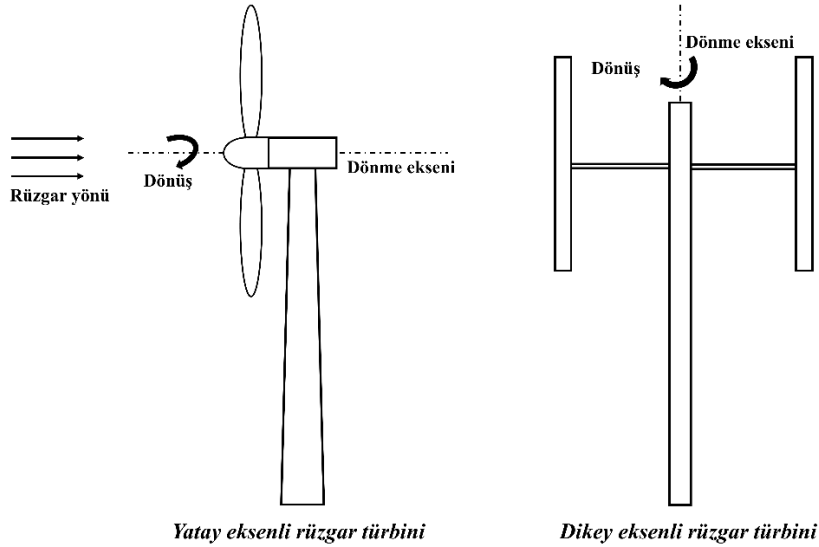


1. GİRİŞ

1.1. Rüzgar Türbinleri ve Çeşitleri

Yenilenebilir enerji sürekli doğa tarafından takviye edildiğinden son derece umut vadetmiş ve geleceğin enerjisi olarak görülmüştür. Birçok yenilenebilir enerji kaynağı mevcut olmakla beraber rüzgar enerjisi bunların en gözde olanları arasında yer almıştır. Rüzgar enerjisi havanın yoğunluk farkı dolayısıyla hareketi sonucunda sahip olduğu kinetik enerjiyi ifade eder ve bu kinetik enerji çeşitli türbinler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu sayede faydalı enerji elde edilerek kullanıma sunulmuş olur.

Rüzgar türbinlerinin pek çok çeşidi tasarlanmıştır. Bundan birden fazla şekilde sınıflandırılmaları bulunmaktadır. En genel bazda bakıldığında rüzgar türbinleri dönme eksenlerinin rüzgarın geliş yönüne göre pozisyonunu ifade eden şekilde sınıflandırılmışlardır. Buna göre rüzgar türbinleri yatay eksenli, dikey eksenli ve eğik eksenli olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmışlardır. En yaygın kullanılan sınıflar ise yatay ve dikey eksenli rüzgar türbinleri olmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Yatay ve dikey eksenli rüzgar türbinleri şematik gösterimi (Erkan, 2022).

Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin (YERT), rotor mili rüzgar yönüne paralel olarak yerleştirildiğinden dönme eksenleri rüzgar yönüne paraleldir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri; rüzgarı önden alan, rüzgarı arkadan alan, tek kanatlı, çift kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı rüzgar türbinleri olmak üzere beş farklı sınıf oluştururlar. Bu türbinlerden en yaygın kullanılanı üç kanatlı rüzgar türbinleridir. Yüksek elektrik üretim kapasitelerine sahip olmalarına rağmen yatay eksenli rüzgar türbinleri üretim, lojistik, kurulum, bakım ve onarım açısından son derece maliyetli makinelerdir.



Şekil 2. Yatay eksenli ve üç kanatlı bir rüzgar türbini (Wikipedia, 2020).

