

RÜZGÂR ÖLÇÜMLERİNDEN ENERJİ ANALİZİNE UZANAN SÜREÇTE DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN NOKTALAR VE BUNLARIN BELİRSİZLİK ANALİZİNE ETKİLERİ

Şule ERKOÇ¹

ÖZET

Rüzgâr enerji santral projeleri ömür süreleri, proje geliştirme, inşaat ve işletme olarak üç ana fazdan oluşmaktadır. Her bir evre kendi içinde ürün, servis, hizmet, planlama ve kaynak analizi bazında çeşitli riskleri barındırmaktadır. Santrallerin riskleri indirgenmiş şekilde işletme sürecine getirilmesi ve işletme sürecinde de indirgenmiş ve tanımlanabilir riskler ile devam ettirilmesi, rüzgâr enerji santralleri projelerine finansman sağlayan kuruluşlar tarafından bir ön koşul olarak sunulmakta ve yatırımcılar da planlanan bütçe ve zaman planı dâhilinde projelerini gerçekleştirmek için büyük bir hassasiyetle bu hususları göz önünde bulundurmaktadırlar. Bu bildiride rüzgâr enerji santralleri proje geliştirme sürecinde, kaynak analizi araştırmaları kapsamında yapılan yıllık üretim değeri hesaplamalarının belirsizliklerini en asgari düzeye çekmek için yapılması gerekenler özet şeklinde sunulmaktadır.

1. GİRİŞ

Ana başlıklar altında incelendiğinde proje geliştirme süreci aşağıda listelenmiş olan adımları genel olarak içermektedir.

- Proje geliştirmeye uygunluğu, rüzgâr kaynağı, şebeke bağlantısı, inşaat, izinsel ve idari açıdan açıdan ön değerlendirmeler ile belirlenmiş bir saha seçilmesi
- Rüzgâr kaynağının değerlendirilmesi
- Sahaya uygun türbin tipinin belirlenmesi
- Ön dizayn
- İnşaat, izinsel ve idari etkilerin değerlendirilmesi
- Finansal modelleme
- Planlama aşamasına geçilmesi

Bu adımlar içerisinde rüzgâr kaynağının hesaplanması süreci, yıllık enerji hesap tahminlerini içermekte ve oluşan belirsizlikler büyük oranda rüzgar ölçümlerinin süresi ve kalitesi ile ilintili olmaktadır.

1. RÜZGÂR PRENSİPLERİ

Atmosferik sınır tabakasında rüzgârın temel özellikleri:

- Ortalama hızın yükseklikle birlikte artması
- Yükseklikle değişimin yüzey pürüzlülüğü ve topoğrafyaya bağlı değişimi
- Tüm yüksekliklerde türbülans olması

şeklinde özetlenebilir.

¹ Borusan-EnBW Enerji

Sabit yüzey pürüzlülüğüne sahip düz alanlar için rüzgâr hızının yükseklikle değişimi log yasası ya da modifiye log yasası – ve bir ölçüye kadar da güç yasası- kullanılarak tanımlanabilir. Yüzey topoğrafik açıdan karmaşık hale gelince yüzey pürüzlülüğündeki değişiklikler ya da geometriye bağlı hızlanmalar nedeniyle bu ifadeler geçerliliklerini yitirirler. Tüm bu faktörleri göz önünde bulunduran rüzgar akışı modelleme yazılımları tüm bu faktörleri hesaba katar ve rüzgar çiftliği analizleri için yapılacak rüzgar tahminlerini tüm yüzey tipleri için mümkün kılar.

Pürüzlülük boyu muhtemelen rüzgârın davranışını tahmin ederken en çok gereken parametredir. Maalesef ki; sağlıklı bir biçimde belirlenmesi en zor parametrelerden biridir. z_0 değerini belirlemek için kullanılacak çeşitli yollar mevcuttur. Çok bilinen bir yaklaşım mantık yürütmek ve z_0 değeri ölçümlerle belirlenmiş alanlarla kıyaslama yapmaktır.

