

T.C.  
BİLECİK ŐEHY EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BENZİNLİ MOTORDA BENZİN-KEROSEN VE NİTROMETAN KARIŞIMLARININ  
KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİRAY İLGAR KILIÇALP

TEZ DANIŐMANI  
DOÇ. DR. ÜSAME DEMİR

BİLECİK, 2025

10693271

T.C.  
BİLECİK ŐEHY EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BENZİNLİ MOTORDA BENZİN-KEROSEN VE NİTROMETAN KARIŞIMLARININ  
KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN  
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİRAY İLGAR KILIÇALP

TEZ DANIŐMANI  
DOÇ. DR. ÜSAME DEMİR

BİLECİK, 2025

10693271

## BEYAN

“Benzinli Motorda Benzin-Kerosen ve Nitrometan Karışımlarının Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezinin 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 ALINMAMIŞTIR</b>	<b>DESTEK ALINMIŞTIR</b>
<b>Destek alındı ise;</b>	
<b>Destekleyen kurum;</b>	
<b>Desteğin Türü</b>	<b>Proje Numarası</b>
<b>1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)</b>	
<b>2- TÜBİTAK</b>	
<b>Diğer;.....</b> .....	
<b>ETİK KURUL onayı var ise;</b>	
<b>ETİK KURUL karar tarih/sayı:</b>	...../...../2025

**MİRAY İLGAR KILIÇALP**

.....

**Tarih**

.....

**İmza**

.....

## ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenip emek harcayan danışmanım Sayın Doç. Dr. Üsame Demir'e katkı ve destekleri için saygılarımı teşekkürlerimi sunarım.

Savunma sınavı sırasında değerli jüri üyelerine çalışmanın son haline gelmesindeki değerli katkıları adına teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Son olarak bu günlere ulaşmamda büyük emek harcayan değerli aileme teşekkür ederim.

**Miray İLGAR KILIÇALP**

**2025**

## ÖZET

### **BENZİNLİ MOTORDA BENZİN-KEROSEN VE NİTROMETAN KARIŞIMLARININ KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Enerjinin önemi, nüfusun ve sanayileşmenin artmasıyla beraber giderek artmıştır. Enerji günlük hayatımızın vazgeçilmezi haline gelmiştir. Artık enerji tüm dünya için zorunlu hale gelmiştir. Enerji üretiminin bir kısmı da fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtların oluşumu uzun sürmekte ve yakıt tüketimi de hızlı olduğu için zamanla rezervler (kömür, petrol ve doğal gaz) azalmaktadır. Rezervlerin her geçen gün azalması ve bu kaynakların yeniden elde edilememesi gibi unsurlarla birleşince farklı enerji arayışları başlamıştır. Fosil yakıtların kullanımından dolayı iklimde meydana gelen değişiklikler, çevre kirliliği, hava kirliliği yeni enerji kaynakları arayış sürecini hızlandırmıştır. Çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen, verimli ve ucuz enerji üretimi arayışı başlamıştır. Bu sebepten dolayı yenilenebilir enerji, çevre dostu enerji, yeşil enerji, enerji verimliliği, alternatif yakıtlar gibi yeni kavramlar ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada, JP 8, Jet A1, nitrometan ve benzin yakıt karışımlarının, tek silindirli, hava soğutmalı, dört zamanlı bir benzin motorunda performans, yakıt tüketimi ve emisyon özellikleri araştırılmaktadır. Motor, 2500 RPM sabit hızda ve değişen tork yükleri (0 Nm, 2,5 Nm, 5 Nm, 7,5 Nm ve 10 Nm) altında çalıştırılmış ve özgül fren yakıt tüketimi (FÖYT), termal verimlilik, egzoz gazı sıcaklığı (EGT) ve egzoz emisyonları (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC) gibi ana performans göstergeleri ölçülmüştür. JP 8 ve nitrometan içeren karışımlarda özellikle daha yüksek tork koşullarında termal verimliliğin iyileştiği gözlemlenmiştir. 10 Nm'de %18,46 ile en yüksek termal verimlilik, 90B5NM5JP8 karışımında gözlemlenirken, saf benzin (B100) için bu değer %16,67 olmuştur. Benzer şekilde, tüm yakıt karışımları için özgül fren yakıt tüketimi değerleri artan yükte önemli ölçüde azalmıştır. NO<sub>x</sub> seviyeleri artan yükte birlikte artmış ve 90B5NM5JP8 karışımı 10 Nm'de 2000 ppm'ye ulaşarak daha yüksek yanma sıcaklığı göstermiştir. Öte yandan, CO ve HC emisyonları, tüm karışımlar için daha yüksek yüklerde azalmıştır. 90B5NM5JP8 yakıt karışımı en düşük CO emisyonlarını %3,026 ve HC emisyonlarını 76 ppm olarak göstermiştir. Jet A1 ve nitrometan içeren yakıt karışımları, daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonları sergilemiştir. Çalışma, JP 8 ve nitrometan karışımlarının motor performansını ve verimliliğini önemli ölçüde artırdığını, ancak daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonlarına yol açtığı sonucuna varmıştır. Yakıt karışımlarının yüksek performanslı uygulamalar için potansiyel sunduğunu, ancak daha geniş pratik kullanım için emisyonları yönetmek amacıyla daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Egzoz emisyonları, JP 8, Jet A1, Nitrometan, Benzin

## ABSTRACT

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF USING GASOLINE-KEROSENE AND NITROMETHANE MIXTURES ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS IN A GASOLINE ENGINE

The importance of energy has increased with the rise in population and industrialization, making it indispensable in our daily lives. Energy has become a necessity for the entire world. A portion of energy production is derived from fossil fuels. Fossil fuels take a long time to form, and due to rapid fuel consumption, reserves (coal, oil, and natural gas) are gradually depleting. The continuous decrease in reserves and the inability to renew these resources have led to the search for alternative energy sources. Climate changes caused by the use of fossil fuels, environmental pollution, and air pollution have accelerated the quest for new energy sources. The search for efficient, cheap, and environmentally friendly energy production has begun. Hence, new concepts such as renewable energy, eco-friendly energy, green energy, energy efficiency, and alternative fuels have emerged.

In this study, the performance, fuel consumption, and emission characteristics of JP 8, Jet A1, nitromethane, and gasoline fuel blends are investigated in a single-cylinder, air-cooled, four-stroke gasoline engine. The engine was operated at a constant speed of 2500 RPM under varying torque loads (0 Nm, 2.5 Nm, 5 Nm, 7.5 Nm, and 10 Nm), and key performance indicators such as brake specific fuel consumption (BSFC), thermal efficiency, exhaust gas temperature (EGT), and exhaust emissions (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC) were measured. Blends containing JP 8 and nitromethane showed improved thermal efficiency, especially under higher torque conditions. The highest thermal efficiency of 18.46% was observed for the 90G5NM5JP8 blend at 10 Nm, compared to 16.67% for pure gasoline (G100). Similarly, the BSFC values for all fuel blends significantly decreased with increasing load. NO<sub>x</sub> levels increased with increasing load, with the 90G5NM5JP8 blend reaching 2000 ppm at 10 Nm, indicating higher combustion temperatures. On the other hand, CO and HC emissions decreased with higher loads for all blends. The 90G5NM5JP8 fuel blend showed the lowest CO emissions at 3.026% and HC emissions at 76 ppm. Fuel blends containing Jet A1 and nitromethane exhibited higher CO<sub>2</sub> emissions, reflecting more complete combustion. The study concludes that JP 8 and nitromethane blends significantly improve engine performance and efficiency but result in higher NO<sub>x</sub> emissions. These findings suggest that these fuel blends hold potential for high-performance applications but require further work to manage emissions for broader practical use.

**Keywords:** Exhaust emissions, JP 8, Jet A1, Nitromethane, Gasoline

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖN SÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>GRAFİKLER LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ALTERNATİF YAKITLAR</b> .....	<b>4</b>
2.1. Nitrometan (Nitromethane) .....	4
2.1.1. Nitrometanın Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri .....	4
2.1.2. Nitrometanın Kullanım Alanları.....	6
2.1.2.1. Otomotiv Yarışı.....	6
2.1.2.2. Endüstriyel Üretim .....	6
2.1.2.3. Havacılık ve Roket Tahrik Sistemi .....	7
2.2. Alkoller.....	7
2.3. Kerosen.....	9
2.4. JP 8 .....	11
2.5. Jet A1 Havacılık Yakıtı .....	13
<b>3. MATERYAL VE METOT</b> .....	<b>15</b>
3.1. Yakıt Karışımları .....	15
3.2. Motor Deney Düzeneginin Tanıtılması .....	18
3.2.1. Deney Motoru Özellikleri.....	19
3.2.2. Dinamometre .....	21
3.2.3. Ni-Cr-Ni K Tipi Termokupl .....	22
3.2.4. Egzoz Emisyon Cihazı .....	23
3.2.5. Gürültü ölçüm cihazı .....	24
3.2.6. Titreşim Ölçüm Cihazı .....	25
3.3. Test koşulları .....	26
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>29</b>
4.1. Fren Özgül Yakıt Tüketimi Ölçüm Grafikleri (Föyt).....	29
4.2. Karbondioksit Emisyonu Ölçüm Grafikleri .....	32
4.3. Karbonmonoksit Emisyon Ölçüm Grafikleri .....	35
4.4. Egzoz Gazı Sıcaklığı Ölçüm Grafikleri .....	37

4.5. Hidrokarbon Emisyon Ölçüm Grafiği .....	40
4.6. NOx Emisyon Ölçüm Grafikleri.....	43
4.7. Oksijen Emisyon Ölçüm Sonuçları .....	45
4.8. Termal Verimlilik Ölçüm sonuçları .....	47
4.9. Vibrasyon Ölçüm Sonuçları .....	49
4.10. Gürültü Ölçüm Grafiği .....	51
<b>5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER .....</b>	<b>54</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>59</b>

## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

<b>IPCC</b>	: Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
<b>IATA</b>	: Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği
<b>SAF</b>	: Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>NO<sub>x</sub></b>	: Azot Oksit
<b>CO</b>	: Karbon Monoksit
<b>HC</b>	: Hidrokarbon
<b>CH<sub>3</sub>NO<sub>2</sub></b>	: Nitrometan
<b>-NO<sub>2</sub></b>	: Nitro Grubu
<b>Mj/ kg</b>	: Megajul/Kilogram
<b>°C</b>	: Santigrat
<b>Nm</b>	: Newton Metre
<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	: Gram/ Santimetre Küp
<b>mPa, S</b>	: Milipascal-Saniye
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>CH<sub>3</sub>OH</b>	: Metanol
<b>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH</b>	: Etanol
<b>C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH</b>	: Bütanol
<b>B100</b>	: Saf Benzin
<b>KW</b>	: Kilowatt
<b>MYO</b>	: Meslek Yüksek Okulu
<b>FÖYT</b>	: Fren Özgül Yakıt Tüketimi
<b>EGT</b>	: Egzoz Gazı Sıcaklığı
<b>RPM</b>	: Dakikadaki Devir Sayısı
<b>NM</b>	: Nitrometan
<b>E100</b>	: % 100 Etanol
<b>NATO</b>	: Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 2.1.</b> Nitrometanın teknik özellikleri.....	6
<b>Tablo 2.2.</b> Metanol, etanol ve bütanolün özellikleri .....	8
<b>Tablo 2.3.</b> Kerosenin (gazyağı) fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	11
<b>Tablo 2.4.</b> JP 8 yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	12
<b>Tablo 2.5.</b> Jet A1 yakıtı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	14
<b>Tablo 3.1.</b> Yakıt karışımları ve oranları .....	15
<b>Tablo 3.2.</b> JP 8, Jet A1, benzin ve nitrometan özellikleri .....	16
<b>Tablo 3.3.</b> Ölçüm cihazları için belirsizlik ve kesinlik tablosu.....	19
<b>Tablo 3.4.</b> Deney motoruna ait teknik özellikler .....	20
<b>Tablo 3.5.</b> Dinamometre teknik özellikleri .....	21
<b>Tablo 3.6.</b> Egzoz Emisyon Cihazı Teknik Özellikleri.....	23
<b>Tablo 3.7.</b> Gürültü ölçüm cihazı teknik özellikler .....	24
<b>Tablo 3.8.</b> Titreşim ölçüm cihazı teknik özellikleri .....	25
<b>Tablo 3.9.</b> Öngörülen test koşulları.....	27

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Nitrometan yapısı ve formülü .....	4
Şekil 3.1. Deney motoru .....	20
Şekil 3.2. DC Dinamometre .....	22
Şekil 3.3. Dinamometre kontrol panosu.....	22
Şekil 3.4. K tipi termokupl.....	23
Şekil 3.5. Egzoz emisyon cihazı .....	24
Şekil 3.6. Gürültü ölçüm cihazı .....	25
Şekil 3.7. Titreşim ölçüm cihazı .....	26
Şekil 3.8. Deney düzeneği.....	26

## GRAFİKLER LİSTESİ

<b>Grafik 4.1.</b> Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının FÖYT-Tork değişim grafiği .	29
<b>Grafik 4.2.</b> Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının FÖYT-Tork değişim grafiği.....	30
<b>Grafik 4.3.</b> Benzin, JetA1 ve nitrometan yakıt karışımlarının CO <sub>2</sub> emisyon-Tork değişim grafiği	32
<b>Grafik 4.4.</b> Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının CO <sub>2</sub> emisyon- Tork değişim grafiği .	33
<b>Grafik 4.5.</b> Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının CO emisyon- Tork değişim grafiği	35
<b>Grafik 4.6.</b> Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının CO emisyon- Tork değişim grafiği ..	36
<b>Grafik 4.7.</b> Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının Egzoz gaz sıcaklığı - Tork değişim grafiği .....	37
<b>Grafik 4.8.</b> Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının Egzoz gaz sıcaklığı - Tork değişim grafiği.....	39
<b>Grafik 4.9.</b> Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının Hidrokarbon emisyon - Tork değişim grafiği .....	40
<b>Grafik 4.10.</b> Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının Hidrokarbon emisyon - Tork değişim grafiği .....	41
<b>Grafik 4.11.</b> Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının NO <sub>x</sub> emisyon - Tork değişim grafiği.....	43
<b>Grafik 4.12.</b> Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının NO <sub>x</sub> emisyon-Tork değişim grafiği	44
<b>Grafik 4.13.</b> Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının O <sub>2</sub> emisyon-Tork değişim grafiği	45
<b>Grafik 4.14.</b> Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının O <sub>2</sub> emisyon-Tork değişim grafiği..	46
<b>Grafik 4.15.</b> Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının Termal verimlilik - Tork değişim grafiği .....	47
<b>Grafik 4.16.</b> Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının Termal verimlilik - Tork değişim grafiği.....	48
<b>Grafik 4.17.</b> Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının Vibrasyon - Tork değişim grafiği	49
<b>Grafik 4.18.</b> Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının Vibrasyon - Tork değişim grafiği...	50
<b>Grafik 4.19.</b> Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının Gürültü - Tork değişim grafiği ...	52
<b>Grafik 4.20.</b> Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının Gürültü - Tork değişim grafiği	53

## 1. GİRİŞ

Enerji, teknoloji ve insanlık için geçmişten bugüne kadar önemi giderek artan, üretimin ve gelişmenin başlıca bir unsuru olup günlük hayatımızın vazgeçilmezi haline gelmiştir. Teknolojinin temeli olan enerji, geçmişte ve günümüzde ekonomi ve siyasete yön veren başlıca unsur olmuştur. Toplumlar uzun yıllar boyunca enerji kaynaklarına hâkim olabilmek için mücadele etmişler ve bu kaynaklara sahip olmak istemişlerdir. Günümüzde nüfus artışı, teknolojik araç gereçlerin ve sanayileşmenin artması ile meydana gelen değişimler, bir yandan toplumların refah seviyesini arttırırken bir yandan da enerjinin tüm dünya için zorunlu hale gelmesini sağlamıştır. Demiryolu taşımacılığında, fabrikalarda, evlerde kullandığımız elektronik araçlarda, sokak aydınlatmalarında, elektrikle çalışan otomobillerde ve birçok alanda enerji gerekmektedir. Artık insanlar için enerji tüketimi temel ihtiyaç haline gelmiştir. Enerji tüketimi arttığı için de enerji kaynaklarımız nelerdir sorusu ortaya çıkmıştır ve çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır.

Enerji kaynakları oluşumlarına göre yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; doğal kaynaklardan elde edilen, uzun sayılabilecek bir gelecekte tükenmeden kalabilecek, kendisini yenileyebilen kaynaklar olarak ifade edilmektedir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyoenerji, jeotermal enerji, dalga enerjisi, hidrojen ve hidrolik enerji en temel yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların en önemli özellikleri; çevreye zarar vermemeleri, temiz enerji kaynağı olmaları, artan enerji talebinden dolayı dışa bağımlılığı azaltmaları ve istihdam artışı sağlamalarıdır. Bu avantajlarından dolayı başta ülkemizde olmak üzere tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Yenilenemez enerji kaynakları ise devamlılığı olmayan kaynaklardan elde edilen enerji kaynaklarını ifade etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine bu enerji çeşidi kullanıldıkça zamanla tükenen kaynağa bağlıdır ve devamlılığı yoktur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine, bu yöntemlerle elde edilen enerji zamanla tükenmesi kaçınılmaz olan bir kaynaktır. Elde edilmiş yöntemleriyle çevre için tehdit oluşturan yenilenemez enerji kaynakları da, fosil yakıtlar ve nükleer enerji olmak üzere 2 bölüme ayrılmaktadır.

Türkiye’de ve Dünya’da enerji kaynağı kullanımının %80 gibi bir oranı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır (Arı ve Yılmaz, 2023). Gün geçtikçe dünyadaki enerji tüketim hızı fosil yakıtların oluşum hızını geçmiştir. Fosil yakıtların oluşumu uzun sürmekte ve yakıt tüketimi de hızlı olduğu için zamanla rezervler (kömür, petrol ve doğal gaz) azalmaktadır. Türkiye de kullandığı enerjinin çoğunu Rusya, İran ve Irak gibi fosil yakıt rezervi fazla olan ülkelerden

ithal etmektedir. Yenilenemez enerji kaynaklarının dünyada eşitsiz dağılımı, rezervlerinin her geçen gün azalması ve bu kaynakların yeniden elde edilememesi gibi unsurlarla birleşince farklı enerji arayışlarına başlanmıştır. Ayrıca fosil yakıtların fazla kullanılmasından dolayı iklimde meydana gelen değişiklikler, çevre kirliliği, hava kirliliği ve tüm bunlara bağlı olarak meydana gelen sağlık problemleri de yeni enerji kaynakları arayış sürecini hızlandırmıştır. Bu nedenle çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen, verimli ve ucuz enerji üretimi önem kazanmaya başlamıştır. Enerji ihtiyacı fazla olan ülkelerde yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bu sebepten dolayı yenilenebilir enerji, çevre dostu enerji, yeşil enerji, enerji verimliliği, alternatif yakıtlar gibi yeni kavramlar ortaya çıkmıştır.

