

## Rüzgar türbinlerinin farklı rüzgar hızı koşullarında performans karşılaştırması

Hüseyin Kahraman<sup>1\*</sup>, İdris Cesur<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Makina Mühendisliği /Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Makina Mühendisliği /Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

\*huseyink@subu.edu.tr

**Özet** –Enerji, bugün dünyanın en önemli sorunlarından biridir. Fosil enerji kaynakları tükeniyor, bu nedenle dünya yeni enerji kaynakları arayışı içindedir. Rüzgar, eski zamanlarda sulama ve un değirmenlerinde kullanılan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte rüzgar enerjisinden elektrik üretilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada rüzgar enerjisi ve türbinleri tanıtılmış, kanat profilleri ve tasarım faktörleri incelenmiştir. Evrimsel yapı optimizasyonu, boyut, şekil ve topoloji optimizasyonu için basit ve etkili bir yöntem olarak kullanılabilir. Bu yöntem, yapı tasarımını geliştirme ve en uygun hale getirme konusunda oldukça yeni bir araçtır. Kirişlerin en uygun tasarımları araştırıldı ve QBlade programı kullanılarak gerçekleştirildi. Yapıdaki gerilme dağılımı optimize edildi ve kafes benzeri tasarımlar elde edildi. Bu nihai tasarımlarda, başlangıç hacmine göre %30-40'a varan oranlarda azalma görüldü. Topoloji optimizasyonunun önemi ve amacı üzerinde duruldu ve yapılan çalışmaların sonuçları sunuldu. Bu çalışmanın ana amacı, en uygun tasarımları arayarak yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliğini artırmaktır.

*Anahtar Kelimeler – Yenilenebilir Enerji, Rüzgar Türbinleri, Rüzgar Türbin Kanatları, Türbin Kanat Performansı*

### I. GİRİŞ

Rüzgar türbinleri, tarih boyunca insanoğlunun enerji üretimi için kullandığı en eski yöntemlerden biridir. Tarihsel olarak, ilk rüzgar türbinleri, tahıl öğütme, su pompalama ve gemilerin hareket ettirilmesi gibi basit mekanik işler için kullanılmıştır [1].

Orta çağda Avrupa'da, rüzgar türbinleri daha yaygın hale geldi ve bu dönemde kullanımları farklılaştı. Örneğin, Hollanda'da rüzgar türbinleri, su seviyesini düzenlemek ve alanları kurutmak için kullanılıyordu. Ayrıca rüzgar türbinleri, İskandinavya'da gemi inşa etmek ve işletmek için de kullanılıyordu [2].

Modern rüzgar türbinleri, 19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılın başlarında elektrik üretimi için kullanılmaya başlandı. 20. yüzyılın başlarında, Danimarka'da rüzgar türbinleriyle elektrik üretimi için ilk ticari santraller kuruldu. Ancak, bu santraller yalnızca küçük ölçekteydi ve toplamda çok az enerji üretebiliyorlardı [3].

1960'larda, rüzgar türbinleri yeniden gündeme geldi ve Avrupa ve ABD'de enerji üretimi için daha büyük ölçekli rüzgar türbinleri üretilmeye başlandı. 1980'lerde, rüzgar türbinleri için teknolojik gelişmeler yaşandı ve endüstri, rüzgar enerjisi alanında daha verimli ve büyük ölçekli türbinlerin üretimine odaklandı [4].

Günümüzde, rüzgar enerjisi dünya genelinde hızla yaygınlaşıyor ve birçok ülke enerji üretiminde rüzgar türbinlerini kullanıyor. Rüzgar türbinleri, sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kabul ediliyor ve yenilenebilir enerjinin geleceği için önemli bir rol oynamaktadır.

Rüzgar türbinleri genellikle dört ana kategoriye ayrılır: yatay eksenli, dikey eksenli, yüzen ve savunma türbinleri. Yatay eksenli türbinler, rotorunun dönüş ekseninin yatay olduğu ve genellikle üç kanatlı olduğu en yaygın türbindir. Dikey eksenli türbinlerde rotorunun dönüş ekseninin dikey olduğu ve genellikle çift kanatlı

olduğu görülür. Yüzen türbinler, açık denizlerde sabit bir platforma yerleştirilemeyecek kadar derin su olan yerlerde kullanılır ve genellikle daha büyük boyutlarda ve daha yüksek güç çıkışına sahiptirler. Savunma türbinleri, tipik olarak askeri amaçlar için kullanılır ve çoğunlukla yatay eksenli türbinlerdir, ancak genellikle daha küçük boyutlarda ve daha az güç çıkışına sahiptirler. Her bir türbin tipi, farklı avantajlar ve dezavantajlar sunar ve hangi türbinin seçileceği, kullanılacak bölgenin ihtiyaçlarına ve özelliklerine göre belirlenir [5].

