



**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVACILIKTA KULLANILAN JP8  
YAKITININ İÇERİSİNE NANOPARTİKÜL  
OLARAK MOLİBDEN İLAVESİNİN YANMA  
PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

**Nurettin ATAKAYA**

**YÜKSEK LİSANS**

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

**Ağustos-2023**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**



**T.C.**  
**MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVACILIKTA KULLANILAN JP8  
YAKITININ İÇERİSİNE NANOPARTİKÜL  
OLARAK MOLİBDEN İLAVESİNİN YANMA  
PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

**Nurettin ATAKAYA**

**YÜKSEK LİSANS**

**Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç.Dr. Salih ÖZER**

**Ağustos -2023**  
**MUŞ**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL ve ONAYI

Nurettin ATAKAYA tarafından hazırlanan “**HAVACILIKTA KULLANILAN JP8 YAKITININ İÇERİSİNE NANOPARTİKÜL OLARAK MOLİBDEN İLAVESİNİN YANMA PARAMETRELERİNE ETKİSİ**” adlı tez çalışması 28/07/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. Erdiñ VURAL  
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi,  
Germencik Yamantürk MYO

#### Danışman

Doç. Dr. Salih ÖZER  
Muş Alparslan Üniversitesi,  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Osman ÜLKİR  
Muş Alparslan Üniversitesi  
Teknik Bilimler MYO

### İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonuç;  
Enstitü Yönetim Kurulu ...../...../..... Tarih ve ...../..... nolu kararı  
ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Sedat BOZARI  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Nurettin ATAKAYA

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# HAVACILIKTA KULLANILAN JP8 YAKITININ İÇERİSİNE NANOPARTİKÜL OLARAK MOLİBDEN İLAVESİNİN YANMA PARAMETRELERİNE ETKİSİ

**Nurettin ATAKAYA**

**Muş Alparslan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç.Dr. Salih ÖZER**

Yapmış olduğumuz bu çalışmada hava araçlarında kullanılan JP8 yakıtı ile nanopartikül madde Molibden'in karıştırılarak enjektörlü dizel bir motorda kullanılması sağlanmıştır. Referans yakıtımız olan Euro dizel yakıtına farklı oranlarda hacimsel olarak JP8 ve Molibden eklenerek yakıt karışımları hazırlanmıştır. Bu yakıtları motorumuzda kullanıp motor performansına, silindir içi basınca, egzoz gazının çıkış sıcaklığına ve fren özgül yakıt tüketimine etkisi incelenmek istenmiştir. Elde edilen test sonuçları referans yakıtımız olan Euro dizel yakıtı kullanarak bulunan veriler ile karşılaştırılmıştır. Motorumuzun güç değerlerinin JP8 ve molibden yakıt karışımı ile çalıştırıldığında daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca JP8 yakıt karışımı ile çalışan motorlarda ortalama yakıt tüketimi daha düşük çıkmıştır.

**2023, 55 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Egzoz, Enjektörlü dizel motor, Euro dizel, JP8 hava aracı yakıtı, Molibden

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

# **THE EFFECT OF ADDING MOLYBDENUM AS NANOPARTICLES TO JP8 FUEL USED IN AVIATION ON COMBUSTION PARAMETERS**

**Nurettin ATAKAYA**

**Muş Alparslan University  
Natural and Applied Sciences  
Department of Nuclear Energy and Energy Systems**

**Advisor: Assoc.Prof. Salih OZER**

In this study, JP8 fuel used in aircraft and molybden were mixed and used in a dizel engine with injectors. Fuel mixtures were prepared by adding JP8 and molybden at different rates to Euro dizel fuel which is our reference fuel. It is desired to use these fuels in our engine and examine the effect on engine performance, in-cylinder pressure, exhaust gas outlet temprature and brake specific fuel consumptions. The test results obtained were compared with the data found using Euro diesel fuel, which is our reference fuel. It has been observed that the power values of our engine are greater when run with a mixture of JP8 and molybden fuel. In addition, the average fuel consumption was lower in engines operating with JP8 fuel mixture.

**2023, 55 Pages**

**Keywords:** Dizel engine with enjector, Euro diesel, Exhaust, JP8 aircraft fuel, Molybden

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada hava araçlarında kullanılan JP8 yakıtı ile nanopartikül madde molibden yakıt karışımının Euro dizel yakıtı ile karıştırılıp aynı zamanda Euro dizel yakıtı referans alınarak enjektörlü bir dizel motorda alternatif yakıt olarak kullanımı sağlanmıştır. Oluşturulan yakıt karışımının motor performansı, silindir içi basınç, egzoz gazı çıkış sıcaklığı ve fren özgül yakıt tüketimi üzerindeki değişimler incelenmiştir. Yapılan incelemelerdeki amacımız daha verimli motor gücü ve düşük oranda yakıt tüketimi değerlerinin sağlanması için alternatif yakıtların araştırılması, bulunması, geliştirilmesi ve kullanılmasını desteklemektir.

Yapmış olduğum çalışmalar sırasında bilgisi, görgüsü ve donanımı ile bana madden ve manen destek olan ve yol gösteren danışmanım Sayın Doç.Dr. Salih ÖZER hocama, çalışmalarım esnasında her an yanımda olan ve desteklerini benden asla esirgemeyen canım eşim Merve AYGÜL ATAKAYA'ya ve 12 ay gibi kısacık bir süredir hayatımızda olmasına rağmen varlığıyla hayata ve çalışmalarına sıkı sıkı tutunmamı sağlayan biricik oğlum Mehmet Göktuğ ATAKAYA'ya teşekkür ederim.

Nurettin ATAKAYA  
MUŞ-2023

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Havacılıkta Kullanılan Yakıtların Tarihlerle Göre Gelişimi .....	2
1.2. Havacılıkta Kullanılan Yakıtlar ve Kimyasal Özellikleri .....	3
1.2.1. Jet A/A-1 yakıtı.....	3
1.2.2. Jet B yakıtı .....	3
1.2.3. Ts-1 yakıtı .....	4
1.2.4. Jp-1 yakıtı .....	4
1.2.5. Jp-2 yakıtı .....	4
1.2.6. Jp-3 yakıtı .....	4
1.2.7. Jp-4 yakıtı .....	5
1.2.8. Jp-5 yakıtı .....	5
1.2.9. Jp-6 yakıtı .....	5
1.2.10. Jp-7 yakıtı .....	6
1.2.11. Jp-8 yakıtı .....	6
1.2.12. Diğer havacılık yakıtları .....	7
1.3. Jet Yakıtındaki Su .....	8
1.4. Molibden .....	9
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>13</b>
<b>3. MATERİYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>14</b>
3.1. Deney Yakıtlarının Oluşturulması .....	14
3.2. Deney Yakıtlarının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri .....	15
3.3. Deney Düzenegi .....	15
3.4. Deney Motorunun Yükleme Aşamaları .....	16
3.5. Silindir İçi Basınç Ölçümü.....	17
3.6. Yakıt Hattı Basınç Ölçümü .....	18
3.7. Motor Krank Açısı Ölçümü.....	20
3.8. Egzoz Gazı Sıcaklığının Ölçülmesi.....	22
3.9. Yakıt Tüketim Değerinin Ölçülmesi .....	23
3.10. Motor Test Verilerinin Kontrolü ve Kaydedilmesi .....	24
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>28</b>

4.1. Silindir içi basınc değerleri .....	29
4.1.1. 500 watt motor gücü silindir içi basınc değişimleri.....	29
4.1.2. 1000 watt motor gücü silindir içi basınc değişimleri.....	30
4.1.3. 1500 watt motor gücü silindir içi basınc değişimleri.....	31
4.1.4. 2000 watt motor gücü silindir içi basınc değişimleri.....	32
4.1.5. 2500 watt motor gücü silindir içi basınc değişimleri.....	33
4.1.6. 3000 watt motor gücü silindir içi basınc değişimleri.....	34
4.1.7. 3500 watt motor gücü silindir içi basınc değişimleri.....	35
4.2. Egzoz Gazı Sıcaklığı .....	36
4.3. Fren zgl Yakıt Tknetimi .....	37
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>39</b>
<b>ZGEMİř.....</b>	<b>43</b>



## SİMGELER ve KISALTMALAR

### Simgeler

°C	: Celcius
°F	: Fahrenheit
kWh	: Kilowatt saat
J	: Joule
PbMoO <sub>4</sub>	: ferromolibden
CaMoO <sub>4</sub>	: powellit
MoS <sub>2</sub>	: Molibdenit
Cm <sup>3</sup>	: santimetreküp
Hz	: Hertz
Hp	: Horse power, Beygir gücü
Bar	: Basınç
DC	: Doğru akım
AC	: Alternatif akım
d/d	: devir/dakika
N	: Newton
KMA	: Krank mil açısı
Kg/h	: Fren özgül yakıt tüketimi
kVA	: Kilovolt
GS	: Giga Siemens
MS	: Mega Siemens
s	: Saniye
Ms	: Mikro saniye

### Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials
GOST	: Rus standart birimi, Gosstandart
ECM	: Elektronik Kontrol Modül
Avtur	: Aviation Turbine Fuel, Havaacılık Türbin Yakıtı
NATO	: North Atlantic Treaty Organization, Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
Avcat	: Taşıyıcı Türbin Yakıtı
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
SFC	: Single Fuel Concept, Tek yakıt konsepti

## ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 1.1. Turbofan Motor  
Şekil 1.2. Su ayırıcı akaryakıt filtresi  
Şekil 1.3. Saf haldeki Molibden elementi  
Şekil 1.4. Molibden madeni arama izni verilen iller  
Şekil 3.1. Silindir içi basınç sensörünün deney motoruna montajı  
Şekil 3.2. Yakıt hattı basınç sensörü ara bağlantı parçasının yakıt hattı borusuna montajı  
Şekil 3.3. Encoder Puls diyagramı  
Şekil 3.4. Encoderin motor üzerine montajı  
Şekil 3.5. Deney düzeneği üzerinde termokupl montajının gösterimi ve termokupl göstergesi  
Şekil 3.6. RADWAG PS 6000, R2.H marka hassas terazi  
Şekil 3.7. PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı Osiloskop  
Şekil 3.8. Osiloskoptan elde edilen verilerin anlık görüntüsü  
Şekil 3.9. Deney düzeneği genel görünüm  
Şekil 3.10. Deney düzeneği şematik görünüm  
Şekil 4.1. 500 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi  
Şekil 4.2. 1000 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi  
Şekil 4.3. 1500 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi  
Şekil 4.4. 2000 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi  
Şekil 4.5. 2500 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi  
Şekil 4.6. 3000 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi  
Şekil 4.7. 3500 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi

## ÇİZELGELER DİZİNİ

- Çizelge 1.1. Havacılıkta Kullanılan Yakıtların Tarihlerle Göre Gelişimi  
Çizelge 1.2. Jet A / Jet A-1 için tipik fiziksel özellikleri  
Çizelge 1.3. Havacılıkta kullanılan yakıtların kıyaslanması  
Çizelge 1.4. Ülkelere göre dünya rezerv dağılımları  
Çizelge 1.5. Ülkelere göre molibden üretimi  
Çizelge 3.1. Molibdenin özellikleri  
Çizelge 3.2. JP8 ve Dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri  
Çizelge 3.3. Deney yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri  
Çizelge 3.4. Deney Motorunun teknik özellikleri  
Çizelge 3.5. Kistler 4065B0200DS1-2,0 silindir içi basınç sensörü özellikleri  
Çizelge 3.6. Oprant AutoPSI basınç sensörü özellikleri  
Çizelge 3.7. FNC 50B artımlı optik encoderteknik özellikleri  
Çizelge 3.8. PicoScope marka 2406B Model4 kanallı Osiloskop teknik özellikleri  
Çizelge 4.1. Farklı yakıt karışımlarının egzoz gaz sıcaklığı değişimine etkisi  
Çizelge 4.2. JP8 + Molibden karışımları için fren özgül yakıt tüketimi



## 1. GİRİŞ

Dünyada hava aracı olarak tanımlanan vasıtaların kullanımı bir hayli artmış ve bu durum kullanılan yakıtlara alternatif yakıtlar bulma ihtiyacını doğurmuştur. Enerji kullanımında dışa bağımlılığını azaltmak isteyen ülkeler hem yerel hem de bölgesel anlamda güvenliğini sağlamak için alternatif olabilecek enerji kaynakları arayışı içine girmişler, bunlardan ekonomik ve uygulanabilir olanları da kullanmaya başlamışlardır. Bunun yanında eldeki enerji kaynaklarından edinilebilecek en yüksek faydayı sağlayabilmek adına ve kullanılan enerjiyi minimuma indirmek adına farklı politikalar üretmeye başlamışlardır. Yakıtın en verimli şekilde kullanılması için havacılıkta kullanılan araçların tüm sistemlerinde çeşitli materyallerin kullanımı, elektrikli sistemlerden faydalanılması ve kullanım alanlarının genişlemesi, aerodinamik anlamda yeni tasarımların oluşturulması ve hava araçlarında kullanılan mevcut sistemlerin etkileşiminden verim elde edilmesine yönelik çalışmalar bakımından hava aracı tasarımları sürekli olarak güncellenmektedir. Mevcut olan tasarımlar ve yenilikler istenilen optimum limitlerine eriştiği andan itibaren geliştiricilerin üzerinde durması gereken yeni yol ve yöntemlerin içinde yakıt ve yakıtın hava aracının ara sistemlerinde kullanımının üzerinde hassasiyetle durulması önem arz etmektedir.

Bulunacak olan alternatif yakıtların motorlarda kullanımı ile hem daha güçlü hem daha verimli motor performansları elde etmek düşünülmektedir. Burada amaç motor içerisindeki parametreleri de değiştirerek özellikle silindirde oluşan basıncı, egzoz gazı çıkış sıcaklığını kontrol altında tutarak yakıttan elde edilen verimi arttırmaktır. Verim elde ederken yakıt tasarrufunun da göz ardı edilemeyeceği önemli bir husustur. Bu sebeple havacılıkta kullanılmakta olan JP8 yakıtına alternatif olarak üretmek istediğimiz yakıt yine JP8 yakıtın içerisine nano partikül madde olan Molibden ilavesi ile elde edilecektir.

