



Bir güneş arabası için farklı kanat profillerinin deneysel olarak değerlendirilmesi

Cem ONAT

Fırat Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu, Uçak Gövde-Motor Bölümü, Elazığ
conat@firat.edu.tr ORCID:0000-0002-2886-0470

Mahmut DAŞKIN

İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya
mahmut.daskin@inonu.edu.tr ORCID:0000-0001-7777-1821

Mehmet ALTUĞ

İnönü Üniversitesi, Makine Metal Teknolojileri Bölümü, Malatya
mehmet.altug@inonu.edu.tr ORCID:0000-0002-4745-9164

Abdullah TURAN*

Şırnak Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şırnak
abdullahturanturan@outlook.com ORCID: 0000-0002-0174-2490, [Tel:\(486\) 216 82 35](tel:(486)2168235)

Geliş: 09.04.2018, Kabul Tarihi: 25.09.2018

Öz

Araba tasarımında önemli konulardan biri sürüklenme kuvvetinin minimizasyonudur. Bir aracın geometrisine bağlı olarak elde edilen sürüklenme katsayısını azaltmak, geometrik boyutları ve hızı bilinen aracın hava direnç kaybının düşürülmesiyle mümkündür. Cisim dış formundan dolayı hava akışında ne derece az bozuntuya neden olursa sürüklenme katsayısı ve bununla birlikte sürüklenme kuvveti de o derece düşük olur.

Bu çalışmada bir güneş arabasının dış geometrisi için düşünülen 4 farklı kanat profilinin hava akışı içerisinde maruz kaldığı sürüklenme kuvvetleri analiz edilmiştir. Bunun için geometrik olarak birbirinden farklı bu kanat modelleri 3D yazıcıda imal edilmiştir. Deneylerde hücum açısı $\alpha=0^\circ$ olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan hava akım hız değerleri güneş arabasının ortalama hız değerlerine karşılık gelmektedir. Deneysel olarak elde edilen veriler ile kullanılan profillerin sürüklenme katsayısı (C_d) değerleri belirlenmiştir. Sürüklenme katsayısının en düşük olduğu kanatçık Eppler 625 olurken, en yüksek değer ise Naca Munk M-4 kanat profilinde ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, sürüklenme katsayıları, hacimleri, projeksiyon alanları ve yüzey alanları birlikte göz önüne alınarak profillerin genel değerlendirilmesi yapılarak güneş arabası dış kabuğu olarak kullanılabilirliği açısından optimum kanat profili belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürüklenme kuvveti, Aerodinamik, Reynold sayısı, Güneş arabası,

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Aerodinamik, havanın fiziksel etkilerini inceleyen bilim dalıdır. Katı bir cismin çevresinde var olan hareketli hava veya hareketsiz duran hava içinde hareketli bir katı cisim olduğunda hava, aerodinamik yasalara göre hareket eder. Havanın hareketinden dolayı oluşan direnç kuvvetleri taşıma ve sürüklenme kuvvetleri olarak bilinirler. Bir cismin geometrik boyutları nedeniyle düzgün ve doğrusal akımda oluşan süresizlik, türbülans vb. gibi akım bozukluklarından dolayı meydana gelen C_d değeri hava direnç katsayısı (sürüklenme katsayısı) olarak tanımlanır.

Araç tasarımı bakımından en önemli noktalardan biri aerodinamik etkidir. Aracın dengesi, konforu ve yakıt tüketimi üzerine direkt olarak etkilidir. Normal bir araç ortalama 100 km/h hızla hareket ederken, harekete karşı meydana gelen aerodinamik dirençler toplam dirençlerin % 75'ini oluşturmaktadır. Bu yüzden verimlilik açısından sürüklenme katsayısının düşürülmesi çok önemlidir (Altınışık vd., 2014).

Araç yüzeyine hava akımı doğrultusunda etki eden kuvvet sürüklenme kuvvetidir ve sürüklenme katsayısı, projeksiyon alanı ve göreceli hava akış hızı parametreleri ile doğru orantılıdır (Onat vd., 2004; Onat ve Canbazoğlu, 2007). Sürüklenme kuvvetini minimize etmenin yolu, tasarımsal geometrinin belirlediği sürüklenme katsayısı C_d 'nin değerini minimize etmektir.

C_d değeri birimsizdir ve hava akımı tarafından etki edilen cismin geometrik şekline bağlıdır. (Heisler, 2002). Sabit bir hücum açısı için, sürüklenme kuvvetini değiştirmek sadece sürüklenme katsayılarının değiştirilmesiyle mümkündür. Bu da cismin geometrisini değiştirerek sağlanır. Genellikle tasarımcılar, C_d 'yi minimize edecek şekilde tasarım yapmaya çalışırlar. Böylece araçlarda yakıt tasarrufu sağlanır, yüksek yapı elemanlarının rüzgara karşı dayanımı artar (Altınışık vd., 2014).

Güleren ve Demir (2011) rüzgar türbinleri için yeni profil tasarlamak amacıyla Eppler 625, Eppler 664, Clark Y, Eiffel 10 (Wright), FX 69-