Tablo 1. Pürüzlülük değerleri

Yüzey tipi	Z_0 (m)	α
Çamur yüzeyler, buz	0.00001	
Durgun deniz	0.0001	
Kum	0.0003	0.10
Kar yüzeyi	0.001	
Çıplak toprak	0.005	0.13
Kısa otlar, step	0.01	
Ekilmemiş toprak	0.03	
Açık tarım alanı	0.05	0.19
Koruma şeritleri	0.3	
Orman ve ağaçlıklar	0.5	
Banliyö	0.8	
Şehir	1	0.32

2. RÜZGÂR ÖLÇÜMLERİ

Rüzgar kaynağının belirlenebilmesi amaçlı, proje sahasında gerçekleştirilecek olan rüzgarın hızı, yönü ve sahaya ilişkin diğer meteorolojik değerlerin ölçülmesinde temel olarak aşağıda listelenmiş olan içerik kapsamında dikkat edilmesi gereken hususlar ve uyulması gereken kurallar mevcuttur.

- Meteoroloji direkleri
- Ölçüm ekipmanları
- İzlenebilirlik gereklilikleri
- Veri toplama, kontrol ve arşivleme

Türbinler tarafından algılanacak tipik rüzgar hızlarını ölçebilmek için gerekli olan direk sayısı ve bu direklerin dağılımı aşağıdaki tablodaki bilgiler dahilinde yapılmalıdır.

Tablo 2. Meteorolojik Ölçüm direği sayısı belirleme kriteri

Yüzey	En yakın direk ve herhangi bir öngörülen türbin lokasyonu arasındaki maksimum tavsiye edilen mesafe
Basit – örn. Oldukça düz ama bazı pürüzlülük değişimleri gözlenmekte	2-5 km
Kısmen karmaşık– örn. Tepeler ya da ormanlar gibi büyük pürüzlülük etkileri	1-2 km
Çok karmaşık – örn. Dağ tepeleri	<1 km

Bunu direklerin kısa süreli (6 ay gibi) kullanımı ile mümkün kılmak olasıdır. Direkler bir noktada kullanıldıktan sonra bu sürenin sonunda bir başka noktaya taşınabilirler. Ancak en az bir direğin referans oluşturmak açısından sabit kalması önemlidir.

Tipik olarak direk yüksekliği öngörülen türbin rotor yüksekliğinin $\frac{3}{4}$ 'ü olmalıdır. Böylece rüzgâr hızlarını rotor yüksekliğine uyarlarken yaşanan hatalar en aza indirilebilir.

Direğin tasarımı, sabitlemesi ve kurulumu tüm çevresel koşullar göz önünde bulundurularak ve bunlara uygun biçimde yapılmalıdır.

Sensörler teknolojik olarak kendisini kanıtlamış tedarikçilerden sağlanmalıdır.

Gelecekte bağımsız denetçiler için rüzgâr verisinin izlenebilirliğini sağlayabilmek için anemometre kalibrasyonları, bakım/onarım kayıtları, kaydedici cihazın (logger) programlama kayıtlarının tutulması gerekmektedir:

Veri çok uzun olmayan periyotlarda düzenli olarak toplanmalı ve aynı zamanda düzenli olarak ekipman arızaya karşı kontrol edilmelidir. Tüm hatalar belirlenmeli ve gelecekteki analizlere katılmalarını önlemek için işaretlenmelidir.

Veri, hem ham hem de temizlenmiş haliyle arşivlenmelidir.

3. RÜZGÂR HIZI VERİSİNİN ANALİZİ VE YORUMLANMASI

İdeal olarak bir sahada enerji tahmini yapabilmek için en az 10 yıllık bir rüzgâr hızı ve yönü verisi gerekir. Bu oldukça zaman alıcı ve yatırım açısından çok da yapılabilir olmadığı için bu genellikle uygulanan bir yöntem değildir. Bunun yerine MCP (measure-correlate-predict) metodolojisi kullanılabilir.

