

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DÜŞÜK İRTİFA İHA MOTORLARININ GELİŞTİRİLMESİ MOTOR  
PERFORMANSININ İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH ÖNCÜ

TEZ DANIŐMANI  
DOÇ. DR. BURAK ÖZTÜRK

BİLECİK, 2023  
10529800

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DÜŞÜK İRTİFA İHA MOTORLARININ GELİŞTİRİLMESİ MOTOR  
PERFORMANSININ İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH ÖNCÜ

TEZ DANIŐMANI  
DOÇ. DR. BURAK ÖZTÜRK

BİLECİK, 2023  
10529800

## BEYAN

“Düşük İrtifa İHA Motorlarının Geliştirilmesi Motor Performansının İncelenmesi ve Karşılaştırılması” adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
<b>DESTEK ALINMIŞTIR</b>	<input type="checkbox"/>	<b>DESTEK ALINMAMIŞTIR</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Destek alındı ise;</b>			
<b>Destekleyen kurum;</b>			
<b>Desteğin Türü</b>		<b>Proje Numarası</b>	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;..... .....			
<b>ETİK KURUL onayı var ise;</b>			
<b>ETİK KURUL karar tarih/sayı:</b>		...../..... .....	

Fatih ÖNCÜ

..../..../2023

İmza

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Doç. Dr. Burak ÖZTÜRK'e değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca bu çalışmanın yapılmasında malzeme temini sağladığı ve test imkânlarını sunduğu için AHİ Havacılık şirketine ve verdikleri inovasyon desteklerinden dolayı KOSGEB'e teşekkür ederiz.

Savunma sınavı sırasında değerli jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. Özkan KÜÇÜK, Doç. Dr. Sıtkı AKINCIOĞLU'a çalışmamın son haline gelmesindeki değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Son olarak bu günlere ulaşmamdaki emekleri adına değerli aileme ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen biricik eşime teşekkür ederim.

**Fatih ÖNCÜ**

**2023**

## ÖZET

### DÜŞÜK İRTİFA İHA MOTORLARININ GELİŞTİRİLMESİ MOTOR PERFORMANSININ İNCELENMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

Günümüzde İHA (İnsansız Hava Araçları) teknolojilerinin gösterdiği gelişmeyle birlikte savunma ve sosyal konularda bu araçların kullanımı artmaktadır. Bu araçlarda farklı silindir sayılarına, yakıt hacmine ve malzeme özelliklerine sahip motorlar kullanılmaktadır.

Özellikle düşük irtifa (1000-2000 m arası) ve küçük ölçekli (kanat açıklığı 1,5-5 m) iki zamanlı motorlar kullanımı, İHA üretimlerinde tercih edilmektedir. Bu motorlar yüksek taşıma imkânı ve ortalama 6 saat havada kalma süresine sahiptir. Bunun yanında batarya ağırlıkları ve kısa uçuş süreleri yüzünden elektrik motorlu İHA'ların, kullanımını sınırlandırmaktadır.

Bu çalışmada, 61 cc motor hacmine sahip bir İHA, farklı malzeme seçimleri için güvenlik faktörü, gerilme değişimleri ve emniyet katsayısı yönünden incelenmiştir. Tersine Mühendislik ve FEM (Sonlu Elemanlar Yöntemi) kullanılan çalışmada, en yüksek 6 hp gücünde ve 7500 rpm devirde çalışma imkânı sunan tek silindirli motorun yapılan hesaplamalarında 5.69 Nm tork ürettiği gözlemlenmiştir. Piston üzerinde patlama esnasında, 325,1 N'luk bir patlama kuvveti oluştuğu hesaplanmıştır. Piston, krank ve krank kolundaki gerilme FEM analizine göre, 24,3 MPa olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar ışığında, her bir motor elemanının üretilebileceği düşünülen, üç farklı malzeme için güvenlik ve yorulma analizleri yapılmıştır.

İdeal malzeme özelliklerinin belirlendiği bu tez çalışmasında, bir prototip motor üretimi yapıldı ve orta büyüklükte bir İHA ile motorun uçuş testleri gerçekleştirildi.

Çalışmanın ikinci aşamasında üretilen motor, ithal bir motor ile birlikte performans testlerine tabi tutuldu. Yapılan testlerde her iki motorun iki farklı pervane tipi için, ürettikleri itki, çalışma esnasında oluşan motor ve egzoz sıcaklığı ile yakıt ve devir değerleri incelendi. Bu tez çalışması, üniversite-sanayi işbirliği dâhilinde ithal motorlarla rekabet edebilecek kapasitede bir İHA motoru geliştirilebileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İçten Yanmalı Motor, İHA, FEM, RSM.

## ABSTRACT

### DEVELOPMENT OF LOW ALTITUDE UAV ENGINES, ANALYSIS AND COMPARISON OF ENGINE PERFORMANCE

Today, with the development of UAV (Unmanned Aerial Vehicles) technologies, the use of these vehicles in defense and social issues is increasing. Engines with different cylinder numbers, fuel volume and material properties are used in these vehicles.

Especially low altitude (between 1000-2000m) and small scale (wingspan 1.5-5m) two-stroke engines are preferred in UAV productions. These engines have a high carrying capacity and an average of 6 hours of air time. In addition, battery weights and short flight times limit the use of electric powered UAVs.

In this study, an UAV with a 61 cc engine displacement was investigated in terms of safety factor, stress variations and factor of safety for different material selections. In the study using Reverse Engineering and FEM (Finite Element Method), it was observed that the single-cylinder engine with the highest 6 hp power and the opportunity to operate at 7500 rpm produces 5.69 Nm torque in the calculations made. It has been calculated that a bursting force of 325.1 N is generated on the piston during detonation. The stress in the piston, crank and crank arm was found to be 24.3 MPa according to the FEM analysis. In the light of these results, safety and fatigue analyzes were made for three different materials, which are thought to be produced for each engine element.

In this thesis study, in which ideal material properties were determined, a prototype engine was produced and flight tests of the engine were carried out with a medium-sized UAV.

The engine produced in the second stage of the study was subjected to performance tests together with an imported engine. In the tests performed, the thrust produced by both engines for two different propeller types, the engine and exhaust temperature generated during operation, and the fuel and rpm values were examined. This thesis study has shown that a UAV engine capable of competing with imported engines can be developed within university-industry cooperation.

**Keywords:** Internal Combustion Engine, UAV, FMA, RSM.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT .....	iii
İÇİNDEKİLER. ....	iv
TABLolar LİSTESİ. ....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1.Yerli Üretimin Önemi ve Savunma Sanayisinde Yerlilik.....	2
1.2. Türk Havacılık Tarihi.....	3
1.3. Havacılık Sektöründe Türkiye'nin Motor Serüveni.....	5
1.4. İnsansız Hava Araçları .....	6
1.5. İnsansız Hava Araçlarının Avantaj ve Dezavantajları.....	8
1.6. İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları. ....	8
1.7. İnsansız Hava Taşıtlarının Sınıflandırılması .....	10
<b>2. İHA'LARDA KULLANILAN MOTOR ÇEŞİTLERİ. ....</b>	<b>14</b>
2.1.Wankel Motorlar .....	14
2.2.Piston Motorlar. ....	14
2.3. Elektrikli Motorlar.....	16
2.4.Jet Motorlar .....	17
<b>3. TASARIM VE MALZEME SEÇİMİNDE İSTATİKSEL YÖNTEMLER.....</b>	<b>20</b>
3.1. Taguchi Deney Tasarımı .....	20
3.2. Anova (Varyans) Analizi .....	22
3.3. Yüzey Yanıt Yöntemi (RSM) .....	24

<b>4. LİTERATÜR ÖZETİ .....</b>	<b>26</b>
<b>5. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1. Montaj Malzemelerinin Malzeme Seçimi .....</b>	<b>36</b>
<b>5.2. Analiz Çalışmaları.....</b>	<b>38</b>
<b>5.3. Motorların Üretim Sonrası Verimlilik Testleri .....</b>	<b>40</b>
<b>6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER. ....</b>	<b>44</b>
<b>6.1.Motor Montaj Parçaları .....</b>	<b>44</b>
<b>6.2. Motor Performans Test Sonuçları.....</b>	<b>48</b>
<b>6.2.1.Respons Surface Method Surface Plot Sonuçları.....</b>	<b>53</b>
<b>6.2.2. RSM Optimizer Sonuçları .....</b>	<b>55</b>
<b>6.2.3. Probability Plot Sonuçları. ....</b>	<b>56</b>
<b>6.2.4. ANOVA Analiz Sonuçları.....</b>	<b>58</b>
<b>7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>61</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>63</b>

## TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
<b>Tablo 1.1.</b> İnsansız Hava Araçları Kullanım Alanları .....	9
<b>Tablo 1.2.</b> İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması .....	11
<b>Tablo 3.1.</b> Taguchi Kalite Kontrol Sistemi .....	21
<b>Tablo 3.2.</b> Varyans Analizi Faktörleri .....	22
<b>Tablo 5.1.</b> Tasarımın Deney Planı ve Motor Elemanları İçin Kullanılan Malzemeler.....	37
<b>Tablo 5.2.</b> Metallerin Özellikleri .....	40
<b>Tablo 5.3.</b> RSM Deney Tasarımı .....	41
<b>Tablo 6.1.</b> Analizde Uygulanan Hareket ve Dönüş Açısının Zamana Bağlı Dönüş Listesi....	44
<b>Tablo 6.2.</b> Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları .....	46
<b>Tablo 6.3.</b> ANOVA Analizi Sonuçları .....	47
<b>Tablo 6.4.</b> Motor Performans Deneylelerinden Elde Edilen Sonuçlar .....	48
<b>Tablo 6.5.</b> Motor Sıcaklık İçin Varyans Analize .....	58
<b>Tablo 6.6.</b> Egozoz Sıcaklık İçin Varyans Analize .....	58
<b>Tablo 6.7.</b> Yakıt İçin Varyans Analize .....	59
<b>Tablo 6.8.</b> Yakıt/Devir İçin Varyans Analize .....	59
<b>Tablo 6.9.</b> Kuvvet/Devir İçin Varyans Analize .....	60
<b>Tablo 6.10.</b> Kuvvet/Yakıt İçin Varyans Analize .....	60

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Tek Silindirli 61 cc Motora Sahip Bir İHA .....	1
Şekil 1.2. 1. Dünya Savaşı'nda Kullanılan Osmanlı Uçakları .....	3
Şekil 1.3. Nuri Demirağ'ın Ürettiği Nu.D ve Nu.D.38 Uçakları. ....	4
Şekil 1.4. TEİ'nin Farklı Amaçlar İçin Yürüttüğü Motor Projeleri .....	5
Şekil 1.5. Avusturya-Macaristan İmparatorluğu'nun Venedik'i Bombalaması .....	6
Şekil 1.6. Dron Uygulaması İle Tarımsal İşlemler .. ..	9
Şekil 1.7. Dikey İniş/Kalkış (VTOL) Özelliğine Sahip Bir İHA İle Saha Ölçümü . ....	10
Şekil 1.8. Turba Şaft Dizel Motorlu Yüksek İrtifa İHA'sı (ANKA) .....	11
Şekil 1.9. (a) 33 gr Blak Hornet 3, (b) 196 gr Bug İsimli Nano İHA'lar .....	12
Şekil 1.10. Yüksek İrtifa Uzun Dayanıklılık (HALE) Sınıfı İHA . ....	12
Şekil 1.11. Akıncı TİHA (Taarruzi İHA) Platformu Bileşenleri .....	13
Şekil 2.1. Çift Rotorlu Walker Motor (a), Walkel W802 Montaj Resmi (b) .....	14
Şekil 2.2. Yıldız Tipi Motor Görünümü . ....	15
Şekil 2.3. Boksör Tipi Motorun Görünümü . ....	15
Şekil 2.4. İki Zamanlı Motorlar (a), Dört Zamanlı Motorlar (b) .....	16
Şekil 2.5. Fırçasız DA Motorun Genel Yapısı. ....	17
Şekil 2.6. Turbojet Motorun Genel Görünümü ve Çalışma Prensibi.....	18
Şekil 2.7. Turboprop Motorun Şematik Görüntüsü ve Çalışma Prensibi .....	18
Şekil 5.1. SOLIDWORKS Programında Yapılan Motor Montaj Tasarımı .....	36
Şekil 5.2. SOLIDWORKS Programında Yapılan Motor Montaj Parçaları .....	36
Şekil 5.3. Uzunlar Üzerindeki Kuvvetler .....	38
Şekil 5.4. ANSYS Programı Stres İçin Yapılan Üçlü Analiz Çözümü .....	39
Şekil 5.5. Piston, Krank Kolu, Krank Ve Oluşan Kuvvetler.. ....	40
Şekil 5.6. Yerli Üretim 61 cc Motor .....	41

	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.7. Yerli İmkanlar İle Üretilen 61 cc AHİ Motor Parçaları. ....	42
Şekil 5.8. Yerli İHA Motorunun Çalışma Görseli .....	42
Şekil 5.9. Motor ve Test Ünitesi .....	43
Şekil 6.1. S/N Grafiği .....	44
Şekil 6.2. Üretilen Motor Parçaları (solda), Yapılan Uçuş Testleri (sağda) .....	45
Şekil 6.3. 24-10 Hatve Pervane İçin İtki Grafiği .....	47
Şekil 6.4. 23-8 Hatve Pervane İçin İtki Grafiği .....	47
Şekil 6.5. 24-10 Hatve Pervane İçin Motor Sıcaklığı Grafiği .....	48
Şekil 6.6. 23-8 Hatve Pervane İçin Motor Sıcaklığı Grafiği .....	49
Şekil 6.7. 24-10 Hatve Pervane İçin Egzoz Sıcaklığı Grafiği .....	49
Şekil 6.8. 23-8 Hatve Pervane İçin Egzoz Sıcaklığı Grafiği. ....	50
Şekil 6.9. İtki ve Yakıt/Devir'in Motor Tipi-Devir Aralığı Grafikleri. ....	51
Şekil 6.10. Kuvvet/Devir ve Kuvvet/Yakıt'ın Motor Tipi-Devir Aralığı Grafikleri . ....	51
Şekil 6.11. Yakıt ve Yakıt/Devir'in Pervane Tipi-Devir Aralığı Grafikleri. ....	52
Şekil 6.12. Kuvvet/Devir ve Kuvvet/Yakıt'ın Pervane Tipi-Devir Aralığı Grafikleri. ....	52
Şekil 6.13. RSM Optimizer Sonuç Grafikleri (İtki-Yakıt-Motor Sıcaklığı ve İtki-Yakıt.) ....	53
Şekil 6.14. RSM Optimizer Sonuç Grafikleri (Yakıt/Devir ve Kuvvet/Devir.). ....	53
Şekil 6.15. RSM Optimizer Sonuç Grafikleri (Kuvvet/Yakıt) .....	54
Şekil 6.16. İtki İçin RSM Probability Plot Sonuçları.....	54
Şekil 6.17. Motor Sıcaklığı İçin RSM Probability Plot Sonuçları. ....	55
Şekil 6.18. Yakıt İçin RSM Probability Plot Sonuçları . ....	55

## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

**İHA:** İnsansız Hava Aracı

**TİHA:** Taktik İHA

**m:** Metre

**cc:** Santimetre küp

**FEM:** Sonlu Elemanlar Yöntemi

**hp:** Beygir Gücü

**rpm:** 1 dakika içerisinde gerçekleştirilen dönüş/devir sayısı

**N:** Newton

**Nm:** Newton metre

**Mpa:** MegaPaskal

**Ar-Ge:** Araştırma – Geliştirme

**KOSGEB:** Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı

**TEI:** TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş.

**TAI: TUSAŞ:** Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı

**TOMTAŞ:** Türk Uçak ve Motor Anonim Şirketi

**THK:** Türk Hava Kurumu

**TSK:** Türk Silahlı Kuvvetleri

**TÜBİTAK:** Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu

**TÜBİTAK-SAGE:** Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü

**YKİ:** Yer kontrol sistemi

**ABD:** Amerika Birleşik Devletleri

**AC:** Alternatif akım

**DC:** Doğru akım

**S/N:** Sinyal/gürültü oranı

**RSM:** Yüzey Yanıt Yöntemi

**vd.:** ve diğerleri

**FEA:** Sonlu Elemanlar Analizi

**IC:** İçten yanmalı

**P:** Güç (kW = kilowatt)

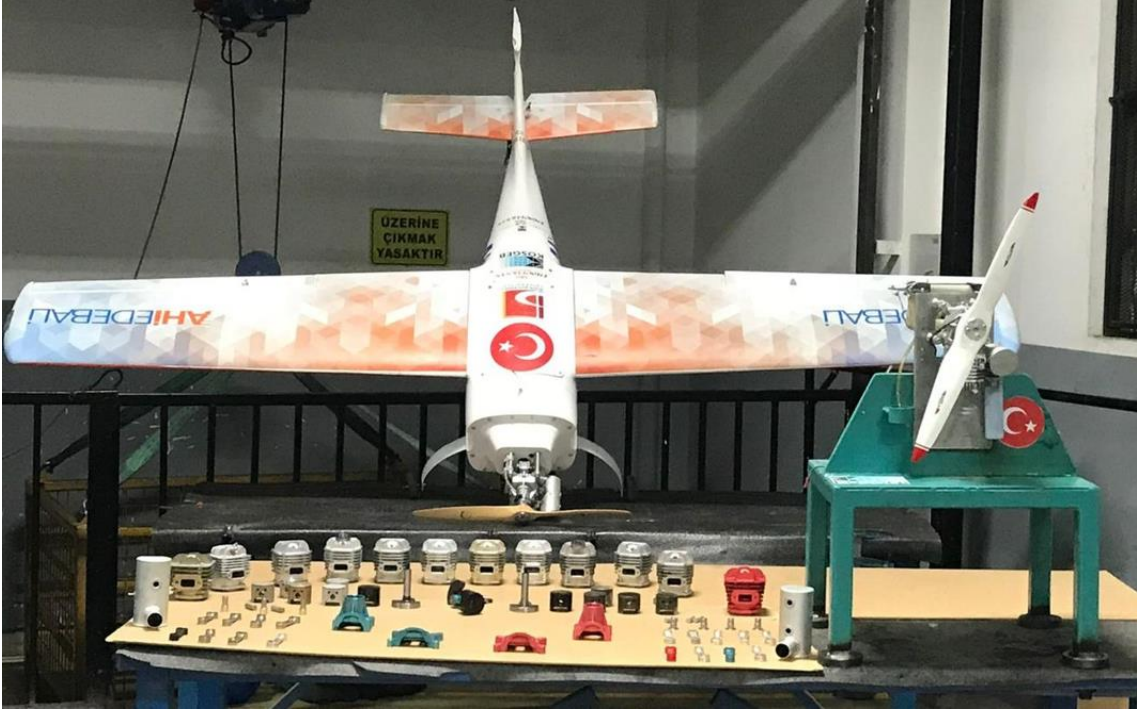
**EMK:** Emniyet katsayısı

**sn:** Saniye

**n:** Devir Sayısı (D/d = devir /dakika)

## 1. GİRİŞ (İHA)

Günümüzde çok sayıda kullanım alanı olan İHA'ların tam bir tanımı yoktur. Teknolojileri ve kullanım alanları arttıkça tanımlarına yeni eklemeler yapılmaktadır. Genel bir tabir olarak, pilotu bulunmayan, uzaktan kumanda edilebilen veya kendisine tanımlanan rotada kendiliğinden hareket edebilen, hatta son zamanlarda yapay zekâ ile kullanımı olan otonom sistemlere denilmektedir. Drone veya robot uçaklar olarak da tanımlanırlar.



Şekil 1.1. Tek Silindirli 61 cc Motora Sahip Bir İHA

Bir teknolojiyi transfer etmek kolay değildir. Bir uçak almakla bir araba almakla teknoloji elde edilemez. Bunun için o teknolojiye ait bilgi, tecrübe, yetişmiş işgücü ve ekonomik güce ihtiyaç vardır. Bunların yanında siyasi kararlılık ve özellikle İHA sistemleri gibi savunma sanayisinde oluşabilecek dış baskılara dayanabilecek bir devlet iradesi gerekmektedir. Geliştirilen her bir teknolojinin arkasında görülmeyen büyük bir mücadele ve çok sayıda kahraman vardır. Yerli savunma ve uçak sanayisinin Cumhuriyetin ilk yılları ile başlayan yaklaşık bir asırlık mücadelesi, teknoloji geliştirmenin tüm zorluklarını önümüze sermektedir.

İHA ve İHA sistemleri son dönemin en önemli teknolojilerindedir. Türkiye’de ilk dronlar, terörle mücadele kapsamında kullanılmak üzere ABD den alınmıştır. Sonraki süreçte İsrail’den kiralanan Heron’lardan istenen randıman alınamamış, kiralanan 5 adet Heron da kaza kırırma uğramıştır. Özellikle gözetleme ve takip amaçlı kullanmak için alınan bu İHA’lar

uygulanan tedarik ve yedek parça sıkıntısı, elde edilen verilerin gerekli mercilere ulaşmaması gibi etkenlerle büyük sıkıntı yaşanmıştır. Aynı yıllarda ülkemize uygulanan yaptırımlar ile bu teknolojilerin temini engellenmiştir. Bu sıkıntılar yerli üretimi ve yerli teknolojinin önemini göstermiştir.

### **1.1. Yerli Üretimin Önemi ve Savunma Sanayisinde Yerlilik**

Yerli üretim, ülkelerin bağımsızlığı için çok önemlidir. Yerli üretimin önemi üç ana başlıkta ele alınabilir. Birincisi ekonomik yön; “Amerikan Malı Al” adında faaliyet yürüten ABD’li bir sivil toplum örgütü yurttaşlarına “*Unutmayın ki, her Amerikan malı satın aldığımızda okul, yol, köprü, polis ve yangın istasyonları, sosyal hak ve güvenlikler, Amerikalılar için iş imkânları da satın almış olursunuz. Tüm Amerikalılar bilmelidir ki, duyarsızlık sonucunda ulusal sağlığımız bozulur ve modern ekonominin sonu başlar*” diye seslenmektedir (Hekimci, 2008: 2). İkincisi tedarik; kendinizin üretmediği ürünleri, özellikle stratejik olanları, tedarik etmek ekonomik ve/veya siyasal yönlerden zor veya imkânsız hale gelebilir. Üçüncüsü kullanım özgürlüğü ki, dışardan aldığınız ürünlerin kullanım yer ve şartlarını satan devlet belirlemek ister. Bunların yanında servis bakım hizmetleri, yedek parça, modernizasyon gibi başka pek çok sıkıntıyı da taşımaktadır.

En basit bir parçanın bile önüne “havacılık” eklenince maliyetlerin yükselmesi, rekabet şartlarının acımasız olması, sertifikasyon süreçlerinin zorlu oluşu, bu teknolojiyi elde etmeyi ve elde edileni geliştirip sürdürebilmeyi zorlaştırmaktadır. (Sever, 2021: 1181)

Yerli üretimin artması, ülkenin bağımlılığını azaltmasının yanı sıra, ihracat kapısının açılması yönünden getiri sağlamakta, ürün tedarik maliyetini düşürmekte ve ürün geliştirme imkânı sağlamaktadır. Ayrıca bakım, onarım ve yedek parça temin maliyetini düşürmektedir (Özer, 2015: 2).

Ülkelerin tüm ürünleri kendilerinin üretmesi mümkün değildir. Ancak günümüzde her hangi bir ülkenin, ekonomik ve sosyal açıdan tam bağımsızlığı özellikle askeri teknolojilerinin ve bu kapsamda yapılan Ar-Ge faaliyetlerinin artmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu kapsamda üniversiteler ile sanayi arasındaki işbirliği artırılmalı, çalışmalar aynı zamanda teknik ve teorik bilginin geliştirilmesine yönelik olmalıdır. Ayrıca bu süreçte katkıda bulunacak yüksek öneme sahip noktalardan biri ise ‘yerli üretim’ kavramıdır (Özer, 2015: 2).

Ülkemiz son yıllarda teknolojik ürünlerin yerli üretiminde, özellikle de savunma sanayi teknolojilerinde büyük bir atılım gerçekleştirmiştir. Bu atılımda savunma sanayinde %70 oranında yerliliği yakalamıştır (Yıldırım, 2021). Hem savunma sanayisinde hem de sivil

sanayide en önemli eşik olan motor üretimi konusunda birçok çalışma yürütülmektedir. Bu konuda özellikle TEI'nin farklı özellik ve tipte motor geliştirme faaliyetleri devam etmektedir (TEI, 2022).

## 1.2. Türk Havacılık Tarihi

Türk Havacılık Sanayisi incelendiğinde, ilk motorlu uçağı, 1903 yılında Wright kardeşlerin icat etmesinden kısa bir süre sonra, Osmanlı Devrinde 1911'de kurulan Tayyare Komisyonu ile başlamış ve birkaç yıl içinde 300 uçaktan oluşan bir filo kurulmuştur. 1912 yılında Yeşilköy'de kurulan Tayyare Mektebi pilot ve teknisyen yetiştirmeye başlamıştır (Güngör, 2019: 41). (MAG dergisi, Ocak-Şubat 2021). Cumhuriyetin kurulmasından sonra da Havacılık, hızlı bir ilerleme kaydetmiştir. 16 Şubat 1925'te kurulan Türk Tayyare Cemiyeti (Türk Hava Kurumu), toplanan bağışlarla 1925-1935 arasında 250 uçak satın alarak Türk Hava Kurumu'na hediye etmiştir. 1925 yılında Ankara'da Akköprü Planör atölyesi, 1925'te Kayseri'de ve 1926'da da Eskişehir'de uçak fabrikaları kurulmuştur. (Güngör, 2019: 44) (Şen, 2021: 191)



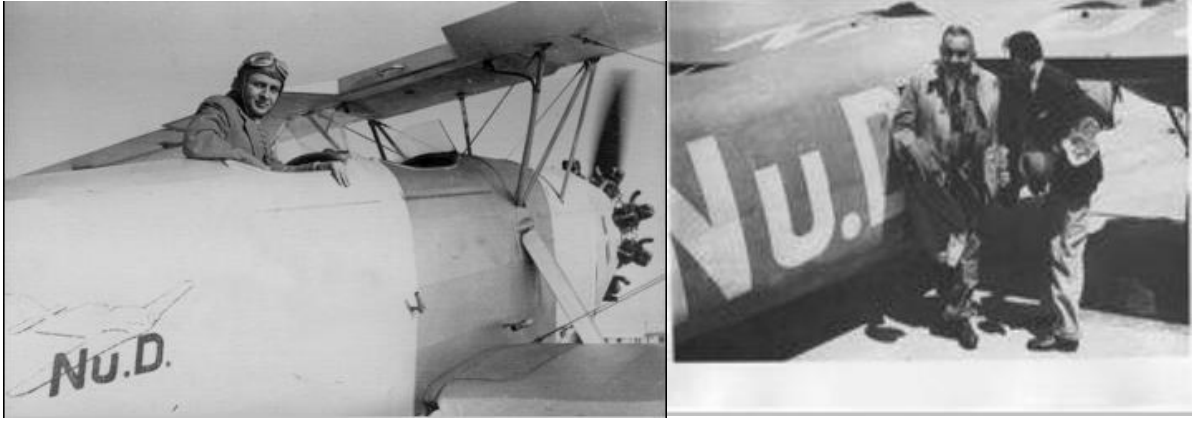
**Şekil 1.2. 1.** Dünya Savaşı'nda Kullanılan Osmanlı Uçakları.