Çalışmamızda farklı oranlarda JP8+Molibden yakıt karışımı dizel motorla çalışan bir jeneratöre ayrı ayrı verilerek ve bu jeneratöre bağlanan projektörler sırayla çalıştırılmıştır. Egzoz gazının sıcaklığı sisteme bir adet termokupl bağlanarak ölçülmüş, silindir içerisine yerleştirilen bir sensör yardımı ile silindir içinde oluşan basınç değerleri ölçülmüş ve krank açısı değerleri de bir osiloskop yardımıyla ölçülmüştür. Netice olarak farklı oranlarda yakıt karışımının ilavesi ile bu durumun motor performansına etkisi incelenmiştir.

### 1.1. Havacılıkta Kullanılan Yakıtların Tarihlerle Göre Gelişimi

Jet yakıtları ilk defa 1940'lı yıllarda karakteristik özellikleriyle tanımlanmaya başlamış olup yakıtın sahip olduğu özgül enerji, uçuculuk, ısıl denge, korozyon, yağlama kabiliyeti gibi özelliklerin limitlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Amerikan Hava Kuvvetleri, askeri havacılık programlarının ihtiyacı ve gereksinimlerini karşılamak amacıyla American Society for Testing and Materials (ASTM) standardı adı altında gerekli kontrolü yapılan araştırmaların sonucunda geliştirilen yakıtları **JP serisi yakıtlar** olarak isimlendirmiş ve ilerleyen süreçte çizelge 1.1.'de görüldüğü şekilde yakıtların geliştirilmesi esnasında bir takım modifikasyonlar gerçekleştirilmiştir (Avcı, 2022).

Çizelge 1.1. Havacılıkta Kullanılan Yakıtların Tarihlerle Göre Gelişimi

Yakıt	Yıl	Yapılan katkılar
<b>JP-1</b>	1944	Kerosen, Donma noktası -60 °C, Tutuşma noktası 42°C, Sınırlı miktar üretimi yapılmıştır
<b>JP-2</b>	1945	Deney amacıyla hazırlanmış olup, viskozite değeri ve tutuşma sıcaklığı değerleri açısından uygunsuzdur
<b>JP-3</b>	1947	Yüksek buhar basıncına sahip olduğu için yüksek irtifalarda motorda buhar kilitlenmesine sebebiyet verir
<b>JP-4</b>	1951	Gazyağı ve kerosen karışımı olup amaç buhar kilitlenmelerinin önüne geçmektir bu sebeple buhar basıncı 2-3 psi arasında olacak şekilde geliştirilmiştir
<b>JP-5</b>	1952	Tutuşma noktası 60°C olan kerosen yangın ihtimali yüksek olan Amerikan Donanması için geliştirilmiştir
<b>JP-6</b>	1952	XB-70 Valkyrie için geliştirilmiştir. JP-5'e benzer özelliklerde olup donma noktası daha düşüktür ve daha gelişmiş ısıl denge kabiliyetine sahiptir
<b>JP-7</b>	1960	SR-71 Blackbird için geliştirilmiştir. Buhar basıncı düşük ve ses hızının 3 kat üzeri uçuşlarda mükemmel bir ısıl denge sağlayan, kerosen temel tabanlı yakıt türüdür
<b>JP-8</b>	1979	Buzlanmayı önlemek için inhibitörler, korozyon önleyiciler, antistatiği ve yağlamayı geliştirici eklentilerin kullanıldığı ilave Jet A1 kerosen yakıtı

## 1.2. Havacılıkta Kullanılan Yakıtlar ve Kimyasal Özellikleri

### 1.2.1. Jet A/A-1 yakıtı

Ticari maksatlı kullanılan jet uçağı yakıtları 1950’li yılların başlarında Jet-A ve Jet A-1 yakıtları geliştirilerek ile başlamıştır. Bu yakıtların maksimum tutuşma sıcaklığı 38°C’dir. Jet A, kerosen içerikli bir yakıt cinsidir ve ASTM (American Society for Testing and Materials) özelliklerine göre üretilir. Normalde sadece Amerika ve Kanada’da kullanılabilir. Jet A-1 yakıtı ile aynı parlama noktasına sahiptirler ve maksimum donma noktaları - 40 °C’dir. Jet A1 yakıtı günümüzde dünya genelindeki kargo uçaklarında ve jet motorlu yolcu uçaklarında kullanılan yakıt türüdür. Jet A ve A1 yakıtlarının ana maddesi olan kerosen yanıcı özellikte bir hidrokarbon sıvısıdır. Kerosen kelimesi Yunanca bir kelime olan “keros (balmumu)” kelimesinden türetilmiştir (Ekici, 2018).

Çizelge 1.2. Jet A / Jet A-1 için tipik fiziksel özellikleri

	Jet A-1	Jet A
<b>Alevlenme noktası</b>	38 °C (100 °F)	
<b>Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı</b>	210 °C (410 °F)	
<b>Donma noktası</b>	-47 °C (-53 °F)	-40 °C (-40 °F)
<b>Maksimum adyabatik yanma sıcaklığı</b>	2.230 °C (4500 °F)	
<b>15 °C (59 °F) yoğunluk</b>	Açık hava yanma sıcaklığı: 1.030 °C (1890 °F) 0.804 kilogram/litre (6.710 lb/US gal)	0.820 kilogram/litre (6.800 lb/US gal)
<b>Spesifik enerji</b>	4.315 MJ/kg (1.199 kWh/kg)	4.302 MJ/kg (1.195 kWh/kg)
<b>Enerji yoğunluğu</b>	347 MJ/L (96 kWh/L)	353 MJ/L (98 kWh/L)

### 1.2.2. Jet B yakıtı

Jet B, soğuk hava şartlarında yüksek performans elde etmek için geliştirilmiş bir nafta (petrol ürününün 100 ila 250 santigrat derecede damıtılması sonucu elde edilen, benzin ile gazyağı türevi arası bir ürün çeşidi) gazyağı yakıtıdır. Jet B’nin daha hafif bileşimlerinin kullanımı tehlikelidir. Bu sebeple çok soğuk iklim şartlarında bulunan lokasyonlar dışında nadir kullanılır. Ortalama %70 benzin ve %30 kerosen karışımı geniş kesim yakıtlar olarak adlandırılır. -60 °C gibi bir donma noktası ve düşük

bir parlama noktası vardır. Bazı askeri uçaklarda kullanıldığı bilinmektedir. Donma noktasının düşük olması nedeniyle Kanada'nın kuzey kesimlerinde, Alaska'da ve Rusya'da fazlalıkla tercih edilmektedir (wikipedia, 2023b).

### 1.2.3. Ts-1 yakıtı

TS-1, soğuk hava şartlarında yüksek performans elde etmek için geliştirilmiş ve Rus standart birimi olan GOST 10227'ye göre üretilmiş bir jet yakıtı türüdür.. Jet A-1'e göre biraz daha yüksek oranda uçuculuktur (parlama noktası min. 28 °C). Donma noktası olarak ise -50 °C gibi bir değere sahiptir.

### 1.2.4. Jp-1 yakıtı

1944'lü yıllarda Amerika Birleşik Devletleri yönetimi tarafından üretilen bir jet yakıtı idi (AN-F-32). Havacılıkta kullanılan diğer yakıtlara göre parlama noktası yüksek ve donma noktası yaklaşık -60 °C olan saf gazyağı türevi bir yakıttı. Havacılık yakıtlarında aranan düşük donma noktası ihtiyacı mevcut yakıt olan JP-1'in varlığını sınırladı ve bir müddet sonra ise gazyağı-nafta ve kerosen-benzin karışımlarından oluşan "*geniş kesimli*" jet yakıtları bu yakıtın yerini aldı. Kısaca **Avtur** (*Aviation Turbine Fuel-ATF-Havacılık Türbin Yakıtı*) olarak da bilinirdi.

### 1.2.5. Jp-2 yakıtı

Dünya Savaşı'nın devam ettiği zamanlarda geliştirilen ve eski tip bir yakıt olan JP-2, Jp-1'e göre daha basit üretilmesi amaçlanmıştır bunun gerekçesi ise daha yüksek bir donma noktasına sahip olmasıdır. Fakat uçuculuğu sebebiyle hiçbir zaman düşünüldüğü gibi yaygın bir şekilde kullanılmamıştır.

### 1.2.6. Jp-3 yakıtı

JP-1'e kıyasla yakıtın kullanılabilirliğini iyileştirmek ve hazır tedariki sağlamak için saflık değerleri üzerindeki kesme ve gevşetme tolerans aralıklarını genişleterek yine *geniş kesim* bir yakıt elde etmek amaçlanmıştır. Damıtma sıcaklığı aralığını olefinler ve aromatikler kullanarak düşürmeyi amaçlarken günümüzde üretilen kaçak içkilerin alkol seviyesine yakın bir sınır değer elde edilmiştir. Kullanılan olefin ve aromatik oranı elde mevcut olan her hangi bir ham petrolün neredeyse yarısını jet yakıtına dönüştürebilecek seviyedeydi fakat elde edilen jet yakıtı JP-2'den daha uçucuydu bu sebeple yakıtta yüksek buharlaşma neticesinde kayıplar söz konusuydu.

### 1.2.7. Jp-4 yakıtı

Amerikan Hava Kuvvetleri için temel kaynak olan kerosen ve gazyağı karışımında elde edilen JP-4 yakıtı 1951 yılında geliştirilmiş ve uzun yıllar kullanılmıştır. %50-%50 kerosen-benzin karışımı olan JP-4 yakıtı, JP-1 yakıtına göre parlama noktası daha düşük bir yakıt türüdür. 1951-1955 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri'nde jet yakıtı olarak uzun bir süre kullanıldı bu sebeple JP-1'e göre daha çok tercih edilen bir yakıt türü olarak tarihte yerini aldı. NATO kodu **F-40'tır** ve kısaca Avtag olarak da bilinir. (Yilmaza ve Atmanlib)

### 1.2.8. Jp-5 yakıtı

1952 yılında bu yakıt uçak gemilerinde bulunan uçakları yangın çıkması ihtimaline karşı kullanmak için geliştirildi. Sarı renkli ve kerosen bazlı jet yakıtı olan JP-5 içeriğinde naftenler, aromatik hidrokarbonlar ve alkanlar bulunduran kompleks bir hidrokarbon bileşimidir ve parlama noktası yüksektir (min. 60 °C). ABD hava istasyonlarının çoğu (Sahil Güvenlik H.İ., Deniz Piyadeleri H.İ. vb.) hem denizde hem de karada kullanma maksatlı deniz uçaklarına barınak olduğundan, bu tesisler aynı zamanda JP-5 yakıt ikmal tesisleri olarak da kullanıldıkları için o yıllarda ekstra bir yakıt depolama tesisi kullanılmamıştır. JP-5'in donma noktası -46 °C'dir ve antistatik maddeler içermez. NATO kodu **F-44'tür**. Havacılıkta *Taşıyıcı Türbin Yakıtı (Avcat)* olarak da bilinir.

### 1.2.9. Jp-6 yakıtı

JP-6 yakıtı ABD Hava Kuvvetleri'nin bir projesi olan North American XB-70 üretim kodlu Valkyrie tipi bir nükleer bombardıman uçağında kullanılmak amacıyla geliştirilmiştir. Amerikan Stratejik Hava Komutanlığı'nın 1950'li yıllarda yapmış olduğu çalışmada, ses hızının yaklaşık 3 katı (*Mach 3*) hızda uçma kabiliyetine sahip bu nükleer bombardıman uçağının turbojet motorlarında kullanmak için geliştirilen Jp-6 yakıtı özellik olarak JP-5'e benziyordu fakat donma noktası daha düşüktü ve tam anlamıyla iyileştirilerek termal oksidatif stabiliteye sahip olması sağlandı. Her ne kadar hem geliştirilen yakıtın hem de üretilen 2 adet prototipin Hava Kuvvetleri'nin ihtiyacını hayli karşılamış olması sevindirirse de ne yazık ki üretim maliyeti aşırı yüksek olduğu için proje rafa kaldırıldı ve bu sebeple JP-6'nın serüveni kısa sürdü (Davies, 2018).

### 1.2.10. Jp-7 yakıtı

**Lockheed SR-71** üretim kodlu gelişmiş nitelikte, uzun mesafe ve stratejik uçuşlar için tasarlanmış keşif (casus) uçağının, ses hızının 3 katı hıza kadar çıkması için üretilmiş turbojet motorlarında kullanmak için geliştirilen JP-7 yakıtı aerodinamik ısınmadan kaynaklı kaynamanın önüne geçebilmek amacıyla yüksek bir tutuşma noktasına sahipti. Yakıtın termal kararlılığı yüksek seviyelerdeydi (Lockheed).

### 1.2.11. Jp-8 yakıtı

JP-8 geniş bir kullanım alanı olan kerosen türevli bir yakıttır. Askeri amaçlı kullanılan havacılık araçlarının yanında, jeneratörlerde ve yer araçlarında da kullanılmaktadır. JP-8 yakıtı JET A ve JET A-1 yakıtlarından türetilmiştir ve bu yakıtlara göre parlama noktası daha yüksek ve tutuşma noktası daha düşüktür. Bu özellikleri sayesinde JP-8 yakıtı günümüzde askeri maksatlı olarak kullanılan tek yakıt türü olma özelliğine sahiptir. JP-8 yakıtının NATO ülkelerinde kullanımı yıllık ortalama 60 milyar galondur (227 milyar litre) (Geretto ve ark., 2021). Kerosen bir petrol türevidir ve gazyağı olarak bilinen materyalin gelişmiş ve süzölmüş halidir. 150 °C ila 270 °C sıcaklıklarında ham petrolün ince biçimde damıtılmasıyla üretilir. Parlama noktası 40 °C'dir ve benzin ve motorine nazaran daha düşük sıcaklıklarda akışkanlığını koruyabilmektedir. Ayrıca 40 °C altında bir sıcaklıkta yanıcı bir madde ile temas etmesi halinde alev almaz. Bu özellikleri bünyesinde bulundurması sebebiyle havacılık sektöründe kullanımı yaygındır. Donma noktası ise -47°C ila -49°C'dir. Dizel motorlarda da özellikle tercih edilmesinin sebebi düşük sıcaklıklarda akışkanlığını kaybetmemesidir (Bayındır ve ark., 2017).

Havacılık sektörü ve askeri alanlarda özellikle jet motorlu hava taşıtları için kullanmak amacıyla kerosen bazlı yakıtlar geliştirilmiştir. Bunlar: JET-A, JET-A1, JET-B, JP4, JP5, JP7 ve JP8'dir.(Ingenito ve Ingenito, 2021). JP-8 havacılık ve askeri araç yakıtı olarak kabul edilmektedir.(Hossain ve ark., 2023). JP-8'in %99,8'i kerosenden oluşur. JP-8'in elde edilmesinde buzlanma inhibitörleri, korozyon inhibitörü, kayganlaştırıcı ve antistatik maddeler, hekzan (nörotoksin), benzen (karsinojen) ve JP4 kullanılır (Avcı, 2022). Bu yakıtlara ait özellikler çizelge 1.2.'de verilmiştir.

