

PAPER DETAILS

TITLE: Biyonik Türbin Kanadi Tasariminda Aerodinamik Form Optimizasyonu

AUTHORS: Gülsüm Kiliç,Asim Sinan Karakurt

PAGES: 45-56

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3221881>

Biyonik Türbin Kanadı Tasarımında Aerodinamik Form Optimizasyonu

Gülsüm KILIÇ¹ , Asım Sinan KARAKURT^{2*} 

¹Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, gulsum.kilic@yildiz.edu.tr

²Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, asinan@yildiz.edu.tr

ÖZ

Rüzgâr enerjisi teknolojisi, rüzgârın türbin kanatlarını döndürmesi sonucu mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesi esasına dayanır. Rüzgâr türbininin kurulacağı yerin rüzgâr potansiyeli, verimli bir elektrik üretimi için oldukça önemlidir. Türbinlerde kullanılan jeneratör tipi, kanat aerodinamiği ve kanat sayısı verimi etkileyen faktörlerdendir. Kanat profili, kanat yapısı ve sürüklenme katsayısının kaldırma katsayısına oranı da (C_L/C_D) verimlilik bakımından türbin performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Farklı kanat profillerinde aynı hücum açısında (C_L/C_D) oranı farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmada biyomimikri yöntemi ile baykuş kanadı formundan ilham alınarak NACA-4412 profili üzerinde kanal açılmıştır. Kanallar, kanal genişliği 12 mm ve kanal derinliği kanat profilinin yüzeyinin %10 oranında küçültülmesiyle tüm yüzeyde 40 mm mesafe ile 5 tane olacak şekilde oluşturulmuştur. Analizler Reynolds sayılarının $2,5 \times 10^4$, 5×10^4 , $7,5 \times 10^4$ ve hücum açılarının 8° , 12° , 20° olması durumlarında gerçekleştirilmiştir. Kanallı model için sürüklenme katsayısı (C_D) ve kaldırma katsayısı (C_L) değerleri elde edilmiştir. Kanallı ve kanalsız model için analizlerin gerçekleştirildiği hücum açıları ve Reynolds sayılarında kaldırma katsayısı/sürüklenme katsayısı (C_L/C_D) oranları kıyaslanmıştır. Reynolds sayısının $2,5 \times 10^4$ değerinde hücum açısının 8° ve 12° 'lerinde kanallı modelde C_L/C_D oranında yaklaşık olarak 4 ve 8 katı artış olduğu görülmüştür. 20° de ise referans modelde stall durumu söz konusuysen kanal açılmış model daha kararlı bir yapıda olup çözüm gerçekleştirilebilmiştir. Reynolds sayısının 5×10^4 değerinde hücum açısının 8° ve 12° 'lerinde kanallı modelde C_L/C_D oranında yaklaşık olarak 4 ve 7 katı artış olduğu görülmüştür. Reynolds sayısının $7,5 \times 10^4$ değerinde hücum açısının 8° ve 12° 'lerinde kanallı modelde C_L/C_D oranında yaklaşık olarak 5 ve 8 katı artış olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Aerodinamik optimizasyon, Biomimikri, Kanat verimi, Rüzgâr türbini

Aerodynamic Form Optimization in Bionic Turbine Blade Design

ABSTRACT

Wind energy technology is based on the conversion of mechanical energy into electrical energy as a result of the wind turning the turbine blades. The wind potential of the place where the wind turbine will be installed is very important for an efficient electricity production. Airfoil, wing structure and the ratio of drag coefficient to lift coefficient (C_L/C_D) are also important parameters that affect turbine performance in terms of efficiency. In different wing profiles, the ratio of the same angle of attack may differ. In this study, a channel was opened on the NACA-4412 profile, inspired by the owl wing form with the biomimicry method. The channels are formed in such a way that the channel width is 12 mm and the channel depth is 5 pieces with a distance of 40 mm on the

entire surface by reducing the surface of the airfoil by 10%. Analyzes were performed when Reynolds numbers were 2.5×10^4 , 5×10^4 , 7.5×10^4 and angles of attack were 8° , 12° , 20° . The drag coefficient and lift coefficient values were obtained for the ducted model. It was observed that the C_L/C_D ratio increased approximately 4 and 8 times in the channel model at 8° and 12° of the angle of attack at a value of 2.5×10^4 Reynolds number. At 20° , when the reference model is stalled, the channel opened model is more stable and the solution can be realized. It was observed that the C_L/C_D ratio increased approximately 4 and 7 times in the channel model at 8° and 12° of the angle of attack at a Reynolds number of 5×10^4 . At 7.5×10^4 Reynolds number, at 8° and 12° of the angle of attack, there was an increase of approximately 5 and 8 times in the C_L/C_D ratio in the channel model.

Keywords: Aerodynamic optimization, Biomimicry, Blade efficiency, Wind turbine

1 Giriş

Enerjiye olan ihtiyaç, nüfusun artışı, sanayileşme, teknolojinin gelişmesi ve tüketimin artmasına bağlı olarak gün geçtikçe artmaktadır. Dünya üzerinde fosil yakıt kaynaklarının giderek tükenmesi üreticileri yeni enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. İklim değişiklikleri, hava kirliliği, sera gazı etkisi gibi olaylar enerji üretimi sırasında ortaya çıkan yan etkilerdir. Bu etkiler ülkeleri enerji üretiminde daha dikkatli olmaya zorlamaktadır. Rüzgâr, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak çevresel problemlere daha az sebep olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr, hızlı devreye alınabilmesi sebebi ile kullanım oranı giderek artmaktadır. Son yıllarda kompozit malzemelerdeki gelişmeler, türbin teknolojisindeki aerodinamik ve mekanik özelliklerin gelişmesini olumlu yönde etkilemiştir. Rüzgar enerjisinin kullanımı ile gürültü ve manyetik kirlilikler diğer enerji kaynaklarının kullanımı ile kıyaslandığında en aza indirilmiştir (Çolak & Demirtaş, 2010). Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çeviren rüzgar türbinleri, dönme eksenlerine, devirlerine, güçlerine, kanat sayılarına, rüzgar etkisine, dişli özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılır (Elibüyük & Üçgül, 2014). İlk yatırım maliyetleri yüksek olan rüzgâr türbinlerinin tercih edilme sebeplerinin başında işletme maliyetlerinin oldukça düşük olması gelmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi maliyeti giderek düşmektedir. Bir rüzgâr enerjisi santralinin toplam maliyetinin büyük bir kısmını rüzgâr türbinleri ve türbin bileşenleri olan kanatlar, kuleler vb. oluşturmaktadır (Elia vd., 2020).