Dikey eksenli rüzgar türbinleri (DERT), rotor milinin rüzgar yönüne dik ve düşey olarak yerleştirildiği türbinlerdir. Bu türbinlerin kanatları da düşeydir ve yerden türbinin en üst noktasına kadar uzanırlar. Türbinlerin üreteç ve dişli kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden kuleye gerek duyulmaz. Yere yakın olarak kurulduklarından düşük rüzgar hızlarında çalışmak zorundadırlar ve bu yüzden yüksek elektrik üretimi açısından dezavantajlıdırlar. Ancak hem maliyetleri düşük hem de rüzgar yönüne daha az bağımlı olduklarından şehir bölgelerinde kullanıma uygun durumdadırlar. Dikey eksenli rüzgar türbinlerinin, Savonius, Darrieus, H-Darrieus gibi çeşitleri bulunmaktadır. Yatay eksenli ve dikey eksenli rüzgar türbinlerinin kıyaslanması Tablo 1’de verilmiştir.

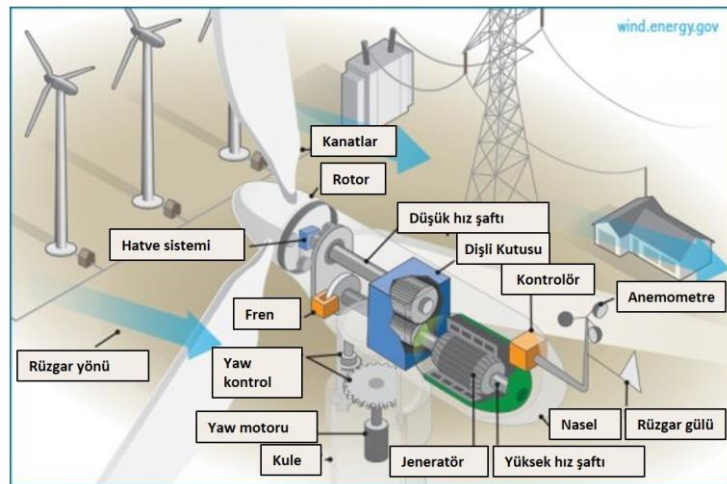
Tablo 1. Yatay ve dikey eksenli rüzgar türbinlerinin kıyaslanması (Nurbay ve Çınar, 2005).

	YERT				DERT	
	Tek Kanatlı	2 Kanatlı	3 Kanatlı	Çok Kanatlı	Savonius	Darrieus
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Çalışma Hızı	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Kule İhtiyacı	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
Kullanım Amacı	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Su Pompalama	Az Elektrik Su Pompalama	Az Elektrik Su Pompalama
Gürültü	Yüksek	Yüksek	Düşük	Çok Az	Çok Az	Çok Az



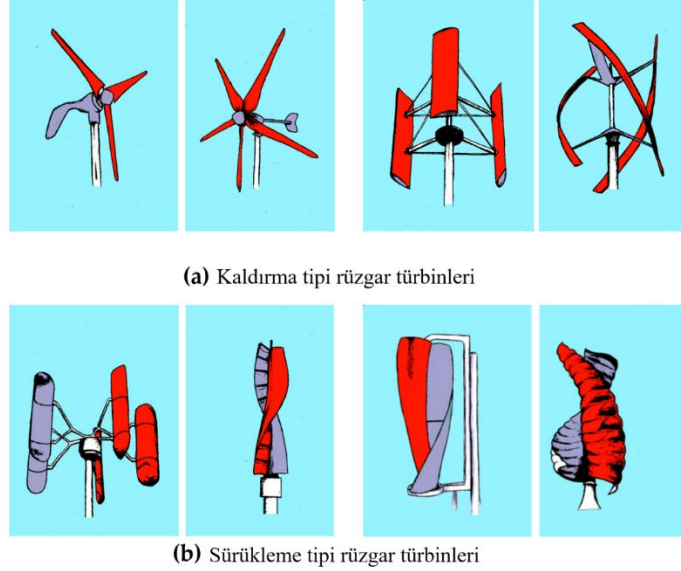
Şekil 2. H-Darrieus rüzgar türbini (Wikipedia, 2020).