PR-281 ve Naca Munk M-4 kanat profillerini düşük hücum açılarında ($0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$) ve yüksek Reynolds sayısında $CL-\alpha$ ve $CL/CD-\alpha$ değişimleri yönünden sayısal olarak incelemiştir. Sayısal çalışmalarında Spalart Allmaras (SA) türbülans modelini kullanmışlardır. CLARK-Y kanat profilinin en iyi performansa sahip olduğu ve daimi analizlerin geçerliliğinin kanat profillerine göre farklı hücum açıları ile sınırlı olduğu görülmüştür. Yılmaz ve diğerleri (2016) literatürde yaygın olarak kullanılan 3 farklı kanat profillerinin (S826, NACA 4415, NACA 63-415) aerodinamik performansları farklı hızlarda ve açılarda deneysel olarak incelemiştir. Geniş aralıklı hücum açılarında Kayseri'de kurulabilecek düşük hızda çalışan Rüzgar Enerji Santralleri için NACA 63-415 kanat profili kullanımı verim açısından daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Yao ve diğerleri (2012) NACA 0018 rüzgar türbin kanat profilinin aerodinamik performansını iki boyutlu olarak hesaplamalı akışkanlar mekaniği ile incelemiştir. Bu çalışmada farklı türbülans modeller ve deneysel sonuçlar ile taşıma ve sürüklenme katsayıları analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada farklı türbülans modellerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Sonuçlar rüzgar türbin kanat profilleri için örnek kabul edilebilir. Şahin ve Acır (2015), deneysel ve sayısal olarak NACA 0015 rüzgar türbin kanat profilinin taşıma ve sürüklenme performansını incelemişler, kanat profili için optimum taşımanın ve optimum performansın olduğu hücum açılarını belirlemişlerdir. Maulana ve diğerleri (2016), hesaplamaları akışkanlar dinamiği ile üç boyutlu olarak kanat profili tasarımının rüzgar türbin performansı üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada 63 serisi kanat profilleri kullanılmış ve sonuç olarak NACA 63-412 kanat profilinde belirgin iyileştirme sağlanmıştır.

Rüzgar türbinleri için farklı kanat profillerinin sayısal olarak test edildiği başka bir çalışmada farklı hücum açılarında ve farklı rüzgar hızlarında sayısal olarak test edilerek sürüklenme kuvveti katsayıları ile serbest hava akım hızıyla

değişimleri analiz edilerek, kanat performansları değerlendirilmiştir (Düz, 2016). Michael ve Bryan (2002) mesken yerlere yakın kurulabilecek sessiz ve verimli küçük rüzgar türbinleri geliştirmek amacıyla farklı kanat profili ailesinden seçilmiş E387, S822, SD2030, FX63-137, S834 ve SH3055 kanat profillerini aerodinamik ve aeroakustik yönünden rüzgar tüneline test etmişlerdir. Parezanovic ve diğerleri (2006) rüzgar türbinleri için yeni kanat profilleri tasarlamak amacıyla Naca 63(2)215, FFA-W3- 211 ve A-Airfoil kanat profillerinin performanslarını incelemişlerdir. Tangler ve Somers (1995) bir şekilde yatay eksenli rüzgar türbinleri için Nrel serisi kanat profilleri üzerinde performans analizleri yapmışlardır.

Bak ve diğerleri (2000), NACA 63-415 tipi kanat profili ile bu profilin modifiyeli halinin akış karakteristiklerini teorik ve deneysel olarak rüzgar tüneli sayesinde karşılaştırmışlardır. Rüzgar tüneli testinde elde edilen veriler ile aerodinamik özellikler ortaya çıkarılmış ve geliştirilen kanat profilinin kullanılması durumunda kaldırma katsayısının artırılacağı raporlanmıştır. Shan ve diğerleri (2005), sayısal simülasyon ile NACA0012 kanat profilinin çevresindeki akım ayrılmasını incelemişlerdir. Bu çalışmalarında 4° hücum açısında ve 100.000 Reynolds sayısında bir serbest akım bölgesinde bulunan NACA0012 tipi kanat profili etrafındaki akış ayrılması, girdaplar, türbülans ve sınır tabaka oluşumunu benzetimsel olarak incelemişlerdir.

Bu çalışmada; literatürde yaygın bir kullanıma sahip geometrik yapı olarak birbirinden farklı 4 kanat profilinin (Eppler 664, Eppler 625,

NacaMunk M-4, Clark Y) 3D yazıcıda imalatı yapılarak, kanat proflinin kesit doğrusu arasında kalan hücum açısı sabit tutularak ($\alpha=0^\circ$) aerodinamik direnç katsayıları deneysel olarak belirlenmiş ve birbirleriyle mukayese edilmiştir. Ayrıca, üretilen profillerin hacim ve yüzey alanları göz önünde tutularak bunların güneş arabası dış kabuğu olarak kullanılabilirliği açısından değerlendirilmiştir. Bir başka ifadeyle bu çalışmanın temel amacı, farklı kanatçık ailelerinden alınan kanat örneklerinin sürüklenme katsayısı ve sürüklenme kuvveti deneysel olarak elde edildikten sonra birbiriyle mukayese edilerek güneş arabası dış kabuğu taslağı için optimum kanat profilini elde etmektir.

