

Kambur Balina'nın Yüzgeçlerinden Esinlenerek Oluşturulan Kanat Profil Veriminin CFD Analizi ile İncelemesi

Hüdayim Başak^{a*}, Hüseyin Demirhan^a,

^aGazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, ANKARA 06261, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 05.03.2017
Kabul: 10.08.2017

Anahtar Kelimeler:

Kambur Balina,
Tüberküllü Kanat,
Hesaplamalı
Akışkanlar Dinamiği
(CFD), Biyomimetik

***Sorumlu Yazar:**

e-posta:
hbasak@gazi.edu.tr

ÖZET

Doğada var olan canlı varlıkların yaşama ve ekosisteme bağlı olarak, içerdikleri sistemler mükemmel yakın bir hal almıştır. Bu durum insanlığın karşılaştığı birçok problemin çözümünde doğayı ve canlıyı taklit ederek en uygun çözümü bulmasını sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) programı aracılığı ile kambur balinanın yüzgeçlerinden esinlenerek oluşturulan tüberküllü kanat profilinin düz kanat profili ile farklı sıcaklık, basınç ve hız koşullarında verim açısından karşılaştırılması olarak belirlenmiştir.

Examination of Wing Profile Yield Inspired by The Fins of Humpback Whale with CFD Analysis

ARTICLE INFO

Received: 05.03.2017
Accepted: 10.08.2017

Keywords:

Humpback Whale,
Tuberculated Wing,
Computational Fluid
Dynamics (CFD),
Biomimetic

***Corresponding**

Authors

e-mail:
hbasak@gazi.edu.tr

ABSTRACT

Depending on the survival of living beings and ecosystems existing in nature, the systems they contain has a near perfect state. This makes it possible to find the most appropriate solution by mimicking nature and life in the solution of many problems faced by mankind. The aim of this study was to comparison of the profile of the tubercle profile, inspired by the fins of the humpback whale, with the profile of the flat wing in terms of efficiency at different temperature, pressure and velocity conditions, used computational fluid dynamics (CFD) software.

1. Giriş (Introduction)

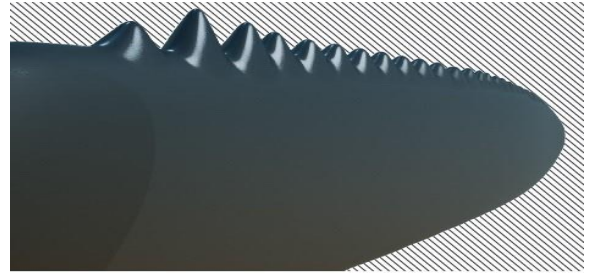
Biyomimetik veya biyomimikri karmaşık insan problemlerinin çözümü için doğa modellerini, sistemlerini ve elemanlarını taklit eder. Biyomimetik kelime anlamı Yunancada “bios” (yaşam) ve “mimesis” (taklit etme) kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır [1].

Yaşayan organizmalar doğal seçim yoluyla zaman içerisinde iyi adapte olmuş yapı ve malzemeler geliştirmişlerdir. İnsanoğlu var olduğundan bu yana doğayı incelemiş ve ondan faydalanarak çözümler üretmeye çalışmıştır. Mikroskobun icadına kadar doğa makro boyutta taklit edilmiş, mikroskobun icadından sonra mikro yapılar da taklit edilmeye başlanarak biyomimetik biliminin etki alanı artmıştır. Biyomimikri tarih boyunca birçok bilim dalında kullanılmış ve günlük hayatta kullandığımız birçok aracın bugünkü şeklini almasında rol oynamıştır. İnsanoğlu önceki süreçlerde doğayı gözlemleyerek bazı deneyimler elde ederken sonraları, doğayı yaptığı çalışmalarda bir karşılaştırma aracı ve bir akıl hocası olarak kullanmaya başlamıştır. 1933 yılında Buckminster Fuller tarafından tasarlanan araba istenen performansı sağlamayınca Fuller bir yağmur damlasının aerodinamik özelliklerini incelemiş ve atmosfere giren yağmur damlasının küresel şeklinin modifiye olduğunu, ön kısmının yuvarlak kalmaya devam ettiğini fakat yan yüzeylerinin hava akımına göre daralarak uzadığını tespit etmiştir [2]. Leonardo da Vinci ise yarasayı örnek alarak tasarladığı uçuş makinesi ile bilinen en önemli mucitlerden biridir. Her ne kadar Leonardo da Vinci'nin buluşu başarılı olmamış olsa da, kendisinden 400 yıl sonra çalışmalarından etkilenen Clement Ader yarasanın uçma prensibini inceleyerek ilk uçabilir aracı tasarlamıştır.[3]

