

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

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KULLANILAN PİSTONLARIN MALZEME VE  
KAPLAMA ÖZELLİKLERİNİN AŞINMA PERFORMANSINA ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSMAİL HARBİ

TEZ DANIŐMANI  
DOÇ. DR. BURAK ÖZTÜRK

BİLECİK, 2023

10530512

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

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KULLANILAN PİSTONLARIN MALZEME VE  
KAPLAMA ÖZELLİKLERİNİN AŞINMA PERFORMANSINA ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSMAİL HARBİ

TEZ DANIŐMANI  
DOÇ. DR. BURAK ÖZTÜRK

BİLECİK, 2023

10530512

## BEYAN

“İnsansız Hava Araçlarında Kullanılan Pistonların Malzeme ve Kaplama Özelliklerinin Aşınma Performansına Etkisinin İncelenmesi” 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>		...../..... .....	

İsmail HARBİ

..../..../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 Doç. Dr. Sıtkı AKINCIOĞLU, AHİ Havacılık şirketine ve Bilecik KOSGEB İl Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Savunma sınavı sırasında değerli jüri üyelerim Sayın Doç. Dr. Fatih APAYDIN, Dr. Öğr. Üyesi Gülşah AKINCIOĞLU'na 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 kıymetli eşime teşekkür ederim.

**İsmail HARBİ**

**2023**

## ÖZET

### İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KULLANILAN PİSTONLARIN MALZEME VE KAPLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İçerisinde insan olmaksızın uçuş yapabilen ve bir kontrol bağlantısı ile pilot tarafından kontrol edilen veya otonom operasyon planlaması ile uçurulan hava araçları İnsansız Hava Aracı (İHA) olarak adlandırılmaktadır.

İnsansız Hava Araçları, ilk olarak elektrikli model uçaklar şeklinde ortaya çıkmıştır. Ülkemizde ise 1990'lı yıllarda modelcilik hobisi şeklinde başlayan İHA faaliyetleri, teknolojik gelişmelerin paralelinde ve ticari girişimler sonucunda, farklı kullanım alanlarına sahip ve ihracatı yapılan özel bir alana dönüşmüştür.

İnsansız Hava Araçlarında, düşük ağırlıklı ve yüksek tork değeri üretilen içten yanmalı motorların kullanımı yaygın olmakla beraber günümüzde özellikle düşük irtifa (1000 – 2000 m arası) ve küçük ölçekli İHA üretiminde iki zamanlı içten yanmalı motorların yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmektedir.

Bu çalışmamızda; Tersine Mühendislik ve Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanılmak suretiyle en çok talep gören ve bu nedenle yurtdışından ithal edilen, ülkemizde ise üretimi bulunmayan iki zamanlı içten yanmalı düşük irtifa 61 cc İHA motorunun tüm metalürjik özellikleri üzerinde yerli ve milli olarak daha ekonomik bir bulut altı görev icra edilebilecek motor geliştirmek üzere inceleme yapılmıştır.

Araştırma çalışmamızın sonucunda, tarafımızca gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre ideal malzeme özellikleri tespit edilmiş ve ilk örnek 61 cc motor araştırmacılar tarafından üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen motorun uçuş testleri kanat açıklığı 3 metre olan bir İHA kullanılarak tamamlanmıştır. Neticeten bu araştırma ile üniversite – sanayi işbirliği kapsamında yerli ve milli özellik taşıyan, ithal motorlar ile rekabet edebilecek kalitede bir İHA motoru üretimi gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tersine Mühendislik, İHA, EDX, Alüminyum Alaşımlar

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF MATERIAL AND COATING PROPERTIES OF PISTONS USED IN UNMANNED AERIAL VEHICLES

Aircraft that can fly without a human inside and are controlled by a pilot with a control link or flown with autonomous operation planning are called Unmanned Aerial Vehicles (UAV).

Unmanned Aerial Vehicles first appeared in the form of electric model airplanes. In our country, UAV activities, which started as a modeling hobby in the 1990s, have turned into a special area with different usage areas and exported in parallel with technological developments and as a result of commercial initiatives.

Although the use of low-weight and high-torque internal combustion engines is common in Unmanned Aerial Vehicles, it is observed that two-stroke internal combustion engines are widely used today, especially in low-altitude (1000-2000 m) and small-scale UAV production.

In this study; By using Reverse Engineering and Finite Element Method (FEM), a more economical under-cloud mission locally and nationally on all metallurgical properties of the two-stroke internal combustion low-altitude 61 cc UAV engine, which is the most demanded and therefore imported from abroad and not produced in our country. A review has been made to develop an engine that can be performed.

As a result of our research work, ideal material properties were determined according to the results of the experiments carried out by us and the first example 61 cc engine was produced by the researchers. The flight tests of the manufactured engine were completed using a UAV with a wingspan of 3 meters. As a result, with this research, a UAV engine with domestic and national characteristics, capable of competing with imported engines, was produced within the scope of university-industry cooperation.

**Keywords:** Reverse Engineering, UAV, EDX, Aluminum Alloys

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	1
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Havacılık ve İHA.....	1
1.2. İçten Yanmalı Motorların Gelişimi.....	6
1.3. Havacılıkta Piston Motor Kullanımı.....	8
1.4. İha'larda Motor Kullanımı.....	13
1.4.1. Gaz Türbin Motorları.....	13
1.4.2. Elektrik Motorları.....	14
1.4.3. Piston Motorları.....	15
2. ALUMİNYUM ALAŞIMLARI VE AŞINMA.....	17
2.1. Alüminyum.....	17
2.1.1. Piston Malzemesi Olarak Kullanılabilen Alaşım lar.....	20
2.1.2. 2000 Serisi (Al-Cu Alaşım ları).....	20
2.1.2. 4000 Serisi (Al-Si Alaşım ları).....	21
2.1.2. 6000 Serisi (Al-Si-Mg Alaşım ları).....	21
2.1.2. 7000 Serisi (Al-Si-Mg Alaşım ları).....	21
2.2. Aşınma Teorisi.....	22
3.RSM METODU.....	24
4.LİTERATÜR ÖZETİ.....	26
5.MATERYAL METOT.....	29
5.1. Tersine Mühendislik ile Malzeme Tespiti.....	29
5.1.1. Motor Parçası Sem Analizleri.....	29
5.2. Motor Aşınma Testleri.....	31
5.2.1. Aşınma Test Düzen e ği.....	31
5.2.2. Doe ( Deney Tasarımı).....	33
5.2.2.1. Deney 1.....	33
5.2.2.2. Deney 2.....	35

<b>6.SONUÇLAR</b> .....	<b>40</b>
<b>6.1. EDX ve SEM Sonuçları</b> .....	<b>40</b>
<b>6.2. Test Sonuçları</b> .....	<b>46</b>
<b>6.2.1. Deney 1</b> .....	<b>47</b>
<b>6.2.2. Deney 2</b> .....	<b>48</b>
<b>6.3. Aşınma Grafikleri</b> .....	<b>51</b>
<b>6.4. RSM Sonuçları</b> .....	<b>65</b>
<b>6.4.1. Deney 1</b> .....	<b>65</b>
<b>6.4.2. Deney 2</b> .....	<b>73</b>
<b>6.5. ANOVA Analizi Sonuçları</b> .....	<b>81</b>
<b>6.5.1. Deney 1</b> .....	<b>81</b>
<b>7.SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>83</b>
<b>KAYNAKÇA</b> .....	<b>84</b>

## TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
<b>Tablo 2.1.</b> Alüminyumun genel özellikleri.....	17
<b>Tablo 2.2.</b> Alüminyumun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ve diğer metallerle karşılaştırılması.....	18
<b>Tablo 2.3.</b> Alüminyum ve alaşımlarının uygulama alanları ve ürün biçimleri.....	19
<b>Tablo 5.1.</b> Deney 1 için kullanılan deney tasarımı .....	34
<b>Tablo 5.2.</b> Deney 2 için kullanılan deney tasarımı 1 .....	36
<b>Tablo 5.3.</b> Deney 2 için kullanılan deney tasarımı 2.....	37
<b>Tablo 6.1.</b> Motor parçaların analiz sonuçları .....	41
<b>Tablo 6.2.</b> Parçaların kimyasal analiz sonuçları .....	41
<b>Tablo 6.3.</b> Montaj ürünleri spektral analiz sonuçları.....	45
<b>Tablo 6.4.</b> Kaplamalı ürünlerin spektra analiz sonuçları .....	45
<b>Tablo 6.5.</b> Deney 1 için aşınma ve sürtünme testlerinin sonuçları.....	48
<b>Tablo 6.6.</b> Deney 2 aşınma ve sürtünme testlerinin sonuçları .....	49
<b>Tablo 6.7.</b> Etial 145 aşınma direnci.....	50
<b>Tablo 6.8.</b> 6000 serisi aşınma direnci.....	50
<b>Tablo 6.9.</b> 7000 serisi aşınma direnci.....	51
<b>Tablo 6.10.</b> Analysis of Variance for Sürtünme, using Adjusted SS for Tests.....	81
<b>Tablo 6.11.</b> Analysis of Variance for 2.PAR, using Adjusted SS for Tests.....	81
<b>Tablo 6.12.</b> Analysis of Variance for Aşınma Direnci, using Adjusted SS for Tests.....	82

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Tek Silindirli 61 cc Motora Sahip İHA.....	1
Şekil 1.2. İlk sıcak hava balon uçuşu, 1783 .....	2
Şekil 1.3. Wright Kardeşler'in Kitty Hawk'daki planör denemeleri, 1903 .....	3
Şekil 1.4. Avusturyalıların patlayıcı dolu insansız balonları. ....	4
Şekil 1.5. Heron'un Buhar Makinesi .....	6
Şekil 1.6. "Uçan Makine" için Charles Taylor'un yaptığı motor .....	8
Şekil 1.7. 9-C rotary motor Le Rhone .....	10
Şekil 1.8. Radyal uçak motoru hava soğutmalı.....	11
Şekil 1.9. B-24 "Liberator" .....	12
Şekil 1.10. Cessna 172 uçağının Continental O-300 in line motoru.....	13
Şekil 1.11. Fırçalı ve Fırçasız DC Motorun genel Yapısı .....	14
Şekil 1.12. Radyal Tipi Motor Görünümü.....	15
Şekil 5.1. İki zamanlı bir motorun patlatılmış resmi.....	29
Şekil 5.2. Numune kesme makinesi .....	30
Şekil 5.3. Bakalit makinesi.....	30
Şekil 5.4. Zeiss marka SEM cihazı .....	31
Şekil 5.5. Türkyus marka Pin On disk aşınma test cihazı.....	32
Şekil 5.6. Radwag marka hassas terazi ve test numunesi .....	32
Şekil 6.1. SEM fotoğrafları a) Piston, b) Rulman yatağı, c) Gömlek, d) Yakıt Giriş kapağı.....	40
Şekil 6.2. SEM fotoğrafları a) Segman kaplanmış, b) Piston kaplanmış .....	40
Şekil 6.3. EDX analizi sonuç grafiği 1 .....	41
Şekil 6.4. EDX analizi sonuç grafiği 2.....	42
Şekil 6.5. EDX analizi sonuç grafiği 3.....	42
Şekil 6.6. EDX analizi sonuç grafiği 4.....	43

<b>Şekil 6.7.</b> EDX analizi sonuç grafiği 5.....	<b>43</b>
<b>Şekil 6.8.</b> EDX analizi sonuç grafiği 6.....	<b>43</b>
<b>Şekil 6.9.</b> Şekil 6.9. SEM mikroskobu sonuçları a)Piston, b)Rulman Yatağı, c)Gömlek, d)Yakıt giriş Kapağı.....	<b>44</b>
<b>Şekil 6.10.</b> AHİ HVS düşük irtifa 61 cc İHA motoru.....	<b>46</b>
<b>Şekil 6.11.</b> Deney 1 300 RPM-2N da sürtünme grafiği.....	<b>52</b>
<b>Şekil 6.12.</b> Deney 1 300 RPM-7N da sürtünme grafiği.....	<b>53</b>
<b>Şekil 6.13.</b> Deney 1 600 RPM-2N da sürtünme grafiği.....	<b>54</b>
<b>Şekil 6.14.</b> Deney 1 300 RPM-7N da sürtünme grafiği.....	<b>55</b>
<b>Şekil 6.15.</b> Deney 2 20 °C-2N da sürtünme grafiği.....	<b>56</b>
<b>Şekil 6.16.</b> Deney 2 120 °C -10 N da sürtünme grafiği.....	<b>57</b>
<b>Şekil 6.17.</b> Deney 2 240 °C -18 N da sürtünme grafiği.....	<b>58</b>
<b>Şekil 6.18.</b> Deney 2 20 °C -10 N da sürtünme grafiği.....	<b>59</b>
<b>Şekil 6.19.</b> Deney 2 120 °C -18 N da sürtünme grafiği.....	<b>60</b>
<b>Şekil 6.20.</b> Deney 2 240 °C -2 N da sürtünme grafiği.....	<b>61</b>
<b>Şekil 6.21.</b> Deney 2 20 °C -18 N da sürtünme grafiği.....	<b>62</b>
<b>Şekil 6.22.</b> Deney 2 120 °C - 2 N da sürtünme grafiği.....	<b>63</b>
<b>Şekil 6.23.</b> Deney 2 240 °C -10 N da sürtünme grafiği.....	<b>64</b>
<b>Şekil 6.24.</b> Sürtünme, dönüş hızı ve kuvvet grafiği.....	<b>65</b>
<b>Şekil 6.25.</b> Sürtünme, dönüş hızı ve kaplama tipi grafiği.....	<b>66</b>
<b>Şekil 6.26.</b> Sürtünme, kaplama tipi ve kuvvet grafiği.....	<b>66</b>
<b>Şekil 6.27.</b> Sürtünme için RSM optimizasyon analizi.....	<b>67</b>
<b>Şekil 6.28.</b> Ağırlık kaybı, dönüş hızı ve kuvvet grafiği.....	<b>68</b>
<b>Şekil 6.29.</b> Ağırlık kaybı, dönüş hızı ve kaplama tipi grafiği.....	<b>68</b>
<b>Şekil 6.30.</b> Ağırlık kaybı, kaplama tipi ve kuvvet grafiği.....	<b>69</b>
<b>Şekil 6.31.</b> Ağırlık kaybı için RSM optimizasyon analizi.....	<b>69</b>

Şekil 6.32. Aşınma direnci, dönüş hızı ve kuvvet grafiği .....	70
Şekil 6.33. Aşınma direnci, kaplama tipi ve dönüş hızı grafiği .....	71
Şekil 6.34. Aşınma direnci, kaplama tipi ve kuvvet grafiği.....	71
Şekil 6.35. Aşınma direnci için RSM optimizer analizi.....	72
Şekil 6.36. Sürtünme, malzeme ve sıcaklık grafiği .....	73
Şekil 6.37. Sürtünme, malzeme ve yük grafiği .....	74
Şekil 6.38. Sürtünme, sıcaklık ve yük grafiği .....	74
Şekil 6.39. Sürtünme için RSM optimizer analizi.....	75
Şekil 6.40. Ağırlık kaybı, malzeme ve yük grafiği .....	76
Şekil 6.41. Ağırlık kaybı, malzeme ve sıcaklık grafiği.....	76
Şekil 6.42. Ağırlık kaybı, yük ve sıcaklık grafiği .....	77
Şekil 6.43. Ağırlık kaybı için RSM optimizer analizi .....	78
Şekil 6.44. Aşınma direnci, malzeme ve sıcaklık grafiği.....	78
Şekil 6.45. Aşınma direnci, malzeme ve yük grafiği .....	79
Şekil 6.46. Aşınma direnci, sıcaklık ve yük grafiği .....	79
Şekil 6.47. Aşınma direnci için RSM optimizer analizi.....	80

## 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:** Nivton

**Nm:** Nivton 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

**RSM:** Yüzey Yanıt Yöntemi

**vd.:** ve diğerleri

**IC:** İçten anmalı

**P:** Güç (kW = kilowatt)

**A.K.:** Ağırılık Kaybı

**EMK:** Emniyet katsayısı

**sn:** Saniye

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

## 1.GİRİŞ

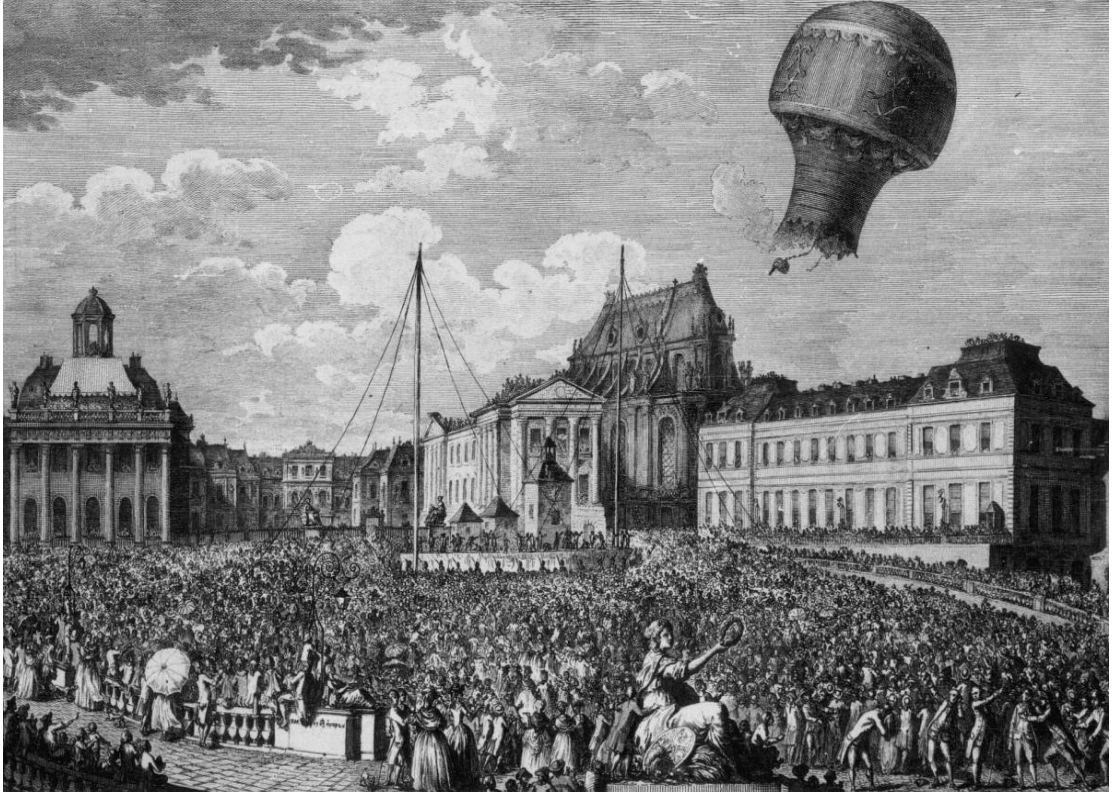
İçerisinde insan olmaksızın uçuş yapabilen ve bir kontrol bağlantısı ile pilot tarafından uzaktan kontrol edilebilen veya otonom operasyon planlaması ile uçurulan hava araçları İnsansız Hava Aracı (İHA) olarak adlandırılmaktadır (THK,2022).



**Şekil 1.1.** Tek Silindirli 61 cc Motora Sahip İHA

### 1.1. Havacılık ve İHA

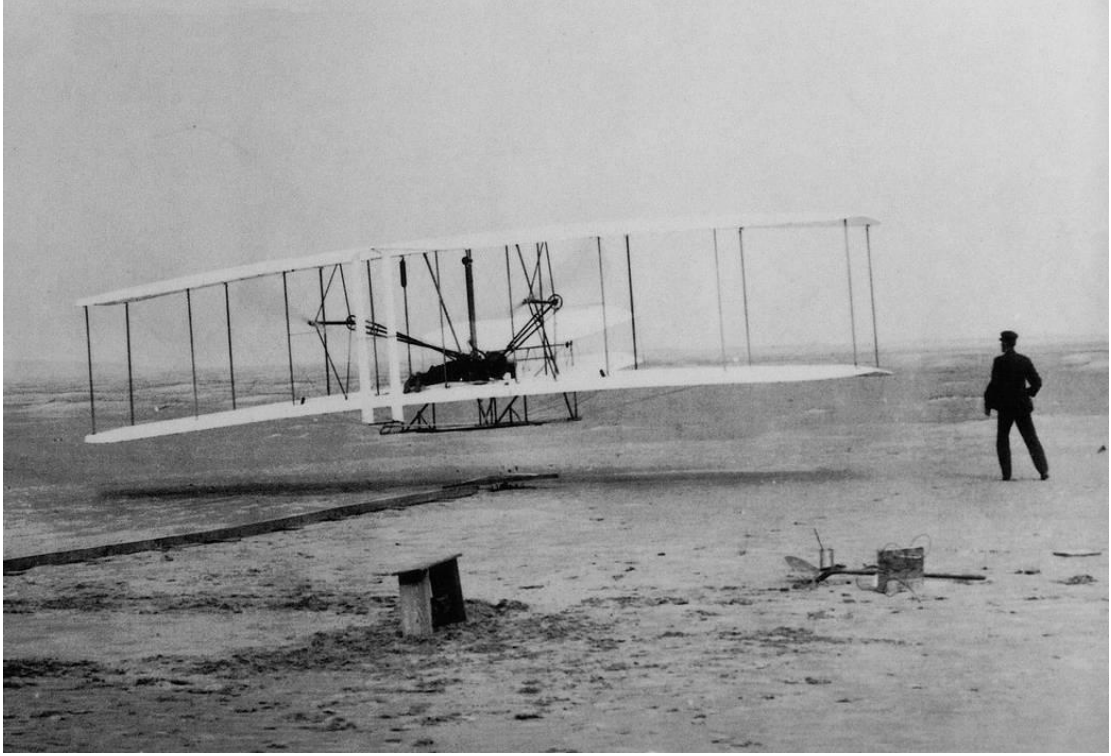
Eski çağlardan beri insanlar gökyüzünde uçan kuşları ilgiyle izlemişler ve yukarıdan yeryüzüne bakmak insanlığın hayal gücünü süslemiştir. Bu nedenle gerçek anlamda ilk uçuş deneyimi 852 yılında Endülüs'te Yunan mitolojisindeki Ikarus efsanesinden esinlenerek kaz tüyünden yapılmış kanatlarla İbn-i Firnas tarafından yapılmıştır. Daha sonra ilkel havacılığın temellerini Leonardo da Vinci tasarımları ile Osmanlı'da Lagari ve Hazerfen sırasıyla roket ve kısa menzilli uçuş denemeleri ile atmıştır. İlk uzun mesafeli uçuşun 18. yüzyılda Montgolfier Brothers'ın balonu ile sadece 8 km uzaklıktan yapıldığı düşünüldüğünde, uzay mekikleri vasıtasıyla yapılan uzaya yolculuklar bilimin hangi noktaya geldiğinin en güzel göstergesidir (Halkbank, 2022).



**Şekil 1.2.** İlk sıcak hava balon uçuşu, 1783

**Kaynak:**(Turchateauversailles, 2022)

Gelişen ve sınır tanımayan teknoloji, her geçen gün insan yapımı uçakların ve ilgili endüstrilerin hızla değişmesini sağlamıştır. Asıl havacılık serüveni Wright Kardeşlerin 1903 yılındaki ilk uçak deneyimi ile başlamış ve kardeşler gerçekleştirdikleri bu hayali tüm insanlığın hizmetine sunmuşlardır. Dünyayı kuşbakışı görme hayaliyle başlayan, yolcu ve eşya taşımak amacıyla devam eden havacılık serüveni, Birinci Dünya Savaşı ile birlikte daha farklı bir anlam kazanmıştır. Çünkü ilk defa bu büyük savaşta uçaklar askerlik hizmetine dahil edilmiş ve savaş süresince keşif, taarruz ve savunma amaçlı görevlerde bulunmuştur (Halkbank, 2022).



**Şekil 1.3.** Wright Kardeşler'in Kitty Hawk'daki planör denemeleri, 1903

**Kaynak:** (Elyadal, 2022)

Tarihte ilk kez askeri bir olayda insansız araç kullanılmış ve ilk insansız hava saldırısı olarak kayıtlara geçmiştir. 1849'da bu olay İtalya'nın Venedik kentine Avusturyalılar tarafından patlayıcı dolu insansız balonlar gönderdiklerinde meydana gelmiştir. Gerçek anlamda uzaktan, yani insansız uçmak amacıyla hava araçlarının üretilmesi ve geliştirilmesi ilk kez Birinci Dünya Savaşı'na denk gelmektedir. Burada insan içermeyen ve bir haberleşme sistemi sayesinde yerden kontrol edilebilen uçan araçlar olarak tanımlanan İnsansız Hava Araçları yani İHA'lar özellikle aktif olarak İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra kullanılmaya başlanmıştır. (Kabadayı,2022: 19).



**Şekil 1.4.** Avusturyalıların patlayıcı dolu insansız balonları.

**Kaynak:** (Aselsan, 2021:5)

Drone'lar ise günümüzde kullanılan İHA'ların en basit örneklerini oluşturmaktadır. Özellikle 2000'li yıllarda doğan, günümüzdeki genç kuşak tarafından askeri amaçlar dışında sivil amaçlarla da sıklıkla kullanılan drone'lar, birçok alanda insanı geride bıraktığı için tercih edilmektedir. Sivil havacılık drone'ları; Gazetecilik, şov dünyası, tarım, pazarlama, kargo, iletişim sağlık ve acil yardım, yangına müdahale ve haritacılık gibi alanlarda çok büyük faydalar sağlamaktadır (Halkbank, 2022).

Teknolojinin gelişmesi ve talep artışı ile İHA'ların gelişim süreçlerini hızlanmış, farklı görev ve amaçları gerçekleştirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Sivil amaçlardan çok askeri amaçlarla kullanıldığı keşfedilen bu hava araçları, günümüzde sağladığı sayısız avantajla savunma sektörüne de hizmet etmektedir. İnsansız Hava Araçlarının askeri alanda kullanımı incelendiğinde ise; gözetleme çalışmalarında, yüksek amaçlı görevlerde hedef belirlemede ve yem olarak kullanıldığı saptanmıştır (Kabadayı ve Uysal, 2019: 9).

İHA'lar; üretim, yakıt ve satın alma maliyetlerinin yüksek olmaması nedeniyle normal uçaklara göre büyük avantaj sağlamaktadır. Daha da önemlisi bu araçlar insansız oldukları için görev esnasında yaralanma ya da can kaybı riski taşımadığı için de avantajlıdır. Ayrıca konvansiyonel uçaklardan daha hafif olmaları sayesinde aynı yakıt miktarıyla havada daha uzun süre kalabilmektedirler (Halkbank, 2022).

Öte yandan tehlike algılama kabiliyetinin insan kadar yetenekli olmaması, yer kontrol sistemi ile bağlantısının kesilmesi durumunda oluşabilecek tehlikeler ve insansız hava araçlarının hava saldırılarına karşı savunmasız olması İHA'lar için dezavantaj olarak sayılabilmektedir. Ancak yapay zeka, veri aktarımı ve teknolojilerindeki Ar-Ge faaliyetleri ile bu dezavantajları en az seviyeye indirilmeye çalışılmakta ve bizimde dahil olduğumuz pek çok ülkede GPS'siz coğrafyalarda bile uçuşun gerçekleştirilebilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Uçuş sürelerinin daha da artması ile bu araçların yakın gelecekte yaygın olarak kullanımının da sağlanacağı düşünülmektedir (Halkbank, 2022).

Türk Silahlı Kuvvetleri yoğun olarak bu teknolojiyi kullanan ordulardan biridir. TSK kayıtlarında ilk İHA, 1989 yılında Meggit firması tarafından İngiltere'de üretilen Banshee sistemidir. İlerleyen yıllarda bu araçların ithalatı devam ederken yerli üretim İHA'lar TUSAŞ tarafından hizmete açılmıştır. Kalekalıp-Baykar Makina Ortak Girişimi tarafından 2007 yılında hizmete giren Bayraktar mini İHA sistemi, ilk milli insansız hava aracı olarak Türk Silahlı Kuvvetlerinde hizmet vermeye başlamıştır. 2015 yılında İHA'lara silah ilavesiyle İHA üretmeye başlayan Türkiye, dünyada kendi silahlı İHA'larını üreten altı ülkeden biri haline gelmiştir (Ateş, 2021: 10).

Bugün ülkemiz, savunma sanayinde kendi teknolojisini ve yazılımını üreten bir ülke olmayı başarmıştır. Gençlerimizi araştırmaya, geliştirmeye ve üretmeye teşvik eden “Milli Teknoloji Hamlesi” ile bağımsız ve güçlü bir gelecek hedeflenmektedir. Medeniyetin gelişmesi ve hızla gelişen teknoloji de ulusları daha iyi bir gelecek için yeni arayışlara itmektedir.

## 1.2. İçten Yanmalı Motorların Gelişimi

İçten yanmalı motorun ortaya çıkışı, buhar motorunun daha önceki gelişimine dayanmaktadır. Yakıttan elde edilen enerjii her iki motor da ısıya çevirir ve bu ısı istenilen işi yapmak için kullanılır. Bununla birlikte, buhar motoru bir dıştan yanmalı motordur. Çünkü yakıt, pistonu içinde bulunduğu silindirde değil, makinenin başka bir bölümünde yanmaktadır. Bir buhar motorunda kömür, odun ve petrol ürünleri gibi herhangi bir yanıcı yakıt yakılabilir. Açığa çıkan enerji bir sıvıyı (genellikle su) ısıtır. Sıcak su buharı sınırlı bir hacimde genişler ve pistonu itilir. (Ersöz,2012:1).



Şekil 1.5. Heron'un Buhar Makinesi

**Kaynak:** (Wikimedia, 2013)

İçten yanmalı bir motorda, yakıt yanma odasında yanar. Yanma aniden gerçekleştiği için patlama meydana getirir. Patlama ise pistonu iter. Enerji kaynaklarının hızla tükendiği dünyamızda, daha verimli enerji kullanabilen sistemlerin kurulması ve kullanılması ihtiyacı her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Motor üreticileri, motorun birim ağırlığından birim yakıt başına düşen güç miktarını artırırken, egzoz emisyon değerlerinde en iyimser rakamlara nasıl ulaşabileceğini bulma yarışı içindedirler. Gün geçtikçe farklı tasarıma sahip alternatif

içten yanmalı motorlara patentler alınmaktadır. Mucitlerin bir kısmı keşiflerini tanıtırken, bir kısmı da herhangi bir başvuru yapmadan lisans satışına başvurmaktadır. Alternatif içten yanmalı motor keşiflerinden bazıları bugün itibarıyla uygulamaya alınmamış olsa da teknolojiye bu hızlı gelişim ve ilerleyiş sürecinde gelişecek olan işlemler ve malzemeler sayesinde daha yaygın bir hale geleceği düşünülmektedir. Bazı yeni motor tasarımlarında küçük emme ve egzoz supapları yerine büyük kanallar kullanılmış, bu sayede parça sayısı azaltılmış ve volümetrik verim iyileştirilmeye çalışılmıştır (Ersöz,2012:1).

Bu yeni motorların çoğunun ortak noktası, eksantrik milinin, valflerin ve onlarla birlikte çalışan diğer doğrusal hareketli parçaların olmamasıdır. Bazı sistemlerde piston, silindir ve krank mili hala kullanılırken bazılarında bu motor elemanlarının kullanılmadığı görülmektedir. Ancak krank milinin olmadığı yeni motor tasarımlarının ortak özelliği, piston-silindir sisteminin dışına çıkması ve bu nedenle standartlaşmış süreç, parça, makine ve yöntemlerden faydalanmanın mümkün olmamasıdır.

Standardizasyonun ötesine geçen yeni bir motor beklemenin olumsuz sonuçları vardır. Bu olumsuz sonuçlar;

- Daha yüksek üretim maliyeti,
- Üretim için özel yöntem, dünya çapında yaygınlaştırılmış teçhizat ve makine gerekliliği ve ihtiyacı,
- Motorun herhangi bir yerinde meydana gelen arızanın standart işlemler konusunda bilgisi olan kişilerce giderilmemesi ve daha uzun sürede tamir edilmesi.