**Kaynak:** (savunmasanayiidergilik.com)

Alman Junkers firması ile ortak kurulan Kayseri Uçak Fabrikası (TOMTAŞ (Tayyare ve Motor Türk Anonim Şirketi)), otuz adet Junkers A-20 L ve üç adet F-13 ürettikten sonra çeşitli sebeplerden dolayı 1928 yılında kapatılmıştır. Eskişehir Uçak ve Tamir Fabrikası da TOMTAŞ bünyesinde kurulmuştur (Sel, 2019: 22). 1932 yılında yapısı, çıkarılan 3526 sayılı kanunla Kayseri Uçak fabrikasında bir Amerikan şirketi ile iki farklı tipte toplam 41 uçak,

1936'da Alman şirketi ile 45 uçak, 1937 yılında Polonya firması ile 27 uçak son olarak 1940'da İngiliz firması ile 24 uçak üretilmiştir. İkinci dünya savaşından sonra, Marshall yardımlarının da başlamasıyla kapatılmıştır. Günümüzde Kayseri ilinde bulunan "Kayseri Hava İkmal ve Bakım Merkezi" olarak hizmet etmektedir. Eskişehir Uçak Tamir Fabrikası da benzer bir kaderi paylaşmış ve günümüzde askeri amaçlı uçak bakım ve onarım merkezi olarak kullanılmaktadır. (Kurt, 2018: 20)

Yine aynı yıllarda Nuri Demirağ ve Vecihi Hürkuş'un kurdukları fabrikalar ilk özel teşebbüstür (Şen,2021). Nuri Demirağ 1937 yılında İstanbul Beşiktaş'ta araştırma atölyesi, günümüzde millet bahçesine dönüştürülen Atatürk Havaalanının olduğu yerde Gök Uçak Okulu'nu kurdu. Türk Hava Kurumundan eğitim uçağı ve planör yapım siparişi aldı. Aynı zamanlarda Nu.D.38 isminde altı kişi kapasiteli çift motorlu bir yolcu uçağı tasarlayan Nuri Demirağ dönemin siyasî atmosferinde başarılı olamadı. (Sel, 2019: 24)



**Şekil 1.3.** Nuri Demirağ'ın Ürettiği Nu.D ve Nu.D.38 Uçakları.

**Kaynak:** (Yalçın, 2009)

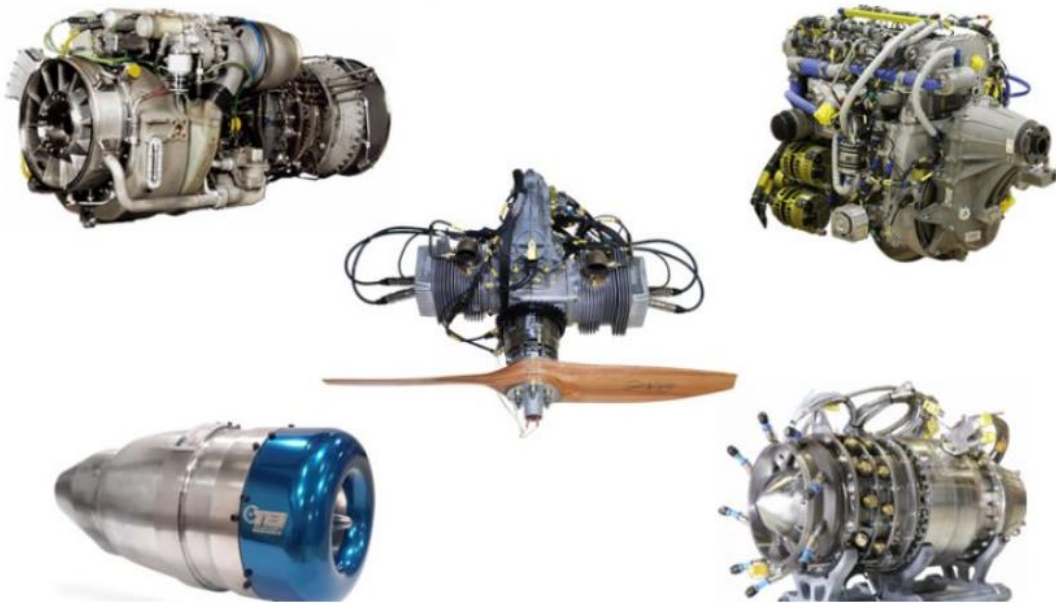
Bunlara ilaveten 1939'da THK Etimesgut Uçak Fabrikası, 1941 yılında da THK Gazi Uçak Motor fabrikası, 1945 yılında Ankara Rüzgâr Tüneli kurulmuştur. Ancak uçak sanayisi ülkemizde 1948-1952 yıllarında Marshall yardımlarının başlaması ile sekteye uğramış, 1950 yılında THK fabrikalarının kapatılması ile özellikle rüzgâr tüneli 1994 yılına kadar kapalı kalmıştır. 1998 yılında biten revizyon işlemlerinden sonra Ankara Rüzgar Tüneli TÜBİTAK-SAGE'ya devredilmiştir. (Sel, 2019: 25)

1973 yılında kurulan Türk Uçak Sanayii Anonim Şirketi (TUSAŞ) ve 1984 yılında kurulan Turkish Aircraft Industries (TAI) ile sektör yeniden canlandırılmaya çalışılmıştır. Tüm bu gayretlere rağmen ancak 2000'li yıllardan sonra hız kazanan çalışmalar 2015 yılından itibaren meyvelerini vermeye başlamıştır (Şen, 2021: 200).

### 1.3. Havacılık Sektöründe Türkiye'nin Motor Serüveni

THK Gazi Uçak Motoru Fabrikası, ülkemizin ilk motor fabrikası olarak 1945 yılında kurulmuştur. Etimesgut Uçak Fabrikası'nda üretilen uçaklara, motor ve yedek parça üretmek üzere yola çıkan fabrika, istenen kapasitede çalışmamış ve zarar ettiği için 1954 yılında Türkiye'ye biçilen role uygun olarak Amerikan Minneapolis Moline firması ile yapılan ortaklık neticesinde traktör ve tarım aletleri fabrikasına dönüştürülmüştür.(Kurt, 2018: 30)

Türkiye Cumhuriyeti'nin dördüncü girişimi olan Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı (TUSAŞ), bünyesinde bulunan TAI ve TEI ile uçak ve motor alanında hizmete devam ettirmektedir. F-16 uçaklarının bakım ve sistemlerinin üretilmesi, gerekli testlerin yapılması için kurulan TAI, 2005 senesinde ABD'li firmanın hisselerinin Türk hissedarlar tarafından satın alınmasından sonra, TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. uçak modernizasyonu, havacılık ve uzay sanayi teknolojilerini geliştirme üssüne dönüşmüştür. İnsansız Hava Aracı'ndan (İHA) Millî Muharip Uçak'a (MMU) kadar 6 başlıkta örgütlenmiştir.(Kurt, 2018: 39)



**Şekil 1.4.** TEI'nin Farklı Amaçlar İçin Yürüttüğü Motor Projeleri

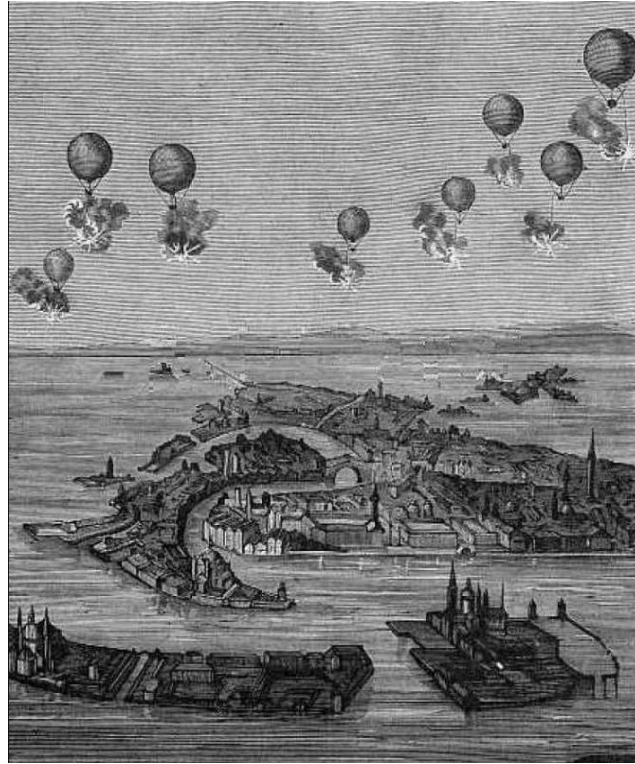
**Kaynak:** (tei.com)

TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş. (TEI) 1985 yılında F-16 uçaklarının, F-110 General Electric (GE) motorlarını Türkiye'de ortak üretmek için Türk-Amerikan ortaklığında Eskişehir'de kurulmuştur. Ortakları arasında Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TAI), Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme Vakfı ve Türk Hava Kurumu da vardır. Kuruluş amacı, 160 adet F-16 savaş uçağı üretmek ve modernizasyonunu yapmaktı. (Kurt, 2018: 39)

Son 20 yılda, yapay zekâ ve insansız otonom sistemlerde yaşanan gelişmeler, teknolojiadaki ani sıçrayışlara sebep olmuştur. Bu yaşananlar, sanayi devriminden sonra geliştirilen teknolojileri tartışılır hale getirmiş, Türkiye gibi geriden takip eden ülkelere yarışa katılma fırsatı vermiştir. Bu teknolojik sıçrayışlarla yeni tip ve kabiliyette İHA'ların savunma sistemlerine eklenmeleri örnek olarak verilebilir.

#### 1.4. İnsansız Hava Araçları

İnsansız Hava Aracı (İHA), pilotsuz, otonom veya uzaktan komutalı, faydalı yük taşıyabilen, sivil veya askeri amaçlarla kullanılabilen, kendi güç üniteleri ile uçan sistemlere verilen addır. Askeri amaçlarla ilk defa ABD'de üretilmeye başlayan bu sistemler, günümüzde film çekimi, kargo, zirai ilaçlama ve gözetleme, haritalandırma gibi sivil; keşif, gözetleme, istihbarat ve saldırı gibi askeri amaçlarla kullanılmaktadır. Bu sistemler, Veri Terminali, Yer Kontrol İstasyonları (YKİ) gibi destek sistemlere ihtiyaç duyarlar. (Akyürek vd., 2012)



**Şekil 1.5.** 1849 Venedik'in Bombalanması

**Kaynak:** (Ülküer vd. 2021)

Literatürde ilk İHA, 1849 yılında Avusturya-Macaristan İmparatorluğu'nun Venedik üzerine sevk ettiği 200 insansız sıcak hava balonunun, Venedik şehirlerini bombalaması ile kullanıldığı kabul edilmektedir. Uçağın icadından sonra insansız sistemler, özellikle Birinci Dünya Savaşı'nda ve sonrasında her ne kadar geliştirilmeye çalışılsa da radyo teknolojilerinin

geliştiği zamana kadar pek bir başarı elde edilememiştir. 1936’larda “drone” adı verilen bu araçlar pilotların atış eğitiminde kullanımı ile İHA serüveni başlamış oldu. Bu araçlar İkinci Dünya Savaşı’nda Almanya ile İngiltere arasında kullanılmaya çalışılsa da Almanların kısmi başarısı haricinde başarısız olmuştur (Kılıoğlu, 2021: 89).

Soğuk savaş döneminde yeniden geliştirilmeye çalışılan İHA’lar Kore savaşı sırasında ABD tarafından geliştirilen QH-50 eğitim amaçlı hedef olarak kullanılırken, Vietnam savaşında ilk defa keşif ve bilgi toplamak amacıyla kullanılmaya başlanılmıştır. İsrail, 1973’te Mısır’la yaptığı savaşta Amerika’dan aldığı İHA’lar sayesinde, karşı tarafın mevzi ve uçaksavar bataryalarını tespit etmekte kullanmış ve bu teknoloji yarışına katılmıştır. Gelişen yeni teknolojilerle kullanım alanı genişleyen İHA’lar, Afganistan ve Irak savaşlarında terörist avlamada ve suikast silahı olarak da kullanılmaya başlanılmıştır. (Kılıoğlu, 2021: 90).

Türk Silahlı Kuvvetleri’nin envanter listesine giren ve kullanılan ilk İHA, 1989 yılında, Meggitt firmasına ait Banshee sistemi olurken, ülkemizde ilk yerli üretilmeye çalışılan İHA, 1990 yılında TUSAŞ tarafından yapılan İHA-X1 Şahit sistemi olmuştur. Sonraki yıllarda ABD’den GNAT-750 İHA’ları alınmış 1994-1998 yılları arasında kullanılmıştır. Daha sonrada TUSAŞ Turna-Keklik, Pelikan-Martı ve Öncü gibi 5 çeşit İHA üretse de ihtiyacı karşılayamamış, 2005 yılından sonra İsrail’den toplam 4 adet Heron İHA’sı kiralamıştır.(Ateş, 2021: 10).

2007’de Baykar firması tarafından üretimi yapılan Mini İHA TSK envanterine girerken, yine aynı firma tarafından ilk İHA ihracatı 2012 yılında Katar’a yapılmıştır. Bu yıllardan sonra ülkemizde İHA üzerinde çalışmalar hız kazanmış, farklı firmalar tarafından çeşitli model ve amaçta üretimler yapılmaya başlanılmıştır. Bu firmalar arasında, TUSAŞ (Turna, Şimşek, Anka), Baykar (Bayraktar mini, Malazgirt, Bayraktar TB2), Vestel (Karayel), STM (Alpagu, Togan, Kargu), Altınay (Altınay X-4, Albatros, Sumru, Kartal, Doğan), Aselsan (Serçe 1, Arı 1T, Mius Mini) sayılabilir. Son yıllarda özellikle terörlle mücadelede aktif olarak kullanılan yerli İHA Bayraktar TB2, Suriye ve Irak’ta sınır ötesi (Fırat Kalkanı, Zeytin Dalı, Barış Pınarı, Pençe Kilit) operasyonlarda aktif olarak kullanılmıştır.(Ateş, 2021: 10)

Pek çok teknoloji gibi, her ne kadar askeri amaçlarla geliştirilseler de günümüzde kullanım alanları hızla artmaktadır. Zirai alandan eğlenceye, istihbarattan saldırıya kadar pek çok alanda kullanılmaktadırlar. Özellikle insan ulaşımının zor olduğu coğrafyalarda, sel ve yangın gibi müdahalesi zor olan afetlerde, iletişimin olmadığı veya yetersiz olduğu alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır.(Kabadayı ve Uysal, 2019: 9)

## **1.5. İnsansız Hava Araçlarının Avantaj ve Dezavantajları**

İnsansız Hava Araçları'nın avantaj ve dezavantajları şöyle sıralanabilir;

### **Avantajları**

- \* İhtiyaca göre farklı aparatlarla donatılabilme,
- \* Risk içeren veya hayati tehlikelerin olduğu yerlerde kullanılabilme,
- \* Düşük irtifalarda görev yapabilme,
- \* Düşük maliyetlerle görev yapabilme,
- \* Askeri açıdan pilot kaybını ve pilotaj kısıtlarının olmaması,
- \* Askeri açıdan yakıt, bakım ve onarım maliyetlerinin az olması,
- \* Küçük boyutlarından dolayı radara yakalanma risklerinin azalması.

### **Dezavantajları**

- \* Havada kalış sürelerinin kısıtlı olması,
- \* İklim ve hava koşullarına karşı daha hassas olmaları,
- \* İletişim ve veri aktarımı sorunları (pilot olmadığı için, yer istasyonu ile kesintisiz iletişim olmalı),
- \* Terör ve suç amaçlı erişim ve kullanım kolaylığı,
- \* Siber saldırılara karşı hassas olmaları,
- \* Yasal mevzuatın eksikleri, sayılabilir .(Ateş, 2021: 9)

## **1.6. İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları**

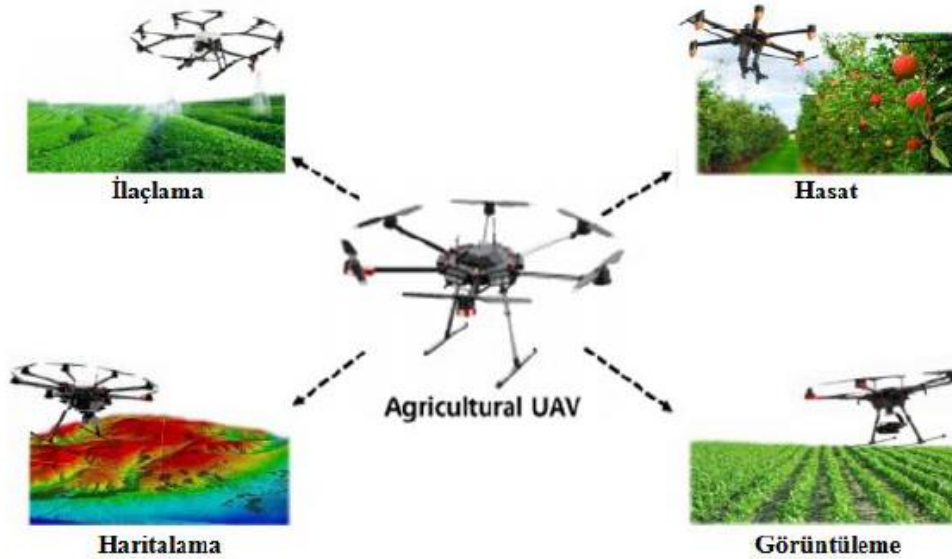
İHA'ların kullanım alanlarını sivil ve askeri olarak iki guruba ayırabiliriz. Bu iki başlık altında kullanım alanlarını sınırlandırmak da pek mümkün değildir. Çünkü her geçen gün yeni ve farklı amaçlarda kullanıldığını görmekteyiz. Bunun sebebi, yeni ihtiyaçlara göre farklı tiplerde ve geliştirilen yeni yazılımlarla oluşan ihtiyaçları karşılama isteğidir.

**Tablo 1.1.** İnsansız Hava Araçları Kullanım Alanları.

<b>Sivil Kullanım Alanları</b>	<b>Askeri Kullanım Alanları</b>
<b>Zirai Alanlar</b> Gübreleme İlaçlama Takip ve Gözetleme	<b>İstihbarat</b> Veri toplama Gözetleme ve Keşif Takip
<b>Ticari Alanlar</b> Kargo Taşımacılığı Şehir Planlaması Haritalandırma Sinema Sektörü	<b>Terörle Mücadele</b> Takip Silahlı Müdahale
<b>Afetle Mücadele</b> Tespit ve Görüntüleme Arama Kurtarma Yangın Müdahale	<b>İletişim</b> Askeri veya sivil amaçlı, iletişim kanallarının olmadığı veya kesildiği alanlarda Radar
<b>Diğer Alanlar</b> Sportif ve Eğlence Sağlık Madencilik Fotoğraf Çekimi Gösteri	<b>Savunma ve Taarruz</b> Önleme Kamikaze Sınır Güvenliği Taarruz (SİHA) Hedef

**Kaynak:** (Kabadayı & Uysal 2019: 10)

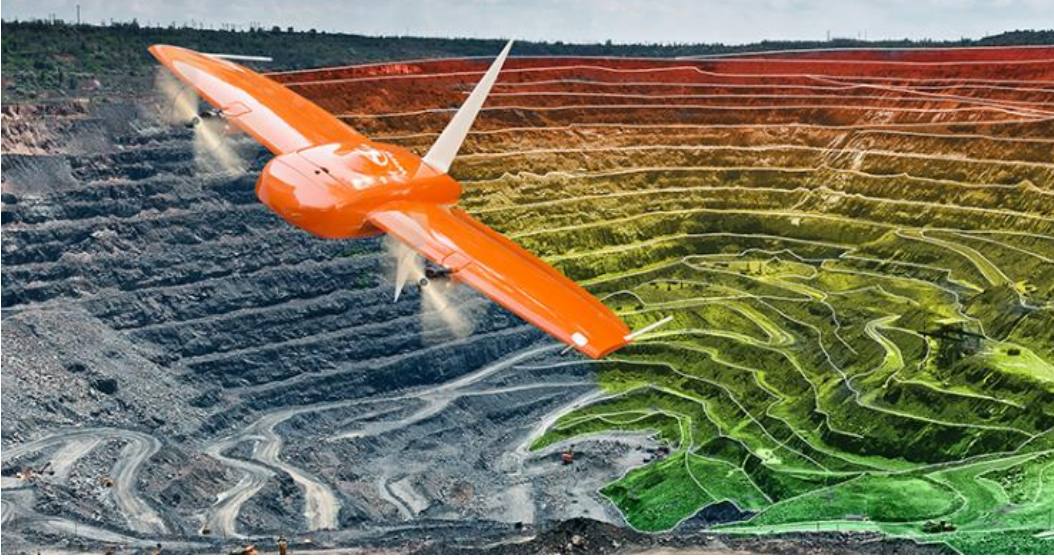
Tablo 1.1’de verilen her bir başlığın altında birden fazla alt başlık yazılabilir. Sadece tarımda, bitki örtüsünün arazide kapladığı alanın tespit edilmesinde, bitki sağlığının takibi ve hastalıkların belirlenmesi, verim tahmini, toprağın nem durumunun belirlenmesi, bitki su stresinin belirlenmesi, yabancı otların belirlenmesi, tarımsal ilaçlama gibi ondan fazla kullanım alanı vardır. (Akkamış ve Çalışkan, 2020: 9)



**Şekil 1.6.** Dron Uygulaması İle Tarımsal İşlemler

**Kaynak:** (Akkamış & Çalışkan 2020: 10)

Benzer şekilde haritacılıkta, kamera teknolojilerinin gelişmesiyle İHA platformları ve fotogrametrik yöntemler kullanılarak Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Harita Dairesi Başkanlığı'nda kullanılmaya başlanmıştır. (Ayyıldız, 2020: 30)



**Şekil. 1.7.** Dikey İniş/Kalkış (VTOL) Özelliğine Sahip Bir İHA İle Saha Ölçümü

**Kaynak:** (Denge Harita)

Maden sahalarında üretimin haritalandırılması (Kun ve Özcan, 2019: 555) veya Orman Genel Müdürlüğü'nün orman alanlarının takibi, şehirlerde binaların görüntülenmesi, insan ulaşımının zor olduğu yangın, (Aksoy vd. 2021: 113) heyelan gibi afetlerde arama kurtarma ve hasar tespiti, askeri amaçlı hedef uçak olarak kullanılması gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Meteoroloji de hava tahmin raporlarının hazırlanması, iklim değişikliğinin gözetlenmesi gibi yeni kullanım alanları ile İHA'ların her geçen gün kullanımı artmaktadır.

### **1.6. İnsansız Hava Taşıtlarının Sınıflandırılması**

İHA'lar günümüzde kompleks bir yapının parçası olarak görülür. Bu yapılar, uçuş ve operasyon üniteleri için yer, kontrol ve takip istasyonu, veri (haberleşme ve seyrüsefer) bağlantıları ve İnsansız Hava Aracını içine alan unsurlardır. Bu toplam yapıya İnsansız Hava Sistemleri denir. İHA'ların sınıflandırılması ise kullanım alanı, kontrol sistemleri, uçuş kuralları, uçuş alanları ve irtifası, kanat ve araç tipi, kalkış ve iniş tipi, yakıt sistemi gibi parametrelerle yapılır.(Yiğit vd., 2018: 11)



**Şekil 1.8.** Turba Şaft Dizel Motorlu Yüksek İrtifa İHA (ANKA)

**Kaynak:** (tusas.com)

İHA'lar; ağırlığına, kullanım amacına, uçuş, kalkış ve iniş yöntemine göre beş sınıfa ayrılırlar. Ağırlıklarına göre; 0,5-4 kg (İHA0), 4-25 kg (İHA1), 25-150 kg (İHA2), 150 kg üstü (İHA3) olmak üzere 4 sınıfa ayrılırlar. Sabit kanatlı ve döner kanatlı olarak iki tür uçuş yöntemi vardır. Kalkış yöntemi olarak, rampadan fırlatılan, elle fırlatılan ve pisten kalkış yapan olarak üçe ayrılır. İniş yöntemi olarak, gövde üzerine, dikey iniş ve paraşütle iniş olarak üçe, son olarak kullanım amacına göre, askeri, ticari ve hobi olarak üçe ayrılırlar(Kabadayı ve Uysal, 2019: 9).

**Tablo 1.1.** İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

Ağırlığına Göre	İHA0 (0,5-4kg)	İHA1 (4-25kg)	İHA2 (25-150kg)	İHA3 (≥150kg)
Uçuş Yöntemine Göre	Sabit Kanatlı		Döner Kanatlı	
Kalkış Yöntemine Göre	Rampadan Fırlatılan	El İle Fırlatılan		Pisten Kalkış Yapan
İniş Yöntemine Göre	Gövde Üzerine	Dikey İniş Yapan		Paraşütle İniş Yapan
Kullanım Amacına Göre	Hobi Amaçlı	Ticari Amaçlı		Askeri Amaçlı

**Kaynak:** (Kabadayı & Uysal, 2019, 9)

Bu sınıflandırma literatürde sık kullanılan genel bir sınıflandırmadır. Her geçen gün farklı amaç ve özellikte yeni İHA'ların üretildiği düşünüldüğünde bu sınıflandırma çeşitlenmektedir.

Özellikle gizli servisler tarafından, casusluk görevi için kullanılan Nano İHA'lar, ağırlık olarak 200 gramın altındaki İHA'ları tanımlar. Bunların kanat açıklığı 16 cm'nin, menzilleri 1 km'nin ve irtifası 100 m'nin altındadır. Sabit veya hareketli kanat, helikopter, monokopter, hexakopter gibi çeşitli tipleri vardır. Prox Daaynamic's'in ürettiği Black Hornet Nano isimli

Nano İHA, 10 cm kanat açıklığı ve 16 gr ağırlığa sahiptir. 7,5 cm kanat açıklığına sahip University of Maryland'a ait Robotic Samaras Monocopter çok daha düşük ağırlığa sahiptir. (Hassanalian, M. Abdelkefi, A. 2017). Şekil 1. 9. da döner ve sabit kanatın bir arada kullanıldığı 5 kg faydalı yük bulut altı keşif, gözetleme ve istihbarat amaçlı bir İHA fotoğrafına yer verilmiştir.



**Şekil 1.9.** (a) 33 gr Blak Hornet 3, (b) 196 gr Bug İsimli Nano İHA'lar

**Kaynak:** (Aselsan.com)

Ağırlığı 200 g ile 2 kg arasında olanlara Mikro İHA'lar, 2 kg ile 20 kg arasında olanlara Mini İHA'lar denir. 2 saatten az havada kalma süreleri vardır. Hafif yük(kargo gibi) taşıma, kamera ve ses cihazlarıyla gözlem yapma (film endüstrisi, hava tahmin, trafik takip ve düzenleme) gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Menzillerine ve faydalı yüke göre teknolojileri de değişir.(Yiğit vd., 2018: 11)



**Şekil 1.10.** Yüksek İrtifa Uzun Dayamıklılık (HALE) Sınıfı İHA

**Kaynak:** (millisavunma.com)

150 ile 1500 kg kalkış ağırlığına sahip, 48 saate kadar havada kalabilen İHA'lara taktiksel İHA denir. Genellikle askeri amaçlarda kullanılır. Ulaşım güvenliği ve faaliyeti, maden arama ve takibi, arama-kurtarma ve iletişim gibi alanlarda kullanılırlar. Ayrıca bu araçların boyutları büyüdükçe irtifa ve yük kapasiteleri artar. 20 bin metre irtifaya çıkabilen ve 12.500 kg kalkış ağırlığına sahip olan bu taşıtlara Stratejik İnsansız Hava Araçları denir.(Yiğit, 2018: 12).



