

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR İHA İÇİN TASARLANMIŞ KANAL İÇİ PERVANENİN
PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Seyit Türkmen KOÇ**

Anabilim Dalı : İleri Teknolojiler

Programı : Uçak ve Uzay Mühendisliği

MART 2011

**BİR İHA İÇİN TASARLANMIŞ KANAL İÇİ PERVANENİN
PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Seyit Türkmen KOÇ
521091110**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Mart 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Mart 2011

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Duygu ERDEM (İTÜ)
Eş Danışman : Prof. Dr. Mehmet Ş. KAVSAOĞLU (AÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Seyhan Uygur ONBAŞIOĞLU (İTÜ)
Doç. Dr. N.L. Okşan ÇETİNER-YILDIRIM (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Hayri ACAR (İTÜ)**

MART 2011

Aileme,

ÖNSÖZ

Çalışma boyunca bilgi ve deneyimlerini tüm samimiyetiyle paylaşan ve tezin yürütülmesinde yardımlarını ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Duygu Erdem'e ve eş danışmanım Prof. Dr. Mehmet Şerif Kavsaoglu'na ve modellerin üretilmesinde ve montajında yardım eden Trisonik Araştırma Laboratuvarı teknisyenleri Murat Tarhan ve Ali Osman Tabanlı'ya ve ayrıca Merve Melek'e ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme fiili ve manevi katkılarından dolayı teşekkür ederim. Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından, '108M434, İnsansız Hava Aracı için Tasarlanmış Kanal İçi Fan Sisteminin Deneysel Olarak İncelenmesi' projesi kapsamında desteklenmiştir.

Mart 2011

Seyit Türkmen KOÇ
(Uçak-Uzay Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Düşey İniş Kalkış Yapabilen Uçaklar.....	1
1.2 Dikey İniş Kalkış Yapabilen Uçaklar	5
1.3 Daha Önce Tasarım Çalışması Yapılan DİK-İHA' ya Ait Bilgiler	7
1.4 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	8
2. KANAL İÇİ PERVANE SİSTEMİ.....	9
2.1 Literatürdeki Benzer Çalışmalar.....	9
2.2 Kanal İç Pervane Performansını Etkileyen Parametreler ve Parametrelerin Literatürdeki Yeri.....	12
2.2.1 Hücum kenarı eğrilik yarıçapının etkisi.....	13
2.2.2 İç çap uzunluğu / veter uzunluğunun performansa etkisi	16
2.2.3 Pervane uç açıklık oranının performansa etkisi	17
2.2.4 Alanlar oranının performansa etkisi.....	19
2.2.5 Pervane planformunun ve sayısının performansa etkisi	20
2.2.6 Pervane yerinin performansa katkısı.....	22
2.3 Kanal İç Pervane Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları.....	23
3. KANAL İÇİ PERVANE PERFORMANSINA ANALİTİK YAKLAŞIM	25
3.1 Momentum Yaklaşımı (Aktuatör Disk Teorisi) [1].....	25
3.2 Klasik Tekillik Metodu [14].....	28
4. DENEY APARATLARI VE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ.....	31
4.1 Deney Aparatları.....	31
4.1.1 Motor.....	31
4.1.2 Hız kontrol aygıtı, alıcı-verici.....	31
4.1.3 Güç ünitesi	32
4.1.4 Rüzgar tüneli	32
4.1.5 Pervaneler	32
4.1.6 Kovan	33
4.1.7 Kanallar	33
4.2 Ölçüm Sistemleri	35
4.2.1 Dijital pensampermetre	35
4.2.2 Sıcak tel anemometresi	35
4.2.3 Yedi delikli basınç probu	36
4.2.4 Altı bileşenli kuvvet/moment duyargası	36

4.2.5 Dönüş hızı / tork ölçer.....	37
5. DENEYSEL KURULUM VE DENEYLER.....	39
5.1 Yalın Kanalı Deneysel İncelenmesi.....	40
5.1.1 Yalın kanalın sıcak tel sistemi ile incelenmesi	40
5.1.2 Yalın kanalın kuvvet duyargası ile incelenmesi.....	44
5.1.3 Yalın kanal akış yapısının duman ile görüntülenme tekniği ile incelenmesi	45
5.2 Yalın Pervanenin Deneysel İncelenmesi	47
5.2.1 Yalın pervanenin sıcak tel sistemi ile incelenmesi	47
5.2.2 Yalın pervanenin kuvvet duyargası ile incelenmesi.....	50
5.3 Kanal İçi Pervane Sisteminin Deneysel İncelenmesi	52
5.3.1 Kanal içi pervane sisteminin sıcak tel ile incelenmesi.....	53
5.3.2 Kanal içi pervane sisteminin basınç ölçüm sistemiyle (Aeroprobe) incelenmesi	59
5.3.3 Kanal içi pervane sisteminin kuvvet duyargası ile incelenmesi.....	63
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
6.1 Sonuçlar	79
6.2 Öneriler	82
KAYNAKLAR.....	85

KISALTMALAR

İHA	: İnsansız Hava Aracı
DİK	: Dikey İniş-Kalkış Yapabilen Uçaklar
KMİK	: Kısa Mesafede İniş-Kalkış Yapabilen Uçaklar
Y_k	: Yalın Kanal Sistemi
Y_p	: Yalın Pervane Sistemi
K_p	: Kanal İçi Pervane Sistemi
Kp_p	: Kanal İçi Pervane Sisteminde Pervane Katkısı
Kp_k	: Kanal İçi Pervane Sisteminde Kanal Katkısı
H25	: Hücüm Kenarından 25 mm İçerideki Kesit
F32	: Firar Kenarından 32 mm İçerideki Kesit
Rpm	: Dakikadaki devir sayısı
Aktiflik Oranı:	Pervanenin Ne Kadar Güç Absorbe Ettiğini Gösteren Büyüklük
Katılık Oranı:	Pervanenin Kapladığı Alanın Rotor Diskine Oranı
ESC	: Electronic Speed Controler (Elektronik Hız Kontrolörü)
VTOL	: Vertical Take-off Landing (Dikey İniş-Kalkış Yapabilen Uçaklar)
UAV	: Unmanned Aerial Vehicle (İnsansız Hava Aracı)
CTA	: Constant Temperature Anemometry (Sabit Sıcaklık Anemometresi)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : 2003 ve 2005 yılına kadar İHA ve DİK-İHA programlarının gelişimi [9].	6
Çizelge 1.2 : DİK yapabilen birkaç kanal içi pervane sistemli İHA [10].	6
Çizelge 4.1 : Kanalların geometrik özellikleri.	34
Çizelge 4.2 : Kuvvet / moment duyargası kalibrasyona bağlı ölçüm aralığı ve çözünürlük değerleri.	37
Çizelge 5.1 : Farklı x/L istasyonlarında sınır tabaka kalınlıkları (mm).	42
Çizelge 5.2 : Kanal içerisinde pervane üç farklı istasyondayken oluşan geometrik özellikler.	53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : DİK uçakları ve dikey iniş kalkış metotları [2].	2
Şekil 1.2 : Convair-1 uçağının dikey kalkış görüntüsü [3].	3
Şekil 1.3 : Hiller-18 uçağının kanatlarını kalkış anına hazırlaması [4].	3
Şekil 1.4 : Tilt-Ducted Fan metodu ile uçan Bell X-22 [5].	4
Şekil 1.5 : Deflected Slipstream metodu ile uçan NASA/Ryan VZ-3RY NASA/Ryan VZ-3RY Vertiplane [6].	4
Şekil 1.6 : Dikey iniş yapan AV-8B Harrier II [7].	5
Şekil 1.7 : Harrier uçağının dikey kalkış esnasında 35 sn boyunca yaşadığı değişim [8].	5
Şekil 1.8 : DİK-İHA' nın üç görünüşü (ön, yan, üst) [13].	7
Şekil 2.1 : Hücum kenarı eğrilik yarıçapı etkisi incelenirken kullanılan modeller ...	13
Şekil 2.2 : (a) Beş farklı hücum kenarı eğrilik yarıçapının statik itkiye etkisi, (b) üç farklı hücum kenarı eğrilik yarıçapına sahip kanal içi pervanede kanalın toplam itkideki oranı [29].	14
Şekil 2.3 : Farklı eğrilik yarıçaplarındaki kanal içi fan itki değerlerinin karşılaştırılması [30].	15
Şekil 2.4 : Hücum kenarı eğrilik yarıçapının yunuslama momentine etkisi [20].	15
Şekil 2.5 : Kanal boyunun kanal içi fan performansına etkisi [31].	17
Şekil 2.6 : Uç açıklık oranının kanal içi fan performansına etkisi [31].	18
Şekil 2.7 : Farklı uç açıklık oranlarında itki katsayısının fan dönüş hızıyla değişimi [20].	19
Şekil 2.8 : Alanlar oranının kanal içi fan performansına etkisi [32].	19
Şekil 2.9 : Pervane sayısının kanal içi pervane performansına etkisi [31].	20
Şekil 2.10 : Pervane planform etkisini incelemek için kullanılan pervaneler: (a) 3R (b) 3WT (c) 3NT (d) 4NT [31].	21
Şekil 2.11 : Pervane planformunun kanal içi fan performansına etkisi [31].	22
Şekil 2.12 : Pervane yerinin kanal içi pervane performansına etkisi [31].	23
Şekil 3.1 : Yalın pervane disk modeli : (a) hız dağılımı (b) basınç dağılımı.	26
Şekil 3.2 : Kanal içi pervane sisteminin aktüatör disk modeli [34].	27
Şekil 4.1 : Elektronik hız kontrol ünitesi bağlantı şeması [36].	32
Şekil 4.2 : Eiffel tipi 80x80 açık deney odalı rüzgar tüneli [37].	32
Şekil 4.3 : Motor kovanı teknik resim görüntüsü.	33
Şekil 4.4 : Üç kanalın üst üste kesit görüntüsü.	34
Şekil 4.5 : Sıcak tel probu.	35
Şekil 5.1 : Yalın kanal sıcak tel incelemesi deney düzeneği.	40
Şekil 5.2 : Deneysel ölçüm istasyonları.	41
Şekil 5.3 : (a) En dar kesitte (b) firar kenarına yakın bir istasyonda sınır tabaka taraması.	41
Şekil 5.4 : Kanal çıkış kesitine yakın istasyonda ($x/L=0.98$) boyutsuz sınır tabaka ve türbülans profilleri.	42
Şekil 5.5 : İki farklı istasyonda boyutsuz hız profilleri.	43
Şekil 5.6 : Kanal izindeki boyutsuz hız profillerinin karşılaştırılması.	43

Şekil 5.7 : Yalın kanal sürüklenme ölçümü deney düzeneği.	44
Şekil 5.8 : Üç farklı profile sahip kanalların sürüklenme kuvveti-hız değişimi grafiği.	45
Şekil 5.9 : Akım görüntüleme deney düzeneği.	45
Şekil 5.10 : Yalın kanalda dumanla akım görüntüleme deneyi.	46
Şekil 5.11 : Yalın pervane sıcak tel incelemesi deney düzeneği.	47
Şekil 5.12 : Statik halde pervane arkasında hız profilleri.	48
Şekil 5.13 : Farklı dönüş hızlarında $x/L = 0.4$ istasyonunda hız profilleri.	49
Şekil 5.14 : Farklı serbest akım hızlarında $x/L = 0.98$ istasyonunda hız profilleri.	49
Şekil 5.15 : Yalın pervane kuvvet ölçümü deney düzeneği.	50
Şekil 5.16 : Yalın pervanenin farklı elektriksel güçlerle ürettiği itki performansı.	51
Şekil 5.17 : Farklı serbest akım hızlarında pervanenin itki performansı.	51
Şekil 5.18 : İki farklı hatve oranında pervanenin ürettiği itki kuvvetinin hesaplanması.	52
Şekil 5.19 : Kanal içi pervane sistemi için sıcak tel deney düzeneği.	54
Şekil 5.20: Kanal içi pervane sisteminde hız profilinin serbest akım hızı ile değişimi.	55
Şekil 5.21: Statik halde kanal içi pervane sistemleriyle yalın pervane izindeki hız profillerinin karşılaştırılması.	56
Şekil 5.22: Serbest akım hızı 15 m/s iken kanal içi pervane sistemleriyle yalın pervane izindeki hız profillerinin karşılaştırılması.	56
Şekil 5.23: Statik hal için pervanenin kanala içerisindeki yerinin değiştirilmesinin kanal izindeki hız profillerine etkisi.	57
Şekil 5.24: Serbest akım hızı 20 m/s iken pervanenin kanal içerisindeki yerinin değiştirilmesinin kanal izindeki hız profillerine etkisi.	58
Şekil 5.25: Kanal içi pervane sistemi için basınç ölçüm düzeneği.	59
Şekil 5.26: Kanal dış yüzeyinde basınç dağılımları (a) $U_{\infty} = 20 \text{ m/s}$, (b) $U_{\infty} = 15 \text{ m/s}$, (c) $U_{\infty} = 10 \text{ m/s}$	60
Şekil 5.26: (devam) Kanal dış yüzeyinde basınç dağılımları (a) $U_{\infty} = 20 \text{ m/s}$, (b) $U_{\infty} = 15 \text{ m/s}$, (c) $U_{\infty} = 10 \text{ m/s}$	61
Şekil 5.27: Kanal içi yüzeyinde basınç dağılımları (a) $U_{\infty} = 20 \text{ m/s}$, (b) $U_{\infty} = 15 \text{ m/s}$, (c) $U_{\infty} = 10 \text{ m/s}$	61
Şekil 5.27: (devam) Kanal içi yüzeyinde basınç dağılımları (a) $U_{\infty} = 20 \text{ m/s}$, (b) $U_{\infty} = 15 \text{ m/s}$, (c) $U_{\infty} = 10 \text{ m/s}$	62
Şekil 5.28: Kanal içi pervane kuvvet ölçüm düzeneği.	63
Şekil 5.29: Üç farklı kanalda, kanal içi pervane itkisinde pervanenin katkısının (k_{p_p}) yalın pervane itkisi ile karşılaştırılması.	64
Şekil 5.30: Kanal içi pervane itkisinde pervane katkısının değişen pervane yerine göre farklılığı.	65
Şekil 5.31: Kanal içi pervane sisteminde üç farklı kanalın itkiye katkısının karşılaştırılması.	66
Şekil 5.32: İki farklı serbest akım hızında kanal içi pervane sisteminde itkiye kanalın katkısı.	67
Şekil 5.33: Pervane yeri değişikliğinin kanal içi pervanede kanal itkisine etkisi.	67
Şekil 5.34: Pervane hatve oranı değişiminin kanal içi pervanede kanal itkisine etkisi.	68
Şekil 5.35: Üç farklı profilde üç ayrı kanal içi pervane statik itki performansı ile yalın pervane statik itki performansının karşılaştırılması.	69
Şekil 5.36: Serbest akım hızı 20 m/s iken , üç farklı profilde üç ayrı kanal içi pervane ile yalın pervane itki performansının karşılaştırılması.	70

Şekil 5.37: Pervane yeri değişiminin kanal içi pervane toplam statik itki performansına etkisi.	71
Şekil 5.38: Statik halde sistemlerin C_t -RPM değişim grafiği.....	72
Şekil 5.39: Statik halde sistemlerin C_p -RPM değişim grafiği.....	73
Şekil 5.40: Sistemlerin 20 m/s serbest akım hızına maruz hali için C_t -J değişim grafiği	74
Şekil 5.41: Sistemlerin 20 m/s serbest akım hızına maruz hali için C_p -J değişim grafiği	75
Şekil 5.42: Sistemlerin 20 m/s serbest akım hızına maruz hali için η -J değişim grafiği	76
Şekil 5.43: Aynı elektriksel güçte sistemlerin,değişen serbest akım hızlarına göre η - J değişim grafiği.....	77

BİR İHA İÇİN TASARLANMIŞ KANAL İÇİ PERVANENİN PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET

İHA'ların arazi şartlarından etkilenmeksizin kolayca dikey iniş kalkış yapabilmesi İHA'ların kullanım alanları açısından da yeni açılımlar sağlamaktadır. Bu sebeple bu çalışmanın da konusu olan dikey iniş kalkış yapabilen sabit kanatlı insansız hava araçları günümüzde oldukça çalışılan bir uygulama olmuştur.

Kanal içi pervane sistemlerine karşı artan bu aşırı ilgi sebebiyle bu konu teknik olarak da birçok çalışmaya konu olmuştur. Nitekim sabit kanatlı bir insansız hava aracında ekseni değiştirilebilen kanal içi pervane sisteminin eksenel akış halinin araştırılması ve oluşturduğu performansın belirlenip geliştirilmesi bu çalışmanın asıl amacını oluşturmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada kanal içi pervane performansını etkileyen parametreler literatürle birlikte ayrıntılı olarak işlendi. Daha sonra buradan edinilen bilgiler doğrultusunda üç farklı kanal ve üç farklı pervane ile kanal içi pervane sisteminin performansı deneysel olarak incelendi.

Daha önce tasarımı yapılan DİK-İHA teknik özelliklerinden yola çıkılarak üç farklı kanat profilinde (NACA0018, NACA0012, NACA 4312) üç farklı kanal üretildi. İlk önce bir yalın kanal içerisinde dışarısında sıcak tel ile hız verisi alınarak yalın kanalın serbest akımı nasıl etkilediği araştırıldı. Daha sonra kuvvet/moment duyargası yardımıyla yalın kanalların ayrı ayrı sürüklenme kuvvetleri ölçüldü.

İkinci aşamada yalın pervanenin iz bölgesinde sıcak tel sistemi ile hız taraması yapıldı ve yine kuvvet/moment duyargası yardımıyla yalın pervanenin statik ve serbest akım hızı altında performansı incelendi. Daha sonra dönüş hızı/tork duyargası ile yalın pervanenin çeşitli güçlere karşılık oluşturduğu tork ve dönüş hızı belirlendi.

Üçüncü aşamada kanal içi pervane sistemi içerisinde ve dışarısında hız taramaları gerçekleştirildi ve yalın pervanenin indüklediği akış alanının kanal ilavesi ile nasıl değiştiği belirlendi. Ayrıca kanal içerisinde ve dışarısında yedi delikli basınç probu yardımıyla basınç ve hız verileri elde edilerek kanal profillerinin iki boyutlu akış altında oluşturduğu basınç katsayısı verileri ile karşılaştırıldı. Kanal altına ve motor kovani altına ayrı ayrı yerleştirilen kuvvet/moment duyargası ile sistemin akışa maruz hali ve statik hali için kanal içi pervane sisteminde kanalın ve pervanenin oluşturduğu eksenel kuvvetler ayrı ayrı ölçüldü. Elde edilen veriler yalın pervane performansı ile karşılaştırılarak kanalın pervane performansına etkisi belirlendi. Farklı kanallar içerisinde dönüş hızı/tork duyargası yardımıyla pervanenin dönüş hızı ve oluşturduğu tork belirlendi. Pervanenin yeri kanal içerisinde üç farklı istasyonda sabitlenerek üçüncü aşamada belirtilen deneyler tekrarlandı. Bu şekilde pervane yerinin performansa etkisi belirlendi.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DUCTED PROPELLER DESIGNED FOR UAV

SUMMARY

Nowadays, vertical take-off landing properties of VTOL-UAVs make them very popular. Because of this reason, especially VTOL ducted propeller UAVs are being widely investigated in recent technical papers. Some fixed wing VTOL UAVs utilizing tiltable ducted propellers. Within the scope of this thesis, experimental investigations of ducted propellers are performed. A detailed literature survey is given. Three different propellers and three different ducts and various combinations of these ducts and propellers are considered. Experiments are realized in a subsonic wind tunnel.

Ducts are manufactured using a CNC machine and each duct has a different aerodynamic cross section. These are NACA 0018, NACA 0012 and NACA 4312 cross sections. After manufacturing, firstly, the bare duct with NACA 4312 cross section is experimentally investigated by hot wire anemometry system to understand the effect of duct on free stream. Then, each ducts' drag is measured by using a force/moment transducer.

At second step, wake of bared propeller is surveyed by hot wire probe at several stations. The bare propeller's performance is searched in the static state and 20 m/s free stream velocity by using the force/moment transducer. Lastly, rotational speed and torque data are measured by torque transducer.

At third step, the velocity profile of the ducted propeller in the wake region is determined by using the hot wire anemometry system and the difference between the velocity profiles of bare propeller and ducted propeller systems are tried to be understood. Then, the pressure and velocity profiles are measured by using a seven-hole pressure probe inside and outside of the ducted propeller. The non-dimensional pressure data is compared with two dimensional pressure data of those aerodynamic profiles at the same Reynolds number. The axial forces of the duct and propeller in the ducted propeller system are measured separately by mounting a force/moment transducer under the duct and at motor housing. These measurements are performed for the static state and for 20 m/s free stream velocity. Obtained data are compared with the bare propeller data and the effect of shroud is tried to be identified. Rotational speed and torque data are measured by using a torque transducer and all experiments are repeated by changing the location of the propeller in duct. Thus, the effect of propeller location on performance of a ducted propeller is determined.

1. GİRİŞ

20. yy başlarından başlayarak gelişerek büyümeye devam eden havacılık teknolojisinde insansız hava araçları (İHA) mürettebat güvenliği sorununu ortadan kaldırması sebebiyle teknolojinin kendisiyle birlikte gelişmesine imkan vermiştir. Askeri alanlarda, keşif ve gözetleme görevlerinde, güvenliğin ve kentsel sorunların istihbaratında ve bilimsel olmak üzere birçok alanda görevlendirilmiştir. İHA'ların birçok farklı şekilde kavramsal tasarımı yapılabilmesi sebebiyle gerek eğitim kurumlarında gerekse ticari alanda birçok uygulamacı bu teknolojinin gelişimine destek olmuştur.

Düşey iniş-kalkış yapabilen uçakların (DİK) havaalanı gibi düzgün ve uygun bir zemine ihtiyaç duymadan kalkıp inebilme kabiliyetlerinden ve havada askıda kalabilme özelliklerinden dolayı, 1950'lerin başlarından itibaren çok farklı DİK modelleri üretilip uçurulmuştur.

İHA'ların arazi şartlarından etkilenmeksizin kolayca iniş kalkış yapabilmesi İHA'ların kullanım alanları açısından da yeni açılımlar sağlamaktadır. Bu sebeple bu çalışmanın da konusu olan dikey iniş kalkış yapabilen sabit kanatlı insansız hava araçları günümüzde oldukça çalışılan bir uygulama olmuştur.

1.1 Düşey İniş Kalkış Yapabilen Uçaklar

Sabit kanatlı uçaklara göre istenilen yere inip kalkabilmesi ve ayrıca düşük hızlarda daha iyi manevra kabiliyeti olması sebebiyle, helikopterlere göre ise daha yüksek seyir uçuş hızına ulaşabilmesi sebebiyle operasyonel ve deneysel birçok farklı özellikte DİK uçak modeli üretilmiştir.

Dikey iniş kalkış yapabilen uçaklar (DİK) ve kısa mesafede iniş kalkış yapabilen uçaklar (KMİK) performans olarak benzer özellikler gösterirler. DİK uçakları dikey iniş kalkış yapabilme kabiliyetinin yanında da sıradan sabit kanatlı uçakların seyir uçuşuna eş performansta seyir görevini gerçekleştirebilmektedir. KMİK uçaklarının DİK uçaklarından tek farkı olduğu yerde dikey kalkış yapabilmesi yerine 50 ft'lik

kalkış yüksekliğine yaklaşık 500 ft’te ulaşabilmesidir. Helikopterler ve Otogayrolar ulaşabilecekleri maksimum seyir hızı kısıtı sebebiyle teknik olarak DİK veya KMİK olarak düşünülemezler [1].

Dikey iniş kalkış yapabilmeyi veya kısa mesafede iniş kalkış yapabilmeyi birçok farklı metotla yapabilen uçaklar mevcuttur. Şekil 1.1’de bu metotlara göre gruplanmış uçak tipleri görülmektedir.



Şekil 1.1 : DİK uçakları ve dikey iniş kalkış metotları [2].

Birkaç dikey iniş kalkış metodu aşağıda tanıtılmıştır.

Kuyruk üstüne iniş-kalkış yapan uçaklar

Tail sitter denilen bu tip uçaklar kuyruk arkasına yerleştirilen iniş takımlarının üzerine dikey iniş kalkış yapabilen uçaklardır. Pervane ile veya jetle tahrik olunan

sistemleri mevcuttur. Şekil 1.2’de Convair XFY-1 uçağının dikey kalkış anındaki görüntüsü okuyucunun ilgisine sunulmuştur.



1.1.1 Convair-1 uçağının dikey kalkış görüntüsü [3].

Açı verilebilir kanat mekanizmasına sahip kanatlar

Tilt-wing denilen bu tip uçaklar iniş ve kalkış esnasında kanadıyla birlikte ucunda bulunan itki aracını yere göre dikey yönlendirerek iniş ve kalkışı gerçekleştirir. Şekil 1.3’te Hiller X-18 uçağının kalkışa hazırlanırken kanadını nasıl dik konuma getirdiği görülmektedir.

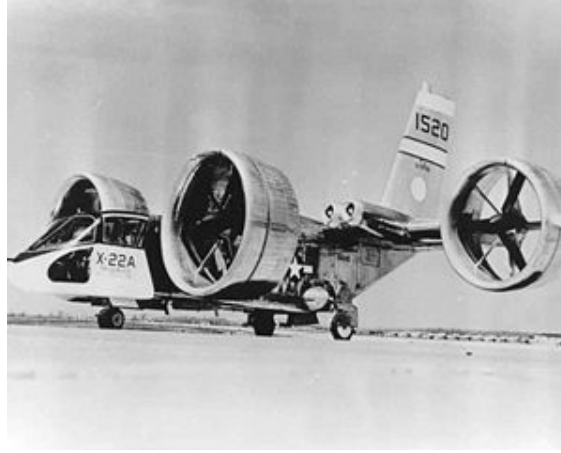


Şekil 1.2 : Hiller-18 uçağının kanatlarını kalkış anına hazırlaması [4].

İtki sistemlerini kalkış esnasında dik konuma getirebilen - Dönel itki sistemli uçaklar

Tilt-jet, tilt-ducted-propeller, tilt-rotor ve tilt shaft/rotor tipleri bulunan bu tip uçaklar dönel kanatlı itki sağlayıcılarının eksenini dikey konuma getirerek uçağın dikey iniş kalkış yapabilmesine imkan vermektedir. Bu tip uygulamada gövde veya kanat gibi

aksamlar hareket etmez. Şekil 1.4'te bu metot için örnek bir uçak okuyucunun dikkatine sunulmuştur.



Şekil 1.3 : Tilt-Ducted Fan metodu ile uçan Bell X-22 [5].

Yönlendirilmiş akım alanı metoduyla iniş-kalkış gerçekleştiren uçaklar

Deflected slipstream denilen bu tip uçaklarda düşük uçuş hızlarında (kalkış ve iniş anında) pervane akış alanı kanat-flap sistemi yardımıyla aşağıya doğru yönlendirilerek kısa mesafede iniş-kalkış yapabilme olanağını doğurmuştur. Şekil 1.5'te bu tip sisteme örnek bir uçak yer almaktadır.



Şekil 1.4 : Deflected Slipstream metodu ile uçan NASA/Ryan VZ-3RY NASA/Ryan VZ-3RY Vertiplane [6].

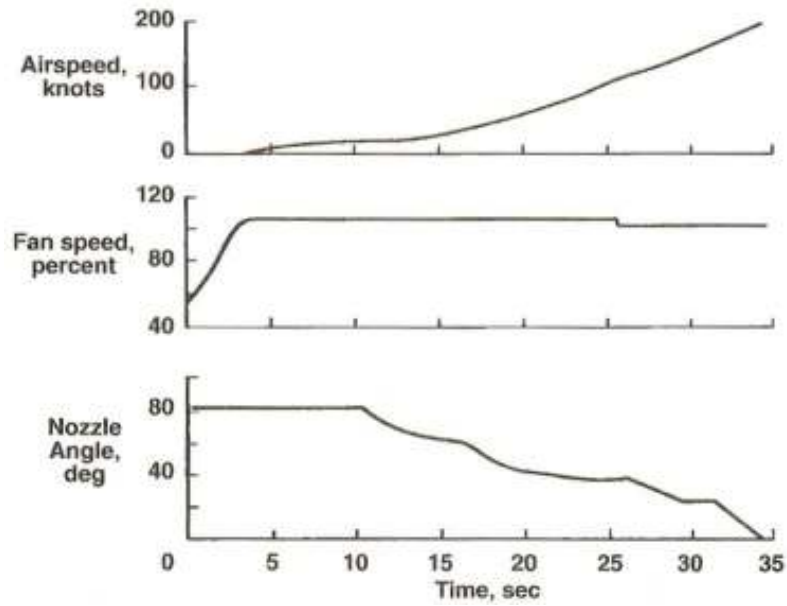
Yönlendirilmiş jet akım alanı yardımıyla iniş kalkış yapabilen uçaklar

Deflected jet veya vectored thrust denilen bu metot deflected slipstream metoduna benzer fakat jet motorundan çıkan egzoz gazı lüle yardımıyla yönlendirilerek dikey iniş kalkış gerçekleştirilir. Bu tip uçaklara bilinen en iyi örnek ise Harrier'dır (Şekil 1.6).



Şekil 1.5 : Dikey iniş yapan AV-8B Harrier II [7].

Şekil 1.7 Harrier'in ilk 35 saniyede dikey olarak havalanırken kendi uçuş hızının, fan dönüş hızının ve lüle açısının nasıl değiştiği grafiksel olarak göstermektedir.



Şekil 1.6 : Harrier uçağının dikey kalkış esnasında 35 sn boyunca yaşadığı değişim [8].

1.2 Dikey İniş Kalkış Yapabilen Uçaklar

1950'lerden itibaren çeşitli görevler için birçok insansız hava araçları üretildi. Özellikle son 10-15 senedir bu çalışmalar artarak devam etmektedir. Çizelge 1.1'de de belirtildiği gibi 2003 yılına kadar 238 farklı İHA çalışması olmuştur. 2005 yılına gelindiğinde ise bu sayı çok hızlı artarak 411'e ulaşmıştır.

Çizelge 1.1 : 2003 ve 2005 yılına kadar İHA ve DİK-İHA programlarının gelişimi [9].

Year	Total no. of UAV programs to date	Current programs	VTOL UAV aircraft			
			Rotorcraft	Tilt wing	Ducted fan	Other concepts
2003	238	55	0	0	0	0
2005	411	165	39	4	3	6

Dikey iniş kalkış yapabilen İHA'larla ilgili bilgiler de Çizelge 1.1'de ifade edilmiştir. Bu çizelgeye göre 2003 yılı öncesine kadar DİK-İHA çalışması olmamakla birlikte 2005 yılına gelindiğinde ise yapılan DİK-İHA çalışması sayısı çok hızlı bir şekilde artarak 52'ye ulaşmıştır. Bu uçakların büyük çoğunluğunu rotorlu araçlar oluşturmaktadır. Diğerlerini ise açılabilir kanat mekanizmalı, kuyruğunun üstüne iniş kalkış yapabilen, çırpın kanatlı, kanat içi fan ve kanal içi pervane tipli modeller oluşturmaktadır.

Sadece bir kanal içi pervane sisteminden oluşan dikey iniş kalkış yapabilen İHA'lar özellikle savaş alanında bir askerin taşıyabileceği büyüklükte olması, hedef belirleme, keşif ve tanıma görevlerini yapabilmesi sebebiyle popülerliği günümüzde artarak devam etmektedir. Çizelge 1.2'de bu tip uygulamaya örnek birkaç hava aracı yer almaktadır.

Çizelge 1.2 : DİK yapabilen birkaç kanal içi pervane sistemli İHA [10].

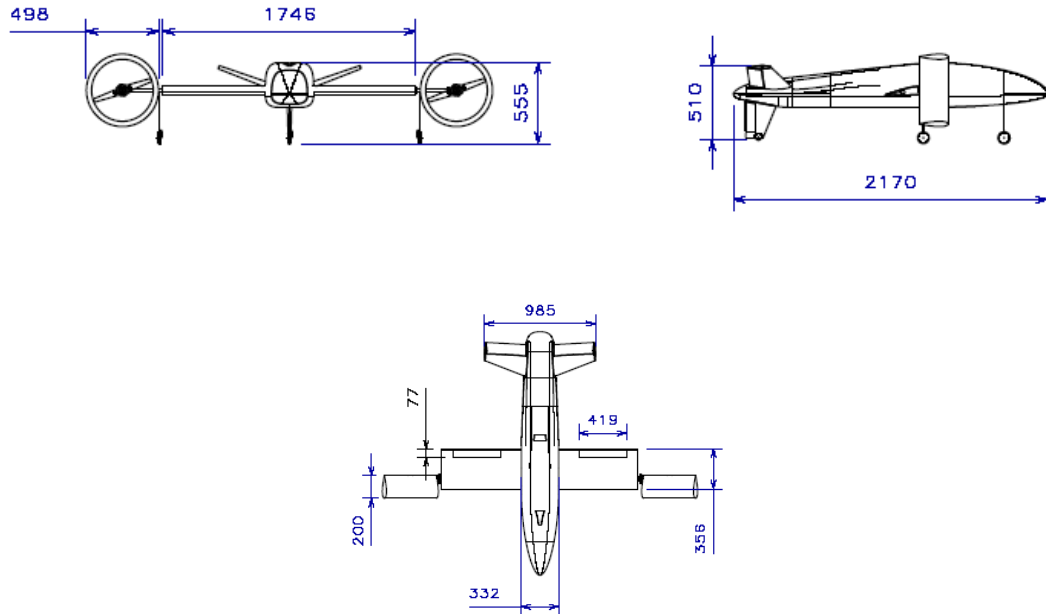
Araç İsmi	Çap (inch)	Yükseklik (inch)	Ağırlık (lbs)	Elektriksel Güç (hp)
Hiller flying platform	96	84	180	
AROD				52
Skorsky Cypher	74.4	24	240	50
Mass Helispy	11	27	6	
Istar	9	12	4	1.2
Dragon-Stalker			200	17
BAE IAV2	22	60	25	
Golden Eye- 50		27.5	22.04	
Honeywell MAV	13		16	4.2
Univ. of Rome UAV	39.3		200.6	42

Kanal içi pervane sistemlerine karşı artan bu aşırı ilgi sebebiyle bu konu teknik olarak da birçok çalışmaya konu olmuştur. Nitekim sabit kanatlı bir insansız hava aracında eksenini değiştirebilen kanal içi pervane sisteminin aksenal akış halinin araştırılması ve oluşturduğu performansın belirlenip geliştirilmesi bu çalışmanın asıl amacını oluşturmaktadır. Bu sebeple bundan sonraki bölümde kanal içi pervanenin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilecek ve ayrıca kanal içi pervane performansını etkileyen parametreler literatürle birlikte ayrıntılı olarak işlenecektir.

