

4. İzmir Rüzgâr Sempozyumu // 28-30 Eylül 2017 // İzmir

# RÜZGAR ENERJİSİ KAYNAĞI VE BELİRSİZLİK

**Prof. Dr. Barış Özerdem**

İzmir Ekonomi Üniversitesi  
Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü  
baris.ozerdem@ieu.edu.tr

# İÇERİK

1. GİRİŞ
2. HATA VE BELİRSİZLİK ÇEŞİTLERİ
  - 2.1. Rüzgar Kaynağı Belirsizliği
  - 2.2. Enerji Üretimi Belirsizliği
3. BELİRSİZLİK HESAPLAMA
4. ÖRNEK BİR DURUM ÇALIŞMASI
5. SONUÇ



# 1. GİRİŞ

- 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.

## Devam...

- ▶ Gerek birincil enerji gerekse de elektrik enerjisi açısından ülkemizdeki talep sürekli olarak artmaktadır. Bu artış, ülkemiz için beraberinde dışa bağımlılığı da getirmektedir. Birincil enerjide bu değer %70'leri aşarken, elektrik enerjisi üretiminde %60'lar seviyesindedir.
- ▶ Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş ve bunun bir türevi olan rüzgar enerjisi ülkemiz için ön plana çıkmaktadır.
- ▶ Bu enerjinin en optimum bir şekilde kullanılması için de rüzgar kaynak belirleme çalışmaları, kurulacak rüzgar santralinin planlanması ve ekonomik fizibilite açısından çok önemli olmaktadır.



## Devam...

- ▶ Rüzgardan elde edilen enerji hesaplamaları 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
- ▶ 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.

## Devam...

- ▶ Rüzgar kaynağı belirleme çalışması şu aşamalardan oluşmaktadır:
  1. Ön değerlendirme: sahanın jeolojisi ve mevcut engeller değerlendirilir.
  2. Sahada ölçülen veriler: kullanılan veri ölçüm ekipmanları ve direk.
  3. 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.



## 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 artırılarak 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 değer 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



## Devam..

- ▶ Rüzgar hızı ölçüm cihazlarının, kalibrasyonlarında belirsizlik değerleri yüksek olabilmektedir. Bu nedenle MEASNET rüzgar hızı ölçüm cihazlarının kalibrasyonlarında, ölçülen değerin referans hıza göre değişiminin en fazla % 0.5 olmasına izin vermektedir.
- ▶ 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. Gerçek saha ile referans saha ölçüm değerleri arasındaki korelasyon belirsizliği determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) ile ilişkilendirilerek kaynaklarda verilmektedir

Tablo 1: Determinasyon katsayısına karşılık gelen belirsizlik değerleri.

Determinasyon Katsayısı	% Belirsizlikler
$\geq 0.9$	$\leq 1$
0.9 - 0.8	1 - 2
0.7 - 0.6	3 - 5



## Devam...

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

## 2.2. Enerji Üretimi Belirsizliği

- Her bir rüzgar hızına karşılık gelen güc çıkıtısı değeri rüzgar türbini güc eğrisi olarak adlandırılır. Bu güc eğrisi enerji üretimi tahmini için en temel parametredir. Ancak arazinin farklı yapısı akışın farklı özellikler göstermesine neden olabilir. Bu da güc çıkıtısını etkiler. Kaynaklar bu belirsizliğin güc eğrisi ölçüm testi yapıldığında % 4-6 arasında, güc eğrisi ölçüm testi yapılmadığında % 8-10 arasında olduğunu göstermektedir. 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.
- 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.

## Devam...

- ▶ 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 değerin % 50 olasılıkla aynı veya aşırısı olacağı anlamına gelir.
- ▶ Genel anlamda, enerji üretim dağılımı olasılığı normal Gaussian dağılımı şeklinde verilir.



Devam...

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

## Devam...

Belirli bir olasılık seviyesindeki üretilecek enerji miktarını bulmak için, normal dağılım tabloları ve belirli olasılık değerlerine karşı gelen “z” değerleri birlikte kullanılır.

