anlaşıldığı üzere, integral içinde, arazideki rüzgârlara ait değerler ($f(v)$) ile rüzgâr türbininin güç eğrisi değerleri (P_g) birbirleriyle çarpılarak değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmede dikkat edilecek sınırlar, rüzgâr türbinine ait devreye girme ve devreden çıkma hızlarıdır.

Genel yöntemde gösterilen rüzgâr hızı olasılık fonksiyonu olarak günümüzde iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi Weibull dağılımı, ikincisi ise Rayleigh dağılımıdır. Tahmini yıllık enerji üretimi hesaplarında iki farklı yöntemin kullanılmasının nedeni, rüzgâr hızı olasılık fonksiyonundan kaynaklanmaktadır.

4.1 Weibull Dağılımı

Denklem 2'de Weibull dağılım fonksiyonu görülmektedir. [5]

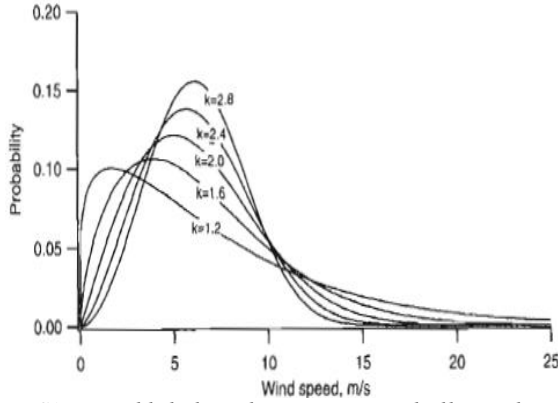
$$hw(V) = \frac{k}{A} \times \left(\frac{V}{A}\right)^{k-1} \times e^{-\left(\frac{V}{A}\right)^k} \quad \text{Denklem 2}$$

k	: Şekil parametresi (Rüzgâr hızı dağılım şeklini gösteren parametre)
A	: Ölçek parametresi (Rüzgâr hızı için bağlı kümülatif frekans)
$hw(V)$: Rüzgâr hızı olasılık yoğunluğu fonksiyonu

Yukarıda Weibull dağılım fonksiyonu görülmektedir. Burada parametreleri daha ayrıntılı açıklamak gerekirse :

k (Şekil Parametresi): Rüzgâr sıklığını gösteren bir parametredir. Bir arazide rüzgâr hızı çok fazla değişiklik göstermiyorsa, yani rüzgâr hızı yaklaşık olarak sabit bir hızla esiyorsa (düşük veya hızlı olabilir) k parametresi büyüktür. Grafik.3'de ortalama

hızı 8 m/sn olan, ama farklı k değerleri için Weibull dağılımı görülmektedir.[5]



Grafik.3 Farklı k değerlerine göre Weibull Dağılımı

A (Ölçek parametresi): Bağıl kümülatif rüzgâr hızı frekansını göstermektedir. Basit bir deyişle, A parametresi ortalama hıza bağlı olarak değişir. Ortalama hız yüksek ise, A parametresi de yüksektir.

Weibull parametrelerini (k ve A) bulmak için arazinin rüzgâr verilerine ihtiyaç vardır. Zira, bu veriler ile hesaplar yapılarak k ve A parametreleri bulunmaktadır. Bu parametreleri bulmak için analitik ve deneysel denklemler kullanılmaktadır. Aşağıda bu denklemler görülmektedir. [5]

$$k = \left(\frac{\sigma_u}{U} \right)^{-1.096} \quad \text{Denklem.3}$$

$$A = U \times \left(0.568 + \frac{0.433}{k} \right)^{-\frac{1}{k}} \quad \text{Denklem.4}$$

σ_u : Standard Sapma
U: Ortalama Hız

Sonuç olarak, rüzgâr verileri ayrıntılı bir şekilde incenip yukarıdaki hesaplar gerçekleştirildikten sonra Weibull parametrelerine ulaşılmaktadır.