1.3 Daha Önce Tasarım Çalışması Yapılan DİK-İHA' ya Ait Bilgiler

Kanat ucundaki kanal içi pervane sistemi eksenini yere dik konumunda iken iniş-kalkış yapıp, eksenini yere paralel hale getirerek yatay uçuşa geçen sabit kanatlı, kanat ucu dönel kanal içi pervane sistemli DİK-İHA 3kg paralı yükü 500 m yüksekliğinde 20 m/s seyir uçuşunda seyir edebilmesi için tasarlanmıştır [11]. Yaklaşık 10 kg ağırlığında olan ve azami menzili 295 km olan DİK-İHA'nın geometrik özellikleri Şekil 1.8'de gösterilmektedir.

Kanal içi pervane sistemi başına üretilmesi beklenen itki yaklaşık olarak 50 N'dur. Bu amaçla ön tasarımındaki iniş takımları göz önüne alındığı zaman kanal içi pervane sistemi için dış çap 56 cm olarak belirlenmiştir [12].



Şekil 1.7 : DİK-İHA' nın üç görünüşü (ön, yan, üst) [13].

1.4 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Prof. Dr. Mehmet Şerif Kavsaoğlu danışmanlığında yapılan tez ve bitirme çalışmalarında görev isterlerine uygun olarak itki sistemi (kanal içi pervane sistemi) dönebilen sabit kanatlı DİK-İHA tasarlanmıştır. Tasarlanan bu uçağa uygun olarak bir kanal içi pervane sisteminin üretilip, performansının belirlenip geliştirilmesi bu tezin çalışma kapsamındadır. Nitekim sabit kanatlı bir insansız hava aracında ekseni değiştirilebilen kanal içi pervane sisteminin eksenel akış halinin araştırılması ve oluşturduğu performansın belirlenip geliştirilmesi bu çalışmanın asıl amacını oluşturmaktadır.

2. KANAL İÇİ PERVANE SİSTEMİ

Pervaneli itki sistemlerinin bir kanal içerisine yerleştirilmesi fikri 19. yy başlarında ortaya atılmış ve gerek hava gerekse deniz taşımacılığı uygulamalarında yer almaya başlamıştır. Kanal, pervanedeki uç etkilerinden kaynaklanan kayıpları önleyerek itkiyi arttırıcı rol oynar. Kanal geometrisi aynı zamanda rotora etkileyen hız ve basıncı belirlediğinden fan verimi üzerinde de önemli etkileri vardır. Bu tip uygulamalarda kullanılan kanallar genellikle aerodinamik kanat profillerine sahiptir. Düşük hız uygulamalarında kullanılan kanal geometrisi daralan yapıda ise kanal içerisindeki akışı hızlandırıcı etki yaparak da itkiye katkıda bulunur. Kanal içi pervane uygulamaları günümüzde özellikle düşük hızlı uygulamalarda tercih edilmekte ve DİK uçakları, hava yastıklı vasıtalar, uçan platformlar, ya da helikopter kuyruk rotorları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

2.1 Literatürdeki Benzer Çalışmalar

Kanal içi pervane hakkında ilk ciddi çalışmaları 1931 İtalya'sında Luigi Stipa deneysel olarak gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada statik halde ve düşük uçuş hızlarındayken kanal içi pervane sisteminde kanalın oluşturduğu katkı araştırılmıştır. Birkaç farklı sebepten dolayı Avrupalı bilim çevreleri 1934 yılında Almanya'da Kort'un yayınladığı çalışmayı kanal içi pervane çalışmalarının başlangıcı olarak saymaktadır. Bazı çevreler tarafından kanal içi pervane sistemine bu sebepten dolayı “Kort Lülesi” de denmektedir [14].

Bunun yanında Rus yazarlar Soloviev ve Churmak'ın 1948'de yayınlanan makalesinde kanal içi pervane ile ilgili ilk çalışmaların 1887 yılında F. A. Bricks tarafından yapıldığı ileri sürülmektedir [14]. 1930'lu yıllarda yapılan bu çalışmalar ve tartışmalar kanal içi pervane sistemi ile ilgili çalışmalara olan ilgiyi arttırmış ve çalışmaları yaygınlaştırmıştır.

Diğer taraftan, bu yıllarda karmaşık geometrisi nedeniyle akış yapısı ancak bazı yaklaşık teorilerle incelenebilmiştir. Bu çalışmalardan bir tanesi Kriebel'in çalışmasıdır [15]. Kriebel, kanal içi fan için bir akış modeli oluşturarak, kanala

etkiyen kuvvet ve momentleri analiz etmiş, kanal geometrisine uygulanan kamburluk, kalınlık ve koniklik açısının etkilerini incelemiştir. Aynı çalışmada fanın kanal içerisindeki konumunun itkiye ve verime etkileri de irdelenmiştir. Ancak söz konusu çalışma tamamen teorik olup deneylerle desteklenmemiştir.

Kanal içi fan yöntemi, DİK uçaklarında, kanat içi fan, gövde içi fan ya da dönel kanal (tilt duct) gibi farklı konfigürasyonlarla uygulama bulmuştur. Campbell [16], 1950-1960 yıllarında üretilen DİK uçakları üzerine yapılan çalışmaları ele alarak farklı konfigürasyonları üstünlük ve zayıflıklar yönünden karşılaştırmıştır.

Kanal içi fanlar, kanal çevresi ve rotor üzerindeki aerodinamik etkileşimler nedeniyle oldukça karmaşık bir akış yapısına sahiptir. Hücum açısı, uçuş hızı ve rotor indüklenmiş hızındaki değişimler çok farklı uçuş şartları oluşturur. Ayrıca, yer yakınındaki uçuşlarda yer etkisinin hem gövde hem de rotor üzerinde karmaşık etkileri vardır. Bu sebeple kanal içi fanların, DİK uçaklardaki uygulamalarına yönelik deneysel çalışmaların önemi giderek artmıştır.

Kriebel ve Mendenhall [17], iki farklı kanat ucu, kanal içi fan uygulaması için (Doak ve Bell X22-A) teorik ve deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, hücum açılı uçuşta kanal/pervane itki oranı, normal kuvvet ve yunuslama momenti değerleri ile kanal içi basınç dağılımı ve akım ayrılması olayları incelenmiştir. Teori ve deneysel sonuçlar arasındaki farklılığın temel nedeninin pala yüklemesinin varsayıldığı gibi düzgün dağılımlı olmamasından kaynaklandığı, pervanenin maruz kaldığı akış şartlarının belirlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Thompson ve Roberts [18] XAZ-1 deneysel uçağı için kanal içi pervane uygulamasını hayata geçirmiş ve testlerini gerçekleştirmiştir. Bu amaçla kullanılan pervane kanala uyarlanırken verilen burulma, kanal hücum kenarı yakınındaki akım ayrılmalarını azaltarak performansı arttırmıştır. Kanal, statik hal ve düşük hızlarda itkide belirgin bir artış sağlamış, fakat yüksek hızlarda itkinin hafifçe düştüğü gözlemlenmiştir.

Graf, Fleming ve Ng [19] kanal hücum kenarı eğrilik yarıçapı değişiminin, kanal içi pervane sisteminde statik itkiyi ve ileri uçuşta kanal yunuslama momentini, basınç dağılımını nasıl etkilediğini araştırmıştır. Büyük eğrilik yarıçapına sahip kanal statik itkiyi daha fazla artırırken küçük eğrilik yarıçapına sahip kanal ileri uçuşta ve yandan rüzgârın geldiği uçuş anında en iyi performansı verdiği gözlemlenmiştir.

Martin ve Tung [20] deneysel çalışmalarında 10 inç çapındaki kanalın hücum kenarının eğrilik yarıçapını ve pervane uç açıklığını değiştirerek kanalın pervane performansına etkisini incelemiştir. Bu çalışma değişik hücum açıları ve farklı serbest akım hızlarında tekrarlanmıştır.

Aktürk, Shavalikul, Camcı [21] beş inçlik kanal içi fan sistemini incelemişlerdir. Bu çalışmada sistemin askı durumundaki ve ileri uçuştaki aerodinamik karakteristiği PIV sitemi yardımıyla araştırılmıştır. Sistemin askı durumu için akış yapısında simetriklik mevcutken, ileri uçuş aşamasında hücum kenarına yandan gelen serbest akım sebebiyle ayrılma bölgesi olduğu için bu simetriklik bozulmuştur. Simetrikliğin bozulması momentte bir kararsızlığa ve akışın kanal çıkışında da simetrik olmamasına neden olmuştur. Ayrıca sistem hesaplamalı olarak da incelenmiştir. Bu incelemede fanı actuator disk olarak modellemişlerdir. Bu modelleme ile kanal giriş kesiti için deneysel sonuçlara uygun, kabul edilebilir veriler elde edilmiştir.

Fletcher [22] kesiti kanat profili olan ve bunların dairesel dağılımlı olduğu eşit yüzey alanına sahip beş farklı kanalın taşıma, sürüklenme ve yunuslama momenti karakteristiğini deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada 5 farklı açıklık oranlı ($d/c = 0.33, 0.66, 1, 1.5, 3$) kanallar incelenmiş ve dairesel dağılımlı profillerin açıklık oranının 2.4'ten küçük olduğu durumlarda düzlemsel dağılımlı profillere (normal kanatlar) göre daha yüksek L/D oranı ve düşük süzülme açısı oluşturduğu belirlenmiştir. Açıklık oranı arttıkça taşıma katsayısı eğimi artmış ve tutunma kaybı açısı (α_{stall}) azalmıştır. Ayrıca dairesel dağılımlı profillerin indüklenmiş sürüklenme katsayısı eliptik kanadın yarısı olduğu saptanmıştır.

Mort [22] 1.22m çaplı kanal içi fan sistemini değişik serbest akım hızlarında, değişik fan kanatçık hücum açıları ve değişik fan dönüş hızlarında teste tabii tutarak kanal içi fan sisteminin performansını incelemiştir. Fan kanatçıklarının yüksek hücum açıları düşük ilerleme oranlarındayken pervanenin tutunma kaybı (stall) yaşadığı ve ilerleme oranı ancak çok arttırılınca stalldan kurtulduğu gözlemlenmiştir. Fayda oranı (figure of merit) fan kanatçık hücum açıları küçük olduğu durumda daha iyi iken hücum açısı arttıkça önce bir miktar sabit kalıp sonra hızlı bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. İtke verimini yani yüksek hızlardaki verimi sabit ve iyi düzeylerde tutmak için fan kanatçık hücum açısı ilerleme oranı artarken arttırılmalıdır.

Abrego ve Bulaga [23] 38 inç çapında ve 10 inç uzunluğunda sabit burulma açılı 5 kanatçığa sahip bir kanal içi fan sisteminin statik ve serbest akıma maruz halinin performansını, kanal hücum açısını değiştirerek deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada da ilerleme oranı arttıkça fayda oranının azaldığı ve azalan hücum açısıyla itki veriminin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada kanal veterinin uzunluğunun değişmesinin, kanal içi fan performansına etkisinin olmadığı belirtilmiştir.

Kanal etkisi pervane uçlarında oluşan uç girdaplarını yok ettiğinden gürültüyü azaltıcı bir etkiye de sahiptir. Son yıllarda kanal içi fanlarda gürültü üreten mekanizmalar üzerine çok sayıda çalışma yapılmaktadır [25-28]. Bu gürültü mekanizmaları rotorlar üzerindeki ortalama yüklemeler, rotor /rotor etkileşimi ve rotor /stator etkileşimi, giriş kesitindeki türbülans gibi kaynaklardır.

2.2 Kanal İçi Pervane Performansını Etkileyen Parametreler ve Parametrelerin Literatürdeki Yeri

Yalın pervanenin etrafına kanal yerleştirilince, yalın pervanenin ve dairesel dağılımlı kanat profillerinden oluşan kanalın tek başlarına oluşturduğu aerodinamik karakteristiktan çok farklı bir karakteristik ortaya çıkmaktadır. Bu farklılığa sebep olan parametrelerin çok olması da bu konunun net olarak anlaşılıp araştırılmasını zorlaştırmaktadır. Geometrik değişkenleri; kanal değişkenleri, pervane değişkenleri ve diğer değişkenler olarak üçe ayırabiliriz [14].

1. Kanal değişkenleri:

- İç çap / veter uzunluk oranı
- Profil kalınlığı / veter oranı
- Profil kamburluğu
- Hücum kenarı eğrilik yarıçapı
- Veter hattının kanal simetri eksenine göre açısı (koniklik açısı)
- Profil firar kenarı açısı
- Maksimum kalınlığın yeri
- Pervanenin bulunduğu kesit çapının kanalın çıkış kesit çapına oranı
- Pervanenin bulunduğu kesit çapının kanalın giriş kesit çapına oranı

2. Pervane değişkenleri

- Pervane katılığı

- Pervane kanatçıının oturma açısı
- Burulma dağılımı
- Pervane profili (kalınlık, kamburluk, vs)
- Pervane veterinin radyal dağılımı (taper)

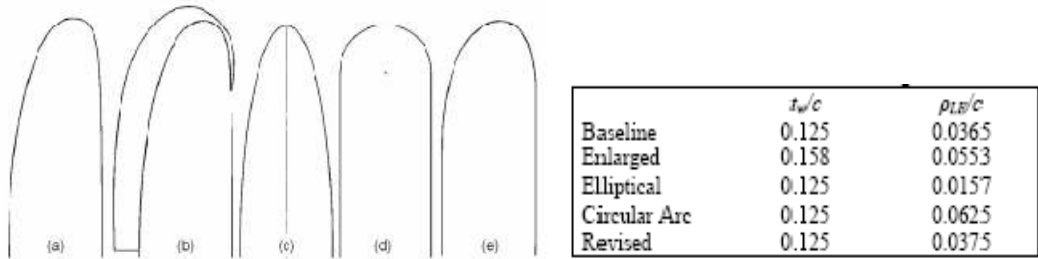
3. Diğer değişkenler

- Pervanenin kanal içindeki yeri
- Kovan çapının pervane çapına oranı
- Pervane uç açıklık oranı
- Kovanın şekli (burun yapısı, kuyruk yapısı, kalınlığının dağılımı, vs)
- Kovanın kanal içerisindeki konumu

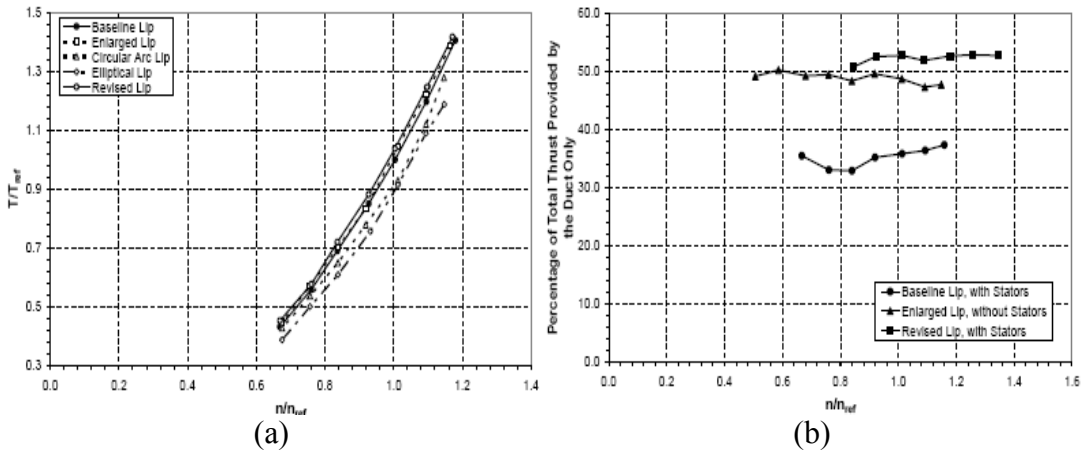
Geometrik değişkenlerin yanında aerodinamik değişkenler de mevcuttur; kanalın hücum açısı, pervanenin ilerleme oranı, Reynolds sayısı, Mach sayısı. Ayrıca bu kadar değişkenlere ek olarak kanal içi pervane performansını arttıracak ilave yapıların etkileri de söz konusudur. Bu tip yapılara örnek şunlardır; kontrol aygıtı olarak kullanılan slatlar ve flaplar, kovanın kanala montesinde kullanılan statorlar ve akış düzenleyicisi olarak kullanılan giriş ve çıkış düzenleyicileri. Yukarıdaki değişkenlerden bazılarının etkileri, aşağıda literatürden alınan örneklerle açıklanmaya çalışılacaktır.

2.2.1 Hücum kenarı eğrilik yarıçapının etkisi

Will Graf [28] yaptığı çalışmasında kanalın statik itkisi için hücum kenarı eğrilik yarıçapının kanalın profil kalınlığından daha etkili olduğunu ileri sürmektedir. Şekil 2.1’de hücum kenarı eğrilik yarıçapı etkisi incelenirken kullanılan modeller verilmiştir. Buna göre (a) temel modeli, (b) genişletilmiş, (c) eliptik, (d) dairesel ve (e) modeli ise geliştirilmiş (revised) modeli göstermektedir [28].



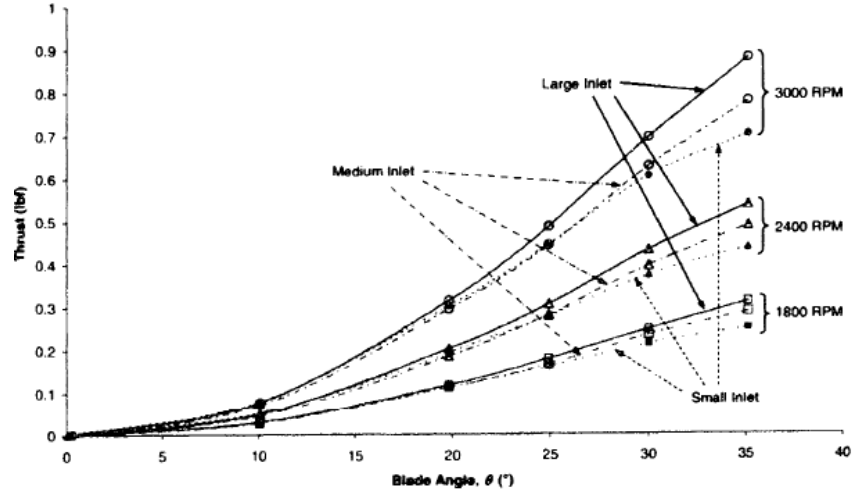
Şekil 2.1 : Hücum kenarı eğrilik yarıçapı etkisi incelenirken kullanılan modeller



Şekil 2.2 : (a) Beş farklı hücum kenarı eğrilik yarıçapının statik itkiye etkisi, (b) üç farklı hücum kenarı eğrilik yarıçapına sahip kanal içi pervanede kanalın toplam itkideki oranı [28].

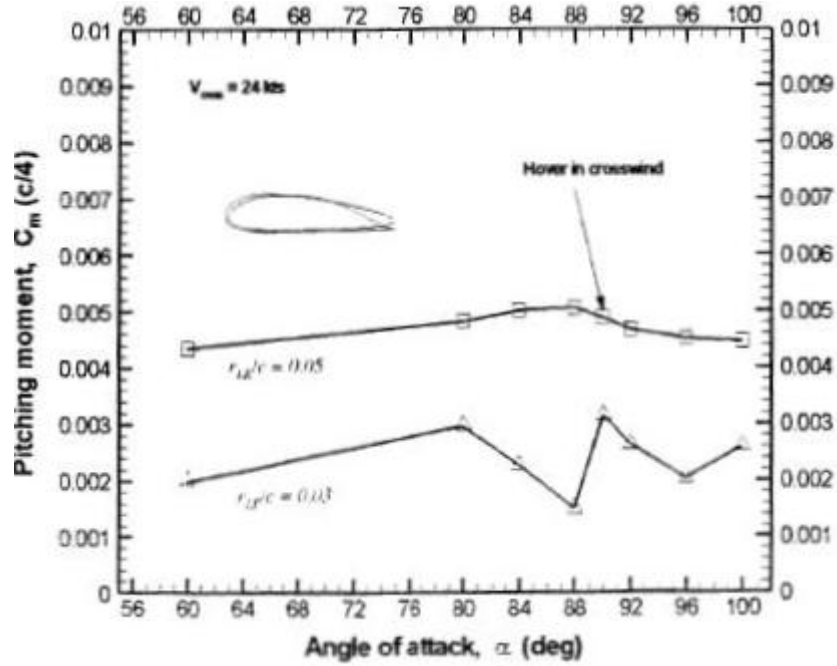
Şekil 2.1’de beş farklı hücum kenarı eğrilik yarıçapının boyutları gösterilmiştir. Eğrilik yarıçapı en büyük olan genişletilmiş model, en küçük olan ise eliptik modeldir. Şekil 2.2(a) ve (b)’de boyutlu itki kuvveti ve dönüş hızları değerleri sırasıyla, model ağırlığı ve model ağırlığını dikey kaldırabilecek fan dönüş hızı ile boyutsuzlaştırılmıştır. Aynı dönüş hızlarında en yüksek itkiyi, yenilenmiş hücum kenarı eğrilik modeli sağlamaktadır. Daha büyük eğrilik yarıçaplarına sahip olan genişletilmiş ve dairesel modeller akışın gelişmesine izin vermediği için akım ayrılmalarına sebep olmuşlar ve düşük itki değeri vermişlerdir. Ayrıca Şekil 2.2-b’de de görüldüğü gibi temel hücum kenarı eğrilik modeline sahip kanal, toplam itkinin yaklaşık olarak 35%’ini oluştururken, yenilenmiş modele sahip kanal toplam itkinin yarısından fazlasını oluşturmaktadır [28].

Dyer [29] de üç farklı büyüklükte eğrilik yarıçapına sahip eş boğaz çaplı kanal içi fan sisteminden elde edilen itki değerlerini fan kanatçık hücum açısı değişimine ve fan dönüş hızına göre çizdirmiştir. Büyük eğrilik çapı 1 inch, orta büyüklükteki 0.5 inch, en küçüğü ise 0.125 inch’tir. En büyük statik itki değerini en büyük eğrilik çaplı olan vermektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Farklı eğrilik yarıçaplarındaki kanal içi fan itki değerlerinin karşılaştırılması [29].

Büyük eğrilik yarıçapına sahip profiller genelde daha iyi statik itki vermelerine rağmen, askı halinde yandan rüzgar geldiği durumlarda ya da kanalın -90 derece hücum açısıyla yatay seyir yaptığı hallerde hücum kenarı iç kısmında akım ayrılma karakteristiği büyüdüğü için ilave yunuslama momenti artışına sebep olur (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Hücum kenarı eğrilik yarıçapının yunuslama momentine etkisi [20].

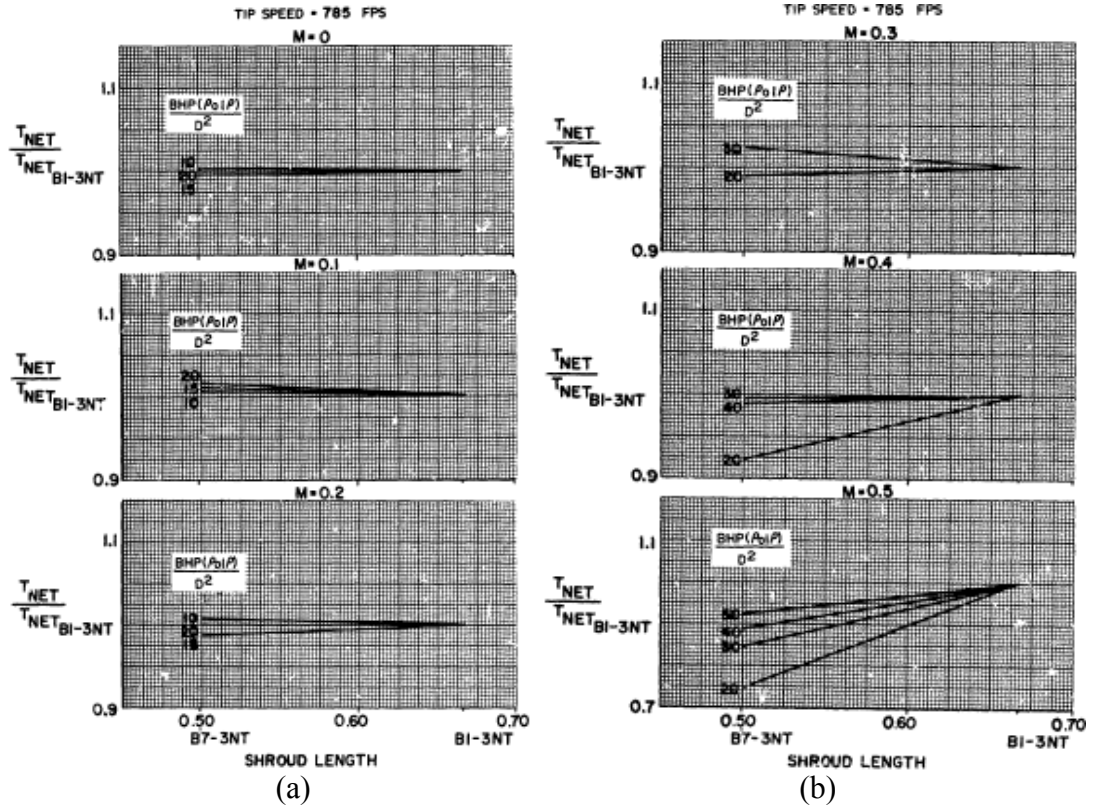
2.2.2 İç çap uzunluğu / veter uzunluğunun performansa etkisi

İç çap uzunluğunun veter uzunluğuna oranını diğer bir deyişle açıklık oranını ($AR=d/c$) incelemek için Fletcher, beş farklı AR 'ye sahip yalın kanalın ($AR=0.33, 0.66, 1, 1.5, 3$) rüzgar tüneline deneylerini gerçekleştirmiştir [21]. Açıklık oranı aynı olan düzlemsel kanada göre dairesel dağılımlı profile sahip kanal yaklaşık olarak iki kat daha büyük taşıma katsayısı eğimine sahiptir. Ayrıca eliptik kanadın yarısı büyüklüğünde indüklenmiş sürüklenme yaratır.

Abrego ve Bulaga'nın çalışmasında, kanal içi pervane sisteminde kanal boyu değişiminin performansa etkisi incelenmiştir. İki farklı uzunlukta ($c=10$ inch ve 15 inch) kanalla yapılan deneysel çalışmada itkinin kanal boyuyla çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir [23].

Black ve Wainauski [31] de kanal içi pervane sistemlerinde açıklık oranının performansa etkisini deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada düşük uçuş hızlarında itki performansları çok değişmezken, daha uzun olan temel kanal modeli (B1-3NT) yüksek hızlarda, $M=0.4$ ve 0.5 , sırasıyla ortalama 3.5% ve 18.5% daha fazla itki verir (Şekil 2.5).

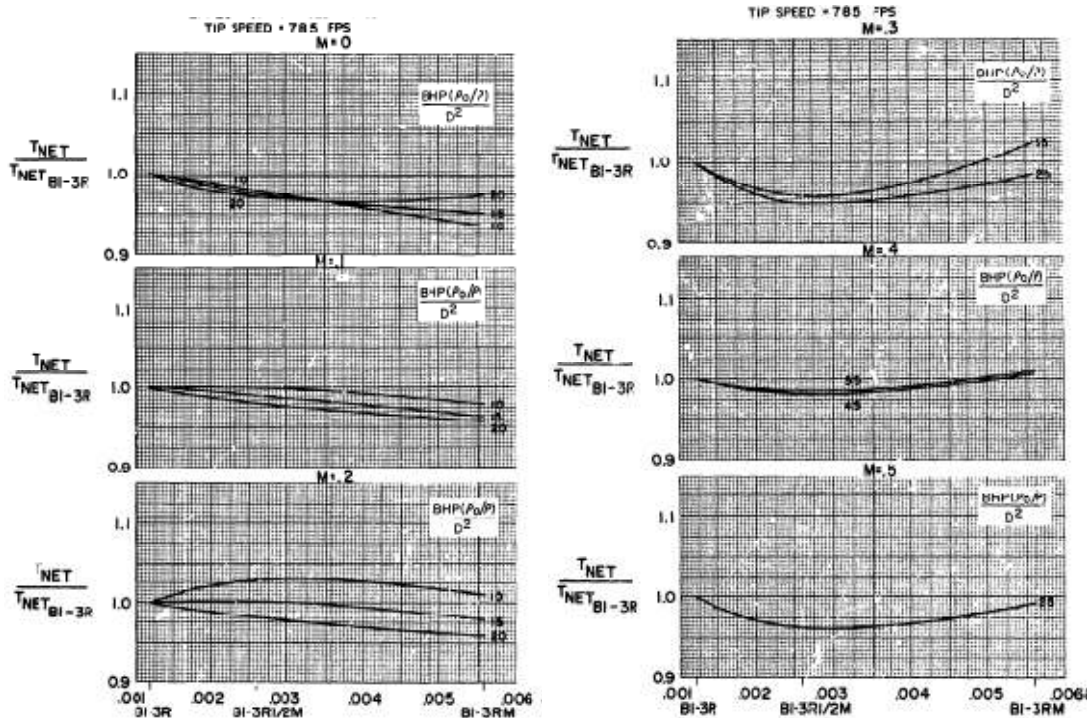
Difüzyon oranı büyük olan kanallar görece daha kısa modellerinde akışın gelişip yayılmasına olanak vermez, kanal boyu uzatılınca akış daha rahat yayılarak stall gibi durumların oluşmasını engeller. Böylece itki oranlarında kıyaslamalı bir artış görülür.



Şekil 2.5 : Kanal boyunun kanal içi fan performansına etkisi [31].

2.2.3 Pervane uç açıklık oranının performansına etkisi

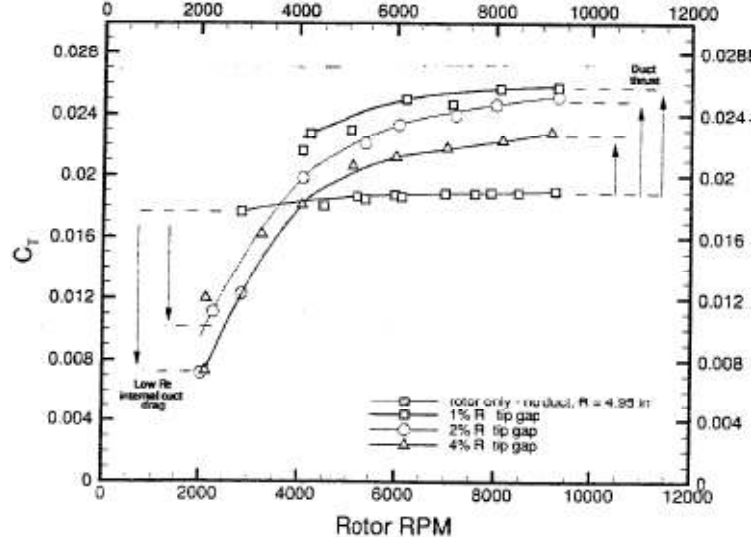
Pervane ucu ile kanal iç yüzeyi arasında kalan boşluğun, pervanenin bulunduğu kanalın iç çapına bölünmesiyle elde edilen değere pervane uç açıklık oranı denir. Black ve Wainauski deneysel çalışmasında üç farklı uzunluktaki pervanenin etrafına aynı iç çapta kanal monte ederek pervane uç açıklık oranının etkisi araştırmıştır [31]. Bu çalışmada dikdörtgensel pervane (3R) çapının yüzde 1/8, 1/4 ve 1/2 oranında uç açıklığına sahip temel kanal modeli için deneyler gerçekleştirilmiş ve dikdörtgensel pervaneli, 1/8 % uç açıklıklı temel kanal modelinin (B1-3R) itki değeriyle boyutsuzlaştırılarak çizdirilmiştir (Şekil 2.6). Bu çalışmada genel olarak $M=0.2$ değerine kadar uç açıklık oranı arttıkça net itkinin de azaldığı söylenebilir. $M=0.2$ olduğu durumdan daha yüksek Mach sayılarında en büyük itki en büyük uç açıklığında oluşmaktadır. Bu durumun sebebi de kanal sınır tabakasının pervane ucuyla girdiği etkileşim olduğu belirtilmektedir. Uç açıklık oranı önemli parametredir fakat görev tanımı ve üretim olanakları göz önüne alınarak belirlenmelidir.