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

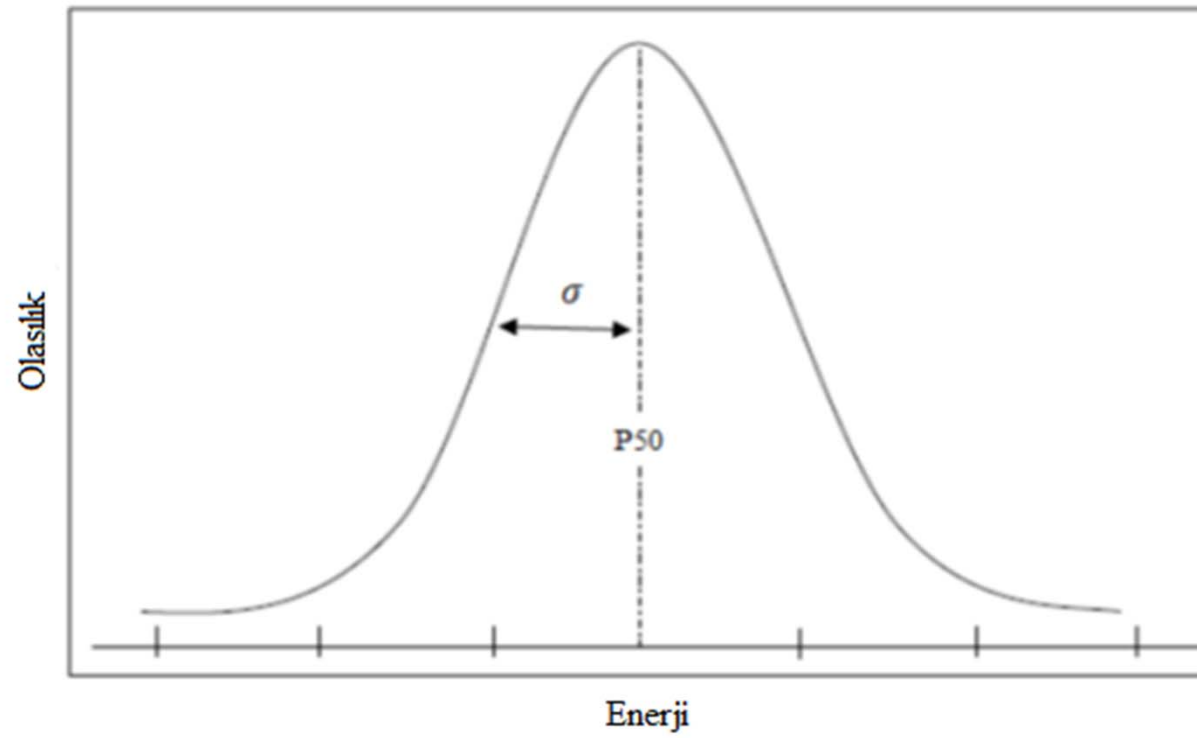
Burada,

$P_x$  : Arzulanan olasılık değerine karşılık gelen net enerji üretimi,

$z$  : Olasılık tablosundaki değer dir.



Devam...



Devam...

