

Farklı Rüzgar Türbin Kanat Profillerinin Aerodinamik Performansının Deneysel İncelenmesi

İlker YILMAZ, Ömer ÇAM, Murat TAŞTAN, Adem KARCI

Erciyes Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde Motor Bölümü,
38039, Melikgazi, KAYSERİ

(Geliş / Received : 07.04.2016 ; Kabul / Accepted : 04.06.2016)

ÖZ

Yapılan çalışmada Kayseri ili hava şartlarında verimli çalışabilecek farklı rüzgar türbin kanat profillerinin aerodinamik performansları subsonik rüzgar tüneline deneysel olarak incelenmiştir. Literatürde yaygın kullanılan 3 farklı kanat profili (S826, NACA 4415, NACA 63-415) belirlenmiştir. Üretilen profillerin aerodinamik parametreleri (C_L , C_D , C_L/C_D) Gamma tipi yük hücresi (loadcell) vasıtasıyla ölçülmüştür. Deneyler 3 farklı hızda (6-7-8 m/s, 126000-147000-168000 Reynold sayılarında) ve -4° ile 26° hücum açılarında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki NACA 63-415 kanat profilinin 4° ile 12° hücum açılarında C_L/C_D değeri yaklaşık olarak 7 iken diğer kanat profillerinin aynı hücum açılarında 4 civarındadır. 12° hücum açısından sonra NACA 63-415 kanat profilinin C_L/C_D değeri düşüş gösterse de 21° hücum açısına kadar üstünlüğü devam etmektedir. Bu çalışma ile 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.

Anahtar Kelimeler: Kanat Profili, Aerodinamik, Performans parametreleri

Experimental Investigation of Aerodynamic Performance of Different Wind Turbine Airfoils

ABSTRACT

In this study aerodynamic performance of the different wind turbine airfoils that can work efficiently in the province of Kayseri weather conditions was investigated in subsonic wind tunnel. Firstly, the theoretical study had been done and 3 airfoils (S826, NACA 4415, NACA 63-415) were determined. Aerodynamic parameters (C_L , C_D , C_L/C_D) of the airfoils manufactured in the model airplane workshop was measured by a Gamma type force/torque sensor (loadcell). Experiments was carried out between -4° and 26° angle of attack at 3 different velocities (6-7-8 m/s, 126000-147000-168000 the Reynolds number). According to the obtained results NACA 63-415 airfoil showed that C_L/C_D values are about 7 between 4° and 12° angle of attack when others are 4. After the angle of attack of 12° C_L/C_D values of NACA 63-415 airfoil decreased and until the angle of attack of 21° this airfoil has higher lift / drag ratios then other airfoils.

As a result, wind power plants operating at low speed can be established in Kayseri with NACA.63-415 airfoil that has concluded that it is better to use in terms of efficiency.

Key Words: Airfoil, Aerodynamics, Performance parameters

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyadaki nüfus artışı ve ilerleyen teknoloji ile birlikte enerji tüketimi hızla artmaktadır. Günümüzde tüketilen enerjinin en büyük tedarik kaynakları fosil yakıtlardır. Bu yakıtların egzoz gazlarının çevreye verdiği zararların sürekli artması, insan ve diğer canlılar için tehlikeli seviyelere ulaşması nedeniyle araştırmacılar ve bilim insanları alternatif enerji kaynakları üzerine çalışmalar yapmaktadırlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi de insanoğlu tarafından binlerce yıldır bir enerji kaynağı olarak kullanılan rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisi, tükenmez bir kaynak olması özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Rüzgar türbini kanat profillerinin aerodinamik performans incelemelerinde genel amaç, kurulması düşünülen Rüzgar Enerji Santralinin (RES) en verimli şekilde çalışmasını sağlayacak parametrelerin belirlenmesidir. Bu amaçla yapılan birçok araştırma literatürde mevcuttur. Chen ve arkadaşları, çalışmalarında maksimize edilmiş C_L/C_D oranları sahip yeni bir kanat profili grubu tasarlamışlardır. Rüzgar Tüneline yaptıkları deneysel çalışmalarda zorlu hava şartlarını da dahil etmişlerdir. Ayrıca deneysel veriler ile RFOIL tahminlerini kıyaslayarak uyumluluğunu belirlemişlerdir[1]. Şahin ve Acır, 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[2]. Yao ve arkadaşları, NACA 0018 rüzgar türbin kanat profilinin aerodinamik performansını iki boyutlu olarak hesaplamalı akışkanlar mekaniği ile

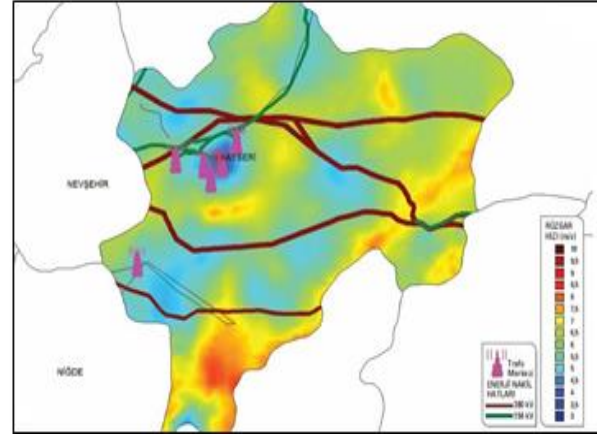
*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: iyilmez@erciyes.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.4 577-584