**Çizelge 1.3.** Havacılıkta kullanılan yakıtların kıyaslanması (ELDEM ve ELDEM)

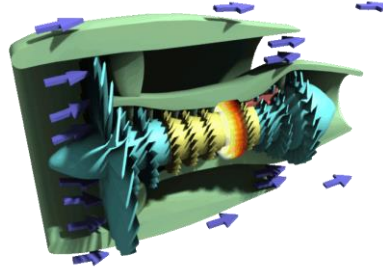
<b>Yakıt Tipi</b>	<b>Açıklama</b>
<b>JP1</b>	Donma noktası -60 °C, egzoz duman izi az
<b>JP2, JP3, JP4</b>	JP1'e göre tutuşma noktası daha düşük
<b>JP5</b>	Yüksek tutuşma derecesi nedeniyle daha güvenli, uçak gemilerinde ve jet uçaklarında kullanılır
<b>JP6</b>	XB-70 uçağı için üretilmiştir
<b>JP7</b>	SR-71 "Blackbird" uçağı için üretilmiştir
<b>JP8</b>	JP4 yakıtına göre daha yüksek parlama derecesine sahip, kokusu yoğundur ve yağlıdır
<b>JET-A</b>	Sivil jet uçaklarında kullanılır. JP8 ile benzerdir
<b>JET-B</b>	Sivil jet uçaklarında kullanılır. JP4 ile benzerdir

JP8 yakıtının öz kütlesi dizel'e göre daha küçük bir değerde olmasına rağmen dizel motorların birim enjektör sistemine ve yüksek basınç pompalarına sahip olması sebebiyle bu motorlarda da yakıt olarak kullanılması mümkündür. Farklı yakıtların kullanımına bağlı olarak motorun tork üretimi ve yakıt sarfiyatı değişiklik gösterecektir (Karakoç ve ark., 2018). JP-8 ve dizel yakıtların alt ısı değerleri birbirlerine oldukça yakın değerlerdedirler. Aralarındaki fark JP8'in dizel'e göre setan sayısının daha düşük olmasıdır. Bu durumda tutuşma süresini uzayacaktır. JP-8 yakıtının sıkıştırma oranının belli bir seviyenin üzerine çıkarılmasıyla dizel motorlarda kullanılması mümkün olacaktır. Yağlama özelliği açısından da JP-8 yakıtı dizel'den daha düşüktür (Karakoç ve ark., 2018). Birleşik Devletler ordusunda JP-8 hem türbinli uçaklarda hem de dizel motora sahip kara vasıtalarında "*evrensel yakıt*" olarak kullanılmaktadır. İlk olarak 1978'de NATO'ya ait üslerde tanıtılan JP-8'in NATO kodu **F-34** olarak bilinmektedir.

### **1.2.12. Diğer havacılık yakıtları**

Yukarıda bahse konu olan havacılık yakıtlarının bir kısmı uzun yıllar kullanılsa da beraberlerinde geliştirilen çeşitli projeler başarısız olduğunda ya da üretim maliyeti, sürdürülebilirlik vb. çeşitli olumsuz nedenlerle rafa kaldırdıklarında kullanım alanları ortadan kalktığı için bunların da geliştirilmesine ve üretiminin devamına son verilmiştir.

Bu yakıtlara alternatif olarak yakıtlar üretilmeye, üretilen hava araçlarına, savunma ve saldırı sistemlere alternatif araçlar geliştirilen JP-10 yakıtının donma noktası  $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$  idi. Sıvı temel tabanlı havacılık yakıtları, jet motorlarında ve turbofan motorlarda kullanılan iticilerdeki katı yakıt motorlarına (*yakıt ve oksitleyicisi katı fazda olan motorlar*) takviye yakıtlar olarak geliştirildiler (YAMAN ve ark., 2018). ve sistemler üretilmeye devam edilmiştir. Bunlardan biri olan ve 1990'lı yıllarda geliştirilen **Tomahawk** ya da tam adıyla **BGM-109 Tomahawk** olan stratejik seyir füzusunin jet motorunda kullanılmak üzere geliştirilen JP-9 yakıtıdır (Egeli). Yine ABD tarafından yapılan **AGM-86 ALCM** isimli havadan karaya hareket eden ses altı seyir füzusunin turbofan motorunda kullanmıştır.



Şekil 1.1. Turbofan Motor

### 1.3. Jet Yakıtındaki Su

Jet yakıtında aranan önemli hususlardan biri de yakıttan su kirliliğinin uzaklaştırılmış olmasıdır. Uçuş, yüksek irtifada ve düşük dış sıcaklıklarda gerçekleştiği için tanklardaki yakıtın da sıcaklığı haliyle düşmektedir. Bu da çözülmüş vaziyette olan suyun yakıt içerisinde çökmesine neden olur. Ayrışan suyun yoğunluğunun yakıttan daha fazla olması neticesinde su tankın dibine iner. Su çözülmüş halde yakıtın içinde olmadığı için ortam sıcaklığı  $0^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düştüğü andan itibaren tank içerisinde aşırı soğuyan damlacıklar oluşabilirler.

Oluşan bu damlacıklar bir yüzey ile temas ederse donabilir ve yakıt sistemindeki boruların tıkanmasına sebebiyet verebilir. Yakıt içerisinde tüm suyu uzaklaştırmak kolay değildir. Bu nedenle yakıt içindeki suyun donmasını engellemek amacıyla hava araçlarında genellikle yakıt ısıtıcı sistemler kullanılır. Jet yakıtı içerisinde bulunan suyu tespit edebilmek için bazı yöntemler vardır. Görsel kontrol yöntemiyle

yüksek konsantrasyonlarda asılı vaziyette bulunan suyu tespit etmek mümkündür çünkü yakıt içerisinde bulunan su bulanık bir görüntü oluşturur. Suyu karşı duyarlı olan ve suya temas ettiğinde yeşil renk alan filtre pedleri kullanılarak yakıt içerisinde bulunan su tespit edilebilir. Portatif ayırıcılar (su ayırıcı akaryakıt filtresi) kullanılarak, havacılık yakıtının birleştirici filtrelerden geçirilmesiyle emülsifiye edilen su serbest bırakılır ve yakıt içerisindeki su ortamdan uzaklaştırılır.



Şekil 1.2. Su ayırıcı akaryakıt filtresi

#### 1.4. Molibden

Varlığı Orta Çağ'dan bu yana bilinen fakat grafit ya da kurşun olarak değerlendirildiği için asıl kimliğini 1778'de Carl Wilhelm Scheele sayesinde kazanan molibden, ismini ise 1782'de Peter Jacob Hjelm'in Yunanca "Kurşuna benzeyen" anlamına gelen "molybdos" kelimesinden ilham almasıyla edinmiştir. 1893'te ilk kez Moissan tarafından ağırlıkça %92-%96 oranında Molibden içerikli metalik Molibden üretilmiştir.

Molibden periyodik tabloda 6A grubu olan *geçiş metalleri* grubunda bulunan atom numarası 42, atom ağırlığı 95.95 g/mol ve yoğunluğu 10.28 g/cm<sup>3</sup> olan bir elementtir. Saf haldeyken gümüş beyazı rengindedir ve çok serttir. Erime noktası 2610 °C olan Molibden'in ısı iletkenliği oldukça yüksektir ve saf metallere kıyasla en düşük ısıl genişlemeye sahip element olması sebebiyle de ısıl dayanımı da yüksektir. Soğuk havadan etkilenmez.(MTA Genel Müdürlüğü, 2023)



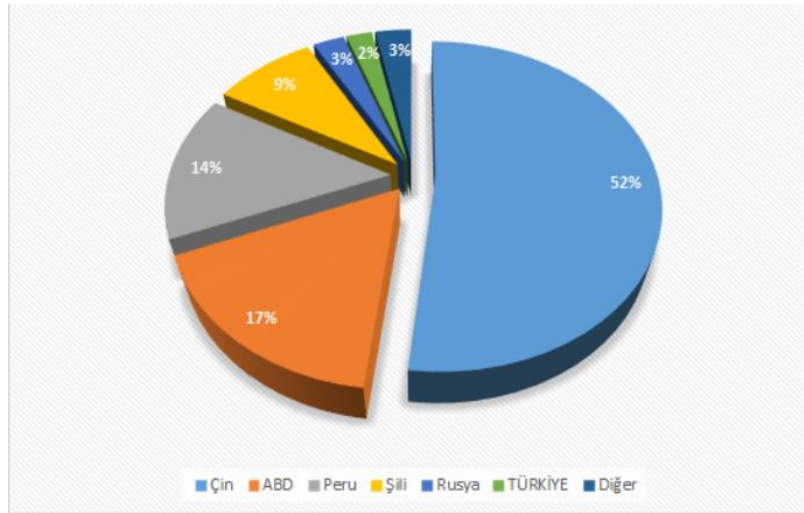
Şekil 1.3. Saf haldeki Molibden elementi

Molibden ilk keşfinden sonra uzun yıllar boyunca kullanımı olmayan bir metal olarak beklemiştir. Çünkü yer kabuğunda nadir olarak bulunabileceği değerlendirilmiştir. Ancak sonrasında yapılan araştırmalarda özellikle ABD’de ve dünyanın çeşitli bölgelerinde geniş molibden yataklarının keşfedilmiş olması bu durumu değiştirmiştir (ASLANLI, 2023).

Molibden’in içerisinde bulunduğu mineraller **ferrimolibden** ( **wulfenit** ( $PbMoO_4$ ), **powellit** ( $CaMoO_4$ ) ve **molibdenit** ( $MoS_2$  )’tir. Bunların en önemli cevheri olan Molibdenit ekonomik anlamda karşılığı olması sebebiyle işin ticaret kaynağını oluşturur (Wikipedia, 2023a).

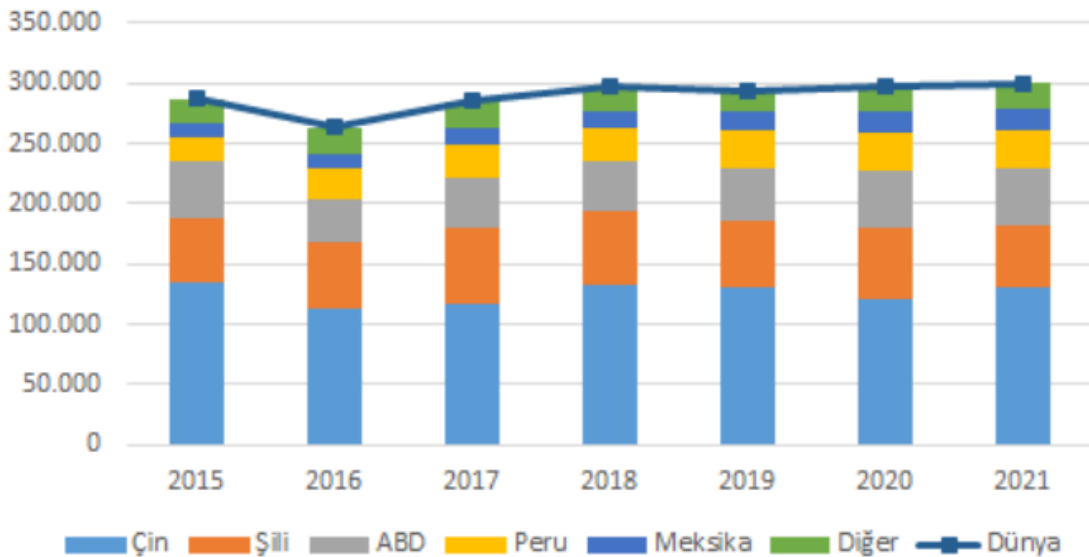
Dünya üzerindeki molibden rezervlerinin yaklaşık %90’ı dört ülke arasında yoğunlaşmıştır. Bunların başında Çin 8.3 milyon ton rezerv ile ilk sırayı alırken arkasından 2.7 milyon ton rezerv ile ABD, sonrasında 2.3 milyon ton rezerv ile Peru ve en son olarak da 1.4 milyon ton rezerv ile Şili gelmektedir. Dünya genelinde ise toplam rezerv miktarı 16 milyon ton civarındadır. Ülkemizdeki molibden rezerv oranı ise %2’dir. (Enerji ve Tabii Kaynaklar, 2022)

**Çizelge 1.4.** Ülkelere göre dünya rezerv dağılımları



Dünya genelinde 2021 yılı içerisinde yaklaşık 279.000 ton molibden üretilmiştir. Üretilen bu miktarın %93'ü beş ülke tarafından gerçekleştirilmiş olup bunlar sırasıyla; Çin 130.000 ton, Şili 51.000 ton, ABD 48.000 ton, Peru 32.000 ton ve Meksika 18.000 ton olacak şekilde dağılım göstermektedir. (Enerji ve Tabii Kaynaklar, 2022)

**Çizelge 1.5.** Ülkelere göre molibden üretimi (ton)





Şekil 1.4. Molibden madeni arama izni verilen iller

Türkiye’de yapılan molibden rezervi araştırma sonuçlarında Kütahya, Bursa ve Bilecik öne çıkan iller olmakla birlikte, bu bölgelerde yapılan molibden araştırmaları neticesinde gerek işletme ruhsatları ve gerekse yeterli bütçe ayrabilme konularında sorunlar yaşanması sebebiyle henüz rezerv çıkarma işlemine başlanamamıştır. Ayrıca Balıkesir, Erzincan, Kırıkkale, Bursa, Tunceli, Konya ve Kırıkkale illerinde ise gerekli saha çalışmaları Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmüş ve bahse konu illerin sınırları içerisinde de molibden rezerv sahaları tespit edilmiştir. Ülkemizde molibden üretimi ilk olarak Balıkesir ili Havran ilçesinde 2012 yılında gerçekleştirilmiştir.(Benzeşik, 2016)

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

NATO ülkeleri ikinci dünya savaşı sonrası petrol ürünlerindeki tedarik zincirlerini sadeleştirmek amacıyla tek bir askeri yakıt kullanmayı düşünmüştür ve bunu Tek Yakıt Konsepti (SFC–Single Fuel Concept) olarak adlandırmıştır. Bu sebeple tek yakıt olarak JP8 yakıtının kullanılmasına karar verilmiştir. Bu karar sonrasında dizel motorlarda kullanılan yakıtın tamamen JP8 ile yer değiştirmesi durumunda meydana gelecek JP8 etkilerini belirlemek için birçok çalışma yapılmıştır. Geleneksel yakıt enjeksiyon sistemiyle ve mekanik pompalar ile çalışan birçok motor JP8 ile başarılı bir biçimde çalıştırılmıştır. JP8 yakıtının öz kütle değerinin dizel yakıttan daha düşük olması, kullanılan alternatif yakıtların özelliklerine göre üretilen motor torku ve yakıt sarfiyatında farklılıklar ortaya çıkarmaktadır.