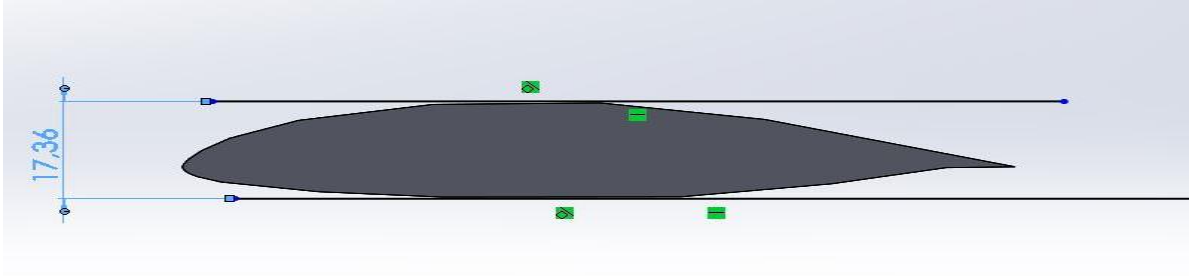
Materyal ve Yöntem

Modellerin tanımı

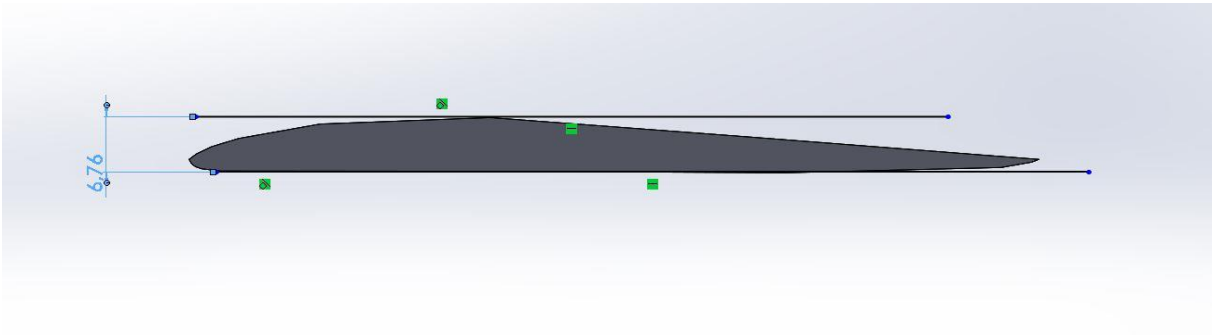
Deneysel olarak kullanılan dört farklı profilin (Eppler 664, Eppler 625, NacaMunk M-4, Clark Y) Solidworks bilgisayar programında yapılan katı model çizimleri Şekil 1-4'te verilmektedir. Deneysel her bir profil için 11 farklı fan hızında yapılmıştır. Buradaki fan hızları güneş arabasının ortalama hız değerlerine karşılık gelmektedir. Profillerin hava akımına dik kesitindeki uzun kenarı sabit olup 45 mm iken, boyu ise 100 mm'dir. Kanat profillerinin akışa karşı dik alanları (karakteristik alanları A_d), hacimleri (V) ve üst yüzey alanları (A_y) Tablo 1'de gösterilmiştir. Buna göre en büyük iç hacim, yüzey alanı ve projeksiyon kesit alanı (karakteristik alanı) Eppler 664 profili tarafından sunulmaktadır. Bunlardan iç hacim ve üst yüzey alanı parametrelerinin büyük olması güneş arabası tasarımında arzu edilmektedir.

Tablo 1. Profillerinin bazı geometrik bilgileri

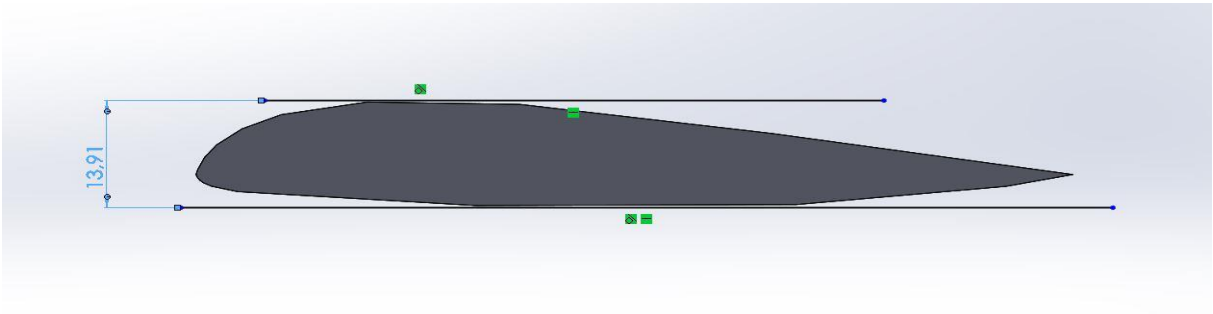
	Eppler 664	Naca Munk M-4	Eppler 625	Clark Y
A_d	781.2 mm ²	310.05 mm ²	625.3 mm ²	571.5 mm ²
A_y	4699.02 mm ²	4546.78 mm ²	4645.78 mm ²	4647.87 mm ²
V	52760.40 mm ³	20038.08 mm ³	41014.87 mm ³	37165.15 mm ³



