

KANAT TASARIM PARAMETRELERİNİN RÜZGÂR TÜRBİNİ AERODİNAMİK PERFORMANSINA ETKİSİ

Mahmut Can ŞENEL⁺ ve Erdem KOÇ*

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü, Samsun

ÖZET

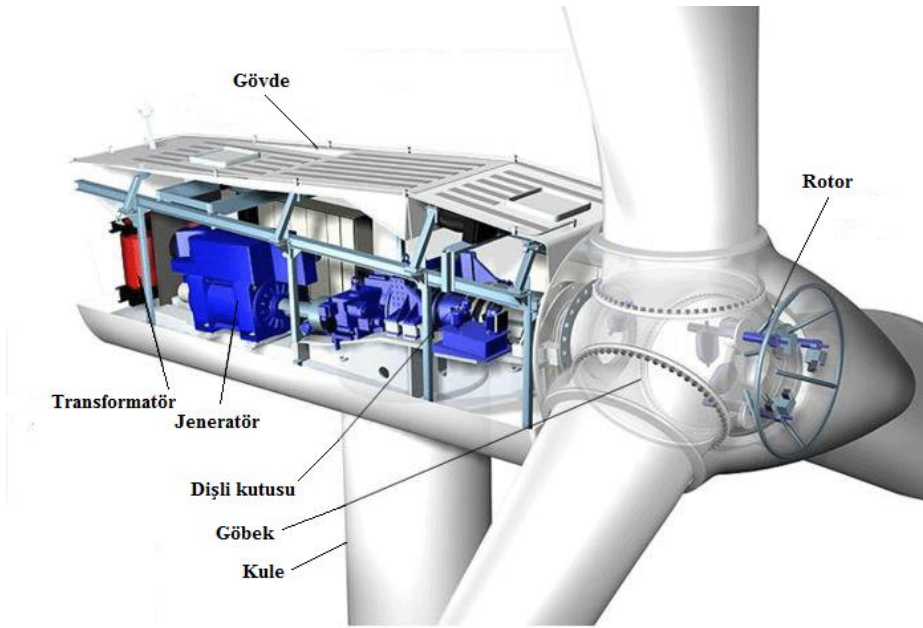
Rüzgar enerjisi; doğal, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretmek amacıyla günümüzde yaygın olarak yatay eksenli rüzgar türbinleri kullanılmaktadır. Bu tip rüzgar türbinlerinde kanat tasarımı, türbin aerodinamik performansını etkileyen en önemli parametredir. Bu çalışmada, kanat tasarım parametrelerinin (kanat yapısı, kanat kalınlık oranı (d), kanat sayısı, uç-hız oranı (λ), kanat açısı (θ)) türbin aerodinamik performansı üzerine olan etkisi incelenmiştir. Yatay eksenli rüzgar türbininde en iyi aerodinamik performans, yarı trapez veya hiperbolik kanat yapısının kullanıldığı ve kanadın $\theta=0^\circ$ ve $\lambda=8$ olduğu durumda elde edilmiştir. Ayrıca, kanat kalınlık oranındaki artışın türbin aerodinamik performansını düşürdüğü belirlenmiştir.

GİRİŞ

Dünyada enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık olarak % 4-5 oranında artmasına rağmen bu ihtiyacı karşılayan fosil yakıt rezervi ise daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. Bu durum birçok ülkeyi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir [Güney ve Sağlam, 2001]. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında elektrik enerjisi üretimi konusunda en fazla ümit veren enerji kaynağı rüzgar enerjisi olarak görülmektedir. Rüzgâr enerjisi, güneş radyasyonunun yeryüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanmaktadır. Yeryüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu basınç farkları da havanın hareketine neden olmaktadır. Yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru olan bu hava hareketi de rüzgârı oluşturmaktadır. Rüzgâr, güneş enerjisinin dolaylı bir ürünüdür. Güneş ışınları olduğu sürece rüzgâr olacaktır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık % 1-2'si kadarı rüzgâr enerjisine çevrilmektedir. Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretmek amacıyla günümüzde rüzgar türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgâr türbinleri dönme eksenine göre; yatay ve düşey eksenli rüzgar türbinleri şeklinde sınıflandırılabilir. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürüp transmisyon elemanlarıyla jeneratöre ileten ve elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan sistemlerdir [Öztürk ve Çelik, 2006]. Tipik yatay eksenli bir rüzgar türbininin yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Bu tip rüzgar türbinleri temel olarak; rotor, göbek, gövde, kule, dişli kutusu, jeneratör ve transformatör gibi elemanlardan oluşmaktadır.