Dizel motor ile yapılan çalışmalarda JP8'in setan sayısının düşük olması, yüksek tutuşma gecikmesine yol açmıştır. Neredeyse tüm koşullarda JP8 yakıtı kullanımı sonucu daha düşük NOx ve Partikül Madde emisyonları elde edilmiştir. JP8 yakıtının Dizel motorlarda kullanılması için yapılan çalışmalarda JP8'in püskürtme ucuna hızla nüfuz etmesi ve JP8'in hızlı buharlaşma özelliği sebebiyle dizel yakıtı göre daha geniş alanlı bir püskürtme açısı vardır (Karakoç ve ark., 2018).

Enerji talebinin hızla artmasının başlıca etkenleri dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması ve ekonomik gelişmelerdir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan enerji kaynakları; kömür, doğal gaz, fosil yakıtlar, hidrolik enerji ve nükleer enerjidir. Endüstride ve konutlarda kullanmak için gerekli olan ısıyı, motorlu taşıtların ihtiyacı olan gücü, aydınlatmada ve iletişim alanında gerekli olan gücü üretmek için enerji gereklidir. Ülkelerin ihtiyacı olan enerji ise ülkenin gelişmişliği, yaşam standartları, teknoloji kullanımı ve iklim şartları gibi durumlarla bağlantılı olarak değişiklik göstermektedir (Adıgüzel, 2019).

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. DeneY Yakıtlarının Oluşturulması

DeneYlerde kullanılan JP8 yakıtları Van Jandarma Helikopter Filo Komutanlığından temin edilmiştir. DeneYlerde kullanılan molibden 44 mikron çapında olacak şekilde ticari ürün satan bir firmadan satın alınmıştır (Nanoteknik, 2023). DeneYlerde kullanılan molibden bazı teknik özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Molibdenin özellikleri

<b>Safılık</b>	<b>%99,95</b>
<b>Parçacık Boyutu</b>	44 Mikron
<b>CAS</b>	7439-98-7
<b>Erime Noktası</b>	2610 °C
<b>Kaynama Noktası</b>	5560 °C
<b>Kristal Yapısı</b>	Kübik, Gövde Merkezli
<b>Yoğunluk</b>	8.2 g/cm <sup>3</sup>
<b>Form Yapısı</b>	Pudra

DeneYlerde kullanılan JP8 yakıtı ile dizel yakıtının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. JP8 ve Dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri

<b>Yakıt Tipi</b>	<b>Dizel</b>	<b>JP8</b>	<b>Metot</b>
<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>, 15 °C)</b>	0,8372	0,7950	ASTM D 1298
<b>Viskozite (cSt) (40 °C)</b>	2,8	3,87	ASTM D 445
<b>Soğukta Filtre Tıkama Noktası (°C)</b>	-5	-48,5	ASTM D 2386
<b>Parlama Noktası</b>	73	41	ASTM D 93
<b>Alt Isıl Değer (kcal/kg)</b>	10450	10200	ASTM D 2015
<b>Setan Sayısı</b>	54	45	ASTM D 976

Sıvı yakıtlar hacimsel olarak ölçülmüştür. Molibden ise hassas terazi ile tartılarak sıvı yakıtların içerisine 50 Perts Per Million (ppm), 100 ppm, ve 200 ppm olacak şekilde karıştırılmıştır. Her bir yakıt kapalı ortamda ultrasonik karıştırıcı ile 2 saatlik ve 50 Hz'lik bir karıştırma frekansına maruz bırakılmıştır. Elde edilen yakıt karışımları derhal kullanılmıştır.

### 3.2. Deney Yakıtlarının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Elde edilen yakıt karışımların fiziksel ve kimyasal özellikleri test ettirilmiştir. Testler Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsünde gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.3.'te verilmektedir.

Çizelge 3.3. Deney yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Yakıt Karışımları			
	JP8	JP850M	JP8100M	JP8200M
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> , 15 °C)	0,76	0,77	0,81	0,85
Viskozite (cp) (20 °C)	2,14	2,14	2,24	2,34
Isıl Değer (MJ/kg)	43,50	43,5	43,6	43,8

JP8 yakıtına molibden ilavesi ile yoğunluk değeri artış göstermiştir. Molibden ağır bir malzeme olduğu için artış oranı beklenen bir durumdur. Artışa rağmen yoğunluk standartlar aralığında kalmıştır. Viskozite değerin de bir miktar artış gözlemlenmiştir. Viskozite değeri de istenilen standartlar arasında kalmıştır. Öbür taraftan molibden ilavesi ile ısıl değerinde bir miktar artış görülmüştür. Bu artış dizel motorlar için olumlu bir gelişme olarak ifade edilebilir.

### 3.3. Deney Düzenegi

Bu bölümde JP8 + Molibden karışımının motor performansına ve yakıt tüketimine katkısını incelemek amacıyla kullanmakta olduğumuz ana ve ara malzemeler ile yardımcı cihazlardan detaylı bir şekilde bahsedilecektir.

İlk olarak test düzenegimizin ana malzemesi olan dizel motorlu jeneratörden ve jeneratörümüze eklenen yakıtlardan bahsetmekte fayda olacaktır. Jeneratörümüzün teknik bilgileri Çizelge 3.4.'de detayları ile verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Deney Motorunun teknik özellikleri

<b>MOTOR</b>	Model	186 FAG
	Tip	4 Zamanlı, Hava soğutmalı
	Silindir hacmi	418 cm <sup>3</sup>
	Maksimum çıkış gücü	7 kW
	Çalıştırma şekli	Marş
<b>JENERATÖR</b>	Maksimum çıkış gücü	7 kVA
	Sürekli çalışma gücü	6 kVA
	Frekans	50 Hz

Testimizde kullanacak olduğumuz motorumuzu tercih etmemizin sebebi hem ekonomik olması hem de ülkemiz koşullarında temin edilmesinin kolay ve hızlı olmasıdır. Literatür araştırmamızda da bahsettiğimiz üzere dizel motorlu jeneratörümüze ilave ettiğimiz ara parçalar ve ek aparatlar sayesinde yapmakta olduğumuz deney ve analizlerden sağlıklı sonuçlar elde etmiş bulunmaktayız. Bu sebeple maksimum kapasitesi 7 kW olan ve alternatörü olan dizel motorlu bir jeneratör tercih edilmiştir. Jeneratörümüzün motoru 4 zamanlı, enjeksiyonlu ve hava soğutmalı bir sisteme sahip olmakla beraber 10 Hp gücündedir. Motorumuzun yüklenmesi için düzeneğimize 250W ve 1000W'lık projektörler kullanılmış olup yükleme ünitesi hazırlanarak gerekli bağlantılar yapılmıştır. Motora ilave edilen takviye sistemler sayesinde motorun silindir içi basıncı, egzoz gazının çıkış sıcaklığı, motor devri ve fren özgün yakıt tüketimi değerleri ölçülerek dijital bir osiloskop yardımıyla da bu değerler değerlendirilip kayıt altına alınarak tablolandırılmıştır (Salih ve ark.).

### 3.4. Deney Motorunun Yükleme Aşamaları

Dizel jeneratör motorunun yüklenmesinin takibi jeneratörün çekmekte olduğu akımın kontrol altında tutulması ile sağlanmaktadır. Bu sebeple çeşitli sayılarda 250W ve 1000W güce sahip ampullü projektörler kullanılarak ve jeneratörden çekilen güç kontrol edilerek kayıt altında tutulup dizel motorumuzun yüklenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Dizel motor yaklaşık 7 kW gücünde olduğundan haliyle jeneratöre bağlanan 3 adet 1000W ve 2 adet 500W güçlerindeki projektörler ile test aşamasında motorun yüklenmesi yapılmış ve yakıt içerisine ilave edilen JP8 + molibden karışımının

performansı ve diğer parametreler üzerindeki davranışı takip edilecektir. Kullanılan her projektör için ayrı ayrı yükleme işlemi gerçekleştirileceği için bunları çalıştırıp kapatacak ayrı anahtar sistemleri kurulmuş ve elektrik bağlantıları bu doğrultuda yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda bu tür yükleme işlemlerinin farklı motorlarda da uygulamalarına rastlanabilmektedir. Yükleme işlemi adım adım takip edilecektir.

Öncelikle 500W'lık güce sahip olan bir projektör sisteme bağlanarak motor çalıştırılıp tüm değerler okunarak motorun performansı takip edilecektir. Ardından sırasıyla 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 ve 3500W gücündeki projektörler sisteme bağlanarak çalışması sağlanacak ve bu projektörler de her bir parametre değeri incelenip değerlendirilerek tablolar oluşturulacaktır (Salih ve ark.).

### 3.5. Silindir İçi Basınç Ölçümü

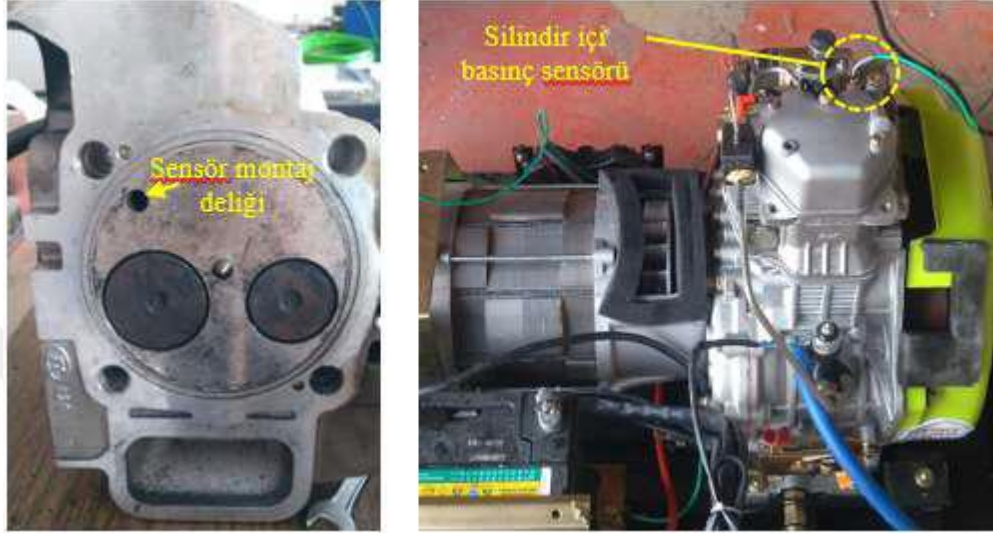
Silindir içi basınç takibinin yapılabilmesi amacıyla Kistler marka silindir içi basınç sensörü ve beraberinde gerilim yükseltici kullanılmıştır. Kullanılan silindir içi basınç sensörü piyasada en çok kullanılan sensörlerden birisi olması sebebiyle tarafımızca da tercih edilmiştir. Bu sensörün kullanıldığı çeşitli çalışmalar da mevcuttur. Bahse konu sensörün teknik özellikleri çizelge Tablo 3.5.'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kistler silindir içi basınç sensörü teknik özellikleri

Özellik	Değer	Birim
Ölçüm aralığı	0-200	Bar
Aşırı yükleme	300	Bar
Besleme gerilimi	10-39	V DC
Çıkış voltajı	0-5( $\pm 0,25$ )	V DC
Frekans	0-40	kHz
Maksimum sapma basıncı	$\pm 1,5$	%
Lineerlik	$\leq \pm 0,3$	%
Çalışma sıcaklığı	-40-+140	°C

Silindir içi basınç sensörünün sisteme dahil edilmesi için ilk olarak jeneratör motorunun silindir kapağına M6 vida için delik delinmiştir. Devamında deliğe vida dişi

açılması amacıyla M7x0,75 kılavuz salınarak sensörün motora montajı sağlanmıştır. Şekil 3.3.'te montaj işleminin gerçekleştiği bölüm gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Silindir içi basınç sensörünün deney motoruna montajı

### 3.6. Yakıt Hattı Basınç Ölçümü

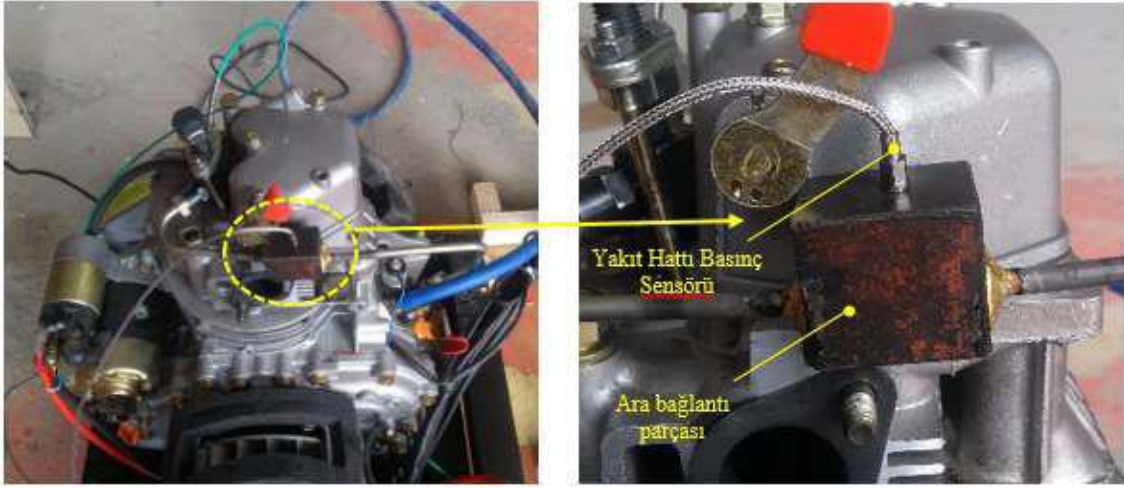
Motorumuzdaki yakıt hattının basınç değerinin anlık ölçülebilmesi için Oprant marka basınç sensörü kullanılmıştır. Kullandığımız bu sensör yine piyasada en çok tercih edilen sensörlerden biridir ve çoğu projede kullanılmış bir markadır. Sensöre ait teknik veriler Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Oprant AutoPSI basınç sensörü teknik özellikleri

<b>Özellik</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Ölçüm aralığı	0-340	Bar
Aşırı yükleme	680	Bar
Giriş voltajı	9-18	V DC
Çıkış voltajı	0,5-5	V DC
Frekans	0,1-20	kHz
Hassasiyet	Yanma gerçekleştiğinde $\pm 1$	%
	Yanma gerçekleşmediğinde $\pm 0,5$	%
Çalışma sıcaklığı	-40-+140	°C

Yakıt hattı basınç sensörümüzün motora montajını yapabilmek amacıyla önce rijit bir malzemeden ara bağlantı parçası üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu parçaya gerekli ölçüler tespit edilerek delikler açılmış ve devamında sensör montajı tamamlanmıştır (Özdalyan ve ark., 2011). Yakıt hattına giden boru sökölüp yakıt enjektörüne mesafe olarak en yakın bir kısımdan kesilerek ikiye ayrılmıştır. Yakıt hattına giren borunun boyundaki değişimin her hangi bir olumsuzluğa sebebiyet vermemesi, boy uzaması veya kısılmasından kaynaklı olarak ateşleme gecikmesine neden olmaması amacıyla üretilen rijit ara parçanın genişliği kadar olan uzunluk ölçülmüş olup yakıt hattı borusundan da bu ölçüm kadar kısaltma yapılmıştır.