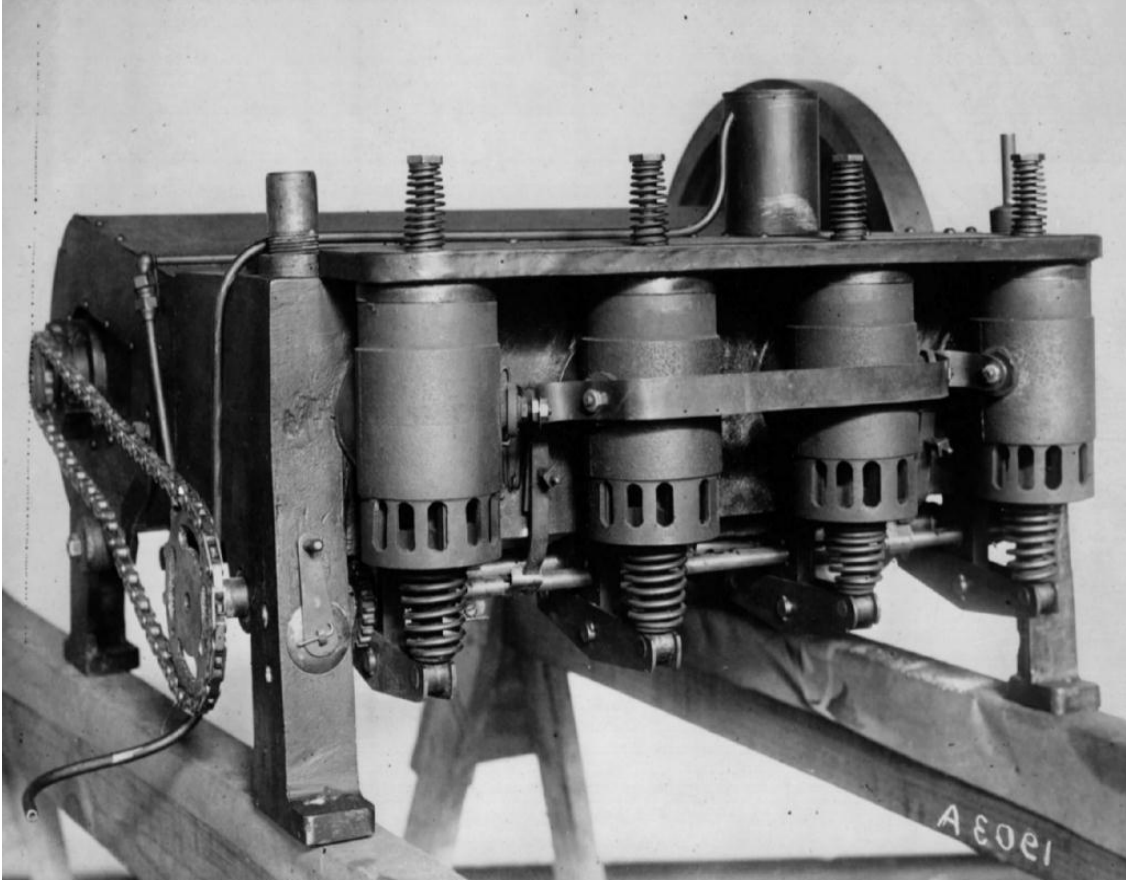
Üretilen motor çok önemli denilebilecek avantajlara sahip değilse yukarıdaki dezavantajlardan dolayı yaygınlaşması mümkün değildir. İki zamanlı motorlarda yakıt atımı yetersiz ve etkisiz olduğu için uygun karışımı sağlamak da oldukça zordur. Küçük iki zamanlı motorlar bugün hala bazı motosikletlerde, küçük arabalarda ve çim biçme makinelerinde kullanılmaktadır (Ersöz,2012:1).

### 1.3. Havacılıkta Piston Motor Kullanımı

Pistonlu motor ilk olarak Wright kardeşler tarafından uçaklarda kullanılmıştır. Wright kardeşler, "Uçan makine" nin planlarını yaptıklarında; ileriye doğru çekiş oluşturmak için yüksek hızlı dönen pervanelere ihtiyaç duyulduğunu ve bunun yalnızca bir motorla yapılabileceğini anlamışlardır. Çalışmalarında; iki pervaneyi döndürecek, ağırlığı 82 kilodan fazla olmayan ve en az 8 beygir (6 kilovat) güce sahip bir motor gerektiğini hesaplamışlardır. Ancak mevcut motorlar otomobillere göre üretildiği için tasarımına uygun motor bulamamışlardır (Turkair, 2019).

Planlarına uygun motor üretimi için fabrikalara yaptıkları girişimler sonuç vermeyince kendi motorlarını yapmaya karar vermişler. Yetenekli bir teknisyen olan Charles Taylor, Wright kardeşlerin tasarımına uygun bir motor yapmayı başarmıştır.

Bir buçuk ayda yapılan "uçan makine" motoru; düz bir çizgide olup dört silindiri, 3.294 santimetre küp deplasmanı, 91 kilogramı ve 12,5 beygir gücü (9,3 kilovat) vardır. Gaz keleşi olmaması sebebiyle de motor sürekli maksimum hızlarda çalışmaktadır.



Şekil 1.6. "Uçan Makine" için Charles Taylor'un yaptığı motor

**Kaynak:** (Etsu, 2013:1)

Wright kardeşlerin 17 Aralık 1903'te motorlu ilk uçuşlarından sonra uçağın keşif (göz-fotolu keşif)/bombardıman görevleri icra edebileceği ve Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da büyük askeri faydalar sağlayacağı kısa sürede anlaşılmıştır. Bu tarihe kadar yapılan savaşlarda, sabit bir noktadan kaldırılan balon ile düşmanın cephedeki mevzii ve faaliyetleri sınırlı bir mesafeye kadar yürütülebilmekte, gerideki yedek birliklerin durumu gibi çok önemli bilgiler elde edilebilmektedir. Acenteler aracılığıyla cephe ve lojistik faaliyetler çok sınırlı düzeyde sağlanabilmektedir (Turkair, 2019).

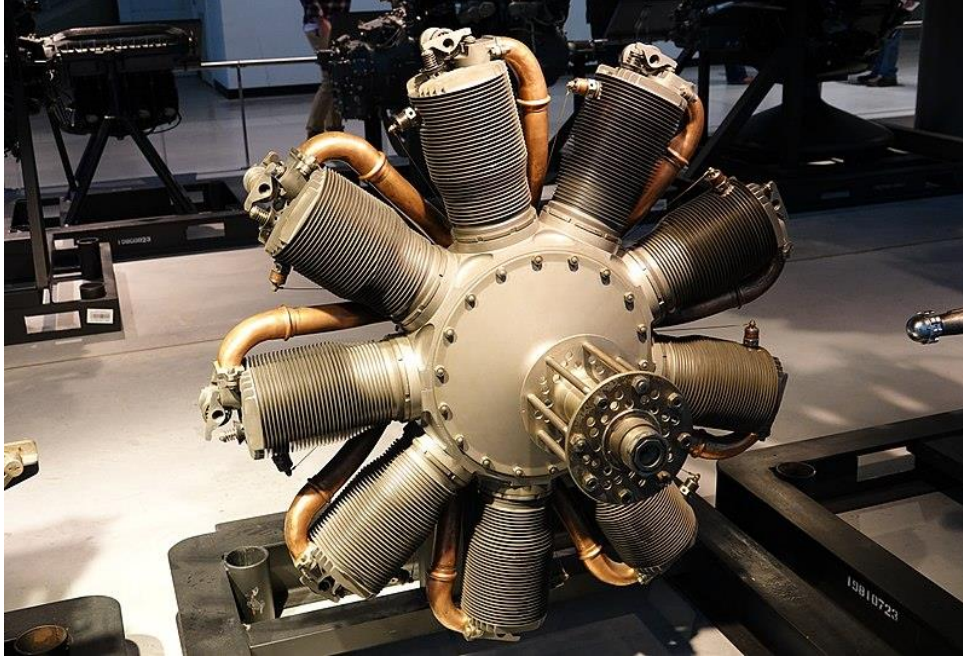
20. yüzyılın başlarında yapılan uçak motorları basit ve düşük beygir gücüne sahiptir. İlerleyen yıllarda Amerika Birleşik Devletleri, Fransa, İngiltere, İtalya, Rusya ve Almanya daha gelişmiş uçak motorları üretmeye başlamıştır.

Pistonlu uçak motorları üretime başlanmadan önce birçok faktörün dikkate alınması gereklidir. Bu faktörler; hafiflik, en az sürtünme kuvvetine sahip olması, uçağı kaldırıp uçuracak kadar güçlü olması, operasyonda güvenilir ve bakımı kolay olması şeklinde ifade edilebilir.

Uçak motorları kalkış esnasında birkaç dakika maksimum güç kullanmaya ihtiyaç duymaktadır. Güvenli irtifaya ulaşına kadar veya planlanan irtifaya ulaşına dek devir biraz düşürülür ve genellikle maksimum gücün %65 ila %75'i seyir hızında kullanılır. Bir uçak motoru üretilirken tüm bu faktörler ve kullanım özellikleri dikkate alınması önem arz eder.

Pistonlu uçak motorları; silindirler düz bir çizgi (inline), "V" şeklinde üretilir veya silindirler bir daire (radyal) oluşturur. Radyal motorlar içten yanmalı, döner krank mili sabit silindirleri ve sabit krank mili hareketli silindirleri olarak iki gruba ayrılır. Döner (sabit krank milli, dönen silindirli) motorlar 20. yüzyılın başlarında yaygın bir motor tipi olup basit bir yapıya sahiptir. Beygir gücü düşük olduğu için silindirler kendi eksenleri etrafında düşük devirde dönerek sorunsuz çalışırlar.

Rotary motorun ilk planları, 1899 yılında Stephen Balzer tarafından yapılmıştır. 100 beygir (75 Kilowatt) gücündeki bu motor hava soğutmalı olmasına rağmen silindir çevresinde herhangi bir soğutma kanalı bulunmamaktadır. Bu motorun yapısı karmaşık olmasının yanında üretim yönünden de ciddi oranda pahalıdır. 1908 yılında Lauren Seguin bu motoru geliştirmiş ve Gnome motorunun planlarını çizmiştir. İlk Gnom motoru beş silindirli, 50 beygir gücündedir (37 Kilovat). İlerleyen yıllarda yedi silindirli 50 beygir (37 Kilovat), 80 beygir (60 kilovat) ve 110 beygir (80 kilovat) motorlar üretilmiştir.



**Şekil 1.7.** 9-C rotary motor Le Rhone

**Kaynak:** (Vikipedi, 2005)

Motorun dönmesi nedeniyle, silindirdeki valf açıldığında krank milindeki boşluktan silindirlere benzin girmektedir. Bu motorlarda gaz kolu bulunmadığından, en yüksek devrini pervane çalıştıktan gerçekleştirmektedir. İniş sırasında pilot kontağı kesip durma noktasına yakın bir yerde motoru çalıştırır ve bu şekilde iniş yapar.

Rotary motorlar Birinci Dünya Savaşı esnasında, Sopwith Camel, Fokker E-1 ve Nieuport-28 uçaklarında kullanılmıştır. Devam eden yıllarda uçakların gelişmesiyle beraber daha fazla beygir gücü ihtiyacı doğmuştur. Bu durum, motorlardaki yanma odalarının hacminin ve silindir sayısının artması anlamına gelmektedir. Silindir sayısının artmasından dolayı motorun ağırlığının artması ve merkezkaç kuvvetinin artması dönen motoru büyük sarsıntılar nedeniyle kırılma noktasına getirmektedir. Bu olumsuzluklardan dolayı döner motorların yapımı bırakılarak sabit silindirli ve kendi eksenini etrafında dönen krank miline sahip radyal motorların üretimine geçilmiştir.

Radyal motorlar da içten yanmalı olarak sınıflandırılır ve çoğunlukla uçaklarda kullanılır. Silindirler, döner motorlarda olduğu gibi krank mili etrafında bir daire şeklinde düzenlenmiştir. Pistonun her bir silindirdeki hareketi piston kolu tarafından krank miline aktarılır ve krank mili kendi eksenini etrafında döner. Karbüratör ve gaz kolu olduğu için motorun devir ayarı istenildiği gibi sağlanabilmektedir.



**Şekil 1.8.** Radyal uçak motoru hava soğutmalı

**Kaynak:** (Makaleler, 2017)

Silindir sayısı fazla olan ve daha fazla güç gerektiren radyal motorların, silindirleri düz bir hatta olan sıralı motorlara göre iki önemli avantajı vardır. Bu avantajların ilki; motorun ön tarafında tüm silindirlerin yer alması, ikincisi ise hava akışının doğrudan emilmesi ile iyi bir soğutma sağlanmasıdır. Yüksek irtifada uçan uçakların motorlarında soğutma sağlayan hava akımı; uçuş irtifasındaki sıcaklık dikkate alınarak motorun arka kısmındaki kapakları açıp kapatan mekanik bir sistem vasıtasıyla pilot tarafından ayarlanmakta ve motor sıcaklığı göstergeden kontrol edilmektedir.



Hava akışı ayar kapakları

B-24 "Liberator"

Şekil 1.9. B-24 "Liberator"

**Kaynak:** (Turkishairforce, 2007)

Motor aşırı ısınır, güç kaybı olur ve bu da en sonunda silindirlerin ve kalkanın çatlamasına neden olur. Ağırlık/güç oranı ve güvenilirliğe ek olarak, radyal motorlar hasara karşı da oldukça dirençlidir.

1935'ten sonra yüksek hızlı uçaklarda güçlü ve güvenilir Daimler-Benz DB 601 ve Rolls Royce Merlin gibi yeni nesil sıralı motorlar görülmeye başlanmıştır. İkinci Dünya Savaşı'nda savaş uçaklarında her iki motor türü de kullanılmıştır. Örneğin; Alman Focke-Wulf Fw-190 avcı uçağının motoru radyal, İngiliz Spitfire avcı uçağının motoru in line'dır.

Radyal motorlar kullanım ve yapı özellikleri gereği teknolojiye paralel olarak sürekli kendini yenileyerek varlığını sürdürürken, sıralı motorlar İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra hızla ortadan kalkmıştır. Günümüzde ise sıralı motorlar sadece hafif uçaklarda kullanılmaktadır.



**Şekil 1.10.** Cessna 172 uçağına ait Continental O-300 in line motoru

**Kaynak:** (Wikimedia, 2010)

#### **1.4. İha'larda Motor Kullanımı**

Geçmişten günümüze yapılan İHA çalışmaları incelendiğinde; insansız hava araçlarında farklı tiplerde birçok motor kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu kullanılan motor tipleri yer yer literatürde İHA ların sınıflandırılma çalışmalarında da ilk 3'te yer almıştır.

İHA'larda en genel anlamda kullanılan motorlar pistonlu, elektrikli ve gaz türbinli motorlar olarak ayrılırlar (Yiğit vd., 2018:13)

##### **1.4.1. Gaz Türbin Motorları**

1900'lü yıllarda temeli atılan gaz türbin motorları genellikle hava solunmalı sistemler olarak bilinirler. Gaz türbin motorlarının çalışma sistemi, ısı enerjisini mekanik enerjiye çevrilmesidir. Uçak motor grubunu oluşturan aero türevli gaz türbin motorlar genellikle 500 kw ile 40 mw aralığında olan motorlardır (Nacaklı, 2019:2).

Genel çalışma prensibi; atmosferik hava, kompresör tarafından içerisine çekilmesi ve taze hava kompresör içerisinden geçerken yüksek bir basınç seviyesine kadar sıkıştırılması şeklindedir. Basıncı arttırılan hava daha sonra yanma odasına verilir. Yanma odasında sıkıştırılmış hava, enjekte edilen yakıt ile birlikte yakılır. Yanma odası içerisinde havanın basıncı bir miktar azalır. Yanma odası çıkışında ürün olarak yanmış gazlar yüksek bir sıcaklıkta bulunur ve direk olarak türbine iletilir. Türbin girişindeki yüksek sıcaklıktaki yanma ürünleri,

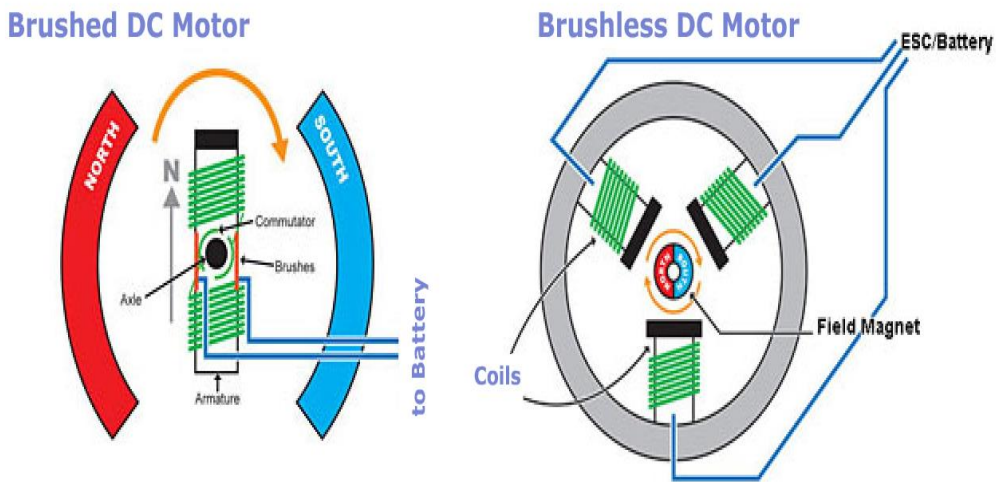
türbin içerisinde enerjilerini bırakarak atmosfere doğru belirli bir genişleme oranıyla genişler. Böylelikle türbin, yanma ürünlerinin enerjisini kullanılabilir işe dönüştürmüş olur. Uçaklara etki eden temel dört aerodinamik kuvvetten birisi olan itki'yi sağlamak için gaz türbinli motorlardan yararlanır. Bu uçak motorlarını; turbofan, turboprop ve turbojet olarak kategorize edebiliriz. Her üç motor tipide temel olarak Brayton çevrimine dayalı olarak çalışmaktadır (Ekici,2015:1).

#### 1.4.2. Elektrik Motorları

Elektrik enerjisini kinetik enerjiye dönüştüren makinelere elektrik motorları adı verilir. Motorun içinde oluşturulan manyetik alan bu çevrim için kullanılır. İlk zamanlarda kullanılan araçlar elektrik motorları ile güçlendirilmiş, daha sonra içten yanmalı motorların keşfedilmesi ile bu motorların yerini almıştır. Sanayi sektöründe oldukça yaygın alanda kullanılmakla birlikte özellikle iklim değişikliği sorunlarının başlamasıyla birlikte (1990'lar) yeniden önem kazanmaya başlamıştır. Elektrik motorları alternatif akım (AC) motorlar ve doğru akım (DC) motorlar olarak ikiye ayrılır (Büyük, 2018: 7).

Alternatif akım motorlar; senkron ve asenkron motorlar, asenkron motorlar; üç fazlı ve tek fazlı, üç fazlı motorlar ise indüksiyon (sincap kafesli) ve rotor sargılı motorlar olarak ikiye sınıfta incelenirler (Büyük, 2018: 7).

Araçlarda kullanılan elektrik motorlarının çeşitleri fırçasız ve fırçalı doğru akım (DC) motorlar, Alternatif akım (AC) indüksiyon motorları, sabit mıknatıslı senkron motor ve sabit mıknatıslı anahtarlamalı redüktans motorlardır. İlk elektrikli araçlarda konvansiyonel fırçalı DC motorlar kullanılsa da günümüzde yaygın kullanımı kalmamıştır (Gökozan, 2020: 106).



Şekil 1.11. Fırçalı ve Fırçasız DC Motorun genel Yapısı

Fırçasız DC motorlar, verimlilikleri, sessiz çalışmaları, hızlı yanıt vermeleri, hareket kontrol hassasiyetleri nedeniyle çeşitli boyutlardaki İHA'larda sıklıkla kullanılmaktadır. (Özdemir, 2013: 6).

### 1.4.3. Piston Motorları

Mekanik enerji üretmek için ısı enerjisini kullanan makinelere motor adı verilmektedir. Motorun yanma odasında meydana gelen kuvvetin biyel aracılığıyla krank miline iletilmesini sağlayan parçaya piston adı verilir. Yani, motorda yer alan silindirde bulunan Üst Ölü Nokta ile Alt Ölü Nokta arasında hareket ederek enerji dönüşümünü sağlayan esas parça piston olarak ifade edilmektedir. Pistonlar, içten yanmalı motorların en önemli parçasıdır. (Canvar, 2011: 11). Bu nedenle içten yanmalı motorların diğer bir adlandırılması pistonlu motorlar şeklindedir. Bu motorların kullanım alanı, üretilecek güç ve hıza göre tek, çift, üç, dört, altı veya daha fazla silindire sahip olabilir. (Milli Eğitim Bakanlığı 2013: 31).



Şekil 1.12. Radyal Tipi Motor Görünümü

**Kaynak:** (Makaleler, 2017)

Silindirlerin sıralanma biçimine göre sıralı tip, V tipi, W tipi, boxer tipi ve yıldız tipi motorlar bulunmaktadır. Yakıt olarak benzin, mazot, LPG, kerosen, alkol gibi yakıtlar kullanılabilir. Çalışma şekli olarak dört zamanlı veya iki zamanlı motorlara sınıflandırılırlar (Milli Eğitim Bakanlığı, 2013: 31).

İki zamanlı motorlar, krank milinin 360 derece dönmesi sırasında emme-sıkıştırmanın (üst ölü noktadan alt ölü noktaya) ve iş-egzozun aynı anda (alt ölü noktadan üst ölü noktaya) eş zamanlı olduğu motorlardır (Milli Eğitim Bakanlığı 2013: 32).

Dört zamanlı motorlar ise emme, sıkıştırma, çalışma ve egzoz süreleri krank milinin 720 derece dönmesiyle oluşan motorlardır. Soğutma sistemine göre hava ve sıvı soğutmalı motorlar olarak iki bölümde incelenebilirler (Milli Eğitim Bakanlığı 2013: 33).

## 2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI VE AŞINMA

### 2.1. Alüminyum

Alüminyum, yer kabuğunda en çok bulunan (%7,5-8,1) elementler arasında 3. sırada yer alır. Boksit alüminyumun doğada en bilinen formu olan oksitli bileşiğidir. Alüminyum kaynakları birincil (primer) yani cevherden elde edilen, ikincil (sekonder) yani birincil kaynakların kullanılması sonucu meydana gelen hurdaların ergitilmesi ve geri dönüştürülmesiyle tekrar kullanılan alüminyumlar olarak adlandırılırlar. Birincil alüminyumlar; boksit cevherinin alümina (alüminyum oksit) formuna dönüştürüldükten sonra, kriyolit banyosundaki oksit formunun elektrolizi sonucunda üretilmektedir. İkincil alüminyumlar ise önceden kullanılmış veya hurda alüminyumların yeniden ergitilip saflaştırılmasıyla elde edilirler (Tezgel, 2019:3).

Alüminyumun genel özellikleri Tablo 2.1.'de verilmektedir.

**Tablo 2.1.** Alüminyumun genel özellikleri

<b>Ana Özellikleri</b>	
Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26,9815386 g/mol
<b>Fiziksel Özellikleri</b>	
Yoğunluk	2,70 g/cm <sup>3</sup>
Ergime Noktası	660,32 C
Kaynama Noktası	2519 C
Özgül Isı	0,224 cal/gr
<b>Atom Özellikleri</b>	
Kristal Yapısı	Yüzey Merkezli Küp
Atom Yarıçapı	0,143 nm

Günümüz endüstrisinde çelikten sonra en çok kullanılan metalik malzeme alüminyum ve alüminyum alaşımları olup son keşfedilen endüstriyel malzemeler içinde yer almaktadır. Bu alaşımların kullanım alanlarının artmasındaki en büyük katkıyı havacılık, savunma ve otomotiv endüstrisi sağlamaktadır. Teknoloji ve endüstri geliştikçe verimi daha yüksek, daha sağlam, daha uzun ömürlü ve sonuçta daha ekonomik ürünler için alüminyum tercih edilmektedir. Bu durumda alüminyum kullanımı artmaktadır. Alüminyum hava araçları, uzay araçları dâhil, daha sağlam köprü ve binalar, elektrik nakil hatları ve birçok mühendislik uygulamaları için vazgeçilmez bir malzemedir (Hanlı,2009:9).

Alüminyumun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ve diğer metallerle karşılaştırılması-20°C Tablo 2.2.'de verilmektedir.

**Tablo 2.2.** Alüminyumun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ve diğer metallerle karşılaştırılması-20°C

Özellik	Alüminyum	Demir	Nikel	Bakır	Titanyum
Kristal kafes yapısı	YMK	HMK	YMK	YMK	SPH
Yoğunluğu(g/cm <sup>3</sup> )	2.7	7.85	8.9	8.93	4.5
Ergime Sıcaklığı (°C)	660	1536	1455	1083	1670
Özgül ısısı(J/kgK)	930	448	440	385	470
Isıl iletkenliği(W/mK)	235	79.6	92.1	389.4	15.5
Isıl genleşme katsayısı( $\Delta l/l^\circ C$ )	33.9x10 <sup>-6</sup>	12x10 <sup>-6</sup>	1x10 <sup>-6</sup>	16.5x10 <sup>-6</sup>	8.2x10 <sup>-6</sup>
Elektrik direnci ( $\mu\Omega cm$ )	2.65	9.7	6.8	1.67	55
Elastisite modülü E(N/mm <sup>2</sup> )	6.7x10 <sup>4</sup>	21x10 <sup>4</sup>	21x10 <sup>4</sup>	12.4x10 <sup>4</sup>	10.8x10 <sup>4</sup>
Maksimum çekme mukavemeti(N/mm <sup>2</sup> )	65	235	300	210	245

**Kaynak:** (Ünel ,2016:4)

Alüminyum ve alaşımları, düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, korozyon direnci, geri dönüştürülebilirlik ve iyi işlenebilirlik gibi üstün özelliklerinden dolayı günümüzde en çok tercih edilen malzemeler arasında yer almaktadır. Bu nedenlerle alüminyum, yıllık yaklaşık 24 milyon ton tüketim ile dünyada en çok tüketilen demir dışı metaldir.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ürün biçimleri ve uygulama alanları Tablo 2.3'de verilmektedir (Ünel ,2016:12-13).

**Tablo 2.3.** Alüminyum ve alaşımlarının uygulama alanları ve ürün biçimleri

Alüminyum Alaşımı	Ürün Biçimi	Uygulama Alanı
Saf alüminyum	Folyo, haddelenmiş levha, ekstrüzyon ürünleri.	Ambalaj malzemesi ve folyo, çatı kaplama, zırhlama, düşük mukavemetli korozyona dirençli kazan ve depolama tankları yapımı.
2000 serisi (Al-Cu alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar	Çok yüksek zorlanmaya maruz parçalar, havacılık ve uzay araçlarında kullanılan yapısal elemanlar, ağır dövme parçalar, taşıt tekerlek jantları, silindir kafaları, pistonlar.
3000 serisi (Al-Mn alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar.	Ambalaj malzemesi, çatı kaplama ve zırhlama, kimyasal madde varilleri ve tankları, kimyasal madde ve gıda taşıma ekipmanları.
4000 serisi (Al-Si alaşımları)	Tel, döküm parçalar.	Kaynak telleri, silindir kafaları, motor blokları, subap gövdeleri, mimari amaçlı kullanılan elemanlar.
5000 serisi (Al-Mg alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar, içi boş elemanlar ve borular.	Zırhlama, kazan ana yapı levhaları, güçlü yapı elemanları, yapısal elemanlar, kazanlar ve depolama tankları, otomobil, tren vagonu, mimari amaçlı kullanılan elemanlar.
6000 serisi (Al-Si-Mg alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar, içi boş elemanlar ve borular.	Yüksek mukavemetli yapı elemanları, otomobil, tren vagonu, deniz taşıtları ve denizüstü yapı elemanları, mimari amaçlı kullanılan elemanlar.
7000 serisi (Al-Mg-Zn alaşımları)	Haddelenmiş levha ve sac, ekstrüzyon ürünleri, dövme parçalar.	Yüksek mukavemetli yapı elemanları, uçaklarda kullanılan kalın kesitli dövme parçalar, askeri köprüler, zırh levhaları, ağır taşıt ve vagonlarda kullanılan ekstrüzyon ürünleri.

**Kaynak:** (Ünel ,2016:12-13)

### **2.1.1 Piston Malzemesi Olarak Kullanılabilen Alaşımlar**

Önceden, piston yapımında dökme demir kullanılıyordu. Bu ürün, düşük hızlı ve uzun stroklu motorlar için yeterliydi. Ancak günümüzün yüksek hızlı ve yüksek sıkıştırma oranlı kısa stroklu büyük silindir çaplı motorları için ısı iletkenliği yüksek hafif metaller olan ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Bu nedenle içten yanmalı motorların pistonlarının çoğunda alüminyum alaşımlar kullanılmaktadır. En sık kullanılan alaşımlar 4 gruba ayrılır;

- 1.grup: 2000 serisi (Al-Cu alaşımları)
- 2.grup: 4000 serisi (Al-Si alaşımları)
- 3.grup: 6000 serisi (Al-Si-Mg alaşımları).
- 4.grup: 7000 serisi (Al-Mg-Zn alaşımları).

Ötektik üstü pistonlar %25 ağırlık düşüşü ve düşük genleşme oranı avantajlarına sahiptir. (Uyaroğlu, 2008:5)

### **2.1.2 2000 serisi (Al-Cu alaşımları)**

2xxx serisi alaşımlardaki ana alaşım elementi bakırdır ve genellikle ikincil element olarak da ilaveten magnezyum kullanılır. Bu alaşımlarda, optimum özellikleri elde etmek için ısı iletme işlemi (yaşlandırma) gerekmektedir; Isıl işlem uygulanması ile akma dayanımını artmaktadır. Uzun zamanda meydana gelen kayıp, çekme mukavemeti çok etki etmemektedir. Ortaya çıkan mekanik özellikler bakımından düşük karbonlu çeliğe benzediği ifade edilebilir. 2xxx serisindeki alaşımlar, özellikle yüksek ağırlık-mukavemet oranları gerektiren yapılar ve parçalar için çok uygundur ve yaygın olarak uçak ve kamyon tekerlekleri, uçak gövdesi, uçak kanat kaplamaları ve kamyon süspansiyon parçaları, yapmak için kullanılır. Yapısal parçalar 150 °C'ye (300 °F) kadar sıcaklıklarda iyi dayanıklılık gerektirirler. 2219 alaşımı hariç, bu alaşımlar sınırlı kaynaklanabilirliğe sahiptir. Ancak bu serideki bazı alaşımlar üstün işlenebilirlik özelliği taşımaktadır (Metals Handbook,1990:137).

### **2.1.3. 4000 serisi (Al-Si Alaşımları)**

4xxx serisi alaşımlardaki ana alaşım elementi silikondur. Eklenen silisyum elementi alaşımın akıcılık özelliğini arttırmaktadır. Döküm sanayinde, karmaşık geometriye sahip malzemelerin dökülmesinde tercih edilir. Kaynak ve lehim işleminde alaşımın erime noktasının düşmesiyle alaşımın kaynak ve lehimleme kabiliyeti artmaktadır. (Öztürk,2020,17)

Bu serideki alaşımların çoğu ısıl işlem görmez, ancak kaynakta kullanıldığında ısıl işlem görebilir. Alaşım 4032, düşük bir termal genleşme katsayısına sahiptir. Yüksek aşınma direnci ve dolayısıyla dövme motor pistonlarının üretimi için çok uygundur (Metals Handbook,1990:137).

### **2.1.4. 6000 Serisi (Al-Si-Mg Alaşımları)**

6xxx serisindeki alaşımlar silikon ve magnezyum içerir. Magnezyum silisit ( $Mg_2Si$ ) oluşumu onları ısıl işlem görebilir hale getirir. Çoğu 2xxx ve 7xxx kadar güçlü olmasa da, 6xxx serisi alaşımlar iyi şekillendirilebilirliğe, kaynaklanabilirliğe, işlenebilirliğe ve orta korozyon direncine sahiptir. Kullanım alanları genellikle: bisiklet şasileri, mimari uygulamalar, ulaşım ekipmanları, köprü korkulukları, kaynaklı yapılar, havacılık ve otomotivde genel yapı elemanı olarak ifade edilmektedir (Metals Handbook 1990:137).

### **2.1.5. 7000 Serisi (Al-Si-Mg Alaşımları)**

Çinko, 7xxx serisi alaşımlarda %1 ila %8 arasındaki miktarlarda ana alaşım elementidir. Bununla birlikte bakır ve çinko elementleriyle alaşım yapılmaktadır. Çekme dayanımı 580 MPa olan 7178 alaşımı, savunma ve havacılık sanayinde kullanılmaktadır. Bu seride korozyon direncini düşürmek için bakır eklentisi yapılmaktadır (Tufan, 2011:6).

