

**BİR KANAL İÇİ PERVANE SİSTEMİNİN  
TASARIMI, ÜRETİMİ VE TESTLERİ**

Onur Önal

Yüksek Lisans Tezi

Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı

Ocak-2015

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No:1308F308**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Onur Önal'ın “**Bir Kanal İçi Pervane Sistemi Tasarımı, Üretimi ve Testleri**” başlıklı Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 20.01.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	<b>Adı Soyadı</b>	<b>İmza</b>
Üye (Tez Danışmanı) :	<b>Prof. Dr. Mehmet Şerif KAVSAOĞLU</b>	.....
Üye	<b>: Doç. Dr. Önder TURAN</b>	.....
Üye	<b>: Yrd. Doç. Dr. Cem ÇETEK</b>	.....

**Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun**  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **BİR KANAL İÇİ PERVANE SİSTEMİNİN TASARIMI, ÜRETİMİ VE TESTLERİ**

**Onur Önal**

**Anadolu Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Mehmet Şerif Kavsaoğlu**

**2015, 55 sayfa**

Bu çalışmada, bir kanal içi pervane sistemi tasarımı, üretimi ve testleri yapılmıştır. Kanal içi pervane sistemi, statik halde itki arttırma yöntemlerinden birisidir. Bu çalışmada yalın pervanenin statik itkisini arttıracak bir kanal tasarımı yapılması ve bu tasarımın üretilip yalın pervaneye göre statik itkide meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak yalın pervane sistemi ve kanal içi pervane sisteminin statik itki değerlerinin deneysel olarak ölçüleceği deney düzeneği tasarlanmış ve okulda bulunan CNC tezgâhında üretilmiştir. Ardından çalışmaya yalın pervanenin statik itki değerleri ölçülerek başlanmıştır. Bu ölçümlerin ardından seçilen pervaneye göre bir kanal sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemden elde edilen sonuçlarla yalın pervane sisteminden elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kanal içi pervane sisteminin 13\*6 apc pervane ile %6'ya yakın itki artışı sağladığı, 13\*6 ahşap pervanede belirli aralıklarda artış olduğu, 13\*4 pervanede ise açık pervane sisteminin daha iyi itki ürettiği görülmüştür.

**Anahtar sözcükler:** Kanal, pervane, statik itki, kanal üretimi,

## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

### **DESIGN, PRODUCTION AND TEST OF A DUCTED PROPELLER**

**Onur Önal**

**Anadolu University**

**Graduate School of Sciences**

**Aircraft Airframe Power Plant Maintenance Program**

**Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Şerif Kavsaoglu**

**2015, 55 pages**

In this thesis, a ducted propeller system is designed, produced and tested. Ducted propeller is a method for increasing static thrust. Main objective of this study is designing a duct and producing this duct to compare changes of static thrust between open propeller and ducted propeller. First of all, a static thrust test stand is designed and produced in CNC machine. Then by using that test stand, static thrust experimentation of open propeller test is done. After that, a propeller is chosen and design of duct is based on that propeller. Then experimental results, which are static thrust of ducted propeller and static thrust of open propeller, is compared. Ducted propeller which is used with 13\*6 apc propeller has a static thrust increase ratio of %6, 13\*6 wood propeller has a little static thrust increase with certain rpm values and 13\*4 open propeller has better static thrust ratio than ducted propeller system.

**Key Words:** Duct, propeller, static thrust, duct production

## **TEŐEKKÖR**

Bu alıőmada yardımlarından ve desteklerinden dolayı baőta danıőmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet Şerif Kavsaoglu'na, Zafer Öznalbant'a ve Mustafa Serdar Teke'ye teőekkÖr ederim.

Onur ÖNAL

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Kanal İçi Pervane Sistemine Genel Bakış .....	1
1.2. Kanal İçi Pervane Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları .....	3
1.3. Literatür Taraması .....	4
1.4. Kanal Tasarımını Etkileyen Parametreler.....	7
1.4.1. Giriş-çıkış alan oranı .....	7
1.4.2. Hücum kenarı geometrisinin performansa etkisi.....	9
1.4.3. Veter Uzunluğunun Performansa Etkisi .....	11
1.4.4. Pervanenin kanal içerisindeki konumunun performansa etkisi .....	11
1.4.5. Pervane Ucu ile Kanalın İç Kenarı Arasındaki Uzaklık.....	12
1.5. Çalışmanın Aşamaları .....	13
<b>2. KANAL İÇİ PERVANE İLE AÇIK PERVANENİN ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ</b> .....	<b>14</b>
2.1. Momentum Teorisi.....	14
2.2. Kanal İçi Sistem İçin Momentum Teorisi.....	16
2.3. Kanal İçi Sistem ve Açık Pervanenin Analitik Olarak Karşılaştırılması	17
<b>3. AÇIK PERVANE SİSTEMİ DENEYLERİ</b> .....	<b>19</b>
3.1. Açık Pervane Deney Düzeneği Üretim Aşamaları .....	19
3.1.1. Deney Düzeneği Tasarımı .....	19
3.1.2. Açık Pervane Deney Düzeneği Üretimi .....	20

3.1.3. Açık Pervane Deney Düzeneği Montajı .....	21
3.2. Açık Pervane Deneylerinin Yapılışı .....	23
3.2.1. Patlar Motor Deney Sonuçları .....	24
<b>4. KANAL TASARIMI</b> .....	<b>27</b>
<b>5. KANAL ÜRETİMİ</b> .....	<b>29</b>
5.1. Kanal Kalıplarının Çizilmesi .....	29
5.2. Kalıpların Kesimi İçin G kodlarının Oluşturulması .....	31
5.3. Kalıpların Üretimi .....	34
5.4. Parçaların Üretilmesi .....	37
5.5. Parçaların Birleştirilmesi .....	44
5.6. Kanala Motorun Eklenmesi .....	46
5.7. Kanal İç Pervane Sistemi Deney Düzeneği İmalatı .....	49
<b>6. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	<b>50</b>
6.1. Kanal İç Pervane sistemi ile Açık Pervane Sisteminin Deneysel Karşılaştırılması .....	50
6.2. Sonuçların Yorumlanması ve Öneriler .....	52
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>53</b>

## ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Bell X-22.....	2
Şekil 1.2. RAH Comanche .....	3
Şekil 1.3. Alan oranının statik itkiye etkisi .....	8
Şekil 1.4. Hücüm kenarı geometrileri a) temel b) genişletilmiş c) eliptik d) dairesel e) geliştirilmiş .....	9
Şekil 1.5. Yarıçap ve kalınlıkların veter uzunluğuna oranı.....	9
Şekil 1.6. Motor devri- statik itki karşılaştırılması .....	10
Şekil 1.7. Güç- statik itki karşılaştırması .....	10
Şekil 1.8. Veter uzunluğunun performans etkisi .....	11
Şekil 1.9. Pervane konumunun performans etkisi .....	12
Şekil 1.10. Uç boşluğunun performans etkisi .....	12
Şekil 2.1. Açık pervane modeli .....	14
Şekil 2.2. Kanal İçi Pervane Sistemi Modeli .....	16
Şekil 2.3. Alan oranının performans olan etkisi .....	17
Şekil 3.1. Deney düzeneği tasarımı.....	19
Şekil 3.2. Açık pervane deney düzeneği parçaları .....	20
Şekil 3.3. Açık pervane deney düzeneği montajı.....	21
Şekil 3.4. Motor düzeneği son hali .....	22
Şekil 3.5. Ahşap Pervane Performans Değerleri.....	24
Şekil 3.6. APC pervane performans değerleri.....	25
Şekil 3.7. Karbon Pervane Performans Değerleri .....	26
Şekil 4.1. Kanal tasarımı .....	27
Şekil 4.2. Kanal teknik resmi .....	28
Şekil 5.1. Dış kalıp .....	30
Şekil 5.2. İç kalıp .....	30
Şekil 5.3. Dış kalıp kaba kesim takım yolu.....	31
Şekil 5.4. Kaba Kesim.....	32
Şekil 5.5. Dış kalıp son hal.....	32
Şekil 5.6. İç kalıp kaba kesim .....	33
Şekil 5.7. İç kalıp son hal .....	33
Şekil 5.8. İç parça kalıp son işlemi .....	34
Şekil 5.9. Dış kalıbın kalıp ayırıcı sürülmüş hali .....	35



Şekil 5.10. Dış parça kalıbının son hali.....	36
Şekil 5.11. İç parça kalıbının son hali .....	36
Şekil 5.12. Elyaf malzemenin kalıba yatırılması .....	37
Şekil 5.13. Peel playın yerleştirilmesi.....	38
Şekil 5.14. Spiral hortumların yerleştirilmesi .....	38
Şekil 5.15. Reçine hattı .....	39
Şekil 5.16. Vakum hattı.....	39
Şekil 5.17. Flow mesh yerleşimi .....	40
Şekil 5.18. Vakum naylonunun kaplanması.....	40
Şekil 5.19. Kulakçık örneği.....	41
Şekil 5.20. Reçine (sağda) ve sertleştirici (solda) .....	41
Şekil 5.21. Reçinenin kalıp içerisinde yürümesi.....	42
Şekil 5.22. Fırın.....	42
Şekil 5.23. Fırının çalışması.....	43
Şekil 5.24. Dış kısım .....	43
Şekil 5.25. İç kısım .....	44
Şekil 5.26. Dış kabul ve sinir yapıları .....	44
Şekil 5.27. Dış kabukların birbirine yapıştırılması .....	45
Şekil 5.28. İç kabuk parçalarının yapıştırılması.....	45
Şekil 5.29. Kanal .....	46
Şekil 5.30. Fikstür .....	46
Şekil 5.31. Motor bağlantı noktalarının açılması .....	47
Şekil 5.32. Motor yuvası .....	48
Şekil 5.33. Kanal içi pervane sistemi .....	48
Şekil 5.34. Kanal içi pervane sistemi deney düzeneği .....	49
Şekil 6.1. 13*6 APC pervane performans karşılaştırması .....	50
Şekil 6.2. 13*6 ahşap pervane performans karşılaştırması .....	51
Şekil 6.3. 13*4 ahşap pervane performans değerleri .....	51

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Alan oranının performansa etkisi .....	8
Çizelge 3.1. Pervane çeşitleri .....	23

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Alan ( $m^2$ )
HP	: Horse power (Beygir gücü)
P	: Basınç (Pa)
P	: Güç (Watt)
RPM	: Devir/Dakika
T	: İtki (N)
V	: Hız (m/s)
$\dot{m}$	: Kütle Debisi (kg/s)
$\rho$	: Yoğunluk ( $kg/m^3$ )
$\Phi$	: Alan Oranı

### Alt ve Üst İndisler

$\infty$	: Serbest Akış
1,2,3	: Sırasıyla akış numaraları
d	: Disk
exh	: Çıkış
z	: Pervane önü bölgesi

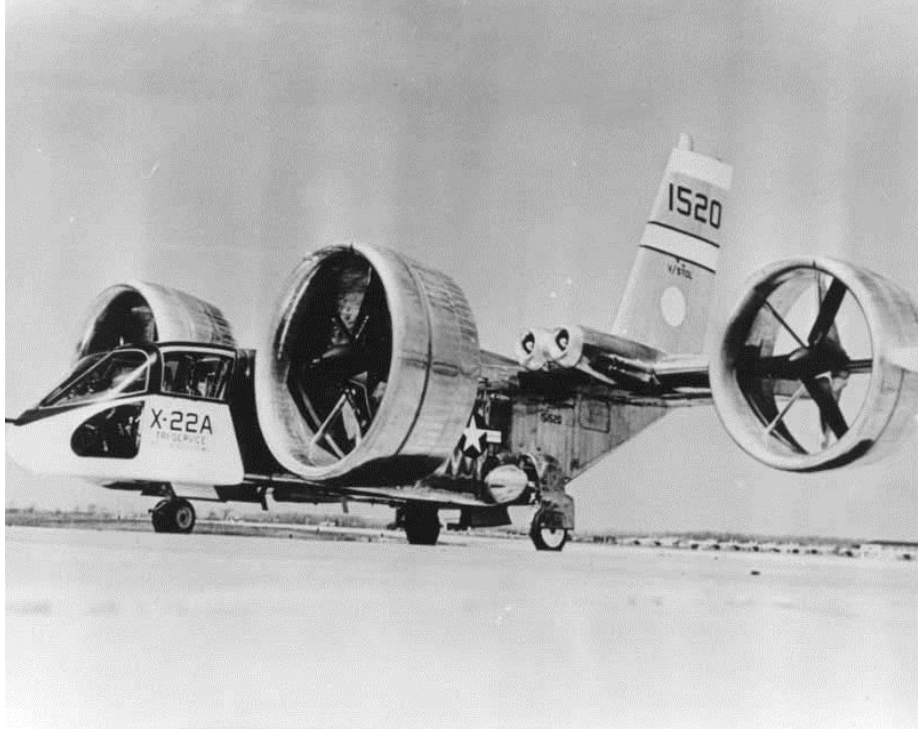
## 1. GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı, açık pervaneden alınan statik itkiyi arttırmanın bir yolu olan pervanenin bir kanal içine konmasıyla elde edilen kanal içi pervane sisteminin teorisinin gösterdiği gibi statik itkide artış sağlayıp sağlamayacağıdır. Üretilen kanalın dikey iniş kalkış yapabilecek bir uçakta kullanılması planlandığı için kanal içi pervane sistemi sayesinde kanadın pervane iz bölgesinden olumsuz yönde etkilenmesinin önüne geçmek de bu çalışmanın amaçları arasındadır. Bunun yanı sıra bir kanal içi pervane sistemini üretebilmek için yapılması gerekenleri incelemek de bu çalışmanın amaçları arasındadır. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkacak olan ürünün, dikey iniş kalkış yapabilen bir uçakta kullanılması planlanmaktadır.

### 1.1. Kanal İçi Pervane Sistemine Genel Bakış

Yalın pervaneden alınan statik itkiyi arttırmak için kanal içi pervane sistemi geliştirilmiştir. Kanal, aerodinamik profilin bir eksen etrafında döndürülmesiyle elde edilen tüp şeklinde oluşturulur ve pervane kanalın içine yerleştirilir. Bu şekilde kanal içi pervane sistemi elde edilmiş olur. Kanalın ön kısmı hava alığı arka kısmı egzoz olarak isimlendirilir. Kanal içi pervane sisteminin amacı pervane arkasındaki akış hızının azaltılarak itkide artış elde etmektir [1].

Kanal ii pervane sistemi dşük hız gerektiren alanlarda, dikey iniş kalkış yapabilen hava araçlarında ve helikopter kuyruk rotoru gibi alanlarda kullanılmaktadır [2]. Şekil 1.1’de kanal ii pervane sisteminin kullanıldığı dikey iniş kalkış yapabilen bir uçak olan Bell X-22 gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Bell X-22[3]

Şekil 1.2’de ise kuyruk rotorunda fan bulunan bir helikopter olan RAH Comanche 66 helikopteri gösterilmektedir.



Şekil 1.2.RAH Comanche [4]

## 1.2. Kanal İçi Pervane Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları

Kanal içi pervane sisteminin açık pervaneye göre sağladığı faydalar ve zararlar bulunmaktadır. Bu fayda ve zararlar göz önünde bulundurularak kanal içi pervane sisteminin uygulanabilirliğine karar verilir.

Kanal içi pervane sisteminin yararları [5];

- a. Kanal içi pervane sistemi ile dikey kalkış sırasında kanatlar pervane iz bölgesinden etkilenmezler. Kanal sistemi olmayan uçaklarda ise kanat hem pervane iz bölgesi kaynaklı basınca hem de pervane altı akışın kanat bağlantı noktasında oluşturduğu momente dayanmak zorunda kalacaktır. Bu durumda hem ağır bir kanada hem de karışık ve ağır bir kanat-gövde

bağlantısına neden olacaktır. Kanal içi pervane sistemi ile ağırlığın ve karışık sistemin götürülerinin önüne geçilecektir.

- b. Kanal kanat ucu kanatçığı gibi davranarak indüklenmiş sürüklenmenin etkisini azaltır. İndüklemiş sürüklenme kanat karnı ve kanat sırtı arasındaki basınç farkı nedeniyle oluşur. Kanat altındaki yüksek basınçlı hava kanat ucundan kanadın üst bölgesine geçer bu da hem sürüklenme oluşturur hem de kanadın taşımalarını azaltır. Kanal ise bu istenmeyen etkilerin oluşmasını engeller.
- c. Kanal içi pervane sisteminde helikopter rotoru gibi sistemlere gereksinim duyulmaz. Bu sayede rotorun gerektirdiğı karışık sistemler kullanılmaz. Bu da üretim maliyetini düşürür. Sistemin tasarımını kolaylaştırır.
- d. Kanal sisteminin giriş-çıkış alanına bağlı olarak itkide artış sağlanır.
- e. Açık pervaneli sistemlere göre daha sessizdirler. Bu da sessizliğin önemli olduğu görevler için faydalıdır.

Her sistemde olduğu gibi kanal içi pervane sisteminin avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Bu götürüler[5];

- a. Kanal içi pervane sistemi indüklenmiş sürüklemeyi azaltmasına rağmen kanal kendi başına bir sürüklenme yaratır. Bu sürüklenme de kanat kökündeki yükün artmasına neden olur.
- b. Uçağın ağırlığını arttırır.

Görüldüğü üzere kanal içi pervane sistemi başlangıç aşamasında kullanılması faydalı bir sistemdir. Ancak kanal içi pervane sisteminin çok iyi tasarlanması, hafif ve dayanıklı bir malzemeden yapılması gerekmektedir. Bu şekilde üretildiğinde kanal içi pervane sistemi faydalı olabilecektir.

