



T.C.

NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BİR KENARINDA BASINÇ ARTTIRICI GİRİNTİ BULUNAN DİKEY RÜZGAR
TÜRBİNİ KANAT PROFİLİNİN İNCELENMESİ

MUSTAFA FEVZİ ÖZTÜRK

OCAK 2020

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BİR KENARINDA BASINÇ ARTTIRICI GİRİNTİ BULUNAN DİKEY RÜZGAR
TÜRBİNİ KANAT PROFİLİNİN İNCELENMESİ

MUSTAFA FEVZİ ÖZTÜRK

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Yahya Erkan Akansu

Ocak 2020

Mustafa Fevzi ÖZTÜRK tarafından **Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU** danışmanlığında hazırlanan “**Bir Kenarında Basınç Arttırıcı Girinti Bulunan Dikey Rüzgar Türbini Kanat Profilinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Hakan YAVUZ, Çukurova Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Murat GÖKÇEK, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

ONAY:

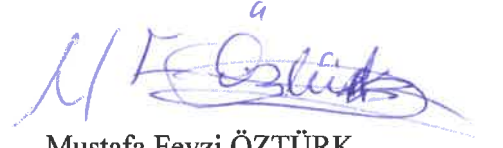
Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Prof. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “**Bir Kenarında Basınç Arttırıcı Girinti Bulunan Dikey Rüzgar Türbini Kanat Profilinin İncelenmesi**” başlıklı bu çalışmanın, tüm akademik kurallara ve Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Yayın Etiği Komisyonu Yönergesi 'ne uygun olarak gerçekleştirdiğimi ve sunduğumu, bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.



Mustafa Fevzi ÖZTÜRK

ÖZET

BİR KENARINDA BASINÇ ARTTIRICI GİRİNTİ BULUNAN DİKEY RÜZGAR TÜRBİNİ KANAT PROFİLİNİN İNCELENMESİ

ÖZTÜRK, MUSTAFA FEVZİ

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU

Ocak 2020

Darrieus rüzgâr türbinleri hava akışı ile kanat profillerinin kaldırma kuvveti oluşturması prensibine göre çalışsalar da bazı dönme açılarında hava akışı ile kanat profillerinin sürüklenme kuvveti oluşturmasından da etkilenirler. Sürüklenme kuvvetinin etkisi rüzgâr türbinin bazı dönme bölgelerinde türbinin dönme hızını arttırıcı yönde etki ederken, bazı dönme bölgelerinde türbinin dönme hızını azaltıcı yönde etki eder. Bu tez çalışması kapsamında rüzgârın sürüklenme kuvvetini arttırmak amacı ile rüzgâr türbini kanat profilinin emme kenarında basınç arttırıcı girinti oluşturulmuş olup, bu pasif akış kontrol yönteminin kanat profilinin sürüklenme ve kaldırma kuvvetine etkileri belirli hücum açıları için deneysel olarak incelenmiştir. Emme kenarında oyuklu bir yapı oluşturulan NACA0024, NACA4412 ve S822 kanat profilleri rüzgâr tüneline test edilerek sürüklenme ve kaldırma kuvvetine etkileri gözlemlenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda hava akışını kanat profillerinin hücum kenarından alması durumunda S822 ile NACA4412 kanat profillerinde oyuk kullanımının, hava akışını firar kenarından alması durumunda NACA0024 kanat profilinde oyuk kullanımının en iyi C_L/C_D oranını verdiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Darrieus rüzgâr türbini, pasif akış kontrolü, oyuklu kanat profili

SUMMARY

INVESTIGATION OF A VERTICAL WIND TURBINE BLADE PROFILE INCLUDING A CAVITY ON THE SUCTION SIDE

ÖZTÜRK, MUSTAFA FEVZİ

Nigde Omer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU

January 2020

Although Darrieus wind turbines work according to the principle that the airfoil generate lift force, they are also influenced by drag force of the airfoil at some rotational angles. Yet the drag force has the effect of increasing the rotational speed of the turbine at some of the rotational regions, while at some of the rotational regions it decreases the rotation speed of the wind turbine. In order to increase the drag force of the wind, a pressure enhancing cavity was created on the suction side of the airfoil, and the effects of this passive flow control method on the drag and lift force of the airfoil were investigated experimentally for predetermined angles of attack. NACA0024, NACA4412 and S822 airfoils which are formed with a cavity structure at the suction side, were tested in the wind tunnel and their effects on drag and lift force were measured. The best C_L / C_D ratio using were obtained, with S822 and NACA 4412 airfoils from the leading edge, and with the NACA0024 airfoil from the trailing edge.

Keywords: Darrieus wind türbine, passive flow control, cavity airfoil

ÖN SÖZ

Bu tez çalışması kapsamında NACA0024, NACA4412, S822 kanat profillerinde oyuklu bir yapının oluşturulmasının yüzeye tutunma yeteneğinin kaybına ve Darrieus rüzgâr türbinlerinin performansına etkisi incelenmiştir.

Yüksek Lisans çalışmam boyunca tecrübeleri ile kendimi geliştirmemde katkılarını sunmaktan çekinmeyen danışman hocam Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı bu zamana kadar manevi desteklerini daima teşvike dönüştüren babam İrfan ÖZTÜRK, annem Münire ÖZTÜRK ve abim Volkan ÖZTÜRK'e sonsuz sevgi ve saygılarımla adıyorum.

Bu tez çalışması, 315M478 numaralı TÜBİTAK 1003 projesinden üretilmiş olup, bursiyer öğrencisi olarak bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde finansal destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGE VE KISALTMALAR	xiv
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ	1
1.1 Rüzgâr Türbini Çeşitleri	1
1.1.2 Yatay eksenli rüzgâr türbinleri.....	3
1.1.3 Dikey eksenli rüzgâr türbinleri	4
1.2 Literatür Taraması.....	5
1.2.1 Yoğunlaştırıcı.....	6
1.2.2 Yayıcı	7
1.2.3 Yönlendirici	8
1.2.4 Oyuklu kanat profili	14
1.2.5 Katılık oranı	15
1.3 Çalışmanın Amacı.....	16
BÖLÜM II	17
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	17
2.1 Deneysel Kurulum	17
2.2 Cihazlar ve Ekipmanlar	17
2.2.1 Rüzgâr tüneli	17
2.2.2 Frekans değiştiricisi	18
2.2.3 Pitot tüpü ve mikro manometre.....	19
2.3 Test modellerinin hazırlanması.....	20
2.4 Performans Parametreleri	22
2.4.1 Aerodinamik kuvvet katsayıları ve ölçümü	22
BÖLÜM III	25
BULGULAR.....	25
3.1 Kanat Profillerinin Kaldırma ve Sürüklenme Kuvvetlerinin İncelenmesi.....	25

3.1.1 NACA 0024 kanat profili.....	25
3.1.2 NACA 4412 kanat profili.....	28
3.1.3 S822 kanat profili.....	30
3.1.4 Oyuklu kanat profillerinde C_l/C_d oranının incelenmesi	33
BÖLÜM IV	35
SONUÇLAR.....	35
KAYNAKLAR	37
ÖZ GEÇMİŞ.....	42



FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 1.1. Yatay eksenli rüzgâr türbininde kuyruk kullanımı (Afanasyeva vd., 2016)	4
Fotoğraf 2.1. Rüzgâr tünelinin genel görünümü	18
Fotoğraf 2.2. Frekans değıştiricinin görünümü	19
Fotoğraf 2.3. Pitot tüpünün rüzgâr tüneli içerisindeki bir görünümü (a) ve mikro manometrenin görünümü (b).....	20
Fotoğraf 2.4. 3 boyutlu yazıcının görünümü	20



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Betz kanunu ve rüzgâr türbini tiplerinin performanslarının eğrisi (Hau, 2006)	2
Şekil 1.2. Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması (Elibüyük ve Üçgül, 2014)	2
Şekil 1.3. Yatay eksenli rüzgâr türbini (Ciang vd., 2008)	3
Şekil 1.4. Savonius tipi rüzgâr türbini (Alit vd., 2017)	4
Şekil 1.5. Darrieus tipi rüzgâr türbini (Kozak, 2014)	5
Şekil 1.6. Yoğunlaştırıcının şematik görünümü	6
Şekil 1.7. Yayıcının şematik görünümü	7
Şekil 1.8. Üç farklı rüzgâr yönü kontrol tasarımı (a) tasarım I (b) tasarım II (c) tasarım III d) tavsiye edilen tasarım III için deneysel kurulumun görünümü (El-Askary vd., 2015)	9
Şekil 1.9. Yönlendirici plakanın farklı parametreler için performansının incelendiği deney düzeneğinin üstten görünümü (Golecha vd., 2011)	10
Şekil 1.10. İki yönlendirici plaka kullanımının incelendiği çalışma için deney düzeneğinin üstten görünümü (Golecha vd., 2012)	10
Şekil 1.11. Savonius ile birlikte kullanılan Darrieus türbininde yönlendiricinin etkisinin çalışıldığı deney düzeneğinin üstten görünümü (Sahim vd., 2014)	12
Şekil 1.12. Darrieus rüzgâr türbininin üst ve alt çeyrek kısımlarını örten yönlendiricinin çalışıldığı deney düzeneğinin üstten görünümü (Stout vd., 2017)	13
Şekil 1.13. Bir kenarında basınç arttırıcı girinti bulunan kanat profili	14
Şekil 1.14. Firar kenarında oyuk oluşturulmuş kanat profili (Kumar vd., 2017)	14
Şekil 1.15. Oyuklu kanat profili (Fatehi vd., 2019)	15
Şekil 2.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü	17
Şekil 2.2. NACA 0024 kanat profilinin temel (a) ve emme yüzeyinde oyuk oluşturulmuş kanat profili (b)	21
Şekil 2.3. NACA 4412 kanat profilinin temel (a) ve emme yüzeyinde oyuk oluşturulmuş kanat profili (b)	21
Şekil 2.4. S822 kanat profilinin (a) temel ve (b) emme yüzeyinde oyuk oluşturulmuş kanat profil	21

Şekil 2.5. Akışa maruz kalan kanat profilinde oluşan kuvvetler kuvvetlerin şematik görünümü.....	23
Şekil 2.6. Kanat profillerinin hücum açısına göre sahip oldukları bileşke hızları ve kaldırma kuvveti	24
Şekil 3.1. NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000'de -20° ile $+20^{\circ}$ arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri	25
Şekil 3.2. NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000'de -20° ile $+20^{\circ}$ arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri	26
Şekil 3.3. NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000'de ve 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri	27
Şekil 3.4. NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000'de 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri	27
Şekil 3.5. NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000'de -20° ile $+20^{\circ}$ arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri	28
Şekil 3.6. NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000'de -20° ile $+20^{\circ}$ arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri	29
Şekil 3.7. NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000'de 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri	29
Şekil 3.8. NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000'de 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri	30
Şekil 3.9. S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000'de -20° ile $+20^{\circ}$ arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri	31
Şekil 3.10. S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000'de -20° ile $+20^{\circ}$ arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri	31

Şekil 3.11. S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000’de 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri...	32
Şekil 3.12. S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 100000’de 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri	33
Şekil 3.13. NACA0024, NACA4412 ve S822 kanat profillerinin oyuklu tasarımlarında hava akışını hücum kenarından aldığı durum için C_L/C_D oranı.....	33
Şekil 3.14. NACA0024, NACA4412 ve S822 kanat profillerinin oyuklu tasarımlarında hava akışını firar kenarından aldığı durum için C_L/C_D oranı.....	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Farklı kanat sayısı, veter uzunluğu ve katılık oranları için seçilen parametreler (Li ve Li, 2010).....	15
Çizelge 1.2. NACA0012 ve NACA0018 profillerinin testleri için oluşturulan kombinasyonlar (Li ve Li, 2010)	16



SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

λ	Kanat uç hız oranı
ω	Açısal dönme hızı
R	Yarıçap
N	Kanat sayısı
σ	Katılık oranı
C	Veter uzunluğu
π	Çember çevresinin çember çapına oranı
ρ	Yoğunluk
T	Tork

Kısaltmalar

Açıklama

V_r	Kanat uç hızı
V_∞	Rüzgâr hızı
A	Alan
W_{mil}	Mil işi
$W_{rüzgâr}$	Rüzgâr işi
C_L	Kaldırma katsayısı
C_D	Sürüklenme katsayısı