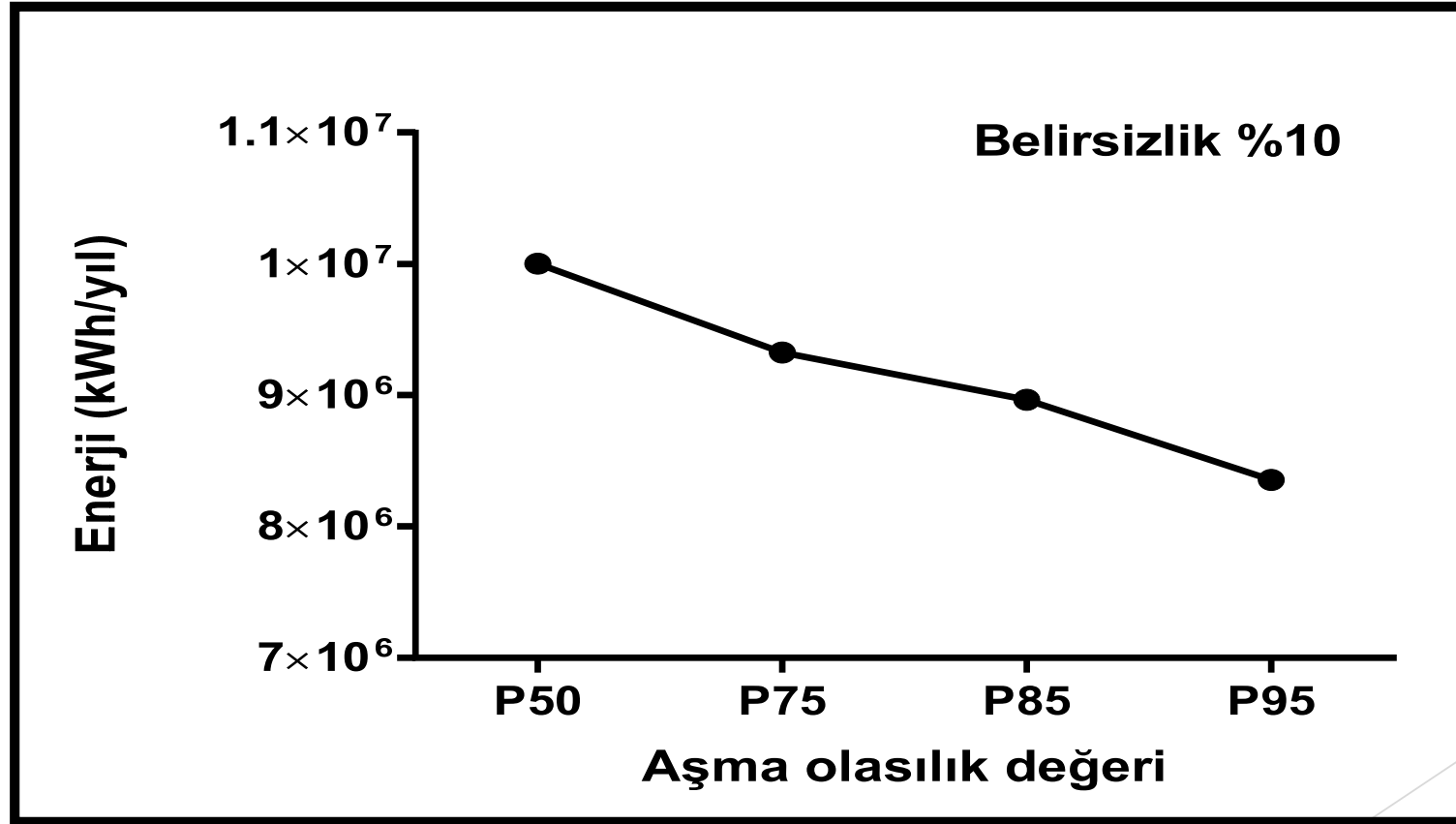
Aşma olasılık değeri (%)	"z" değeri
99	2.326
95	1.645
90	1.282
85	1.036
80	0.842
75	0.674
50	0
25	0.674