İklim değişikliği, günümüzde tüm ülkeler tarafından öncelikli sorunlardan biri olarak görüldüğü için özellikle havacılık sektöründe de önemli bir yer tutmaktadır. Birleşmiş Milletler Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) yaptığı araştırmalara göre iklim değişikliğine neden olan insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının yaklaşık %2'sini havacılık alanı üretmektedir. (*Türk Hava Yolları Sürdürülebilirlik Raporu*, 2021) IATA'nın (uluslararası hava taşımacılığı birliği) araştırmalarına göre, hava yolu seyahatlerine olan talebin 2050 yılında 10 milyardan fazla olacağı düşünülmektedir. (*Türk Hava Yolları Sürdürülebilirlik Raporu*, 2021) Havacılıktan kaynaklı karbon emisyonunun 2021-2050 yılları arasında 21,2 gigaton CO<sub>2</sub> düzeyine ulaşacağı tahmin edilmektedir. IATA, sürdürülebilir havacılık yakıtı (SAF), yeni uçak teknolojileri, elektrik ve hidrojen enerjisinin kullanımı, karbon dengeleme ve karbon yakalama uygulamalarını ön plana çıkararak sektörün, 2050 yılında sıfır emisyon düzeyine ulaştırılmasını hedeflemektedir. (*Türk Hava Yolları Sürdürülebilirlik Raporu*, 2021) Bu yüzden havacılık sektörünün, iklim değişikliklerinden kaynaklanan kötü etkileri azaltmak için 2050 yılına kadar karbon emisyonlarında düşüş sağlaması gerekmektedir. Karbon emisyonunun düşüşü, sürdürülebilir havacılık yakıtlarının kullanımı (biyokütle ve sentetik hammaddelerden), karbon dengeleme, alternatif yakıtlar olmak üzere birden fazla seçenekle sağlanacaktır. Havacılık dünyası, yakıt verimliliğini sürdürülebilir şekilde artıracak yeni teknolojiler, tasarımlar ve malzemeler aramaktadır. Şirketlerin kullanılan geleneksel yakıtlara alternatif olarak hem verimi yüksek hem de karbon emisyon miktarı düşük yakıt arayışında oldukları görülmektedir. Özellikle havacılıkta uçak yakıtı olarak yüksek yoğunluklu yakıtlar tercih edilir bu sayede bir depo yakıtla alınacak uçuş yolu daha uzun olur.

Geçmişte yaşanan petrol krizleri, hala devam etmekte olan savaşlar sebebiyle sürekli değişen yakıt fiyatları, azalan fosil yakıt stokları ve iklim değişikliğindeki artış artık geleneksel yakıt kullanımından alternatif yakıtlara geçiş sürecini hızlandırmaya başlamıştır. Sıfır emisyon

içinde 2050 yılına kadar mutlaka alternatif yakıtlara geçilmesi gerekmektedir. Hava yolu taşımacılığına olan talep dünyadaki en hızlı ulaşım yöntemlerinden biri olduğu için sürekli artmaktadır. Aynı zamanda yakıt havayolları için maliyetli olduğundan verimini artırıcı yöntemler aramakta ve yoğun çaba harcamaktadırlar. Havacılık yakıtı havayolu maliyetlerinin yüzde 25'inden fazlasını ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının yüzde 97'sinden fazlasını oluşturmaktadır.(*Türk Hava Yolları Sürdürülebilirlik Raporu*, 2021) Bu yüzden havacılık yakıtının verimliliğine önem vermek ticari ve de çevresel açıdan önemlidir. Yakıt tüketiminin azalmasıyla beraber emisyon salınımının da azalması çevre üzerindeki olumsuz etkilerin de azalması demektir. Maliyetlerin artışı ve çevresel sürdürülebilirlik endişeleri havacılık yakıtının verimliliğinin iyileştirilmesinde iyi derecede yol kat edilmesine neden olmuştur.

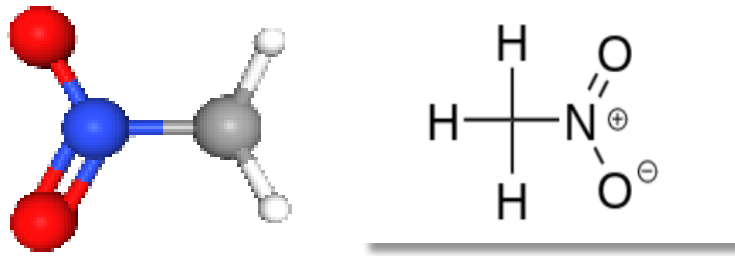
Çevre kirliliği ve küresel enerji tüketimine ilişkin endişeler arttığından dolayı içten yanmalı motorlar için de alternatif yakıtlara odaklanma yoğunlaşmıştır. Çevresel sorunların artmasıyla ve daha katı mevzuatların çıkmasıyla araştırmacılar emisyonları azaltmak, benzinli motorların daha sürdürülebilir çalışmasını sağlamak, sonuçta daha temiz havaya katkıda bulunmak ve geleneksel fosil yakıtlara olan bağımlılığın azalması için içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt seçeneklerini aktif olarak araştırmaktadır. Araştırmalar sonucunda farklı alternatif yakıtlar, yakıt karışımları ve içten yanmalı motorun verimliliği artırılarak mümkün olabileceğine varılmıştır. Performansı ve emisyonları iyileştirmek için katkı maddeleri ve farklı yakıtlar harmanlanarak benzinli motorlarda testler yapılmıştır. Örneğin; alkollerden metanolün ve etanolün içeriklerinde oksijen olmasından dolayı geniş çapta incelenmişlerdir. Araştırmalar gösteriyor ki etanol ve benzin karışımlarının NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltabileceği fakat motor üzerinde değişken etkileri olabileceğini göstermektedir. Bu da tam yanmayı teşvik edebilir, CO ve HC emisyonlarını azaltabilir. Karışım oranına ve motor yükü koşullarına bağlı olarak performansı değişebilmektedir.

Bu çalışmanın yenilikçi yönü, karışım yakıtların pratikte sıklıkla karşılaşılan çalışma koşulları altında kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi, daha yüksek performanslı ve çevre dostu yakıt karışım oranlarının geliştirilmesine bilgi sağlayabilecek bulgulara sahip olmasıdır.

## 2. ALTERNATİF YAKITLAR

### 2.1. Nitrometan (Nitromethane)

Nitrometan,  $\text{CH}_3\text{NO}_2$  kimyasal formülüne sahip, 350/400 °C'de nitrik asit ile propanın işlenerek üretilmesiyle elde edilir. Çok yönlü ve reaktif bir kimyasal organik bileşiktir. Moleküler yapısında bir nitro grubu ( $-\text{NO}_2$ ) bulunur ve organik nitro bileşiği olarak sınıflandırılır. Nitrometan, belirgin bir kokuya sahip, soluk sarı, yağlı bir sıvıdır. Yüksek polarite, suda ve birçok organik çözücüde çözünürlük, yüksek kaynama noktası ve yoğunluk gibi birçok önemli özelliğe sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı, çeşitli endüstrilerde geniş uygulama yelpazesine katkıda bulunur.



Şekil 2.1. Nitrometan yapısı ve formülü

1940'lı ve 1950'li yıllarda ABD'de nitrometanın roket odalarında, torpido sistemlerinde, gaz jeneratörlerinde kullanılabileceğiyle ilgili çalışmalar yapılmıştır. 1950'li yılların sonuna doğru ise İsrail'de de bu konuyla ilgili araştırmalar yapılmıştır. 1980'li yıllarda nitrometan daha kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Deneyler sonucunda da nitrometanın itici uygulamalar için yüksek potansiyele sahip olduğu doğrulanmıştır.

#### 2.1.1. Nitrometanın Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Nitrometan, çeşitli solventlerde çözünürlük gösterir. Kolaylıkla çözünebileceği bazı çözücüler; su, etanol, metanol, aseton ve diklorometandır. Bu örnekler nitrometanın içinde çözünebileceği solventlerin sadece birkaç örneğidir. Nitrometanın farklı çözücüler içindeki çözünürlüğü polar yapılı olmasından ve çözücünün yapısında bulunan polar nitro grubu ile etkileşime girme yeteneğinden etkilenir.

Nitrometanın belirli bir çözücü içindeki çözünürlüğünün sıcaklık, konsantrasyon ve diğer çözünen maddelerin varlığı gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceğini belirtmek önemlidir. Nitrometan ve solvent çözeltileriyle çalışırken her zaman doğru kullanım ve önleyici tedbirlere uyulmalıdır. 101,2 °C gibi nispeten yüksek bir kaynama noktasına ve -28,4 °C donma noktasına sahiptir. Yoğunluğu  $\text{cm}^3$  başına yaklaşık 1,127 g'dır. Yüksek yoğunluk,

yapısında nitrojen ve oksijen atomlarının varlığına bağlanabilir. Tablo 2.1’de detaylı olarak teknik özellikler belirtilmiştir.

Nitrometanın kimyasal yapısı içerisinde oksijen bulunmaktadır. Bundan dolayı da nitrometan, yanmak için çok fazla miktarda atmosferik oksijene ihtiyaç duymaz. 1 birim benzin yakmak için 14,7 birim havaya ihtiyaç duyulurken, 1 birim nitrometan yakmak için 1,7 birim hava yeterlidir. 11,63 Mj/kg’lık bir enerji içeriğine, yaklaşık olarak 0,5 m/s yanma hızına ve yaklaşık 2400 °C bir yanma sıcaklığına sahiptir (Çelebi, 2012). Yanma hızı benzinden biraz yüksektir. Bu yüzden yüksek hız motorları için uygundur. Yüksek oksijen içeriğine sahip olduğu için katkı maddesi olarak kullanıldığında güç çıkışını ve yanmayı arttırdığı gösterilmiştir.

Benzinli motorlarda nitrometan kullanımı motorun performansını artırmaktadır. Performans, tork ve termal performansı artırırken yakıt tüketimini ise azaltmaktadır. Emisyonlardan CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> artarken CO ve HC emisyonları azalmaktadır. Nitrometanın yüksek oranlarda kullanılması motorda vuruntuya neden olabilmektedir. Bu nedenle nitrometanın uygun oranlarda ve dikkatli kullanılması gerekmektedir. Birçok yakıt katkı maddesi motor performansının belirli yönlerini iyileştirirken, her birinin motor performansı üzerinde farklı etkileri vardır.

Nitrometan, atmosferik oksijenin az olduğu durumlarda bile yapısında oksijen bulundurduğundan dolayı güç sağlamaya devam eder ve genellikle zengin hava/yakıt karışımının kullanılması sonucu yakılır. Zengin hava/yakıt karışımı kullanıldığında yanma ürünleri hidrojen ve karbon monoksit gazları olmaktadır. Bu gazlar egzoz portundan çıkarken bile yanmaya devam ederler. Çok zengin karışımlarda ön yanmaları ve sonradan gerçekleşen patlamaları kontrol edebilmek için yanma odasının sıcaklıklarının azaltılması gereklidir. Nitrometanın orta derecedeki miktarları bile motor tarafından güç arttırmaya neden olmaktadır. Uygun hava/yakıt oranı ayarlanabilirse motor dengesini ayarlamak daha kolay hale gelir.

**Tablo 2.1.** Nitrometanın teknik özellikleri

Görünüm	Sıvı renksiz
Donma noktası	-28,4 °C
Kaynama noktası	101,2 °C
Parlama noktası	35 °C Yöntem: ISO 1523, kapalı kap
Yoğunluk	1,127 g/ cm <sup>3</sup>
Su içinde çözünürlüğü	104,5 g/l (25 °C)
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	418 °C
Viskozite	0,65 mPa,s (20 °C)
pH	6,4 (0.01 g/l at 20°C)

Bu bilgiler laboratory reagents-fine chemicals firmasından alınmıştır.

### **2.1.2. Nitrometanın Kullanım Alanları**

Nitrometanın polaritesi, çözünürlüğü, kaynama noktası, yoğunluğu ve enerji içeriği de dâhil olmak üzere kimyasal ve fiziksel özellikleri, çeşitli endüstrilerde geniş uygulama alanları bulmaktadır.

#### **2.1.2.1. Otomotiv Yarışı**

Nitrometan, otomotiv yarış endüstrisinde yakıt katkı maddesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Yandığında büyük miktarda enerji açığa çıkarır. Yüksek performanslı motorlarda güç çıkışını ve yanma verimliliğini artırmak için metanol ile beraber yakıt karışımlarına eklenir. Yanma verimliliğinin artması motor performansının çok iyi olması hızlanmanın artması ile sonuçlanır. Nitrometanın bu özelliği, otomotiv yarış endüstrisindeki uygulamalar için faydalıdır. Bu yüzden de nitrometan drag yarışlarında ve diğer yüksek hızlı yarışmalarda tercih edilmeye başlanmıştır.

#### **2.1.2.2. Endüstriyel Üretim**

Nitrometan, çeşitli endüstriyel üretim süreçlerinde solvent olarak hizmet eder. İlaç, parfüm, zararlı bitki zehri, boya, patlayıcı, iplik ve kaplama üretiminde yaygın olarak kullanılır. Çözünürlük özellikleri, onu üretim süreci sırasında çeşitli organik ve inorganik bileşiklerin çözülmesi için etkili bir ortam haline getirir.

### 2.1.2.3. Havacılık ve Roket Tahrik Sistemi

Nitrometan, yüksek enerji içeriğinden dolayı havacılık ve uzay endüstrisinde roket yakıtlarının bir bileşeni olarak kullanılmaktadır. Yanma sırasında oksijen salma yeteneği, roket ve füzelerde kullanılan verimli ve güçlü tahrik sistemlerine katkıda bulunmaktadır.

## 2.2. Alkoller

Alkoller  $C_nH_{2n}+O_2$  formülü ile gösterilirler. Renksiz olup, keskin kokuya sahiptirler. Gıda sektöründe, temizlik sektöründe, kozmetik ve boya sektöründe kullanılmaktadır. Yanı sıra alkoller, uzun yıllardan beri otomobil motorlarında kullanılmaktadır. Bazı alkollerin, motor üstünde herhangi bir değişikliğe gerek duyulmadan kullanılması uzun yıllar boyunca yakıt olarak kullanılmasında etken olmuştur. Alkol çeşitleri olarak metanolü, etanolü ve bütanolü söyleyebiliriz. Tablo 2.1’de bazı alkollerin özellikleri yer almaktadır.

Bu alkoller direk motor yakıtı olarak ya da motor yakıtlarına belirli bir oranda katılarak kullanılmaktadır. Alkollerden metanol ve etanol petrol esaslı olmayan hammaddelerden üretilmektedir. Etil alkol, şeker pancarı ve mısır gibi bitki atıklarından üretilmektedir. Patates, pirinç, şeker kamışı ve arpa gibi bitkilerin atıklarından da alkol üretimi vardır. Bu sebeple yenilenebilirler. Ülkemizde de üretilirler. Alkollerini ilk olarak Brezilya yakıt olarak kullanmaya başlamıştır. 1970’li yıllarda petrole olan bağımlılığını azaltmak için şeker kamışından etanol üretimine başlamıştır. Brezilya ulaşım araçlarında E100 (% 100 Etanol) ve E25 (% 25 Etanol, % 75 Benzin) isimli yakıtlar kullanmaya başlamışlardır. Daha sonraları alkoller alternatif yakıt olarak Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Kanada, Avrupa Birliği (AB) ve Hindistan’da da kullanılmaya başlanmıştır. ABD, 1980-1990 yılları arasında yakıt olarak alkolle çalışan taşıtlar üretmişlerdir (Özer, 2014). Ülkeler, kullanılacak yakıtların ekonomik olmasını, kolay elde edilebilir olmasını, çok miktarlarda üretilmesini, ısı değerlerinin yüksek olmasını, depolanabilmesini, kolay taşınabilmesini, sıkıştırma oranlarının yüksek olmasını, egzoz emisyonunun düşük olmasını isterler. CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının daha düşük miktarlarda üretilmesini sağlarlar.

Alkollerin benzine oranla enerji kapasiteleri biraz daha düşüktür. Düşük olması motor performansının azalmasına sebep olmaktadır. Benzin ve dizel yakıtının ısı değeri alkollerin ısı değerinden fazladır. Alkollerin ısı değerinin düşük olmasının sebebi içeriğinde oksijen bulundurmasıdır. Yakıtın birim kütlelerinin yakıldığında ne kadarının ısıya dönüştüğüne ise ısı değeri denir. Araştırmalar sonucunda benzin içine belli oranda alkol katılması sonucu

emisyonların azaldığı ortaya çıkmıştır. Bu yüzden Avrupa ülkelerinin genelinde benzine %2 oranında alkol katılmaktadır.

Fosil kökenli yakıt kullanımı dünyadaki taşıt sayısının artmasına bağlı olarak giderek artmaktadır. Birçok ülkede bu yüzden petrol bağımlısı olmuştur. Fosil kökenli olan petrolün yanması sonucu atmosfere bir çok zararlı emisyon salınmaktadır. Yanma sonucu oluşan emisyonlar karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) gibi atmosferi kirleten gazlardır. Bu gazların büyük çoğunluğunu fosil yakıt kullanan içten yanmalı motorlar oluşturmaktadır. Ülkelerin alternatif yakıt kullanımını arttırmak istemelerinin büyük nedenlerinden biri de kirliliği azaltmaktır. Mevcutta bulunan fosil kaynakların sınırlı olması ve tükenebilecek olması, her geçen gün taşıt sayısının hızlı bir şekilde artması ve maliyetler gibi nedenlerde eklenebilir. Bu sebeplerden dolayı yenilenebilir, çevre dostu yakıtlar üzerinde çalışmalar artmıştır.