### **1.3. Literatür Taraması**

Kanal içi pervane sistemiyle ilgili yapılan ilk ciddi çalışma Luigi Stipa tarafından 1931 yılında İtalya'da yapılmıştır. Bu çalışmada Stipa [6], çeşitli rüzgar deneyi testleri ile kanal içinde bulunan pervane sisteminin statik itkiye ve düşük hızlarda yapılan uçuşlara sağlayacağı faydaları incelemiştir. Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçların başarısı dolayısıyla Stipa'nın [6] çalışmaları devlet

tarafından da desteklenmiştir. Ayrıca 1934 yılında Kurt [6] tarafından Almanya’da yapılan çalışma, kanal içi pervane sisteminin ilk keşfi olarak sayılır. Bu nedenle kanal içi pervane sistemi “Kurt Lülesi” olarak da anılır.

1954 yılında Kirby [7] tarafından yapılan çalışmada ise kanal içi pervane sisteminin havada askıda kalma durumundaki dinamik kararlılığı ve kontrol karakteri incelenmiştir. 18 inç yarıçapında bir pervane 4 feet uzunluğuna sahip bir kanal sisteminde test edilmiştir. Sistemin yunuslama ve sapma hareketlerinde kararlılık sorunları olduğu gözlenmiştir.

Kruger [8] tarafından 1944’te yapılan çalışmada yüksek hatveye sahip bir pervane tasarlanmış ve bu pervane çeşitli profillere sahip kanal sistemleri içine konularak kanal içi pervane sisteminin aerodinamik katsayılarına olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada statik itki artışı için kanal profilinin hücum kenarının yarıçapının etkisi gözlenmiştir.

1965 yılında Hough ve Kaskel’in [9] yaptığı çalışma ise Bell X-22A’nın 1/1 ölçekli ve 1/3 ölçekli modellerinin deneysel olarak hesaplanmış basınç dağılımlarıyla teorik olarak hesaplanmış basınç dağılımlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda teorik hesaplamaların deneysel sonuçlarla örtüştüğü görülmüştür.

Smith [10], 1960 yılında değişken tespit açılı kanal içi pervane sistemine sahip bir aracın statik kararlılığını inceleyen bir çalışma yapmıştır. Bu hava aracı önde bir kanal ve arka kısımda iki kanaldan oluşan bir sistemdir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar kanat uçlarına sabitlenmiş iki kanal içi sisteme sahip bir hava aracıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ileri uçuşta açı verilebilir sisteme sahip hava aracı, sabit kanal sistemine sahip hava aracına göre daha pozitif yunuslama momenti olduğu görülmüştür böylece açı verilebilir sistemli hava aracı hücum açısı değişimlerinde sabit sisteme göre daha kararlı davranmıştır.

Mort ve Gamso [11] 1967’de hatve, serbest akım hızı, kanalın hücum açısı gibi parametreleri değiştirerek bunların kanal içi pervane sisteminin aerodinamik karakterini nasıl etkilediğini incelemiştir. Bu çalışma sonucunda en yüksek iyilik değeri 0.81 ve pervane verimi 0.74 olarak bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada kanal iz bölgesinin taşıma kaybı karakteristikleri incelenmiş ve deneyde kullanılan kanal



içi sisteminin üst akışının düşük güç ve yüksek hücum açılarında taşıma kaybı olacağı görülmüş ancak alt akışta taşıma kaybı ile ilgili bir sorun gözlenmemiştir.

Mort [12] 1965 yılında 4 foot çapında bir kanal içi fan sisteminin performans karakteristiklerini incelemiştir. Fan hızı 1800-4800 rpm arası, serbest akış hızı 0-140 knot arası olacak şekilde deneyler yapılmıştır. Özellikle yüksek pal açılarında statik verimliliğin düştüğü gözlenmiştir. Serbest akım hızı arttıkça performans düşüşünün gözlenmesinin nedeni olarak sistemin yüksek statik verimlilik üzerine tasarlanmış olması gösterilmiştir.

Lowe ve Sanger [13] 1972 yılında 13.93 cm çapında bir türbin tarafından çalıştırılan fanın kanal sistemi içindeki statik performansını incelemiştir. Bu çalışmada itki, kütle akışı, toplam ve statik basınç ve türbin giriş-çıkış sıcakları fan hızının bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Değişik giriş ve çıkış tasarımlarının statik basınç üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Weir [14] tarafından 1987 yılında yapılan çalışmada kanal içi pervane sisteminde kullanılacak pervanenin tasarımı yapılmış ve performansı incelenmiştir. Tasarlanan pervanenin daha önceden kullanılmış iki değişik pervane ile performansları karşılaştırılmıştır.

2010 yılında Tian'ın [15] yaptığı çalışmada kanal pervane tasarlanmış, üretilmiş ve testleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada kanal içi pervane sisteminin statik performansı arttırdığı görülmüştür. Ayrıca elde edilen sonuçlar bir paket programı kullanılarak doğrulanmıştır. Bu çalışmada üretilen kanal ağırlığa olumsuz etkide bulunduğu için kullanılmamıştır.

2010 yılında Camcı ve Aktürk [16] tarafından yapılan çalışmada kanal giriş kısmında oluşan akış ayrılmasının neden olduğu performans kayıplarının önüne geçebilmek için çift kanallı bir sistem önerilmiştir. Bu çalışma teorik bir çalışmadır. Yapılan analizler sonucunda önerilen sistem teorik olarak giriş bölgesinde yaşanan kayıpların önüne geçmiştir.

2011 yılında Koç [2] tarafından yapılan çalışmada ise üç değişik profile sahip kanal sisteminin akış iz bölgesinde hız taraması yapılmış ve kanal içi sistemin statik ve dinamik durumdaki performansı incelenmiştir. Elde edilen veriler yalnız pervane ile karşılaştırılmıştır.

2013 yılında Muszynski ve Streczyk'in [17] yaptığı çalışmada değişik geometrilere sahip kanal sistemlerinin performansı incelenmiştir. Bu çalışmadaki geometri değişiklikleri kanalın giriş ve çıkış alanı oranlarının değiştirilmesidir. Elde edilen sonuçlar yalın pervane sistemi ile de karşılaştırılmıştır.

#### **1.4. Kanal Tasarımını Etkileyen Parametreler**

Yalın pervane etrafında olacak kanalın etkisinin performansa olumlu yönde etkisi olabilmesi için kanal tasarımında dikkat edilmesi gereken durumlar vardır. Kanal performansına etkiyen temel parametreleri şekilde sıralamak mümkündür [18]:

- i. Giriş-Çıkış alan oranı
- ii. Hücüm kenarı geometrisi
- iii. Kanalın veter uzunluğu
- iv. Pervanenin kanal içerisindeki konumu
- v. Pervane ucu ile kanalın iç kenarı arasındaki uzaklık

##### **1.4.1. Giriş-çıkış alan oranı**

Kanalın giriş ve çıkış alanlarının bir birine olan oranı kanal performansını etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Wainauski tarafından yapılan çalışmada kanalın alan oranının statik ve dinamik performansa etkisi incelenmiştir [18]. Bu çalışmada Bell X-22'nin kanal modeli temel alınmış ve kesit profili ve veter uzunluğu sabit tutularak alan oranları değiştirilmiştir. Bu çalışmadaki

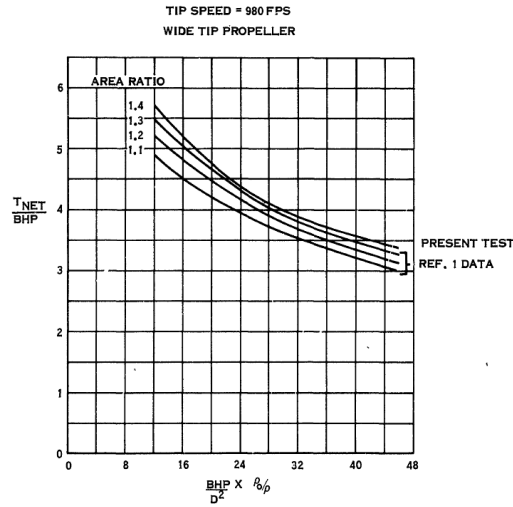
$$\text{alan oranı} = \frac{A_{\text{çıkış}}}{A_{\text{giriş}}}$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Çizelge 1.1. Alan oranının performansa etkisi [18]

Shape Change	Present X-22A	Change To	Hover 761 HP, 2590 rpm	Condition	
				225 Kts 600 SHP 1840 rpm	340 Kts 1328 BHP 2220 rpm
Area Ratio (Increase)	1.17	1.4	8.7 %	---	---
Area Ratio (Decrease)	1.17	1.0	---	19.2 %	15.8 %
Area Ratio (Decrease)	1.17	0.9	---	38.0 %	30.5 %

Çizelge 1.1'den görüldüğü üzere statik haldeki performans artışı için kanalın çıkış alanı büyütülmüştür. Bu şekilde statik itkide %8,7'lik bir artış sağlanmıştır. Alan oranın azaltılması ise statik halde olumlu bir etki göstermemiş ancak dinamik itki performansına gözle görülür bir katkıda bulunmuştur.

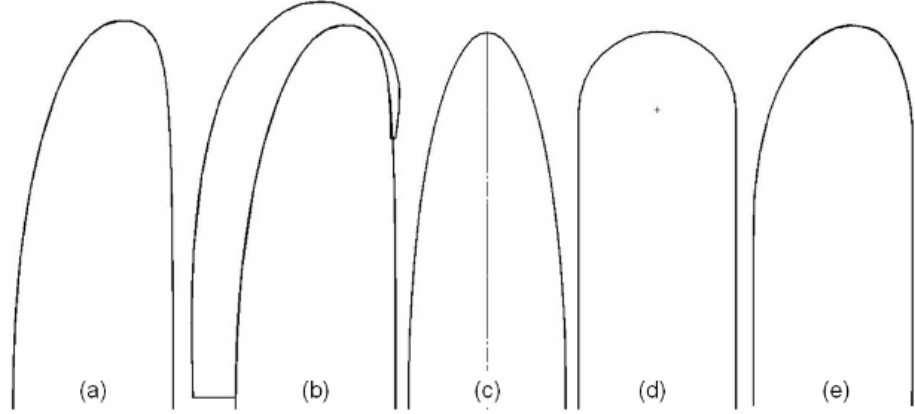


Şekil 1.3. Alan oranının statik itkiye etkisi [18]

Şekil 1.3'te Mach=0 halinde yani statik halde çeşitli alan oranlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı güç için alan oranı daha büyük olan kanal sisteminin daha fazla itki ürettiği şekilde gözükmektedir.

#### 1.4.2. Hücüm kenarı geometrisinin performansa etkisi

Kanalın sahip olduğu profilin hücüm kenarının geometrisinin statik ve dinamik performansa olan etkisi Graf [19] tarafından incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada Şekil 1.3'te gösterilen beş adet değişik geometri kullanılmıştır.



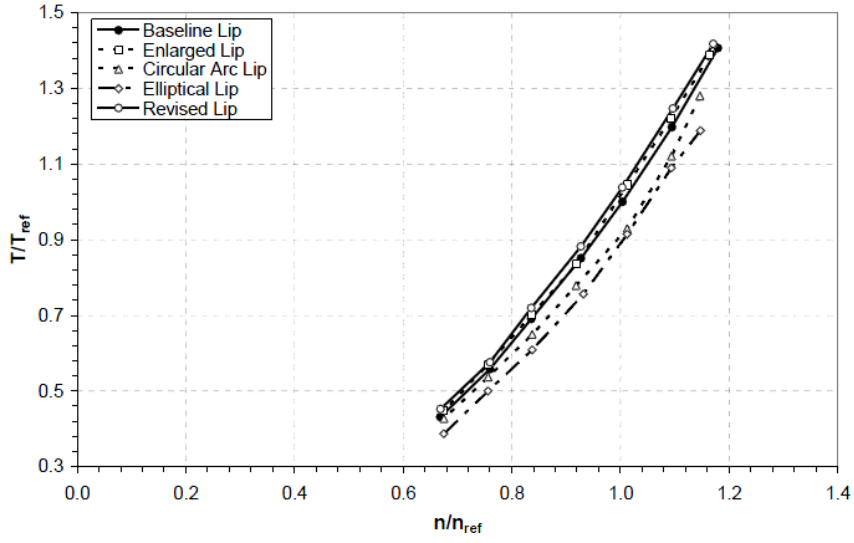
Şekil 1.4. Hücüm kenarı geometrileri a) temel b) genişletilmiş c) eliptik d) dairesel e) geliştirilmiş [19]

Bu beş değişik profilin sahip olduğu yarıçap ve kalınlıkların veter uzunluğuna oranı ise Çizelge 1.3'te de gösterilmiştir.

	$t_w/c$	$\rho_{LE}/c$
Baseline	0.125	0.0365
Enlarged	0.158	0.0553
Elliptical	0.125	0.0157
Circular Arc	0.125	0.0625
Revised	0.125	0.0375

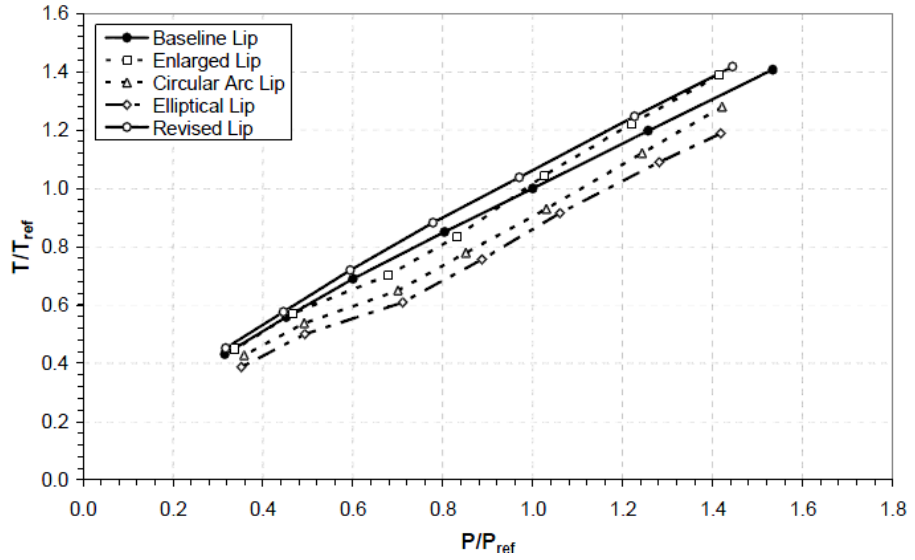
Şekil 1.5. Yarıçap ve kalınlıkların veter uzunluğuna oranı

Şekil 1.5'te gösterilen  $t_w/c$  profilin kalınlığının, veter uzunluğuna oranını,  $\rho_{LE}/c$  ise profilin hücüm kenarı yarı çapının, veter uzunluğuna oranını göstermektedir. Yapılan bu çalışmada kanalların sahip olduğu açıklık oranları (kanalın iç çapı / kanalın veter uzunluğu) 2 olarak seçilmiştir.



Şekil 1.6. Motor devri- statik itki karşılaştırılması [19]

Bu çalışmanın sonucunda Şekil 1.6’da aynı motor devri esnasında geliştirilmiş ve genişletilmiş hücum kenarlarının birbirine yakın itki değerleri verdiği ancak eliptik ve dairesel hücum kenarlarına sahip profillerin statik itkilerinin diğer profillere göre düşük olduğu gösterilmiştir.

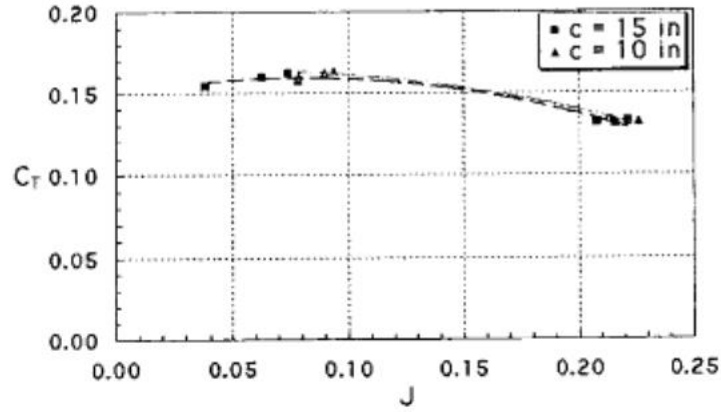


Şekil 1.7. Güç- statik itki karşılaştırılması [19]

Şekil 1.7’de ise harcanan güce karşılık elde edilen itki değerleri gösterilmiştir. Burada da aynı güç harcandığında eliptik ve dairesel hücum kenarına sahip profiller genişletilmiş ve geliştirilmiş profillere göre daha düşük itki üretmişlerdir.