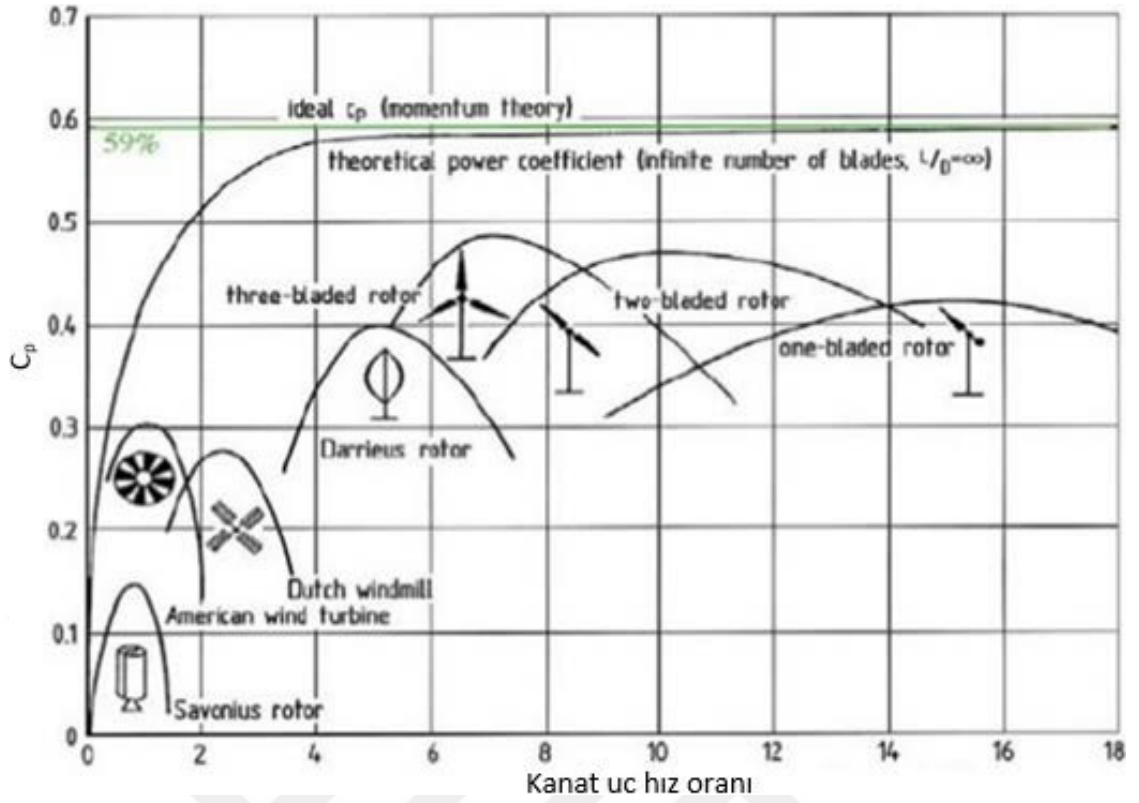
BÖLÜM I

GİRİŞ

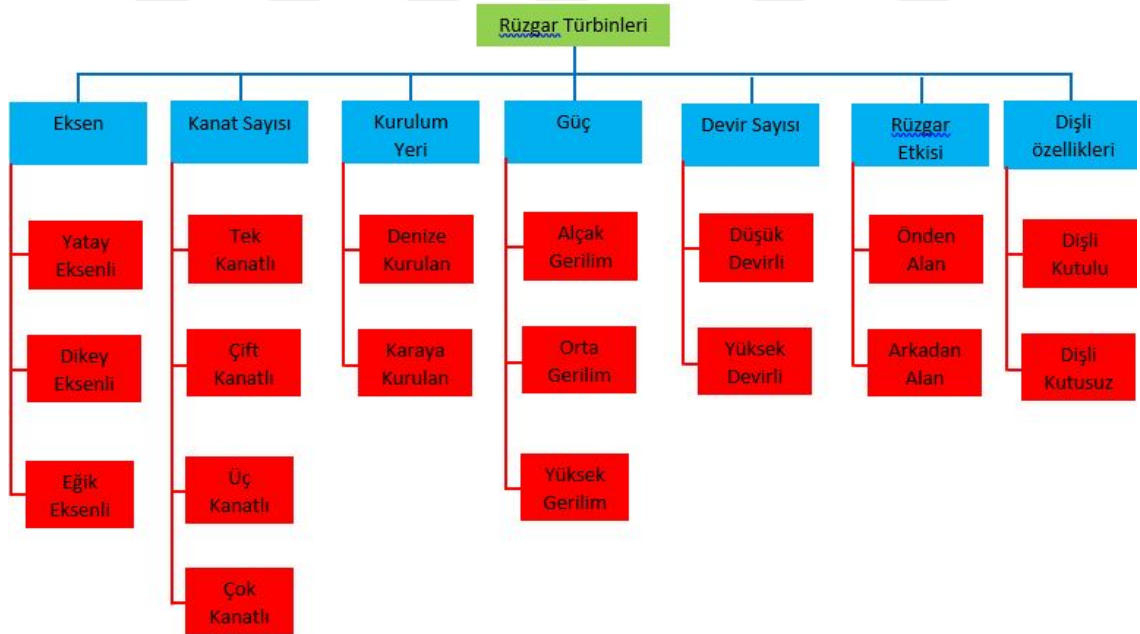
20. yüzyılın ortalarında petrol değişken olmayan bir yapıda değer biçilirken, 20. yüzyılın sonlarına doğru siyasi krizler nedeni ile birkaç kat artmasına ek olarak, siyasi bir baskı haline de gelmiştir. Çevresel etkiler, dünya nüfusunun giderek artması gibi nedenler de eklenince yeni, temiz, sürdürülebilir bir enerji kaynağı ihtiyacı ortaya çıktı. Geçmişte gemilerin yelkeni gibi mekanik amaçlar için de kullanılmış olduğu göz önüne alınınca yeniden rüzgâr enerjisini kullanmak enerji üretimi açısından daha iyi bir gelecek vaat ediyordu. Ancak bunun gerçekleştirilmesi için ciddi çalışmalar gerekiyordu. 20. yüzyılın ortalarında Poul la Cour, Albert Betz, Palmer Putnam ve Percy Thomas gibi bilim insanlarının çalışmaları bu ihtiyacın temellerini atmıştır. Ancak ilk zamanlarda rüzgâr enerjisini kullanmak fosil yakıtlardan daha yüksek bir maliyete sahipti. Ar-Ge ve testler için gerekli devlet desteğinin ABD, Almanya ve Danimarka gibi ülkelerin öncülüğünde başlaması ve günümüzde diğer devletlerinde bu konuda girişimlerini artırmasıyla birlikte rüzgâr enerjisinin kullanımı giderek artmıştır.

1.1 Rüzgâr Türbini Çeşitleri

Rüzgâr türbinleri Şekil 1.2’de görüldüğü gibi genel olarak eksen, devir, güç, kanat sayısı, rüzgâr etkisi, dişli özellikleri, kurulum yerlerine göre sınıflandırılırlar. Dönme eksenli rüzgâr akışına paralel olan rüzgâr türbinleri yatay eksenli rüzgâr türbinleri olarak adlandırılırken dönme eksenli rüzgâr akışına dik olan rüzgâr türbinlerine dikey eksenli rüzgâr türbinleri denir. Rüzgar türbini tipinin yanı sıra kanat sayısı rüzgar türbini performansını gösteren güç katsayısının üzerinde etkili en önemli parametrelerden birisidir. Yatay ve dikey her iki rüzgâr türbini tipinin farklı kanat sayısına sahip çalışmalara bakıldığında yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde 3 kanatlı yaygın rüzgâr türbinleri Şekil 1.1’de görüldüğü gibi en yüksek verimli olanlardır (Hau, 2006). Ayrıca Savonius tipi dikey eksenli rüzgâr türbinlerinde 2, Darrieus tipi rüzgâr türbinlerinde 3 kanatlı olanları yaygın kullanılır (Elibüyük ve Üçgül, 2014).



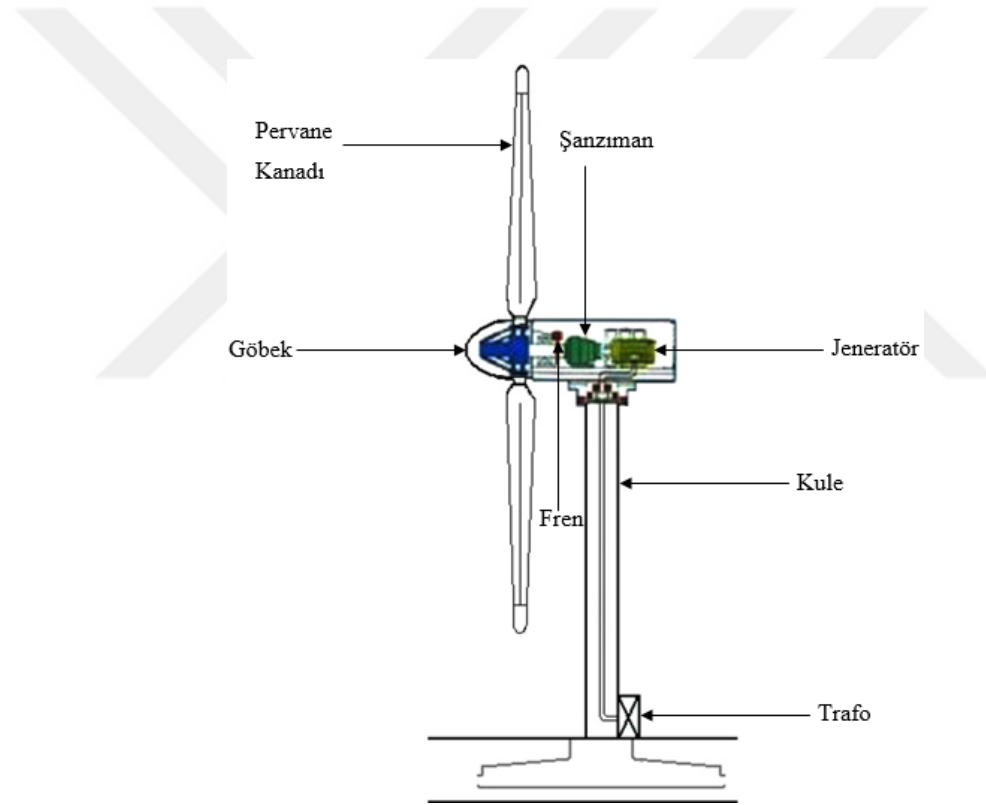
Şekil 1.1. Betz kanunu ve rüzgâr türbini tiplerinin performanslarının eğrisi (Hau, 2006)



Şekil 1.2. Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması (Elibüyük ve Üçgül, 2014)

1.1.2 Yatay eksenli rüzgâr türbinleri

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri en yüksek güç katsayısına ulaşabilen rüzgâr türbini tipidir. Rüzgârdan elde ettiği kaldırma kuvveti ile güç üretirler. Şekil 1.3’de görüldüğü gibi yapısal olarak yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde bir kulenin üzerine konumlandırılmış, türbinin dönme ekseninin de aynı hizadan geçtiği muhafaza olup bunun ucunda göbek ve göbeğe bağlı kanatlar bulunur. Dönme eksenini hava akışına paralel konumlandırılırken, dönme eksenine dik konumlandırılan kanatlar hava akışına da dik olur. Pervane kanatları döndükçe göbeğe bağlı olan mili de döndürür, milin karşısına hızı ayarlamak için şanzıman yerleştirilir ve şanzımandan sonra belirlenen hızda dönen mil bir jeneratörü tahrik eder.



Şekil 1.3. Yatay eksenli rüzgâr türbini (Ciang vd., 2008)

Böylece rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine çevirme döngüsü tamamlanmış olup elde edilen elektrik enerjisini bir trafo vasıtası ile endüstriyel kullanıma sunulur. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri çevresel 360° açıda esebilecek rüzgârı her an dik karşılayamazlar. Bunun için bir mekanizma veya Fotoğraf 1.1’de görüldüğü gibi muhafazanın üstüne konumlandırılmış bir kuyruk kullanılır.



Fotoğraf 1.1. Yatay eksenli rüzgâr türbininde kuyruk kullanımı (Afanasyeva vd., 2016)

1.1.3 Dikey eksenli rüzgâr türbinleri

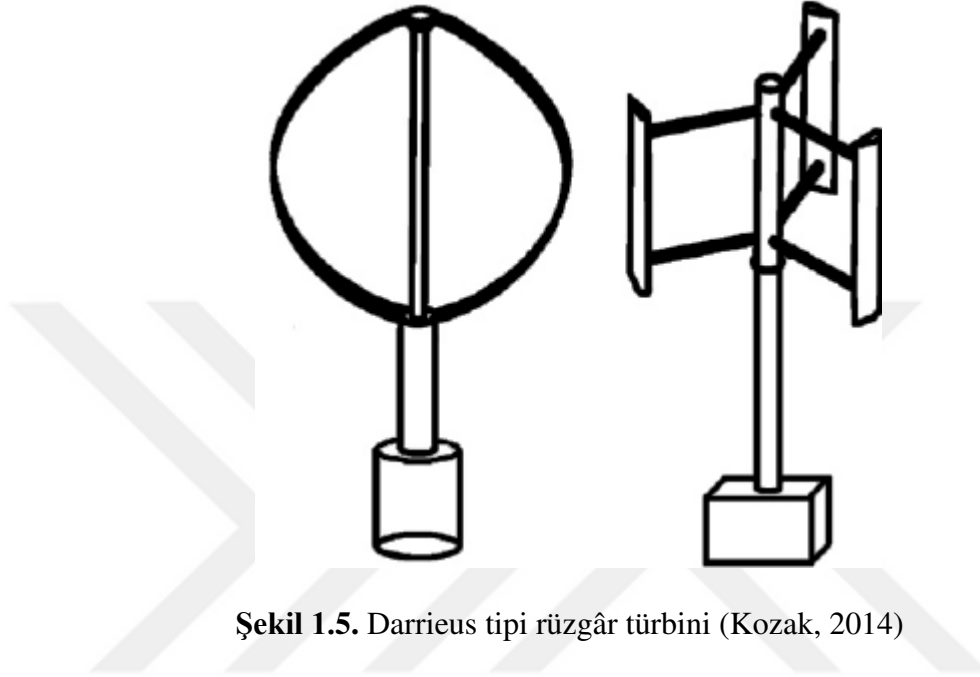
Dikey eksenli rüzgâr türbinleri dönme eksenini hava akışına dik şekilde konumlu olan rüzgâr türbini tipidir. Rüzgârdan aldıkları kaldırma ve sürüklenme kuvveti ile güç üreten tipleri vardır. Sürüklenme kuvveti ile güç üreten tipi Savonius tipi rüzgâr türbini olarak adlandırılırlar. Savonius tipi rüzgâr türbinleri Şekil 1.4’de görüldüğü gibi bir varil dikey eksenini boyunca ortadan ikiye kesilip iki adet yarı silindirik kepçe oluşunca, oluşan iki adet kepçenin açık kısımları yine birbirlerine doğru bakar konumda merkezden uzak ve zıt yönlerde konumlandırılmalarıyla meydana gelirler.



Şekil 1.4. Savonius tipi rüzgâr türbini (Alit vd., 2017)

Savonius tipi rüzgâr türbinleri ilk harekete başlamaları açısından daha avantajlı olsalar da üretebildikleri maksimum güç katsayısı açısından Darrieus tipi rüzgâr türbinlerinin gerisinde kalırlar. Şekil 1.5’de görüldüğü gibi Darrieus tipi rüzgâr türbinleri hava akışına

maruz kalan kanat profilinin daha kısa kenara sahip olan yüksek basınç bölgesinin, daha uzun kenara sahip emme yüzeyi olarak da adlandırılan alçak basınç bölgesine doğru basınç farkından dolayı kuvvet uygulaması sonucu kaldırma kuvveti oluşturmaya prensibine dayalı çalışır.



Şekil 1.5. Darrieus tipi rüzgâr türbini (Kozak, 2014)

İlk harekete başlangıç olarak Savonius tipi rüzgâr türbinlerinden daha yüksek hızda rüzgâra ihtiyaç duysalar da güç katsayısı olarak Savonius tipi rüzgâr türbinlerinden daha yüksek güç katsayılarına ulaşabilirler. Bazı uygulamalarda da Savonius ile Darrieus birlikte kullanılır. Bu tip uygulamalarda Savonius tipi rüzgâr türbinlerinin ilk başlangıçtaki avantajından yararlanılırken türbin çalışmaya başladıktan sonra Darrieus tipi rüzgâr türbinlerinin daha yüksek güç katsayısına ulaşabilmesinden yararlanır. Genel olarak dikey eksenli rüzgâr türbinleri yatay eksenli rüzgâr türbinlerine göre daha düşük güç katsayılarında kalsalar da kanatların rüzgârı dik almaları için ek bir mekanizmaya ihtiyaç duymamaları, kurulum ve bakım maliyetlerinin daha düşük olması gibi konularda daha avantajlıdır.

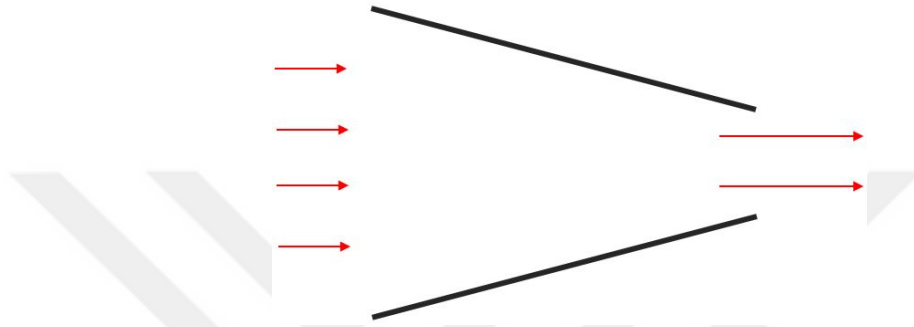
1.2 Literatür Taraması

Rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik gücünü artırmaya yönelik çalışmalar uzun süredir yürütülmektedir. Bu bağlamda özellikle yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde yoğunlaştırıcı (Shonhiwa ve Makaka, 2016), yayıcı ayrıca dikey eksenlerinde yönlendirici gibi sistem

iyileştirmeleri üzerine çalışılırken aynı zamanda kanat profilinin şekilsel iyileştirilmesi de çalışılmaktadır.

1.2.1 Yoğunlaştırıcı

Yoğunlaştırıcı Şekil 1.6’da görüldüğü gibi rüzgârın yönüne paralel yerleştirilirken rüzgârın çıktığı alan, girdiği alana göre daha küçüktür.