**Şekil 1.11.** Akıncı TİHA (Taarruzi İHA) Platformu Bileşenleri

**Kaynak:** (millisavunma.com)

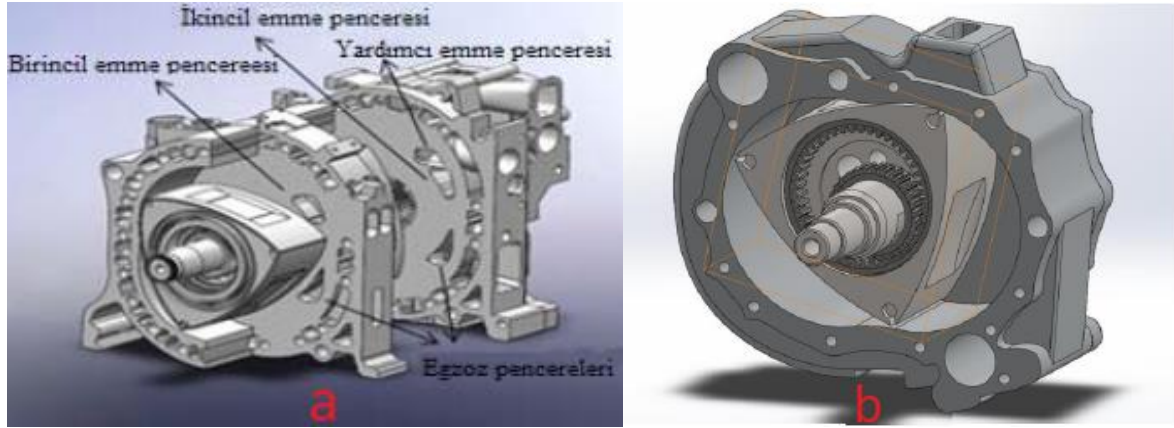
Şekil 1.11' de iki adet turboprop motora sahip 5500+ kg azami kalkış ağırlığına sahip Baykar Bayraktar Akıncı TİHA görülmektedir. Şekil 1.12'de ise Akıncı TİHA'ya ait yer kontrol, veri terminali, kontrol istasyonu ve yer destek sistemleri görülmektedir. Günümüzde ülkemizin de içinde olduğu 20'den fazla ülkede İnsansız Hava Aracı üretilmektedir.

## 2. İHA'LARDA KULLANILAN MOTOR ÇEŞİTLERİ

### 2.1. Wankel Motorlar

Wankel motorları, dört zamanlı motorların çalışma prensibine göre çalışırlar. Bu motorlara, rotor ve eksantrik milinin hareketli olduğu döner pistonlu motorlar denir. Normal pistonlu motorlara göre bir başka farklılıkları da emme ve egzoz süreçlerini içeren supap mekanizması yoktur. Bunun yerine, dolgu değişimini sağlamak için gövde ve yan kapaklar üzerindeki yan kapakçıklardan sağlanır (Kurtlar vd. 2018: 81).

Küçük bir motordan yüksek güç üretmesi istendiğinde, pek çok avantajı barındıran döner pistonlu Wankel motorlar ön plana çıkar. Bu motorlar düşük titreşim az sayıda parça sayısı ve hafiflik sayesinde yüksek volumetrik verim sunar. Bunların yanı sıra motorda daha az vuruntu oluşur ve ağırlık başına güç oranı yüksektir. Bu avantajlar sayesinde özellikle İHA'larda, hibrit ve binek arabalarında tercih edilen motor tipidir (Altıparmak vd. 2021: 10).



Şekil 2.1. Çift Rotorlu Wankel Motor (a) (Kurtlar vd. 2018), Wankel W802 Montaj Resmi (b)

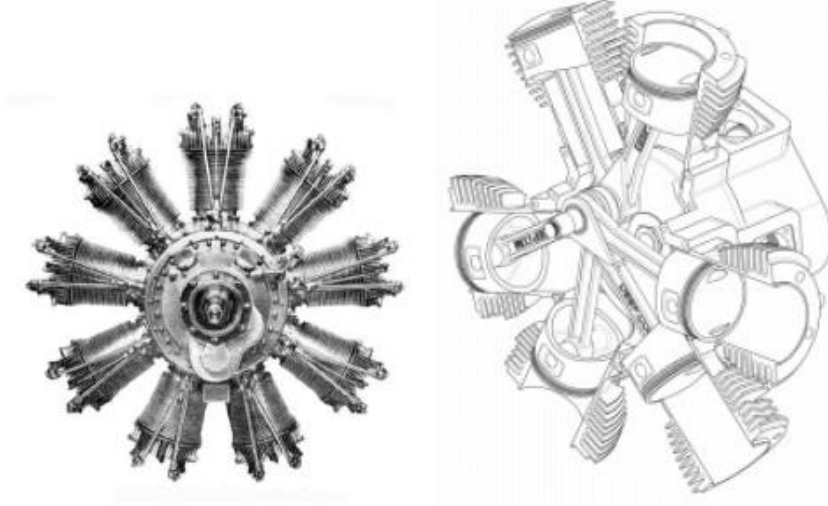
**Kaynak:** (Altıparmak vd. 2021)

1954'te Dr. Felix Wankel tarafından geliştirilen motor 1963 yılında ilk arabada kullanılmış, 1967 yılında da çift rotor eklenerek 136 beygir güce ulaşması sağlanmıştır. Bu motorların aşınma ve bundan dolayı kısa ömürlü olmaları en büyük dezavantajlarıdır. Bu motorlar günümüzde motor ömründen çok gücün ön plana çıktığı savunma sanayisinde kullanılan İHA'larda özellikle taarruzi İHA'larda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Altıparmak vd. 2021: 11).

### 2.2. Piston Motorlar

Piston, yanma odasında oluşan kuvveti, biyel kolu aracılığı ile krank miline ileten parçadır. Bir başka deyişle mekanik enerji üretmek için ısı enerjisini kullanan makinelere

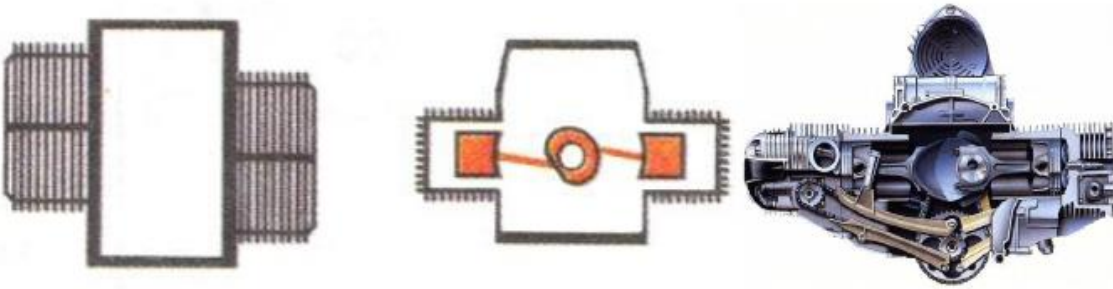
motor, motordaki silindir içinde sınırlanmış iki nokta arasında (Üst Ölü Nokta, Alt Ölü Nokta) hareket eden ve enerji dönüşümü sağlayan ana parçaya da piston denir. Pistonlar, içten yanmalı motorların en önemli parçasıdır (Canvar, 2011: 11). Bundan dolayı içten yanmalı motorlara piston motorlar da denir. Bu motorlar kullanım alanı, üretilmek istenen güç ve devire göre tek, çift, üç, dört, altı ve daha fazla silindirli olabilir (Milli Eğitim Bakanlığı 2013: 31).



**Şekil 2.2.** Yıldız Tipi Motor Görünümü

**Kaynak:** (Milli Eğitim Bakanlığı, 2013)

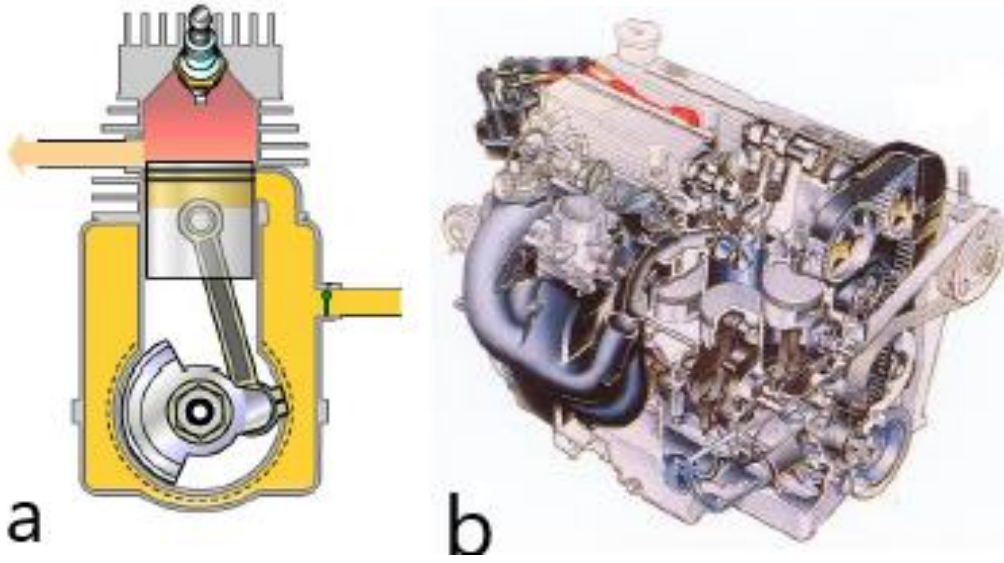
Motorlar silindirlerin dizilişine göre sıra tipi, V tipi, W tipi, boksör tipi ve yıldız tipi motorlar vardır. Yakıt olarak da benzin, dizel, LPG, gaz yağı, alkol gibi yakıtlar kullanılabilir. Çalışma prensibi olarak da iki zamanlı veya dört zamanlı motorlar olarak ayrılırlar (Milli Eğitim Bakanlığı, 2013: 31).



**Şekil 2.3.** Boksör Tipi Motorun Görünümü

**Kaynak:** (Milli Eğitim Bakanlığı, 2013)

Krank milinin 360 derece dönmesi esnasında emme-sıkıştırma aynı anda (üst ölü noktadan alt ölü noktaya) ve iş-egzozda aynı zamanda (alt ölü noktadan üst ölü noktaya) olan motorlara iki zamanlı motor denir (Kaynak: Milli Eğitim Bakanlığı 2013: 32).



**Şekil 2.4.** İki Zamanlı Motorlar (a), Dört Zamanlı Motorlar (b)

**Kaynak:** (Milli Eğitim Bakanlığı, 2013)

Dört zamanlı motorlar ise emme, sıkıştırma, iş ve egzoz zamanları krank milinde 720 derece dönmesiyle oluşan motorlardır. Soğutma sistemine göre ise sıvı ile soğutmalı ve hava ile soğutmalı motorlar olarak ikiye ayrılırlar (Milli Eğitim Bakanlığı 2013: 33).

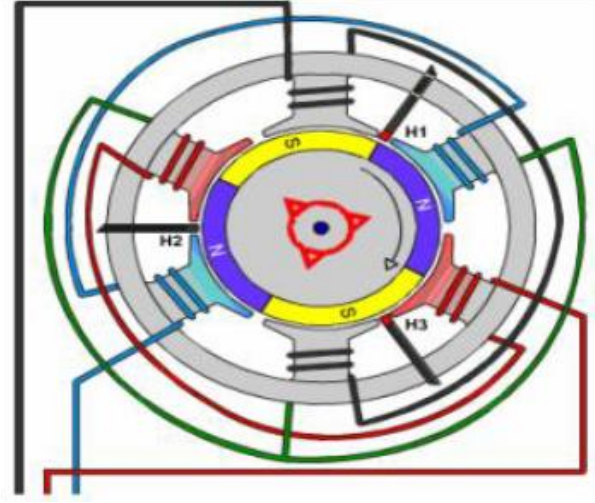
Dört ve iki zamanlı motorlara alternatif olarak altı zamanlı motorlar da üretilmiştir. Bu motorlar iki ve dört zamanlı motorlara göre daha verimli ve egzoz emisyonları daha düşük olarak tasarlanmıştır (Arabacı, 2012: 38)

### **2.3. Elektrikli Motorlar**

Elektrik enerjisini kinetik enerjiye çeviren makinelere elektrik motoru denir. Bu çevrim için motor içinde oluşturulan manyetik alan kullanılır. İlk araçlar elektrik motoru ile çalıştırılmış, sonraki zamanlarda içten yanmalı motorların icadı ile yerlerini bu motorlara bırakmıştır. Sanayide çok yaygın bir kullanım alanı var iken, özellikle iklim değişikliği problemlerinin yaşanmaya başlaması ile (1990'lı yıllar) tekrar önem kazanmışlardır. Elektrik motorları AC (alternatif akım) motorları ve DC (doğru akım) motorları diye ikiye ayrılırlar (Büyük, 2018: 7).

AC motorlar senkron ve asenkron motorlar olarak ikiye, asenkron motorlar üç fazlı ve bir fazlı olarak ikiye, üç fazlı motorlar da sincap kafesli (indüksiyon) ve rotoru sargılı motorlar diye ikiye ayrılırlar (Büyük, 2018: 7).

Özellikle araçlarda kullanılan elektrikli motor çeşitleri fırçalı ve fırçasız DC motorlar, AC endüksiyon motorları, kalıcı mıknatıslı senkron motor ve kalıcı mıknatıslı anahtarlamalı redüktans motorlardır. Geleneksel fırçalı DC motorlar ilk elektrikli araçlarda kullanılsa da günümüzde kullanılmamaktadır. (Gökozan, 2020: 106).



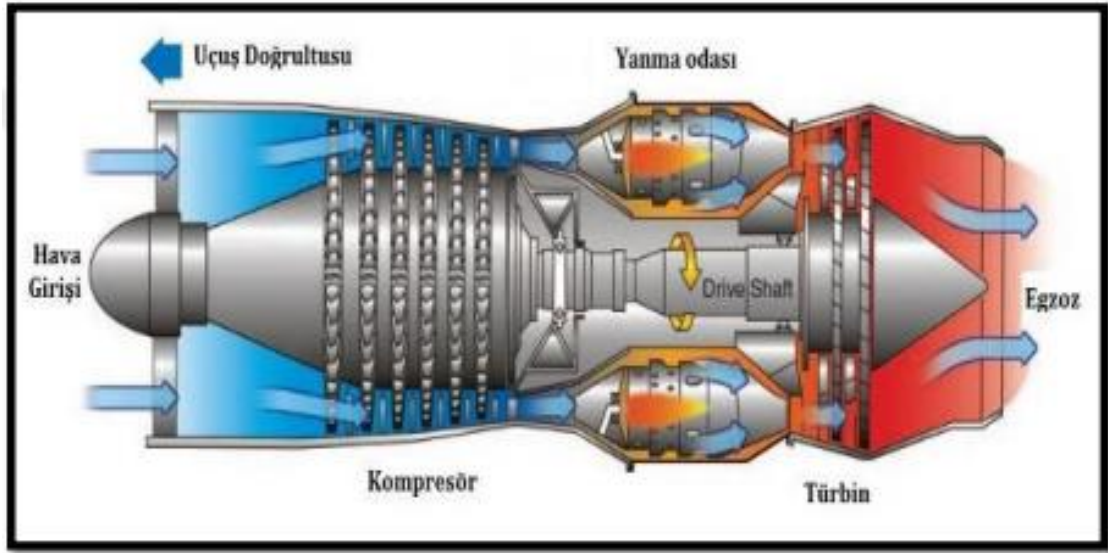
Şekil 2.5. Fırçasız DA Motorun Genel Yapısı

**Kaynak:** (Özdemir, 2013: 6)

Fırçasız DA motorları, iyi verim, güçlü kalkınma momenti, sessiz çalışma, hızlı tepki, hareket denetim hassasiyeti gibi özelliklerinden dolayı çeşitli boyutlardaki İHA'larda sıklıkla kullanılmaktadır (Özdemir, 2013: 6).

#### 2.4. Jet Motorlar

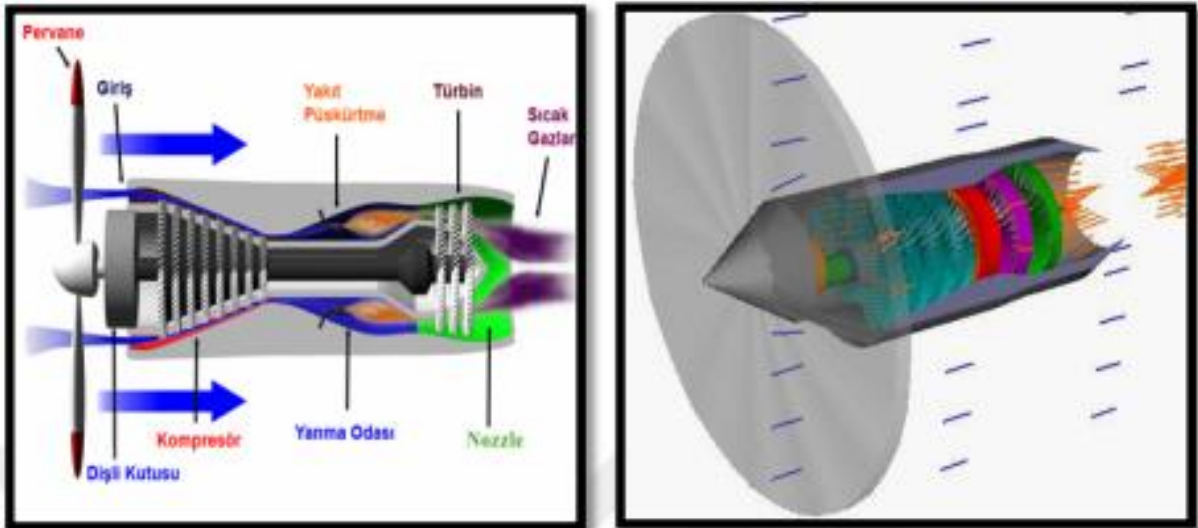
Atmosferden aldığı havayı sıkıştırıp yakıt ile yakan, sonrasında yüksek sıcaklıkta oluşan gazları hızla dışarı püskürterek çalışan motorlara jet motor denir. İtici nozullu bir gaz türbininden oluşurlar. Gaz türbininde hava girişi, kompresör, yanma odası ve türbinden oluşur (İslam, 2020: 1). Bu püskürtme işleminden ters yönde büyük bir itme kuvveti oluşturarak bağlı olduğu aracı (özellikle uçak ve füzeler) harikulade hızlarla hareket etmesini sağlar. Bu motorlara gaz türbin motorlar da denir (Aldemir, 2020: 35). Jet motorlar Brayton Çevrimi'ne göre çalışırlar (Güzelgök ve Çetinkaya, 2009: 29). 1940'lı yılların başında geliştirilen bu motorlar, havacılık sanayisinde dönüm noktası olmuştur. Turbofan, turboprop, turboşaft, scramjet, turboramjet, turbojet ve ramjet gibi jet motor çeşitleri mevcuttur (Şen, 2021: 14). Bunlardan Ramjet ve scramjet motorlar roket ve füzelerde kullanılır (Aldemir 2020: 34).



**Şekil 2.6.** Turbojet Motorun Genel Görünümü ve Çalışma Prensibi

**Kaynak:** (Aldemir, 2020: 35)

İlk gaz türbini motorlar turbojet motorlardır. Diğer jet motorları turbojet motorlar baz alınarak, turbojetlerde gaz türbini jeneratöründe bazı değişiklikler yapılarak geliştirilmiştir. Bu eklemeler hava alığı ve egzoz nozuludur (şekil 2.6.). Turbofan motorlar, turbojet motorların yüksek hız ve irtifa özelliği ile turboprop motorların yüksek tepki yeteneğinin birleşimi ile üretilmişlerdir (Aldemir, 2020: 35).



**Şekil 2.7.** Turboprop Motorun Şematik Görüntüsü ve Çalışma Prensibi

**Kaynak:** (Aldemir, 2020)

Turboprop motorlar düşük irtifa insansız hava araçları, özellikle kısa mesafe, askeri hedef ve küçük kargo taşıma amaçlı kullanımları olan bir tiptir. Jet motorlara pervane eklenerek

retilmişlerdir. Bu motorlarda pervaneler bir dişli kutusu ile kompresör şaftına baēlanabildiēi gibi harici bir türbin şaftına da baēlanabilir. Bu motorlarda yanma sonucu oluşan gücün neredeyse tamamı pervaneyi döndürmek için kullanılır. Bu motorların yakıt tüketimleri düşük ve çalışmaları sessizdir. Ayrıca bu motorların, kalkış mesafeleri düşüktür ve bu motorlar 800 km'yi geçemeyen bir hıza sahiptirler (Aldemir, 2020: 37).

Turbojaft motorlar turbojet motorların yüksek devir özelliklerinden yararlanarak helikopter ve gemi pervanesi gibi hareketli aksamaları çalıştırmak için kullanılan motorlardır. Ani hız veya ani yükselme istenen durumlarda ise ikincil bir yanmanın olduēu art yanmalı motorlar kullanılır. Bu motorlarda egzoz gazında yanmamış olan oksijenin tekrar yakılması ile ikincil bir g üretilir (Aldemir, 2020: 40)

### 3. TASARIM VE MALZEME SEÇİMİNDE İSTATİKSEL YÖNTEMLER

#### 3.1. Taguchi Deney Tasarımı

Ürün bulma ve geliştirmede en önemli kısım deneylerin yapıldığı süreçtir. Hem fazla zaman hem de yüksek maliyet isteyen klasik deney yöntemleri yerine geliştirilen istatistik deney tasarımları kullanılmaktadır. Klasik deney tasarımlarında, her hangi bir parametrenin etkisini incelemek için diğer parametreler sabit tutulmaktadır. Sonuca ulaşmak için, tek tek tüm parametreleri incelemek, çok sayıda deney yapmayı gerektirmektedir. En az sayıda deney yaparak doğru sonuca ulaşmak için geliştirilen tasarımlardan biri de, Taguchi istatistiksel deney tasarım yöntemidir (Küçük ve Uran, 2022, 4).

Genichi Taguchi adındaki Japon bilim adamının geliştirdiği yöntem, istatistiksel modelleme yöntemi ile endüstrinin ihtiyaç duyduğu üretim mekanizmaları için pratik ve güvenilir metotlar geliştirmiştir (Öztürk, 2018, 35). Bu yöntem maliyetleri düşürmek için, en az deney yapma prensibine dayanır. Deneyde etkili olan parametreleri kontrol edilebilir ve kontrol edilemez olarak iki gruba ayırıp, parametreleri ikiden fazla seviyede inceleme imkânı sunması, bu yöntemin farklı ve kullanışlı olmasını sağlar (Küçük ve Uran, 2020, 4).

Bu analiz yönteminde, nominal değer veya hedef değere ulaşması istenilen ürün veya sürecin her birinin performans karakteristiğinin bu hedef değer etrafındaki değişkenliğini azaltmaktır. Değiştirilen ortamlarda ve zamanlarda, yapılan deneysel çalışmaların sonuçları, çoğunlukla aynı veya birbirine yakın bir performans değerine sahip olmalıdır. Taguchi'ye göre bu değerleri verecek optimizasyon değerleri, performans istatistiğidir (Küçük, 2013: 116).

Taguchi deney tasarımında, kalite kontrol sistemi iki kısımdan oluşur. Birincisine on-line (çevrim içi) kalite kontrol sistemi denir. Bu kısım, üretilmek istenen ürünün kalite artırma ile maliyet azaltma süreçlerini istatistiksel kontrolünü ve deneysel süreçlerini içerir. Bu sebeple bu kısma üretim ve üretim sonrası kalite kontrol sistemi içerdiği için Proses denir (Öztürk, 2018, 36).

İkincisi of-line (çevrim dışı) kalite kontrol sistemidir. Bu sistemde ise üretim başlamadan, tasarım için (Pazar araştırması ve üretim süreçleri) araştırma çalışmalarını (ar-ge) kapsamaktadır. Her iki yöntem de üç parametre tasarımı içermektedir (Öztürk, 2020, 17). Tablo 3.1'de Taguchi deney tasarım yöntemi gösterilmiştir.

**Tablo 3.1.** Taguchi Kalite Kontrol Sistemi

TAGUCHİ YÖNTEMİNE GÖRE KALİTE KONTROL SİSTEMLERİ	Off-Line Kalite Kontrol	Ürün Tasarımı	Sistem Tasarımı
			Parametre Tasarımı
			Tolerans Tasarımı
	On-Line Kalite Kontrol	Proses Tasarımı	Sistem Tasarımı
			Parametre Tasarımı
			Tolerans Tasarımı

**Kaynak:** (Öztürk, 2018, 36)

Sistem tasarımı genel olarak, üretimde limit ve toleransların belirlenmesini içerir. Bu sayede en düşük maliyet şartına ulaşmak amaçlanır. Bunun için pazar ve teknoloji araştırmaları yapılır, bilimsel çalışmalar incelenebilir. Parametre tasarımı, üretim parametrelerindeki malzeme değişkenleri ve ölçüsel değişkenler gibi parametrelerin optime edilmesini içerir. Son olarak tolerans tasarımı ise yapılacak üretimin istenen özelliklerine göre toleranslarını belirler. Burada yapılan deney sonuçları S/N (sinyal/gürültü) oranına dönüştürür. S/N oranı hesaplanırken, istenen kalite karakteristiğine göre, “nominal değer en iyi”, “ne kadar büyük o kadar iyi”, “ne kadar küçük o kadar iyi” diye üç durumdan en uygun olanı dikkate alınır (Öztürk ve Kara, 2020, 2).

Miktar küçüldükçe tasarımın iyileştiği, deney tasarım sonuçlarının küçük olması gereken yerlerde, “ne kadar küçük o kadar iyi” kullanılır. Miktar arttıkça tasarımın iyileştiği, deney tasarım sonuçlarının büyük olması istenen yerlerde, “ne kadar büyük o kadar iyi” kullanılır. Son olarak kalite değişim parametreleri negatif ve pozitif olarak değişiklik gösterebildiği durumlarda, deney tasarım sonuçları önceden belirlenen nominal değere yakın olması istenir (Öztürk, 2018, 38).

Ne kadar büyük o kadar iyi;

$$SN_L = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \frac{1}{y^2} \right) \quad (3.1)$$

Ne kadar küçük o kadar iyi;

$$SN_S = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n y^2 \right) \quad (3.2)$$

Nominal değer en iyi;

$$SN_N = 10 \log \left( \frac{y^2}{s^2} \right) \quad (3.3)$$

Burada;

n: deney tekrar sayısı,

y: deneysel olarak bulunan parametrenin değeri,

s: varyansı ifade eder.

### 3.2. Anova (Varyans) Analizi

ANOVA, örneklemeler arasındaki farklılıkların anlamlılığını belirlememize yarayan istatistiksel analiz yöntemlerinden biridir (Tıgılı, 2016). Deney tasarımında analizler yapıp çıktılar ortaya koyulduktan sonra, tüm sonuçlar bir araya getirilir. Elde edilen her bir çıktı parametrelerin sonuca etki oranlarını belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmaktadır. Bu analiz ile toplam varyasyon bileşenlerine ayıran matematiksel bir işlemdir. Kalite ile ilgili soruların ve bunları irdelenmesi varyans ile ilişkilidir. Bu konuda bir karara bağlanmasında ANOVA istatistiksel metotları kullanılmaktadır. İngiliz istatistikçi Fisher tarafından 1930'larda geliştirilen bu metoda, isminin baş harfi F den dolayı F testi de denir. Taguchi metodunun ortogonal dizileri ile uyumlu olduklarından bu aşamalarda beraber kullanılmaktadır (Çalışkan, 2014, 49). Tablo 3.1'de Faktör etkilerinin belirlenmesinde ihtiyaç olan varyans analiz hesaplarında kullanılan nicelikler gösterilmiştir.

**Tablo 3.2.** Varyans Analizi Faktörleri

$SS_T$	Tüm değerlerin kareleri toplamı
$SS_A$	A faktörü için kareler toplamı
$SS_O$	Hata kareleri toplamı
$V_T$	Toplam serbestlik derecesi
$V_A$	A'nın serbestlik derecesi
$V_{AxB}$	A ve B interaksiyonunu serbestlik derecesi
$V_0$	Hata varyansı
N	Elde edilen toplam veri sayısı
$n_A$	A faktörü için veri sayısı
T	Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması
$y_i$	Gözlenmiş değer
$k_A$	A faktörünün kademe sayısı

**Kaynak:** (Öztürk, 2018, 39)

Anova analizi hesaplamaları yapılırken, kareler toplamı işlemi, serbestlik derecesi hesaplamaları yapılır. Bu işlemlerden sonra hata varyansı ve F Testi işlemleri yapılır (Çalışkan, 2014, 50).