## 2.2. Aşınma Teorisi

Aşınma, göreceli hareket halinde temas eden yüzeylerden malzeme kaldırma olarak tanımlanır. Bir malzemenin yaşam döngüsünde yıkıcı sonuçlara yol açabilen kritik bir hasar türüdür. Mühendislik bileşenlerinin çoğu, aşınma dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Otomotiv, havacılık vb. endüstriler gibi birçok uygulamada aşınma olayı yaşamaktadır. Aşınma her ne kadar kontrol altında tutulabilen bir hasar türü olsa da maddi kayıplara yol açabilen ciddi bir arıza mekanizması haline de gelebilmektedir. Bu durum sektörde istenmeyen bir sonuç doğurmaktadır. Çünkü zarar gören bileşen sadece kendisi ile kalmayıp kendisi dışında tüm sistemi etkileyip zarar verebilmektedir.

Tribolojik olarak iyileştirilmiş bileşenler, malzemeler geliştirme ve aşınma potansiyelini tahmin etme kavramları uzun yıllardır araştırmacılar için vazgeçilmezdir. Yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi, yağlama, metallerin alaşımlanması, mikro yapı çalışmaları, imalat yöntemleri tribolojik araştırma için birkaç odak noktasıdır. Aşınmayı önlemede doğru yöntemi seçmek için malzemelerin aşınma davranışlarının yanı sıra diğer birçok mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini de yakından incelemek gerekir. Çünkü bir malzemenin hemen hemen tüm özellikleri, o malzemenin aşınma davranışında rol oynamıştır. Aşınmayı çok karmaşık bir hasar türü yapan ana faktör de budur. Karmaşıklığı nedeniyle benzer veya farklı koşullar altında farklı mekanizmalarla aşınma meydana gelebilir. Mekanizmanın belirlenmesi aşınma probleminin çözümünün çok önemli bir parçasıdır.

Aşınma, çok çeşitli endüstriyel prosesler ve uygulamalar için önemli bir olgudur. Aşınma, temel olarak temas halindeki iki veya daha fazla bileşenin göreceli hareketlerinden kaynaklanan yüzey hasarı veya malzeme kaybı olarak da tanımlanır. Malzemeler arasındaki sürtünme, temas alanında aşınma hasarları oluşturabilir. Aşınma hasarı, malzemelerin yaşam döngüsünü önemli ölçüde azaltabilir ve çalışma performanslarını etkileyebilir. Hatta aşırı aşınma nedeniyle daha fazla malzeme kaybı meydana gelebilir. Aşınma hasarını önleyebilmek veya en aza indirebilmek için, belirli servis koşullarında malzeme ve malzeme çiftlerinin aşınma mekanizmaları belirlenmelidir. Geçen yüzyılda, karmaşık aşınma mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasını sağlamak için aşınma ve aşınma testleri çalışmalarında aşırı bir artış olmuştur.

Aşınma, doğası gereği çok farklı parametrelere ve etkileyen faktörlere bağlı olan son derece karmaşık bir hasar türüdür. Yüzeylerin karmaşık yapısı, aşınma sırasında oluşan deformasyon bölgesi, sürtünme nedeniyle açığa çıkan ısı, yağlayıcı etkisi ve kontakların

kimyasal etkileşimi, bu karmaşık hasar malzeme kaybı gibi ciddi sonuçlara yol açabileceğinden sıklıkla araştırmalara konu olmaktadır (Williams, 1999:2).

Aşınma ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde; sürtünme, sürtünme katsayısı ve sürtünme kuvvetleri kavramlarının aşınma olgusu ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Sürtünme kuvveti genel anlamda temas yüzeylerinin kaymaya veya birbirine karşı harekete karşı uyguladıkları direnç olarak özetlenebilir. Sürtünme kuvvetinin (F) hareketli yüzeylere uygulanan normal kuvvete (N) oranına sürtünme katsayısı denir ve sürtünme katsayısı için denklem 2.1 aşağıda verilmiştir.

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (2.1)$$

Sürtünme katsayısı, farklı malzemeler ve ıslak veya kuru kayma ortamları gibi farklı yağlama koşulları için farklı değerler alabilir. Sürtünme katsayısı değerleri genel olarak 0.1 ile 1 arasında değişmektedir.

Genel olarak aşınma tanımları malzeme kaybına odaklanır. Ancak aşınma hasarı, bir yüzeyden diğerine malzeme transferi olarak görülebilir. Bu durumda toplam kütlede bir değişiklik olmaz ancak aşınma hasarları devam eder. Aktarılan malzeme daha sonra aşınma pulu veya birikintisi olarak yüzeyden düşebilir.

Aşınmanın sınıflandırılmasından bu yana tribolojide birçok çalışmaya konu olmuştur. Genel olarak, aşınma için belirli bir evrensel sınıflandırma yoktur. Bununla birlikte, aşınma mekanizmalarının sınıflandırılmasını belirlemek için kullanılan üç ana yöntem türü vardır. İlk yöntem aşınma izine göredir. Aşınma izinin incelenmesi için kullanılan terimler genellikle çukurlu, pul pul dökülmüş, çizik, cilalı vb. olarak sıralanır. Malzeme çıkarma işlemini ve aşınmadan kaynaklanan hasarları içeren, çok yaygın olarak kullanılan yöntem ise ikinci yöntemdir. Bu yöntem için adeziv, abrasiv, oksidatif aşınma terimleri kullanılmaktadır. Üçüncü ve son yöntem, bu terimlerden ikisini veya daha fazlasını içeren, örneğin ıslak veya kuru aşınma (yağlanmış veya yağlanmamış), yuvarlanma aşınması, kayma aşınması veya karmaşık aşınma koşulları gibi aşınma ortamıdır. Bu konuda farklı türde yöntem ve yaklaşımlara sahip olmak, araştırmacıların karmaşık yapısı nedeniyle aşınmanın arkasındaki bilimi daha derinden anlamalarına olanak tanır (Bayer, 2004:14)

### 3. RSM METODU

Deney organizasyon yöntemlerinde deneyi yapanın ihtiyaçlarına cevap vermek için; geliştirilmekte olan tasarımın sınırlarını bilmek, tasarım değişkenlerinin tasarım üzerindeki etkilerini anlamak, analitik olarak analiz edebilmek ve en uygun çözümü bulmak tasarımcı için son derece önemlidir. Fakat tasarım, tasarımın kalitesini ölçmek için kullanılacak olan tasarımı tanımlayan değişkenlerle değerlendirme kriterleri arasında analitik bir korelasyon ifade edilemiyorsa, optimum bir çözüm bulmak için başka yöntemlerin kullanılmasını gerektirebilir. Bunun gibi değerlendirme kriterinin tasarım değişkenlerindeki değişikliklere duyarlılığını görmek için "Yanıt Yüzeyi Yöntemi" kullanılır (Tekindal,2009:2).

Yanıt yüzey yöntemi (RSM) istatistiksel temelli yöntemlerin başında gelmektedir.

Wilson ve Box tarafından 1951 tarihinde geliştirilmeye başlanan RSM metodu, endüstriyel deneylerde ortaya çıkan karışık süreçlerin iyileştirilmesi ve modellenmesi için sıralı ve daha hızlı sonuç alma imkanı ortaya çıkarmıştır (Baray ve Sarı, 2006, 38).

Optimum sonuca ulaşmak üzere tasarlanmış deneyler kullanarak farklı değişkenler arasındaki etkileşim incelenir. Başka bir deyiş ile RSM, istatistiksel ve matematiksel yöntemler vasıtasıyla oluşturulan veri kümesi ile polinom denklemini ifade etmeyi sağlayan yöntem olarak adlandırılabilir (Ergül vd. 2018, 469).

Deney düzeneği ile hedeflenen; elde edilen yanıt değişkenlerine etkisi bulunan faktörlerin, denemenin olası hata ile sonuçlanma ihtimalini en aza indirmektir. İndirgeme işlemi regresyon analiz yöntemi vasıtası ile yapılır. Regresyon katsayısı ile bir faktörün esas veya interaksiyon etkisinin yanıt değişkenine ne denli etkisinin bulunduğu karar verilir. RSM'de ilk basamak olarak, yanıtın içerdiği değişkene etki eden faktör ve bu faktörlerin seviyelerini tespit etmektir (Tekindal, 2009, 2).

RSM metodu üç aşamalı bir metod olup aşamalar şu şekildedir;

- Amaçlanan yanıtı elde etmeyi sağlayacak kadar ve güvenilir ölçüm çıktıları sunan deneylerin planlanması (deney tasarımı aşaması),
- Amaçlanan parametrelere uygun hipotez testlerinin düzenlenmesi ve ilk aşamada tasarlanan deneylerden çıkarılan verilere uyan cebirsel modelin tespit edilmesi (veri toplama aşaması),

- Deneye eklenen faktörlerin uygun değerlerinin, elde edilmesi amaçlanan yanıt değerine uygun şekilde tespit edilmesi (tahmin modellerinin, çalışma parametreleri göre yanıt değişkenlerini saptama aşaması) (Baray ve Sarı, 2006, 43).

Girdi ve yanıt değişkenleri, probleme uyacak şekilde karar verme yetkisine sahip sistem tarafından tanımlanır. Girdi değişkenleri ( $i=1,2, \dots,k$ ) ve yanıt değişkenleri ( $j=1,2 \dots,r$ ) karakteristikleri kullanılır. Modelleme sırasında, girdi ve yanıt değişkenleri arasındaki bağımlı tanımlayacak fonksiyonun uygun olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda öncelikle uygun model tespit edilmelidir. Bağımsız değişkenin lineer fonksiyonu, sistemin yanıtı ile iyi bir uyum verdiği durumlarda, yaklaşım eşitlik (3.1) de verilen birinci dereceden bir model ile hesap edilir (Ergül, vd. 2019, 469).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3.1)$$

İkinci dereceden bir model ise sistemin yanıt yüzeyinde bir eğrilik olduğunda daha uygun olmaktadır.

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_j^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3.2)$$

Burada;  $y$  yanıt değişkenini,  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  bilinmeyen regresyon parametrelerini,  $x_i, x_j$  karar (süreç) değişkenlerini ( $i=1,2, \dots, k$ ) ve ( $j=1, 2, \dots, k$ ) ve  $\varepsilon$  hata terimini ifade etmektedir (Ergül, vd. 2019, 470).

#### 4. LİTERATÜR ÖZETİ

Son dönemde İHA motorları üzerine yapılan çalışmalar geleceğimizi şekillendirmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar titizlikle incelenmiştir. Özellikle uygun malzemelerin belirlenmesi, tasarımı ve işletme performansının artırılması için yapılan çalışmalardan bazıları şu şekildedir:

Piancastelli vd. araştırmacılar havacılık sektöründe kullanılan bir motorun kullanıma bağlı olarak ürettikleri beygir (güç ) değişimlerini araştırmışlardır. Ayrıca teorik bir ömür hesabı ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte farklı yükleme koşulları için piston aşınma mekanizmaları da incelenmiştir. Standart bir piston ve gömleği için yapılan bu çalışmada farklı kaplama ve materyal için bir ömür veya aşınma davranışı incelemesi ise yapılmamıştır (Piancastelli, vd. ,2012).

Yanma odasında meydana gelen hasarların incelendiği bu çalışmada, Alüminyum dövme pistonların yanma odasındaki hızlı sıcaklık ve basınç artışlarını deneysel ortamda gözlemlemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda yanma ve ani basınç etkisinin ardından, pistonda ortaya çıkan yumuşama, sertlik azalışı, erozyon gibi deformasyonlar ve malzemelerin pürüzsüzlüğünün oluşacak hasarı nasıl etkilediği incelenmiştir. Sonuç olarak piston ömrünün vurutuya neden olan anormal yanmadan etkilendiği ortaya konulmuştur (Ceschini vd., 2017).

Literatürde pistonun termal analizlerinin deney tasarımı yöntemleri ile ilgili yapılan makalelerin yeniden incelenmesine yönelik çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda mühendislik sonuçlar ele alınmıştır. Bu tez çalışmasında ise farklı sıcaklıklarda piston davranışlarının değişken karakteristiği dikkate alınarak; farklı sıcaklıklar ve yükler altında testler gerçekleştirilmiştir (Sing vd. 2021).

Bao vd. (2020) yaptığı çalışma incelendiğinde; amaçlarının pistonlarda düşük ısı ve ani yanma sonucu vurutuların oluşturduğu sonuçların incelenmesi olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmalar ile yanma odasında meydana gelen olayların aşamalarının anlatıldığı ve ortaya çıkan hasarın hangi aşamada olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ise yanmamış yakıtın piston yüzeyine yapışması ile karbon birikmesine ortam hazırladığı ve bu birikmenin piston yüzeyinde aşınmaya neden olduğu tespit edilmiştir (Bao vd., 2020).

Yapılan başka bir araştırmada gaz sistemi ile çalışan bir piston motor çelik insert kullanılarak akış analizi modellenmiştir. Ayrıca bu performans değişimlerinin teorisi hakkında gerekli incelemeler yapılmıştır. İdeal performans değerleri yapılan deneysel çalışma sonunda

elde edilmiştir. Bu araştırma çalışması da geliştirilecek yeni nesil insertli gömlek parçalarının ar-ge faaliyetleri için önemli bir literatür araştırması olarak ortaya çıkmıştır (Zhou vd. 2022)

İHA motorlarında çalışma sırasında ortaya çıkan titreşimlerin sayısal modelini öngören bir algoritma geliştirilmiştir. Ayrıca bu algoritmanın üretilen bir test ünitesi montajında doğruluğu incelenmiştir. Bu titreşimlerin frekans aralığının azaltılması adına bazı önerilerde bulunulmuştur. Bu motorun yapıldığı sıcaklık değerlerinin gerçel çalışma ortamları için uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Çünkü yapılan testlerde motor sıcaklığının aslında 200 derecenin üstüne çıktığı bilinmektedir (Öncü ve Öztürk, 2022:71). Bu sebepten ötürü bu tez çalışmasında uygun şartlar için aşınma testlerinin yapılmasına karar verilmiştir.

85,3 kw lık maksimum 2800 rpm de çalışan strok uzunluğu 88,9 mm olan hava soğutmalı bir motorun 2600 rpm de 295 nm tork ürettiği görülmüştür. Aşınma için 5 farklı motor kullanılan test düzeneğinde ortalama 0,0028 değeri bulunmuştur. Araştırmalar uçak motorları ile ilgili temel bir literatür sonuçları ortaya koymuştur (Michalski ve Woś, 2011:582-589).

Uçak motorlarındaki sıcaklık davranışlarını incelemek adına sonlu elemanlar analizi kullanılarak sayısal bir inceleme yapılmıştır (Ostapski, (2011).

2000, 4000 ve 6000 serisi alüminyum alaşımlı pistonlarda termal ve mekanik gerilme analizleri ANSYS programı kullanılarak sonlu elemanlar analizi ile gözlemlenmiştir. Bu yapılan analiz çalışmaları sonucunda 154 MPa gerilme ile en dayanıklı malzemenin 4000 serisi yüksek silisyumlu alüminyum alaşımının olduğu gözlemlenmiştir. 6061 alaşımının ise test sonuçlarında en az sıcaklık değerine ulaşan malzeme olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca piston malzemesinin bir soğutma işlemi olmaması durumunda 314°C dereceye kadar sıcaklığı yükselmektedir.

Bu analiz çalışmaları yapılırken sadece piston üzerinde aşınma davranışları dikkate alınarak bir analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Gömlek ve segmanın da bu testlere katılması gereklidir. Ayrıca aşınma ve soğutma işlemlerinin de hesaba katılarak en doğru sonucun elde edileceği düşünülmektedir (Kumar ve Singh, 2019:231-236).

Literatürde yapılan araştırmalar ve incelemeler sonucunda havacılık sektöründe birçok farklı alanda kapsamlı araştırmanın yapıldığı gözlemlenmiştir. Özellikle son 20 yılda insansız hava aracı teknolojilerinin gelişimi ile ilgili yapılan gerek sanayi gerekse bilimsel çalışmaların da ciddi oranda desteklendiği belirlenmiştir.

Yapılan incelemelerde bilhassa uygun maliyeti ile kamikaze drone, bulut altı görevleri icra edecek İHA gibi düşük maliyetli araçlarda kullanılacak motorların çalışmalarının bilimsel anlamda çok fazla incelenmediği düşünülmektedir. Özellikle motorun ömrünü belirleyen piston gömlek çiftinin aşınma mekanizmaları ile ilgili bir test çalışması ülkemizde de yer almamaktadır.

İki zamanlı motorlarda alüminyum alaşımından üretilen ve bazen kaplama yapılıp bazen yapılmayan piston gömlek parçalarının aşınma davranışları kullanım ömrünü, maliyetleri ve performansı belirleyen en temel etkidir. Bu kapsamda pistonlarda malzeme değişimlerinin kaplamaların değişimlerinin çalışma sıcaklıklarındaki değişimlerin motorun ömrünü hangi oranda etkilediği ile ilgili net bir çalışma bulunamamıştır.

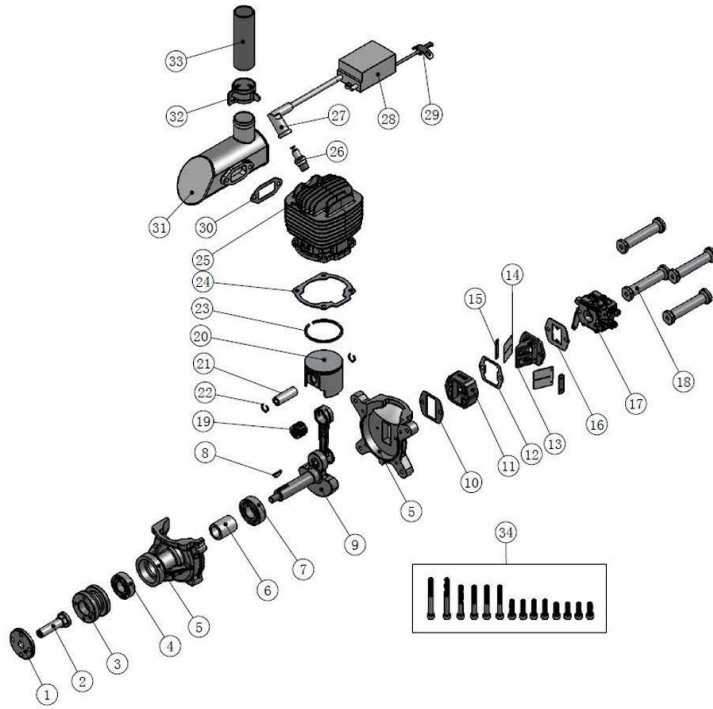
Bu test çalışmasında ise respons surveys metot (RSM) kullanılarak farklı materyal sıcaklık ve kaplama tiplerinin değişimlerinin aşınma ve sürtünme sonuçlarına etkileri araştırılmıştır. Özellikle ülkemizde 3 yıl öncesinde başlayan bu proje ile birlikte geliştirilen ilk iki zamanlı insansız hava aracı motoru üzerinde kullanılan malzemenin ve kaplamanın belirlenebilmesi adına malzeme seçimi ve tasarımı alanında önemli bir çalışma ortaya konmuştur.

## 5. MATERYAL VE METOT

### 5.1. Tersine Mühendislik ile Malzeme Tespiti

#### 5.1.1. Motor Parçası Sem Analizleri

Yurt dışından ithal edilen ve ülkemizde hali hazırda üretimi olmayan içten yanmalı düşük irtifa İHA motorunun tersine mühendislikle üretimi ve analizi için alaşım tiplerine ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 5.1’de patlatılmış resmi yer alan motorun; piston, rulman yatağı parçası, yakıt giriş parçası, gömlek ve segman malzeme özellikleri belirlenerek ideal motor üretimi yapılabilecektir. Ayrıca piston ve gömlek malzemelerinin aşınma performansları bu çalışmada araştırılmıştır.



Şekil 5.1. İki zamanlı bir motorun patlatılmış resmi

Bir motorun üretimi için kritik öneme sahip olan özel alaşımlı alüminyum malzemelerin kimyasal analizleri ilk olarak belirlenmek istenmiştir. Spektral analiz için büyük numunelere ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu yüzden motor üzerinde çalışan motor aksamına zarar verilmeyecek şekilde parça numuneler kesilmiştir. Numuneler ayrıca bakalite belirlenen sıcaklık ve sürelerde alınmıştır. Şekil 5.2.’de numune kesme ve Şekil 5.3.’de bakalit makinesinin resimleri yer almaktadır.



Şekil 5.2. Numune kesme makinesi



Şekil 5.3. Bakalit makinesi

SEM (taramalı elektron mikroskobu), odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu türüdür. Elektronlar numunedeki atomlarla etkileşerek numune yüzeyindeki kompozisyon ve topografi hakkında bilgiler içeren çeşitli sinyaller üretir. Bu sinyaller ilgili dedektörlerce bir araya getirilerek bilgisayar ekranına taşınır ve görüntü ortaya çıkar (Karadeniz. 2019: 28). EDS dedektör ile noktasal, çizgisel veya bölgesel nicel ve nitel analiz ile elementlerin dağılımı izlenebilmekte ve haritalaması yapılmaktadır. Şekil 5.4’de Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi MARAL birimine ait olan Zeiss marka SEM cihazı yer almaktadır.



**Şekil 5.4.** Zeiss marka SEM cihazı

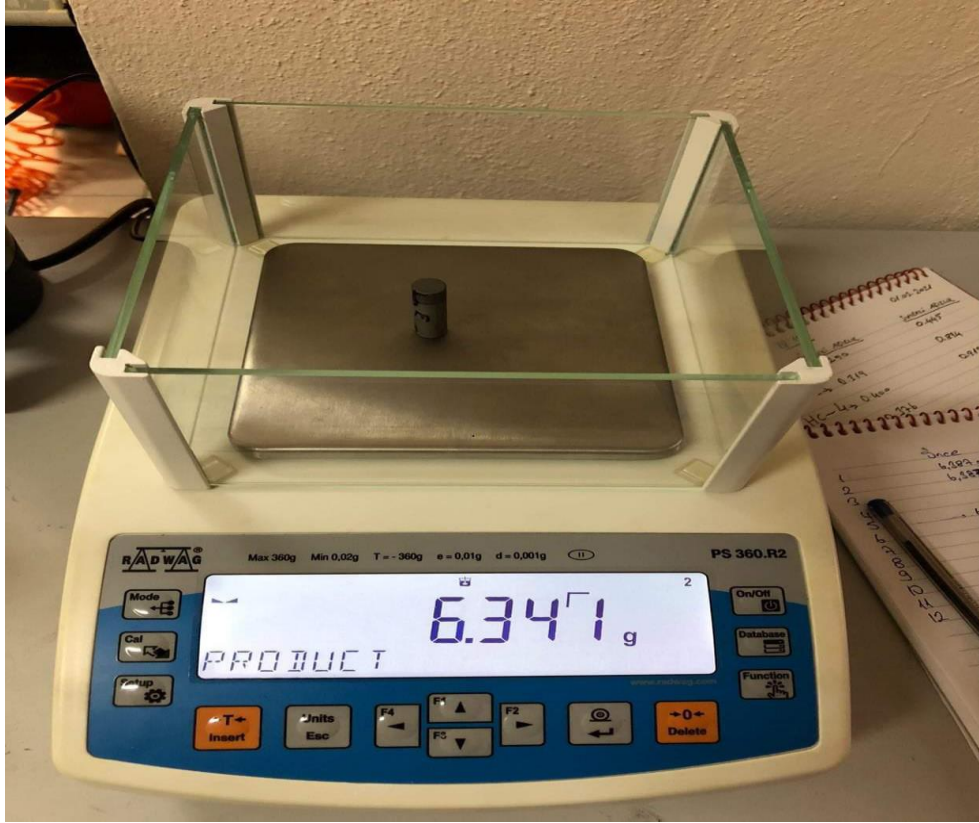
## **5.2. Motor Aşınma Testleri**

### **5.2.1. Aşınma Test Düzeneği**

Numunelerin aşınma testleri Düzce Üniversitesi Gümüşova Meslek Yüksek Okuluna ait olan Türkyus marka Pin On disk aşınma test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Sürtünme katsayısı sıcaklığa ve farklı ortamlara bağlı olarak elde edilebilmektedir. Testler öncesinde ve sonrasında numunelerin ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüştür. Aşınma deney düzeneği Şekil 5.5’de verilmiştir. Numuneyi aşındırmak için cihazda sabit bir yük koyma kolu ve bir aşındırıcı tutucu mevcuttur. Aşınma deneylerinde 60 HRC sertliğinde Ra 0.8 olan 1.2379 takım çeliği disk kullanılmıştır. Numune üzerine daireler çizeceği aşındırma çapını ayarlayabilme mekanizması bulunmaktadır. Öncelikle dönme hareketi başlatılır, daha sonra sabit yük altında eksensel olarak oluşan kuvvetleri algılayan sensörler çalışır.



Şekil 5.5. Turkeyus marka Pin On disk aşınma test cihazı



Şekil 5.6. Radwag marka hassas terazi ve test numunesi

## 5.2.2. Doe ( Deney Tasarımı)

### 5.2.2.1 Deney 1

Piston ve gömlek malzemesi olarak, yüksek silisyum değeriyle, 4000 serisi alüminyum alaşımların kullanıldığı, yapılan literatür araştırmaları ve SEM ile yapılan kimyasal analiz sonucunda belirlenmiştir. Pin On test ünitesi farklı dönüş hızı, iz çapı, süre, kuvvet ve sıcaklık için sürtünme katsayısı ölçümü yapabilmektedir. Tablo 5.1.'de yer alan deney tasarım parametreleri ve seviyeleri için aşınma testleri yapılmıştır. Bu testler yardımıyla sıcaklık sabit tutularak, farklı kuvvet ve kaplamalar için sürtünme ve aşınma testleri yapılmıştır.

RSM yöntemi ve Anova analizi kullanılarak yapılan araştırma çalışmasının deney tasarım oluşturulurken 1. deneyde özellikle farklı devirlerdeki farklı yüklere ait aşınma performansları endüstride en çok kullanılan alüminyum piston yüzey özellikleri için yani kaplamasız yaşlandırılmış, eloksal ve sert eloksal incelenmek istenmiştir.

Bu çalışmada sıcaklık değişimlerine dikkat edilmeden sadece devir, yük ve yüzey özelliği değişimleri değiştirilerek inceleme yapılmıştır. Böylece yüzey özelliği, uygulanan yük ve farklı devir sayıları için piston malzemesinin aşınma performansları incelenmiştir.

Deney tasarımı yanıt yüzey yöntemi için 12 farklı deneyde planlanmıştır. Devir sayısı için 300 ve 600 RPM parametre seviyeleri kuvvet için ise 2 ve 7 N seviyeleri seçilerek tüm sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 5.1.** Deney 1 için kullanılan deney tasarımı

Deney No	Devir	Kuvvet	Dönüş Hızı (RPM)	Kaplama	Hız (MM/S)	Süre (S)	Yol (MM)	Kuvvet (N)
1	1	1	300	1	628	600	376980	2
2	1	2	300	1	628	600	379680	7
3	2	1	600	1	1257	600	753960	2
4	2	2	600	1	1257	600	753960	7
5	1	1	300	2	628	600	376980	2
6	1	2	300	2	628	600	376980	7
7	2	1	600	2	1257	600	753960	2
8	2	2	600	2	1257	600	753960	7
9	1	1	300	3	628	600	376980	2
10	1	2	300	3	628	600	376980	7
11	2	1	600	3	1257	600	753960	2
12	2	2	600	3	1257	600	753960	7

İşlem görmemiş:1

Sert eloksal kaplama:2

Eloksal kaplama:3

İz Çapı (mm): 40

Sıcaklık: 20 °C

### 5.2.2.2 Deney 2

Deney 2’de ise Deney 1’den farklı olarak; endüstride yaygın olarak tüketilen 2000, 6000 ve 7000 serisi alaşımların aşınma performansları incelenmek istenmiştir. Bu farklı tip standart alaşımların değişken sıcaklık ve yükler altındaki aşınma ve sürtünme davranışları böylece gözlemlenebilmiştir.

İlk deney sonuçları dikkate alınarak özellikle farklı malzeme ve kaplama değişimlerinin değişken sıcaklıklardaki aşınma performansları araştırılmak istenmiştir.

Bu deney tasarımında 2000, 6000 ve 7000 serisi materyaller kaplamasız, eloksal ve sert eloksal kaplamalı olarak seçilmiştir. 20, 120 ve 240 °C derece sıcaklık ile 2, 10 ve 18 N yük değişkenleri belirlenerek 27 adet deney yapılmış olup bu deneyler Tablo 5.2.’de verilmiştir. Bu yapılan deneylerin sonuçlarına RSM metodu ve Anova analizi uygulanarak aşınma direnci sonuçlarında en uygun değer belirlenmesi sağlanmıştır.

Aşağıda yer alan tabloda hem RSM hem de DOE (Dizayn of Experiment) yani deney tasarımı değişken listesi Tablo 5.3.’de verilmiştir.

**Tablo 5.2.** Deney 2 için kullanılan deney tasarımı 1

	Materyal	Kaplama	Sıcaklık	Yük
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	2
5	1	2	2	3
6	1	2	3	1
7	1	3	1	3
8	1	3	2	1
9	1	3	3	2
10	2	1	1	1
11	2	1	2	2
12	2	1	3	3
13	2	2	1	2
14	2	2	2	3
15	2	2	3	1
16	2	3	1	3
17	2	3	2	1
18	2	3	3	2
19	3	1	1	1
20	3	1	2	2
21	3	1	3	3
22	3	2	1	2
23	3	2	2	3
24	3	2	3	1
25	3	3	1	3
26	3	3	2	1
27	3	3	3	2

**Tablo 5.3.** Deney 2 için kullanılan değişken listesi

	Materyal	Kaplama	Sıcaklık	Yük
1	2xxx	Non	20	2
2	2xxx	Non	120	10
3	2xxx	Non	240	18
4	2xxx	S.Eloksol	20	10
5	2xxx	S.Eloksol	120	18
6	2xxx	S.Eloksol	240	2
7	2xxx	Eloksal	20	18
8	2xxx	Eloksal	120	2
9	2xxx	Eloksal	240	10
10	6xxx	Non	20	2
11	6xxx	Non	120	10
12	6xxx	Non	240	18
13	6xxx	S.Eloksol	20	10
14	6xxx	S.Eloksol	120	18
15	6xxx	S.Eloksol	240	2
16	6xxx	Eloksal	20	18
17	6xxx	Eloksal	120	2
18	6xxx	Eloksal	240	10
19	7xxx	Non	20	2
20	7xxx	Non	120	10
21	7xxx	Non	240	18
22	7xxx	S.Eloksol	20	10
23	7xxx	S.Eloksol	120	18
24	7xxx	S.Eloksol	240	2
25	7xxx	Eloksal	20	18
26	7xxx	Eloksal	120	2
27	7xxx	Eloksal	240	10

Aşınma deneyinden önce ve sonra her numunenin ağırlığı 0,1 mg hassasiyetle terazide ölçülmüştür ve numunelerin ağırlık kayıpları ( $\Delta G$ ) hesaplanmıştır. Aşınma deneylerinde, ağırlık kayıpları ( $\Delta G$ ), piknometre yöntemiyle TS 1310'a göre ölçülen yoğunluklar kullanılarak;

$$\Delta V = \frac{\Delta G}{\rho} \quad (5.1)$$

Burada;

$\Delta G$  : Ağırlık Kaybı

$\Delta V$  : Hacimsel Kayıp

$\rho$  : Yoğunluk ( $\text{gr/cm}^3$ )

eşitliğine göre hacimsel kayıp değerine çevrilmiştir. Elde edilen hacimsel kayıp değerleri de numunelerin kayma mesafesi (S) ile değişimi gösteren diyagramların eğiminden aşınma hızı,

$$W_r = \frac{\Delta V}{S} \quad (5.2)$$

bulunmuştur. Burada;  $W_r$  : Aşınma Hızı (Aşınma Oranı),  $\text{mm}^3/\text{m}$ ;  $\Delta V$ : Hacimsel Kayıp,  $\text{mm}^3$ ; S: Kayma mesafesi, m'dir. Ayrıca yukarıdaki eşitlikten elde edilen aşınma hızı değerinden numunelere uygulanan yük (P) ile değişimi gösteren diyagramların eğiminden de aşınma katsayısı

$$K = \frac{W_r}{\rho} \quad (5.3)$$

bulunmaktadır. Burada;

K: Aşınma Katsayısı, ( $\text{mm}^3/\text{Nm}$ );

$W_r$ : Aşınma Hızı, ( $\text{mm}^3/\text{m}$ );

P: Uygulanan yük (N) tür.