Rüzgar hızı, akış hızlandırıcı geometriler, kule boyu, jeneratör tipi, dişli sayısı, kanat boyutları, kanat sayısı ve kanat profili gibi pek çok parametre türbin performansını önemli ölçüde etkilemektedir (Bashir, 2022). Sürüklenme katsayısının kaldırma katsayısına oranı (C_L/C_D) ve kanat yapısı da kanat performansını etkileyen diğer önemli parametrelerdir. Farklı kanat profillerinde aynı hücum açılarında C_L/C_D oranı farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle kanat geometrisinde modifikasyonlar yapılarak performansa etkileri araştırılmaktadır (Sule vd., 2022). Rüzgâr enerji santrallerinin büyük parçalardan oluşmasından ve yapılan yerleşimin türbinlerdeki akımı etkilememesi gerektiğinden dolayı çok daha geniş bir alanda kurulur bu sebeple diğer enerji santralleriyle kıyaslandığında daha fazla yer kaplamaktadır. Rüzgâr enerji santralleri, gelişen teknoloji ile giderek etkileri azalsa da, önemli ölçüde gürültü kirliliğine sebep olduğundan dolayı ya yerleşimin olmadığı ya da gürültünün çok az hissedileceği ve bunun yanında özellikle kuşların göç rotaları üzerinde olmayan yerlere kurulmaktadır (Seyed Alavi vd., 2022). Son yıllarda hem rüzgar enerji santralleri güç kapasitelerinde hem de dünya rüzgâr enerjisi kurulu gücünde, bölgesel ve küresel çapta verilen teşviklerin etkisi ile, %10'un üzerinde bir artış vardır ki bu oranlar ile en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynağı olmuştur (DOE, 2022).

Biyomimikri, canlı sistemlerin çalışma ve tasarım prensiplerini gözlemlemeye, anlamaya ve taklit etmeye dayanan bir yaklaşımdır. Temelinde ise doğanın karşılaştığı sorunların birçoğunu zaten çözmüş

olduğu fikri yatmaktadır ve günümüzde tıptan mimariye, mühendislikten spora kadar birçok farklı alanda biyomimikriden faydalanılmaktadır (Benyus, 2002). Yüksek hızlı trenlerin tünel girişlerinde karşılaştığı gürültü ve ses patlamaları gibi olumsuzluklar, balıkçıl kuşlarının gaga formunun trenlere uyarlanması ile çözülmüştür (Krylov & Bedder, 2015). Kambur balina yzgelerinde bulunan ve yüzme esnasında türbülans üreten tümsekler balinalara enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu tümsekler rüzgar türbini kanatlarına da uygulanmış ve bu kanadın daha verimli olduğu görülmüştür (Başak & Demirhan, 2017). Baykuş tüm kuşlar içerisinde en sessiz uçuşu gerçekleştiren kuştur. Bunu sağlayan şey kanatlarının yapısıdır. Baykuş kanadının n kısmındaki tüyler tıpkı bir tarağın dişleri gibi düzgün bir şekilde dizilmş tırtıklı yapıya sahiptir. Kanadın arka kısmındaki tüyler ise esnek yumuşak ve aralıklıdır. Ayrıca kanatların büyük ve geniş olması kanatlara binen yük miktarını azaltmakta ve düşük hızda bile daha az kanat çırparak umalarına imkn sağlamaktadır (Rao vd., 2017).

Rao ve diğerleri (Rao vd., 2017) baykuş kanatlarının sessiz uçuşlarından etkilenip kanat formunun tırtıklı yapısının kanat modeline uygulandığı biyomimetik bir tasarım yapmışlardır. Kuvvet retimi ile ses bastırma arasında ilişki olduğunu bulmuşlar, tırtıklı kenarların düz kenarlara kıyasla 15°’den küçük hücum aıalarında aerodinamik performansının azaldığını göstermişler. 15°’den büyük hücum aıalarında hem gürültü azaltma hem de yüksek aerodinamik performans elde edildiğini gösteren çalışma yapmışlardır. Srivastav ve Ponnani (Srivastav & Ponnani, 2011) yüzey modifikasyonu olan ve olmayan bir uçak kanadı modelinin aerodinamik özelliklerinin karşılaştırmasını içeren bir çalışma yapmışlardır. Ele alınan yüzey modeli dışa ve ie dönük ukurluklardır. Farklı hücum aıalarında modifiye edilmiş kanat modellerinin kaldırma ve srklenmesindeki varyansları gösteren hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) sonuçlarına çalışmalarında yer vermişlerdir. Bu alışma bir golf topunun sürüklenmesini azaltan çukurların bir uçağın kritik stall açısını da artırıp artırmayacağının araştırılması üzerine yapılmıştır. Çalışmada kullanılan kanat profili, kanat profilinin uzunluğu boyunca tek tip enine kesite sahip NACA-0018’dir. Dışa doğru çukur içeren NACA-0018 kanat profilinin akış yapısının yönünün değişiminde etkili olduğu görülmüştür. Dışa doğru olan çukurlar, iz boyunun en aza indirilmesine ve dolayısıyla basınç direncinin azalmasına neden olmuştur. Yuvarlak şekilli çukur yapılar kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçlarında ise yüzeylerde daha çok türbülans oluşturup sınır tabakası ayrılmasını geciktirdiği ve girdap oluşumunu azalttığı tespit edilmiştir. Kevadiya ve Vaidya (Kevadiya & Vaidya, 2013) NACA-4412 profilini kullanarak trbn kanadının aerodinamik verimliliği üzerinde farklı hücum aıalarında çalışmalar yapmışlardır. Kanat profilinin iki boyutlu geometrisi oluşturulduktan sonra 1×10^5 Reynolds sayısı için 0° den 12° ye kadar hücum aıalarında kaldırma ve sürüklenme katsayısı değerleri incelenmiştir. Analiz sonuçlarında C_L/C_D oranı katsayısı 8° ye kadar hücum açısındaki artışla artış yaptığı, 8° den sonraki hücum aıalarında artış olduğu C_L/C_D oranının azaldığı görülmüştür.