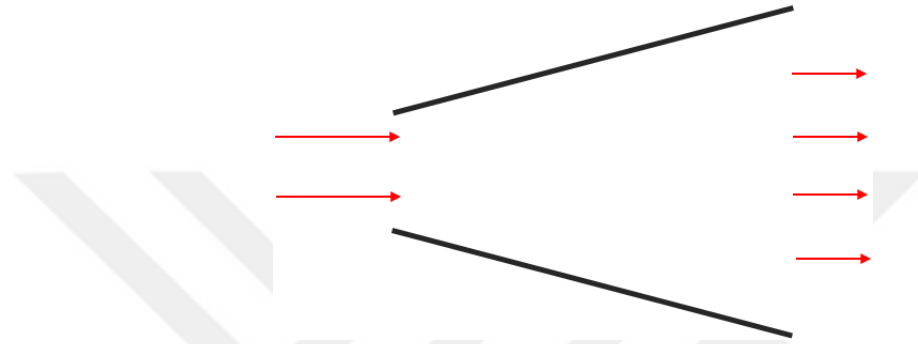
Şekil 1.6. Yoğunlaştırıcının şematik görünümü

Çeşitli oran ve mesafelerde yoğunlaştırıcıların kullanımı incelenirken rüzgâr türbinine 50 mm mesafeden daha yakın ve giriş ile çıkış oranının 6 olduğu çalışmanın en iyi performansı gösterdiği gözlemlenmiştir (Shonhiwa ve Makaka, 2016). Yoğunlaştırıcının çıkışında bir kenarın başlangıca göre uzaklığının diğer kenara göre daha fazla olduğu durumlar, eşit olduğu durumlar ve çıkışa bir kanalın yerleştirildiği durumlar incelenmiştir (Shikha vd., 2016). Bunların yanı sıra farklı geometriye sahip yoğunlaştırıcılar ile birlikte türbinin arkasına yerleştirilmiş düz ve yayıcı tipli kanalların kullanımının incelemeleri eski zamanlara dayanmaktadır (Sabzevari, 1977). Yoğunlaştırıcı hava çıkışının farklı boyutlarına göre Savonius rüzgâr türbinlerinde değişik kanat sayısı ve kanat çapı ölçülerinde incelemeler yapılmıştır (Alit vd., 2017). 2 kanatlı ve çapı 180 mm olan rüzgâr türbinini farklı çıkış boyutlarına sahip yoğunlaştırıcı ile kullanımını incelediği çalışmasında 73.3 mm çıkış mesafesine sahip yoğunlaştırıcının 0.8 kanat uç hız oranında 0.2’lik bir güç katsayısına sahip olduğunu gözlemleyerek en iyi sonucu verdiğini tespit etmişlerdir. Sonraki çalışmasında bu yoğunlaştırıcı ile çapı 180 mm’ de sabit tutarak farklı kanat sayılarının kullanımında türbinin performansını gözlemlemişlerdir. Bu incelemesinde 2 kanatlı türbinin 0.8 kanat uç hız oranında 0.2’lik güç katsayısı ile en iyi performansı verdiğini gözlemlemişlerdir. Son olarak 2 kanatlı türbinin 73.3 mm çıkış mesafesine sahip yoğunlaştırıcı ile kullanımı incelenirken farklı kanat çaplarının

performansları gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ise kanat çapı 120 mm iken kanat uç hız oranı 1 olduğunda 0.25 güç katsayısı ile en iyi performansı verdiğini gözlemlenmiştir.

1.2.2 Yayıcı

Yayıcı Şekil 1.7’de görüldüğü gibi rüzgârın yönüne paralel yerleştirilirken rüzgârın çıkış kesit alanı, giriş kesit alanına göre daha büyüktür (Şekil 1.6).



Şekil 1.7. Yayıcının şematik görünümü

Geleneksel rüzgâr türbinleri ticari olarak yüksek rüzgâr hızlarının kullanılmasına karşın şehir içinde kullanım gibi düşük rüzgâr hızlarında kullanımları verimli olmamaktadır. Bu nedenle düşük rüzgâr hızlarında da kullanımı artıracak bir yöntem aranmaktadır. Bu noktada yayıcılar rüzgâr hızını artırarak türbinin verimini artırmaya yönelik çalışmaktadır (Al-Quraishi vd., 2019). Yayıcı kullanımının rüzgâr türbini performansını birçok bıçak açısında artırdığı uzun yıllar önce fark edilmiştir (Lewis vd., 1977; Lilley ve Rainbird, 1956; Igra, 1981). Dört kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde güçte %50’ ye kadar artış sağlayan yayıcı kullanımı rüzgâr türbinlerinin düşük hızda da kullanımlarını olanak sağlamaktadır (Ghajar ve Badr, 2008). Üç kanatlı rüzgâr türbinlerinde yayıcı kullanımının performansı %60’ a kadar arttırdığı gözlemlenirken lüle ile yayıcı kullanımının %63’ e kadar arttırdığı ve kanat ideal kanat uç hız oranını da 2.2’ den 3.3’ e yükselttiği gözlemlenmiştir (Kosasih ve Tondelli, 2012). Çok kanatlı rüzgâr türbinlerinde de yayıcı kullanımının güç kat sayısında kayda değer bir artış sergilediği gözlemlenmiştir (Wang vd., 2013).

Yayıcının kullanımı için farklı tiplerin kendi aralarında kıyaslamaları da yapılmıştır. Kannan vd. (2013), sadece yayıcı, tamamen iç içe geçirilmiş iki yayıcı, bir yayıcının içine

konik şekilli dağıtıcı yerleştirilmesi durumu ve iç içe geçirilmiş yayıcıların içinde konik şekilli dağıtıcı tipindeki yayıcıların yatay eksenli rüzgâr türbinlerine uygulanmasını inceledikleri çalışmada yayıcıların hıza etkilerini incelemiş ve 12° açılı eğim ile sadece yayıcı kullanıldığı durumda 4 m/s giriş hızının %67.12 artış ile 6.68 m/s' ye yükseldiğini gözlemlemişlerdir.

Yayıcılar, silindir ve yoğunlaştırıcı türleri ile karşılaştırılmasının yapıldığı çalışmada, (Ohya vd., 2008) yoğunlaştırıcı, silindir ve yayıcı kullanımlarının hıza etkilerini inceledikleri çalışmada ilk olarak yayıcı kullanımının hızı daha arttırdığını bulmuşlardır. Bu incelemeden sonra yayıcı kullanımını sabit tutarak hava girişi kısmına bir kanal kullanımı, çıkışta akışa dik ve dışa doğru duran kenar kullanımı ve bunların ikisinin de kullanıldığı durumları incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda hem giriş kanalı hem çıkışta dik kenar kullanılan durumda hızda en yüksek artışın olduğu gözlemlenmiştir. Ardından çıkıştaki kenarlığın farklı boyutları için yapılan incelemede 50 mm boyutunda kenarlık kullanımı ile en yüksek hıza ulaşıldığı görülmüştür.

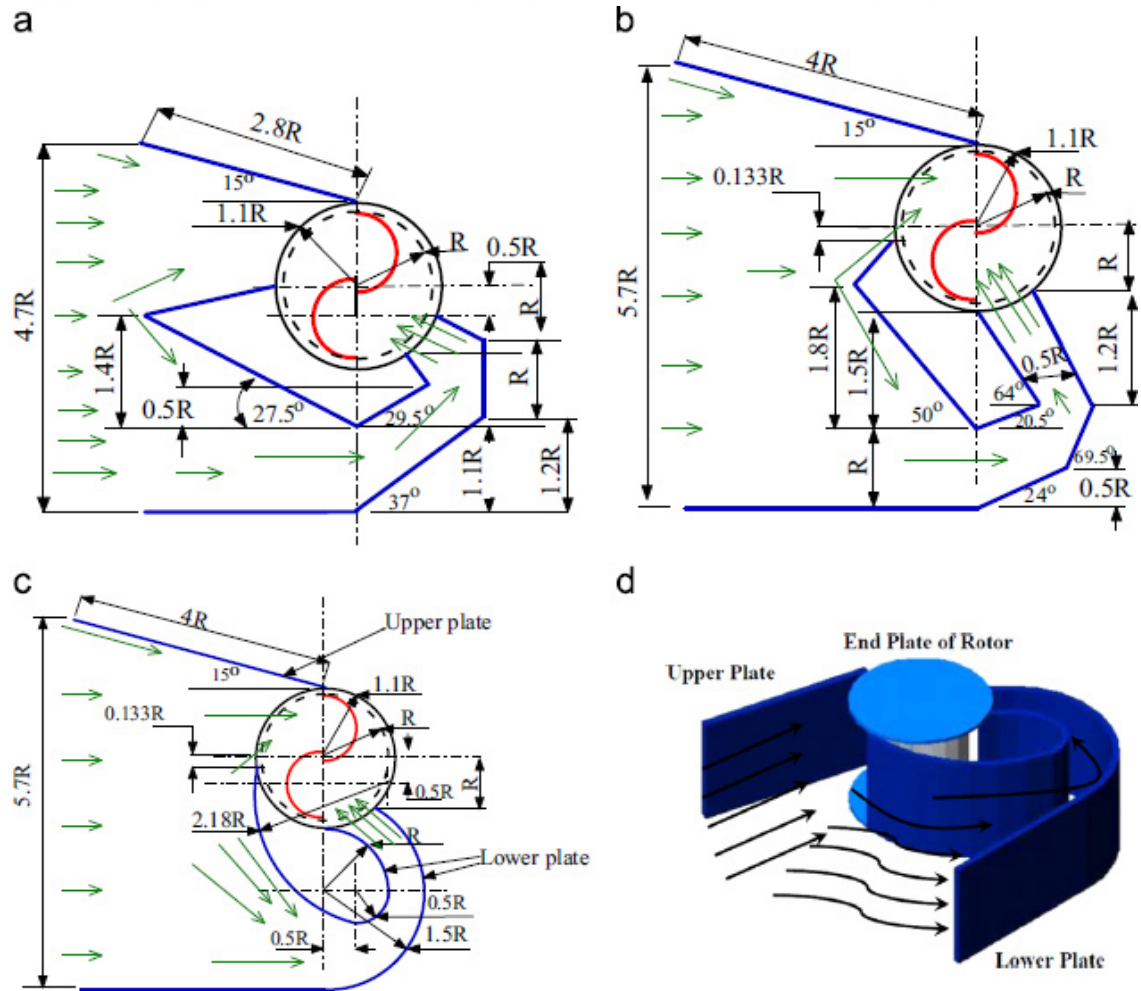
1.2.3 Yönlendirici

Dikey eksenli rüzgâr türbinleri yatay eksenli rüzgâr türbinlerine göre türbülanslı havada çalışma ve kentsel bölgelere uygulamaları açısından daha avantajlıdır. Bununla birlikte çalışma verimliliği konusunda dezavantajlıdır. Bunun nedenlerinden biride dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin kanatları bir bölgede pozitif hız ve tork oluştururken bir bölgede negatif hız ve tork oluşturuyor olmasıdır (Wong vd., 2017). Performanslarını artırmanın yollarından biri de negatif bölgeye gelen akışı pozitif bölgeye yönlendirmektir. Bunun için de yönlendiriciler kullanılır. Beş kanatlı Darrieus rüzgâr türbinlerinde yönlendirici kullanımının güç katsayısını 2.5 kata kadar artırdığı gözlemlenmiştir (Wong vd., 2018).

Savonius rüzgâr türbinlerinde kullanımına bakılınca üç kanatlı Savonius rüzgâr türbinlerinde performansa iki kanatlı Savonius rüzgâr türbinlerine oranla daha fazla etki ettiği görülmüştür (Mohamed vd., 2010). Buna ek olarak iki kanatlı Savonius rüzgâr türbinlerinde yönlendiricinin yer ile arasındaki açısının 90°' den büyük olduğu durumda açının 90°' den küçük olduğu duruma göre performansı daha da arttırdığı gözlemlenmiştir (Mohamed vd., 2011). Yani negatif bölgeye gelen akışı pozitif bölgeye yönlendirmektense rüzgâr türbininden dışarda kalan bölgeye yönlendirmenin

performansı daha çok arttırdığı görülmüştür. Savonius rüzgâr türbinlerinde türbine monte edilen ve menteşe sistemi sayesinde gelen rüzgâr akışına göre yön değiştirebilen yönlendirici bir perde sisteminin de 0.25 olan güç katsayısını 0.3' e kadar yükselttiği tespit edilmiştir (Tartuferi vd., 2015).

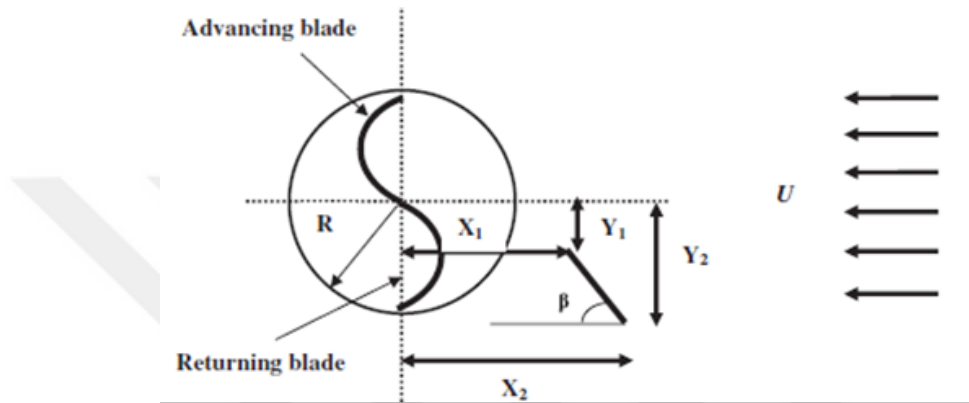
Savonius rüzgâr türbinlerinde Şekil 1.8'de görüldüğü gibi yönlendiricinin türbin dışına attığı havayı pozitif tork oluşturmak için değerlendiren bir çalışmada türbin bölgesinden atılan hava bir kanal aracılığı ile arkadan kepçenin dönüş yönüne uygun şekilde kepçeye üflenmiştir (El-Askary vd., 2015). Bu çalışma kapsamında kanal kısmı için farklı geometriler uygulanırken yukarı bölgedeki plakalar için de farklı boyutlar uygulanmıştır.



Şekil 1.8. Üç farklı rüzgâr yönü kontrol tasarımı (a) tasarım I (b) tasarım II (c) tasarım III d) tavsiye edilen tasarım III için deneysel kurulumun görünümü (El-Askary vd., 2015).

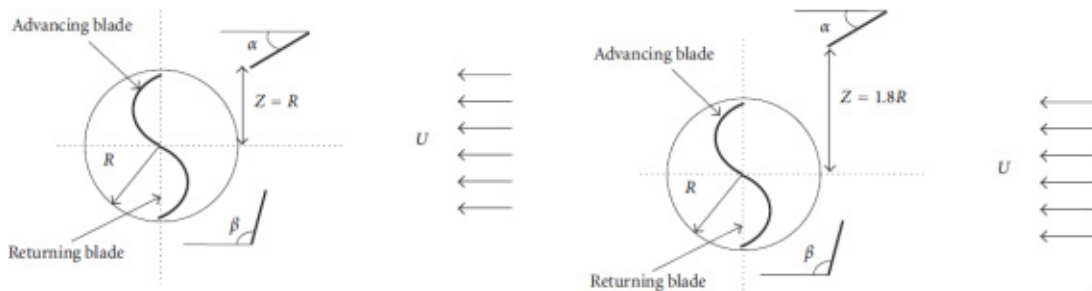
Tasarım III uygulaması ile güç katsayısının 0.2' den 0.5' in üzerine çıkarıldığı görülmüştür.

Savonius rüzgâr türbinlerinde sadece yönlendiricinin farklı parametreler için uygulamaları da karşılaştırılmıştır. Golecha vd. (2011), Şekil 1.9'da görüldüğü gibi yaptıkları çalışmada Savonius rüzgâr türbininde yönlendirici plaka kullanımı incelenirken bu yönlendirici plakanın türbine yatay mesafede uzaklığı, türbin merkezine dikey mesafede uzaklığı ve açısı gibi parametreleri incelemiştir.