incelemiştir. Taşıma ve sürüklenme katsayıları farklı türbülans modeller ve deneysel sonuçlar ile incelenmiş ve kıyaslanmıştır. Yaptığı çalışmada farklı türbülans modellerinin uygulanabilirliği incelenmiştir. Sonuçlar rüzgar türbin kanat profilleri için örnek kabul edilebilir [3]. Cohan ve Aratopour, rüzgar türbini kanat profillerinde yağmur ve yüzey özelliklerinin performans üzerine etkilerini nümerik olarak incelemiştir. Çok fazlı akışkanlar dinamiği hesaplamaları ile yağmur damlaları oluşturulmuş. Farklı sıklıklarda yağmur yağışlarının rüzgar türbin kanat profilleri yüzey özelliklerini üzerine etkileri incelenmiştir. Kanat profilinin yüzeyini kaplayacak kadar çok miktarda olan yağışların performansta az etki yaptığını, düşük sıklıklarda ki yağışların ise performansı değiştirdiği tespit edilmiştir[4]. Coscker, yaptığı çalışmada küçük bir rüzgar türbininin tasarım ve optimizasyonunu yapmıştır. Bu amaçla kanat profili ve diğer parametrelerin belirlenmesi için gerekli tasarım aşamalarını ayrıntılı olarak incelemiştir. Yaptığı araştırmalar sonucu rüzgar türbin tasarım ve optimizasyonunda en önemli parametrenin kanat profili seçimi olduğunu belirlemiştir[5]. Maulana ve arkadaşları, 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[6]. Güleren ve Demir, farklı geometriye sahip altı kanat profili için yüksek Reynolds sayısında ve düşük hücum açıları için sayısal çalışmalar yapmıştır. CLARK-Y kanat profilinin en iyi performansa sahip olduğu ve daimi analizlerin geçerliliğinin kanat profillerine göre farklı hücum açıları ile sınırlı olduğu görülmüştür[7].

Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), orta ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro ölçekli rüzgar akış modeli kullanılarak üretilen rüzgar kaynak bilgileridir. Bu atlas yardımıyla Türkiye genelinde yüksek çözünürlükte; farklı yüksekliklerdeki yıllık ve mevsimlik rüzgar hız ortalamaları ile güç yoğunlukları, yıllık kapasite faktörü vb. birçok bilgi edinilebilmektedir. Şekil 1'de ise bu atlaslardan Kayseri ili için rüzgar hız ortalamaları ve enerji nakit hatları gösterilmektedir[8]. Ekonomik Rüzgar Elektrik Santrali (RES) yatırımı için 7 m/s veya üzerinde rüzgar hızı gerekmektedir. Kayseri ilimizde ise Şekil - 1'de rüzgar hız dağılımından da görüleceği gibi RES yatırımı için uygun alanlar bulunmaktadır. Bu yatırımlara örnek olarak geçici kabulü yapılarak işletmeye alınan lisanslı rüzgar santrali (72,00 MW kurulu güç) Yahyalı ilçesinde Aksu Temiz Enerji Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş. gösterilebilir[9]. Ayrıca verilen enerji nakil hatlarının RES kurulabilecek alanlara olan yakınlığın Kayseri'de bu santrallerin sayısının daha fazla olması gerektiğini göstermektedir. Çizelge 1'de Kayseri iline kurulabilecek rüzgar enerjisi santrali güç kapasitesi verilmiştir. 6,8 ile 8,1m/s rüzgar hızına sahip alanlardan elde edilebilecek gücün toplam elde edilebilecek güç kapasitesinin %98'ine denk geldiği görülmektedir. Bu değerler deneysel çalışmanın yapılacağı hız değerleri olacaktır.



Şekil 1. Enerji nakil hatları [8] (Energy transmission lines)

Çizelge 1. Kayseri iline kurulabilecek rüzgar enerjisi santrali güç kapasitesi [8] (Wind energy power plants capacity of Kayseri)

50 m'de Rüzgar Gücü (W/m ²)	50 m'de Rüzgar Hızı	Toplam Alan (km ²)	Toplam Kurulu Güç (MW)
300 – 400	6.8 – 7.5	276,69	1.383,44
400 – 500	7.5 – 8.1	95,20	476,00
500 – 600	8.1 – 8.6	4,85	24,24
600 – 800	8.6 - 9.5	0,32	1,60
> 800	> 9.5	0,00	0,00
		377,06	1.885,28

Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesinde (HUBF) yapılan bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmanın hayata geçirilebilmesi için HUBF' ta bulunan Model Uçak Atölyesi (MUA) ve Subsonik Rüzgar Tüneli Laboratuvarı (SRTL)'ndan faydalanılmıştır. İlk olarak Kayseri ili ve çevresi rüzgar hız dağılımlarına ve elde edilebilecek güç kapasitesine uygun bölüm 2.5 te bir kısmı verilmiş olan literatürde yaygın kullanılan kanat profilleri belirlenmiştir. Belirlenen kanat profillerinin sayısı 3'e düşürülmüştür. Daha sonra ise MUA'nde üretilmiş belirlenen rüzgar türbin kanat profillerinin SRTL'nda aerodinamik performansı deneysel olarak incelenmiştir. Yapılacak çalışmada Sıcak Tel Anemometresi (Hot-wire Anemometer), 3 eksenli kuvvet ve moment ölçer (Yük Hücresi) ve pitot tüpü kullanılmıştır. Böylece rüzgar türbin kanat profillerinin performans parametreleri için istenilen veriler elde edilmiştir. Yapılan çalışmada rüzgar tüneli hızı ve kanat profillerinin hücum açısının değiştirilmesi ile yeter sayıda deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak belirlenen bir şehrin Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası incelenerek (RES) için en uygun hız aralıkları belirlenmiş. Böylece RES için elde edilebilecek güç kapasitesi maksimize edilmiştir. Üç farklı kanat profilinin rüzgar tünelinde deneyleri yapılarak rüzgar türbin kanat profilleri için ana

parametrelerden biri olan C_L/C_D oranları farklı hücum açılarında incelenmiştir.