Belirlenen deney tasarımına göre deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin RSM yöntemi kullanılarak yüzey grafikleri olasılık değişimleri grafiği RSM optimize özelliği kullanılarak ideal tasarım parametreleri seviyeleri belirlenmiştir.

Ayrıca son olarak Varyans Analizi yapılarak her bir parametrenin deney sonuçlarına etkilerinin yüzdelik oranları hesaplanmıştır. Böylece uygulanan Anova Analiziyle birlikte

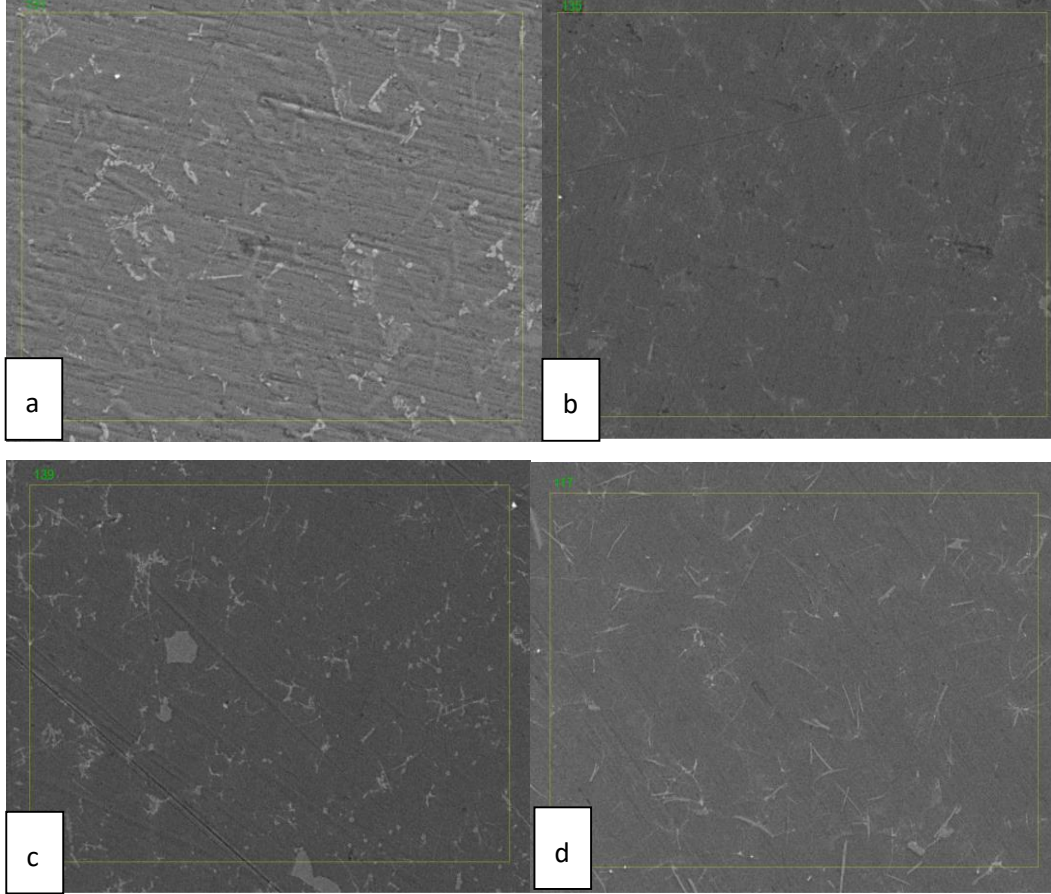
piston malzeme seçimi işleminde öncelikli olarak hangi parametrenin önemli olduğuyula ilgili değerlendirme yapılmıştır.

Yapılan literatür incelemesinde farklı ürünlerin optimizasyonu için, Anova Analiziyle birlikte RSM kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında ise, ilk defa bulut altı görevleri icra edecek bir motorun malzeme seçimi ve tasarımında ürün özelliklerini arttırılması için; bu iki yöntem birlikte kullanılarak literatürde referans olarak kabul edilebilecek bir araştırma çalışması yürütülmüştür. Ayrıca elde edilen tüm sonuçlar deney tasarımı yöntemleri kullanılarak ayrıntılı bir biçimde değerlendirilmiştir.

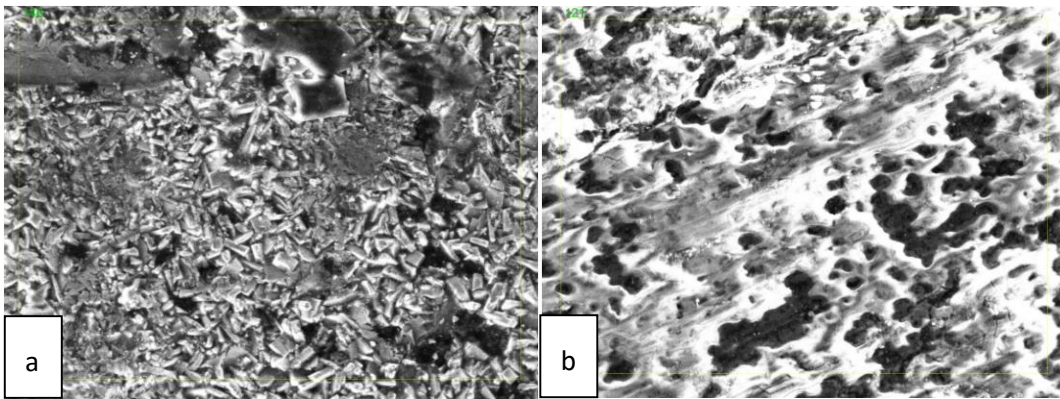
## 6.SONUÇLAR

### 6.1. EDX ve SEM Sonuçları

Numune alma ve parlatma işlemleri tamamlanmış motor montaj parçalarının SEM incelemesi sonrası elde edilen fotoğrafları Şekil 6.1. ve 6.2. de yer almaktadır. Bununla birlikte Tablo 6.1. ve 6.2.' de farklı parçaların kimyasal analiz sonuçları yer almaktadır. Ayrıca Şekil 6.3., 6.4., 6.5., 6.6., 6.7., 6.8. de EDX analizi sonuç grafikleri de verilmiştir.



Şekil 6.1. SEM fotoğrafları a) Piston, b) Rulman yatağı, c) Gömlek, d) Yakıt Giriş kapağı



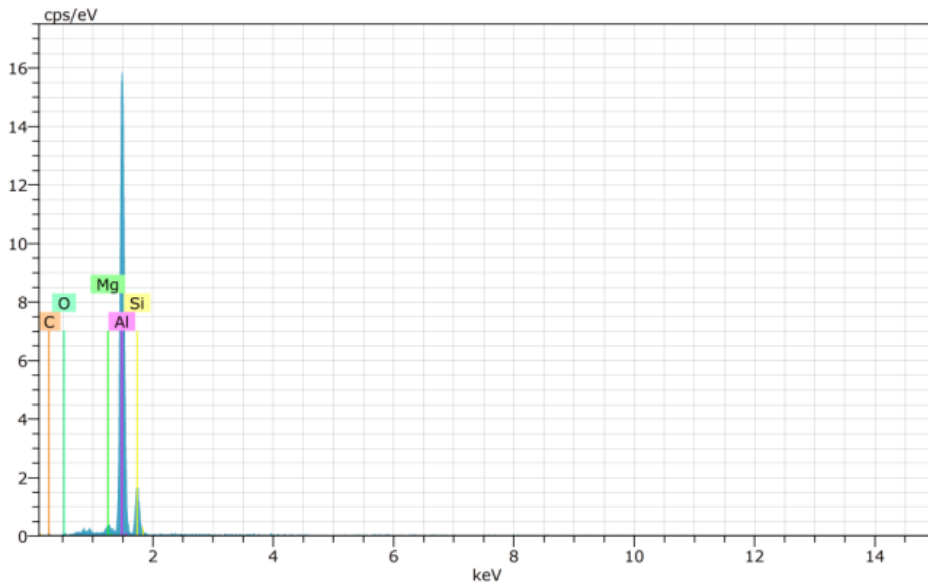
Şekil 6.2. SEM fotoğrafları a) Segman kaplanmış, b) Piston kaplanmış

**Tablo 6.1.**Motor parçaların Sem sonuçları

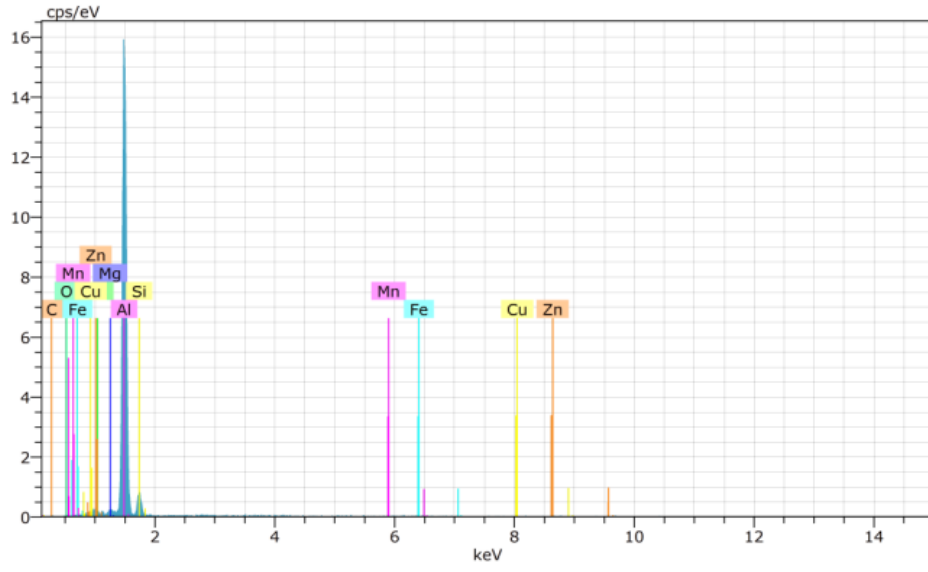
	Alüminyum	Silisyum	Karbon	Bakır	Çinko	Demir	Mangan	Magnezyum
Piston	77,27	17,41	5,79	0,76	0,34	0,38	0,14	1,15
Rulman Yatağı	85,11	8,34	4,01	0,36	1,53	0,64	0,20	0,75
Gömlek	86,96	10,77	2,54	1,19	0,79	0,63	0,15	0,15
Yakıt Giriş Kapağı	83,05	13,26	2,93	0,79	1,87	0,66	0,27	0,68

**Tablo 6.2.** Parçaların kimyasal analiz sonuçları

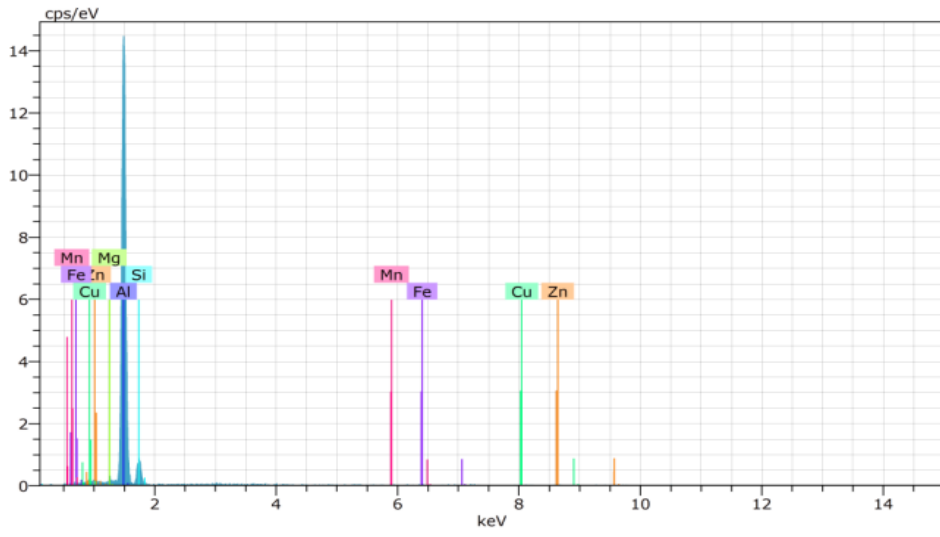
	Karbon	Oksijen	Kalsiyum	Bakır	Çinko	Fosfor	Sülfür	Nikel	Krom
Segman Kaplanmış	40,5625	35,9767	0,45	0,16333	12,0987	4,94267	3,45333		
Piston Kaplanmış	3,98	51,6158		0,3675	0	0,00833	3,84917	0,075	0,03



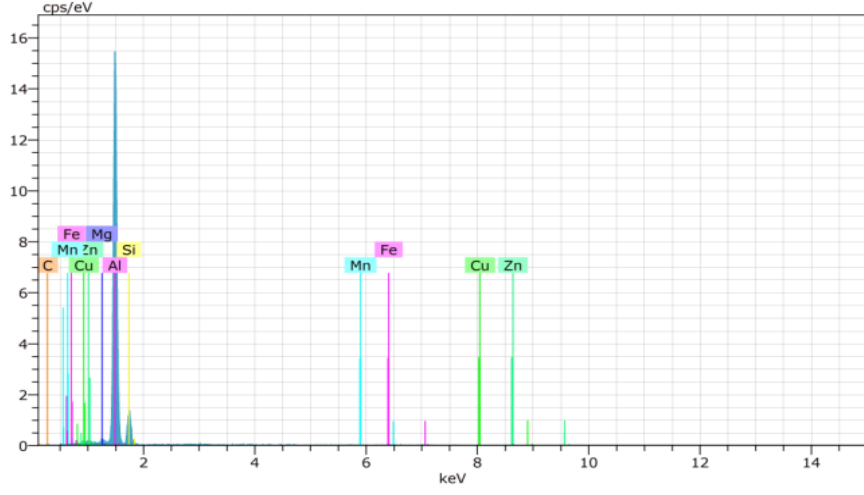
**Şekil 6.3.** EDX analizi sonuç grafiği 1



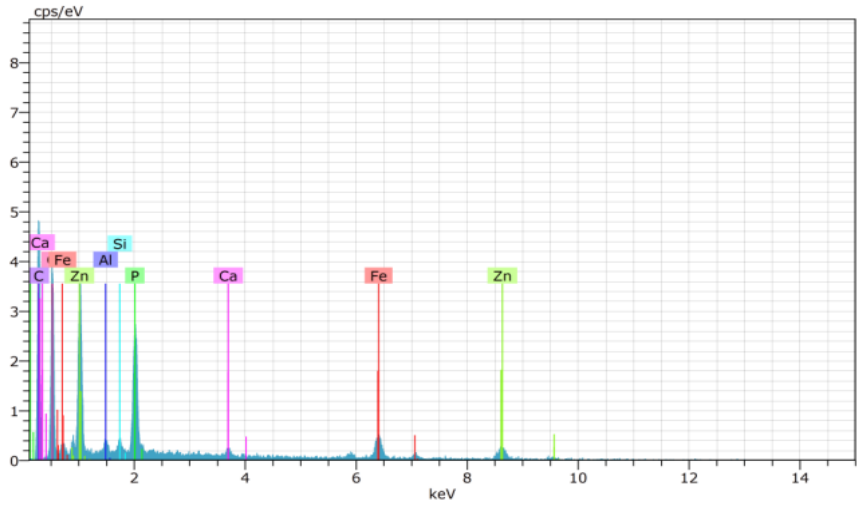
Şekil 6.4. EDX analizi sonuç grafiği 2



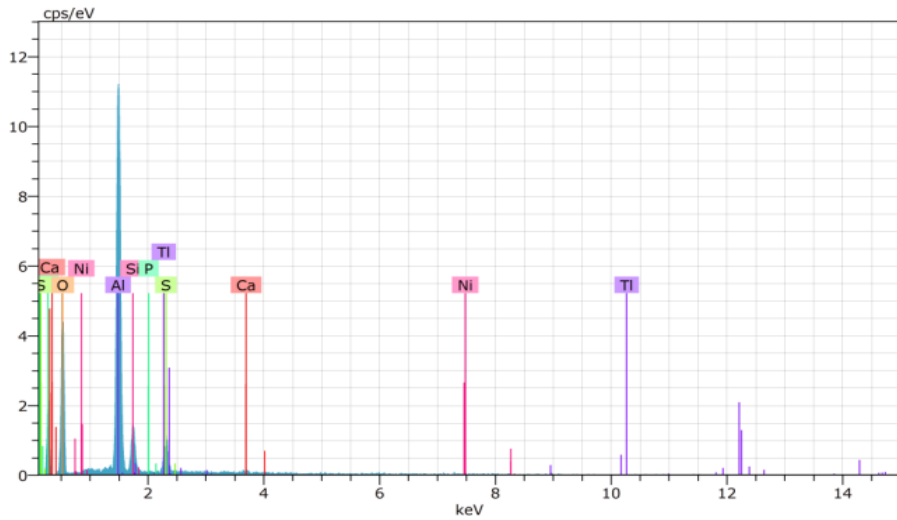
Şekil 6.5. EDX analizi sonuç grafiği 3



Şekil 6.6. EDX analizi sonuç grafiği 4

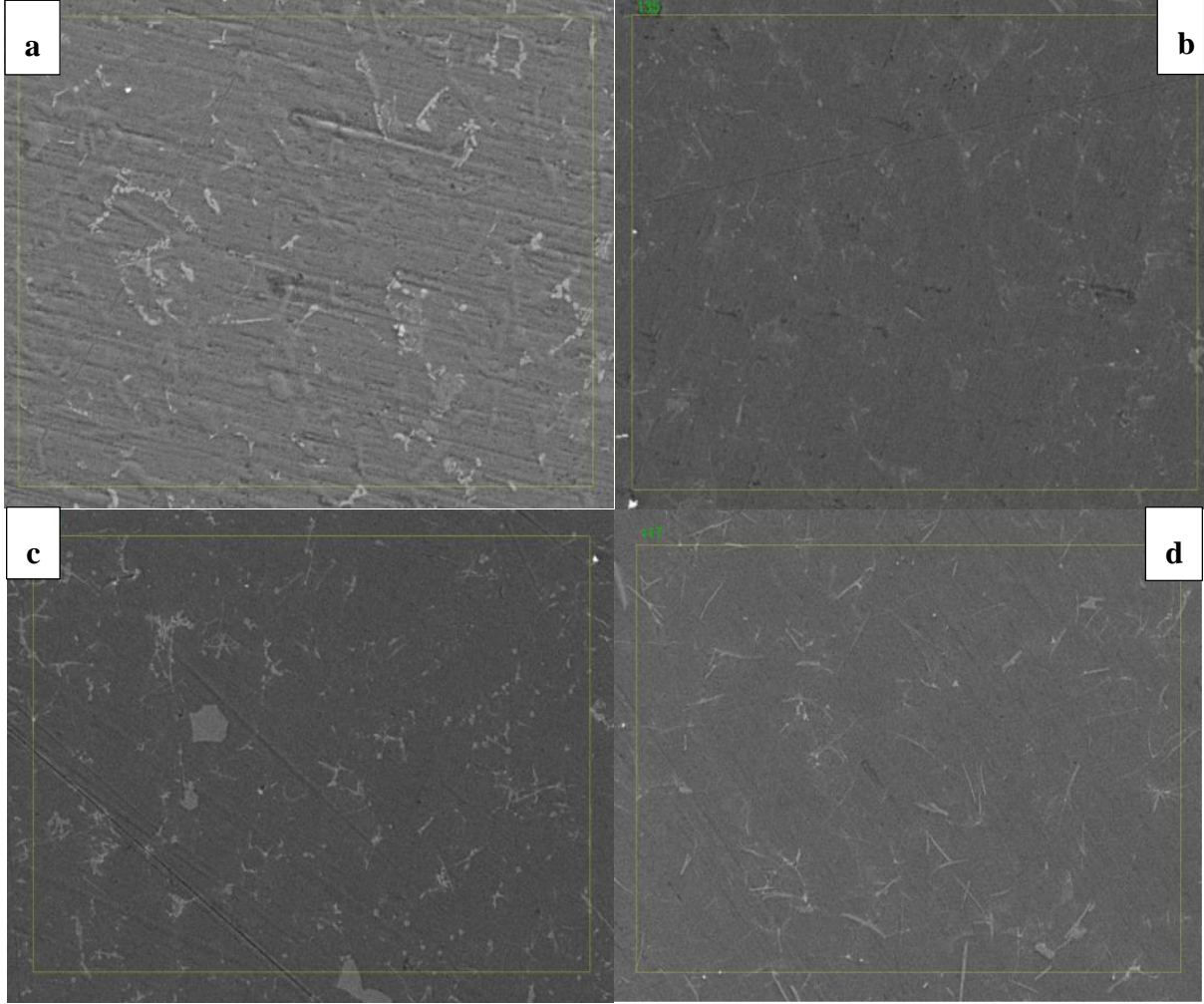


Şekil 6.7. EDX analizi sonuç grafiği 5



Şekil 6.8. EDX analizi sonuç grafiği 6

Numune alma ve parlatma işlemleri tamamlanmış motor montaj parçalarının SEM fotoğrafları Şekil 6.9. da verilmiştir. Bu malzemelerin görüntülerinde yüksek oranda silisyum elementi olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçları doğrulamak ve net yüzde değerlerini elde etmek için EDX analizi numunelere uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar kaplamasız ürünler için Tablo 6.3.'de yer alırken, Tablo 6.4.'de ise kaplama tipleri belirlenmesi için yapılan EDX analizinin sonuçları yer almaktadır.



**Şekil 6.9.** SEM mikroskobu sonuçları a)Piston, b)Rulman Yatağı, c)Gömlek, d)Yakıt giriş Kapağı

**Tablo 6.3.** Montaj ürünleri spektral analiz sonuçları

	Alüminyum	Silisyum	Bakır	Çinko	Demir	Mangan	Magnezyum
<b>Piston</b>	77,27	17,41	0,76	0,34	0,38	0,14	1,15
<b>Rulman Yatağı</b>	85,11	8,34	0,36	1,53	0,64	0,20	0,75
<b>Gömlek</b>	86,96	10,77	1,19	0,79	0,63	0,15	0,15
<b>Yakıt Giriş Kapağı</b>	83,05	13,26	0,79	1,87	0,66	0,27	0,68

Yapılan incelemelerde özellikle piston malzemesinin mümkün olan en yüksek alüminyum – silisyum alaşımı yani, 4000 serisi materyalden üretildiği gözlemlenmiştir.

Ülkemizde ETİ Alüminyum kuruluşunun üretimini gerçekleştirdiği külçe malzemedan Etial 195 serisi bu alaşım tipine en yakın kimyasal analize sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca diğer malzemelerdeyse Etial 145 serisine daha yakın bir alaşım türünden imalatı gerçekleştirildiği belirlenmiştir.

Kaplamaya sahip olan ürünler incelendiğinde, segmanın çelik malzeme ile uyumlu olan eloksal kaplanarak üretildiği kimyasal analiz sonuçları dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca piston malzemesine ise alüminyum alaşımlarıyla iyi bir sonuç elde edilen sert eloksal yapıldığı değerlendirilmektedir.

**Tablo 6.4.** Kaplamalı ürünlerin spektra analiz sonuçları

	Karbon	Oksijen	Kalsiyum	Bakır	Çinko	Fosfor	Sülfür	Nikel	Krom
<b>Segman Kaplanmış</b>	40,5625	35,9767	0,45	0,16333	12,0987	4,94267	3,45333		
<b>Piston Kaplanmış</b>	3,98	51,6158		0,3675	0	0,00833	3,84917	0,075	0,03

Bu araştırma çalışmasının bir sonucu olarak, her bir ürünün malzeme ve üretim şekline karar verilmiştir. Yani sonuç olarak Şekil 6.10.' da yer alan iki zamanlı motor AHİ Havacılık ve Savunma & BŞEÜ işbirliği ile KOSGEB Ar Ge projesi kapsamında üretilmiştir.

Piston ve Gömlek malzemesi Etial 145 kokil olarak dökülmüş dolu hammaddeden üretilirken, aşınmaya maruz kalmayan ürünler de 6061 – T6 haddelenmiş malzemelerden yararlanılarak imalatı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca piston sert eloksal kaplama yapılmıştır ve 61 cc hazır segman kullanılmıştır.



Şekil 6.10. AHİ HVS düşük irtifa 61 cc İHA motoru

## 6.2. Test Sonuçları

Test sonuçları incelenirken ilk olarak ağırlık kayıpları ele alınmıştır. Bu sonuçlar değerlendirilirken hassas terazi kullanılarak ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Böylece aşınma değerlerinin hesaplanmasına katkı sağlanmıştir. İki farklı deneyin tüm aşınma ve sürtünme testlerinin sonuçları Tablo 6.5. - 6.6. da verilmiştir.

Bu hesaplamalar yapılırken materyal metotta yer alan aşınma, ağırlık kaybı ve yoğunluk ilişkisini içeren denklemler kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; en yüksek ağırlık kaybının 10. deneyde olduğu gözlemlenmiştir. En az ağırlık kaybınınsa 4. ve 11. deneylerde olduğu söylenebilir. Aynı zamanda ortalama ağırlık kaybının 0,00132 gr olduğu tespit edilmiştir.

Hacim kaybı, öz kütle ile ilişkili olup ürün üzerinden çıkan bir materyal kaybıdır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlarda en düşük değer yine 4.ve 11. deneylerde tespit edilmiştir. Ayrıca en yüksek değer 10. deneyde elde edilmiş olup; hacim kaybı ( $\Delta V$ ) ise  $4,925 \cdot 10^{-4}$  dir.

Aşınma direncinin; bir malzemenin aşınmaya karşı gösterdiği bir mekanik özellik ve tribolojik davranış olduğu söylenebilir. Bu duruma göre aşınma direncinin en yüksek sonucu 4. deneyde elde edilmiştir.

Kaplama değeri hesabında, sadece yaşlandırma işlemi yapılmış yüzey (kaplamasız) seçilmiştir. Bu sonuca göre; kaplamanın aşınma sonuçlarına olan etkisinin en az seviyede olduğu ortaya çıkarmıştır.

### 6.2.1. Deney 1

Tablo 6.5. de birinci deney için yapılan aşınma ve testlerin sonuçları yer almaktadır. Bu tablo incelendiğinde en yüksek ağırlık kaybının 10'.deneyde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca en düşük ağırlık kaybı deney 4. ve 11. deneylerde elde edilmiştir. Tüm ürünler için ortalama ağırlık kaybının ise 0,00132 değerinde olduğu hesaplanmıştır.

**Tablo 6.5.** Deney 1 için aşınma ve sürtünme testlerinin sonuçları.

Deney No	Ağırlık kaybı (ΔG)	Sürtünme Ort	Hacim kaybı (ΔV)	Aşınma oranı (Wr) mm <sup>3</sup> /m	Aşınma oranı (K) mm <sup>3</sup> /Nm	Aşınma Direnci Nm/mm <sup>3</sup>	Aşınma Direnci mm <sup>3</sup> /m
1	0,0013	0,091	0,000483271	1,28195E-06	6,40977E-07	1,560,117	780,058
2	0,0016	0,39	0,000594796	1,57779E-06	2,25399E-07	4,436,583	633,797
3	0,0009	0,052	0,000334572	8,87507E-07	4,43754E-07	2,253,502	1,126,751
4	0,0008	0,041	0,000297398	7,88895E-07	1,12699E-07	8,873,166	1,267,595
5	0,0016	0,163	0,000594796	1,57779E-06	7,88895E-07	1,267,595	633,797
6	0,0021	0,379	0,000780669	2,07085E-06	2,95836E-07	3,380,254	482,893
7	0,0009	0,039	0,000334572	8,87507E-07	4,43754E-07	2,253,502	1,126,751
8	0,0011	0,077	0,000408922	1,08473E-06	1,54962E-07	6,453,212	921,887
9	0,0015	0,156	0,000557621	1,47918E-06	7,39589E-07	1,352,101	676,050
10	0,0023	0,385	0,000855019	2,26807E-06	3,24011E-07	3,086,318	440,902
11	0,0008	0,018	0,000297398	7,88895E-07	3,94448E-07	2,535,190	1,267,595
12	0,0010	0,054	0,000371747	9,86119E-07	1,40874E-07	7,098,533	1,014,076

Sürtünme katsayısı ortalaması tabloda ayrı bir sütunda listelenmiştir. Bu kapsamda en yüksek sürtünme değerine sahip numune 0.39 değeriyle 2 numaralı deney sonucunda elde edildiği belirlenmiştir. 6. ve 10. Deneylerde de hemen hemen benzer sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.

Genel olarak bu iki sonuç ele alındığında sürtünme katsayısı değerinin yüksek olması ile birlikte ağırlık kaybında da bir artışın olduğu ama doğrusal bir karşılık olmayacağı gözlemlenmiştir. Neticede bu test verileri aşınma teorisinin genel kurallarına bağlı bir sonuç elde edildiği ön görüşünü ortaya çıkartmıştır.

Tabloda mühendislik anlamda en önemli sonucu verecek parametre; aşınma direnci değeridir. Aşınma direnci değeri incelendiğinde ise en yüksek aşınmaya karşı direnç gösteren deneyin 4. deney olduğu ve sırasıyla 12. ile 8. deneyin bu sonuçları izlediği söylenebilir. En az aşınma değeri ise 1. 5. ve 9. deneylerde ortaya çıkmıştır.

Tüm bu sonuçlar bizlere yüksek devir sayılarında malzemenin çok daha fazla aşınmaya karşı direnç gösterdiğini ortaya çıkarmaktadır. Aynı zamanda 7 N yükleme uygulanan en yüksek kuvvetlerde daha fazla direnç oluşturduğu belirlenmiştir. Tüm bu deney sonuçları Etial 145 malzemesinin yüksek yük ve devir sayılarında daha fazla sürtünmeye karşı dirençli bir materyal olduğunu kanıtlamaktadır. Bu durum nedeniyle Etial 145 malzemesinin piston malzemesi olarak endüstride yaygın olarak kullanıldığı düşünülmektedir.

### **6.2.2. Deney 2**

İkinci deneyin aşınma ve sürtünme test sonuçları Tablo 6.6. da verilmiştir. Bu test sonuçları incelendiğinde sürtünme katsayısı sonucunun en düşük olduğu değerin 27. deney, en yüksek değerin ise 12. deney olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 6.6.** Deney 2 aşınma ve sürtünme testlerinin sonuçları

	Sürtünme Ort	Ağırlık kaybı (AG)	Hacim kaybı (volüme loss) (AV)	Aşınma Oranı Wr	Aşınma Oranı K	Aşınma Direnci Nm/mm <sup>3</sup>	Aşınma Direnci mm <sup>3</sup> /m
1	0,413333	0,0021	0,000755396	8,01523E-07	4,00762E-07	2495248,571	1247624,286
2	0,387731	0,0028	0,001007194	1,0687E-06	1,0687E-07	9357182,143	935718,2143
3	0,439316	0,0331	0,011906475	1,26335E-05	7,01863E-07	1424779,396	79154,41088
4	0,435882	0,0013	0,000467626	4,96181E-07	4,96181E-08	20153930,77	2015393,077
5	0,39292	0,0051	0,001834532	1,94656E-06	1,08142E-07	9247097,647	513727,6471
6	0,459172	0,0023	0,000827338	8,77859E-07	4,38929E-07	2278270,435	1139135,217
7	0,411859	0,0052	0,001870504	1,98472E-06	1,10262E-07	9069268,846	503848,2692
8	0,460195	0,0132	0,004748201	5,03815E-06	2,51907E-06	396971,3636	198485,6818
9	0,412911	0,0012	0,000431655	4,58013E-07	4,58013E-08	21833425	2183342,5
10	0,432172	0,0101	0,003740741	3,96917E-06	1,98458E-06	503884,1584	251942,0792
11	0,488822	0,0108	0,004	4,24426E-06	4,24426E-07	2356125	235612,5
12	0,843846	0,0206	0,00762963	8,09553E-06	4,49752E-07	2223450	123525
13	0,557343	0,0024	0,000888889	9,43168E-07	9,43168E-08	10602562,5	1060256,25
14	0,363927	0,0035	0,001296296	1,37545E-06	7,64141E-08	13086591,43	727032,8571
15	0,426885	0,0013	0,000481481	5,10883E-07	2,55441E-07	3914792,308	1957396,154
16	0,397241	0,0093	0,003444444	3,65478E-06	2,03043E-07	4925061,29	273614,5161
17	0,473675	0,0035	0,001296296	1,37545E-06	6,87727E-07	1454065,714	727032,8571
18	0,474363	0,0045	0,001666667	1,76844E-06	1,76844E-07	5654700	565470
19	0,390483	0,0035	0,00125	1,32633E-06	6,63165E-07	1507920	753960
20	0,373585	0,0089	0,003178571	3,37267E-06	3,37267E-07	2965011,236	296501,1236
21	0,342794	0,0013	0,000464286	4,92637E-07	2,73687E-08	36538061,54	2029892,308
22	0,54593	0,0054	0,001928571	2,04634E-06	2,04634E-07	4886777,778	488677,7778
23	0,395048	0,0194	0,006928571	7,35166E-06	4,08426E-07	2448426,804	136023,7113
24	0,481179	0,0041	0,001464286	1,5537E-06	7,76851E-07	1287248,78	643624,3902
25	0,385346	0,0063	0,00225	2,38739E-06	1,32633E-07	7539600	418866,6667
26	0,387372	0,0101	0,003607143	3,82741E-06	1,91371E-06	522546,5347	261273,2673
27	0,300396	0,0012	0,000428571	4,54742E-07	4,54742E-08	21990500	2199050

Aşınma oranı en yüksek olan numunenin 3. test sonucu ile elde edildiği gözlemlenirken, 27. deneyde en az değerin elde edildiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre aşınmaya karşı en dirençli 27. deney iken, en düşük 3. deneydir. Yine deney sonuçlarına göre 7xxx serisi eloksal kaplamalı ürünün aşınma direncinin en yüksek olacağı belirlenmiştir. Aşınma direncinin en düşük olduğu malzeme 2xxx serisi kaplamasız üründür.