Şekil 1.9. Yönlendirici plakanın farklı parametreler için performansının incelendiği deney düzeneğinin üstten görünümü (Golecha vd., 2011)

Yapılan bu çalışma sonucunda $X1 = 152$ mm, $X2 = 135$ mm, $Y1 = 55$ mm ve $\beta = 101^\circ$ durumunda iken kanat uç hız oranı 0.8 olduğu durumda 0.22'lik güç katsayısı ile en iyi performansa ulaşmışlardır. Bu çalışmanın ardından (Golecha vd., 2012) yaptıkları çalışmada, Şekil 1.10'da görüldüğü gibi Savonius rüzgâr türbininde iki tarafında da yönlendirici plaka kullanımı incelenirken, bir taraftaki yönlendiricinin türbin merkezinden uzaklığını 55 mm ve açısını 101° ile sabit tutulurken diğer taraftaki yönlendirici plakanın farklı konum ve açı değerleri için incelemeler yapmışlardır.



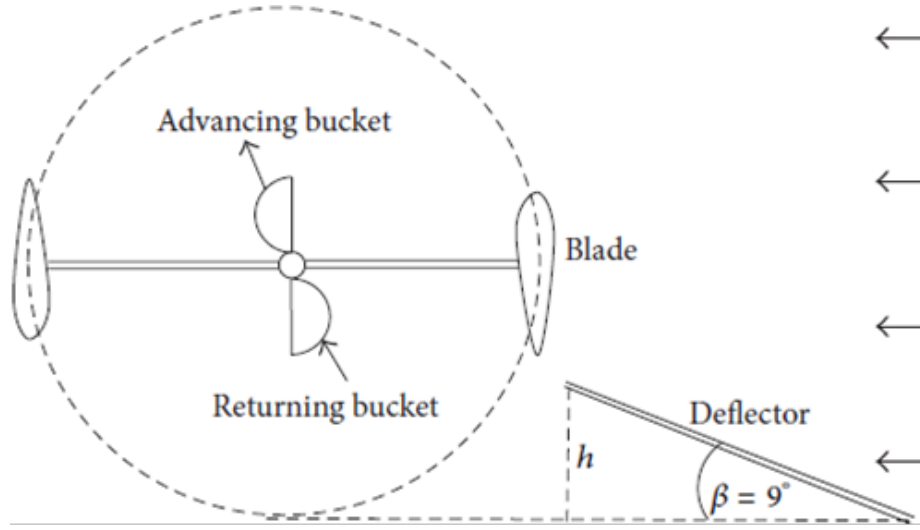
Şekil 1.10. İki yönlendirici plaka kullanımının incelendiği çalışma için deney düzeneğinin üstten görünümü (Golecha vd., 2012)

Bu incelemeler sonunda yönlendirici plakanın konumu 1.8R ve açısının 50° olduğu birleşimde kanat uç hız oranının 1.16 olduğu durumda 0.35' like güç katsayısı elde ederek en iyi sonuca ulaşmışlardır.

Kaprawi vd. (2015), yönlendirici kullanımı üzerine yaptıkları bir çalışmada Darrieus, Darrieus ile birlikte Darrieus türbininin için de ve dışında Savonius türbini birleşimini ve Savonius kullanılan durumlar için yönlendirici plaka kullanımını incelemişlerdir. 400 mm çapında ve 500 mm yüksekliğindeki Darrieus türbininin veter uzunluğu 63 mm ve katılık oranı 0.2'dir. Savonius için 40 mm çapında ve 120 mm yüksekliğinde kepçeler kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda Darrieus ile Savonius' un birlikte kullanıldığı durumlarda, yalnızca Darrieus kullanıldığı duruma göre daha düşük performans gözlenirken yönlendirici kullanıldığı durumlarda performansta artış gözlemlenmiştir. Bu incelemeler sonucunda 30° açılı yönlendirici plaka kullanılan koşulda kanat uç hız oranı 1.8 iken güç katsayısı 0.19 olduğu gözlemlenirken bu durum elde edilen en iyi sonuçtur.

Darrieus rüzgâr türbini ile yönlendirici plaka kullanılan başka bir çalışmada, rotor çapının 305 mm, veter uzunluğunun 45 mm, kanat yüksekliğinin 305 mm olduğu rüzgâr türbini ile 2.5×10⁴ Reynolds'ta yapılan deneyde yönlendirici plakanın 102 mm, 203 mm ve 305 mm genişliğinde üç farklı durum, 0.5 ve 1.2 m yüksekliğinde iki farklı ve yönlendirici plaka ile türbin arasında 197 mm ve 507 mm mesafenin olduğu iki farklı durum incelenmiştir (Kim ve Gharib, 2013). Yönlendirici plaka ile türbin arasındaki mesafenin sabit tutulduğu durumda 0.5 ve 1.2 m yükseklikteki yönlendirici ve farklı genişlikteki yönlendirici plaka kullanımlarının incelendiği durumda 1.2 m yüksekliğindeki yönlendirici plaka kullanılan durumda 102 mm genişlikli yönlendirici kullanılan durumda kanat uç hız oranı 1.2 iken güç katsayısının 0.1 ile en yüksek değeri gözlemlenmiştir. Ardından ideal genişlikli yönlendiricinin sabit tutulduğu koşulda 0.5 ve 1.2 m yükseklikteki yönlendiriciler ile birlikte yönlendiricinin türbin ile farklı mesafeleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda da 1.2 m yükseklikteki yönlendirici plaka ile yönlendirici plakanın türbine 197 mm mesafede konumlandırıldığı durumda yine kanat uç hız oranı 1.2 iken güç katsayısının 0.1 olduğu gözlemlenerek en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Sahim vd. (2014), Şekil 1.11'de görüldüğü gibi Savonius ile birlikte kullanılan iki kanatlı bir Darrieus türbini ile yönlendirici plaka etkisini çalışmışlardır.

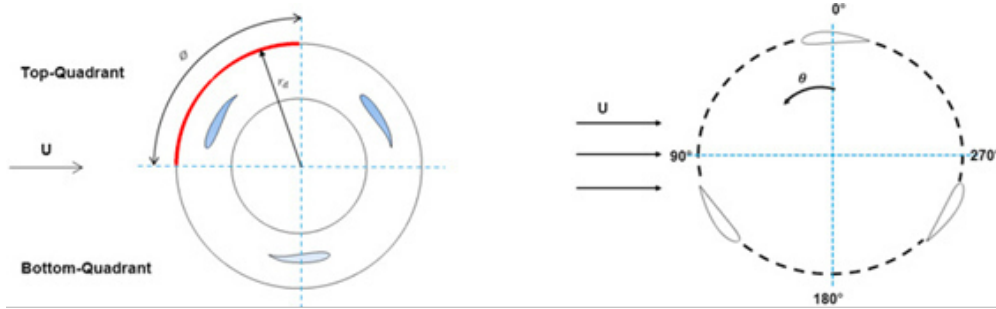


Şekil 1.11. Savonius ile birlikte kullanılan Darrieus türbininde yönlendiricinin etkisinin çalışıldığı deney düzeneğinin üstten görünümü (Sahim vd., 2014)

Bu çalışmada yönlendirici plakanın açısı 9° olarak belirlenirken yönlendirici plakanın uç kısmının türbine dikey yönde mesafesi türbin yarıçapının yarısı kadar alınırken, kanat ile yönlendirici plakanın arasında yatay yöndeki mesafe 40 mm olarak alınmıştır ayrıca Savonius türbininin boy en oranı 2.5 ve 1.58 olmak üzere iki farklı değerde alınmıştır. İlk olarak yönlendiricinin kullanılmadığı durumda sadece Darrieus ile Darrieus ve farklı en boy oranlarına sahip Savonius'un birlikte kullanıldığı durumun güç katsayısına etkileri üzerinde incelemeler yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda Darrieus ile Savonius'un birlikte kullanıldığı koşullarda sadece Darrieus kullanıldığı duruma göre daha erken başladığı görülse de güç katsayısında bir düşüş olmuştur. Ardından yönlendirici plakanın kullanıldığı durumda sadece Darrieus ile Darrieus ve farklı en boy oranlarına sahip Savonius'un birlikte kullanıldığı durumun güç katsayısına etkileri üzerinde incelemeler yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda yine Darrieus ile Savonius'un birlikte kullanıldığı koşullarda sadece Darrieus kullanıldığı duruma göre daha erken başladığı görülmesine karşın güç kat sayısında düşüş göze çarpmaktadır. Buna ek olarak yönlendiricinin kullanılmadığı duruma göre güç katsayısında bir artış olduğu dikkat çekmektedir.

Savonius rüzgâr türbinleri için yönlendirici kullanımında, yönlendiricinin türbinin çevresine dairesel olacak şekilde yerleştirip açısal değişiminin incelendiği çalışmalarda söz konusudur. Stout vd. (2017), Şekil 1.12'de görüldüğü gibi üç kanatlı Darrieus rüzgâr

türbini kullanımında üstten bakınca akışın önüne türbinin üst ve alt çeyrek bölümünü kapatacak şekilde yönlendirici kullanmışlardır.



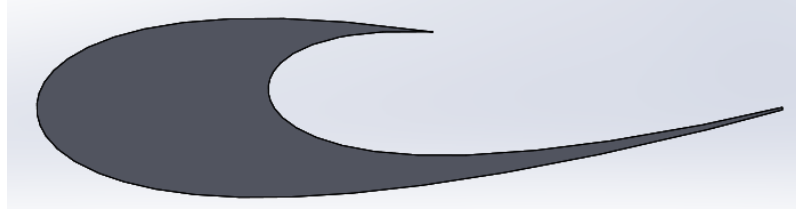
Şekil 1.12. Darrieus rüzgâr türbininin üst ve alt çeyrek kısımlarını örten yönlendiricinin çalışıldığı deney düzeneğinin üstten görünümü (Stout vd., 2017)

Bu çalışmada hem sayısal hem de deneysel incelemeler yapılmıştır. Yapılan sayısal çalışmaların sonucunda alt çeyrekte kullanılıncı en iyi sonucu 36° açığa sahip bir yönlendirici vermiştir. Ardından üst çeyrekte kullanılan yönlendirici için yapılan çalışmaların sonucunda en iyi güç katsayısına 90° açığa sahip yönlendirici vermiştir. Tüm bu çalışmaların ardından alt çeyrekte yönlendirici kullanımıyla ilgili deneysel çalışmalar yapılırken ise 90° ve 45° açığa sahip yönlendirici kullanımları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda ise alt çeyrekte yönlendirici kullanımında 45° açığa sahip yönlendirici kullanımının performansı artırdığı görülmüştür.

Yönlendiricinin dairesel yerine düz yerleştirilip konumunun merkeze göre açısal olarak belirlendiği çalışmalarda mevcut olup bunlardan birinde Ogawa vd. (1989), Savonius ile yönlendirici plaka kullanımını inceledikleri deneylerinde rotora bağlı bir mekanizma ile yönlendirici plakanın merkeze göre açısı, merkezden uzaklığı ve genişliği üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda genişliği $0.5R$ ile sabit tutarak merkezden uzaklığını inceledikleri çalışmanın sonucunda en iyi performansı $0.7R$ uzaklığa konumlandırılan yönlendiriciden almışlardır. Ardından $0.7R$ uzaklığında farklı genişliklere sahip yönlendirici performanslarını incelemiş ve bu incelemede de $0.5R$ genişlikteki yönlendiricinin en iyi performansı sergilediğini gözlemlemişlerdir. Son olarak da $0.7R$ mesafesinde $0.5R$ genişliğinde yönlendiricinin farklı açılardaki konumlarının performansını inceleyerek 30° açığa sahip yönlendiricinin en iyi performansı gösterdiğini tespit etmişlerdir.

1.2.4 Oyuklu kanat profili

Darrieus rüzgâr türbinlerinde kanat profiline arkadan gelen havadan daha çok enerji kazanabilmek için Şekil 1.13’de görüldüğü gibi kanat profilinin bir kenarına basınç artırıcı girinti yapılır.



Şekil 1.13. Bir kenarında basınç artırıcı girinti bulunan kanat profili

Oluşturulan oyuk profili için kanat profilinin orta noktasından başlayarak bir kenar boyunca firar kenarına doğru uzatılması durumunda farklı uzunluklar için uzunluk artıkça kaldırma kuvvetinin sürüklemeye kuvvetine oranında artış görülmüştür (Finaish ve Witherspoon, 1998). Şekil 1.14’ de görüldüğü gibi sadece firar kenarına oyuk açılması durumunda belli büyüklüğe kadar kaldırma kuvvetini giderek arttırdığı görülürken kritik değerden sonra düşürdüğü gözlemlenmiş olup yine bu kritik değere kadar oluşturulan oyukun % 50 ye kadar artış sağladığı görülmüştür (Kumar vd., 2017).

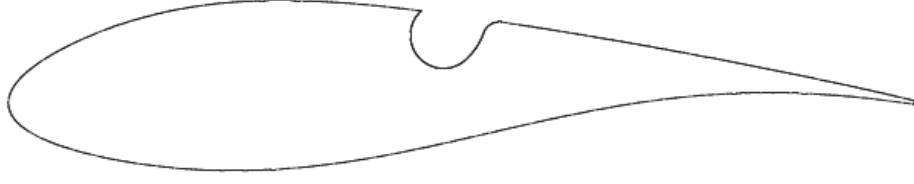


Şekil 1.14. Firar kenarında oyuk oluşturulmuş kanat profili (Kumar vd., 2017)

Kanat profilinin bir kenarı düz kesikler ile basamak şeklinde bir girinti oluşturulduğu durum için alçak basınç kenarında oluşturulan kesikler kaldırma kuvvetinde düşüğe neden olurken yüksek basınç kenarında oluşturulan kesikler kaldırma kuvvetinde artışa neden olmaktadır (Boroomand ve Hosseinverdi, 2009).

Fatehi vd. (2019), şekil 1.15’ de görüldüğü gibi kanat profili üzerinde oyuk kullanımını incelemiştir. Bu araştırmalar sırasında kaldırma kuvveti ve sürüklemeye kuvvetlerinde

artış görülürken 14° atak açısından itibaren sürüklenme kuvvetinde bir düşme olduğu görülmüştür.



Şekil 1.15. Oyuklu kanat profili (Fatehi vd., 2019)

1.2.5 Katılık oranı

Rüzgâr türbini performansı üzerinde etkili olan parametrelerden biriside katılık oranıdır. Katılık oranı; kanat sayısı, kort uzunluğu ve dönme yarıçapına bağlı olarak değişmekte olup açısal hız, kanat uç hız oranı ve tork seviyesinin belirlenmesinde etkili olmaktadır.

Kanat sayısı, veter uzunluğu ve katılık oranları ile ilgili yapılan bir çalışmada Çizelge 1.1’de görüldüğü gibi veter uzunluğunun 50 mm ve 100 mm olduğu iki farklı durum, kanat sayıları için 2 kanatlı ve 4 kanatlı olan iki farklı durum ve katılık oranları açısından %25.48 ve %12.74 katılık oranlarının olduğu iki farklı durum incelenmiştir (Li ve Li, 2010) (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Farklı kanat sayısı, veter uzunluğu ve katılık oranları için seçilen parametreler (Li ve Li, 2010)

number	σ	C	N
1	25.48%	0.05(m)	2
2	12.74%	0.1(m)	4

Çizelge 1.2’de görüldüğü gibi katılık oranının %25.48 olduğu durum için veter uzunluğu 100 mm olan 4 kanatlı Darrieus rüzgâr türbini oluşturulmuştur. Katılık oranı %12.74 olduğu durum için ise 2 veter uzunluğu 100 mm olan 2 kanatlı Darrieus rüzgâr türbini ve veter uzunluğu 50 mm olan 4 kanatlı Darrieus rüzgâr türbini olarak iki farklı Darrieus rüzgâr türbini incelenmiştir (Çizelge 1.2). Yapılan incelemeler sonucunda 50 mm veter

uzunluğuna ve %12.74 katılık oranına sahip 4 kanatlı Darrieus rüzgâr türbininin, kanat uç hız oranı 3 iken güç katsayısı 0.11 olarak en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 1.2. NACA0012 ve NACA0018 profillerinin testleri için oluşturulan kombinasyonlar (Li ve Li, 2010)

Aerofoil	σ_1	σ_2	
	C_2N_2	C_2N_1	C_1N_2
NACA0012	②	①	③
NACA0018	⑤	④	⑥

Sabaeifard vd. (2012), Darrieus rüzgâr türbinlerinde katılık oranı ve kanat sayısının etkisini incelemişlerdir. 10 m/s hız ve 35000 Reynolds ile yapılan deneylerde 2, 3 ve 4 kanatlı Darrieus rüzgâr türbini için 0.1, 0.3, 0.5 ve 0.75 katılık oranlarının incelemesi yapılmıştır. İlk olarak katılık oranlarının karşılaştırıldığı incelemede 0.3 katılık oranına sahip darries rüzgâr türbininin en iyi performansı verdiği görülmüştür. Ardından kanat sayılarının etkisi için yapılan çalışmada 3 kanatlı Darrieus rüzgâr türbininin daha yüksek güç katsayısına ulaştığı görülmüştür.