**Tablo 2.2.** Metanol, etanol ve bütanolün özellikleri

Özellik	Metanol	Etanol	Bütanol
Kimyasal formülü	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH
Yaygın adı	Metil Alkol	Etil Alkol	Bütül Alkol
Mol kütlesi	32,04	46,06	74,12
C/H oranı	0,25	0,333	4,8
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	796	788	811
Isıl değeri (MJ/kg)	20,11	26,9	33
Buharlaşma ısısı (kJ/kg)	1200	960	584
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	470	425	390
Kaynama noktası (°C)	64,5	78,3	117,2
Donma noktası (°C)	-97,8	-114,3	-89,2
Viskozite (mPa s, 20°C)	0,64	1,52	2,55
Buhar basıncı (kPa, 38°C)	32	15,9	44
Motor oktan sayısı	88,6	89,7	78

Tablo 2.2’de görüldüğü gibi etanolün oktan sayısı diğerlerine göre yüksektir. Bu özelliklerinden dolayı etanol buji-ateşlemeli motorlar için uygun bir yakıttır. Yakıt olarak motorlarda tek başına da kullanılabilir, belirli oranlarda benzine katılarak da kullanılmaktadır. %20 oranına kadar etanol katılırsa benzine, motorun üstünde hiçbir değişiklik yapmadan kullanabilmektedir. Metil alkol, etil alkole göre daha ucuzdur. Fakat etil alkol metil alkole göre daha temiz ve az korozyiftir. Günümüzde etil alkol daha çok talep görmektedir. Metanolün setan sayısı düşük olduğu için dizel motorlarda kullanımı zordur. Motorlar üzerinde düzenlemeler yapılarak verimin %40’a çıkarılması sağlanabilir. Metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), bütanol ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ) alkollerini içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Belirli oranlarda oksijen içerirler, fosil yakıtlara oranla daha küçük moleküler yapıya sahiptirler, içeriklerinde ağır metaller ve kanserojen madde yoktur. Bu gibi sebeplerden dolayı emisyon oranları düşüktür. Hızlı ve parlak yanma gerçekleşir. Motor vuruşu yapmaz ve yüksek verim çalışır. Metanol, ekonomiklik açısından değil de daha çok yüksek güç istenilen yerlerde, örneğin yarış otomobili motorlarında kullanılmaktadır. Benzinli motorlarda kullanıldığında motor performansını artırır, çevresel etkileri ve emisyonları azaltır. Yüksek oktan sayısı sayesinde vuruşlara karşı dayanıklıdır. Metanol-benzin karışımları motor performansını artırır, emisyonları önemli ölçüde azaltırken verimliliği de artırmaktadır. Genel olarak metanol etkili ve çevre dostu bir alternatif yakıt olarak çeşitli çalışmalarda incelenmiştir.

### **2.3. Kerosen**

Kerosen (gazyağı), 150 °C ile 270 °C arasında petrolün damıtılması yöntemiyle elde edilir. Oldukça yanıcı, renksiz, kokusu olan hidrokarbon karışımıdır. Gazyağının içeriğinde %70’den fazla parafinler ile naftenler bulunur. Aromatik hidrokarbonlar, çoğunluğu alkil benzenler ve alkil naftalinler olmak üzere %25’in altındadır. Olefinlerin miktarı normal olarak %5’i geçmez. Gaz yağı ilk olarak 19. yüzyılın ortalarında ev yakıtı olarak kullanılmıştır. Daha sonra ise askeri ve sivil havacılıkta, yüksek güç üretmeyi sağlayan gaz türbinli motorların kullanılmasıyla kerosen bu motorlarda yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. Artık en yaygın kullanım alanlarından biri havacılık sektörü olmuştur.

Kerosen değişken hava koşulları ve yüksek irtifalarda iyi performans gösterdiği için havacılıkta jet motorlu (türbin motorlu) uçaklarda yakıt olarak tercih edilmektedir. Özellikle havacılıkta kullanılmak üzere geleneksel kerosenin yerine kullanılacak sentetik kerosen yakıtları geliştirilmektedir. Sentetik kerosen, sentetik olarak üretilen bir tür yakıttır. Biokütle, hidrojen ve karbondioksit gibi ham maddelerden elde edilir. Sentetik yakıtlarında farklı hammaddelerden üretilmelerine bağlı olarak çeşitleri vardır. En önemli avantajları; belirli

oranlarda diğ er fosil kökenli yakıtlarla karıştırılabilir olması ve tasarruf, enerji yoğunluğu bakımından diğ er yakıtlarla karşılaştırıldığında önemli avantajlar sunmasıdır.

Kerosen donma noktasının düşük olması, yakıt gücü, alev alma eşiği ve enerji verimliliğ inin yüksek olması gibi özelliklerinden dolayı uçakların güvenli uçuşunu sağladığı için tercih edilir. Kerosenin fiziksel ve kimyasal özellikleri tablo 2.2’de belirtilmiştir. Böylece en soğuk hava şartlarında bile kullanılmaktadır Ayrıca yüksek parlama noktasına sahiptir. Bu özelliği sayesinde yüksek güç ve verimlilik sağlar. İçerisinde bulunan sülfür gibi katkı maddeleri aracılığıyla motoru koruyarak uçuş emniyetini artırır.

Uçakların güvenli bir şekilde havada kalması için yakıtın viskozitesinin düşük olması önemlidir. Kerosenin de diğ er yakıtlara oranla viskozitesi düşüktür. Viskozitesinin düşük olması sayesinde uçağın motorunun hareket halindeyken tıkanması engellenmiş olur. Olumsuz bir durum olmadan akışkanlık sağlanır. Benzin gibi yakıtların viskozitesi daha yüksek olduğu için kullanıldıkları takdirde motorların tıkanma ihtimali artacak ve uçağın verimliliği azalmış olacaktır. Kerosen kullanımıyla böyle bir durumun önüne geçilmek istenmiştir.

Jet motorları, benzin ve dizel motorlarına göre daha toleranslı olmasına rağmen, uçak ve motor yakıt sistemi yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden etkilenmektedir. Motor ve uçakların dizaynları farklılık gösterdiğ inden yakıt kalitesinde de çeşitliliğe ihtiyaç olunmuş ve uçuş koşullarında istenilen özellikleri taşıyan diğ iş ik yakıt tipleri geliştirilmiştir. Bunlar JP 1, JP 2, JP 3, JET A, JET A1, JET B, JP 4, JP 5, JP 7 ve JP 8 gibi çeşitlerdir. 1952 yılında JP 4, 1953 yılında ise JP 5 yakıtları geliştirilmiştir. Bunları JP 6, JP 7 ve JP 8 yakıtları izlemiştir. Bu yakıtların özellikleri, ticari veya askeri şartnamelerle sınırlandırılmış tır. Günümüzde sivil havacılıkta dünyanın hemen her yerinde gazyağı içerikli jet yakıtları Jet A ve Jet A1 kullanılmaktadır. Yakıt çeşitleri kendi içlerinde ve kullanıldıkları yerlere göre farklılık göstermektedir. Örneğ in; sivil havacılıkta JET A1 kullanılmakta, askeri havacılıkta ise JP 8 kullanılmaktadır. Bu yakıtlar uluslararası standartlara uygundur.

Kerosen dışında havacılıkta kullanılan yakıtlardan biri de yine petrolün damıtılmasıyla üretilen avgas yakıtıdır. Avgas, yüksek oktanlı bir benzin türüdür ve pervaneli piston motorlu uçaklarda kullanılmaktadır.

**Tablo 2.3.** Kerosenin (gazyağı) fiziksel ve kimyasal özellikleri

Görünüm	Temiz ve berrak, çözünmemiş su ve katı partikül bulunmayan
Kaynama aralığı	150-300 °C
Bağıl yoğunluk (15°C), max	770-810 kg/ m <sup>3</sup>
Kinematik viskozite (40°C), max	2,0 cSt
Parlama Noktası	38 °C
Aromatikler, %, maks.	25
İslenme noktası, mm, min.	19
Kükürt	200 Mg/kg

#### 2.4. JP 8

Petrol rafinerileri geniş bir üretim yelpazesine sahiptir. Ham petrolden elde edilen birçok ürün vardır. Bu ürünlerin talebi yerel koşullara bağlı olarak bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. JP 8 NATO hava kuvvetleri için baskın askeri jet yakıtı sınıfıdır (NATO Kodu F-34 tür). Havacılıkta kullanılan yakıt olan JP 8, 1980’li yılların sonlarına doğru NATO’ya üye ülkeler tarafından ortak yakıt olarak kabul edilmiştir. Bu sayede üye ülkeler NATO’nun kapsamlı olanaklarından daha iyi yararlanmak istemişlerdir. NATO askeri havacılıktan sonra JP8’i karayolu taşıtları içinde (otobüsler, kamyonlar) alternatif yakıt olarak ortak kullanılacak yakıt olarak seçmiştir. Böylelikle NATO akaryakıt kontrolünü sağlamak istemiştir.

JP 8 yakıtının %99,8’i kerosenden (gazyağı) meydana gelmiştir. Yakıtın geriye kalan kısmına da üretimi sırasında kullanılabilirlik açısından katkı maddeleri karıştırılmıştır. Jet yakıtının içeriğinde bulunan hidrokarbonlar parafin, naften veya aromatik yapıdadırlar. Aynı tipteki jet yakıtlarının bazı özelliklerinin değişik olmasının sebebi, bu üç gruptaki hidrokarbonların farklı oranlarda bulunmasından dolayıdır. Bu farklılıklar yakıtın özelliklerini ve gaz türbinli motorun performansını etkilemektedir. Jet yakıtlarının içine yakıtları iyileştirmek için bazı katkı maddeleri ilave edilir.

Bunlar; metal deaktivatör, buzlanma önleyici, yağlayıcı, biyosid, termal stabilizörler gibi. Bu katkı maddelerinin korozyon önleme, yağlayıcılığı artırma, yakıt sistemi buzlanma önleme gibi özellikleri vardır. Katkı maddeleri yakıtın daha düşük sıcaklıklarda ve zor koşullarda daha iyi performans göstermesini, daha uzun menzillerde uçuşmasını sağlar.

Yakıtın donma noktasının düşük olması soğuk iklimlerde de kullanılabilirliği artırır, yanma sonucu daha az is ve kalıntı olur. JP 8'in yakıt özellikleri tablo 2.3'de belirtilmiştir. Katkı süreci, uçağa sağlanan yakıtın tüm kalite standartlarını ve müşterinin teknik gereksinimlerini karşılamasını sağlamaya odaklanan sıkı prosedürlere göre yürütülür. JP 8, korozyon önleyici ve buzlanma önleyici katkı maddeleri ilavesiyle Jet A1'in askeri eşdeğeri.

**Tablo 2.4.** JP 8 yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Görünüm	Sıvı, berrak ve renksiz
Yoğunluk	775 – 840 kg/m <sup>3</sup> @ 15 °C
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	220 – 250 °C
Donma noktası	-47°C
Viskozite	3,87 cSt (-20°C)
Parlama noktası	41°C
Setan sayısı	45
Kaynama noktası	90 – 320 °C
Buhar basıncı	1 – 3,7 kPa (37,8 °C)

Bu bilgiler İzmir Aliğa'da bulunan Star Rafinerisi firmasının güvenlik bilgi formundan alınmıştır.

Gelişmiş uçaklarda jet yakıtlarının iki önemli rolü vardır. Birincisi uçağın havada tutunabilmesi için gerekli itiş sağlamaktır. İkincisi ise uçağın gövdesi, motor parçaları ve diğer sistemleri için soğutucu görevi yapmasıdır. Uçuş hızları arttıkça ve motordan istenilen performans beklentisi arttıkça sıcaklık değerleri yükselmektedir. Bu nedenle motorların sıcak parçalarını soğutmamız gerekir.

JP 8 havacılık yakıtının içten yanmalı motorlarda kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle de askeri ve özel amaçlı uygulamalarda yaygınlaşmıştır. JP 8'in benzinli motorlar da motor performansını, yanma özelliklerini ve emisyonları olumlu yönde etkilediğine yönelik çeşitli çalışmalar vardır. Bu çalışmada da benzin içine belirli oranlarda JP 8 ve nitrometan katıldığında ki performans ve emisyonları incelenmiştir. Ayrıca Jet A1, benzin ve nitrometan karışım yakıtıyla karşılaştırma yapılmıştır. Bu araştırma da JP 8'in düşük buhar basıncı ve termal ayrışmasının getirdiği zorlukları çözmeyi amaçlamaktadır. JP 8'in düşük buhar basıncı

nedeniyle benzinli motorlarda kullanılabilmesi için, yakıtın ısıtılması gerekmektedir. Isıtılmış JP 8'i benzinle karşılaştırdığımızda benzine eşdeğer veya daha üstün ateşleme özellikleri sergilediği görülmektedir.

Yüksek enerji içeriğine sahip kerosen bazlı havacılık yakıtları Jet A1 ve JP 8, benzinli motorlarda istikrarlı yanma özellikleri, termal verimliliğin iyi olması ve yakıt ekonomisinin iyileştirilmesinde umut vaat etmektedir. Ancak bu havacılık yakıtları CO<sub>2</sub> artışına sebep olmaktadır.

## **2.5. Jet A1 Havacılık Yakıtı**

Jet A1 havacılık yakıtının ana maddesi kerosendir. Günümüzde dünya genelindeki jet motorlu yolcu ve kargo uçaklarında kullanılan yakıt türüdür. Duru bir görüntüye sahiptir. Jet A ve Jet A1'de toplam aromatik bileşikler %25 (hacimce) ve toplam naftalinler %3.0 maksimum değerleriyle sınırlandırılmıştır. Parlama noktası 38 °C'dir. Buharı kolay bir şekilde parlayabilir ve büyük yangına neden olabilir. Böyle durumlarda yangını söndürmek için köpük, kimyasal ve su sisi kullanılmalıdır. Fiziksel ve kimyasal özellikleri tablo 2.3 de verilmiştir.

Yüksek irtifalarda sıcaklığın çok düşük olması nedeni ile donma riskine karşı, donma noktası inhibitörler ile düşürülür. Jet A1 -47 °C donma noktasına ve Jet B -72 °C donma noktasına sahiptir. Bu yakıtlar gibi düşük donma noktasına sahip jet yakıtları, yakıtın katılaşma riski olmadan daha yüksek irtifalara çıkabilir ve daha soğuk ortamlarda uçuşa olanak sağlarlar.

Jet A1 yakıtının nasıl performans gösterdiğini anlamak ve ne gibi avantajlar sunduğunu anlamak için farklı motor türlerinde çeşitli deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Benzinli motorlarda kullanıldığında Jet A1 yakıtı 1900-3000 devir/dakikada benzin yakıtına göre daha yüksek güç ve tork üretmiştir (Świątek vd., 2019: 118). Düşük motor yüklerinde, Jet A1 yakıtıyla daha yüksek çekirdeklenme partikül konsantrasyonları gözlemlendi, ancak motor yükü arttıkça bu partiküller azaldı ve birikim partikülleri arttı (Yu vd., 2020: 263). Ayrıca Jet A1 yakıtına su eklenmesi NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmakta, egzoz gazı sıcaklığını düşürmektedir (De Giorgi MG vd., 2019: 2191). Jet A1 yakıtına çeşitli katkı maddeleri eklenerek yanma ve emisyon performansı iyileştirilebilir. Örneğin, etanol ve pentanol gibi katkı maddeleriyle karıştırıldığında, yakıtın oksijen içeriği artmakta bu da daha yüksek yanma oranları ve daha düşük emisyonlarla sonuçlanmaktadır. Ayrıca, bu karışımlar termal verimliliği artırmakta, zararlı gaz emisyonlarını azaltmaktadır (Manigandan vd., 2020: 276).

Bir yakıtın akışa karşı direncinin bir ölçüsü olan viskozite, yakıt sistemi uyumluluğunu ve performansını etkileyen bir diğer önemli özelliktir. Jet yakıtları, aşağıdakiler gibi yakıt sistemi bileşenlerinden kolayca akmayı sağlayan viskoziteye sahip olmalıdır;

- Pompalar
- Filtreler
- Enjektörler

Bu sayede motorda aşınma ve tıkanıklığa neden olmadan uçak ve motor yakıt dağıtım sisteminde verimli dağıtım ve optimum yanma sağlanır.

**Tablo 2.5.** Jet A1 yakıtı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Görünüm	Temiz ve berrak, çözünmemiş su ve katı partikül bulunmayan
Donma noktası, max	-47 °C
Kaynama aralığı	150-300 °C
Yoğunluk (15°C)	770 – 850 kg/m <sup>3</sup>
Kinematik viskozite, max (-20°C)	8,0 cSt
Parlama noktası, min	38 °C
Özgül enerji	42.80 MJ/kg
Duman noktası	25 Mm
Termal kararlılık	260 °C
Toplam Kükürt	% ağırlık 0,3
İslenme noktası, mm, min.	25
Aromatikler, % hacim, maks	25
Yağlama özelliği	0,85 mm
Setan sayısı	46,6
Elektriksel iletkenlik	50-600 pS/m

Bu bilgiler Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. Genel Müdürlüğü (TÜPRAŞ) güvenlik bilgi formundan alınmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada benzinli bir motorda havacılık yakıtı olan JP 8, Jet A1 yakıtlarının benzin ve nitrometan ile karıştırılması durumunda motorun performansı, egzoz gazı sıcaklıkları, özgül yakıt tüketimi, egzoz emisyonları, motor gürültüsü, motor titreşim seviyesi, termal verimlilik parametreleri incelenmiştir. Çalışmada deneysel prosedürler ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

#### 3.1. Yakıt Karışımları

Toplamda dokuz yakıt karışımı hazırlanmıştır. Karışımların hepsinde saf benzine dayalı olarak değerlendirme yapılmıştır. Bu karışımlar, benzinle birleştirilmiş farklı oranlarda JP 8, Jet A1 ve nitrometanın değişen oranlarını içermektedir. Tablo 3.1’de özel karışımlar ve oranları gösterilmiştir. Temel yakıt olarak saf benzin (B100) kullanılmış, içerisine farklı oranlarda katkı maddesi eklenerek birçok kombinasyonlar elde edilmiştir. Karışımlar, gerekli hacimler hassas bir şekilde ölçülerek ve gerekli homojenliği sağlamak için iyice karıştırılarak laboratuvarında dikkatlice hazırlanmıştır.

**Tablo 3.1.** Yakıt karışımları ve oranları

B100	100% benzin
95B5JP8	95% benzin + 5% JP 8
95B5JetA1	95% benzin + 5% Jet A1
95B2,5NM2,5JetA1	95% benzin + 2,5% Jet A1 + 2,5% nitrometan
95B2,5NM2,5JP8	95% benzin + 2,5% JP 8 + 2,5% nitrometan
90B10JP8	90% benzin + 10% JP 8
90B10JetA1	90% benzin + 10% Jet A1
90B5NM5JP8	90% benzin + 5% JP 8 + 5% nitrometan
90B5NM5JetA1	90% benzin + 5% Jet A1 + 5% nitrometan

Yakıt karışımları, doğru karışım oranlarının sağlanması için kalibre edilmiş 0,1 gr’lik hassas terazi kullanılarak her yakıt bileşeninin gerekli miktarlarının dikkatlice ölçülmesiyle hazırlanmıştır. Karışımlar hazırlanırken yakıtların kimyasal özelliklerine bakılmalıdır. Tablo 3.2’de benzin, JP 8, Jet A1 ve nitrometan yakıt özellikleri karşılaştırılmıştır. Bu değerler motor performansı ve emisyon değerlerini analiz etmek için gereklidir.

**Tablo 3.2.** JP 8, Jet A1, benzin ve nitrometan özellikleri

	JP 8 alıntı (Lee vd., 2011:1764; Yamik vd., 2014: 29)	Jet A1 (Solmaz vd., 2016: 54)	Benzin alıntı (Gültekin vd., 2023: 420; Özer, 2021)	Nitrometan (Çevik vd., 2013: 275)
Yoğunluk(g/cm <sup>3</sup> )	0,8	0,775	0,746	1,13 – 1,14
Viskozite (cSt at 20°C)	1,2	1,3	0,4 – 0,8	0,6
Parlama noktası (°C)	41	38	-43	35
Donma noktası (°C)	-47	-47	-52	-29
Kaynama aralığı (°C)	150-300	150-300	27-225	100-103
Tutuşma Sıcaklığı (°C)	210	210	257	418
Energy İçeriği (MJ/kg)	43,3	42,8	43,594	11,3

Yakıtlar yoğunluk açısından farklılık göstermektedir. Örneğin, nitrometan kilogram başına çok daha düşük enerjiye sahip fakat daha yüksek yoğunluğu vardır. Bu da hacimsel enerji yoğunluğunu etkiler.