Bir yatay eksenli rüzgar türbini Şekil 3’te de gösterildiği üzere başlıca kule, kanatlar, nasel, rotor, sapma kontrol mekanizması, hatve kontrol mekanizması, frenler, anemometre, dişli kutusu, jeneratör, kontrolör, rüzgar gülü elemanlarından meydana gelmektedir. Dikey eksenli rüzgar türbinleri de genel olarak aynı elemanlara sahip olmakla birlikte farklı olarak dişli kutusu ve jeneratörü içeren kısımlar kule üzerinde değil yere montelenmektedir.



Şekil 3. Üç kanatlı YERT elemanları (EERE, 2020).

Rüzgar türbinleri yatay ve dikey eksenli olarak dönme yönüne göre sınıflandırıldığı gibi etkin kuvvetlere göre kaldırma tipi ve sürüklenme tipi olarak da sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmada türbinin dönmesinde baskın kuvvet hangisi ise ona göre ayrılır (Şekil 4).



Şekil 4. Kuvvetlere göre rüzgar türbini tipleri (Doerffer vd., 2019).

1.2. Rüzgar Türbinlerinde Boyutsuz İfadeler

a. Güç katsayısı (C_p)

Güç Katsayısı (C_p), rüzgar enerjisi endüstrisi tarafından sıklıkla kullanılan rüzgar türbini verimliliğinin bir ölçüsüdür. C_p , bir rüzgar türbini tarafından üretilen gerçek elektrik gücünün, belirli bir rüzgar hızında türbin kanatlarının üretebileceği teorik rüzgar gücüne bölünmesiyle elde edilen orandır. Bir türbinin güç katsayısı Denklem 1'deki gibi ifade edilir. Burada $P_{türbin}$ türbinin üretmiş olduğu ve ölçülen güç çıktısıdır. P_{teorik} ise türbinin o an maruz kaldığı koşula ve tasarıma göre türbinin üretebileceği maksimum gücü ifade etmekte olup P_{teorik} Denklem 2'de verildiği gibi hesaplanır. Denklem 2 içerisindeki ρ (kg/m^3) havanın yoğunluğunu, V hava hızını belirtir. A , türbin kanatlarının taradığı alanı ifade etmekte olup Denklem 3'te verilmiştir, burada D türbinin çapını göstermektedir.

$$C_p = \frac{P_{türbin}}{P_{teorik}} \quad (1)$$

$$P_{teorik} = 0.5 \times \rho \times A \times V^3 \quad (Watt) \quad (2)$$

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (m^2) \quad (3)$$

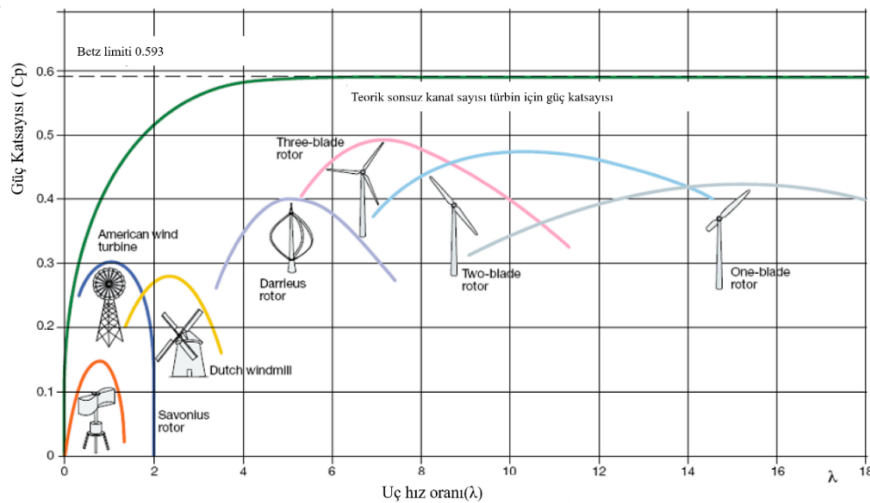
Denklem 2 içerisindeki ρ (kg/m^3) havanın yoğunluğunu, V hava hızını belirtir. A , türbin kanatlarının taradığı alanı ifade etmekte olup Denklem 3’te verilmiştir, burada D türbinin çapını göstermektedir.