İstatistikte ANOVA Tablosundan yararlanılarak hesaplanabilen Varyans, anlamlı bir değer olarak adlandırılır. Varyans genellikle, hata varyansı olarak da bilinir. Hata varyansı hesaplaması, hata kareleri toplamının hata serbestlik derecesi ile bölümünden elde edilir (Çalışkan, 2014, 51).

$$V_o = \text{Hata varyansı}$$

$$V_T = \frac{SS_o}{V_o} \quad (3.4)$$

VARYANS hesaplamalarında, parametrelerin birbirleri içerisinde etkileşimleri de incelenir. Bu etkileşim aynı şekilde hesaplanmaktadır. Aşağıda yer alan formüllerde A, B parametreleri ve AxB etkileşimi için varyans hesabı verilmiştir (Öztürk, 2020, 20).

$$V_{T_A} = \frac{SS_A}{V_A} \quad (3.5)$$

$$V_{T_B} = \frac{SS_B}{V_B} \quad (3.6)$$

$$V_{T_{AxB}} = \frac{SS_{AxB}}{V_{AxB}} \quad (3.7)$$

“Ortogonal düzende atama yapılmamış olan sütunların toplam kareler toplamı, hata kareler toplamını vermektedir”. Deney tasarımından yapılırken belirlenen parametreler incelenir. Bu parametrelerin sonuca etkisi sanıldığı kadar büyük oranlarda çıkmayabilir. Küçük olan parametrelerin belirlendiği sütunların varyansı, hata varyansının hesaplanmasında kullanılır. Tasarımda nispeten büyük oranda ehemmiyet arz eden etkenlerin belirlenmesi için, yüzde olarak küçük olan etkenler analiz hesaplarında görmezden gelinmesi gereklidir. Burada etkisi az olan sütunların belirlenmesinde “F-testi” uygulanabilir. F oranı önemsiz çıkarsa, bir sonraki küçük etkili sütunla karşılaştırmak için, bu iki sütunun değerleri birleştirilir. Önemli bir F oranı elde edinceye kadar bu işlem sürdürülür (Çalışkan, 2014, 52).

Son olarak; standart F-testi uygulamalarında, hataların eşit sapmalar gösterdiği, normal dağılım sergilediği ve bağımsız olduğu varsayılır. Bu testin çıkarımları hatalı yapılırsa, önem derecesi hesapları istenen sonuçları vermeyebilir. “F testi uygulanırken analiz sırasında hesaplanan F değerleri ile belirlenen güven seviyesindeki F Tablo oranları karşılaştırılarak,

Tablo oranından büyük  $F$  değerine sahip faktörlerin performans karakteristiği üzerinde etkili olduğu düşünülür” (Çalışkan, 2014, 53).

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad (3.8)$$

$F$  değeri ( $F$  etkileşimi), varyansın hata varyansına oranından hesaplanır.

### 3.3. Yüzey Yanıt Yöntemi (RSM)

Yanıt yüzey yöntemi (RSM) istatistiksel temelli yöntemlerin başında gelmektedir. 1951 yılında Box ve Wilson tarafından geliştirilmeye başlanan RSM, endüstriyel deneylerde karmaşık süreçlerin iyileştirilmesi, optimizasyonu, modellenmesi için hızlı ve sıralı sonuç almanın önünü açmıştır (Baray ve Sarı, 2006, 38). Optimum sonuç elde etmek için tasarlanmış bir dizi deney kullanarak farklı değişkenler ve bir veya daha çok yanıt değişkeni arasındaki etkileşimi inceler. Diğer bir ifade ile RSM, matematiksel ve istatistiksel yöntemler kullanılarak, oluşturulan bir polinom denklemini ve veri kümesini tanımlamaya yardımcı olan bir yöntemdir (Ergül vd. 2018, 469).

Deney düzenlerinde ana amaç elde edilecek yanıt değişkenine etki edebilecek faktörlerin, denemenin hata ile sonuçlanma riskini minimize etmektir. Bu işlem regresyon analizi yardımı ile yapılır. Regresyon katsayılarının yardımıyla, bir faktörün ana etkisinin veya interaksiyon etkisinin yanıt değişkene ne kadar önemli bir etkisinin olduğuna karar verilir. RSM’de ilk adım, yanıtın sahip olduğu değişkene etki eden faktörlerini ve bunların düzeylerini belirlemektir (Tekindal, 2009, 2).

RSM üç aşamadan oluşmaktadır.

- İstenilen yanıtı elde edecek kadar yeterli miktarda ve güvenilir ölçümlerini sunan deneylerin tasarlanması (deney tasarımı aşaması),
- İstenilen parametrelere uyumlu hipotez testlerinin oluşturulması ve birinci adımda tasarlanan deneylerden elde edilen verilere en uygun cebirsel modelin belirlenmesi (veri toplama aşaması),
- Deneye eklenen faktörlerin optimum değerlerinin, istenen yanıt değerini elde edecek şekilde saptanması (tahmin modellerinin, çalışma parametreleri göre yanıt değişkenlerini saptama aşaması) (Baray ve Sarı, 2006, 43).

Girdi ve yanıt değişkenleri, probleme uygun şekilde, karar verici otorite tarafından tanımlanır. Girdi değişkenleri  $X_i$  ( $i=1,2, \dots,k$ ) ve yanıt değişkenleri  $Y_j$  ( $j=1,2 \dots,r$ ) karakteristikleri kullanılır. Problemlerin modellenmesi yapılırken, yanıt ile girdi değişkenleri

arasındaki bağılamı tanımlayacak fonksiyonun uygun olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için uygun bir model bulunmalıdır. Bağımsız değişkenin lineer fonksiyonu, sistemin yanıtı ile iyi bir uyum verdiği durumlarda, yaklaşım Eşitlik (1) de verilen birinci dereceden bir model ile hesaplanır (Ergün, vd. 2019, 469).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3.9)$$

Değişken düzeyi üç olursa, deneme düzenleri değişir ve karesel yapıda olur. Karesel ilişkiler ve ikinci derece interaksiyonel terimler içeren bu modellere, ikinci dereceden modeller denir (Tekindal, 2009, 3). Eşitlik (2) de ikinci dereceden model verilmiştir.

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3.10)$$

Bu eşitlikte;

y: Yanıt değişkenini,

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  : Bilinmeyen regresyon parametrelerini,

$x_i, x_j$ : Süreç (karar) değişkenlerini,

( $i=1, 2, \dots, k$ ), ( $j=1, 2, \dots, k$ ),  $\varepsilon$ : hata terimini göstermektedir (Ergün, vd. 2019, 469).

#### 4. LİTERATÜR ÖZETİ

Günümüz İHA motorlarında yapılan çalışmalar geleceğimize yön vermektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Özellikle uygun malzeme seçimi, tasarım ve çalışma performanslarını arttırmak için yapılan araştırmalardan bazıları şunlardır;

Kerni vd. (2018), yaptıkları çalışmada, motorların verimliliğini etkileyen ana parçaları olan piston ve silindirin, tribolojik özelliklerini farklı alüminyum alaşımları için incelemiştir. Piston ve silindir malzemesi olarak literatürde kullanılan malzemeler karşılaştırılmıştır. Piston ve silindir çiftinde yaygın olarak kullanılan 2000, 4000 ve LM serisi alüminyum alaşımların dirençlerini artırma yönünde çalışmalar yapılmıştır. AA2000 seri alüminyum içerisine grafit karbon fiber, LM13 malzemesine ise Fe, Mn eklenerek aşınma dirençlerini yükseltmiştir. Bu sayede piston ve silindir aşınmayı minimum tutmuşlar, çalışma performansını arttırmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak yüksek mukavemet, düşük ağırlık oranları ile alüminyum alaşımları, zayıf aşınma oranlarında iyileştirme yapılarak piston ve silindir uygulamalarında kullanımlarının artacağını ortaya koymuşlardır (Kerni, vd., 2018)

Silva (2006) yaptığı araştırmada, benzinli ve dizel motorların pistonlarını yorulmaya bağlı hasarları incelemiştir. Bu çalışmada pistonların hasar görme sebeplerinin sadece mekanik yorulmaya bağlı olmadığını, sıcaklık ve tasarım faktörünün de etkili olduğunu incelemiştir. Bu çalışmada, hasar görmüş çeşitli motorların pistonları incelenmiş, yakıt tüketimini azaltmak için pistonlarda yapılan değişimlerin, piston dayanımını azalttığı ve yapısal bozukluklara yol açtığı tespit edilmiştir. Piston üreticilerinin, yorulmaya bağlı olarak ortaya çıkan bu problemlerin gidermeleri, yakıt tüketimi azaltacak daha hafif ve dayanıklı piston tasarımlarını geliştirmeleri gerektiğini ortaya koymuştur (Silva, 2006).

Ceschini vd. (2017) yaptığı çalışmada, Al dövme pistonun yanma odasındaki ani sıcaklık ve basınç artışını deneysel ortamda incelemiştir. İnceleme sonucunda yanma ve ani basınçtan sonra, pistonda meydana gelen sertlik kaybı, yumuşama, erozyon gibi deformasyonlar incelemiş ve malzemenin pürüzsüzlüğünün oluşacak hasarı etkilediği gözlemlenmiştir. Vuruntuya sebep olan bu anormal yanma piston ömrünü etkilediği ortaya koyulmuştur (Ceschini vd., 2017).

Bao vd. (2020) bu çalışmalarında, Al-Si-Cu alaşımının kullanıldığı dizel motor pistonlarında, düşük sıcaklıklarda, anormal yanma ile oluşan vuruntuların sebep olduğu sonuçları incelemeyi amaçlamaktadırlar. Çalışma incelediğinde motorun yanma odasında olan olayları adım adım anlatmaktadır ve oluşan hasarları hangi adımda gerçekleştiğini incelemiştir.

Yanmamış yakıtlar pistona yapışarak karbon birikintisine neden olduğunu, bu karbon birikintisinin kaplama ile bağ kurarak pistonun aşınmalara neden olduğunu göstermişlerdir (Bao vd., 2020).

Kaya ve Özdalyan (2017) yaptıkları çalışmada, İki zamanlı ters-doğru akışlı, karbüratör bulunan ve buji sistemi ile ateşlemeli bir motora ait çevrim analizini yapmışlardır. Bu analiz için teorik matematiksel model kullanılmıştır. Bu yöntemle yapılan deneylerle motorun çalışma performansı ve egzoz emisyon değerleri incelenmiştir. Çevirim yükü olarak, 1000 rpm ile 2000 rpm aralığı seçilmiş, 200 rpm'lik aralık değerlerinde motor devri değiştirerek incelenmiştir. Motor performansları, MATLAB programlama diliyle incelenmiştir. Çalışma sonucunda iki zamanlı ters-doğru akışlı benzinli motorun, aynı boyutlardaki dört zamanlı motora göre daha fazla moment ve güç değeri gösterdiği ama yakıt tüketiminin arttığı gözlenmiştir (Kaya ve Özdalyan, 2017).

Motor ana parçalarından olan krank mili üzerinde inceleme yapan araştırmacılar, 3B modeli kullanılarak parçayı modellemişler ve ANSYS programında analizlerini yapmışlardır. Bu çalışmada malzeme olarak EN8 ve Dövme Çelik kullanmışlardır. Araştırmacılar malzemeler üzerindeki gerilme değişimleri karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışma ile EN8'in Dövme Çelikten statik yüke dayanımının ve çekme mukavemetinin daha yüksek olduğu gösterilmiştir (Karthick vd., 2021).

Pandiyan vd. (2019) yaptıkları çalışmada, dört zamanlı buji ateşlemeli (OVM) bir motorunun tersine mühendislik yöntemi kullanılarak SOLIDWORK programı kullanılarak modelleyerek ANSYS programına analizlerini yapmışlardır. Burada krank mili için AISI 1040, AISI 4340, AISI 4140, AISI 4615 kullanmış ve gerekli dayanımı veren en hafif malzeme bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmada, araştırmacılar von Mises stresini ve güvenlik faktörünü karşılaştırmışlar ve AISI 1040 malzemesi için %4,054 daha hafif kullanılabileceğini göstermişlerdir (Pandiyan vd., 2019).

Dayanıklı, güvenilir ve uzun süreli uçuş özelliğine sahip pistonlu motorların İnsansız Hava Araçlarında (İHA) kullanımının önemini araştıran araştırmacılar çalışmalarında, bu tür bir motorun tasarımı için gerekli olan motor bileşenlerinin yapısal ve termal analizlerini yapmışlardır. Bu çalışmada araştırmacılar motor bileşenlerinin optimizasyonu ile maksimum verimliliği ve hava kirliliğini azaltacak emisyon standartları için çalışmışlardır (Sonawane ve Mustafi, 2020).

İçten yanmalı motor pistonlarının statik ve termal stres dağılımı üzerine yapılan bir başka çalışmada araştırmacı, bilgisayar destekli SolidWorks programında farklı malzemeler için analizlerini yapmıştır. Malzeme olarak Alüminyum 6061 Alaşımı ve Gri Dökme Demir kullanmıştır. Bu çalışmada FEM metodu kullanarak pistonun mekanik ve ısıl yükün etkisi altında deformasyon durumunu karşılaştırılmış, Alüminyum 6061 Alaşım pistonunun 573 K'de minimum 75,7 MPa Von Mises değeri ve minimum deformasyon değeri 0,0243mm hesaplamıştır (Meraute, 2018).

Balamurugan vd. (2011) yaptıkları çalışmada, motor ana parçalarından krank milinin, bilgisayar destekli program ile yorgunluk analizleri ve optimizasyonu yapmışlardır. Otomotiv motorlarının krank milinde sıkça kullanılan dövme çelik ve sünek dökme demir malzemeleri bu çalışmada karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada sonlu elemanlar analiz yöntemi program olarak da ANSYS kullanılmıştır. Her iki materyal için problemler tanımlanmış ve tasarımda değişiklikler yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada yapılan optimizasyonlar ile krank mili maliyetinin düşürülmesi sağlanmıştır (Balamurugan, vd., 2011).

Pandiyan vd. (2018) yaptığı çalışmada, tersine mühendislik yöntemi kullanılarak mevcut dört silindri bir motorun (OHV) krank milinin optimizasyonunu yapmıştır. Bu çalışmada modelleme SOLIDWORKS programı kullanılarak üç boyutlu krank mili oluşturulmuş analizleri ise ANSYS programında yapılmıştır. Malzeme olarak AISI 1040, AISI 1045, AISI 4140 ve AISI 4615 seçilmiştir. Araştırmacının amacı krank mili için en hafif tasarımı bulmaktır. Yapılan analizlerde malzemede hafifletilecek yerler tespit eden araştırmacı malzemeyi yeniden modellemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda 184,21 MPa Von- Mises gerilimi ve 2,4428 güvenlik faktörü ile 63 gr (%4,04) daha hafif AISI 1045 malzemesi olduğu gösterilmiştir (Pandiyan vd., 2018).

Chaudhari ve Barjibhe (2016) yaptıkları çalışmada, krank milinin 3-D tasarımı yapılarak CATIA V5 ile modeli oluşturulmuştur. Daha sonra statik yapısal analiz için FEM tabanlı ANSYS programı kullanmışlar, krank milinde oluşan gerilme ve deformasyonlar hesaplamışlardır. Yapılan analizler sonucu Von-Misses gerilimi için FEA sonuçları sınır gerilim değerlerinin altında bulunmuştur. Çalışmada krank milinin analizi beş farklı malzeme, Alaşımli Çelik, 41Cr4, Titanyum, Alüminyum ve Çinko Alaşımı için yapılmıştır. Yapılan çalışma ile kaplama için en uygun malzemenin belirlenmesine çalışılmıştır. Sonuç olarak Çinko Alaşımı sonuçlar ekonomik değer olarak diğerlerine göre kullanılabilir veya kaplama yapılabilir sonucuna ulaşılmıştır (Chaudhari ve Barjibhe, 2016).

Dört zamanlı bir benzinli motorun, piston, biyel ve krank mili gibi ana parçaları üzerine araştırma yapan araştırmacılar, araştırma yaptıkları motorun bileşenlerini iki yeni malzemeye göre statik, dinamik ve termal analizlerini yapmışlardır. Araştırmada Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi ve ANSYS analiz programı kullanmışlardır. Bu araştırmada araştırmacılar, motor parçaların ağırlığını azaltmayı ve motorun hızını artırmayı amaçlamışlardır. Çalışmada piston için Alüminyum alaşımı 6061, Alüminyum alaşımı 2618, biyel kolu için Alüminyum alaşımı 6061, Titanyum, krank mili için EN308 ve yüksek alaşımli çelikler kullanmışlardır. Sonuç olarak statik analiz, termal analiz ve dinamik analiz sonuçlarına göre piston, biyel ve krank mili için tablolar halinde değerleri vermişlerdir (Gopal vd., 2017).

Hermawan vd. (2019) yaptıkları araştırmada, dört zamanlı bir dizel moturun piston, biyel kolu ve krank mili üzerindeki basınç ve termel yüklerin etkisi ile oluşan gerilimleri incelemişlerdir. Çalışma için Sonlu Elemanlar Yöntemi uygulanmış, tasarım için CATIA V5 ve analizler için ANSYS R15 programını kullanmışlardır. Bu çalışmada araştırmacılar piston için, dökme demir, AISi12CuNiMg Dövme ve AISi18CuNiMg döküm kullanmışlardır. Biyel kolu için AISI 1045 çelik, 42CrMo ve alaşımli dökme demir kullanmışlardır. Krank mili için, AISi18 CuNiMg döküm, AISI 1045 çelik ve alaşımli dökme demir kullanmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında her bir malzeme için maksimum gerilmeleri hesaplamışlardır. Motor parçaları belirlenen malzemelere göre stres, termal genleşme, güvenlik faktörü ve akma dayanımları yönünden karşılaştırmalar yapmışlardır. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde piston için AISi 12, krank mili ve biyel kolu için ise alaşımli dökme demiri malzemelerinin daha dayanıklı olduklarını hesaplamışlardır (Hermawan vd., 2019).

Krank mili için dört işleme yöntemi ile elde edilen miller ile maliyet analizi yapan araştırmacı, bunun için “Teknik Maliyet Modellemesi” yöntemini kullanmıştır. Otomotiv krank mili üretimi için ise çelik dövme, sfero döküm, mikro alaşımli dövme ve östemperlenmiş sfero döküm yöntemlerini kullanmıştır. Yapılan çalışma ile araştırmacı günümüzde yaygın olarak kullanılan sfero dökme demirin yerine değişen motor tasarımları ile mikroalaşımli çeliğin kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Ayrıca yapılan araştırma sonucunda malzeme seçimini krank mili yıllık üretim hacmi ve motor gereksinimlerine göre ikiye, üretim hacmini de yılda 180 bin adet altı ve üstü olarak ta ikiye ayırmıştır. Yapılan bu sınıflandırmaya göre motor tasarımı, sfero döküm krank miline uygun ise bu malzeme en uygun maliyet sunar. Yılda 180 bin parçanın üzerindeki üretimlerde mikro alaşımli dövme çelikler en uygun maliyet, yüksek performans verir (Nallicheri vd., 1991).

Sandeep vd. (2020) yaptıkları araştırmada, yanma odasında oluşan itme kuvvetini dönme hareketine çeviren krank milinin Alüminyum Alaşımları 6061 için analizlerini incelemişlerdir. Bunun için dört silindri bir IC motorunun krank milinin üç boyutlu modeli oluşturulmuş ve bu modelin analizleri ANSYS programında yapılmıştır. Alüminyum Alaşımı 7475 ve 6061'i statik ve termal analiz yönünden karşılaştıran araştırmacılar, 7475 alaşımının daha iyi olduğunu ve termal gradyan değerinin daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir (Sandeep vd., 2020).

Tek silindri dört zamanlı bir motorun krank mili üzerine yapılan bir araştırmada, farklı motor devirleri için kritik motor devirleri ve krank mili üzerindeki kritik bölgeler araştırılmıştır. Bu çalışmada araştırmacılar, kritik konumlardaki gerilim değişimi için sonlu elemanlar analizi, yük sınır koşulunu hesaplamak için basınç-hacim diyagramı kullanmışlardır. Krank mili üzerine takılan gerilimölçerlerle, FE analizinden elde edilen sonuçlar doğrulamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda statik analizin dinamik yükleme analizine göre daha yüksek sonuçlar verdiği, maksimum yükün 355 derecelik krank açısında oluştuğu, deneysel ve FEA sonuçları arasında %7'lik bir farkın olduğunu göstermişlerdir. Analizler sonucunda krank milinin karmaşık geometrisinin farklı analiz yöntemlerinde farklılıklar oluşmasının nedeni olduğunu iddia etmişlerdir. çeviri ile zor anlam çıkartılabilir (Montazersandgh ve Fatemi, 2007).

Thejasree vd. (2017) yaptıkları çalışmada bir IC motorun önemli bileşenlerinden biri olan krank milinin 3D modellemesini CATIA V5 yazılım programında yapılarak, ANSYS programında da analizleri yapılmıştır. Mevcut mil modellemesi ve bunun üzerinden 3 yeni modelleme yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Bu işlem ile aynı malzeme kullanılarak modellemede yapılan düzeltmelerin etkisi gösterilmeye çalışılmıştır. Yapılan analizlerde 22163 N krank pimine etki eden yük olarak bulunmuştur. Aynı şekilde üretilen 3 konsept için sırasıyla 22624 N, 22066 N ve 22303 N hesaplanmıştır. Ana model için maksimum stres 67 MPa olarak hesaplanırken, 3 konsept için sırasıyla 80 MPa, 71 MPa ve 79 MPa olarak hesaplanmıştır. Buradan da yola çıkarak konsept 2 aynı stres yükü altında 1,6 kg yani %12,8'lik azalmaya rağmen, aynı dayanımı gösterdiğini hesaplamışlardır (Thejasree vd., 2017).

Nageswararao ve Mukesh (2016) yaptıkları çalışmada, içten yanmalı motorların yanma ünitelerinde (silindir) oluşan ısı ve etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada motorların yanma odası boyunca sıcaklık dağılımını, ANSYS Workbench 15.0 programında modellemişlerdir. Farklı kanatçık kalınlıkları, boşlukları ve malzemelere sahip 27 modellenmiş olasılık ele alınmış ve her durum ANSYS Workbench 15.0 programında analizleri yapmışlardır. Her bir olasılık için silindirde indüklenen toplam ısı transferi ve gerilmelerin sonuçları

incelenmiştir. Bu çalışmada mevcut kullanılan malzeme Alüminyum alaşım 204 ve bunun yanında yumuşak çelik, gri dökme demir, magnezyum alaşımı ve farklı alüminyum alaşımları kullanmışlardır. Bazı kalınlıklar azaltılarak veya geometride değişiklikler yapılarak farklı malzemeler için termal analizler yapmışlardır. Sonuç olarak, alüminyum alaşımlar, 2,5 mm kalınlık ve dairesel kanat şekli ideal olduğu hesaplamışlardır. Yaptıkları teorik hesaplamalarla da aynı sonuçları elde etmişlerdir (Nageswararao ve Mukesh, 2016).

İçten Yanmalı Motora monte edilen malzemelerden özellikle krank mili üzerine araştırma yapan araştırmacılar, tasarım, performans, güvenilirlik ve maliyet açısından tüm bileşenlerin optimizasyonunu araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada özellikle yüksek performans gerektiren kullanımlar için krank mili üretiminde malzeme seçimi ile ilgili mevcut ve gelecekteki senaryoları analiz etmişlerdir. Bu analizlerde, farklı malzemeler, yüzey sertleştirme teknikleri, ısıl işlemler teknik özellik ve maliyet açısından incelemişlerdir. Çalışmada yüksek performans gerektiren motorların krank milinde kullanılan QT ve nitrürlenmiş çelikler ile MA çelikleri kıyaslamışlardır. Bu malzemelerin artı ve eksileri irdelendikten sonra, yapılacak iyileştirmeleri ve bu teknolojilerin gelişmesi için eksik olan çalışmaları belirtmişlerdir (Citti vd., 2017).

Hung vd. (2017) yaptıkları çalışmada, serbest pistonlu iki zamanlı lineer bir motorun akışkanlar dinamiği (CFD) kullanılarak süpürme süreci sayısal bir simülasyonla yapmışlardır. Araştırmada ANSYS Fluent v.14 kullanmışlardır. Çıkan sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Çalışmada baz alınan parametreler piston çalışma frekansı, egzoz portu mesafesi ve giriş basıncı gibi önemli parametrelerin değişiminin motor verimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak 33Hz frekansta %83 maksimum değere ile optimum verimlilik elde edildiği, egzoz portu mesafesi artırılarak ve giriş basıncı artırılarak verimin artırılabilceğini söylemişlerdir (Hung vd., 2017)

Uzunonat (2016) yaptığı çalışmada, uçak motorlarının gaz türbinlerinde kullanılan süper alaşımlarla, seramik bazlı MoSi<sub>2</sub> esaslı malzemelerin karşılaştırılmasını incelemiştir. Gaz türbini gibi yüksek sıcaklık ve oksijen zengini ortamlarda oksidasyon ve ısı şokları incelenmiş, malzemeler üzerindeki etkilerini azaltmak için seramik esaslı malzemelerin kullanımını araştırmıştır. Yüksek sıcaklık ortamlarında molibden disilid (MoSi<sub>2</sub>) ve kompozitleri, gelişen teknolojilerle önümüzdeki yıllarda kullanım alanlarının artacağı (füze lüleleri, eriyik metal boruları, endüstriyel gaz brülörleri gibi) ve süper alaşımların yerini alacağı, uçakların kompresör ve türbin kanatlarında kullanımının artacağını göstermiştir (Uzunonat, 2016)

Bako vd. (2021) yaptıkları çalışmada, motor bloğundaki zayıflıkları incelemişler ve iki zamanlı buji ateşlemeli motor bloğu referans alınarak Solidworks (2013) programında yeniden tasarlamışlardır. Motorlarda en büyük sorun olan, zayıf ısı dağılımı, bileşenlerin aşırı termal genleşmesi ve sürtünme aşınmaları modellenen her iki motor için incelemişlerdir. Bunun için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) analizi kullanmışlardır. Referans motor ile değiştirilmiş motor (blok yüzeyinde ısı akışı için yüzgeç modifikasyonu yapılan) kıyaslandığında daha iyi ısı yayma oranına sahip olduğunu ve motor veriminin arttığını gözlemlemişlerdir (Bako vd., 2021)

Bir ULM uçak motorunun krank milinin arızasının ana nedenleri araştıran bir çalışmada araştırmacılar, krank mili muylusunun arızalarını incelemişlerdir. Kırılma yüzeyleri incelendiğinde sebep olarak malzeme yorulması olduğu gözlemlenmişler, arıza mekanizmasını karakterize ederek oluşacak uçak kazalarının incelemesini destekleyen bir çalışma yapmışlardır. Bunun için kırılma yüzeyleri optik ve elektronik mikroskoplarla incelenmiştir. Yapılan incelemelerde kırılma sebebinin yüksek devirde malzeme yorulması olduğu aktarılmış ve analizlerden elde edilen ikincil sonuçları da maddeler halinde vermişlerdir (Infante vd., 2013)

Khameneh ve Azadi (2017) yaptıkları çalışmada, krank millerinde yaygın olarak kullanılan EN-GJS700-2 sfero döküm malzemenin yüksek devirde deformasyonlarını (eğilme, yorulma ve kırılma yönünden) incelemişlerdir. Krank milinden alınan numuneler dört-noktalı döner-bükme yüksek-devirli yorulma test cihazında incelemişlerdir. İncelenen materyalin S-N eğrisi değerlendirilip, taramalı elektron mikroskobu ile kırılma deneylerini yapmışlardır. Alınan numuneler üzerinde yapılan yorulma ömürleri deney sonuçları literatürden (FEMFAT veri bankası) daha düşüktür. Bu azalma imalat etkisi olabileceği, yeni araştırmalarda indüksiyon ısıl işlemlerin etkisi, talaşlı imalat prosesi ve endüksiyon ısıl işlem prosesleri incelenmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Khameneh ve Azadi, 2013).

