

Rüzgar Enerjisi Kaynağı ve Belirsizlik (*)

M. Barış Özerdem

İzmir Ekonomi Üniversitesi Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü

baris.ozerdem@ieu.edu.tr

Ülkemiz ciddi bir rüzgar enerjisi kaynağına sahiptir. Rüzgar kaynak belirleme değerlendirmelerinin yapıldığı fizibilite çalışmalarında belirsizlikleri dikkate alarak sahanın yaşam döngüsü analizi çerçevesinde enerji üretiminin kestirilmesi, yapılacak yatırımların başarısı açısından çok önemlidir. Bu çalışmada rüzgar enerjisi üretimine ait tüm belirsizlikler ele alınmakta, belirsizliklere bağlı olarak kestirimi yapılan rüzgar enerjisi üretimi örneklemelerle değerlendirilmektedir.

1. GİRİŞ

Bir ülkenin kalkınması açısından enerji kullanımının artması çok önemlidir. Bu nedenle, gerek birincil enerji gerekse de elektrik enerjisi açısından ülkemizdeki talep sürekli olarak artmaktadır. Bu artış, ne yazık ki, ülkemiz için beraberinde dışa bağımlılığı da getirmektedir. Birincil enerjide bu değer %70'leri aşarken, elektrik enerjisi üretiminde %60'lar seviyesindedir [1]. Bu oranlar bize, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarımıza yoğun bir şekilde önem vermemiz gerektiğini net bir şekilde göstermektedir. Bu yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş ve bunun bir türevi olan rüzgar enerjisi ülkemiz için ön plana çıkmaktadır. Yıllık ortalama değerlere göre, ülkemiz ciddi bir rüzgar enerjisi kaynağına sahiptir. Bu enerjinin en optimum bir şekilde kullanılması için de rüzgar kaynak belirleme çalışmaları, kurulacak rüzgar santralinin planlanması ve ekonomik fizibilite açısından çok

önemli olmaktadır. Rüzgar kaynağının belirlenip değerlendirildiği süreçlerin amacı hedef sahadaki enerji üretimi potansiyelinin kestirilmesidir. Bu konuda son yıllarda yapılmış akademik çalışmalar literatürde mevcuttur.

Rüzgardan enerji elde edilmesi stokastik prensiplere göre olup, istatistiksel analizleri içerir. Belirsizlik analizleri de bunun bir parçasıdır. Bu belirsizliklerin geliştirilecek her saha için ayrı ayrı belirlenmesi ve hesaplanması gerekmektedir. Deterministik ile Monte Carlo yöntemleri, bu hesaplamalar için kullanılan en yaygın yöntemlerdir [2,3]. Bu yöntemlerle belirsizlikler, rüzgar çiftliklerinde üretilebilecek tahmini yıllık enerji miktarları bakımından aşma olasılıkları olarak belirtilirler. Çünkü, finans kuruluşları bu tür enerji yatırımlarına kredi verirken, tahmini üretim değerlerindeki hata marjlarının en küçük değerlerde olmasını isterler. Pek çok uygulamada üretim değerinin, projedeki olabilecek tüm belirsizlikler dikkate alındığında, %90 olasılıkla elde edilmesi veya geçmesi beklenmektedir. Bu değer istatistikte P90 olarak belirtilir. Belirsizlik değerlerinin azaltılarak üretim tahminlerinin doğruluğunun arttırılması için, belirsizliğe yol açan bu temel kaynakların bilinmesi çok önemlidir [4,5].

Rüzgar kaynağı belirleme çalışması şu aşamalardan oluşmaktadır: Ön değerlendirme: sahanın jeolojisi ve mevcut engeller değerlendirilir. Sahada ölçülen veriler: kullanılan veri ölçüm ekipmanları ve direk. Hız

ölçer, yön ölçer, sıcaklık, basınç ve nem sensörleri ile veri kayıt cihazı. Hedef sahanın uzun dönem tahmini verileri: Rüzgar verileri günlük, mevsimlik ve yıllar arası değişimler gösterir. Bu yüzden 1 yıllık ölçüm verileri sahayı tam olarak temsil etmeyebilir. Bunun önüne geçmek için yukarıda belirtilen değişimleri içerecek 20-30 yıllık verilere ihtiyaç duyulur.

Hedef sahanın enerji kaynağının belirlenmesi için kullanılan yöntemlerin tüm adımlarında belirsizlikler mevcuttur. Bu belirsizliklerin hepsi sonuçta türbin güc eğrisini, dolayısıyla kestirimi yapılan enerji üretimini etkilemektedir. Bu alanda yapılan çalışmalarda olasılık yöntemleri etkin bir şekilde kullanılmaktadır [6]. Bu çalışmalarda, dikey ekstrapolasyon, rüzgar kaynağı belirsizliği, ölçüm cihazları belirsizlikleri gibi hususlar sıkça dikkate alınmaktadır.

