

KAPASİTE FAKTÖRÜ VE ENERJİ TAHMİNİ

Kapasite faktörü (KF) bir santralin ne kadar verimli kullanıldığını gösteren bir parametredir. Santralin nominal gücü ile yıllık sağladığı enerji miktarı arasında ilişki kurar.

$$KF = \frac{(\text{Gerçek üretilen enerji})}{P_N \times 8760} = \frac{\text{Ortalama Güç}}{\text{Nominal Güç}}$$

Burada; P_N = Nominal güç, KF = Kapasite faktörü

Dolayısı ile yıllık enerji,

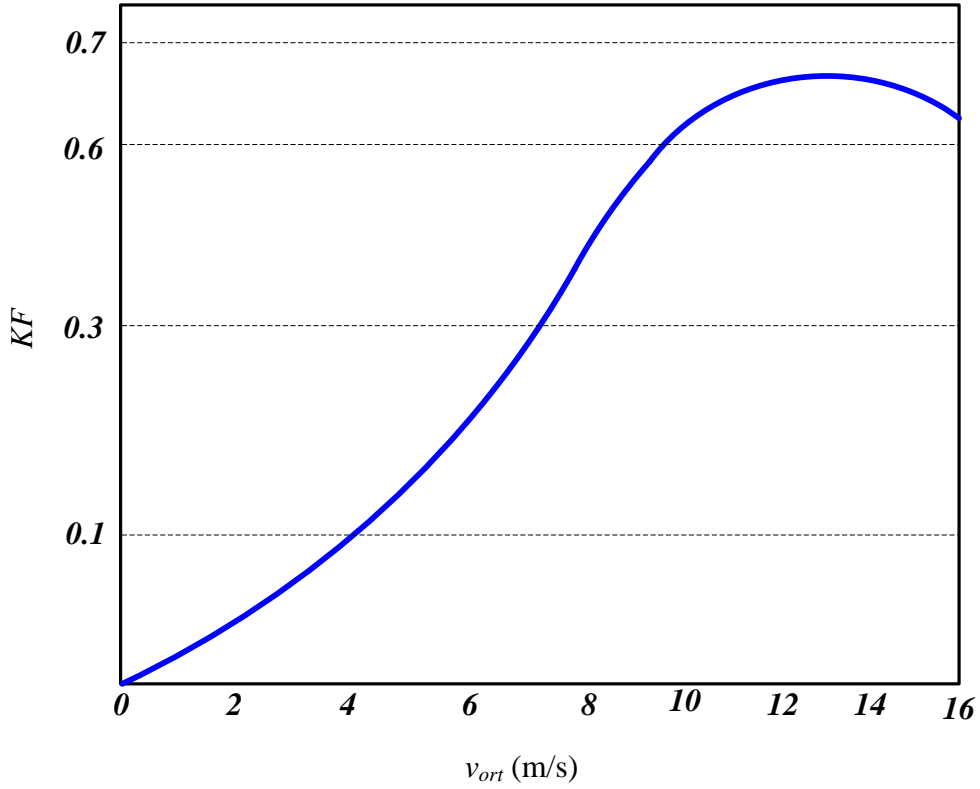
$$\text{Yıllık Enerji (kwh/yıl)} = P_N \text{ (kW)} \times 8760 \text{ (saat/yıl)} \times KF$$

Örneğin bir önceki soruda verilen rüzgâr santralinin kapasite faktörünü bulmak istersek

$$KF = \frac{(\text{Gerçek üretilen enerji})}{P_N \times 8760} = \frac{2,85 \times 10^6}{1000 \times 8760} = 0,325$$

Görüldüğü üzere buradaki hesaplama oldukça basittir. Üretilen enerji miktarının, eğer santral tam kapasite çalışsaydı üreteceği miktara oranı bize KF parametresini verir. Ancak KF parametresinin burada tanımlanmasının asıl amacı bunun tam tersini yapmak. Yani çok az bilinen veri ile basit bir yol takip ederek kapasite faktörünü hesaplamaktır.