*Prof. Dr., Makina Müh. Böl., erdemkoc@omu.edu.tr

⁺Araştırma Görevlisi, Makina Müh. Böl., mahmutcan.senel@omu.edu.tr



Şekil 1: Rüzgar türbini yapısı [Rüzgar enerjisi, 2014]

Rüzgar türbini aerodinamik performansının belirlenmesine yönelik literatürde birçok çalışma mevcuttur. Çetin ve ark., yürüttükleri çalışmada seçilen bir uç-hız oranı için rüzgâr türbin kanat tasarımını gerçekleştirip rüzgâr türbin uç hız oranı, profil türü ve kanat sayısına bağlı olarak türbin performansını değerlendirmişlerdir [Çetin ve ark., 2005]. Ata ve Çetin, yürüttükleri çalışmada Celal Bayar Üniversitesi Kırkağaç Yerleşkesine yerleştirilmek üzere 3 kWh enerji kapasiteli şebeke bağlantısız (otonom) üç kanatlı bir rüzgâr türbini tasarlayıp mekanik olarak enerji verimini başka bir sistemle karşılaştırmışlardır [Ata ve Çetin, 2008]. Vardar ve Alibaş, yürüttükleri çalışmada rüzgâr türbin kanadında kullanılan NACA profillerinin rüzgâr türbin performansına olan etkilerini analiz ederek en iyi performansa sahip kanat profilini belirlemişlerdir [Vardar ve Alibaş, 2005]. Morcos, çalışmasında üç farklı kanat kesidinin (düz-plakalı, simetrik, dairesel ark aerofoili) rüzgâr türbini aerodinamik performansına olan etkisini analiz etmiştir [Morcos, 1994]. Bu çalışmada ise; kanat tasarım parametrelerinin (kanat yapısı, kanat kalınlık oranı (d) kanat sayısı, uç-hız oranı (λ), kanat açısı (θ)) rüzgar türbini aerodinamik performansına olan etkileri incelenmiştir.

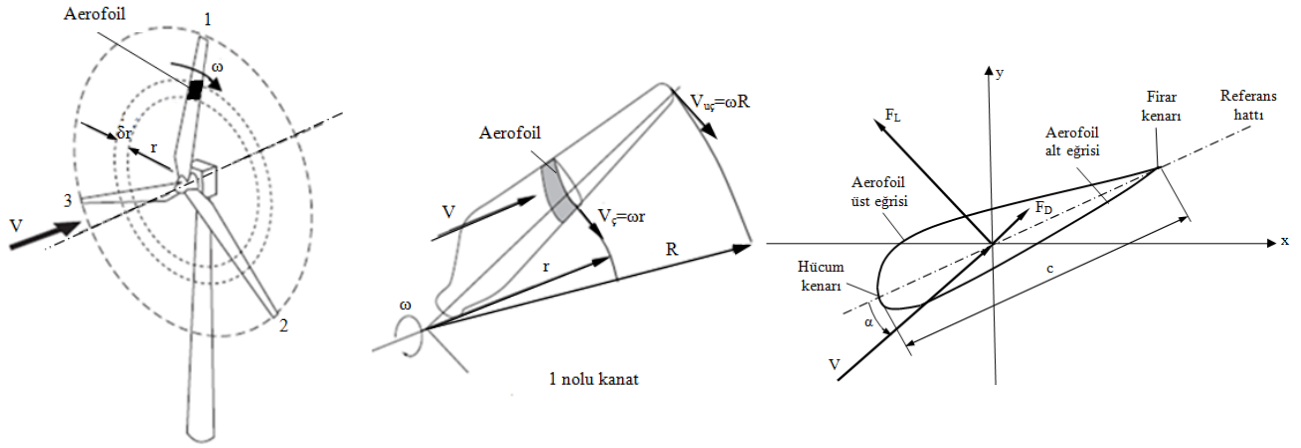
RÜZGAR TÜRBİNİ KANAT TASARIM PARAMETRELERİ

Rüzgâr türbini kanat yapısı

Yatay eksenli üç kanatlı rüzgâr türbinlerinde kanatların en önemli işlevi; rüzgâr enerjisini minimum kayıpla düşük hızlı şafta aktarılmasını sağlamaktır. Bu tip türbinlerin geometrik büyüklükleri ve çalışma parametreleri Şekil 2a'da gösterilmiştir. Burada; V rüzgar hızı (m/s), $V_{uç}$ kanat uç hızı (m/s), ω kanat açısal hızı (rad/s), R kanat yarıçapı (m), r aerofoilin kanat üzerindeki konumuna bağlı olarak değişen yardımcı yarıçapı (m) şeklinde ifade edilmiştir.