Rüzgar türbini, elektrik enerjisi üretmek için kullanılan bir cihazdır ve çeşitli bileşenleri içerir. En temel bileşenleri arasında, kanatlar, rotor, jeneratör, göbek ve kule yer alır.

Kanatlar, rüzgarın enerjisini türbin rotoruna aktarır ve türbinin verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Genellikle, üç kanatlı bir yapıya sahiptirler ve her kanat, türbinin rotoruna yerleştirilmiştir.

Rotor, kanatların türbin göbeğine bağlandığı kısımdır ve dönerek hareket enerjisini jeneratöre aktarır. Genellikle, dişliler ve yataklar kullanılarak rüzgarın dönüş hareketi mekanik enerjiye dönüştürülür.

Jeneratör, türbinin elektrik enerjisine dönüştürdüğü ana bileşendir. Jeneratör, türbin rotorunun hareketini elektrik enerjisine dönüştürür ve daha sonra elektrik enerjisi güç şebekesine aktarılır.

Göbek, rotorun türbin direğine bağlandığı bölümdür ve diğer tüm bileşenleri bir arada tutar.

Kule, türbinin yüksekliğini belirleyen ve genellikle çelik veya betondan yapılmış bir yapıdır. Kule, türbinin yükseklikte çalışmasını sağlar ve kanatların rüzgar hızından en iyi şekilde yararlanmasını sağlar.

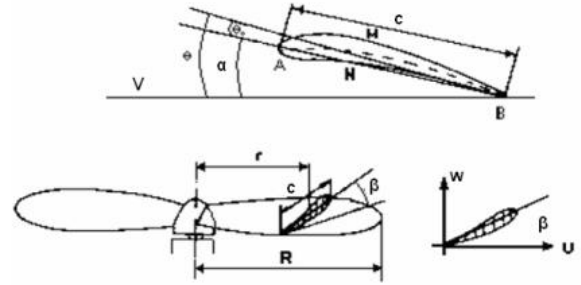
Bu bileşenler, birleşerek rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir sistem oluştururlar [6].

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmayı Bir rüzgar türbini kanadından maksimum verim elde etmek için gereken en önemli faktörlerden biri rüzgar türbini kanadının aerodinamik yapısıdır.

Rüzgar türbini kanatlarının aerodinamik yapısı dikkate alınırken kanatların tipi, kanatların açıları ve konumlarının en hafif rüzgarda dahi dönebilmesi ve bölgenin rüzgar potansiyeline uygun olması gerekmektedir.

Bu nedenle rüzgar türbini kanatları rüzgardan maksimum enerji elde edecek şekilde tasarlanmalıdır.

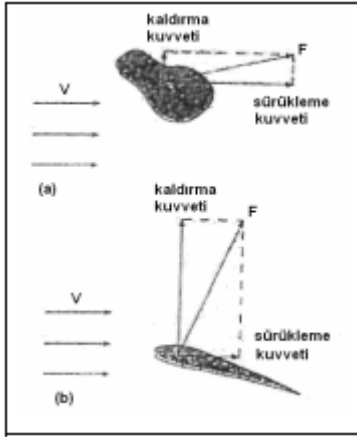


Şekil 1. Kanat ve Rotor Kesit Görüntüsü

Rüzgar türbini kanat tasarımında yapılacak ilk şey  $\lambda$  (kafa hızı oranı) seçmektir. Şebekeye bağlı üç kanatlı bir rüzgar türbini için bu değer 7 olarak alınır ve 6 ile 8 arasında bir değer seçilmelidir. En genel durumda, optimal  $\lambda$  profil tipine ve kesici kenarların sayısına bağlıdır. Bu nedenle, 6'dan 8'e kadar optimal  $\lambda$  sayısını seçmek bir genel kural değildir. Bir rüzgar türbini kanadı tasarımı için optimum profil uzunluğunun, profil ışın çizgisi ile kanadın dönme düzlemi arasındaki açı olan sıkma açısının ve buna bağlı olarak alt ve üst profil kalınlıklarının hesaplanması gerekmektedir. Rüzgar türbininde rüzgar enerjisinin emilmesini sağlayan kanatların profili ve kanat profilini etkileyen parametreler maksimum enerji elde etmek için çok önemlidir [7].