Tian ve diğerleri (Tian vd., 2017) uzun kulaklı baykuş kanatlarından ilham alarak rüzgâr türbini kanadı tasarlamak için biyonik bir yöntem geliştirmişlerdir. Tipik rüzgâr hızları ve doğal koşullar altında rüzgâr türbini verimlilik deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kanat profillerinin yanı sıra kanatların aerodinamik özelliklerini incelemek için sayısal analiz yöntemi kullanmışlardır. Biyonik kanat profilinin üstün bir kaldırma katsayısına ve durma performansına yol açtığını bu nedenle de rüzgâr türbini kanadının performansını iyileştirmede faydalı olacağını göstermişlerdir. Zhang ve diğerleri (Ge vd., 2013) baykuş kanadı temelli bir slat (uçak kanadının hücum kenarındaki kumanda yüzeyi) tasarımı yapmışlar. Açık ve kapalı slata sahip üç boyutlu modeller düşük türbülanslı rüzgâr türbininde kaldırma etkisini gözlemlemek için test edilmiştir. Açık slatın düşük hücum aıalarında bir rüzgarlık gibi çalışırken yüksek hücum aıalarında geleneksel bir slat gibi çalıştığı görülmüştür. Ayrıca açık haldeki slatın durma açısını ve maksimum kaldırma katsayısını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Uzun, ve diğerleri (Uzun vd., 2022) rüzgâr türbini kanat performansını iyileştirmek için kanat profilinin ucuna kanatçık ve sonsuz kanat

eklenerek sayısal ve deneysel analizler yapmışlardır. Kanat ucuna eklenen sonsuz kanat yapısının boyutuna bağlı olarak üretilen gerilim üzerinde değişimler olduğunu gözlemlemişlerdir. Baykuş kuşunun kanat yapısındaki kıvrımlardan esinlenerek kavisli kanat yapısı oluşturmuşlar ve sabit kanatla kıyaslandığında kavisli kanat yapısının trbın verimliliğinde faydalı olduğunu grmuşlerdir. Kanat yapısının arka kısmına da doğadaki canlılardan esinlenerek farklı boyut ve mesafelerde çentikler oluşturmuşlar ve performanstaki değişimini araştırmışlardır. Çentikli kenar sayısının artmasıyla üretilen enerji değerinin azaldığı görülmüştür.

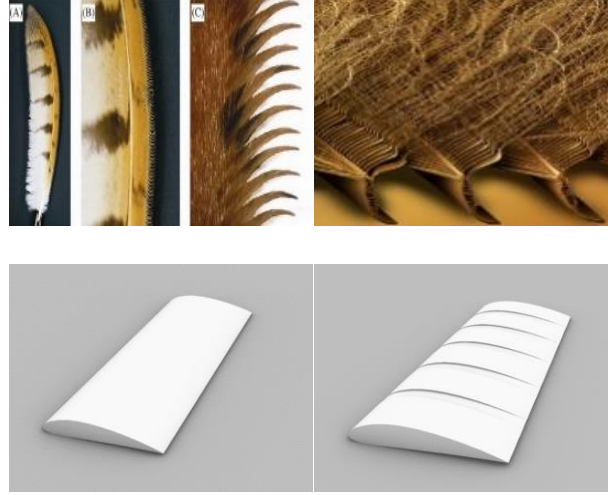
Song ve diğerleri (Song vd., 2021) martı kanadı formunda rüzgâr enerjisi dönüştürme cihazının tasarımı ve optimizasyonu çalışmasını yapmışlardır. Bu alışma rüzgâr enerjisinin kullanımını artırmak ve aerodinamik performansı iyileştirmek için yapılmıştır. Martı kanat profilinin bükülme şeklini rüzgâr tüneli deneyi ve sayısal simülasyona dayalı olarak optimize etmişlerdir. Optimizasyon alışmaları sonucunda kanat profilinin merkezi olarak bükülmesine karar vermişler ve merkezi bükümlü kanat profilinin diğer kanat profillerine kıyasla optimum aerodinamik performansı sergilediğini göstermişlerdir. Khan ve Padhy (Khan, 2021) yusuşuk kuşunun kanat formundaki kıvrımlardan ilham alarak V biçimli yivlerin bulunduğu biyonik bir kanat tasarımı yapmışlar ve bu tasarımı NACA0015 profili ile aerodinamik özellikler bakımından kıyaslamışlardır. Yusufçuk kanadı formulu tasarımın kıvrımlı yapısının düşük Reynolds sayılarında daha iyi aerodinamik performans sergilediğini göstermişlerdir. Rosa ve diğerleri (Rosa vd., 2022) yatay eksenli rüzgâr türbini için muz yaprağı morfolojine dayalı yeni bir kanat profili tasarımı yapmışlar ve szlme oranı değerini incelemişlerdir. Muz yaprağı kanat profilinin yüksek szlme oranı ürettiğini ve düşük Reynolds sayılarında kullanıma uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu kanat profilinin rüzgâr hızının düşük olduğu yerlerde yatay eksenli rüzgâr türbini üzerinde çalışabileceğini göstermişlerdir.