MCP yöntemi rüzgâr verilerinin en az 1 yıl aynı anda ölçüldüğü saha ile uzun vadeli bir rüzgâr veri setine sahip uygun bir referans istasyonunu kullanır. Rüzgâr verilerinin eş zamanlı ölçülen kısımları daha sonra iki yerdeki rüzgâr rejimleri arasında bir ilişki kurmak için kullanılır. Son olarak, korelasyon referans istasyondaki uzun vadeli verileri türbin yerinde rüzgâr rejimini elde etmek için kullanılır ve uzun vadeli bir ortalama rüzgâr hızı elde edilir.

Mümkün olduğunca rotor yüksekliğine yakın rüzgâr hızı ve yönü verileri en az bir yıl süreyle kaydedilmiş olmalıdır. Rüzgâr koşullarında önemli mevsimsel değişimler olabileceğinden bir yıllık veri gereklidir.

MCP yönteminde kullanılacak referans istasyonunun karşılaması gereken çeşitli kriterler vardır. Referans istasyonu sahaya yakın olmalıdır, kaba bir biçimde basit bir yer yüzeyine sahip bir alanda 100 km'den daha yakın olmalıdır. Daha karmaşık araziler bu mesafeyi önemli ölçüde

azaltabilir. Referans istasyonu, sahadaki ile benzer bir rüzgâr rejimine sahip olmalıdır, örneğin saha bir kıyıda ise ve günlük deniz-kara etkileri gözleniyorsa o zaman uzun vadeli referans direk için benzer bir etkinin olması önemlidir. Uzun vadede kullanılan verinin tutarlılığı çok önemlidir. İzleme ekipmanlarının maruz kaldığı etkiler göz önüne alınmalı, özellikle ölçüm döneminde herhangi bir ağaç büyümesi ya da inşaat olup olmadığına dikkat edilmelidir. Veri ölçme ve veri saklama koşullarının da tutarlı olması gerekir. Veri dönemi 5 yıldan fazla olmalıdır ama gerçekte bundan daha kısa süreli olsa da mevcut en iyi veri setleri ile çalışmak gereklidir

Uzun vadeli referans istasyonlarının durumu ve tutarlılığı ülkeler arasında değişmektedir. Eğer uygun ulusal meteoroloji istasyonları yoksa diğer yakın rüzgâr çiftlikleri dikkate alınmalıdır.

MPC ayrıca sahadaki direkler arasında da kullanılabilir. Bir direk kalıcı direk olarak inşa edilebilir ve daha sonra ikinci bir direği 6 aydan fazla zaman dönemler için farklı yerlere taşımak mümkündür.

Eş zamanlı veri dönemi için, uygulanabilir çeşitli korelasyon yöntemleri vardır. Rüzgâr hızı verisi yöne bağlı ya da yönden bağımsız bazda korele edilebilir ve ya tüm rüzgâr hızları dikkate birlikte alınır veya yön sektörlerine göre tanımlanmış gruplara ayrılır. Veri setleri kısa ise rüzgar korelasyon dönemine ait rüzgar gülü uzun vadeli rüzgar gülünden büyük ölçüde farklı olabilir. Basit arazilerde yönsüz korelasyon sonucu daha az sapmalar görülürken karmaşık arazilerde rüzgarın yöne bağlı değişimi daha büyüktür ve yöne bağlı korelasyon gerekir. Veri setleri uzadıkça korelasyon dönemine ait rüzgar gülleri uzun dönem rüzgar gülü ile benzeşecek ve böylece yöne bağlı ve yönden bağımsız korelasyon sonuçları da benzeşecektir.

Korelasyon dönemi rüzgâr hızlarının basit bir ortalamasından aylık, saatlik ve 10 dakikalık ortalamalara kadar değişebilir. Hem referans saha hem de saha verisinin korelasyondan önce aynı süreyle ortalaması alınmalıdır.

İki veri kümesi arasındaki ilişki çeşitli şekillerde ifade edilir. Bu hızlanma oranı uygulanarak orijine zorlanmış bir parametre olabilir. İlk parametre, hızlanma oranı $S(\tau)$ ve offset $C(\tau)$, uygulanabilir. İlişki doğrusal olmayan olabilir. Okumaların ilişkisinin azaldığı düşük rüzgâr hızları için veri ayıklama veya ikinci bir çizgi ayarlama gibi ek ayarlamalar yapılabilir.