Şekil 2.6 : Uç açıklık oranının kanal içi fan performansına etkisi [31].

Diğer bir çalışmada ise pervane yarıçapının 1%, 2% ve 4% oranında uç açıklığı olan üç kanal içi fan modeli kıyaslanmıştır [20]. Bu çalışmada en küçük uç açıklık oranına sahip sistemde yüksek dönüş hızlarında kanal, yalnız pervane itkisinin 38%'ini üretmektedir (Şekil 2.7).

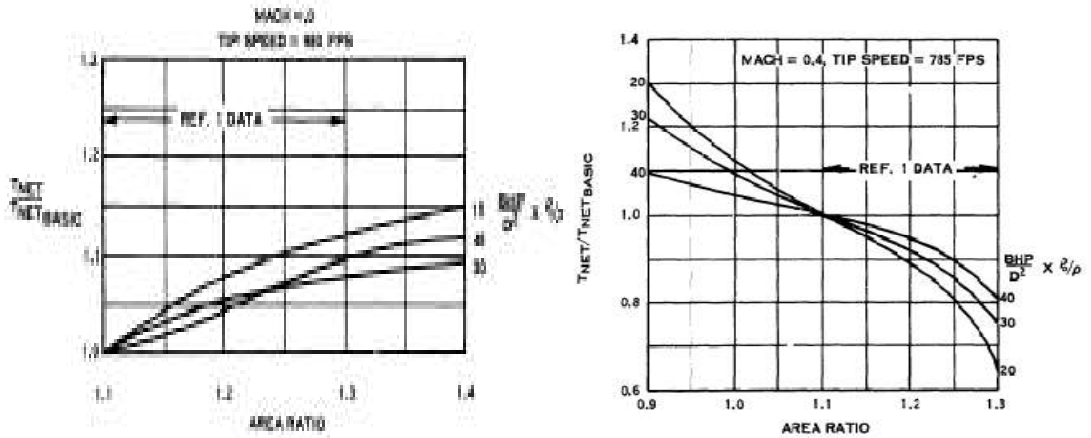
Ayrıca düşük dönüş hızlarında, büyük uç açıklık oranlarında kanal ile pervane akımı artık etkileşime girememektedir. Bu sebeple kanal serbest akım hızı altında pervaneden bağımsız gibi hareket eder ve sadece sürüklenme yaratır. Uç açıklık oranı azaldıkça uç açıklık oranının getirdiği fayda da azalmaktadır. Bu nedenle uç açıklık oranı ne toplam itkiyi azaltacak kadar çok fazla ne de üretim imkanlarını ve maliyeti zorlayacak kadar çok az seçilmelidir.



Şekil 2.7 : Farklı uç açıklık oranlarında itki katsayısının fan dönüş hızıyla değişimi [20].

2.2.4 Alanlar oranının performansa etkisi

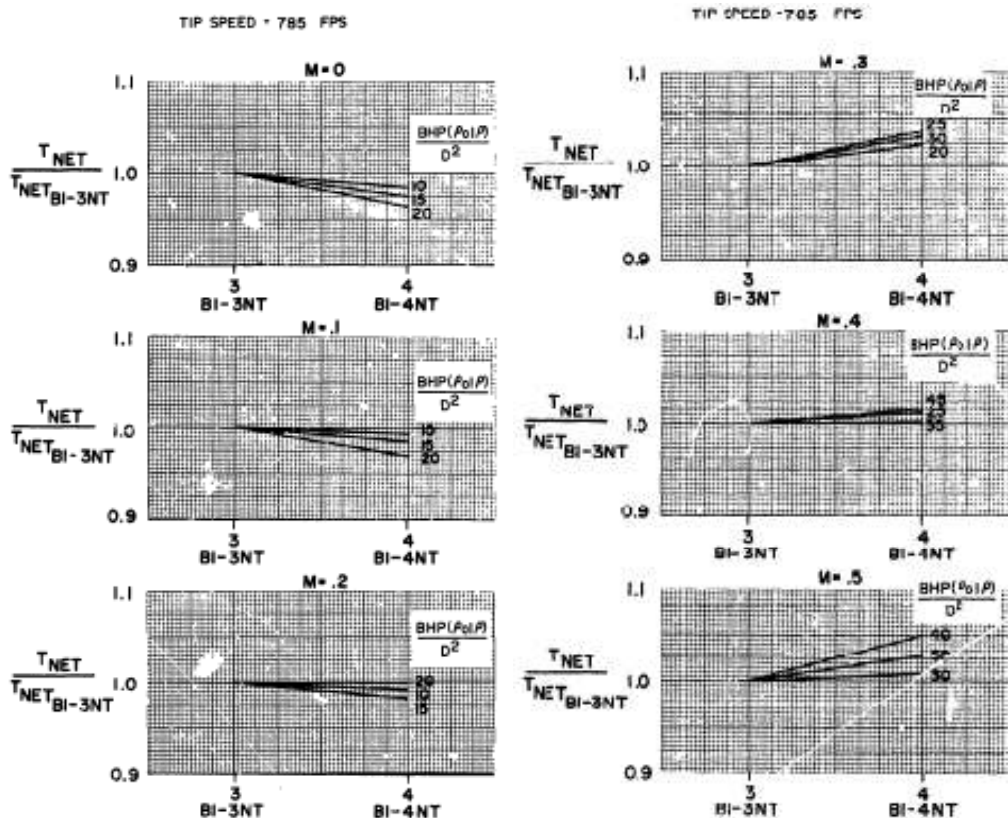
Teorik çalışmalardan da bilindiği gibi kanal çıkış kesit alanının pervanenin bulunduğu kesit alanına oranının değişimi statik itkiyi büyük oranda etkilemektedir. Fakat indüklenmiş kütle akışın artması ve difüzyon sürüklemesi seyir performansını kötü etkilemektedir. Literatürdeki çalışmalardan alanlar oranının bir ve birden küçük olduğu durumların, yüksek hızlı seyir uçuşu performansını iyileştirdiği fakat statik itki performansının da kötüleşmesine neden olduğu bilinmektedir. Bunun yanında alanlar oranının örnek olarak 1.4 olduğu durumda ise tam ters etkinin, statik performansın iyileşmesi yüksek hız performansının kötüleşmesi şeklinde, oluştuğu gözlemlenmektedir (şekil 2.8).



Şekil 2.8 : Alanlar oranının kanal içi fan performansına etkisi [32].

2.2.5 Pervane planformunun ve sayısının performansa etkisi

Black ve Wainauski çalışmasında aynı katılık oranına sahip üç ve dört kanatçıklı ucu dar tipli pervanenin (3NT ve 4NT) performansa etkisini değişik güç yüklemelerinde deneysel olarak incelemiştir [31]. Aynı tip kanal (B1) içerisinde incelenen bu iki tip pervanenin aktiflik oranı dışında bütün şekil karakteristikleri aynıdır. $M=0.2$ 'ye kadar olan düşük hız performansında üç kanatçıklı pervane daha fazla itki üretirken, daha yüksek hızlara çıkıldığında ($M=0.4$, $M=0.5$) dört kanatçıklı pervane daha fazla itki üretir (Şekil 2.9). Güç yüklemesi değişimi ($BHP \cdot (p_0/\rho) / D^2$) de itki oranını çok değiştirmemektedir. Düşük hızlarda, kanal itkisi aynı katılıktaki pervane sayısı değişiminden etkilenmemektedir. $M=0.3$, 0.4 , 0.5 değerlerinde ise dört kanatçıklı pervane kanal itkisine arttırıcı yönde katkı yapar.

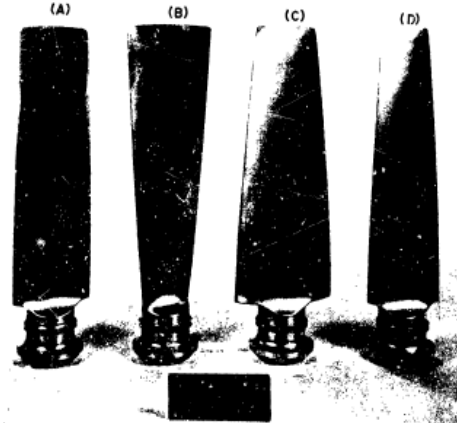


Şekil 2.9 : Pervane sayısının kanal içi pervane performansına etkisi [31].

Pervanenin performansı kanalın indüklediği akıştan etkilendiği gibi pervanenin indüklediği akış da kanal yüzeyindeki basınç dağılımını etkileyerek kanal performansını belirler. Her kanal tipi gelen serbest akımı farklı şekilde yönlendirdiği için kanal tipi ve görev tipi için farklı geometride pervane tasarlanmalıdır.

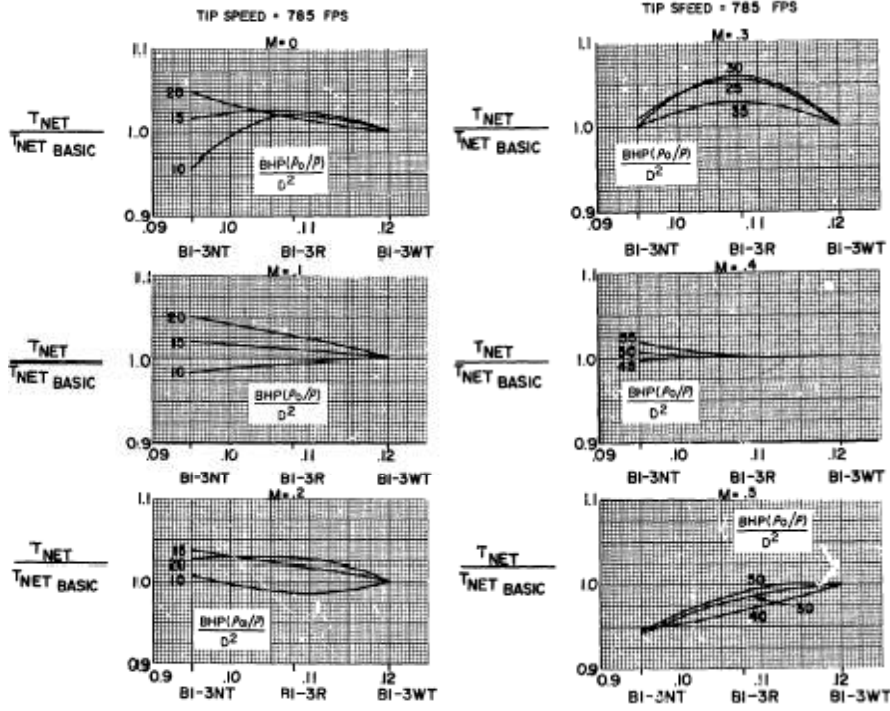
Bu sebeple aynı tip kanal içerisine (B1) aynı çapta, kamburlukta, katılıkta, kanatçık sayısında (3) ve aynı aktiflik oranında, yani eş miktarda güç çekebilmekte olan, farklı sirkülasyon dağılımı olan 3 farklı pervane modeli ile kanal içi pervane performansı deneysel olarak incelenmiştir [31]. Dikdörtgensel dağılıma sahip kanatçık (3R) seyir uçuşunda en iyi performansı vermesi için tasarlanmıştır.

Yükleme dağılımı referans alınarak uçta daha fazla yük dağılımı oluşacak şekilde ucu geniş kanatçık (3WT), köke doğru daha fazla yük dağılımı olacak şekilde de ucu dar kanatçık (3NT) tasarlanmıştır (şekil 2.10).



Şekil 2.10 : Pervane planform etkisini incelemek için kullanılan pervaneler: (a) 3R (b) 3WT (c) 3NT (d) 4NT [31].

Her pervane tipinin performansı Mach sayısı, uç hızı ve güç yüklemesine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 2.11). Şekil 2.11’de sistemlerden elde edilen itki B1-3WT sisteminden elde edilen itki değeri ile boyutsuzlaştırılıp kanatçık uç veterinin pervane çapına oranına göre çizdirilmiştir. Genel olarak ucu dar tipli pervane $M=0.2$ ’ye kadar daha iyi performans sağlarken, $M=0.2$ ’den sonra dikdörtgensel ve ucu geniş tipli pervane daha iyi sonuç vermektedir.



Şekil 2.11 : Pervane planformunun kanal içi fan performansına etkisi [31].

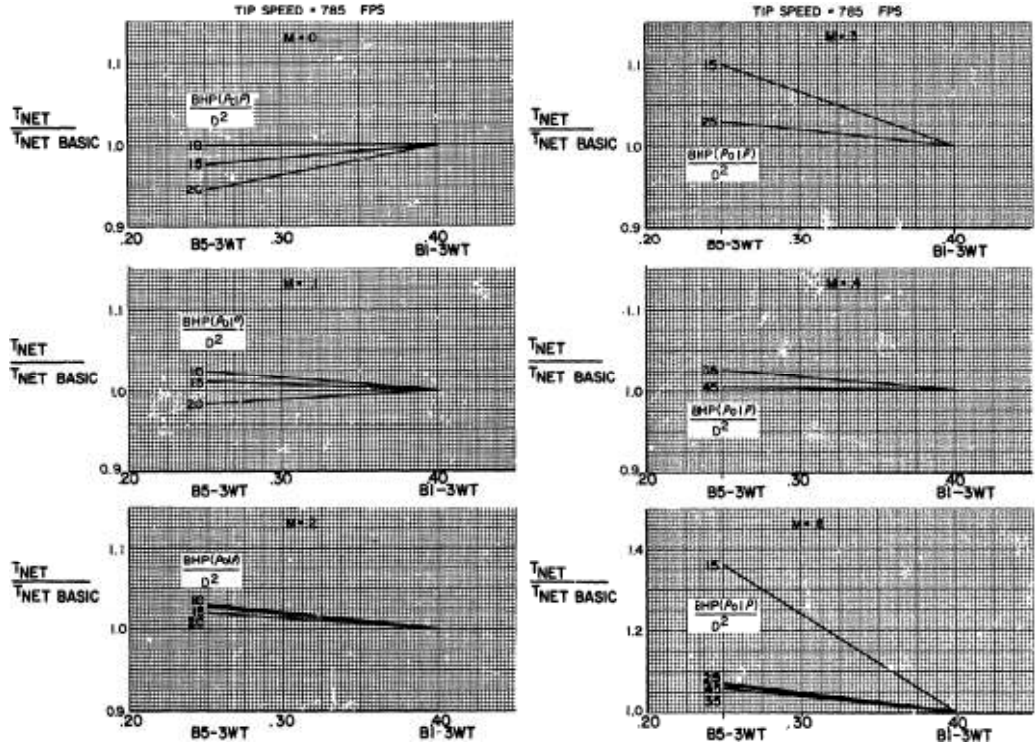
Sonuç olarak pervane planformunun değişikliği bulunduğu kanalın performansında çok fazla değişiklik göstermeden daha çok pervanenin performansını etkilemiştir. Pervanedeki sirkülasyon dağılımının kanal içi pervane performansında beklenenden daha az etkili olduğu görülmüştür.

2.2.6 Pervane yerinin performansa katkısı

Black ve Wainauski, pervanenin kanal içindeki yerinin performansa etkisini incelemek için temel kanal modeli (B1) içerisinde temel pervane modeli (3WT) kanalın hücum kenarından veterin 40%'ına (B1-3WT) ve 20%'sine (B5-3WT) yerleştirilerek deneysel ölçümler yapmıştır [31]. Bu ölçümler alınırken uç açıklık oranı da sabit kalmıştır.

Pervanenin yerini incelemek iki sebepten dolayı çok önemlidir. Birincisinde, eğer pervane görece önde olursa akış, rahatça yayılıp genişlemesine yetecek yere sahip olacaktır. İkincisinde ise, eğer pervane görece daha arkaya yerleştirilirse kanalın hücum açısı aldığı durumlarda oluşan asimetrik akış sebebiyle oluşabilecek asimetrik yük dağılımından pervane daha az etkilenecektir.

Statik halde görece arkadaki pervane konfigürasyonu daha iyi itki sağlamaktadır fakat serbest akım hızı arttıkça öndeki pervane konfigürasyonunun (B5-3WT) itki değeri de giderek artar (Şekil 2.12). Mach sayısı arttıkça B5-3WT'nin performansı artar, $M=0.5$ 'te temel konfigürasyondan ortalama olarak 13% daha fazla itki sağlar. Ayrıca bu iki konfigürasyonda da pervaneden elde edilen itki değerleri yaklaşık olarak birbirlerine eşittir. Yani Mach sayısı arttıkça öndeki pervane konfigürasyonunda kanal itkisi artmaktadır.



Şekil 2.12 : Pervane yerinin kanal içi pervane performansına etkisi [31].

Sonuç olarak kanal alanlar oranının ifade ettiği difüzyon oranını sağlayabilecek kadar pervane arkasında yeterli mesafe yoksa özellikle yüksek serbest akım hızlarında akış genişleyemeyerek istenen difüzyon oranı sağlanamayacak ve kanaldan beklenen itki de düşecektir.

2.3 Kanal İçi Pervane Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları;

- Statik halde ve düşük seyir uçuş hızlarında kanal ilave itki ürettiği için aynı çapta daha fazla itki kuvveti elde edilebilir veya aynı itki kuvveti daha küçük çapta bir kanal içi pervane sistemi tarafından üretilebilir.

- Kanal, pervanedeki uç etkilerinden kaynaklanan kayıpları önleyerek itki artırır.
- Pervaneler fan içine alınmadığı zaman pervanelerin oluşturduğu hava akımı kanat ile girişime neden olur. Dikey uçuş safhasında bu girişim etkisi kanat üzerinde çok büyük basınç yaratır. Tilt-rotor tipindeki var olan uçaklar bu basıncı azaltmak için özel flap mekanizmaları kullanır. Fanlı olan tasarımımızda ise böyle ek mekanizmalara ihtiyaç olmayacağından ağırlık ve maliyet düşürülebilir [11].
- Fanlar doğal olarak kanat-ucu plakası gibi etki yapacaktır. Bu sayede kanat daha etkin olacağından daha küçük kanat boyutları kullanılabilir. Dolayısıyla ağırlık ve maliyet avantajı sağlanabilir.
- Daha az titreşim ile gürültü azaltılıp malzeme ömrü arttırılabilir. Artan malzeme ömrü sayesinde işletme maliyetleri düşürülebilir.
- Kanalın pervane etrafına geçirilmesi ile sistem daha emniyetli bir yapı olacaktır.

Dezavantajları;

- Yüksek seyir uçuş hızlarında kanal sürüklemesi hızın karesi ile arttığı için belirli bir hızdan sonra kanaldan elde edilen avantaj dezavantaja dönüşür.
- Pervanenin etrafına kanal geçirilmesi, yapısal ağırlığın artmasına sebep olacaktır.

3. KANAL İÇİ PERVANE PERFORMANSINA ANALİTİK YAKLAŞIM

Kanal içi pervane genel teorik problemi şu şekilde ifade edilebilir : Kamburluk ve kalınlık dağılımı belli olan dairesel dağılımlı bir kanat profili içerisinde pervane diski, basıncın süreksiz olduğu bir düzlem olarak temsil edilir. Akış yapısının detaylarını belirlemek için yüzeyler üzerindeki basınç değerleri integre edilerek aerodinamik kuvvetler, momentler ve toplam verim değerleri elde edilebilir. Kutta şartında belirtildiği gibi kanal firar kenarındaki hız ve akıştaki statik basınç, sonsuzdaki serbest akım değerlerine eşit olmalıdır.

Kanal içi pervane sistemi analitik olarak üç farklı uçuş şartı için incelenir; statik durum (askıda kalma hali), eksenel akış durumu (dikey tırmanma veya ileri uçuş hali) ve eksenel olmayan akış durumu (dönel kanal içi pervane sisteminde geçiş hali).

Kanal içi pervanenin literatürde en fazla incelenen teorik hali eksenel akış halidir. Bu teorik incelemeler iki farklı analitik metotla yapılır. Birincisi momentum yöntemiyle, ikincisi de klasik tekillik metoduyla araştırılır.

3.1 Momentum Yaklaşımı (Aktuatör Disk Teorisi) [1]

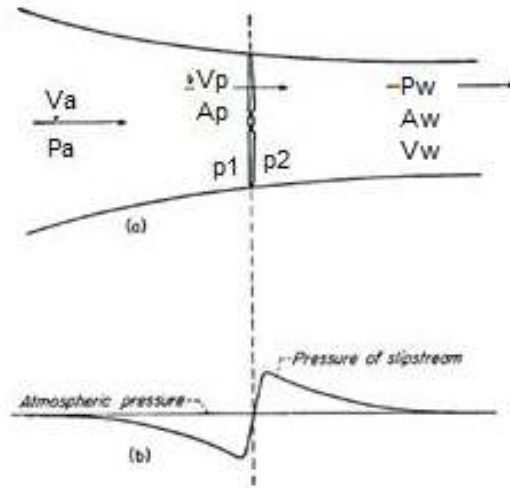
Newton'un 2. kanununa dayanan bu yöntemle çok kısa sürede itki kuvveti ve güç değeri hakkında bilgi edinilebilir. Eksenel akışta yalın pervaneden elde edilen toplam itki, pervaneden geçen birim zamandaki kütleinin pervane önünde ve arkasında oluşan sonsuzdaki hızların farkının çarpımı olarak ifade edilir.

$$T_{yp} = \dot{m}_{flow} (V_w - V_a) = \rho A_p V_p (V_w - V_a) \quad (3.1)$$

Bu yaklaşımda pervane, momentum ve enerji veren aktuatör disk olarak ele alınır ve pervanenin sonsuz sayıda kanatçıktan oluştuğu, disk boyunca sabit basınç farkı yarattığı ve indüklediği hızın disk boyunca sabit kaldığı kabul edilir. Eksenel hız pervane düzlemini geçerken süreksizliğe uğramadan geçer. Pervane izindeki akışta dönme yoktur. Akışta sürtünme kuvvetlerinin ihmal edildiği, dönmenin olmadığı ve akışın sıkıştırılmaz, daimi olduğu kabul edilir.

Bu kabuller altında yalın pervane sistemini incelerken sonsuzdan gelen akışın V_a hızı ile gelip, pervaneden V_p hızı ile geçip, pervane arkasında sonsuzda V_w hızına ulaştığı kabul edilmiştir (Şekil 3.1). Statik değerler ise V_a değerinin 0 olduğu durumları içerir. Bu şartlarla yalın pervaneden elde edilen itki (T_{yp}) Denklem 3.1’de ifade edilmiştir. Ayrıca pervane düzleminde oluşan basınç farkından da pervanenin oluşturduğu itki kuvveti elde edilebilir.

$$T_{yp} = A_p(\Delta p) = A_p(p_2 - p_1) \quad (3.2)$$



Şekil 3.1 : Yalın pervane disk modeli : (a) hız dağılımı (b) basınç dağılımı.

Bernoulli denklemi yardımıyla pervanenin önünde ve arkasında oluşan basınç farkı, $p_a = p_w = p_\infty$ olduğundan, hızlar cinsinden ifade edilebilir. Bu ifadeyi Denklem 3.2’de yerine koyarak itkinin basınç farkı cinsinden ifadesini elde ederiz. Bu iki denklem birbirlerine eşitlenirse pervane indüklediği hızın pervane önünde sonsuzda ve arkasında sonsuzda oluşan hızların toplamının yarısına eşit olduğu görülür.

$$V_p = \frac{1}{2}(V_w + V_a) \quad (3.3)$$

Süreklilik denklemini pervane akış alanında uygularsak,

$$V_p A_p = A_w V_w \quad (3.4)$$

alanlar oranı aşağıdaki şekilde bulunur. Pervane bölgesindeki hıza, $V_p = V_a + w$ dersek, $V_w = V_a + 2w$ olur.

$$\frac{A_p}{A_w} = \frac{V_w}{V_p} = \frac{V_a + 2w}{V_a + w} \quad (3.5)$$

Statik halde alanlar oranı 2 olur. Bu bilgilerle itki kuvvetini yeniden yazalım.

$$T_{yp} = \rho A_p (V_a + w) 2w \quad (3.6)$$

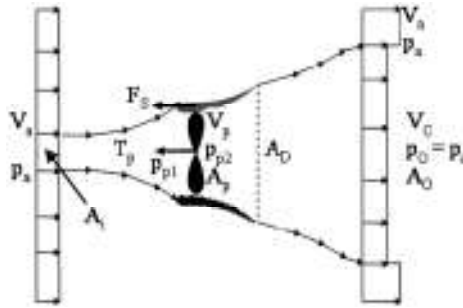
Kinetik enerji eşitliğinden de harcanan güç isteri çekilebilir.

$$P_{yp} = T_{yp} (V_a + w) = \rho A_p (V_a + w)^2 2w \quad (3.7)$$

Pervane verimi ise yararlı gücün, harcanan güç değerine bölünmesiyle elde edilir.

$$\eta_p = \frac{T_{yp} V_a}{T_{yp} (V_a + w)} = \frac{1}{1 + \frac{w}{V_a}} \quad (3.8)$$

Kanal içi pervane sisteminde ise yine aynı şekilde pervane önünde sonsuzdan akışın V_a hızı ile gelip, pervane düzleminde V_p hızına ulaşır, kanalı terk ettikten sonra pervane arkasında sonsuzda V_o hızına ulaştığı kabul edilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Kanal içi pervane sisteminin aktüatör disk modeli [34].

Yalnız bu sefer kanal daralan veya genişleyen olma tipine göre pervaneye gelen akışı hızlandırır veya yavaşlatır. Sonrada kanal pervanesinin indüklediği akışı genişletir ve basıncını atmosfer basıncına kadar yükseltmeye çalışır.

$V_o = V_a + \Delta V$ şeklinde kabul edilirse, Newton'un ikinci kanuna göre toplam (pervane + kanal) itki kuvveti aşağıdaki şekilde yazılır.

$$T = \dot{m}_{flow} (V_o - V_a) = \dot{m}_{flow} \Delta V \quad (3.9)$$

Harcanan güç yine kinetik enerji dengesinden yazılır.

$$P = \frac{1}{2} \dot{m}_{flow} (2V_a + \Delta V) \Delta V \quad (3.10)$$

Pervane verimi aynı şekilde ifade edilir.

$$\eta_p = \frac{\dot{m}_{flow} \Delta V V_a}{\frac{1}{2} \dot{m}_{flow} (2V_a + \Delta V) \Delta V} = \frac{2V_a}{2V_a + \Delta V} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11'deki ifadeden de görüldüğü gibi ΔV oranını ne kadar küçültebilirsek, harcanan güç o kadar düşer ve verim o kadar artar. Bu sebeple kanal alan oranı genelde birden küçük seçilir. Kanal alan oranını şu şekilde tanımlanır.

$$\emptyset = \frac{A_p}{A_D} \quad (3.12)$$

Yalın pervanede statik hak için yukarıda da belirtildiği gibi alan oranı 2 olarak bulunmuştur. Alan oranı 2'den küçük seçildiği her durumda pervane arkasında daralan akışın kanal tarafından genişletileceği ön görülür. Toplam itki (T) alanlar oranı cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilir

$$T = \dot{m}_{flow} \Delta V = \rho A_o (V_a + \Delta V) \Delta V = \rho \frac{A_p}{\emptyset} (V_a + \Delta V) \Delta V \quad (3.13)$$

Buradan ΔV hızı çekilirse Denklem (3.14) elde edilir.

$$\Delta V = \frac{-V_a + \sqrt{\left(V_a^2 + 4\emptyset \frac{T}{\rho A_p}\right)}}{2} \quad (3.14)$$

Bu bilinenlerden sonra harcanan gücün toplam itkiye oranı ve verim aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{P}{T} = \frac{1}{4} \left(3V_a + \sqrt{\left(V_a^2 + 4\emptyset \frac{T}{\rho A_p}\right)} \right) \quad (3.15)$$

$$\eta = \frac{4V_a}{3V_a + \sqrt{\left(V_a^2 + 4\emptyset \frac{T}{\rho A_p}\right)}} \quad (3.16)$$

Kanal içi pervane sisteminde pervane itkisi (T_{kp}) basınç farkı cinsinden ifade edilebilir. Basınç farkı Bernoulli denklemi sayesinde hız farkları cinsinden ifade edilebilir ve sonuç şu şekilde yazılabilir.

$$T_{kp} = A_p (\Delta p) = \rho A_p \left(V_a + \frac{\Delta V}{2} \right) \Delta V \quad (3.17)$$

Pervane itkisinin toplam itkiye oranı alanlar oranı cinsinden yazılırsa

$$\frac{T_{kp}}{T} = \frac{\rho A_p \left(V_a + \frac{\Delta V}{2} \right) \Delta V}{\rho \frac{A_p}{\emptyset} (V_a + \Delta V) \Delta V} = \emptyset \frac{V_a + \frac{\Delta V}{2}}{(V_a + \Delta V)} \quad (3.18)$$

elde edilir.

3.2 Klasik Tekillik Metodu [14]

İdeal, sonsuz ve sıkıştırılmaz kabulleri ile potansiyel girdap (vorteks) halkaları metodunun indüklediği hızların matematiksel ifadeleri uzun zamandır bilinmektedir. Bu gibi tekillikler kanal veteri boyunca sonsuz küçüklükte dağılmış sirkülasyonlardan oluşmaktadır. Bunların süperpoze edilebilmesiyle, sıfır kalınlıktaki

kanalda kanal içi pervane problemi ele alınır.

Veter boyunca hız dağılımı bilindiği için kanal kamburluk hattı belirlenir ya da tam tersi kamburluk hattından hız dağılımı belirlenebilir. Eksenel akışta, statik halde prosedür şu şekilde ele alınır.

- Kanal içi pervane ve izi, yarı sonsuz dairesel silindir olarak kabul edilir. Serbest akım hızı boyunca dairesel silindir etrafına girdap halkaları dağıtılır. Firar kenarında Kutta şartını sağlayabilmek için, kanal veter gerisinde birim uzunlukta girdap gücü sabit kalır. Girdap halkalarının indüklediği eksenel ve radyal hızlar referans [34]'teki integraller ile hesaplanır.
- Sınır şartları devreye sokularak kanal yüzeyine dik hız bileşenleri sıfıra eşitlenir. Sonuç hız, yüzeye paralel olur.

$$\frac{dR}{dx} = \frac{V_r}{V_o + V_x} \quad (3.19)$$

- V_r ve V_x değerleri girdap dağılımının indüklediği radyal ve eksenel hızları temsil eder ve yukarıda belirtilen integrallerden elde edilir. Denklem-19'da ifade edilen R_x fonksiyonu kamburluk hattı için ilk iterasyon değerini verir.
- Daha önce dairesel silindir ve izi boyunca konulan girdap dağılımı, yukarıdaki şartlar uygulanarak hesaplanan kamburluk hattı boyunca yerleştirilerek yeni kamburluk hattı elde edilir ve istenen değere kadar iterasyon devam ettirilir.

Yukarıda belirtilen çözüm sayesinde veter hattı boyunca kanal içi pervane akış yapısı ve girdaplılık dağılımı belirlenmiş oldu. Kanal kalınlığı ve kovan şekli de ilave tekillik eklenerek hesaba katılabilir. Kanalın indüklediği akış yapısı artık bilindiği için daha uygun pervane de tasarlanabilir. Değişik girdap dağılımları ve fraklı kabullerle birçok farklı teorik çalışma yapılmıştır.

4. DENEY APARATLARI VE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Bu çalışmada referans alınan DİK-İHA için seçilmiş olan NACA 0018 kanat profiline sahip kanal başlangıç olarak kullanılmıştır [12]. Daha sonra kalınlık oranının etkisini belirlemek için NACA 0012 ve kamburluk etkisini belirlemek için NACA 4312 kanat profili kesitine sahip kanallar kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde bu deneyler gerçekleştirilirken kullanılan donanım ve ölçüm sistemleri ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

4.1 Deney Aparatları

4.1.1 Motor

Referans [12]'de belirtildiği gibi bir fırçasız elektrik motoru kullanılmıştır. Kullanılan Neu 1515-1,5Y motorunun dayanım limitleri şu şekildedir; maksimum voltaj: 40 V, sürekli güç limiti 1250 W, son güç limiti 2500 W, maksimum dönüş hızı 60Krpm [35]. Motorun çapı 38.9 mm, ağırlığı 0.34 kg ve dişli kutusu 5.2:1 özelliğindedir.

4.1.2 Hız kontrol aygıtı, alıcı-verici

Seçilen pervane motor ile döndürülürken bu gücü bir güç ünitesinden almaktadır. Bu güç ünitesi ile motor arasında verilen gücü ayarlamak için ESC (elektronik hız kontrolörü) kullanılmaktadır. ESC sistemi bir alıcı sistemine bağlı olarak bulunmaktadır. Bu sayede dışarıdan bir verici (kumanda) ile istenilen güç miktarı ayarlanabilmektedir. Bu sistemin bağlantı şeması Şekil 4.1'de okuyucun dikkatine sunulmuştur. Bu sistemde ESC olarak Phoenix HV-85 sistemi kullanılmıştır. Bu sistemin üst limitleri şu şekildedir; maksimum voltaj: 50V, maksimum amper: 85A [35]. Verici olarak 4 kanallı HİTEC Laser 4 adlı kumanda ve alıcı olarak da HİTEC HFS-06MT adlı 6 kanallı alıcı ve 35 MHz FM dönüştürücü kristali kullanılmaktadır.