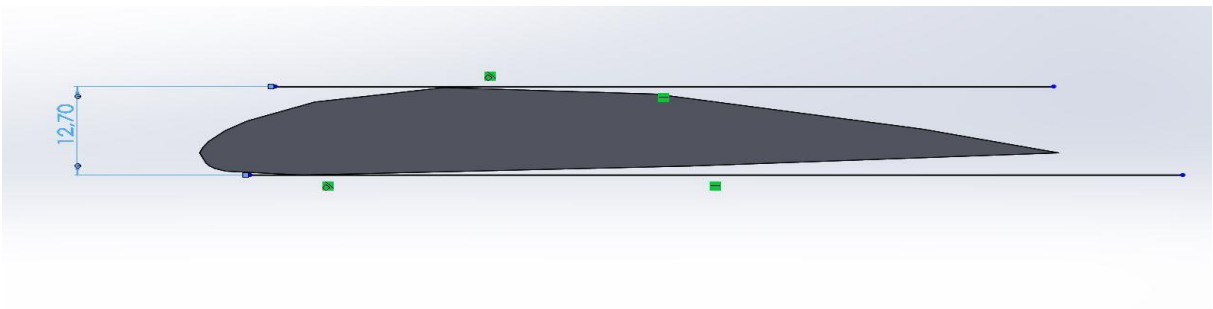
Şekil 1. Eppler 664



Şekil 2. NacaMunk M-4



Şekil 3. Eppler 625

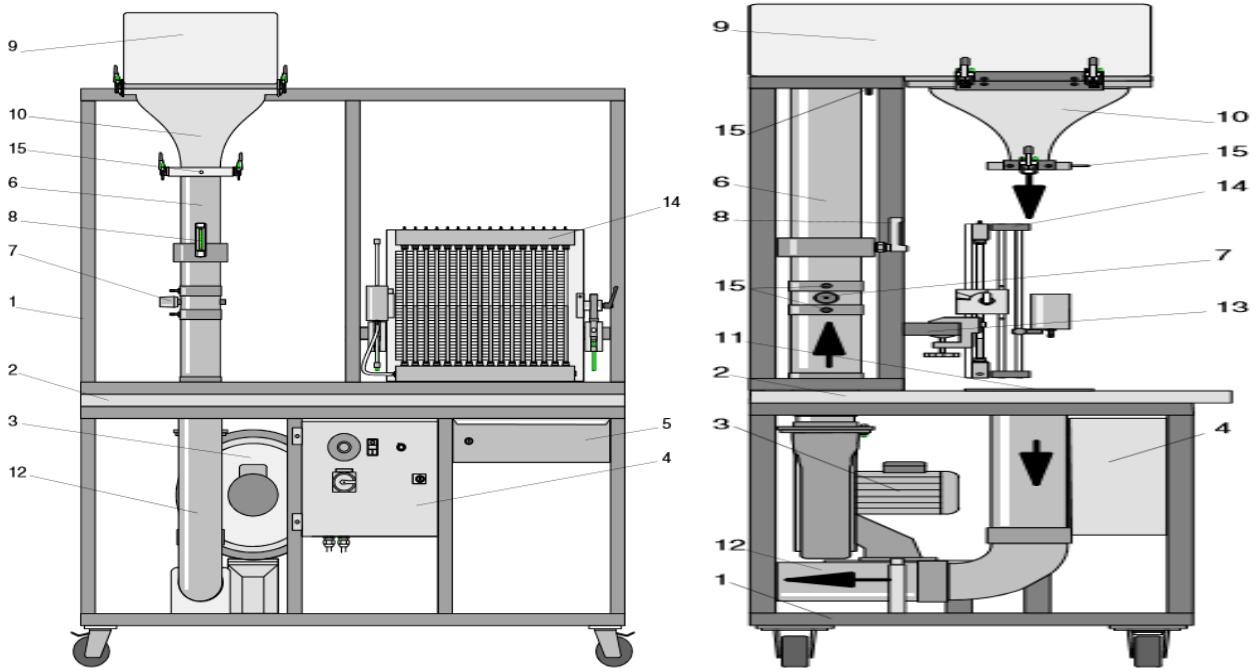


Şekil 4. Clark Y



Şekil 5. 3D yazıcıda imal edilmiş kanat profiller

Şekil 6'da deneylerin yapıldığı hava akış tezgahı görülmektedir.



Şekil 6. Hava akış tezgahı

- Hareketli şasi (1) ve tezgah üzeri masa (2)
- 0.55 kW gücünde Radyal Fan (3)
- Anahtar kutusu (4) ve çekmece (5)
- Hava alım borusu (6), valf (7) ve termometre (8)
- Hava düzenleyici (9)
- Portatif nozzle (ağızlık) (10)
- Hava girişi için Huni (11)
- Hava çıkış borusu (12)
- Sabitleyici (13) ve 16 borulu su manometresi (14) mm²
- Salmastra bileziği (15)

Ölçülen büyüklüklerin hata değerleri, ölçü araçlarının üretici firmaları tarafından önerilen hata değerleri yanında yapılan kalibrasyon çalışmalarından ve deneysel tecrübelerden teorik olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyde kullanılan araç ve gereçlerin imalatı sırasında yapılmış herhangi bir hatanın olmadığı varsayılmıştır. Bütün bunların göz önüne alınması ile her bir bağımsız değişken için ortaya çıkabilecek hata değerleri şu şekilde belirlenebilir.

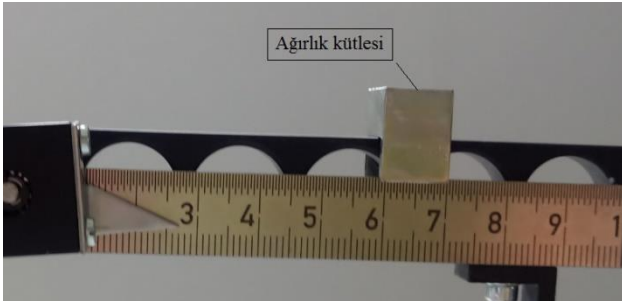
Radyal fan hızından kaynaklanan hata= $\pm 0,8$ m/s,

Dinamik basınçtan kaynaklanan hata= $\pm 1,4$ Pa,

Dinamik basıncın okunmasından kaynaklanan hata= ± 0.1 Pa,

Ağırlık kütesindeki hata= ± 0.01 gr

Kanat üzerinde akış yönünde oluşan kuvvet (F_d) sürüklenme kuvvetidir. Bu kuvvetin hesaplandığı ölçek çubuğundaki hassasiyet değer ± 0.5 olup, birimi mm'dir (Şekil 7).



Şekil 7. Ölçek çubuğu

Ayrıca ölçek çubuğunun okunmasından kaynaklanan hata= $\pm 0,005$ mm,

Bir parametrenin değerinin ölçülmesinde, sabit hatalar, rastgele hatalar ve imalat hataları nedeniyle ortaya çıkan hatalar dikkate alınarak toplam hata hesabı (1) denklemindeki gibi yapılabilir. Farklı bağımsız değişkenlerden dolayı ortaya çıkan W_R belirsizliği aşağıdaki eşitlikten elde edilmiştir (Holman, 1971).

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Burada R, x_1, x_2, \dots, x_n bağımsız değişkenlerinin verilen bir fonksiyonudur. W_1, W_2, \dots, W_n ise bağımsız değişkenlerin belirsizliğidir.