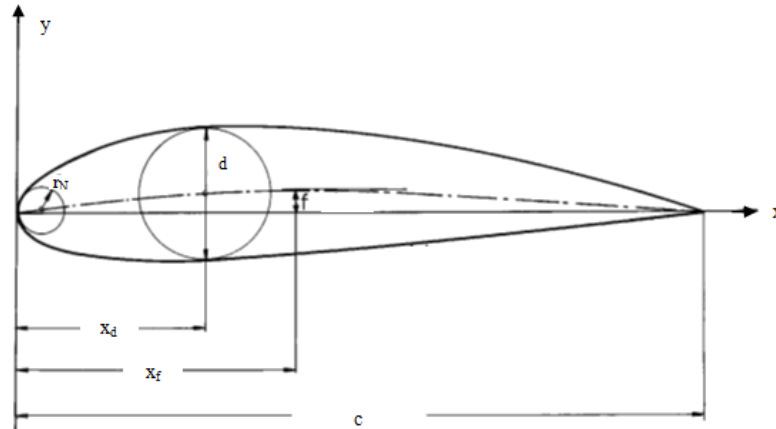
Rüzgar türbin kanatları aerofoil olarak tanımlanan özel kanat kesitlerinden oluşmaktadır (Şekil 2b). Kanatlarda tek tip aerofoil kullanılabileceği gibi farklı tür aerofoiller de kullanılabilir. Üst eğrisi, alt eğriye göre daha kavisli bir yapıya sahip olan aerofoillerde eğriler arasında bir basınç farkı meydana gelmektedir. Yüksek basınçtan alçak basınca doğru olan hava hareketi kaldırma kuvveti oluşturarak aerofoilin ve kanadın hareketi sağlanmaktadır.

Aerofoil profilinde aerofoil kesidini boydan boya kesen eksen uzunluğu referans hattı uzunluğudur (c). Referans hattı ile rüzgâr hızı arasında kalan açı da hücum açısıdır (α). Aerofoil üzerine, rüzgâr hızı doğrultusunda sürükleme kuvveti (F_D) ve rüzgâr hızına dik doğrultuda kaldırma kuvveti (F_L) etki etmektedir. Aerofoillerde havanın girdiği kenar hücum kenarı, çıktığı kenar ise firar kenarı olarak tanımlanmaktadır. Rüzgâr türbinlerinde moment ve güç iletimi için aerofoillerin seçimi oldukça önemli olup türbin kanatlarında F_L/F_D oranı yüksek olan aerofoiller tercih edilmektedir [Hau, 2006].



(a) (b)
Şekil 2: Rüzgar türbin kanat yapısı (a) ve aerofoil yapısı (b)

Rüzgâr türbin kanatlarında yaygın olarak; DU (Delft University of Technology), SERI (ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı), FFA-W (İsveç Havacılık Araştırmaları Enstitüsü), FX (Althaus ve Wortmann), RISO (Danimarka Riso Ulusal Laboratuvarı), NACA (Havacılık Alanında Ulusal Danışma Komitesinin) aerofoilleri kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan aerofoil olan NACA; aerofoil referans hattı uzunluğu (c), maksimum kamburluk (f), maksimum kamburluğun konumu (x_f), maksimum kalınlık (d), maksimum kalınlığın konumu (x_d) ve aerofoil hücum kenarının eğrilik yarıçapıyla (r_N) karakterize edilmektedir (Şekil 3).



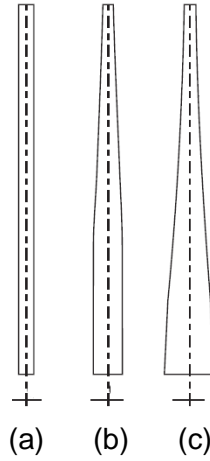
Şekil 3: NACA aerofoil serisindeki geometrik büyüklükler [Hau, 2006]

Aerofoillerde maksimum kalınlık oranı (\bar{d});

$$\bar{d} = d/c \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Bu parametrenin, rüzgâr türbin aerodinamik performansına etkisi bir sonraki bölümde analiz edilmiştir.

Kanadın optimum şekli: Kanatların rüzgârdan elde ettiği gücü; kanatların geometrik şekli etkilemektedir. Rüzgâr türbinlerinde farklı tür kanat geometrisine sahip kanat yapıları kullanılabilir. Yaygın olarak kullanılan kanat yapıları; dikdörtgen, yarı trapez veya hiperbolik şekilde olanlardır (Şekil 4). Hiperbolik şekildeki kanat yapılarının imalatı zordur. Bu nedenle imalat maliyetlerin düşüklüğünden dolayı rüzgâr türbinlerinde genellikle yarı trapez şekildeki kanat yapıları tercih edilmektedir.