Bir rüzgar türbinin tasarımı ne kadar mükemmel olursa olsun rüzgar enerjisini tamamen faydalı enerjiye dönüştürmek mümkün değildir. Bu kayıp türbin tasarımı veya başka bir parametre ile ilgili olmayıp tamamen akışın doğası gereği ortaya çıkmaktadır. Tüm rüzgar türbinlerinin güç katsayısı Alman fizikçi Albert Betz tarafından ortaya çıkarılmış olan Betz limiti ile sınırlıdır. Betz limiti bir türbinin rüzgardan en fazla %59.3 oranında güç üretilebileceğini, diğer bir ifade ile rüzgar türbinlerinin güç katsayısının maksimum 0.593 olabileceğini ifade eder (Betz, 1966).

b. Uç hız oranı (λ)

Uç Hız Oranı (λ), rüzgar türbini tasarımında son derece önemli bir faktördür ve rüzgar hızı ile rüzgar türbini kanatlarının uçlarının hızı arasındaki oranı ifade eder. Uç hız oranının formülasyonu Denklem 4’te verilmiştir. Burada ω (rad/s) türbinin açısal hızını R ise türbinin yarıçapını ifade etmektedir. Genellikle türbinlerin kıyaslanmasında güç katsayısı-uç hız oranı grafikleri kullanılır. Bu grafiklerdeki eğriler farklı akış koşullarında türbinlerin üretim karakteristiğinin görülmesine yardımcı olurlar. Farklı türbinlerin güç katsayısı-uç hız oranı ilişkisi örnek olarak Şekil 5’te verilmiştir.

$$\lambda = \frac{\text{Kanat ucundaki çizgisel hız}}{\text{Rüzgar hızı}} = \frac{\omega \times R}{V} \quad (4)$$



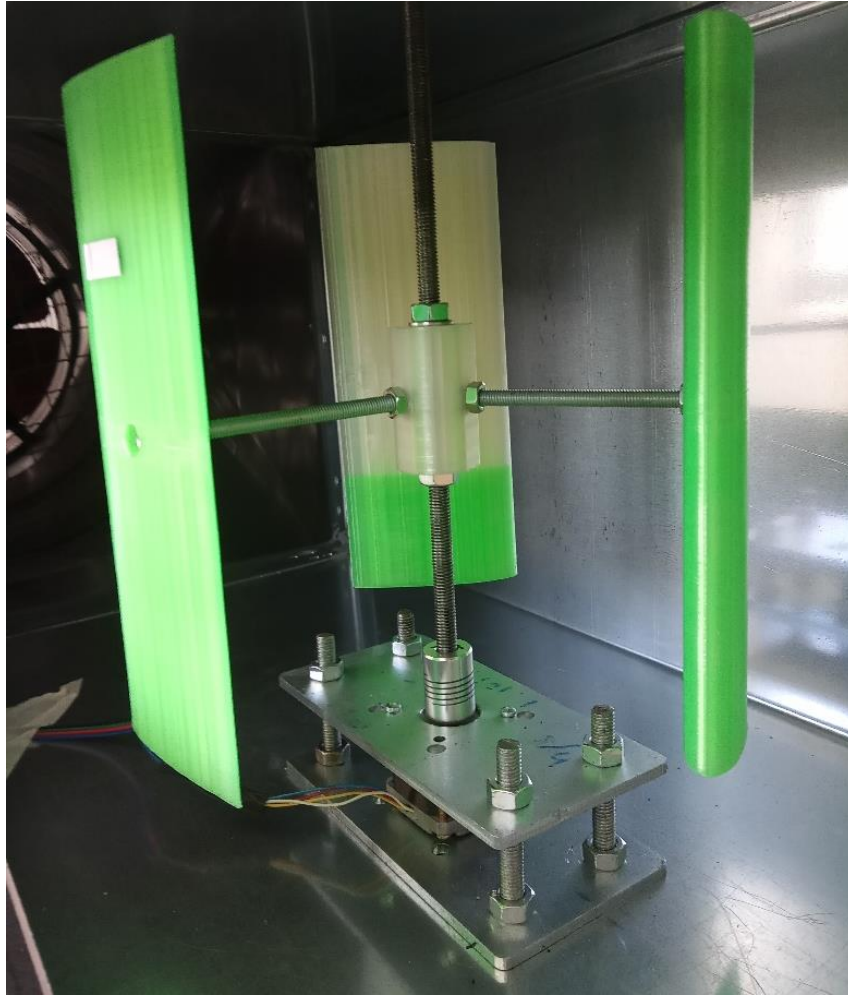
Şekil 5. Farklı türbin türlerinin güç katsayısı karakteristikleri (Ebrahimpour vd., 2019).