Bir başka araştırmada araştırmacılar, ısıl işlem görmüş alüminyum-matris nano-kil-kompozit için yorulma ömrü ve kırılma davranışları üzerindeki korozyon etkisi incelemişlerdir. Bu deneyi yapabilmek için standart numuneleri alınarak makinede işlemişler ve döner eğilme yorulma testleri yapmışlardır. Bazı numuneleri ise %0,00235 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisine 200 saat beklettirerek korozyona uğratılmış sonrasında ısıl işlem uygulanarak bükülme testine gitmişlerdir. Bu işlem yüzey kusurları ve çukurlar nedeniyle tüm numunelerin yorulma ömrünü azalttığı gözlemlenmiştir. Diğer sonuçları incelediğimizde korozyona uğramış deney numuneleri incelediğimizde nano-kil parçacıkların eklenmesiyle sertlik artışı görüldü. Isıl

işlemin etkisiyle (Al, Ni) malzemenin intermetalik fazı değişti. Isıl işlem görmüş nano-kompozitin yüksek sertlik ve düşük devirlerde temel malzemeye göre yüksek yorulma mukavemetine sahip olduklarını gözlemlemişlerdir (Aroo vd., 2022).

Essienubong ve Bismarck (2020) yaptıkları araştırmada, bir IC motor pistonunu SOLIDWORKS programında CAD modelini geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modeli 600-3000 rpm hızlarında simüle etmişlerdir. Bu simülasyonda, doğrusal hız, termal ve eşdeğer gerilmeler gibi parametreleri incelemişler, 3000 devir/dakika motor hızı ve 224 Nm torktaki maksimum deplasman, eşdeğer gerilme ve termal gerilimleri hesaplamışlardır. Araştırmacılar, Piston için düşük alaşımlı çelik malzemelerin uygun olup olmadığı takip etmişlerdir. Bu çalışmada analiz yöntemi olarak FEM'i kullanmışlardır. Motor hızı ve yüksek tork, ısıyı artırdığını bununda piston malzemesi üzerindeki termal stres, gerininin arttığını, bununda piston ömrü üzerinde negatif bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun için malzeme seçiminde yüksek termal iletkenlik, düşük ağırlık/kuvvet oranı ve iyi mekanik özelliklere sahip malzemeler seçilmesi gerektiğini söylemişlerdir (Essienubong ve Bismarck, 2020).

Geleneksel krank millerinin arızası üzerine araştırma yapan araştırmacı yaptığı çalışmada, arıza sebeplerini incelemiştir. Hasar nedenlerini doğrulamak için yaklaşık 300.000 km kullanılmış bir kamyonet krank mili taşlandıktan sonra bir dizel minibüse takılmıştır. Yaklaşık 1000 km kullanıldıktan sonra hasar gördüğü görülmüş ve nedenleri farklı laboratuvar testleri ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan incelemelerde pürüzlü muyluların nedeni olarak, krank mili üzerindeki muyluların merkezinde küçük termal yorulma çatlaklarından kaynaklandığını tespit etmiştir. Bu çatlakların sebebi ise yanlış taşlama işlemi olduğu ve bu işlemin neden olduğu keskin kenarlı gözle zor görülen bu çatlaklar muylu yataklarının hasar görmesine neden olduğunu gözlemlemiştir (Silva, 2003).

Esfahanian vd. (2005) yaptıkları çalışmada, motor piston başlığına olan ısı transferlerini hesaplamışlardır. Yanma sınır koşulu olarak kullanılan üç farklı yöntemle göre pistonun termal davranışları üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Bu işlem için KIVA-3V ve NASTRAN kodları arasında bir arayüz geliştirilmiştir. Araştırmacılar bu çalışmada, piston termal analizinde, mekânsal ve zaman ortalamalı sınır koşulunun yüzey ve zaman ortalamalı sınır koşulundan etkili olduğu, geçici sınır koşulunun uygulaması çok zaman alıcı ve sonuca etkisi olmadığını göstermişlerdir (Esfahanian vd., 2005).

Çevik ve Aran (2009) yaptıkları çalışmada, bir piston üreticisi firmanın üretim süreçlerini incelemişlerdir. Bu çalışmada piston üretim prosesini ve üretim aşamaları Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntem olarak kullanmışlardır. Üretim sürecinde oluşan hataların

analizi FMEA tekniği ile yapmışlardır. Yapılan alışma sonucunda elde edilen bulgular firma ile paylaşılmış ve üretim süreçleri iyileştirme yapılmıştır. Bu alışmada, FMEA ile tespit edilen 10 riskin 3 tanesi önemli ve öncelikli olduğu belirlenmiş ve yapılan iyileştirmeler neticesinde müşteri Őikayetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir (evik ve Aran, 2009).

Motor piston segmanları zerindeki PVD kaplamalardan elde edilen kaplama ve aşınma testlerinin ele alınan bir çalışmada araştırmacılar, pistonun tribolojik davranışlarını halka model aşınma testi ve kısa stroklu bir test donanımı ile yapmışlardır. Bu alışmada PVD Crx N kaplamalar, RF magnetron püskürtmeyle biriktirilir. Burada kaplama substrat bileşiğinin tribolojik davranışı için önemli olan kalınlık, sertlik, artık gerilim gibi mekanik özellikleriyle karakterize edilmiştir. Piston kaplaması optimize edilerek, kaplama substratı karakterizasyon sonuçları, tribolojik uygulamada iyileşme sağladığı görmüşlerdir. Bu iyileşmeler yüksek sertlik, orta derecede basma artık gerilmeleri ve metalik substratlar üzerinde yapışma açısından olduğunu bildirmişlerdir (Friedrich vd., 1997).

Yetkin (2017) yaptığı çalışmada, asenkron motorların verimlerini iyileştirme yapılarak enerji tasarrufu açısından incelemiştir. Bu amaçla asenkron motor milinde optimizasyon yapılmıştır. Çalışmada 5,5 kW, 7,5kW ve 11kW gücündeki motorlar için analizler yapan araştırmacı, bu motorlar için bulduğu optimum mil çapı değerlerini kullanımda olanlarla karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, mil çaplarının üç tip motor için, daha geniş aralık değerleri kullanılabileceğini göstermiştir Yetkin, 2017).

Yılmaz vd. (2020) yaptıkları çalışmada, dört zamanlı, bujiyle ateşlemeli tek silindirli bir motorun krank üzerinde oluşan hareket mekanizmasını alternatifini olan rhombic hareket mekanizmasının termodinamik açıdan karşılaştırılmasını incelemişlerdir. Rhombic ve krank mekanizmasında en yüksek silindir hacmi 371 derece olarak belirlemişlerdir. Kranklı motorlarda silindir basıncı en fazla 63,1 bar olurken diğerinde 64,5 bar olduğu gözlemlenmişlerdir. Yapılan araştırmada araştırmacılar rhombic mekanizmalı motorun termodinamik açıdan krank mekanizmalıya göre üstün olduğunu göstermişlerdir (Yılmaz vd., 2020)

İnsansız Hava Araçları hayatımıza çok hızlı bir Şekilde girdi ve pek çok alanda kullanıma geçti. İlk retilen İHA'lardan bu yana kullanım alanı, ebat, faydalı yük kapasitesi ve ihtiyaçlar gibi etkenlerle çok farklı özellik ve ebatta motor ihtiyacı doğmuştur. İHA'larda pistonlu, elektrikli(bataryalı), Wagner, jet ve turbo prop motorlar kullanılmaktadır. Her bir motor için sayısız çalışma yapılmaktadır.

Yapılan literatür incelemesine bakıldığında bu ihtiyaç rahatlıkla anlaşılmaktadır. Sadece pistonlu motorlar için bile pek çok çalışma yapılmıştır. Motor kapasiteleri, yakıt tüketimleri, dayanımları, ağırlıkları ve maliyetleri başlıca araştırma konusudur. Sürdürülebilir bir teknoloji için ihtiyaca göre en optimum motor üretimi, rekabet şartlarını da sağlayacak şekilde, pek çok yeni araştırma (Ar-Ge) yapmayı gerekli kılmaktadır.

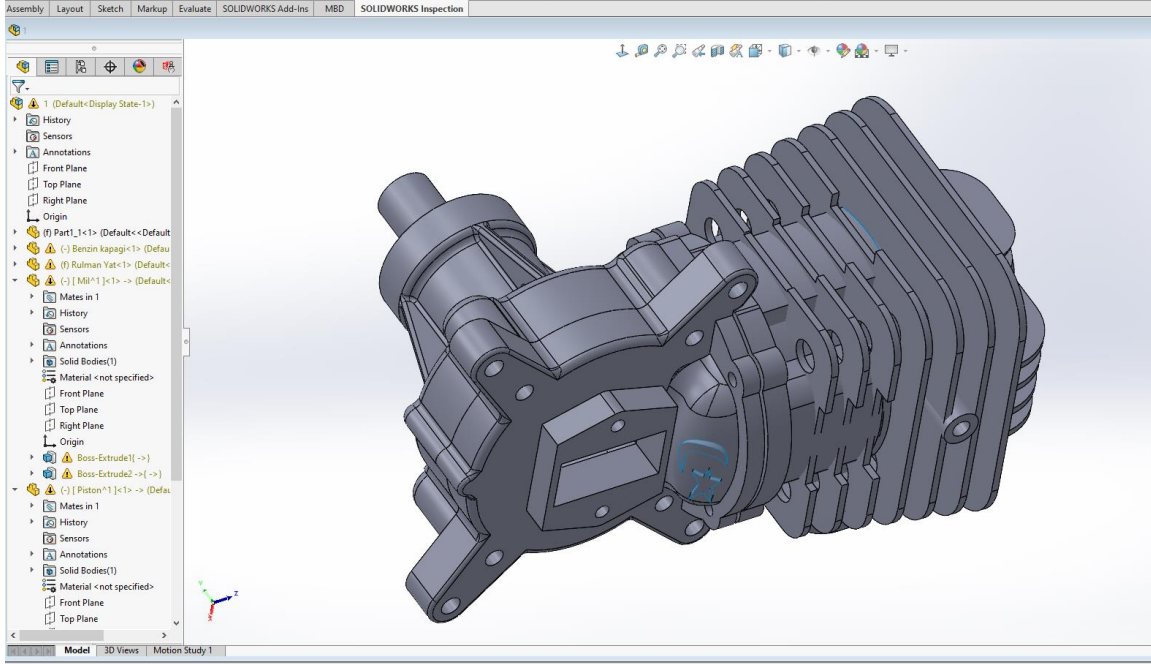
Yapılan bu çalışma ile, Türkiye’ de ilk defa bulut altı görev yapabilecek İHA motorlarının üretimini ve geliştirilmesini inceleyen bir master tezi ortaya konmuştur. 61cc pistonlu İHA motoru sadece Almanya ve Çin gibi birkaç ülkede mevcuttur. Türkiye’de olmayan bu teknolojiyi ülkemize kazandırmak ve muadilleri ile rekabet edebilecek bir motor tasarımı ve üretimi bu çalışmanın konusudur. Bu tez çalışmasında optimum malzeme seçimi ve tasarım özellikleri RSM, Taguchi, CAD, CAM, ANOVA kullanılarak elde edilmiştir. Bu vesileyle üniversite – sanayi işbirliği projesi olarak bir çalışma ortaya çıkmıştır. İthal olarak temin edilen muadil motor ile kıyaslaması yapılmıştır.

Üretim öncesi Tersine Mühendislik yöntemi ile SOLIDWORKS programında tasarlanan motor, ANSYS programında da analizleri yapılmıştır ve optimize edilmiştir. Bu çalışmada ilk aşama olarak motor tasarımı ve üretimi yapılmıştır. İkinci aşama olarak üretilen motorun, motor performans testleri yapılmış, aynı özelliklere sahip ithal olarak alınan bir motor ile kıyaslamaları yapılmıştır.

İlk aşamada, üretilen Ahi motorun hareketli parçaları olan piston, krank ve krank kolu için üç farklı metal malzeme seçilerek optimum üretim parametreleri seçilmiştir. Bu seçimde, materyallerin emniyet katsayısı ve maksimum gerilme değişimleri, Taguchi Metodu ve Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Piston için ETİAL 145, ETİAL 190 ve 7075 malzemeleri seçilmiş, Piston kolu için 4620, 2379 ve 4140 takım çeliği, son olarak da krank için GGG40, ASTM 148 (dökme çelik) ve 1040 materyalleri kullanılmıştır. Bu malzemeler, parçaların maruz kaldıkları kuvvetlere göre elastisite modülü, akma ve çekme dayanımı değerlerine göre belirlenmiş, analizler sonucu bulunan en uygun malzemelerden prototip bir motorun üretimine geçilmiştir. Bu çalışma kapsamında, 61 cc çift zamanlı bir İHA motoru üretilmiş ve uçuş deneyleri başarıyla tamamlamıştır.

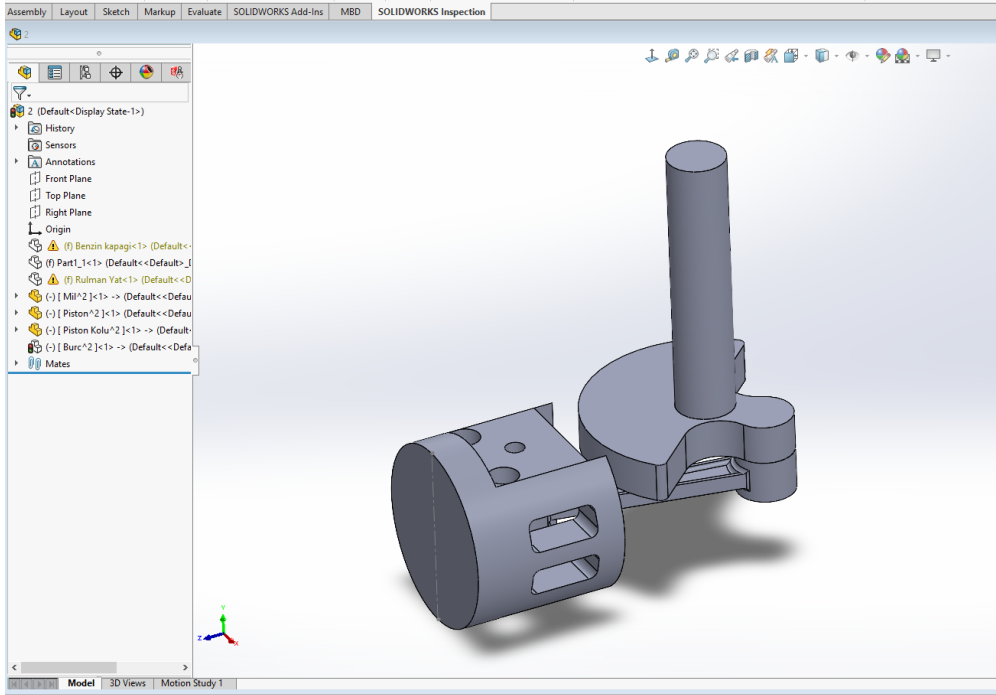
## 5. MATERYAL VE METOT

### 5.1. Montaj Malzemeleri için Malzeme Seçimi



Şekil 5.1. SOLIDWORKS Programında Yapılan Motor Montaj Tasarımı

Şekil 5.1’de SOLIDWORKS programında yapılan tasarımların montajı neticesinde oluşan motor görüntüsü vardır. İki zamanlı bir İHA motoruna hareket sağlayan mekanik uzuvlar piston, piston kolu ve kranktır.



Şekil 5.2. SOLIDWORKS Programında Yapılan Motor Montaj Parçaları

Şekil 5.2’de motor montaj parçalarından piston, piston kolu (biyel kolu), krank ve bunların SOLIDWORKS programında montaj hali gözükmektedir. Şekil 5.3’te ayrıntıları verilmiştir. Bu parçalar patlama sonucunda oluşan kuvvet yardımıyla pervaneyi çevirerek uçuş hareketini sağlamaktadır.

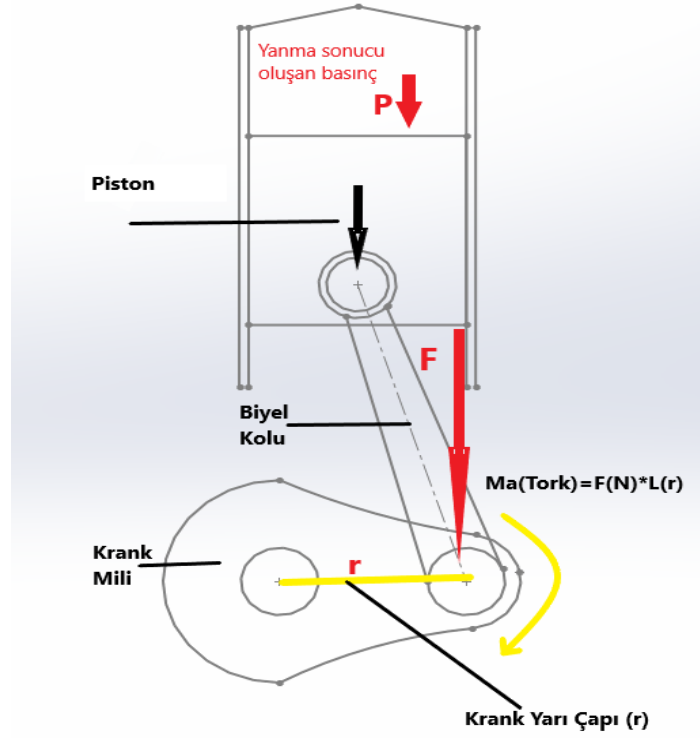
Endüstride bu üç uzvun farklı malzemelerden üretildiği bilinmektedir. İdeal malzeme seçimi için deney tasarımı olarak “Taguchi Metodu” ile birlikte “Sonlu Elemanlar Yöntemi” bu araştırmada kullanılmıştır. Böylece, kullanılan metalin mekanik özellikleri emniyet açısından incelenerek, hangi hareketli uzvun daha önemli olduğu belirlenmiştir. Taguchi L9 ortogonal modeline göre 3 farklı parametre ve seviyesi için ideal malzeme seçimi yapılmıştır. Tablo 1 de bu modelin parametre ve seviyeleri detaylı bir biçimde gösterilmiştir. Sonuç olarak bu parametrelerin motor montaj emniyetine etkileri incelenmiştir. Montaj parçalarının malzeme değişkenleri seçimi yapılırken, o uzuv için ideal materyaller kullanılmıştır. Diğer bir deyişle, piston malzemesi seçimi yapılırken yüksek silisyum içerikli, yani aşınma direnci yüksek olan malzemeler belirlenmiştir. Sertlik ve aşınma direnci fazla olan 7075 malzemesi ise silisyum oranı düşük olmasına rağmen, yüksek aşınma direncine sahip olduğu için analizlerde kullanılmıştır. Krank kolu malzemesi seçiminde yüksek mukavemet değerine sahip olan ıslah çelikleri kullanılmıştır. Krank malzemesi ise genelde daha düşük mukavemetli çeliklerden üretildiği için analizde bu tip materyaller tercih edilmiştir.

**Tablo 5.1.** Tasarımın Deney Planı ve Motor Elemanları İçin Kullanılan Malzemeler.

Deney No	Piston	Krank Kolu	Krank	Piston	Krank Kolu	Krank
1	1	1	1	ETİAL 145	4620	GGG40
2	1	2	2	ETİAL 145	2379	AST A148
3	1	3	3	ETİAL 145	4140	1040
4	2	1	2	ETİAL 190	4620	AST A148
5	2	2	3	ETİAL 190	2379	1040
6	2	3	1	ETİAL 190	4140	GGG40
7	3	1	3	7075	4620	1040
8	3	2	1	7075	2379	GGG40
9	3	3	2	7075	4140	AST A148

## 5.2. Analiz Çalışmaları

Motor içindeki sistemde, krank mili ile kranka bağlanan biyel kolunun merkezine olan mesafeye krank yarıçapı denir. Bu düzenekte krank ile piston, biyel kolu (krank kolu) ile birbirine bağlanır. Pistonun içinde olduğu yanma odasında yanma sonucu oluşan patlama basıncı krank kolu vasıtasıyla kranka iletilir.



Şekil 5.3. Uzunluk üzerindeki kuvvetler

Mil ile göbek arasında bir döndürme (burulma) momenti vardır. Bu durumda sisteme iletilen güç  $P(kW)$ , devir sayısı  $n(D/d)$  ise iletilen moment formül 1'e göre hesaplanır.

$$Ma(Nm) = \frac{9550 * P(kW)}{n(rpm)} \quad (5.1)$$

$$Ma(Nm) = \frac{9550 * 4,47}{7500} = 5,69 Nm$$

Hesaplama sonucu 5,69 Nm'lik bir moment oluşur. Hesaplanan bu momente göre kranka iletilen kuvvet formül 2'ye göre hesaplanır.

$$Ma = F(N) * L(m) \quad (5.2)$$

$$F(N) = \frac{Ma}{L(m)} = \frac{5,69}{0,0175} = 325,14 N \cong 325 N$$

Hesaplamalar sonucu 325 N’luk bir kuvvetin kranka iletiildiği görülmektedir. Bu hesaplamalarda baz alınan devir, güç ve kurs boyu (krank yarıçapı) aşağıda verilmiştir.  
Devir(n)= 7500 RPM

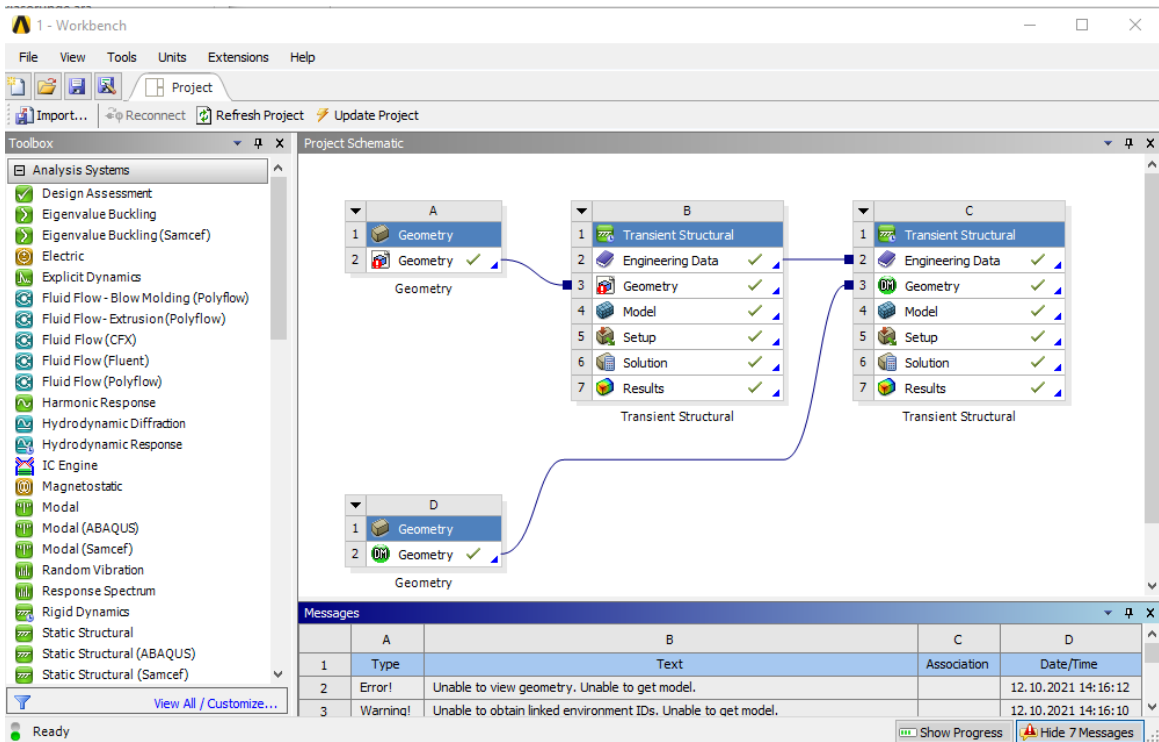
$$\text{Güç} = 4,47 \text{ kW} = 6 \text{ hp}$$

$$\text{Kurs Boyu(L)} = r = 17,5 \text{ mm}$$

$$\text{Tork (Ma)} = 5,69 \text{ Nm}$$

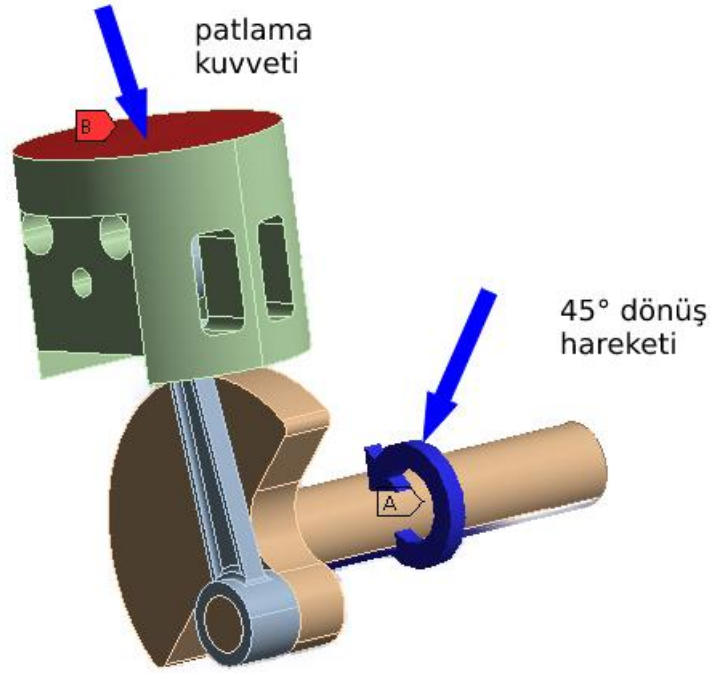
$$F = 325 \text{ N}$$

Bu hesaplamalar sonucu elde edilen patlama kuvvetinin emniyet sonuçlarına etkisi, ANSYS programı kullanılarak gözlemlenmiştir. Şekil 5.1 ve şekil 5.2’de yer alan montaj tasarımı, hali hazırda dünyada yaygın olarak satışı yapılan bir motordan, tersine mühendislik yapılarak modellenmiştir. Sonrasında ANSYS programı transien structure ve rigid dynamix modüllerinde temel motor çalışma prensipleri dikkate alınarak kinematik hareketler tanımlanmıştır.



Şekil 5.4. ANSYS Programı Stres İçin Yapılan Üçlü Analiz Çözümü

Şekil 5.4’de yapılan 27 deneyden birincisi örnek olarak verilmiştir. Tablo 2 de yer alan materyal özellikleri literatür dikkate alınarak ANSYS malzeme kütüphanesine tanımlanmıştır. (Sakin vd., 2010, 522; Aytaç vd., 2018, 146; Cho vd., 2014, 93; Bayboğan vd., 2004, 115; Caligulu vd., 2017, 8; Kaplan vd., 2011, 39)



Şekil 5.5 Piston, krank kolu, krank ve oluşan kuvvetler

Tablo 5.2. Metallerin Özellikleri

Hareketli Motor Parçaları	Kullanılan Alaşım	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
PİSTON	ETİAL 145	106	132	70
	ETİAL 190	189,1	193,6	71
	Al 7075 (T6)	479	532	72
KRANK KOLU	4620	350	490	190
	DIN 1.2379	820	940	210
	AISI 4140	397	736	190-210
KRANK	GGG40	250	400	165
	AST A 148	660	830	190
	AISI 1040	346,33	747,33	190-210

### 5.3. Motorların Üretim Sonrası Verimlilik Testleri

Uluslararası piyasada çok satılan ve ülkemizde üretimi olmayan 61 cc bulut altı görevleri icra edebilen bir motor geliştirmek bu tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Bu çalışma için, dünyada en çok satan İthal 61 cc bir İHA motoru temin edilmiş, yerli imkânlarla üretilen motor ile performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında, bilhassa iki zamanlı İHA motorlarının performanslarının karşılaştırılması ile ilgili teknik bir tez çalışmasının hazırlanmadığı belirlenmiştir. Ayrıca milli teknolojilerin geliştirilmesi adına bu

tezde yerli ve milli olarak ilk defa bir 61 cc motor üretimi yapılmış ve uçuş testlerinde kullanılmıştır.