Şekil 1'de profilin (B) keskin ucuna çekme ucu, ucuna (A) ise kaldırma ucu denir. AB uzunluğu, profilli kirişin (tel) c uzunluğunu verir. Orta ışın geçiş eğrisi, ışın ortalama eğrisidir. Kaldırma hattı 0 ile kiriş arasındaki açı, kaldırma açısı  $\theta$  ( $\theta_0$ ) ve hız V ile kaldırma hattı 0 arasındaki açı, kaldırma açısıdır ( $\theta$ ). V hız vektörü ile ışın arasındaki açı, hücum açısı veya gelme açısıdır ( $\alpha$ ). Hafif eğimli yüzeyler, belirli bir hücum açısı için daha fazla kaldırma kuvveti sağlar. Kaldırma, akış yönüne dik olan kuvvettir. Kaldırma denir çünkü bu kuvvet uçağı yerden kaldırır. Yüzen kuvvetler, bir nesneyi çeker veya çeker. Dolayısıyla aerofoil adı verilen şekil türü bu duruma uygundur. Kanatlar üst yüzeyde daha hızlı akış sağlar. Şiddetli rüzgarlar, kanopinin üstündeki basıncı azaltarak alçak basınç alanı oluşturur. Sonuç olarak, kanat bir emme etkisi yaratarak havalanacaktır. İki temel kanat profili türü vardır: simetrik ve asimetric. Simetrik ve asimetric kanat profilleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir. (a), (b) ve

(c) ile gösterilen kanat profilleri asimetriktir; (d) kısmında simetrik kanat profilleri gösterilmiştir .



Şekil 2. Sürüklenme ve Kaldırma Kuvvetleri, a) Hava Akışı, Cisim Üzerine 90° Dik b) Hava Akışı, Cisim Yüzeyine Paralel

Sürüklenme, bir cisme akış yönünde etki eden kuvvettir. Örneğin cisme dik bir düzlemde maksimum direnç 90° olduğunda; Minimum sürüklenme, hava akımı nesnenin yüzeyine paralel olduğunda da meydana gelir (Şekil 2). Kaldırma, akış yönüne dik olarak meydana gelen bir kuvvettir. Bu kuvvet uçağı yerden kaldırdığı için buna kaldırma denir.

Düz plakaya etki eden kaldırma kuvveti, hava akımı plakanın yüzeyine göre 0°'lik bir açı oluşturduğunda gözlenir. Gaz akış yönüne küçük açılarda artan akış yoğunluğu nedeniyle düşük basınç alanları oluşur. Bu bölgeler aşağı akış olarak da bilinir. Yani gaz akış hızı ile basınç arasında bir ilişki vardır. Başka bir deyişle, hava akışı hızlandıkça basınç düşer, hava akışı yavaşladıkça basınç artar, "Bernoulli etkisi" olarak bilinen bir fenomen. Yüzen kuvvetler nesneye bir çekme (veya çekim) uygular.

Kaldırma ve sürüklenme hava akışına, kanat boyutuna, hava yoğunluğuna ve hücum açısına göre değişir. Belirli bir uçak için, kaldırma ve sürüklenme katsayıları, rüzgar tünellerindeki testler veya analitik formüller veya açının bir fonksiyonu olarak hesaplayan bir akışkanlar dinamiği hesaplayıcısı temel alınarak hesaplanabilir. ton. Sürtünme katsayısı (CD) ve kaldırma katsayısı (CL) farklı hücum açılarında hesaplanır. Bu katsayılar birimsiz niceliklerdir. Bu faktörler kullanılarak türbin için uygun kanat yapısı belirlenir.

$C_D$  sürüklenme katsayısı;

$$C_D = D / (0.5 \rho V^2 A)$$

$D$ : sürüklenme kuvveti (N),  $\rho$ : hava yoğunluğu ( $kg/m^3$ ),  $V$ : hava hızı (m/s),  $A$ : kanat alanı ( $m^2$ ) şeklinde ifade edilir.

$C_L$  kaldırma katsayısı ise;

$$C_L = L / (0.5 \rho V^2 A)$$

olarak gösterilir. Denklemdaki  $L$  indisi, kaldırma kuvvetini ifade etmektedir.

Her iki katsayı rüzgar tünellerinde farklı hücum açılarında ve rüzgar hızlarında hesaplanır. Alınan her insidans için  $C_D$  ve  $C_L$  katsayılarının oranı ( $C_D/C_L$ ) hesaplandı. Bu oranların en büyüğü olan hücum açısı değeri rüzgar türbinlerinden en yüksek verimin alınabileceği değerdir [8].