Rüzgâr kesmesi (wind shear) rüzgâr hızındaki dikey değişimdir. Eğer direk yüksekliği türbin yüksekliği ile aynı değilse kesmeye dikkat etmek gerekir. Saha direği ile türbin rotor yüksekliği arasındaki ilişkilendirme iki şekilde yapılır. Modellenen teknikleri kullanılabilir ya da ölçülen veriden değişim çıkarılabilir. Ölçülen veri tahminin doğru olabilmesi için farklı yüksekliklerde kalibre edilmiş anemometrelerle ölçüm gerekmektedir.

Bir sahada türbülansın ölçümü türbinlerin maruz kalacağı iz etkisi ve dolayısıyla yakınlardaki türbinlerin üretimi ve türbinlerin ömrü açısından önemlidir. Türbülansın ölçüsü Türbülans Yoğunluğu olarak ifade edilir ve rüzgâr hızı standart sapması bölü ortalama rüzgâr hızı olarak hesaplanır, yüzde olarak ifade edilir.

$$I_u(z) = \sigma_u(z) / U(z)$$

Bir sahada kaydedilen türbülans yoğunluğunun üzerindeki temel etkiler şunlardır:

- Rüzgâr üstü pürüzlülük uzunluğu
- Arazi etkileri, özellikle akım ayrılmasının etkisi önemlidir
- Termal etkiler

Aynı zamanda direkler ve diğer sensörler için yapay bir şekilde türbülans yoğunluğunu arttırmaları olasıdır. Bu etkilerin en aza indirilmesi için sensör yerleşimlerinde en iyi uygulama kılavuzlarına uyulmalıdır.

4. RÜZGÂR ENERJİ SANTRALİ ÜRETİM HESAPLAMASI, BELİRSİZLİK KAYNAKLARI, GÜVEN SINIRLARI

Rüzgâr çiftliklerinden enerji çıkışını öngörmek için gereken prosedür ile birlikte belirsizliklerin analiz ve sunulması için yöntem de belirtilmiştir. Bir dizideki rüzgâr türbinleri bir diğerini etkileyeceği ve ayrıca kendilerinin yer yüzeyindeki konumundan da etkilenecekleri için tahmin edilen üretim teorik etkilenmemiş türbin üretimlerini ifade eden ideal enerji ile ilgili olarak sunulabilir.

Burada ideal enerji rüzgâr rejiminin ölçüldüğü yere yerleştirilen tek bir türbinin türbinlerin toplam sayısı ile çarpılması ile bulunan sonuçtur.

Hesaplama hem rüzgâr yönü hem de rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak rüzgâr frekans dağılımının değişimi dikkate alır. İdeal enerjinin hesaplanmasında ve sonraki rüzgâr çiftliği hesaplamaların belirlenmesinde temel konulardan biri direk yüksekliğindeki rüzgâr rejimini rotor yüksekliğine uyarlarken kullanılan metottur. Rüzgâr hızının yükseklikle değişimi yüzey pürüzlülüğünün şiddetinden ve arazinin topografyasından etkilenecektir.

Bir rüzgâr çiftliğinin enerji üretimini tahmin etmek için tam hesaplama, elektrik kayıpları, bakımdan ve planlanmamış duruşlardan kaynaklanan kayıplar ve saha topoğrafisi nedeniyle rüzgâr hızındaki değişimleri içerir. Bu nedenle:

$$E_{\text{çiftlik}} = E_0 \cdot \eta_{\text{dizi}} \cdot \eta_{\text{topo}} \cdot \eta_{\text{elek}} \cdot \eta_{\text{kull}} \cdot \eta_{\text{diğer}}$$

Son terimdeki diğer kayıplar örneğin sevk, buzlanma veya kanat yüzey bozulması sonucunda oluşan verimlilik düşüşleri olabilir.