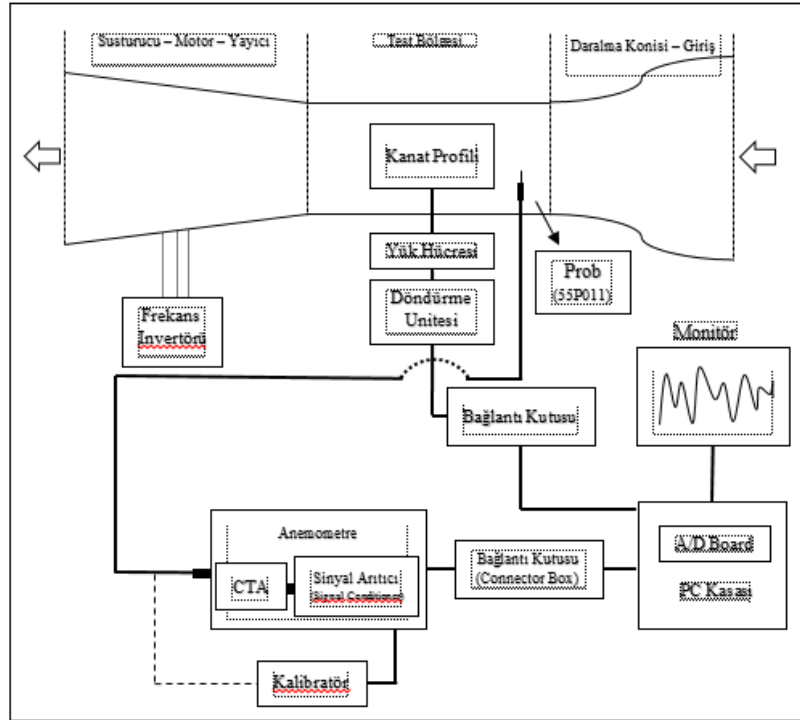
2. GEREÇ VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

Yapılan çalışma için oluşturulan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil' 2 de verilmiştir.

türbülans şiddeti uluslararası standartlarda ($< \%1$) ve test bölgesi giriş kesiti 57×57 cm ölçülerindedir.

2.2. Sıcak Tel Anemometresi ve Dantec Otomatik Kalibratör ve Traverse Mekanizması (Hot-wire Anemometer and Dantec Auto Calibrator and Traverse Mechanism)

Dantec Dynamics Pro StreamLine Sıcak Tel Anemo-



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (Schematic representation of the experimental setup)

2.1. Rüzgar Tüneli (Wind Tunnel)

Rüzgâr tüneli açık devreli emmeli tip bir rüzgar tünelidir ve ana olarak 8 parçadan oluşmaktadır. Bunlar; Giriş Kanalı, Akış Düzenleyici Elek Flaşları, Daralma Konisi, Test Bölgesi, Kare - Daire Geçiş Kanalı, Yayıcı,

metre sistemi yüksek hassasiyetli Hotwire sistemidir. Sistem otomatik kalibrasyon ünitesine sahiptir. Hotwire sistemimiz deneysel akış ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Hotwire sistemi gaz akışlarda yüksek frekanslı 1, 2 ve 3 boyutlu noktasal hız ve sıcaklık ölçümü yapabilme özelliğine sahiptir. Özellikle,



Şekil 3. Rüzgar tüneline ait fotoğraflar (Photos belonging to wind tunnel)

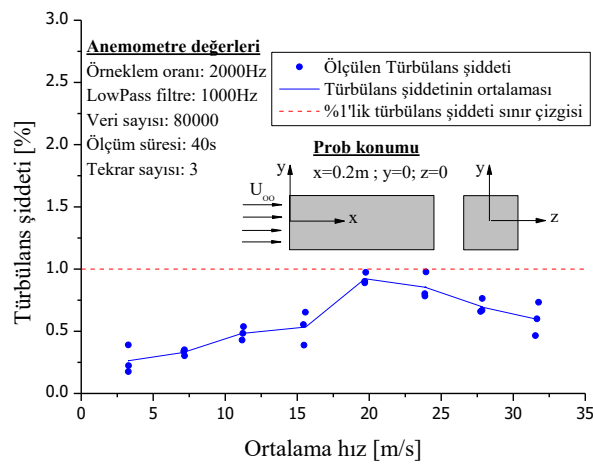
Motor ve Susturucu kısımlarıdır. Sistemin çalışma hız aralıkları 3 ila 33 m/s (fan devir sayısı 150 – 1200 d/dk),

tek noktadaki çok hızlı akış hızı değişimleri için (yüksek türbülans) için ideal bir çözümdür. Sistemde hız, sabit tel

sıcaklığı prensibiyle ölçülür. Tel bir devre ile ısıtılır. Telin üzerinden geçen akış telde ısı kaybına yol açar ve telin sıcaklığını dengeleyen Wheatstone köprüsündeki güç tüketiminin ölçüsü, telin üzerinden geçen akışın hızını verir. Rüzgar tünelimizin türbülans şiddetinin serbest akış hızı ile değişim analizleri Hotwire anemometremizde yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Sıcak Tel Anemometresi (Hot-wire Anemometer)



