

Küçük Kapasiteli, Yatay Eksenli ve Akış Hızlandırıcılı Rüzgâr Türbinlerinin Performans Analizi

Mehmet BİLGİLİ^{1*}

¹Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 01950, Ceyhan-Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-5339-6120>

*Sorumlu yazar: mbilgili@cu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16 Ekim 2020
Kabul tarihi: 4 Aralık 2020
Online Yayınlanma: 2 Mart 2021

Anahtar Kelimeler:

Rüzgâr enerjisi
Yatay eksenli rüzgâr türbini
Akış hızlandırıcılı rüzgâr türbini

ÖZET

Kentsel ve kırsal alanlarda, konutların ve küçük işletmelerin kullanımına yönelik yenilenebilir enerji teknolojilerinden faydalanılarak elektrik enerjisi üretilmesi ülkelerin enerji ekonomisi ve stratejisi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, düşük rüzgâr hızlarında verimli çalışabilen, kentsel ve kırsal alanlarda konutların kullanımına yönelik küçük kapasiteli, yatay eksenli ve akış hızlandırıcılı (yayıcı) rüzgâr türbinlerinin tasarımı için analitik çözümlene ve modelleme yapılmıştır. Bunun için önce rotor çapı 1 m olan küçük bir rüzgâr türbini seçilmiş, daha sonra bu rüzgâr türbini akış hızlandırıcılı olarak modellenerek performans değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara ve seçilen aerodinamik karakteristiklere göre, serbest akış rüzgâr hızı 10 m/s iken açık akıştaki rüzgâr türbini üzerinden elde edilen güç değeri 246,17 W iken, akış hızlandırıcılı rüzgâr türbini üzerinde elde edilen güç değeri 333,2 W olarak hesaplanmıştır.

Performance Analysis of Small Capacity, Horizontal Axis and Flow Accelerator Wind Turbines

Research Article

Article History:

Received: 16 October 2020
Accepted: 4 December 2020
Published online: 2 March 2021

Keywords:

Wind energy
Horizontal axis wind turbine
Flow accelerator wind turbine

ABSTRACT

Generating electricity by using renewable energy technologies for the use of residences and small businesses in urban and rural areas is very important for the energy economy and strategy of countries. In this study, analytical analysis and modeling were carried out for the design of small capacity, horizontal axis and flow accelerator (diffuser) wind turbines that can operate efficiently at low wind speeds and are intended for residential use in urban and rural areas. For this, first a small wind turbine with a rotor diameter of 1 m was selected, then this wind turbine was modeled with a flow accelerator and its performance values were compared. According to the results and the selected aerodynamic characteristics, the free flow wind speed was 10 m/s and the power value obtained over the open flow wind turbine was 246,17 W, while the power value obtained on the flow accelerator wind turbine was calculated as 333,2 W.

To Cite: Bilgili M. Küçük Kapasiteli, Yatay Eksenli ve Akış Hızlandırıcılı Rüzgâr Türbinlerinin Performans Analizi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2021; 4(1): 17-26.

1. Giriş

Son on yılda fosil enerji kaynakları hızla azalırken, hızla artan nüfus ve teknolojik gelişmeler sonucu enerjiye olan talep iyice artmıştır [1-8]. Bunun yanında, fosil enerji kaynaklarının kullanılmasıyla sera gazı emisyonlarının ve buna bağlı olarak küresel ısınmanın gün geçtikçe artması günümüzün en

önemli küresel sorunu haline gelmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın açıklamış olduğu rapora göre, herhangi bir önlem alınmadığı takdirde, 2050 yılında sera gazı emisyonları iki katına çıkacak ve artan petrol ihtiyacı talebi karşılamakta yetersiz kalacaktır. Dolayısıyla, bu talebin karşılanması ve küresel CO₂ emisyonlarının azaltılması için fosil yakıtlardan ziyade yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek

gerekmektedir [9-11]. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak, 2007 yılında 1000 GW olan küresel kurulu güç, 2018 yılında 2378 GW değerine ulaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında 600,3 GW kurulu güç ile rüzgar enerjisi dünyada önemli bir yere sahiptir ve kullanımı en çok artan ve en ekonomik yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir [12-17].

Ülkemizde, 2018 yılı sonu itibarıyla 7361 MW kurulu güç ile 180 adet rüzgar enerji santrali bulunmaktadır. Teorik olarak ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyeli 83 GW mertebesinde olup AB ülkeleri arasında üçüncü sırada yer almaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde 88,55 GW olan toplam kurulu gücümüzün %7,91'lük kısmı rüzgar enerjisinden sağlanmaktadır. Ülkemiz 2023 yılı için elektrik üretiminde rüzgar enerjisi payının 12 GW olmasını hedeflemektedir. Dolayısıyla bu hedefin şu an sadece %60'lık bir kısmı gerçekleşmiştir ve önümüzdeki 4 yıl içerisinde ülkemizde yaklaşık olarak 4,5 GW değerinde rüzgar enerji santralini kurulması gerekmektedir [18]. Bu periyotta, AR-GE çalışmaları yapılarak rüzgar enerjisi potansiyelinin verimli ve bilinçli bir şekilde kullanılması, yerli rüzgar teknolojisini geliştirilmesi ve böylece enerjide dışa bağımlılığın azaltılması oldukça önemlidir.