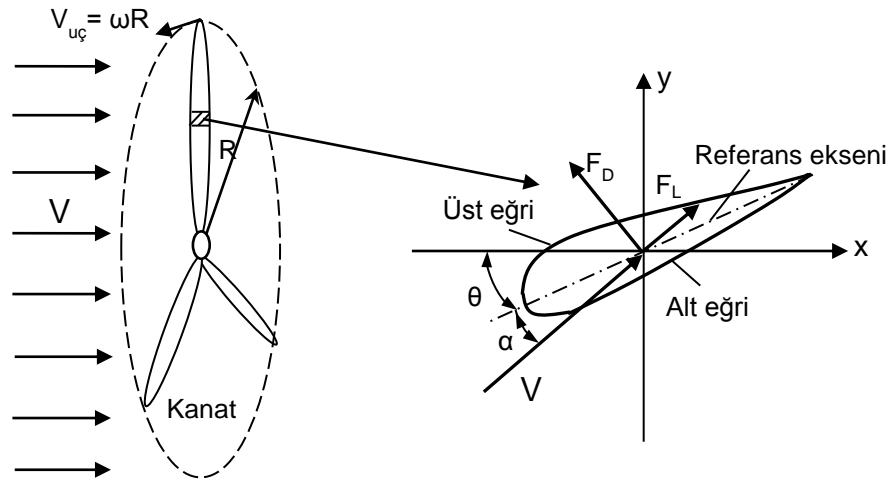


Şekil 4: Kanat yapıları; (a) dikdörtgen, (b) yarı trapez ve (c) hiperbolik [Hau, 2006]

Rüzgâr türbini aerodinamik tasarım parametreleri

Rüzgâr türbini analizinin yapılabilmesi için rüzgâr türbini aerodinamik tasarım parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler; güç katsayısı, uç-hız oranı, kanat açısı ve katılık oranı olup türbin performansına olan etkileri aşağıda kısaca izah edilmiştir.

Kanat açısı: Kanadın kanat döndürme (pitch) mekanizmasıyla kendi eksenini etrafında döndürülmesi sonucunda aerofoil referans eksenine dönme eksenini arasında kalan açı kanat açısı (θ) olarak tanımlanmaktadır. Bu açı, kanat boyunca bir aerofoilden diğerine değişmektedir. Kanat açısı (θ) ve hücum açısı (α) Şekil 5'de gösterilmiştir.

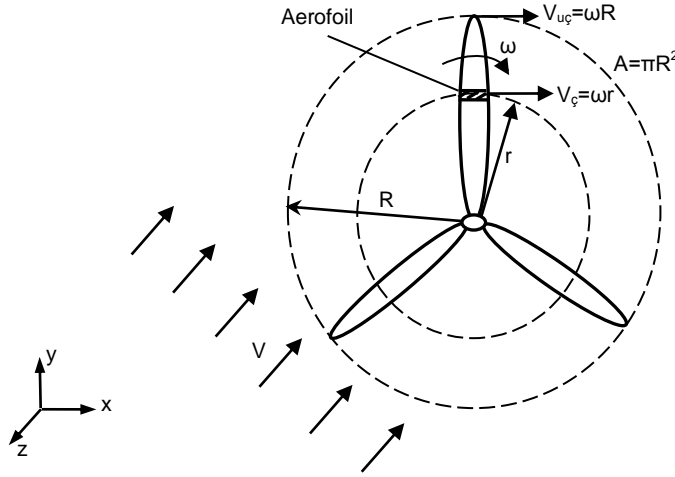


Şekil 5: Rüzgâr türbini kanat açısı

Uç-hız oranı: Rüzgâr türbini performans analizinde önemli bir parametre olan uç-hız oranı, kanat uç hızının ($V_{uç} = \omega R$) rüzgâr hızına (V) oranıdır. Uç-hız oranı, kanat yarıçapı (R), kanat açısal hızı (ω), rüzgâr hızı (V) parametrelerine bağlıdır (Şekil 5).

$$\lambda = V_{uç}/V = \omega R/V \quad (2)$$

Tek kanatlı rüzgâr türbinlerinde kanatlar çok hızlı döndüğünden uç-hız oranı (λ) 6-20 arasındayken, üç kanatlı rüzgâr türbinlerinde uç-hız oranı (λ) 5-8 civarındadır [Emniyetli, 2007].