Şekil 5. Rüzgar tünelinin türbülans şiddetinin serbest akış hızı ile değişim grafiği (Graph of turbulence intensity with free flow speed)

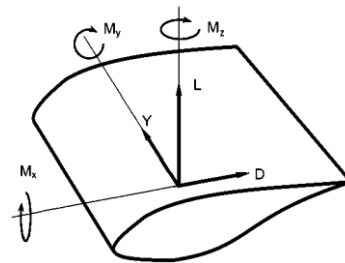
2.3. Bileşenli Kuvvet ve Moment Ölçüm Sistemi ve Döndürme Ünitesi (Component Force and Torque Measurement System and Drive System)

Gerilme ölçer (strain guage) telin uzunluğu değişince direnci değişen bir elemandır. Gerildiğinde uzayan ve sıkıştırıldığında kısalan bir çelik silindire bağlıdır. Silindire bağlı olduğundan silindirle birlikte uzayacak veya kısalacaktır. Direnç değeri gerilme ölçerin yapıldığı telin uzunluğu ile orantılıdır. Gerilme ölçerin direnci ölçülerek yük hücresi üzerindeki yükü saptamak mümkündür. Yük hücrelerinde dört adet gerilme ölçer kullanılır. Bunlar Wheatstone köprüsü şeklinde bağlantılıdır. Rüzgar tüneline analizleri yapılacak deney numunelerinin kuvvetleri ve momentleri hızlı ve güvenilir bir şekilde ölçülebilir (Şekil 6). Hız ölçümleri için 55P014 prob kullanılmıştır. Veriler NIDAQ -6323 A/D board ile alınmıştır.

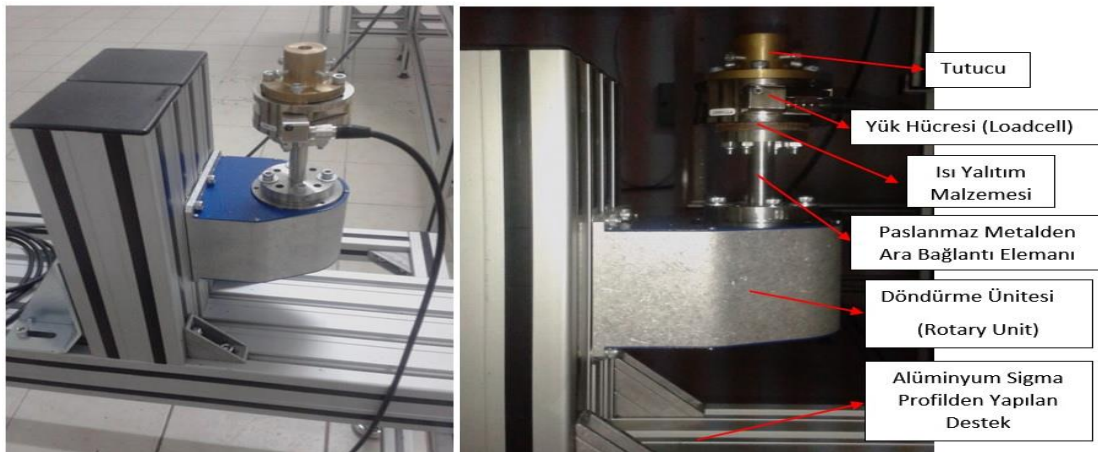
Deneylere başlamadan önce Hotwire Anemometresi ile frekans invertörünün motor frekansı ile rüzgar tünelinin akış hızı arasındaki ilişki elde edilmiştir. Çalışmanın bütün ölçümlerinden önce kullanılacak hız probunun kalibrasyonu yapılmıştır.

2.4. Kanat Profillerinin Performans Büyüklükleri

Kanat profilleri etrafında üç yönde kuvvet ve moment bileşenleri oluşur. Bu bileşenler taşıma (L), sürüklenme (D) ve yanlamasına kuvvetler (Y) ile yalpa (M_x), yunuslama (M_y) ve sapma (M_z) momentleridir. Şekil 7'de bu bileşenler bir kanat profili üstünde ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Kanat profilleri performans incelemelerinde bu bileşenlerden taşıma ve sürüklenme kuvveti ile yunuslama momenti incelenmektedir.