Baykuş kanat yapısı sebebi ile sessiz bir uçuş gerçekleştirirken daha az kanat çırparak düşük hızlarda da uabilmektedir. Yapılmış alışmalar incelendiğinde kanat formunun u kısımlarında, akışın kanat formundan ayrıldığı bölümlerde biyonik tasarımlar gerçekleştirildiği görülmüştür. Kanat formunun üst yüzeyinde, akışın yüzeyle temas ettiği bölümde bir çalışma gerçekleştirilmediği görülmüştür. Bu çalışmada baykuş kanatlarının düzenli ve tırtıklı olan tüy yapılarından ilham alınmış ve trbın kanatlarına uygulanmıştır. Biyonik ve biyonik olmayan trbın kanadının kaldırma ve sürüklenme katsayısı oranları (C_L/C_D) incelenmiştir.

2 Modelleme

NACA kanat profilleri ya da aerofoiller dmen, kanat, yelken, pervane kanadı, rotor veya trbın gibi bir akışkan içerisinde hareket ettiğinde kaldırma kuvveti oluşturan nesnelerin kesiti şeklinde tanımlanmaktadır. Bu çalışmada trbınlerde kullanılan kanat profilinden biri olan NACA-4412 kullanılmıştır. Profile ait koordinatlar bulunmuş ve daha önce yapılmış bir çalışmadan yardım alınarak kanal açılmadan önceki model için yapılan analizlerin doğruluğunu kontrol edebilmek amacıyla yapılan çalışmadaki değerler kullanılmıştır. Bu alışma yardımı ile en/boy oranı 3 olarak belirlenmiş buradan yola çıkarak kord uzunluğu yani hücum kenarı (akışın yüzeyle ile karşılaştığı yer) ve firar kenarı (akışın yüzeyden ayrıldığı yer) arasındaki mesafe 0,1 m, kanat boyu ise 0,3 m olarak belirlenip ardından üç boyutlu modellemesi yapılmıştır (Karasu vd., 2018).

Biyonik model ise baykuş kanadı formundan esinlenilerek, üç boyutlu modellemesi yapılmış olan kanat profiline belirli mesafe ve kalınlıkta kanallar açılmıştır. Kanal genişlikleri 12 mm ve kanal derinlikleri kanat profilinin yüzeyinin %10 oranında küçültülmesiyle tüm yüzeyde 5 tane olacak şekilde 40 mm mesafe ile yeni model oluşturulmuştur.



Şekil 1: Kanat modelleri perspektif görünüşler

Analizler hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı aracılığıyla yapılmış ve her iki modelde de k- ω türbülans modeli kullanılmıştır. Akışkan tipi hava olarak belirlenmiştir. Çözüm alanı, akışın girdiği bölümün genişliği 30 kord boyuna eşit, yüksekliği 20 kord boyuna eşit akışın kanat boyunca devam ettiği uzunluğun ise kanat boyundan 20 kord boyu kadar fazla olacak şekilde belirlenmiştir. Kanalsız modelin akış alanı belirlenirken akış simetrik olduğundan yarı gövde kullanılarak akış alanı oluşturulmuştur ve çözümler de zamandan bağımsız yapılmıştır.

Hesaplamaların yapılmasında esnasında program tarafından arka planda yönetici denklemler olarak Reynolds sayısını, kaldırma katsayısını, sürüklenme katsayısını, süreklilik denklemini veren eşitlikler ile Navier-Stokes denklemleri, Denklem (1-5), kullanılmaktadır.

$$Re = \frac{\rho * V * L}{\mu} = \frac{V * L}{\nu} \quad (1)$$

Reynolds denkleminde, Denklem 1, yer alan ρ kg/m³ cinsinden akışkanın yoğunluğunu, V m/s olarak akışkanın hızını, L m olarak akışın gerçekleştiği yüzey uzunluğunu, μ akışkanın dinamik viskozitesini (Pa.s) ve ν ise m²/s cinsinden dinamik viskozitesini belirtmektedir.

Kaldırma katsayısı ve sürüklenme katsayısı değerleri Denklem 2-3'e göre program tarafından hesaplanmaktadır.

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} * \rho * V^2 * S} \quad (2)$$

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} * \rho * V^2 * S} \quad (3)$$

F_L kaldırma kuvveti, F_D sürüklenme kuvvetini, S kanat yüzey alanını, ρ kg/m³ cinsinden akışkanın yoğunluğunu, V m/s olarak akışkanın hızını göstermektedir.

Denklem 4'te yer alan süreklilik denkleminde $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ yoğunluğun zamana bağlı değişimini, ρu sınır koşullarında net kütle taşınımını ifade etmektedir.