Bakır alaşımli olan yakıt hattı borusunun arasına kaynak kullanılarak montajı yapılan ara bağlantı parçasının motor üzerindeki yeri Şekil 3.5.'te verilmiştir.



Şekil 3.2. Yakıt hattı basınç sensörü ara bağlantı parçasının yakıt hattı borusuna montajı

### 3.7. Motor Krank Açısı Ölçümü

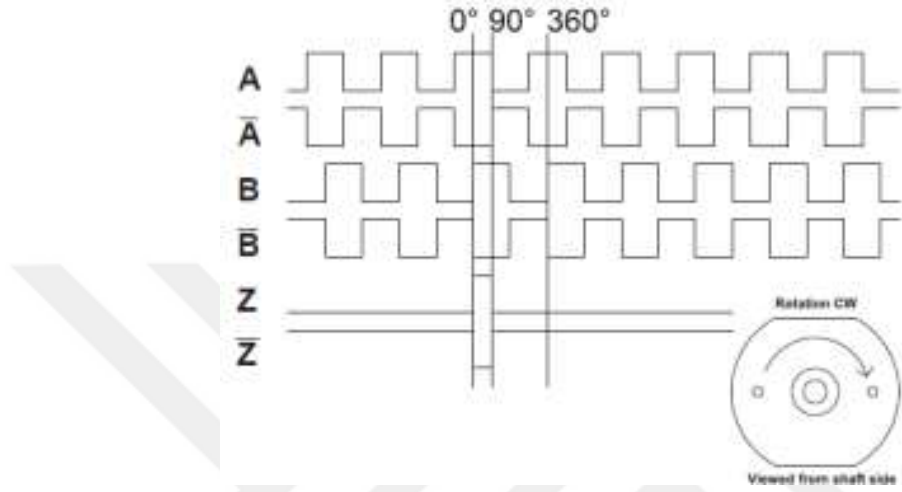
Motordaki krank milinin dönüşünün derece cinsinden ölçülmesi amacıyla optik encoder kullanılmıştır. Kullanılmış olduğumuz bu FNC 50B tipli artımlı encoder'ın teknik özellikleri Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. FNC 50B artımlı optik encoder teknik özellikleri

Özellik	Değer	Birim
Besleme gerilimi	4,75-30	V DC
Pulse hızı	500	Pulse/Devir
Çıkış sinyali	90° kaymış A, B ve Z	
Çalışma sıcaklığı	-20-+85	°C
Max. Çalışma hızı	5000	Devir/Dakika
Mil yükü	≤60 aksenal	N
	≤80 radyal	N
Frekans	<300	kHz

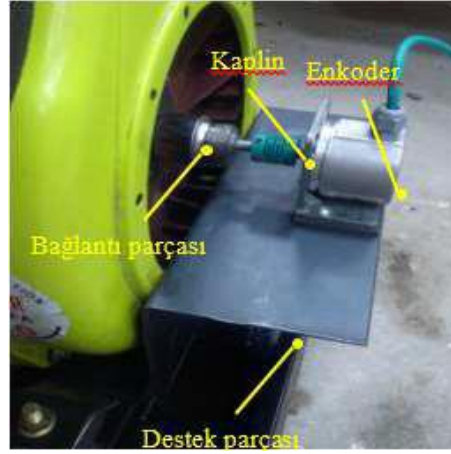
Şekil 3.7.'de puls diyagramı verilen encoderın şekilde de görüldüğü gibi A, B ve Z olmak üzere üç adet çıkışı vardır. Kanal B, 90°'lik faz kayması ile Kanal A'yı

yönlendirmektedir. Encoderin her bir tam tur dönüşünde 1 pulse oluşturan Z kanalı devir sayısının ölçümü amacıyla kullanılırken, Kanal A ve Kanal B konum bilgisi ve dönüş yönü tespiti için kullanılır (KARA ve KAYMAZ).



Şekil 3.3. Encoder Puls diyagramı

Krank mili ile encoder arasındaki bağlantıyı yapabilmek amacıyla çelik sac malzeme kullanılarak bir ayak imal edilmiş ve bu ayak krank kasnağı önüne sabitlenmiştir. Ardından krank milinin dönüş yönü ile encoderin dönüş yönünü aynı eksenle birleştirebilmek amacıyla bir ara parça imal edilip encoder mili ile bağlantı parçasının mili aynı eksen üzerinde bir kaplından faydalanılarak birleştirilmiştir. Encoderin montajlanmış hali Şekil 3.8.'de verilmiştir.

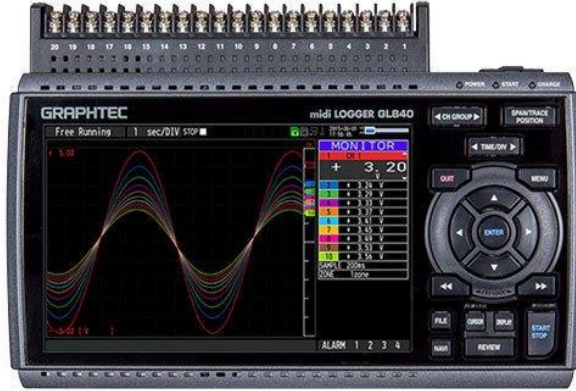


Şekil 3.4. Encoderin motor üzerine montajı

### 3.8. Egzoz Gazı Sıcaklığının Ölçülmesi

K tipi bir termokupl kullanılarak test motorunun egzoz gazının çıkış sıcaklığı ölçülmüştür. Egzoz gazı sıcaklığı ölçümlerinde yaygın olarak K tipi termokupullar kullanılmaktadır. Egzoz gazı sıcaklığının ölçülebilmesi için egzoz borusunun çıkışından yaklaşık 20 cm kadar uzaklığa termokupl yerleştirilerek ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir (SÜMER ve ark.). Kullanmış olduğumuz termokuplun test motoruna montajlanmış hali Şekil 3.9.'da verilmiştir.





Şekil 3.5. Deney düzeneği üzerinde termokupl montajının gösterimi ve termokupl göstergesi

### 3.9. Yakıt Tüketim Değerinin Ölçülmesi

İçten yanmalı her tür motorda performans testi gerçekleştirilmek istendiğinde uygun koşullar altında bulunan motorun yakıt tüketiminin bilinmesi ve belirlenmesi çok önemlidir. Ortalama yakıt tüketim değeri hacmine oranla yakıtın miktarının tükenme süresinin bilinmesiyle hesaplanır. Yapmış olduğumuz çalışma içerisinde de kullandığımız yakıt deposu bir hassas terazi üzerine bırakılmış, bir kronometreden faydalanılarak 10 gram yakıtın ne kadar sürede tüketiildiği kayıt altına alınmıştır. Elde edilen bu değer yeniden oranlanarak saat cinsinden hesaplaması yapılarak bir saatte tüketilen yakıtın miktarı belirlenmiştir (SÜMER ve ark.). Çalışma esnasında hassasiyeti 0.01 gr olan Radwag PS6000-R2H marka hassas teraziden faydalanılmıştır. Terazinin görseli Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.6. RADWAG PS 6000, R2.H marka hassas terazi

### 3.10. Motor Test Verilerinin Kontrolü ve Kaydedilmesi

Sabit hız jeneratörleri motor testlerinde, kalite kontrol testlerinde ve analiz işlemlerinin çoğunda kullanılmaktadır. Haliyle jeneratör motorunun standart olarak 3000 d/dk ile dönmesi istenir ki sağlıklı bir ölçüm yapılabilsin. Motor devrinin kontrolü jeneratör üzerinde bulunan bir elektronik hız kontrol devresi vasıtasıyla kontrol edilir. 3000 d/dk hızla çalışan motorun krank açısı kaydı tutmak amacıyla PicoScope 2406-B marka yüksek örnekleme hızına haiz 4 kanallı bir dijital osiloskop kullanılmıştır. Bahse konu osiloskop yaptığımız çalışmaya benzer çoğu çalışmada kullanılan yaygın bir markadır (Chávez Martínez ve Quishpi Pinta, 2021). Şekil 3.11.'de osiloskopun görüntüsü, Çizelge 3.9.'da da teknik özellikleri verilmiştir.

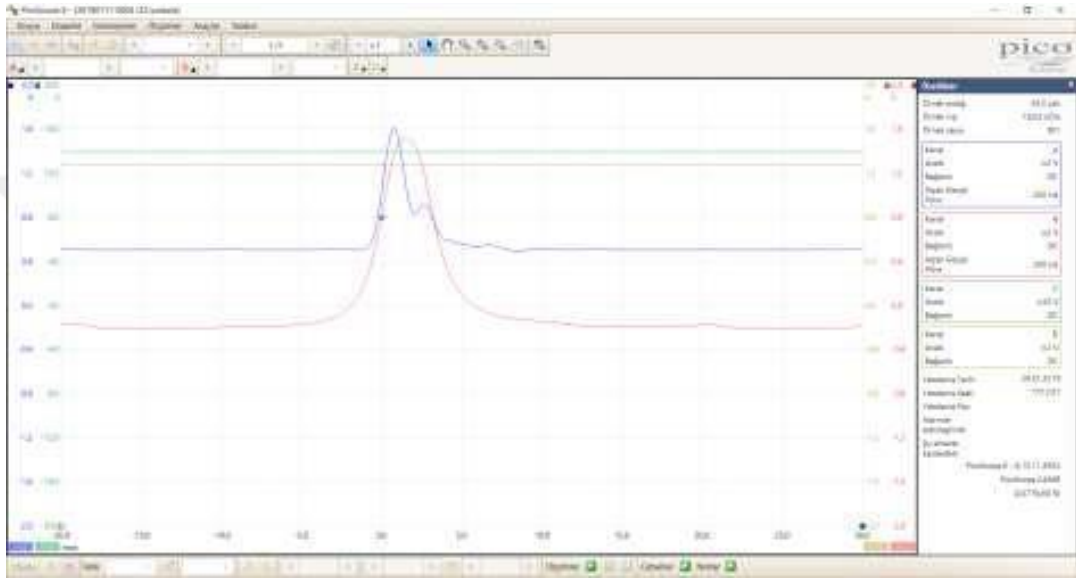


Şekil 3.7. PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı Osiloskop

Çizelge 3.8. PicoScope marka 2406B Model 4 kanallı Osiloskop teknik özellikleri

Özellik	Değer	Birim
Kanal sayısı	4	
Band genişliği	50	MHz
Giriş aralıkları	$\pm 20$ - $\pm 20$	mV-V
Giriş hassasiyeti	4-4	mV/div-V/div
Giriş akımı		AC/DC
DC doğruluğu	$\pm 3$	%
Giriş konektörü	Tek uçlu	
Frekans	<300	kHz
Max. örnekleme hızı	1.Kanal	GS/s
	3.ve 4. Kanal	MS/s
Eşdeğer zaman örnekleme oranı	10	GS/s
En kısa zaman tabanı	2	ns/div
En uzun zaman tabanı	5000	s/div

Öncelikle osiloskopa ait yazılım bilgisayara yüklenir ve yükleme sonrası bağlantı kablosu aracılığı ile bilgisayara bağlanarak elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılır. Osiloskop ara yüzünde bulunan verilerin bilgisayara aktarılmasıyla kontrol ve kayıt işlemleri artık bilgisayar üzerinden gerçekleştirilebilir. Osiloskop ara yüzünden bilgisayara ortamına aktarılan verilerin görüntüsü Şekil 3.12.'de verilmiştir.

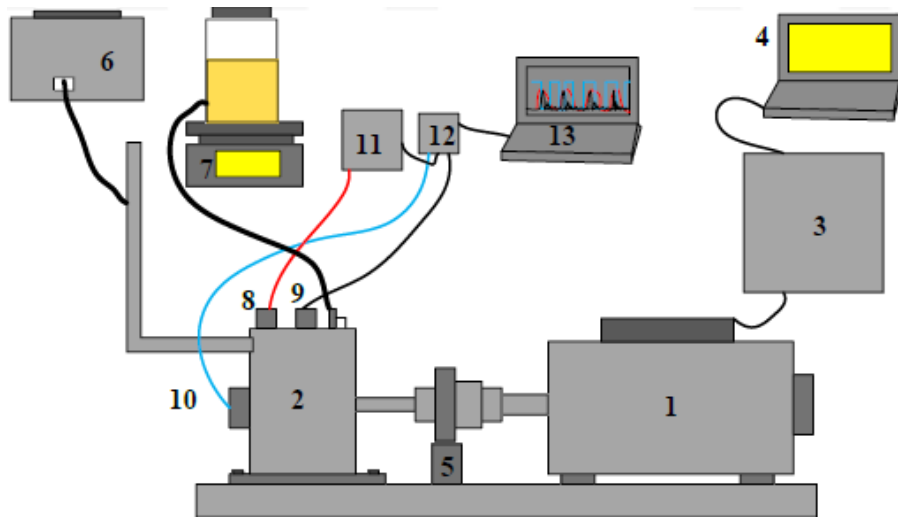


Şekil 3.8. Osiloskoptan elde edilen verilerin anlık görüntüsü

Test için hazır hale getirilen ve sonradan eklenen tüm sistemlerin aktif olarak çalıştığı düzeneğin genel anlamda görüntüsü ve şematik olarak çizimi Şekil 3.13. ve Şekil 3.14.'te verilmiştir.