Şekil 7. Kanat profilinde kuvvet ve momentler (Forces and moments on airfoil)



Şekil 6. Yük hücresi ve aparatları (The load cell and apparatus)

Kanat profilleri farklı şekil ve boyutlara sahiptir. Bunun sonucu olarak kanat profillerinin avantaj ve dezavantajlarını değerlendirirken boyutsuz katsayılar dikkate alınmaktadır[2]. Taşıma ve sürüklenme katsayıları olan boyutsuz katsayılar iki boyutlu olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

Taşıma Katsayısı:

Çizelge 2. Kanat profillerinin boyut ve geometrik özellikleri (c: veter uzunluğu)
(Dimensions and properties of airfoils, c: chord distance)

Kanat Profilleri	Maksimum Kalınlık	Maksimum Kamburluk	Boyutları
NACA 63-415	15% (0.349 c)	2.2% (0.50 c)	300x300 mm
NACA 4415	15% (0.309 c)	4% (0.402 c)	300x300 mm
S826	4.3% (0.62 c)	14% (0.337 c)	300x300 mm

$$C_L = \frac{2L}{\rho V^2 c} \quad (1)$$

Sürüklenme Katsayısı:

$$C_D = \frac{2D}{\rho V^2 c} \quad (2)$$

2.5. Kanat Profillerinin Seçimi ve Üretimi (Selection and Production of Airfoils)

Kanat profili, rüzgar türbinlerinin en önemli dizayn parametrelerinden biridir. Bu yüzden rüzgar türbin santralleri kurulmadan önce kurulacak yerin yıllık ortalama rüzgar hızları hesaplanır ve bu hızlara en uygun kanat profilleri belirlenir.

Çalışmada Kayseri ilinin düşük hava hızlarında 6,8-8.1 m/sn), yüksek taşıma katsayısına sahip profilleri belirlenmiştir. Kanat profillerini seçerken National Renewable Energy Laboratory (NREL) kanat profilleri incelendi ve S800 serisi kanat profillerinin C_L/C_D oranları karşılaştırılmıştır[10]. Bunun sonucunda en iyi sonuç veren S826 birinci kanat profili olarak belirlendi. Kanat profillerinin belirlenmesi esnasında en belirleyici etken; istenilen hız aralıklarında maksimum kaldırma ve minimum sürüklenmedir.

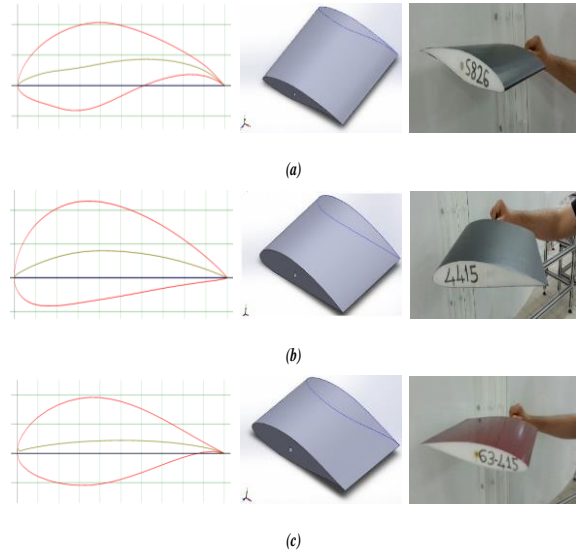
S.J. Miley'in rüzgar türbinleri için düşük Reynold sayılarında NACA 4415-4412-23012-23015-0012 kanat profilleri verileri kataloğu incelenmiştir [11]. Katalogda, profil seçimi için Reynold sayısının önemi, yüzey kalınlık etkisi ve profil üzerindeki türbülans etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak ve ikinci kanat profili olarak, NACA 4415 seçilmiştir.

Son olarak Dr. S. P. Vandan ve arkadaşlarının düşük rüzgar hız bölgelerindeki rüzgar gücü için inceledikleri NACA 63 serisi profiller, düşük hızlarda iyi bir profil karakteristiği göstermişlerdir [12]. Ayrıca NACA 63 serisi profiller için güç eğrisi düşük ve orta rüzgar hız oranlarında daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür [13]. NACA 63 serisi profiller arasından bu çalışmalar incelenerek NACA 63-415 kanat profiline uygunluğuna karar verilmiştir.

2.6. Üretim Aşaması ve Deney Düzenekinin Kurulması (Manufacturing Process and Installation of Test Environment)

Belirlenen üç kanat profilinin SolidWorks programında çizimleri yapılmış ve AutoCAD programına aktarılmıştır. Çizelge 2 'de kanat profillerinin boyut ve geometrik özellikleri verilmiştir.

Her bir kanat profilin veter uzunluğunu rüzgar tüneli boyutlarına uygun olarak 300 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 8'da NACA 4415, NACA 63-415 ve S826 kanat profillerinin SolidWorks programında oluşturulan 3D çizimleri verilmiştir. Oluşturulan kanat profillerinin ağırlık merkezlerinden geçen 8mm çapında delik çizilmiştir. Böylece yük hücresi (Loadcell) ile kanat profilleri arasında bağlantı çubuğu için yer oluşturulmuştur.