Şekil 6: Rüzgar türbini kanat uç-hızı

Aerofoilin kanat üzerindeki konumuna bağlı olarak değişen yardımcı yarıçap (r) ve kanat açısız hızı (ω) bilindiğinde aerofoilin bulunduğu konumdaki kanat çevresel hızı ($V_ç$) belirlenebilmektedir. Tipik bir rüzgâr türbin kanadında aerofoilin bulunduğu konumdaki uç-hız oranı belirlenmek istediğinde yerel uç-hız oranından faydalanılmaktadır. Yerel uç-hız oranı, aerofoilin bulunduğu konumdaki kanat çevresel hızının rüzgâr hızına oranıdır.

$$\lambda_r = V_ç/V = \omega r/V \quad (3)$$

Güç katsayısı: Rüzgâr türbinlerinde rüzgâr gücünün hangi oranda kanatlara aktarıldığının belirlenmesi oldukça önemlidir. Bunun için güç katsayısından faydalanılmaktadır. Güç katsayısı (C_P), en genel anlamda kanatların rüzgârdan elde ettiği gücün (N_R) rüzgâr gücüne (N) oranı şeklinde tanımlanmaktadır.

$$C_P = N_R/N = N_R/(0.5\rho\pi R^2 V^3) \quad (4)$$

Burada, rüzgâr hızı V (m/s), havanın yoğunluğu ρ (kg/m^3), kanat yarıçapı R (m), olarak verilmektedir. Rüzgar türbinlerinde güç katsayısı (C_P), kanat açısı (θ) ve uç-hız oranının (λ) bir fonksiyonu olarak Eşitlik (5) ve Eşitlik (6)'dan yararlanılarak belirlenebilmektedir.

$$C_P(\lambda, \theta) = C_1 \left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3\theta - C_4\theta^{C_5} - C_6 \right) \exp\left(\frac{-C_7}{\lambda_i}\right) \quad (5)$$

$$\lambda_i = \left[\left(\frac{1}{\lambda + C_8\theta} \right) - \left(\frac{C_9}{\theta^3 + 1} \right) \right]^{-1} \quad (6)$$

Kanat dönüş hızına göre rüzgar türbinleri; sabit hızlı ve değişken hızlı rüzgar türbinleri olmak üzere iki çeşittir. Sabit hızlı rüzgar türbinleri, belirli bir rüzgar hızında nominal güce ulaşırken; değişken hızlı rüzgar türbinleri geniş bir rüzgar hız aralığında nominal güce çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Eşitlik (5) ve Eşitlik (6), tüm kanat yapıları için kullanılabilir. Ayrıca hem değişken hem de sabit hızlı sistemler için uygulanabilmektedir. Bunun için Çizelge 1'den faydalanılmaktadır [Ackermann, 2005].

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9
Sabit hızlı rüzgâr türbini	0.5	116	0.4	0	-	5	21	0.08	0.035
Değişken hızlı rüzgâr türbini	0.73	151	0.58	0.002	2.14	13.2	18.4	-0.02	-0.003

Çizelge 1: Güç katsayısı hesabında kullanılan parametreler [Ackermann, 2005]

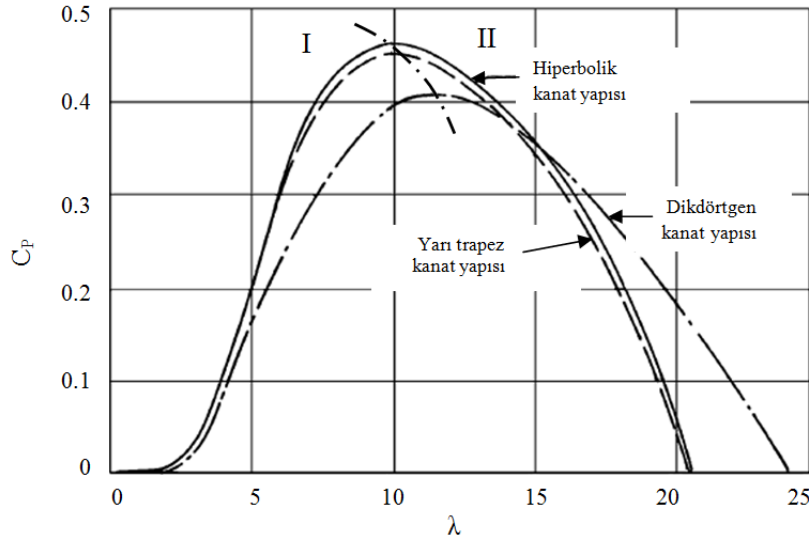
Katılık oranı: Boyutsuz bir parametre olup kanatların kapladığı alanın (A_b), kanatların süpürdüğü alana (A) oranıdır. Katılık oranı (σ) Eşitlik (7)'de verilmiş olup

$$\sigma = A_b/A \quad (7)$$

şeklinde. Düşük kanat sayılı yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde katılık oranı düşükken; kanat sayısının artmasıyla katılık oranı da artmaktadır. Üç kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde katılık oranı 0.0345'in üzerindedir. Fakat bu değer kanat sayısı ve kanat uzunluğunun değişmesiyle değişebilmektedir. Tek kanatlı rüzgâr türbinleri gibi düşük katılık oranına sahip olan rüzgâr türbinlerinde aerodinamik kayıpların yüksek olmasından dolayı maksimum güç katsayısı da düşük olmaktadır [Burton ve ark., 2001; Şenel, 2012].