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmalarda Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı-Akışkanlar Laboratuvarı bünyesinde bulunan açık çevrimli emme tipi rüzgar tünelinin kullanılacaktır. Tünelin test bölmesi 30cm×30cm boyutlarındadır. Tünel içerisinde ulaşılabilen maksimum rüzgar hızı 8.9 m/s civarında belirlenmiştir.

2.1. Türbin Geometrisi

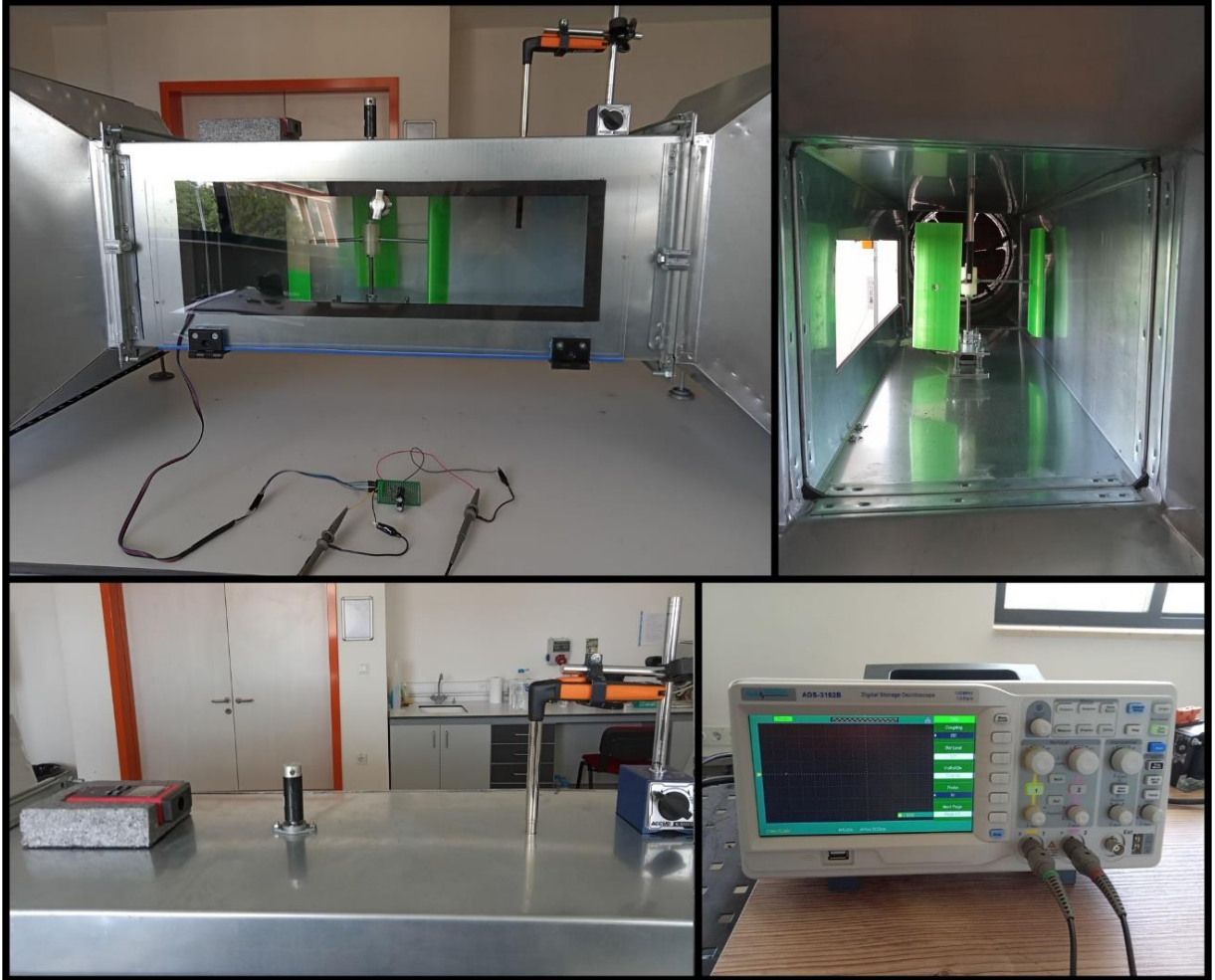
Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan türbinin 3 kanatlı olması planlanmıştır. Kanatlar NACA0021 profilinden, sabit 8 cm veter uzunluğu ve 20 cm kanat açıklığı olacak şekilde 3D yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Dikey eksenli rüzgar türbini 15cm çapa sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Türbinin montajlanmış hali Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Dikey eksenli rüzgar türbini.