Şekil 8. Kanat profillerinin 2D ve 3D çizimleri ile üretilip kaplanmış halleri

(a) S826 Kanat profili (b) NACA 4415 Kanat profili
(c) NACA 63-415 Kanat profili

(2D, 3D drawings and produced states of airfoils (a) S826 airfoil (b) NACA 4415 airfoil (c) NACA 63-415 airfoil)

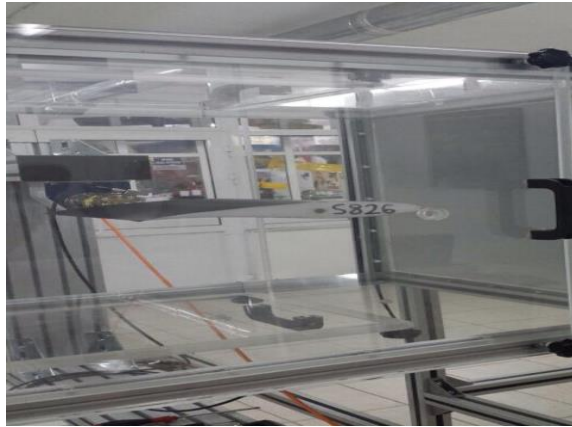
Kanat profillerinin CNC tezgahı ile kesimi gerçekleştirilmiştir. Kesim işlemi bilgisayar kontrollü servo motorlar ile gerçekleştirilmektedir. Kullanılan malzeme yüksek Db straforlardır.



Şekil 9. Kanat profilinin kesim işlemi (Cutting operation of the airfoil)

Kesilen kanat profillerine yük hücresi bağlantı elemanı eklenmiştir. Profil üzerindeki açıklıklara macun çekilerek yüzey düzgünlüğü ve pürüzsüzlüğü sağlanmıştır. Kaplama yapılarak hassas ölçümler elde etmek için kanat profilleri hazır hale getirilmiştir.

Kanat profilleri bağlantı çubuğu vasıtasıyla yük hücresine monte edilmiş ve kalibrasyonu yapılarak rüzgar tüneline yerleştirilmiştir (Şekil 10).

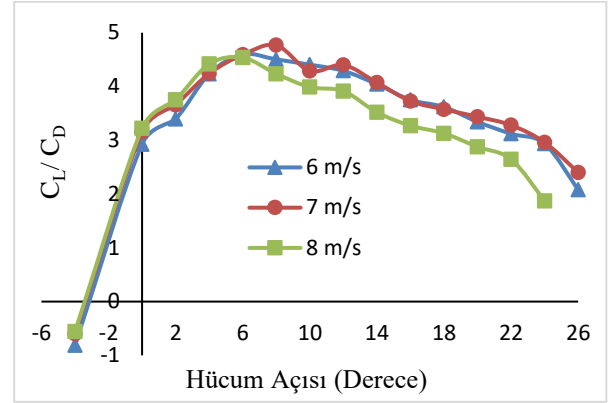


Şekil 10. S826 kanat profilinin rüzgar tüneline montaj edilmiş hali (Mounted state of S826 airfoil in the wind tunnel)

3. SONUÇLAR (RESULTS)

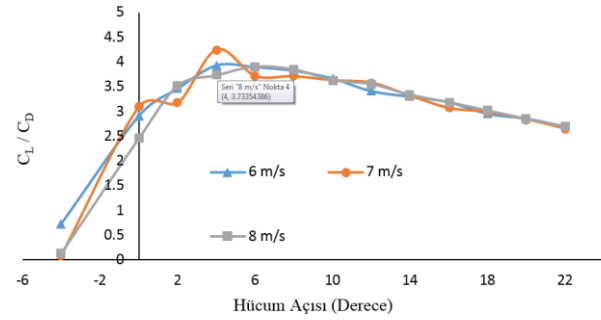
Deneylerde; 3 farklı kanat profili 3 farklı hızda (6-7-8 m/s) ve -4° ile 26° hücum açıları yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu kanat profillerine 3 eksenli etki eden kuvvetler ve momentler ölçülmüştür. Her analizde yaklaşık 20000 adet veri kaydedilmiştir.

Şekil 11'de S826 kanat profilinin bütün hücum açıları 6-7 m/s hızlarında C_L/C_D oranlarının benzer olduğu gözlenmiştir. 8 m/s için yapılan ölçümlerde 6 derece hücum açısından sonra C_D 'nin artmasıyla C_L/C_D oranında düşüş olmuştur. S826 kanat profilinin bütün hızlarda C_L/C_D değerinin en yüksek olduğu hücum açısı 6 derecedir. 10 derece hücum açısından sonra 26 dereceye kadar C_L/C_D oranı 3'e kadar düşürmektedir.



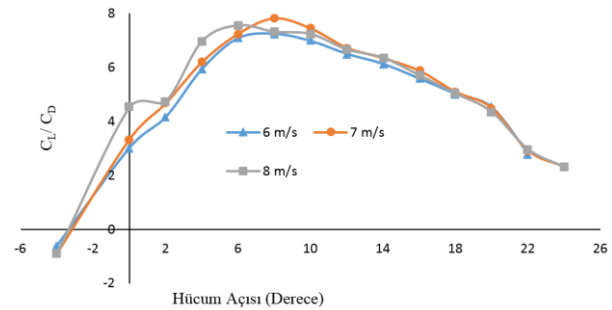
Şekil 11. S826 kanat profili için hücum açısı ile C_L/C_D değerlerinin değişimi (C_L/C_D values with the angle of attack for S826)

NACA 4415 kanat profilinde C_L/C_D oranında hızlara bağlı olarak bir değişim görülmemiştir. Hücum açısının artmasıyla 6 dereceden sonra C_L/C_D oranı diğer kanat profillerine göre daha yumuşak bir düşüş gözlenmiştir (Şekil 12).