1.3 Çalışmanın Amacı

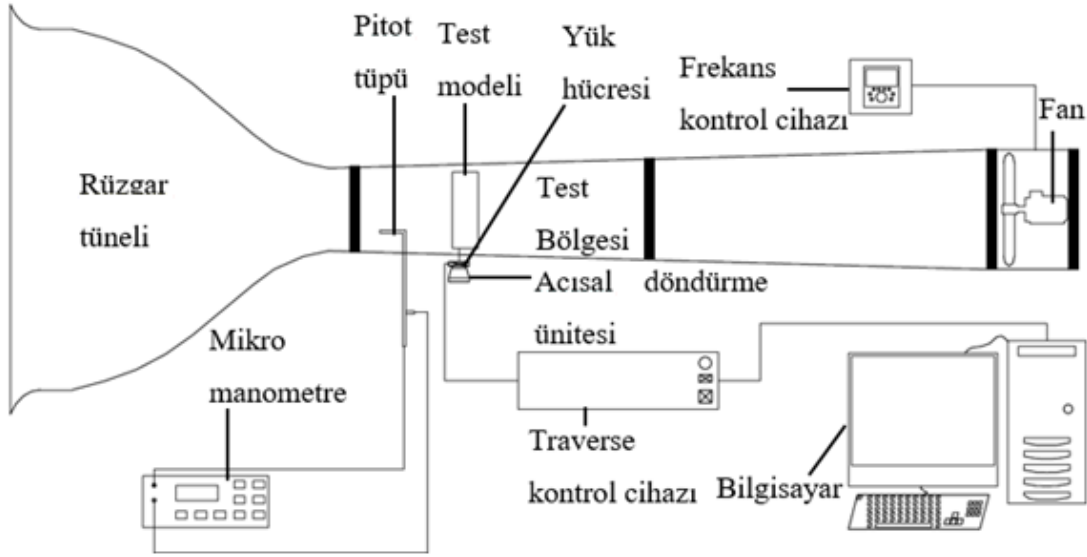
Yatay eksenli rüzgâr türbinleri daha yüksek verimli çalışmalarına karşın daha yüksek kurulum maliyeti ve daha masraflı bakımları nedeni ile daha yüksek maliyetli kullanım gibi dezavantajları vardır. Tüm bu dezavantajların karşısında dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin kurulumu daha düşük maliyetler ile sağlanıp kullanımı da daha az masraflıdır. Ayrıca yatay eksenli rüzgâr türbinleri rüzgârı her açıdan alamayıp, rüzgârın geliş yönüne doğru yönelmek için ek bir mekanizma gerektirirken dikey eksenli rüzgâr türbinlerinde bu ek mekanizmaya gerek kalmayıp bu mekanizma için gereken ek masraf ve işçiliğe gerek kalmaz. Ancak günümüzde dikey eksenli rüzgâr türbinleri yeterince yüksek performanslara ulaşamamıştır. Bu çalışma ile kanat profilinde, Darrieus rüzgâr türbininin çalışmasına uygun şekilde geometrik iyileştirmeler yaparak Darrieus rüzgâr türbinlerinin performansını artırılması hedeflenmiştir. Bunun için kanat profilinin bir kenarında oyuk oluşturularak rüzgâr enerjisinden daha çok faydalanılması amaçlanmıştır.

BÖLÜM II

DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 DeneySEL Kurulum

Darrieus rüzgâr türbinlerinde kullanılmasına yönelik olarak seçilen kanat profillerinin aerodinamik performanslarını elde etmek için Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Aerodinamik Akış Kontrol Laboratuvarında mevcut bulunan rüzgâr tüneli ve ölçüm sistemleri kullanılmıştır. Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi test bölgesine yerleştirilen kanat profili serbest akım hızına maruz bırakılarak kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerinin oluşması sağlanmıştır. Kanat profilinin oluşturduğu kuvvetler yük hücresi aracılığı ile ölçülüp kaldırma ve sürüklenme katsayıları hesaplanmıştır.



Şekil 2.1. Deney düzeneğinin şematik görünümü

2.2 Cihazlar ve Ekipmanlar

2.2.1 Rüzgâr tüneli

Fotoğraf 2.1’ de görüldüğü üzere ses altı, emmeli tip, açık çevrimli olan rüzgâr tüneli, giriş kısmından emdiği havayı üç adet elekten geçirerek akışın düzenli hale gelmesini sağladıktan sonra daralma konisinden de geçirerek hava akışının daha da hızlanması sağlanır ve test bölgesindeki akışın hızı 25 m/s’ ye kadar çıkabilmektedir. 570 × 570 mm

giriş kesitine sahip test bölgesinden geçirilen hava sınır tabaka gelişiminden dolayı oluşan basınç düşüşünü telafi etmek için 0.3° lik bir açının sonucunda 580×580 mm çıkış kesitinden fan vasıtası ile dışarı atılmaktadır.



Fotoğraf 2.1. Rüzgâr tünelinin genel görünümü

2.2.2 Frekans değıştircisi

DC motorların devir sayısı kontrolü bağılı oldukları güç kaynağının geriliminin değışimiyle doğrudan kontrol edilirken AC motorların devir sayılarının kontrolü daha karmaşıktır. Bu dezavantaja karşın AC motorlar, DC motorlara oranla daha ucuz olması nedeniyle özellikle büyük motorların kullanımı konusunda sanayide maliyetin azaltılması gerektiğı yerlerde tercih edilirler. 2 kutuplu motorlar 3000 rpm, 4 kutuplu motorlar 1500 rpm, 8 kutuplu motorlar 750 rpm devir sayısına 50 Hz’ de ulaşırlar bizde bu frekansı değıştirerek motorun devir sayısını değıştirmeye çalışırız. Potansiyometre kullanımı ile AC motorlarda devir sayısının ayarlanması sağlanabilir ancak direncin ısınması sonucunda AC motorumuz ayarladığımız devir sayısının üstüne çıkabilir. AC motorların devir sayısının kontrolünde kullanılan yöntemlerden biri frekans değıştircilerin kullanımıdır. Frekans değıştirciler şebekeden gelen alternatif akımı doğru akıma çevirerek frekans ile devir sayısının kontrol edilebilir hale gelmesini sağlar. Ardından ayarladığımız frekanstaki akımı yeniden alternatif akıma getirerek AC motorun kullanabileceğı forma getirdikten sonra AC motora alternatif akımımızı gönderir.

Deneylerimiz sırasında Fotoğraf 2.2’ de görülen Schneider marka ATV71HU40N4 model frekans değiştirici kullanılmıştır.



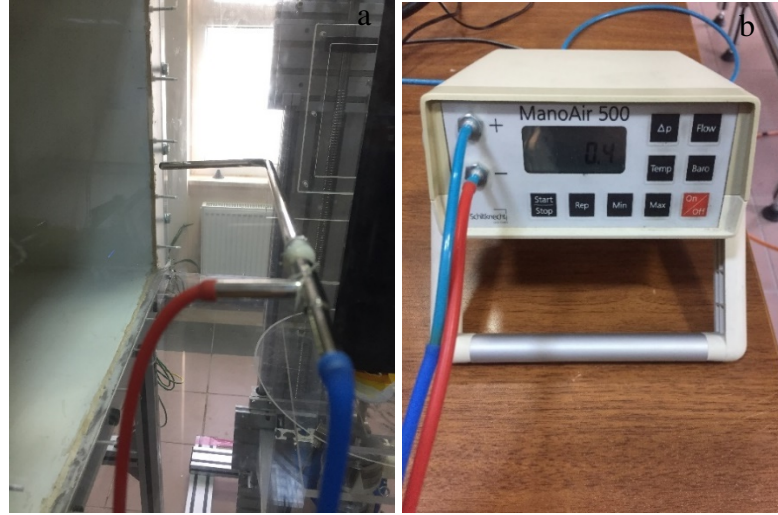
Fotoğraf 2.2. Frekans değiştiricinin görünümü

2.2.3 Pitot tüpü ve mikro manometre

Akışa paralel olarak konumlandırılan pitot-statik tüpün akışı karşıdan gören ucundan toplam basıncı, akışa dik konumda bulunan ucundan ise statik basıncı ölçülür. Ardından toplam basıncı ile statik basıncı arasındaki farka bakılarak dinamik basıncı elde edilir. Dinamik basıncı kullanılarak hız değeri elde edilir.

$$P_{\text{din}} = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (2.1)$$

Ardından llen değerimiz mikro manometre aracılığı ile okunur. Bu deneyler sırasında Fotoğraf 2.3’ de görüldüğü gibi Schiltknecht marka Manoair 500 model mikro manometredir.



Fotoğraf 2.3. Pitot tüpünün rüzgâr tüneli içerisindeki bir görünümü (a) ve mikro manometrenin görünümü (b)

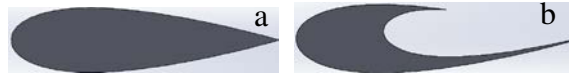
2.3 Test modellerinin hazırlanması

Tasarımı yapılan türbin kanadı modelleri Fotoğraf 2.4’de görülen 3 boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Zortrax marka M200 model yazıcı, 1.75 mm çapında filament kullanırken, l le çapı 0.4 mm’dir ve maksimum 320 W gücünde çalışabilmektedir. L le’yi maksimum 290 C dereceye kadar ısıtılabilirken tablayı maksimum 105 C’ye kadar ısıtılmaktadır. Tabla boyutları 200 mm × 200 mm iken maksimum 180 mm yüksekliğinde parçalar üretebilmekte olup katman kalınlığı minimum 90 mikron maksimum 390 mikron üretebilmektedir. Üretim yapılırken 140 mikron katman kalınlığı kullanılmıştır.



Fotoğraf 2.4. 3 boyutlu yazıcının görünümü

Test modellerinin incelenmesinde öncelikle simetrik bir kanat profilindeki performans incelemesi gözlemlenmek istenerek NACA 0024 seçilmiştir. Kıyaslama yapmak için Şekil 2.2 (a)'da görüldüğü üzere öncelikle temel kanat profili üretildikten sonra temel kanat profilinden kendisinin yüzde 69'u 2° döndürülerek çıkarılmış ve Şekil 2.2 (b)'de görülen kanat profili elde edilmiştir. Oyuk oluşturma işlemi yapılırken küçültülmüş olan model firar kenarı temel kanat profiliyle çakışık konumdayken y ekseninde 0.5 mm ötelenmiştir.



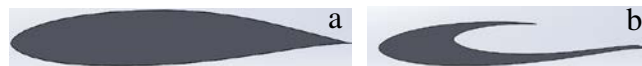
Şekil 2.2. NACA 0024 kanat profilinin temel (a) ve emme yüzeyinde oyuk oluşturulmuş kanat profili (b)

Ardından daha ince bir yapıya sahip kamburlu kanat profili incelemesi için NACA 4412 seçilmiştir. Bu kanat profilinin de Şekil 2.3 (a)'de görüldüğü gibi temel profili ile kıyaslaması için temel profilden kendisinin yüzde 69'u 2.5° döndürülerek Şekil 2.2 (b)'de görülen kanat profili elde edilmiştir. Küçültülmüş olan profil firar kenarları çakışık olduğu duruma göre x ekseninde hücum kenarına yönünde 5 mm ve y ekseninde 0.5 mm ötelenmiştir.



Şekil 2.3. NACA 4412 kanat profilinin temel (a) ve emme yüzeyinde oyuk oluşturulmuş kanat profili (b)

Ayrıca literatürde incelenmiş olunan S822 kanat profili ile yapılmış yatay eksenli rüzgâr türbini ile kıyaslamak için Şekil 2.4 (a)'da görüldüğü üzere S822 kanat profilinin temel halinden kendisinin yüzde 69'u 1° döndürerek çıkarılmak üzere Şekil 2.4 (b)'de görülen kanat profili elde edilmiştir (Das ve Talapatra, 2016). Bu işlem sırasında küçültülmüş kanat profili temel kanat profili ile firar kenarından x ekseninde 5.18 mm y ekseninde 1.24 mm ötelenerek emme kenarında oyuk oluşturulmuştur.



Şekil 2.4. S822 kanat profilinin (a) temel ve (b) emme yüzeyinde oyuk oluşturulmuş kanat profili

2.4 Performans Parametreleri

Kanadın uç hızının, kanat profiline çarpan havanın hızına oranına kanat uç hız oranı denir. λ ile gösterilir. Kanat sayısı arttıkça kanat uç hız oranı düşer.

$$\lambda = \frac{V_r}{V_\infty} = \frac{\omega * R}{V_\infty} \quad (2.2)$$

Burada V_∞ rüzgâr hızını, V_r kanat uç hızını, R rotor yarıçapını ve ω açısal dönme hızını ifade etmektedir.

Rüzgâr türbininin toplam çevresinin ne kadarının kanatlar tarafından kaplandığını gösteren ifadeye katılık oranı denir. Belli bir seviyeye kadar kanat sayısı arttıkça daha çok kanada kuvvet uygulanacağından tork artar. Böylece güç artar, ancak belli bir değerden sonra katılık oranını aşırı arttıracığı ve bu da rüzgârın geçişine engel olacağı için güçte düşüşe neden olur.

$$\sigma = \frac{\zeta_{kanatlar}}{\zeta_{türbin}} = \frac{N * C}{2 * \pi * R} \quad (2.3)$$

Burada N kanat sayısı ve C ise kanadın veter uzunluğunu temsil etmektedir.

Türbin verimini ifade eden güç katsayısını (C_p) elde etmek için milden elde edilen gücün rüzgârdan elde edilen güce oranına bakılır.

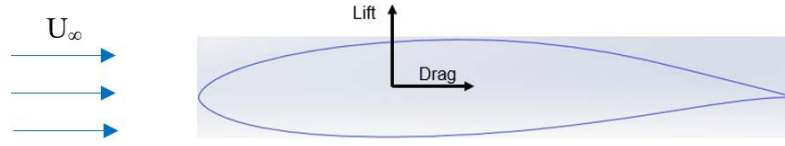
$$C_p = \frac{W_{mil}}{W_{rüzgar}} = \frac{\omega * T}{\frac{1}{2} * \rho * V_\infty^3 * A} \quad (2.4)$$

Burada, T rüzgâr türbininden elde edilen torku, A rüzgâr türbininin taradığı alanı ve ρ ise rüzgâr türbininde etkiyen akışkanın yoğunluğunu verir.

2.4.1 Aerodinamik kuvvet katsayıları ve ölçümü

Kanat profili bir akışa maruz bırakıldığı zaman kanat profilinde Şekil 2.5'te görüldüğü gibi bazı kuvvetler oluşur. Kanat profili üzerinde oluşan akışın doğrultusundaki kuvvete

sürüklenme kuvveti denirken, kanat profili üzerinde oluşan akışa dik yöndeki kuvvete lift kaldırma kuvveti denir.