Bu sonuçlar bizlere kaplama değişiminin yerine malzeme tipindeki farklılığın etkisinin daha fazla olacağı sonucunu ortaya çıkartmıştır. Ayrıca hem en yüksek hem de en alt sonuçların 240 °C derecelik çalışma sıcaklığında elde edildiği belirlenmiştir. Her iki deney tablosunun ortak noktaları tablo 6.7., 6.8. ve 6.9. da listelenmiştir.

**Tablo 6.7.** Etial 145 aşınma direnci

Deney No	Sıralama	Etial 145			
		Aşınma Direnci	Kaplama	Devir	Yük
11	1	1267,595	Eloksal	600	2
4	2	1267,595	Kaplamasız	600	7
7	3	1126,751	Sert eloksal	600	2

**Tablo 6.8.** 6000 serisi aşınma direnci

Deney No	Sıralama	6000			
		Aşınma Direnci	Kaplama	Sıcaklık	Yük
15	1	1957,396	S. eloksal	240	2
13	2	1060,256	S. eloksal	20	10
14	3	727,032	S. eloksal	120	18

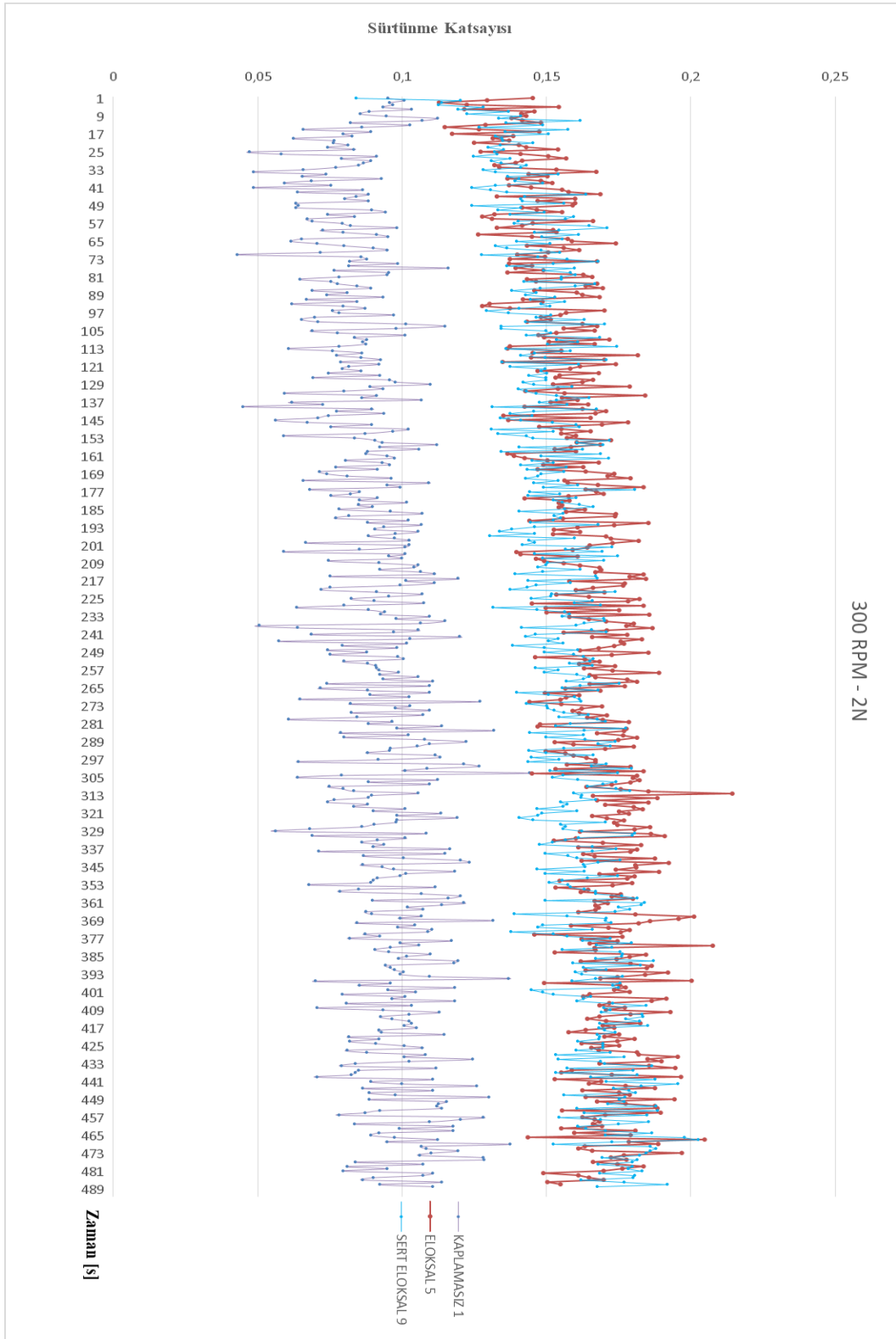
**Tablo 6.9.** 7000 serisi aşınma direnci

Deney No	Sıralama	7000			
		Aşınma Direnci	Kaplama	Sıcaklık	Yük
27	1	2199,050	Eloksal	240	10
21	2	2029,892	Kaplamasız	240	18
19	3	753,960	Kaplamasız	20	2

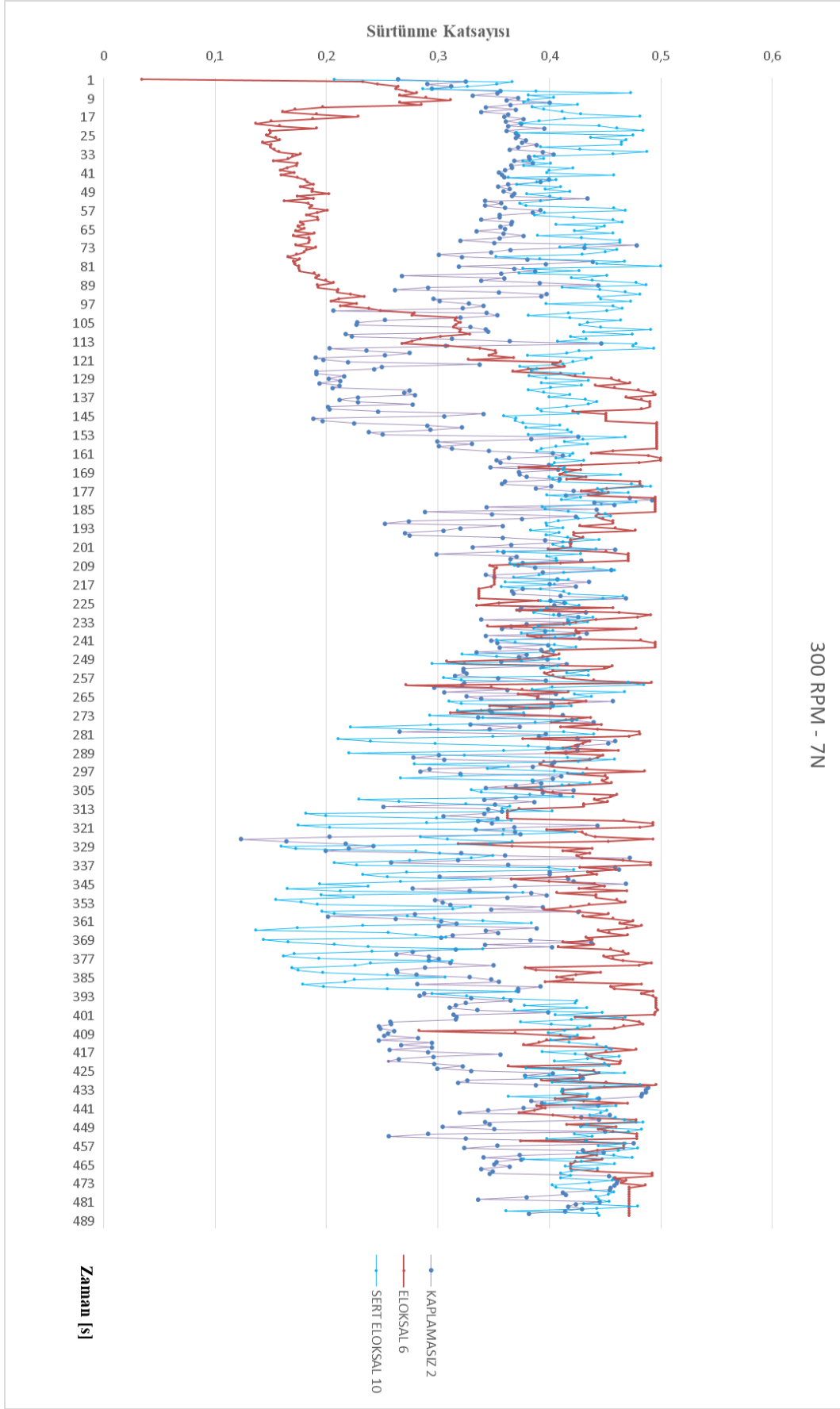
Bu sonuçlara göre 7000 serisi alaşımın aşınmaya karşı daha dirençli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda kokil döküm Etial 145 malzeme yerine, doludan üretilmiş 7000 serisi üründe daha fazla aşınma direnci elde edilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca 6000 serisi alüminyum alaşımının da aşınmaya karşı direncinin Etial 145 kadar fazla olabileceği öngörülmektedir. Üç farklı malzeme için eloksal kaplamanın en etkili yüzey koruma yöntemi olduğu söylenebilir.

### **6.3. Aşınma Grafikleri**

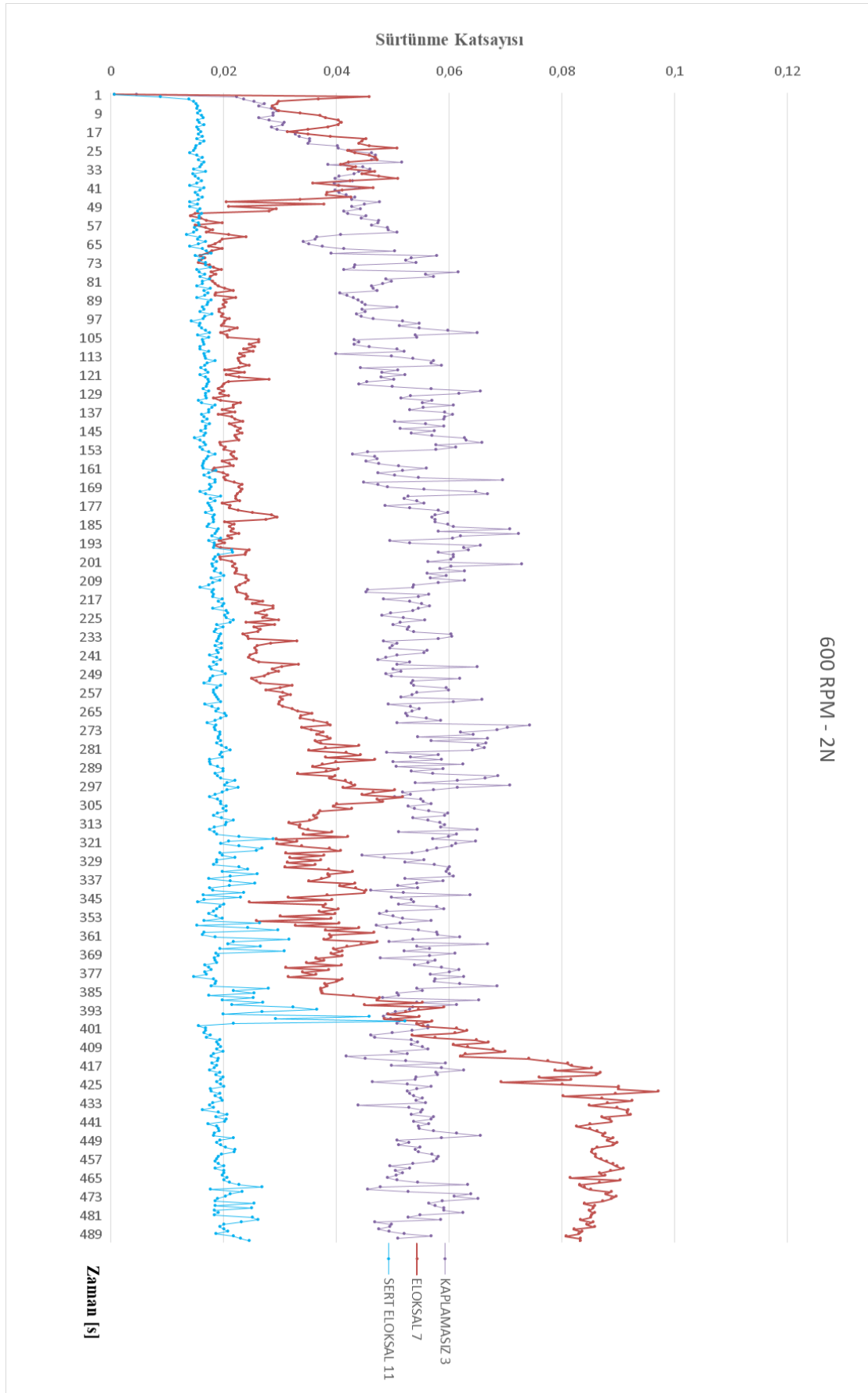
Deney 1 ve 2 nin sürtünme katsayılarındaki detaylı değişim sonuçları grafiği Excell programında hazırlanarak Şekil 6.11. den 6.23.'e kadar verilmiştir. Tüm bu sonuçlar arasında belirgin ve anlamlı benzerlik olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçların zamana bağlı olarak artış göstermesi; yüzey pürüzlülüğünün uygulama süresine bağlı olarak arttığının ve böylece doğru sonuç elde edildiğinin bir göstergesidir.



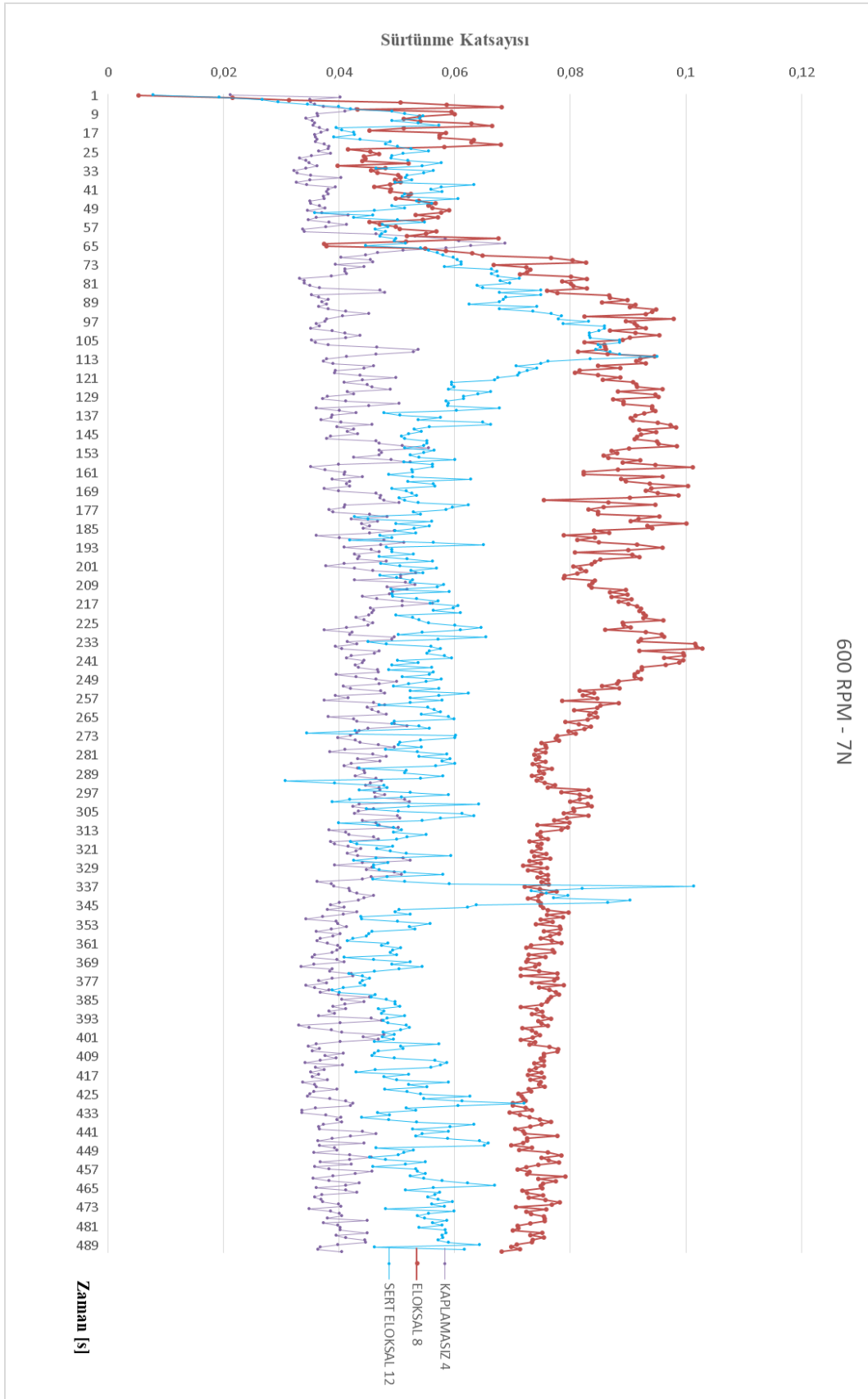
**Şekil 6.11.** Deney 1 300 RPM-2N da sürtünme grafiği



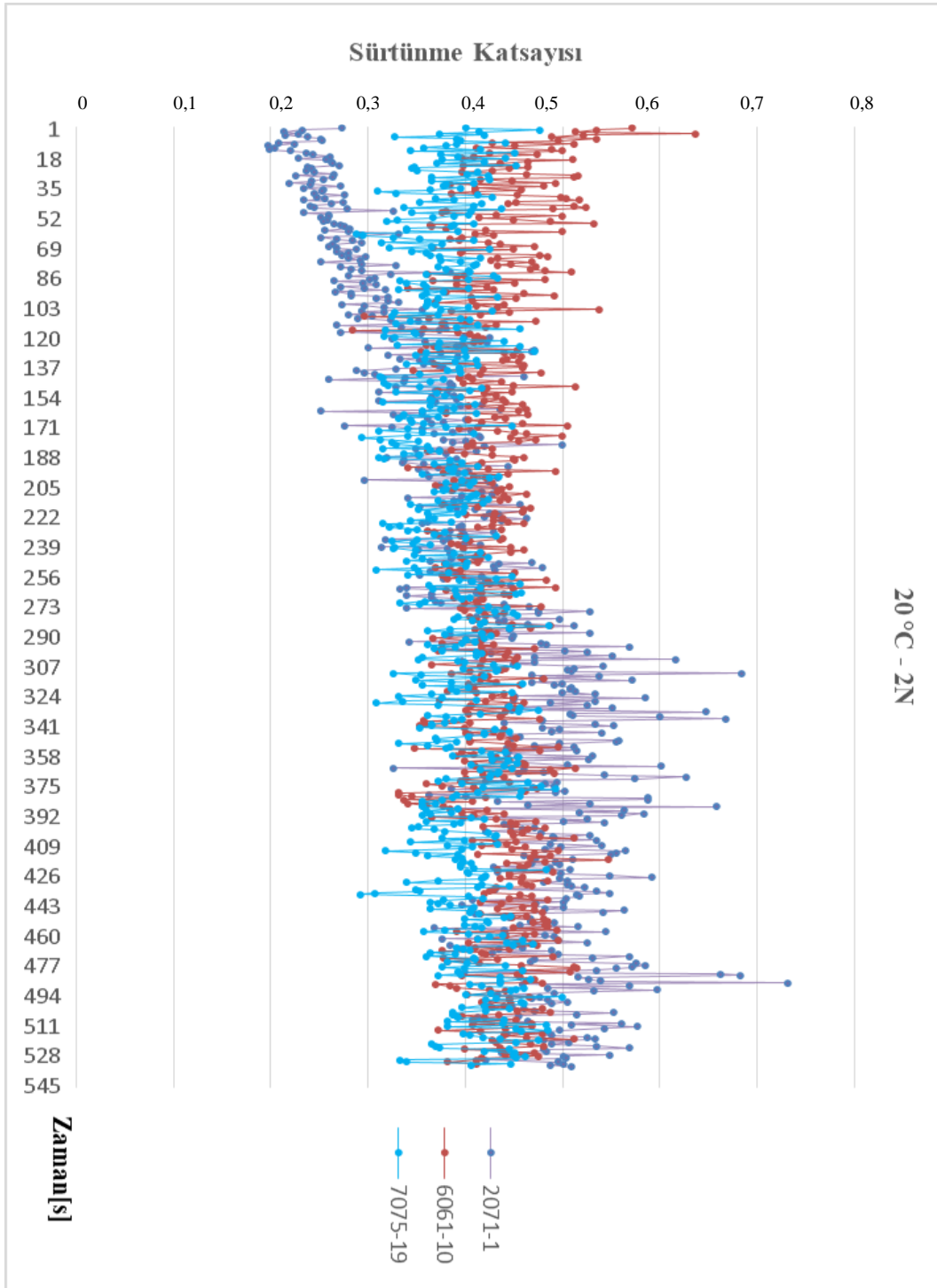
Şekil 6.12. Deney 1 300 RPM-7N da sürtünme grafiği



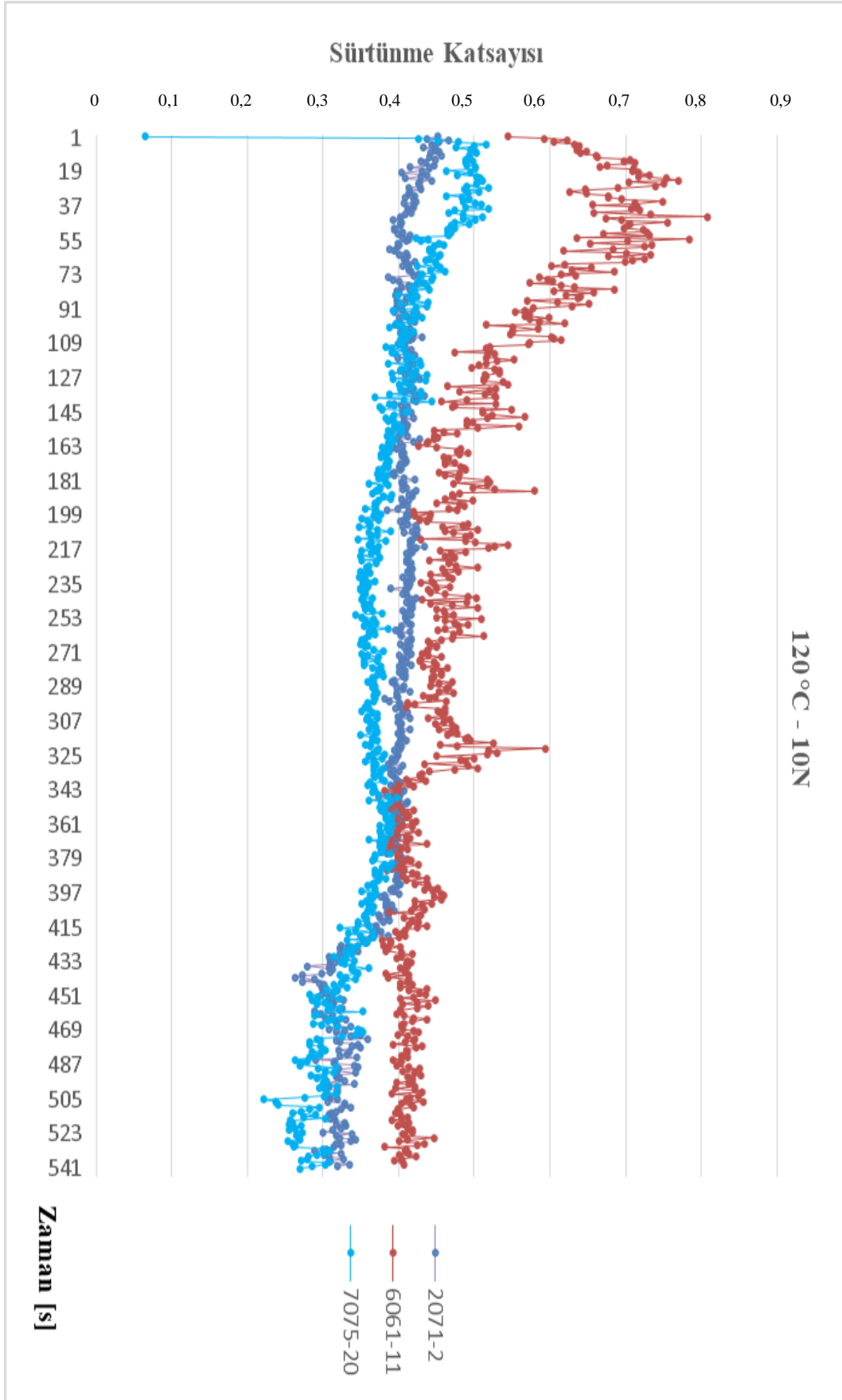
Şekil 6.13. Deney 1 600 RPM-2N da sürtünme grafiği



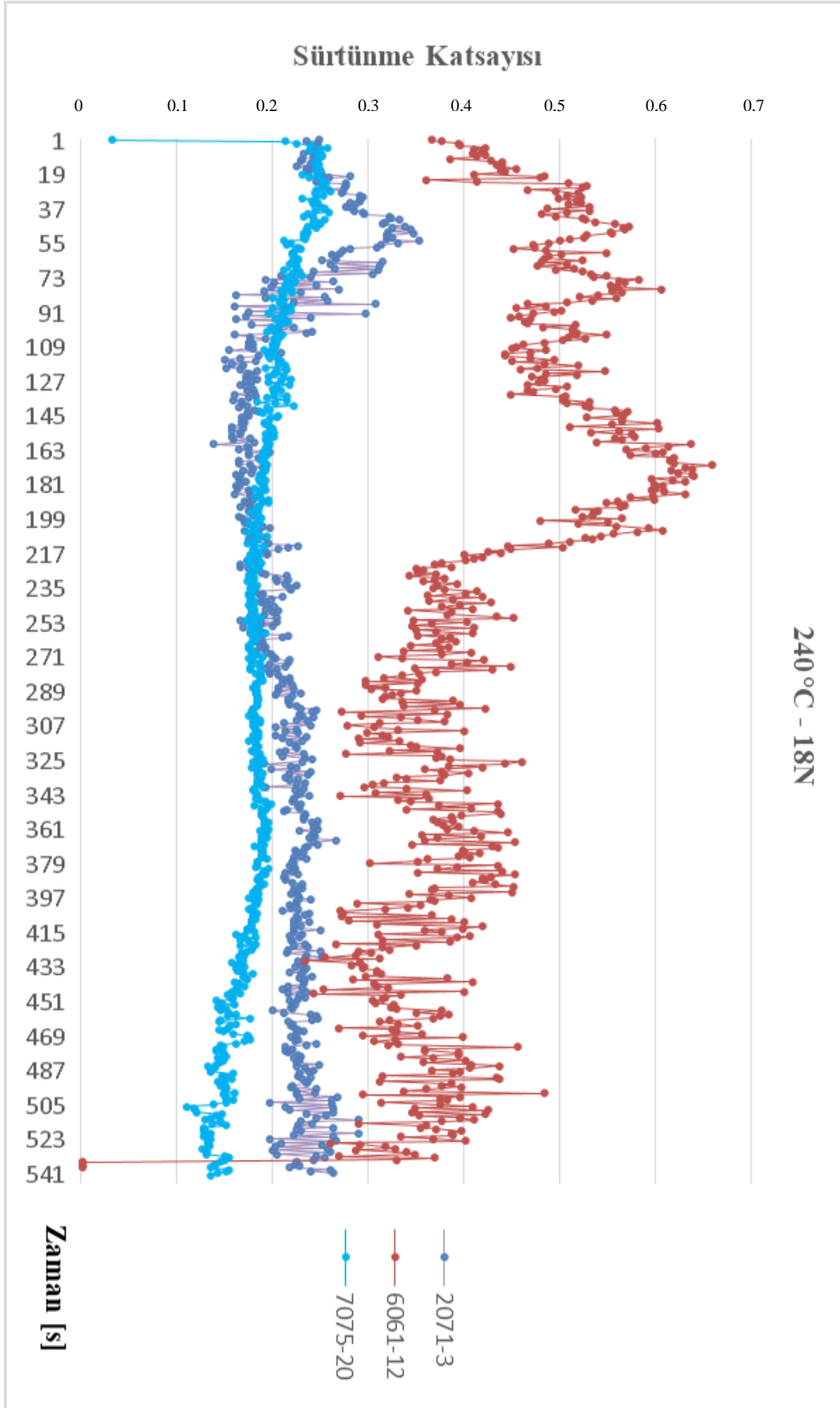
Şekil 6.14. Deney 1 300 RPM-7N da sürtünme grafiği



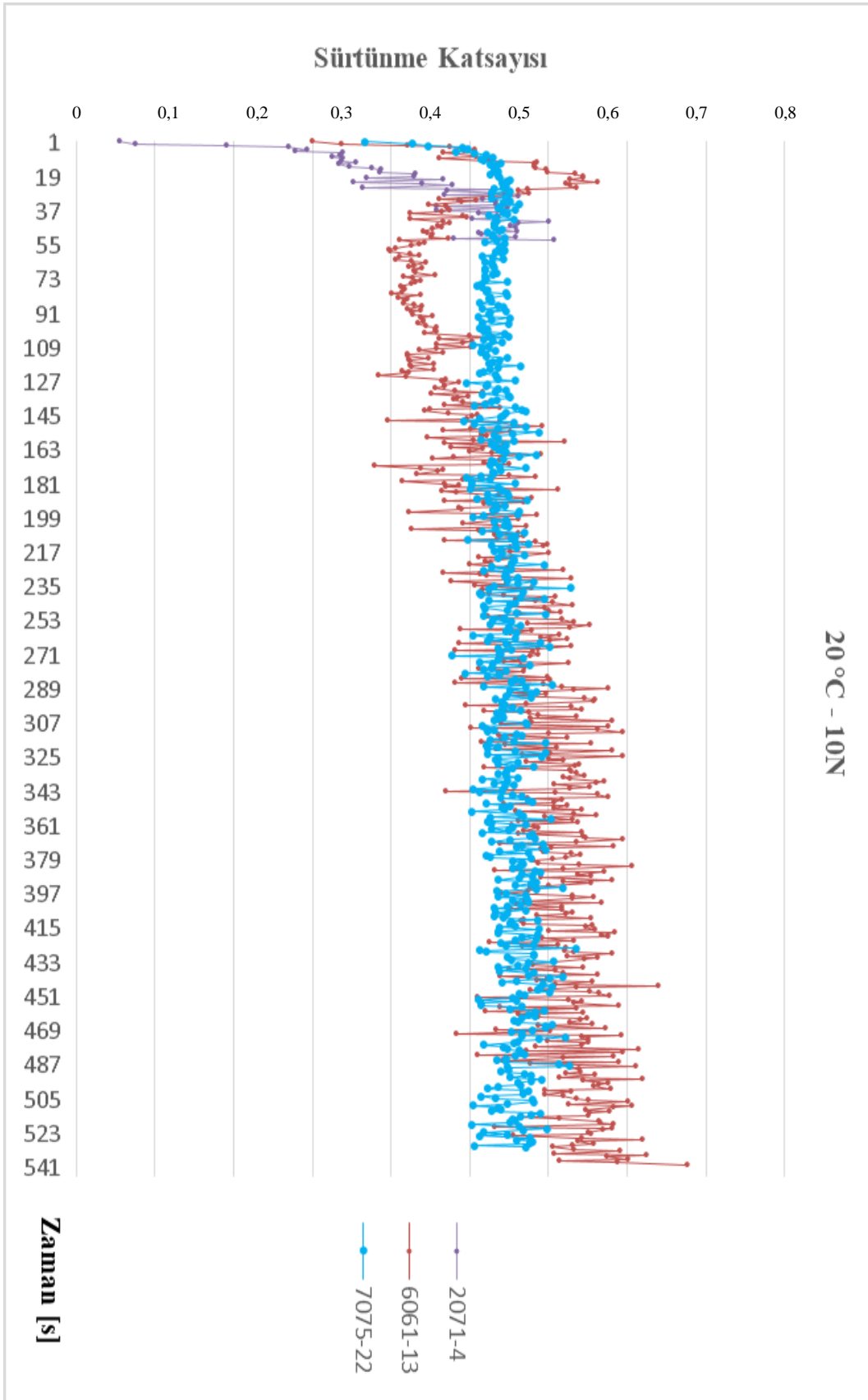
Şekil 6.15. Deney 2 20 °C-2N da sürtünme grafiği