### 1.4.3. Veter Uzunluğunun Performansa Etkisi

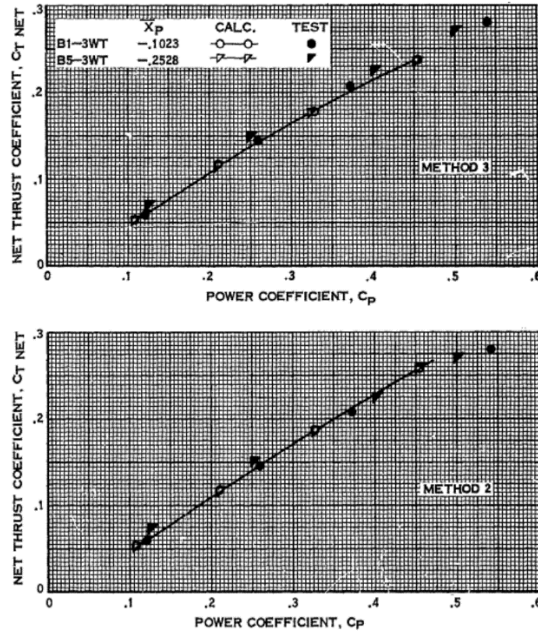
Abrego ve Bulaga [20] tarafından yapılan çalışmada, 38 inç çapında olan ve veter uzunlukları sırasıyla 10 inç olan ve 15 inç olan kanal içi pervane sistemleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilere göre kanal veter uzunluğunun kanal performansına olan etkisi yok denecek kadar azdır. Şekil 1.8’de veter uzunluğunun performansa olan etkisi gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Veter uzunluğunun performansa etkisi [20]

### 1.4.4. Pervanenin kanal içerisindeki konumunun performansa etkisi

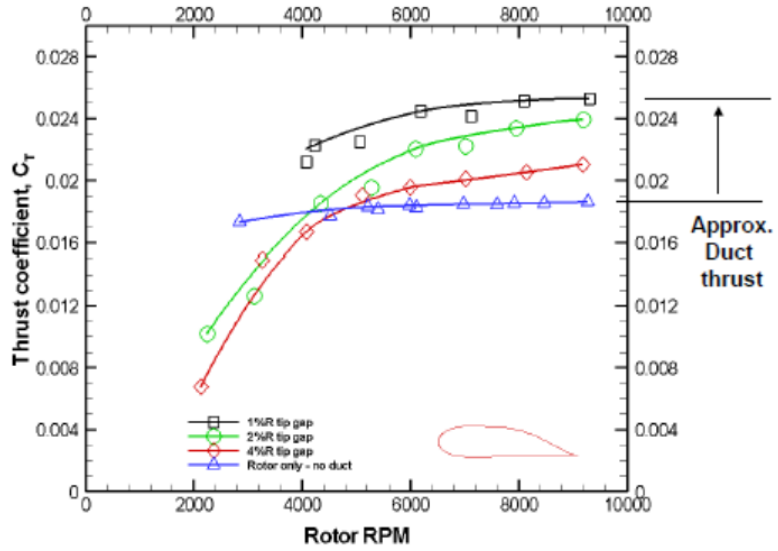
Worobel ve Peracchio tarafından yapılan çalışmada [21] pervane konumunun performansa olan etkisi incelenmiştir. 0.3 Mach için bu çalışma yapılmıştır. Pervane konumunun yerinin veterin yarı uzunluğuna olan uzaklığının, veter uzunluğuna oranı pervane konumu olarak tanımlanmıştır. İki değişik konumda yapılan deneylerde pervane konumunun çok önemli olmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 1.9’da bu durum gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Pervane konumunun performansa etkisi [21]

#### 1.4.5. Pervane Ucu ile Kanalın İç Kenarı Arasındaki Uzaklık

Martin, Boxwell, Nygaard ve Tung [22] tarafından yapılan çalışmada kanal iç kısmı ile pervane ucu arasındaki boşluğun performansa etkisi incelenmiştir. Çizelge 1.8'de görüldüğü üzere uç boşluğu azaldıkça kanal performansı artmaktadır



Şekil 1.10. Uç boşluğunun performansa etkisi [22]

## 1.5. Çalışmanın Aşamaları

Bu çalışmada bir kanal içi pervane sisteminin üretilmesi için yapılan aşamalar ve elde edilen sistemin açık pervaneye göre statik itkide artış sağlayıp sağlamayacağı incelenmiştir. 1. bölümde kanal içi pervane sisteminin genel bir tanıtımı yapılmış, literatürde daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve tezin amacı belirtilmiştir. 2. bölümde kanal içi pervane sistemi ile açık pervanenin performansları analitik olarak incelenmiştir. 3. bölümde açık pervane deneyleri anlatılmıştır. 4. bölümde kanal tasarımının nasıl yapıldığı anlatılmıştır. 5. bölümde kanalın üretim aşamaları anlatılmıştır. 6. bölüm sonuç bölümüdür. Bu bölümde kanal içi pervane sistemi ile açık pervanenin statik itki deneylerinin sonuçları gösterilmiş, bu sonuçların neden oluştuğu incelenmiştir.



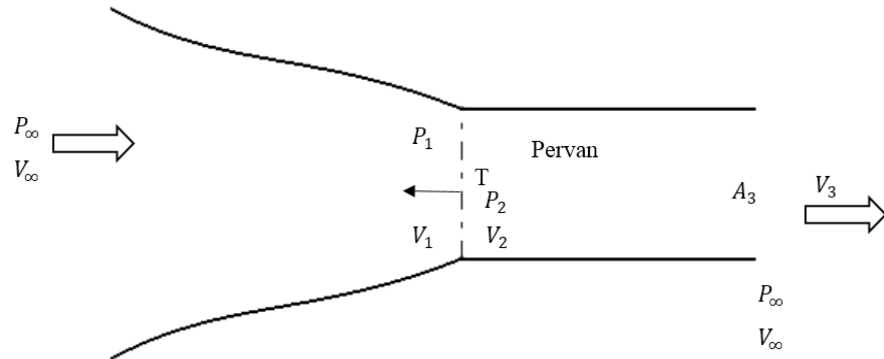
## 2. KANAL İÇİ PERVANE İLE AÇIK PERVANENİN ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ

Kanal içi pervane sistemi ile açık pervane sistemi analitik olarak karşılaştırmak için açık pervanenin performansını incelemek için kullanılan momentum teorisinden yararlanılmıştır. Kanal içi pervane sisteminin performansını incelemek için ise kinetik enerji teorisinden yararlanılmıştır. Bu sistemleri birlikte karşılaştırmak için giriş alanın çıkış alanına oranından yararlanılacaktır. Bu oran alan oranı olarak tanımlanır.

### 2.1. Momentum Teorisi

Yalın pervane sisteminin itki, güç gibi değerlerini analitik olarak hesaplamak için kullanılan yöntemlerden birisi de Momentum Teorisidir. Momentum teorisini kullanmak için bazı kabuller yapılması gereklidir [23]. Bu varsayımlar:

1. Sistem uniformdur.
2. Pervane etrafında basınç farkı sabittir.
3. İndüklenmiş hız disk boyunca sabittir.
4. Pervane iz bölgesinde akışta dönme hareketleri yoktur.
5. Dikey hız bileşeni pervane boyunca sabittir.
6. Akım sıkıştırılamazdır.



Şekil 2.1. Açık pervane modeli

Şekil 2.2’de momentum teorisine göre pervane akım alanı gösterilmiştir.

Bu modelden yararlanarak;

$$T = \dot{m}_{akış} * (V_3 - V_{\infty}) \quad (2.1)$$

veya

$$T = A_d * (P_2 - P_1) \quad (2.2)$$

2.1 ve 2.2 numaralı denklemler birleştirilirse:

$$\dot{m}_{akış} = A_{\infty} V_{\infty} \rho = A_d V_1 \rho = A_3 V_3 \rho \quad (2.3)$$

denklemini elde edilir.

Pervane önüne ve pervane arkasına Bernoulli denklemlerini uygulanarak;

Pervane önü için:

$$P_{\infty} + \frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 \quad (2.4)$$

Pervane arkası için:

$$P_{\infty} + \frac{1}{2} \rho V_3^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 \quad (2.5)$$

2.4 ve 2.5 numaralı denklemler kullanılarak

$$T = A_d * (P_2 - P_1) = \frac{1}{2} \rho A_d (V_3^2 - V_{\infty}^2) = \dot{m}_{akış} * (V_3 - V_{\infty}) \quad (2.6)$$

denklemini elde edilir.

2.6 numaralı denklemin sadeleştirilse;

$$V_1 = \frac{V_3 + V_{\infty}}{2} \quad (2.7)$$

$V_1$  hızı bulunur.

$V_1 = V_{\infty} + w$  olarak tanımlanırsa  $V_3 = V_{\infty} + 2w$  olarak bulunur. Statik hal için  $V_{\infty} = 0$  olacağından 3 numaralı denklem kullanılarak;

$$A_d V_1 \rho = A_3 V_3 \rho \quad (2.8)$$

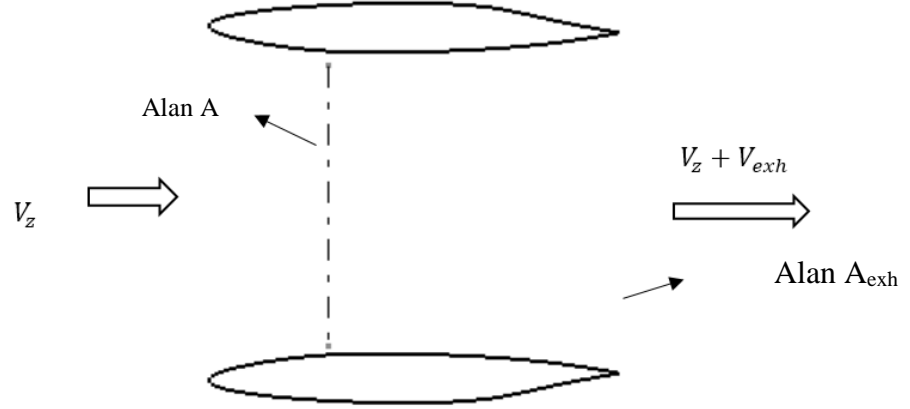
$$\frac{A_d}{A_3} = 2 \quad (2.9)$$

Statik hal için alan oranı 2 olarak bulunur.

## 2.2. Kanal İçi Sistem İçin Momentum Teorisi

Momentum teorisini kanal içi pervane sistemine de uygulamak mümkündür [24]. Yalnız burada momentum teorisinin yanı sıra kinetik enerji teorisinden de yararlanılacaktır. Şekil 2.2’de kanal içi pervane sistemi modeli gösterilmiştir.

Kinetik enerji formülünden yararlanılarak güç (P):



Şekil 2.2. Kanal İçi Pervane Sistemi Modeli

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (V_z - V_{exh})^2 - \frac{1}{2} \dot{m} V_z^2 \quad (2.10)$$

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (2V_z + V_{exh}) V_{exh} \quad (2.11)$$

İtki (T) için ise;

$$T = \dot{m} (V_z + V_{exh}) - \dot{m} V_z \quad (2.12)$$

$$T = \dot{m} V_{exh} \quad (2.13)$$

Böylece kanal içi sistem için itki ve güç tanımlanmış olur. 2.11 ve 2.12 numaralı denklemleri kullanarak gücün itkiye oranı şu şekilde olacaktır:

$$\frac{P}{T} = V_z + \frac{V_{exh}}{2} \quad (2.14)$$

Kütle debisi ( $\dot{m}$ ) şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{m} = \rho A (V_z + V_{exh}) \quad (2.15)$$

2.15 numaralı denklemden yararlanarak itkiyi şu şekilde tanımlayabiliriz:

$$T = \rho A (V_z + V_{exh}) V_{exh} \quad (2.16)$$

Alan oranı  $\Phi$  ile gösterilir ve  $\Phi = \frac{A}{A_{exh}}$  şeklinde tanımlanır. İtkiyi yeniden yazacak olursak;

$$T = \frac{\rho A}{\phi} (V_z + V_{exh}) V_{exh} \quad (2.17)$$

2.17 numaralı denklemi düzenlersek:

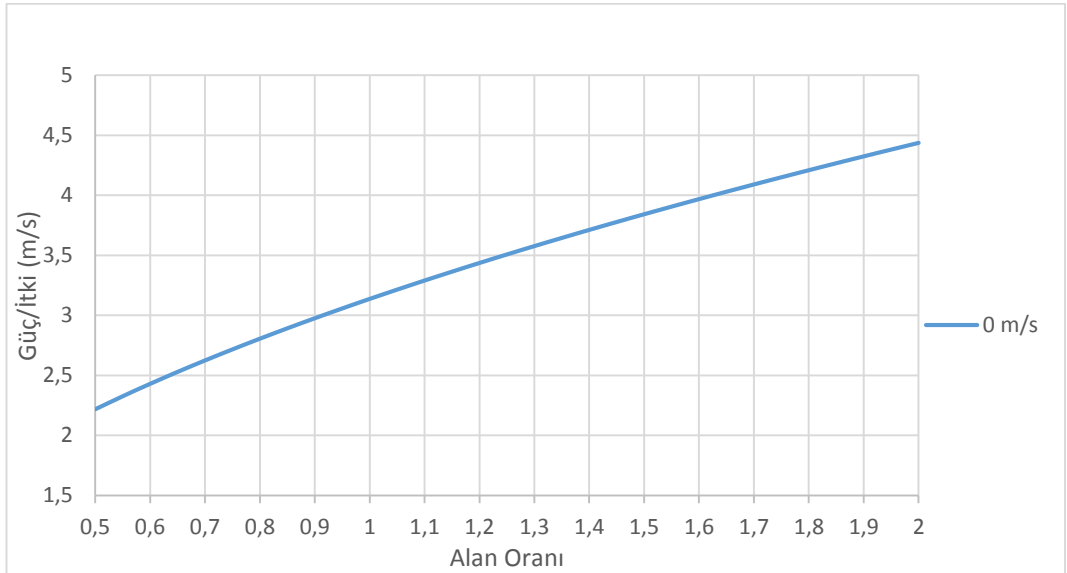
$$V_{exh}^2 + V_z V_{exh} - \frac{T}{\rho A} \Phi = 0 \quad (2.18)$$

2.14 numaralı denklem 2.17 numaralı denklem ile tekrar yazılırsa güç/itki oranı şu şekilde bulunur:

$$\frac{P}{T} = V_z + \frac{-V_z + \sqrt{V_z^2 + 4\Phi \frac{T}{\rho A}}}{4} \quad (2.19)$$

### 2.3. Kanal İçi Sistem ve Açık Pervanenin Analitik Olarak Karşılaştırılması

Gücün itkiye olan oranı 2.19 numaralı denklemde gösterilmiştir. Statik halde ( $V_z = 0$ ) 25 N güç üreten bir pervanenin güç/itki oranı Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Alan oranının performansa olan etkisi

Şekil 2.3'te yalın pervane alan oranının 2 değerini aldığı yerdir. Görüldüğü üzere alan oranı azaldıkça aynı güç için daha fazla itki elde edilmektedir. Alan oranını azaltmak için kanal içi pervane sisteminden yararlanılır.

Örnek olarak bir karşılaştırma yapılacak olursa;

Alan oranı 2 iken Güç/İtki oranı= 4.43519

Alan oranı 0.85 iken Güç/İtki oranı= 2.892

olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlardan yola çıkarak kanal içi pervane sisteminin yalın pervane sistemine göre yaklaşık %53'lük bir itki artışı sağladığı görülmektedir.

### 3. AÇIK PERVANE SİSTEMİ DENEYLERİ

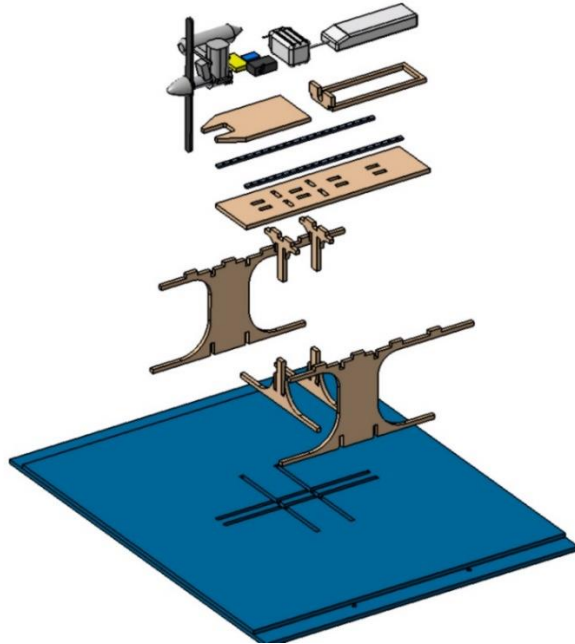
Yalın pervane deneylerinin öncelikli amacı kullanılacak olan pervane ve motor tipine karar vermek amacıyla bir deney grubu oluşturmaktır. Kanal içi sistem için kullanılacak pervane tipine ve motor tipine karar verildikten sonra kanal tasarımı yapılacaktır.

Yalın pervane deneylerini yapmak için ilk olarak bir deney düzeneği tasarlanması gerekmektedir.

#### 3.1. Açık Pervane Deney Düzeneği Üretim Aşamaları

##### 3.1.1. Deney Düzeneği Tasarımı

Açık pervane için tasarlanan deney düzeneğinin sağlam olması, çeşitli ölçülerde pervanelerle ve çeşitli motorlar (elektrikli veya patlar motor) kullanılabilen olması göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 3.1. Deney düzeneği tasarımı

Şekil 3.1’de deney düzeneğini oluşturacak olan parçalar gösterilmiştir. Deney düzeneği parçaları birbirine sıkı geçme ile birleştirilecek şekilde tasarlanmıştır.