Şekil 4.1 : Elektronik hız kontrol ünitesi bağlantı şeması [36].

4.1.3 Güç ünitesi

Başlangıçta 12 volt, 60 amperlik aküler tercih edilmiştir fakat sonra tekrar şarj etme sorunu sebebiyle sabit güç kaynağına geçilmiştir. Bu amaçla 1500 watt'lık RSP-1500-27 tek çıkışlı güç kaynağı kullanılmıştır. Bu güç kaynağı ana elektrik şebekesinden aldığı elektriği 27 volt, 56 A şeklinde ortalama değer olarak ayarlayarak dışarıya vermektedir. Voltaj değeri +/- 4 volt olarak ayarlanabilmektedir. 0 ile 56 amper arasında da istenilen amper miktarı voltaj sabit kalarak çekilebilmektedir.

4.1.4 Rüzgar tüneli

Deneyler Eiffel tipi ses altı rüzgar tüneline gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2). Rüzgar tüneli açık ve emme tipi rüzgar tüneline dir. Deney odası büyüklüğü ise 80x80 cm'dir.



Şekil 4.2 : Eiffel tipi 80x80 açık deney odalı rüzgar tüneli [37].

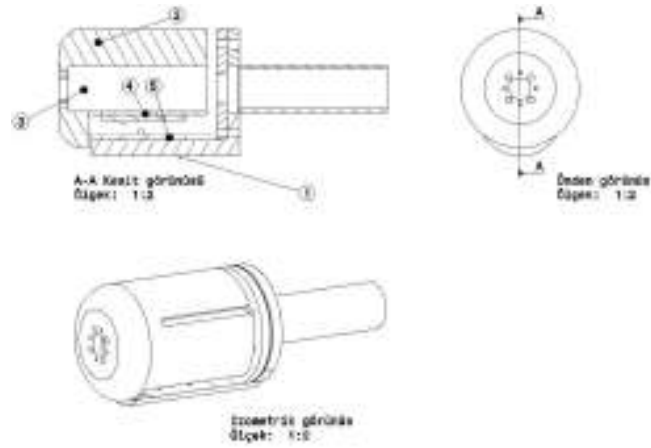
4.1.5 Pervaneler

Kanal içi pervane deneylerinde 3 tip hatve oranına sahip pervane kullanılmıştır. Seçilen hatve değerleri 8" (0.1968 m), 10" (0.2540 m) ve 12" (0.3048 m) dir. Kullanılan 16 inçlik pervaneler şunlardır:

LXEYG7-APC-16x8, LXEYG8-APC-16x10, LXEYG9-APC-16x12 Thin Electric Propeller.

4.1.6 Kovan

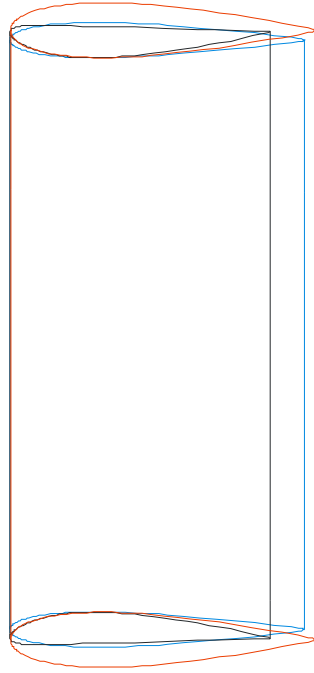
Seçilen elektrik motorunu tutacak ve aynı zamanda pervane itkisini ölçmek için kullanılacak olan kuvvet duyargasını monte etmeye uygun yer teşkil edecek şekilde bir kovan sistemi tasarlanmıştır. Bu kovan sistemi CNC-freze tezgahında Cestamide maddesinden teknik çizime uygun şekilde üretilmiştir (şekil 4.3). şekilde 1 nolu parça ile duyarganın alt kısmından sistem yere sabitlenir. 2 nolu parça 3 nolu parçayı yani motoru saran parçadır. 4 ve 5 nolu parçalar ise sırasıyla duyarganın st ve alt yüzeyiyle bağlantıyı sağlayan ara elemanlardır.



şekil 4.3 : Motor kovanı teknik resim grntř.

4.1.7 Kanallar

Kanal içi pervane performansını belirlemek için ilk önce referans alınan DİK-IHA için seçilen NACA 0018 kanat profiline sahip kanal üretildi. Kanalin en dar i çapı sabit tutularak kalınlığın etkisini belirlemek için NACA 0012 ve kamburluğun etkisini belirlemek için ters NACA 4312 kanat profili kesitine sahip kanallar İT Trisonik Laboratuvarı bünyesindeki CNC-freze tezgahında üretildi. Simetrik profilli kanallar pleksiglastan, NACA 4312 kanat profilli kanal ise köpükten üretilmiştir. Kanalların en dar kesitleri st üste iken orantılı resmi şekil 4.4'te sunulmuştur, geometrik oranları ise izelge 4.1'de ifade edilmiştir. şekil 4.4'te siyah kanal NACA 4312, mavi kanal NACA 0012, kırmızı kanal ise NACA 0018 kesitli kanalı temsil etmektedir.



Şekil 4.4 : Üç kanalın üst üste kesit görüntüsü.

Çizelge 4.1 : Kanalların geometrik özellikleri.

Geometrik Özellikler / Kanallar	NACA0018	NACA0012	Ters NACA 4312
Kanal Dış Yarıçapı	253.55mm	238.70mm	235.53mm
Kanal İç En Dar Yarıçapı (d)	211.67mm	211.67mm	211.67mm
Kalınlık (t)	41.88(mm)	27.03(mm)	23.86(mm)
Kalınlık Oranı (t/c)	0.18	0.12	0.12
Kanal Profili Veter Uzunluğu (c)	232.61mm	225.18mm	200 (mm)
Açıklık Oranı (d/c)	0.90997	0.93998	0.91395
Hücum Kenarı Eğrilik Yarı Çapı (r_{LE})	17.96mm	8.39mm	7.32mm
Eğrilik Yarı Çapı Oranı (r_{LE}/c)	0.07723	0.03607	0.03147
Çıkış Yarıçapı	232.61mm	225.18mm	231.60mm
Alanlar Oranı	1.09893	1.06385	1.09415
Giriş Yarıçapı	232.61mm	225.18mm	231.60mm

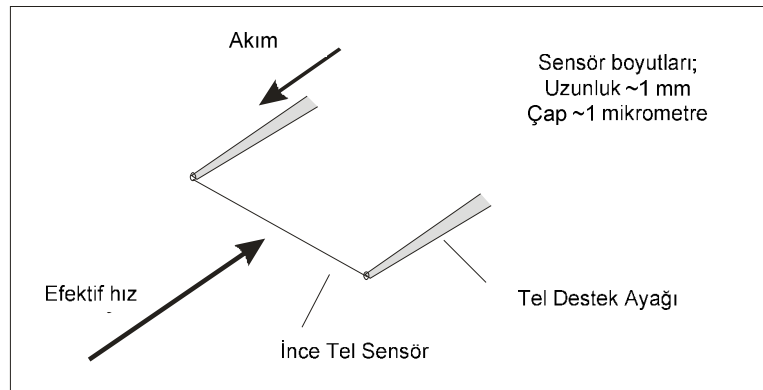
4.2 Ölçüm Sistemleri

4.2.1 Dijital pensampermetre

Kanal içi pervane sisteminde pervanenin tahrik edilebilmesi için güç ünitesinden güç çekebilmelidir. Çekilen güç miktarı dışarıdan ESC ile ayarlanır. Ne kadar güç çekildiğini öğrenmek için güç ünitesinin verdiği akım ve voltaj değeri ölçülmelidir. Pensampermetrenin kısıkaçlarının ortasından kabloyu geçirerek güç ünitesinden çekilen amper miktarı ölçülmüştür. Voltaj değeri direkt güç ünitesinden pensampermetrenin kabloları sayesinde ölçülmüştür. Bu ölçümlerde Uni-T 203 pensampermetresi kullanılmıştır. Pensampermetre AC ve DC akım ve voltajı ölçebilmektedir. DC voltajı 0'dan 600 V'a +/- 0.8%+1 hata ile DC amperi 0 ila 40A veya 0 ila 400A +/-2.5%+5 hata ile ölçebilmektedir.

4.2.2 Sıcak tel anemometresi

Yalın kanal, yalın pervane ve kanal içi pervane sistemlerinin önünde, içinde veya arkasında hız taramaları yapılırken sıcak tel anemometresi kullanıldı.



Şekil 4.5 : Sıcak tel probu.

Sabit sıcaklıklı sıcak tel anemometresinde (CTA) hızı ölçmek için küçük tel proplar kullandı. Şekil 4.5'deki gibi tel, destek ayaklarından proba gelen akım sonucunda telde I^2R 'lık bir ısı açığa çıkar ve tel akım sabitken sabit sıcaklıktadır. Tel, akışın olduğu bir ortama konulunca efektif hızla doğru orantılı olarak, taşınımla, soğuyacaktır. Işıma ve iletimle soğuma, tel ve prop ayakları çok küçük olduğundan ihmal edilmektedir. Tel bu soğuma sebebiyle başka bir sıcaklıkta sabitlenir. Bir önceki sıcaklığa gelmek için voltaj arttırılarak sıcaklık dengeye getirilir. Böylece voltaj farkı ile efektif hız arasında bir bağıntı kurulmuş olur.

Deneye geçmeden önce hız değeri bilinen değişik serbest akımlarda voltaj farkları ölçülerek sıcak tel sisteminin kalibrasyonu yapılır ve deney sırasında ölçülen voltaj farkları bu kalibrasyon kullanılarak hız büyüklüğüne dönüştürülür.

Yapılan deneylerde Dantec Streamline sıcak tel sistemi kullanılmaktadır. Sistem; bilgisayar, CTA modülü, kalibrasyon ünitesi ve sıcak tel probundan oluşmaktadır. CTA modülü ise anemometre ve sinyal koşullayıcıdan oluşmaktadır. Kanal önündeki ve arkasındaki taramalarda küçük, düz sıcak tel probu (P11), kanal içerisinde sınır tabaka taramalarında sınır tabaka probu (P14) kullanılmıştır.

4.2.3 Yedi delikli basınç probu

Yedi delikli basınç probu kanal içi pervane sisteminde kanal içersinde, dışarısında ve iz bölgesinde basınç ve hız ölçmek için kullanılmıştır. Basınç probunun çok delikli olması sebebiyle akış hızı üç boyutlu olarak ölçülebilmektedir. Her delik ayrı olarak bir basınç duyargasına bağlıdır. Akış merkez basınç deliğine dik şekilde gelirse bu merkez basınç deliğinden toplam basınç ölçülür, diğer karşılıklı deliklerde karşısındakine benzer basınç değerlerinin ölçülmesi beklenir. Eğer akış hız vektörü merkez basınç deliğine dik değil ise diğer basınç deliklerinden ölçülen basınç değerleri simetrik ve birbirine benzer olmayacaktır. Uygun kalibrasyon ile buradan ölçülen değerlerden akışın prop eksenini ile arasında oluşan açı ölçülebilir. Bu sistemde prop eksenini ile akışın ortalama hız vektörünün arasında yetmiş derece olduğu duruma kadar ölçüm alınabilmektedir.

Basınç ölçümlerinde Aeroprobe ölçüm sistemi kullanılmıştır. Ölçüm sistemi, bilgisayar, kontrol ünitesi ve proptan oluşmaktadır.

4.2.4 Altı bileşenli kuvvet/moment duyargası

Yalın kanalın, yalın pervanenin ve kanal içi pervanede pervanenin ve kanalın ürettiği 3 bileşende kuvvet ve 3 bileşende momenti ölçmek için ATI Mini-40 adlı kuvvet/moment duyargası kullanılmıştır. Kuvvet duyargası maruz olduğu kuvvet ve momenti silikon strain gage yardımıyla analog sinyale dönüştürerek kontrolöre gönderir. Strain gageler kuvvet ve moment etkisiyle uzayıp kısalarak dirençleri değişen aygıtlardır. Wheatstone köprüsüne bağlı strain gagelerin kuvvet ve moment etkisiyle dirençleri değişmesi sebebiyle devredeki ölçülen voltaj farkı değişir. Uygulanan kuvvet ve momente karşılık ölçüm sonucunda voltaj farkı elde edilir.

Ölçüm sistemi duyarga, kalibrasyon dönüştürücü kutusu (mux kutusu), kontrolör ve bilgisayardan oluşur.

Kuvvet/tork duyargası 2 kalibrasyon seçeneğinde ayarlanmıştır. Kalibrasyon seçenekleri ve bu seçeneklere bağlı ölçüm aralığı ve çözünürlük değerleri Çizelge 4.2’ de ifade edilmiştir.

Çizelge 4.2 : Kuvvet / moment duyargası kalibrasyona bağlı ölçüm aralığı ve çözünürlük değerleri.

Kalibrasyon	F _x ,F _y	F _z	T _x ,T _y	T _z	F _x ,F _y	F _z	T _x ,T _y	T _z
SI-40-2	40 N	120 N	2 Nm	2 Nm	1/100 N	1/50 N	1/4000 Nm	1/4000 Nm
SI-80-4	80 N	240 N	4 Nm	4 Nm	1/50 N	2/25 N	1/2000 Nm	1/2000 Nm
	Ölçüm Aralığı				Çözünürlük			

4.2.5 Dönüş hızı / tork ölçer

Verilen güce karşılık kanal içi pervane sisteminde pervanenin dönüş hızı değişmektedir. Pervanenin dönüş hızı elde edilen sonuçları ifade ederken çok belirleyici bir parametredir. Ayrıca verilen güce karşılık bu gücün ne kadarının itki amaçlı kullanıldığını öğrenebilmek için tork değerinin de bilinmesi gerekir. Bu sebeplerle dönüş hızı ve torkun ölçülmesi gerekir. Duyarganın ölçüm hatası 0.5%’den azdır. Duyarga 5 ile 1000 Nm arasında tork, 22000 devir/dakika’ya kadar dönüş hızı ölçebilmektedir.

5. DENEYSEL KURULUM VE DENEYLER

Bu çalışmada pervane etrafına geçirilen kanalın, genel sistemin ve pervanenin performansını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu amaçla üç farklı kanat profili kesitindeki kanallar pervane etrafına geçirilerek deneysel araştırma yapılmıştır.

Yalın kanalın içinde ve arkasında sıcak tel ile hız taramaları yapılmış ve kanalın tek başına akış yapısını nasıl değiştirdiği araştırılmıştır. Kanal içerisinde sınır tabaka ölçümleri yapılmıştır, sınır tabaka gelişimi belirlenmiştir. Ayrıca yalın kanalın değişik serbest akım hızlarında yarattığı sürüklemeler ölçülmüştür. Kanal içerisindeki akış yapısının ayrıntılı incelenmesi için dumanla akım görüntüleme tekniği de kullanılmıştır.

Yalın pervanenin ise arkasında sıcak tel yardımıyla değişik dönüş hızlarında ve farklı istasyonlarda hız taramaları gerçekleştirilmiş, akış yapısı araştırılmıştır. Ayrıca yalın pervanenin, farklı serbest akım hızları altında ve değişik dönüş hızlarında oluşturduğu itki kuvveti ölçülmüştür.

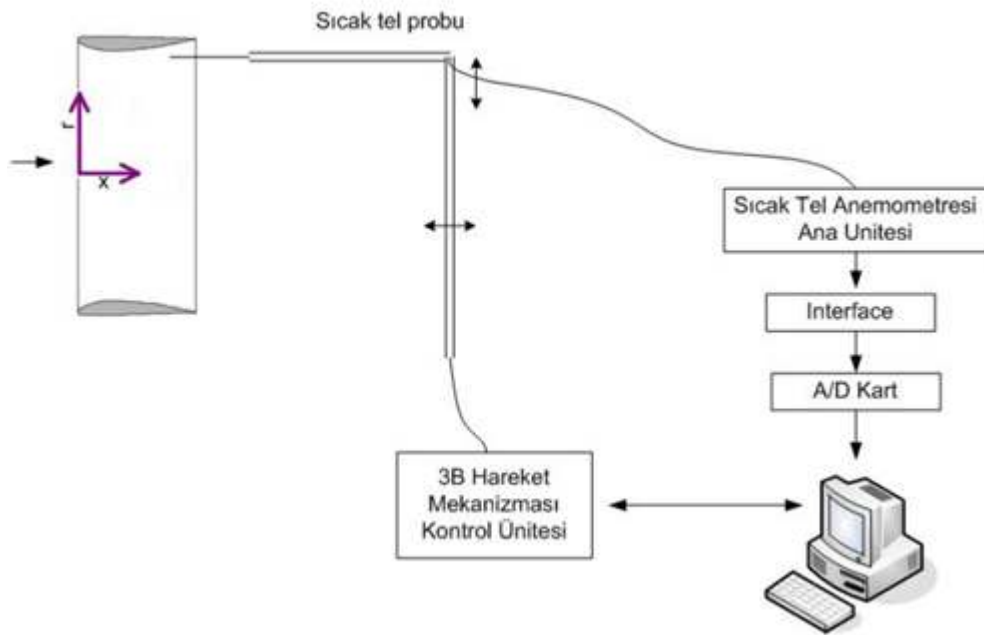
Kanal içi pervane sisteminde, kanalın arkasında bir istasyonda farklı serbest akım hızlarında ve pervanenin farklı dönüş hızlarında sıcak tel ile hız taraması yapılmıştır. Ayrıca pervanenin yeri değiştirilerek hız taramaları aynı istasyon için tekrarlanmıştır. Kanal içi pervane sisteminde kanalın içinde ve dışında yüzeye yakın noktalarda basınç ölçümleri alınarak, aynı kanat profilinin iki boyutlu halde üzerinde oluşturacağı basınç değerleri ile boyutsuz olarak karşılaştırılmıştır. Kanal ile motor kovanı altına kuvvet duyargasının ayrı ayrı monte edilebilmesi sayesinde kanal içi pervane sisteminde pervanenin ve kanalın oluşturduğu kuvvetler farklı serbest akım hızlarında ve farklı pervane dönüş hızında ölçülebilmektedir. Ayrıca bu deneyler pervane yeri değiştirilerek tekrarlanmıştır.

5.1 Yalın Kanalin Deneysel İncelenmesi

Pervane etrafına kanal geçirilmesi ile kanal gelen serbest akımı sınırlandırarak ve kanal şekline göre hızlandırarak veya yavaşlatarak pervaneye ulaştırır. Serbest akım karakteristiği değiştiği için kanal içi pervane sisteminde, pervanenin performansı da değişecektir. Bu sebeple, yalın kanalın içerisinde ve arkasında akış yapısının araştırılması önemlidir.

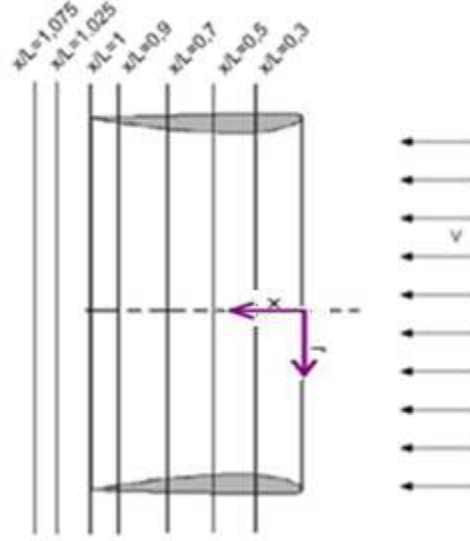
5.1.1 Yalın kanalın sıcak tel sistemi ile incelenmesi

NACA 4312 kanat profili kesitine sahip kanal ağırlık merkezi ekseninden yere sabitlenerek tünel içerisinde akışla hücum açısı sıfır derece olacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra üç boyutlu hassas kontrol sistemine sıcak tel duyargası yerleştirilerek deneylerde istenen noktalarda hız taramaları yapılabilmektedir (Şekil 5.1). Hareket kontrol mekanizmasının doğruluğu 0.016 mm'dir. Her bir ölçüm için 16 khz'de toplam 16000 veri alınmış, ölçülen zaman serilerinden hız ve türbülans değerleri elde edilmiştir.



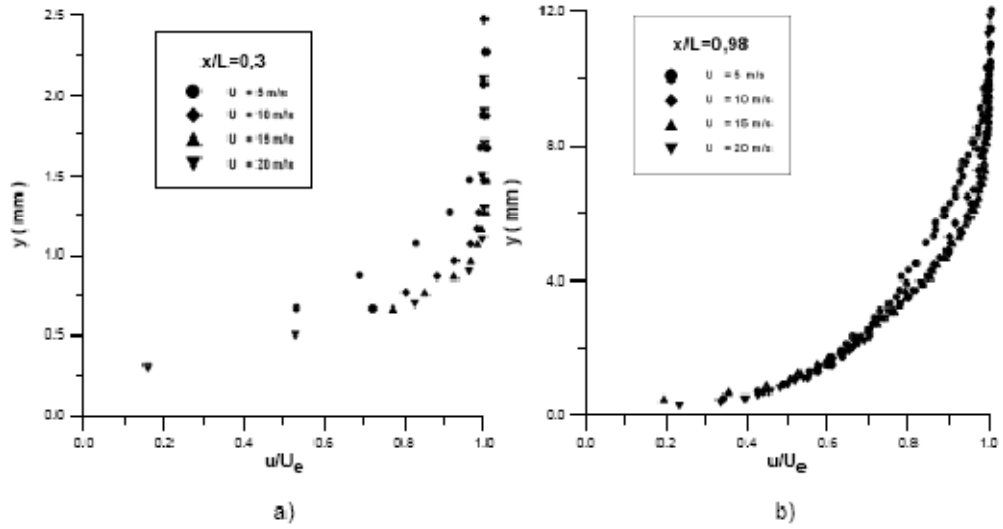
Şekil 5.1 : Yalın kanal sıcak tel incelemesi deney düzeneği.

Kanal içerisindeki farklı istasyonlarda radyal doğrultuda (r eksen) hız taramaları gerçekleştirilmiştir. Seçilen istasyonlar $x=60, 100, 140, 180$ ve 195 mm ($x/L=0.3, 0.5, 0.7, 0.9$ ve 0.98)'dir (Şekil 5.2). Sınır tabaka ölçümlerde, kanal duvarlarına istenen hassasiyetle yaklaşabilmek için sınır tabaka probu (P14) kullanılmıştır.



Şekil 5.2 : Deneysel ölçüm istasyonları.

Ölçümler 4 farklı serbest akım hızında ($U_{\infty} = 5, 10, 15$ ve 20 m/s) tekrarlanmıştır. Duvar yakınındaki sınır tabaka ölçümü sonuçları şekil 5.3'te karşılaştırmalı olarak verilmektedir. $x/L = 0.3$ konumu kanalın en dar kesidine karşılık gelmektedir. Bu bölgede halen laminar yapısını koruyan sınır tabaka profili ~ 1 mm kalınlıkta olup, sahip olduğu yer değiştirme kalınlığı dolayısıyla dış akıma etkisi oldukça küçüktür.



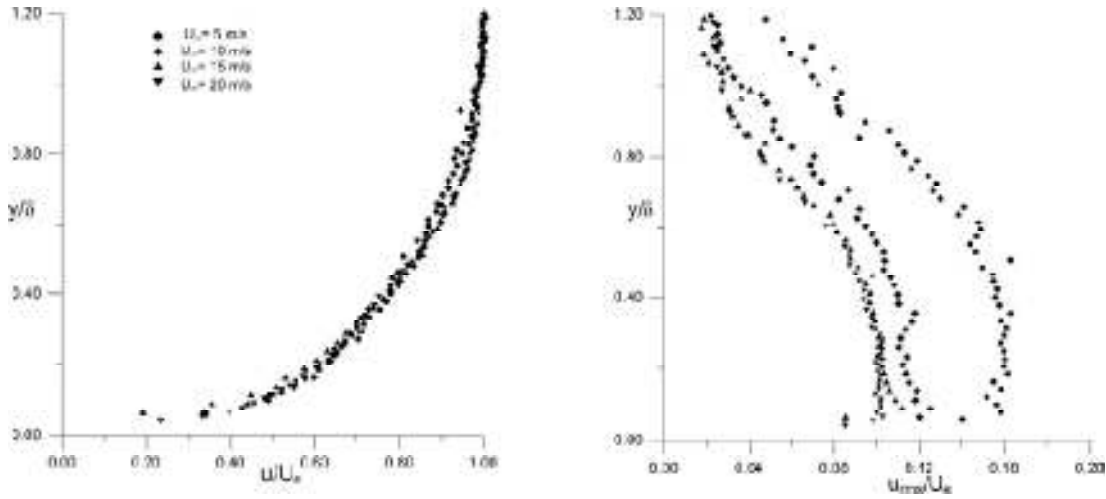
Şekil 5.3 : (a) En dar kesitte (b) firar kenarına yakın bir istasyonda sınır tabaka taraması.

Şekillerde de görüldüğü gibi serbest akım hızı arttıkça sınır tabaka kalınlığı azalmaktadır. Ayrıca hücum kenarından firar kenarına doğru sınır tabakanın geliştiği, yani sınır tabakanın kalınlaştığı görülmektedir. x/L 'nin artan değerlerine karşılık gelen sınır tabaka kalınlıkları Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1 : Farklı x/L istasyonlarında sınır tabaka kalınlıkları (mm).

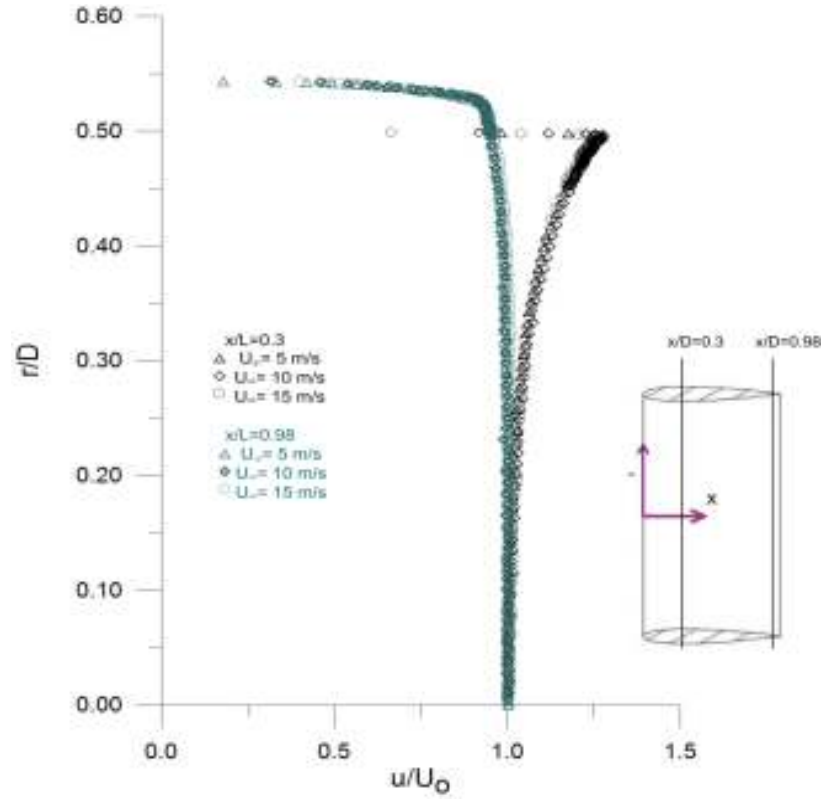
U_∞ (m/s)	$x/L=0,3$	$x/L=0,5$	$x/L=0,7$	$x/L=0,9$	$x/L=1$
5	1,65	2,66	3,45	8,21	9,25
10	1,30	1,74	3,60	7,05	8,13
15	1,11	1,40	4,17	7,02	7,98
20	1,05	1,46	3,87	6,52	7,90

Yüksek Re sayılarında aynı istasyondaki sınır tabaka kalınlıklarının da yakın değerler verdiği gözlenebilir. Çıkış kesidi yakınında ($x/L= 0.98$) boyutsuz sınır tabaka profillerinin benzerliği Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Aynı kesitteki türbülans profilleri de yüksek hızlarda benzerlik gösterirken 5m/s için diğer hızlara göre yüksek türbülans seviyeleri gözlemlenmiştir.



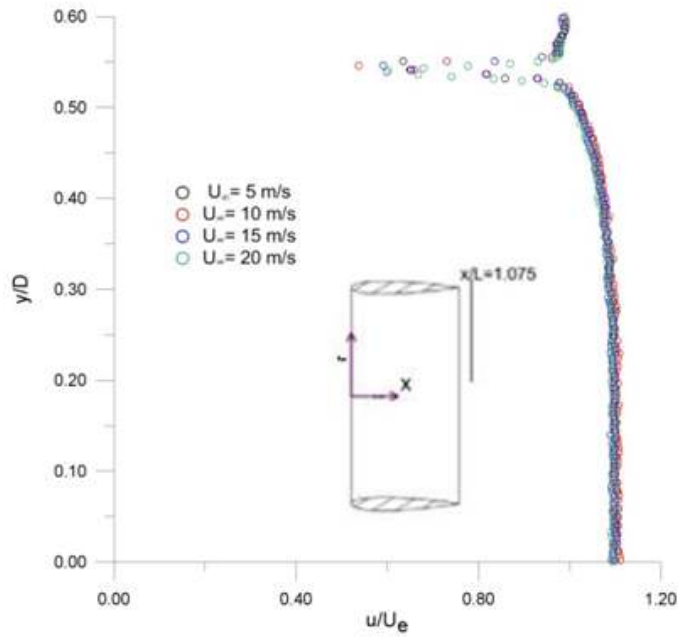
Şekil 5.4 : Kanal çıkış kesidine yakın istasyonda ($x/L=0.98$) boyutsuz sınır tabaka ve türbülans profilleri.

Kanalın en dar kesidinde ve kanal çıkışına en yakın istasyonda farklı serbest akım hızlarında alınan ölçümler Şekil 5.5'te karşılaştırılmıştır. Hız verisi merkez eksen hızı (U_0) ile boyutsuzlaştırılmıştır. Grafiklerde hız profilleri kanal merkezinden başlayıp kanal duvarında son bulmaktadır. Farklı hızlarda alınan ölçümlerin, boyutsuzlaştırıldığında benzerlik gösterdiği görülmüştür. Kanalın en dar kesidinde hız değerlerinin yaklaşık $r/D=0.25$ 'ten itibaren kanal duvarına yaklaştıkça artışa geçtiği, fakat çıkış kesidi yakınındaki $x/L=0.98$ istasyonunda akışın sınır tabaka dışında neredeyse düzgün dağılı bir karakter kazandığı görülmektedir. D , ölçümün alındığı istasyonda kanalın iç çap büyüklüğüdür.



Şekil 5.5 : İki farklı istasyonda boyutsuz hız profilleri.

Akış kanalı terk ettikten sonraki istasyonda ($x/L=1.075$) küçük, düz sıcak tel probuyla (P11) alınan hız ölçümleri ise Şekil 5.6’ da verilmektedir. Şekilden görülebileceği gibi akış henüz kanalı terk ettiği için karışma bölgesi kalınlığı çok küçüktür. Karışma bölgesi kalınlığı da sınır tabaka kalınlığı gibi artan hızla birlikte azalmaktadır.

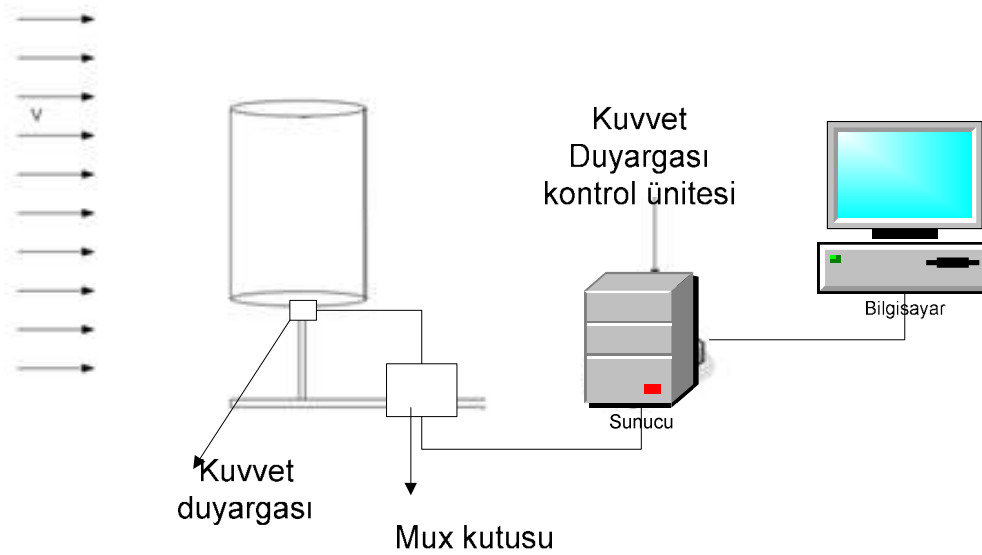


Şekil 5.6 : Kanal izindeki boyutsuz hız profillerinin karşılaştırılması.

Yalın kanal sisteminin sıcak tel ile hız taramasının sonucunda önce daralan sonra genişleyen yapıdaki kanalın akışı özellikle kanala yakın bölgelerde hızlandırdığı belirlenmiştir. Ayrıca kanal içerisinde tüm akış şartlarında yüzeyi takip eden düzenli bir akışın olduğu gözlemlenmiş ve akış yapısı ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur.