2. HATA VE BELİRSİZLİK ÇEŞİTLERİ

Hata ölçülen değerle gerçek değer arasındaki farktır. Rastgele ve sistematik hatalar olarak iki çeşittir. Rastgele hata A tipi belirsizliğe neden olur ve istatistiksel hata olarak da adlandırılır. İstatistiksel modeller kullanılarak tahmin edilebilirler. Bu hatalar ölçüm sayısı arttırılarak azaltılabilir. Sistematik hata cihaz kalibrasyonundan, yanlış veri toplamaktan ve cihazın uygun kullanılmamasından kaynaklanır. Bunlar B tipi belirsizliklere neden olurlar. Belirsizlikleri ise en genel haliyle, rüzgar kaynağı ve enerji üretimi belirsizlikleri olarak iki alt grupta inceleyebiliriz.

2.1. Rüzgar Kaynağı Belirsizliği

Ölçüm direği, buna monte edilen sensörler ve bunların yerleşim yerleri ile tüm kullanılan cihazların kalibrasyonlarının belirsizliklerini içerir. Bu değerlerin enerji üretimi belirsizlik değerine dönüşümü için hassasiyet faktörünün bilinmesi gerekir. Çünkü, rüzgar hızı ve enerji üretimi arasında doğrusal bir ilişki mevcut değildir. Rüzgar kaynağı belirsizliğinin bileşenlerinden biri kullanılan ölçüm cihazlarının hassasiyetidir. Bunların kaliteli olması, doğrudan sonuçların da daha az belirsizliğe sahip olmasına neden olur. Bu tür belirsizlik % 1-6 arasındadır [7]. Kullanılan cihazların, özellikle de rüzgar hızı ölçüm cihazlarının, kalibrasyonlarında belirsizlik değerleri yüksek olabilmektedir. Bu nedenle MEASNET rüzgar hızı ölçüm cihazlarının kalibrasyonlarında, ölçülen değerlerin referans hıza göre değişiminin en fazla % 0.5 olmasına izin vermektedir. Bu da belirsizlik değerinin küçük olmasına neden olmaktadır. Cihazların ölçüm direğine montaj durumları da belirsizliğe etki yapmaktadır. Bu bozucu etkinin en aza indirilmesi için cihazların ölçüm direğinden belli uzaklıklarda olması gerekir. Bu durumda belirsizlik % 0.5 değerini geçmemektedir. Rüzgarın uzun süreli veriler kullanılarak tahmini de belirsizliğe yol açan başka bir husustur. Uzun süre üç yıldan fazla periyodları kapsamaktadır. Gerçek saha ile referans saha ölçüm değerleri arasındaki korelasyon belirsizliği determinasyon katsayısı (R²) ile ilişkilendirilerek kaynaklarda verilmektedir. Aşağıdaki tablo bu ilişkiyi göstermektedir [8]

Tablo 1. Determinasyon katsayısına karşılık gelen belirsizlik değerleri.

Determinasyon Katsayısı (R ²)	Belirsizlik (%)
≥ 0.9	≤ 1
0.9 - 0.8	1 - 2
0.7 - 0.6	3 - 5

Gelecek yıllardaki rüzgarın değişkenliği ile ilgili belirsizlik değerleri 10 yıl için % 1.4, 25 yıl içinse % 2.2 'dir [9]. Belirsizlik değerinin seviyesini belirleyen başka bir husus da arazinin kompleksliği, yerel pürüzlülükler ve engeller ile ölçüm direği ile yerleşimi yapılacak türbinlerin mesafeleridir. Bu değerlerin % 3 -6 arasında olduğu kaynaklarda belirtilmektedir [10].

2.1. Enerji Üretimi Belirsizliği

Her bir rüzgar hızına karşılık gelen güç çıktısı değeri rüzgar türbini güç eğrisi olarak adlandırılır. Bu güç eğrisi enerji üretimi tahmini için en temel parametredir. Ancak arazinin farklı yapısı akışın farklı özellikler göstermesine neden olabilir. Bu da güç çıktısını etkiler. Kaynaklar bu belirsizliğin güç eğrisi ölçüm testi yapıldığında % 4-6 arasında, güç eğrisi ölçüm testi yapılmadığında % 8-10 arasında olduğunu göstermektedir [10]. Elektrik enerjisi kayıpları da bu tür belirsizliğe etki eden önemli bir durumdur.