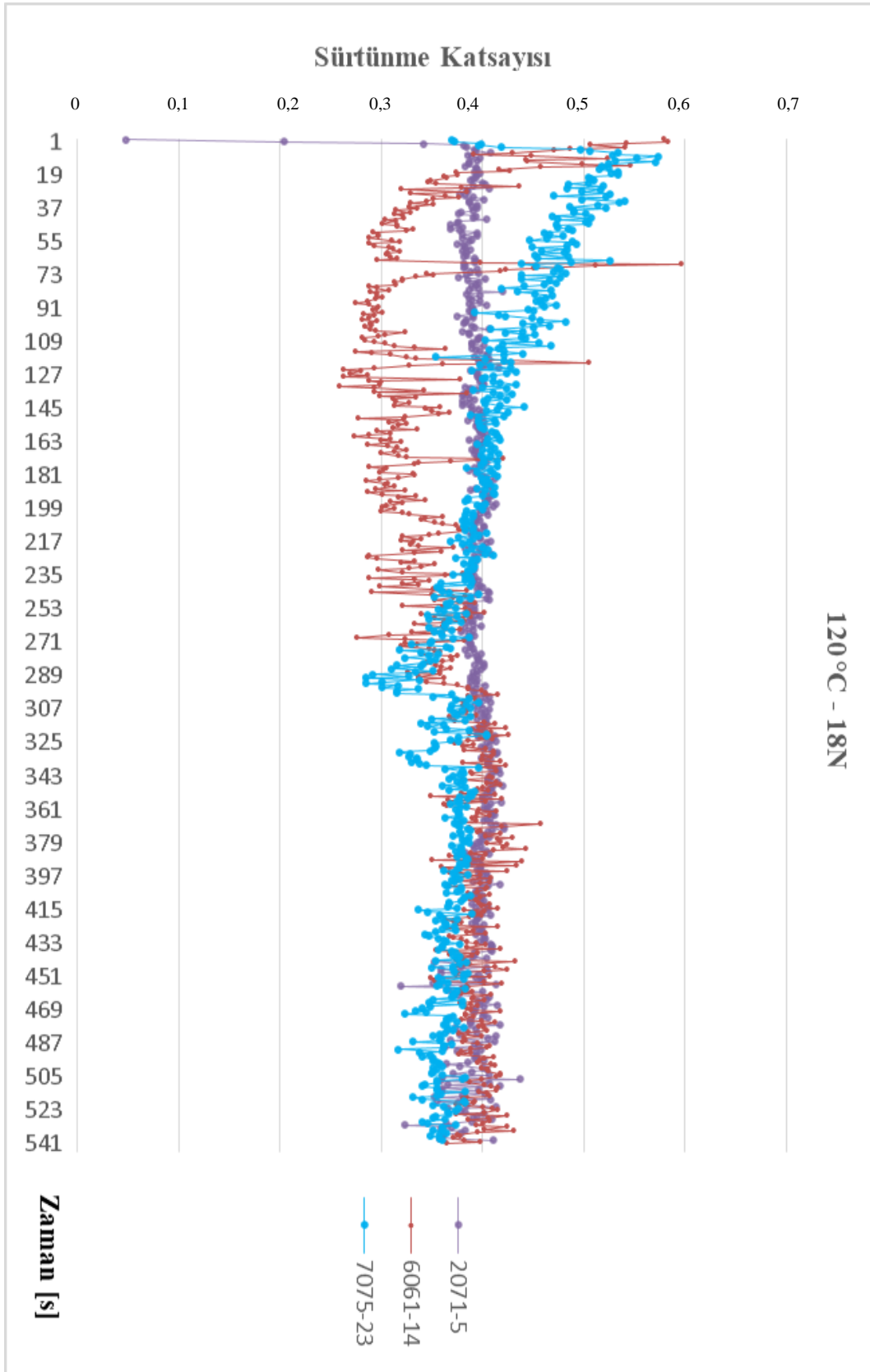
Şekil 6.16. Deney 2 120 °C -10 N da sürtünme grafiği



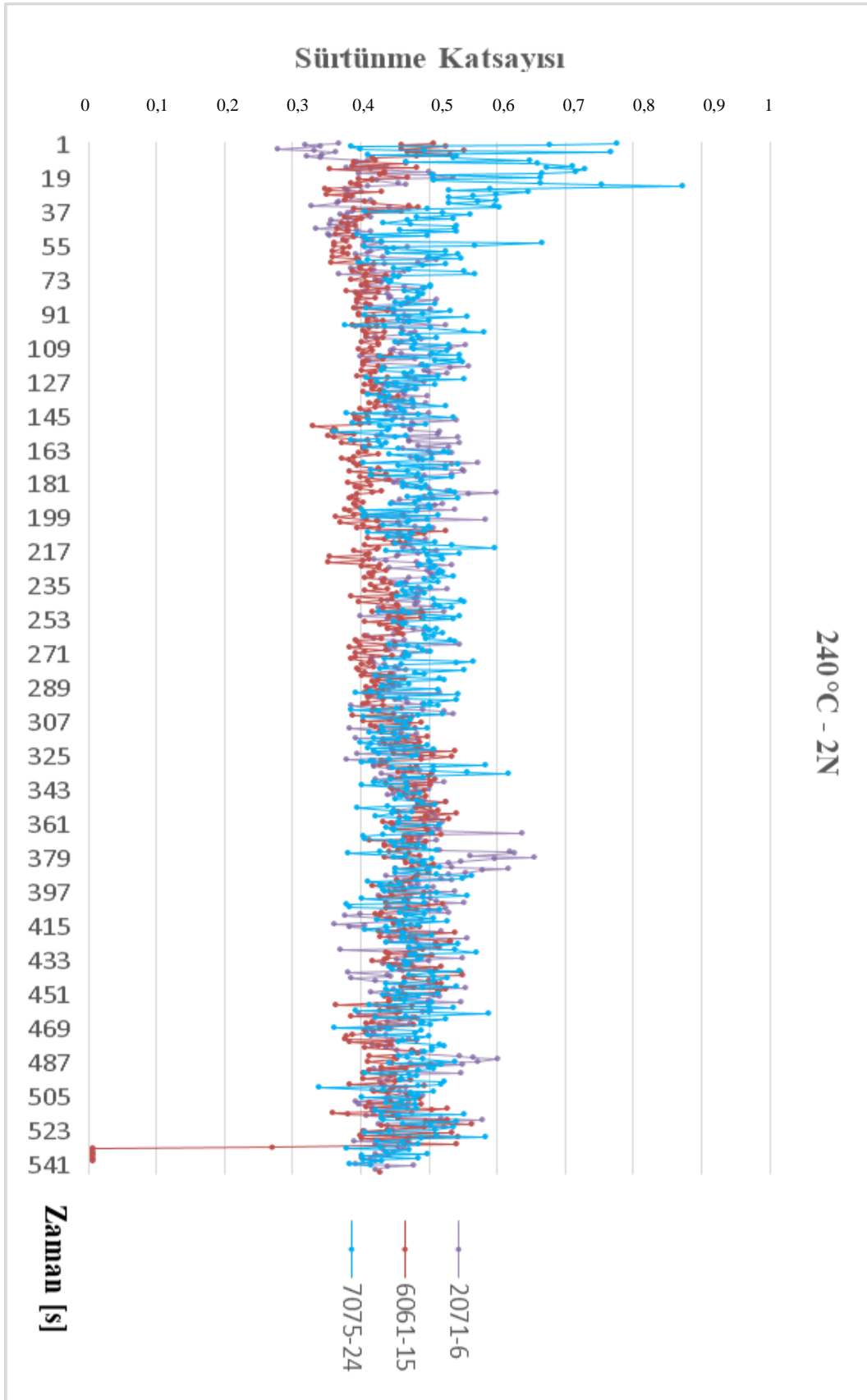
Şekil 6.17. Deney 2 240 °C -18 N da sürtünme grafiği



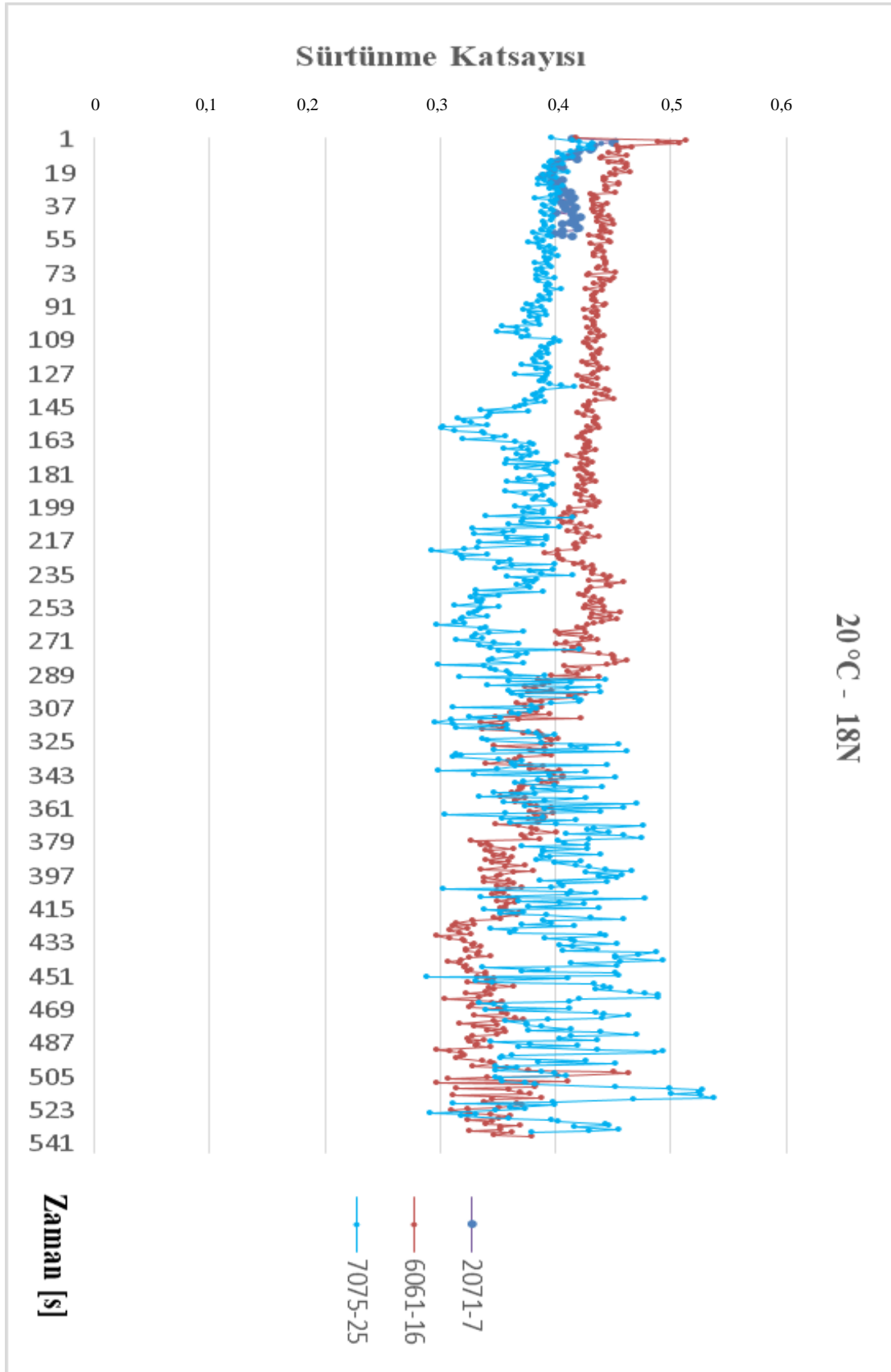
**Şekil 6.18.** Deneysel 20 °C -10 N da sürtünme grafiği



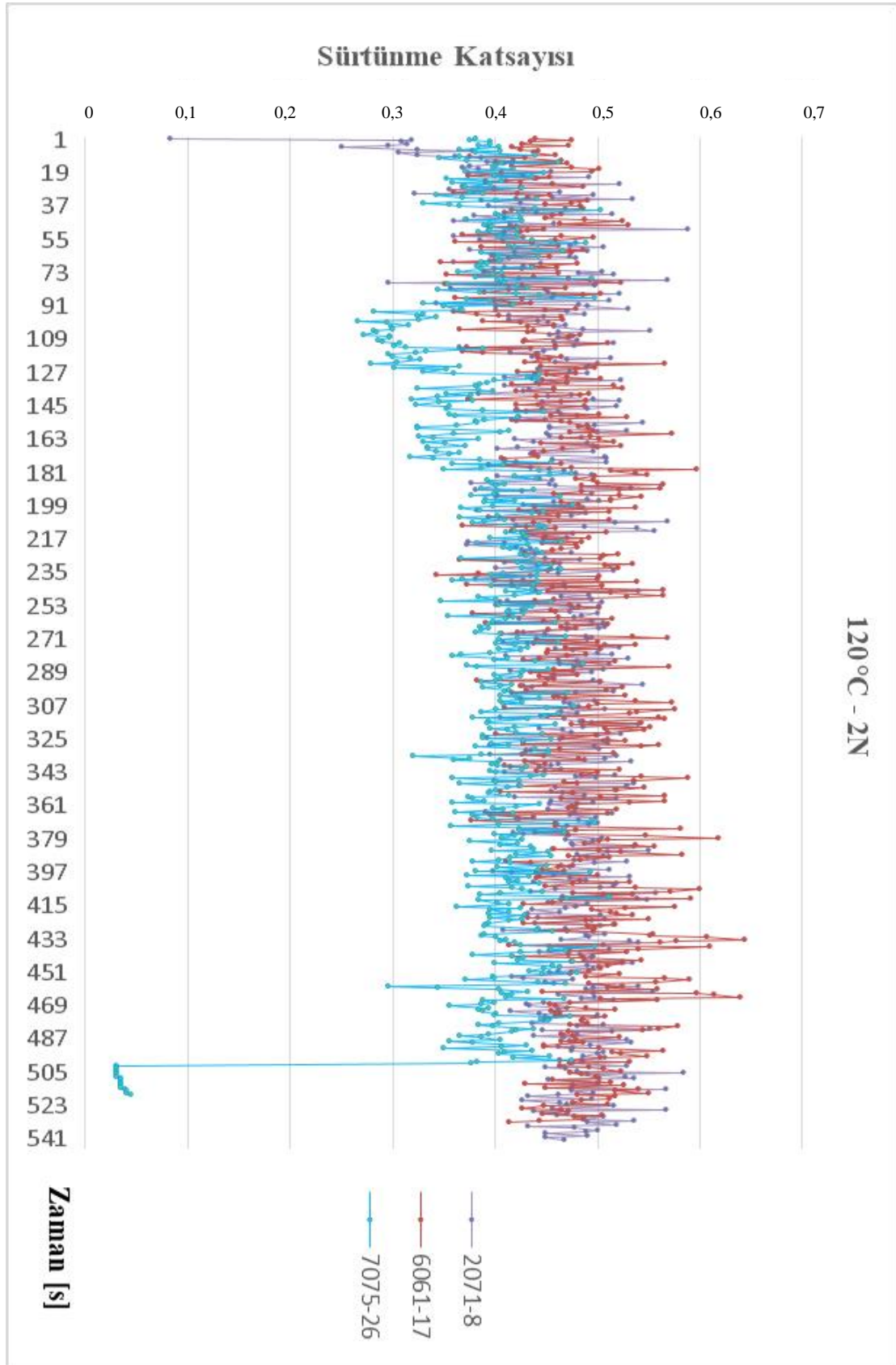
Şekil 6.19. Deney 2 120 °C -18 N da sürtünme grafiği



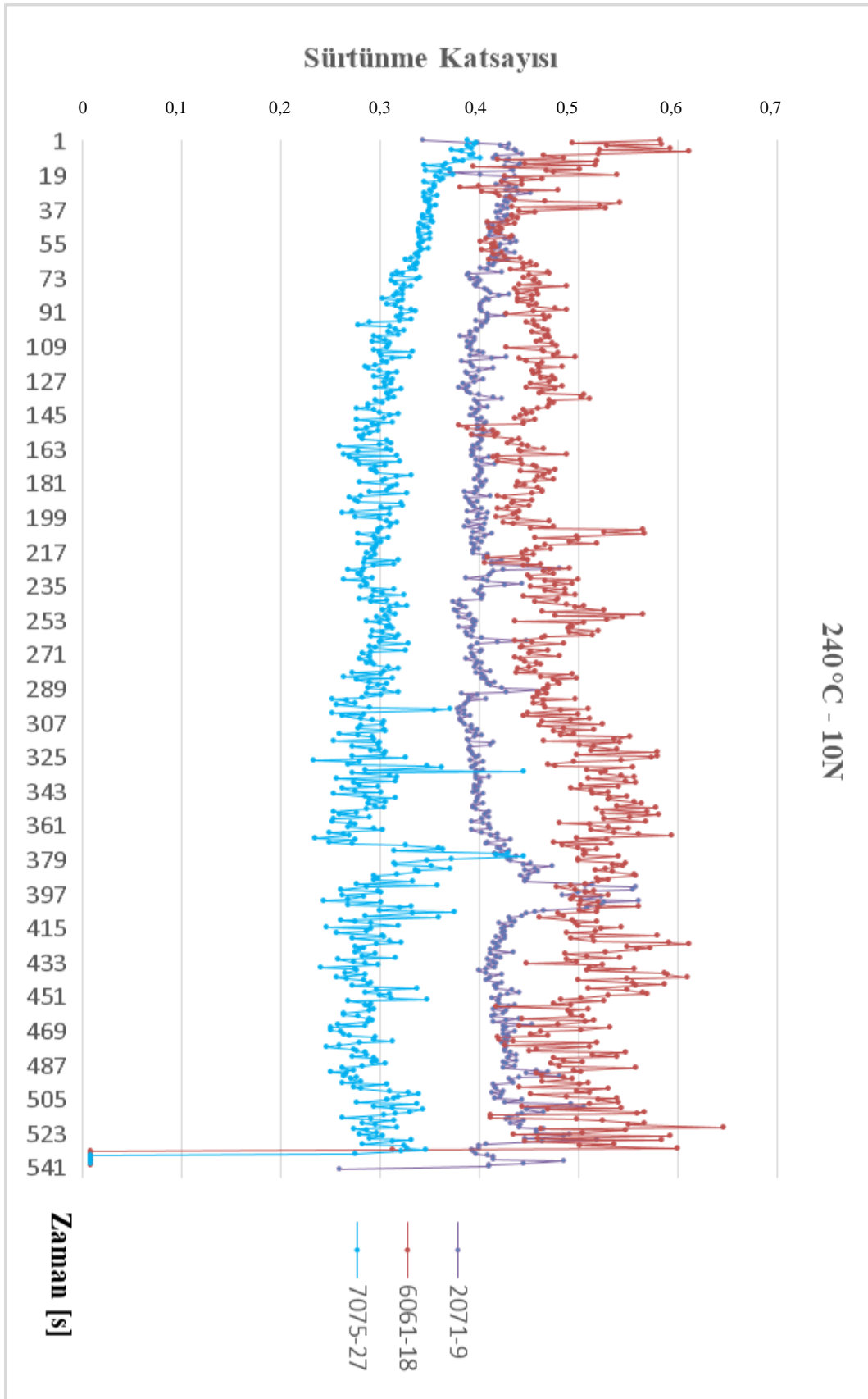
Şekil 6.20. Deneysel 2 240 °C -2 N da sürtünme grafiği



Şekil 6.21. Deneysel 2 20 °C -18 N da sürtünme grafiği



**Şekil 6.22.** Deney 2 120 °C - 2 N da sürtünme grafiği



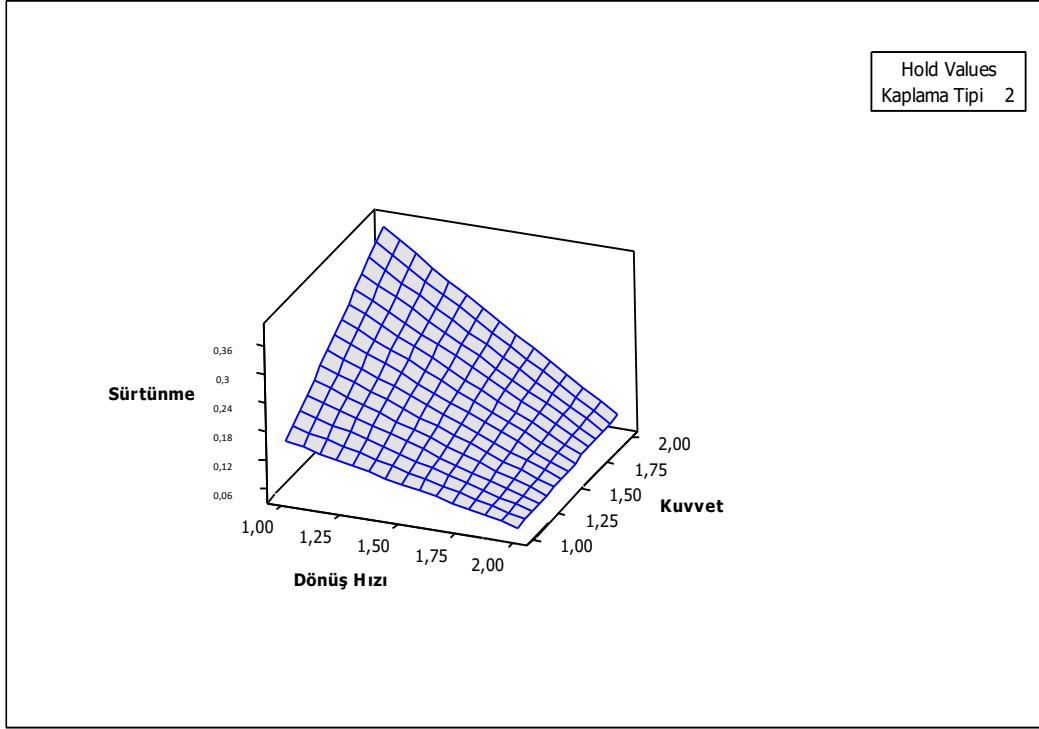
Şekil 6.23. Deney 2 240 °C -10 N da sürtünme grafiği

## 6.4. RSM Sonuçları

### 6.4.1 Deney 1

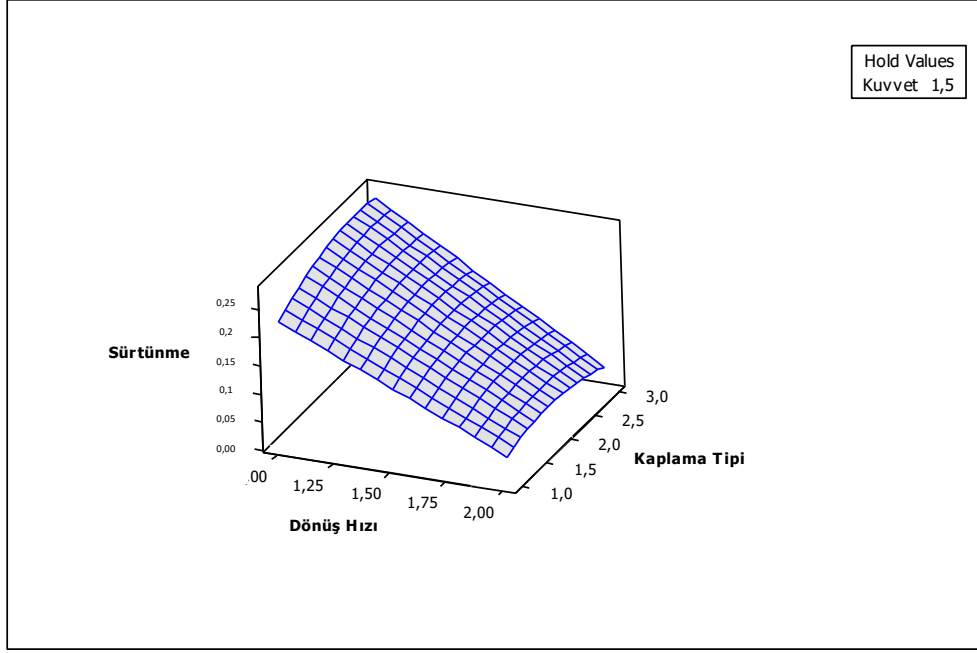
Optimum üretim parametreleri ve seviyeleri için uygulanmış olan RSM analiz sonuçları Şekil 6.24 – 35’ de yer almaktadır.

Aşınma için yapılan RSM sonuçları:



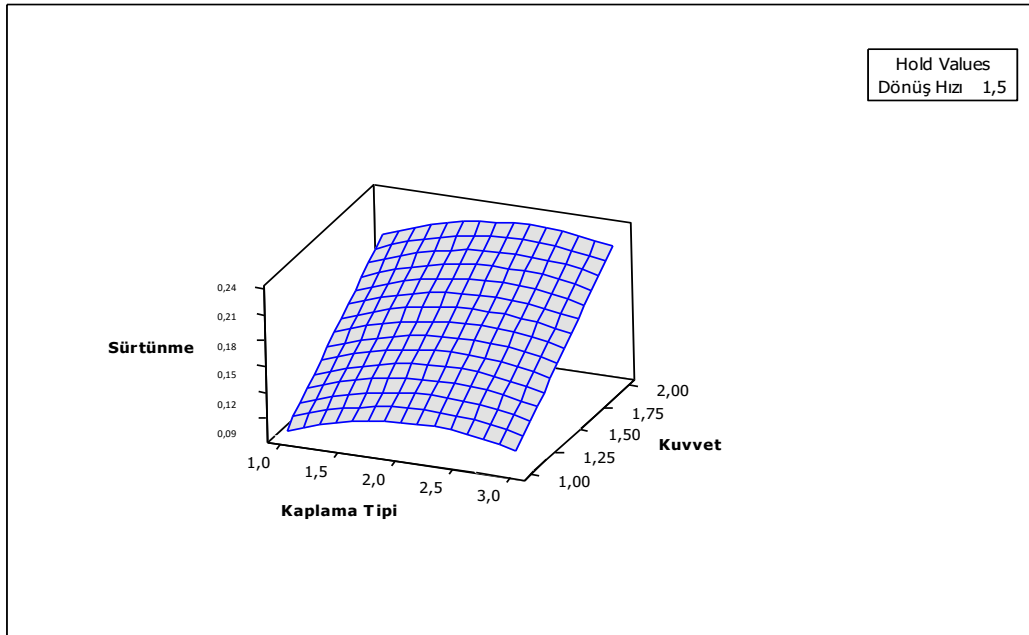
Şekil 6.24. Sürtünme, dönüş hızı ve kuvvet grafiği

RSM sonuçları incelendiğinde sürtünme katsayısının dönüş hızıyla daha yüksek oranda etkileşimde olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle uygulanan kuvvetin artışıyla birlikte dönüş hızındaki artış da ciddi oranda yükselmiştir.



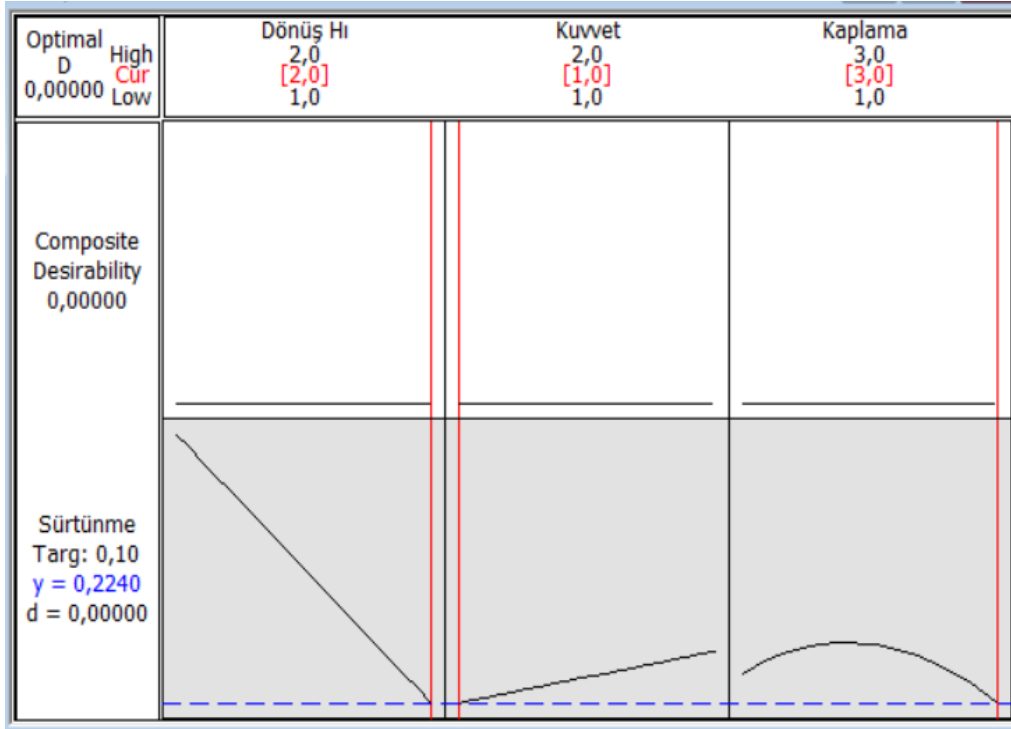
**Şekil 6.25.** Sürtünme, dönüş hızı ve kaplama tipi grafiği

Grafik ele alındığında sürtünme ve kaplama tipi arasındaki ilişkide kaplama tipinin çok fazla etkili olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Kaplama tipine göre dönüş hızının kayda değer oranda sonuçları değiştirdiği belirlenmiştir. Kaplama tiplerinden sert eloksal kaplamalı olanın eloksal kaplamaya göre daha az sürtünmeye neden olduğu yüzey pilot grafiği sonuçlarında ortaya çıkmıştır.



**Şekil 6.26.** Sürtünme, kaplama tipi ve kuvvet grafiği

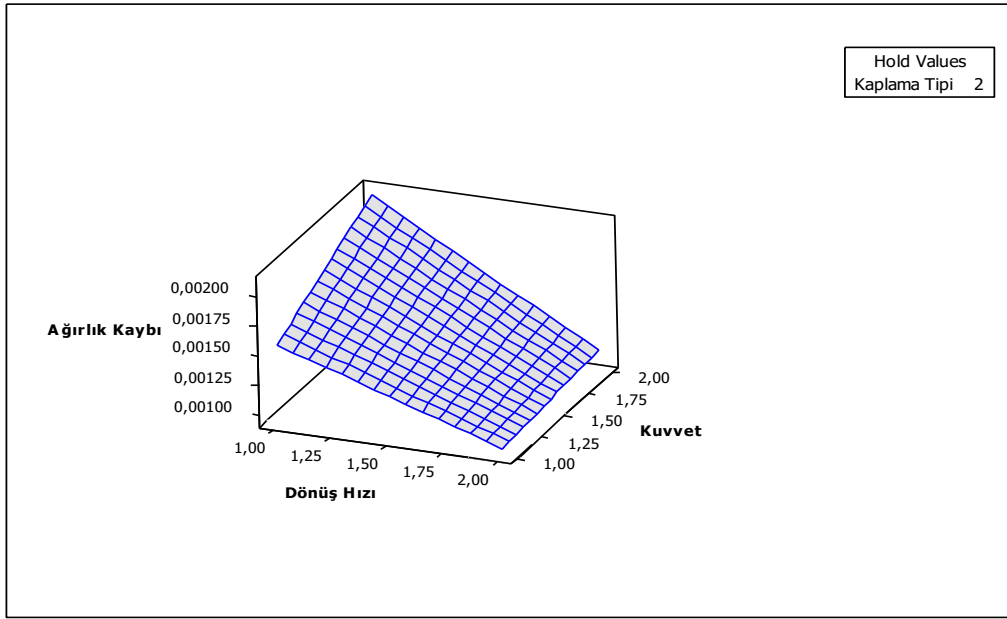
Sürtünmenin kuvvetle olan ilişkisinin doğru orantılı olacağı zaten fizik yasalarıyla ilgilidir. Yine kaplama tipleri ele alındığında sert eloksal kaplamanın sürtünmeyi arttırdığı grafik sonuçlarına göre söylenebilir.