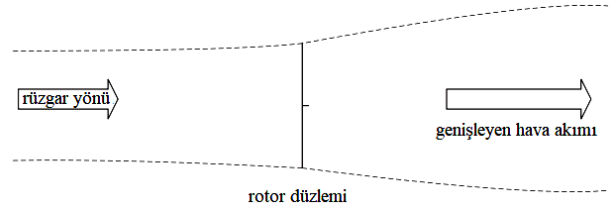
Ülkemizde küçük kapasiteli rüzgar türbin teknolojilerinin tasarımı, modellenmesi, optimizasyonu, imalatı ve elde edilecek güç ve etkinliğinin artırılması üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Ancak uluslararası düzeyde yapılan çalışmalar mevcuttur [19-25]. Bilindiği gibi, rüzgar türbininden elde edilen teorik güç rotor kanat kesit alanı ve hızın küpü ile doğru orantılıdır. Hızın artmasıyla birlikte elde edilecek olan rüzgar gücünün oldukça artacağı beklenen bir sonuçtur. Bir rüzgar türbinine yayıcı (difüzör) eklenerek rotor kanat alanı üzerinden geçen hava hızının artırılması ve böylece rotor kanatları üzerinden geçen hava debisinin artırılarak elde edilecek gücün ve verimin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar oldukça yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada, düşük rüzgar hızlarında verimli çalışabilen, kentsel ve kırsal alanlarda konutların kullanımına yönelik küçük kapasiteli, yatay eksenli ve difüzörlü rüzgar türbinlerinin tasarımı için analitik çözümlene ve modelleme yapılmıştır. Bunun için rotor çapı 1 m olan açık akış ve difüzörlü akış şeklinde olan iki rüzgar türbini düşünülmüş ve aerodinamik karakteristikleri elde edilerek karşılaştırılmıştır.

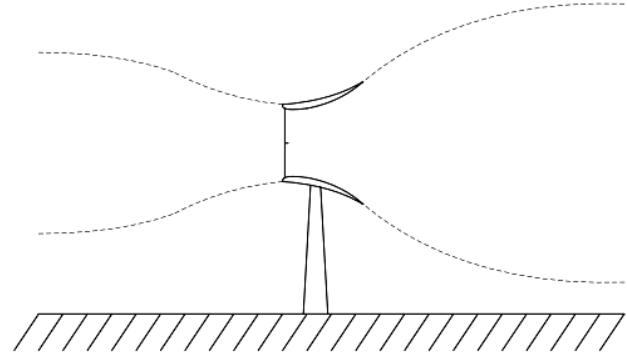
2. Analitik Çözümleme ve Modelleme

Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin aerodinamik karakteristiklerin belirlenmesinde basit momentum teorisi uygulanmaktadır. Şekil 1 standart bir rüzgar türbini için açık akıştaki dönen rotor veya diskin hava ile enerji etkileşimini göstermektedir. Şekil 2 ise, difüzörlü bir rotoru göstermektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi, rüzgar türbini güç üretimi rotor ve rüzgar arasındaki etkileşime bağlıdır. Rotor kanatları üzerinde bir kontrol hacmi belirlenmiş ve analiz için aşağıdaki varsayımlar kullanılmıştır:

- Homojen, sıkıştırılamaz, sürekli bir hava akışı;
- Sürtünme direnci yok;
- Sonsuz sayıda kanatlar;
- Disk veya rotor kanat alanı üzerinde üniform itme.



Şekil 1. Açık akış



Şekil 2. Difüzörlü akış

2.1. Açık Akış Aktüatör Diski

2.1.1. Eksenel İndüksiyon

Rotor düzlemindeki rüzgar hızındaki kayıp olarak tanımlayabileceğimiz eksenel akış indüksiyon faktörü (a), rotor üzerinden geçen rüzgar hızındaki oransal azalma olarak tanımlanır (Şekil 3). Rotor düzlemi boyunca hız aşağıdaki gibi bulunur [26].

$$V_1 = V_0(1 - a) \quad (1)$$

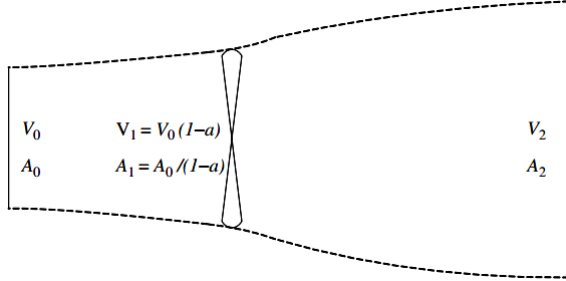
Rotor diski üzerindeki kinetik enerjideki değişim göz önüne alındığında, çıkarılan güç (kinetik enerjinin değişim hızı) P' dir:

$$P = \frac{1}{2}\rho A_0 V_0^3 - \frac{1}{2}\rho A_2 V_2^3 \quad (2)$$

Akışın sürekliliğinden ($\rho A_0 V_0 = \rho A_2 V_2$) dolayı:

$$P = \frac{1}{2}\rho A_0 V_0 (V_0^2 - V_2^2) \quad (3)$$

eşitliği elde edilir.



Şekil 3. Açık akış aktüatör disk modeli

2.1.2. Momentum

Rotor düzlemi boyunca kütleli debi $\rho A_1 V_1$ 'dir. Akış yönündeki rotor düzlemi boyunca hızı değişimi ($V_0 - V_2$)'dir. Bu nedenle, rotor düzlemi boyunca momentum değişim oranı olarak rotor kanat düzlemi üzerindeki itme kuvveti;

$$T = \rho A_1 V_1 (V_0 - V_2) \quad (4)$$

şeklinde hesaplanabilir. Elde edilen güç ise aşağıdaki gibi bulunur;

$$P = TV_1 = \rho A_0 V_0^2 (1 - a)(V_0 - V_2) \quad (5)$$

$$P = \rho A_0 V_0^2 (1 - a)(V_0 - V_2) \quad (6)$$

Eşitlik (3) ve (6)'dan akış çıkışındaki rüzgar hızı;

$$V_2 = V_0(1 - 2a) \quad (7)$$

olarak bulunur. Rüzgâr türbinindeki güç katsayısı ise;

$$C_p = P/0,5\rho V_0^3 A_1 \quad (8)$$

$$C_p = 4a(1 - a)^2 \quad (9)$$

şeklinde tanımlanır. Güç katsayısının maksimum değeri $a=1/3$ bulunur ve böylece,

$$C_{pm} = 16/27 \quad (10)$$

elde edilir.