Bu biyomimetik tasarımın bir örneği de kambur balinalardır. Kambur balinalar genellikle 14-15 metre uzunluğundadır ve 30-40 ton ağırlığa ulaşabilen devasa deniz canlısıdır [4]. Kambur balinalar çok özel yüzgeçlere sahiptir ki bu yüzgeçler üzerinde bulunan çıkıntılar sayesinde sürtünme kuvvetini azaltır açılı konumda ise kaldırma kuvvetini artırır. Bu sayede daha az enerji ile hareket etme imkanı bulur. Kambur balinaların bu özelliğinin yeni nesil helikopter kanatlarına uygulanması planlanmaktadır. Helikopter uçarken, öne doğru dönen kanatçık arkaya doğru dönen kanatçıktan daha hızlıdır. Bu durum geriye doğru hareket eden kanatçıktaki geçici bir kaldırma kuvveti kaybına yol açar. Türbülansla birlikte, rotora ve kontrol çubuğuna fazladan yük biner ve

helikopterin hız ve manevra kabiliyeti azalır. Problemin çözümü için geriye dönen kanatçığın kaldırma kuvvetinin artırılması gerekmektedir ki çözüm için kambur balinalar ilham kaynağı olmuştur. Alman havacılık merkezindeki araştırmacılar, 6 mm. genişliğinde kauçuk çıkıntıları her bir kanatçıktaki 186 adet olmak üzere pervane kanatçıklarının kenarlarına yerleştirdiler. Rüzgâr tüneli deneylerinde elde edilen güzel neticelerden sonra test uçuşları gerçekleştirilmiş ve performansta belirgin bir iyileşme sağlanmıştır [5].

Balinalardaki bu şişlikler rüzgar türbinlerinin tasarımı için de yol gösterici olmuştur. Çıkıntılar sayesinde pervane kanat çalışma açıları 11 dereceden 17 dereceye çıkarılabilmiş ve performans % 40 artmıştır [6] (Şekil 1).



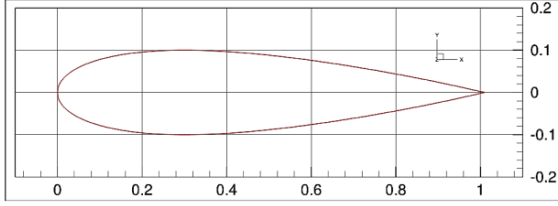
Şekil 1: Kambur balinadan ilhamla rüzgar türbin kanat tasarımı [6]

Benzer bir hidrodinamik performans da gelgit dalgalarından enerji üretmede kullanılan hidrolik türbinlerde elde edilmiştir [7].

Bu çalışmada ise kambur balinanın yüzgeçlerinde bulunan çıkıntılar, bilgisayar destekli tasarım programı SolidWorks ile oluşturulan düz kanat profiline uygulanmıştır farklı sıcaklık, basınç ve hız koşullarında, SolidWorks Flow Simulation hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı aracılığı ile türberküllü kanat ve düz kanat profiline tepki kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar genellikle özel bir probleme çözüm ürettiği için hız veya basınç gibi tek bir değişken üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada türberküllü kanatların havacılık ve rüzgar türbini gibi uygulama alanları düşünülerek, bu sistemlerin maruz kaldığı sıcaklık, basınç ve hız değerleri parametreler olarak belirlenmiştir. Bu nedenle yapılan bu çalışma rüzgar türbini kanat tasarımı ve havacılık uygulama alanlarında sistem davranışını öngörmeyi sağlamaktadır.

2. Materyal Metod (Material Method)

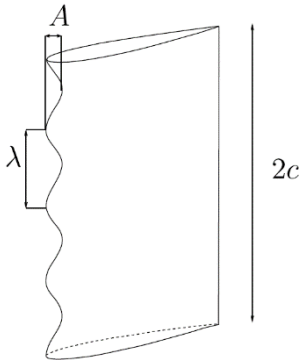
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi ile bu verimliliği gözlemlemek için uygun kanat profili ve boyutu belirlemek gerekmektedir. Uygun kanat profilini belirlemek ve seçmek için birçok akademik çalışma ve deney yapılmıştır. Miklosovic ve arkadaşları tarafından yapılan deneysel çalışmalarda kanat profili olarak NACA0020 kanat profili kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [8].