Kimyasal bileşim açısından, benzin C<sub>6-12</sub>H<sub>14-26</sub> gibi değişken hidrokarbonlardan oluşurken JP 8 ve Jet A1 genellikle C<sub>9</sub>-C<sub>16</sub> alkanları içerir. Bu iki yakıt türü kerosen bazlı olup havacılık için uygundur. Nitrometan ise CH<sub>3</sub>NO<sub>2</sub> formülüne sahip tek bileşenli, azot içeren bir yakıttır. Bu özelliği sayesinde yanma sırasında oksijen açığa çıkarmakta, bu da motor performansını artırmaktadır.

Enerji içeriği açısından benzin, 43,594 MJ/kg'lık yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu yüzden otomobil motorları gibi yüksek enerji ihtiyacı olan araçlarda kullanıma uygundur. JP 8 ve Jet A1'in de sırasıyla 43,3 MJ/kg ve 42,8 MJ/kg benzine yakın enerji içerikleri vardır. Nitrometan ise 11,3 MJ/kg enerji içermekte, diğerlerine göre düşük enerji içeriğine sahiptir. Bu özelliği yanma sırasında ekstra oksijen sağlayarak yarış uygulamalarında avantaj sağlamaktadır.

Yoğunluklara bakacak olursak benzinin yoğunluğu 0,746 g/cm<sup>3</sup>'tür. İçlerinde en düşük yoğunluğa sahip yakıttır. Düşük yoğunluğu nedeniyle hızlı buharlaşmaktadır. Bu yüzden içten yanmalı motorlar için ideal bir yakıttır. Tablo 3.2'de de görüldüğü gibi JP 8 ve Jet A1 sırasıyla

0,8 ve 0,775 g/cm<sup>3</sup> yoğunluklara sahiptir. Bu yoğunluk değerleri jet motorları için uygun yanma değerleridir. Nitrometan ise 1,13-1,14 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukla en yüksek yoğunluğa sahiptir. Bu sayede nitrometan, yarışlarda sınırlı alanda enerji depolaması açısından avantajlı yakıt haline gelmektedir.

Parlama noktalarını karşılaştırırsak, benzin -43 °C ile çok düşük bir parlama noktasına sahiptir. Parlama noktasının düşük olması kolayca tutuşabileceğini göstermektedir. Benzinin bu özelliği hızlı bir tutuşma sağlasa da, depolama ve taşıma işlemi yapılırken risk oluşturmaktadır. JP 8 ve Jet A1'in parlama noktaları 38 °C'nin üzerindedir. Parlama noktaları yüksek olduğu için bu iki yakıt havacılık için güvenilir yakıtlar olmaktadır. Nitrometan ise, 35 °C'lik bir parlama noktasına sahiptir, bu da nitrometanı otomotiv yarış arabaları için güvenli yakıt yapmaktadır.

Kendiliğinden tutuşma sıcaklıklarına baktığımızda, benzinin 257 °C'lik bir değere sahip olduğunu görüyoruz. İçten yanmalı motorlarda kolay yanma için uygun tutuşma sıcaklığıdır. JP 8 ve Jet A1'in kendiliğinden tutuşma sıcaklıkları yaklaşık 210 °C'dir. Bu da jet motorlarının yüksek basınç altında kararlı bir şekilde yanmasını sağlamaktadır. Nitrometan, 418 °C kendiliğinden tutuşma sıcaklığına sahiptir. Diğer yakıtlara göre çok yüksek bir değere sahiptir. Yüksek olması nitrometanın kontrolsüz yanmaya karşı dirençli olduğunu ve yüksek performanslı motorlarda kontrollü yanmayı mümkün kıldığını göstermektedir.

Kaynama aralıklarını karşılaştırırsak benzin, 27-225 °C'lik geniş bir kaynama aralığına sahiptir. Hızlı buharlaşmayı sağlamakta fakat buharlaşma kayıplarını artırmaktadır. JP 8 ve Jet A1 tablo 3.2'de görüldüğü gibi benzine göre daha dar bir aralıkta kaynamaktadır. Bu özelliği yüksek irtifalarda kararlı yanmayı desteklemektedir. Nitrometanın kaynama aralığı ise 100-103 °C'de aralığında olup, yarış motorları için hassas yanma kontrolünü desteklemektedir.

Viskozitesi benzinin, 20°C'de 0,4-0,8 cSt'lik düşük bir viskoziteye sahiptir. Viskozitenin düşük olması yakıtın karbüratörlerden ve enjeksiyon sistemlerinden kolayca akmasını sağlamaktadır. JP 8 ve Jet A1, jet motorlarında kontrollü yakıt akışı sağlayan 1,3 cSt'lik bir viskoziteye sahiptir. Nitrometan ise, yarış motorlarında hızlı yakıt akışına izin veren 0,6 cSt'lik bir viskoziteye sahiptir.

Donma noktası, benzinin -52 °C'dir. Benzinin soğuk iklimlerde kullanılmasına olanak tanımaktadır. JP 8 ve Jet A1'in ise -47 °C'lik bir donma noktası vardır. Bu sayede uçakların donmadan yüksek irtifalarda yakıt kullanılmasına olanak tanımaktadır. Nitrometan ise, -29

°C'lik bir donma noktasına sahiptir. Bu değer yarış koşulları için yeterli olmakta aşırı soğukta sınırlamaları olabilmektedir.

Özetle, benzin yüksek uçuculuk, düşük parlama noktası ve yüksek oktan oranına sahip pistonlu motorlar için tasarlanmıştır. JP 8 ve Jet A1, güvenlik, yoğunluk ve düşük buhar basıncı dikkate alınarak havacılık alanı için tasarlanmıştır. Nitrometan ise, yarışlarda yüksek güç çıkışı sağlamak için tasarlanmış özel bir yakıttır. Formülünde oksijen de bulunduğu için, oksijen salınım kapasitesi nedeniyle yarış motorlarında üstün performans sağlamaktadır. Bu yakıt türleri; özellikleri, güvenlik açıları, kullanım kolaylığı ve performansları gibi alanlardaki uygulama gereksinimlerine göre özelleştirilmiştir.

### **3.2. Motor Deney Düzeneginin Tanıtılması**

Deney tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı bir benzinli motor ile yapılmıştır. Testler sırasında motor yükünü uygulamak ve ölçmek için bir dinamometre kullanılmıştır. 0 Nm'den 10 Nm'ye kadar kademeli olarak arttırılarak yük koşullarının hassas bir şekilde kontrol edilmesini ve farklı yük senaryoları altında motor performansının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Yakıt tüketimi 0,1 gram hassasiyete sahip dijital bir hassas terazi kullanılarak ölçülmüştür. Bu sistem, her test tekrarında tüketilen yakıt kütlesinin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlayarak yakıt tüketimi analizi için güvenilir veriler sağlamıştır. CO, CO<sub>2</sub>, HC ve NO<sub>x</sub> emisyonları Bilsa markalı egzoz gazı analizörü kullanılarak izlenmiştir. Emisyonlar, farklı yakıt karışımlarının egzoz gazı bileşimi üzerindeki etkisini gözlemlemek için her yük koşulunda kaydedilmiştir. Motor titreşim verileri, motor bloğuna monte edilmiş ve m/s<sup>2</sup> cinsinden titreşim seviyelerini ölçmek için bir Unit UT 315A titreşim ölçer kullanılarak kaydedilmiştir. Titreşim verileri üç eksen (X, Y ve Z) kayıt altına alınmıştır. Çalışma sırasında motor kararlılığı ve düzgünlüğünün kapsamlı bir değerlendirmesini yapmak için verilerin ortalamaları alınmıştır. Gürültü seviyelerinin ölçümü, motordan 1 metre uzaklığa yerleştirilen bir PCE 322A ses seviyesi ölçer kullanılarak ölçülmüştür. Gürültü ölçümleri desibel (dBA) cinsinden kayıt edilmiştir. Gürültü verileri her saniye kaydedilmiştir. Her yük koşulu için 2 dakikalık sürelerin ortalaması alınmıştır. Motor, çalışma koşullarını dengelemek için B100 (saf benzin) yakıtı kullanılarak 10 dakika ısıtılmıştır.

Motor devri tüm deneyler için 2500 rpm'de sabitlenmiştir. Motor her yakıt karışımı için değişen yüklerde (0 Nm, 2,5 Nm, 5 Nm, 7,5 Nm ve 10 Nm) çalıştırılmıştır. Testler arasında yakıt karışımlarının birbirlerine bulaşmasını önlemek için motor içi B100 (saf benzin) yakıtı ile temizlenmiştir. Yeni bir yakıt karışımına geçildikten sonra, ölçümler alınmadan önce motorun

2 dakika stabilize olmasına izin verilmiştir. Her yük koşulunda, egzoz gazı emisyonları, yakıt tüketimi, termal verimlilik, titreşim ve gürültü seviyelerinin ölçümleri kaydedilmiştir.

Ölçümlerle ilgili belirsizlik tablosu tablo 3.3'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Her ölçümün doğruluğu ve belirsizliği deney sırasında dikkatlice göz önünde bulundurulmuştur. Yakıt tüketimi, 0,1 g hassasiyet ve  $\pm 1\%$  belirsizlik oranına sahip hassas bir terazi kullanılarak ölçülmüştür. CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonları, CO ve CO<sub>2</sub> için  $\pm 0,1\%$ , NO<sub>x</sub> için  $\pm 5$  ppm ve HC için  $\pm 2$  ppm doğruluk sağlayan ve genel olarak  $\pm 2\%$  belirsizlik oranına sahip bir Bilsa emisyon analizörü ile izlenmiştir. Gürültü seviyeleri,  $\pm 0,1$  dBA doğruluk ve  $\pm 1,5\%$  belirsizlik oranına sahip bir PCE 322A ses ölçer kullanılarak kaydedilmiştir. Titreşim ölçümleri,  $\pm 1\%$  belirsizlik oranına sahip  $\pm 0,01$  m/s<sup>2</sup> doğruluk oranına sahip bir UNIT UT315A titreşim ölçer ile alınmıştır. Motor yükünü kontrol etmek ve ölçmek için kullanılan dinamometre  $\pm 0,01$  Nm hassasiyete ve  $\pm 1\%$  belirsizliğe sahiptir, motor devri ise  $\pm 10$  RPM hassasiyetinde ve buna karşılık gelen  $\pm 0,5\%$  belirsizlik değerine sahip bir takometre ile kaydedilmiştir.

**Tablo 3.3.** Ölçüm cihazları için belirsizlik ve kesinlik tablosu

Ölçüm	Cihazlar	Kesinlik	Belirsizlik
Yakıt Tüketimi	Hassas Terazi	$\pm 0,1$ g	$\pm 1\%$
Egzoz Emisyonları	Bilsa Emisyonu	CO: $\pm 0,1\%$	$\pm 2\%$
Egzoz Emisyonları	Bilsa Emisyonu	CO <sub>2</sub> : $\pm 0,1\%$ ,	$\pm 2\%$
Egzoz Emisyonları	Bilsa Emisyonu	NO <sub>x</sub> : $\pm 5$ ppm	$\pm 2\%$
Egzoz Emisyonları	Bilsa Emisyonu	HC: $\pm 2$ ppm	$\pm 2\%$
Gürültü Seviyeleri	PCE 322A	$\pm 0,1$ dBA	$\pm 1,5\%$
Vibrasyon	UNIT UT315A	$\pm 0,01$ m/s <sup>2</sup>	$\pm 1\%$
Motor Yüğü	Dynamometer	$\pm 0,01$ Nm	$\pm 1\%$
Motor Hızı	Tachometer	$\pm 10$ rpm	$\pm 0,5\%$

### 3.2.1. Deney Motoru Özellikleri

Deney tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı bir benzinli motor ile yapılacaktır. Motorda herhangi bir modifikasyon yapılmadan yakıt karışımları test edilecektir. Motor teknik özellikleri ayrıntılı bir şekilde tablo 3.4'de belirtilmiştir. Honda GX200 motoru, küçük güç

uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır ve tutarlı performans özellikleri nedeniyle çeşitli yakıt karışımlarını test etmek için güvenilirdir.

**Tablo 3.4.** Deney motoruna ait teknik özellikler

Marka/model	Honda GX200
Çalışma prensibi	Dört zamanlı, Üstten Valfli, Yatay Milli
Silindir sayısı	1
Silindir çapı	68 mm
Strok boyu	54 mm
Silindir hacmi	196 cm <sup>3</sup>
Sıkıştırma oranı	8,5/1
Maksimum tork (2500 d/d)	13,24 Nm
Maksimum güç (@3600 d/dk)	6,5 Hp
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Boş ağırlık	16 kg
Ölçüler	386*313*335



**Şekil 3.1.** Deney motoru

2 zamanlı motorlara göre yüksek yakıt tasarrufu sağlayan HONDA GX 200 motor; güçlü motoru, yatay şaftı ve düşük yakıt tüketimi ile güç sağladığı tüm makinelerin egzoz emisyon değerlerini düşürerek, benzinli motorlara çevreci bir yaklaşım getiriyor.

Motor, 0 Nm, 2,5 Nm, 5 Nm, 7,5 Nm ve 10 Nm arasında değişen motor yükleriyle 2500 d/dk sabit hızda çalıştırılmıştır. 5,5 kw güce sahip bir dinamometre kullanılarak kontrol edilmiştir. Bu deney kurulumu, motor yük koşulları üzerinde hassas bir kontrole izin vererek, çeşitli çalışma senaryoları altında motor gürültüsü, motor titreşimi, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının doğru ve tutarlı ölçümlerini mümkün kılmaktadır. Testler, farklı yakıt karışımlarının değişen yük koşulları altında motor performansını nasıl etkilediğini değerlendirmek için tasarlanmıştır.

### 3.2.2. Dinamometre

Deney motorunun testi için Şekil de görülen Plint&Partners marka elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre maksimum 3600 d/dk devre ve 5,5 kW güce sahip elektrikli bir dinamometredir. Motorun çalıştırılması için kullanılmaktadır. Eğer ihtiyaç duyulursa elektrik motoru olarak da çalışabilmektedir. Dinamometrede bulunan kontrol paneli sayesinde istenilen motor devri ayarlanarak kontrol edilebilmektedir. Dinamometre teknik özellikleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

**Tablo 3.5.** Dinamometre teknik özellikleri

Markası	PLİNT&PARTNERS
Güç	5,5 kW
Devir	2000 d/dk
Maksimum Devir	3600 d/dk
Akım	15,9 Ah
Gerilim	22 volt
Şönt Bağlantı	150 ohm saat



Şekil 3.2. DC Dinamometre



Şekil 3.3. Dinamometre kontrol panosu

### 3.2.3. Ni-Cr-Ni K Tipi Termokupl

Ni- Cr-Ni K tipi termokupl, 1200°C'ye kadar ölçüm yapabilen bir sıcaklık sensörüdür. İki farklı metal telin bir uçta birleşmesinden oluşur. Ölçülecek sıcaklığın bulunduğu bölgeye

bağlı olarak bir voltaj üretilir, bu voltaj sıcaklık kontrol cihazı tarafından sıcaklık değeri olarak hesaplanır. K Tipi termokupllar geniş sıcaklık aralığına ve yüksek korozif direncine sahiptirler. Bu nedenle birçok uygulamada kullanımı yaygındır. Avantajlarına bağlı şekilde K tipi termokupl, günümüzde yüksek sıcaklıklardaki kullanımları olduğu ve küçük boyutlarda ki pek çok sıcaklık ölçümünde ve benzer alanlarda da geniş bir kullanımı bulunurken, yüksek titreşim gibi alanlarda da geniş bir kullanım imkânını sunmaktadır.



**Şekil 3.4.** K tipi termokupl

#### **3.2.4. Egzoz Emisyon Cihazı**

Egzoz emisyon cihazı olarak, Bilsa marka MOD 2210WINXP-K emisyon cihazı ile egzoz emisyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Egzoz emisyon cihazına ait teknik özellikler Tablo 3.6’da yer almaktadır.

**Tablo 3.6.** Egzoz Emisyon Cihazı Teknik Özellikleri

Emisyon	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0-%10	%0,001
CO <sub>2</sub>	0-%20	%0,001
HC	0-10000	1 PPM
O <sub>2</sub>	0-%25	%0,01
CO	0-%10	%0,001
NO <sub>x</sub> (OPS.)	0-5000	1 PPM
Opasite (Pusluluk Derecesi)	%0-100	%0,1



Şekil 3.5. Egzoz emisyon cihazı

### 3.2.5. Gürültü ölçüm cihazı

Gürültü ölçüm cihazı olarak PCE-322A kullanılmıştır. Gürültü seviyesini ölçmek için kullanılır. Teknik özellikleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 3.7. Gürültü ölçüm cihazı teknik özellikler

Ekran	4 basamaklı LCD
Çözünürlük	0,1 dB
Hassasiyet	$\pm 1,4$ dB
Hafıza Kapasitesi	32700 değer
Frekans	31,5 Hz ... 8 kHz
Çevre Koşulları	0 ... 40 °C

Gürültü Seviyesi Aralıkları:

Düşük:	30	80	dB
Orta:	50	100	dB
Yüksek:	80	130	dB
Otomatik:	30	130	dB



Şekil 3.6. Gürültü ölçüm cihazı

### 3.2.6. Titreşim Ölçüm Cihazı

Titreşim ölçüm cihazı olarak Unit UT 315A cihazı kullanılmıştır. Dönen ve pistonlu makinelerin hızını ve ivmesini ölçmeye yarar. Farklı titreşim frekansını seçebilir. Teknik özellikleri tablo 3.8’de yer almaktadır.