Şekil 6.27. Sürtünme için RSM Optimizer analizi

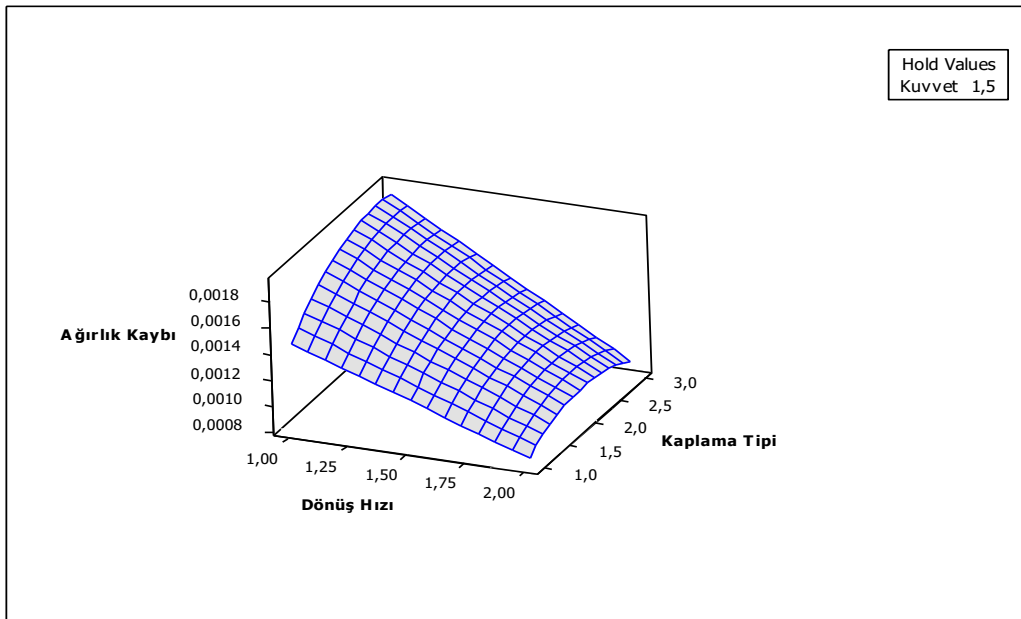
Şekil 6.27. de yer alan RSM Optimizer sonuçlarına göre; dönüş hızı 2. seviye (600 RPM) kuvvet 1. seviye (2 N) ve kaplama 3. seviye (eloksal) seçilerek sürtünme katsayısı 0.224 olarak en düşük değer elde edilebilecektir.

Ağırlık kaybı için yapılan RSM sonuçları:



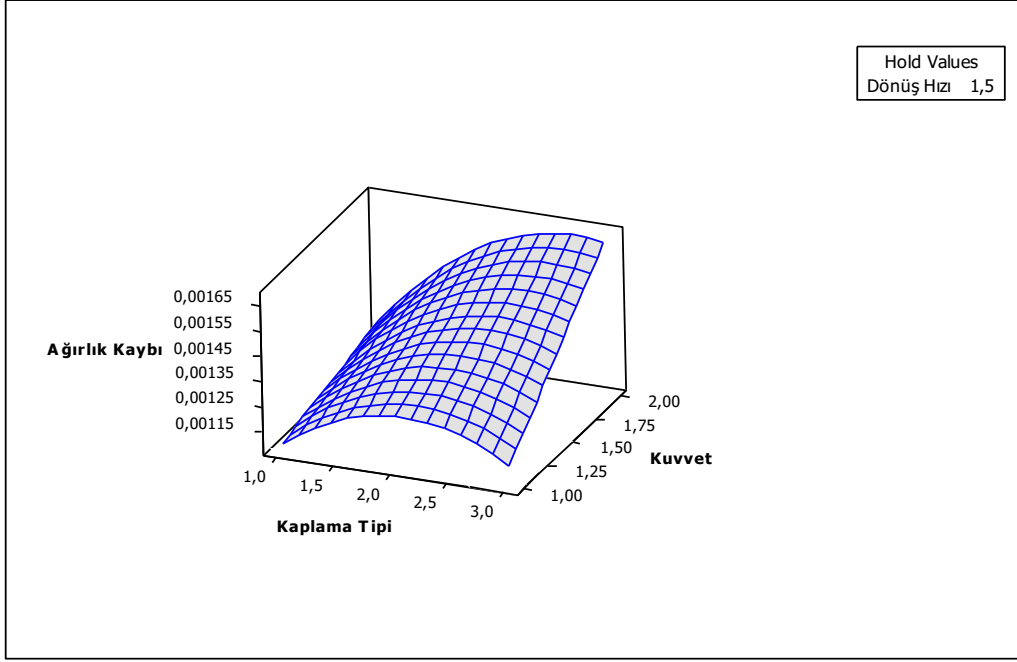
Şekil 6.28. Ağırlık kaybı, dönüş hızı ve kuvvet grafiği

Yapılan deneyin test sonuçları incelendiğinde, “kuvvetin mi yoksa dönüş hızının mı ağırlık kaybına daha fazla neden olabilir?” sorusunun cevabı; dönüş hızı azaldıkça ağırlık kaybının artış göstereceği şeklinde olacaktır. Düşük kuvvet için dönüş hızı çok daha fazla ağırlık kaybına neden olmaktadır.



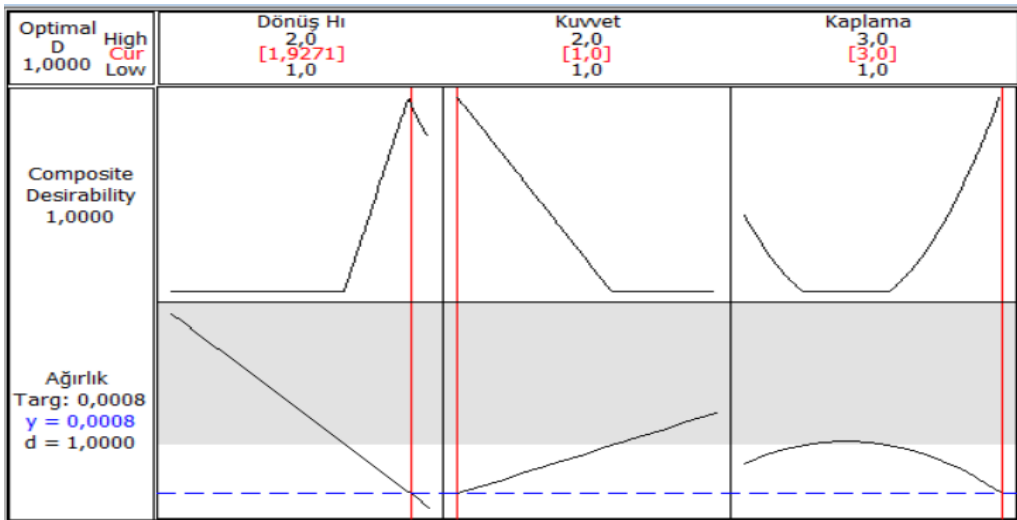
Şekil 6.29. Ağırlık kaybı, dönüş hızı ve kaplama tipi grafiği

Kaplama tipi - dönüş hızı ilişkisiyle birlikte ağırlık kaybı sonuçları da incelendiğinde; düşük dönüş hızlarının daha fazla ağırlık kaybına neden olacağı bariz biçimde ortaya konmuştur. Ayrıca kaplama tipinin etkisi de sonuçlarda lineer olmayan bir görünüm ortaya koymuştur. Yüksek dönüş hızları için ve düşük dönüş hızları için kaplama tipi farklı oranlarda ağırlık kaybı sonuçlarına etki etmiştir.



Şekil 6.30. Ağırlık kaybı, kaplama tipi ve kuvvet grafiği

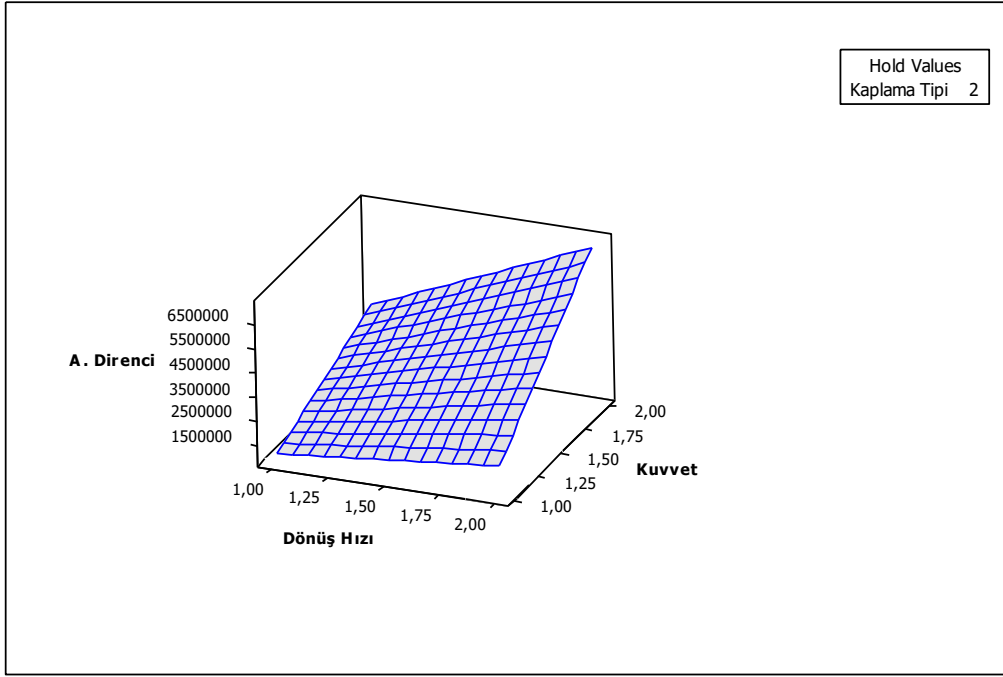
Kaplama tipi ve kuvvet ilişkisi de yine benzer şekilde sonuçlar göstermektedir. Genel olarak kuvvetin kaplama tipine göre test sonuçlarına etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir.



Şekil 6.31. Ağırlık kaybı için RSM Optimizer analizi

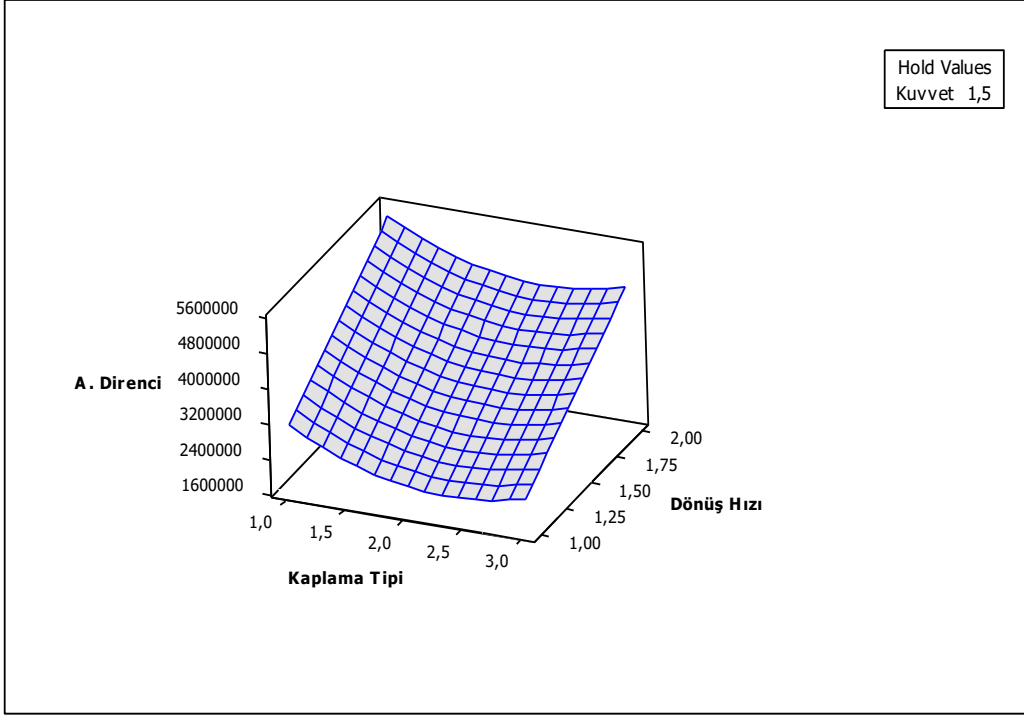
Şekil 6.31. deki ağırlık kaybı için yapılan RSM Optimizer sonuçları incelendiğinde, dönüş hızının 580 RPM değerinde ve en az oranda etki edeceği belirlenmiştir. Kuvvet için 1. Seviye (300 RPM) kaplama için 3. Seviye (eloksal) seçilerek en düşük ağırlık kaybı yani aşınma oranı elde edileceği düşünülmektedir.

Aşınma direnci için yapılan RSM sonuçları:

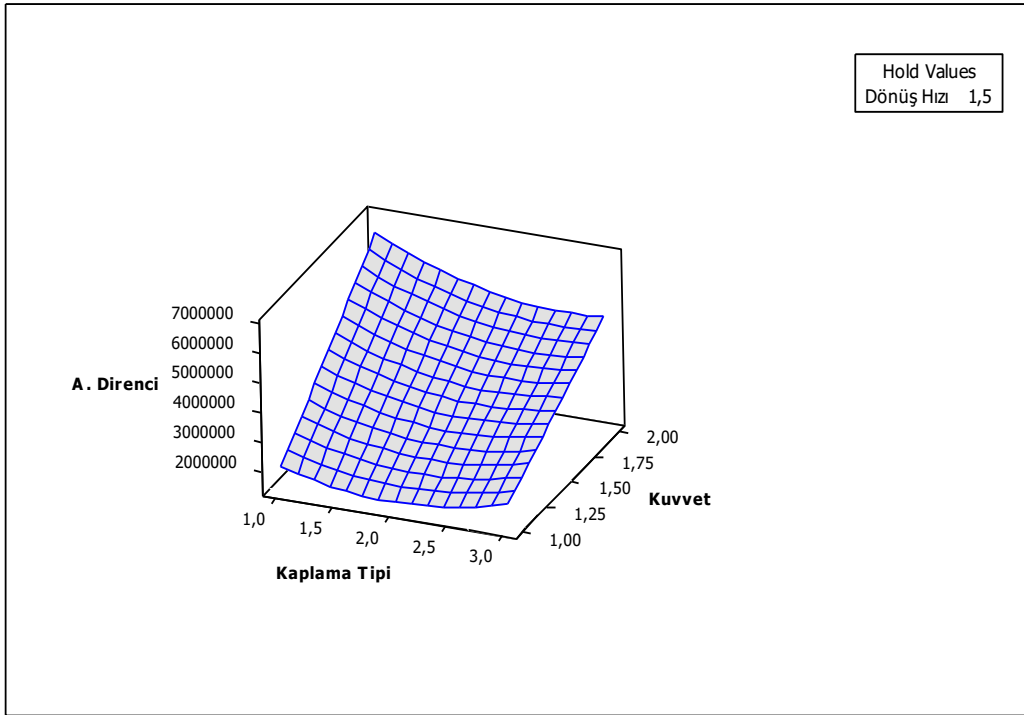


Şekil 6.32. Aşınma direnci, dönüş hızı ve kuvvet grafiği

Aşınma direnci sonuçları pistonların gömlek içerisindeki mekanik hareketinin yorumlanabilmesi adına en önemli akademik veriyi ortaya koymaktadır. Bu kapsamda oluşturulan yüzey grafiğinde dönüş hızının ve kuvvetin artışıyla birlikte aşınma direncinin de arttığı ortaya çıkmıştır. Özellikle kuvvet artışının dönüş hızına oranla aşınma direncini çok yüksek oranda arttırdığı belirlenmiştir.

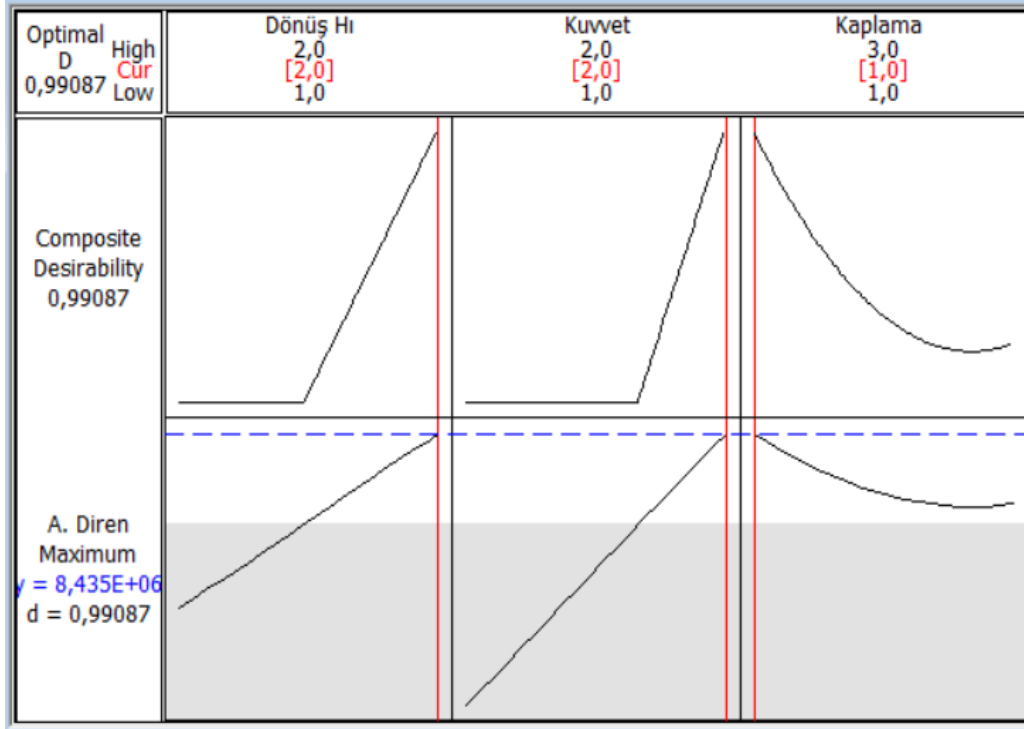


Şekil 6.33. Aşınma direnci, kaplama tipi ve dönüş hızı grafiği



Şekil 6.34. Aşınma direnci, kaplama tipi ve kuvvet grafiği

Kaplama tipinin hem dönüş hızı hem de kuvvetle ilişkili olarak aşınma direncine bir etkisi vardır. Bununla birlikte dönüş hızı ve kuvvet kaplama tipi değişimine göre aşınma direnci sonuçlarına ciddi oranda etki etmektedir.



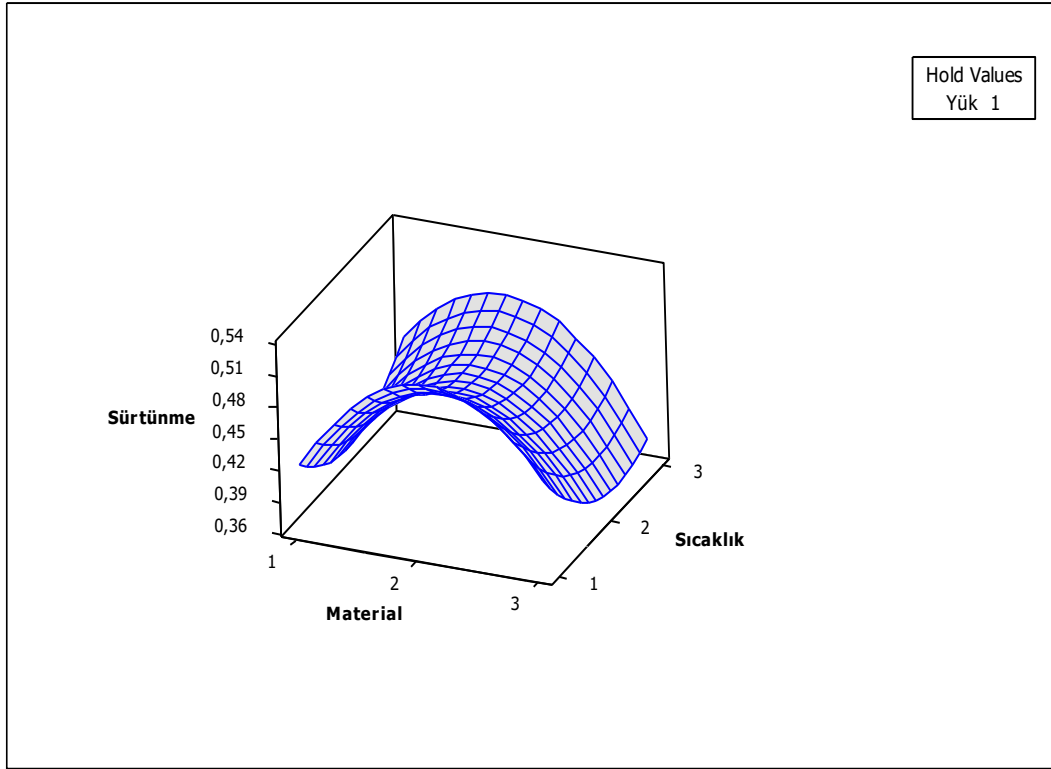
Şekil 6.35. Aşınma direnci için RSM optimizer analizi

Aşınma direnci için yapılan Şekil 6.35. deki test sonucuna göre; en iyi aşınma direncini elde edebilmek için; dönüş hızında 600RPM, kuvvette 7N ve kaplamada işlem görmemiş parametrelerinin seçilmesi gerekecektir.

### 6.4.2.Deney 2

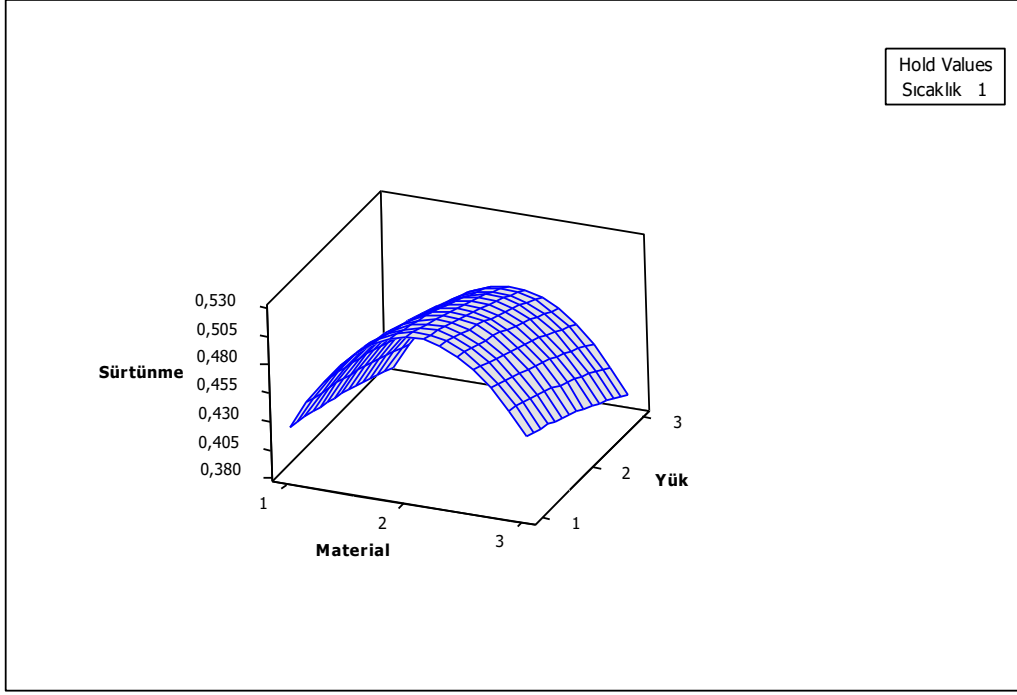
Deney 2 de optimum üretim parametreleri ve seviyeleri için uygulanmış olan RSM analiz sonuçları Şekil 6.36 – 47’ de yer almaktadır.

Sürtünme için yapılan RSM sonuçları:



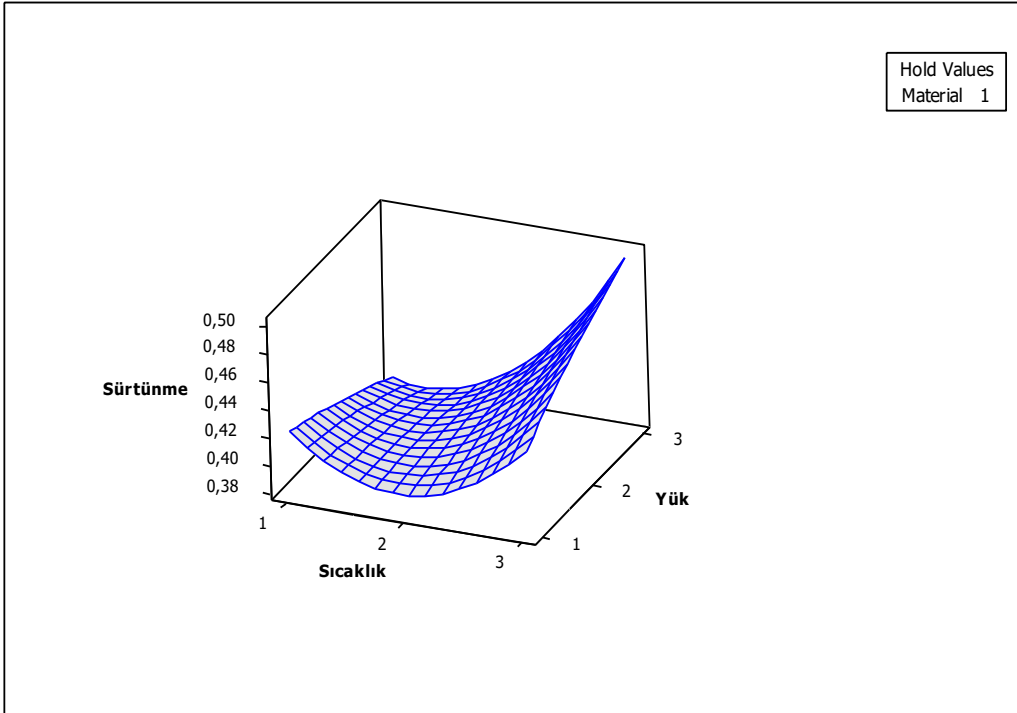
Şekil 6.36. Sürtünme, malzeme ve sıcaklık grafiği

İkinci deneyin sonuçları incelendiğinde sürtünme katsayısını etkileyen en önemli parametrenin materyal değişimidir. Sıcaklıkla ilişkisini inceleyen Şekil 6.36.’da ki grafik detaylı bir şekilde ele alındığında 120 °C sıcaklığın sürtünmeyi azalttığı tespit edilmiştir.



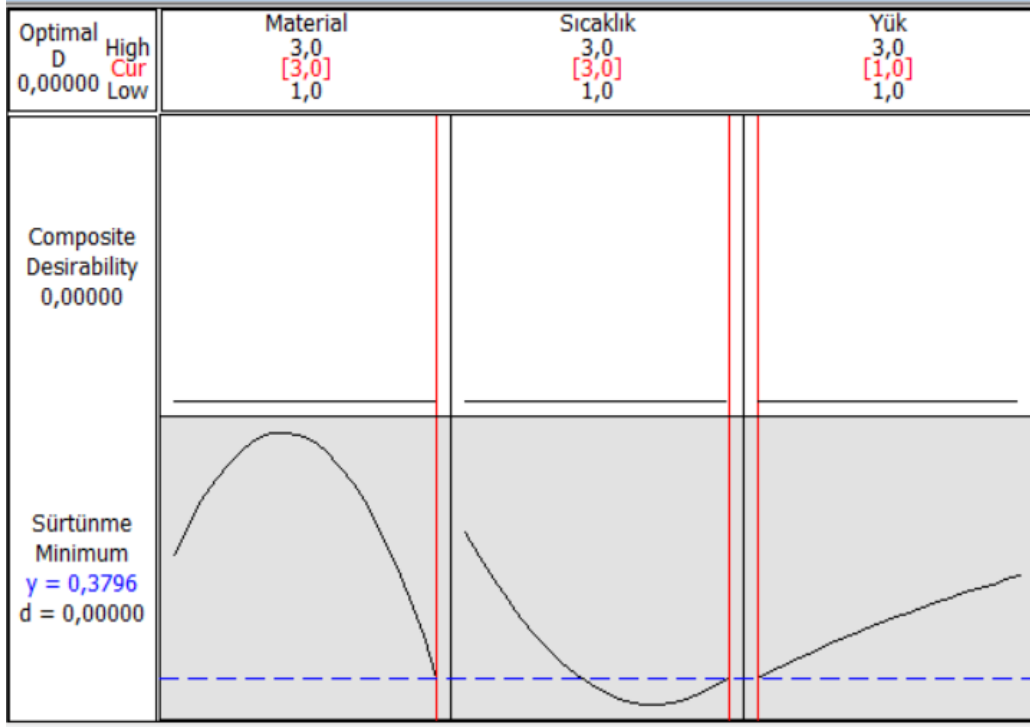
Şekil 6.37. Sürtünme, malzeme ve yük grafiği

Malzeme değişiminin farklı yüklerle karşılaştırmalı olarak incelendiği sürtünme sonuçları grafiğinde, malzeme değişiminin sürtünmeyi arttırdığı yani deney 1 ile benzer bir biçimde olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.38. Sürtünme, sıcaklık ve yük grafiği

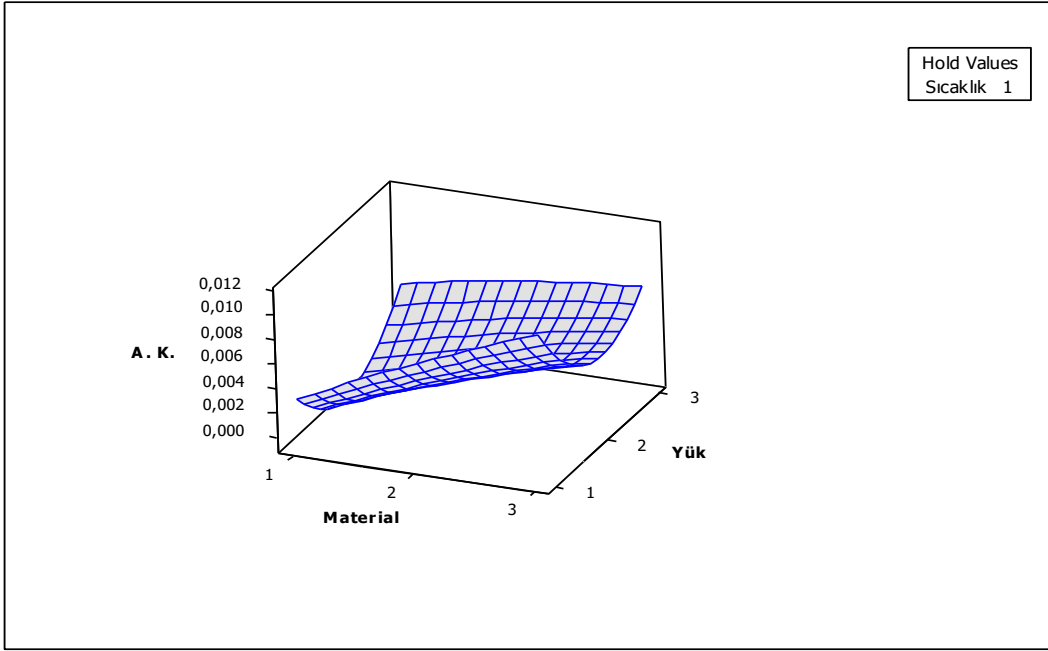
Sıcaklığın yük değişimleriyle birlikte ilişkisi incelendiğindeyse 120 °C sıcaklığın sürtünmeyi düşürdüğü belirlenmiştir. Yükteki artışın ise sıcaklığa bağlı olarak farklı sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.39. Sürtünme için RSM optimizer analizi

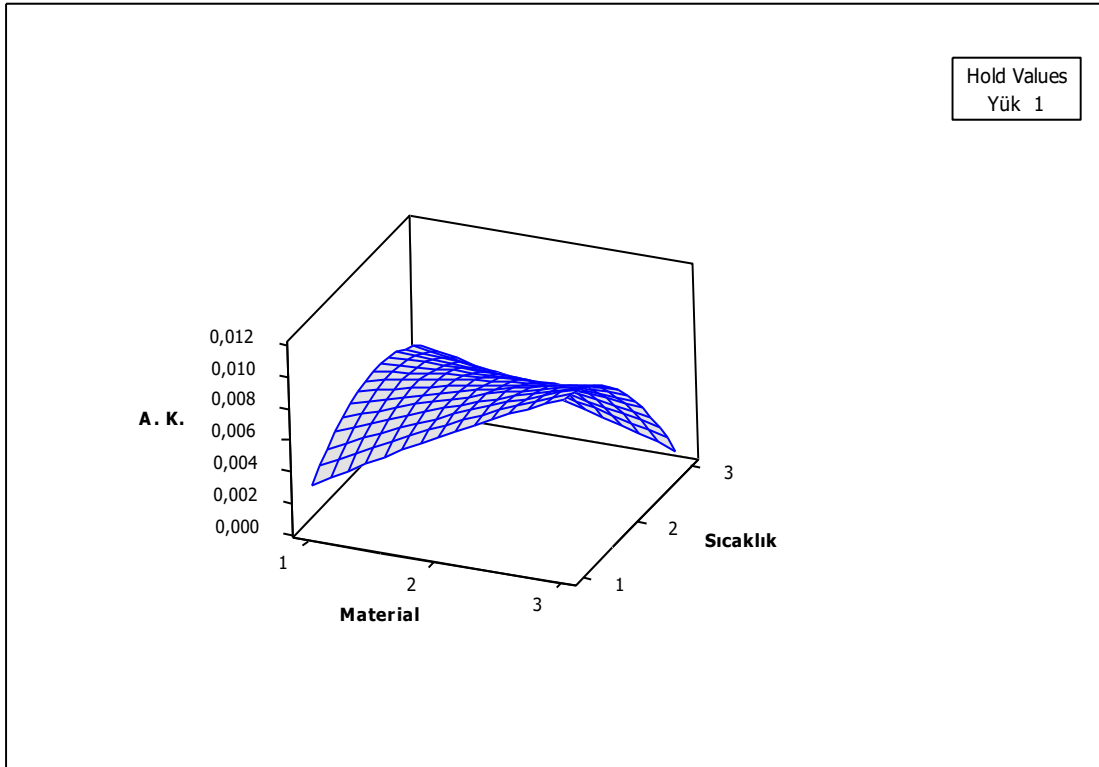
RSM Optimizer sonuçlarına göre; malzeme için 7xxx serisi, sıcaklık 240 °C, yük için ise 2N seçilerek en ideal sürtünme sonucu elde edilmiştir. Böylece sürtünme sonucunun 0.3796 olarak en düşük değerde elde edileceği öngörülmektedir.