2.2. Deney Düzenegi

Rüzgar türbini şaftının bir ucu Nema-17 Step motora bağlanmıştır. Türbin şaftının üst ucu tünel üzerine rulman ile yataklanarak yalpalamanın önüne geçilmiştir. Buna ek olarak türbin şaftı bir miktar tünel dışına uzatılarak lazer takometre ile devir ölçümü yapılmıştır. Rüzgar ölçümü için Testo marka sıcak tel anemometresi kullanılmıştır. Anemometre tünel üzerinden bir delik açılarak test bölgesi içerisine salınmış ve hız ölçümleri yapılmıştır. Türbinin elektrik üretimini ve karakteristiğini incelemek için AATech ADS-3102B - Dijital Osiloskop kullanılmıştır. Osiloskop yardımı ile türbinin ürettiği DC ve AC elektrik üretimi volt cinsinden ölçülmüştür. Deney düzenegi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Deney düzenegi.

KAYNAKLAR

- Betz, A. (1966). *Introduction to the Theory of Flow Machines*. Pergamon Press, Oxford, UK.
- Doerffer, P., Doerffer, K., Ochrymiuk, T., & Telega, J. (2019). Variable Size Twin-Rotor Wind Turbine. *Energies*, 12(13), 2543.
- Ebrahimpour, M., Shafaghat, R., Alamian, R., & Safdari Shadloo, M. (2019). Numerical investigation of the savonius vertical axis wind turbine and evaluation of the effect of the overlap parameter in both horizontal and vertical directions on its performance. *Symmetry*, 11(6), 821.
- Erkan, O. (2022). Recent Advances in Improving the Aerodynamic Performance of Wind Turbines. Kılıç. B. & Başyigit Kılıç. G. (Der.), *New Trends in Engineering Sciences*, (467-484), İzmir, Duvar Publishing.
- EERE. <https://www.energy.gov/eere/wind/wind-energy-technologies-office>, (19.08.2019).
- Nurbay, N., & Çınar, A. (2005). Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 19-21 Ekim 2005, Mersin, 19–21.
- Wikipedia (2020). https://en.wikipedia.org/wiki/Vestas_V164, (02.02.2020).
- Wikipedia (2023). <https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:H-Darrieus-Rotor.jpg>, (02.02.2023).