**Tablo 3.8.** Titreşim ölçüm cihazı teknik özellikleri

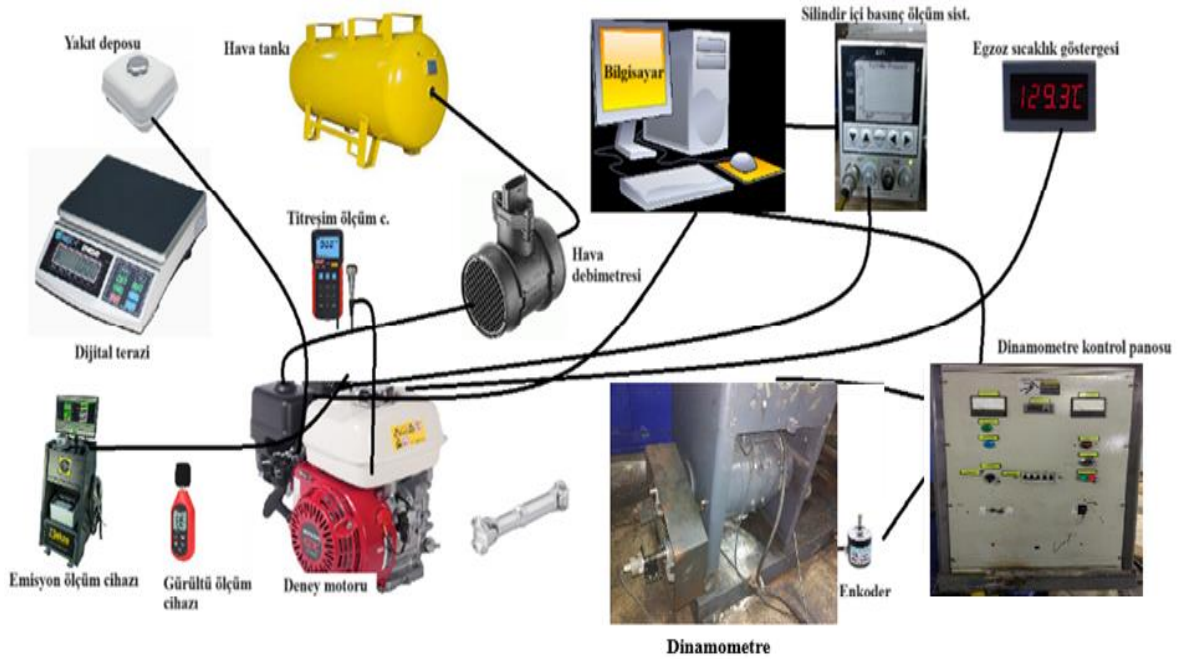
Hızlanma (Frekans)	(±% 5 + 2)
Hız (Frekans)	(±% 5 + 2)
LCD Boyut	57 mm x 37 mm
Ürün boyutu	166 mm x 80 mm x 30 mm



Şekil 3.7. Titreşim ölçüm cihazı

### 3.3. Test koşulları

Proje deneyleri; tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı bir benzinli motor ile yapılacaktır. Motorda herhangi bir modifikasyon yapılmadan yakıt karışımları test edilecektir. Deneyler Arifiye MYO’da bulunan Motor Testi ve Simülasyon Laboratuvarında yapılacaktır. Test motoru 5,5 kW güç ve 3600 d/dk maksimum hız kapasitesine sahip elektrikli dinamometre tarafından frenlenecektir. Deney düzeneği Şekil 3.8’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.8. Deney düzeneği

Testler sabit 2500 d/dk'da 0/ 2,5/ 5/ 7,5 ve 10 Nm yük değerlerinde gerçekleştirilecektir. Öngörülen test koşulları aşağıdaki Tablo 3.9'da verilmiştir.

**Tablo 3.9.** Öngörülen test koşulları

2500 d/dk sabit motor hızında	Yük (Nm)	Yük (Nm)	Yük (Nm)	Yük (Nm)	Yük (Nm)
% 100 Benzin	0	2,5	5	7,5	10
%95 Benzin + %5 JP 8	0	2,5	5	7,5	10
%95 Benzin + %5 Jet A1	0	2,5	5	7,5	10
%95 Benzin + %2,5 JP8 + %2,5 Nitrometan	0	2,5	5	7,5	10
%95 Benzin + % 2,5 JetA1 + %2,5 Nitrometan	0	2,5	5	7,5	10
%90 Benzin + % 10 JP 8	0	2,5	5	7,5	10
%90 Benzin + % 10 Jet A1	0	2,5	5	7,5	10
%90 Benzin + %5 JP 8 + %5 Nitrometan	0	2,5	5	7,5	10
%90 Benzin + %5 JetA1 + %5 Nitrometan	0	2,5	5	7,5	10

Ölçülecek değerler;

1. tork,
2. güç,
3. özgül yakıt tüketimi,
4. HC,
5. CO,
6. CO<sub>2</sub>,
7. NO,
8. O<sub>2</sub>,
9. termal verimlilik,
10. egzoz gazı sıcaklığı,
11. motor gürültüsü,
12. motor titreşim seviyesi.

Motor 2500 d/dk'da yük altında çalışırken kuvvet değeri yük hücresi gösterge cihazından okunmuştur. Yük hücresi göstergesi olarak loadcell kullanılmıştır. Ağırlık ölçümlerinde en çok kullanılan sistem loadcell olarak bilinen yük hücresi sistemidir. Loadcell, ev ortamından ağır sanayi üretimine kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Çalışma prensibi ise, kuvvet sensörüne uygulanan kuvveti veya kütleyi bir elektronik devre aracılığıyla okunabilir bir sinyale dönüştüren özel sensörlerdir. Kuvvet arttıkça elektrik sinyali orantılı olarak değişmektedir. Deney motoru tarafından elde edilen gücü tespit etmek için dinamometre koluna 0,1 kg hassasiyetinde yük hücresi bağlanmıştır. Dinamometre kol uzunluğu ise 0,265 m'dir. Deneyle başlanmadan önce yük hücresinin kalibrasyonu yapılmıştır.

Motor torkunun hesaplanmasında her bir devir için göstergede okunan kuvvet değeri, dinamometre moment kolu uzunluğu ile çarpılarak o devirdeki tork değeri bulunmuştur.

$$T=F*L$$

$$T= \text{Tork (Newton*Metre)}$$

$$F= \text{Kuvvet (Newton)}$$

$$L= \text{Dinamometre kol uzunluğu (Metre)}$$

Deney motoru ve dinamometre birbirine kaplin aracılığıyla bağlanmıştır. Bu sayede hareketin iletilmesi sağlanmıştır. Dinamometre ile motora hem ilk hareket (marş) verilmiş, hem de motor çalıştıktan sonra yükleme yapılmıştır. Deney düzeneğinde görülen kontrol panosundan ayrıca motor hızı ve yük hücresinden gelen motor yükü takip edilebilmektedir. Egzoz gaz sıcaklığı ölçümü için K tipi Ni-Cr-Ni tipi termokupl kullanılmıştır. Egzoz hattında uygun bir yer açılarak montajı sağlanmıştır. Termokupldan gelen elektriksel sinyallere göre dijital gösterge ile veriler alınmıştır.

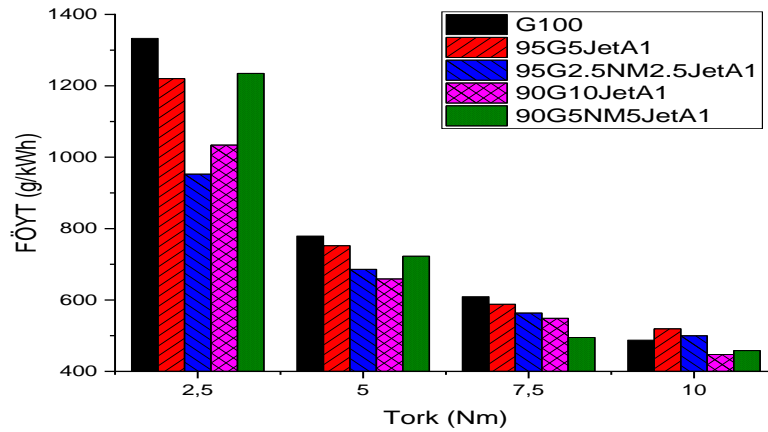
Sonuçlar, benzin, JP 8, Jet A1 ve nitrometan karışımlarının fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT), termal verimlilik, egzoz gazı sıcaklığı ve egzoz emisyonları (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve HC) gibi motor performans parametreleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için analiz edilmiştir. Her test güvenilir olabilmesi için üç kez tekrarlanarak yapılmıştır. Yapılan testlerin ortalama değerleri alınıp kaydedilmiştir. Sonuçlar, her karışımın motor verimliliğini artırma ve emisyonları azaltmadaki etkinliğini belirlemek için saf benzin (B100) performansı ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Bu deneysel prosedür, JP 8, Jet A1 ve nitrometan karışımlarının benzinle birlikte motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkisini kapsamlı bir şekilde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Toplanan ve analiz edilen veriler, emisyonlarla ilgili çevresel endişeleri ele alırken motor verimliliğini artırmak için bu karışımların kullanılma potansiyeline dair öngörüler sağlar.

## 4. BULGULAR

Çalışmada, tek silindirli bir benzinli motorda Jet A1, JP 8 ve nitrometanın benzin bazlı yakıt karışımlarıyla birleşik etkilerini, özellikle değişen tork altında performans, yakıt tüketimi ve emisyonlara odaklanarak araştırmayı amaçlamaktadır. Literatür, özellikle gelişmiş motor performansı ve egzoz emisyon kontrolü ile bu yakıtların kullanımında elde edilen sonuçların dengelenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Birincil hedefler, bu karışımların motor verimliliğini artırma potansiyelini değerlendirmek ve egzoz emisyonları analizi yoluyla çevresel etkilerini değerlendirmektir. Deneyler benzin içine belirli oranlarda ayrı ayrı Jet A1, JP 8 ve nitrometan katılarak yapılmıştır. İlk olarak deney %100 benzinle yapılmıştır. Bu deney sonuçları karışım deneyleri için referans oluşturmuştur. Deney sonuçlarına göre grafikler oluşturulmuştur. Deneyleri yapılan diğer yakıt karışımları ise;

- %95 Benzin-%5 Jet A1
- %95 Benzin-%2,5 Jet A1-%2,5 Nitrometan
- %90 Benzin-%10 Jet A1
- %90 Benzin-%5 Jet A1-%5 Nitrometan
- %95 Benzin-%5 JP 8
- %95 Benzin-%2,5 JP 8-%2,5 Nitrometan
- %90 Benzin-%10 JP 8
- %90 Benzin-%5 JP 8-%5 Nitrometan

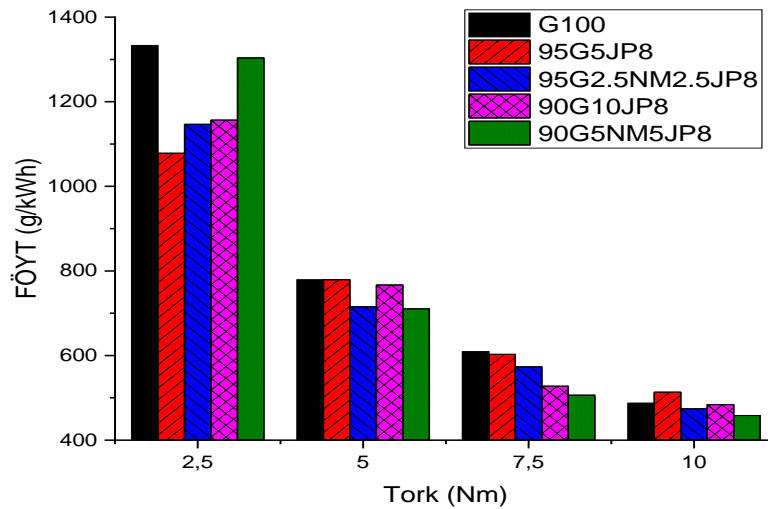
### 4.1. Fren Özgül Yakıt Tüketimi Ölçüm Grafikleri (Föyt)



**Grafik 4.1.** Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının FÖYT-Tork değişim grafiği

Grafik 4.1'deki fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) verileri, farklı motor yükleri altında çeşitli yakıt karışımlarının yakıt verimliliğiyle ilgili önemli eğilimleri ortaya koymaktadır. Tüm yakıt karışımlarında, motor torku 2,5 Nm'den 10 Nm'ye çıktıkça FÖYT'de tutarlı bir azalma vardır. Yani tork arttıkça özgül yakıt tüketiminde azalma meydana gelmektedir. Özgül yakıt tüketimi birim güç başına tüketilen yakıt miktarını ifade etmektedir. Yani yakıtın, motorda birim güç elde etmesi için ne kadar verimli olarak kullanıldığının bir ölçütüdür. Daha yüksek yüklerin genellikle daha iyi yanma kararlılığı ve tüketilen yakıt birimi başına daha fazla güç çıkışı nedeniyle daha verimli yakıt kullanımıyla sonuçlandığı içten yanmalı motorlarda tipiktir.

Grafik 4.1'e baktığımızda 10 Nm'de en düşük özgül yakıt tüketimi %90 benzin ve %10 Jet A1 yakıt karışımındadır. En yüksek fren özgül yakıt tüketimi ise %95 benzin, %5 Jet A1 yakıt karışımındadır. Benzin oranının yüksek olduğu yakıt karışımlarında özgül yakıt tüketimi artış göstermektedir. Örneğin, B100 (saf benzin) yakıtı için FÖYT 2,5 Nm'de 1232,86 g/kWh'den 10 Nm'de 487,57 g/kWh'ye düşmektedir. Benzer eğilimler tüm yakıt karışımları için gözlemlenmektedir. Örneğin; özgül yakıt tüketiminin 2,5 Nm'de 1234,86 g/kWh'den 10 Nm'de 458,17 g/kWh'ye düştüğü 95B5NM5JetA1 karışımı gibi. Alternatif yakıt karışımları (JP 8, Jet A1 ve Nitrometan karışımları) özellikle daha yüksek yüklerde B100'e kıyasla daha düşük FÖYT değerleri gösterme eğilimindedir. Bu karışımların motor daha yüksek torka maruz kaldığında yakıt verimliliği açısından daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Örneğin, özgül yakıt tüketimi 10 Nm'de, 95B2,5NM2,5JP8 yakıt karışımının 458,17 g/kWh'dir. Bu değer, 487,57 g/kWh'lik B100'den daha düşüktür. Bu da nitrometan ve JP 8 karışımlarının daha yüksek yükte daha iyi yakıt ekonomisi sağladığını gösterir.



**Grafik 4.2.** Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının FÖYT-Tork değişim grafiği

Grafiğe bakıldığında tork arttıkça tüm yakıt karışımlarında özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. 7,5 Nm’de en düşük özgül yakıt tüketimi 458,17g/kWh olarak %90 benzin, %5 JP 8 ve %5 nitrometan yakıt karışımında ölçülmüştür. En yüksek özgül yakıt tüketimi ise %95 benzin, %5 JP 8 yakıt karışımındadır.

Nitrometan içeren yakıt karışımları (örneğin; %95 benzin-%2,5 JP 8-%2,5 nitrometan ve %95 benzin-%2,5 Jet A1-%2,5 nitrometan) sürekli olarak B100’dan daha düşük FÖYT değerleri sergilemektedir. Yüksek enerjili bir yakıt olan nitrometan, yanma verimliliğini artırarak daha düşük FÖYT değerlerine yol açmaktadır. Örneğin, 7,5 Nm’de, %95 benzin-%2,5 Jet A1-%2,5 nitrometan karışımının FÖYT değeri 563,53 g/kWh iken, B100 için bu değer 609,26 g/kWh’dir. Bu, benzine nitrometan eklemenin yakıt verimliliğini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Hem JP 8 hem de Jet A1 karışımları, B100’e kıyasla tüm tork seviyelerinde gelişmiş FÖYT performansı göstermektedir.

Bu iyileştirme daha yüksek tork seviyelerinde daha belirgin olmaktadır. Örneğin, 10 Nm’de 90B10JP8’in özgül yakıt tüketimi 483,89 g/kWh’dir ve 90B10JetA1’in özgül yakıt tüketimi 447,14 g/kWh’dir ve her ikisi de B100 yakıtından daha iyi performans gösterir. Bu, Jet A1 ve JP 8’in daha yüksek yükler altında üstün yakıt verimliliği sunduğunu gösterir. 5 Nm ve 7,5 Nm gibi orta tork seviyelerinde, daha düşük torka (2,5 Nm) kıyasla çoğu yakıt karışımı için özgül yakıt tüketiminde gözle görülür bir iyileştirme vardır. Örneğin, 7,5 Nm’de 90BJP810’un özgül yakıt tüketimi 527,59 g/kWh iken, 5 Nm’de FÖYT 766,88 g/kWh’dir. Bu eğilim, bu yakıtların orta ila yüksek motor yüklerinde en verimli performansı gösterdiğini göstermektedir.

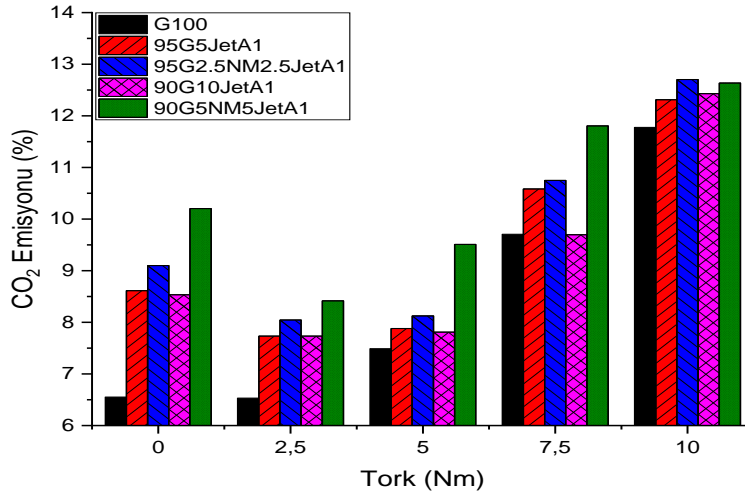
B100, alternatif yakıt karışımlarına kıyasla tüm tork seviyelerinde sürekli olarak daha yüksek FÖYT değerlerine sahiptir. Daha yüksek yüklerde daha iyi yakıt verimliliği gösterse de, yine de katkı maddeli yakıt karışımlarından daha iyi performans göstermektedir. Örneğin, 2,5 Nm’de B100, 1332,86 g/kWh ile en yüksek FÖYT’ye sahipken, 95B5JP8 ve 90B10JetA1 gibi diğer karışımlar sırasıyla 1078,05 g/kWh ve 1033,95 g/kWh gibi çok daha düşük değerlere sahiptir. Bu eğilim, alternatif yakıtların daha düşük yüklerde bile daha verimli olduğunu göstermektedir.

FÖYT verilerinden elde edilen eğilimler, özellikle JP 8, Jet A1 ve nitrometan içeren alternatif yakıt karışımlarının, özellikle daha yüksek tork seviyelerinde saf benzine kıyasla daha verimli yakıt tüketimiyle sonuçlandığını göstermektedir (Kumar vd., 2019: 6517). Tork arttıkça, yakıt verimliliği tüm karışımlarda iyileşmektedir. Ancak JP 8 ve Jet A1 yakıt

karişımlarının performansı benzinden daha iyi performans göstermektedir. Nitrometan ayrıca yanma verimliliğinin artmasına katkıda bulunarak daha düşük FÖYT değerlerine yol açmaktadır. Bu da karişımları daha yüksek yük operasyonları için daha uygun hale getirmektedir.