Buna göre ölçek çubuğundaki değerlerin okunmasından kaynaklanan toplam hata ($W_{\text{öç}}$) (1a) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{\text{öç}} = [(a_1)^2 + (a_2)^2]^{1/2} \quad (1a)$$

$$W_{\text{öç}} = [(0.005)^2 + (0.005)^2]^{1/2}$$

$$W_{\text{öç}} = \pm 0.007 \text{ mm}$$

Dinamik basınç değerinin elde edilmesinde yapılabilecek toplam hata (W_{Pd}) (1b) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{\text{Pd}} = [(b_1)^2 + (b_2)^2]^{1/2} \quad (1b)$$

$$W_{\text{Pd}} = [(0.014)^2 + (0.1)^2]^{1/2}$$

$$W_{\text{Pd}} = \pm 0.1 \text{ Pa olarak bulunur.}$$

Belirlenen hata değerlerinden dolayı denklem (2), (3), (4), (5) dikkate alındığında, sürüklenme katsayısı ve Reynold sayısının hesaplanmasında sırasıyla ± 0.07 ve ± 0.1 oranlarında hata payı olduğu düşünülmektedir.

Bir uçak kanadı söz konusu olduğunda sürüklenme kuvveti uçağın hareketi için uçak motorunun yenmek zorunda olduğu kuvvettir. Deneylerde aerodinamik sürüklenme katsayısı aşağıdaki formülasyonla ifade edilir:

$$C_d = F_d / (0.5 \rho w_\infty^2 A_d) \quad (2)$$

w_∞ 'yı tespit etmek için ise, P_{din} kullanılır. Bunun için pitot tüpü yardımı ile manometreden ölçülen P_{din} 'nin birimi mmHOW olup (1mmHOW = 10 Pa) denklem (3) kullanılarak serbest hava akım hızı bulunur.

$$w_\infty = \sqrt{\frac{2P_{\text{din}}}{\rho}} \quad (3)$$

Havanın yoğunluğu $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$ (20°C 'de) alındı.

Sürüklenme katsayısının, Reynold sayısının bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir. ($C_d = f(Re)$). Fakat bu bağıntı $Re < 10^4$ olduğu durumlar için geçerlidir (White, 2004). Deney sonuçlarına göre hesaplanacak olan Reynold sayısı denklem (4) kullanılarak bulunabilir.

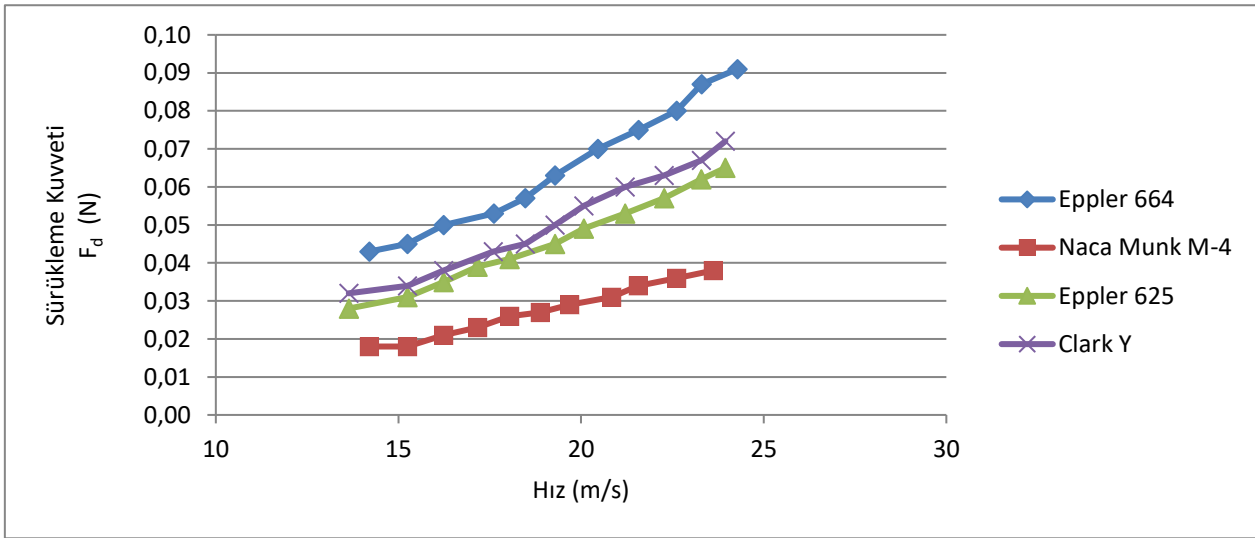
$$Re = (w_{\infty} D_h \rho) / \mu \quad (4)$$

Burada hava için dinamik viskozite $\mu = 1.85 \cdot 10^{-5}$ N/ms değeri kullanıldı.

$$D_h = 4(A_c/T_c) \quad (5)$$

Uygulama

Bu çalışmada her bir kanat profili için 4.5-7.5 m/s aralığında 0.3 m/s aralıklarla 11 farklı fan hızı kullanılarak veriler elde edilmiştir. Burada kullanılan hız değerleri güneş arabasının yapabileceği hız değerlerine göre belirlenmiştir. Her bir seri ölçümün sonuçları şekil 8'de gösterilmektedir. Burada kanat profillerine etki eden sürüklenme kuvvetinin hava akım hızına bağlı olarak değişimi görülmektedir.



Şekil 8. Eppler 664, Naca Munk M-4, Eppler 625 ve Clark Y için sürüklenme kuvvetlerinin hava akım hızına bağlı değişimi

Sürüklenme kuvveti hava akım hızının bir fonksiyonu olduğu gibi aynı zamanda ön izdüşüm alanının ya da karakteristik alanın bir fonksiyonudur. 4 profilde de sürüklenme kuvvetinin hava akım hızı ile birlikte arttığı görülmektedir.