2.2. Genelleştirilmiş Aktüatör Disk Teorisi

Özellikle yenilikçi rüzgâr türbini sistemleri arasında, daha küçük, daha hafif, belki de daha hızlı ve kesinlikle daha ucuz bir rotorun açık akışta büyük bir rotor kadar enerji çıkarabileceği düşüncesiyle akışı artırma veya konsantre etme kavramlarına sürekli ilgi duyulmuştur. Elbette bu faydalar, akışı artıran sistemin maliyetine göre işlem görmelidir. Genel büyütme araçları, rotoru açık akışa kıyasla rotor içinden fazladan kütle akışını indüklemeye yarayan bir kanala veya difüzöre yerleştirmektir. Yoğunlaşmış bölgeleri yaratan girdapları indüklemek için kanatlar veya delta kanadı kullanılarak daha egzotik konseptler de göz önüne alınmıştır.

Güç katsayısı (C_p), enerji çıkarma cihazının performansı olarak tanımlanır ve bir kanal veya difüzör tarafından cihazın alanı boyunca ilave kütle akışı indüklenirse Betz sınırı (Eşitlik 10) aşılabilir. Kanallarda ve difüzörlerde türbinlerin birçok analizinde, hızlandırma faktörleri tanımlanmış ve standart olanlar dışındaki C_p ve C_t (itme kuvveti katsayısı) tanımları kullanılmıştır. Aşağıdaki analiz, aksenal indüksiyon, güç ve itme katsayılarının standart tanımlarını korur.

Eksenal indüksiyon faktörü (a), rotor düzleminde tam olarak önceden tanımlandığı gibidir (Eşitlik 1). Difüzörlü akış rotor düzleminde ise a negatif bir değer almaktadır. Açık akışta olduğu gibi, güç katsayısı ve itme katsayısı, sırasıyla, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A V_0^3} \quad (11)$$

ve

$$C_t = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A V_0^2} \quad (12)$$

C_p ve C_t 'nin temel tanımlarından, aşağıdaki eşitlik elde edilebilir:

$$\frac{P}{T} = V_0 \frac{C_p}{C_t} \quad (13)$$

Bununla birlikte, rotor düzleminde uygulanan kuvvet ve hızın bir ürünü olarak gücün temel tanımını da göz önünde bulundurularak:

$$P = TV_0(1 - a) \quad (14)$$

$$\frac{P}{T} = V_0(1 - a) \quad (15)$$

$$\frac{C_p}{C_t} = (1 - a) \quad (16)$$

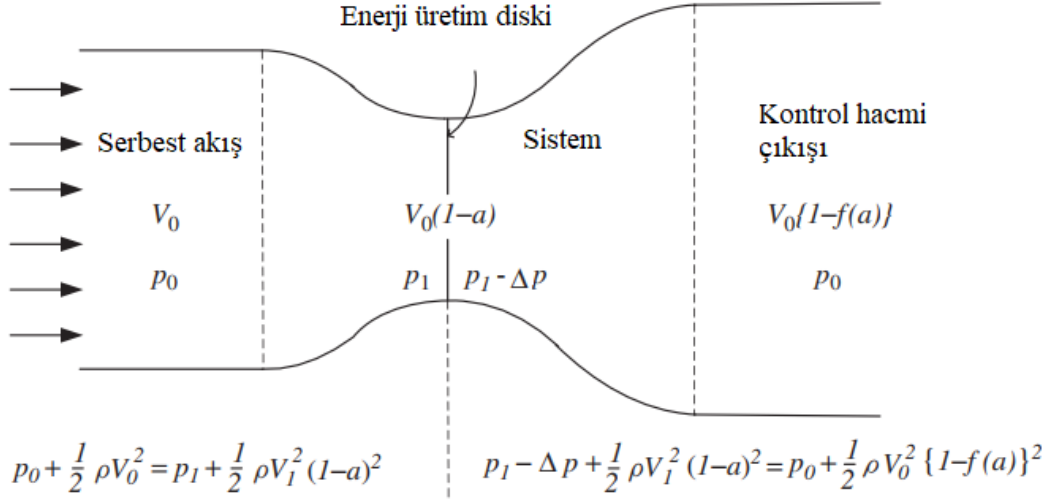
elde edilir.