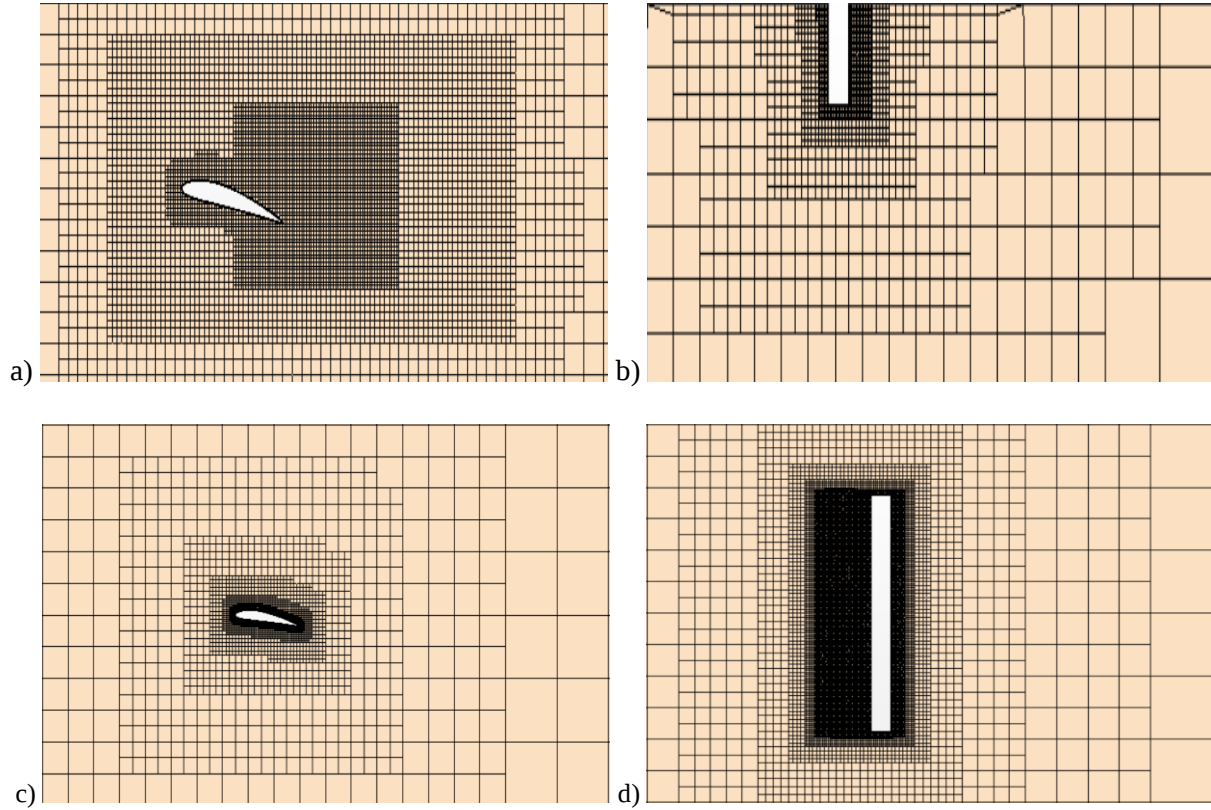
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) \quad (4)$$

Denklem 5'teki Navier-Stokes denkleminde $\vec{\nabla}P$ i basınç büyüklüğünü, $\vec{g}$ m/s² cinsinden yer çekimi ivmesini, μ akışkanın dinamik viskozitesini (Pa.s) göstermektedir. Denklemin sağ tarafında bulunan $\rho * \vec{g}$ dış kuvvetleri, $\mu * \vec{\nabla}^2 * \vec{V}$ iç gerilim kuvvetlerini ifade etmektedir. Denklemin sol tarafında bulunan $(\vec{V} * \vec{\nabla})\vec{V}$ ifadesi akışkanın hareketini ve yönünü ifade etmektedir.

$$\rho \left[\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} * \vec{\nabla})\vec{V} \right] = -\vec{\nabla}P + \rho * \vec{g} + \mu * \vec{\nabla}^2 * \vec{V} \quad (5)$$

rnek makalede NACA-4412 modeli kullanılarak üç boyutlu akış analizi, farklı Reynolds sayıları için iki farklı türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş, farklı hücum açıları için sonuçlar elde edilmiş ve bu değerler deneyler sonucunda elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Kullanılan Reynolds sayıları 2,5x10⁴, 5x10⁴ ve 7,5x10⁴ şeklindedir (Karasu vd., 2018).

Yapılan analizlerde ise k- ω türbülans modeli değerleri kullanılmıştır. Her iki model içinde dört yüzlü aė yapısına sahip olan hacimsel aė modeli kullanılmıştır, şekil 2. Referans modelde yaklaşık 840000 aė mevcuttur. Kanal açılmış kanat modelinde ise 704800 aė bulunmaktadır. Tüm analizlerde y⁺ değeri 1'den küçüktür.



şekil 2: Referans model aė görüntüsü a) profil b) şt ve Kanallı model aė görüntüsü c) profil d) şt

3 Analizler ve Değerlendirme

Doğrulama değerleri daha önce yapılmış bir makaleden alınarak referans modelin sonuçları Tablo 1 de verilmiştir. Kanat profilinin yaklaşık olarak 15° de maksimum kaldırma katsayısına ulaştığı yapılan analizler sonucunda bulunmuştur. Kanadın 20°'lik açıda net sonuçlar vermediği görülmüştür ve bu derece kanadın stall yaptığı açı olarak belirlenmiştir ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de grldğı gibi referans model ve incelenen makalenin kaldırma katsayısı ve sürüklenme katsayıları birbirlerine

yakın çıktığından referans model için bulunan sonuçlar doğru kabul edilip kanallı model için analizler tekrarlanmıştır. Analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Kanallı modelde Reynolds sayısının $2,5 \times 10^4$ olduğu durumda kaldırma katsayısı ve sürüklenme katsayısı değerinde düşüş olduğu görülmektedir. 20° ’de ise kanadın stall’a girmediği görülmektedir. Kanallı modelde Reynolds sayısının 5×10^4 ve $7,5 \times 10^4$ olduğu durumlarda sürüklenme katsayısındaki düşüş çok değişmemesine rağmen kaldırma katsayısında artış olduğu görülmüştür.