Şekil 2: NACA0020 kanat profili [9]

Mark W.ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise NACA0020 kanat profili (Şekil 2) Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemleri (RANS) ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak tüberküllü kanatla normal kanat profili karşılaştırılmıştır [9].

Bu çalışmada da NACA0020 kanat profili kullanılarak eş ölçülerde normal ve tüberküllü olmak üzere iki adet CAD (Computer Aided Design) modeli oluşturuldu. Boyutlandırma ise Mark W.ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile Julien Favier ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadaki parametre ve boyutlar örnek alınarak oluşturulmuştur [9], [10].

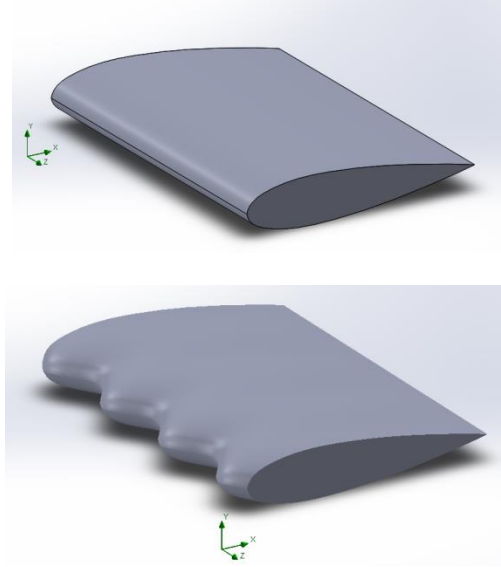


Şekil 3: Boyut parametreleri [10]

Şekil 3'te görüldüğü üzere; $2c$ kanat genişliği, λ adım, A ise genliktir. Tüberkül profili modellenirken

Hız değerleri ise 10, 50, 100, 250 ve 1000 m/s olarak test edilmiştir. Burada 1000 m/s sesüstü hız

ön kenarda geometrik bir dalgalanma ortaya çıkar ve bu aralık boyunca ön kenar bir sinüzoidal fonksiyon biçimini alır:



Şekil 4: CAD modelleri

Yukarıda belirtilen çalışmalar ve boyut parametreleri dikkate alınarak bilgisayar destekli tasarım programı SolidWorks kullanılarak Şekil 4 'te verilen CAD modelleri oluşturulmuştur. Analiz parametreleri olarak basınç ve sıcaklık yüksekliğe bağlı olarak atmosfer standartlarına göre alınmıştır. Burada 0 metre deniz seviyesi, 1000 metre rüzgar türbinlerinin kurulduğu verimli yükseklikler, 5000 ve 10000 metre ise hava araçları için düşünülmüştür.

Uluslararası Standart Atmosfer (ISA) göre 36.090 feet yüksekliğe kadar sıcaklık her 1000 feette $1,98^{\circ}\text{C}$ azalır. Bununla birlikte basınçta standardına uygun olarak azaltılmış ve sistem parametreleri oluşturulmuştur (Tablo 1).

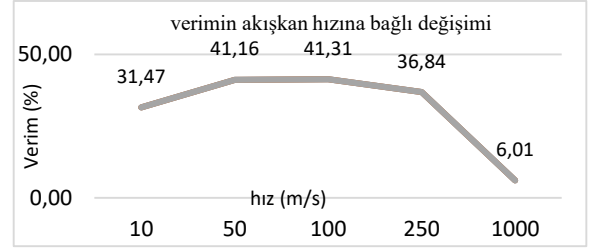
Tablo 1: CFD sistem atmosfer parametreleri

Yükseklik (m)	Basınç (Pa)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$)
0	101325	293,2
1000	89884	286,7
5000	54028	260,7
10000	26439	228,2

olup hava araçları, füzeler gibi kullanım alanları düşünülerek seçilmiştir.

Tablo 2: CFD parametrik analiz parametreleri

Parametre	Değerler
Analiz Tipi	Dış Akış
Akışkan	Hava
Basınç (Pa)	101325, 89884,54028,26439
Sıcaklık (°K)	293.2, 286.7, 260.7, 228.2
Hız (x yön) (m/s)	10, 50, 100, 250, 1000
Açı	0 derece
Akış Tipi	Laminer ve türbülans



Şekil 4: Kanat veriminin hıza bağlı değişimi

Bilgisayar destekli tasarım programı SolidWorks'ün hesaplamalı akışkanlar dinamiği modülü Flow Simulation'da Tablo 2' deki sistem şartlarında iki kanat profili de parametrik olarak analiz edilerek sonuçlar elde edilmiştir.