3. BELİRSİZLİK HESAPLAMA

Belirsizlik hesaplamaları için kullanılan iki yöntem mevcuttur: Deterministik Yaklaşım ve Monte Carlo Analizi. Deterministik yöntem giriş ve çıkış belirsizlikleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabulüne dayanır. Karekök veya kuadratik ortalama alınarak herbir belirsizlik hesaba katılır. Monte Carlo yöntemi ise stokastik yaklaşım içerir ve tüm sistemin davranışını simüle etmeye çalışır. Bu simüle edilen çıktıların dağılımından belirsizlikler tahmin edilmeye çalışılır. Bu yöntem doğrusal olmayan belirsizlik ilişkilerini de dikkate almaktadır.

Yıllık tahmini enerji üretimini belirlerken tüm belirsizliklerin dikkate alınması gerekmektedir. Net yıllık enerji üretimi normal Gaussian dağılımının ortalama değeri iken, toplam belirsizlik standart sapma değeridir. Hesaplanan yıllık net enerji üretim

değeri P₅₀

olarak adlandırılır ve değerlerin % 50 olasılıkla aynı veya aşırısı olacağı anlamına gelir. Genel anlamda, enerji üretim dağılımı olasılığı normal Gaussian dağılımı şeklinde Denklem (1)'de gösterildiği gibi verilir. Grafiksel gösterim de Şekil 1'de gösterildiği gibidir.

$$f(E) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(E-E_m)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Burada,

f (E): Üretilen enerji değeri olasılığını (%),

E_m : Normal Gaussian dağılımının P₅₀ 'ye karşı gelen değerini,

σ : Tahmini olarak belirlenen üretilen enerjinin standart sapma değerini göstermektedir.

Belirli bir olasılık seviyesindeki üretilen enerji miktarını bulmak için, normal dağılım tabloları ve belirli olasılık değerlerine karşı gelen "z" değerleri birlikte kullanılır. Belirlenen olasılık değerine karşılık gelen enerji üretim değeri Denklem (2) ile bulunmaktadır.

$$P_x = P_{50} * (1 - z * \text{Toplam Belirsizlik}) \quad (2)$$

Burada,

P_x : Arzulanan olasılık değerine karşılık gelen net enerji üretimi,

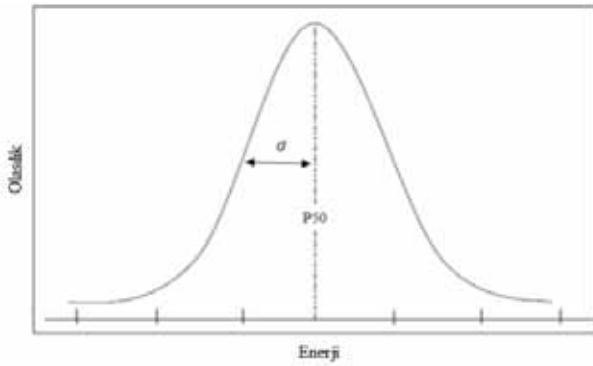
z : Olasılık tablosundaki değerdir.

Tablo 2'de çeşitli olasılık değerlerine karşı gelen "z" değerleri verilmektedir.

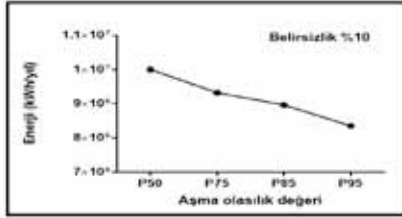
Aşma olasılık değeri (%)	"z" değeri
99	2.326
95	1.645
90	1.282
85	1.036
80	0.842
75	0.674
50	0
25	0.674

Tablo 2. Olasılık değerlerine karşılık "z" değerleri.

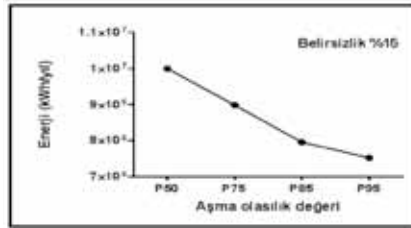
Toplam belirsizlikteki artış, üretim



Şekil-1 : Üretilen enerjinin olasılık normal dağılımı



Şekil 2. Toplam belirsizlik %10 için değişik olasılık değerlerine karşı üretilen enerji



Şekil 3. Toplam belirsizlik %15 için değişik olasılık değerlerine karşı üretilen enerji

değerindeki aşma olasılık değerinin P_{50} 'den daha fazla farklılaşması anlamına gelip, daha büyük oranda azalmasına sebep olmaktadır. Toplam belirsizlik değerinin genel olarak % 15'i aşmaması istenir.