Tablo 1: Analiz sonuçları

Re Sayısı	Hücum Açısı	Doğrulama Değerleri		Referans Model		Kanallı Model	
		C_L	C_D	C_L	C_D	C_L	C_D
$2,5 \times 10^4$	8	0,615	0,096	0,639	0,083	0,579	0,017
	12	0,884	0,126	0,631	0,124	0,653	0,016
	20	Stall	Stall	Stall	Stall	0,621	0,012
5×10^4	8	0,615	0,096	0,695	0,081	0,618	0,017
	12	0,884	0,126	0,871	0,122	0,825	0,016
	20	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall
$7,5 \times 10^4$	8	0,615	0,096	0,708	0,081	0,643	0,016
	12	0,884	0,126	0,887	0,122	0,856	0,015
	20	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall	Stall

Tablo 2: Kaldırma ve sürüklenme katsayısı oranları

C_L/C_D Oranları			
Reynolds Sayısı	Hücum Açısı	Referans Model	Kanallı Model
$2,5 \times 10^4$	8	7,69	34,05
	12	5,08	40,81
	20	Stall	51,75
5×10^4	8	8,58	36,35
	12	7,14	51,56
	20	Stall	Stall
$7,5 \times 10^4$	8	8,74	40,19
	12	7,27	57,06
	20	Stall	Stall

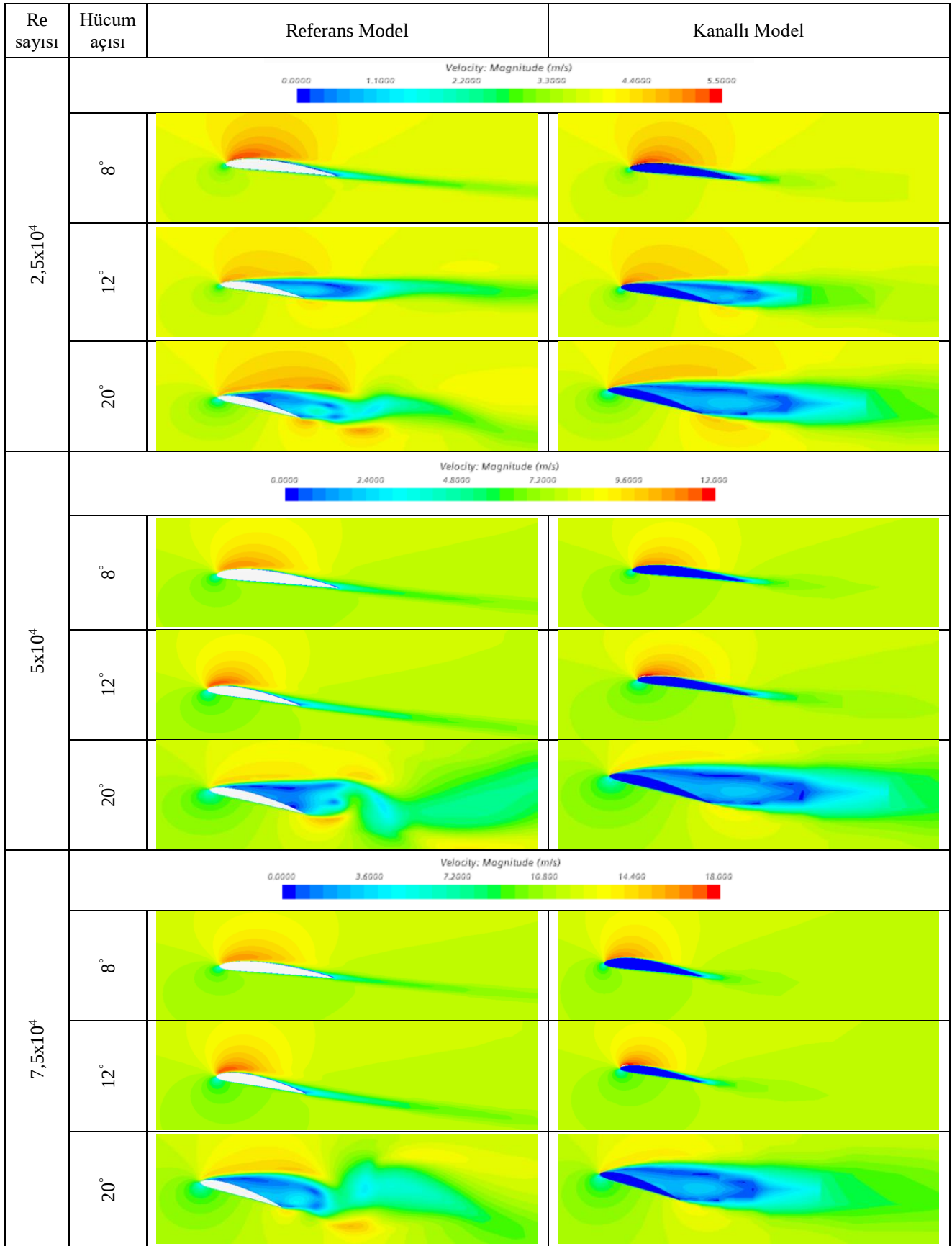
Tablo 2’de referans model ve kanal açılmış modeller kıyaslanmıştır. Kanal açılmış modelin analiz yapılan tüm Reynolds sayılarında kaldırma katsayısı/sürüklenme katsayısı oranı daha yüksek çıkmıştır. Referans modelde stall açısı 20° olarak belirlenmiştir. Kanal açılmış model için Reynolds sayısının $2,5 \times 10^4$ olması durumunda stall açısının 20° ’nin üzerinde olduğu görülmüştür.