### 3.1.2. Açık Pervane Deneş Düzeneği Üretimi

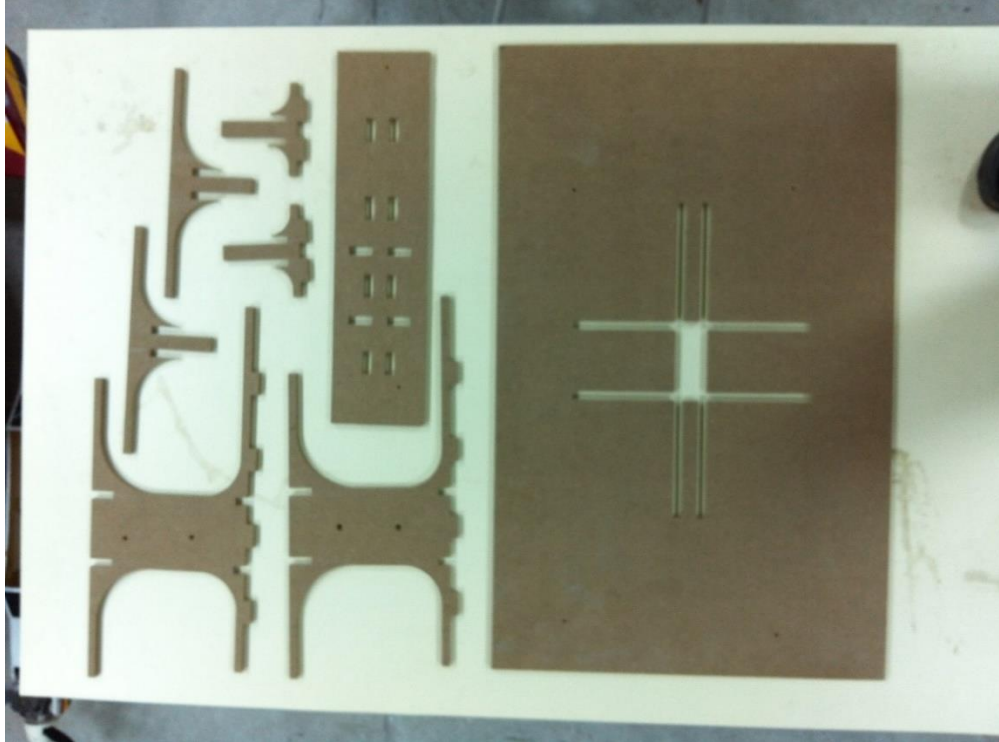
Tasarım Deneş düzeneğinin parçalarının MDF'den üretilmesine karar verilmiştir. MDF'nin dayanıklı bir ahşap malzeme olması bu seçimin yapılmasında en önemli etken olmuştur.

Parçalar okulda bulunan CNC dik işleme merkezinde kesilmiştir. Bu CNC dik işleme merkezi üç eksenle hareket edebilen, kesici ucu Z ekseninde (kesim tablasına dik olan eksen) dönen bir makinadır. Kesici takım değişimi el ile yapılmaktadır.

Parçaların kesilmesi için gereken G-kodları MASTERCAM programı kullanılarak yapılmıştır. Bu kodlar hazırlanırken kesici takımın çapı, kesici ucun uzunluğu, kesici takımın uzunluğu ve malzemenin özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu özellikler kesim süresini belirlemede ve takım yollarının çizilmesinde önemlidir.

MASTERCAM programından alınan G-kodları CNC'nin bağlı olduğu bilgisayara aktarılmıştır. CNC MACH3 programı ile kontrol edilmektedir. Kodlar MACH3 programına aktarıldıktan sonra kesime başlanmıştır.

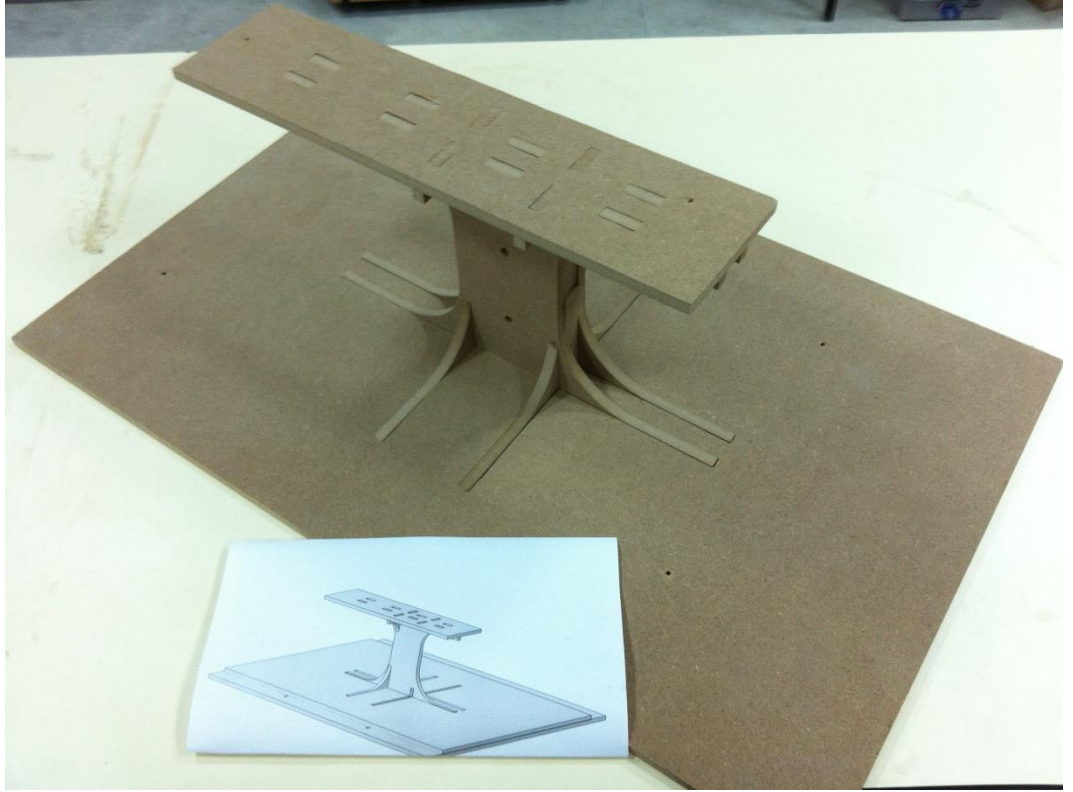
Kesim sonucunda Şekil 3.2'de gösterilen parçalar elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Açık pervane deneş düzeneği parçaları

### 3.1.3. Açık Pervane Deney Düzeneği Montajı

Deney düzeneğinin parçaları birbirlerine sıkı geçme ile birleştirilecek şekilde üretilmiştir. Bu parçaların birbirine yapıştırılması amacıyla 15 dakikada kuruyan epoksi yapıştırıcı ve bu yapıştırıcıya uygun sertleştirici (hardener) kullanılmıştır. Parçaların montajlanmış hali şekil 3.3'te gösterilmiştir.



şekil 3.3. Açık pervane deney düzeneği montajı

Parçalar birbirine montajlandıktan sonra deney düzeneğine dinamometre, motorun ve aksamının üzerinde bulunacağı bir tabla ve bu tablanın üzerinde hareket edeceği raylar eklenmiştir.





Şekil 3.4. Motor düzeneği son hali

Şekil 3.4'te görüldüğü üzere motor ve motor aksamı bir tabla üzerine montajlanmıştır. Bu tabla yalnızca itki doğrultusunda harekete izin veren raylara bağlanmıştır. İtki ölçümünde kullanılacak dinamometre deney düzeneği üzerine sabitlenmiş ve bir kanca ile motor tablasına bağlanmıştır.

Deney düzeneğinde hem patlar motor testleri hem de elektrikli motor testleri yapılabilmektedir. Çapı 17 inç kadar olan bütün pervanelerin testleri için uygun bir düzenektir.

### 3.2. Açık Pervane Deneylerinin Yapılışı

Deneyler sırasında üç değişik malzemeden üretilmiş pervaneler kullanılmıştır. Bunlar ahşap, plastik ve karbondur. Bu üç malzemeden üretilmiş çeşitli çap ve ilerleme oranına sahip pervaneler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Pervane çeşitleri

APC	AHŞAP	KARBON
12*6	13*4	12*4.5
12*7	13*6	12*6
13*6	14*8	13*4
		13*6.5

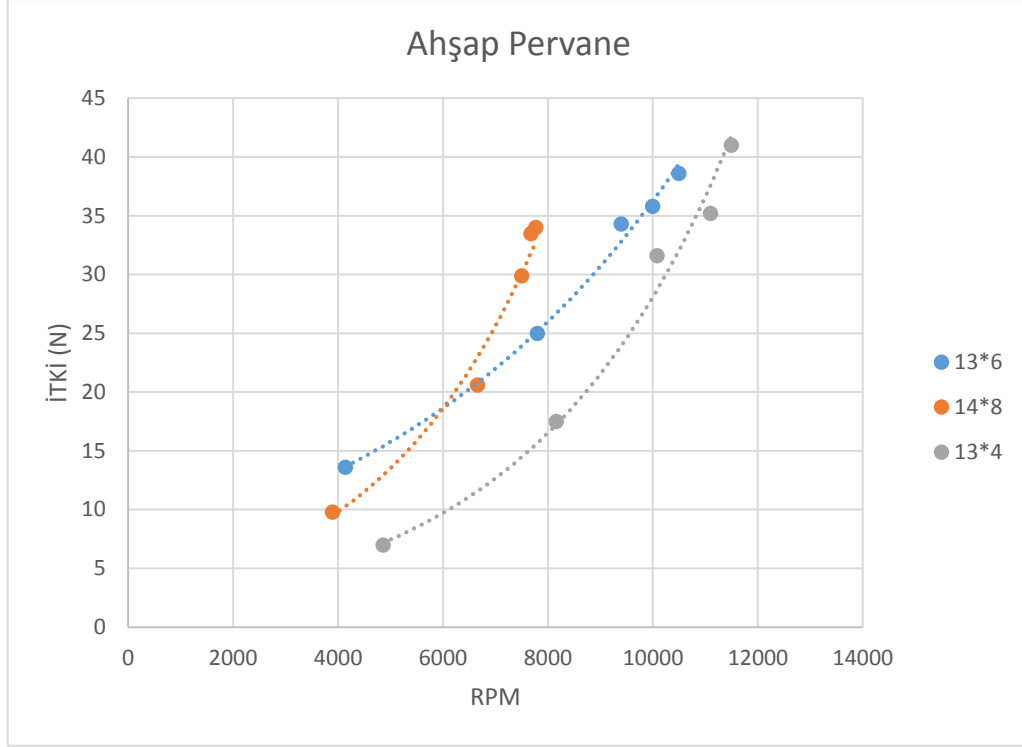
Yalın pervane deneylerine ilk olarak 0.944cc’lik iki zamanlı bir patlar motor kullanılmıştır. Bu motoru çalıştırmak için %15 nitro oranına sahip yakıt kullanılmıştır.

Kullanılan motor 11\*7 pervane ile 13\*4 pervane arasındaki ölçülere sahip pervaneler için uygundur.

Patlar motorları tamamlandıktan sonra bazı pervaneler elektrik motoru ile denenmiş elde edilen sonuçlara göre kullanılacak motor tipi ve pervane tipine karar verilmiştir.

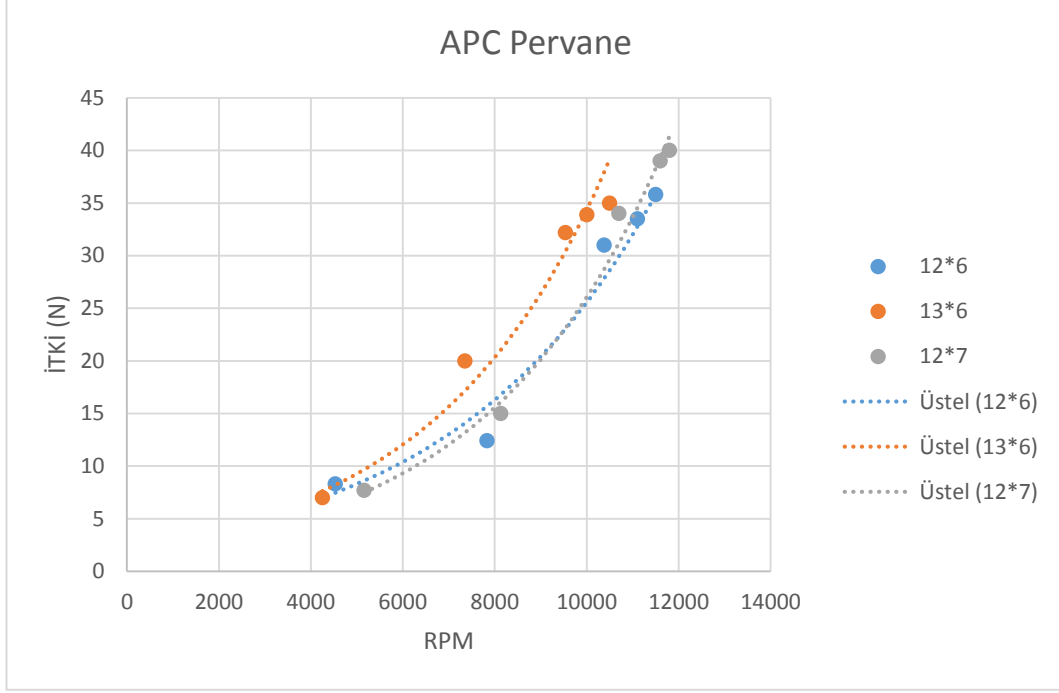
### 3.2.1. Patlar Motor Deney Sonuçları

Her malzemeye ait pervaneler kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra aynı ölçülere sahip pervaneler de kendi arasında karşılaştırılmıştır.



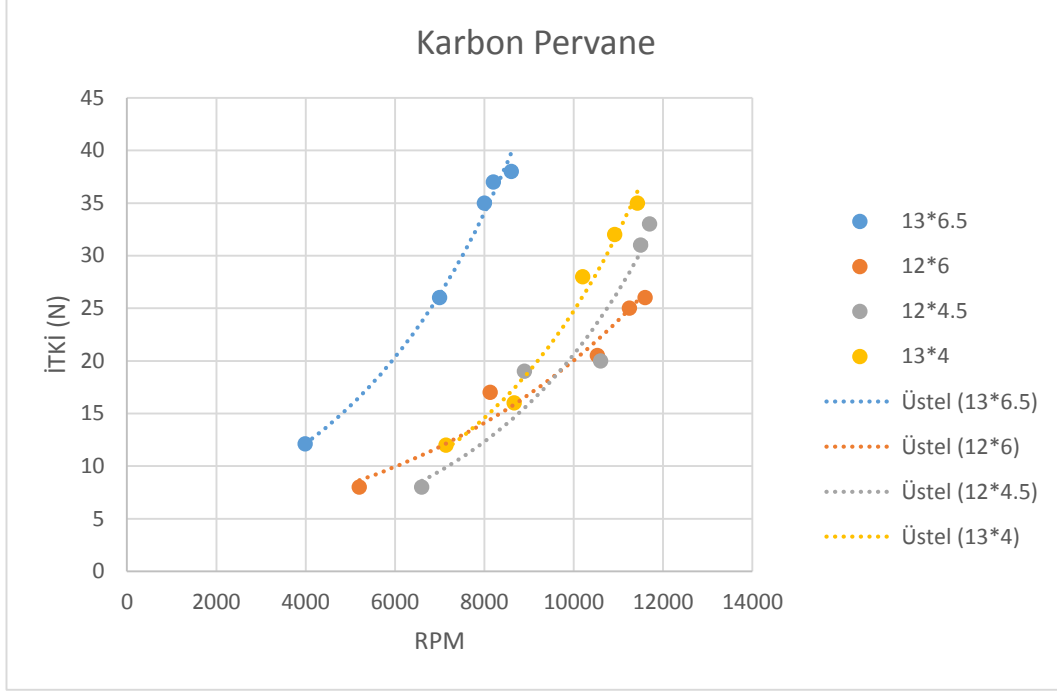
Şekil 3.5. Ahşap Pervane Performans Değerleri

Ahşap pervane sonuçları Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Ahşap pervaneler motorun en az titreşimle çalıştığı pervanelerdir. Ahşap pervaneler içinde 13\*6 pervanesinin en yüksek itkiyi vermesi beklenirken en yüksek itki 13\*4 pervaneden elde edilmiştir. Bunun nedeni yüksek hatveli pervanesinin ataletinin daha fazla olması nedeniyle motorun gücü yüksek hatveli pervaneyi yüksek devirlerde çalıştırmak için yeterli olmamıştır. 14\*8 pervane ise gerek yüksek çapı gerek yüksek hatve değeri nedeniyle diğer pervanelerden düşük itki değeri üretmiştir.



Şekil 3.6. APC pervane performans değerleri

Şekil 3.6'da APC pervanelere ait performans değerleri gösterilmiştir. Bu pervaneler içinde en yüksek itki 12\*7 pervanede elde edilmiştir. Burada beklenen en yüksek itkinin 13 inç çaplı pervaneden elde edilmesidir. Ancak yüksek ataletinden dolayı 13 inç çaplı pervane yüksek devirlere çıkamamış ve beklenenden düşük itki üretmiştir. Buna rağmen düşük devirlerde 13 inç çaplı pervanenin 12 inç çaplı pervanelerden daha yüksek itki ürettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.7. Karbon Pervane Performans Değerleri

Şekil 3.7’de karbon pervanelere ait performans değerleri gösterilmiştir. Karbon pervaneler hafif olmaları nedeniyle yüksek devirlere ulaşmışlardır. Buna rağmen performansları beklenen değerlerin çok altında kalmıştır. Karbon pervanelerde en yüksek itki 13\*6.5 pervaneden elde edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda karbon pervanelerin kullanılmamasına karar verilmiştir. Performans değerlerinin beklenenin altında kalmasının yanı sıra karbon pervanelerin motor bağlantıları gerekenden sıkı olduğunda karbon pervaneler kırılmışlardır. Bu durum güvenlik açısından tehlike içermektedir.