Bir sistem, aksenal indüksiyonun, serbest akış ve kontrol hacmi çıkışı arasında etkilendiği bölge

olarak tanımlanır. Enerji çıkarımının akışa normal bir düzlemsel alanda ve sistem içerisinde belirli bir yerde gerçekleştiği düşünülmektedir. $f(a)$ kontrol hacmi çıkışı eksenel indüksiyon faktörü olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4). Sistemdeki basınç farkının (Δp) olduğu bir kesit alanı (A) bölgesindeki herhangi bir düzlemde, enerji

çıkarmı ile ilişkili itme kuvveti (T) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$T = \Delta p A = \frac{1}{2} \rho A V_0^2 A C_t \quad (17)$$



Şekil 4. Genel akış diyagramı [26]

Tablo 1. Açık ve difüzörlü akışı karşılaştıran sonuçların bir özeti [26]

Genel operasyon		
	Betz açık akış	Genel difüzörlü akış
Serbest akış hızı V_0	V_0	V_0
Disk rüzgar hızı V_1	$V_0 (1 - a)$	$V_0 (1 - a)$
Çıkış hızı V_2	$V_0 (1 - 2a)$	$V_0 \left(\frac{1 - 2a + a_0}{1 - a_0} \right)$
Güç katsayısı C_p	$4a (1 - a)^2$	$\frac{4(a - a_0)(1 - a)^2}{(1 - a_0)^2}$
İtme kuvveti katsayısı C_T	$4a (1 - a)$	$\frac{4(a - a_0)(1 - a)}{(1 - a_0)^2}$
Rotor üzerindeki basınç farkı	$\frac{1}{2} \rho V_0^2 C_T$	$\frac{1}{2} \rho V_0^2 C_T$
Optimum performans		
	Betz açık akış	Genel difüzörlü akış
Maksimum C_p	$\frac{16}{27}$	$\frac{16}{27} (1 - a_0)$
İlişkili eksenel indüksiyon faktörü	$\frac{1}{3}$	$\frac{1 + 2a_0}{3}$
Kontrol hacmi çıkışı eksenel indüksiyon faktörü	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
İlişkili itme kuvveti katsayısı	$\frac{8}{9}$	$\frac{8}{9}$
Rotor üzerindeki basınç farkı	$\frac{4}{9} \rho V_0^2$	$\frac{4}{9} \rho V_0^2$

Bernoulli denkleminin enerji etkileşim düzlemine uygulandığı düşünülürse:

$$p_0 + \frac{1}{2}\rho V_0^2 = p_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2(1-a)^2 \quad (18)$$

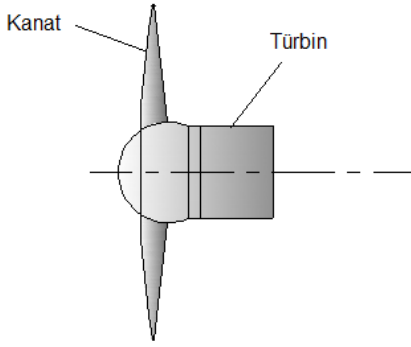
eşitliği elde edilir, ve çıkarma düzleminin diğer akış tarafında;

$$p_1 - \Delta p + \frac{1}{2}\rho V_1^2(1-a)^2 = p_0 + \frac{1}{2}\rho V_0^2\{(1-f(a))\}^2 \quad (19)$$

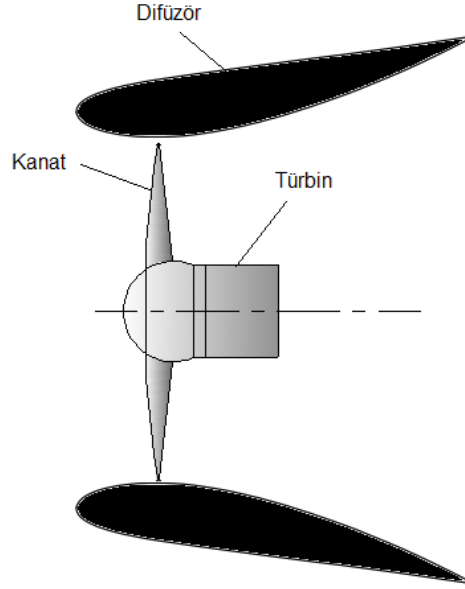
eşitliği elde edilir. $f(a)$ ise aşağıdaki eşitlikten bulunabilir:

$$f(a) = 2 \left\{ \frac{a-a_0}{1-a_0} \right\} \quad (20)$$

Difüzör üzerindeki kuvvet ise aşağıdaki gibi bulunur:



a)



b)

Şekil 5.a) Açık b) difüzörlü akışta rüzgâr türbinleri

Tablo 2. Seçilen parametreler

Parametre	Değer
Türbin rotor çapı, D	1 m
Atmosferik hava yoğunluğu, ρ	1,225 kg/m ³
Serbest akış rüzgar hızı, V_0	0-10 m/s
Eksenel akış indüksiyon faktörü, a	0,2
Kontrol hacmi çıkışı akış indüksiyon faktörü, $f(a)$	0,35

Rotor düzlemi üzerindeki rüzgâr hızının serbest akış rüzgâr hızına göre değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, açık akıştaki rüzgâr türbinine göre difüzörlü akışta rotor düzlemi üzerindeki rüzgâr hızı oldukça belirgin bir şekilde artmaktadır. Örneğin, serbest akış rüzgâr hızı 10 m/s olduğunda açık akıştaki rotor düzlemi üzerindeki rüzgâr hızı 8 m/s iken, difüzörlü akışta bu hız 12 m/s olmaktadır.

$$T_d = \frac{1}{2}\rho AV_0^3 \left\{ \frac{-4a_0(1-a)(a-a_0)}{(1-a_0)^2} \right\} = -a_0 T \quad (21)$$

Sonuç itibarıyla, açık ve difüzörlü akışı karşılaştıran sonuçların bir özeti Tablo 1'de verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