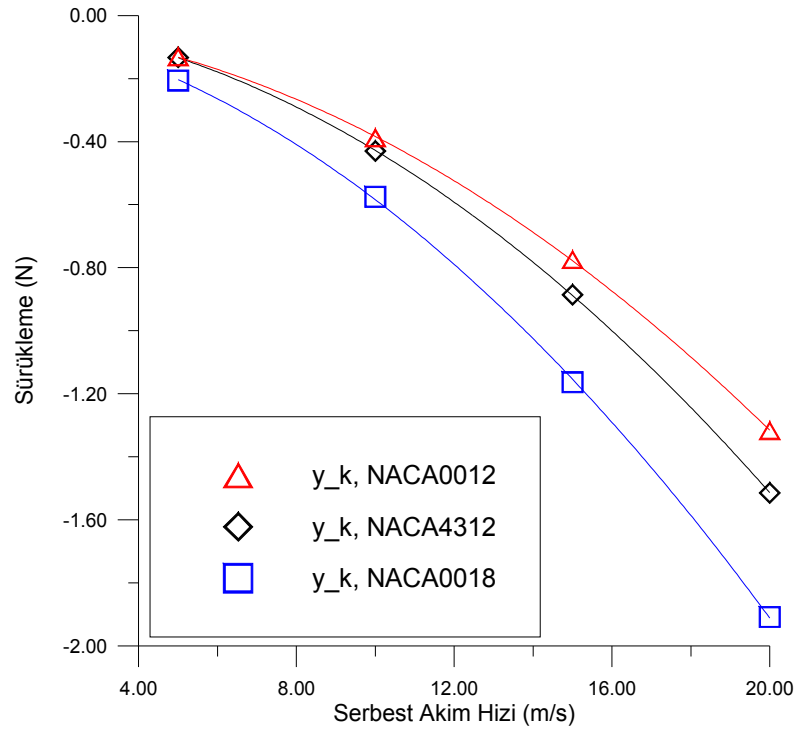
5.1.2 Yalın kanalın kuvvet duyargası ile incelenmesi

Bir önceki bölümde, NACA 4312 kanat profili kesitine sahip kanalın akış yapısı sıcak tel sistemi ile ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu bölümde üç farklı kanat profili (NACA4312, NACA0018, NACA 0012) kesitindeki kanallar tünel içerisinde dört farklı serbest akım hızına ($U_\infty = 5, 10, 15$ ve 20 m/s) maruzken yarattığı sürüklenme kuvveti ölçülmüştür. Yalın kanalın sürüklenme ölçümü için kullanılan deney düzeneği Şekil 5.7’ de gösterilmiştir. Deneyler SI-80-4 kalibrasyonunda 30 saniye boyunca veri alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7 : Yalın kanal sürüklenme ölçümü deney düzeneği.

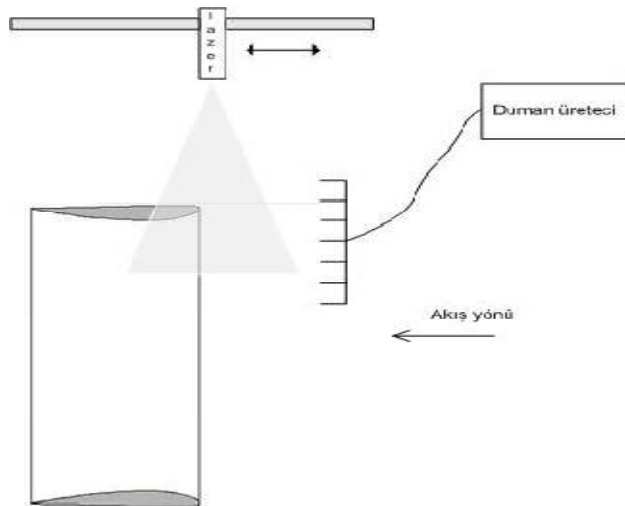
Ölçülen sürüklenme değerlerinde, beklenildiği gibi en fazla sürüklenme değerini NACA 0018 kanat profili kesitli kanal oluşturmaktadır ve sürüklenme kuvveti değerleri artan serbest akım hızının karesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Aynı kalınlık oranına sahip olmalarına karşın NACA 4312 kesitli kanal kamburluğun, yani taşıma kuvvetinin etkisinden dolayı NACA 0012 kesitli kanaldan daha fazla sürüklenme kuvveti oluşturmaktadır ve artan serbest akım hızı ile bu fark da giderek artmaktadır.



Şekil 5.8 : Üç farklı profile sahip kanalların sürüklenme kuvveti-hız değişimi grafiği.

5.1.3 Yalın kanal akış yapısının duman ile görüntülenme tekniği ile incelenmesi

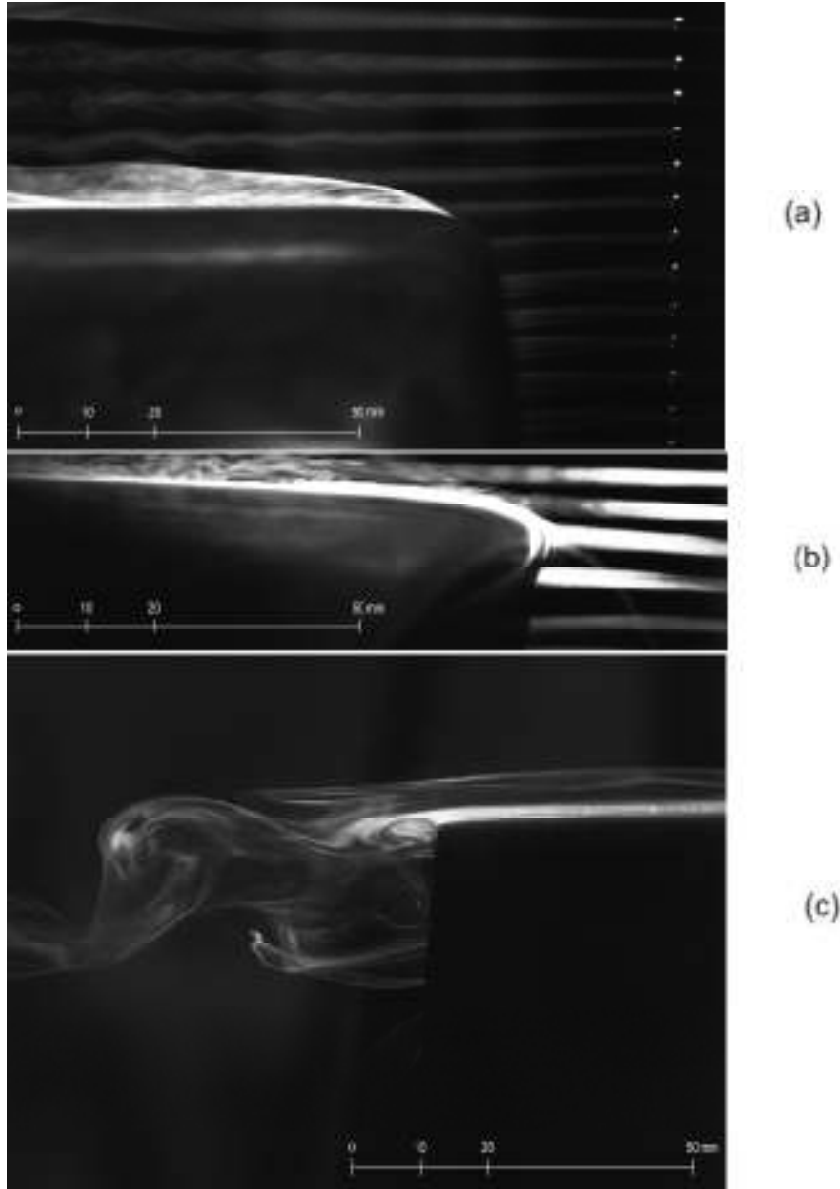
Duman ile akım görüntüleme deneylerinde, bir duman üretici aracılığıyla elde edilen duman, kanalın ön tarafında yer alan enjektörlerden akışa paralel olarak gönderilmektedir. Görüntülenmek istenen düzlem lazer ile aydınlatılarak fotoğraflanmaktadır. Deney düzeneği Şekil 5.9’da verilmektedir.



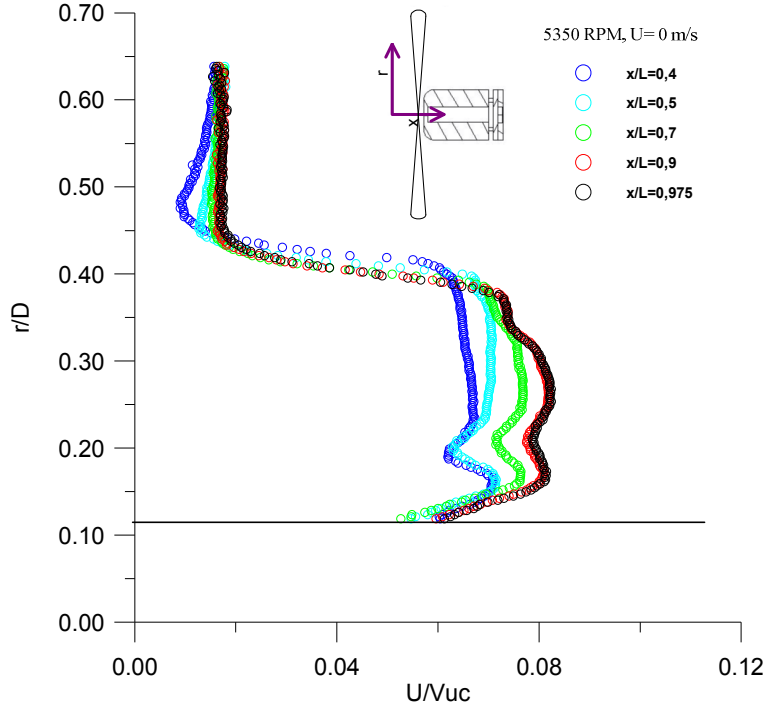
Şekil 5.9 : Akım görüntüleme deney düzeneği.

Şekil 5.10-(a)'da kanal giriş kesidi yakınındaki akım görüntüleme fotoğrafı verilmektedir. Kanala girişte akım çizilerinin simetri eksenine doğru eğilerek birbirine yaklaştığı ve akımın hızlandığı gözlenebilmektedir. Duman kanal üst yüzeyinde sınır tabaka yapısını da ortaya koyacak şekilde aydınlık bir bölge oluşturmaktadır.

Yine hücum kenarında alınan bir başka görüntüde (b) akımın durma noktasında ikiye ayrılarak kanal iç ve dış yüzeylerini takip ederek aktığı gözlenmektedir. Fırar kenarı yakınında alınan görüntülerde (Şekil 5.10 – c) akımın kanalı yüzeyi boyunca düzgün bir şekilde takip ettiği ve fırar kenarında alt ve üst yüzeyleri takip eden akışkanın iz bölgesinde düzenli girdap yapıları oluşturarak karıştığı gözlenmektedir.



Şekil 5.10 : Yalın kanalda dumanla akım görüntüleme deneyi.

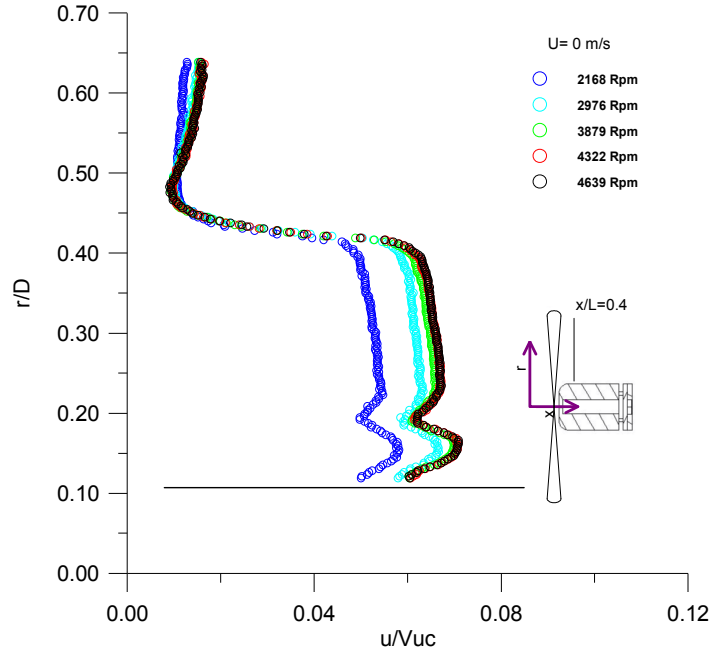


Şekil 5.12 : Statik halde pervane arkasında hız profilleri.

Yalın pervanenin arkasında beş farklı istasyonda hız taramaları yapılmış ve elde edilen veriler pervane uç hızı ile boyutsuzlaştırılarak Şekil 5.12’de sunulmuştur. Deney sabit elektriksel güçte (~330 Watt) gerçekleştirilmiştir. Pervane düzleminden uzaklaştıkça pervanenin indüklediği akış alanının daraldığı ve eksenel hızın arttığı yorumu yapılabilir. Ayrıca grafikte belirtilen düz çizgi motor kovanının üst yüzeyini temsil etmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi r/D oranının 0.12 olduğu kovan yüzeyinden itibaren sınır tabakanın oluştuğu gözlemlenmektedir. Taranan istasyonlar arkaya kaydıkça kovan yüzeyinden itibaren oluşan sınır tabaka kalınlaşmaktadır.

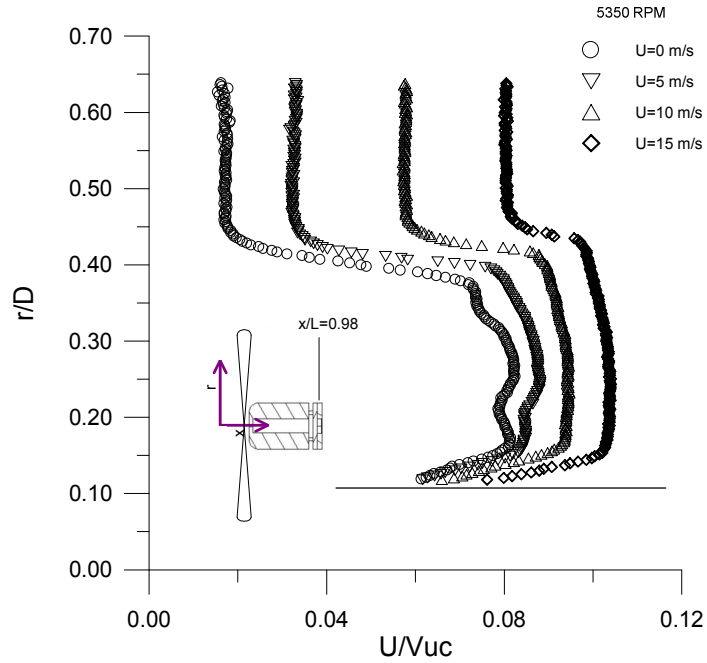
Pervanenin değişik dönüş hızları için iz bölgesinde $x/L=0.4$ istasyonunda, statik halde iken, hız taramaları yapılmıştır (Şekil 5.13). Deney sonuçlarında, düşük devirlerde dönüş hızı arttıkça eksenel hızın uç hıza oranının arttığı ve belli bir dönüş hızını aştıktan sonra ise benzerlik taşıdığı görülmektedir.

Kanal çıkışına karşılık gelen $x/L=0.98$ istasyonunda dört farklı serbest akım hızı için sabit elektriksel güçte (~330 Watt) hız taramaları yapılmıştır ve Şekil 5.14’ te sonuçlar çizdirilmiştir. Daha önceki yalın pervane hız taramalarındaki gibi burada da motor kovanı üzerinde sınır tabaka oluşumu görülmektedir. Artan serbest akım hızı ile pervanenin indüklediği akış alanının genişlediği ve iz bölgesinde büyük oranla düzgün hale geldiği gözlenmektedir.



Şekil 5.13 : Farklı dönüş hızlarında $x/L = 0.4$ istasyonunda hız profilleri.

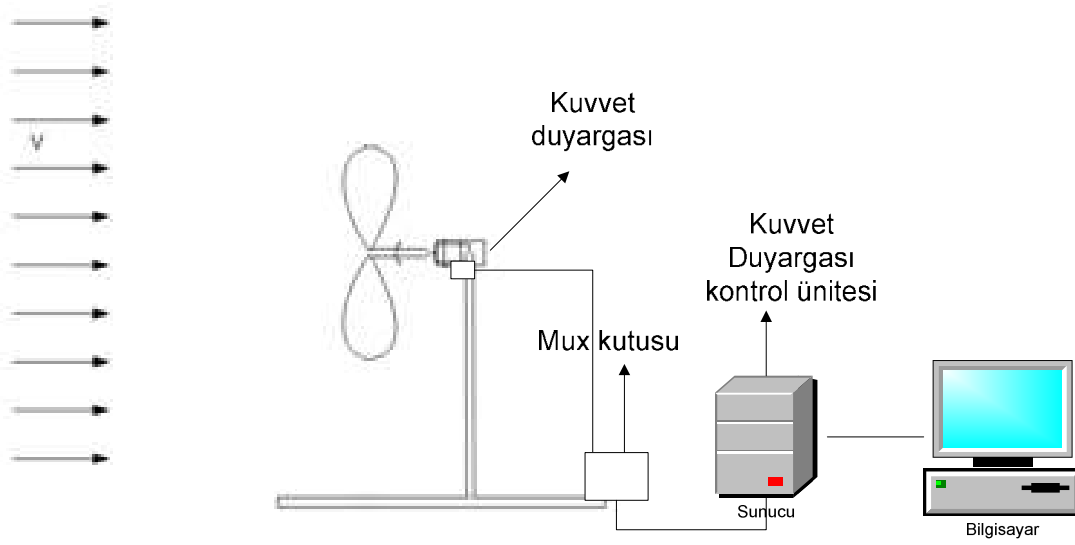
Bu yapılan çalışmalar, pervanenin kanal ile çevrelenmeden oluşturduğu akış yapısının belirlenmesi için ve kanal ilavesi ile oluşacak akım yapısı farklarını kıyaslamak için olarak tanımlanmıştır. Daha ileride yapılacak çalışmalarda pervane arkasındaki akış alanının çok delikli basınç probu ile taranarak, akışın üç boyutunun da belirlenmesi akış yapısını ayrıntılı olarak tanımak için önemlidir.



Şekil 5.14 : Farklı serbest akım hızlarında $x/L = 0.98$ istasyonunda hız profilleri.

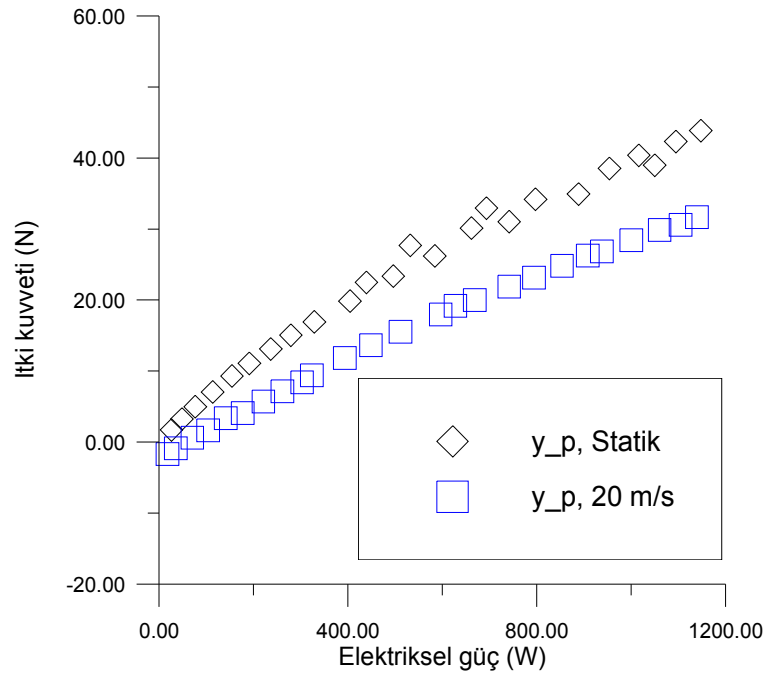
5.2.2 Yalın pervanenin kuvvet duyargası ile incelenmesi

Yalın pervanenin indüklediği akış yapısı incelendikten sonra pervanenin dönüş hızı değişimine, serbest akım hızı değişimine ve hatve oranının değişimine göre performansı incelenmiştir. Bu amaçla pervane sistemi ağırlık merkezi ekseninden yere sabitlenerek rüzgar tüneline değişik serbest akım hızlarında ve statik halde oluşturduğu aksel kuvvet, kuvvet duyargası yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 5.15). Yine bu deneylerde, her bir ölçüm SI-80-4 kalibrasyonunda 30 saniye veri alınarak gerçekleştirilmiştir.



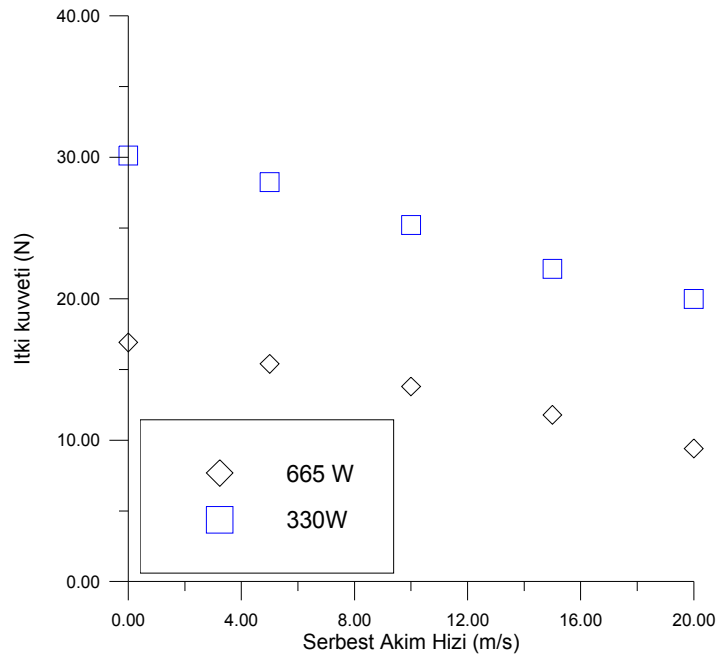
Şekil 5.15 : Yalın pervane kuvvet ölçümü deney düzeneği.

Yalın pervane statik haldeyken ve rüzgar tüneline 20 m/s'lik serbest akıma maruzken oluşturduğu aksel kuvvet ölçülmüş ve Şekil 5.16'da ifade edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sisteme verilen güç arttıkça, yani pervane dönüş hızı arttıkça, pervanenin ürettiği itki kuvveti de artmaktadır. Beklenildiği gibi statik halde iken pervane daha yüksek itki vermektedir, serbest akım hızı arttıkça üretilen itki kuvveti de azalmaktadır.



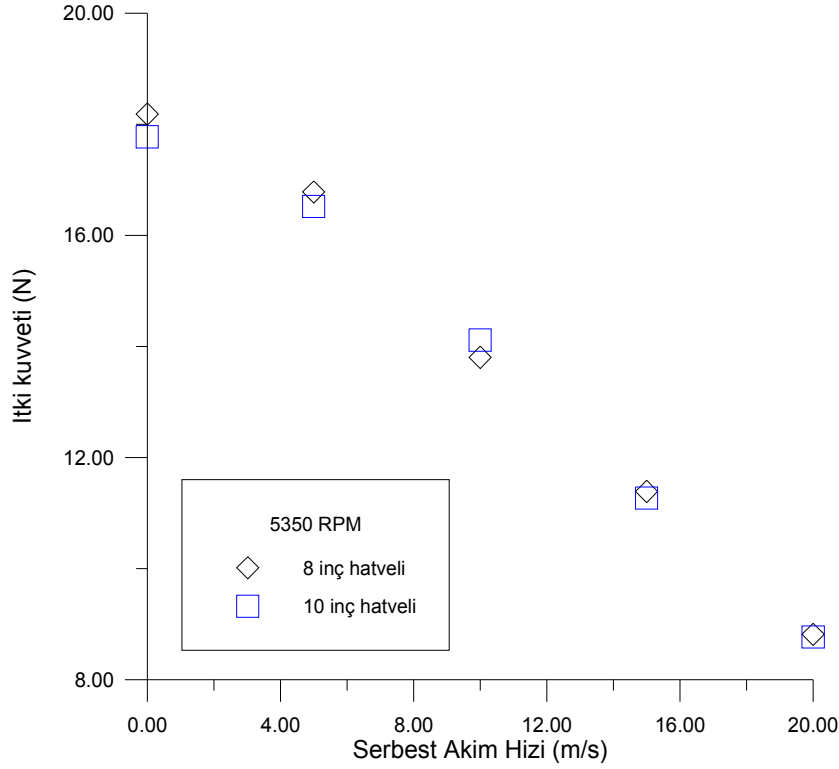
Şekil 5.16 : Yalın pervanenin farklı elektriksel güçlerle ürettiği itki performansı.

Yukarıda bahsedilen, pervanenin gördüğü akım hızının artması ile pervane itki performansının azalması ifadesi Şekil 5.17’de çok net olarak görülmektedir. Şekil 5.17’de iki farklı elektriksel güçte, beş farklı serbest akım hızında pervanenin ürettiği itki kuvveti çizdirilmiştir. Buradan da serbest akım hızı arttıkça pervanenin ürettiği itki kuvvetinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.17 : Farklı serbest akım hızlarında pervanenin itki performansı.

İki farklı hatve oranında, beş farklı serbest akım hızında pervanenin oluşturduğu itki kuvveti Şekil 5.18’ de kıyaslanmıştır. Grafikte görüldüğü gibi düşük hatve oranlı pervane beklenildiği gibi statik koşullarda daha fazla itki üretmiştir. Serbest akım hızı arttıkça iki pervane itkisi arasındaki fark giderek azalmıştır.



Şekil 5.18 : İki farklı hatve oranında pervanenin ürettiği itki kuvvetinin hesaplanması.

5.3 Kanal İçi Pervane Sisteminin Deneysel İncelenmesi

Yalın pervanenin ve yalın kanalın performans ve akış yapısı incelendikten sonra, bu bölümde pervane etrafına kanal geçirilmesi ile sistemlerin performanslarının nasıl değiştiği araştırılacaktır. Bu amaçla önce kanal içi pervane izinde sıcak telle hız taramaları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra pervane yeri değiştirilerek akışta oluşan farklılıklar belirlenmiştir. Pervane yeri değiştirildiğinde oluşan geometrik farklılıklar Çizelge 5.2’de özetlenmiştir.

Ayrıca kanal içi pervane sisteminde kanalın içinde ve dışında basınç ölçümleri alınarak, basınç karakteristiğinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Kanal altına veya pervane altına ayrı ayrı yerleştirilebilen kuvvet duyargası ile oluşan eksenel kuvvetler ölçülmüş ve kanal ilavesi ile oluşan farklar ortaya konulmuştur. Ayrıca pervane yeri değiştirilerek oluşan performans farkı da araştırılmıştır.

Çizelge 5.2 : Kanal içerisinde pervane üç farklı istasyondayken oluşan geometrik özellikler

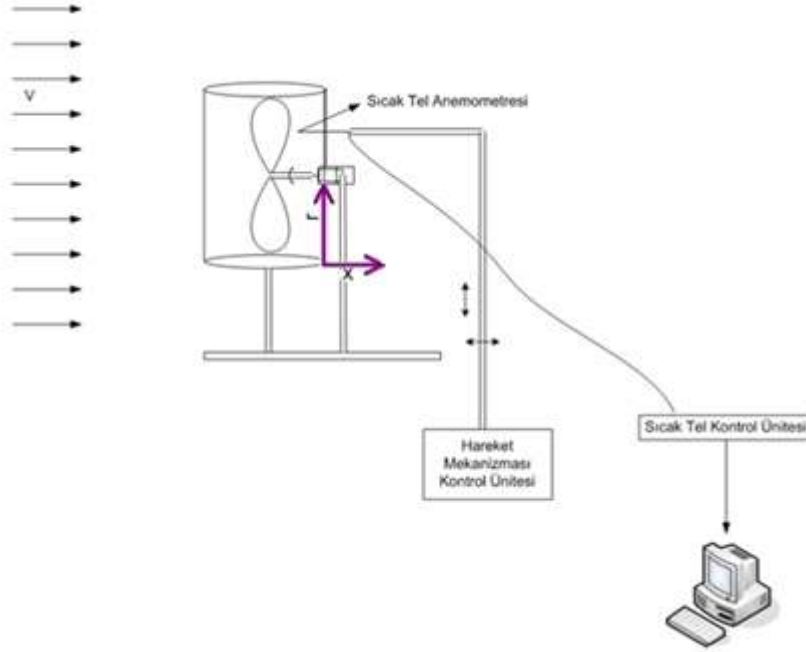
En dar	NACA0018	NACA0012	Ters NACA 4312
Pervane Konumu	70mm	67.5mm	60mm
Perv. Düzleminde Kanal Yarıçapı	211.67mm	211.67mm	211.67mm
Uç Açıklığı (Δr_t)	8,47 (mm)	8.47(mm)	8,47 (mm)
Uç Açıklık Oranı ($\Delta r_t/R$)	0.04168	0.04168	0.04168
Alanlar Oranı	0.90997	0.93998	0.91395
Hücumdan 25mm			
Perv. Düzleminde Kanal Yarıçapı	215.85mm	214.24mm	215.93mm
Uç Açıklığı (Δr_t)	12.65(mm)	11.04(mm)	12.73(mm)
Uç Açıklık Oranı ($\Delta r_t/R$)	0.06225	0.05435	0.06265
Alanlar Oranı	0.92794	0.95141	0.93235
Firardan 32mm			
Perv. Düzleminde Kanal Yarıçapı	225.96mm	220.77mm	224.17mm
Uç Açıklığı (Δr_t)	22.76(mm)	17.57(mm)	20.97(mm)
Uç Açıklık Oranı ($\Delta r_t/R$)	0.11202	0.08648	0.10320
Alanlar Oranı	0.97142	0.98041	0.96792

5.3.1 Kanal içi pervane sisteminin sıcak tel ile incelenmesi

Kanallar ve pervane sitemi ayrı ayrı ağırlık merkezi eksenlerinden tünel içinde yere sabitlenmiş ve rüzgar tüneline akış ile hücum açısı sıfır derece olacak şekilde monte edilmiştir. Yine daha önceki deneylerde olduğu gibi sıcak tel duyargası hassas kontrol sistemi ünitesine monte edilerek istenilen noktalarda veri alınabilmesi sağlanmıştır (Şekil 5.19).

Kanal izinde, firar kenarından 15 mm dışarıda, yapılan hız taramalarında küçük, düz sıcak tel probu (P11) kullanılmıştır. Firar kenarı arkasında sık, merkezde ise görece daha büyük mesafeli noktalarla hız kovan üzerinden sadece serbest akımın etkisinin hissedildiği uzaklıktaki mesafeye kadar dikey olarak taranmıştır.

Her bir ölçüm için 16 khz'de toplam 16000 veri alınmış, ölçülen zaman serilerinden hız ve türbülans değerleri elde edilmiştir.

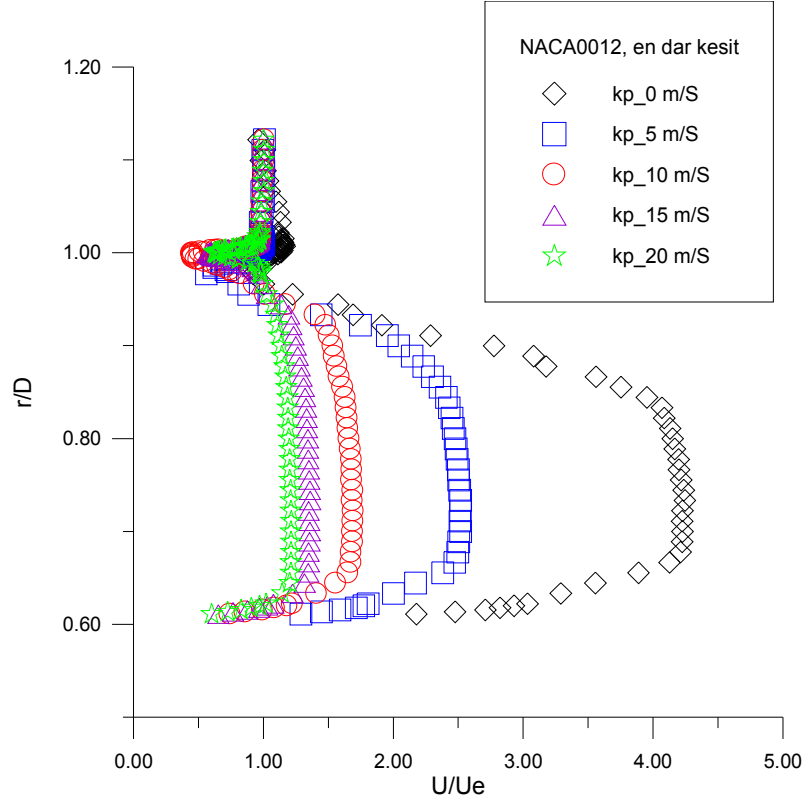


Şekil 5.19 : Kanal içi pervane sistemi için sıcak tel deney düzeneği.