Çalışmalar sonucunda 13 inç çaplı ahşap ve APC pervanelerin kullanılmasına karar verilmişlerdir. En yüksek itki değerleri 12 inç çaplı pervanelerle elde edilmiş olsa da düşük devirlerde 13 inç çaplı pervaneler daha yüksek itki değerleri üretmişlerdir.

Yapılan çalışmalar esnasında patlar motorun çok titreşimli çalıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca patlar motorun kanal içerisinde çok hacim kaplayacağı göz önünde bulundurularak kanal içi pervane sisteminde 13 inç çapa uygun elektrikli motor kullanılmasına karar verilmiştir.

#### 4. KANAL TASARIMI

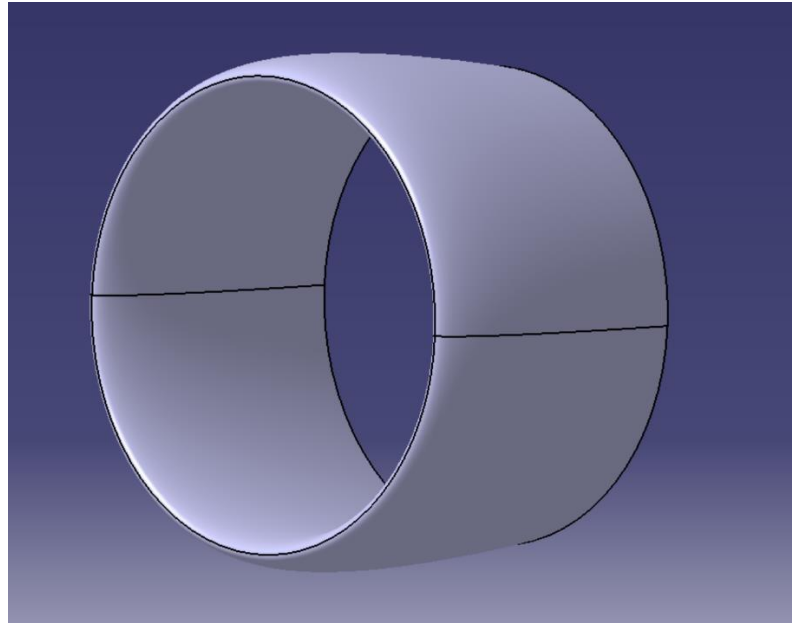
Kanalın boyutlandırması daha önce yapılmış olan çalışmalar göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Kanal profili olarak simetrik bir profil olan NACA 0012 seçilmiştir. Burada profilin ince olması göz önünde bulundurulmuştur.

Pervane kanal kesitinin en kalın olduğu kısımda konumlandırılacaktır. Yapılmış deneyler sonucunda kanalda 13 inç çapında pervane kullanılmasına karar verilmiştir. Buradan yola çıkarak kanal yarıçapı belirlenecektir. Kanal yarıçapı kanal kesitinin en kalın olduğu kısma göre belirlenmiştir. Kanal iç kısmı ile pervane uç bölgesi arasındaki boşluk pervane yarıçapının %2'si yani 3,3 mm olarak hesaplanmıştır. Buradan yola çıkarak kanalın en dar kesitinde yarıçap 336,6 mm olarak hesaplanmıştır.

Kanal profilinin veter uzunluğu ise 254 mm olarak belirlenmiştir. Kanalın giriş ve çıkış alanının birbirlerine olan oranı ise 0.85 olarak belirlenmiştir. Bu noktada daha küçük bir alan oranına(pervane alanının pervane iz bölgesindeki alana oranı) sahip kanal tasarımının neden yapılmadığı düşünülebilir. Bunun nedeni ise küçük alan oranına sahip kanalda akım ayrılmamasını sağlamak için daha uzun bir kanal kullanmak gerekliliğidir.

Kanal tasarımı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kanal tasarımı



## 5. KANAL ÜRETİMİ

Kanal boyutlandırmasının yapılmasının ardından kanal üretimine başlanmıştır. Kanalın kompozit malzemedan üretilmesine karar verilmiştir. Burada amaçlanan, kanalın hem dayanıklı olması hem de hafif olmasıdır. Kompozit üretim yöntemi olarak ise vakum infüzyon yöntemi kullanılacaktır.

Kanalın üst kısmı dört eşit parçaya ayrılacaktır. Aynı şekilde alt kısmı da dört eşit parçaya ayrılacak ve bu sekiz parçanın birbiriyle birleştirilmesinin ardından kanal elde edilecektir.

Kanal üretimi için sırasıyla şu aşamalardan geçilmiştir:

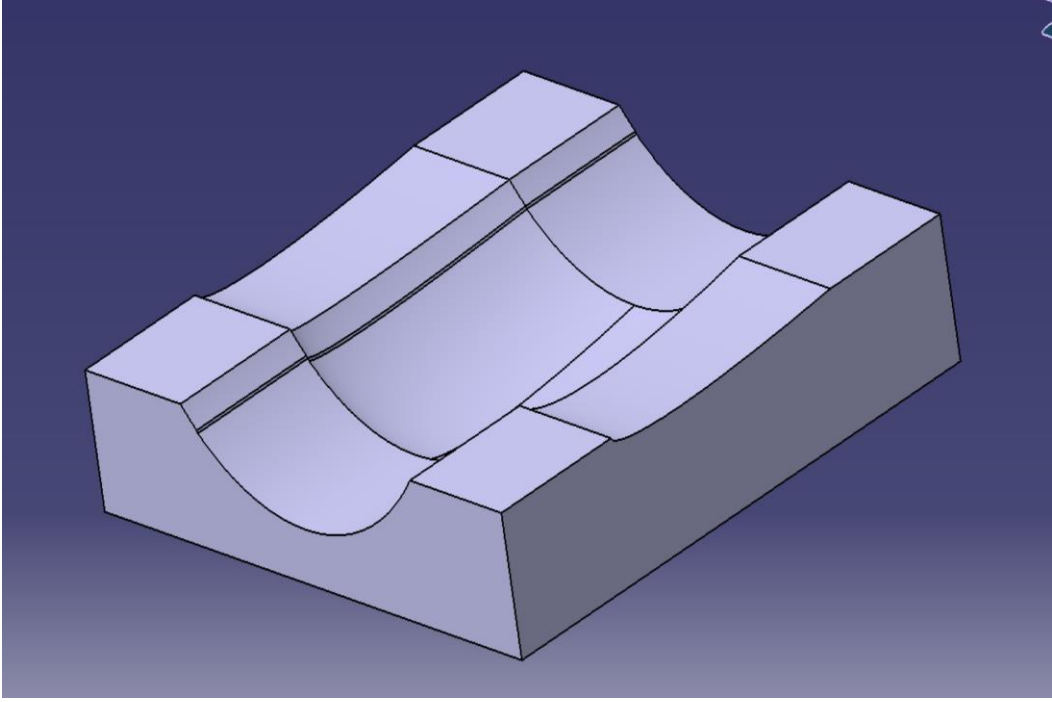
- a. Kanal kalıplarının hazırlanması
- b. Hazırlanan kalıpları CNC’de üretebilmek için gereken G kodlarının oluşturulması
- c. Kalıpların üretilmesi
- d. Parçaların üretilmesi
- e. Parçaların birleştirilmesi

Bu aşamalar sonucunda bir kanal üretilmiş olacaktır.

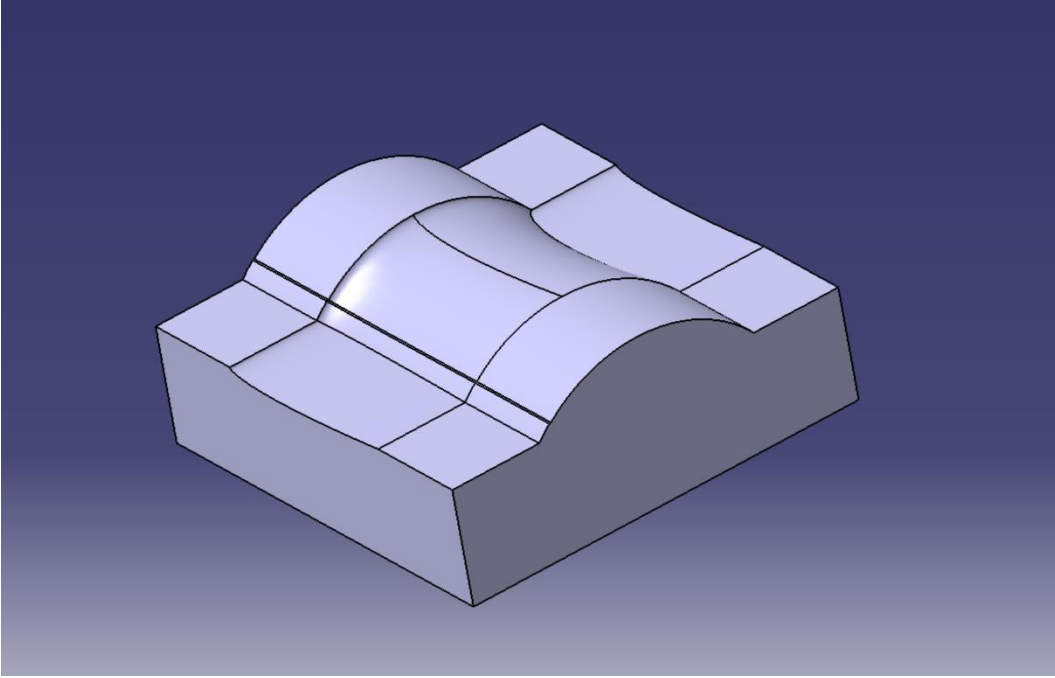
### 5.1. Kanal Kalıplarının Çizilmesi

Kanal dış kısmı için bir kalıp, iç kısmı için de ayrı bir kalıp üretilecektir. Bu kalıplar CATIA programı kullanılarak çizilmiştir. Her iki kalıpta da parçaların birleşme kısımlarında 1 mm derinlikte 1 cm eninde girintiler oluşturulmuştur. Bu bölümler kanal parçalarını birleştirmeyi daha kolay hale getirmek amacıyla oluşturulmuştur. Şekil 5.1’de dış parçanın kalıbı gösterilmiştir. Şekil 5.2’de ise iç parça için kalıp gösterilmiştir. Kanal kalıplarının kenarlarında ise vakum hattı ve reçine hattı için gerekli olacak olan boşluklar bırakılmıştır.





Şekil 5.1. Dış kalıp



Şekil 5.2. İç kalıp

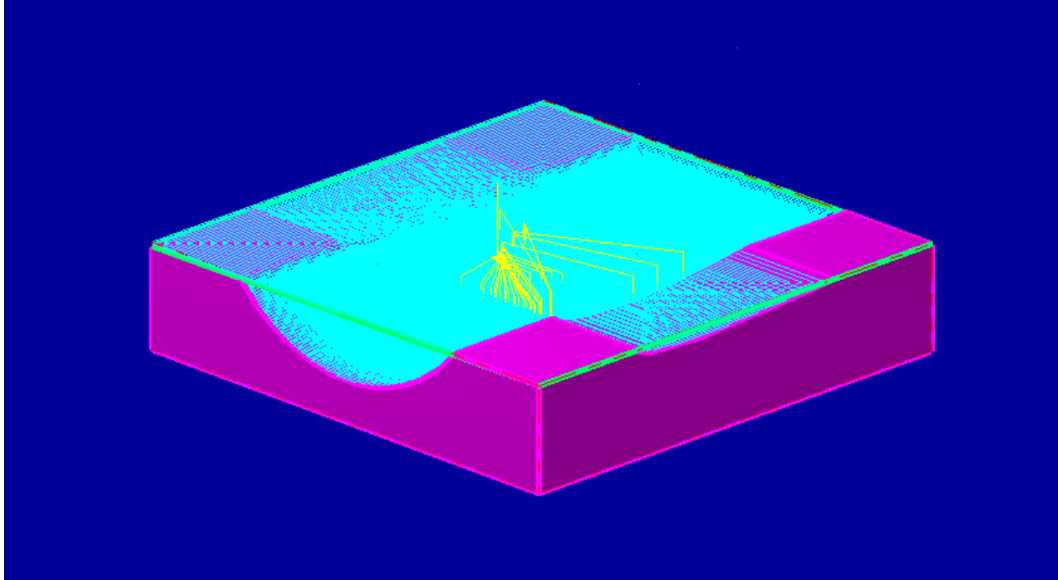
## 5.2. Kalıpların Kesimi İçin G kodlarının Oluşturulması

Kanal kalıpları CNC’de kesebilmek için gerekli olan kodlar MASTERCAM X6 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu kodlar her iki kalıp için de iki aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşama kaba kesim (rough) denilen kalıbın kabaca istenen şekle getirildiği aşama, ikinci aşama ise kalıbın istenen şeklini aldığı son işlem (finish) aşamasıdır.

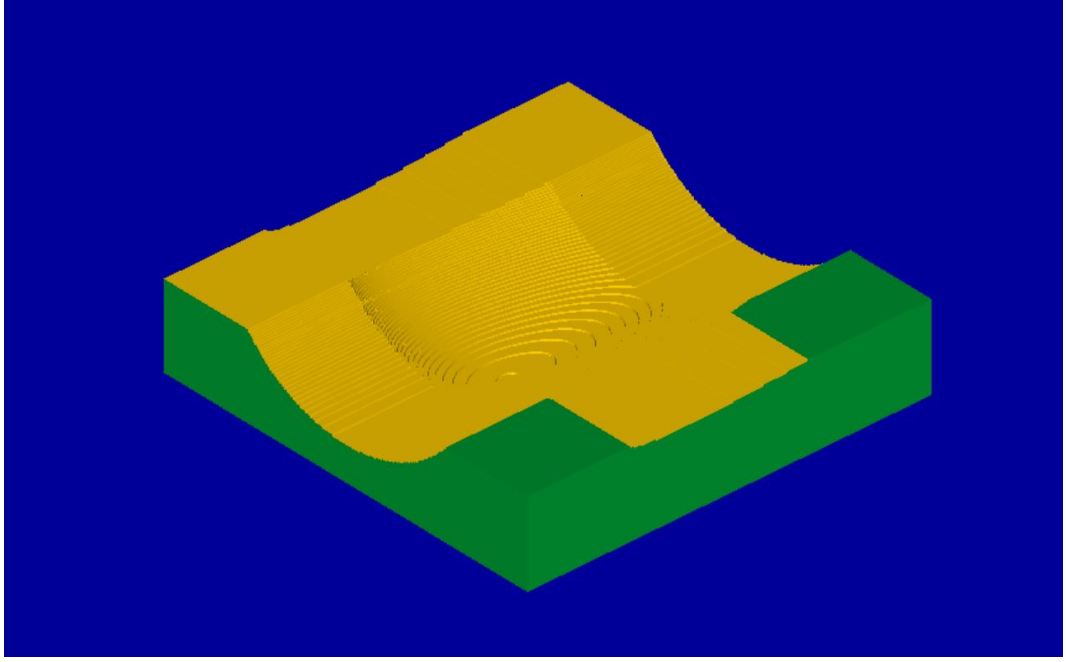
Kaba kesim yapılırken kalıp üzerinde 0,5 mm posa bırakılmıştır. Her bir kesim için takımın kaldıracağı posa 2 mm olarak seçilmiştir. Burada amaçlanan takım ucunun ömrünü kısaltmamak ve CNC kontrol motorlarının fazla zorlanmamasıdır. Kaba kesim için 10 mm çapına sahip düz uçlu freze bıçağı kullanılmıştır. Kaba kesim programında oyma işlemi seçilerek yapılmıştır.

Son işlemden önce paralel kesim yöntemi seçilmiştir. Burada her adım arası boşluk 0,8mm olarak seçilmiştir. Bu boşluk azaldığında kesim süresi uzayacağından 0.8 mm ‘nin uygun olduğuna karar verilmiştir. Bu kesim için ise 4 mm çapında yuvarlak uçlu freze bıçağı kullanılmıştır.

Şekil 5.3’te dış kalıp için hazırlanmış kaba kesim gösterilmiştir.