Şekil 3.9. Deney düzeneği genel görünüm



Şekil 3.10. Deney düzeneği şematik görünüm

(1. Dinamometre 2. Dizel motor 3. Kontrol paneli 4. Dinamometre kontrol bilgisayarı 6. Emisyon gazı analizörü 7. Hassas terazi 8. Silindir basınç sensörü 9. Yakıt Hattı Basıncı 10. Enkoder 11. Amplifikasyon 12. Osiloskop 13. Bilgisayar)

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Deney öncesinde kullanılan motor ilk olarak yalnızca JP8 yakıtı kullanılarak çalıştırılmış ve elde edilen veriler kayıt altına alınmıştır. Kaydedilen değerler;

- Silindir İç Basıncı,
- Egzoz Gazı Sıcaklığı,
- Fren Özgül Yakıt Tüketimi olmak üzere üç başlık altında incelenecektir.

Çalışma esnasında elde ettiğim verilerin grafik formatına dönüştürülmüş halleri bu başlık altında verilmiştir. Deney başlamadan önce K tipi termokupl egzoz sistemi üzerinde yerini almıştır. Hassas terazi üzerine bırakılmış olan yakıt deposundan 1 litrelik yakıt ölçümü yapılarak bir huni marifetiyle karbüratöre gönderilmiş, motora kontak vasıtasıyla marş yapılmış ve çalıştırılarak devrini alması sağlanmıştır. Devamında 500W'lık bir projektör motora bağlanmış ve projektörün çalışması için 1 dakika içerisinde ne kadar yakıt sarf ettiği manuel olarak kayıt altına alınmıştır. Bu esnada silindir içi basınç değeri ve ısıl değerler sensörler vasıtasıyla bilgisayara aktarılarak grafik veri haline getirilmiştir. En sonunda termokuplun kaydetmiş olduğu egzoz gazı çıkış sıcaklığı bilgisayara aktarılarak 500W'lık bir diğer projektör sisteme dahil edilmiş ve motor 1000W'lık projektör için ne kadar performans harcıyor gözlemlenmeye başlanmıştır. Benzeri işlemler sırasıyla 1500W, 2000W, 2500W, 3000W ve 3500W'lık güçlerin tamamında uygulanmış ve elde edilen verilerin tamamı kaydedilerek motorun performansı değerlendirilmeye başlanmıştır.

1 litrelik JP8 yakıtının tamamı tüketildiğinde ilk başta hazırladığımız JP8 + Molibden heterojen karışımı aynı işlemler uygulanarak motora gönderilmiş ve aynı projektör kullanımı öyküsüyle 500W'tan 3500W'a kadar sistemde kullanılarak elde edilen veriler kayıt altına alınmıştır. Bu işlemlerin tamamı karışım oranları farklı olan JP8 + Molibden yakıt karışımları için sırasıyla tek tek denenmiş ve elde edilen değerler tek tek kayıt altına alınmıştır. Sonuç olarak elde edilen yığın verilerle motor performansı incelenmiş gerekli analizler yapılarak deney sonrasında bu veriler excel ortamında kaydedilerek grafik formatına dönüştürülmüştür. Saf JP8 yakıtın yakılması ve devamında belirli oranlarda karışımı yapılan heterojen JP8 + Molibden

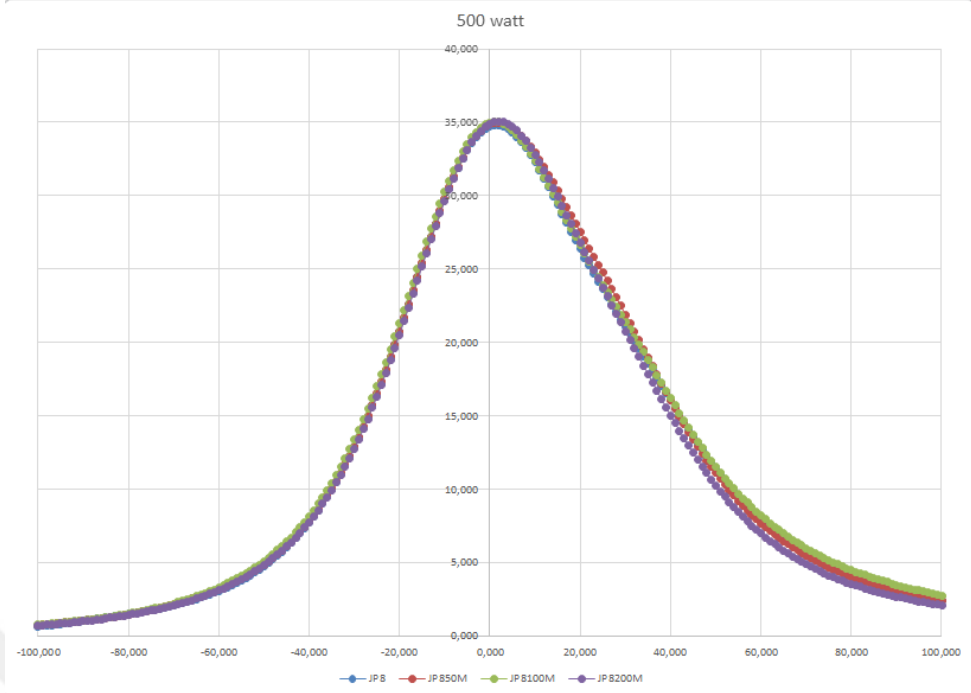
karışımlarının kıyaslamaları yapılarak yukarıda bahse konu olan üç maddedeki başlıklar sırasıyla açıklanacaktır.

#### **4.1. Silindir içi basınç değerleri**

İçten yanmalı motorlarda silindir içerisine alınan hava/yakıt karışımlarının yanması sonucunda oluşan basınç parametrelerinin yakından incelenerek yanma hakkında fikir sahibi olunabilmektedir.

##### **4.1.1. 500 watt motor gücü silindir içi basınç değişimleri**

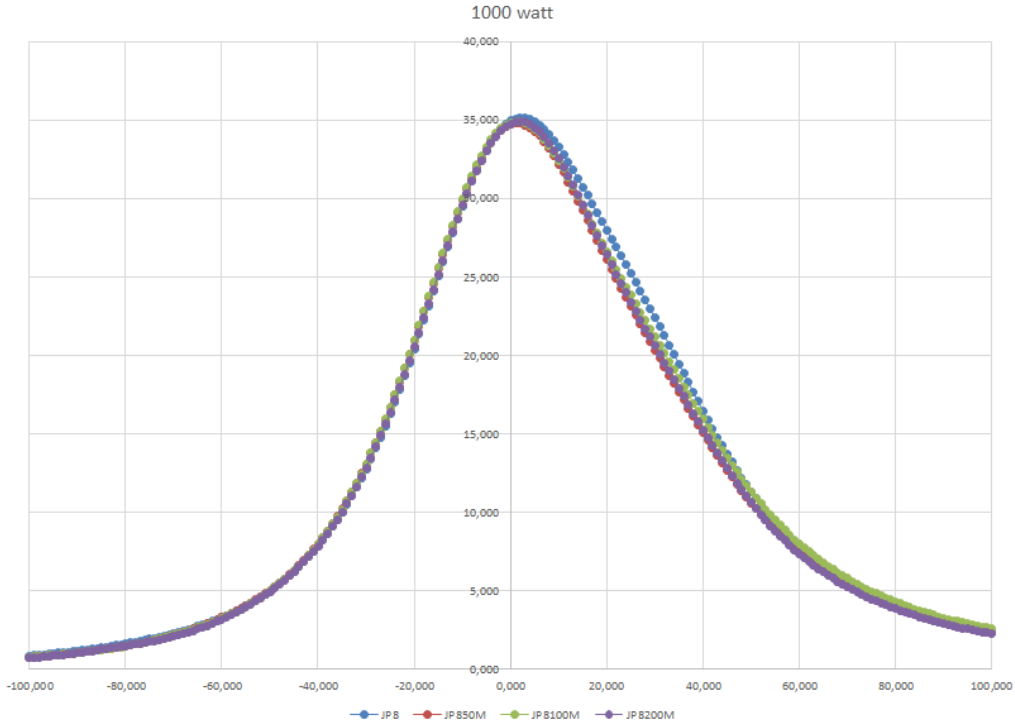
Şekil 4.1.'de 500 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi verilmektedir. Elde edilen bulgular molibden ilavesi ile yanma profilinde değişimin olmadığını göstermektedir. 500 watt motor yükünde saf JP8 motor yakıtı ile 34,78 bar silindir içi basınç değeri elde edilirken JP850M yakıt karışımı ile 34,99, JP8100M yakıt karışımı ile 35,02 bar ve JP8200M yakıt karışımı ile 35,06 bar silindir içi basınç değeri ölçülmüştür. Silindir içi basınç artışı yakıt karışımlarının ısı değeri ile orantılıdır. Artan ısı değeri silindir içi basınç değerini artırdığı düşünülmektedir. Bu durumda en yüksek artış oranı %0,78 ile JP8200M yakıt karışımında elde edilmiştir.



Şekil 4.1. 500 Watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi

#### 4.1.2. 1000 watt motor gücü silindir içi basınç değişimleri

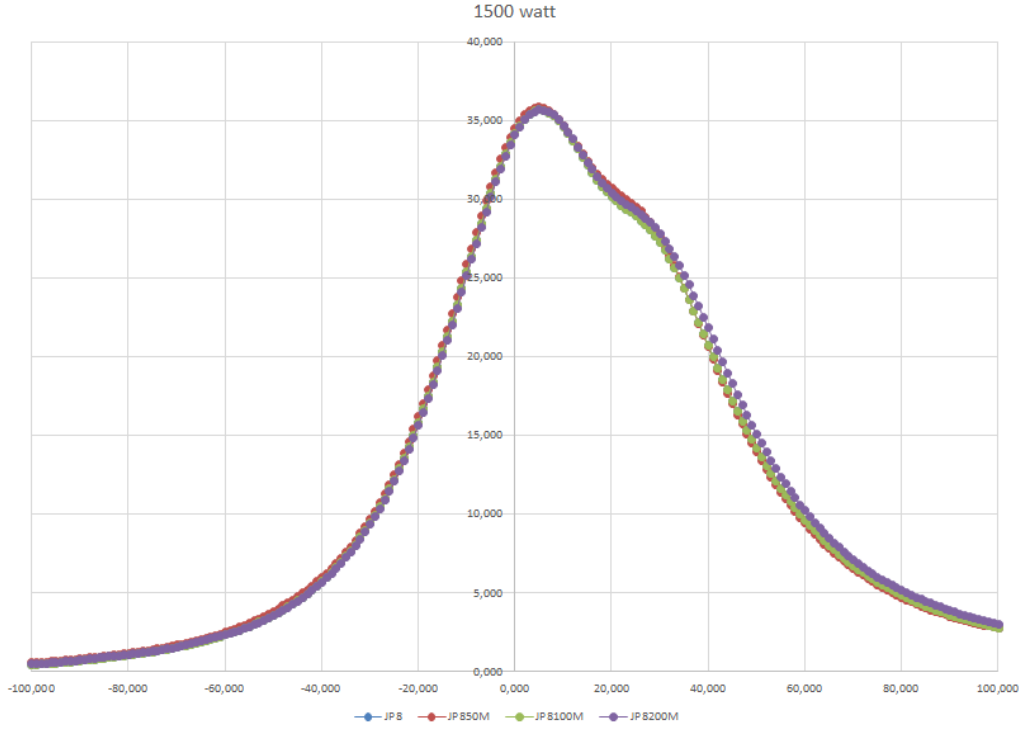
Şekil 4.2.'de 1000 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi verilmektedir. 1000 watt motor yükünde saf JP8 motor yakıtı ile 34,68 bar silindir içi basınç değeri elde edilirken JP850M yakıt karışımı ile 34,78, JP8100M yakıt karışımı ile 34,94 bar ve JP8200M yakıt karışımı ile 34,9 bar silindir içi basınç değeri ölçülmüştür. Bu durumda en yüksek artış oranı %0,79 ile JP8200M yakıt karışımında elde edilmiştir.



Şekil 4.2. 1000 Watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi

#### 4.1.3. 1500 watt motor gücü silindir içi basınç değişimleri

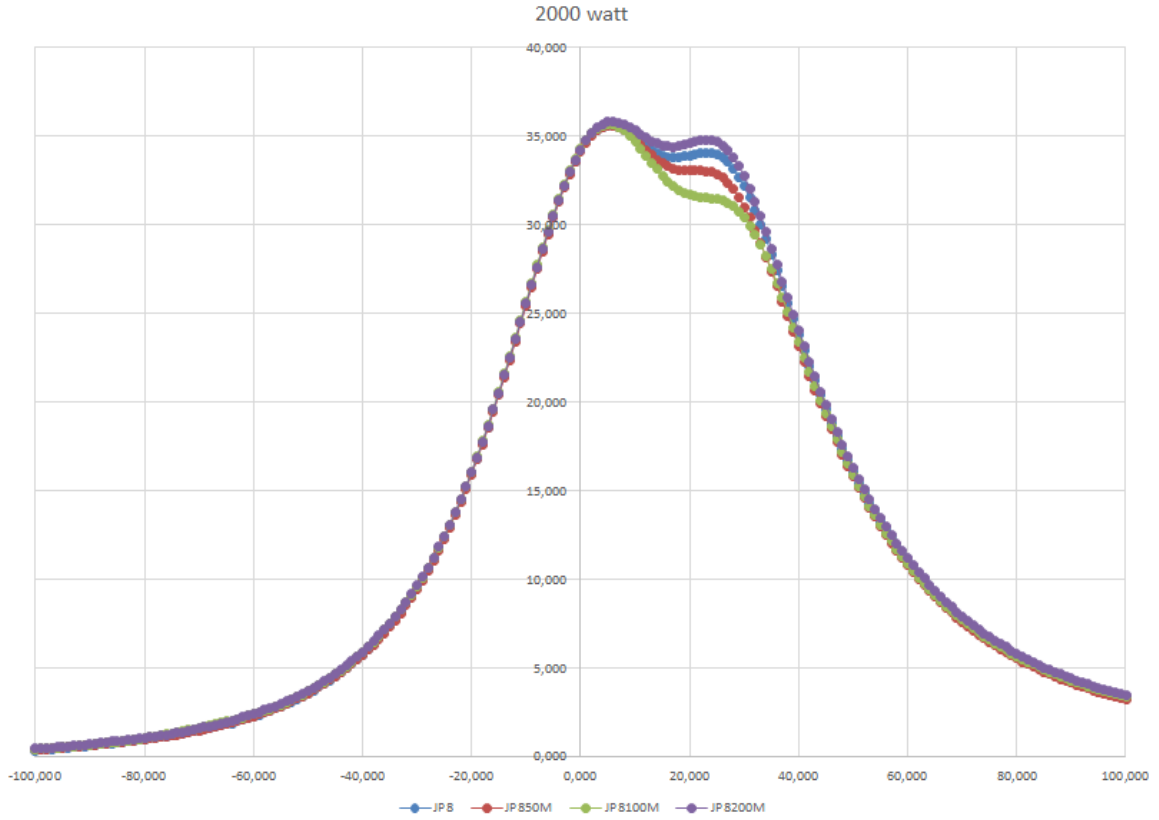
Şekil 4.3.'te 1500 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi verilmektedir. 1500 watt motor yükünde saf JP8 motor yakıtı ile 34,68 bar silindir içi basınç değeri elde edilirken JP850M yakıt karışımı ile 34,78, JP8100M yakıt karışımı ile 34,94 bar ve JP8200M yakıt karışımı ile 34,9 bar silindir içi basınç değeri ölçülmüştür. Bu durumda en yüksek artış oranı %0,79 ile JP8200M yakıt karışımında elde edilmiştir.