Sürüklenme kuvveti ile hava akım hızının arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak da açıklamak için her bir kanat profili için regresyon analizi yapılarak korelasyon katsayıları (R^2) hesaplandı (Tablo 2). Örneğin Eppler 664 kanat profili için yapılan regresyon analiz sonuçları ele alındığında, bağımsız değişken olan hava akım hızının bağımlı değişken olan sürüklenme kuvvetindeki değişimleri %98.2205 oranı ile açıklama gücüne sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Tablo 2'de ayrıca standart hata,

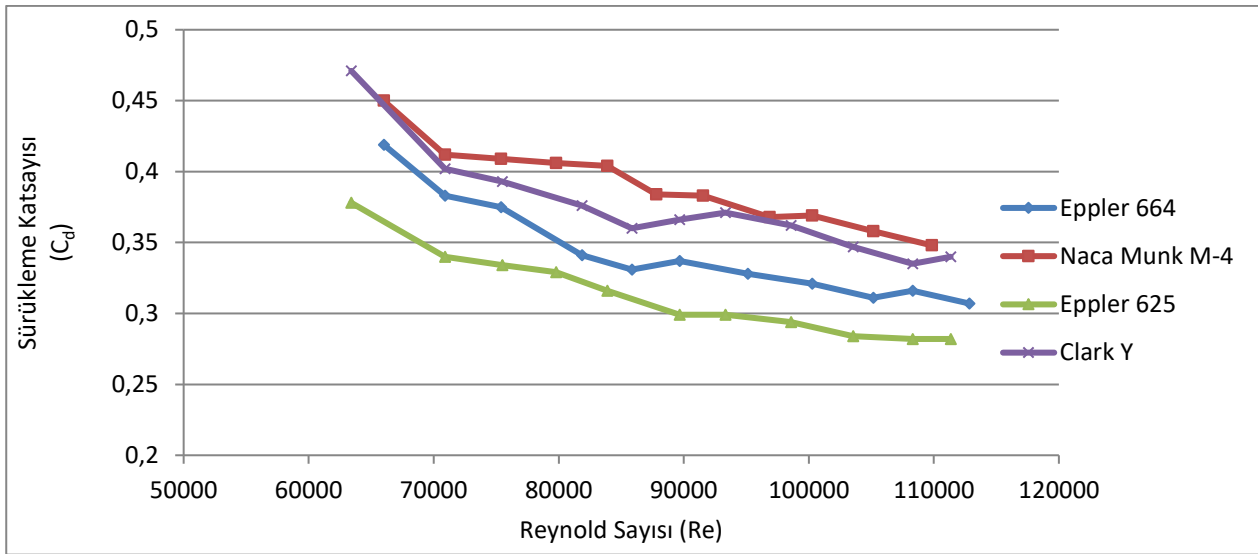
denklem kurulmak istendiğinde gerekli sabit katsayı ve bağımsız değişkenin katsayıları da görülmektedir.

Şekil 8'de sürüklenme kuvvetindeki en fazla artış Eppler 664 profilinde gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni Eppler 664 profilinin karakteristik alanının diğer profillere göre daha büyük olmasıdır. Bir başka ifadeyle temas yüzeyi artmış ve buna bağlı olarak sürüklenme kuvveti de artma göstermiştir. Benzer şekilde Eppler 625 profilinin Clark Y profilinden, Clark Y profilinin de Naca Munk M-4 profilinden karakteristik alanının büyük olmasından dolayı sürüklenme kuvveti daha büyük çıkmıştır. Benzer sonuçlar Güleren ve Demir (2011)'in yaptıkları çalışmada da elde edilmiştir.

Şekil 9'a baktığımızda kanat profillerindeki sürüklenme katsayısının (C_d) Reynold sayısına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Tüm kanat profillerinde de Reynold sayısının artışıyla sürüklenme katsayısının azaldığı ortaya çıkmıştır.

Tablo 2. Regresyon analiz sonuçları

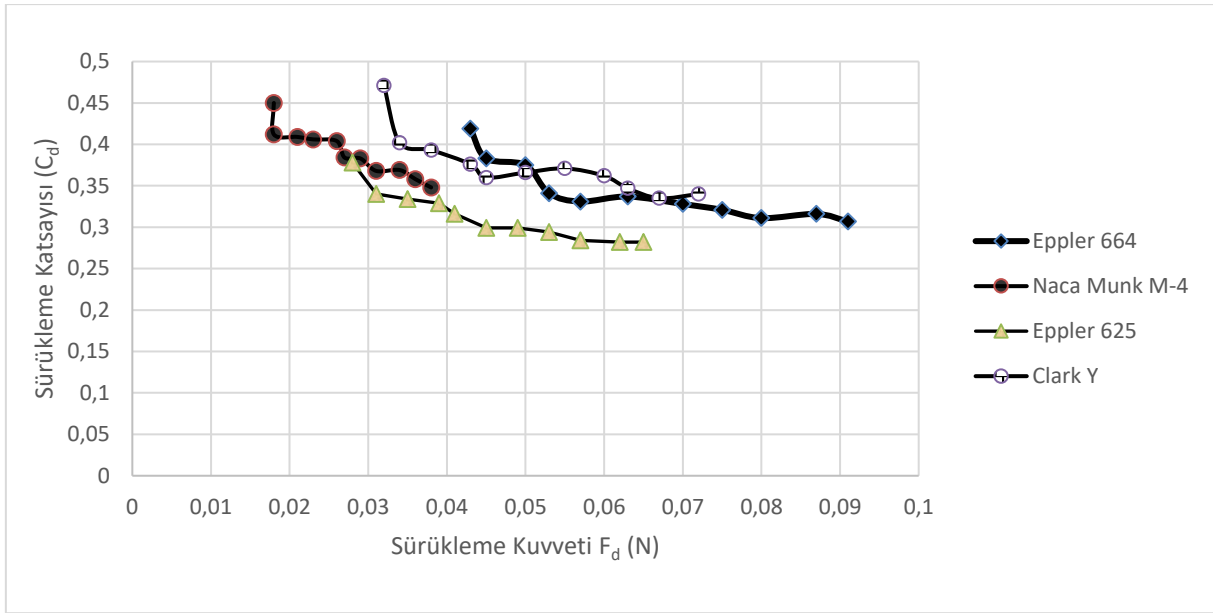
	Eppler 664	Naca Munk M-4	Eppler 625	Clark Y
Korelasyon katsayısı (R^2)	0,982205	0,990644	0,992254	0,982849
Standart hata	0,002366	0,00071	0,001152	0,001881
Kesişim katsayısı	-0,03102	-0,01542	-0,02405	-0,02674
Bağımsız değişken (x)	0,004948	0,002261	0,003657	0,004038