#### 4.2. Karbondioksit Emisyonu Ölçüm Grafikleri

şekil 4.3 ve şekil 4.4'de, çeşitli yakıt karişımları ve tork seviyeleri için CO<sub>2</sub> emisyonlarını göstermektedir. Tüm yakıt karişımlarında, CO<sub>2</sub> emisyonları tork seviyeleri arttıkça artmaktadır. Tork arttıkça CO<sub>2</sub> emisyonunun artması normaldir. Çünkü motor yükü arttıkça daha fazla yakıt yanmakta ve bu da daha yüksek CO<sub>2</sub> üretimine yol açmaktadır. Örneğın, B100'de CO<sub>2</sub> emisyonları 0 Nm'de % 6,727'den 10 Nm'de % 11,326'ya çıkararak motor yükü arttıkça yakıt tüketimi ile CO<sub>2</sub> emisyonları arasındaki doğrudan ilişkiyi göstermektedir. 95B5JP8, 95B2,5NM2,5JP8 ve 90B5NM5JP8, her tork seviyesinde B100'e kıyasla daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonları göstermektedir. Bu karişımların diğeri performans parametrelerini (örneğin, diğeri kirleticileri azaltmak veya güç çıkışını artırmak) iyileştirebilmesine rağmen, daha eksiksiz yanmayla sonuçlandığını ve bunun da doğal olarak daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarına yol açtığını göstermektedir. Örneğın, 10 Nm'de B100'ün CO<sub>2</sub> emisyonu % 11,326 iken, 90B5NM5JP8'in CO<sub>2</sub> emisyonu % 12,42'dir.



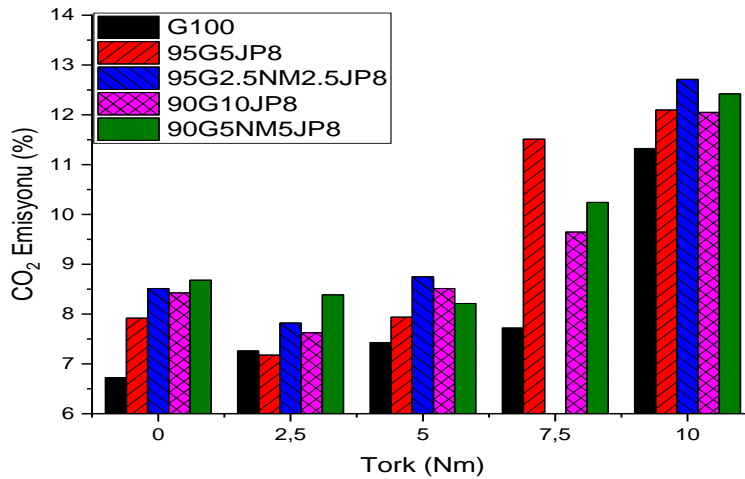
**Grafik 4.3.** Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karişımlarının CO<sub>2</sub> emisyon- Tork değişim grafiği

Grafik 4.3'te görüldüğü gibi motor %100 benzinle çalıştırıldığında tork arttıkça CO<sub>2</sub> emisyon oranında hiç düşüş olmamış, artış göstermiştir. Benzin içine Jet A1 ve nitrometan

grafikte gösterildiği miktarlarda karıştırıldığında önce bir miktar düşüş sonra ise tekrar yükselmiştir. Jet A1 ve nitrometan olan karışımlar CO<sub>2</sub>'yi artırmıştır, bu da tam yanma olduğunu göstermektedir.

10 Nm torkta en yüksek CO<sub>2</sub> emisyon oranı %95 benzin, %2,5 Jet A1 ve %2,5 nitrometan yakıt karışımıdır. En düşük CO<sub>2</sub> ise %100 benzin yakıtındadır. 7,5 Nm'de en yüksek CO<sub>2</sub> emisyonu %90 benzin, %5 Jet A1 ve %5 nitrometan yakıt karışımıdır. Bu da demek oluyor ki benzin oranı azaldıkça CO<sub>2</sub> emisyonunda artış meydana gelmiştir. CO<sub>2</sub> emisyonu yanma olayının tam gerçekleştiğinin bir göstergesidir. Yanma ne kadar iyi olursa CO<sub>2</sub> emisyonu o kadar fazla olur denilebilir. Yakıtın içindeki karbon yandıktan sonra atmosfer havasındaki oksijenle ve yakıt içeriğindeki oksijenle birleşerek CO<sub>2</sub> emisyonunu oluşturur. Yanma Jet A1 ve nitrometan içeren yakıt karışımları için daha yüksek, daha eksiksiz bir yakıt karışımını yansıtmaktadır.

Jet A1 bazlı karışımlar (95B5JetA1 ve 90B10JetA1 gibi) ayrıca torkla birlikte CO<sub>2</sub> emisyonlarında artış eğilimi gösterir. 10 Nm'de 90B10JetA1, B100'ün %11,776'sına kıyasla %12,43 CO<sub>2</sub> yayar ve bu karışımların muhtemelen daha iyi yanma verimliliği nedeniyle biraz daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarına yol açtığını gösterir.



**Grafik 4.4.** Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının CO<sub>2</sub> emisyon- Tork değişim grafiği

Grafikte 4.4' de görüldüğü gibi motor %100 benzin ile çalıştırıldığında 7,5 Nm torka kadar CO<sub>2</sub> emisyon oranında az miktarda artış olmuştur. 7,5 Nm'den sonra artış yüzdesi fazla olmuştur. Benzin oranının %95, JP 8 ve nitrometanın %2,5 oranında olduğu karışımda 5 Nm'lik torka kadar CO<sub>2</sub> emisyon oranında az miktarda düşüş ve yükseliş olmuş fakat 7,5 Nm'de CO<sub>2</sub>

emisyona yüzdesi büyük düşüş yaşamıştır. 10 Nm'de tekrar yükselmiştir. Diğer karışımlarda da aynı şekilde biraz düşüş olmuş, sonra tekrar yükselmiştir.

95B5JP8 ve 95B2,5NM2,5JP8 gibi JP 8 bazlı karışımlar, özellikle daha yüksek torklarda, B100'den biraz daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonu göstermektedir. Örneğin, 10 Nm'de 95B5JP8, B100'ün %11,326'sından daha yüksek olan %12,098 CO<sub>2</sub> emisyonu üretmektedir. Bu da daha verimli yakıt yanmasını göstermekte ancak CO<sub>2</sub> çıkışında artışa yol açmaktadır.

Nitrometan içeren 90B5NM5JP8, tüm tork seviyelerinde saf benzinden sürekli olarak daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonları göstermektedir. 2,5 Nm'de 90B5NM5JP8, B100'ün %7,264'üne kıyasla %8,387 CO<sub>2</sub> üretmekte ve bu da nitrometanın oksijen açısından zengin bileşiminin daha eksiksiz yanmayı desteklediğini ve bunun da daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarına yol açtığını göstermektedir. Bu eğilim daha yüksek torklarda da tutarlıdır. 10 Nm'de 90B5NM5JP8, B100'ün %11,326'sından biraz daha yüksek olan %12,42 CO<sub>2</sub> yaymaktadır. Örneğin, 90B5NM5JP8 yakıt karışımı, 10 Nm'de %12.42 CO<sub>2</sub> değerini göstermekte ve bu değer aynı yükte saf benzinin (%11.326) üzerindedir.

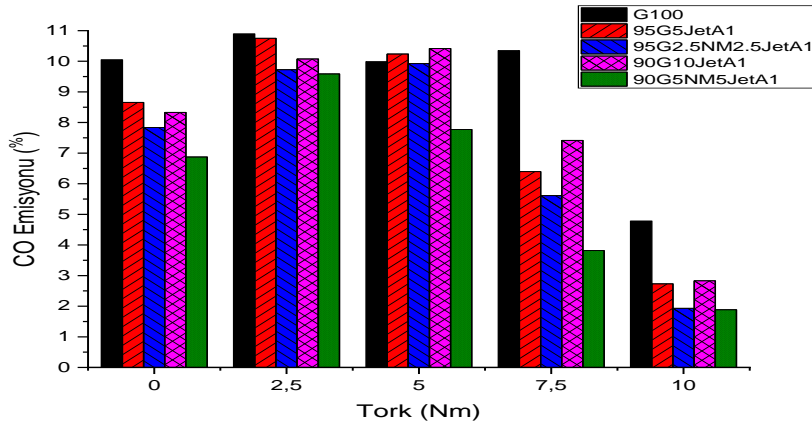
Nitrometan karışımı daha eksiksiz yanmayı teşvik etmekte, ancak sonuç olarak daha fazla CO<sub>2</sub> salmaktadır. Yüksüz durumda (0 Nm), B100 karışımı %6,727 CO<sub>2</sub> emisyonu gösterirken, tüm alternatif yakıt karışımları daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonu üretmektedir. Örneğin, 95B5JetA1 %8,612 üretmekte ve 90B5NM5JP8 %8,68 üretmektedir. Bu, alternatif yakıtların rölantide bile yanmayı daha eksiksiz hale getirdiğini ve bunun sonucunda daha yüksek CO<sub>2</sub> çıkışına neden olduğunu göstermektedir. Tork arttıkça, B100 ile alternatif yakıt karışımları arasındaki farklar daha belirgin hale gelmektedir. Özellikle de 10 Nm'de çoğu alternatif yakıt saf benzinden daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonu göstermektedir.

Örneğin, 95B5JP8, B100'ün %11,326'sından daha yüksek olan %12,098 CO<sub>2</sub> üretmektedir. Düşük tork seviyelerinde (örn. 0 Nm ve 2,5 Nm), alternatif yakıtlar B100'e kıyasla biraz daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonları göstermekte, ancak farklar daha az belirgin olmaktadır. 2,5 Nm'de, B100 %7,264 CO<sub>2</sub> emisyonu üretirken, 95B2,5NM2,5JetA1 yalnızca küçük bir artış olan %7,821 göstermektedir. Ancak tork 10 Nm'ye çıktığında, 90B5NM5JP8 gibi alternatif yakıtlar B100'den çok daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonları sergilemektedir. Bu karışımların daha yüksek motor yüklerinde daha verimli olabileceğini ve daha eksiksiz yakıt yanmasını kolaylaştırabileceğini gösterir. CO<sub>2</sub> emisyonları genellikle motor yüküyle birlikte artmakta, çünkü daha yüksek torklarda daha yüksek yakıt tüketimi daha fazla CO<sub>2</sub> üretimiyle sonuçlanmaktadır. Bu eğilim, test edilen tüm yakıt karışımları için geçerli olmaktadır.

JP 8, Jet A1 ve nitrometan bazlı karışımlar gibi alternatif yakıtlar, tüm tork seviyelerinde saf benzine kıyasla daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonları sergilemektedir (Jing vd., 2022: 8). Bunun nedeni muhtemelen bu yakıtların daha eksiksiz yanmayı başarması ve CO<sub>2</sub> çıkışını artırmasıdır. 90B5NM5JP8 gibi nitrometan karışımları, sürekli olarak daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonları göstermekte bu da nitrometanın oksijen içeriğinin daha eksiksiz yanmaya katkıda bulunduğunu ancak bunun CO<sub>2</sub> üretiminin artması pahasına olduğunu göstermektedir. Jet A1 bazlı yakıtlar da özellikle daha yüksek tork seviyelerinde B100'e kıyasla daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonları göstermekte bu da daha verimli yanma potansiyellerine ancak CO<sub>2</sub> açısından daha yüksek çevresel etkilere sahip olduklarını göstermektedir.

#### 4.3. Karbonmonoksit Emisyon Ölçüm Grafikleri

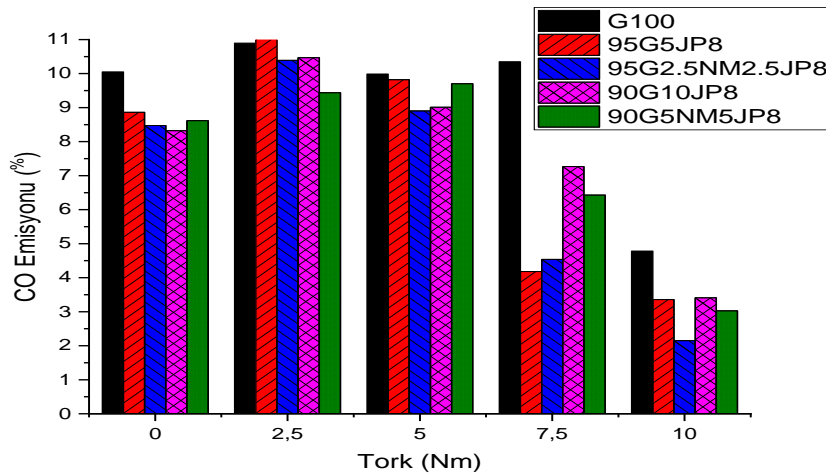
Grafik 4.5 ve grafik 4.6, çeşitli yakıt karışımları ve tork seviyeleri için CO emisyonlarını göstermektedir. Tüm yakıt türlerinde, CO emisyonları motor yükü (tork) arttıkça azalmaktadır. Örneğin, B100 0 Nm'de %10,051 CO emisyonuyla başlamakta ve 10 Nm'de %4,785'e düşmektedir. Daha yüksek torkta azalmakta olan CO emisyonları, karbonun daha verimli oksidasyonunu destekleyen daha yüksek silindir içi sıcaklıklar gibi daha iyi yanma koşullarına bağlanabilmektedir. B100 ile karşılaştırıldığında, katkı maddeli yakıt karışımlarının çoğu (örneğin, 95B5JP8, 95B2,5NM2,5JP8, 90B10JP8 ve 90B5N5JP8) tüm motor torklarında daha düşük CO emisyonu sergilemektedir.



**Grafik 4.5.** Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının CO emisyon- Tork değişim grafiği

Grafik 4.5'de %100 benzin ve içine Jet A1 ve nitrometan karıştırıldığında oluşan CO emisyon oranları görülmektedir. Görüldüğü gibi motorun %100 benzinle çalıştırılmasıyla 7,5 Nm torka kadar CO emisyon oranında küçük oranlarda artış ve azalışlar olmuştur. Fakat 10 Nm

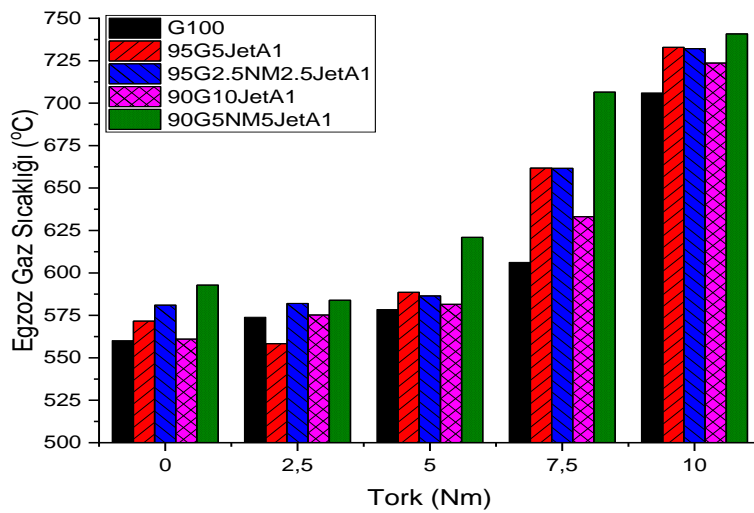
de büyük oranda düşüş gözlemlenmiştir. Aynı şekilde diğer karışımlarda da küçük oranlarda değişimler olmuştur. 10 Nm tork da CO oranında düşüş gözlemlenmiştir. 95B5JetA1 0 Nm’de %8,656’dan başlar ve 10 Nm’de %2,73’e düşmektedir. Bu değer daha yüksek yüklerde B100’dan önemli ölçüde düşüktür. Bu eğilim, Jet A1 ve JP 8 yakıtlarının piyasaya sürülmesinin yakıt-hava karışımını geliştirdiğini ve daha verimli yanmayı teşvik ettiğini, bunun da CO gibi eksik yanma yan ürünlerinde bir azalmaya yol açtığını göstermektedir. 90B5NM5JP8 gibi nitrometan katkılı yakıtlar da, motor yükü arttıkça CO emisyonlarında büyük düşüş olmaktadır. 10 Nm’de saf benzin için %4,785’e kıyasla, 90B5NM5JP8 yalnızca %3,026 CO’dur. Bu azalma büyük ölçüde nitrometanın daha eksiksiz yanmayı teşvik eden oksijenli yapısından kaynaklanmaktadır. 10 Nm’de CO oranı yakıt karışımında nitrometan da içeren 95B2,5NM2,5JetA1, %2,15 değerini göstermektedir ve bu da tabloda ki en düşük emisyon değerlerinden biridir. Nitrometan eklenmesi yanma olayını iyileştirir ve yanma sırasında oksijeni artırarak düşük CO seviyelerine katkıda bulunmaktadır (Yang vd., 2022; Song vd., 2024: 5484). CO emisyonları motor yükü arttıkça azalmakta ve tüm yakıt türleri daha yüksek yüklerde daha iyi yanma koşulları nedeniyle bu eğilimi göstermektedir. Alternatif yakıt karışımları, özellikle nitrometan ve Jet A1 içerenler, tüm motor yüklerinde saf benzine kıyasla daha düşük CO emisyonları göstermekte ve en büyük azalma daha yüksek yüklerde görülmektedir. Nitrometan içeren karışımlarda, özellikle daha yüksek tork seviyelerinde CO emisyonlarında azalma olmaktadır. CO oranında azalma olması karışımların daha eksiksiz ve daha verimli yanmasını sağlamaktadır. Ayrıca CO emisyonu Jet A1 karışımlarında saf benzine göre önemli ölçüde daha düşüktür. Bu yüzden alternatif yakıtlar kullanmak içten yanmalı motorlarda CO emisyonlarını azaltmak için çekici adaylar haline gelmektedir.



**Grafik 4.6.** Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının CO emisyon-Tork değişim grafiği

Bu grafikte de %100 benzin ve benzin içine belirli oranlarda JP 8 ve nitrometan katıldığında oluşan CO-Tork grafiği verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi benzin; JP 8 ve nitrometanla karıştırıldığında CO emisyon oranında 7,5 Nm ve 10 Nm torkta düşüş olmuştur. % 100 benzin kullanıldığında emisyon oranının diğer karışımlar kullanıldığında CO emisyon oranına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. 0 Nm’de 95B5JP8, B100 için gözlemlenen %10,051’den daha düşük olan %8,863 CO üretmektedir. Benzer şekilde, 90B5NM5JP8 aynı yük seviyesinde %8,617 göstermektedir. 10 Nm’de 90B5NM5JP8 yalnızca %3,026 göstermekte, bu da aynı yükte B100’ün %4,785’inden daha düşüktür. Nitrometan ve JP 8 katkı maddelerinin varlığının yanma verimliliğini artırdığını ve yük aralığı boyunca CO emisyonlarını azalttığını göstermektedir. Jet A1 ve JP 8 yakıtları içeren yakıt karışımları, özellikle daha yüksek yüklerde, saf benzine göre daha düşük CO emisyonlarına sahip olma eğilimindedir. Düşük motor yüklerinde (0 Nm ila 2,5 Nm), tüm yakıt tipleri için CO emisyon oranı daha yüksektir. B100, 0 Nm’de %10,051 ile en yüksek emisyonu sahiptir. Daha düşük yüklerin daha düşük silindir içi sıcaklıklar nedeniyle eksik yanmaya yol açması nedeniyle beklenen bir durumdur, bu da benzinli motorların tipik bir davranışdır. Alternatif yakıt karışımları benzinden daha düşük CO emisyonları gösterse de, daha yüksek yüklerle karşılaştırıldığında daha düşük yüklerde daha yüksek emisyonlar sergilemektedir. Daha yüksek yüklerde, özellikle 10 Nm’de, Jet A1 ve nitrometan içeren yakıt karışımları en düşük CO emisyon değerlerini göstermektedir. Örneğin, 90B5NM5JetA1 yakıt karışımı %1,931 oranını ve 90B5NM5JP8 %3,026 oranını göstermektedir.