Tablo 3’te Reynolds sayısının $2,5 \times 10^4$, 5×10^4 ve $7,5 \times 10^4$ olduğu durumlarda 8, 12 ve 20 derece hücum açılarında referans modele ve kanallı modele ait kanat modellerinin önden görünüşlerine ait hız ölçeği

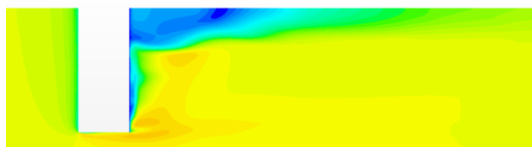
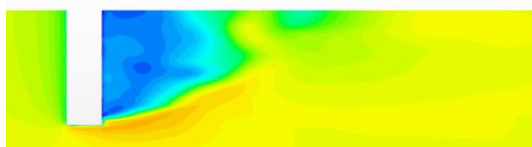
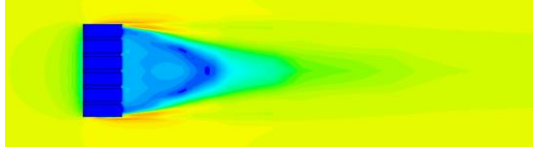
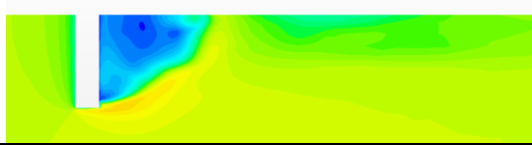
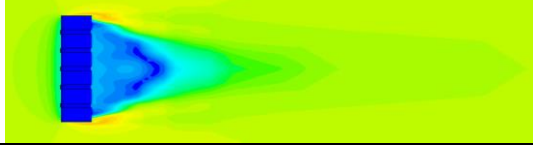
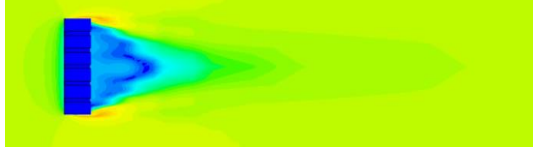
ve hız alanları dağılımları verilmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının $2,5 \times 10^4$ ve hücum açısının 8° olduğu görseller incelendiğinde her iki model içinde akış hızının hücum ve firar kenarında en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Kanadın st yüzeyinde kırmızı renkle gösterilen bölümde hızın en yüksek olduğu bölümler gösterilmiştir. Bu bölgelerde akış hızının serbest akım hızından daha yüksek olduğu görülmektedir. Kanallı modelin n tarafındaki yukarı akım bölgesinde akış hızının daha yüksek seviyelere ulaştığı görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının $2,5 \times 10^4$ ve hücum açısının 12° olduğu görsellerde kanallı modelin hücum kenarı üstünde bulunan renk konturları akış hızının referans modele göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının $2,5 \times 10^4$ ve hücum açısının 20° olduğu görsellerde referans modelde türbülans olduğu görülürken kanallı modelde türbülans oluğu görülmemektedir.

Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının 5×10^4 ve hücum açısının 8° olduğu görseller incelendiğinde kanallı modelin hücum kenarı üst bölümünün daha yüksek hızlara ulaştığı görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının 5×10^4 ve hücum açısının 12° olduğu görseller incelendiğinde kanallı modelin hücum kenarı üst bölümünde akış hızının serbest akım hızından daha yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının 5×10^4 ve hücum açısının 20° olduğu görseller incelendiğinde her iki modelde türbülans oluğu görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının $7,5 \times 10^4$ ve hücum açısının 8° olduğu görseller incelendiğinde hücum ve firar kenarlarında akış hızının en düşük değere, kanallı modelin hücum kenarı üstünde referans modele göre daha yüksek akış hızları olduğu görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının $7,5 \times 10^4$ ve hücum açısının 12° olduğu görseller incelendiğinde kanallı modelin üst yüzeyinde daha yüksek akış hızına ulaşıldığı görülmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4'te Reynolds sayısının $7,5 \times 10^4$ ve hücum açısının 20° olduğu görseller incelendiğinde her iki modelde türbülans oluğu görülmektedir. Kanallı modelin hücum kenarı üst yüzeyinde akış hızının referans modele göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 3: Farklı Re sayıları ve hücum açılarında referans ve kanallı modeller için hız alanı dağılımları



Tablo 4: Farklı Re sayıları ve hücum açılarında referans ve kanallı modeller için hız alanı dağılımlarının üstten görüşleri

Re sayısı	Hücum açısı	Referans Model Üstten Görünüş	Kanallı Model Üstten Görünüş
$2,5 \times 10^4$		Velocity: Magnitude (m/s) 0.0000 1.1000 2.2000 3.3000 4.4000 5.5000 	
	8°		
	12°		
	20°		
5×10^4		Velocity: Magnitude (m/s) 0.0000 2.4000 4.8000 7.2000 9.6000 12.000 	
	8°		
	12°		
	20°		
$7,5 \times 10^4$		Velocity: Magnitude (m/s) 0.0000 3.6000 7.2000 10.800 14.400 18.000 	
	8°		
	12°		
	20°		

4 Sonuçlar

Reynolds sayısının $2,5 \times 10^4$ değerinde hücum açısının 8° olduğu durumda C_L/C_D oranının kanal açılan modelde 4,42 katı arttığı ve 12° 'de kanallı modelde C_L/C_D oranının 8,03 kat arttığı görülmüştür. 20° de ise referans modelde stall durumu söz konusuyken kanal açılmış model daha kararlı bir yapıda olup çözüm gerçekleştirilebilmiştir. C_L/C_D oranı 51,75 olarak hesaplanmıştır. Reynolds sayısının 5×10^4 değerinde hücum açısının 8° olduğu durumda C_L/C_D oranının kanal açılan modelde 4,23 katı arttığı ve 12° 'de kanallı modelde C_L/C_D oranının 7,22 kat arttığı görülmüştür. Her iki modelde 20° hücum açısında stalla girip çözüm gerçekleştirilememiştir. Reynolds sayısının $7,5 \times 10^4$ değerinde hücum açısının 8° olduğu durumda C_L/C_D oranının kanal açılan modelde 4,6 katı arttığı ve 12° 'de kanallı modelde C_L/C_D oranının 7,84 kat arttığı görülmüştür. Her iki modelde 20° hücum açısında stalla girip çözüm gerçekleştirilememiştir.