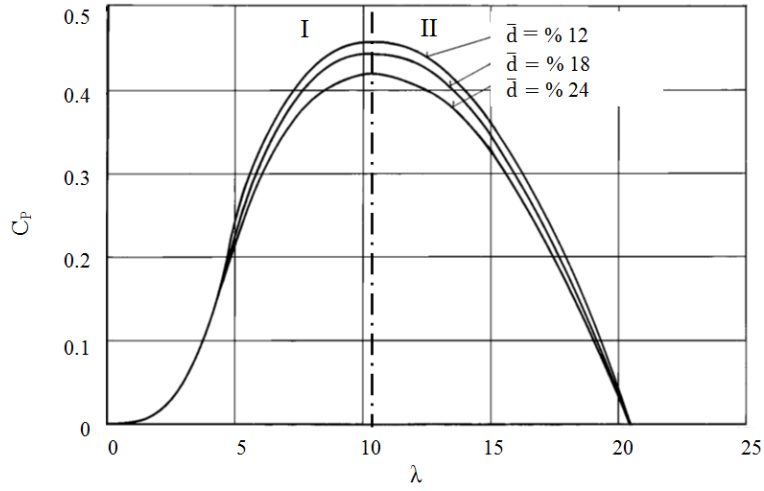
ARAŞTIRMA BULGULARI

Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde, türbin kanat yapısı, kanat kalınlık oranı, kanat sayısı, kanat açısı (θ), uç-hız oranı (λ), rüzgâr türbininin sabit veya değişken hızlı olması türbin aerodinamik performansını doğrudan etkilemektedir. Farklı kanat yapıları için uç-hız oranındaki (λ) değişimin güç katsayısı (C_p) üzerine olan etkisi Şekil 7'de verilmiştir. Hiperbolik şeklindeki kanat yapısında $\lambda=10$ iken maksimum güç katsayısının (C_{Pmaks}) 0.46; aynı uç-hız oranında yarı trapez şeklindeki kanat yapısında C_{Pmaks} 'in 0.44 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca dikdörtgen kesitli kanat yapısında ise $\lambda=12$ iken C_{Pmaks} 'in 0.41 olduğu tespit edilmiştir. C_p - λ eğrilerinin I. bölgesinde λ 'daki artışın C_p 'yi arttırdığı, II. bölgesinde ise λ 'daki artışın C_p 'yi düşürdüğü belirlenmiştir. Uç-hız oranı (λ) 0-5 ve 20-25 arasındayken, güç katsayısının çok düşük olduğu ve kanat yapılarının performansa etkisinin çok az olduğu görülmüştür.



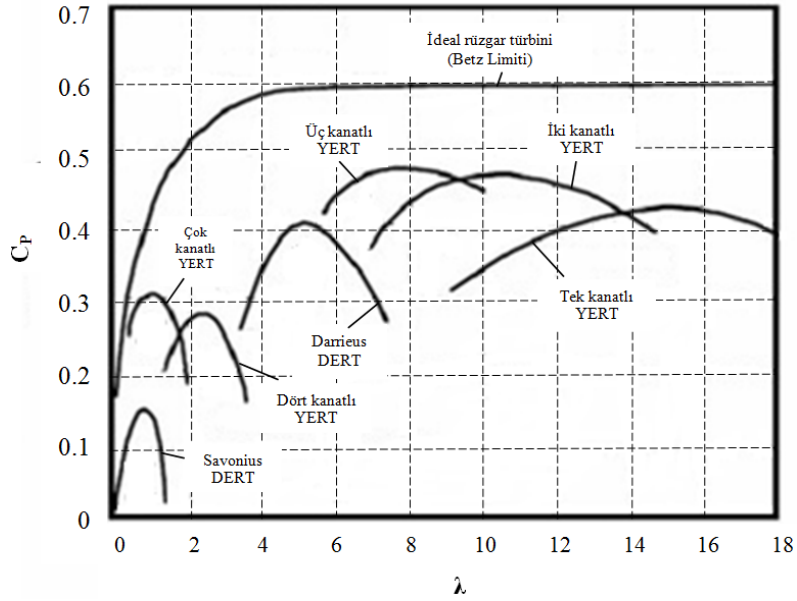
Şekil 7: Farklı kanat yapılarında C_p - λ değişimi [Hau, 2006]