Verilen örnek için KF 'lerin değişimini ortalama rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak çizersek;

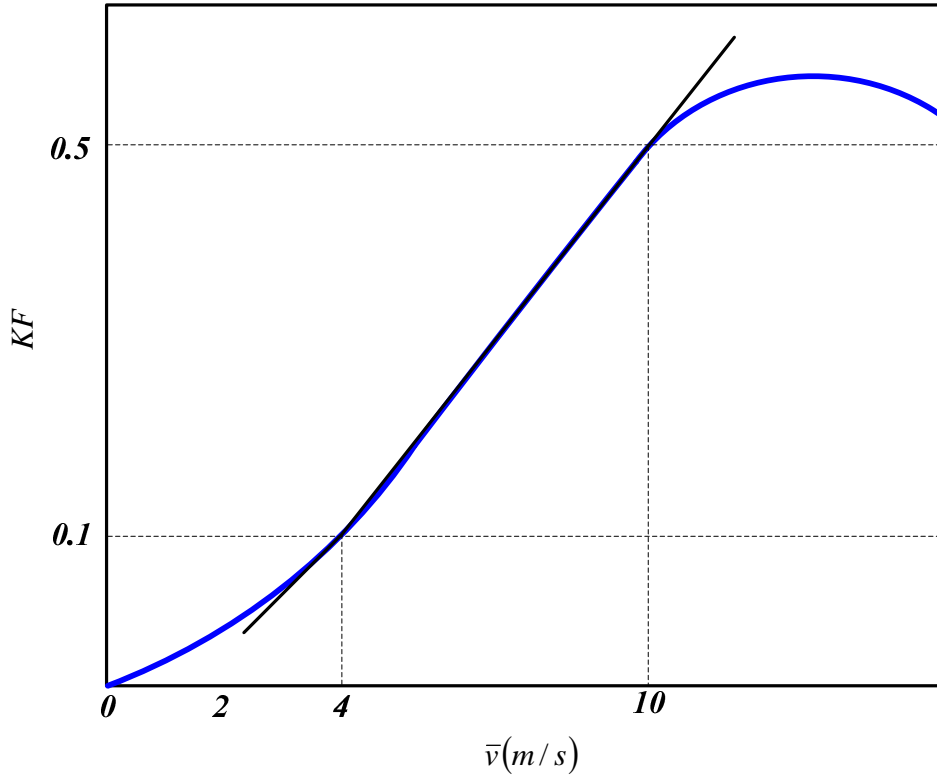


Burada örnek için verilen KF genel karakteristiği, diğer rüzgâr türbinleri içinde geçerlidir. Ortalama hızın 4–10 arasında oluşması durumu için kapasite faktörü yaklaşık lineer değişmektedir. Rüzgâr ortalama hızının daha yüksek olduğu noktalarda KF biraz daha artmakta, ancak belirli bir noktada yaklaşık sabit bir değerde kalmaktadır. Eğer ortalama rüzgâr hızı daha yüksek ise KF değeri düşmeye başlamaktadır. (**Not:** çoğu bölgede ortalama rüzgâr hızı 4-10 arasında oluşur).

Dolayısı ile lineer bölgede KF faktörü için bir denklem yazılırsa;

$$KF = m \cdot \bar{v} + b$$

Örneğin verilen örnek için $KF = 0,087 \cdot \bar{v} - 0,278$ olarak elde edilir.



Verilen 1000/60 türbini için,

$$P_N = 1000 \text{ [kw]} \quad \frac{P_N}{D^2} = \frac{1000 \text{ [kw]}}{(60 \text{ [m]})^2} = 0,278$$

$$D = 60 \text{ [m]}$$

Görüldüğü üzere $(-\frac{P_N}{D^2})$ oranı $KF = m\bar{v} + b$ fonksiyonundaki b sabit sayısına karşılık gelmektedir. $b = (-\frac{P_N}{D^2})$ oranı diğer türbin tipleri içinde geçerlidir.

Sonuç olarak Kapasite faktörü "KF" genel olarak bütün türbinler için yazılabilir:

$$KF = 0,87 \cdot \bar{v} - \frac{P_N}{D^2}$$

Ancak bu yaklaşım KF'nin 0,2 ile 0,5 arasında olduğu değerler için iyi bir yaklaşım sunar. Bu yaklaşım oldukça

kullanışlıdır. Çünkü bilinmesi gereken sadece türbin nominal gücü ve rotor çapıdır.