4. ÖRNEK BİR DURUM ÇALIŞMASI

Bir rüzgar projesinde, P_{50} 'e karşılık olarak üretilmesi tahmin edilen yıllık enerji miktarı 10,000,000 kWh olsun. Toplam belirsizlik değerlerinin %10 ve %15 olması durumlarında, P_{75} , P_{85} ve P_{95} 'a karşılık gelen enerji değerlerini hesaplamak isteyelim.

Yukarıda belirtilen Denklem 2 ve Tablo 2 değerleri kullanılarak bulunan değerler Tablo 3'de gösterilmektedir.

Bu hesaplamaları grafik şeklinde de gösterebiliriz. Şekil 2 ve 3'de bu grafikler gösterilmektedir. Görüldüğü gibi olasılık değeri ve toplam belirsizlik arttıkça tahmini üretim değeri azalmaktadır.

5. SONUÇ

Bir rüzgar çiftliği fizibilite çalışması yapılırken belirsizliklerin çok doğru tespit edilmesi hayati öneme sahiptir. Dolayısıyla rüzgar ölçüm ekipmanları ile sistemlerinin kaliteli olmasının

getirdiği maliyet artışı yapılacak yatırım maliyeti düşünüldüğünde çok küçüktür. Bu nedenle en iyi kalite rüzgar ölçüm cihazlarının kullanılması ve bunların çok doğru bir şekilde kalibre edilmeleri gereklidir. Türbin lokasyonları ile ölçüm yapılan direğin arasındaki mesafenin çok olmaması gereklidir. Bu mesafeler topoğrafyanın düz veya engebeli, kompleks olmasına göre değişmektedir. Literatürdeki kaynaklar bu mesafelerin en fazla 2-6 km arasında olması gerektiğini belirtmektedirler. Belirsizliklerin uygun değerlerde tutulabilmesi için seçilen akış modellerinin de uygun olması gereklidir. Yine literatürdeki kaynaklar düz topoğrafyalar için doğrusal modelleri önerirken, engebeli, kompleks topoğrafyalar için hesaplamalı

akışkanlar dinamiği modellerinin kullanımını önermektedirler.

KAYNAKLAR

- [1] MMO Enerji Çalışma Grubu, 2016. Türkiye'nin Enerji Görünümü, MMO Yayınları, No: 659, Ankara.
 - [2] Zhang, M. H. 2015. Wind resource assessment and micro-siting. John Wiley & Sons, New York.
 - [3] Brower, M. 2015. Wind flow modeling uncertainty: Theory and application to monitoring strategies and project design. EWEA Resource Assessment Workshop. Albany, USA.
 - [4] IEC 61400-12-1. 2005. Evaluation of uncertainty in measurement: Wind turbines – Part 12-1, Switzerland, 39-40.
 - [5] Tucer, R. 2016. Investigation of Potential Reasons to Account for the Underperformance of an Operational Wind Farm. M.S. Thesis, Uppsala University, Sweden.
 - [6] Lackner, M.A., et al. J.F., 2007. Uncertainty analysis in wind resource assessment and wind energy production estimation. Proc. of 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 1222.
 - [7] Pedersen, T.F., et al. 2002. Wind Turbine Power Performance Verification in Complex Terrain and Wind Farms. Risø National Laboratory Report. Denmark.
 - [8] GL Garrad Hassan. 2011. Uncertainty Analysis. WindFarmer Theory Manual. Garrad Hassan & Partners Ltd. England, 36-39.
 - [9] NYSEDA. 2010. Wind Resource Assessment Handbook. New York State Energy Research and Development Authority.
 - [10] Lira, A. G. 2012. Analysis of Uncertainties in the Estimate of the Wind Farms Energy Production. M.S. Thesis, Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil.
- (*)4. İzmir Rüzgar Sempozyumu ve Sergisi'nde sunulan bildiridir.

P_{50} (kWh/yıl)	Toplam belirsizlik	P_{75} (kWh/yıl)	P_{85} (kWh/yıl)	P_{95} (kWh/yıl)
10,000,000	% 10	9,326,000	8,964,000	8,355,000
P_{50} 'ye göre fark (%)		-6.74	-10.36	-16.45
10,000,000	%15	8,989,000	7,960,000	7,532,500
P_{50} 'ye göre fark (%)		-10.11	-20.4	-24.67

Tablo 3. Olasılık ve toplam belirsizlik değerlerine göre enerji üretiminin değişimi.