Yüksek aerodinamik performanslı aerofoiller için türbin kanatlarının olabildiğince ince olması istenirken; mukavemet ve sertlik açısından ise yeterince kalın kanat kesitlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı aerofoil yapısının kullanıldığı farklı kanat kalınlık oranlarında (\bar{d}), uç hız oranındaki (λ) değişimin güç katsayısına (C_p) etkisi Şekil 8'de verilmiştir. Uç-hız oranı (λ) 10 olduğunda; % 12 kanat kalınlık oranında (\bar{d}) maksimum güç katsayısının (C_{Pmaks}) 0.45, % 14 kanat kalınlık oranında maksimum güç katsayısının 0.44, % 16 kanat kalınlık oranında maksimum güç katsayısının 0.42 olduğu tespit edilmiştir. C_p - λ eğrilerinin I. bölgesinde λ 'daki artışın C_p 'yi arttırdığı; II. bölgesinde λ 'daki artışın C_p 'yi düşürdüğü belirlenmiştir. Uç-hız oranı 5'den küçük ve 15'den büyük olduğunda kanat kalınlık oranının güç katsayısına etkisinin çok az olduğu ve bu aralıkta C_p 'nin çok düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca uç-hız oranı 5-15 arasındayken kanat kalınlık oranındaki artışın güç katsayısını düşürdüğü tespit edilmiştir.



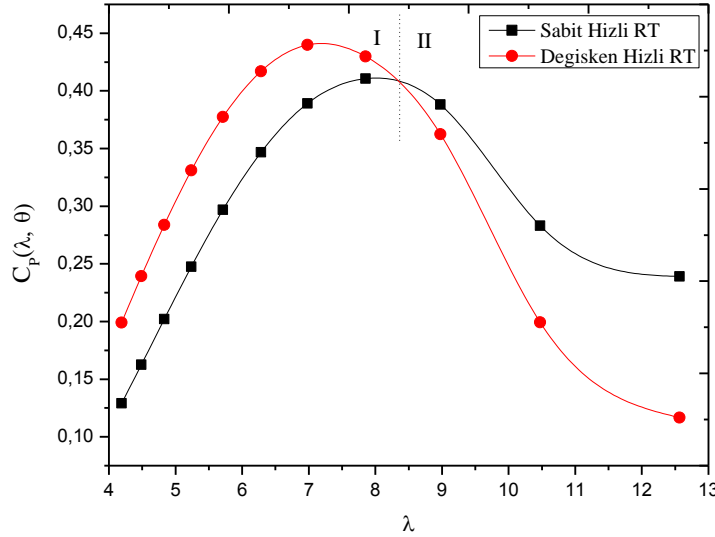
Şekil 8: Farklı kanat kalınlık oranlarında (\bar{d}) C_p - λ değişimi [Hau, 2006]

Rüzgâr türbinlerinde kanat sayısı azaldıkça türbin kanatları daha hızlı dönmekte ve bu da uç-hız oranının (λ) artmasına sebep olmaktadır. Üç kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde λ 'nın belli bir değere (8-12) kadar artması C_p 'yi arttırırken; λ 'daki artış belli bir değerden sonra C_p 'nin azalmasına sebep olmaktadır. Savonius, Darrieus düşey eksenli rüzgâr türbinlerinin ve farklı kanat sayılarındaki yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin C_p - λ değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Belli bir uç hız oranında ($\lambda=8$) en yüksek güç katsayısına üç kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin sahip olduğu görülmüştür [Karadağ, 2009].



Şekil 9: Farklı tür rüzgâr türbinlerinde C_p - λ değişimi [Karadağ, 2009]

Sabit ve değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde maksimum güç katsayısı $\theta=0^\circ$ olduğu durumda elde edilmiştir. Sabit ve değişken hızlı rüzgâr türbinlerindeki güç katsayılarını karşılaştırmak amacıyla kanat açısının (θ) 0° olduğu durumda C_p - λ değişimi (Eşitlik (5)) belirlenmiştir (Şekil 10). Sabit ve değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde, $\lambda < 4$ ve $\lambda > 13$ olduğunda güç katsayısı çok düşük olduğundan, güç katsayısı değişimi $4 < \lambda < 13$ aralığında iki bölgede analiz edilmiştir. I. bölgede ($\lambda < 8.5$), değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde güç katsayısının sabit hızlı rüzgâr türbinlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. II. bölgede ($\lambda > 8.5$) ise; sabit hızlı rüzgâr türbinlerinin güç katsayısının değişken hızlı rüzgâr türbinlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [Şenel, 2013]. Sabit hızlı rüzgâr türbinlerinde C_{Pmaks} için optimum uç-hız oranı 8 iken; değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde C_{Pmaks} için optimum uç-hız oranı 7 olmaktadır. Ayrıca sabit hızlı rüzgâr türbinlerinin değişken hızlı rüzgâr türbinlerine göre daha geniş bir uç-hız oranı aralığında çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 10: Sabit ve değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde λ 'daki değişimin C_p 'ye etkisi