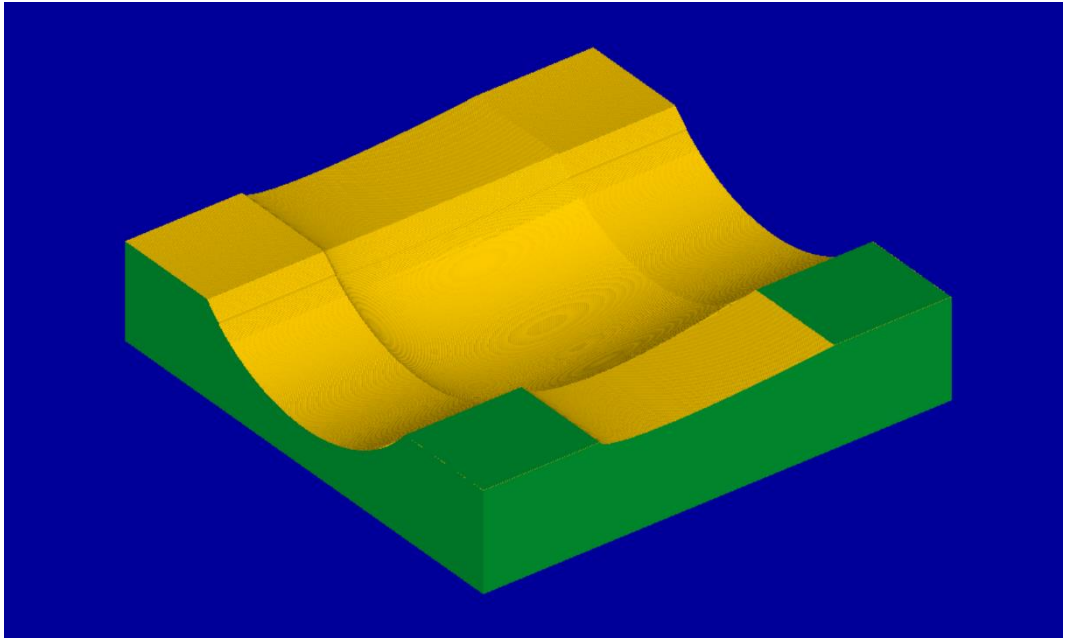


Şekil 5.3. Dış kalıp kaba kesim takım yolu



Şekil 5.4. Kaba Kesim

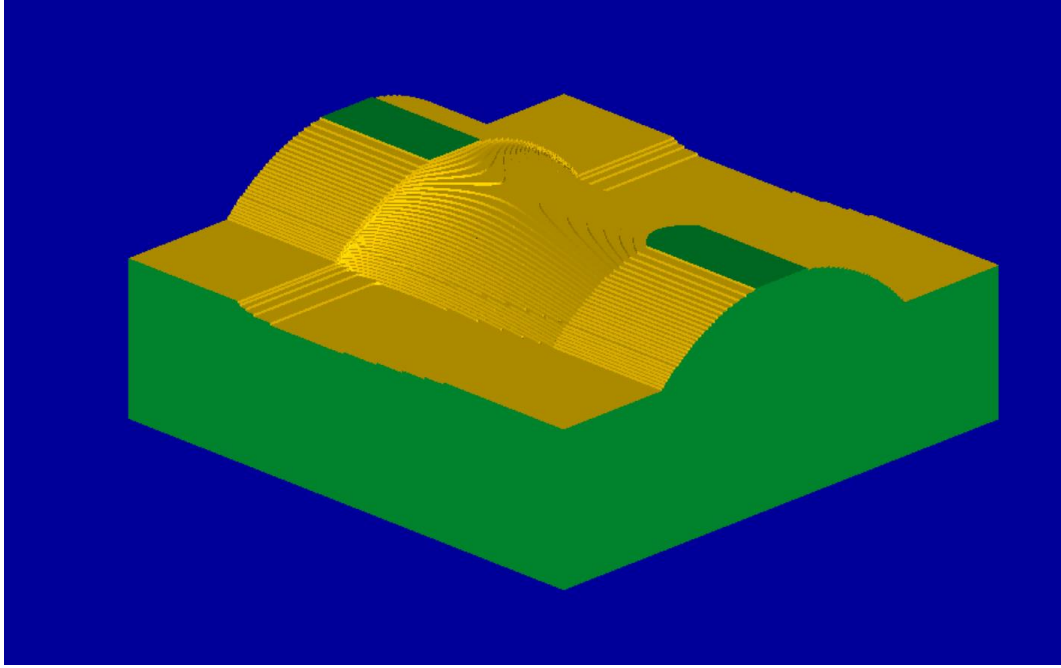
Şekil 5.4'te ise kaba kesimin sonucunun nasıl olacağı gösterilmiştir.



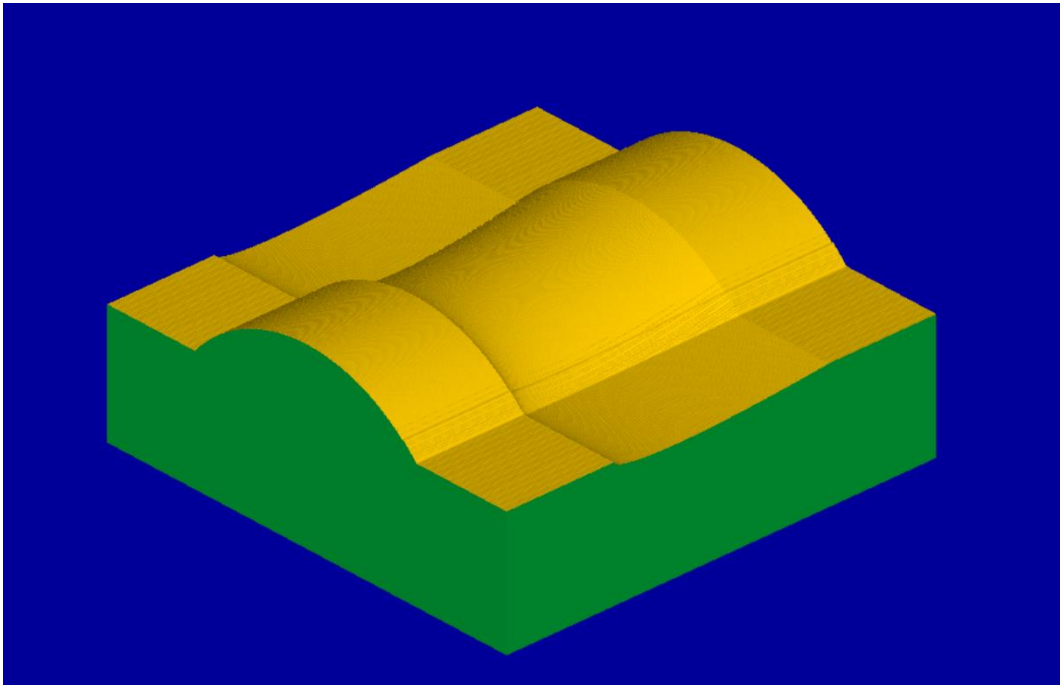
Şekil 5.5. Dış kalıp son hal

Şekil 5.5'te ise kalıbın son işlem sonrasındaki hali gösterilmiştir.

Aynı işlemler iç kalıp için de uygulanmıştır. Şekil 5.6'da iç kalıbın kaba kesim sonucu ve Şekil 5.7'de son işlem sonucu gösterilmiştir.



Şekil 5.6. İç kalıp kaba kesim



Şekil 5.7. İç kalıp son hal

Bu işlemlerin sonucunda artık CNC’de kalıp işlemek için gerekli olan G kodları hazırlanmıştır. Kodlar MAHC3 kontrol kartına uygun olarak hazırlanmıştır. Bu işlemlerin sonucunda artık CNC’de kalıp işlemek için gerekli olan G kodları hazırlanmıştır. Kodlar MAHC3 kontrol kartına uygun biçimde hazırlanmıştır.

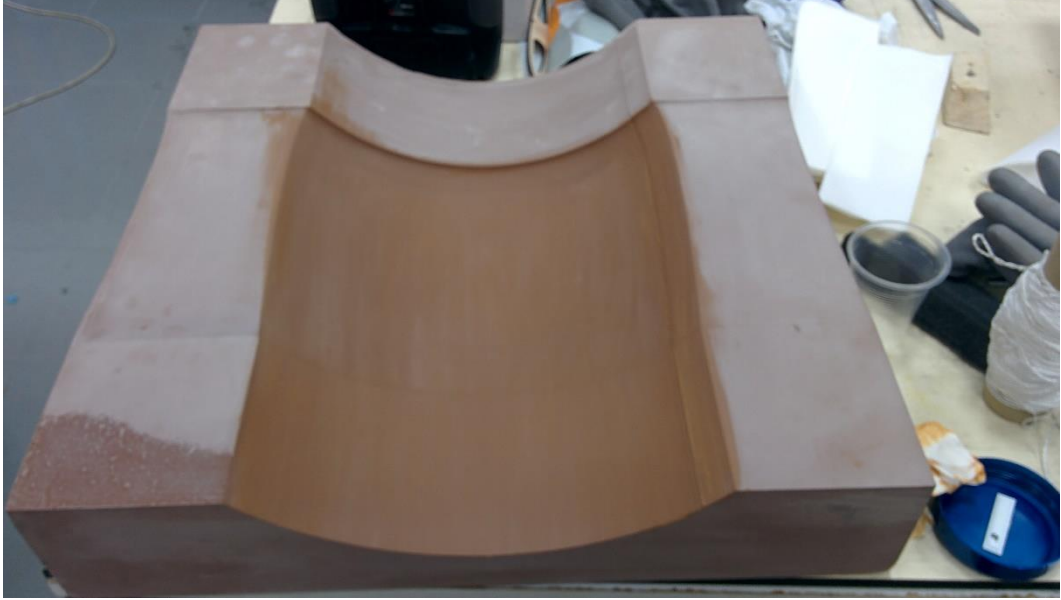
### 5.3. Kalıpların Üretimi

G kodlarının hazırlanmasının ardından kalıpların üretimine başlanmıştır. Şekil 5.8’de iç kalıba ait son işlemin kesim aşaması gösterilmiştir.



Şekil 5.8. İç parça kalıp son işlemi

Görüldüğü üzere elde edilen şekil daha önceden kodların işleyeceğini söylediği şekil ile aynıdır. Kalıpların üretiminin tamamlanmasının ardından kalıplarda üretilecek parçanın kalıba yapışmasını engellemek amacıyla kalıplara kalıp ayracı sürülmüştür. Şekil 5.9’da dış parçaya ait olan kalıbın kalıp ayracı sürülmüş hali gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Dış kalıbın kalıp ayracı sürülmüş hali

Aynı işlemler her iki kalıba da yapılmıştır. Şekil 5.10’da dış parça kalıbının son hali, Şekil 5.11’de ise iç parça kalıbının son hali gösterilmiştir. Bu aşamaların tamamlanmasının ardından kalıplar parça üretimi için hazır hale gelmiştir.



Şekil 5.10. Dış parça kalıbının son hali



Şekil 5.11. İç parça kalıbının son hali



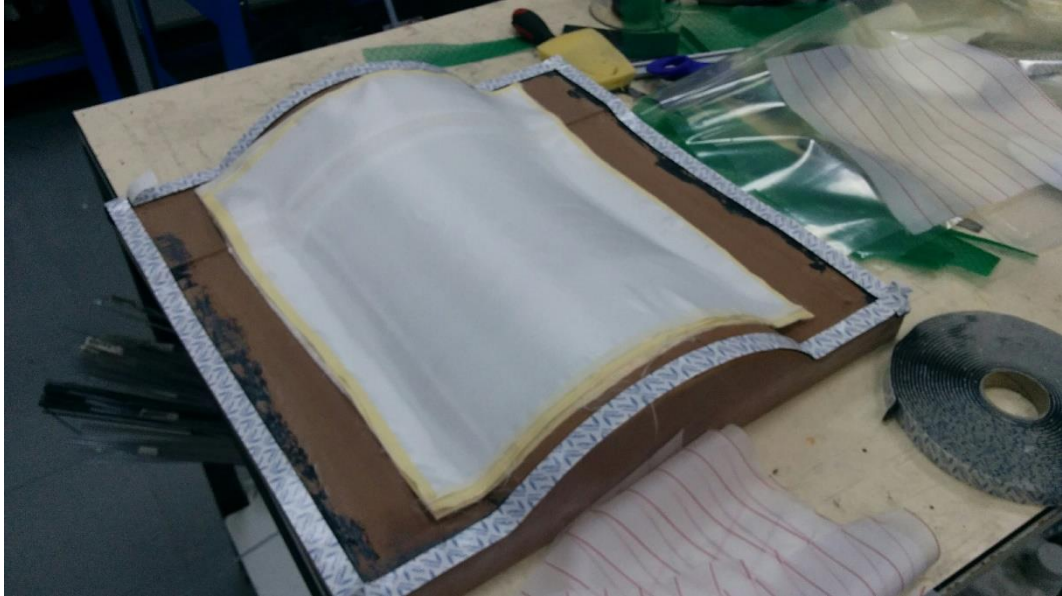
#### 5.4. Parçaların Üretilmesi

Parçalar cam elyaf kullanılarak üretilmiştir. Üretim tekniği olarak vakum infüzyon yöntemi seçilmiştir.

Vakum infüzyon yönteminde elyaf malzeme kalıp içerisine yatırılır. Elyaf malzemenin üzerine gerekli takviye malzemeler yerleştirilir. Bu malzemeler peel ply ve flow meshtir. Peel ply elyaf üzerindeki takviye malzemelerin ve vakum naylonunun elyafa yapışmasını engelleyen bir kumaştır. Flow mesh ise reçinenin elyaf üzerinde hem hızlı hem de düzgün yayılmasını sağlayan plastik bir malzemedir. Reçine için bir hat ve vakum için bir hat oluşturulur ve kalıp vakum naylonu ile kaplanır.

Kalıpta vakum kaçağı olup olmadığı kontrol edildikten sonra reçinenin vakum ile birlikte elyaf üzerinde yürütmesine izin verilir. Elyafın tamamen reçine ile ıslandığına emin olunduktan sonra reçine hattının kalıp ile bağlantısı kesilir.

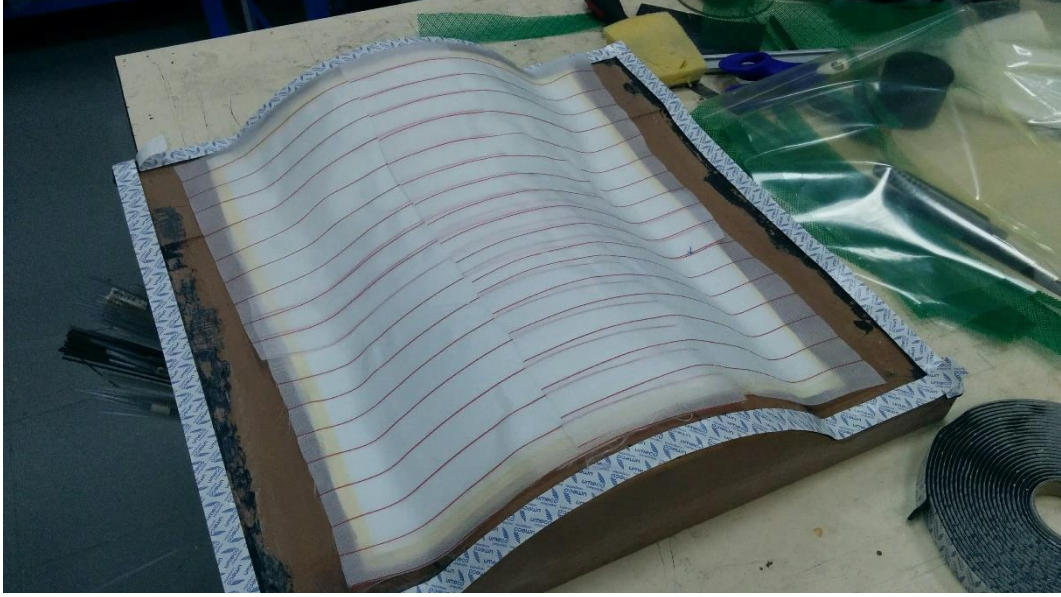
Üretime ilk olarak iç parçadan başlanmıştır. Şekil 5.12’de gösterildiği gibi ilk olarak elyaf malzeme kalıba yatırılmış ve kalıp etrafına sızdırmazlık bandı çekilmiştir.



Şekil 5.12. Elyaf malzemenin kalıba yatırılması

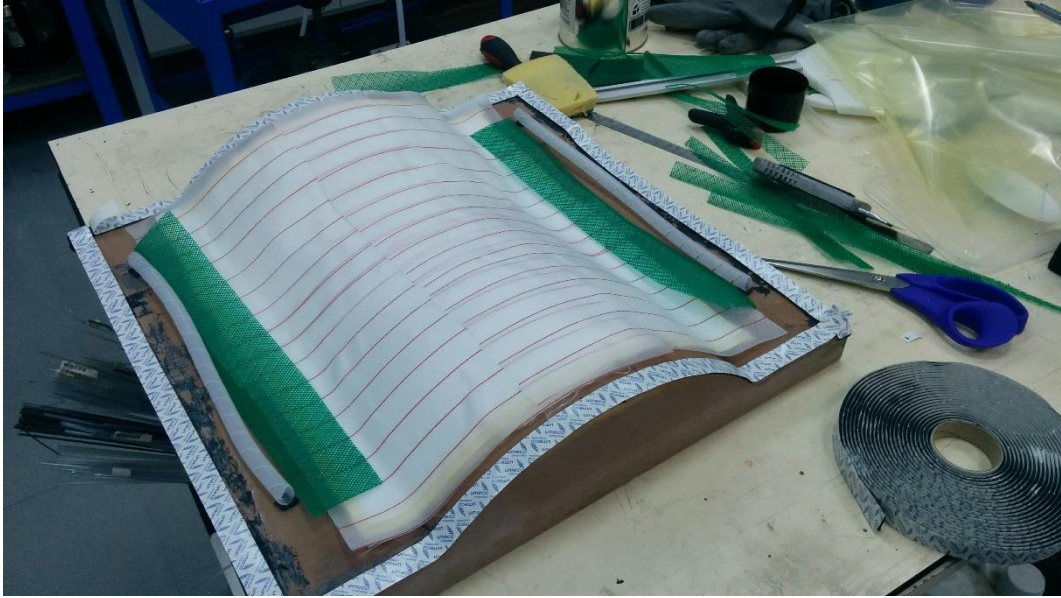


Ardından Şekil 5.13'te gösterildiği gibi, cam elyafın üzeri peel ply ile kaplanmıştır.