Burada ortalama Rayleigh rüzgârı için yıllık üretilen enerji miktarı:

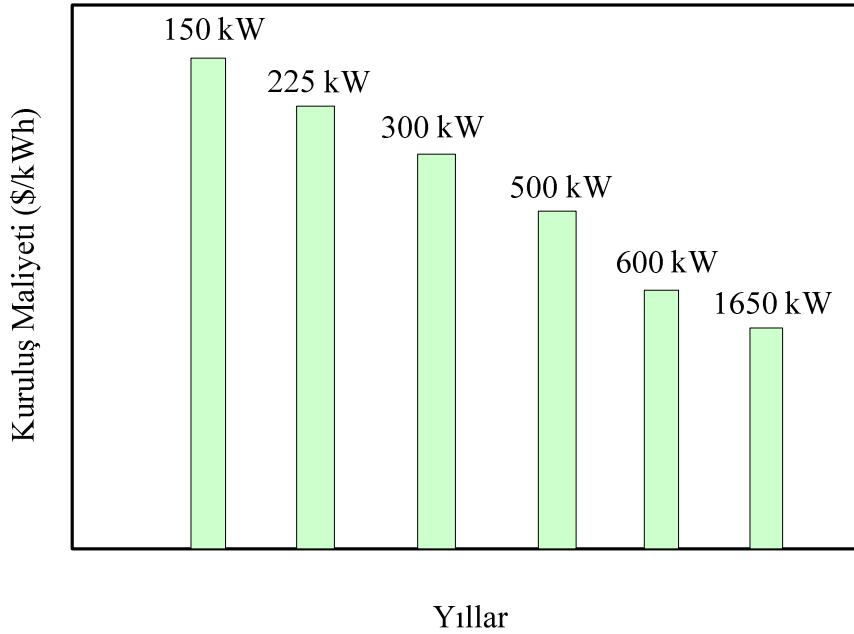
$$Yıllık Enerji [kwh/yıl] = 8760 \times P_N[kw] \left\{ 0,087\bar{v} - \frac{P_N[kw]}{(D[m])^2} \right\}$$

ÖRNEK: 0,9kW/2.13 m rüzgâr türbini, ortalaması 6 m/s Rayleigh rüzgârına sahip ise, türbinin verebileceği yıllık enerji miktarını tahmin ediniz.

RÜZGÂR TÜRBİN EKONOMİSİ

KURULUŞ MALİYETİ VE YILLIK MALİYET

Yeni rüzgâr türbinleri daha büyük nominal güçlerde üretebilmesine rağmen, kW başına kuruluş maliyeti düşmektedir. Örneğin 1989 yılında 150 kW'lık bir türbinin birim maliyeti 1500 \$/kW iken, 2000 yılında 1650 kW'lık bir makinenin birim maliyeti 800 \$/kW'a kadar gerilemiştir.



Büyük makine için gerekli işçilik maliyeti, küçük makineye göre çok fazla değildir. Güç elektroniği ünitesindeki maliyet farkı oldukça düşüktür. Rotor maliyeti yaklaşık çapı ile doğru orantılıdır. Daha uygun kuleler ile yakalanacak enerji ilave maliyet girdisinden daha fazladır.

<u>Kuruluş maliyeti parametreleri</u>	<u>Yıllık maliyet parametreleri</u>
-Türbin maliyeti -Bölge çalışmaları ve şebeke bağlantısı -Yapım esnasındaki faiz -Proje geliştirme ve fizibilite çalışmaları -Mühendislik +	-Parça ve işçilik -Sigorta -Risk/arıza maliyeti -Arazi kiralama -Mülkiyet vergisi -İletim hattı bakımı -Genel muhtelif giderler +
Toplam Kuruluş Maliyeti	Toplam Yıllık Maliyet

RÜZGÂR TÜRBİNİ İÇİN YILLIK ELEKTRİK MALİYETİ

Aynı seviyeye getirilmiş enerji maliyetini hesaplayabilmek için, yıllık maliyet, yıllık enerji miktarına bölünür. Yıllık maliyeti bulmak için aşağıdaki basit prosedür kullanılabilir.

Bir rüzgâr enerji sisteminin borçlanma ile finans edildiğini düşünelim. Kuruluş maliyetini sistem ömrü boyunca dağıtırsak kuruluş maliyeti yıllık baza dönüştürülmüş olur. Kuruluş maliyeti yıllara eşit bölüştürmek için “Kapital Geri Dönüşüm Formülü” (CRF=Capital recovery factor) kullanılabilir. Daha sonra bu değere yıllık bakım onarım maliyeti eklenir.