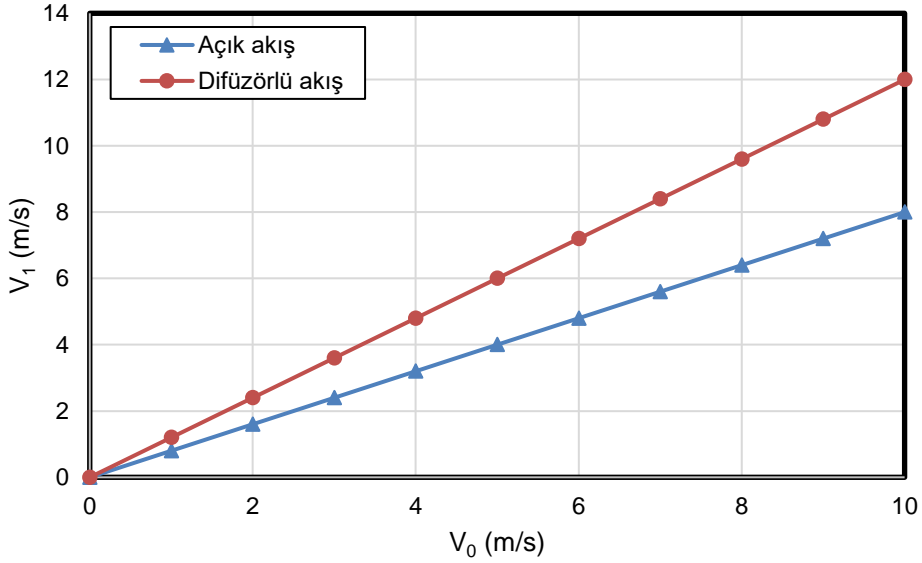
Bu çalışmada, rotor çapı 1 m olan yatay eksenli üç kanatlı bir rüzgâr türbinini düşünülmüştür (Şekil 5). Bu türbin önce açık akışta analiz edilmiş, daha sonra türbinin etrafına bir difüzör yerleştirilerek difüzörlü akışta aerodinamik karakteristikler hesaplanmıştır. Çalışma için seçilen parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Kontrol hacmi çıkışındaki rüzgâr hızının serbest akış rüzgâr hızına göre değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, her iki akış için de kontrol hacmi çıkışındaki rüzgâr hızı serbest akış rüzgâr hızına göre daha düşük olmaktadır. Örneğin, serbest akış rüzgâr hızı 10 m/s iken kontrol hacmi çıkışındaki rüzgâr hızı değerleri açık ve difüzörlü akış için, sırasıyla, 6 m/s ve 6,5 m/s olarak hesaplanmıştır.

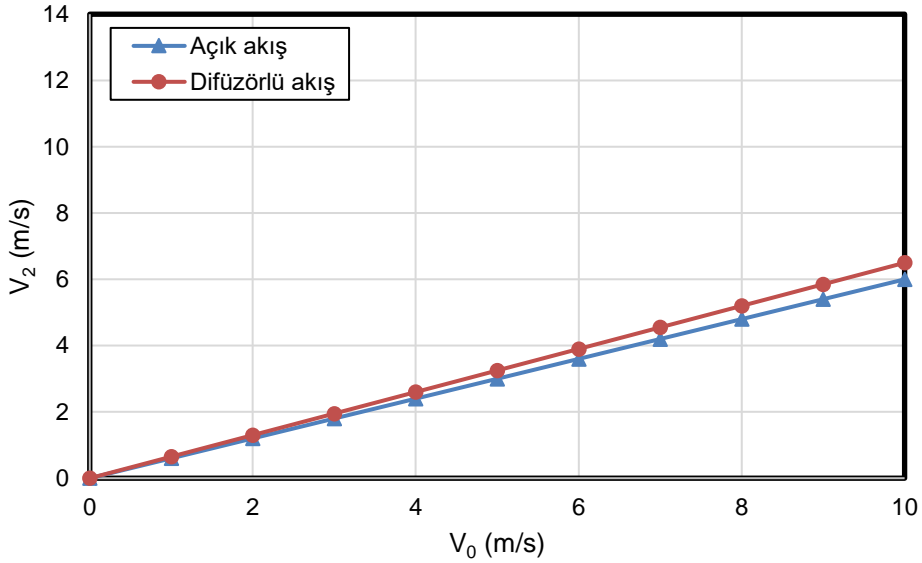
Açık ve difüzörlü akış için rüzgâr türbinlerinden elde edilen güç katsayısı değerleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, aynı serbest akış rüzgâr hızı için difüzörlü akışta rotor düzlemi üzerindeki rüzgâr hızı daha büyük olduğundan güç katsayısı değeri açık akışa göre daha büyük elde edilmiştir. Açık akışta

maksimum güç katsayısı bilindiği gibi, aksel akış indüksiyon faktörünün $a=1/3$ olduğu değere karşılık gelen Betz limitine ($C_{pm}=0,5925$) eşit olmaktadır. Diğer yandan difüzlü akışta, difüzör

tarafından rotor düzlemi alanı boyunca ilave kütle akışı ile Betz sınırı aşılmış ve maksimum güç katsayısı değeri 0,86 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. Rotor düzlemi üzerindeki rüzgâr hızının serbest akış rüzgâr hızına göre değişimi