Tablo 1. Türbinlerde Kullanılan Bazı NACA Profillerinin Özellikleri

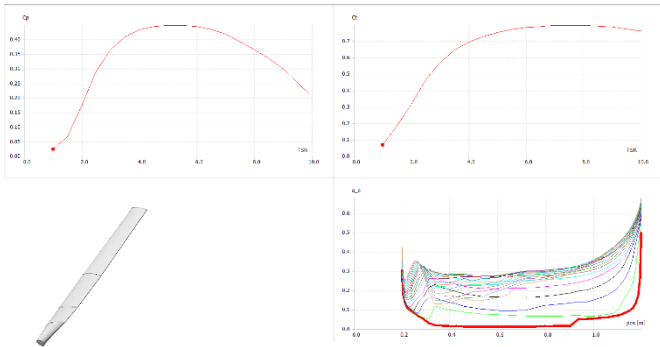
| Profil     | $\alpha$<br>(hücum veya geliş açısı) | $C_L$<br>(kaldırma katsayısı) | $C_D$<br>(sürüklenme katsayısı) |
|------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Naca 23012 | -2                                   | 0.0                           | 0.006                           |
|            | 8                                    | 0.872                         | 0.010                           |
|            | 20                                   | 1.210                         | 0.190                           |
| Naca 23015 | -2                                   | -0.001                        | 0.007                           |
|            | 8                                    | 0.898                         | 0.010                           |
|            | 20                                   | 1.270                         | 0.167                           |
| Naca 4412  | -4                                   | 0.003                         | 0.008                           |
|            | 8                                    | 1.135                         | 0.014                           |
|            | 20                                   | 1.504                         | 0.164                           |
| Naca 4415  | -4                                   | -0.038                        | 0.075                           |
|            | 8                                    | 1.102                         | 0.116                           |
|            | 20                                   | 1.304                         | 0.121                           |

Rüzgar türbin kanatlarında profil olarak daha çok NACA, LS ve LM profilleri kullanılmaktadır. Tablo 1. 'de de bazı NACA kanat profil özellikleri verilmektedir.

### III. BULGULAR

Rüzgar türbinlerinin verimlerini artırmak için tasarımlar yapılırken çeşitli 3 boyutlu tasarım uygulamaları (Solidworks, Fusion 360, Qblade, Ansys) kullanılmıştır. Bu programlardan Solidworks ve Catia programlarını tasarım ve katı gövdelerde iyileştirmeler için, Fusion 360 ve Ansys programlarını tasarımların çeşitli analizlerini hayata

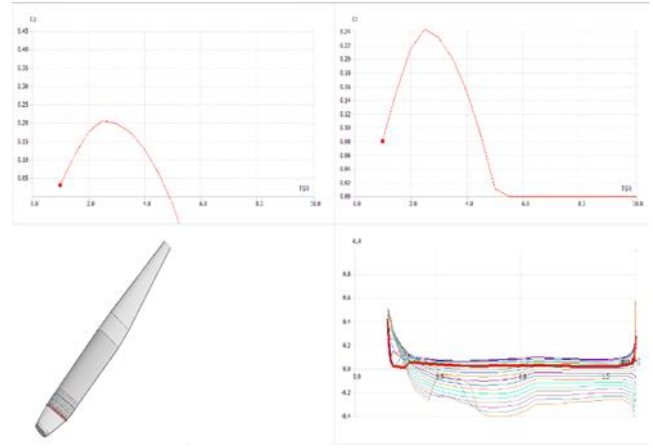
geçirmek için, Qblade programını ise rüzgar türbini kanatlarının koordinatlarını belirlemek, şablonlara erişmek, rüzgar türbinlerinin klasik profillerini (NACA) kullanabilmek ve onlara erişebilmek için kullanılmıştır. Solidworks ve Catia programlarında Qblade üzerinden elde edilen koordinatları Excel programı üzerinden Catia programına aktarılmıştır. Catia programına koordinatları atmak için öncelikle Excel tablosunda koordinatları Qblade üzerinden aktarılmıştır. Ardından makrolar kısmından 'Freuilt Main' ve 'GSD\_PointSplinetofFromExcel.xfs' seçeneğini seçilip çalışılmıştır.



Şekil 3. Türbin kanat tasarımı ve  $c_p$ ,  $c_t$  değerlerindeki değişim.

Şekil 3.'te Naca 4412 ve Reynold için 500000 değerini baz alarak yaptığımız tasarım için çıkan analiz değerleri görülmektedir. Tasarım ve analizlerden yola çıkarak bu tasarımın geliştirilmesi gerektiği düşünülmüştür. Bunun sebebi: kanat ucunun daralmamasından kaynaklı olarak rüzgar türbininin yüzeyinden rüzgarın istenilen formda akmaması ve böylelikle kanatlarda gerilmelerin fazla olmasıdır. Bu sebeple tasarım revize edilerek çalışmalara devam edilmiştir.