4.2 Rayleigh Dağılımı

Denklem.5'de Rayleigh dağılımı fonksiyonu görülmektedir.

$$h_R = \frac{\pi}{2} \times \frac{V}{V_{mean}^2} \times e^{\left[-\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{V}{V_{mean}} \right)^2 \right]} \quad \text{Denklem.5}$$

Denklem 5'de görüldüğü üzere, Rayleigh dağılımında bilinmeyen tek parametre ortalama hız parametresidir. Bütün bu değerlendirmeler sonucunda rüzgâr hızı olasılık fonksiyonunu oluşturma konusunda iki alternatif bulunmaktadır. Bundan sonra, Denklem 1' e bu değerler yerleştirilerek tahmini yıllık enerji üretim değerleri bulunabilir. Ayrıca, daha doğru sonuçlara ulaşabilmek için, Denklem.1'deki integral matematiksel olarak değerlendirilip, bilgisayar

ortamında farklı kodlarla (Visual Basic, Fortran, Pascal...) yazılarak üretim değerleri hesaplanabilir.

Tablo.2'de Model Enerji ve Pars Makina mühendisleri tarafından yazılan ve geliştirilmekte olan Visual Basic lisansında yazılmış olan kodun, Weibull ve Rayleigh dağılımlarını kullanarak hesaplanan yıllık enerji üretim değerleri görülmektedir. Bu hesaplarda kullanılan arazide rüzgâr hızı verileri:

Ortalama Hız: 7,963m/sn
k parametresi: 2,244
A parametresi: 8,993
Yoğunluk: 1,225 m/sn²

Tablo.2'de Model Enerjiye ait ME82/1,65 modeli türbinin hem Weibull hem de Rayleigh dağılımları kullanılarak arazide üreteceği tahmini yıllık enerji üretim değerleri gösterilmektedir.

Dağılım	YEÜ (kWsaat)
Weibull	7.059.157,598
Rayleigh	7.072.512,471

Tablo.2 Farklı rüzgâr hızı fonksiyonlarına göre tahmini Yıllık Enerji Üretim (YEÜ) değerleri

Tablo.2'de farklı rüzgâr hızı dağılımları kullanılarak yapılan tahmini yıllık enerji üretim hesapları sonuçları görülmektedir.

Tablo.2'de göz önünde bulundurulması gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Öncelikle, arazinin sıcaklık, basınç ve nem değerleri göz önüne alınarak yoğunluk hesapları gerçekleştirilmelidir. Rüzgâr türbini firmaları güç eğrisi değerlerini açıklarken, yoğunluk olarak deniz seviyesindeki değeri, yani 1.225m/sn² değerini kullanmaktadırlar. Yalnız, yoğunluk azaldıkça bu güç değerlerinde azalmalar olacaktır. Bir başka önemli husus ise, mikro konumlandırma kayıplarında Tablo.1'deki değerler göz önüne alınmamıştır. Son olarak bilinmesi gereken bir konu da, rüzgâr türbininde mikro konumlandırma dışında bazı başka kayıplar da olacaktır. Bunlardan bazıları; şebekeye bağlanma kayıpları, buzlanma ve sıcaklık yükselmesi kaynaklı kayıplar, bakım süreci kayıpları ve devreden çıkma kayıplarıdır.

Sonuç olarak; günümüzde yıllık enerji üretim hesapları Weibull dağılımı fonksiyonları kullanılarak yapılmaktadır. Çünkü Weibull dağılımında rüzgâr sıklık değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Ama Rayleigh dağılımında ise fonksiyon sadece ortalama hızı göz önünde bulundurularak oluşturulmaktadır.

5.SONUÇ

Rüzgâr çiftliği yatırımlarında göz önünde bulundurulması gereken çok önemli noktalar vardır. Özellikle arazinin rüzgâr karakteristiği ile bu araziye konulacak rüzgâr türbinin uyumu verim ve performans açısından çok önemlidir. Diğer yandan; rüzgâr türbinlerinin arazide tahmini yıllık enerji üretim hesaplarının güvenilir ve doğru şekilde

yapılması dikkat edilmesi gereken bir husustur. Özellikle bu hesaplarda rüzgâr hızı olasılık fonksiyonu olarak Weibull dağılımın kullanılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Tony Burton, 2001, ‘Wind Energy Handbook’
- [2] www.wasp.dk/index.htm
- [3] www.eie.gov.tr/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_pot_ansiye.html
- [4] www.cres.gr/windrose/joomla/index.php
- [5] J. F. Manwell J. G. Morgan A. L. Rogers,2002, Wind Energy Explained Theory , Design and Application’
- [6] Martin O. L. Hansen, 2008, ‘Aerodynamics of Wind Turbines’
- [7] www.genivar.com/en/index.asp