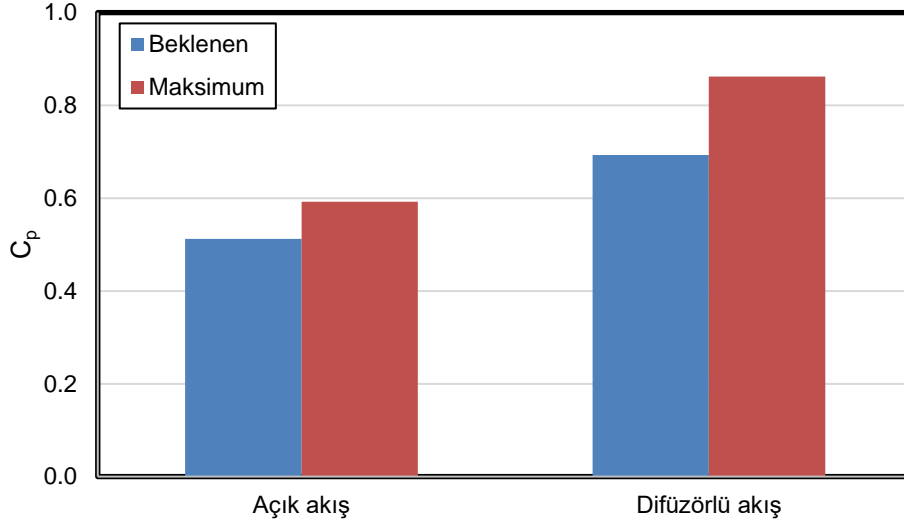
Şekil 7. Kontrol hacmi çıkışındaki rüzgâr hızının serbest akış rüzgâr hızına göre değişimi

Seçilen aksel indüksiyon faktörlerine göre elde edilen rotor düzlemi üzerindeki itme kuvveti katsayıları Şekil 9'da karşılaştırılmıştır. Rotor düzlemi üzerindeki itme kuvveti katsayısı değerleri açık ve difüzlü akış için, sırasıyla, 0,64 ve 0,58 olarak hesaplanmıştır.

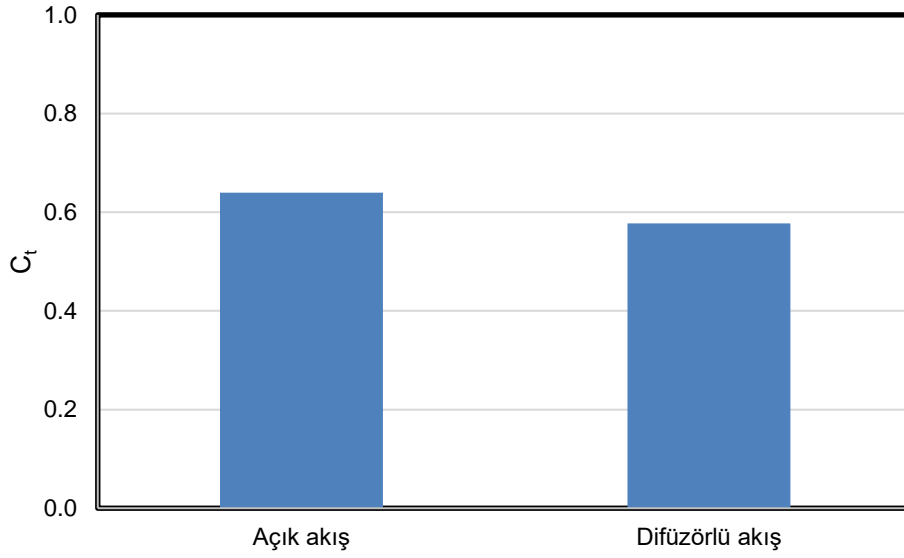
Seçilen aksel indüksiyon faktörlerine göre elde edilen rotor düzlemi üzerindeki basınç farkının serbest akış rüzgâr hızına göre değişimi Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, rotor düzlemi üzerindeki basınç farkı aynı zamanda itme kuvveti katsayısı ile ilişkili olup

serbest akış rüzgâr hızının artmasıyla birlikte artmaktadır.

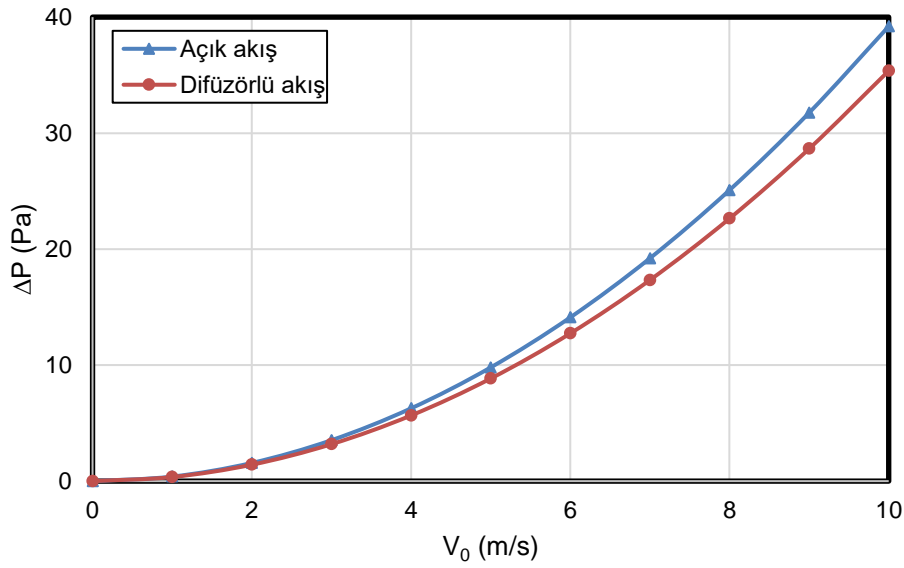
Rüzgâr türbininden elde edilen gücün serbest akış rüzgâr hızına göre değişimi Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, difüzör tarafından rotor düzlemi alanı boyunca ilave kütle akışı nedeniyle, difüzlü akış rüzgâr türbininden elde edilen güç değeri açık akış rüzgâr türbinine göre daha fazladır. Örneğin, serbest akış rüzgâr hızı 10 m/s iken açık akıştaki rüzgâr türbini üzerinden elde edilen güç değeri 246,17 W iken, difüzlü akıştaki rüzgâr türbini üzerinde elde edilen güç değeri 333,2 W olmaktadır.