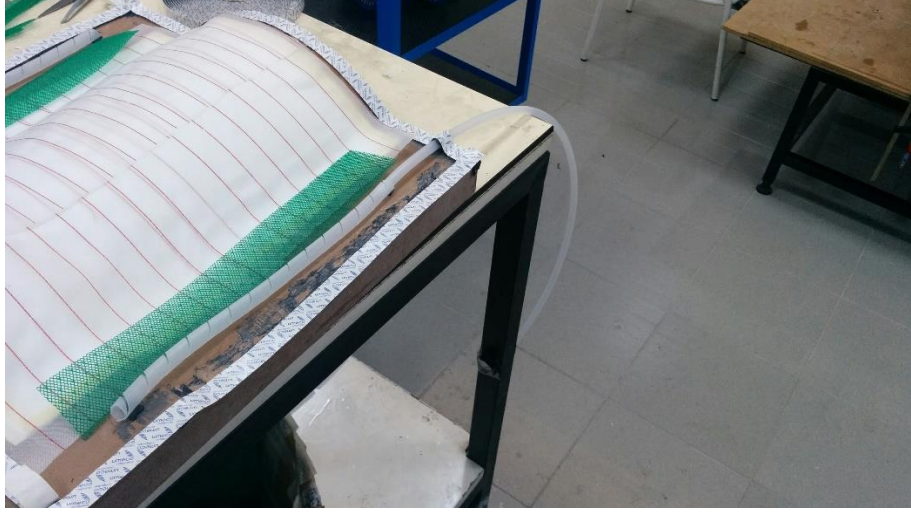
Şekil 5.13. Peel ply'nin yerleştirilmesi

Bu işlemler tamamlandıktan sonra Şekil 5.14'te gösterildiği gibi parçaya ait flow meshler yerleştirilmiştir. Vakum hattına ve reçine hattına ait olan spiral hortumlar yerleştirilmiştir.



Şekil 5.14. Spiral hortumların yerleştirilmesi

Spiral hortumların yerleştirilmesinin ardından ilk olarak Şekil 5.15'te gösterildiği gibi reçine hattı bağlanmıştır. Sonrasında ise şekil 5.16'da gösterildiği gibi vakum hattının bir ucu spiral hortuma diğer ucu ise taşıma kabına bağlanmıştır.



Şekil 5.15. Reçine hattı

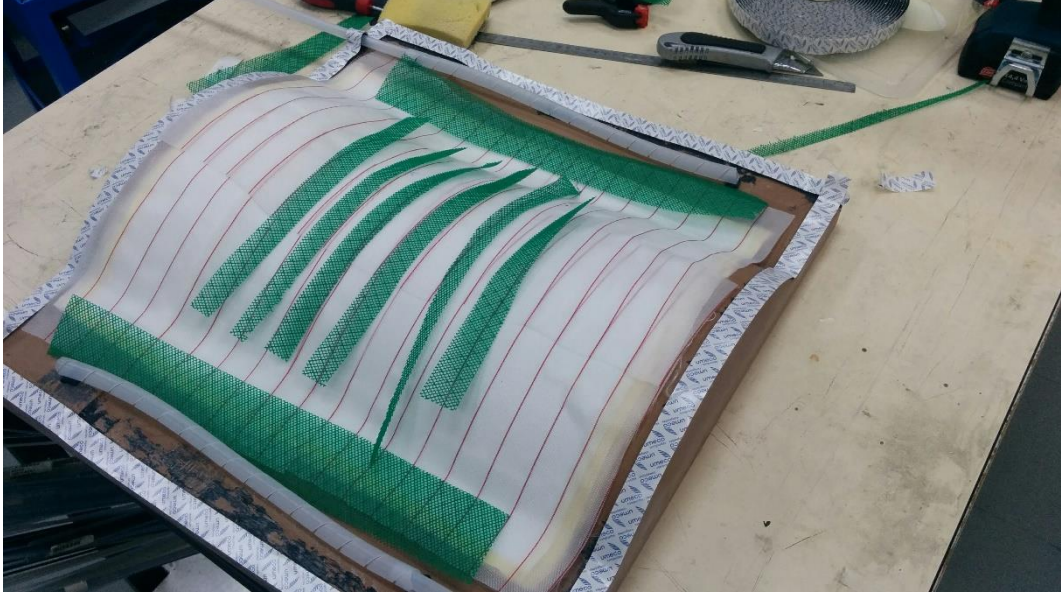


Şekil 5.16. Vakum hattı



Taşıma kabı, fazla reçinenin kalıpta kalmaması için vakumla çekilmesinde kullanılır.

Flow mesh'in Şekil 5.17'de gösterildiği gibi yerleştirilmesinin ardından kalıp Şekil 5.18'de gösterildiği gibi vakum naylonu ile kaplanmıştır.



Şekil 5.17. Flow mesh yerleşimi



Şekil 5.18. Vakum naylonunun kaplanması

Vakum naylonun yırtılmasını önlemek için kalıbın 4 kenarına Şekil 5.19'da gösterildiği gibi küçük kulakçıklar yapılmıştır.



Şekil 5.19. Kulakçık örneği

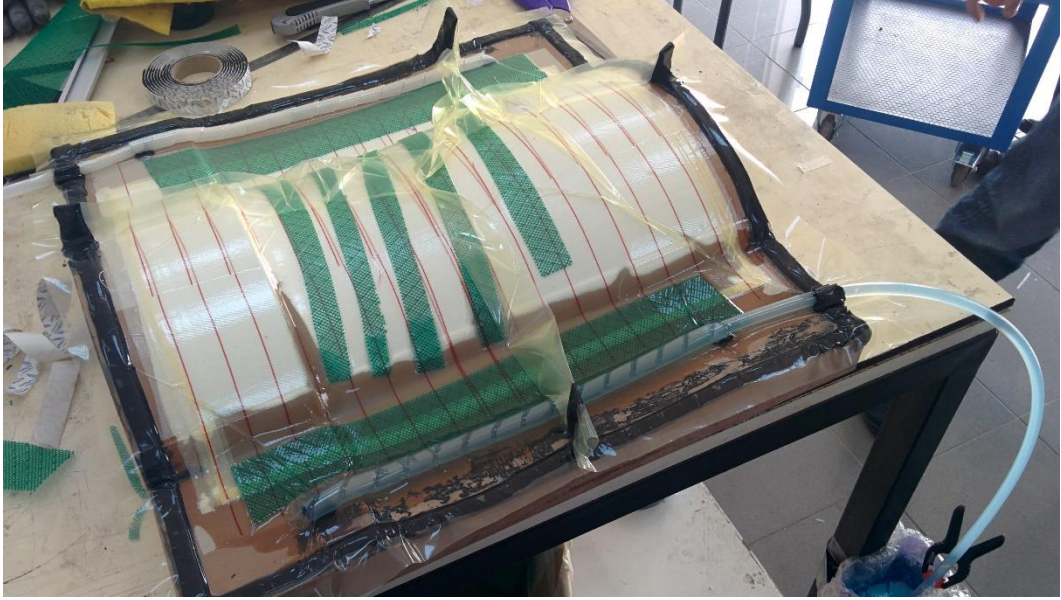
Bu işlemlerin yapılmasının ardından taşıma kabının bir ucu kompresöre bağlanmıştır. Bağlantıların tamamlandığından emin olduktan sonra sistemde bir kaçak olup olmadığı kontrol edilmiştir. Kaçak olmadığından da emin olunduktan sonra Şekil 5.20'de gösterilen reçine ve sertleştiricisi 300 gram reçine 100 gram sertleştirici kullanarak hazırlanmıştır.



Şekil 5.20. Reçine (sağda) ve sertleştirici (solda)



Reçine hazırlandıktan sonra reçinenin içinde bulunduğu kap reçine hattına bağlanmıştır. Vakum hattının çalıştırılmasıyla reçine Şekil 5.21’de gösterildiği gibi kalıp içerisinde yürümeye başlamıştır.



Şekil 5.21. Reçinenin kalıp içerisinde yürütülmesi

Reçinenin tamamen kalıp içerisinde yürüdüğünden emin olunduktan sonra reçine hattı kırılmıştır. Vakum hattı da kırıldıktan sonra kalıp şekil 5.22’de gösterilen fırın içerisine yerleştirilmiş ve 50°C’da küllenmeye bırakılmıştır.



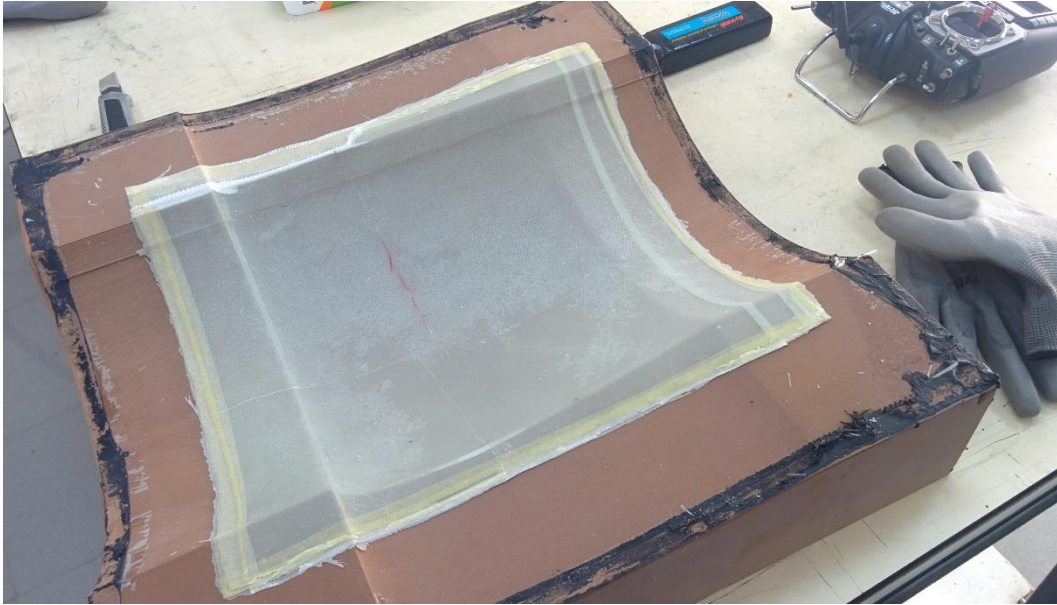
Şekil 5.22. Fırın

Şekil 5.23’de gösterilen fırın kızılötesi ışıkla fırının içini ısıtmaktadır. Fırın içerisinde bulunan termostat ile fırın sıcaklığı ölçülmektedir. Ayrıca bu termostat sayesinde fırın içi sıcaklığın istenen derecede tutulması sağlanmaktadır.



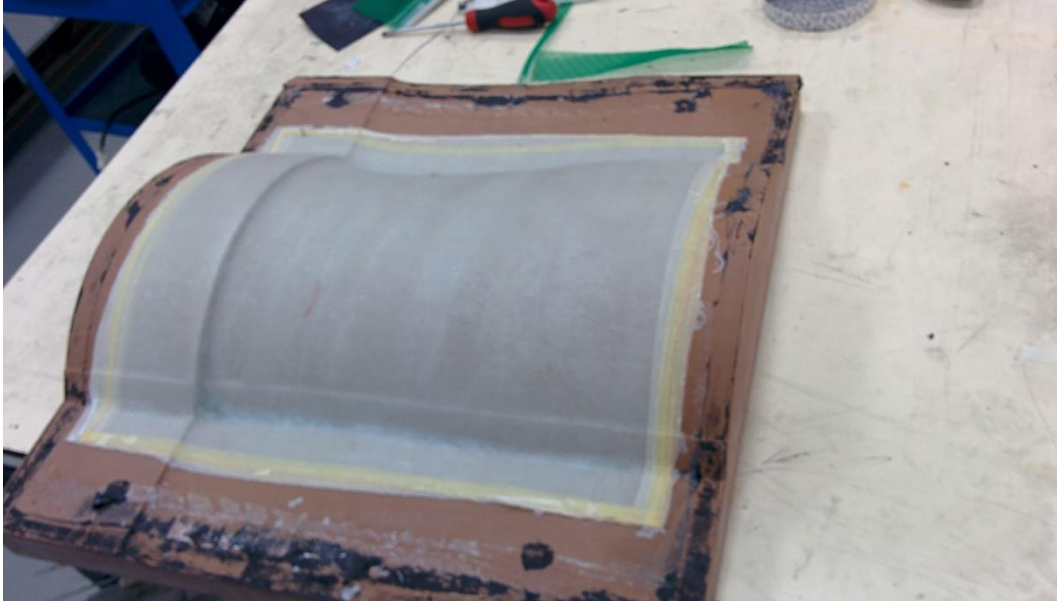
Şekil 5.23. Fırının çalışması

Aynı işlemler dış kısım parçaları için de uyarlanmıştır. Şekil5.24’te dış parçanın kalıptaki hali, Şekil 5.25’te ise iç parçanın son hali gösterilmiştir.



Şekil 5.24. Dış kısım





Şekil 5.25. İç kısım

Parçaların dış kısmında kalan fazlalıklar kesildikten sonra parçalar birleştirme için hazır hale gelmiştir. Dört iç parça ve dört dış parça aynı yöntem ile üretilmiştir.

### 5.5. Parçaların Birleştirilmesi

Sekiz adet parça üretildikten sonra parçaların birleştirilmesi işlemine geçilmiştir. Öncelikle dış kabuk parçasına daha önce lazer kesicide üretilmiş olan balsa sinir yapıları Şekil 5.26’da gösterildiği gibi yapıştırılmıştır. Kabuk parçalarını ve sinirlerini birbirine yapıştırmak için 5 dakikalık epoksi kullanılmıştır.



Şekil 5.26. Dış kabul ve sinir yapıları

Ardından iki dış kabuk parçası kendi arasında Şekil 5.27’de gösterildiği gibi yapıştırılmıştır.



Şekil 5.27. Dış kabukların birbirine yapıştırılması

Dış kabuk parçalarıyla oluşturulmuş yarı dairelere iç kabuk parçaları şekil 5.28’de gösterildiği gibi yapıştırılmıştır.



Şekil 5.28. İç kabuk parçalarının yapıştırılması

Her iki yarı daireye iç kabuk parçaları yapıştırılmıştır. Ardından elde edilen iki yarı daire Şekil 5.29’da gösterildiği gibi birbirine yapıştırılmış ve kanal elde edilmiştir.

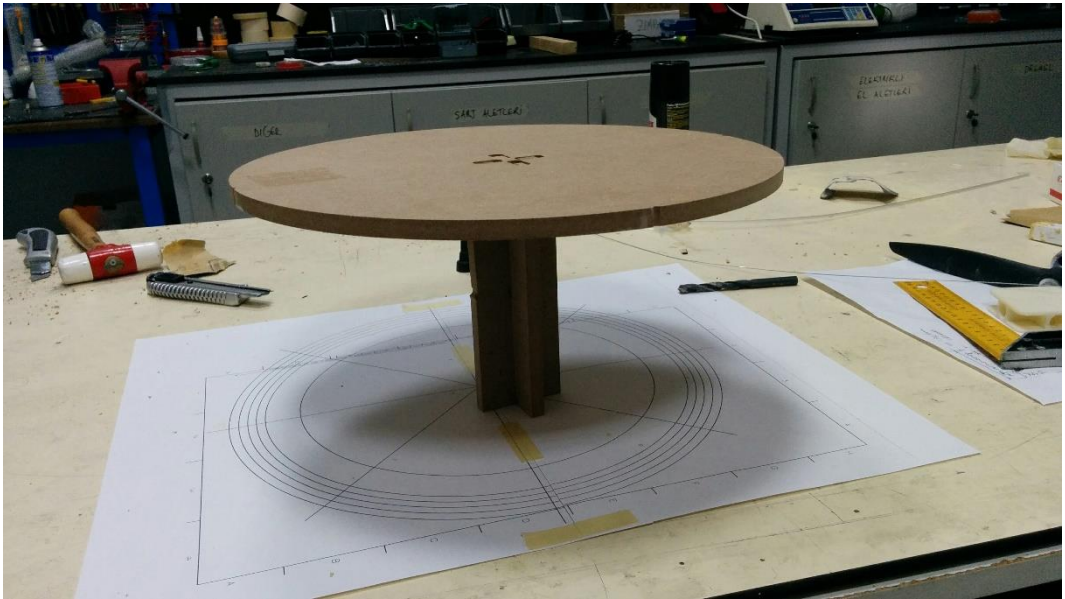




Şekil 5.29. Kanal

## 5.6. Kanala Motorun Eklenmesi

Kanal birleştirildikten sonra sıra kanala motorun eklenmesine gelmiştir. Kanalda motorun bağlantı noktalarını düzgün açabilmek ve bağlantı noktalarının konumlarının doğru olduğundan emin olmak amacıyla Şekil 5.30’da gösterilen bir fikstür mdf malzemedan üretilmiştir.



Şekil 5.30. Fikstür

Sonrasında kanalda birleşme esnasında oluşan boşluklar çelik macun ile giderilmiştir. Daha sonra şekil 5.31’de gösterildiği gibi fikstür kanal içine yerleştirilmiştir.



Şekil 5.31.Motor bağlantı noktalarının açılması

Motor bağlantı noktalarının açılmasının ardından Şekil 5.32’de gösterilen motor yuvası 3D yazıcıda imal edilmiştir.