Ağırlık kaybı için yapılan RSM sonuçları:



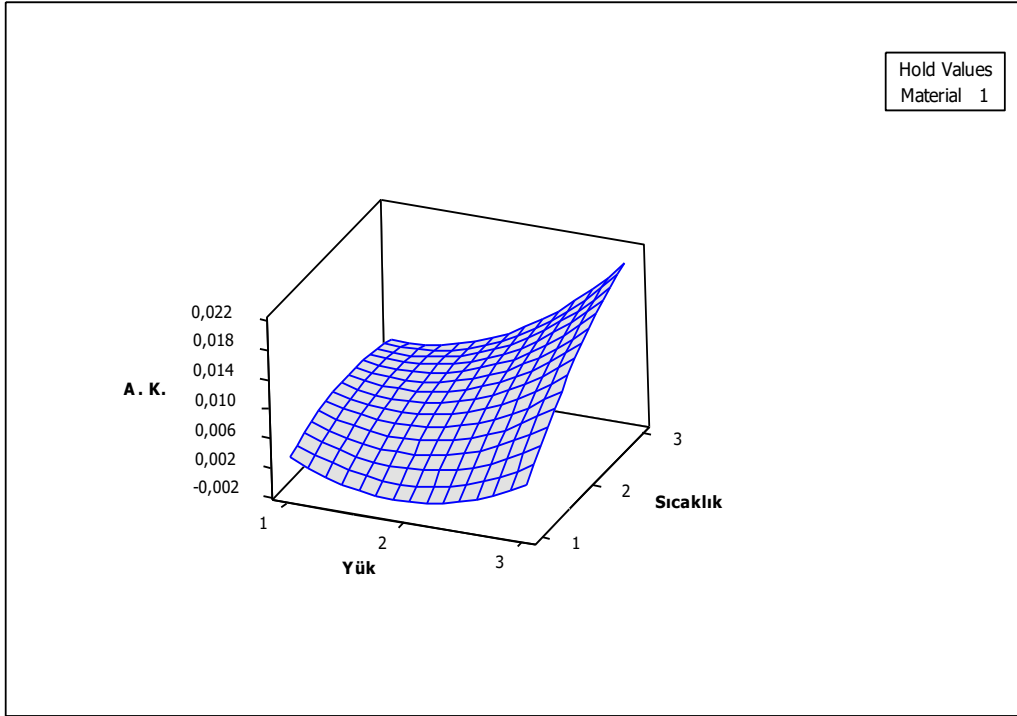
Şekil 6.40. Ağırlık kaybı, malzeme ve yük grafiği

Malzeme değişimi ağırlık kaybında en belirleyici faktördür. Ortalama yük seçiminin ağırlık kaybında değeri en az seviye indirecek parametre olduğu belirlenmiştir.



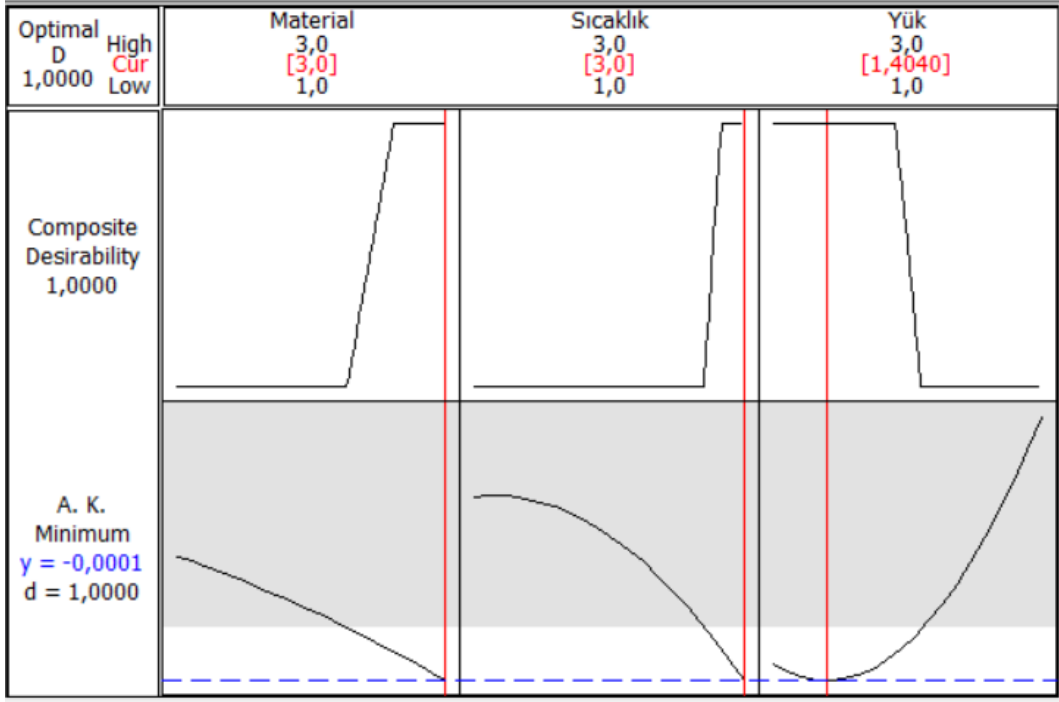
Şekil 6.41. Ağırlık kaybı, malzeme ve sıcaklık grafiği

Sıcaklık ve malzeme değişimlerinin ağırlık kaybına etkisi incelendiğinde; sıcaklık artışının genel olarak ağırlık kaybında azalmaya neden olduğu gözlemlense de, bu sonuç her malzeme için aynı şekilde değişim göstermemiştir. Malzemeler arasında farklılığın sıcaklık artışını etkilediği söylenebilir.



**Şekil 6.42.** Ağırlık kaybı, yük ve sıcaklık grafiği

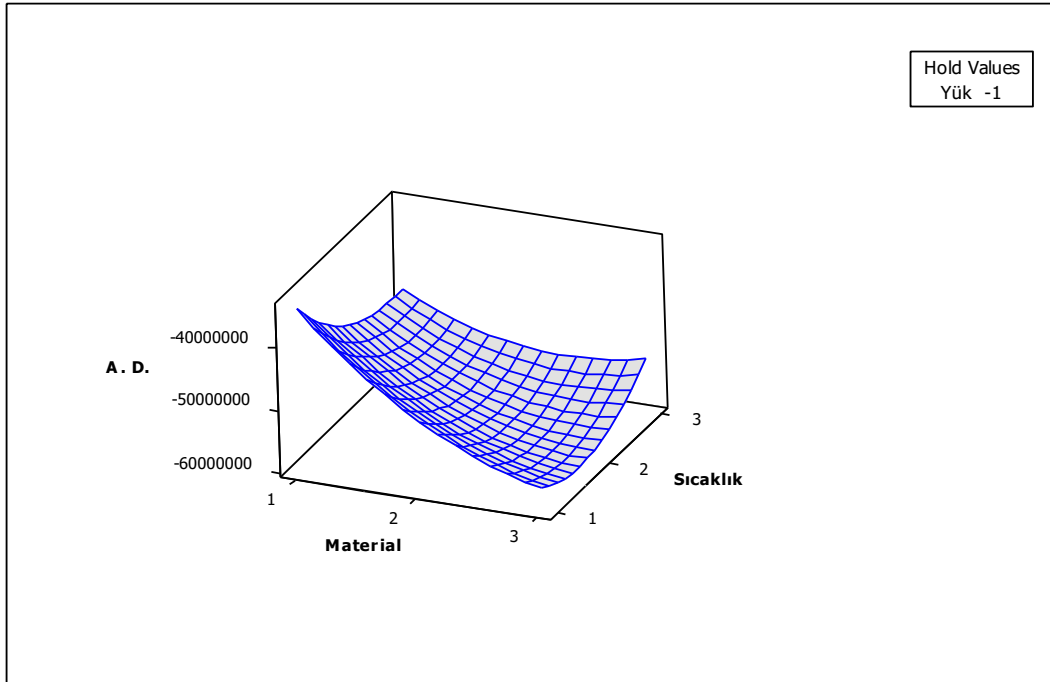
Yük sıcaklık ilişkisi incelendiğindeyse, sıcaklığın yüke göre ağırlık kaybını daha çok etkilediği belirlenmiştir. Ortalama yükün yine ağırlık kaybında nihai sonuçların elde edilmesi yönünde katkı sunacağı düşünölmektedir.



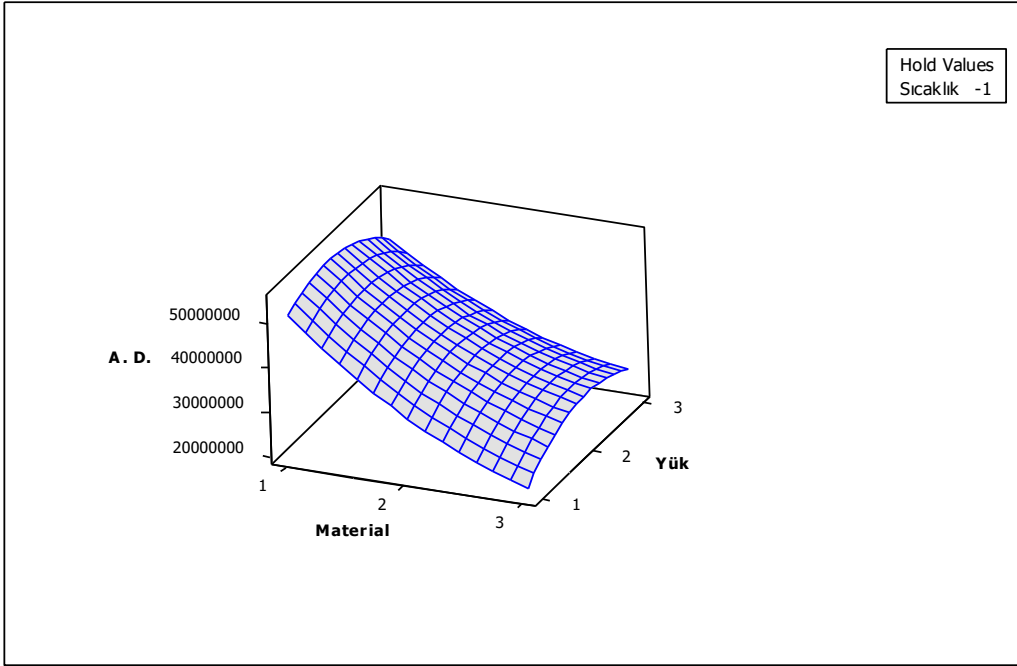
Şekil 6.43. Ağırlık kaybı için RSM optimizer analizi

Optimizer sonuçlarında malzeme 7xxx, sıcaklığın 240 °C ve yükün 2.8 N olmasıyla en ideal ağırlık kaybı değerinin elde edileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

Aşınma direnci için yapılan RSM sonuçları:

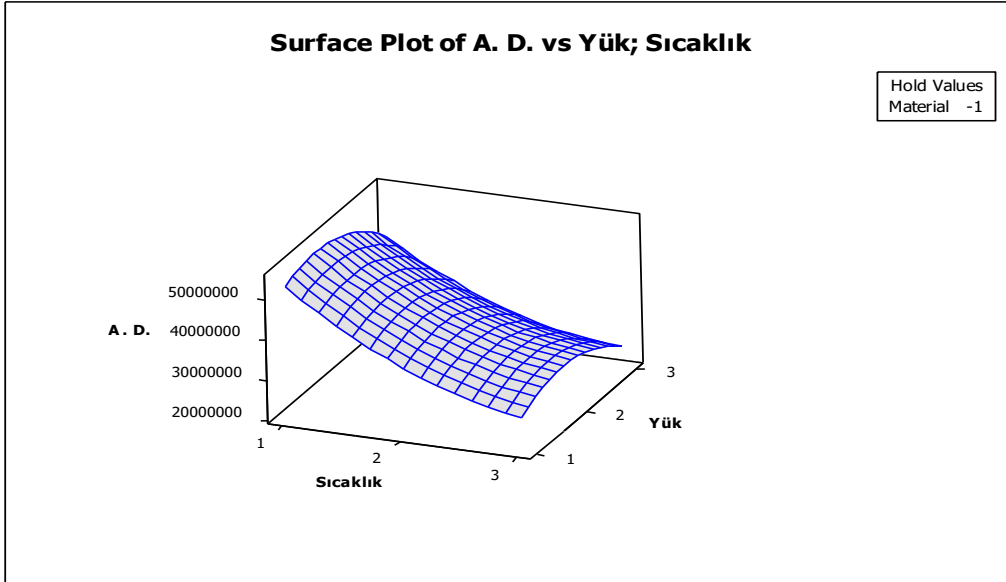


Şekil 6.44. Aşınma direnci, malzeme ve sıcaklık grafiği



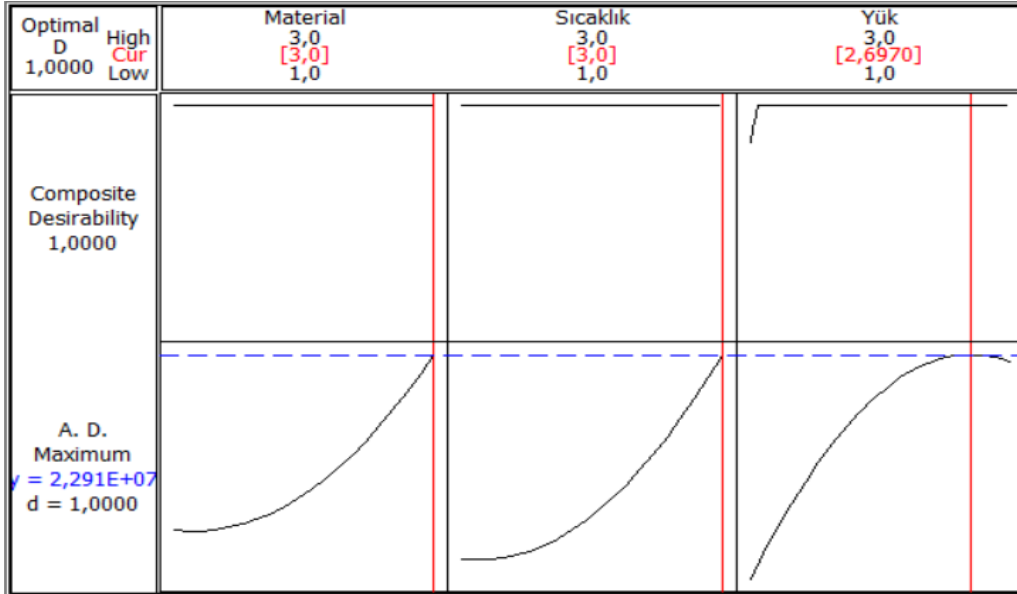
**Şekil 6.45.** Aşınma direnci, malzeme ve yük grafiği

Malzeme değişiminin aşınma direnci değişiminde etken faktör olduğu belirlenmiş olup 7xxx serisi malzemedeki aşınma direnci oranının düşük olması önemli bir göstergedir.



**Şekil 6.46.** Aşınma direnci, sıcaklık ve yük grafiği

Malzeme yük ilişkisi incelendiğinde aşınma direncini 10 N yükün arttırdığı belirlenirken, 7xxx serisi malzemenin aşınma direncinin 2xxx serisi malzemeye göre daha fazla olduğu söylenebilir.



Şekil 6.47. Aşınma direnci için RSM optimizer analizi

Optimizer sonuçlarında en iyi değerini elde edilmesi adına malzemenin 7xxx serisi sıcaklığın 240 °C ve yükün ise ortanca da yer alan, 16 N'a karşılık gelen değerde olması gerekmektedir. Böylece maksimum aşınma direnci değeri elde edilecektir.

## 6.5. ANOVA Analizi Sonuçları

Her bir deney tasarım parametresinin belirlenen sonuçlara etki şiddet ve oranı hesabı yapılabilmesine olanak tanıyan ANOVA analizi sonuçları Tablo 6.10., Tablo 6.11., Tablo 6.12. aşağıda yer almaktadır.

### 6.5.1. Deney 1

Sürtünme:

**Tablo 6.10.** Analysis of Variance for Sürtünme, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	%
Dönüş Hızı	1	12,8413	12,8413	12,8413	24,17	0,002	59,326
Kuvvet	1	4,8791	4,8791	4,8791	9,18	0,019	22,541
Kaplama Tipi	2	0,2051	0,2051	0,1026	0,19	0,829	0,9475
Hata Payı	7	3,7196	3,7196	0,5314			17,184
Toplam	11	21,6452					

S = 0,728955 R-Sq = 82,82% R-Sq(adj) = 73,00%

Sürtünme sonuçları incelendiğinde:

Varyans analizinin yapılması ile birlikte deney parametrelerinin sürtünme üzerine etki oranları hata miktarıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda %59 oranda dönüş hızı en etkili parametre olup sonrasında ise kuvvet %22,5 oranda sonuçları etki etmiştir. %17 hata ile bu sonuçlar hesaplanabilmiştir kaplamanın ise sürtünmeyi çok fazla etkilediği söylenemez.

Ağırlık kaybı:

**Tablo 6.11.** Analysis of Variance for 2.PAR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	%
Dönüş Hızı	1	200,083	200,083	200,083	44,35	0	71,394
Kuvvet	1	30,083	30,083	30,083	6,67	0,036	10,734
Kaplama Tipi	2	18,5	18,5	9,25	2,05	0,199	6,6
Hata Payı	7	31,583	31,583	4,512			11,296
Toplam	11	280,25					

S = 2,12412 R-Sq = 88,73% R-Sq(adj) = 82,29%

Ağırlık kaybında da yine dönüş hızının etkili olduğu yani devrin en önemli etken parametre olacağı ve bundan sonra da kuvvetin sonuçları etkileyeceği belirlenmiştir. Sürtünme ile benzer sonuçlarını elde ettiği söylenebilir.

#### Aşınma Direnci

**Tablo 6.12.** Analysis of Variance for Aşınma Direnci, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	% Etki
Dönüş Hızı	1	1,72419E+13	1,724E+13	1,724E+13	14,21	0,007	25,184
Kuvvet	1	4,07232E+13	4,072E+13	4,072E+13	33,56	0,001	59,483
Kaplama Tipi	2	2,0024E+12	2,002E+12	1,001E+12	0,83	0,477	2,924
Hata Payı	7	8,49369E+12	8,494E+12	1,213E+12			12,406
Toplam	11	6,84612E+13					

S = 1101537 R-Sq = 87,59% R-Sq(adj) = 80,50%

Aşınma direnci sonuçlarında ise kuvvetin en önemli parametre olduğu ve %59,5 oranda sonuçları etkilediği belirlenmiştir. Bunun en önemli nedeni formüldeki kuvvet değerinin etkisidir. Devir sayısındaki değişim yani dönüş hızı ise %25 oranında bu sonuçları etkilemiştir. %12 hata ile sonuçlar anova analizinde hesaplanmıştır.

## 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Havacılık sektöründe özellikle son yıllarda insansız hava aracı teknolojilerinin gelişimi ile ilgili pek çok farklı alanda araştırmalar yapıldığı literatür araştırması yapılırken anlaşılmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde; insansız hava araçlarında özellikle bulut altı görevleri icra edilebilen platformlarda kullanılan içten yanmalı motorların ağırlıklı olarak ithal edildiği ve maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu anlaşılmış olup araştırmaların genelinde daha verimli, daha az dışa bağımlı ve düşük maliyetli üretimin hedeflendiği tespit edilmiştir.

Ayrıca bu alanda ortaya konulan çalışmaların ciddi oranda destekleniyor olması insansız hava araçları üretiminin ne kadar mühim olduğunu gözler önüne sermektedir. Ancak üretimin sürdürülebilir olmasını sağlayacak kapsamlı bir sistem kurulması da üretimin sağlanması kadar önemli bir gerekliliktir. Kanaatimizce yerli ve milli üretimin gerçekleştirilmesi ve bu üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması, bizleri insansız hava araçları hususunda dışa bağımlı olmaktan kurtaracak, bağımsız bir büyümenin yolunu açabilecek niteliktedir.

Bu amaçla yürütülen tez çalışmamızda;

Tersine mühendislik yöntemi ile ithal edilen 61 cc Alçak İrtifa İHA motoru piston analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu özellikle piston için kullanılan malzeme ve kaplama özelliklerini sağlayan yeni bir piston üretilmek istenmiştir. Çalışmamızda RSM kullanılarak farklı materyal, sıcaklık ve kaplama tiplerinin değişimlerinin aşınma ve sürtünme sonuçlarına etkileri tespit edilmiştir.

Özellikle ülkemizde 3 yıl öncesinde başlayan bu proje ile birlikte geliştirilen ilk iki zamanlı insansız hava aracı motoru üzerinde kullanılan malzemenin ve kaplamanın belirlenebilmesi adına malzeme seçimi ve tasarımı alanında önemli bir çalışma ortaya konmuştur.

Bu tez çalışmasında 2 zamanlı motorların metalürjik özellikleri araştırılmıştır. Gelecek araştırmalarda motorların aşınma performansları iyileştirilmesi adına farklı kaplama ve malzeme değişimleri ile ilgili olarak Ar-Ge faaliyetleri yürütülecektir.

## KAYNAKÇA

- Aselsan** (2021) İnsansız Hava Araçlarının Tarihçesi [Erişim: 17.12.2022, [https://www.aselsan.com.tr/AselsanDergi110T08Web\\_7223.pdf](https://www.aselsan.com.tr/AselsanDergi110T08Web_7223.pdf)]
- ASM Metals Handbook** (1990). Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Volume 2 of the 9th Edition, 1627 p.
- Ateş, E.** (2021). Türkiye'nin İnsansız Hava Aracı (İHA) İhracat Rekabet Gücünün Analizi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 7-16
- Bao, T., vd.** (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.
- Bayer, R. G.** (2004). Mechanical wear fundamentals and testing. New York: Marcel Dekker.
- Büyük, S.** (2018). Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği Mevzuatının Türkiye Pazarına Etkisinin Analizi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Canvar, U.** (2011). Dizel Motor Pistonunun Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Yapısal ve Termal Analizi. (Yayınlanmış Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Ceschini, L., vd.** (2017). Experimental Observations Of Engine Piston Damage Induced By Knocking Combustion. *Materials & Design*, 114, 312-325.
- Ekici, S.** (2015). Mini Turbojet/Turboprop Motorun İleri Ekserji Analizi. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Elyadal** (2022) Kuşlar Uzun Bir Süre Uçabiliyorsa, Ben Neden Yapamayayım? [Erişim: 12.15.2022, <https://www.elyadal.org/pivolka/21/wright.htm>]
- 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.
- Ersöz, Y.** (2012). Karşıt Pistonlu Benzinli Bir Motorun Tasarımı, İmalatı ve Çalıştırılması. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

- Etsu** (2022) The Wright Brothers: A Centennial Tribute [Erişim:17.10.2022, <https://faculty.etsu.edu/gardner/wright-brothers/firstflight.htm>]
- 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.
- Halkbank** (2022) Havacılık ve İnsansız Hava Araçları [Erişim: 12.15.2022, <https://www.halkbank.com.tr/tr/blog/teknoloji/Havacilik-ve-insansiz-hava-araclari.html>]
- Hanlı, İ.** (2009). Alüminyum Malzemelerin Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. (Yayınlanmış Yüksek Lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- (Mathers 2002) (mathers, g., 2002, the welding of aluminium and its alloys, woodhead publishing limited, Cambridge, uk.)
- Milli Eğitim Bakanlığı.** Uçak Bakım Alanı. Otomotiv Motor Mekaniği 1. Ankara 2013
- Kabadayı, A., & Uysal, M.** (2019). İnsansız Hava Aracı İle Elde Edilen Verilerden Binaların Tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*. 1(1), 8-14.
- Kabadayı, A.** (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4 (1) , 19-23. DOI: 10.51534/tiha.1130929
- Karadeniz, E.** (2019). [Fe-Zn Bimetalik Nanopartikül]/Karbon Kompozit Malzemesi Sentezi, Karakterizasyonu Ve Naphthol Blue Black Boyar Maddesinin Heterojen Fenton Benzeri Reaksiyonunda Katalizör Özelliklerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Mersin
- Kaufman, G., Rooy, E.** (2004). Aluminum Alloy Casting. Properties, Processes and Applications.
- Kumar, C., & Singh, N. K.** (2019). Responses of aluminium alloy pistons under mechanical and thermal loads. In *Materials Science Forum* (Vol. 969, pp. 231-236).
- Makaleler** (2017) Radyal (Yıldız Tipi) Motor Nedir, Nasıl Çalışır? [Erişim:10.09.2022, <https://www.makaleler.com/radyal-yildiz-tipi-motor-nedir-nasil-calisir>]
- Michalski, J., & Woś, P.** (2011). The effect of cylinder liner surface topography on abrasive wear of piston–cylinder assembly in combustion engine. *Wear*, 271(3-4), 582-589.

- Nacakli, Y. & Daşık, E.** (2019). İHA'lar İçin Kullanılan Bir Turbojet Motorunun Bileşenleri ve Ekserji Analizi Parametreleri. X. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı, 11-12 Ekim 2019, ESKİŞEHİR
- Ostapski, W.** (2011) Analysis of Thermo-Mechanical Response in an Aircraft Piston Engine by Analytical, FEM, and Test-Stand Investigations, Journal of Thermal Stresses, 34:3, 285-312
- Özdemir, Ş.** (2013). İnsansız Hava Araçlarında Kullanılan Fırçasız Dc Motorların Kontrolü. (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Öncü, F. & Öztürk, B.** (2022). İki Zamanlı İnsansız Hava Aracı Motorlarının Farklı Malzemeler İçin Emniyet Katsayısının FEM Tabanlı Analizi 2. Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Çalışmaları Kongresi bilgilerleri, s.71.
- ÖZTÜRK, B.** (2018).Alüminyum Esaslı Fittings Malzemelerin Tasarımı, Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi.(Doktora Tezi), Kastamonu Üniversitesi).
- Öztürk, B. ve Kara, F.** (2020). 6061 alaşımının frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün ve enerji tüketiminin hesaplanması ve tahmini. *Malzeme Bilimi ve Mühendisliğindeki Gelişmeler , 2020 .*
- Piancastelli, L., vd.** (2012). Methodology to evaluate aircraft piston engine durability. International Journal of Heat and Technology, Vol. 30, No. 1, pp. 89-92.
- Singh, M. T. S. R., & Yadav, B. K.** (2021). A Review on Thermal Design Analysis of Piston Using RSM Method. 7-1 Pp 507 – 509
- Turkair** (2019) İlk Modern Uçuş, Wright Kardeşler  
[Erişim: 12.15.2022, <https://www.turkair.org/ilk-modern-ucak-wright-kardesler/>]
- Türk Hava Kurumu (THK)** (2022). İHA. [Erişim: 31.12.2022, <https://www.thk.org.tr/iha>]
- Tekindal, M.** (2009). Yanıt Yüzey Metodu ve Bir Uygulama. (Yayınlanmış Yüksek Lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Tezgel, Y.** (2019). Yenilikçi Yarıkatı Döküm Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Alaşımlarının Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi

- Tufan, M.**(2011). AA6082 Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirliğe ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Karabük
- Turchateauversailles** (2019) The first hot air balloon flight [Erişim: 15.12.2022, <https://en.chateauversailles.fr/discover/history/key-dates/first-hot-air-balloon-flight>]
- Turkishairforce** (2007) Pistonlu Motorlar [Erişim:10.09.2022, <https://turkishairforce.wordpress.com/2007/08/09/pistonlu-motorlar/>]
- Uyaroğlu, A.** (2008). İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılan Pistonlarda Meydana Gelen Arızaların Analizi (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara
- Ünel, E.** (2016). CMT-MIG Kaynaklı Alüminyum ve Çelik Bağlantılarının Özellikleri Ve Optimizasyonu (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli
- Wikipedi** (2005) Le Rhône 9C aircraft engine, on display at the Transportation Museum, Tokyo. [Erişim:10.10.2022, [https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:Le\\_Rhone\\_9C.jpg](https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:Le_Rhone_9C.jpg)]
- Wessel, J.K.** (2004). Handbook of advanced materials. USA: Wiley-Interscience Publication.
- Wikimedia** (2013) Yunan mühendis Hero'nun yaptığı ilk örnek türbin [Erişim:10.10.2022,[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aeolipile\\_illustration.png#/media/Dosya:Aeolipile\\_illustration.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aeolipile_illustration.png#/media/Dosya:Aeolipile_illustration.png)]
- Wikimedia** (2010) Rolls-Royce/Continental aircraft piston engine on display at the Solent Sky museum [Erişim:05.10.2022, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rolls-Royce\\_Continental\\_O-300.JPG#/media/File:Rolls-Royce\\_Continental\\_O-300.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rolls-Royce_Continental_O-300.JPG#/media/File:Rolls-Royce_Continental_O-300.JPG)]
- Williams, J. A. A.** (1999). Wear modelling: analytical, computational and mapping: a continuum mechanics approach. *Wear*, 225, 1-17.
- Yiğit, E. , vd.** (2018). İnsansız Hava Araçları (İha) ‘ Nın Kapsamlı Sınıflandırması Ve Gelecek Perspektifi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3 (1) , 10-19 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/suhad/issue/44810/557335>
- Yu ZHOU, vd..** (2022) Technologies and studies of gas exchange in two-stroke aviation piston engine: A review, *Chinese Journal of Aeronautics*, Pp

**Zamani, M.** (2015). Al-Si Cast Alloys – Microstructure and mechanical properties at ambient and elevated temperature.