Şekil 8. Açık ve difüzörlü akış için rüzgar türbinlerinden elde edilen güç katsayısı değerleri



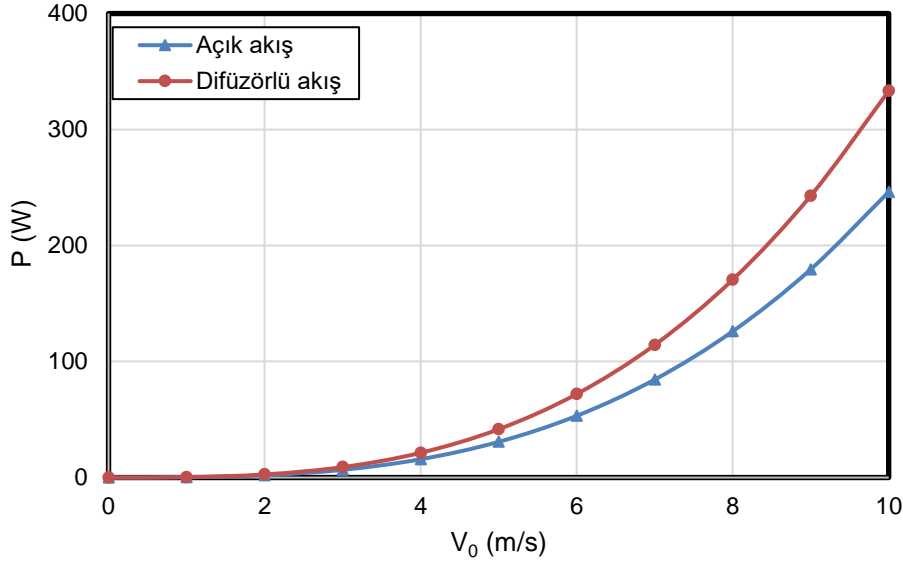
Şekil 9. Rotor düzlemi üzerindeki itme kuvveti katsayıları



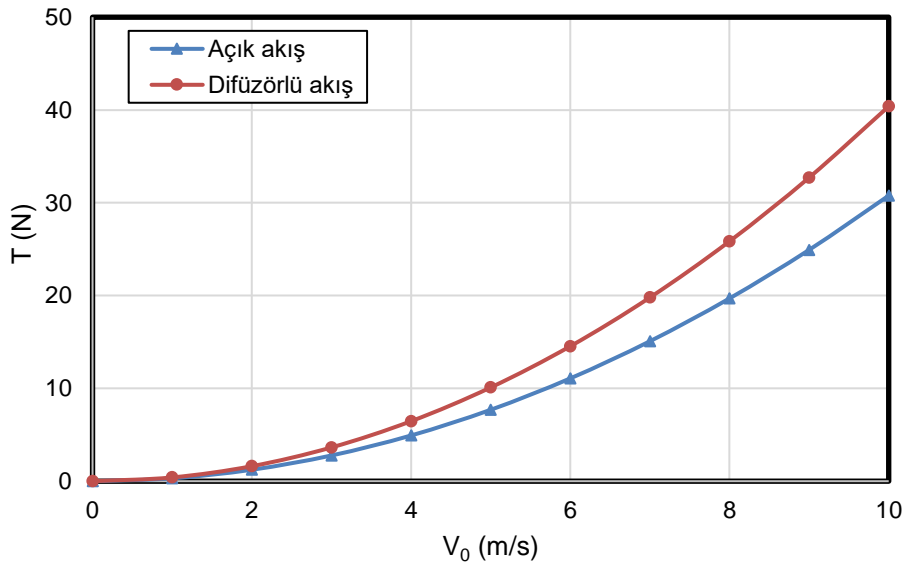
Şekil 10. Rotor düzlemi üzerindeki basınç farkının serbest akış rüzgâr hızına göre değişimi

Rüzgâr türbini üzerindeki itme kuvvetinin serbest akış rüzgâr hızına göre değişimi Şekil 12’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, rüzgâr türbini üzerindeki itme kuvveti serbest akış rüzgâr hızının artmasıyla birlikte tabii ki artmaktadır. Bir rüzgâr türbini üzerinde difüzör kullanılması, türbin performansını artırmasına rağmen ek bir

itme kuvveti oluşturmaktadır. Örneğin, serbest akış rüzgâr hızı 10 m/s iken açık akıştaki rüzgâr türbini üzerinden elde edilen itme kuvveti değeri 30,77 N iken, difüzörlü akıştaki rüzgâr türbini üzerinde elde edilen itme kuvveti değeri 40,39 N olmaktadır.