**Şekil 5.6.** Yerli Üretim 61 cc Motor

Bu kapsamda ilk olarak, yer testleri yapılan motorların performans grafikleri oluşturulmak istenmiştir. Özellikle farklı devir aralıklarındaki motorun itki, sıcaklık değişimi ve yakıt tüketimi değerleri hesaplanmıştır. Üretimi tamamlanan motorun performansı ismi geçen ithal motorla ayrıca karşılaştırılmak istenmiştir. İki farklı pervane tipi için, motorların performans değer değişimleri ise, bir deney tasarımının parametreleri olarak araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında, istatistiksel anlamada incelemeler yapılmıştır. Tablo ve grafikler ile verilen sonuçlar, teknik ve teorik açıdan istatistiksel olarak incelenmiş, literatüre bir mühendislik katkısı sunulmuştur. Bu kapsamda tezin giriş kısmında detaylı bir biçimde aktarılan RSM yöntemi uygulanmıştır. RSM deney tasarımı aşağıda yer alan Tablo 5.3’de verilmiştir.

**Tablo 5.3.** RSM Deney Tasarımı

Deney No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pervane Tipi	24-10	24-10	24-10	24-10	24-10	24-10	23-8	23-8	23-8	23-8	23-8	23-8
Motor Türü	AHİ	İTHAL	AHİ	İTHAL	AHİ	İTHAL	AHİ	İTHAL	AHİ	İTHAL	AHİ	İTHAL
Devir	3000	3000	4000	4000	5000	5000	3000	3000	4000	4000	5000	5000

Bu çalışmada kullanılmak amacıyla, KOSGEB’den de alınan desteklerle, ilk defa yerli ve milli İHA motoru test düzeneği tasarlanmış ve yazılımı geliştirilmiştir. Üretilen test

cihazının resmi şekil 5.9’da yer almaktadır. Bu test cihazında testler yapılmış, test sonuçları elde edilmiştir. Bununla birlikte motorun itki/ağırlık oranı da hesaplanmıştır.



**Şekil 5.7.** Yerli İmkanlar İle Üretilen 61 cc AHİ Motor Parçaları.

Proje kapsamında tasarımı yapılan motorun testleri yapıldıktan sonra deneylerde kullanılmak için 10’dan fazla sayıda üretimi yapılmıştır. Şekil 5.7’de bu parçalar görülmektedir.



**Şekil 5.8.** Yerli İHA Motorunun Çalışma Görşeli

Şekil 5.8’te üretimi yapılan motorun çalışma test görselleri bulunmaktadır.



**Şekil 5.9.** Motor ve Test Ünitesi

Şekil 5.9’da da analizler için yapılan test ünitesi görülmektedir. Bu çalışma için yerli imkânlarla yazılımı ve tasarımı yapılan test ünitesi kullanılmıştır. Çalışma esnasında gerek üretilen motorun sayısal parametreleri ve üretilen test ünitesinin tam özellikleri ve görselleri proje prensipleri gereği verilmemiştir.

## 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

### 6.1. Motor Montaj Parçaları

Patlama kuvveti ve oluşan 45 derece dönüş hareketinin sonuçlarının kademeli olarak uygulanış değerleri Tablo 6.1’de verilmiştir. Yapılan montaj tasarımında, 0.1-0.25 aralığında bir mesh analizinde motor için türetilmiştir. Her bir motor uzvunun analizi için diğer parçalar rijit seçilmiş ve sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Her bir parça için bu işlem tekrarlanmıştır. Yapılan analizlerde, Gerilme ve emniyet katsayısı sonuçları, önceden belirlenen her bir deney çıktısı için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yapılan analizde ortaya çıkan tablo incelendiğinde 45 derece dönüş hareketi neticesinde elde edilen gücün 325 N olduğu görülmüştür. Analizlerde, motor için test edilen hareket miktarı ve bu hareketin sebep olduğu dönüş miktarının sonuçları incelenmiştir.

**Tablo 6.1.** Analizde Uygulanan Hareket ve Dönüş Açısının Zamana Bağlı Dönüş Listesi

<b>Analiz Kuvvetleri</b>											
Step	Rotation	Force	Step	Rotation	Force	Step	Rotation	Force	Step	Rotation	Force
0	0	0									
1	0	0	31	11,345	81,933	61	22,689	163,87	91	34,034	245,8
2	0,37815	2,7311	32	11,723	84,664	62	23,067	166,6	92	34,412	248,53
3	0,7563	5,4622	33	12,101	87,395	63	23,445	169,33	93	34,79	251,26
4	1,1345	8,1933	34	12,479	90,126	64	23,824	172,06	94	35,168	253,99
5	1,5126	10,924	35	12,857	92,857	65	24,202	174,79	95	35,546	256,72
6	1,8908	13,655	36	13,235	95,588	66	24,58	177,52	96	35,924	259,45
7	2,2689	16,387	37	13,613	98,319	67	24,958	180,25	97	36,303	262,18
8	2,6471	19,118	38	13,992	101,05	68	25,336	182,98	98	36,681	264,92
9	3,0252	21,849	39	14,37	103,78	69	25,714	185,71	99	37,059	267,65
10	3,4034	24,58	40	14,748	106,51	70	26,092	188,45	100	37,437	270,38
11	3,7815	27,311	41	15,126	109,24	71	26,471	191,18	101	37,815	273,11
12	4,1597	30,042	42	15,504	111,97	72	26,849	193,91	102	38,193	275,84
13	4,5378	32,773	43	15,882	114,71	73	27,227	196,64	103	38,571	278,57
14	4,916	35,504	44	16,261	117,44	74	27,605	199,37	104	38,95	281,3

**Tablo 6. 1. Devamı**

Step	Rotation	Force	Step	Rotation	Force	Step	Rotation	Force	Step	Rotation	Force
15	5,2941	38,235	45	16,639	120,17	75	27,983	202,1	105	39,328	284,03
16	5,6723	40,966	46	17,017	122,9	76	28,361	204,83	106	39,706	286,76
17	6,0504	43,697	47	17,395	125,63	77	28,739	207,56	107	40,084	289,5
18	6,4286	46,429	48	17,773	128,36	78	29,118	210,29	108	40,462	292,23
19	6,8067	49,16	49	18,151	131,09	79	29,496	213,03	109	40,84	294,96
20	7,1849	51,891	50	18,529	133,82	80	29,874	215,76	110	41,218	297,69
21	7,563	54,622	51	18,908	136,55	81	30,252	218,49	111	41,597	300,42
22	7,9412	57,353	52	19,286	139,29	82	30,63	221,22	112	41,975	303,15
23	8,3193	60,084	53	19,664	142,02	83	31,008	223,95	113	42,353	305,88
24	8,6975	62,815	54	20,042	144,75	84	31,387	226,68	114	42,731	308,61
25	9,0756	65,546	55	20,42	147,48	85	31,765	229,41	115	43,109	311,34
26	9,4538	68,277	56	20,798	150,21	86	32,143	232,14	116	43,487	314,08
27	9,8319	71,008	57	21,176	152,94	87	32,521	234,87	117	43,866	316,81
28	10,21	73,739	58	21,555	155,67	88	32,899	237,61	118	44,244	319,54
29	10,588	76,471	59	21,933	158,4	89	33,277	240,34	119	44,622	322,27
30	10,966	79,202	60	22,311	161,13	90	33,655	243,07	120	45	325

Tablo 6.2’de, üretilen motorun ateşleme (patlama) esnasında oluşan kuvvet ve bu kuvvetin sebep olduğu hareketler, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerin sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde emniyeti en düşük olan parçanın krank olduğu görülmektedir. Ayrıca pistonun ise seçilen diğer malzemelere göre, emniyeti en yüksek motor montaj parçası olduğu söylenebilir.

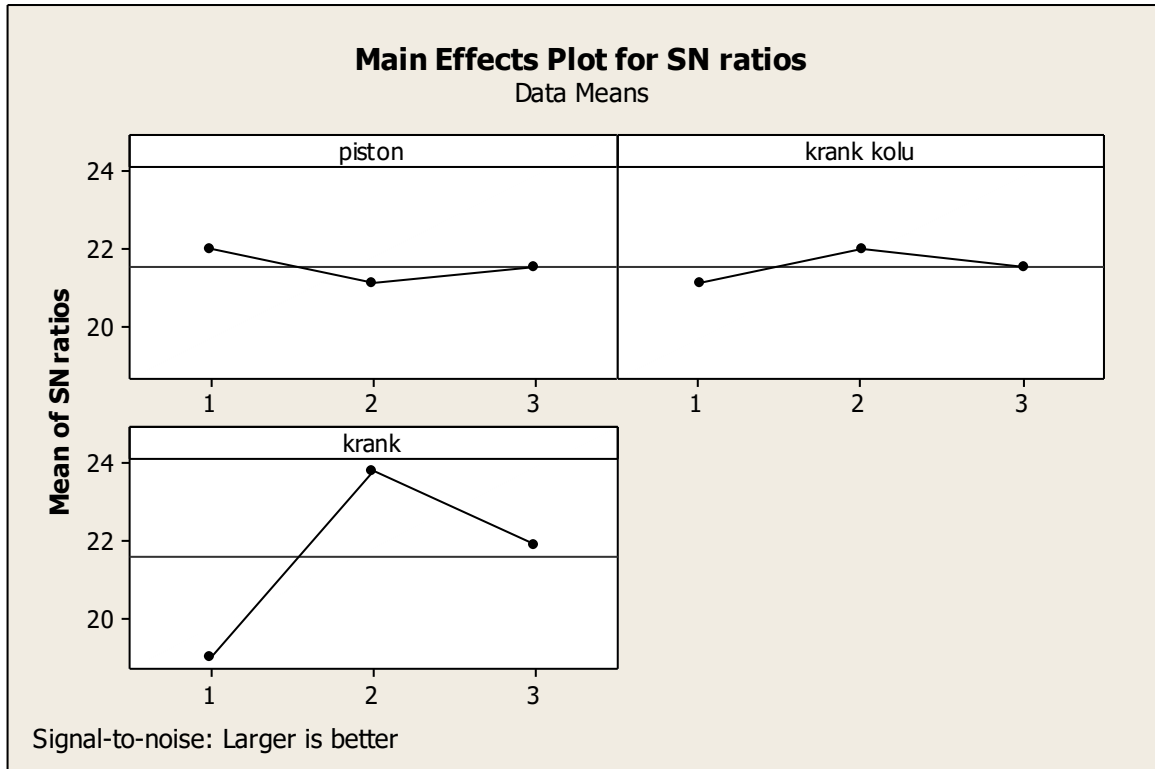
Yine tablo 6.2 incelendiğinde, elde edilen en düşük EMK (emniyet katsayısı) 8,91 olurken, en yüksek EMK 18,07 olmuştur. Netice olarak yapılan 9 deney sonucuna göre elde edilen ortalama EMK 12.35 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 6.2.** Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları.

DENEY NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Montajın Emniyeti	8,91	18,07	12,48	13,4	12,48	8,91	12,48	8,91	15,51
Emniyetsiz Uzun	Krank	Piston	Krank	Krank Kolu	Krank	Krank	Krank	Krank	Krank Kolu

Elde edilen emniyet katsayısı sonuçları, bilgisayar destekli Minitab programı kullanılarak Taguchi Analizi yapılmıştır. Analiz sonucu elde edilen S/N grafikleri şekil 6.1’de verilmiştir. Bu grafikler oluşturulurken, bir montaj parçasının emniyeti ne kadar yüksek olursa o nispete uzun ömürlü olacağından dolayı, Taguchi Analizinde ne kadar büyük o kadar iyi seçeneği seçilmiştir. Taguchi analizi çıktılarına göre piston için 1, krank kolu ve krank için ise 2. seviyelerdeki malzemeler en uygun görülen malzemelerdir. Dolayısıyla ideal materyaller, pistonda etial 145, krank kolu için 2379 ve krankta için ise AST A148 olarak tespit edilmiştir.

Geliştirilen motorun prototipi, analizler sonucu elde edilen optimum malzemelerden üretilmiştir.



**Şekil 6.1.** S/N Grafiği

Tablo 6.3’ de Minitap programında kullanılan, ANOVA analizi sonuçları yer almaktadır. Varyans analizi sonuçlarında, hangi parametrenin elde edilen çıktılarına ne kadar etkisi olabileceği hesaplanmaktadır. Parametrelerin, bu sonuçlara göre hata payı yüzde 4,5

olarak bulunmuştur. Emniyet katsayısına en fazla etki eden montaj parçasının, %86 oranla krank malzemesi olduğu gözlemlenmiştir. KOSGEP projesi kapsamında geliştirilen projede, malzeme seçiminde karar bu analizler neticesinde verilmiştir.

**Tablo 6.3.** ANOVA Analizi Sonuçları

Source	DF	Seq SS	%	Adj SS	Adj MS	F	P
Piston	2	3,646	4,594	3,646	1,823	1,000	0,500
Krank Kolu	2	3,646	4,594	3,646	1,823	1,000	0,500
Krank	2	68,420	86,217	68,420	34,210	18,770	0,051
Hata Payı	2	3,646	4,594	3,646	1,823		
Toplam	8	79,358					

$$S = 1,35020 \quad R\text{-Sq} = 95,41\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 81,62\%$$

Yapılan bu bilimsel araştırma sonucunda, Şekil 6.2.A'da yer alan 61 cc'lik motorun tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen motor ise, emniyet kuvvetlerinin kullandığı, 3 m kanat genişliği olan kompozit bir İHA üzerine monte edilmiştir. Milli sporcumuz Melih ULUPINAR tarafından uçurulmuş ve uçuş sırasındaki performansı test edilmiştir. Test sonuçları, yurt dışı rakipleriyle rekabet edebilecek bir performansa sahip, içten yanmalı düşük irtifa motorunun geliştirildiğini göstermiştir.



**Şekil 6.2.** Üretilen Motor Parçaları (solda), Yapılan Uçuş Testleri (sağda)

Prototip motorun üretiminden sonra ikinci aşamaya geçilmiştir. Bu aşamada, üretilen motorun analizleri, ithal olarak yurt dışından tedarik edilen, benzer özellikteki bir İHA motoru ile karşılaştırmalı testlere tabi tutulmuş, sonuçları verilmiştir.

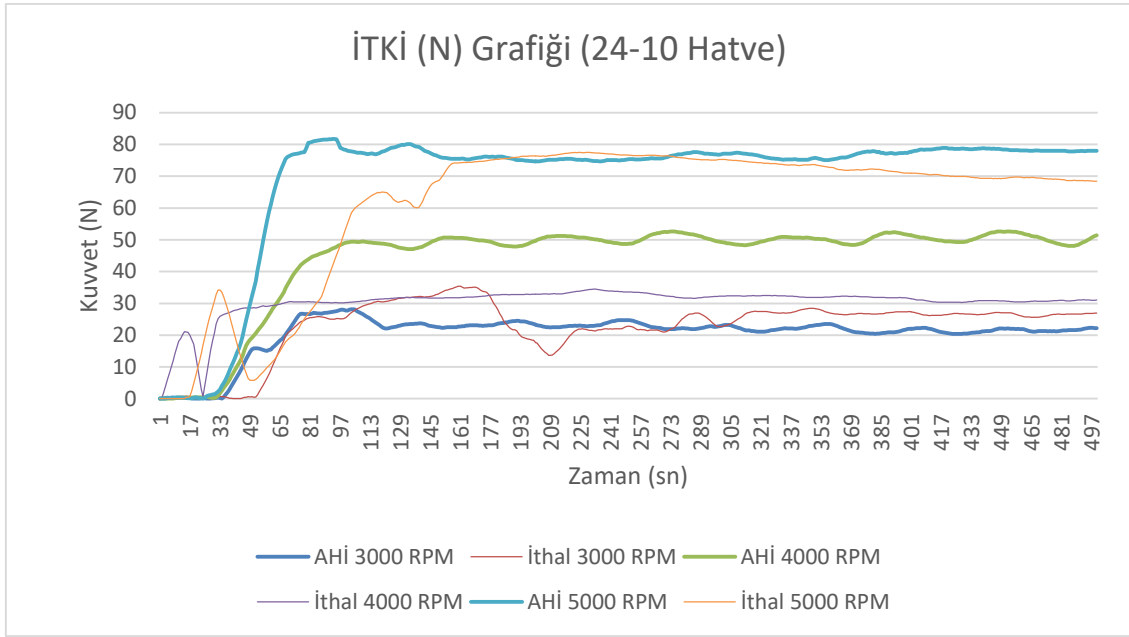
## 6.2. Motor Performans Test Sonuçları

Yapılan motor performans deney sonuçlarına göre, bu bölümde deneylerde elde edilen tüm sonuçların, farklı zaman aralığındaki değişimleri yer almaktadır. İki farklı motorun aynı zaman aralığında, değişken devir aralığı için itki, motor sıcaklığı ve egzoz sıcaklığı değişimleri verilmiştir. Ayrıca çalışmada araştırmacılar, iki farklı ebatta pervane için yerli ve ithal İHA motorlarının ayrı ayrı itki, motor sıcaklığı ve egzoz sıcaklığı değişimleri incelenmiştir. Deney sonuçları grafikler halinde verilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

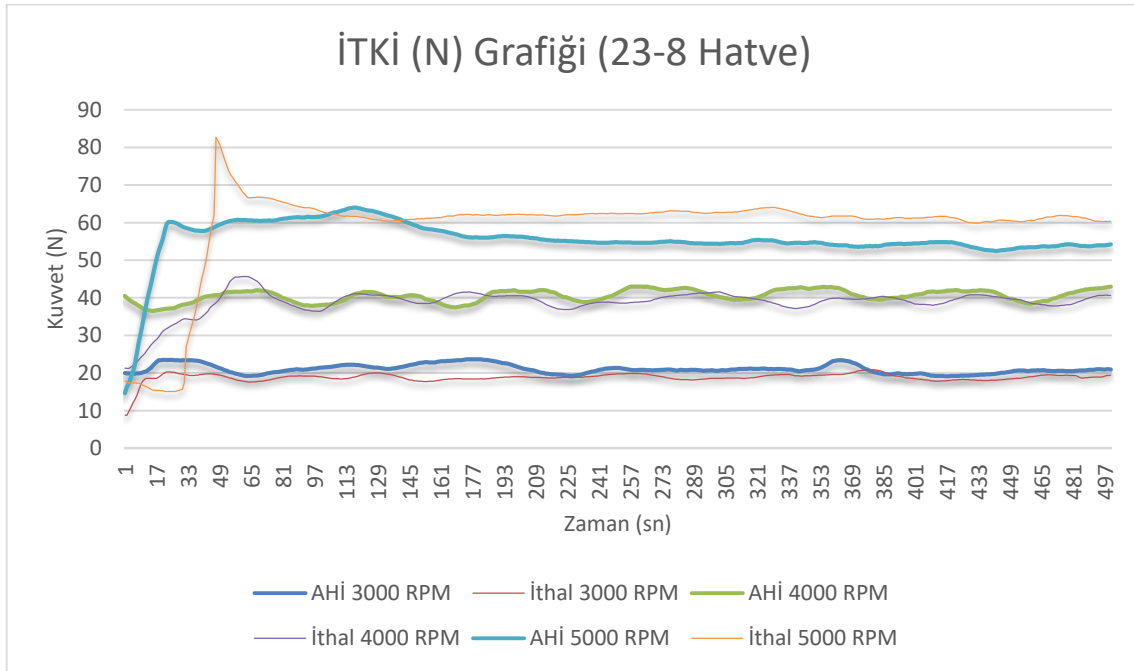
**Tablo 6.4.** Motor Performans Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar

Pervane	Model ve Kademe	İtki (N)	Motor Sıcaklık	Egzoz Sıcaklık	Devir (RPM)	Yakıt (dk/gram)	Yakıt/Devir	Kuvvet/Devir	Kuvvet/Yakıt
Tip 1 (24*10 Hatve)	AHİ 3000 1	25	181,5	186,6	3310,6	12,75	0,231	0,453	1,961
	İTHAL 3000 2	26,3	184,8	194,2	3178,6	12,15	0,229	0,496	2,165
	AHİ 4000 1	46,5	131,3	182,3	4326,1	14,62	0,203	0,645	3,181
	İTHAL 4000 2	31,6	101,9	192,6	4158,7	13,43	0,194	0,456	2,353
	AHİ 5000	73,1	159,4	177,3	4983,4	16,81	0,202	0,880	4,349
	İTHAL 5000	64,2	98,7	185,5	4746	16,1	0,204	0,812	3,988
Tip 2 (23*8 Hatve)	AHİ 3000	21,1	139,5	176,5	3320	11,76	0,213	0,381	1,794
	İTHAL 3000	19,35	230,19	187,84	3313,81	11,01	0,199	0,350	1,757
	AHİ 4000	39,6	213,2	168,5	4234,9	13,07	0,185	0,561	3,030
	İTHAL 4000	39,6	187,6	172,6	4209,9	12,97	0,185	0,564	3,053
	AHİ 5000	55	148	203,2	4855	17,03	0,210	0,680	3,230
	İTHAL 5000	55,3	196,1	134,9	4707,3	17,41	0,222	0,705	3,176

Tablo 6.4’de motorların her iki pervane için yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir. Bu çalışmada yerli motor “AHİ motor”, diğeri ise yurt dışından tedarik edildiği için “ithal motor” olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 6.3. 24-10 Hatve Pervane İçin İtki Grafiği



Şekil 6.4. 23-8 Hatve Pervane İçin İtki Grafiği

Uçaklar kalkış yaparken ve belli bir yüksekliğe (irtifaya) çıkarken yüksek bir güce ihtiyaç duyarlar. Belli bir irtifaya çıktıktan sonra hareketlerine devam ettirmek için daha düşük güçlere ihtiyaç duyarlar. Tablo 6.4’de her iki pervane için tam gazda yani kalkış, yatım gaz uçuş ve hızlı uçuş sırasında itkilerin karşılaştırılması adına bazı değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu tam gazda 24–10 pervane için 5000 Rpm’de Ahi marka İHA motorunun 73,1 N itki maksimum değer olarak elde edilmiştir. Aynı ebattaki pervane için ithal

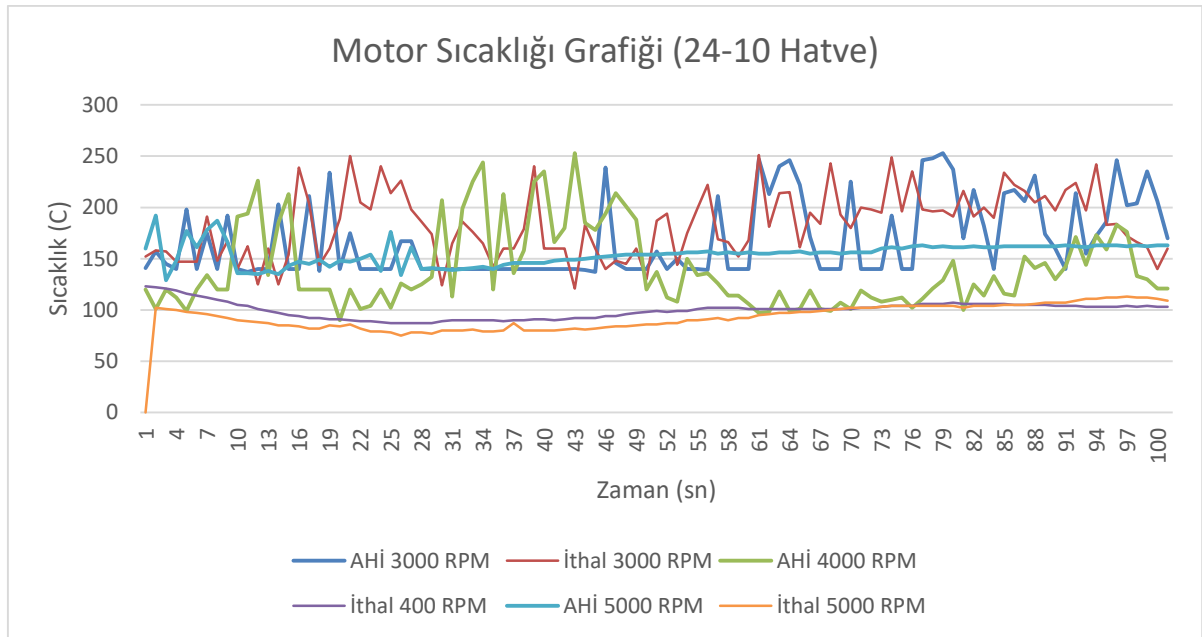
motorun 64,2 N itki maksimum değeri sonucudur. Bu tez çalışmasında maksimum kalkış performansı bakımından %14 daha verimli bir motor geliştirildiği görülmüştür.

Yarım gaz uçuş sırasında uygulanan bir yöntemdir ve uçuş sırasında elde edilen itki anlamına gelmektedir. Bu kapsamda ise 3000 Rpm’de Ahi motor 25 N itki değeri üretirken, ithal motor 26,3 N itki değeri üretmiştir. Yapılan hesaplamada Ahi motorda %5 oranda bir performans düşüklüğü belirlenmiştir.

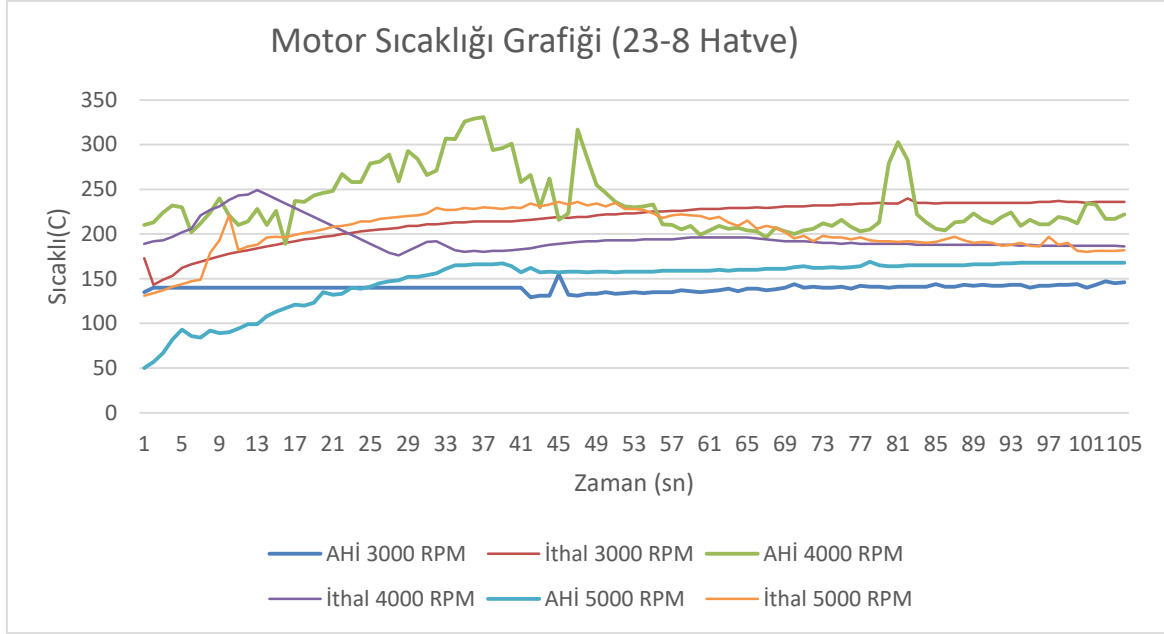
Ayrıca hızlı uçuş için belirlenen 4000 rpm de (Ahi motor 46,5 N, ithal motor 32,6) % 47 oranında daha yüksek itki değeri elde edilmiştir. Bu sonuçlar motorun hızlı uçuşlar için çok etkin olduğunu göstermiştir. Elde edilen bu değerlerin temel nedeninin yüksek sıkıştırma nedeni ile olduğu düşünülmektedir.

Tip 2 de tam gazda (4000 d/dk) 24-10 pervane için her iki motorda da 39,6 N itki elde edilmiştir. Burada aynı performans elde edilmiştir. Yarım gazda(3000Rpm) Ahi motor 21,1 N, İthal motorda 19,35 N itki elde edilmiştir. Burada yerli motorda %9 verim kaybı söz konusudur. Hızlı uçuş (5000 rpm) için ise Ahi motor 55 N, ithal motor 55,3 N güç üretmiş ve yerli motorda %0,5 daha düşük itki elde edilmiştir.

Şekil 6.3 ve şekil 6.4’de her iki pervane için itki (kuvvet/zaman) grafikleri ile Ahi motor ve ithal motorun zamana bağlı olarak ürettikleri kuvvetler, tam gaz, yarım gaz ve hızlı uçuş modlarına göre verilmiştir.