SONUÇLAR

Rüzgâr türbini aerodinamik performansının belirlenmesine yönelik yapılan incelemeler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- İncelenen üç farklı kanat yapısı için en iyi aerodinamik performans hiperbolik ($C_{Pmaks}=0.46$) ve yarı trapez ($C_{Pmaks}=0.44$) kanat yapısında elde edilmiştir. Hiperbolik kanat yapısında güç katsayısı daha yüksek olmasına rağmen üretim zorlukları sebebiyle rüzgâr türbinlerinde genellikle yarı trapez kanat yapısı tercih edilmektedir.
- Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde, kanat kalınlık oranındaki (\bar{d}) artışın güç katsayısını (C_p) düşürdüğü belirlenmiştir.
- Kanat sayılarındaki değişimin güç katsayısına etkisi incelendiğinde; maksimum güç katsayısının üç kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde olduğu belirlenmiştir.
- Sabit hızlı rüzgâr türbinlerinde maksimum güç katsayısı (C_{Pmaks}) için optimum uç-hız oranı (λ) 8 iken; değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde C_{Pmaks} için optimum uç-hız oranı (λ) 7 olmaktadır.
- Değişken ve sabit hızlı rüzgâr türbinleri karşılaştırıldığında; değişken hızlı rüzgâr türbininde güç katsayısının sabit hızlı rüzgâr türbininden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Kanat açısındaki (θ) artışın güç katsayısını (C_p) düşürdüğü belirlenmiştir. Sabit ve değişken hızlı rüzgâr türbinleri için maksimum güç katsayısı (C_{Pmaks}), $\theta=0^\circ$ 'de oluşmaktadır.

Kaynaklar

Ackermann, T., 2005. *Wind power in power systems*, Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, ISBN 0-470-85508-8, Stockholm, Sweden.

Ata, R. ve Çetin, N.S., 2008. *3 kW otonom bir rüzgâr türbini kurulumu ve enerji eldesi*, Gazi Üniv. Müh.-Mim. Fakülte Dergisi, 23(1), 41-47.

Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyi, E., 2001. *Wind energy handbook*, John Wiley&Sons Ltd., 608 s., England.

Çetin, N. S., Yurdusev, M.A., Ata, R., Özdemir, A., 2005. *Assessment of optimum tip speed ratio of wind turbines*, Mathematical and Computational Application, 10(1), 147-154.

Emniyetli, G., 2007. *Evsel elektrik ihtiyacının karşılanması için rüzgâr türbini tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 134 sayfa, Çorlu.

Güney, İ. ve Sağlam, Ş., 2001. *Türkiye'de rüzgâr enerjisinin kullanım durumu ve bir rüzgâr türbin tasarımı örneği*, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri, 12-13 Ekim.

- Hau, E., 2006. *Wind turbines fundamentals, technologies, application, economics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Karadağ, H. İ., 2009. *Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisinin önemi ve rüzgar türbini tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 130 s.
- Morcos, V. H., 1994. *Aerodynamic performance analysis of horizontal axis wind turbines*, Renewable Energy, 4(5), 505-518.
- Öztürk, İ. ve Çelik, A., 2006. *Dünya’da ve Türkiye’de rüzgar enerjisi kullanım durumu ve geleceğe yönelik beklentiler*, Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi, 37(2), 267-274.
- Rüzgar enerjisi, 2014. <http://www.gunesveruzgarenerjisi.com/2012/12/ksaca-ruzgar-turbinini-tanyalm.html>.
- Şenel, M. C., 2012. *Rüzgar türbinlerinde güç iletim mekanizmalarının tasarım esasları-dinamik davranış*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şenel M. C., Koç, E., 2013. *Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin aerodinamik performansının değerlendirilmesi*, 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (ULIBTK’13), Samsun, 1346-1351, 9-12 Eylül.
- Vardar, A. ve Alibaş, I., 2008. *Research on wind turbine rotor models using NACA profiles*, Renewable Energy, 33, 1721-1732.