#### 4.4. Egzoz Gazı Sıcaklığı Ölçüm Grafikleri



**Grafik 4.7.** Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının Egzoz gaz sıcaklığı - Tork değişim grafiği

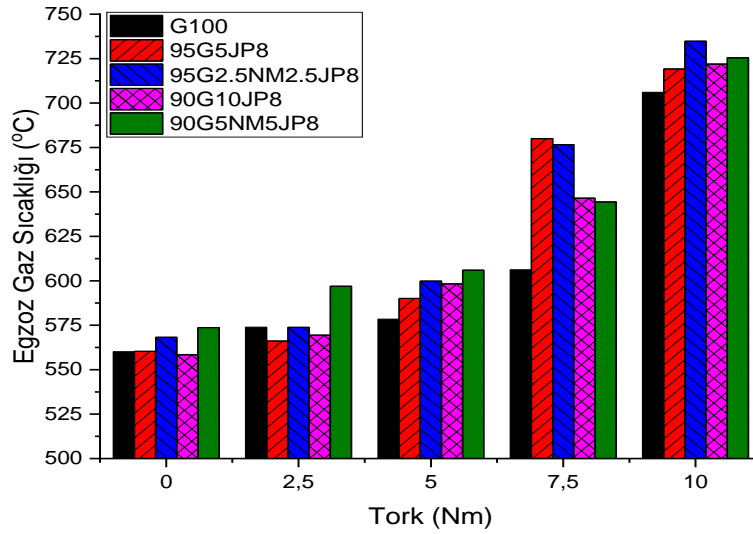
Grafik 4.7 ve 4.8'deki egzoz gazı sıcaklığı verileri, farklı motor yükleri altında çeşitli yakıt karışımlarının yakıt verimliliğiyle ilgili önemli eğilimleri ortaya koymaktadır. Tüm yakıt türlerinde, egzoz gazı sıcaklığı motor yükü arttıkça artmaktadır. Bu eğilim tutarlıdır ve yüksek motor yükleri yüksek yanma sıcaklıklarına yol açmaktadır. Örneğin, B100 ile egzoz gazı sıcaklığı 0 Nm'de 560,1 °C 'den 10 Nm'de 706 °C'ye yükselmektedir. Yükün artırılmasının içten yanmalı motorlar için fazla yakıtın yanmasına yol açtığı, daha yüksek silindir içi sıcaklıklara ve dolayısıyla daha yüksek egzoz gazı sıcaklıklarına yol açtığı tipik bir gözlemdir.

Grafik 4.7'de %100 benzin ve benzin içine belirli oranlarda Jet A1 ve nitrometan karıştırıldığında oluşan egzoz gaz sıcaklığı-tork grafiği verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi tork arttıkça %100 benzin oranında egzoz gaz sıcaklığı diğer yakıt karışım oranlarına göre daha düşük egzoz gazı sıcaklığına sahiptir. Tork arttıkça en fazla egzoz gaz sıcaklığı ise benzin oranının %90, Jet A1 ve nitrometan oranının %5 olduğu yakıt karışımıdır. 10 Nm'de 90B5NM5JetA1, kaydedilen en yüksek sıcaklıklardan biri olan 740,8°C'ye ulaşmaktadır. Buradan karışımda nitrometan ve jet yakıtının varlığı daha yüksek yanma sıcaklıklarına katkıda bulunduğu anlamına gelmektedir. Karışım bileşiminden bağımsız olarak, tüm yakıt türleri için motor yükü arttıkça egzoz gazı sıcaklığında sabit bir artış olmaktadır. Bu sabit artış, tüm yakıtların artan mekanik stres altında tutarlı bir şekilde davrandığını ve yakıt karışımlarının termal tepki açısından öngörülebilir olduğunu göstermektedir. Örneğin, 95B5JP8 karışımı 0 Nm'de 560,3 °C'den başlamakta, düzgün ve sabit bir artışın ardından 10 Nm'de 719,2 °C'ye yükselmektedir. 90B10JetA1 ve 90B5NM5JetA1 gibi Jet A1 karışımları, özellikle daha yüksek yüklerde verimli yanmaktadır. Egzoz gazı sıcaklık değerleri nitrometan karışımlarıyla karşılaştırılabilir olup, yüksek mekanik stres altında motor performansını artırma potansiyellerini göstermektedir. 90B10JetA1 yakıt karışımı, 10 Nm'de 723,6 °C'ye ulaşarak yük aralığı boyunca stabil ve verimli bir yanma süreci sergilemektedir. Düşük motor yüklerinde (0 ila 2,5 Nm), beklenildiği gibi tüm yakıt türlerinde egzoz gazı sıcaklık değerleri göreceli olarak daha düşüktür. Örneğin, B100 0 Nm'de 560,1°C'den, 95B5JetA1 571,6 °C'den başlamaktadır. Bu eğilim, hafif yüklerde daha az yakıtın yanması ve daha düşük silindir içi sıcaklıkları ile tutarlıdır ve bu da daha düşük egzoz gazı sıcaklıklarına yol açmaktadır. Tüm yakıt karışımları motor yükü arttıkça egzoz gazı sıcaklıklarının artışı gösteren benzer termal yanıt eğilimleri sergilemektedir ve bu da yanma sürecinin belirli bir yakıt karışımından bağımsız olarak stabil ve güvenilir kaldığını göstermektedir. Özellikle nitrometan, JP 8 ve Jet A1 içeren alternatif yakıt karışımları, saf benzine kıyasla daha yüksek egzoz gazı sıcaklıklarını üretmektedir. Egzoz gazı sıcaklıklarının yüksek olması demek yanmanın daha tamamlayıcı ve

verimli olmasıdır. Jet A1 ve nitrometan karışımları, özellikle yüksek yük koşullarında en yüksek egzoz gazı sıcaklık değerlerini sergilemektedir. Bu eğilimler, Jet A1 ve JP 8 bazlı karışımların yanma sıcaklıklarını ve potansiyel olarak motor performansını artırma kabiliyetini, özellikle yüksek mekanik stres altında öne çıkarmaktadır.

Egzoz gaz sıcaklığı, yakıt karışımlarının yanma özelliklerine ve emisyonlarına önemli bir etkiye sahiptir. Genel olarak, daha yüksek egzoz gaz sıcaklıkları, daha yüksek yanma sıcaklıkları ve daha yoğun yanma proseslerine işaret eder. Bu durum, motor performansını artırabilir, ancak aynı zamanda  $\text{NO}_x$  ve diğer zararlı emisyonların artmasına da yol açabilir (Özsezen vd., 2022; Yılmaz vd., 2012).

Yakıt karışımları arasında farklılıklar, egzoz gaz sıcaklığında değişikliklere neden olabilir. Örneğin, etanol veya metanol gibi alkol yakıtları, daha düşük egzoz gaz sıcaklıklarıyla daha az  $\text{NO}_x$  emisyonu üretse de, CO ve HC emisyonları artabilir. Jet A1 gibi daha kontrollü yanma özelliklerine sahip yakıt karışımları ise daha düşük egzoz gaz sıcaklıklarıyla daha az zararlı emisyon üretebilir.

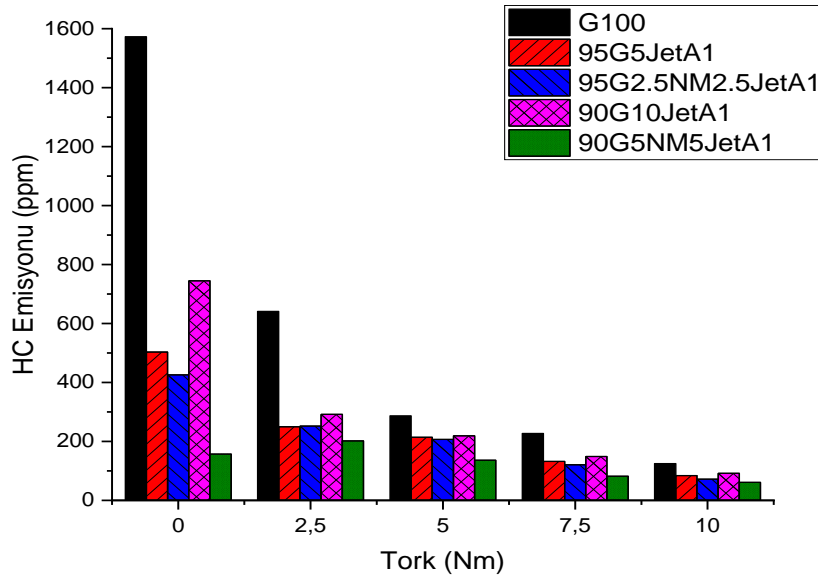


**Grafik 4.8.** Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının Egzoz gaz sıcaklığı -Tork değişim grafiği

Bu grafikte de %100 benzin ve benzin içine belirli oranlarda JP 8 ve nitrometan katıldığında oluşan egzoz gaz sıcaklığı-tork grafiği verilmiştir. Tork arttıkça egzoz gaz sıcaklığının %100 benzin ve karışım yakıtlarda arttığı gözlemlenmiştir.

JP 8, Jet A1 ve nitrometan karışımları gibi yakıt karışımları, aynı motor yüklerinde B100'e kıyasla daha yüksek egzoz gaz sıcaklık değerlerine sahiptir. Örneğin, 10 Nm'de 90B5NM5JP8 725,5 °C değerindedir. 95B5JetA1 732,9 °C'ye ulaşır ve 95B2,5NM2,5JP8 734,8 °C değerindedir. Hepsi B100 için kaydedilen 706 °C'den daha yüksektir. Bu da, yakıt karışımlarında genellikle eksiksiz yanmaya ve daha yüksek silindir içi sıcaklıklara sebep olmaktadır. Nitrometan içeren yakıt karışımları (örneğin, 95B2,5NM2,5JP8, 90B5NM5JetA1), özellikle daha yüksek yükler altında en yüksek egzoz gaz sıcaklık değerlerini üretme eğilimindedir. Bu eğilim nitrometanın daha eksiksiz ve enerjik yanmayı teşvik eden yüksek enerji içeriği ve oksijenasyon özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

#### 4.5. Hidrokarbon Emisyon Ölçüm Grafiği



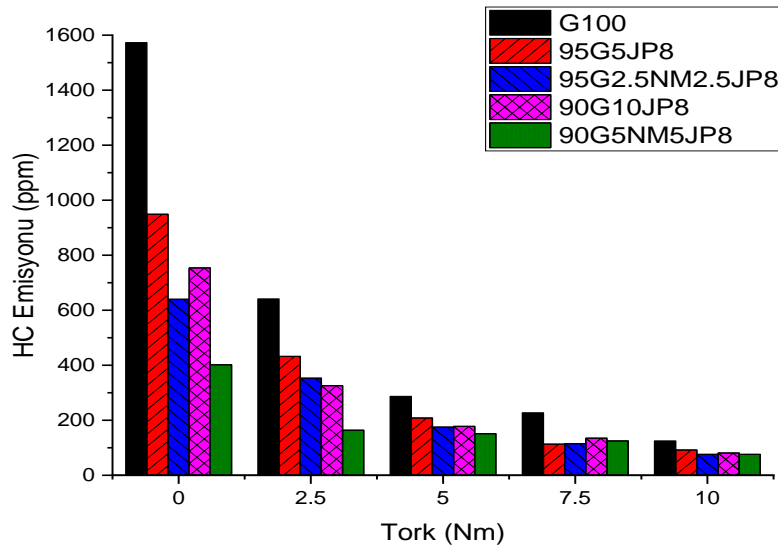
**Grafik 4.9.** Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının HC emisyon - Tork değişim grafiği

Grafik 4.9 ve 4.10, farklı tork koşulları altında çeşitli yakıt karışımları için hidrokarbon (HC) emisyonlarını göstermektedir. Hidrokarbon emisyonları eksik yanmanın önemli bir göstergesidir ve HC emisyonlarındaki azalma yanmanın daha verimli olması demektir. Tüm yakıt karışımları boyunca, motor torku arttıkça HC emisyonları sürekli olarak azalmaktadır. Bu, daha yüksek torkun, daha yüksek silindir sıcaklıkları ve basınçları nedeniyle daha tamamlayıcı yanmaya yol açması ve bu da daha az yanmamış hidrokarbon ile sonuçlanması nedeniyle tipik bir davranıştır. Örneğin, B100 (saf benzin) içinde HC emisyonları 0 Nm'de 1573 ppm'den 10 Nm'de 125 ppm'ye düşerek yük arttıkça önemli bir azalma olmaktadır. Yük altında

olmadığında (0 Nm), B100 en yüksek HC emisyonlarını 1573 ppm’de göstermekte ve düşük yüklerde eksik yanmayı işaret etmektedir. Tüm diğer yakıt karışımlarının, HC emisyon oranları bu tork seviyesinde daha düşüktür. Alternatif yakıtlar boşta çalışma koşullarında saf benzinden daha iyi yanma verimliliği vardır. Yük 10 Nm’ye yükseldikçe, B100 bazı alternatif yakıtlara kıyasla daha yüksek HC emisyonları göstermeye devam etmektedir.

Grafik 4.9’da %100 benzin ve benzin içine nitrometan ve Jet A1 yakıtlarının eklenmesiyle oluşan hidrokarbon emisyon oranı grafiği görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi tork arttıkça hidrokarbon emisyon oranı tüm yakıtlarda azalmaktadır. 10 Nm torkta hidrokarbon emisyon oranı %90 benzin %5 nitrometan ve %5 Jet A1 yakıt karışımında en düşüktür. Jet A1 karışımlarında (95B5JetA1, 90B10JetA1), B100’e kıyasla HC emisyonlarında azalma vardır. Örneğin, 95B5JetA1 10 Nm’de 84 ppm kaydederken, B100 125 ppm’dir. Bu da Jet A1 yakıtı ile daha iyi yanma verimliliği olduğu anlamına gelmektedir. Orta seviye torklarda, Jet A1 karışımları da benzine kıyasla daha düşük HC emisyonları sergilemektedir.

5 Nm’de 90B10JetA1 219 ppm HC emisyonuna sahipken, B100 287 ppm’ye sahiptir. Jet A1 içeren yakıt karışımlarının yanma verimliliğini artırma ve emisyonları azaltma özelliği olduğunu göstermektedir. Beklendiği gibi, motor torkunun artışı, tüm yakıt karışımları için HC emisyonlarında azalmaya yol açmaktadır. Yüksek torklarda (7,5 Nm ve 10 Nm), 90B5NM5JP8 ve 95B2,5NM2,5JP8 gibi yakıt karışımları en düşük HC emisyon miktarını göstermektedir. Bu karışımlardan gelen tutarlı düşük emisyonlar, yüksek performanslı veya yüksek yük motor koşullarında daha temiz yakıt alternatifleri olarak potansiyellerini vurgulamaktadır.

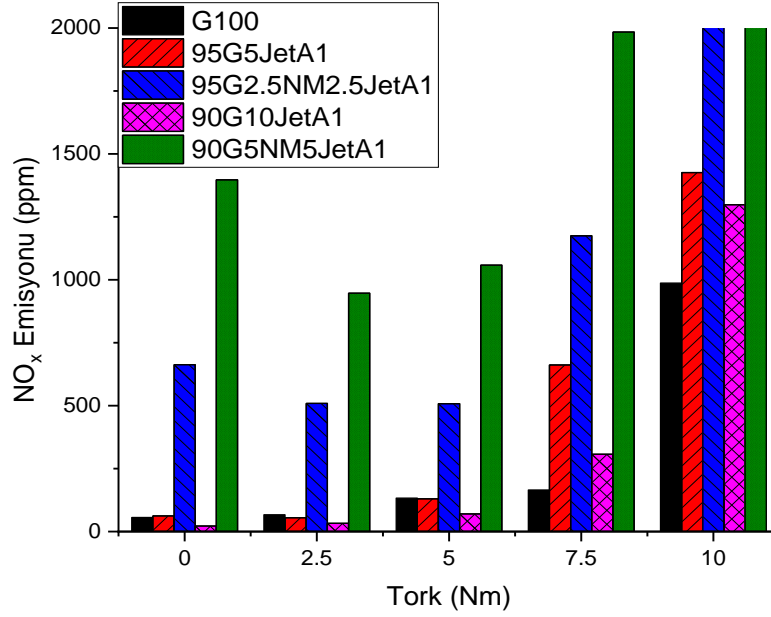


**Grafik 4.10.** Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının HC emisyon - Tork değişim grafiği

Bu grafikte ise hidrokarbon emisyon oranının %100 benzin ve benzinin nitrometan ve JP 8 ile karıştırıldığı durumdaki ölçüm grafiği verilmiştir. Tork arttıkça hidrokarbon emisyon oranı bütün yakıtlarda düşüş göstermiştir. En fazla hidrokarbon emisyon oranı % 100 benzin kullanıldığında meydana gelmiştir. Karışım yakıtlarda hidrokarbon emisyonunun düştüğü görülmüştür. B100 10 Nm'de 125 ppm HC'ye sahipken, 90B5NM5JP8 yakıt karışımında 76 ppm'ye düşmüştür. Bu düşüş alternatif karışımların (özellikle nitrometan ile) yüksek yüklerde yanma tamamlayıcılığını artırdığını gösteriyor demektir. JP 8 bazlı yakıtlarda (95B5JP8, 95B2,5NM2,5JP8, 90B10JP8), B100'e kıyasla tüm tork seviyelerinde HC emisyonlarında belirgin bir azalma vardır. 95B5JP8, 10 Nm'de 92 ppm HC emisyonuna sahiptir. B100 ise 125 ppm'dir ve karışım yakıtı göre yüksek değere sahiptir. Bu da JP 8 karışımlarının daha iyi yanma verimliliği sergilediğini göstermektedir. 2,5 Nm'de, 95B5JP8 432 ppm HC emisyonuna sahipken, B100'ün 641 ppm'sine göre oldukça düşüktür. Bu da JP 8 karışımlarının özellikle düşük ila orta tork seviyelerinde yanmamış hidrokarbonları azaltma potansiyelini daha fazla ortaya koymaktadır. Nitrometan olan karışımlar (90B5NM5JP8), özellikle yüksek yüklerde en düşük HC emisyonlarına sahiptir. 10 Nm'de, 90B5NM5JP8 76 ppm HC emisyonu kaydederek nitrometan eklemek genel yanma sürecini iyileştirmektedir. Bu sayede yüksek yüklerde eksik yanmayı azaltmaktadır.