Şekil 9. Eppler 664, Naca Munk M-4, Eppler 625 ve Clark Y için aerodinamik direnç katsayısının Reynold sayısına bağlı değişimi

Şekil 9'da en yüksek hava direnç katsayısının Naca Munk M-4 kanat profilinde olduğu gözlemlenirken, en düşük hava direnç katsayısı ise Eppler 625 kanat profilinde elde edilmiştir. İlk değer olarak Clark Y kanat profilinin C_d değeri büyük olmasına rağmen, bu değer için Reynold sayısı, Naca Munk M-4 profilinin ilk değerine karşılık gelen Reynold sayısından daha küçüktür. Kanatlar içerisinde Eppler 625 profili,

hava direnç katsayısının minimum değeriyle optimum olduğu sonucuna varılmıştır. Aşağıdaki grafikte ise hava direnç katsayısının sürüklenme kuvvetine bağlı değişimi gösterilmektedir (Şekil 10). Grafikte bütün profillerde sürüklenme kuvveti ile sürüklenme katsayısı arasında genel olarak ters orantı olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Sürüklenme katsayısının sürüklenme kuvvetine bağlı değişimi

Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, güneş arabalarının dış kabuğu olarak kullanılabilirliği açısından yüksek verimli kanat profili belirlemek için 3 farklı kanatçık ailesinden seçilmiş 4 ayrı kanat profilinin performansları sayısal olarak incelenmiştir. Bu kanatlar, 0° hücum açısında ve farklı rüzgar hızlarında (güneş arabasının ortalama hız değerleri) performans yönünden test edilmişlerdir. Sayısal sonuçlardan sürüklenme katsayısı (C_d), Reynolds sayısı, sürüklenme kuvveti ve akış hızının birbirleriyle olan değişimleri incelenmiştir.

4 profilde de sürüklenme kuvvetlerinin hava akış hızının artışıyla arttığı gözlemlenmektedir. Sürüklenme kuvvetindeki en yüksek artışın Eppler 664 profilinde olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni Eppler 664 profilinin karakteristik alanının diğer profillere göre en büyük değere sahip olmasıdır. Bunun yanında Reynolds sayısının sürüklenme katsayısıyla ters orantılı olduğu görülmektedir. Karakteristik alandan arındırılmış sürüklenme katsayısı değerlerinin en küçüğü Eppler 625 kanat profilinde elde edilmiş olup buna karşın

maksimum değeri ise Clark Y profilinde elde edilmiştir.

Yalnız sürüklenme katsayısının minimizasyonu bakımından ele alındığında optimum kanat profilinin Eppler 625 profili olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak araba tasarımında iç hacim büyüklüğü ve güneş panellerinin yerleştirileceği üst yüzey alanın büyüklüğü kriterleri ile birlikte değerlendirilmelidir. Bu kriterlerden üst yüzey alan büyüklükleri Eppler 664, Eppler 625 ve Clark Y profillerinde çok büyük bir farklılık göstermemektedir. Hacim değerlendirme kriterine göre ise Eppler 625 profili en iyi ikinci büyük iç hacmi sunmaktadır.

Eppler modelleri arasında en önemli farklılık ise Eppler 664 profilinin üst kısımda sağlamış olduğu düşük basınçtır. Bu sonuçlara bakarak, bir kanat profilinin tasarlanırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli durum kanat profilinin üstünde oluşan düşük basınçtır. Ayrıca kanat kalınlığının sürüklenme katsayısına kayda değer bir etki yaptığı tahmin edilmektedir. Bu durum sonraki çalışmada detaylı olarak değerlendirilecektir.

Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi (Proje numarası: 2013-62) tarafından desteklenmiştir. Çalışmamıza verdikleri destek için söz konusu kuruma teşekkür ederiz.

Semboller

C_d	:Hava direnç katsayısı
α	:Hücum açısı ($^{\circ}$)
A_d	:Karakteristik alan (mm^2)
A_y	:Üst yüzey alanı (mm^2)
V	:Hacim (mm^3)
A_d	:Modelin hava akımına dik kesitini (mm^2)
W	:Belirsiz miktarı
x	:Bağımsız değişken
R	:Bir fonksiyon
a, b	:Parametre
F_d	:Sürüklenme kuvveti (N)
w_{∞}	:Serbest hava akım hızı (m/s)
P_{din}	:Dinamik basınç (Pa)
R^2	:Korelasyon katsayısı
ρ	:Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
Re	:Reynolds sayısı
D_h	:Deney düzeneğinin hidrolik çapı (m)
A_c	:Deney düzeneğinin gerçekleştiği haznenin kesit alanı (m^2)
T_c	:Haznenin çevresi (m)
μ	:dinamik viskozite (N/ms)