Deneyler grafiksel olarak sunulurken önce pervane en dar kesitteyken yalın pervane ve kanal içi pervane sistemlerinde ölçülen hız değerleri üst üste çizdirilmiş ve kanal ilavesinin etkisi araştırılmıştır. Daha sonra pervane hücum kenarından 25 mm ve firar kenarından 32 mm içeride iken hız verileri karşılaştırmalı olarak çizdirilmiştir.

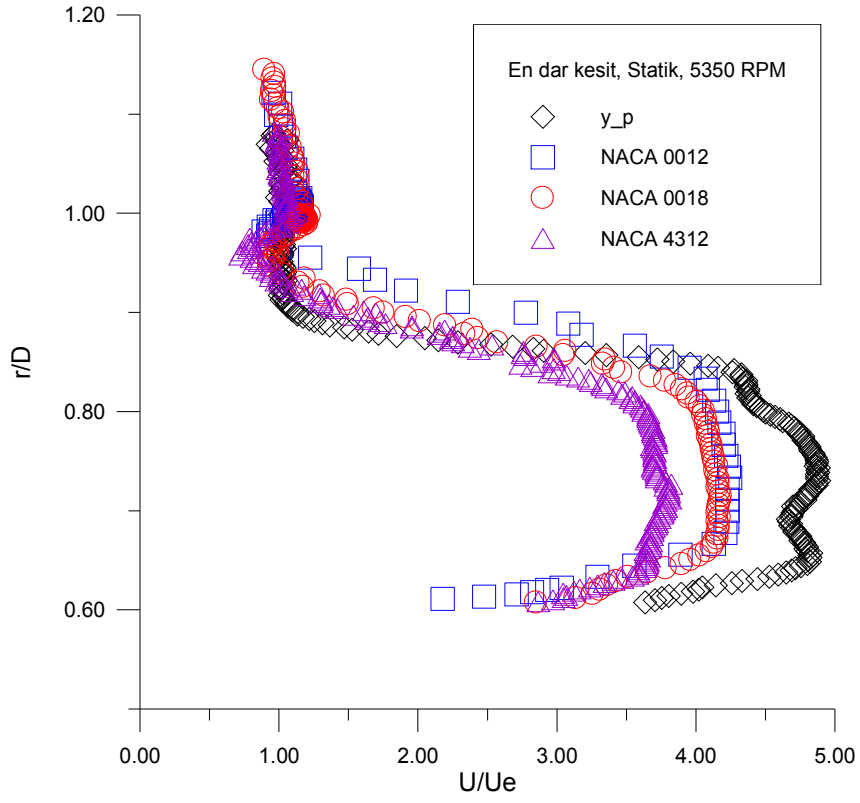
NACA 0012 kesitli kanal içi pervane sistemi, rüzgar tüneli içerisinde sabit elektriksel güçte (330 W) ve beş farklı serbest akım hızına maruzken kanalın firar kenarından 15 mm geride ($x/L=1.067$) sıcak tel sistemi ile hız taraması yapılmış ve Şekil 5.20'de çizdirilmiştir. 8 inç hatveli pervane NACA 0012 kesitli kanalın en dar kesitinde merkezlenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Grafikte, radyal konum kanalın firar kenarı çapıyla, ölçülen hız ise kanal dışarısında ölçülen serbest akım hızı ile boyutsuzlaştırılmıştır. Düşük serbest akım hızlarında kanal içi pervane sistemi akışı daha fazla hızlandırabilirken, yüksek serbest akım hızlarına çıkıldıkça bu artış oranı giderek azalmaktadır. Statik halde iken, kanal içi pervane sistemi, serbest akım hızını 4,2 katına kadar çıkarabilirken, 5 m/s serbest akım hızında akış hızını 2,5 katına, 20 m/s'de ise 1,2 katına kadar arttırabilmiştir. Ayrıca serbest akım hızı arttıkça kanal içi pervane tarafından indüklenen akımın kapladığı alan da giderek artmıştır.

Bu karakteristiğin diğer kanal modellerinde de mevcut olduğu yapılan diğer hız taramalarıyla görülmüştür. r/D oranının 0,6 olduğu hatta çizilen çizgi motor kovanının üst yüzeyini temsil etmektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi burada da kovan üzerinde bir sınır tabaka oluşumu gözlemlenmektedir. Serbest akım hızı arttıkça oluşan sınır tabaka kalınlığı da azalmaktadır.

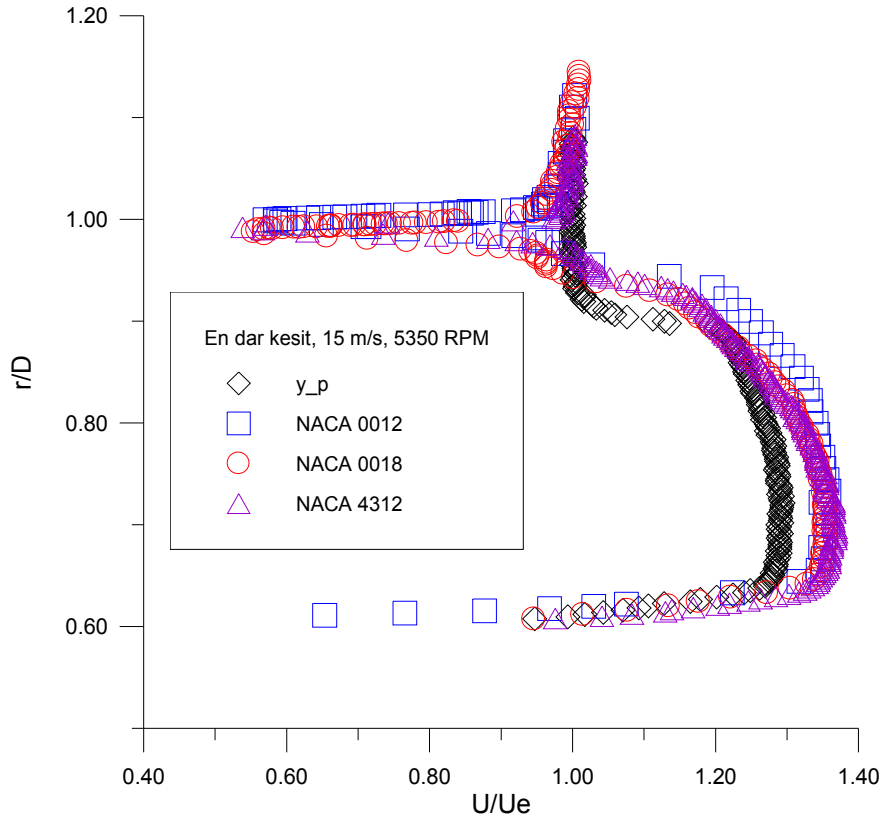


Şekil 5.20: Kanal içi pervane sisteminde hız profilinin serbest akım hızı ile değişimi.

Her birinin kesitleri farklı bir kanat profili (NACA0012, NACA0018, NACA4312) olan üç kanal içerisinde, kanalların en dar kesidine 8 inç hatve oranına sahip pervane yerleştirilmiştir. Pervane kanal ile her taraftan eşit uç açıklık oranına sahip olacak şekilde merkezlenmiş ve kanallar rüzgar tüneline akış ile sıfır derece hücum açısına sahip olacak şekilde sabitlenmiştir. Bu üç kanal içi pervane sisteminde kanalın firar kenarından 15 mm arkasında dikey olarak kovan üst yüzeyinden başlanarak sıcak telle hız taraması yapılmış ve elde edilen sonuçlar statik ve 15 m/s'lik serbest akıma maruz durumu için yalın pervanenin hız taraması ile birlikte Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de sunulmuştur.



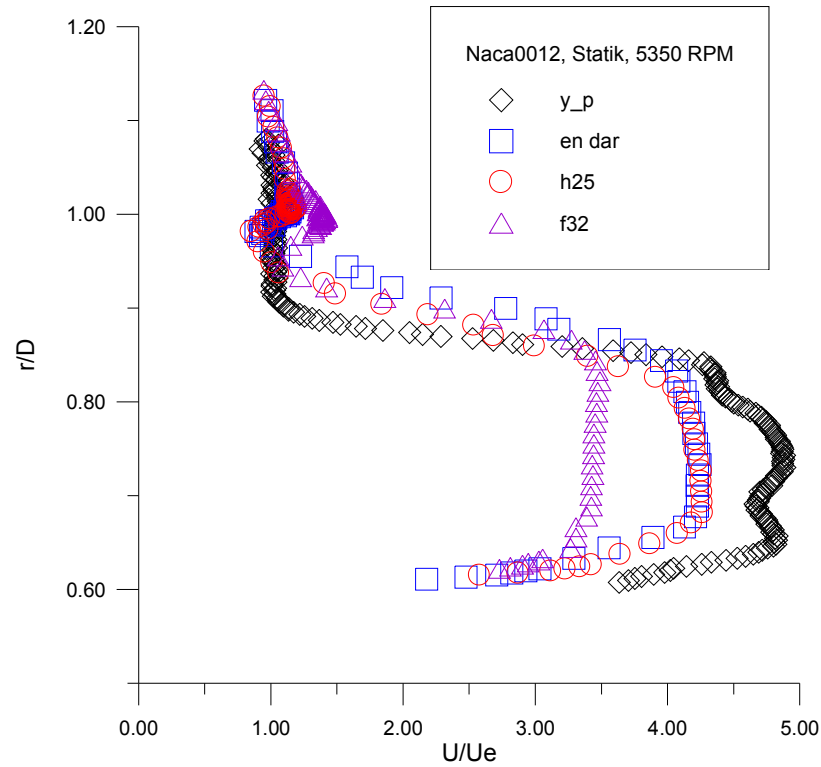
Şekil 5.21: Statik halde kanal içi pervane sistemleriyle yalın pervane izindeki hız profillerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.22: Serbest akım hızı 15 m/s iken kanal içi pervane sistemleriyle yalın pervane izindeki hız profillerinin karşılaştırılması.

Düşük hızlarda yalın pervane akışı daha fazla hızlandırırken, pervane kanalla çevrelendiğinde beklenildiği gibi kanal, pervanenin indüklediği akışı genişleterek yavaşlatır. Pervanenin indüklediği akış, en fazla NACA 0012 kesitli kanal tarafından genişletilmiş fakat akımı en fazla yavaşlatan NACA 4312 kesitli kanal olmuştur.

Görece yüksek serbest akım hızlarında bu sefer kanal akımı yavaşlatıcı yönde değil hızlandırıcı yönde etki yapmaktadır. Her üç kanal da indüklenen akışı genişletip, yaklaşık olarak aynı miktarda hızlandırmaktadır.



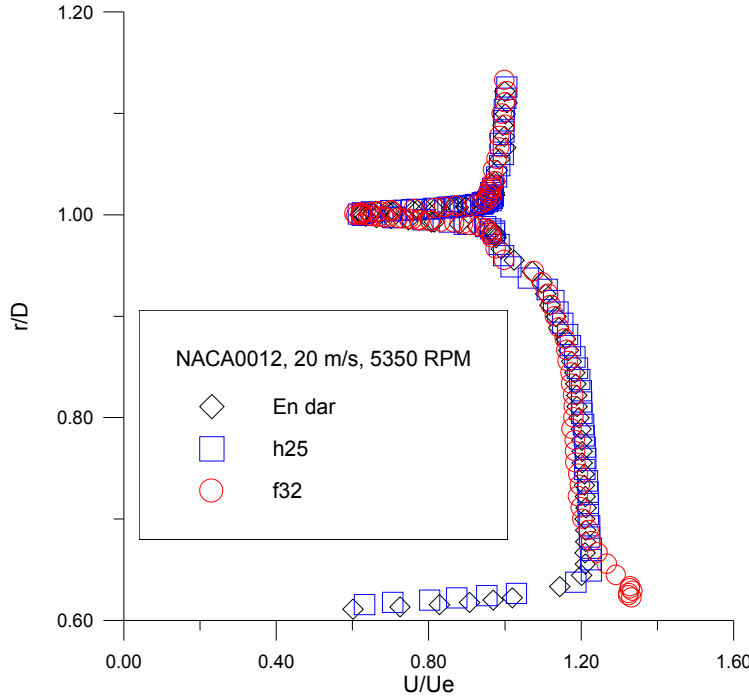
Şekil 5.23: Statik hal için pervanenin kanala içerisindeki yerinin değiştirilmesinin kanal izindeki hız profillerine etkisi.

NACA 0012 kesitli kanal içerisinde pervanenin yeri hücum kenarından 25 mm içeride (h25), firar kenarından 32 mm içeride (f32) ve en dar kesitte iken kanal arkasında hız taramaları statik ve 20 m/s'lik serbest akıma maruz hal için yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'te sunulmuştur. Kanal sabit olduğu için pervanenin kanal simetri ekseninde yeri değişince pervane ile kanal arasındaki uç açıklık oranı da değişmektedir. Bu değişimler daha önce Çizelge 5.2'de verilmiştir. Pervane yerinin değişmesinin etkisi düşük hızlarda daha net gözükmemektedir. Pervane önde iken (h25) kanal içi pervane izindeki akış, yalın pervanenin indüklediği akışa benzemektedir; akım alanı dar ve hızlandırma büyük. Bu durumun en büyük sebeplerinden biri de pervanenin öne getirilmesi ile oluşan uç açıklık oranıdır.

Uç açıklık oranının artması ile kanal, pervane akımı ile daha az etkileşime girerek pervanenin indüklediği akımı genişletememektedir. Ayrıca pervane hücum kenarına yakinken indüklenen akış kanal daraldıkça daralarak hızlanmaya devam etmektedir. Pervane konumunun arkaya getirilmesiyle (f32) grafikten akımın yavaşladığı ve akım alanının genişlediği görülmüştür. Bu duruma kanalın etkisi olmakla birlikte pervaneye daha yakın kısımda tarama yapıldığı için akımın görece daha yavaş ve akım alanının da daha geniş olmasının beklendiği de unutulmamalıdır.

Pervane en dar kesite getirildiğinde ise akım alanın diğer iki durumdan da geniş olduğu, yani kanalın işin içine daha çok girdiği ve pervanenin indüklediği akıma daha çok tesir ettiği görülmektedir.

Görece yüksek hızlarda ise aynı etkiler görülmektedir. Pervane öndeyken akım daha fazla hızlandırılmakta, arkada olduğu durumda ise hızlandırma etkisinin daha az olduğu görülmektedir. Pervanenin yerinin arkada olduğu hal için Şekil 5.24’ te kovana yakın olan kısımda hız profili farklılığının sebebi sıcak tel duyargasının yeri sabit kaldığından kovan arkaya kaydıkcı kovanın eğimli yüzeyinden hız taramasının başlamasıdır.



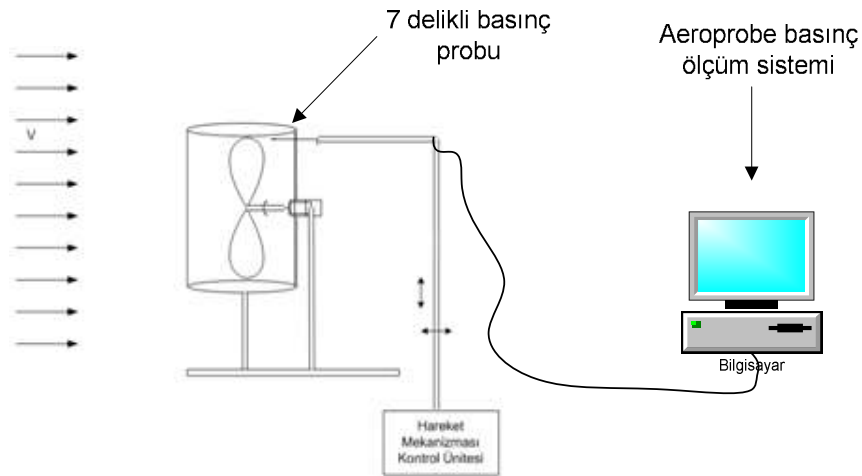
Şekil 5.24: Serbest akım hızı 20 m/s iken pervanenin kanal içerisindeki yerinin değiştirilmesinin kanal izindeki hız profillerine etkisi.

Kanal içi pervane sistemi izinde yapılan hız taramalarında görülmüştür ki düşük hızlarda kanal ilavesi ile pervanenin indüklediği akış yapısı genişletilerek yavaşlatılır ve sistem verimi artırılır (Denklem 3.11). Oysa görece yüksek serbest akım hızlarında kanal ilavesi ile indüklenen akış yine genişletilir fakat bu sefer kanal, hızın artmasına ve verimin düşmesine neden olur. Ayrıca yüksek serbest akım hızlarında kanal, akışı düşük serbest akım hızlarına göre daha fazla genişletebilmektedir. Kanal içi pervane sisteminde pervane yerinin değiştirilmesinin akış yapısına etkisi de sıcak tel sistemi ile incelenmiştir. Pervane ender kesitte iken kanal, akışı diğer durumlara göre daha çok genişletmiş fakat pervanenin firar kenarına yakın hali kadar da yavaşlatamamıştır.

Daha önce yalın pervane sisteminin arkasında akışın pervaneden uzaklaştıkça daralarak hızlandığı belirtilmişti. Kanal içi pervane sisteminde akışın daralmadan genişletilebilmesi için pervanenin kanalın en dar kesitine konulmasının daha etkili olduğu görülmüştür.

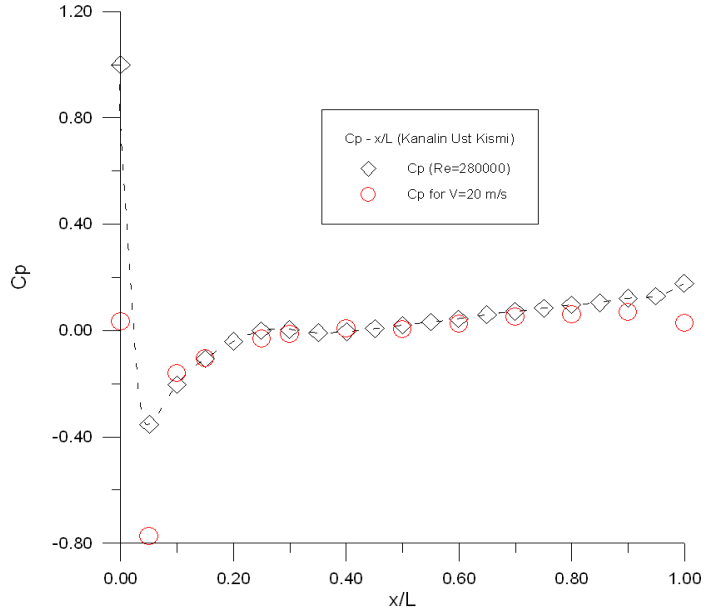
5.3.2 Kanal içi pervane sisteminin basınç ölçüm sistemiyle (Aeroprobe) incelenmesi

Kanalın dış ve iç çeperleri boyunca basınç ölçümleri alınarak boyutsuz basınç katsayısı (c_p) dağılımları elde edilmiştir. Elde edilen dağılımlar aynı Reynolds sayılarında 2B kanat için hesaplanmış basınç dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla 7 delikli basınç probu ile NACA 4312 kesitli kanalın yüzey yakınlarında basınç ölçülmüştür. Duyarga yüzeye yaklaştırılıken üç boyutlu hassas kontrol mekanizması kullanılmıştır (Şekil 5.25).

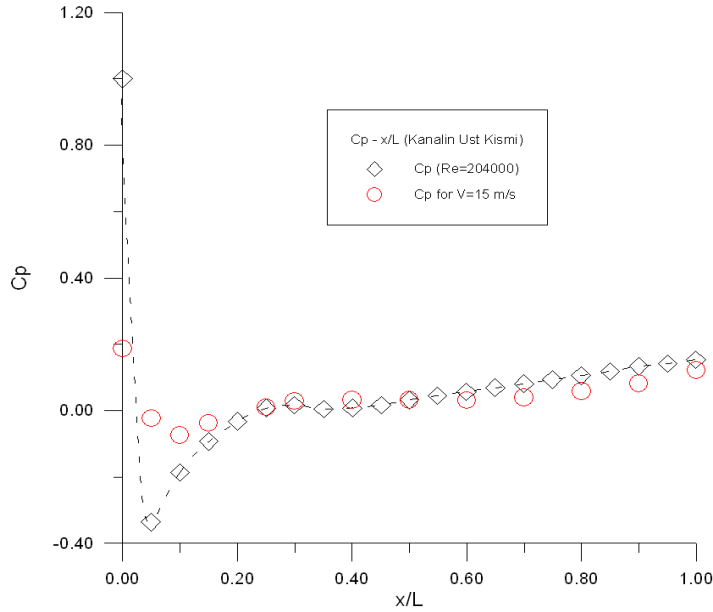


Şekil 5.25: Kanal içi pervane sistemi için basınç ölçüm düzeneği.

Şekil 5.26'da görülebileceği gibi kanalın dışarısında yüksek serbest akım hızlarında dağılımlar tam uyum gösterirken düşük hızlarda sayısal veriden ayrılmalar gözlenmiştir. Bunun üzerine kanala girişte hücum kenarına gelen akışın efektif açısının sıfır dereceden farklı olabileceği sonucuna varılmıştır. Şekil 5.26-c'de görülebileceği gibi bu açı 10 m/s serbest akım şartında 3,5 derece olarak belirlenmiştir.

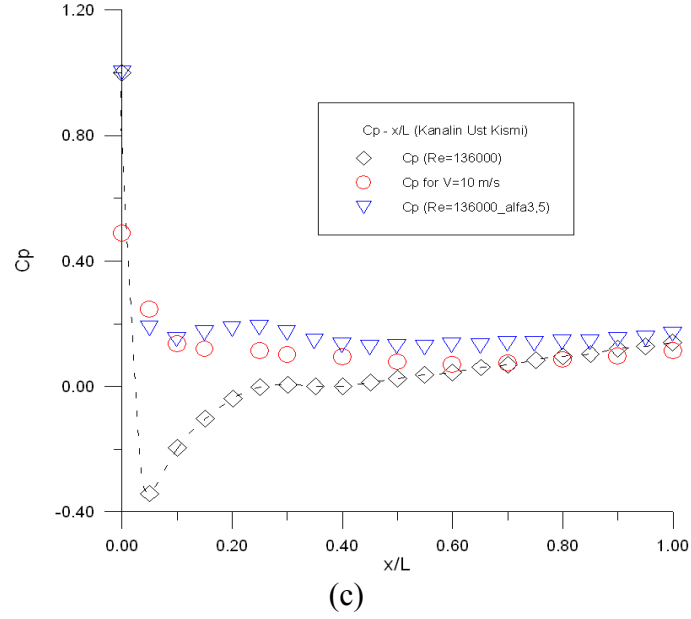


(a)



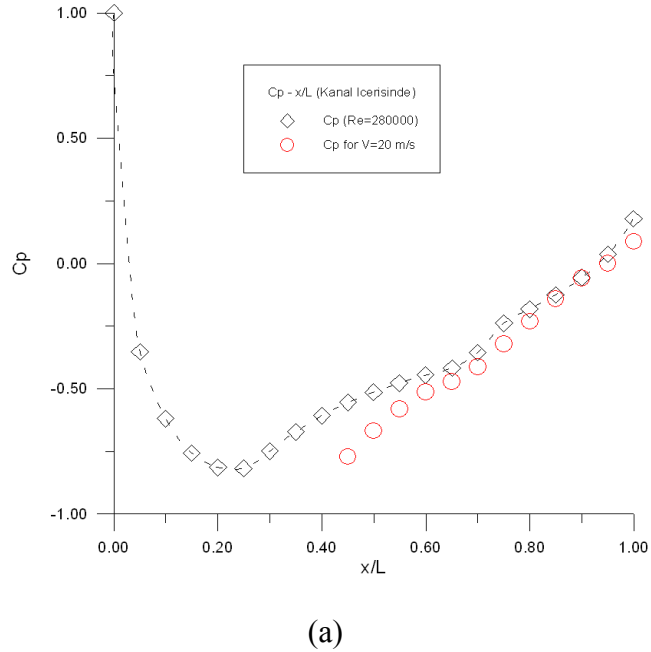
(b)

Şekil 5.26: Kanal dış yüzeyinde basınç dağılımları (a) $U_\infty = 20$ m/s, (b) $U_\infty = 15$ m/s, (c) $U_\infty = 10$ m/s.

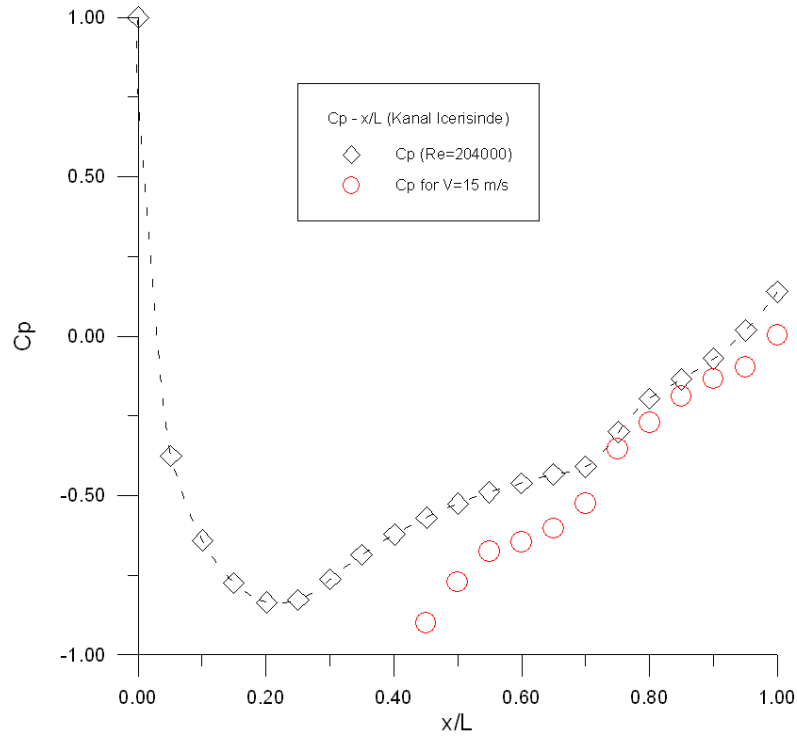


Şekil 5.26: (devam) Kanal dış yüzeyinde basınç dağılımları (a) $U_{\infty} = 20 \text{ m/s}$,
(b) $U_{\infty} = 15 \text{ m/s}$, (c) $U_{\infty} = 10 \text{ m/s}$.

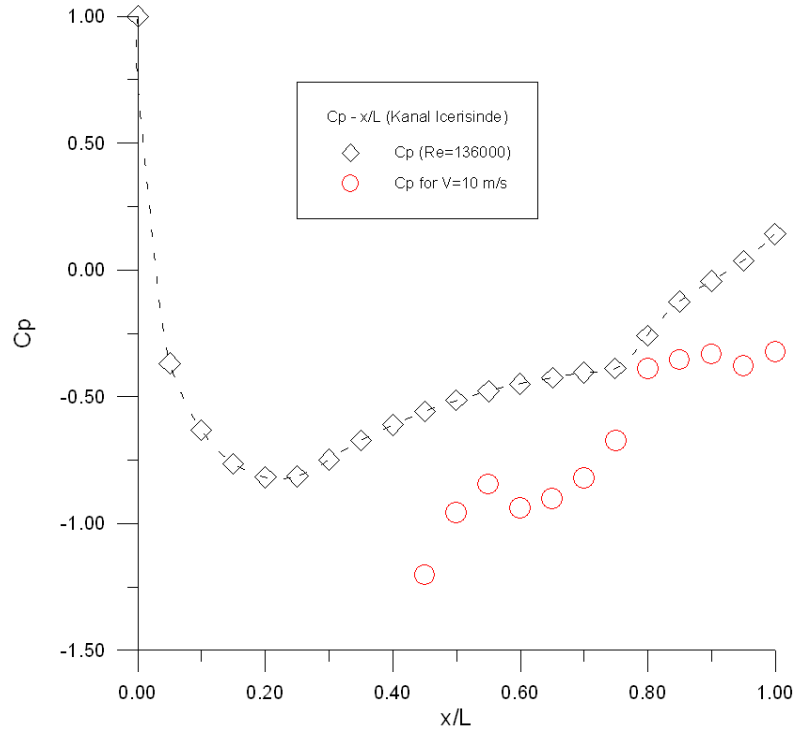
Kanal içerisinde ise, pervane arkasından başlamak üzere firar kenarına kadar farklı noktalarda alınan basınç ölçümleri pervaneden uzakta, firar kenarı civarında basınç dağılımının 2B profil üzerinde hesaplanmış basınç dağılımlarına uyduğunu göstermektedir (Şekil 5.27). Pervane yakınında ise pervane etkisinde yüzeyde ölçülen basınçlar daha düşük seviyelerdedir. Serbest akım hızı düştükçe pervane etkisi akım altı yönde genişlemektedir.



Şekil 5.27: Kanal içi yüzeyinde basınç dağılımları (a) $U_{\infty} = 20 \text{ m/s}$,
(b) $U_{\infty} = 15 \text{ m/s}$, (c) $U_{\infty} = 10 \text{ m/s}$.



(b)



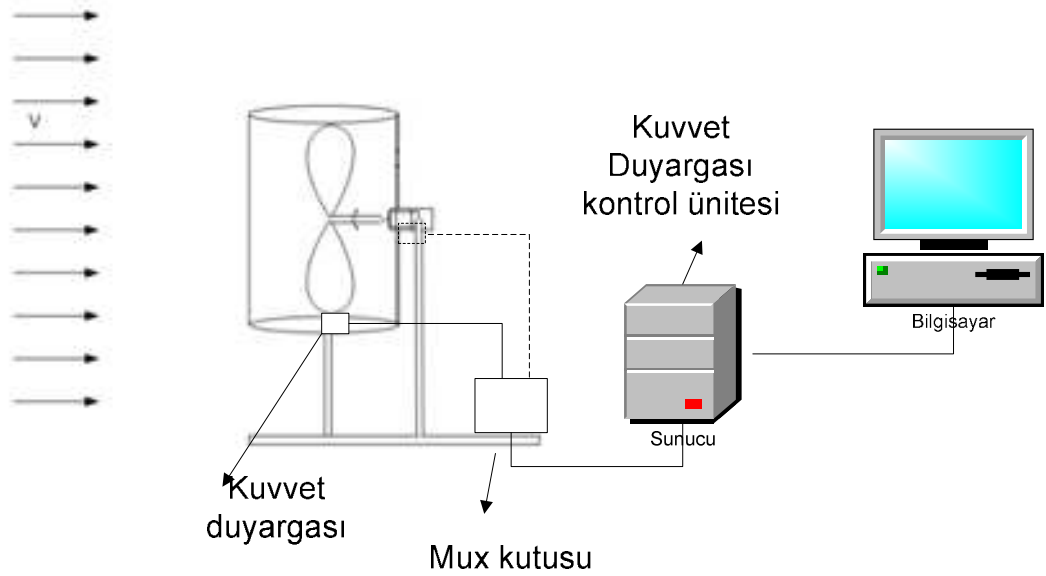
(c)

Şekil 5.27: (devam) Kanal içi yüzeyinde basınç dağılımları (a) $U_\infty = 20 \text{ m/s}$, (b) $U_\infty = 15 \text{ m/s}$, (c) $U_\infty = 10 \text{ m/s}$.

5.3.3 Kanal içi pervane sisteminin kuvvet duyargası ile incelenmesi

Yalın pervanenin etrafına kanal geçirilmesi ile oluşan performans farkında kanalın ve pervanenin itkiye katkılarını belirlemek için kanalın veya motor kovanının altına kuvvet duyargası yerleştirilerek değişik serbest akım hızlarında ve farklı güç miktarlarında oluşturdukları eksenel kuvvetler ölçülmüştür. Ölçümler, her bir güç miktarında, SI-80-4 kalibrasyonunda 30 saniye veri alınarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra zaman serilerinin ortalaması alınarak ortalama değerleri elde edilmiştir. Ayrıca pervanenin yeri de değiştirilerek oluşabilecek olacak performans farkları belirlenmeye çalışılmıştır. Bir de pervane hatve oranını değiştirerek kanalın oluşturduğu eksenel kuvvet ölçülmüş, hatve oranı değişiminin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, üç farklı kanal (NACA 4312, NACA 0012, NACA 0018 kesitli kanallar) ayrı zamanlarda tünel içerisinde serbest akım hızı ile hücum açısı sıfır derece olacak şekilde sabitlenmiştir. Pervane, kanal içerisinde kanal ile arasındaki mesafe (pervane uç açıklığı) eşit olacak şekilde merkezlenmiştir.

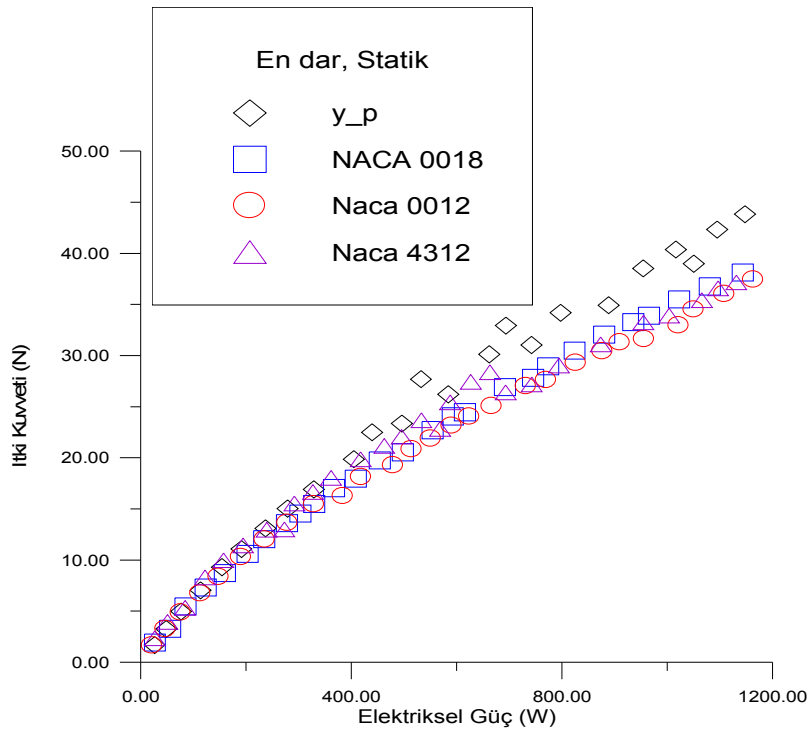
İtkiye kanal katkısı ölçülürken kuvvet duyargası kanal altına, pervane katkısı ölçülürken motor kovanı altına monte edilmiştir (Şekil 5.28).