Şekil 5.32. Motor yuvası

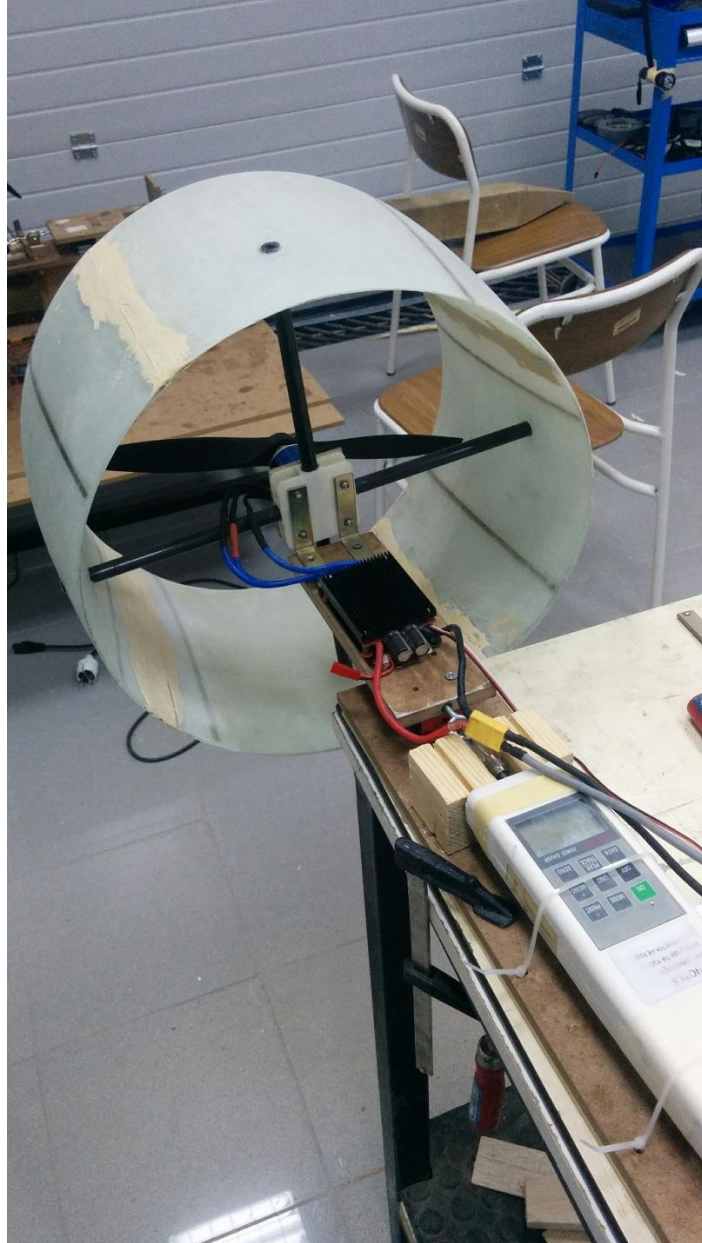
Motor yuvasının da üretilmesinin ardından motor kanal içine yerleştirilmiş ve kanal imalatı tamamlanmıştır. Kanalın son hali şekil 5.33’te gösterilmiştir.



Şekil 5.33. Kanal içi pervane sistemi

## 5.7. Kanal İçi Pervane Sistemi Deney Düzeneği İmalatı

Kanal için imal edilen deney düzeneğinde kanalın bağlı olduğu parça bir arabaya bağlanmış bu araba da bir raya bağlanmıştır. Kanalın bağlı oluğu parça arka kısmından bir dinamometreye bağlanarak deney düzeneği oluşturulmuştur. şekil 5.34'te kanala ait deney düzeneği gösterilmiştir. Aık pervanenin itki değerlerinin ölçümü yine bu düzenek üzerinde gerçekleştirilmiştir.



şekil 5.34. Kanal içi pervane sistemi deney düzeneği



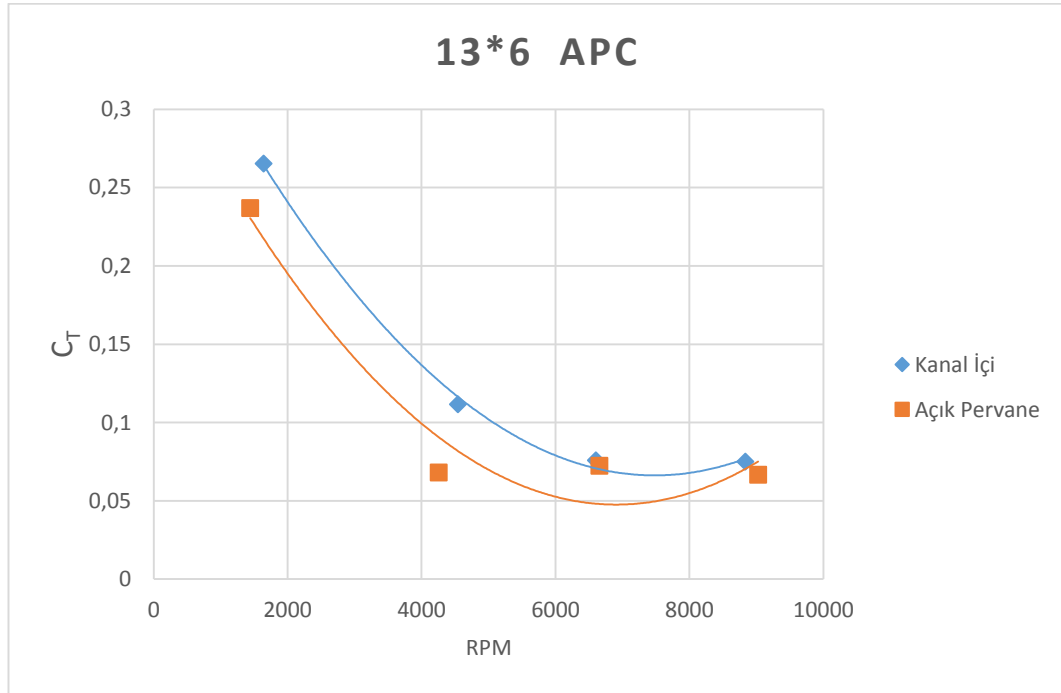
## 6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kanal içi pervane sistemi ile açık pervanenin statik itki değerlerinin deneysel olarak karşılaştırılması bu bölümde yapılmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi yine bu bölümde yapılmıştır.

### 6.1. Kanal İçi Pervane sistemi ile Açık Pervane Sisteminin Deneysel Karşılaştırılması

Kanal içi pervane deneyleri 13\*6 APC, 13\*6 ahşap ve 13\*4 ahşap pervaneler ile gerçekleştirilmiştir.

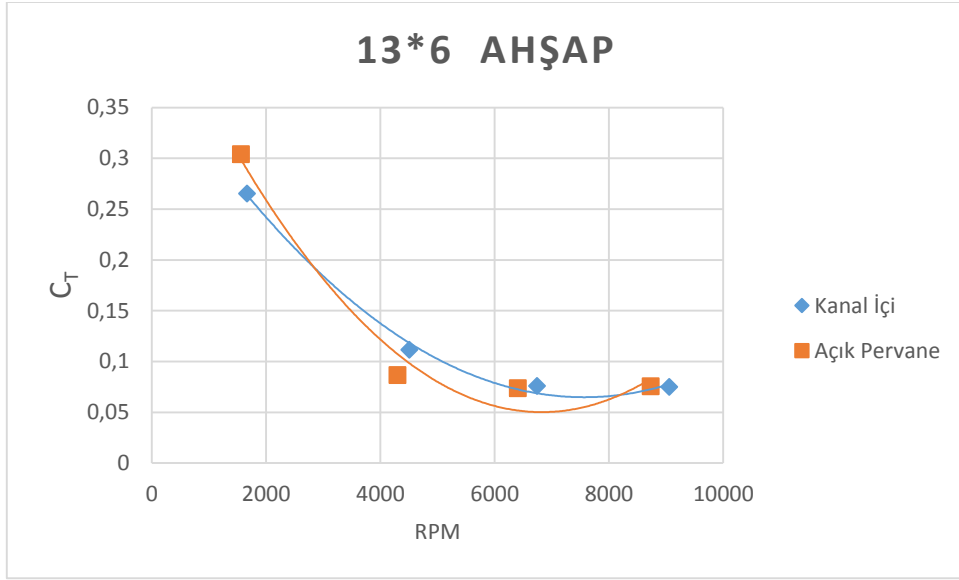
13\*6 APC pervane ile elde edilmiş sonuçlar Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. 13\*6 APC pervane performans karşılaştırması

13\*6 APC pervane için kanal içi sistemin daha iyi bir statik itki performansı gösterdiği görülmüştür. Kanal içi pervane sistemi maksimum itkide yaklaşık %6’lık bir artış sağlamıştır. Özellikle düşük devirlerde kanal içi sistemin daha iyi statik itki sağlamıştır.

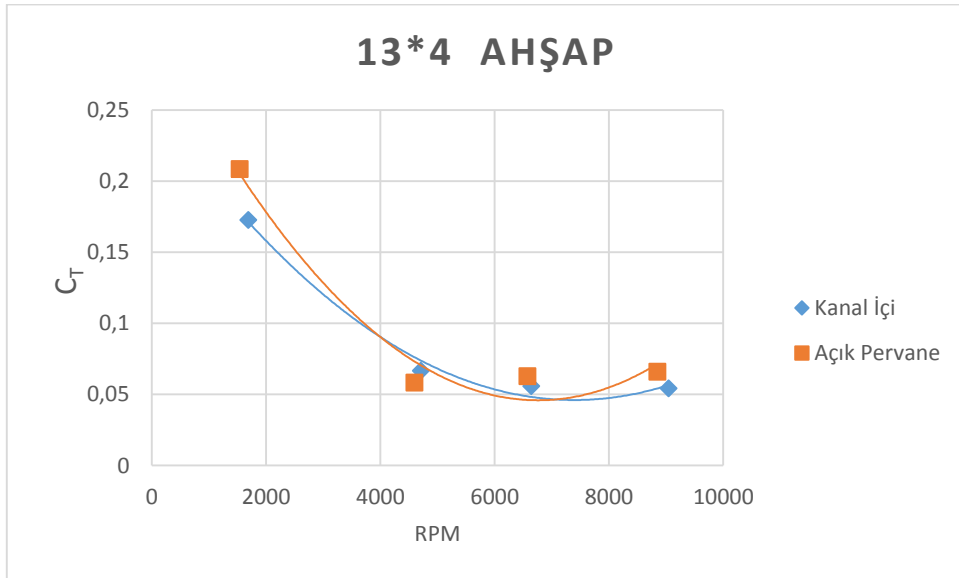
Şekil 6.2’de 13\*6 ahşap pervane ile elde edilmiş sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 6.2. 13\*6 ahşap pervane performans karşılaştırması

13\*6 ahşap pervanede kanal içi pervane sisteminin statik itkide gözle görülür bir artış sağlamadığı görülmüştür. Özellikle 4000 RPM ile 8000 RPM arasında kanal içi pervane sistemi statik itki üretmede daha başarılı olmuş olsa da maksimum itki için her iki sistem arasında kayda değer bir fark yoktur.

Şekil 6.3’te 13\*4 ahşap pervaneye ait performans değerleri gösterilmiştir.



Şekil 6.3. 13\*4 ahşap pervane performans değerleri

13\*4 ahşap pervanede ise kanal sistemi statik itkide bir artış sağlamadığı gibi performans kaybına neden olmuştur. Yalnızca 4000 RPM civarında kanal içi pervane sisteminin bir itki artışı sağladığı söylenebilir.

## 6.2. Sonuçların Yorumlanması ve Öneriler

Analitik incelemede kanal içi sistemin statik itkide artış sağlayacağı gösterilmiştir. Ancak deneysel olarak yapılmış incelemede kanal içi pervane sisteminin statik itkide beklenen itki artışını sağlamadığı gözlemlenmiştir.

Bu nedenler arasında şunlar sayılabilir;

- Motoru kanala tutturmak için kullanılmış olan parçalar alan oranını azaltarak kanalın daha yüksek itki artışı sağlamasının önüne geçmiştir.
- Kanal iç kısmı ile pervane uç bölgesinde arasındaki mesafenin mevcut 3.3 mm'den daha az olmalıdır. Hatta bu boşluk hiç olmamalıdır. Bu boşluğun olması viskoz kayıplara neden olmakta bu da kanalın beklenen itki artışını göstermemesine neden olmaktadır.
- Kanal üretiminde kullanılan yöntem kanalın geometrisinde istenmeyen bozulmalar olmasına neden olmuştur.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda daha farklı bir profil kullanılması performansı olumlu yönde etkileyecektir. Daha hassas bir üretim tekniği kullanılarak kanal geometrisinin düzgün olması sağlanabilir. Bunun yanı sıra hassas bir üretim tekniği kullanılarak motorun konumda daha düzgün konumlandırması sağlanabilirse pervane uç bölgesi ile kanal iç bölgesi arasındaki boşluk mümkün olduğunca azaltılabilir. Motorun kanala farklı bir yöntemle birleştirilerek kanal içinde motor bağlantısının kapladığı alan azaltılarak alan oranının yükselmesi sağlanabilir. Kanalı hafifletmek amacıyla dört kat elyaf yerine iki kat hatta bir kat elyaf kullanılabilir. Böylece ağırlık artışının daha az olması sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Leishman J. G., *Principles of Helicopter Aerodynamics*, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.
- [2] Koç S.T., *Bir İHA İçin Tasarlanmış Kanal İçi Pervanenin Performansının Deneysel İncelenmesi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- [3] Wikipedia, *Bell X-22*, 2014.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/File:X-22a\\_onground\\_bw.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:X-22a_onground_bw.jpg)
- [4] BOEING, *RAH-66 COMANCHE*, 2014.  
<http://www.boeing.com/boeing/history/boeing/comanche.page>
- [5] Armutçuoğlu Ö., *The Conceptual Design Of A Tilt-Duct Vtol Uav*, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [6] Sacks A. H. ve Burnell J. A., *Ducted Propellers – A Critical Review of The State of The Art*, Armed Services Technical Information Agency Report, No. ARD-232, Virginia, 1959.
- [7] Kirby H. R., *Dynamic Stability and Control Characteristics of a Ducted Fan Model in Hovering Flight*, National Advisory Committee for Aeronautics Report, No. NACA RM L54C18, Washington, 1954.
- [8] Krüger W., *On Wind Tunnel Tests and Computations Concerning the Problem of Shrouded Propellers*, National Advisory Committee for Aeronautics Report, No. 1202, Washington, 1949.
- [9] Hough R. G. ve Kaskel A. L., *A Comparison of Ducted Propeller Theory with Bell X-22A Experimental Data*, Therm Advanced Research Inc. Report, No. NR 212-103, New York, 1965.
- [10] Smith C. C., *Wind Tunnel Investigation of a Small Scale Model of an Aerial Vehicle Supported by Tilting Ducted Fans*, Langley Research Center Report, No. TN D-409, Virginia, 1960.
- [11] Mort W. K. Ve Gamso Berl, *A Wind Tunnel Investigation of a 7-Foot-Diameter Ducted Propeller*, NASA Technical Note, No: TN D-4142, Washington, 1967.



- [12] Mort K. W., *Characteristics of a 4-Foot-Diameter Ducted Fan at Zero Angle of Attack for Several Fan Blade Angles*, NASA Technical Note, No: 3122, Washington, 1965
- [13] Lowe W. H. Ve Sanger R. W., *Static Performance of A 13.97-cm (5.5- Inch) Diameter Model VTOL Lift Fan*, NASA Contractor Report, No: CR-2051, Washington, 1972.
- [14] Weir R. J., *Ducted Propeller Design and Analysis*, Sandia Report, No: RS-8232-21, California, 1987.
- [15] Tian W. K., *Unmanned Air Vehicle (UAV) Ducted Fan Propulsion System Design and Manufacture*, Degree of Bachelor of Engineering, National University of Singapore, Department of Mechanical Engineering, Singapur, 2010.
- [16] Çamcı C. Ve Aktürk A., *Double Ducted Fan*, A Technology Description Document, Pennsylvania, 2010
- [17] Muszynski T. ve Strelczyk P., Experimental Investigation of A Variable Geometry Ducted Propeller, *Advances in Science and Technology Research Journal*, Vol 7, No: 17, 56-61, 2013.
- [18] Wainauski H.S., *Variable Geometry Shrouded Propeller Test Program*, HSER 5062, Vol. I, 1968.
- [19] Graf W. E., *Effect of Duct Lip Shaping and Various Control Devices on the Hover and Forward Flight Performance of Ducted Fan UAV's*, Master of Science Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 2005.
- [20] Abrego A. I. ve Bulaga R. W., *Performance Study of a Ducted Fan System*, AHS Aerodynamics, Aeroacoustics, and Test and Evaluation Technical Specialists Meeting, San Francisco, CA, 2002.
- [21] Worobel R. Ve Peracchio A. A., *Shrouded Propeller Test Program Method Development*, HSER 4776, Vol 1., 1968.
- [22] Martin P., Boxwell D., Nygaard T. ve Tung C., *Design, Analysis, and Experiments on a 10-inch Ducted Rotor VTOL UAV*, American Helicopter Society Paper, California, 2005.

- [23] McCormick, B.W., *Aerodynamics of V/STOL Flight*, Academic Press, New York, 1967.
- [24] Newman S. *Foundations of Helicopter Flight*, Butterworth-Heinemann, Burlington, 1994.