3. Bulgular (Findings)

Tablo 3'te görüldüğü gibi tüberküllü kanat normal kanada göre aynı koşullarda tüm test parametrelerinde daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Tabloda değişken parametreler mavi dolgu rengi ile belirtilmiştir. Farklı hız, basınç ve sıcaklık değerlerinde verimin değiştiği de gözlemlenmiştir.

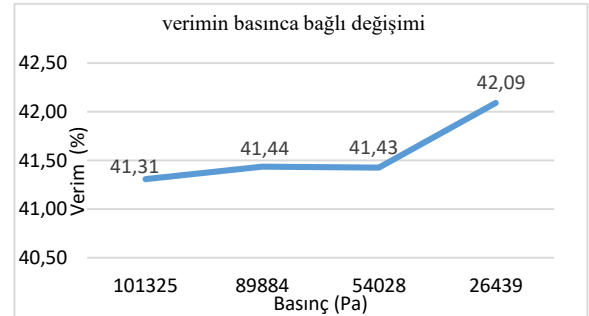
Tablo 3: CFD analiz sonuçları

Parametreler			Sonuçlar (x yönünde tepki kuvveti) (N)		Tüberküllü kanat verim artışı (%)
Basınç (Pa)	Sıcaklık (°K)	Hız (m/s) x yön.	Normal Kanat	Tüberküllü kanat	
101325	293,2	10	2,32	1,59	31,47
101325	293,2	50	58,51	34,43	41,16
101325	293,2	100	241,92	141,99	41,31
101325	293,2	250	1882,74	1189,16	36,84
101325	293,2	1000	148993,44	140040,96	6,01
89884	286,7	100	218,3357	127,8623	41,44
54028	260,7	100	144,8013	84,815	41,43
26439	228,2	100	80,461	46,5953	42,09

Şekil 4'te görüldüğü gibi akışkan hızı 10 m/s ile 50 m/s hıza çıkarken tüberküllü kanat verimi artmıştır 50 m/s-100 m/s arasında kısmen maks. değere ulaşmış daha sonraki değerlerde azalmıştır.

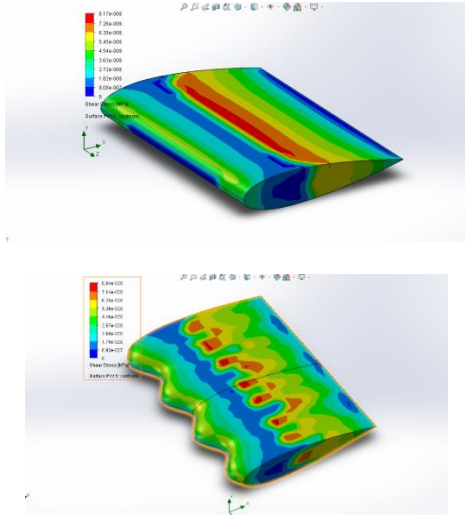
Ses hızı hava için, deniz seviyesinde ve 21 °C sıcaklıkta 343.2 m/s dir. Ses üstü hızlara çıktığında verim düşüşü daha hızlı gerçekleşmiştir.

Basınç değişiminin verime etkisi ise 0-10000 m arasındaki açık hava basıncı baz alarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5 'te de görüldüğü gibi



Şekil 5: Kanat veriminin basınca bağlı değişimi

basıncın verime etkisi çok azdır düşük basınçta bir miktar verim artmıştır.



Şekil 6: Normal ve tüberküllü kanat üzerindeki gerilme dağılımı

Tüberküllü kanatta tepki kuvveti daha az olduğu için maks. gerilmelerde normal kanada göre daha düşük çıkmıştır. Şekil 6'da 50 m/s deniz seviyesi için test edilmiş normal kanatta maks. gerilme 8,17 Pa tüberküllü kanatta ise 8,04 Pa çıkmıştır. Bunun dışında tüberküllü kanatta sadece tüberkül tepe ve çukur noktalarının devamında maks. gerilme oluşmuş normal kanatta ise boydan boya maks. gerilme oluşmuştur. Bu bilgiler ışığında tüberküllü olarak tasarlanan kanatlarda daha düşük mukavemetli ve hafif malzeme kullanılarak sistem verimi artırılabilir.