Şekil 5.28: Kanal içi pervane kuvvet ölçüm düzeneği.

Kanal içi pervane sisteminin statik ve 20 m/s hıza maruz hali için farklı güç miktarlarında ve iki farklı güç miktarı için (330W ve 665W) dört farklı serbest akım hızında (5, 10, 15, 20 m/s) itkiye kanalın ve pervanenin katkısı ayrı ayrı ölçülmüştür. Bu ölçümler her üç kanal modeli için tekrarlanmıştır. Ayrıca pervanenin yeri kanal içerisinde üç farklı konuma getirilerek (en dar kesit, h25, f32) yukarıda bahsedilen ölçümler tekrarlanmıştır. Son olarak NACA 0018 kanalı içerisinde pervanenin hatve oranını değiştirerek kanal itkisi performansına katkısı araştırılmıştır.

Deney sonuçlarından ilk önce itkiye pervanenin katkısı, yalın pervane performansı ile karşılaştırılarak verilecektir.

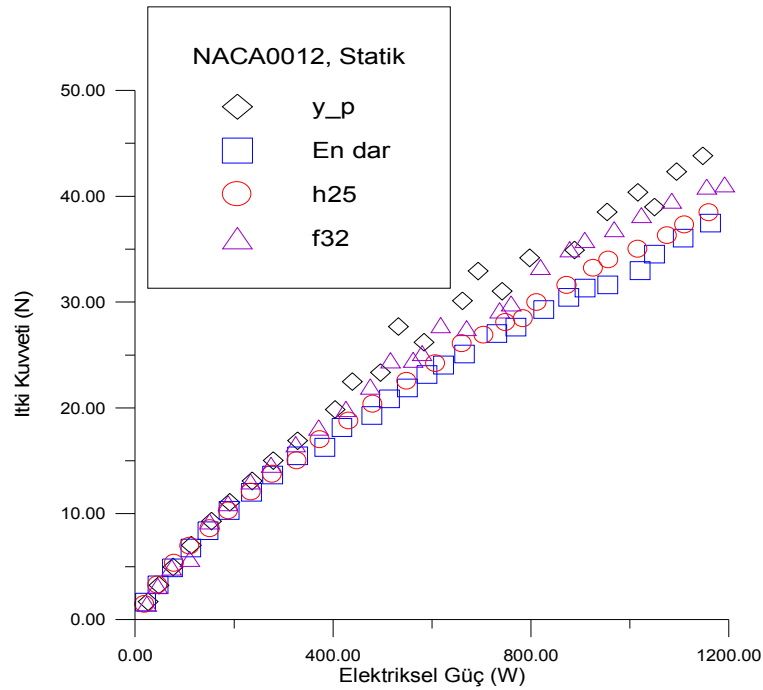


Şekil 5.29: Üç farklı kanalda, kanal içi pervane itkisinde pervanenin katkısının (k_{p_p}) yalın pervane itkisi ile karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte üç farklı kanal içi pervane sisteminde en dar kesitteki pervanenin ürettiği itki değerlerinin, yalın pervane itkisi ile statik hal için karşılaştırılması yer almaktadır. 20 m/s'lik serbest akım hızında yapılan deneylerde de benzer yapıda bir grafik elde edilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi özellikle yüksek güç değerlerinde, aynı güç miktarında yalın pervane (y_p) diğer kanal içi pervane sistemlerindeki pervanelerden (k_{p_p}) daha fazla itki kuvveti oluşturmaktadır. Bunun sebebini de kanalların serbest akım hızını pervaneye ulaşana kadar hızlandırması olarak söyleyebiliriz.

Pervanenin gördüğü serbest akım hızı arttıkça pervanenin üreteceği itki miktarı da azalmıştır. Üç farklı kanaldaki pervanelerin ürettikleri itki değerleri de birbirine çok benzer değerlerde çıkmıştır.

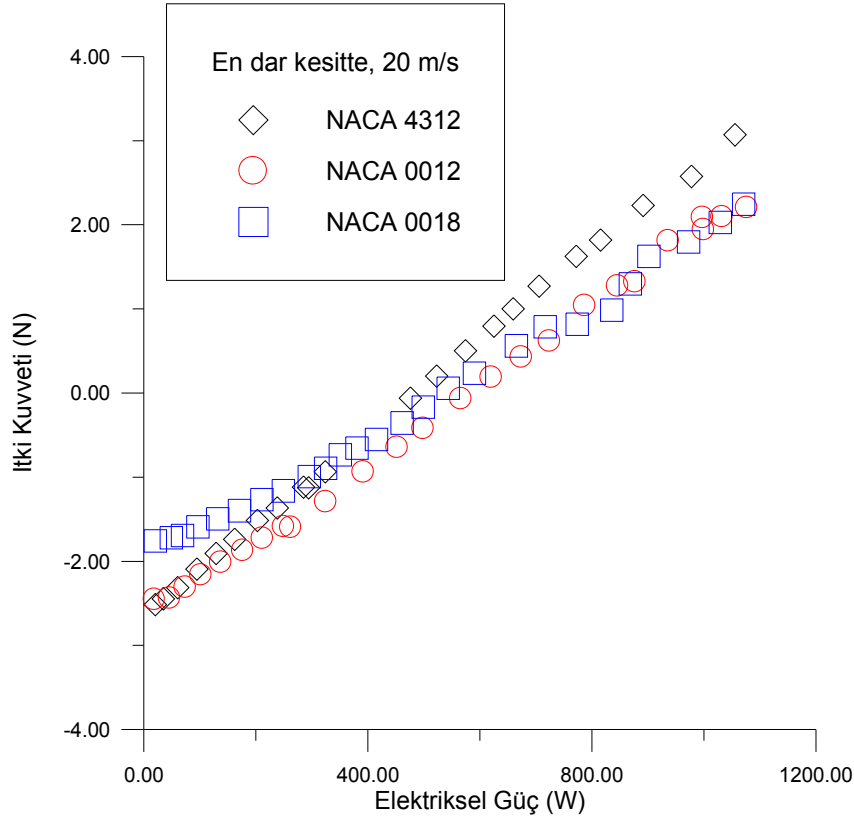
Kanal içi pervane sisteminde pervane yeri değiştirilerek oluşabilecek olan performans farkı incelenmiş ve Şekil 5.30'da ifade edilmiştir. NACA 0012 kesitli kanal içi pervane sistemi içerisinde 8 inç hatve oranına sahip pervane üç farklı istasyonda, hücum kenarından 25 mm içeride (h25), firar kenarından 32 mm içeride (f32) ve en dar kesitte, merkezlenerek statik hal için deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha önce de ifade edildiği gibi pervane yeri değişikçe kanal sabit olduğu için kanal ile pervane arasındaki açıklık da değişmektedir (Çizelge 5.2). Uç açıklık oranı arttıkça kanal içi pervane sisteminde pervane, kanal ile etkileşime daha az girerek sanki yalın pervane gibi davranır. Bu açıklama Şekil 5.30'da da net olarak gözükmemektedir.



Şekil 5.30: Kanal içi pervane itkisinde pervane katkısının değişen pervane yerine göre farklılığı.

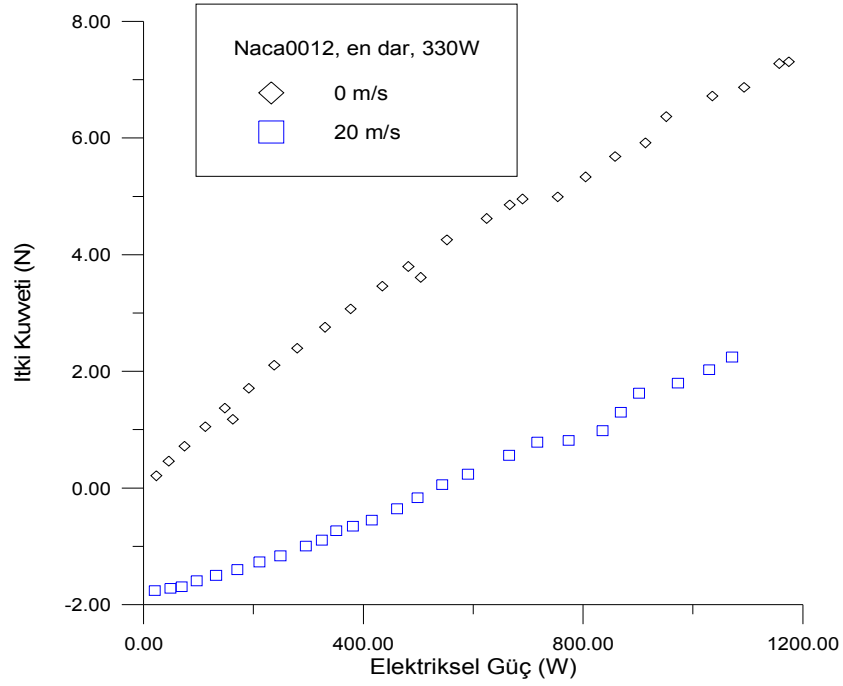
Ayrıca akım, f32 istasyonunda kesit genişlediği için yavaşlamış ve pervanenin gördüğü serbest akım hızı daha azalmıştır. Pervanenin karşılaştığı akım hızı azaldığı için pervane performansı da artmıştır.

Bundan sonraki kısımda aynı şartlarda kanal içi pervane sisteminde kanalın itkiye katkısı tartışılacaktır.



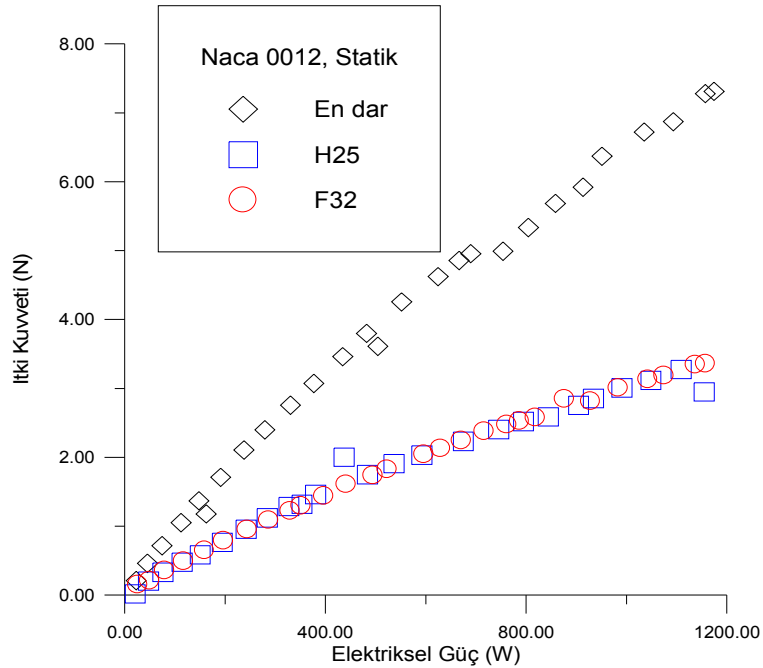
Şekil 5.31: Kanal içi pervane sisteminde üç farklı kanalın itkiye katkısının karşılaştırılması.

Kanal içi pervane sisteminde, itkiye kanalın katkısı araştırıldığında kanalın içerisinde pervane yokken aynı serbest akım hızında kanal sürüklemeye yaratmakta pervane kanal ile çevrelendiğinde ise kanal, pervane akışı ile etkileşime girerek itki kuvveti oluşturmaktadır. Şekil 5.31’de üç farklı kanalın farklı güç değerlerinde, aynı tip pervane kanalların en dar kesitinde iken oluşturduğu aksenal kuvvet çizdirilmiştir. Akış ile aynı yön eksi işaretini göstermektedir. Dolayısıyla 20 m/s’de gerçekleştirilen deneyde düşük güç değerlerinde kanal, akış ile aynı yönde, yani sürüklemeye oluştururken artan güç değerleriyle kanallar itki üretmeye başlamaktadır. Grafikte görüldüğü gibi en yüksek itki değerini kamburluklu NACA4312 kesitli kanal oluşturmaktadır. Statik halde yapılan deneyler çizdirildiğinde üç kanalın da itkiye katkısı benzer çıkmıştır. Statik halde üretilen itki kuvveti ile 20 m/s’de üretilen itki kuvveti Şekil 5.32’de karşılaştırılmıştır.



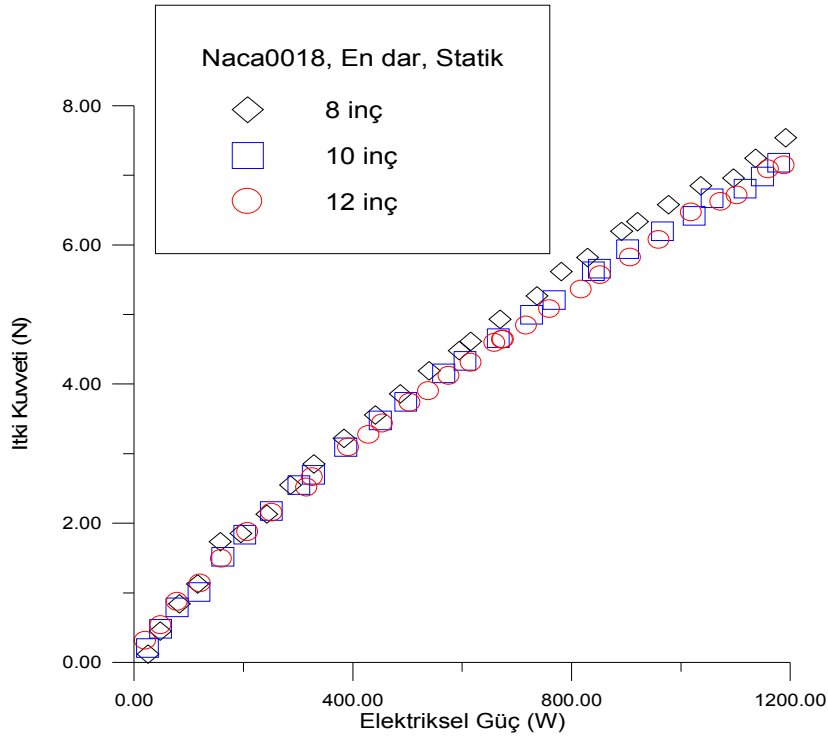
Şekil 5.32: İki farklı serbest akım hızında kanal içi pervane sisteminde itkiye kanalın katkısı.

NACA 0012 kesitli kanal içi pervane sisteminde, pervane kanalın en dar kesitinde iken gerçekleştirilen deneylerde, kanalın en fazla itki kuvvetini statik haldeyken oluşturduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.32). Yüksek hızlarda kanal oluşturduğu sürüklenme kuvvetinin yenmek zorunda olduğu içi çok fazla itki kuvveti üretememiştir.



Şekil 5.33: Pervane yeri değişikliğinin kanal içi pervanede kanal itkisine etkisi.

Kanal içi pervane sisteminde pervanenin yeri değiştirildiğinde, oluşacak olan kanal itkisi performans değişikliğini incelemek için NACA 0012 kesitli kanalda statik halde iken üretilen itki kuvveti Şekil 5.33'te çizdirilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi kanal en fazla itkiyi pervane en dar kesitte iken oluşturmuştur. Pervane hücum kenarından 25 mm içeride (h25) ve firar kenarından 32 mm (f32) içeride iken üretilen itki kuvvetleri yaklaşık olarak eşittir. En dar kesitten uzaklaştıkça uç açıklık oranı artar, böylece kanal ile pervane daha az etkileşime girer ve kanal tarafından üretilen itki kuvveti azalır.

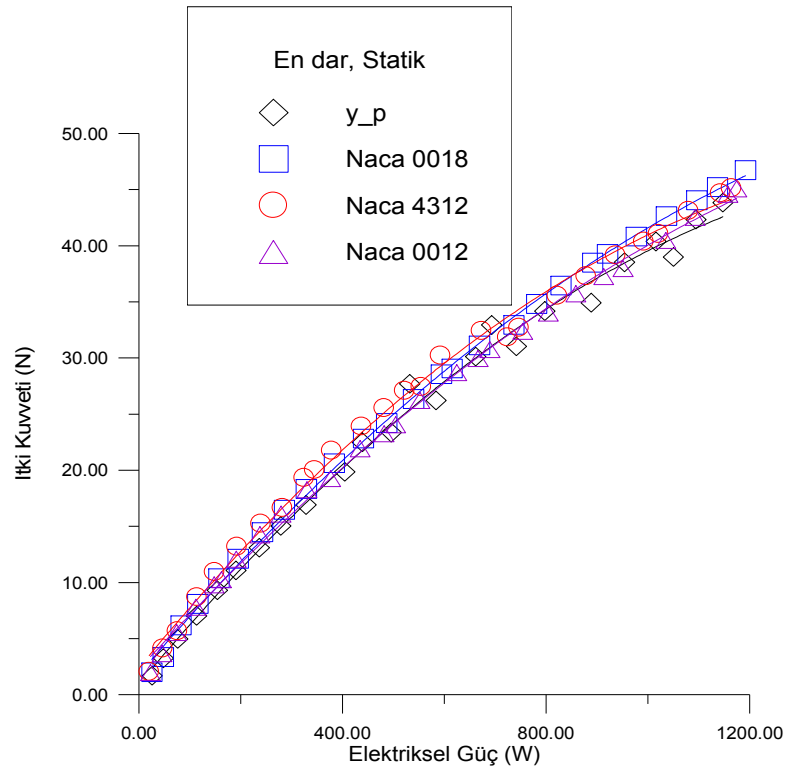


Şekil 5.34: Pervane hatve oranı değişiminin kanal içi pervanede kanal itkisine etkisi.

Pervane hatve miktarının değiştirilmesinin yalın pervanede etkisi yalın pervanenin kuvvet duyargası ile incelenmesi bölümünde işlenmişti. Kanal içi pervane sisteminde, pervane hatve miktarının değişmesinin kanal itkisini etkileyip etkilemediğini incelemek için NACA 0018 kesitli kanal içerisinde en dar kesitte, statik hal için üç farklı hatve oranında (8, 10, 12 inç oranında) pervaneler kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir ve Şekil 5.34' te çizdirilmiştir.

Grafikte de görüldüğü gibi hatve oranı değişimi kanal performansını çok fazla etkilememektedir fakat yine de en fazla kanal itkisi en az hatve oranına sahip pervane ile oluşmaktadır. Bu duruma, en az hatve oranına sahip pervanenin en iyi statik performansı vermesi yol açmıştır. Yüksek serbest akım hızlarında yapılan deneylerde hatve oranı değişiminin kanal performansına ilave bir katkısı olmadığı görülmüştür.

Kanal içi pervane sistemlerinde pervanenin ve kanalın performansına ayrı ayrı baktıktan sonra kanal içi pervane performansı bundan sonraki bölümde toplu olarak incelenecektir. Kanaldan elde edilen itki ve pervaneden elde edilen itki toplanarak sistemin toplam performansı hesaplanacak ve yalın pervanenin statik ve 20 m/s'lik serbest akıma maruz hali ile kıyaslanacaktır. Ayrıca pervane yerinin değişiminin toplam performansta yarattığı farklılık belirlenecektir.



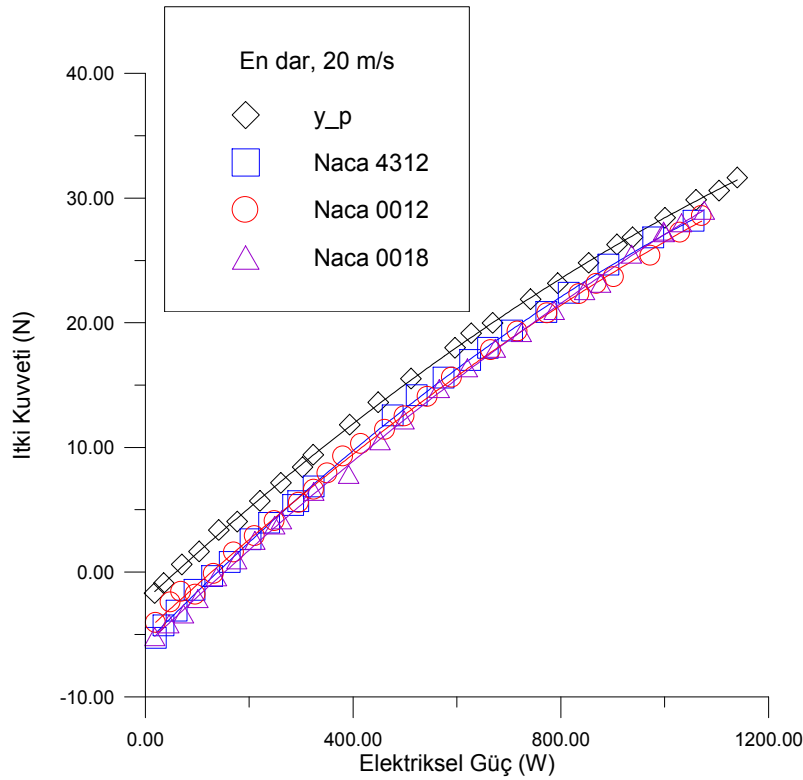
Şekil 5.35: Üç farklı profile üç ayrı kanal içi pervane statik itki performansı ile yalın pervane statik itki performansının karşılaştırılması.

Üç farklı kanat profilindeki (NACA 0012, NACA 0018, NACA 4312) üç ayrı kanal içi pervane sisteminin toplam statik itki performansı hesaplanmış ve yalın pervane statik itki performansı ile kıyaslanarak Şekil 5.35' te çizdirilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi kanal ilavesi ile az da olsa yalın pervane performansı geliştirilmektedir.

Pervane etrafına NACA 0012 kesitli kanal geçirildiği zaman yalın pervane itki performansının çok da iyileştirilemediği şekilde görülmektedir. Bu kanalın performansı 1 kW'lık güçten sonra ancak yalın pervane performansını geçmeye başlamıştır.

NACA 4312 kesitli kanalın pervane etrafına geçirilmesi ile yalın pervane itki performansı özellikle düşük güç değerlerinde geliştirilmiştir.

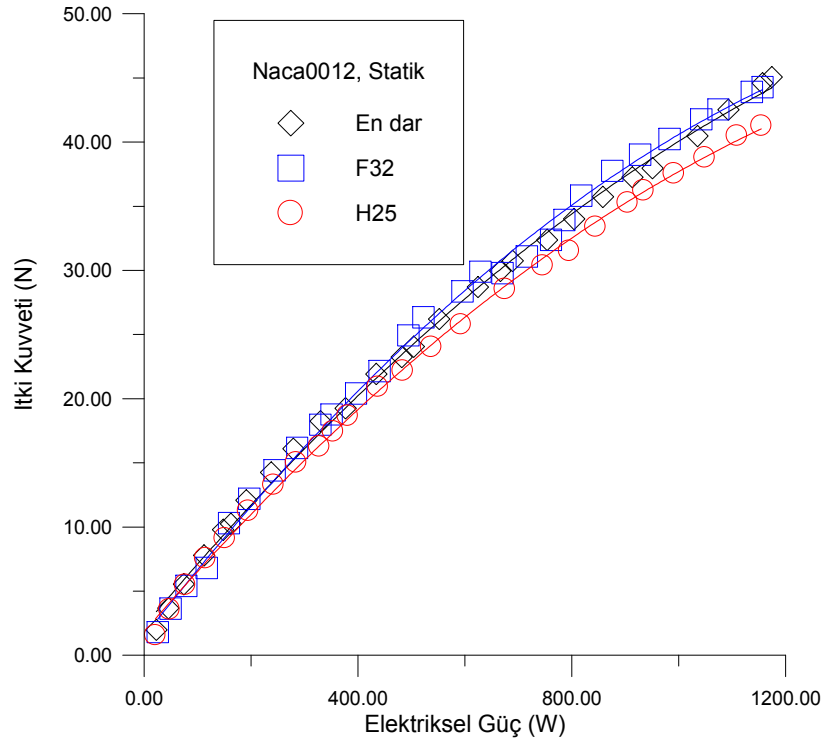
Oysa NACA 0018 kesitli kanal içi pervane sisteminde artan güç miktarı ile kanal içi pervane sisteminden alınan ilave performans da artarak devam etmiştir. NACA 0018 kesitli kanal içi pervane sistemi, NACA 4312 kesitli kanal içi pervane sisteminin itki performansını 800W civarında yakalayarak geçmektedir ve yüksek güç miktarlarında en iyi itki performansı veren kanal içi pervane sistemi olmaktadır



Şekil 5.36: Serbest akım hızı 20 m/s iken, üç farklı profilde üç ayrı kanal içi pervane ile yalın pervane itki performansının karşılaştırılması.

20 m/s serbest akım hızında üç farklı kanat profilindeki (NACA0012, NACA0018, NACA4312) üç ayrı kanal içi pervane sisteminin toplam itki performansı hesaplanmış ve yalın pervane itki performansı ile kıyaslanarak Şekil 5.36'da çizdirilmiştir.

Grafikte görüldüğü gibi yüksek hızlarda pervane etrafına kanal geçirilmesi ile itki performansında bir kazanç sağlanamamaktadır. Kanalin akışı hızlandırarak pervane itkisini azaltması ve yüksek hızlarda kanalın ilave sürüklenme kuvveti oluşturması sebebiyle kanal içi pervane performansı yüksek hızlarda yalın pervane performansından daha kötü olmaktadır. Artan güç değerleri ile kanal içi pervane performansı toparlansa bile yine de yalın pervane itkisine ulaşamamaktadır.

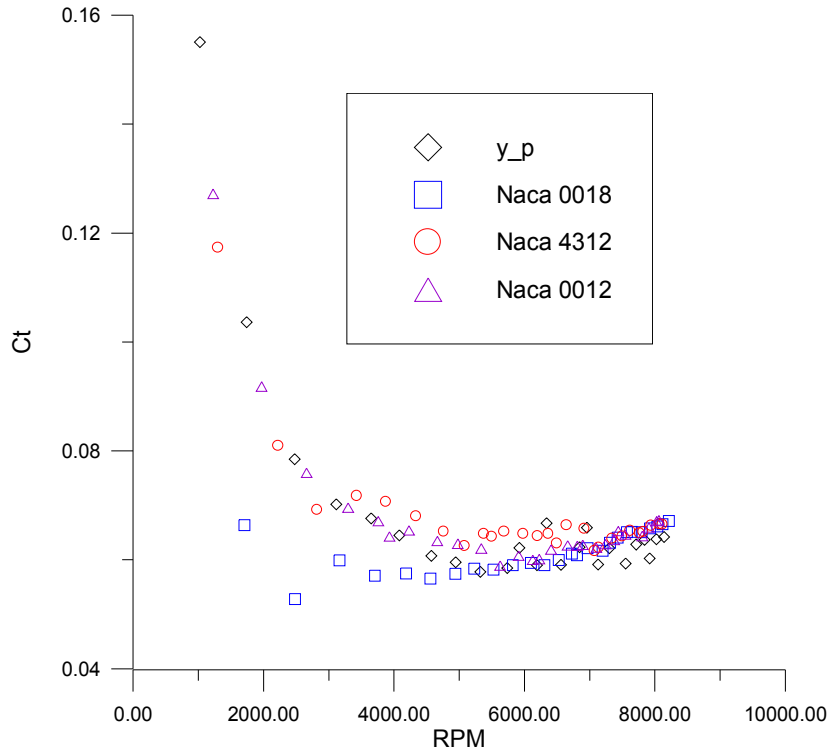


Şekil 5.37: Pervane yeri değişiminin kanal içi pervane toplam statik itki performansına etkisi.

Kanal içi pervane sisteminin toplam itki performansına pervane yerinin etkisini belirlemek için NACA 0012 kesitli kanal içerisinde üç istasyonda, hücum kenarından 25 mm içeride (h25), firar kenarından 32 mm içeride (f32) ve en dar kesitte, statik itki ölçümleri yapılmış ve elde edilen kanal itkisi ve pervane itkisi toplanarak Şekil 5.37’te ifade edilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi pervane en dar kesitteye yakın ve firar kenarına yakın istasyonda elde edilen toplam itki performansları benzerdir fakat pervane hücum kenarına yakinken elde edilen itki değeri diğer iki performanstan daha düşüktür. Bu durumu şu şekilde açıklanabilir. Pervane firar kenarına yakinken kanal içi pervane sisteminde pervanenin itki performansı pervanenin gördüğü serbest akım hızı daha az olduğu için, en dar kesitteki pervanenin itki performansından daha iyidir.

Öteki tarafta pervane en dar kesitteyken kanal tarafından üretilen itki kanalla arasında uç açıklık oranı daha az olduğu için pervane F25 istasyonundayken kanal tarafından üretilen itkidən daha fazladır. Sistemlerin toplam itki performansı hesaplanırken kanal ve pervane itkileri toplandığında iki konumun avantaj ve dezavantajı birbirini götürerek toplamda yakın itki değeri elde edilmesini sağlar. Hücüm kenarına yakın istasyonda hem pervane hem de kanal istenilen itki performansından daha azını gerçekleştirdiği için toplamda diğer iki konumda elde edilen değeri gerisinde kalmaktadır.

Bundan sonraki kısımda elde edilen veriler dönüş hızı/tork duyargasından elde edilen dönüş hız verileri ile boyutsuzlaştırılmış ve çizdirilerek açıklanmıştır.

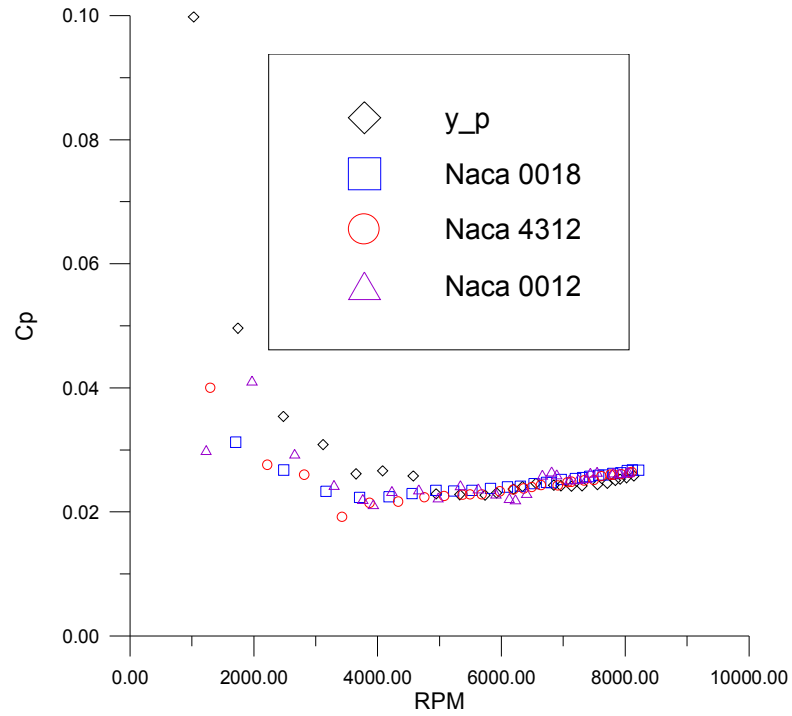


Şekil 5.38: Statik halde sistemlerin C_t -RPM değişim grafiği

Şekil 5.37’de yalın pervaneden ve pervanenin en dar kesitte olduğu kanal içi pervane sistemlerinden elde edilen toplam itki dönüş hızı/tork duyargasından elde edilen dönüş hızı değeri ile boyutsuzlaştırılmış (Denklem 5.1) ve boyutsuz itki katsayısı pervane dönüş hızıyla çizdirilmiştir, ρ : yoğunluk, n : rad/s, D : en dar kesit çapı (m).

$$C_t = T / \rho n^2 D^4 \quad (5.1)$$

Statik halde gerçekleştirilen bu deneylerde kanal içi pervane sisteminden elde edilen itki katsayısı artan rpm değerleriyle yalın pervane itki katsayısını geçmektedir. Naca 0018 kesitli kanaldan elde edilen veri 6000 rpm civarına kadar yalın pervane sisteminden elde edilen verilerin altında kalmıştır. Daha sonra artarak yalın pervane verisini geçmiştir. Naca 0012 kesitli kanal ise 6000 devirlere kadar yalın pervane değerleri ile benzer değerler oluştururken 6000 rpm'den sonra bu kanal da yalın pervane sisteminden daha iyi performans göstermektedir. Naca 4312 kesitli kanal ise daha erken değerlerde yalın pervaneden daha iyi sonuç vermektedir. 3000 rpm'de daha iyi sonuç vermeye başlayan Naca 4312 kesitli kanal 4000 ile 8000 rpm arasında aynı C_t değerlerini üretmektedir ve bu aralıkta yalın pervaneden daha iyi performans göstermektedir. 7000 rpm'den sonra diğer kanal içi pervane sistemleri artarak 8000 rpm'de Naca 4312 kesitli kanalın performansını yakalamıştır.