Kaynaklar

- Altınışik, A., Kütükçeken, E., Yemenici O., Umur H., (2014). Gerçek araç modeli üzerinde deneysel ve sayısal aerodinamik analizler. OTEKON' 7. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa.
- Bak, C., Fuglsang, P., Johansen, J., Antoniou, I., (2000), Wind tunnel tests of the NACA63-415 and a modified NACA63-415 airfoil, Risø National Laboratory, Technical University of Denmark, Roskilde.
- Düz, H., (2016), Rüzgar türbinleri için, farklı kanat profillerinin sayısal olarak test edilmesi, Apjes IV-II, 41-51.
- Güleren, K., M., ve Demir, S., (2011), "Rüzgar Türbinleri İçin Düşük Hücüm Açılarında Farklı Kanat Profillerinin Performans Analizi" *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 31,2, 51-59.
- Heisler, H., (2002), *Advanced vehicle technology*, second edition, Butterworth–Heinemann, Great Britain.
- Holman J. P., (1971), *Experimental methods for engineers*, Mc Graw Hill Book Company, 37-52.
- Maulana, M., I., Qaedy, T., M., Nawawi, M., (2016), "Design analysis of vertical wind turbine with airfoil variation" *Proceeding of the 4th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials (ICE-SEAM 2015)*, 1717.
- Michael, S., S. and Bryan, D., G., (2002), "Wind Tunnel Aerodynamic Tests of Six Airfoils for Use on Small Wind Turbines" *National Renewable Energy Laboratory, Period of Performance*.
- Onat, C., Kepçeler, T., Orgül, O.B., (2004), Rüzgar türbini kanatlarının katı modellemesi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 45, 533, 10-17.
- Onat, C., Canbazoglu S., (2007), Wind energy potential of Southeast Anatolia Region of Turkey and an optimum wind turbine propeller design for Siverek, *Energy Exploration and Exploitation*, 25, 2, 107-121.
- Parezanovic, V., Rasuo, B., Adzic, M., (2006), "Design of Airfoils for Wind Turbine Blades" *The French-Serbian European Summer University: Renewable Energy Sources and Environment Multidisciplinary Aspect*, 17-24, Rnjačka Banja, Serbia.
- Shan, H., Jiang, L., Liu, C., (2005), Direct numerical simulation of flow separation around a NACA0012 airfoil, *Computers&Fluids* 34, 1096–1114.
- Şahin, İ., ve Acır, A., (2016), "Numerical and experimental investigations of lift and drag performances of NACA 0015 wind turbine airfoil" *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 3(1): 22-25.
- Tangler, J., T., Somers, D., M., (1995), "NREL Airfoil Families for HAWT" *Proc. Wind Power '95*, Washington D.C., ABD, 117-123.
- White, M.F., (2004). "Akışkanlar Mekaniği", McGraw Hill, London, 210-220.
- Yılmaz, İ., Çam, Ö., Taştan, M., Karcı, A., (2016), "Farklı rüzgar kanat profillerinin aerodinamik performanslarının deneysel incelenmesi" *Journal of Polytechnic*, 19 (4): 577-584.
- Yao, J., Yuan, W., Wang, J., Xie, J., Zhou, H., Peng, M., Sun, Y., (2012), "Numerical simulation of aerodynamic performance for two dimensional wind turbine airfoils," *International Conference on Advances in Computational Modeling and Simulation*, *Procedia Engineering* 31: 80 – 86.

Experimental evaluation of different airfoils for a solar car

Extended abstract

In general, aerodynamic is a subject of science which examines the physical effects of air. When a solid body moves in air or air flows around a solid object, the air acts based on the laws of aerodynamic. The forces caused by the relative movement of air are drag forces.

C_d value is known as air resistance coefficient and emerges as a result of the current distortions such as the discontinuity and turbulence that were produced in uniform linear flow because of external area of a solid object.

Depending on external area of object, as the object causes less distortion in the airflow so the drag coefficient and the drag force becomes very small. The only way to reduce the air resistance loss of a vehicle whose speed and geometric dimensions are known, is to reduce the drag coefficient C_d which is dependent on the vehicle's external form.

A vehicle with constant power can reach higher speed and reveals the importance of C_d value since high performance is targeted on racing cars engine.

Vehicle forms are tried to be designed like droplets to reduce value of C_d . The ideal shape is symmetrically shaped relative to the horizontal axis, which is known as the water drop shape. The profile in the drop form has minimal distribution in the line current.

One of the key issues in the design of a car is to minimize the drag coefficient. In this study, the drag coefficient exerted in the air flow of 4 different airfoils (Eppler 664, Eppler 625, Naca Munk M-4, Clark Y) produced in the 3D printer, which is considered for the outer geometry of a sun car, was analyzed. Experiments were carried out in wind tunnel which has a radial fan at 0.55 kW power. For each airfoil, 11 different fan speeds were used at intervals of 0.3 m/s in the range of 4.5-7.5 m/s. In the experiments, the attack angle was used as $\alpha=0^\circ$. The drag coefficient (C_d) of the shapes which were used were obtained with the obtained datas. In addition, the relationships between the drag force (F_d) and the airflow velocity, the drag force and the Reynolds number, the drag coefficient and the drag

force were revealed for each airfoil. The drag coefficient which is the most important parameter was calculated for each airfoil. Optimum airfoil was tried to obtain. Also, the relationship between the drag coefficient and airfoil area was researched.

As we can see from the obtained results, it was shown that optimum airfoil is Eppler 625 profile. As a result, the general evaluation of the profiles which are based on the design for the outer shell of solar car was determined.

In addition, it can be evaluated as an important infrastructure study in terms of usability of the optimum airfoil determined by this study as an outer shell for sun vehicles.

Keywords: Drag force, aerodynamic, reynold number, solar car.