Şekil 2.5. Akışa maruz kalan kanat profilinde oluşan kuvvetlerin şematik görünümü

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2 A} \quad (2.5)$$

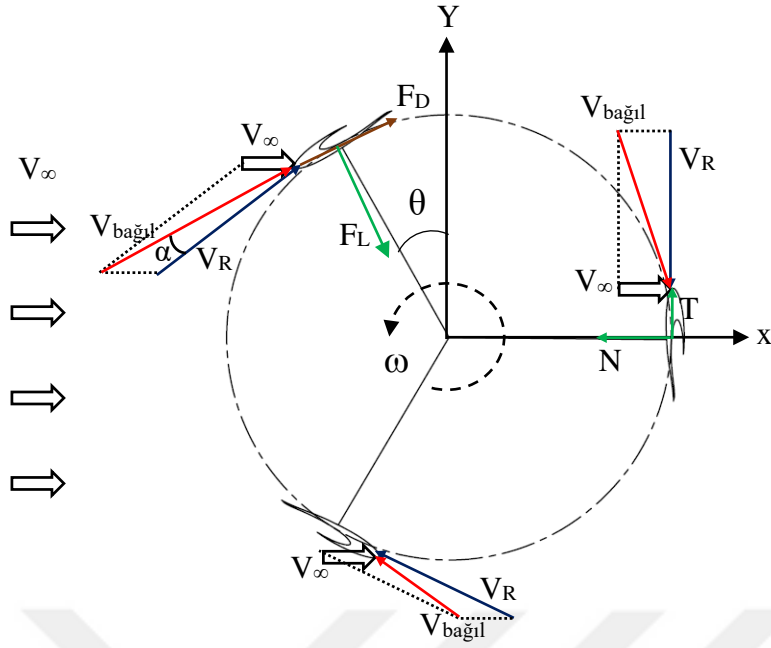
$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2 A} \quad (2.6)$$

C_D sürüklenme katsayısı, F_D sürüklenme kuvveti, C_L kaldırma katsayısı, F_L kaldırma kuvveti olmak üzere A kanat profilinin emme yüzeyinin projeksiyon alanını temsil eder.

Rüzgâr tünelinin içinde hava akışına maruz bırakılan kanat profili etrafında oluşan akış yapısı nedeniyle kanat profiline etki eden aerodinamik kuvvetlerin büyüklüklerinin ölçümü için yük hücresi kullanılmıştır. Deneyler sırasında x, y ve z eksenlerinde oluşan kuvvetler ve bu eksenler etrafında oluşan momentler olmak üzere altı eksenli ATI Gamma model yük hücresi kullanılmaktadır. Yük hücresinin bilgisayar programı istenilen süre boyunca istenilen frekansta girilen hücum açısına bağlı olarak eksen dönüşümünü de yaparak hassas ölçüm sağlamaktadır. 1000 Hz frekansta her 10 ölçümün ortalaması alınarak saniyede 100 ölçüm alınmış olup, her ölçüm 30 saniye alınarak deney başına 3000 veri toplanmıştır. Ayrıca bilgisayar kontrollü açısal döndürme ünitesi kullanılarak kanat profilinin farklı hücum açılarındaki kuvvet katsayıları ölçülmüştür.

2.4.2 Hücum açısına göre bileşke hız

Şekil 6’da görüldüğü gibi rüzgârın sahip olduğu hız ile kanat profilinin rotora göre hızının vektörel toplamı bileşke hızı verir. Kanat profiline etki eden sürüklenme kuvveti bileşke hız ile aynı doğrultuda iken kaldırma kuvveti bileşke hıza dik yönde olup daima kanata saat yönünün tersine doğru bir hareket yaptıracak şekildedir (Beri ve Yao, 2011).



Şekil 2.6. Kanat profillerinin hücum açısına göre sahip oldukları bileşke hızları ve kaldırma kuvveti

Burada kanada etki eden teğet hız serbest akış hızının bu eksene iz düşümü ile zaten bu ekseninde mevcut olan kanat uç hızının toplamına eşit iken bu eksene dik konumda olan normal hız ise yine serbest akış hızının bu eksene iz düşümüne eşittir.

$$V_t = R\omega + U_\infty \cos(\theta) \quad (2.7)$$

$$V_n = U_\infty \sin(\theta) \quad (2.8)$$

Buradan elde edilen normal ve teğet hızların karelerinin toplamının karekökü bizim bağıl hızımızı verir (İslam vd., 2008).

$$V_{bağl} = \sqrt{V_t^2 + V_n^2} \quad (2.9)$$

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A U_\infty^2 R} \quad (2.10)$$

$$C_N = \frac{N}{\frac{1}{2} \rho A U_\infty^2} \quad (2.11)$$

BÖLÜM III

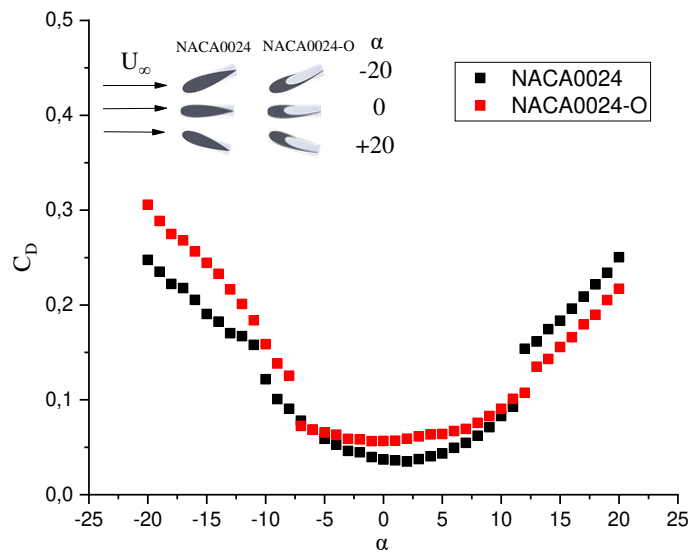
BULGULAR

3.1 Kanat Profillerinin Kaldırma ve Sürüklenme Kuvvetlerinin İncelenmesi

NACA0024, NACA4412, S822, isimli kanat profillerimizin rüzgâr tüneline sürüklenme ve kaldırma katsayıları incelemiş olup bu profillerin hem birbirleriyle hem de aynı kanat profillerinin oyukluklarıyla karşılaştırmaları deneysel olarak ortaya koyulmuştur.

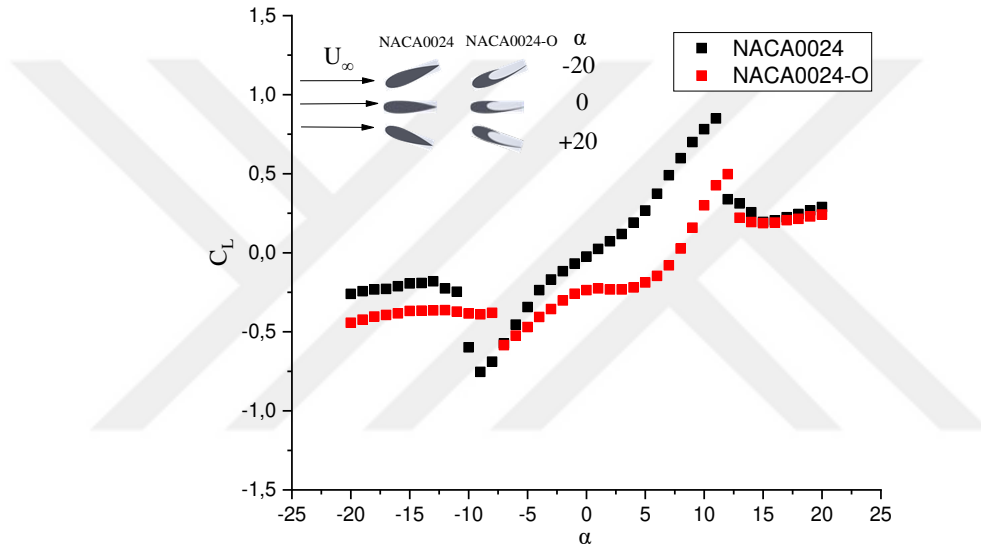
3.1.1 NACA 0024 kanat profili

NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının -20° ile $+20^\circ$ arasında incelenerek Şekil 3.1’de görüldüğü gibi sürüklenme kuvvet katsayısı değerleri elde edilmiştir. Şekilde oyuklu ve oyuksuz kanat profillerinin incelenen hücum açısı aralığındaki görünüşleri de sunulmuştur. Akışın kanat profiline önden geldiği -20° ile $+20^\circ$ hücum açısı aralığında sürüklenme kuvvetlerinde düşük açılarda oyuklu kanada etki eden sürüklenme kuvveti daha büyük olmaktadır. Buna karşın pozitif hücum açısında daha geç tutunma kaybı bölgesine girdiğinden sürüklenme kuvveti daha küçük olarak elde edilmiştir. Negatif hücum açısı bölgesinde ise tutunma kaybı bölgesine daha erken girmesi nedeniyle daha yüksek olarak oluşmuştur.



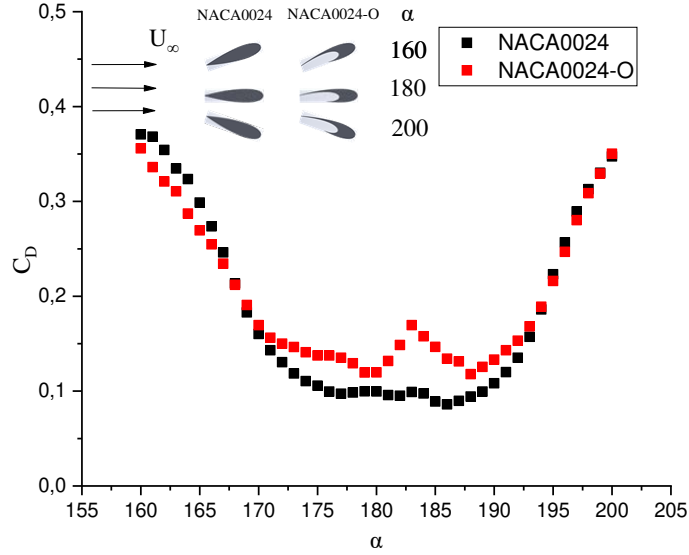
Şekil 3.1. NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 10^5 ’de -20° ile $+20^\circ$ arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri

NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının -20° ile $+20^\circ$ arasında incelenip Şekil 3.2’de görüldüğü gibi kaldırma katsayısı değerleri elde edilmiştir. Burada temel NACA0024 profili 0° hücum açısında kaldırma kuvveti oluşturmazken oyuklu kanat profilinin oyuk olduğu kenardan oyuk olmadığı kenara doğru bir kuvvet oluşturduğu görülmektedir. Bunun sebebinin oyuk olduğu bölgede akış ayrılması nedeniyle oyuk bölge üzerinde her ne kadar negatif basınç etkisi oluşsa da, alt yüzeyden yüzeyi takip ederek giden akım çizgilerinin bu profildeki eğriselliğin de büyük olmasının etkisiyle daha fazla negatif basınç oluşturması kaldırma kuvvetinin aşağıya doğru olmasını sağlamaktadır.



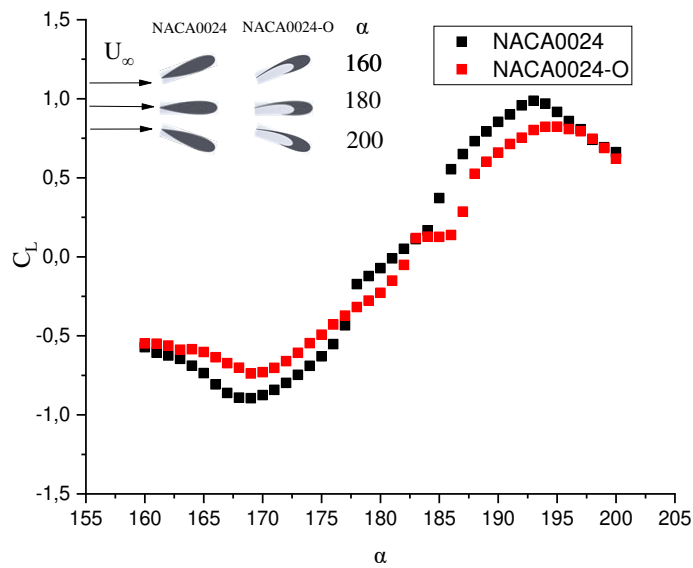
Şekil 3.2. NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısı 10^5 'de -20° ile $+20^\circ$ arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri

NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının 160° ile 200° arasında incelenip Şekil 3.3’de görüldüğü gibi sürüklenme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Burada oyuklu kanat profilinin, temel kanat profiline göre 181° ile 189° hücum açıları arasında sürüklenme kuvvetinde önemli bir artışa neden olduğu görülmektedir. Bu hücum açısı bölgesindeki artışın özellikle Darrieus tipi dikey rüzgar türbinlerinde kanat uç hızının rüzgar akış yönündeki bileşenin etkisinin küçük olması nedeniyle rüzgarın kanada daha fazla itme kuvveti oluşturmasında katkısı olacağı düşünülmektedir.



Şekil 3.3. NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri

NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının 160° ile 200° arasında incelenip Şekil 3.4’de görüldüğü gibi kaldırma katsayısı değerleri elde edilmiştir. Burada temel kanat profilinde 0° ’de kaldırma kuvveti oluşmazken oyuklu kanat profilinde negatif yönde (aşağıya doğru) bir kaldırma kuvveti olduğu görülmektedir. Buna alt kenardaki oyuğun akışı aşağıya doğru daha fazla yönlendirmesi nedeniyle ile geniş bir iz bölgesine ve sonuç olarak bu bölgede oluşan negatif basınç bölgesi neden olmaktadır.

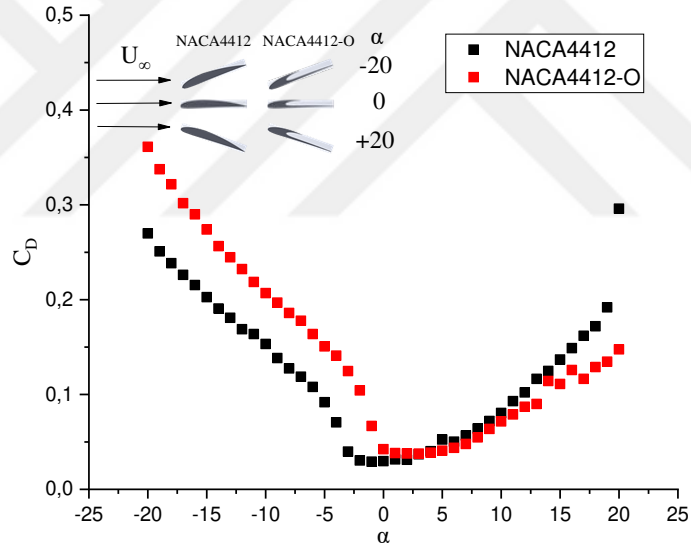


Şekil 3.4. NACA0024 ve NACA0024-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri

Hücum açısının diğer 175° 'den küçük ve 185° 'den daha büyük olması durumunda oyuklu kanadın mutlak değer olarak daha küçük kaldırma kuvveti oluşturduğu ancak açının 160° ve 200° civarındaki uç değerlerinde aynı seviyelerde olduğu görülmüştür.