## 4. ÖRNEK BİR DURUM ÇALIŞMASI

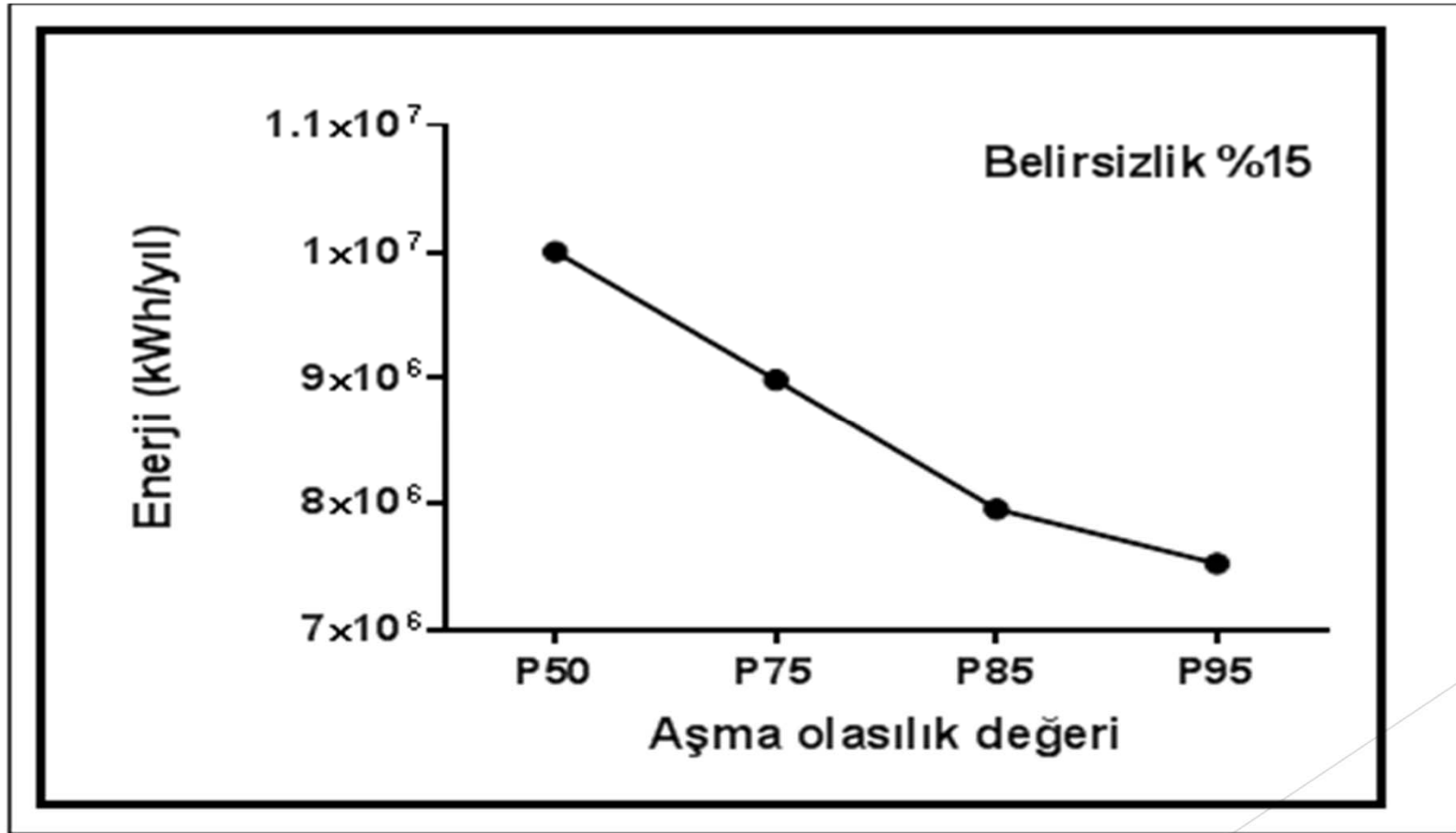
P <sub>50</sub> (kWh/yıl)	Toplam belirsizlik	P <sub>75</sub> (kWh/yıl)	P <sub>85</sub> (kWh/yıl)	P <sub>95</sub> (kWh/yıl)
10,000,000	% 10	9,326,000	8,964,000	8,355,000
P <sub>50</sub> 'ye göre fark (%)		-6.74	-10.36	-16.45
10,000,000	%15	8,989,000	7,960,000	7,532,500
P <sub>50</sub> 'ye göre fark (%)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

Devam...





Devam...



## 5. SONUÇ

- ▶ Bir rüzgar çiftliği fizibile 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.



SORULAR ?

► İLGİNİZ İÇİN ÇOK TEŞEKKÜRLER...