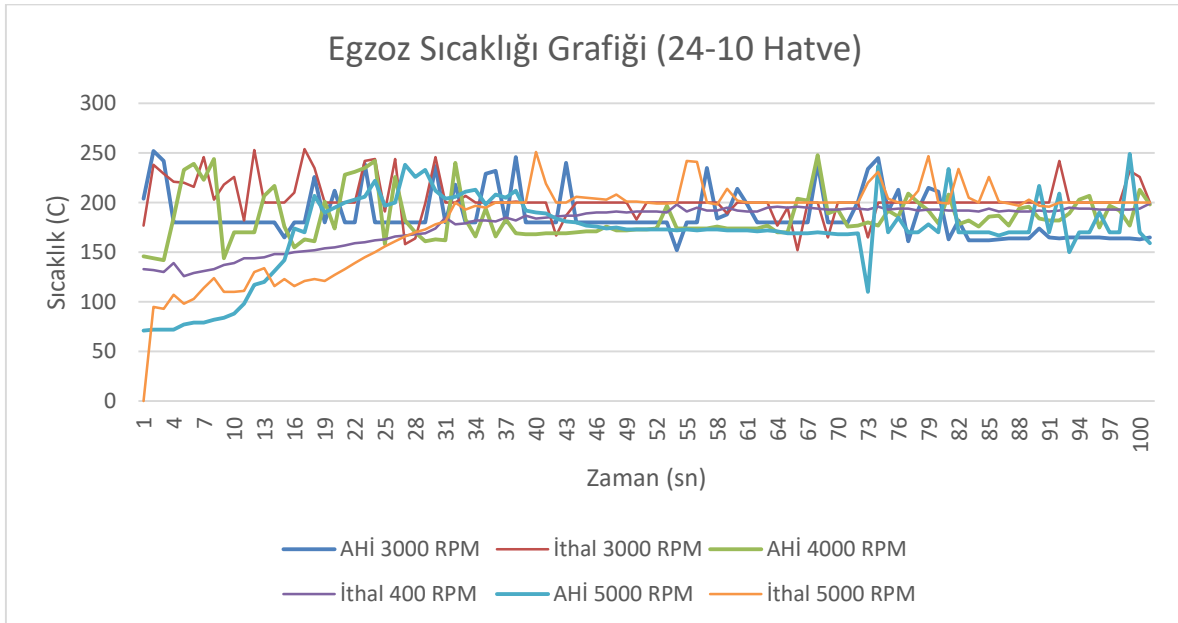


Şekil 6.5. 24-10 Hatve Pervane İçin Motor Sıcaklığı Grafiği

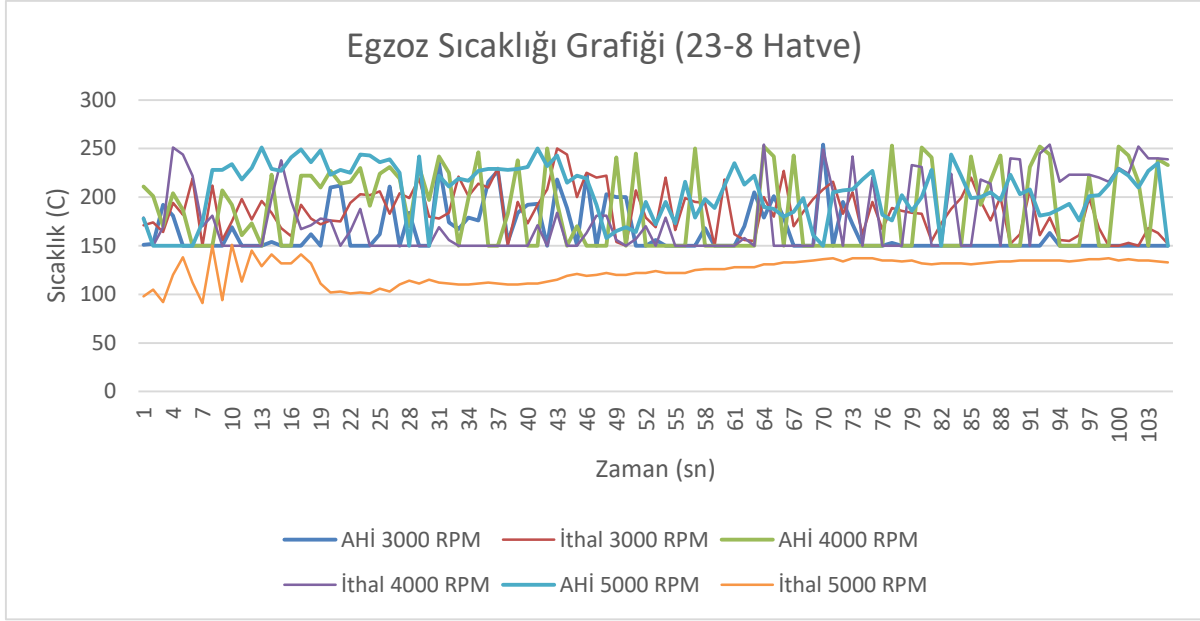


**Şekil 6.6.** 23-8 Hatve Pervane İçin Motor Sıcaklığı Grafiği

Motor sıcaklıklarını karşılaştırdığımızda; tip 1 de tam gaz ve hızlı uçuş modunda yerli motorda daha fazla sıcaklık değeri oluşurken, uçuş modunda yakın değerler elde edilmiştir. Tip 2 de ise uçuş ve hızlı uçuş modunda Ahi motor daha iyi bir motor ısısı performansına sahip iken kalkış modunda daha düşüktür. Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’de zamana bağlı motor sıcaklığı grafikleri her iki motor ve üç uçuş moduna göre verilmiştir.



**Şekil 6.7.** 24-10 Hatve Pervane İçin Egzoz Sıcaklığı Grafiği



**Şekil 6.8.** 23-8 Hatve Pervane İçin Egzoz Sıcaklığı Grafiği

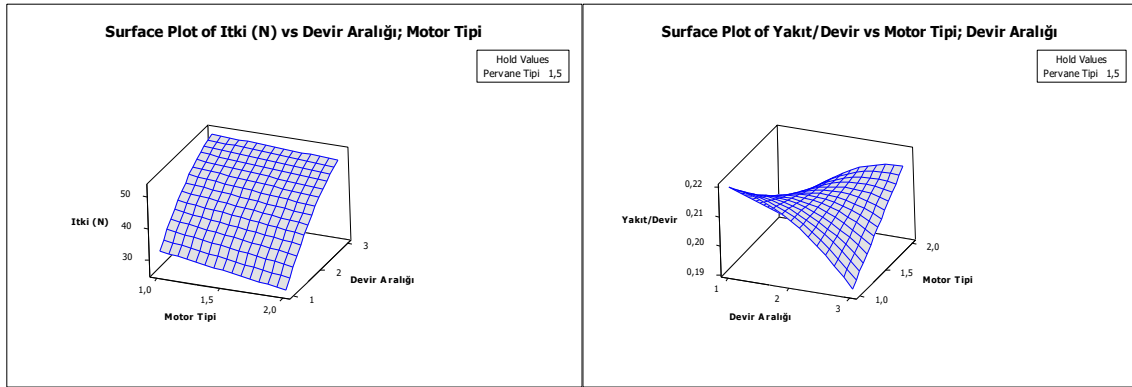
Egzoz sıcaklıkları ise her iki tip için göz ardı edilecek yakın değerlerdedir. Yalnız tip 2 hızlı uçuş modu için görülür bir fark vardır.

Motor sıcaklık sonuçları incelendiğinde genel olarak düşük devirlerde daha yüksek değerlerin ortaya çıktığı söylenebilir. Yakıt/devir oranı ürün performansı hakkında detaylı bilgi vermektedir. Buna göre büyük çaplı pervane için yapılan testlerde 4000 Rpm’de ideal sonuçlar elde edilmiştir. Daha küçük çaplar için yapılan testlerde daha düşük sonuçlar yine 4000 Rpm devir sayısında elde edilmiştir. Buna göre 0,185 değeri en düşük olan sonuçtur. Genel olarak yüksek oranda yakıt sarfiyatı olana AHİ HVS motorlarının itki oranlarının da aynı oranda arttığı belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre devir sayısı 3000 rpm’den 5000 rpm’ye çıkınca yakıt tüketiminin %31 – 48 oranı aralığında arttığı ayrıca belirlenmiştir. 4000 Rpm devrinde ise en yüksek kuvvet/devir değeri 5000 Rpm’de elde edilmiştir

Kuvvet/yakıt değişimleri ayrıca ele alınmıştır; böylece en yüksek itkinin elde edildiği ve en az yakıtın tüketildiği değer aralığı her iki motor için belirlenmiştir. Buna göre %8,5 oranında daha düşük performanslı bir motor üretimi yapıldığı belirlenmiştir. Bu durumun temel nedeni %13 lük oranında itki de elde edilen yüksek değerdir. Yani her ne kadar % 8,5 oranında kuvvet/tüketim değeri farklılık göstermiş olsa da bu işlem %13 daha yüksek itki üreten bir motorda elde edilmiştir. Ayrıca uçuş için en verimli aralığın yine 4000 Rpm olduğu bu değerler incelenerek belirlenmiştir.

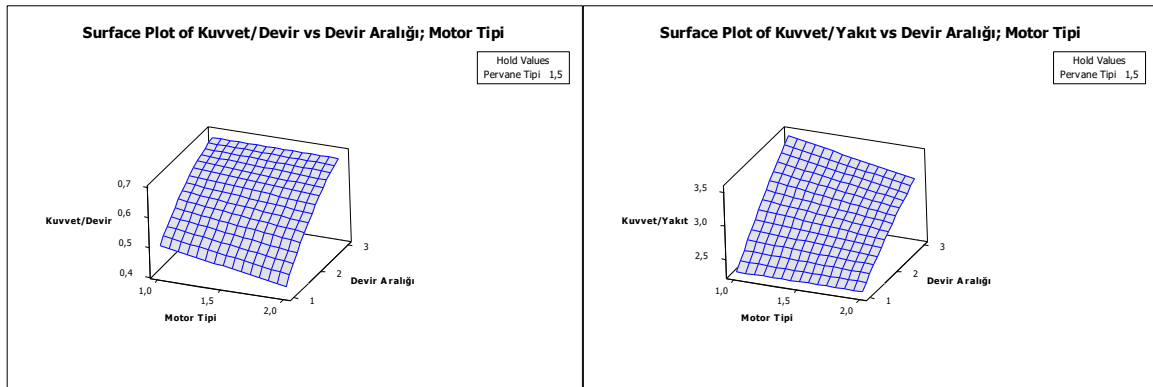
### 6.2.1. Respons Surface Method Surface Plot Sonuçları

RSM yöntemi surface plot özellikleri kullanılarak Şekil 6.9'deki grafikler elde edilmiştir. Buna göre itkiyi belirleyen faktörler arasında en çok etki eden parametre devir değişimleridir. Motor tipi itkiyi belirlemede önemli bir parametre değildir. İtki göz önüne alınan bir ihtiyaçta her iki motorda tercih edilebilir. Yakıt/Devir oranı sonuçlarında ise hem devir değişimlerinin hem de motor seçiminin etkili olduğu gözlemlenmiştir. 1. motor (Ahi Motor) için devir aralığı arttıkça yakıt/devir oranı lineer olarak elips şeklinde azalırken, 2. motor (ithal motor) non-lineer olarak artmaktadır. Bu sonuçlara göre 1. motor tercih edilir.



Şekil 6.9. İtki ve Yakıt/Devir'in Motor Tipi-Devir Aralığı Grafikleri

Farklı devir sayısı değişimlerinde ise motor değişimleri lineer olmayan sonuçlar sergilemiştir. Şekil 6.10'de görüldüğü gibi Kuvvet/Devir ve Kuvvet/Yakıt oranını belirleyen en önemli etkenin devir aralığı olduğu söylenebilir.

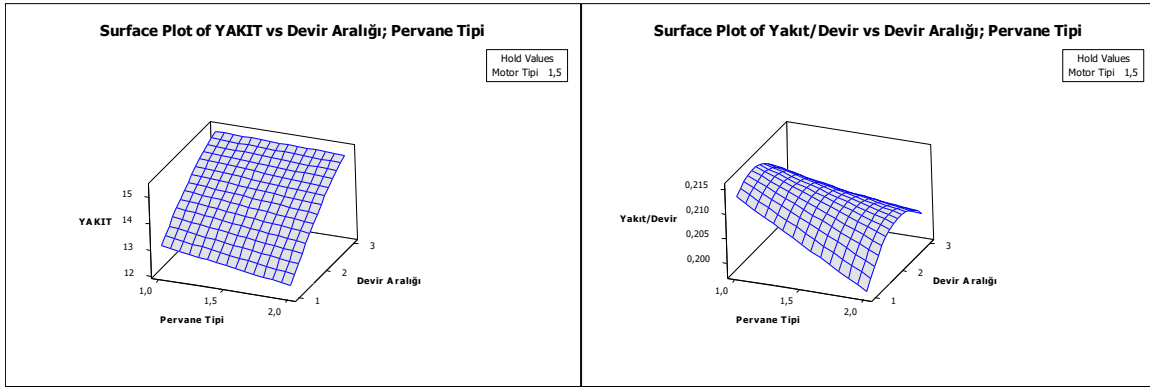


Şekil 6.10. Kuvvet/Devir ve Kuvvet/Yakıt'ın Motor Tipi-Devir Aralığı Grafikleri

Devir ne kadar yükselirse o nispette itki kuvveti oluşur ve bir o kadarda yakıt tüketimi artar. Optimize edilmiş motorlarda kuvvet/devir ve kuvvet/yakıt grafik eğrisi açısının düşük olması istenir. Buda daha az devirle daha fazla kuvvet ve daha az yakıt ile daha fazla kuvvet

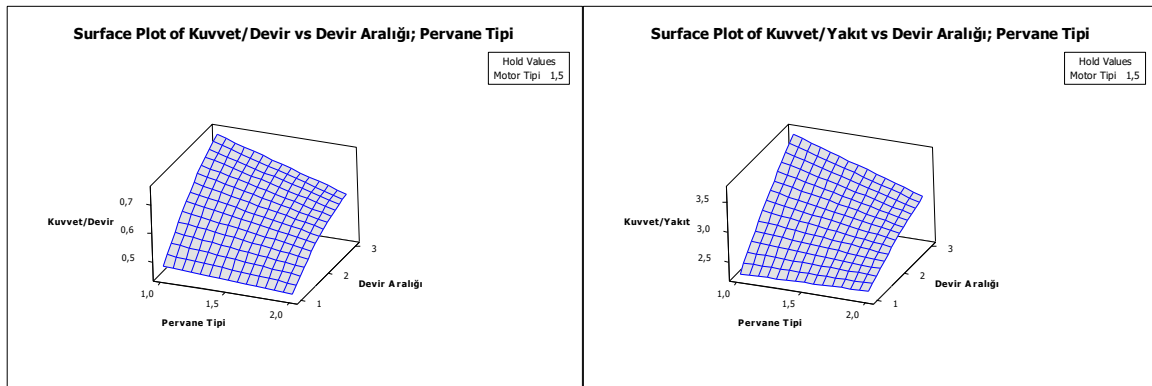
oluşturuyor demektir. Araştırmacıların ürettiği Ahi motor ile ithal motor verilerinin birbirine yakın olması her iki motorunda tercih edilebileceğini göstermektedir.

Şekil 6.11 incelediğimizde, yakıt tüketimini belirleyen yüksek oranda etken Devir Aralığı olurken, Yakıt/Devir oranı sonuçlarının değişimlerine pervane tipi lineer bir eğri olarak grafikte yer almıştır. Devir değişimlerinde ise yakıt/devir oranlarında elips şeklinde bir sonuç ortaya çıkmış olup 4000 Rpm de bu değer zirve yapmıştır. 3000 devirde yani uçuş modunda birim devir başına düşen yakıt miktarları tip 1 pervane için daha az iken kalkış modunda (4000 Rpm) en yüksek seviyeye çıkar. Devir 5000 Rpm'ye yükseltirken kalkış seviyesi kadar olmasa da düşüş olur. Aynı şekilde tip 2 pervane için kalkış ile uçuş modu arasındaki mesafe daha olacak şekilde benzer bir yapı vardır.



Şekil 6.11. Yakıt ve Yakıt/Devir'in Pervane Tipi-Devir Aralığı Grafikleri

Şekil 6.12 incelendiğinde Kuvvet/Devir ve Kuvvet/Yakıt parametrelerine pervane tipinin, devir aralığından daha az etkili olduğu görülmüştür. İtkiyi artırmak için yapılacak iki temel işlem vardır. Bunun için ya devir artırılır ya da pervane tipi değiştirilir (hatve acısı veya pervane boyu).

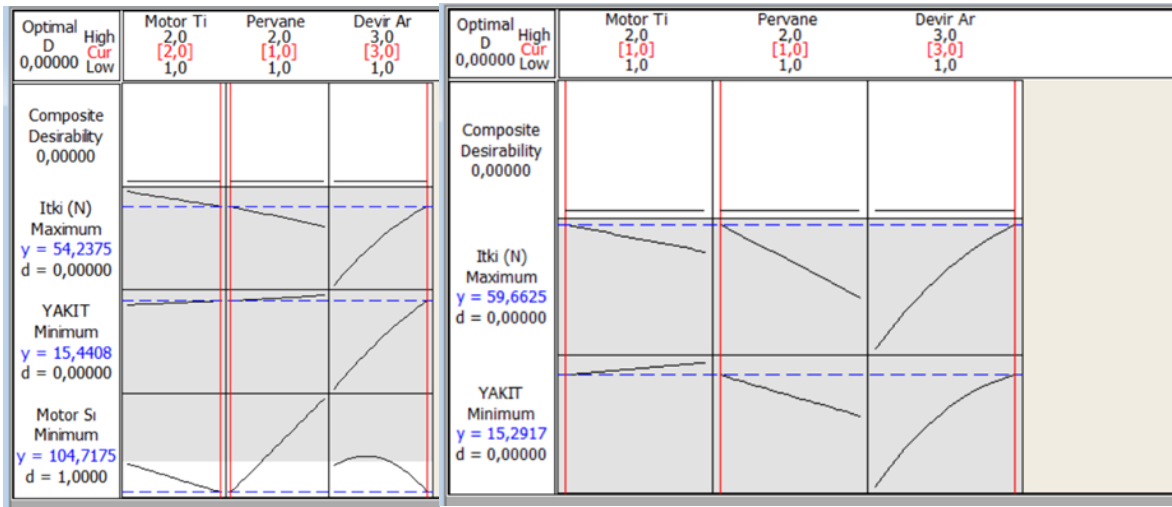


Şekil 6.12. Kuvvet/Devir ve Kuvvet/Yakıt'ın Pervane Tipi-Devir Aralığı Grafikleri

Yapılan bu analizler incelendiğinde, değişimlere sebep olan ana etkenlerin pervane tipi ve devir aralığı olması, motor tipinin ise çok daha az bir etken olması üretilen Ahi motorunun mübadil ithal motor kadar etkili hatta bazı başlıklarda üstün olduğu gözlemlenmiştir.

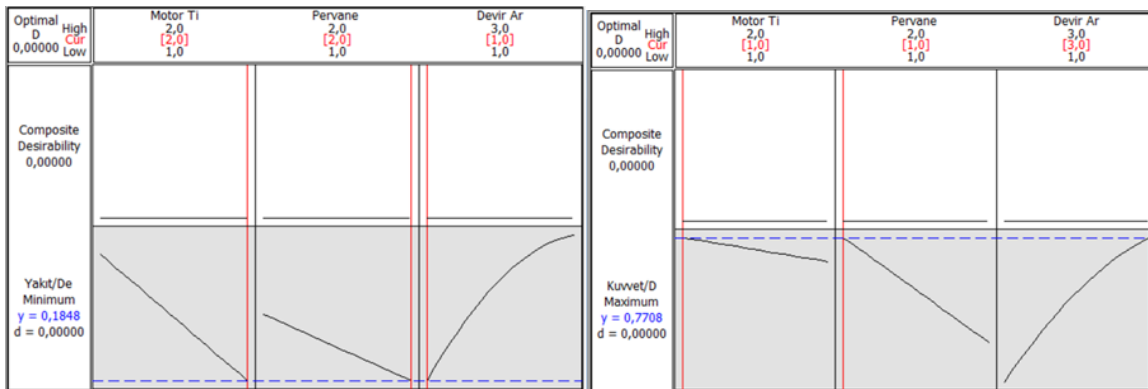
## 6.2.2. RSM Optimizer Sonuçları

RSM optimizer özelliği sayesinde, RSM yöntemi kullanılarak ideal parametre seviyeleri seçilebilir. Bu çalışmada itki için yapılan hesaplamada motor tipi 2, pervane 1 ve devir 3 seçilerek ideal sonuç elde edilmiştir. Yakıt değişimine göre yapılan hesaplamalarda motor tipi olarak 1. seçenek olan AHİ HVS belirlenmiştir. Yakıt değişiminde diğer parametreler pervane 1, devir aralığı 3 ideal sonuçlardır.

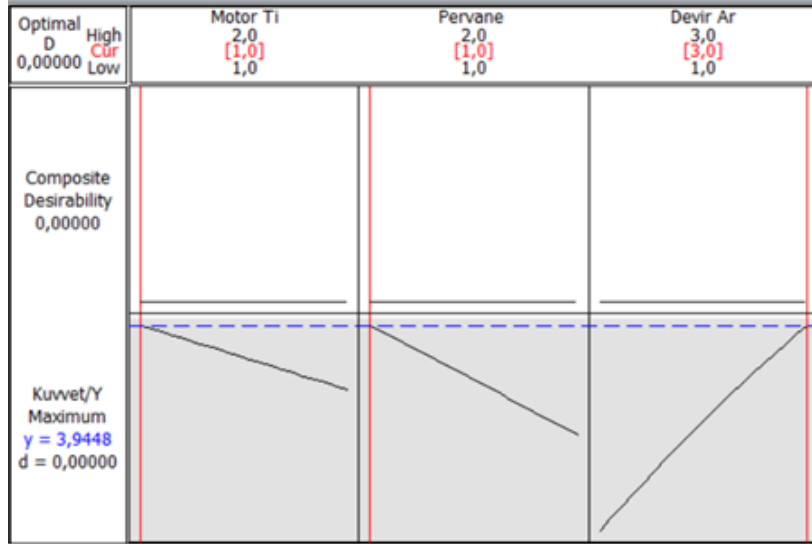


Şekil 6.13. RSM Optimizer Sonuç Grafikleri (İtki-Yakıt-Motor Sıcaklığı ve İtki-Yakıt.)

Yakıt/Devir minimum için ise 2,2,1 seçimi yapılması önerilmiştir. Ayrıca Kuvvet/Devir hesabı içinse 1,1,3 seçimi önerilmiştir. Yani yüksek kuvveti düşük devirde bu parametre seviyeleri seçilerek sağlanabileceği gözlemlenmiştir. Kuvvet/Yakıt da ise yüksek kuvvetin 1,1,3 seçimi ile sağlanabileceği belirlenmiştir.



Şekil 6.14. RSM Optimizer Sonuç Grafikleri (Yakıt/Devir ve Kuvvet/Devir.)

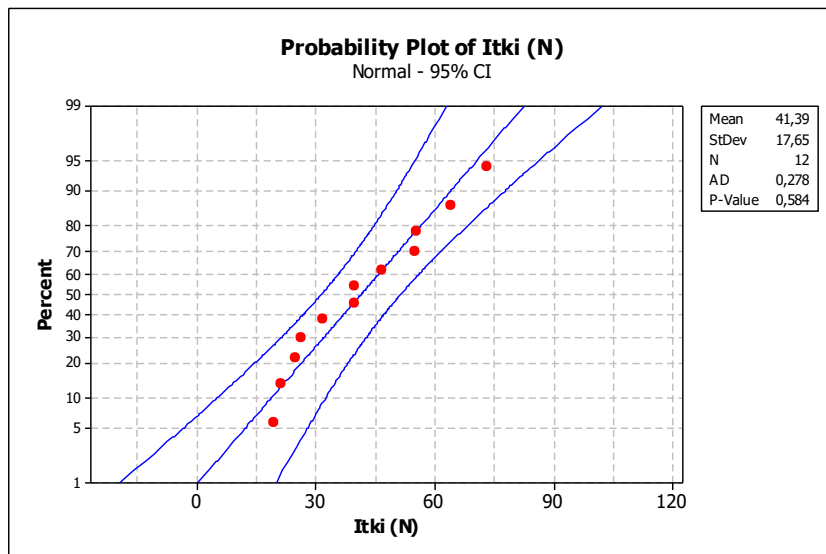


Şekil 6.15. RSM Optimizer Sonuç Grafikleri (Kuvvet/Yakıt)

RSM analiz çalışması, her bir parametreyi ayrı ayrı optimize sonuçlarını vermiştir. Motor seçiminde, hesaplanan farklı çalışma parametrelerinin komplike olduğu durum karşımıza çıkmaktadır. Çünkü kalkışta ayrı bir devire, uçuşta ayrı bir devire ve hızlı uçuş için ayrı bir devire ihtiyaç duyulur. Motor seçimi yapılırken toplam faydaya veya ihtiyaç duyulan çalışma koşullarına bakılır.

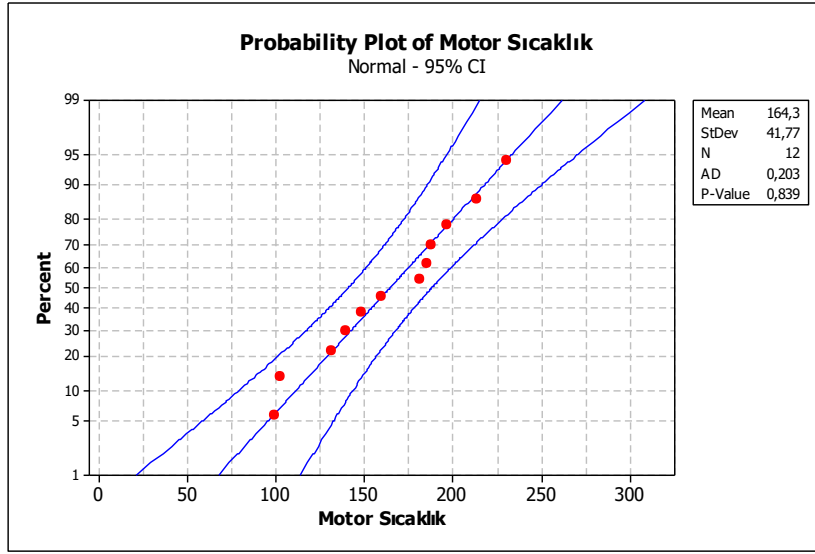
### 6.2.3. Probability Plot (P-P) Sonuçları

RSM olasılık sonuçları elde edilen verilerin güvenilirliğini öngören sonuçlardır. Elde edilen sonuçlar büyükten küçüğe doğru sıralanır. Bu değerler bir doğru etrafında sıralanıyorsa, elde edilen sonuçların hata oranının küçük olduğu söylenir.



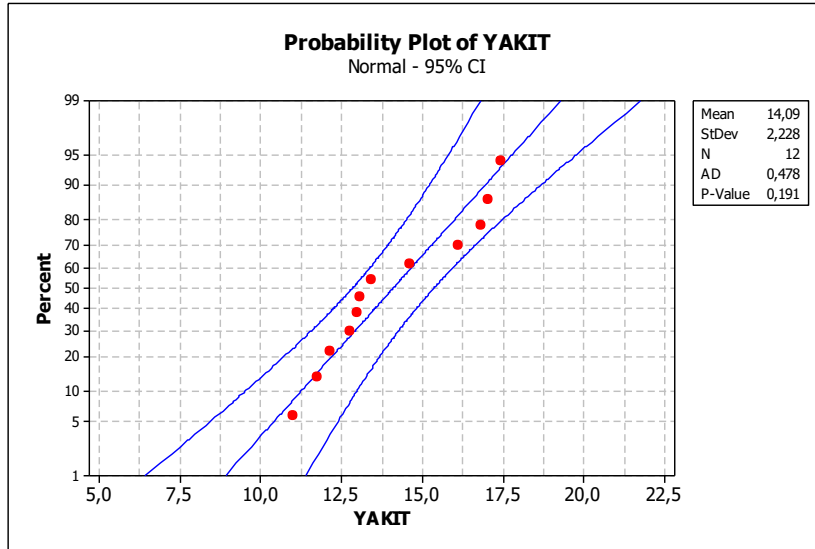
Şekil 6.16. İtki İçin RSM Probability Plot Sonuçları.