Alınan krediyi yıllık ödeme miktarı A ile gösterilirse,

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = P \cdot CRF(i, n)$$

Burada; $CRF(i, n) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$

i → Faiz Oranı

n → Kredi periyodu

A → Yıllık ödeme miktarı (\$/yıl)

P → Ana borç (\$)

ÖRNEK: 0,9 kW/2.13 m 'lik bir rüzgâr türbini maliyeti 1600 \$'dır. Sistemin devreye alınmasına kadar geçen sürede maliyet 2500\$'a çıkmış olup geri ödeme süresi %7 faizle 15 yıldır. Bakım onarım maliyeti 100\$ ise birim enerji maliyetini (\$/kwh) 15 yıl boyunca hesaplayınız. (**Not:** rotor göbeği hizasındaki ortalama rüzgâr hızı 6,7 m/s'dir)

ÇÖZÜM:

ÖRNEK: Bir rüzgâr çiftliği projesi kapsamında 40 adet rotor çapı 60 m olan 1500 kW'lık türbin kurulması hedeflenmektedir. Kuruluş maliyeti 60 milyon \$ olup aynı düzeye getirilmiş (bir değere getirilmiş) bakım onarım maliyeti 1.8 milyon \$/yıldır. Proje için %7 faizden 20 yıllığına 45 milyon \$ kredi kullanılmıştır. Öz sermaye 15 milyon \$ ve % 15lik geri dönüşüme ihtiyaç duyulmaktadır. Türbin ortalaması 8m/s olan Rayleigh rüzgârına maruz kalıyor ise, projeyi uygulanabilir hale getirebilmek için aynı düzeye getirilmiş elektrik enerji maliyeti kaç olmalıdır.

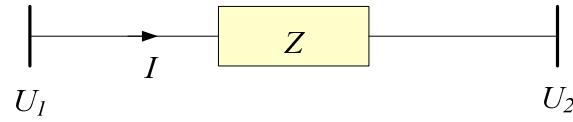
ÇÖZÜM:

RÜZGÂR ENERJİ SANTRALLERİNİN ŞEBEKEYE ENTEGRASYONU

Özellikle büyük ölçekli rüzgar çiftliklerinin ulusal elektrik enerji sistemleri işletimi üzerinde önemli etkileri olabilir. Bu nedenle rüzgar türbinlerinin şebekeye bağlantı ölçütlerinin iyi derecede etüt edilmesi gereklidir. Bu ölçütleri aşağıdaki konu başlıkları için sıralamak mümkündür:

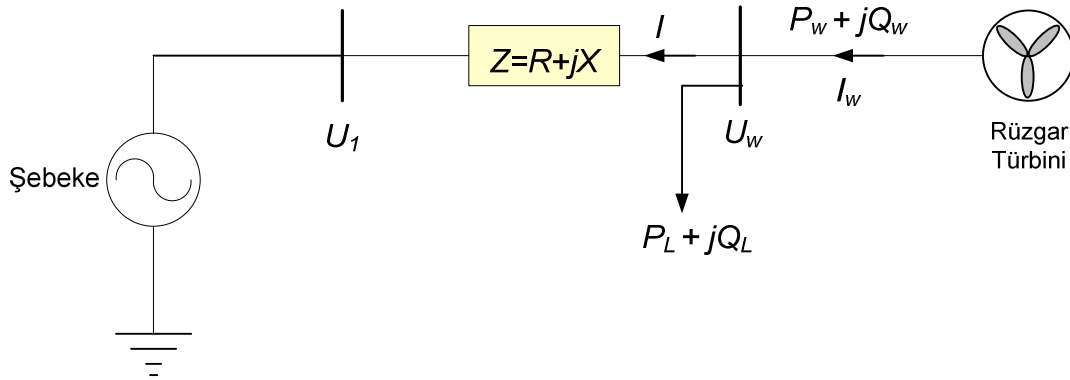
1. Frekans ve Aktif Güç Kontrolü
2. Kısa devre gücü ve gerilim değişimleri/dalgalanmaları
3. Reaktif güç kontrolü
4. Gerilim kırışması
5. Harmonikler
6. Kararlılık

Bir güç sistemi analiz edilirken yükler, iletim hatları ve transformatörler z empedansı ile temsil edilebilirler. Herhangi bir empedans üzerinden bir akım akışı söz konusu ise empedansın öncesi ve sonrasındaki noktalarda oluşan gerilimleri U_1 ve U_2 ile gösterelim.