Optimize edilmiş kanatçık tasarımında, bütün değerlerin ve Naca profillerinin ortalamalarını baz alınmış, her değer için en optimal değerler üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 4. Optimize edilmiş türbin kanat tasarımı ve  $c_p$ ,  $c_t$  değerlerindeki değişim.

Bu değerler özelinde Naca 4415 profilinde çeşitli revizeler, iyileştirmeler ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarımız arasında rüzgarı en iyi açıyla alan, gövdede en az sürtünme sağlayan, rüzgarı en iyi şekilde gönderen kanadın Şekil 4.'te görülen tasarım olduğu gözlemlenmiştir.

#### IV. TARTIŞMA

Sonuç olarak yapılan iki farklı kanatçık tasarımı kıyaslandığında, optimize edilmiş kanatçık tasarımının rüzgarı yönlendirmesi, rüzgara karşı dayanımı, rüzgara karşı sürtünmesi gibi çeşitli konularda ulaştığımız en başarılı tasarım olduğu sonucuna varılmıştır. Kanat tasarımlarının çok çeşitli teknolojiler ve yüksek hassasiyetli testlere tabii tutulmasına karşın bilgisayar üzerinde ilerletmeye çalıştığımız testler de bizlere kanatların yeterli mukavemete sahip olduğu konusunda bilgi vermiştir.

#### V. SONUÇLAR

Rüzgar türbini kanatları; uçak kanatları ile aynı testlere tabii tutularak üretilmektedirler. Bunun sebebi iki kanadın da rüzgara karşı tepkime göstermesi ve aynı dayanımlara sahip olmasının gerektiğinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak bir rüzgar türbini yapılan testlere göre 20 yıllık bir ömür üzerinden üretilmeye çalışılmakta, fakat aktif olarak 20 yıldır kullanılan bir rüzgar türbini olmadığı için bu konuda net bir bilgi maalesef elimizde bulunmamaktadır. Rüzgar türbinleri yaklaşık 7 yılda kendini amorti edecek koşullarda ise kullanılırlar. Üretim açısından büyük maliyetler içermesi ve Ar-Ge çalışmasının yapılması çok

maliyetli olması bu alanda çoğu firmanın büyük sorunlarla karşılaşmasına sebep olmaktadır.

Şüphesiz rüzgar türbinleri gelecekte çok daha sık tercih edilen enerji kaynakları olacak ve yapılan çalışmalarla birlikte maliyet, üretim gibi zorlukları da artan taleple birlikte çözülecektir. Dünya olarak tükenen kaynaklarımızın bizleri bu konuda gelişmeye zorlayacağı ve zor zamanların güçlü insanlar, güçlü insanların ise zorlukları kolaylaştırması şu ana kadar teknolojinin ilerlemesinde şüphesiz en büyük etmendir.

## KAYNAKLAR

- [1] Duzdevich JP, Troviano M. Method to identify an energy class for small wind turbines. *Energy Sustain Dev* 2023;74:140–5. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.03.015>.
- [2] Menezes EJN, Araújo AM. Wind turbine structural control using H-infinity methods. *Eng Struct* 2023;286:116095. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116095>.
- [3] Badrkhani Ajaei B, El Nagggar MH. Re-purposing of shallow wind turbine foundations for power capacity increase. *Soil Dyn Earthq Eng* 2023;171:107959. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.107959>.
- [4] Moon H, Jeong J, Park S, Ha K, Yoo C, Jeong J-H. Numerical and experimental validation of vortex generator effect on power performance improvement in MW-Class wind turbine blade. *Renew Energy* 2023. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.04.104>.
- [5] Hesami A, Nikseresht AH. Towards development and optimization of the Savonius wind turbine incorporated with a wind-lens. *Energy* 2023;274:127263. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127263>.
- [6] Zhang Y, Li Z, Liu X, Sotiropoulos F, Yang X. Turbulence in waked wind turbine wakes: Similarity and empirical formulae. *Renew Energy* 2023;209:27–41. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.03.068>.
- [7] Wang T, Cai C, Wang X, Wang Z, Chen Y, Hou C, et al. Evolution mechanism of wind turbine wake structure in yawed condition by actuator line method and theoretical analysis. *Energy Convers Manag* 2023;281:116852. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116852>.
- [8] Ding H, Altay O, Wang J-T. Lateral vibration control of monopile supported offshore wind turbines with toroidal tuned liquid column dampers. *Eng Struct* 2023;286:116107. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116107>.