Şekil 6.16'da test düzeneğinde itki için elde edilen sonuçların grafikte yer almaktadır. Buna grafiğe göre sonuçların güvenilirlik sınırları aralığında kaldığı söylenebilir.



Şekil 6.17. Motor Sıcaklığı İçin RSM Probability Plot Sonuçları.

Aynı şekilde, motor sıcaklığı içinde şekil 6.17 incelendiğinde, itki gibi güvenilir sonuçlar elde edildiği söylenebilir.



Şekil 6.18. Yakıt İçin RSM Probability Plot Sonuçları

Her ne kadar yakıt grafiğinde sonuçlar itki ve motor sıcaklığı grafiklerinin biraz dışında kalsa da, güvenilirlik şartlarını sağladığı söylenebilir.

#### 6.2.4. ANOVA Analizi Sonuçları

Minitap programında deney tasarımına göre yapılan testlerde elde edilen sonuçların, Anova analizleri yapılarak Tablo 5, 6, 7, 8, 9, 10'ler elde edilmiştir.

General Linear Model: İtki (N); Motor Sıcaklığı; ... versus Motor Tipi; Pervane Tipi

Motor sıcaklık sonuçları incelendiğinde %86 oranında pervane tipinin değişimlerinin sonuçları değiştirdiği belirlenmiştir. Sabit durumda olan motor test düzeneğinin hava soğutma oranının pervane çapına bağlı olması nedeniyle böyle bir sonuç elde edildiği düşünülmektedir. Devir değişimleri ise yüzde 13 oranında bu sonuçlara etki etmiştir.

**Tablo 6.5.** Motor Sıcaklık İçin Varyans Analizi

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	% Etki	P
Motor Tipi	1	58	58	58	0,03	0,8	0,859
Pervane Tipi	1	5504	5504	5504	3,23	86,13	0,116
Devir Aralığı	2	1688	1688	844	0,49	13,07	0,630
Error	7	11944	11944	1706			
Total	11	19194					

$$S = 41,3078 \quad R\text{-Sq} = 37,77\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 2,21\%$$

Egzoz sıcaklığı değişimlerinde ise devir sayısındaki farklılıkların daha çok etkili olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 6.6.** Egzoz Sıcaklık İçin Varyans Analizi

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	% Etki	P
Motor Tipi	1	59,7	59,7	59,7	0,25	5,68	0,634
Pervane Tipi	1	468,3	468,3	468,3	1,94	44,91	0,206
Devir Aralığı	2	1064,6	1064,6	532,3	2,21	50,23	0,180
Error	7	1686,8	1686,8	241,0			
Total	11	3279,4					

Yakıt tüketimi sonuçlarının ANOVA analizleri incelendiğinde devir sayısındaki değişimler daha etkilidir. Ayrıca motor tipi pervane değişiminden daha etkin bir rol oynamıştır yakıt tüketimleri üzerinde.

**Tablo 6.7.** Yakıt İçin Varyans Analizi

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	% Etki	P
Motor Tipi	1	0,735	0,735	0,735	0,13	9,29	0,730
Pervane Tipi	1	0,568	0,568	0,568	0,10	7,14	0,762
Devir Aralığı	2	13,384	13,384	6,692	1,17	83,57	0,363
Error	7	39,903	39,903	5,700			
Total	11	54,590					

$$S = 2,38756 \quad R\text{-Sq} = 26,90\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 0,00\%$$

Yakıt/Devir sonuçlarında pervane tipinin % 75 oranında etkili olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 6.8.** Yakıt/Devir İçin Varyans Analizi

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	% Etki	P
Motor Tipi	1	0,0000113	0,0000113	0,0000113	0,03	3,80	0,857
Pervane Tipi	1	0,0001969	0,0001969	0,0001969	0,60	75,95	0,462
Devir Aralığı	2	0,0001037	0,0001037	0,0000518	0,16	20,53	0,856
Error	7	0,0022800	0,0022800	0,0003257			
Total	11	0,0025918					

$$S = 0,0180474 \quad R\text{-Sq} = 12,03\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 0,00\%$$

Kuvvet /Devir oranlarında ise elde edilen devirde daha fazla thrust anlamına gelmektedir. Bu kapsamdaki sonuçlar incelendiğinde öncelikli olarak pervane tipi ve çoğunlukla devir değişimlerinin etkin olduğu gözlemlenmektedir.

**Tablo 6.9.** Kuvvet/Devir İçin Varyans Analizi

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	% Etki	P
Motor Tipi	1	0,00391	0,00391	0,00391	0,15	5,38	0,711
Pervane Tipi	1	0,02087	0,02087	0,02087	0,80	28,67	0,402
Devir Aralığı	2	0,09645	0,09645	0,04822	1,84	65,95	0,228
Error	7	0,18350	0,18350	0,02621			
Total	11	0,30473					

$$S = 0,161907 \quad R-Sq = 39,78\% \quad R-Sq(adj) = 5,37\%$$

Kuvvet/Yakıt analizine bakıldığında %73 ile devir değişimlerinin etkisi gözlemlenmektedir. Aynı zamanda %21 pervane tipi etkisi de vardır.

**Tablo 6.10.** Kuvvet/Yakıt İçin Varyans Analizi

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	% Etki	P
Motor Tipi	1	0,0921	0,0921	0,0921	0,13	6,28	0,734
Pervane Tipi	1	0,3183	0,3183	0,3183	0,43	20,77	0,532
Devir Aralığı	2	2,2279	2,2279	1,1139	1,51	72,95	0,284
Error	7	5,1486	5,1486	0,7355			
Total	11	7,7869					

$$S = 0,857622 \quad R-Sq = 33,88\% \quad R-Sq(adj) = 0,00\%$$

## 7. TARTIŞMA

Motor üretiminde sürdürülebilir bir sistemin kurulması, onu geliştirmek kadar önemlidir. Yeterince teknik bilgiye ve imkâna sahip olunduktan sonra motor geliştirmek zor değildir. Sürdürülebilir bir sistem için, geliştirilen motorun sertifikasyonları, yedek parça tedariki, satılabilirliği, farklı segmentlerinin üretimi, yeterli devlet desteği, yetişmiş iş gücü ve teknik personel ihtiyacı gibi pek çok parametrenin bir araya gelmesi gerekir. Hatta yedek parçaların tedarikinde sıkıntı çekmemek için bu parçaların aynı sistem içerisinde üretilebilir olması da önemlidir. Tüm bu sayılanların (tüm paydaşların) bir araya geldiği böyle bir ekosistemde İHA, SİHA, TİHA, uçak, helikopter, tank diğer askeri ve sivil araçların ihtiyaç duyacağı motorların temini hızlı bir şekilde sağlayacaktır.

Sonuç olarak bu çalışmada şu verilere ulaşılmıştır:

- Tersine mühendislik yöntemi ile 61 cc Alçak İrtifa İHA motoru tasarlanmış ve optimizasyonu yapılmıştır.
- Üretim için üç hareketli parça için kullanılacak üçer malzeme seçilmiş ve testleri yapılmış, testler sonucu yüksek mukavemetli malzemeler belirlenmiştir.
- Seçilen malzemeler ile bir adet prototip motor üretimi yapılmış ve uçuş testleri başarıyla yapılmıştır.
- Aynı özelliklerde olan ithal bir motor ile performans testlerine tabi tutulmuş, sonuçlar titizlikle incelenip kıyaslamalar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir.
- Üretilen motorun ithal ürün kadar etkili olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmada, yerli İHA motorunun performansını etkileyen etkenin yakıt tüketimi olduğunu söyleyebiliriz. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde;

- Motor sıcaklığını daha dengeli ve düşük derecelerde tutmak, yakıt tüketimi ve motor ömrünü uzatmak için önemlidir. Bunun için tasarım geometrisi ve motor bloğu için kullanılan malzemelerin ısı transfer özelliklerinin incelenmesi ve bu konularda yeni çalışmaların yapılması gerektiği,
- Egzoz sıcaklığını aynı şekilde dengeli hale getirmek ve ısı transferini daha fazla sağlayabilecek optimizasyon çalışmaları yapılması ve performansa etkilerinin incelenmesi,
- Motor hareket uzuvları (piston, biyel kolu ve krank) için tercih edilen malzemeler dışında, farklı malzemelerin tercih edilmesi durumunda elde edilecek performans değerlerinin incelenmesi,

- Motor bloğu, piston, biyel kolu, ve krank için tasarım geometrisinde yapılacak değişimlerin (özellikle motoru hafifletecek tarzda) yakıt tüketimine ve diğer performans değerlerine etkisinin incelenmesi,
- Uluslararası piyasada tercih edilen başka motorlarla performans testleri yapılması ve elde edilecek değerlerin incelenmesi gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmanın literatürdeki bir boşluğu doldurmak açısından önemli olduğu gözlemlenmektedir. Yukarıda sayılan yapılması gerekenler listesinin her birinin yeni bir tez konusu olduğu, bu çalışmanın bir başlangıç olduğu görölmektedir. Yapılacak çalışmaların devlet ve üniversite-sanayi desteği olmadan yapılması oldukça zordur.

Bu çalışmadan yola çıkarak, farklı ebat ve performans değerlerinde motorların üretileceği aşikârdır. Hatta bu çalışma neticesinde, ortak çalışma yapılan AHI Motor firmasının 170 cc motor hacmine sahip bir motor çalışması başlatılmıştır.

## KAYNAKÇA

- Akkamış, M. & Çalışkan, S.** (2020). İnsansız Hava Araçları ve Tarımsal Uygulamalarda Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*. 2(1), 8-16.
- Aksoy, B. vd.** (2021). İnsansız Hava Aracı ile Görüntü İşleme ve Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Yangın Tespiti: Örnek Bir Uygulama. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 9, 112-122.
- Akyürek, S. Yılmaz, M. A. Taşkiran, M.** (2012). İnsansız Hava Araçları Muharebe Alanında ve Terörle Mücadelede Devrimsel Dönüşüm. *Bilge Adamlar Stratejik Araştırmalar Merkezi (BİLGESAM)*. Ankara.
- Aldemir, M.** (2020). Jet Motorlarında Hidrojenin Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Araştırılması. (Yüksrk Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi. Isparta.
- Altıparmak, B. T., Küçük, M. & Sürmen, A.** (2021). Walkel Motorunun Performansının Numerik Olarak İncelenmesi. *Uluslararası Yakıtlar, Yanma ve Yangın Dergisi*. 9(1), 9-18. 2018 Doi: 10.52702/fce.841524
- Arabacı, E.** (2012). Altı Zamanlı, Pistonlu İçten Yanmalı Motorlar. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (MAKÜ FEBED)*, 3(2): 37-45
- Aroo, H., Azadi, M., & Azadi, M.** (2022). Corrosion Effects on High-cycle Fatigue Lifetime and Fracture Behavior for Heat-treated Aluminum-matrix Nano-clay-composite Compared to Piston Aluminum Alloy. *Silicon*, 14(7), 3749-3763.
- Aselsan.** [Erişim: 09.01.2023], <https://www.aselsan.com.tr/tr/inovasyon/haber-detay/yeni-nesil-insansiz-hava-araclari-nano-insansiz-sistemler-ve-ortak-kullanim-konseptleri-4384>
- Ateş, E.,** (2021). Türkiye'nin İnsansız Hava Aracı (İHA) İhracat Rekabet Gücünün Analizi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*. 3(1), 7-16
- Aytaç, A., Işık, M. S., Çanakçı, B., Özdemir, T., Aztekin, K., & Hüseyin, İ. P. E. K.,** (2018). AISI 1008 1040 ve 4140 Çeliklerinde Isıl İşlem, Karbon Oranı ve Alaşım Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 17(2), 139-165.
- Ayyıldız, E.,** (2020). İnsansız Hava Araçlarının Kadastro Çalışmalarında Kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*. 2(1), 29-32.

- Balamurugan, C. M., Krishnaraj, R., Sakthivel, M., & Kanthavel, K.,** (2011). Computer Aided Modeling And Optimization Of Crankshaft. *International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 2, Issue 8,*
- Bako, S., Dogo, J. N., Umar, M. B., & Boro, I.,** (2021). Thermal and Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis of a Modified Two Stroke Spark Ignition Engine Block. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation, 8(4), 482-493.*
- Bao, T., Li, J., Liu, L., Li, H., Yang, Z., Guo, Y., ... & Zheng, J.** (2020). Evolution of Al-Si-Cu alloy in piston of diesel engine during knock damage. *Engineering Failure Analysis, 112,* 104501.
- Baray, Ş. A., & Sarı, T.** (2006). Kalite Geliştirmede Deney Tasarımı Yönetimi ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi , 35 (2), 37-62.*
- Baydoğan, M., Çimenoğlu, H., & Kayalı, E. S.** (2010). RRA İşleminin 7075 Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisi. *İTÜDERGİSİ/d, 3(6).*
- Büyük, S.** (2018). Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği Mevzuatının Türkiye Pazarına Etkisinin Analizi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Caligulu, U., Islak, S., Canakci, A., Gencsoy, U., & Kalli, R.** Evaluation of Microstructure and Mechanical Properties in the GGG40 Austempered Ductile Cast Iron.
- Canvar, U.** (2011). Dizel Motor Pistonunun sonlu Elemanlar Yöntemi İle Yapısal ve Termal Analizi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ceschini, L., Morri, A., Balducci, E., Cavina, N., Rojo, N., Calogero, L., & Poggio, L.** (2017). Experimental Observations Of Engine Piston Damage Induced By Knocking Combustion. *Materials & Design, 114,* 312-325.
- Chaudhari, M. J. K., & Barjibhe, R. B.** (2016). Experimental and Numerical Analysis Of Crankshaft Used In Hero Honda Splendor Motorcycle. *International Journal of New Technology and Research, 2(7), 263458.*
- Cho, Y. H., Lee, J. M., Yoon, W. H., & Jung, J. G.** (2014). Influence Of Ultrasonic Treatment On The Microstructure Of Hypereutectic Al-17 wt% Si Alloys. In *Materials Science Forum* (Vol. 794, pp. 89-94). Trans Tech Publications Ltd.
- Citti, P., Giorgetti, A., & Millefanti, U.** (2018). Current Challenges In Material Choice For High-Performance Engine Crankshaft. *Procedia Structural Integrity, 8,* 486-500.

**Çalışkan, O.** (2014). *Tornalamada Talaş Kaldırma Parametrelerinin Takım Ömrüne Etkilerinin Taguchi Yaklaşımıyla İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

**Çevik, O., & Aran, G.** (2009). Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (Fmea)\* Ve Piston Üretiminde Bir Uygulama. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 8(16), 241-265.

**Denge Harita.** [Erişim: 09.01.2023. <https://hkdengeharita.com/>]

**Ergül, E. U., Gezegin, C., & Yıldız, A.** (2019). Yanıt Yüzey Yöntemi Ve Genetik Algoritma Kullanılarak Transformatör Sargı En Sıcak Nokta Sıcaklığının Modellenmesi Ve Optimizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(2), 467-480.

**Esfahanian, V., Javaheri, A., & Ghaffarpour, M.** (2006). Thermal Analysis Of An SI Engine Piston Using Different Combustion Boundary Condition Treatments. *Applied Thermal Engineering*, 26(2-3), 277-287.

**Essienubong, I. A., & Bismarck, O. I.,** (2020). Design Analysis Of Reciprocating Piston For Single Cylinder İnternal Combustion Engine. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 4(2), 30-39.

**Friedrich, C., Berg, G., Broszeit, E., Rick, F., & Holland, J.** (1997). PVD CrxN Coatings For Tribological Application On Piston Rings. *Surface and Coatings Technology*, 97(1-3), 661-668.

**Gopal, G., Kumar, L. S., Reddy, K. V. B., Rao, M. U. M., & Srinivasulu, G.** (2017). Analysis of Piston, Connecting rod and Crank shaft assembly. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 7810-7819.

**Gökozan, H.** (2020). Traction Motors and Motor Drivers Used in Electric Vehicles. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 19, 105-111. Doi: 10.31590/ejosat.699699.

**Güngör, M.** (2019). *Cumhuriyetin Kuruluşundan Bugüne Yerli Uçak Üretimi Ve Havayolu Taşımacılığı*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

**Güzelgök, R. & Çetinkaya, S.** (2009). Model Bir Jet Motorunun Yapımı ve Test Edilmesi. *Politeknik Dergisi*. 12(1), 29-33.

**Hekimci, F.** (2008). Küreselleşen Dünya ve Yerli Malı?. Ulusal İktisat Kongresi. 20-22 Şubat 2008, DEÜ İİBF İktisat Bölümü.

- Hermawan, M. V., Anggono, A. D., Siswanto, W. A., & Riyadi, T. W. B.** (2019). The influence of material properties to the stress distribution on piston, connecting rod and crankshaft of diesel engine. *Int. J. Mech. Mechatronics Eng*, 19(6), 13-26.
- Hung, N. B., Jaewon, S., & Lim, O.** (2017). A Study Of The Scavenging Process İn A Two-Stroke Free Piston Linear Engine Using CFD. *Energy Procedia*, 142, 1353-1360.
- Millisavunma.com.** [Erişim:09.01.2023, <https://www.millisavunma.com/akinci-taaruzzi-ih/>]
- Infante, V., Silva, J. M., Silvestre, M. A. R., & Baptista, R.** (2013). Failure Of A Crankshaft Of An Aeroengine: A Contribution For An Accident İnterpretation. *Engineering failure analysis*, 35, 286-293.
- İslam, SM. R.** (2020). Transformation of Turbojet Engine. *Shenyang Aerospace University*. Ocak 2020. Doi: 10.13140/RG.2.2.26536.29445
- Kabadayı, A., & Uysal, M.** (2019). İnsansız Hava Aracı İle Elde Edilen Verilerden Binaların Tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*. 1(1), 8-14.
- Kaplan, Y., Nalbant, M., & Gökkaya, H.** (2011). AISI D2 ve AISI D3 Soğuk İş Çeliklerinin Delinmesinde İşleme Parametrelerinin Çapak Oluşumuna Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1(1), 37-46.
- Karthick, L., Mallireddy, N., Yogaraja, J., Sivakumar, S., & Sasikumar, A.** (2021). Modelling and Analysis of an EN8 crankshaft material in comparison with Forged steel crankshaft. *Materials Today: Proceedings*, 47, 6168-6172.
- Kaya, G., & Özdalyan, B.** (2017). İki Zamanlı Ters-Doğru Akışlı Benzinli Bir Motorun Performans Analizi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 170-182.
- Kerni, L., Raina, A., & Haq, M. I. U.** (2018). Performance Evaluation Of Aluminium Alloys For Piston And Cylinder Applications. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 18170-18175.
- Kılhoğlu, M.E.** (2021). İnsansız Hava Araçları'nın Gelişimi, Hukuki Statüleri ve Güvenlik Amaçlı Kullanımları. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*. Cilt 12, s 2 88-101. Doi: 10.18354/esam.1008099.
- Khameneh, M. J., & Azadi, M.** (2018). Evaluation Of High-Cycle Bending Fatigue And Fracture Behaviors İn EN-GJS700-2 Ductile Cast Iron Of Crankshafts. *Engineering Failure Analysis*, 85, 189-200.

**Kun, M. & Özcan, B.** (2019). Maden Ocaklarında İnsansız Hava Aracı Kullanımı: Örnek Bir Saha Çalışması. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*. 21(1), 554-564. DOI: 10.25092/baunfbed.624484.

**Kurt, E.** (2018). Türk Savunma Sanayii Tarihine Mikro Yaklaşım: Savunma Sanayii İşletmelerine Dair Bir Envanter ve Dönemselleştirme Çalışması. (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2018.

**Kurtlar, O. A. vd.** (2018). Tek Rotorlu Bir Wankel Motorunda Farklı Emme Penceresi Geometrilerinin Performans ve Emisyonlara Etkisi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi Üniversitesi*. 33:3. 809-819. Doi: 10.17341/gazimmfd.41683.

**Küçük, Ö., Kocakerim, MM, Çopur, M. ve Yartaşı, A.** (2005). (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Çözeltilerinde Üleksitin Çözünmesinin Optimizasyonu. *Kanada metalürjisi üç ayda bir*, 44 (1), 53-58.

**Küçük, Ö., Uran, Y.** (2022). Taguchi Yöntemi Kullanılarak Hafif Genleşmiş Kil Üretiminin Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 1-9.

**Mereuta, V.** Static and Thermal Analysis of Piston using FEM Analysis. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, ISSN, 2321-9653.

**Milli Eğitim Bakanlığı.** Uçak Bakım Alanı. Otomotiv Motor Mekaniği 1. Ankara 2013.

**Montazersadgh, F. H., & Fatemi, A.** (2007). Dynamic Load And Stress Analysis Of A Crankshaft. *SAE Technical Paper*, 258.

**Nageswararao, D. Ve Mukesh, G.** (2019). Thermo Structural Analysis of Two Stroke Si Engine Cylinder. *International Conference on Recent Innovations in Civil & Mechanical Engineering*. 72-80. DOI: 10.9790/1684-16053047280

**Nallicheri, N. V., Clark, J. P., & Field, F. R.** (1991). *Material Alternatives for the Automotive Crankshaft; A Competitive Assessment Based on Manufacturing Economics* (No. 910139). SAE Technical Paper.

**Osmanlı'nın ilk uçakları.** (2021). TUSAŞ MAG dergisi sayı 119.

**Özdemir, Ş.** (2013). İnsansız Hava Araçlarında Kullanılan Fırçasız Dc Motorların Kontrolü. (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul.

**Özer, N. F.** (2015). Küçük Bir İHA Turbojet Motoruna Ait Çeşitli Parametrelerin Performans Takibi ve Analizi. (Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Kasım 2015.

**Öztürk, B.** (2018). Alüminyum Esaslı Fittings Malzemelerin Tasarımı, Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi. (Doktora Tezi), Kastamonu Üniversitesi).

**Öztürk, B.** (2020). *Artroplastı Biyomühendislik Malzemelerinde Kırılma Analizleri ve Tasarım Geometrilerinde Optimizasyon*. (Doktora Tezi). Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

**Öztürk, B. ve Kara, F.** (2020). 6061 Alaşımının Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Ve Enerji Tüketiminin Hesaplanması Ve Tahmini. *Malzeme Bilimi ve Mühendisliğindeki Gelişmeler*, 2020.

**Pandiyan, A., Arun Kumar, G., Shaik Asif, S., & Patel, A.** (2018). Design And Optimization Of Crankshaft For Single Cylinder 4 – Stroke Spark Ignition Engine Using Coupled Steady-State Thermal Structural Analysis. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 9(7), 135-145.

**Pandiyan, A., Arun Kumar, G., Shaik Asif, S., & Patel, A.** (2019). Parametric Optimization of Single-Cylinder Four-Stroke Spark Ignition Engine Crankshaft Using Four Different Materials—AISI 1040, AISI 4340, AISI 4140 and AISI 4615. In *Advances in Manufacturing Technology* (pp. 587-593). Springer, Singapore.

**Sakin, R., Kumru, N., & Ay, İ.** (2010). Eksenel Vantilatör Kanatları İçin Alüminyum Alaşımı Ve Cam/Polyester Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. *13. Uluslararası Malzeme Sempozyumu*. 13-15 Ekim 2010 – Pamukkale Üniversitesi – Denizli.

**Sandeep, A., John, M. V., & Jani, S. P.** (2021). Theoretical Modelling And Analysis Of A Four-Wheeler Crank Shaft By Different Aluminum Alloys. *Materials Today: Proceedings*, 45, 1679-1683.

**Savunmasanayii.ergilik.com.** Osmanlı'nın İlk Uçakları. [Erişim: 16.01.2023, <https://www.savunmasanayii.ergilik.com/tr/HaberDergilik/Osmanli-nin-ilk-ucaklari>

**Sel, F.** (2019). *Sivil Havacılığın Etkinlik ve Verimlilik Analizi: Türk Hava Yolları ve Pegasus Hava Yolları Örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi. Karabük, Temmuz 2019.

**Sever, H.** (2021). İnsansız Hava Aracı Sistemlerinde Stratejik Yönetim ve SWOT Analizi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 10(2), 1179-1207.

**Silva, F. S.** (2003). An investigation into the mechanism of a crankshaft failure. In *Key Engineering Materials* (Vol. 245, pp. 351-358). Trans Tech Publications Ltd.

**Silva, F. S.** (2006). Fatigue on engine pistons–A compendium of case studies. *Engineering failure analysis*, 13(3), 480-492.

**Sonawane, U., & Mustafi, N. N.** (2020). Design and Development of Small Engines for UAV Applications. In *Advanced Combustion Techniques and Engine Technologies for the Automotive Sector* (pp. 231-246). Springer, Singapore.

**Şen, G.** (2021). Türk Havacılığında Girişimcilik Faaliyetleri: Türkiye’de Yerli Uçak Üretimi Çalışmaları Üzerine Bir Araştırma. *Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 190- 208.

**Şen, S.** (2021). Thermodynamic Analysis Of A Small-Scale Gas Turbine Jet Engine. *International Journal of Aeronautics ans Astronautics*. 2(1), 14-17.

**TEI.** *Motor Tasarım ve Ürün Geliştirme.* [Erişim: 05.04.2022, <https://www.tei.com.tr/tr/faaliyet-alanlari/motor-tasarim-ve-urun-gelistirme>]

**Tekindal, M. A.** (2009). Yanıt Yüzeyi Metodu Ve Bir Uygulama. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

**Thejasree, P., Kumar, G. D., & Lakshmi, S. L. P.** (2017). Modelling and Analysis of Crankshaft For Passenger Car Using ANSYS. *Materials today: proceedings*, 4(10), 11292-11299.

**Tıǧlı, Ö.** Anova Analysis On Phase Synchronization Estimations In Contrasting Emotional States By Means Of EEF, (Yüksek Lisans Tezi). Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 2016.

**Türkhavacılık Uzaysanayii.** Anka [Erişim: 16.01.2023. <https://www.tusas.com/urunler/iha/operatif-stratejik-iha-sistemleri/anka>]

**Uzunonat, Y.** (2016). Uçak Motoru Uygulamalarında Alternatif Çözümler: Mosi2 Esaslı Malzemelerin Yapısal Eleman Olarak Kullanımı. *Mühendis ve Makina*, 57(679), 44-52.

**Ülküer, F. A., Temurtaş, H. D. ve MGEO.,** (2021). İnsansız Hava Araçlarının Tarihçesi. *Aselsandergi*, 110, 6-9

**Yalçın, O.** (2009). Mühürdarzade Nuri Bey’in (Demirağ) Hayatı ve Çalışmaları (1886-1957). Ankara Üniversitesi Türk İnkılâp Tarihi Enstitüsü Atatürk Yolu Dergisi, 44, 743-769.

**Yetgin, A. G.** (2017). Asenkron Motor Mil Çapının Motor Performansına Etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. Doi: 10.16984/saufenbilder.309406

**Yıldırım, G.** (2021). Savunma Sanayisi 2022’de de Hız Kesmeyecek. [Erişim: 05.04.2022 <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/savunma-sanayisi-2022de-de-hiz-kesmeyecek/2402896>]

**Yılmaz, E., Polat, S., Solmaz, H., Aksoy, F., & Çınar, C.** (2020). Buji ile Ateşlemeli Tek Silindirli Bir Motorda Krank-Biyel Ve Rhombic Hareket Mekanizmalarının Termodinamik Olarak Karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 595-606.

**Yiğit, E. Yazar, I. & Karakoç, T. H.** (2018). İnsansız Hava Araçları (İHA)'nın Kapsamlı Sınıflandırması ve Gelecek Perspektifi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 10-19. DOI: 10.23890/SUHAD.2018.0102