Şekil 4.3. 1500 Watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi

#### 4.1.4. 2000 watt motor gücü silindir içi basınç değişimleri

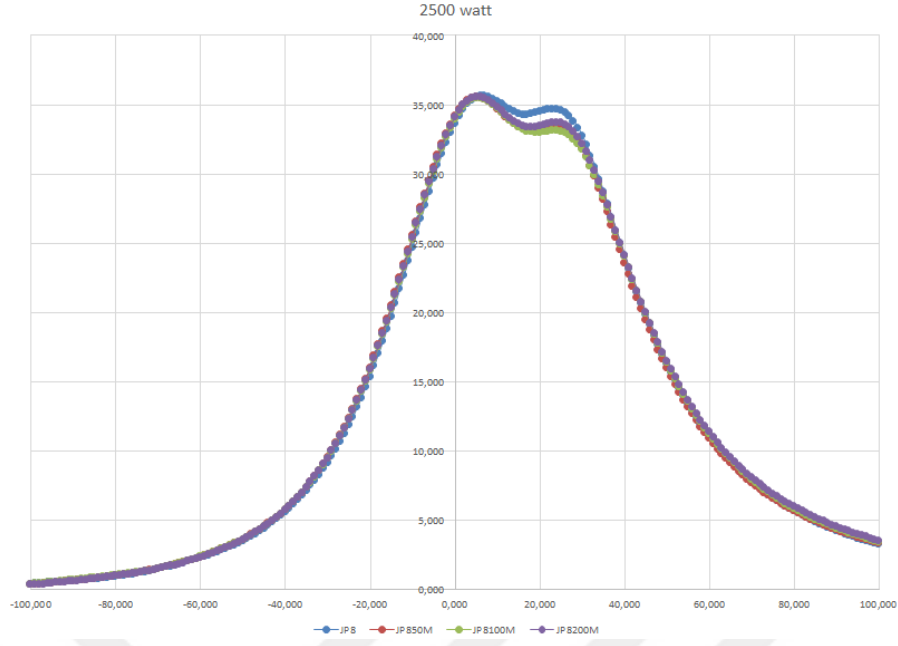
Şekil 4.4.'te 2000 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi verilmektedir. 2000 watt motor yükünde saf JP8 motor yakıtı ile 35,63 bar silindir içi basınç değeri elde edilirken JP850M yakıt karışımı ile 35,64, JP8100M yakıt karışımı ile 35,70 bar ve JP8200M yakıt karışımı ile 35,85 bar silindir içi basınç değeri ölçülmüştür. Bu durumda en yüksek artış oranı %0,62 ile JP8200M yakıt karışımında elde edilmiştir.



Şekil 4.4. 2000 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi

#### 4.1.5. 2500 watt motor gücü silindir içi basınç değişimleri

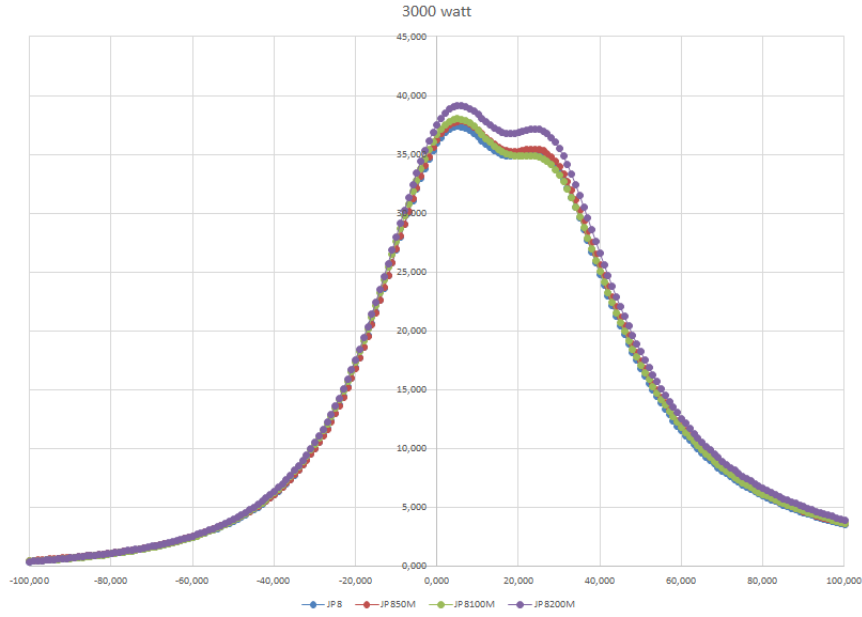
Şekil 4.5.'te 2500 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi verilmektedir. 2500 watt motor yükünde saf JP8 motor yakıtı ile 36,13 bar silindir içi basınç değeri elde edilirken JP850M yakıt karışımı ile 36,54, JP8100M yakıt karışımı ile 36,70 bar ve JP8200M yakıt karışımı ile 36,96 bar silindir içi basınç değeri ölçülmüştür. Bu durumda en yüksek artış oranı %2,29 ile JP8200M yakıt karışımında elde edilmiştir.



Şekil 4.5. 2500 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi

#### 4.1.6. 3000 watt motor gücü silindir içi basınç değişimleri

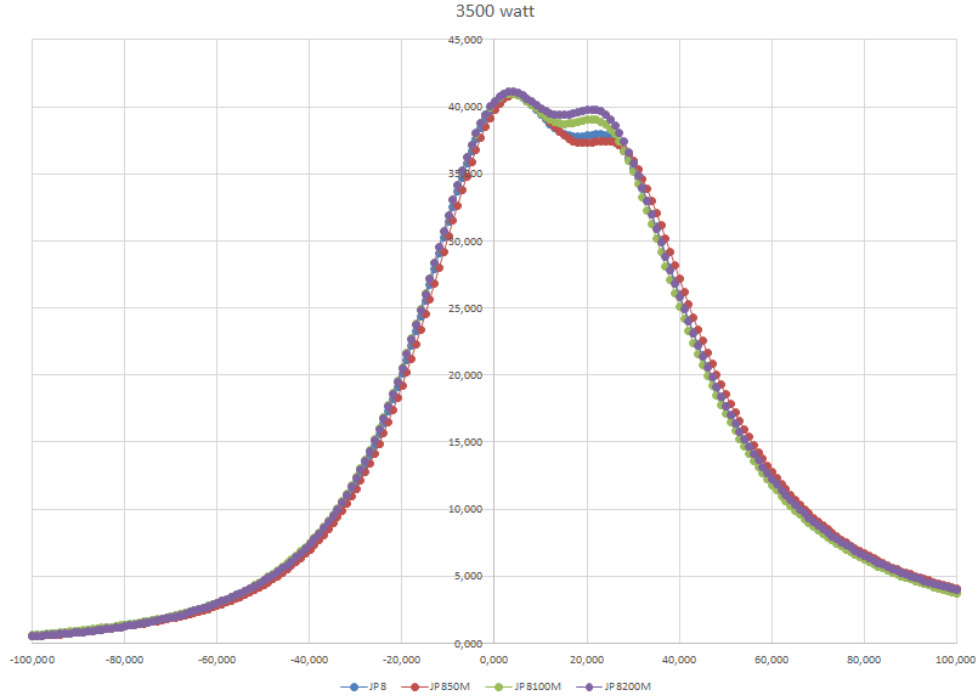
Şekil 4.6.'da 3000 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi verilmektedir. 3000 watt motor yükünde saf JP8 motor yakıtı ile 37,38 bar silindir içi basınç değeri elde edilirken JP850M yakıt karışımı ile 37,83, JP8100M yakıt karışımı ile 38,04 bar ve JP8200M yakıt karışımı ile 39,18 bar silindir içi basınç değeri ölçülmüştür. Bu durumda en yüksek artış oranı %4,81 ile JP8200M yakıt karışımında elde edilmiştir. Motor yükünün artması ile özellikle silindir içi basınç değerlerinde farklılıklar artış göstermeye başlamıştır. Bu durum motor yükünün artışı ile silindir içerisine alınan yakıt miktarının artması ile açıklanabilir.



Şekil 4.6. 3000 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi

#### 4.1.7. 3500 watt motor gücü silindir içi basınç değişimleri

Şekil 4.7.'de 3500 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi verilmektedir. 3500 watt motor yükünde saf JP8 motor yakıtı ile 40,97 bar silindir içi basınç değeri elde edilirken JP850M yakıt karışımı ile 40,93, JP8100M yakıt karışımı ile 41,01 bar ve JP8200M yakıt karışımı ile 41,10 bar silindir içi basınç değeri ölçülmüştür. Bu durumda en yüksek artış oranı %0,3 ile JP8200M yakıt karışımında elde edilmiştir.



Şekil 4.7. 3500 watt motor yükünün silindir içi basınç değişimlerine etkisi

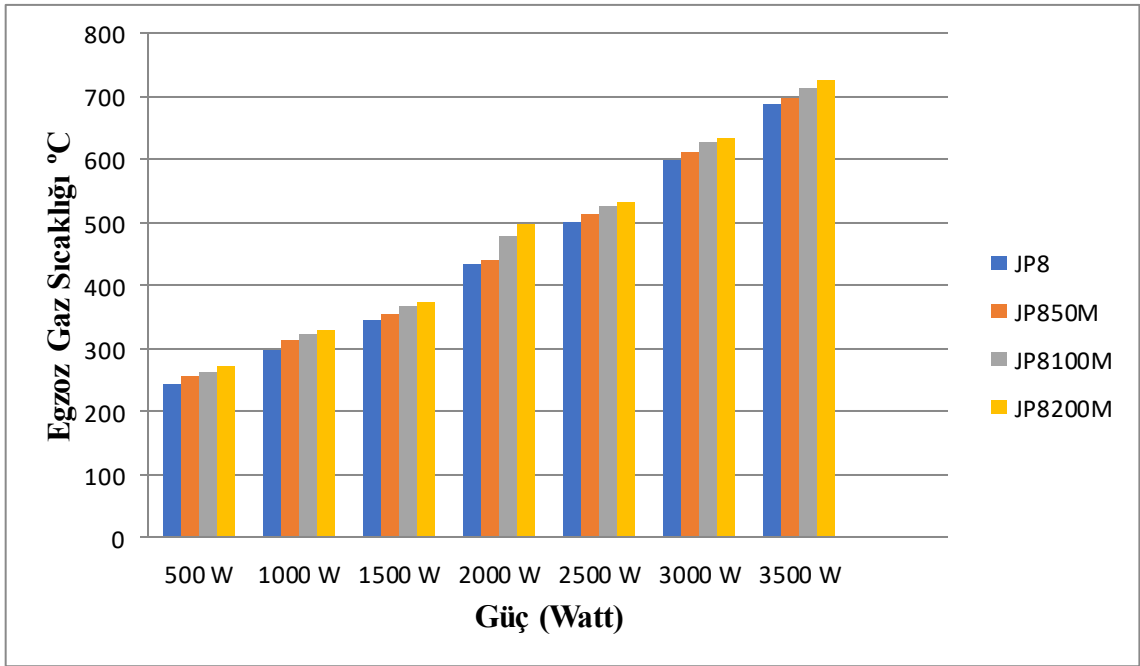
## 4.2. Egzoz Gazı Sıcaklığı

Çizelge 4.2.'de farklı yakıt karışımlarının egzoz gaz sıcaklığı değişimine etkisi verilmektedir. Egzoz gaz sıcaklığı silindir içerisindeki yanmanın bir fonksiyonudur. Yanmanın verimli olduğu yorumları egzoz gaz sıcaklığı değerleri üzerinden yorumlanabilir. JP8 yakıtına molibden ilavesi ile tüm motor yüklerinde egzoz gaz sıcaklığı artış göstermektedir. Bu durumu yakıt karışımlarının ısıl değerinin artması ile açıklamak mümkündür. Artan ısıl değer yanma sonu sıcaklığını etkilemektedir. Bu durumda hem silindir içi basınç değerleri hem de egzoz gaz sıcaklık değerleri artmaktadır. Motor yükünün artışı ile olan artma ise silindir içerisine alınan yakıt miktarının artışı ile mümkündür. Silindir içerisine alınan yakıt miktarının artması egzoz gaz sıcaklık değerlerinde artışa neden olmaktadır.

En yüksek egzoz gaz sıcaklık değeri 3500 watt motor yükünde JP8200M yakıt karışımı ile 726 °C olarak ölçülürken aynı şartlarda saf JP8 yakıtı ile 274 °C sıcaklık değeri elde edilmiştir. En düşük sıcaklık değeri ise 245 °C ile saf JP8 yakıtının kullanımı ile 500 watt motor yükünde ölçülmüştür. Yüzselsel olarak yapılan analizlerde

en yüksek artış miktarı %68,93 oranı ile JP850M yakıt karışımı ile 3500 watt motor yükünde ölçülmüştür.