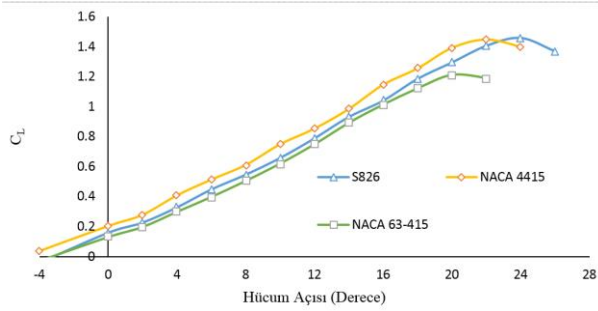


Şekil 12. Şekil 2. NACA 4415 kanat profili için hücum açısı ile C_L/C_D değerlerinin değişimi (C_L/C_D values with the angle of attack for NACA 4415)

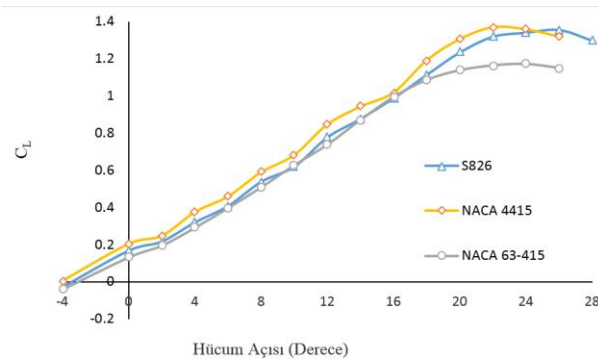
Şekil 13'de NACA 63-415 kanat profilinin -4 dereceden 6 dereceye hücum açısına kadar her bir hücum derecesindeki C_L/C_D oranı hızlı bir artış göstermektedir. 6 derecede yaklaşık 6 olan C_L/C_D oranı 20 derecede 4'e kadar düşüş göstermektedir.



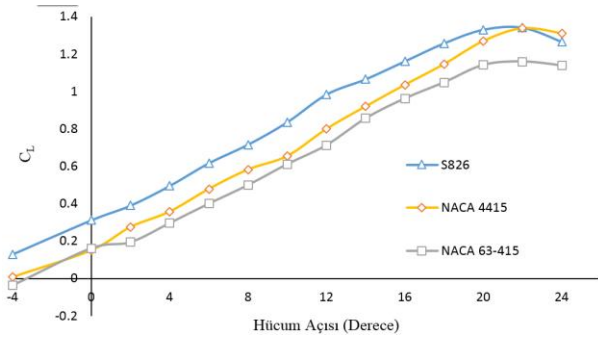
Şekil 3. NACA 63-415 kanat profili için hücum açısı ile C_L/C_D değerlerinin değişimi (C_L/C_D values with the angle of attack for NACA 63-415)



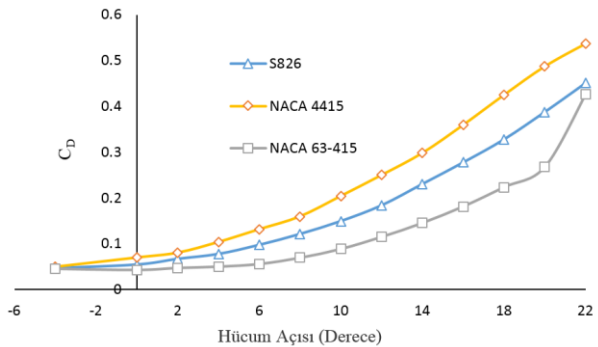
Şekil 4. Kanat profillerinin 6m/s rüzgar hızında C_L değerlerinin hücum açısı ile değişimi (C_L values of airfoils for 6 m/s wind speed)



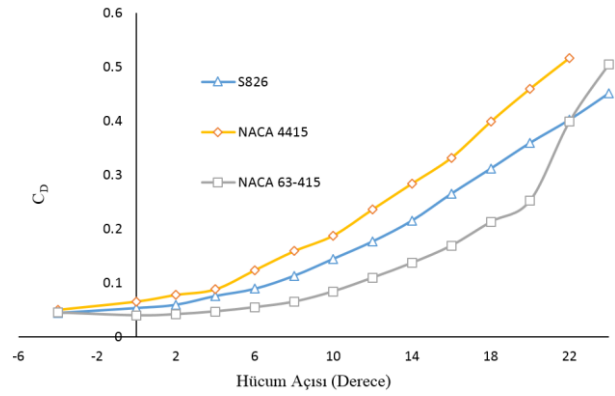
Şekil 5. Kanat profillerinin 7m/s rüzgar hızında C_L değerlerinin hücum açısı ile değişimi (C_L values of airfoils for 7 m/s wind speed)



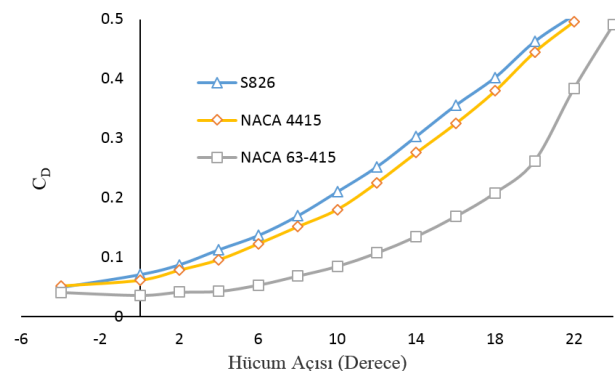
Şekil 6. Kanat profillerinin 8m/s rüzgar hızında C_L değerlerinin hücum açısı ile değişimi (C_L values of airfoils for 8 m/s wind speed)