Şekil 11. Rüzgâr türbininden elde edilen gücün serbest akış rüzgâr hızına göre değişimi



Şekil 12. Rüzgâr türbini üzerindeki itme kuvvetinin serbest akış rüzgâr hızına göre değişimi

4. Sonuç

Ülkemizde elektrik enerjisi tüketiminin artmasıyla birlikte, kısmi ihtiyaçları gidermek üzere elektrik enterkonnekte hatlarının olmadığı yerlerde, küçük işletmelerde (tarım, petrol istasyonları ve çeşitli üretim firmaları) ve konut uygulamalarında küçük kapasiteli rüzgâr türbinlerine olan talebin artacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisanssız elektrik üretiminde kurulu güç üst sınırın 14 Mart

2013’te kabul edilen Elektrik Piyasası Kanunu ile 500 kW’tan 1000 kW’a yükseltilmesi ile küçük işletmelerde küçük kapasiteli rüzgâr türbinlerine olan ihtiyacın daha da artması beklenmektedir. Bu anlamda, düşük rüzgâr hızlarında verimli çalışabilen, kentsel ve kırsal alanlarda konutlarda/binalarda ve küçük işletmelerin kullanımına yönelik rüzgâr türbinlerinin tasarım ve imalatının dışa bağımlı olmadan ülkemiz akademisyenler ve sanayiciler tarafından yapılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada, düşük

rüzgâr hızlarında verimli çalışabilen, kentsel ve kırsal alanlarda konutların kullanımına yönelik küçük kapasiteli, yatay eksenli ve difüzörlü rüzgâr türbinlerinin tasarımı için analitik çözümleme ve modelleme yapılmıştır. Bunun için rotor çapı 1 m olan açık akış ve difüzörlü akış şeklinde olan iki rüzgâr türbini düşünülmüş ve aerodinamik karakteristikleri elde edilerek karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, bir rüzgâr türbini üzerinde difüzör kullanılması, türbin performansını artırmasına rağmen ek bir itme kuvveti oluşturmaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Araştırmacının katkı oranı %100'dür.

Çatışma Beyanı

Yazar, bu yazıda bildirilen çalışmayı etkilemiş herhangi bir kişisel ve/veya mali çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Biriminin FBA-2017-8800 numaralı projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] Bilgili M., Ozbek A., Sahin B., Kahraman A. An overview of renewable electric power capacity and progress in new technologies in the world, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015; 49: 323–334.
- [2] Korompili A., Wu Q., Zhao H. Review of VSC HVDC connection for offshore wind power integration, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 59: 1405-1414.
- [3] Emmanouil G., Galanis G., Kalogeri C., Zodiatis G., Kallos G. 10-year high resolution study of wind, sea waves and wave energy assessment in the Greek offshore areas, *Renewable Energy* 2016; 90: 399-419.
- [4] Islam MR., Mekhilef S., Saidur R. Progress and recent trends of wind energy technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 21: 456-468.

- [5] Jones CR., Eiser JR. Understanding 'local' opposition to wind development in the UK: How big is a backyard? *Energy Policy* 2010; 38: 3106-3117.
- [6] Kaldellis JK., Zafirakis D. The wind energy (r)evolution: A short review of a long history, *Renewable Energy* 2011; 36: 1887-1901.
- [7] Kaplan YA. Overview of wind energy in the world and assessment of current wind energy policies in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015; 43: 562-568.
- [8] Karthikeyan N., Murugavel KK., Kumar SA., Rajakumar S. Review of aerodynamic developments on small horizontal axis wind turbine blade, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015; 42: 801-822.
- [9] Söderholm P., Pettersson M. Offshore wind power policy and planning in Sweden *Energy, Policy* 2011; 39: 518-525.
- [10] IEA. Energy technology perspectives. International Energy Agency, <https://www.iea.org> (2010, accessed 14 July 2010).
- [11] IEA. Technology roadmap, wind energy. International Energy Agency, <https://www.iea.org> (2013, accessed 7 June 2013).
- [12] IRENA. Renewable energy benefits: measuring the economics. International Renewable Energy Agency, <http://www.irena.org> (2016, accessed 6 November 2016).
- [13] Wang S., Wang S. Impacts of wind energy on environment: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015; 49: 437-443.
- [14] Bilgili M., Sahin B. Electric power plants and electricity generation in Turkey, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy* 2010; 5; 81-92.
- [15] EWEA, European Wind Energy Association, (2018). Wind energy in Europe in 2018. <https://windeurope.org/about-wind/statistics/european/>.

- [16] GWEC, Global Wind Energy Council, Global wind report, 2018, <http://www.gwec.net>.
- [17] WE, Wind Europe, (2018). Wind in power 2018, Annual combined onshore and offshore wind energy statistics. <https://windeurope.org/>.
- [18] TETC, Turkish Electricity Transmission Corporation, Electricity statistics, 2019. <https://www.teias.gov.tr/>.
- [19] Abadi PRM., Daneshmand SV., Sharific R. Development and economical evaluation for wind power plant in Chabahar in Sistan and Baluchestan province-Iran, Journal of Renewable Energy and Environment JREE, 2016; 3(1): 17-24.
- [20] Abe K., Ohya Y. An investigation of flow fields around flanged diffusers using CFD, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2004; 92: 315-330.
- [21] Abe K., Nishida M., Sakurai A., Ohya Y., Kihara H., Wada E., Sato K. Experimental and numerical investigations of flow fields behind a small wind turbine with a flanged diffuser, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 2005; 93: 951-970.
- [22] Al-Sulaiman FA., Yilbas BS. Thermoeconomic analysis of shrouded wind turbines, Energy Conversion and Management 2015; 96: 599-604.
- [23] Adeel A., Zaidi M., Uddin N. Numerical investigations of subsonic flow through a convergent-divergent duct with varying flange heights at exit, Proceedings of International Conference on Energy and Sustainability, Ned University of Engineering & Technology, Karachi, Pakistan, 2013; 15-19.
- [24] Allaei D., Andreopoulos Y. INVELOX: Description of a new concept in wind power and its performance evaluation, Energy 2014; 69: 336-344.
- [25] Allaei D., Tarnowski D., Andreopoulos Y. INVELOX with multiple wind turbine generator systems, Energy 2015, 93: 1030-1040.
- [26] Jamieson P. Innovation in wind turbine design. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2011.