Dizi ve topoğrafik etkileri hesaplamak için hesaplama döngüleri yapılır. Her yön sektörü için, tüm türbinler üzerindeki döngüler her rüzgâr hızı için sırayla yapılır. Hesaplama rüzgâra karşı türbine başlar ve direk ile bu nokta arasındaki ölçekleme faktörü başlamış rüzgâr hızına uygulanır. İlgili rüzgâr hızı için güç çıkışı, basınç katsayısı ve türbülans yoğunluğu sonra belirlenir ve sonrasında iz parametreleri hesaplanır. Hesaplama daha sonra kalan türbinleri için tekrarlanır.

Bir rüzgâr çiftliğinin enerji üretiminin tahmininde uzun vadede ortalama rüzgâr hızının türetilmesinden ve enerji hesaplamalarındaki belirsizlik kaynakları:

- Anemometre kalibrasyonu
- Anemometre aşırı hızlanması
- MCP yöntemi
- Rüzgâr modelleme analizi
- Dizi kayıpları
- Diğer

Bunların bazıları için belirsizlik standart hata olarak hesaplanacaktır. Diğerlerinde, belirsizlik tahmini gerekecektir. Rüzgâr hızı belirsizlikleri enerji üretimi üzerindeki etkilerine dönüştürmek için, enerji hassasiyeti düşük rüzgâr hızı ile enerji tahminini tekrarlayarak olur. Hassasiyet rüzgâr çiftliğine özgüdür ve sahanın rüzgâr hızı özellikleri ve türbin etkileşimlerine bağlıdır. Belirsizlik kaynakları tüm enerji verimi açısından ifade edildiğinde, normalde bağımsız süreçler oldukları varsayılarak birleştirilirler.

Anemometreden kaynaklanan tüm majör ve minör belirsizlik faktörleri göz önüne alındığında toplamda 1,5 – 7 % arasında bir belirsizlik değeri içermektedir. Standart olarak 2 – 3% arası bir değer normal olarak kabul edilebilmelidir. Bu aralığın üzerinde değerler ölçüm sisteminin yeterli kalitede olmadığına dair bir gösterge olarak kabul edilebilir.

Uzun dönem referans verisi ile korelasyondan gelen belirsizlik değerleri genel olarak 0.5 – 7 % arasında seyretmektedir. Bu değerlerin değişimi, referans data ile sahadan alınan datanın arasındaki korelasyon katsayısının ne kadar 1 değerine yakın ya da uzak olmasına bağlı olacaktır.

Türbinler arası yerleşim mesafesinden kaynaklanan iz kaybı belirsizlikleri, enerji değerinin 1 – 2% si; arazi yapısının karmaşıklığı, dikey ve yatay ekstrapolasyon belirsizlikleri net enerji değerinin 0 – 10 % u genel değerleri arasında olmaktadır.

SONUÇ

Bir rüzgâr enerji santrali projesinin ön geliştirme evrelerinde, öncelikli olarak araştırılması gereken konu sahanın rüzgâr kaynağı ve sahanın rüzgâr kaynağı ölçümleri sonucunda elde edilen üretim değeri hesaplamalarıdır. Bu sonuçlar, hesaplamaların üzerine kurulduğu dataların ölçüm süreçleri, ekipman kalitesi ve hesaplama metodolojisine bağlı olarak doğrudan rüzgâr hızı ve doğrudan enerji değerlerine etkileyecek şekilde belirsizlik değerleri içermektedir. Bu belirsizlik değerlerinin, kabul edilebilir seviyelere çekilebilmesi için, alınabilecek bazı önlemler vardır ve bu konulara bu bildiriye genel olarak değinilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Recommended practices for wind turbine testing “11. Wind speed measurement and use of cup anemometry”, 1. Edition 1999, International Energy Agency Annex XI
- [2] “Wind turbine generator systems – Part 12: Wind turbine power performance testing” BS EN 61400-12: BSI, 1998
- [3] Ed. Luc Rademakers and Ray Hunter, “European Wind Turbine Standards - Project Results”, Report no. EUR 16898EN - final report of DG XII contract no. JOU2-CT93-0387, 1996, ISBN 92-827-7948-3