4. Sonuçlar (Results)

Tüberküllü kanat profili diğer akademik çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmadaki hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz sonuçlarına bakıldığında normal kanat profiline göre daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmaya özgü olarak farklı sıcaklık, basınç ve hız değerlerinde tüberküllü kanat verimi değerlendirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde listelenmiştir:

- Verim, bu çalışmada alınan boyutlar ve parametrelere göre 100 m/s gibi hız değerlerine kadar artış göstermiş daha sonra kademeli olarak azalmıştır. Sistemin kullanıldığı ve kullanılması düşünülen 0-10000 m deki basınç ve sıcaklık değerlerinden verimin çok fazla etkilenmediği gözlemlenmiştir.

- 1000 m/s (yaklaşık 3 mach) gibi hız değerlerinde verim yüzde 6 ya kadar düşmüştür. Buradan sesüstü sistemlerde kullanımının çok verimli olmayacağı anlaşılmaktadır.

- Tüberküllü kanatlarda daha az sürtünmeden kaynaklı olarak düşük gerilmeler olduğu için daha düşük mukavemetli hafif malzemeler kullanılabilir.

Doğanın bize sunduğu bu tasarım örneğini kanat yapısı ve sistem şartları uygun olan birçok alanda uygulamak mümkündür. Özellikle rüzgar türbinlerinde kullanılarak daha verimli, sessiz, kullanım ömrü uzun sistemler oluşturulmuştur. Helikopter pervaneleri, havalandırma fanları, gemi pervaneleri gibi alanlarda da kullanımı vardır. Kısacası akışın uygun olduğu ve tasarımın uygulanabildiği her yerde kullanılarak daha verimli sistemler oluşturulabilir.

Kaynaklar (References)

[1] Eggermont M., Biomimetics as problem solving, creativity and innovation tool. Schulich School of Engineering, University of Calgary, 2007.

[2] Yiatros, S., Wade, M.A. and Hunt, G.R., The load bearing duct: biomimicry in structural design, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability, 2007, 160: 179-188. DOI: <https://doi.org/10.1680/ensu.2007.160.4.179>

[3] Senosiain J., Bio-Architecture. Architectural Press, An Imprint of Elsevier, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, 2003

[4] Polat A., Kurban M., Kambur balina yüzgecinden esinlenerek tasarlanan rüzgar türbin kanatlarının karşılaştırmalı analizi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015

[5] DLR researchers, Watching whales for better flight, helicopter research, DLR magazine 133, 15, 2012.

[6] Fish F.E., Weber P.W., Murray M.M., Howle L.E., The Tubercles on Humpback Whales' Flippers: Application of Bio-Inspired Technology, Integrative and Comparative Biology, 2011, 51(1), 203-213. DOI: <https://doi.org/10.1093/icb/acr016>

[7] Gruber T., Murray M.M., Fredriksson D.W., Effect of Humpback Whale Inspired Tubercles on Marine Tidal Turbine Blades, ASME Paper No.

IMECE2011-65436, 2011, 851-857. DOI: 10.1115/IMECE2011-65436

[8] Miklosovic D.S., Murray M.M., Howle L.E., Fish F.E., Leading-edge tubercles delay stall on humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) flippers. *Physics of Fluids*, 2004, 16(5):L39-L42. DOI: 10.1063/1.1688341

[9] Lohry M.W., Clifton D. and Martinelli L., Characterization and Design of Tubercle Leading-Edge Wings, Seventh International Conference on Computational Fluid Dynamics (ICCFD7), Big Island, Hawaii, July 2012, 9-13.

[10] Favier J., Pinelli A., Piomelli U., Control of the separated flow around an airfoil using a wavy leading edge inspired by humpback whale flippers, *Comptes Rendus Mecanique*, 2012, 107-114. DOI: 10.1016/j.crme.2011.11.004

Hüdayim BAŞAK

1969 yılında Kütahya’da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Kütahya’da tamamladı. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi’nden 1992 yılında mezun oldu. Yüksek Lisans ve Doktora çalışmalarını Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde tamamladı. Halen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü’nde Doçent olarak çalışmaktadır. Çalışmalarını CAD, Ürün Tasarımı, Tasarım ve programlama alanlarında yürütmektedir.

Hüseyin DEMİRHAN

1990 yılında Ankara’da dünyaya gelen Hüseyin DEMİRHAN, ilköğrenimi Süleyman Nazif İlköğretim Okulunda, lise eğitimini ise Tuzluçayır Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi’nde tamamlamıştır. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında mezun olmuştur. Mezuniyetten sonra özel sektörde imalat, ar-ge ve proje alanında çalışmıştır. 2015 yılında Gazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başlamış ve halen devam etmektedir.