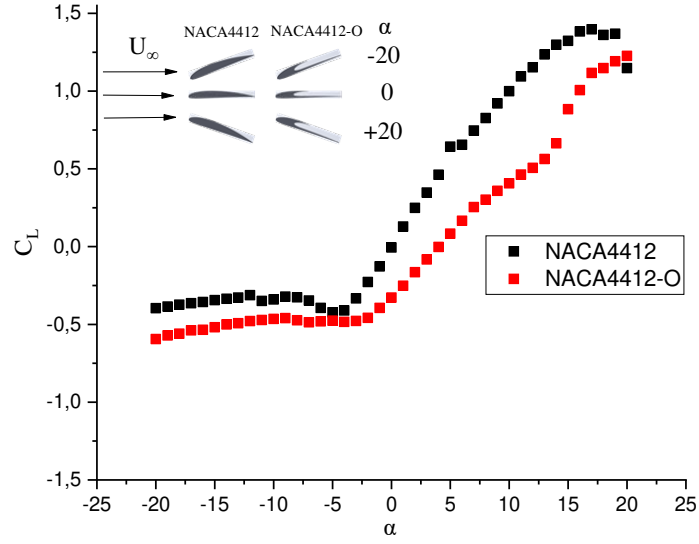
3.1.2 NACA 4412 kanat profili

NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının -20° ile $+20^\circ$ arasında incelenip Şekil 3.5'de görüldüğü gibi sürüklenme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Özellikle negatif hücum açılarında oyuklu kanat profiline etki eden sürüklenme kuvvet katsayısının önemli miktarda arttığı görülmüştür. Bunun nedeni oyuklu modelde üst kenardan geçen akışın oyuk bölgesinde yüzeyden ayrılması ve negatif basınçlı iz bölgesinin basınç kaynaklı sürüklenme kuvvetini arttırmasıdır.



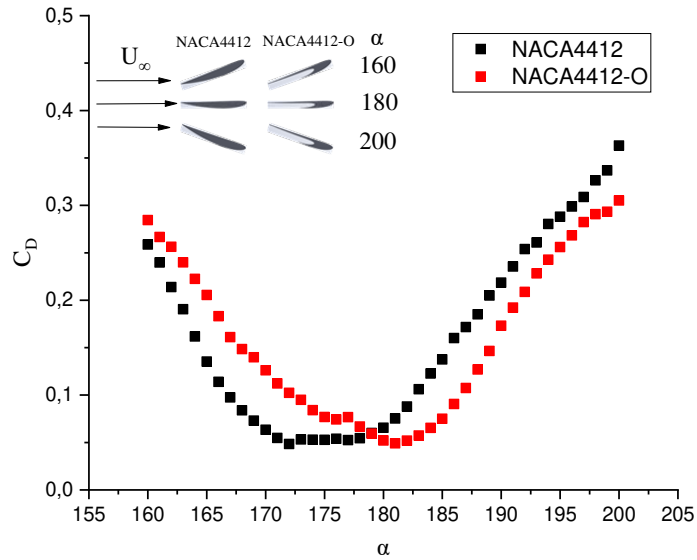
Şekil 3.5. NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde -20° ile $+20^\circ$ arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri

NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının -20° ile $+20^\circ$ arasında incelenip Şekil 3.6'da görüldüğü gibi kaldırma katsayısı değerleri elde edilmiştir. Bu bölgedeki bütün hücum açılarında oyuklu modele etki eden kaldırma kuvveti daha düşük seviyededir. Ancak mutlak değer olarak özellikle negatif hücum açılarında aşağıya doğru oluşan kaldırma kuvvetinin oyuklu modelde daha büyük olduğu görülmektedir.



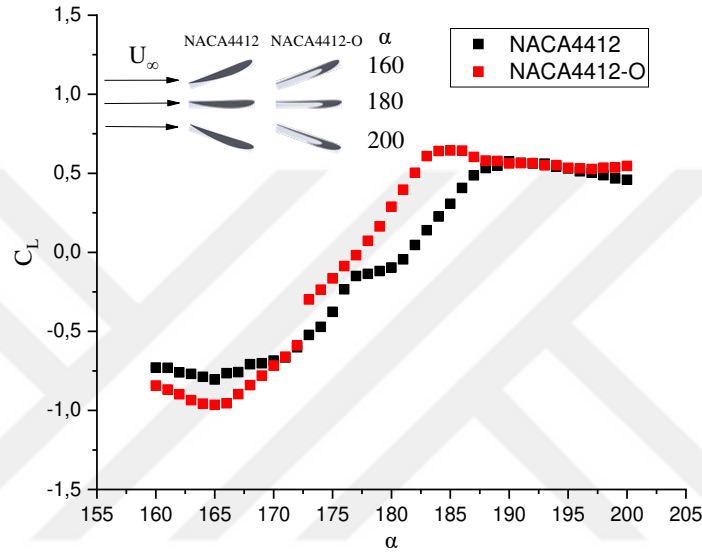
Şekil 3.6. NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde -20° ile $+20^\circ$ arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri

NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının 160° ile 180° arasında incelenip Şekil 3.7’de görüldüğü gibi sürüklenme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Burada oyuklu kanat profili kullanımı ile 160° ile 180° arasında hücum açısında sürüklenme katsayısının temel kanat profiline göre arttığı görülürken 180° ile 200° arasında her hücum açısında sürüklenme katsayısında düşüş görülmektedir.



Şekil 3.7. NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri

NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının 160° ile 180° arasında incelenip Şekil 3.8’de görüldüğü gibi kaldırma katsayısı değerleri elde edilmiştir. Burada akışın kanat modellerine arkadan gelmesi profilin akışa yakın uç kenarlarında meydana gelen akış ayrılmaları nedeniyle oluşan negatif basıncın akışa dik bileşeninin kaldırma kuvvetini oluşturması söz konusu olup, oyuklu kanadın bir çok hücum açısı değerinde daha büyük bir kaldırma kuvveti oluşturduğu görülmüştür.

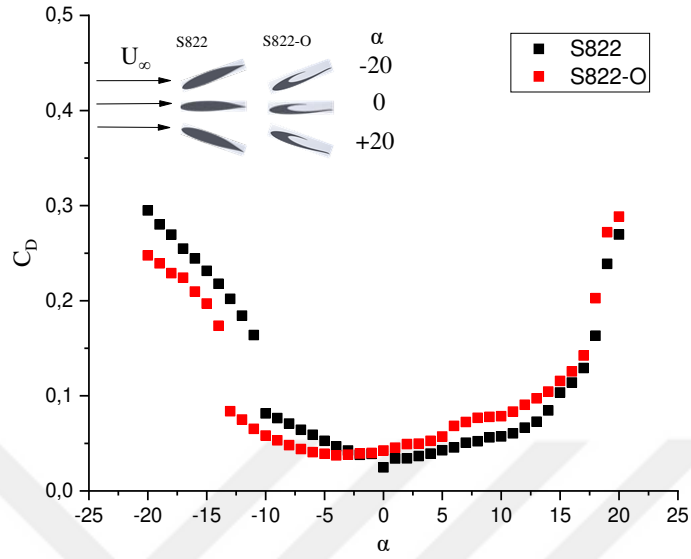


Şekil 3.8. NACA4412 ve NACA4412-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri

3.1.3 S822 kanat profili

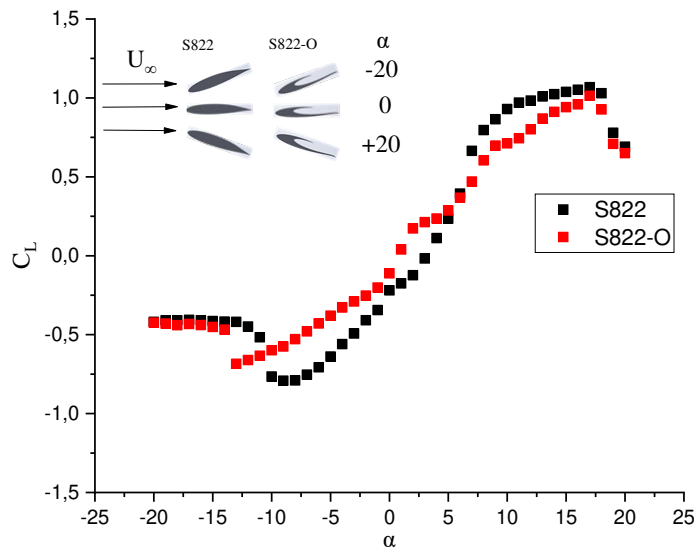
S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının -20° ile $+20^\circ$ arasında incelenip Şekil 3.9’da görüldüğü gibi sürükleme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Pozitif hücum açılarındaki oyuklu kanadın, tutunma kaybının olduğu hücum açısına kadar daha büyük sürükleme kuvveti oluşturduğu görülmektedir. Buna karşın -3° ’den daha küçük hücum açılarındaki oyuksuz modele göre daha küçük sürükleme kuvveti oluşmaktadır. Bu durum negatif hücum açısı bölgesindeki tutunma kaybının görüldüğü hücum açısından sonrada devam etmektedir. S822 kanat modelinde diğer iki kanat modelinden farklı olarak firar kenarına yakın bölgede aşağıya doğru bir kıvrım bulunması sürükleme kuvvetinin diğer iki modelden daha farklı oluşmasını sağlamaktadır. Diğer modellerde negatif hücum açılarındaki oyuklu modele daha fazla

sürüklenme kuvveti etki ederken, S822'nin oyuklu modelinde oyuksuz modeline göre daha küçük sürüklenme kuvvetinin oluştuğu görülmüştür.



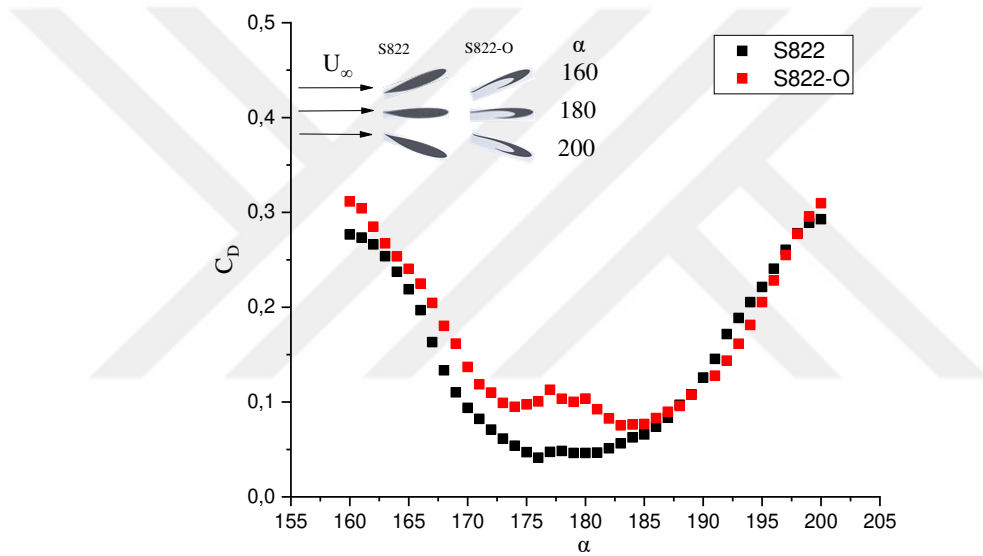
Şekil 3.9. S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde -20° ile $+20^\circ$ arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri

S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının -20° ile $+20^\circ$ arasında incelenip Şekil 3.10'da görüldüğü gibi kaldırma katsayısı değerleri elde edilmiştir. Burada oyuklu modele genel olarak daha küçük kaldırma kuvveti etki etmektedir. Ancak negatif hücum açısındaki tutunma kaybı bölgesine daha geç girmesi -14° civarında daha büyük kaldırma kuvvetini oluşturmuştur.



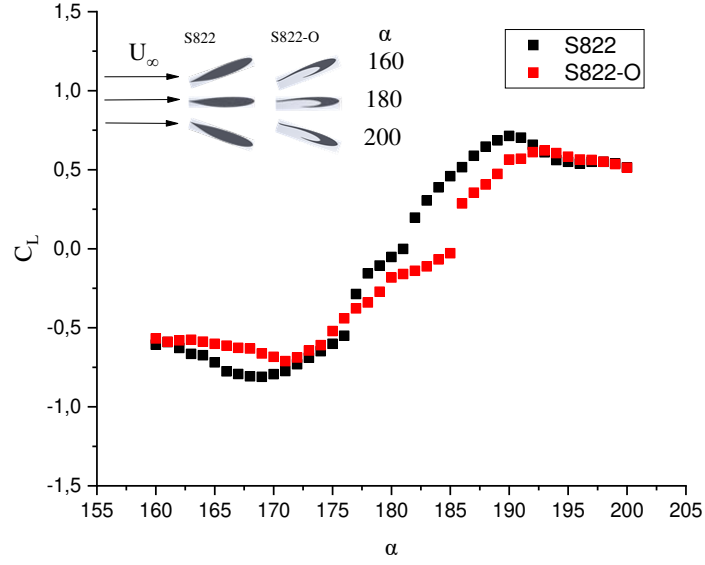
Şekil 3.10. S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde -20° ile $+20^\circ$ arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri

S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının 160° ile 200° arasındaki değişimleri için Şekil 3.11’de görüldüğü gibi sürüklenme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Burada oyuklu kanat profilinin 160° ’den 189° ’ye kadar her hücum açısı değerinde sürüklenme kuvvetinde artışa neden olurken 189° ’den sonra her hücum açısı değerinde sürüklenme kuvvetinde düşüşe neden olduğu görülmektedir. Özellikle akışa paralel olan 180° civarında oyuksuz modelin neredeyse iki katından fazla değerdeki sürüklenme kuvvetleri oluşabilmektedir. Bu hücum açısı bölgesinde sürüklenme kuvvetindeki artışın Darrieus tipi rüzgar türbinlerinde bağl hızın kanat profiline arkadan etki ettiği durumlarda çok daha fazla itme kuvveti oluşturarak türbin performansını arttırması söz konusu olabilecektir.



Şekil 3.11. S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için sürüklenme katsayısı değerleri

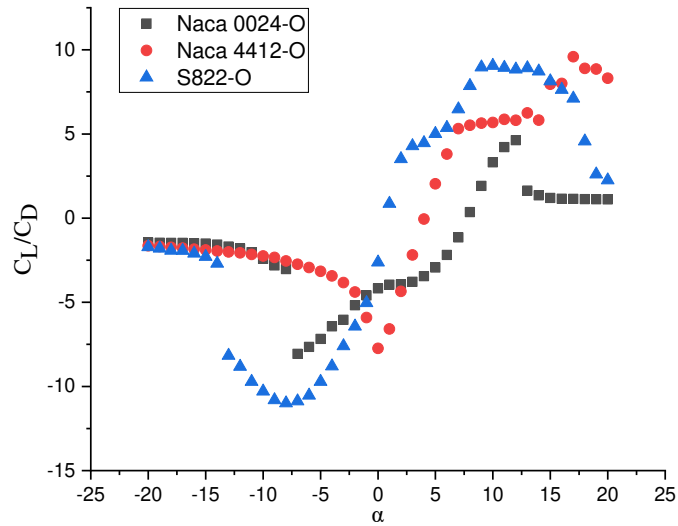
S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının 160° ile 200° arasında incelenip Şekil 3.12’de görüldüğü gibi kaldırma katsayısı değerleri elde edilmiştir. Genel olarak oyuklu modele ait kaldırma kuvvetleri daha küçük olmakla birlikte özellikle hücum açısının 180° civarında negatif yönde ve oyuksuz modele göre daha büyük olarak oluşması rüzgar türbini performansını arttırıcı olarak etki göstereceği düşünülmektedir. Oyuklu modelde 185° civarında kanadın üst tarafından geçen akışın kanat profilinin akış tarafında bulunan kenarından olan akış ayrılmasının etkisiyle kaldırma kuvvetinde ani bir sıçramaya neden olduğu görülmektedir.