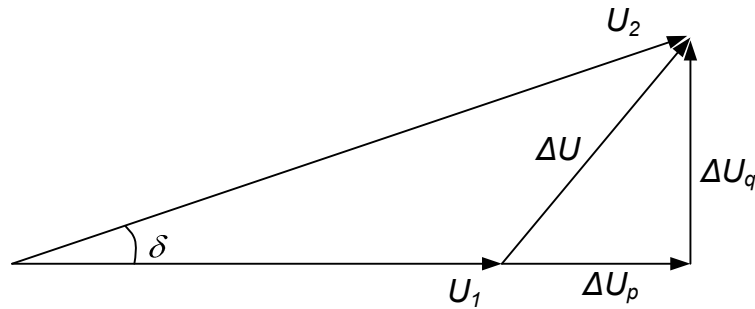


Şekil 1. I akımını altında Z empedansının her iki ucundaki gerilimler (U_1 ve U_2)

Şekil 1.'e göre Z empedansı üzerindeki gerilim düşümü $U_1 - U_2 = Z \cdot I$ olup, Şekil 2.'de bir rüzgar türbininin şebeke ile paralel çalışması durumu ile ilgili temel problem resmedilmektedir. Şekil 3.'te ise rüzgar türbin sistemi ile şebeke bağlantısı fazörel olarak gösterilmiştir. Burada şebeke Z empedansı ve U_1 gerilim kaynağı ile temsil edilmiştir. Rüzgar türbininin bağlandığı noktadan aynı zamanda yerel yüklerde beslenmektedir.



Şekil 2. Bir rüzgar türbinine ilişkin şebeke bağlantısı



Şekil 3. Rüzgar türbin sistemi ile şebeke bağlantısının fazörel olarak gösterilmesi

Rüzgar türbininin şebekeye bağlandığı noktadaki kısa devre gücü, S_k aşağıdaki denklem ile verilebilir.

$$S_k = \frac{U_1^2}{Z^*} \quad (1)$$

Bir elektrik şebekesinde verilen bir noktanın kısa devre gücü şebekenin o noktadaki performansının bir ölçüsünü gösterir. Kısa devre gücünün aynı zamanda gerilim kalitesi üzerinde de etkisi söz konusudur. Rüzgar hızındaki değişiklik, rüzgar türbini güç üretiminde değişikliğe, güç üretimindeki değişiklik ise Z empedansı üzerinden akan akım miktarında değişikliğe neden olur. Bu akım değişimi ise U_2 geriliminde değişikliğe neden olur. Eğer zayıf bir şebekede (kısa devre gücü küçük) Z empedansı büyük ise gerilim dalgalanmaları büyük olur. Güçlü bir şebekede (kısa devre gücü büyük) Z empedansı küçük ise gerilim dalgalanmaları da küçük olur. **[Not:** Bir şebekenin bozucu etkilere karşı kararlılığını sürdürebilme kabiliyeti kısa devre gücü ile doğrudan ilgili olup, güçlü veya zayıf şebeke tabiri daha çok kurulu rüzgar gücü ile ilgili olarak kullanılır.]

Rüzgar türbininin ürettiği kompleks güç $S_w = P_w + jQ_w$ ile temsil edilir ise, türbinin şebekeye vereceği akım, I ($S_w > S_L$ için)

$$I = \left(\frac{S_w - S_L}{U_2} \right)^* = \frac{(P_w - P_L) - j(Q_w - Q_L)}{U_2} \quad (2)$$

Sistem ile bağlantı noktası arasındaki gerilim farkı, $\Delta U = U_w - U_1$ olduğundan,

$$\Delta U = U_w - U_1 = Z \cdot I = (R + jX) \cdot \left(\frac{(P_w - P_L) - j(Q_w - Q_L)}{U_2} \right) \quad (3)$$

$$\Delta U = \left[\frac{R \cdot (P_w - P_L) + jX \cdot (Q_w - Q_L)}{U_2} \right] + j \left[\frac{(P_w - P_L) \cdot X - j(Q_w - Q_L) \cdot R}{U_2} \right] = \Delta U_p + \Delta U_q \quad (4)$$

Yukarıdaki denklem sisteme transfer edilen güç ile gerilim arasındaki ilişkiyi gösterir. Burada ΔU güç akış yöntemleri ile veya farklı simülasyon teknikleri ile hesaplanabilir. Yukarıdaki (1-3) denklemleri kullanılarak U_w gerilimi hesaplanabilir. Böylece rüzgar gücü üretiminin U_w üzerindeki etkisi doğrudan analiz edilebilir.