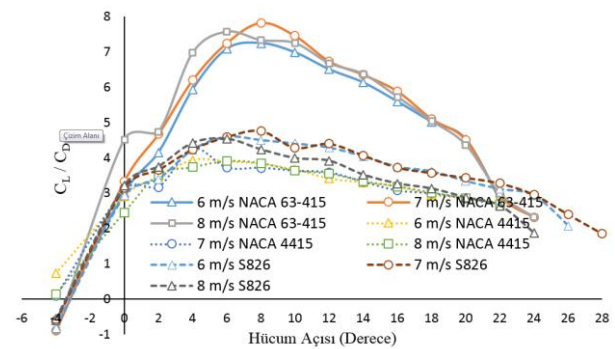
Şekil 7. Kanat profillerinin 6m/s rüzgar hızında C_D değerlerinin hücum açısı ile değişimi (C_D values of airfoils for 6 m/s wind speed)



Şekil 8. Kanat profillerinin 7m/s rüzgar hızında C_D değerlerinin hücum açısı ile değişimi (C_D values of airfoils for 7 m/s wind speed)



Şekil 9. Kanat profillerinin 8m/s rüzgar hızında C_D değerlerinin hücum açısı ile değişimi (C_D values of airfoils for 8 m/s wind speed)



Şekil 20. Hücum açısı ile C_L/C_D değerlerinin değişimi (C_L/C_D values with angle of attack)

Rüzgar türbini tasarımında kanatçık sayısından çok kanat profilinin kesit alanı büyük önem taşımaktadır[14]. Verimi artırabilmek için maksimum C_L/C_D (minimum sürükleme ve maksimum taşıma) oranı istenmektedir. Çünkü rüzgar türbinleri kullanım ömürleri boyunca daimi hava akımlarına sahip değillerdir. Hava akımından elde edecek maksimum güç C_L/C_D oranlarına bağlıdır.

Şekil 20'de tüm kanat profillerinin C_L/C_D değerlerinin hücum açısı ile değişimi verilmiştir Yaklaşık 6° ile 10° hücum açısı aralıklarında tüm profillerde C_L/C_D değeri maksimuma ulaşmıştır. NACA 63-415 kanat profilinin 6-7 m/s hızlarında diğer kanat profilleri ile C_L değerleri benzerlik göstermektedir (Şekil 14-15). 8 m/s hızında ise

bir miktar fark olduğu gözlemlenmiştir(Şekil 16). Fakat NACA 63-415 kanat profilinin C_D değerlerinde Şekil 17-19 dan gösterildiği üzere çok düşük olduğundan dolayı C_L/C_D oranları yüksek çıkmıştır. İncelen verilere göre Kayseri ili için yapılması düşünülen düşük hızlarda (6-7-8 m/s) çalışacak RES'ler için uygun olan kanat profili NACA 63-415 olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma; TÜBİTAK ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından FYL-2015-5733 kodlu projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Chen J., Wang Q., Zhanga S., Eecen P., Grasso F., "A new direct design method of wind turbine airfoils and wind tunnel experiment," *Applied Mathematical Modelling*, 40, (2016).
2. Şahin İ. ve Acır A., "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, (2015).
3. Yao J., Yuan W., Wang J., Xie J., Zhou H., Peng M., Sun Y., 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, (2012).
4. Cohan A. C., Arastoopour H., "Numerical simulation and analysis of the effect of rain and surface property on wind-turbine airfoil performance," *International Journal of Multiphase Flow*, 81: 46–53, (2016).
5. Cosker J., "Design and optimization of a small wind turbine," *Yüksek Lisans Tezi*, Rensselaer Polytechnic Institute, Hartford, Connecticut, (2012).
6. Maulana M. I., Qaedy T. M., Nawawi M., 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, (2016);
7. Güleren, K. M., Demir, S., "Rüzgar türbinleri için düşük hücum açılarında farklı kanat profillerinin performans analizi", *Journal of Thermal Science and Technology*, 31(2): 51-59, (2011).
8. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, REPA (Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası), Erişim Tarihi: 03/02/2015.
<http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar.aspx>
9. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Kayseri İl Bazlı Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) 03/02/2015.
<http://www.eie.gov.tr/YEKrepa/KAYSERI-REPA.pdf>
10. Mohamed A. S., Hamdy A. K., Shaltot, A., "Aerodynamic analysis of different wind-turbine-blade profiles using finite-volume method", *Energy Conversion and Management*, 64: 541–550, (2012).
11. S. J. Miley, "A Catalog of Low Reynold Number Airfoil Data For Wind Turbine Applications", Prepared by Department Of Aerospace Engineering Texas A&M University Collage Station, February, (1982).
12. Vandan, S. P., Lovelin S. A., M. Manibharathi and C. Rajkumar, "Analysis of a Wind Turbine Blade Profile for Tapping Wind Power at the Regions of Low Wind Speed", *International Journal of Mechanical Engineering*, ISSN : 2277-7059, 2(2): (2012).
13. Stiesdal, H., "The Wind Turbine Components and Operation" Danimarka, (1999).
14. Hepperle M., "Aerodynamic Design of a Windmill," Web sitesi: <http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/windmill.htm>, Erişim tarihi: 06/05/2016.