**Çizelge 4.1.** Farklı yakıt karışımlarının egzoz gaz sıcaklığı değişimine etkisi



### 4.3. Fren Özgül Yakıt Tüketimi

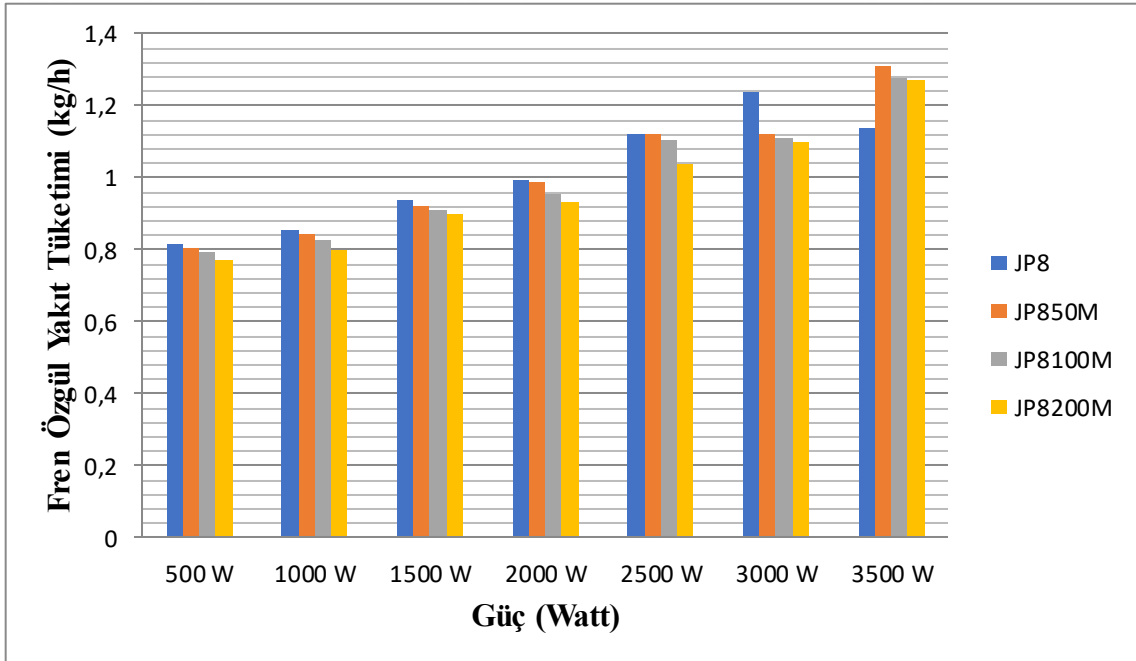
İçten yanmalı motorlarda yakıt tüketimi bir saat çalıştırılması esnasında tüketilen yakıt miktarını ifade etmektedir. Bu değer alternatif yakıtların kullanılmasında büyük önem arz etmektedir. Çünkü yakıtların yakıt tüketim değerlerinin artması olumsuz ve tercih edilmeyen bir özelliktir.

Yakıt tüketim değeri, JP8 yakıtına molibden ilavesi ile 500 watt, 1000 watt, 1500 watt, 2000 watt, 2500 watt ve 3000 watt motor yüklerinde düşüğe geçmektedir. Fakat 3500 watt motor yükünde bir miktar artmaktadır. 3500 watt motor yükündeki artışın yakıtların viskozite ve yoğunluk değerlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Motor yükünün artışı ile silindir içerisine alınan yakıt miktarının artmasının yanma verimi üzerine olumsuz etkisi olduğu ve yanmayı kısmen etkilediği düşünülmektedir.

En yüksek yakıt tüketim değeri 3500 watt motor yükünde JP850M yakıt karışımı ile 1,31 kg/h olarak ölçülmüştür. Aynı şartlarda JP8 yakıtı ile 1,13 kg/h, JP8100M yakıt karışımı ile 1,27 kg/h ve JP8200M yakıt karışımı ile 1,26 kg/h tüketim değerleri tespit edilmiştir.

Yüzdesel olarak en çok iyileşme %123 oranı ile 3000 watt motor yükünde JP8200M yakıt karışımı ile elde edilmiştir.

**Çizelge 4.2.** JP8 + Molibden karışımları için fren özgül yakıt tüketimi



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmamızda direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda JP8 ve Molibden kullanılarak oluşturulan karışımların alternatif yakıt olarak kullanılması sonucu silindir içi basınca, egzoz gazının çıkış sıcaklığına ve fren özgül yakıt tüketimine olan etkisi incelenmiştir.

Yaptığımız çalışmada motor gücü sabit tutularak diğer parametreler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

- ❖ İçten yanmalı motorlarda silindir içerisine alınan hava/yakıt karışımlarının yanması sonucu oluşan basınç parametrelerini etkileyen en önemli özelliklerden biri kullanılan yakıtın ısı değeri. Artan ısı değerinin silindir içi basınç değerini arttırdığı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda sadece molibden ilavesi ile yanma profilinde her hangi bir değişim gözlenmez iken JP8+Molibden karışımlarının farklı oranlarda verilmesi ile silindir içi basınçta ölçülebilir oranda artış olduğu tespit edilmiştir.
- ❖ Her motor gücünde ayrı ayrı test edilen yakıt karışımlarının silindir içi basınca olan etkisi incelendiğinde artan karışım oranının silindir içi basıncı arttırdığı ve en yüksek karışım oranında en yüksek basıncın elde edildiği görülmüştür.
- ❖ En yüksek silindir içi basınç değeri 3500 watt motor yükünde JP8200M yakıt karışımı ile 41,10 bar olarak ölçülürken aynı şartlarda saf JP8 yakıtı ile bu değer 40,97 bar olarak ölçülmüştür. En düşük basınç değeri ise 34,78 bar ile saf JP8 yakıtının kullanıldığı 500 watt motor yükünde ölçülmüştür. Yüzdesele olarak yapılan analizlerde en yüksek artış miktarı **%18,17** oranı ile JP8200M yakıt karışımı ile 3500 watt motor yükünde ölçülmüştür.
- ❖ Egzoz gaz sıcaklığının motor yükünün artmasıyla doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Motor yükünün artırılması sonucu haliyle silindir içine alınması gereken yakıt miktarının artırılması ihtiyacı ortaya çıkmış, silindir içine alınan artırılmış yakıt miktarı egzoz gaz sıcaklık değerlerinin artışına sebep olmuştur.
- ❖ Farklı yakıt karışımlarının egzoz gazının çıkış sıcaklığına etkisi incelendiğinde, egzoz gaz sıcaklığının silindir içindeki yanmanın bir fonksiyonu olarak ortaya çıktığı yani yanmanın verimli olup olmadığının yorumlanmasının egzoz gaz sıcaklığı değerleri üzerinden yapıldığı görülmüştür.

- ❖ JP8 yakıt içerisine yapılan Molibden ilavelerinin tamamında motor üzerindeki her yükte egzoz gaz sıcaklığının arttığı görülmüş bu durumun da yakıt karışımlarının ısı değerlerinin artması ile oluştuğu tespit edilmiştir. Kısacası yüksek ısı değer yüksek egzoz gaz sıcaklığına neden olmaktadır.
- ❖ En yüksek egzoz gaz sıcaklık değeri 3500 watt motor yükünde JP8200M yakıt karışımı ile 726 °C olarak ölçülürken aynı şartlarda saf JP8 yakıtı ile 274 °C sıcaklık değeri elde edilmiştir. En düşük sıcaklık değeri ise 245 °C ile saf JP8 yakıtının kullanımı ile 500 watt motor yükünde ölçülmüştür. Yüzesel olarak yapılan analizlerde en yüksek artış miktarı %68,93 oranı ile JP850M yakıt karışımı ile 3500 watt motor yükünde ölçülmüştür.
- ❖ Fren özgül yakıt tüketimi incelendiğinde JP8 yakıtına yapılan molibden ilavesi sonucu 500 watt, 1000 watt, 1500 watt, 2000 watt, 2500 watt ve 3000 watt motor yüklerinde tüketimin düştüğü ancak 3500 watt motor yükünde bir miktar artış olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise 3500 watt motor yükünde yakıtların viskozite ve yoğunluk değerlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- ❖ Motor yükünün artışı ile silindir içerisine alınan yakıt miktarının artmasının yanma verimi üzerine olumsuz etkisi olduğu ve yanmayı kısmen etkilediği düşünülmektedir.
- ❖ Yüzesel olarak en çok iyileşme %123 oranı ile 3000 watt motor yükünde JP8200M yakıt karışımı ile elde edilmiştir.

Sonuç olarak dizel motorlara alternatif olarak kullanılan yakıtlar ve karışım yakıtların katkı olarak kullanılabilmesi özellikle silindir içi basınca ve devamında fren özgül yakıtı iyileştirme yapmıştır. Araç üreticilerinin çalışmamızda bahse konu parametrelere optimum faydayı sağlayabilecek ve maliyeti düşürebilecek özelliklerde alternatif yakıtların araştırılması ve üretilmesi adına çalışma yapması ve bunun ayrı bir konu olarak ele alınmasının gerektiği tarafımızca düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Adıgüzel, G.E. (2019), "Avrupa Birliği'nin yenilenebilir enerji dinamikleri ve Türkiye'nin uyumu", Başkent Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü,
- ASLANLI, K. 2023. Afganistan'ın Doğal Kaynak Zenginlikleri Ve Jeopolitik Güç Mücadelesi, Ulisa: Uluslararası Çalışmalar Dergisi, 7 (1), 19-32.
- Avcı, M. (2022), "Alkol ve anti icing katkı maddelerinin jet yakıtı özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi", Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,
- Bayındır, H., Işık, M.Z., Argunhan, Z., Yücel, H.L., Aydın, H. 2017. Combustion, performance and emissions of a diesel power generator fueled with biodiesel-kerosene and biodiesel-kerosene-diesel blends, Energy, 123, 241-251.
- Benzeşik, K. (2016), "Molibden konsantrelerinin değerlendirilmesi", Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Chávez Martínez, A.P., Quishpi Pinta, W.M. 2021. Análisis y diagnóstico avanzado del motor de combustión interna por medio de oscilogramas eléctricos de presión y análisis de emisiones.
- Davies, P.E., 2018, North American XB-70 Valkyrie, *Bloomsbury Publishing*, Ege, Ö.Ü.S. GÜVENLİK YAZILARI.
- Ekici, S. (2018), "Mini turbojet/turboprop motorun ileri ekserji analizi", Anadolu University (Turkey),
- ELDEM, A., ELDEM, H. Motor Parametrelerinin Tahmininde Bulanık Uzman Sistem Tasarımı, Recent Advances in Science and Technology, 95. Enerji ve Tabii Kaynaklar, B. 2022.
- Geretto, M., Ferrari, M., De Angelis, R., Crociata, F., Sebastiani, N., Pulliero, A., Au, W., Izzotti, A. 2021. Occupational exposures and environmental health hazards of military personnel, International Journal of Environmental Research and Public Health, 18 (10), 5395.
- Hossain, S., Singh, M.K., Gopalan, J., Arunan, E. 2023. Isopropylcyclohexane pyrolysis at high pressure and temperature: Part 2. Experiment and simulation, Combustion and Flame, 112773.
- Ingenito, A., Ingenito, A. 2021. Ramjets Fuels, Subsonic Combustion Ramjet Design, 35-45.
- KARA, O., KAYMAZ, H. Otomotiv Sistemlerinde Algılayıcı Teknolojileri, TAM METİN KİTABI FULL TEXT BOOK, 10.

Karakoç, T.H., Çolpan, C.Ö., Çoban, K. 2018. İnsansız hava araçlarında farklı yakıtlar ile çalışan turbojet motorunun enerji, ekserji ve sürdürülebilirlik analizleri.

Lockheed, A. Lockheed A-12-Lockheed A-12.

MTA Genel Müdürlüğü, M. 2023.

Nanoteknik. 2023.

Özdalyan, B., Vural, E., Özer, S. 2011. Tek Silindirli Bir Dizel Motorunda Değişik Püskürtme Zamanlaması Değerlerinin Motor Performansına ve Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması, Electronic Journal of Vehicle Technologies/Tasit Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3 (3).

Salih, Ö., Akçay, M., Gölcü, M., YAZICI, H. Tek silindirli benzinli bir motorda kısmi yüklerde bütanol ilavesinin performansa ve emisyonlara etkisi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 32 (2), 55-62.

Salih, Ö., AKÇAY, M., YILMAZ, İ.T., VURAL, E. Düşük güçte bir motor test düzeneği kurulumu ve örnek bir uygulama gerçekleştirilmesi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9 (1), 376-389.

SÜMER, S., SABANCI, A., ÜLKER, K. TARIM TRAKTÖRLERİNDE, GÜÇ VE YÜKLENME KOŞULLARINA BAĞLI OLARAK, ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ VE EGZOZ GAZI SICAKLIĞI ARASI İLGİLERİN İNCELENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA.

Wikipedia, 2023a, [https://en.wikipedia.org/wiki/Jet\\_fuel](https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_fuel)[Erişim Tarihi:

wikipedia, 2023b, Jet Fuel, [https://en.wikipedia.org/wiki/Jet\\_fuel](https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_fuel)[Erişim Tarihi:

YAMAN, H., Dönmez, C.E., Çelik, V. 2018. KATI ROKET YAKITLARINDA YANMA HIZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.

Yılmaz, N., Atmanlı, A. HAVACILIKTA ALTERNATİF YAKIT KULLANILMASININ İNCELENMESİ.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Nurettin ATAKAYA

### EĞİTİM

<b>Derece</b>	<b>Adı, İlçe, İl</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
Lise	: Milli Piyango Anadolu Lisesi, Merkez, Isparta	2009
Üniversite	: Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Merkez, Isparta	2013
Yüksek Lisans	: Alparslan Üniversitesi, Merkez, Muş	Devam Ediyor
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

<b>Yıl</b>	<b>Kurum</b>	<b>Görevi</b>
2013-2015	Isparta Mensucat A.Ş.	Üretim Mühendisi
2015-2017	Cebeci Süt Ürünleri A.Ş.	Bakım Mühendisi
2017- Halen	Jandarma Genel Komutanlığı	Subay / Üsteğmen

### UZMANLIK ALANI

Mekanik Tasarım  
Motorlar  
Robotlar  
Silah Sistemleri

### YABANCI DİL

İngilizce, Almanca