Şekil 3.12. S822 ve S822-O kanat profillerinin Reynolds sayısının 10^5 değerinde 160° ile 200° arasındaki hücum açıları için kaldırma katsayısı değerleri

3.1.4 Oyuklu kanat profillerinde C_L/C_D oranının incelenmesi

Yapılan incelemeler sonucunda hava akışını kanat profillerinin hücum kenarından alması durumu Reynolds sayısının 10^5 değerinde ve hücum açısının -20° ile $+20^\circ$ aralığındaki C_L/C_D oranları Şekil 3.13'te verilmiştir.

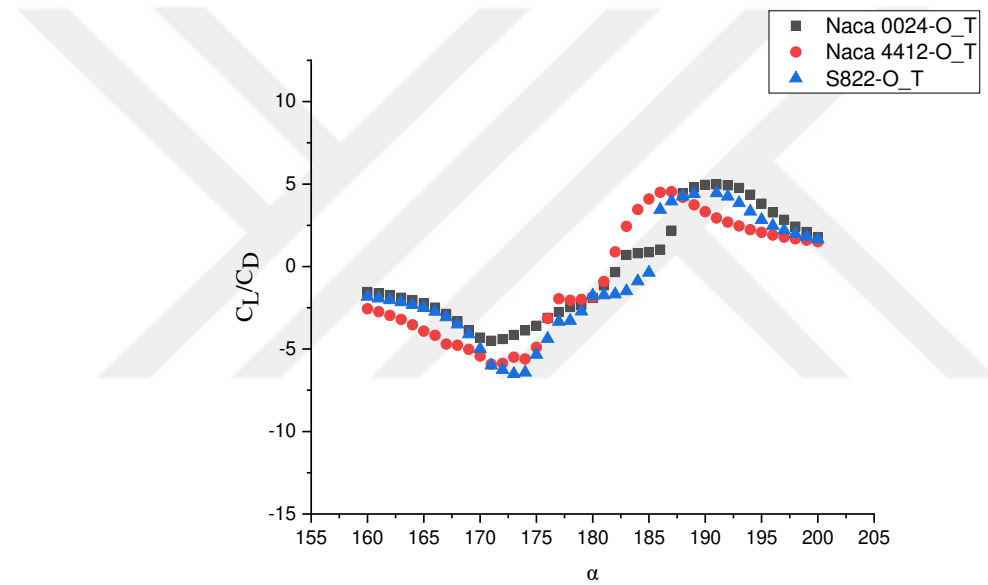


Şekil 3.13. NACA0024, NACA4412 ve S822 kanat profillerinin oyuklu tasarımlarında hava akışını hücum kenarından aldığı durum için C_L/C_D oranı

Şekil 3.13'de görüldüğü üzere oyuklu modellerde kullanılan şartlar altında C_L/C_D oranının S822 kanat profili için $+10^\circ$ 'de ve NACA4412 kanat profili için $+17^\circ$ 'de en

yüksek değerlerini verdiği gözlemlenmiştir. NACA0024 kanat profili için en yüksek değer $+12^\circ$ 'de olmasına karşın bu kanat profili için bu oranın diğer kanat profillerinin çok gerisinde kaldığı görülmüştür. Hücüm açısının negatif değerlerinde oyuklu S822 modeli baskın bir şekilde daha büyük kuvvet oranlarına sahiptir.

Hava akışının kanat profillerinin firar kenarından alması durumu olan hücum açısının 160° ile 200° arasındaki C_L/C_D kuvvet katsayıları oranı Şekil 3.14'de verilmiştir. Burada, oyuklu modellere ait oranların birlerine yakın seviyede gerçekleşmiş olmasına karşın, NACA0024 kanat profili için 191° 'de, NACA4412 kanat profili için 187° 'de ve S822 kanat profili için 191° 'de en yüksek oran değerlerini verdiği görülmüştür.



Şekil 3.14. NACA0024, NACA4412 ve S822 kanat profillerinin oyuklu tasarımlarında hava akışını firar kenarından aldığı durum için C_L/C_D oranı

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

NACA0024, NACA4412, S822 kanat profilleri seçilip bunların her birinin temel kanat profilleri ile birlikte oyuklu tasarımları da yapılarak üretilmiştir. Oyuklu ve oyuksuz test modellerinin rüzgâr tüneline Reynolds sayısının 10^5 değerinde farklı hücum açıları için deneyleri yapılarak sürüklenme ve kaldırma kuvvet katsayıları incelenerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda oyuklu yapıların modele bağlı olarak farklı hücum açılarında farklı etkilere sebep olduğu ve sürüklenme ile kaldırma kuvvetlerinde artış veya azalmaya sebep olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca incelenen kanat profillerinde oyuklu yapının yüzeye tutunma kaybını genel olarak daha yüksek açılara taşıyarak yüzeye tutunma kaybını geciktirdiği gözlemlenmiştir.

Akışın kanat profiline hücum kenarından gelmesi durumunda sıfır hücum açısında en düşük sürüklenme kuvveti geometrinin ince olması nedeniyle NACA4412 modelinde olmuştur. Negatif hücum açılarında S822 oyuklu modeline etki eden sürüklenme kuvveti oyuksuz modelin altında kalırken, diğer iki temel kanat modellerinin oyuklu modelleri daha yüksek sürüklenme kuvveti oluşturmaktadır. S822 modelinin oyuklu ve oyuksuz modelleri arasında önemli bir fark oluşmazken diğer iki profilin oyuklu ve oyuksuz modelleri arasında kayda değer bir değişim söz konusudur.

Akışın kanat profiline fırr kenarından yani arkadan gelmesi durumunda 180° civarındaki hücum açılarında, NACA0024 ve S822 modellerinin oyuklu olması durumu sürüklenme kuvvetinde önemli bir artışa neden olurken, NACA4412 modelinde neredeyse aynı kalmaktadır. Bu bölgedeki sürüklenme kuvvetindeki artış, rüzgar türbinlerinde modele akışın arkadan gelmesi durumunda daha fazla itme kuvveti oluşturması açısından önemlidir. Burada ele alınan hücum açısı aralıkları dikkate alındığında ve oyuklu kanatların oyuksuz kanatlara göre rüzgar türbinlerinde daha büyük performans sağlayabilmesi açısından değerlendirildiğinde S822 oyuklu modelin öne çıktığı görülmektedir.

Kanat performansını ifade etmesi açısından C_L/C_D oranları büyük önem taşımaktadır. Oyuklu modellerin akışın önden gelmesi durumlarındaki değişimlerine bakıldığında

C_L/C_D oranının geniş bir hücum açısı aralığında S822 oyuklu modelinde yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu değerin, sürüklenme kuvvet katsayısının daha büyük olmasına rağmen NACA4412 modelinin üzerinde çıkması rüzgar türbini tasarımlarında bu kanat profilinin tercih edilebileceğini göstermektedir.



KAYNAKLAR

Afanasyeva, N. A., Dudnik, V. V. and Gaponov, V. L., "Influence of the resonance characteristics of free-yaw small wind turbines on the performance", *Vibroengineering Procedia* 8, 158-162, 2016.

El-Askary W. A., Nasef M. H., Abdel-Hamid A. A. and Gad H. E., "Harvesting wind energy for improving performance of Savonius rotor", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 139, 8-15, 2015.

Alit, I. B., Sutanto, R., Mara, I. M. and Mirmanto, M., "Effect of concentrator, blade diameter and blade number on the Savonius wind turbine performance", *Asian Journal of Applied Sciences* 5(02), 343-351, 2017.

Alquraishi, B. A., Asmuin, N. Z., Mohd, S., Al-Wahid, W. A. A. and Mohammed, A. N., "Review on diffuser augmented wind turbine (DAWT)", *International Journal of Integrated Engineering* 11(1), 178-206, 2019.

Beri H., and Yao Y., "Effect of camber airfoil on self starting of vertical axis wind turbine", *Journal of Environmental Science and Technology* 4(3), 302-312, 2011.

Boroomand M. and Hosseinverdi S., "Numerical investigation of turbulent flow around a stepped airfoil at high Reynolds number", *American Society of Mechanical Engineers Digital Collection* . 2163-2174, 2009.

Ciang, C. C., Lee, J.-R. and Bang, H.-J., "Structural health monitoring for a wind turbine system: a review of damage detection methods", *Measurement Science and Technology* 19(12), 122001, 2008.

Elibüyük U. ve Üçgül İ., “Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri”, *Yekarum* 2(3), 1-14, 2014.

Fatehi M., Nili-Ahmadabadi M., Nematollahi O., Minaiean A. and Kim K. C., “Aerodynamic performance improvement of wind turbine blade by cavity shape optimization”, *Renewable energy* 132, 773-785, 2019.

Finaish F. and Witherspoon S., “Aerodynamic performance of an airfoil with step-induced vortex for lift augmentation”, *Journal of Aerospace Engineering*, 11(1), 9-16, 1998.

Ghajar, R. and Badr, E., "An experimental study of a collector and diffuser system on a small demonstration wind turbine", *International Journal of Mechanical Engineering Education* 36(1), 58-68, 2008.

Golecha K., Eldho T. I., and Prabhu S. V., “Influence of the deflector plate on the performance of modified Savonius water türbine”. *Applied Energy* 88(9), 3207-3217, 2011.

Hau E., Wind Turbines, 2nd ed., *Springer Science & Business Media*, 2006.

Igra, O., "Research and development for shrouded wind turbines", *Energy Conversion and Management* 21(1), 13-48, 1981.

Islam M., Ting D. S. K., and Fartaj A., “Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12(4), 1087-1109, 2008.

Kannan, T. S., Mutasher, S. A. and Lau Y. K., "Design and flow velocity simulation of diffuser augmented wind turbine using CFD", *Journal of Engineering Science and Technology* 8(4), 372-384, 2013.

Kim D., and Gharib M., "Efficiency improvement of straight-bladed vertical-axis wind turbines with an upstream deflector", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 115, 48-52, 2013.

Kosasih, B. and Tondelli, A., "Experimental study of shrouded micro-wind turbine", *Procedia Engineering* 49, 92-98, 2012.

Kozak, P., Effects of unsteady aerodynamics on vertical-axis wind turbine performance, Doktora Tezi, *Illinois Institute of Technology*, Chicago, s. 4-5, 2014.

Kumar P. M., Kulkarni R., Srikanth N. and Lim, T. C., "Performance assessment of darrieus turbine with modified trailing edge airfoil for low wind speeds" *Smart Grid Renew* 8, 425-439, 2017.

Lewis, R., Williams, J. and Abdelghaffar, M., "A theory and experimental investigation of ducted wind turbines", *Wind Engineering* 1(2), 104-125, 1977.

Lilley, G. and Rainbird, W., A preliminary report on the design and performance of ducted windmills, *College of Aeronautics Cranfield*, UK, 1956.

Mohamed M. H., Janiga G., Pap E., and Thévenin D., "Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade", *Renewable Energy* 35(11), 2618-2626, 2010.

Mohamed M. H., Janiga G., Pap E., and Thévenin D., "Optimal blade shape of a modified Savonius turbine using an obstacle shielding the returning blade", *Energy Conversion and Management* 52(1), 236-242, 2011.

Ohya, Y., Karasudani, T., Sakurai, A., Abe, K.-i. and Inoue, M., "Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96(5), 524-539, 2008.

Sabzevari, A., "Performance characteristics of concentrator-augmented Savonius wind rotors", *Wind Engineering* 1(3), 198-206, 1977.

Sahim K., Santoso D., and Sipahutar, R., "Performance of combined water turbine Darrieus-Savonius with two stage Savonius buckets and single deflector", *International Journal of Renewable Energy Research* 5(1), 217-221, 2015.

Shikha, S., Bhatti, T. and Kothari, D., "Air concentrating nozzles: a promising option for wind turbines", *International Journal Of Energy Technology And Policy* 3(4), 394-412, 2005.

Shonhiwa, C. and Makaka, G., "Concentrator augmented wind turbines: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59, 1415-1418, 2016.

Stout C., Islam S., White A., Arnott S., Kollovozi E., Shaw M. and Bird B., "Efficiency improvement of vertical axis wind turbines with an upstream deflector", *Energy Procedia* 118, 141-148, 2017.

Tartuferi M., D'Alessandro V., Montelpare S., and Ricci R., "Enhancement of Savonius wind rotor aerodynamic performance: a computational study of new blade shapes and curtain systems", *Energy* 79, 371-384, 2015.

Wang, J., Piechna, J. and Müller N., "Computational fluid dynamics investigation of a novel multiblade wind turbine in a duct", *Journal of Solar Energy Engineering* 135(1), 011008, 2013.

Wong K. H., Chong W. T., Sukiman N. L., Poh S. C., Shiah Y. C. and Wang C. T., “Performance enhancements on vertical axis wind turbines using flow augmentation systems: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73, 904-921, 2017.

Wong K. H., Chong W. T., Poh S. C., Shiah Y. C., Sukiman N. L. and Wang, C. T., “3D CFD simulation and parametric study of a flat plate deflector for vertical axis wind turbine”, *Renewable Energy* 129, 32-55, 2018.



EKLER

Ek-A Belirsizlik Analizi

Bu çalışmada deneysel olarak kanat profiline etki eden aerodinamik kuvvetlerin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda Reynolds sayısı, sürüklenme ve kaldırma kuvvet katsayıları ve bu katsayıların bağımlı olduğu hız, kuvvet, sıcaklık, basınç ve yoğunluk gibi büyüklükler için belirsizlik değerleri hesaplanmıştır. Belirsizlik değerlerinin hesaplanmasında Coleman ve Steele (1998) tarafından sunulan yöntemler kullanılmıştır. Deney parametreleri denklem E.1 formunda fonksiyonlardır.

$$r = kX_1^a X_2^b X_3^c \dots \quad (E.1)$$

Bu formdaki fonksiyonun belirsizlik ifadesi denklem E.2’de ifade edilmiştir.

$$u_r = \frac{w_r}{r} = \left[a^2(u_{x_1})^2 + b^2(u_{x_2})^2 + c^2(u_{x_3})^2 + \dots \right]^{1/2} \quad (E.2)$$

Bu çalışmada kullanılan deney düzeneği ve ölçüm sistemlerinin belirsizlik analizine yönelik olarak hesaplama prosedürleri ve denklemler önceki araştırmacılar tarafından detaylı olarak açıklanmıştır (Akbiyık, 2014). Bu çalışmada kullanılan değerler ve yapılan ölçümlerden elde edilen değerler için yeniden hesaplamalar yapılarak belirsizlik değerleri elde edilmiştir. Reynolds ve kuvvet katsayılarına ait belirsizlik ifadeleri denklem E.3 v E.4’de sunulmuştur.

$$u_{Re} = \frac{w_{Re}}{Re} = \left[(u_\rho)^2 + (u_U)^2 + (u_D)^2 + (u_\mu)^2 \right]^{1/2} \quad (E.3)$$

$$u_{C_D} = \frac{w_{C_D}}{C_D} = \left[(u_{F_D})^2 + (u_\rho)^2 + 4(u_U)^2 + (u_{A_{0n}})^2 \right]^{1/2} \quad (E.4)$$

Buna göre Reynolds sayısının 10^5 değerindeki ölçümler için belirsizlik değeri % 4.4, sürüklenme kuvvet katsayısı için ise %7.8 olarak elde edilmiştir. Ayrıca belirsizlik hesaplamalarında en fazla etkiye sahip olan serbest akış hızının 13m/s değerindeki ölçümlerindeki belirsizlik değeri % 4.3 olarak bulunmuştur.

ÖZ GEÇMİŞ

Mustafa Fevzi ÖZTÜRK 24.03.1993 İzmir doğumlu. 2012 yılında başladığı Ömer Halisdemir Üniversitesi kariyerini 2017 yılında mühendis olarak tamamladı. Aynı yıl yüksek lisansa başlamıştır. Yüksek lisans kariyeri boyunca 1 adet TÜBA, 2 adet TÜBİTAK projesi olmak üzere toplam 3 adet projesinde görev yapmıştır.