Bu sonuçlardan düşük Reynolds sayısında kanat profilinin kanal açılmış hali ile daha büyük hücum açılarında daha kararlı bir yapıya sahip olabildiği görülmüştür. Sonlu hacimler yöntemi kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı aracılığıyla çözümleri gerçekleştirilen modellerden kanal açılmış olanının daha büyük Reynolds sayılarında daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar yapılan çalışmalarda belirtilen hücum açıları ve Reynolds sayıları içindir. Bu durumun genellenebilmesi için daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır.

5 Beyanname

5.1 Teşekkür

Bu alışma Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü müfredatında yer alan GIM4000 Bitirme Tezi dersi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

5.2 Rakip ıkarlar

Bu çalışmada herhangi bir çıkar atışması yoktur.

5.3 Yazarların Katkıları

Asım Sinan KARAKURT: Fikir, danışmanlık, literatür, tasarım ve yorumlama kısımlarında katkı sağlamıştır.

Gülsüm KILIÇ: Literatür, tasarım, analiz ve yorumlama kısımlarında katkı sağlamıştır.

Kaynakça

Bashir, M. B. A. (2022). Principle Parameters and Environmental Impacts that Affect the Performance of Wind Turbine: An Overview. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(7), 7891-7909. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-06357-1>

Başak, H., & Demirhan, H. (2017). Kambur Balina'nın Yzgelerinden Esinlenerek Oluşturulan Kanat Profil Veriminin CFD Analizi ile İncelemesi. *Gazi Mhendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2), Article 2.

Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Harper Perennial.

olak, İ., & Demirtaş, M. (2010). Rüzgâr Enerjisinden Elektrik retiminin Türkiye'deki Gelişimi. *TBAV Bilim Dergisi*, 1(2), Article 2.

DOE. (2022). *Land-Based Wind Market Report*. U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/eere/wind/articles/land-based-wind-market-report-2022-edition>

- Elia, A., Taylor, M., Ó Gallachóir, B., & Rogan, F. (2020). Wind turbine cost reduction: A detailed bottom-up analysis of innovation drivers. *Energy Policy*, 147, 111912. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111912>
- Elibyk, U., & çgl, İ. (2014). Rüzgar Trbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yntemleri. *Yekarum*, 2(3), Article 3.
- Ge, C., Ren, L., Liang, P., Zhang, C., & Zhang, Z. (2013). High-Lift Effect of Bionic Slat Based on Owl Wing. *Journal of Bionic Engineering*, 10(4), 456-463. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(13\)60243-7](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(13)60243-7)
- Karasu, İ., zden, M., & Genç, M. S. (2018). Performance Assessment of Transition Models for Three-Dimensional Flow Over NACA4412 Wings at Low Reynolds Numbers. *Journal of Fluids Engineering*, 140(12), 121102. <https://doi.org/10.1115/1.4040228>
- Kevadiya, M., & Vaidya, H. (2013). 2D Analysis of NACA 4412 Airfoil. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 02, 1686-1691.
- Khan, M. A. (2021). Aerodynamic characterization of bio-mimicked pleated dragonfly aerofoil. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*. <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2021.1562>
- Krylov, V., & Bedder, W. (2015, Haziran 1). Calculations of sound radiation associated with “tunnel boom” from high-speed trains.
- Rao, C., Ikeda, T., Nakata, T., & Liu, H. (2017). Owl-inspired leading-edge serrations play a crucial role in aerodynamic force production and sound suppression. *Bioinspiration & Biomimetics*, 12(4), 046008. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/aa7013>
- Rosa, F., Soetikno, P., Suweca, I. W., & Moelyadi, M. A. (2022). A new airfoil based on banana leaf midrib morphology for horizontal axis wind turbine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1108(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1108/1/012001>
- Seyed Alavi, S. M., Maleki, A., & Khaleghi, A. (2022). Optimal site selection for wind power plant using multi-criteria decision-making methods: A case study in eastern Iran. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 17, 1319-1337. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctac009>
- Song, L., Tian, K., Jiao, X., Feng, R., Wang, L., & Tian, R. (2021). Design and optimization of seagull airfoil wind energy conversion device. *International Journal of Green Energy*. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15435075.2021.1890087>
- Srivastav, D., & Ponnani, K. N. (2011). Surface Modifications for Improved Maneuverability and Performance of an Aircraft. Volume 1: Advances in Aerospace Technology; Energy Water Nexus; Globalization of Engineering; Posters, 121-127. <https://doi.org/10.1115/IMECE2011-63381>
- Sule, M., Coskun, C., & Oktay, Z. (2022). Rüzgâr Trbinlerinde Verim Arttırmaya Ynelik Çalışmalar. İinde Mhendislik Bilimleri Alanında Yeni Trendler (1. bs). Duvar Yayınları.
- Tian, W., Yang, Z., Zhang, Q., Wang, J., Li, M., Ma, Y., & Cong, Q. (2017). Bionic Design of Wind Turbine Blade Based on Long-Eared Owl's Airfoil. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2017, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2017/8504638>
- Uzun, M., zdemiR, M., Yildirim, Ç. V., & Çoban, S. (2022). A Novel Biomimetic Wing Design and Optimizing Aerodynamic Performance. *Journal of Aviation*, 6(1), 12-25. <https://doi.org/10.30518/jav.1031989>



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).