Şekil 5.39: Statik halde sistemlerin C_p -RPM değişim grafiği

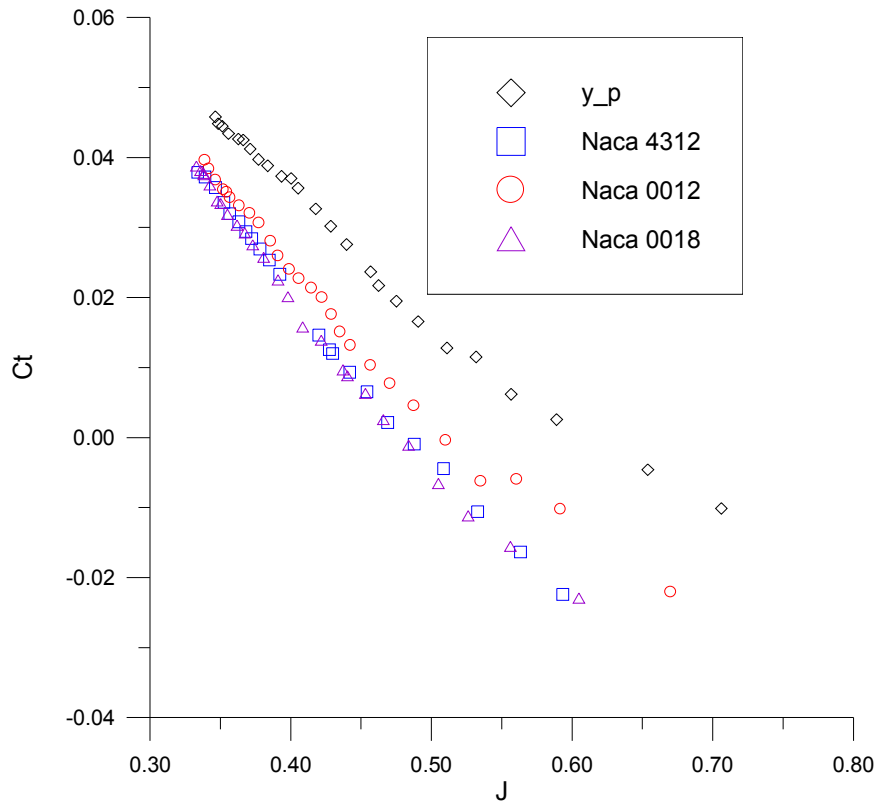
Şekil 5.38'de yalın pervane ve kanalların boyutsuz güç katsayısı pervane dönüş hızı ile çizdirilmiştir. Statik halde gerçekleştirilen deneylerde güç değeri (G) dönüş hızı/tork duyargası ile elde edilen dönüş hızı (n) ve tork verilerinin (Q : Nm) çarpılması ile bulunmuştur (Denklem 5.2).

$$G = 2\pi nQ \quad (5.2)$$

Elde edilen güç değeri daha önce itki değerinin boyutsuzlaştırıldığı gibi pervane dönüş hızı ve en dar kesit çapı değerleri ile boyutsuzlaştırılır (Denklem 5.3).

$$C_p = G / \rho n^3 D^5 \quad (5.3)$$

Şekil 5.38’de görüldüğü gibi kanal içi pervane sistemleri düşük rpm değerlerinde yalın pervaneye göre daha dağınık ve düşük güç katsayısı üretirken 5000 rpm’den sonra birbirlerine yakın ve yalın pervaneden az da olsa daha yüksek güç katsayısı oluşturmaktadır.

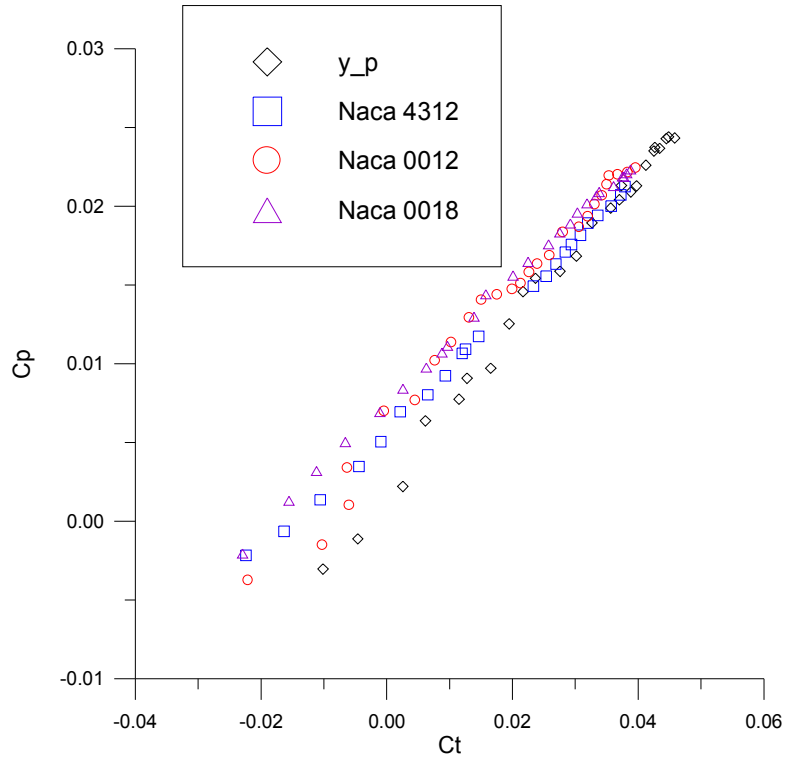


Şekil 5.40: Sistemlerin 20 m/s serbest akım hızına maruz hali için Ct-J değişim grafiği

Şekil 5.39’da sistemler 20 m/s serbest akıma maruzken oluşturdukları boyutsuz itki katsayısı, rpm değişimine bağlı olarak değişen ilerleme oranına (J) göre çizdirilmiştir. İlerleme oranı (J), serbest akım hızının (V_a) pervane dönüş hızıyla (n) boyutsuzlaştırılması ile elde edilir (Denklem 5.4).

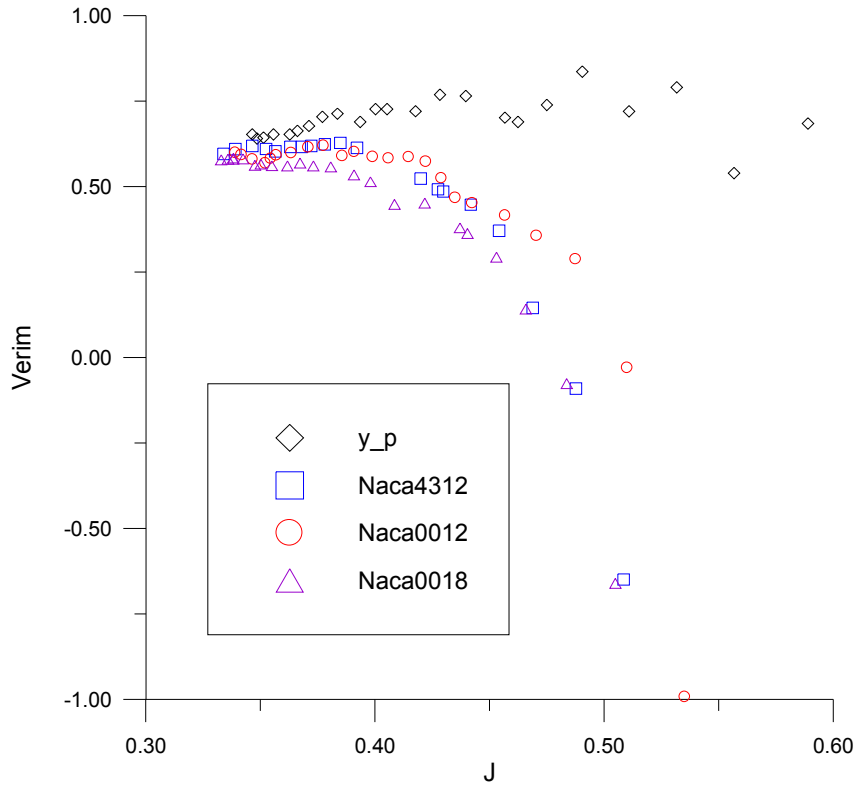
$$J = V_a / nD \quad (5.4)$$

Şekil 5.39’da da görüldüğü gibi yüksek serbest akım hızlarında daha fazla sürüklenme yaratan Naca 4312 ve Naca0018 kanallarına sahip sistemlerin boyutsuz itki katsayıları birbirine benzer ve Naca 0012 kesitli kanala sahip sistemden daha az çıkmıştır. Naca 0012 kesitli kanala sahip sistem performansı yüksek serbest akım hızlarında diğer kanal içi pervane sistemlerinden daha iyi çıkmıştır fakat bütün sistemlerin performansı yalın pervanenin verilerinden daha düşük çıkmıştır. Yani yüksek hızlarda, tasarlanan bu kanal içi pervane sistemlerinin performansı yalın pervane performansından daha kötüdür.



Şekil 5.41: Sistemlerin 20 m/s serbest akım hızına maruz hali için C_p - J değişim grafiği

Şekil 5.40’ta sistemler 20 m/s serbest akıma maruzken oluşturdukları boyutsuz güç katsayısı değişimi, boyutsuz itki katsayısına göre çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi aynı itki katsayısını oluşturabilmek için kanal içi pervane sistemleri daha fazla güç katsayısında çalışmak zorundadır. Beklenildiği gibi daha yüksek itki katsayısı elde etmek için daha yüksek güç katsayısına ihtiyaç duyulur. Sistemlerin aynı miktarda itki katsayısı üretmek için ihtiyaç duyacağı güç katsayısı, itki katsayısı arttıkça birbirlerine yaklaşmaktadır.



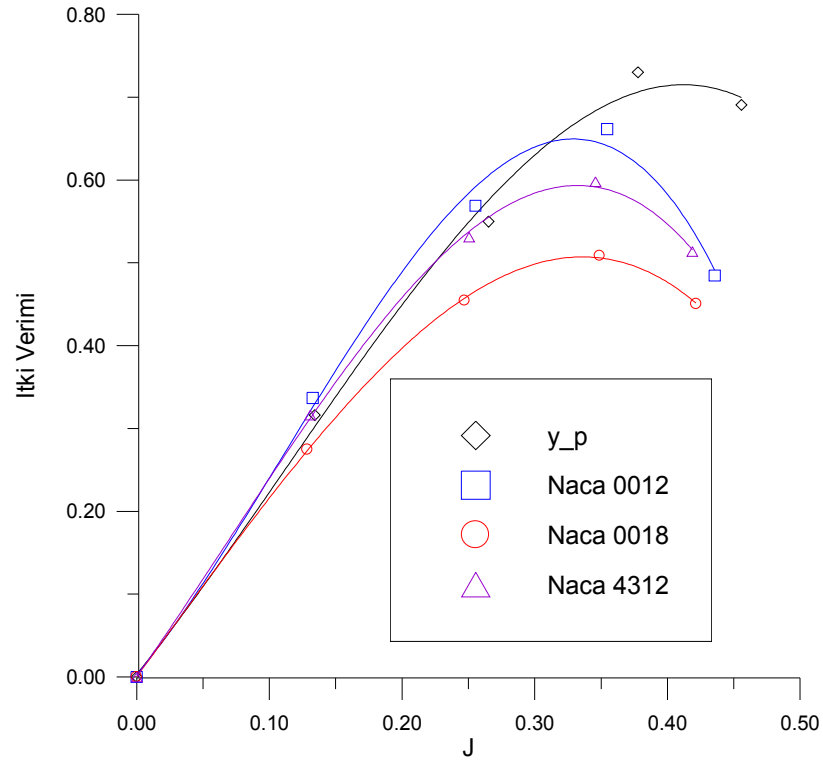
Şekil 5.42: Sistemlerin 20 m/s serbest akım hızına maruz hali için η -J değişim grafiği

Şekil 5.41’de kanal içi pervane ve yalın pervane sistemlerinin itki verimi (η) değeri pervane ilerleme oranına (J) göre çizdirilmiştir. İtki verimi elde edilirken yararlı güç (sistemlerin itkisi X serbest akım hızı), denklem 5.2’den elde edilen güç değerine bölünerek elde edilir (Denklem 5.5).

$$\eta = \frac{T * V_a}{G} \quad (5.5)$$

Şekil 5.41’de görüldüğü gibi yalın pervane sistemi verimi artan ilerleme oranı ile yaklaşık olarak sabit kalmaktadır oysa kanal içi pervane sistemleri belirli bir ilerleme oranından sonra keskin bir şekilde azalarak sıfır olmaktadır. Verimin negatif olması da sistemin o ilerleme oranlarında itki değil de sürüklenme kuvveti oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi 20 m/s serbest akım hızına maruz kanal içi pervane sistemleri yalın pervane sisteminden daha kötü verimde çalışır. Rpm arttıkça yani ilerleme oranı azaldıkça sistem verimlerinin yalın pervane verimine yaklaşılmaya başladığı görülmektedir.

Dizayn edilen sistemlerden görüldüğü gibi en kötü verimi Naca 0018 kesitli kanal içi pervane sistemi gerçekleştirmektedir. Yüksek serbest akım hızlarında diğerlerine göre daha çok sürüklenme kuvveti oluşturması verimin düşük olmasındaki en büyük nedendir. Düşük rpm'lerde yani yüksek ilerleme oranlarında en iyi verimi Naca 0012 kesitli kanala sahip sistem gerçekleştirmektedir. Daha düşük ilerleme oranlarında en iyi performansı Naca 4312 kesitli kanal içi pervane sistemi gerçekleştirmektedir.



Şekil 5.43: Aynı elektriksel güçte sistemlerin, değişen serbest akım hızlarına göre η - J değişim grafiği

Şekil 5.42'de aynı güçte (~330W) kanal içi pervane ve yalın pervane sistemleri verimleri değişimi ilerleme oranına göre çizdirilmiştir. Pervane dönüş hızları benzer fakat ilerleme oranının serbest akım hızı arttıkça artıyor. Şekil 5.43'de görüldüğü gibi yüksek ilerleme oranlarında (yani yüksek serbest akım hızlarında) kanal içi pervane sistem verimleri yalın pervane veriminden daha kötü çıkmaktadır. Düşük ilerleme oranlarında ise Naca 0012 ve Naca4312 kanallarının verimleri yalın pervane veriminden daha iyidir. Kanal içi pervane sistemlerinde en iyi verimi Naca 0012 kesitli kanal göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamınca anlatılan ve deneysel araştırmalarla desteklenen çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiş ve çalışmanın devamında kanal içi pervane performansını iyileştirmek için öneriler ifade edilmiştir.

6.1 Sonuçlar

Hücum kenarı eğrilik yarıçapı arttıkça statik itki performansı artar, fakat yandan rüzgar gelen durumda veya 90 derece hücum açısıyla yatay seyir anında hücum kenarı iç kısmında oluşan akım ayrılımları sebebiyle yunuslama momenti artarak uçuşun kararsız olmasına neden olur.

Akışın gelişmesine olanak tanınan kanallarda kanal boyu değişiminin etkisi yoktur.

Uç açıklık oranı azaldıkça uç açıklık oranının getirdiği fayda da azalmaktadır. Bu nedenle uç açıklık oranı ne toplam itkiyi azaltacak kadar çok fazla ne de üretim imkanlarını ve maliyeti zorlayacak kadar çok az seçilmelidir.

Literatürdeki çalışmalardan alanlar oranının bir ve birden küçük olduğu durumların, yüksek hızlı seyir uçuşu performansını iyileştirdiği fakat statik itki performansının da kötüleşmesine neden olduğu bilinmektedir. Alanlar oranının birden büyük olduğunda ise tam ters etki mevcuttur.

Açıklık oranı aynı olan düzlemsel kanada göre dairesel dağılımlı profile sahip kanal yaklaşık olarak iki kat daha büyük taşıma katsayısı eğimine sahiptir. Ayrıca eliptik kanadın yarısı büyüklüğünde indüklenmiş sürüklenme yaratır.

Aktiflik oranı dışında bütün şekil karakteristikleri aynı olan pervanenin kanatçık sayısı arttıkça itki performansı ve kanal itkisi serbest akım hızı arttıkça artar.

Pervane planformunun değişikliği kanal performansında çok fazla değişiklik göstermeden daha çok pervane performansını etkilemiştir. Pervanedeki sirkülasyon dağılımının kanal içi pervane performansında beklenenden daha az etkili olduğu görülmüştür.

Pervanenin yerini incelemek iki sebepten dolayı çok önemlidir. Birincisinde, eğer pervane görece önde olursa akış, rahatça yayılıp genişlemesine yetecek yere sahip olacaktır. İkincisinde ise, eğer pervane görece daha arkaya yerleştirilirse kanalın hücum açısı aldığı durumlarda oluşan asimetrik akış sebebiyle oluşabilecek asimetrik yük dağılımından pervane daha az etkilenecektir. Alanlar oranının ifade ettiği difüzyon oranını sağlayabilecek kadar kanal içindeki pervane arkasında yeterli mesafe yoksa özellikle yüksek serbest akım hızlarında akış genişleyemeyerek istenen difüzyon oranı sağlanamayacak ve kanaldan beklenen itki de düşecektir.

Yalın kanal içinde yapılan hız taramalarında özellikle kanal içerisinde yüzeye yakın kısımlarda akışın daha çok hızlandığı görülmektedir. Beklenildiği gibi sınır tabaka hücum kenarından firar kenarına doğru gelişerek kalınlaşmaktadır.

Yalın kanal serbest akıma maruz kaldığında en yüksek sürüklenme kuvvetini beklenildiği gibi Naca 0018 kesitli kanal, sonra Naca 4312 kesitli kanal, en az sürüklenme kuvvetini de Naca 0012 kesitli kanal oluşturmaktadır. Sürüklenme kuvveti hızın karesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Aynı güçte pervane izinde farklı istasyonlarda yapılan hız taramalarında indüklenmiş akışın pervane düzleminden uzaklaştıkça daralarak hızlandığı görülmektedir.

Aynı güçte pervane izinde yapılan hız taraması deneylerinde serbest akım hızı arttıkça indüklenmiş akış alanının genişlediği görülmüştür.

Statik halde en düşük hatveli pervane en yüksek statik itkiyi vermektedir.

Aynı güçte kanal içi pervane izinde yapılan hız taramalarında serbest akım hızı arttıkça kanal içi pervane sisteminin akışı hızlandırabilme miktarı azalmıştır fakat indüklenen akış alanı genişlemektedir.

Yalın pervane ve kanal içi pervane izinde statik hal için yapılan hız taramalarında kanal ilavesi ile pervane izindeki akışın yavaşlatılarak genişletildiği gözlemlenmiştir. Akışın en fazla Naca 0012 kesitli kanal tarafından genişletildiği ve en fazla Naca 4312 kesitli kanal tarafından yavaşlatıldığı görülmüştür. Yüksek hızlarda yapılan deneylerde ise kanal ilavesi ile pervane izindeki akış genişletilebilmiş fakat yavaşlatılamamıştır.

Yedi delikli basınç probu ile yapılan ölçümlerde görülmüştür ki pervane etrafına kanal geçirildiğinde kanal, pervane etkisi sebebiyle akışı hücum açılı görüyormuş gibi basınç dağılımı yaratır. Kanal dışında alınan ölçümler iki boyutlu basınç dağılımı grafiklerinin hücum açılı haline benzemektedir fakat pervane etkisi sebebiyle kanal içerisindeki ölçümler iki boyutlu basınç dağılımı grafiklerine benzememektedir.

Kanal rüzgar tüneline tek başınayken sürüklenme kuvveti oluştururken pervane etrafına geçirildiğinde itki kuvveti oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu durum turbofan tipi uçak motorlarındaki duruma benzerdir. Oluşturulan bu itki kuvveti serbest akım hızı arttıkça sürüklenme kuvvetinin serbest akım hızının karesi ile artması sebebiyle hızlı bir şekilde düşmektedir. Çok yüksek serbest akım hızlarında ancak çok yüksek rpm değerlerinde itki kuvveti verebilmektedir.

Kanal içi pervane sisteminde statik hal için yapılan eksenel kuvvet ölçüm deneylerinde görece düşük rpm'lerde (düşük güçlerde) Naca 4312 kesitli kanal daha iyi statik itki performansı vermektedir. Oysaki pervane dönüş hızı (güç miktarı) arttıkça diğer kanal performansları Naca 4312 kesitli kanal performansını yakalayıp geçmektedir. Artış eğiliminin gidişatından daha yüksek pervane dönüş hızlarına (daha yüksek güç değerlerine) çıkabilseydi Naca 0018 kesitli kanal içi pervane sisteminin en iyi statik itki performansı verebileceği gözükmemektedir.

Pervane hatvesi değiştirilerek yapılan kanal içi pervane sisteminin itki performansı deneylerinde görülmüştür ki pervane hatve miktarı değişiminin kanal içi pervane performansına çok büyük bir etkisi yoktur.

Pervane yerinin değiştirilmesinin performansa etkisinde şunlar görülmüştür. Firar kenarına yakın istasyonda (F32) daha geniş alanda pervanenin gördüğü akım yavaşladığı için pervane itkisi performansı artmış, kanal itkisi performansı azalmıştır. En dar kesit istasyonunda ise pervaneye gelene kadar pervanenin gördüğü akım kanal tarafından hızlandırıldığı için pervane performansı azalmış, pervanenin indüklediği akış ile kanal daha çok etkileşime girdiğinden kanal itkisi artmıştır. Toplamda bu iki kesitteki itki seviyeleri aynı miktarda kalmıştır.

Oysa hücum kenarına yakın kesite (H25) pervane yerleştirildiğinde pervanenin gördüğü akım kanal tarafından hızlandırıldığı için pervane performansı firar kenarına yakın istasyondaki pervane performansı kadar iyi olmamıştır. Ayrıca pervane ile kanal arasındaki etkileşim azaldığı için kanal performansı da azalmıştır. Toplamda pervane H25 istasyonundayken elde edilen itki performansı diğer iki istasyonda elde edilen itki performansının gerisinde kalmıştır.

Statik halde Naca 4312 ve Naca 0012 kesitli kanallar her zaman yalın pervaneden daha iyi statik itki performansı sağlar. Oysaki Naca 0018 kesitli kanal ancak yüksek rpm'lerden (8000) sonra yalın pervane statik itki performansını geçer. Daha önce bahsedildiği gibi Naca 4312 kesitli kanal görece düşük rpm aralığında (3000-8000) en iyi statik itki performansını verir. 8000 rpm'den sonra diğer kanal performansları Naca 4312 kesitli kanalın statik itki performansını yakalar.

Tasarlanan kanal içi pervane sistemleri statik halde az da olsa daha iyi performans vermiştir fakat yüksek hızlarda yalın pervane performansının gerisinde kalmıştır. Kanal içi pervane sistemleri arasında yüksek hızlarda en iyi performansı Naca 0012 kesitli kanal oluşturmaktadır fakat ilerleme oranı azaldıkça performans farkı da azalmaktadır. En kötü performansı da ürettiği daha büyük sürüklenme kuvveti sebebiyle Naca 0018 kesitli kanal oluşturmaktadır. Yüksek serbest akım hızlarında aynı miktarda itki üretmek için kanal içi pervane sistemleri yalın pervane sistemine göre daha fazla güce ihtiyaç duyduğu da gözlemlenmiştir.

Statik halde en iyi verim de çalışan sistem Naca 4312 kesitli kanala sahip kanal içi pervane sistemidir. Yüksek hızlarda ise yüksek ilerleme oranlarında Naca 0012 kesitli kanal içi pervane sistemi daha iyi iken düşük oranlara doğru Naca 4312 kesitli kanal daha iyi verimde çalışmaktadır.

6.2 Öneriler

Tasarlanan kanal içi pervane sistemlerinin statik performansları yalın kanalın statik itki performansından az da olsa iyidir. Bu iyileştirmenin az olmasındaki en büyük neden kanalın pervanenin gördüğü akışı hızlandırması sebebiyle pervane itki performansının düşmesidir. İlave kanal itkisi ekstra performans kazancı getirmesi gerekirken ancak kaybı telafi edip küçük bir miktar kazanç sağlamaktadır.

Bu amaçla bundan sonra tasarlanan deneylerde pervanenin gördüğü akışın kanal tarafından hızlandırılmayacağı, içi daralan değil de genişleyen, bir kanal tasarlanmalıdır.

Görece düşük RPM (güç) değerlerinde sitem çalışacak ise kamburluklu profil ile hem daha iyi statik itki hem de daha iyi verimde bir performans alınmıştır. Ancak daha yüksek güç değerlerinde daha büyük eğrilik yarıçapına sahip Naca 0018 kesitli kanal içi pervane sistemi daha iyi statik itki vermiştir. DİK-İHA isterlerine göre uygun profil tipi seçilmelidir.

Alanlar oranının birbirine yakın ve yalın pervanenin alanlar oranından çok farklı olmadığı için alanlar oranının etkisini belirlemek için daha yüksek alanlar oranında kanal üretilerek alanlar oranının performansa etkisi belirlenmelidir.

Yüksek hızlarda kanal içi pervane sisteminde performansın yalın pervane performansından daha kötü olmasının en büyük nedeni pervanenin ilave yarattığı sürüklenme kuvvetidir. Bu amaçla daha az sürüklenme kuvveti oluşturan daha az kalınlık oranlı bir kanal seçilmelidir. Ayrıca kanaldan kaybedilen performans kaybını dengelemek için kanal daralan değil de içeride genişleyen bir kanal seçilmelidir. Bu sayede pervanenin gördüğü akış eğer serbest akım hız altına indirilebilirse pervane itkisinden kazanç elde edilebilir ve yüksek güç (RPM) seviyelerinde kanaldan sürüklenme değil de itki elde edilerek kanal içi pervanenin yüksek hız performansı artırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **McCormick, B.W.**, 1967. *Aerodynamics of V/STOL Flight*, Academic Press, New York.
- [2] **Piccirillo, A. C.**, 1997. *German V/STOL Fighter Program: A Quest for Survivability in a Theater Nuclear Environment*, AIAA, Virginia.
- [3] **Url-1** < http://en.wikipedia.org/wiki/Convair_XFY >, alındığı tarih 10.01.2011.
- [4] **Url-2** < http://en.wikipedia.org/wiki/Hiller_X-18 >, alındığı tarih 10.01.2011.
- [5] **Url-3** < http://en.wikipedia.org/wiki/Bell_X-22 >, alındığı tarih 11.01.2011.
- [6] **Ransone, R.**, 2002: An Overview of VSTOL Aircraft and Their Contributions, *2002 Biennial International Powered Lift Conference and Exhibit*, AIAA-2002-5979, Williamsburg, Virginia.
- [7] **Url-4** < http://en.wikipedia.org/wiki/AV-8_Harrier_II >, alındığı tarih 11.01.2011.
- [8] **Franklin, J. A.**, 2002. *Dynamics, Control, and Flying Qualities of V/STOL Aircraft*, AIAA Education Series, Virginia.
- [9] **Kuhn R.E., Margason R.J. ve Curtis P.**, 2006: Jet-Induced Effects The Aerodynamics of Jet and Fan-Powered V/STOL Aircraft in Hover and Transition, *Progress in Astronautics and Aeronautics*, Vol. **217**.
- [10] **Aktürk A., Shavalikul A. ve Camcı C.**, 2009: PIV Measurements and Computational Study Around a 5-Inch Ducted Fan for Vtol UAV, *Presentation of 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting*.
- [11] **Kahyaoğlu G.**, 2005. *Dikine Kalkış ve İniş Yapabilen Bir İnsansız Hava Aracına Yönelik Ön Tasarım Çalışması*, UUBF Bitirme Çalışması, İTÜ.
- [12] **Çoban M.**, 2006. *Dikine İniş Kalkış Yapabilen Kanal İçi Pervane Sistemli Bir İnsansız Hava Aracı İçin Pervane, Kanal ve Rüzgar Tüneli Modeli Tasarımı ve Üretimi*, UUBF Bitirme Çalışması, İTÜ.
- [13] **Özhalbant Z.**, 2008. Sabit Kanatlı Dikey İniş Kalkış İnsansız Hava Araçları Benzetim ve Kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [14] **Sacks A. H. ve Burnell J. A.**, 1959: Ducted Propellers – A Critical Review of The State of The Art, *Armed Services Technical Information Agency Report*, No. **ARD-232**, Virginia.
- [15] **Kriebel A.R.**, 1964: Theoretical Stability Derivatives for a Ducted Propeller, *Journal of Aircraft*, Vol.1, No. pp.203-210.
- [16] **Campbell J.P.**, 1964: Status of V/STOL Research and Development in the United States, *Journal of Aircraft*, Vol.1, No.3, pp.97-106.

- [17] **Kriebel A.R. ve Mendenhall M.R.,** 1966: Predicted and Measured Performance of Two Full-Scale Ducted Propellers, *Aerodynamic Problems Associated With V/STOL Aircraft, Symposium Proceedings*, Haziran 1966 Buffalo, New York.
- [18] **Thompson J.F. ve Roberts S.C.,** 1966: Shrouded Propeller Research at Mississippi State University Leading to Application on the United States Army XV-11A, *Aerodynamic Problems Associated With V/STOL Aircraft, Symposium Proceedings*, Buffalo, New York.
- [19] **Graf W., Fleming J. ve Ng W.,** 2008: Ducted Fan UAV Aerodynamics in Forward Flight, *46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, Reno, Nevada.
- [20] **Martin P. ve Tung C.,** 2004: Performance and Flowfield Measurements in a 10-inch Ducted Rotor VTOL UAV, *NASA Technical Report*, Document ID: **20050009943**, Ames Research Center.
- [21] **Fletcher H. S.,** 1957: Experimental Investigation of Lift, Drag, and Pitching Moment of Five Annular Airfoils, *NASA Technical Note 4117*, Washington.
- [22] **Mort K. W.,** 1965: Characteristics of a 4-Foot-Diameter Ducted Fan at Zero Angle of Attack for Several Fan Blade Angles, *NASA Technical Note 3122*, Washington.
- [23] **Abrego A. I. ve Bulaga R. W.,** 2002: Performance Study of a Ducted Fan System, *AHS Aerodynamics, Aeroacustics, and Test and Evaluation Technical Specialists Meeting*, San Francisco, CA.
- [24] **Sutliff D.L.,** 2005: Rotating Rake Turbofan Duct Mode Measurement System, *NASA/TM 2005-213828*.
- [25] **Maaloum A. Kouidri S., Bakir F. ve Rey R.,** 2003: Effect of Inlet Duct Contour and Lack Thereof on the Noise Generated of an Axial Flow Fan, *Applied Acoustics*, No **64**, pp.999-1010.
- [26] **Heining K., Kennepohl F. ve Traub P.,** 1995: Acoustics of a Counter Rotating Shrouded Propfan: Predicted and Data, *Journal of Aircraft*, Vol.**32**, No.5, pp.993-1000.
- [27] **Corsini A., Rispoli F. ve Sheard A.G.,** 2003: Development of Improved Blade Tip Endplate Concepts for Low-Noise Operation in Industrial Fans, *Journal of Power and Energy*, Vol.**221**, pp.669-681.

- [28] **Graf W. E.**, 2005. Effect of Duct Lip Shaping and Various Control Devices on the Hover and Forward Flight Performance of Ducted Fan UAV's, *Master Thesis* of Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- [29] **Dyer M.**, 2002. Aerodynamic Study of a Small, Ducted VTOL Aerial Vehicle, *Master Thesis* of Massachusetts Institute of Technology.
- [30] **Black D.M. ve Wainauski H.S.**, 1967: Shrouded Propeller Test Program Data Analysis, *HSER* **4348**, Vol. **1**.
- [31] **Wainauski H.S.**, 1968: Variable Geometry Shrouded Propeller Test Program, *HSER* **5062**, Vol. **I**.
- [32] **Gessow A., Myers G. C.**, 1967. *Aerodynamics of the Helicopter*, Frederick Ungar Publishing CO., Newyork.
- [33] **M. J. ve Presz Jr. W. M.**, 2008: Ducted Wind/Water Turbines and Propeller Revisited, *Journal of Propulsion and Power*, Vol **24**, No. 5.
- [34] **Kücherman D. ve Weber J.**, 1956. *Aerodynamics of Propulsion*, Chepter 6 – Ducted propeller, McGraw Hill Book Company Inc., New York.
- [35] **Url-5** <http://www.neumotors.com/site/1500_series >, alındığı tarih 31.01.2011.
- [36] Phoenix-HV-85 user guide.
- [37] **Koç S. T., Erdem D. ve Kavsaoglu M. Ş.**, 2010: Kanal İçi Pervane Sisteminin Deneyisel İncelenmesi, *III. Ulusal Havacılık ve Uzay Kongresi*, Eskişehir.

ÖZGEÇMİŞ

VESİKALIK
FOTO

Ad Soyad: Seyit Türkmen KOÇ

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara, 1986

Adres: Zincirli dere Mah. Cemre Apt. No: 74/7 Esentepe-Şişli / İstanbul

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

- **Koç S. T.**, Erdem D. ve Kavsaoğlu M. Ş., 2010. Kanal İçi Pervane Sisteminin Deneysel İncelenmesi, III. Ulusal Havacılık ve Uzay Kongresi, Eskişehir.