Nitrometan (90B5NM5JP8 gibi) ve Jet A1 bazlı karışımlar (95B5JetA1 gibi), çoğu tork seviyesinde en düşük HC emisyonlarına sahiptir. Bu da üstün yanma özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Yüksek oksijen içeriği ile nitrometan, daha tamamlayıcı yakıt yanmasını teşvik etmektedir. Özellikle yüksek yüklerde HC emisyonunda ki azalmayı açıklamaktadır. 0 Nm'de, 90B5NM5JP8 yakıt karışımı 402 ppm HC emisyonuna sahiptir. B100'ün 1573 ppm'sine kıyasla çok daha düşüktür. Düşük olması nitrometanın boşta çalışma koşullarında bile yanma verimliliğini artırma etkisini ortaya koymaktadır. Tork arttıkça HC emisyonlarının azalması eğilimi, tüm yakıt karışımları için tutarlıdır. Alternatif yakıtlar, HC emisyonlarını azaltmada B100'den performans olarak daha iyidir. JP 8 bazlı karışımlar ve nitrometan karışımlarında, özellikle yüksek yüklerde, saf benzine kıyasla yanma verimliliğinde belirgin iyileşmeler vardır. HC emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. İçeriğinde Jet A1 olan yakıt karışımlarında, tüm tork seviyelerinde HC emisyonlarını azaltmada umut verici sonuçlar elde edilmiştir. İçten yanmalı motorlarda yanmamış hidrokarbonları azaltmak ve yanma verimliliğini artırmak için alternatif yakıtların kullanılmasını daha da desteklemektedir (Manigandan vd., 2020: 277; Labeckas vd., 2015: 129).

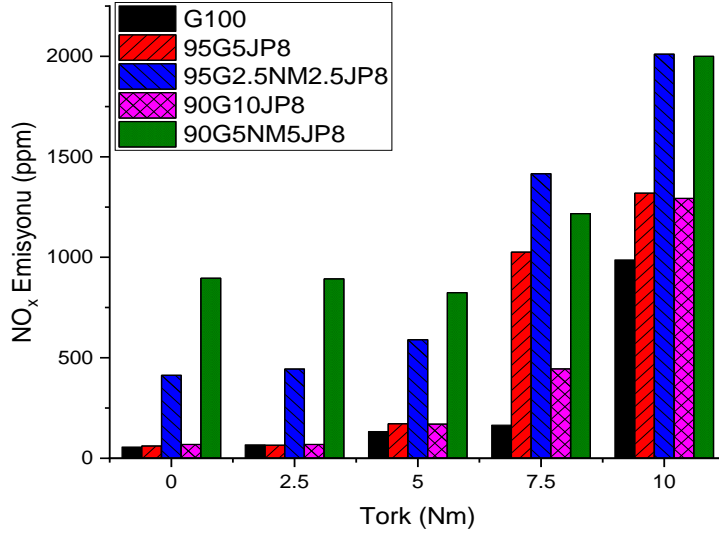
#### 4.6. NO<sub>x</sub> Emisyon Ölçüm Grafikleri



**Grafik 4.11.** Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının NO<sub>x</sub> emisyon - Tork değişim grafiği

Grafik 4.11 ve 4.12’de, çeşitli tork koşulları altında farklı yakıt karışımları için NO<sub>x</sub> emisyonları vardır. Tüm yakıt karışımları boyunca, motor torku 0 Nm’den 10 Nm’ye arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonlarının artmaktadır. Artması beklenen bir durumdur. Çünkü daha yüksek tork ve yük koşulları genellikle NO<sub>x</sub> oluşumunun ana etkenleri olan artan yanma sıcaklıklarına yol açmaktadır. Örneğin, B100 için NO<sub>x</sub> emisyonları 0 Nm’de 56 ppm’den 10 Nm’de 987 ppm’ye yükselmektedir. Yükün artmasıyla birlikte emisyonların önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Çoğu alternatif yakıt karışımı, özellikle JP 8, Jet A1 ve nitrometan içerenler, saf benzine (B100) kıyasla daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları üretmektedir. Grafikte %100 benzin ve benzin içine nitrometan ve Jet A1 karıştırıldığındaki NO<sub>x</sub>-Tork değişim grafikleri görülmektedir. Sonuçlara göre tork arttıkça tüm yakıt karışımlarında NO<sub>x</sub> emisyon oranı artmaktadır. %100 benzin kullanıldığında NO<sub>x</sub> oranının diğer karışım yakıtlara göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Jet A1 bazlı karışımlar, örneğin 90B10JetA1, daha düşük yüklerde nispeten daha düşük NO<sub>x</sub> emisyonları sergilemektedir. (örneğin, 0 Nm’de 22 ppm ve 2,5 Nm’de 33 ppm), ancak yük arttıkça daha yüksek emisyonlar üretmektedirler. Örneğin, 90B10JetA1 yakıt karışımı 10 Nm’de 1298 ppm’ye ulaşarak B100’den daha yüksek değerler, ancak yine de çoğu JP 8 bazlı karışımdan daha düşüktür. 90B5NM5JetA1, 10 Nm’de 2000 ppm’ye ulaşarak en yüksek NO<sub>x</sub> emisyonlarından birini gösterir ve bu da karışımdaki daha yüksek Jet A1 içeriğinin özellikle yüksek yüklerde NO<sub>x</sub> oluşumunu artırabileceğini gösterir.



**Grafik 4.12.** Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının NO<sub>x</sub> emisyon - Tork değişim grafiği

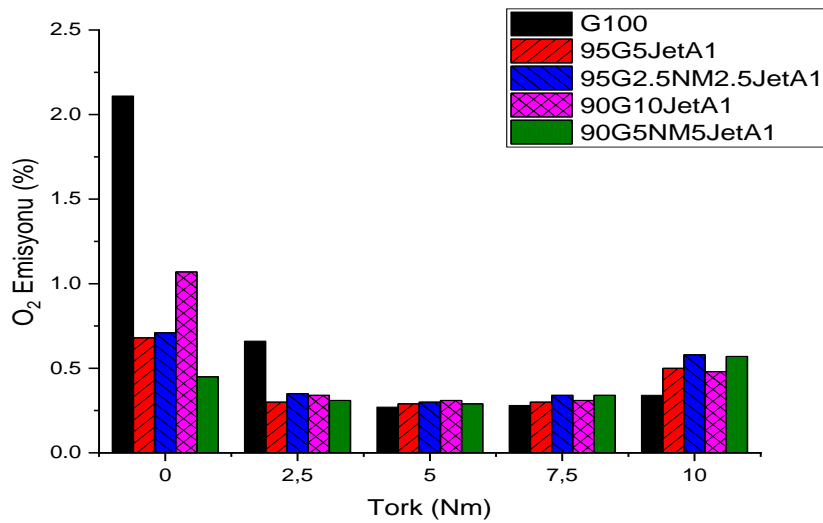
Grafik 4.12’de %100 benzin ve benzin içine nitrometan ve JP 8 yakıtlarının katılmasıyla oluşan NO<sub>x</sub>-Tork grafiği görülmektedir. Tork arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonu artış göstermektedir. %90 benzin, %5’er nitrometan ve JP 8 olan karışımla benzinin %95, nitrometan ve JP 8’in %2,5 olduğu yakıt karışımının 2000 ppm’ye ulaşması daha fazla yanma sıcaklığını göstermektedir. %100 benzinde tüm torklarda NO<sub>x</sub> emisyonu diğer karışım yakıtlara göre düşüktür.

95B2,5NM2,5JP8 karışımı, sürekli olarak yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları göstererek 10 Nm’de 2011 ppm’ye ulaşmaktadır. Bu, JP 8 ve nitrometan eklenmesinin daha tamamlayıcı yanmaya yol açabileceğini, ancak aynı zamanda daha yüksek yanma sıcaklıklarıyla sonuçlanarak NO<sub>x</sub> oluşumunu artırabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, 90B5NM5JP8 yakıt karışımı ve 95B2,5N2,5JetA1 yakıt karışımı her ikisi de 10 Nm’de 2000 ppm’ye ulaşmaktadır. Bu da nitrometan içeren karışımların, katkı maddesinin yoğun yanma özellikleri nedeniyle daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları üretme eğiliminde olduğunu daha da göstermektedir. 95B5JP8 yakıt karışımı, diğer JP 8 bazlı karışımlara kıyasla orta düzeyde NO<sub>x</sub> emisyonları sergilemektedir. Örneğin, 7,5 Nm’de 95B5JP8 yakıt karışımının NO<sub>x</sub> emisyon değeri 1026 ppm’dir. Yüksek olmasına rağmen, 95B2,5N2,5JP8 ve 95B2,5N2,5JetA1’den daha düşüktür. Bu, JP 8 ve benzinin belirli kombinasyonlarının performans ve emisyonlar arasında bir denge sunabileceğini öne sürmektedir. Ancak NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için daha fazla optimizasyon gerekecektir. Saf benzin (B100), alternatif yakıt karışımlarına kıyasla tüm tork seviyelerinde tutarlı olarak en düşük NO<sub>x</sub> emisyonlarına sahiptir.

En yüksek torkta (10 Nm) B100 yakıtı 987 ppm NO<sub>x</sub> emisyonu üretmektedir. NO<sub>x</sub> emisyon grafiklerinden elde edilen verilere göre JP 8, Jet A1 ve nitrometan içeren alternatif yakıt karışımları, özellikle yüksek tork seviyelerinde, saf benzine kıyasla daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları üretmektedirler. Bu karışımlar yakıt verimliliği ve performansta iyileştirmeler sunabilse de, daha yüksek yanma sıcaklıkları NO<sub>x</sub> oluşumunu artırmaktadır (Xue vd., 2014). 90B10JetA1 gibi karışımlar, orta yüklerde daha düşük NO<sub>x</sub> emisyonlarına sahiptir. Verimlilik ve emisyonlar arasında bir denge sunabilir, ancak performans avantajlarını korurken NO<sub>x</sub> çıkışını en aza indirmek için bu karışımların daha fazla optimize edilmesi gerekecektir.

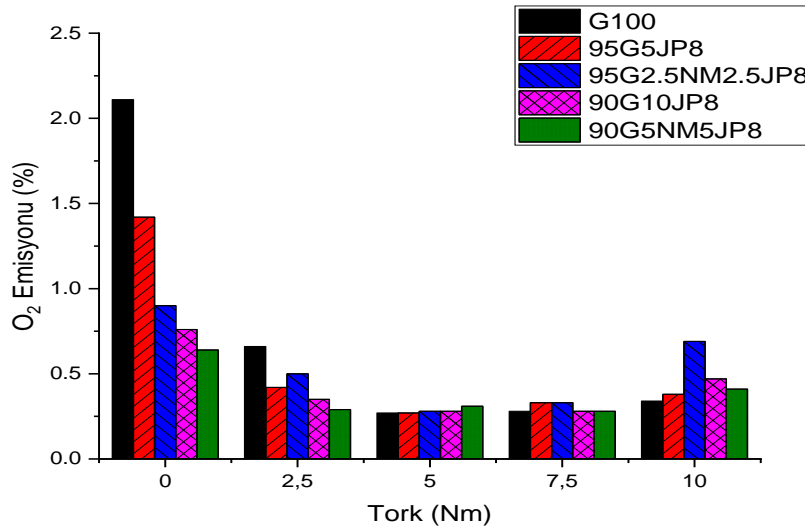
#### 4.7. Oksijen Emisyon Ölçüm Sonuçları

Grafik 4.13 ve 4.14, çeşitli tork koşulları altında farklı yakıt karışımları için O<sub>2</sub> emisyonlarını göstermektedir. Tüm yakıt karışımlarında, motor torku arttıkça O<sub>2</sub> emisyonları genellikle azalmaktadır. Örneğin, B100 (saf benzin) yakıtı, O<sub>2</sub> emisyonları 0 Nm'de %2,11'den 10 Nm'de %0,34'e düşmektedir. Oksijen seviyelerinin daha yüksek yüklerde azalması eğilimi, çoğu yakıt karışımında tutarlı olarak gözlemlenmektedir. Düşük tork seviyelerinde tüm yakıt karışımları için O<sub>2</sub> emisyonları nispeten yüksektir. Bu, motor sıcaklıklarının düşük olduğu ve egzoz gazlarında yüksek oranda yanmamış oksijen bırakmaya yol açan düşük yüklerde eksik yanmayı işaret etmektedir. 0 Nm'de en yüksek O<sub>2</sub> emisyonu, %2,11 ile B100'de gözlemlenirken, diğer karışımlar daha düşük değerlere sahiptir. Çoğu tork seviyesinde, JP 8 bazlı karışımlar (örneğin; 95B5JP8, 95B2,5N2,5JP8 ve 90B10JP8) B100'e kıyasla daha düşük O<sub>2</sub> emisyonları gösterme eğilimindedir, bu da daha iyi yanma verimliliği anlamına gelmektedir.



**Grafik 4.13.** Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının O<sub>2</sub> emisyon - Tork değişim grafiği

Grafik 4.13’de %100 benzin ve benzin içine Jet A1 ve nitrometan karıştırılarak oksijen emisyon oranları ölçülmüştür. Tork arttıkça %100 benzinde oksijen emisyonunda düşüş olmuştur. 7,5 Nm torka kadar tüm yakıtlarda oksijen emisyon oranında düşüş olmuş fakat 10 Nm tork da yükseliş olmuştur. Ama 0 Nm torka göre düşüş yaşanmıştır. Yakıt karışımlarının içine nitrometan katıldığında diğer karışım yakıtlarına göre oksijen emisyonu yüksek çıkmıştır. Sebebi ise nitrometanın içeriğinde de oksijen bulunmasıdır. Bu da egzozdan ölçülen oksijen miktarını arttıran önemli bir özelliktir. Jet A1 karışımları, daha yüksek yüklerde (etkili yanmayı gösteren) daha düşük O<sub>2</sub> emisyonlarına sahip olma eğilimindeyken, diğer karışımlara kıyasla daha düşük tork seviyelerinde hafifçe yükseltilmiş O<sub>2</sub> emisyonlarına sahiptir. Örneğin, 90B10JetA1 yakıt karışımı 0 Nm’de %1,07 O<sub>2</sub> emisyonuna sahip olup, bazı JP 8 bazlı yakıt karışımlarından daha yüksek O<sub>2</sub> emisyonuna sahiptir, ancak O<sub>2</sub> emisyonu 10 Nm torkta %0,48’e düşmektedir. Genel olarak, JP 8 ve nitrometan içeren yakıt karışımları, özellikle daha yüksek yüklerde daha tamamlayıcı yanma göstermekte ve egzoz gazlarında daha düşük artık O<sub>2</sub> bırakmaktadır.



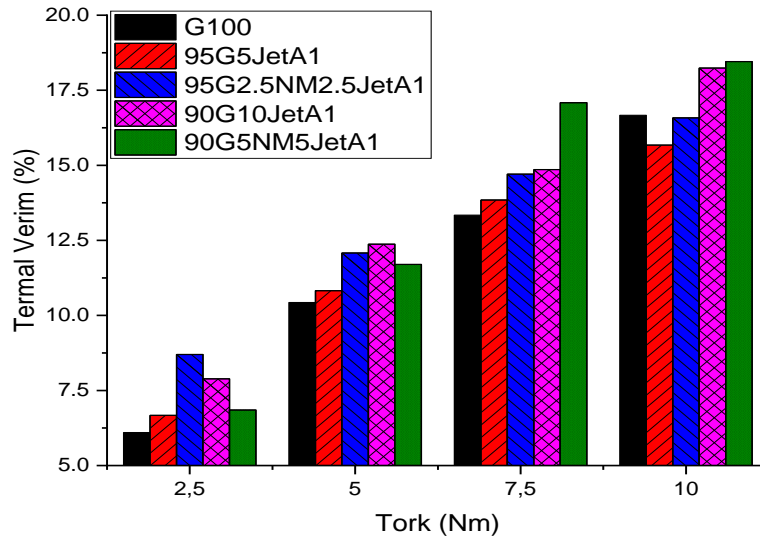
**Grafik 4.14.** Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının O<sub>2</sub> emisyon - Tork değişim grafiği

Grafik 4.14’de %100 benzin ve benzin içine JP 8 ve nitrometan karıştırılarak oksijen emisyon oranları ölçülmüştür. Tork arttıkça oksijen emisyon oranlarında düşüş görülmüştür. Fakat 10 Nm torkta en yüksek oksijen emisyon oranı 95B2,5N2,5JP8 yakıt karışımının olduğu görülmüştür. 10 Nm’de, 95B2,5N2,5JP8 %0,69 O<sub>2</sub> emisyonuna sahiptir. Bu karışım yakıtı diğer bazı karışım yakıtlardan daha yüksek, ancak B100’den daha düşük O<sub>2</sub> emisyonuna sahiptir. Bu da JP8’in daha yüksek yüklerde daha verimli yanmayı teşvik etme potansiyelini yansıtmaktadır.

Nitrometan içeren karışımlar, örneğin 90B5NM5JP8, yüksek yüklerde nispeten düşük O<sub>2</sub> emisyonlarına sahiptir. Örneğin, 10 Nm’de, 90B5NM5JP8 yakıt karışımı için O<sub>2</sub> emisyonları %0,41’dir. Bu oran, nitrometanın özellikle yüksek motor yüklerinde yanma verimliliğini artırdığını göstermektedir. Nitrometanın, bileşiminde oksijen olduğu için yanmaya katkıda bulunmaktadır. Bu da egzozdaki düşük artık oksijeni açıklamaktadır.

Yakıt karışımları saf benzine kıyasla yanma verimliliğini artırmaktadır. Nitrometan gibi oksijen içeren bileşiklerin varlığı, daha tamamlayıcı yanmaya katkıda bulunmaktadır. Ana eğilim, motor torku arttıkça O<sub>2</sub> emisyonlarının da genel bir azalmanın gözlenmesidir ve bu da daha yüksek yüklerde daha verimli yanma olduğunu göstermektedir. Saf benzin (B100), genellikle JP 8 ve nitrometan içeren alternatif yakıt karışımlarına kıyasla daha yüksek O<sub>2</sub> emisyonlarına sahiptir. Bu sayede daha tamamlayıcı yanmayı teşvik etmekte ve dolayısıyla daha düşük oksijen emisyonları ile sonuçlanmaktadır. Bu sonuçların alternatif yakıtların, motorlar özellikle daha yüksek yüklerde ve daha zorlu koşullarda çalışırken yanma verimliliğini artırdığını göstermektedir.

#### 4.8. Termal Verimlilik Ölçüm sonuçları

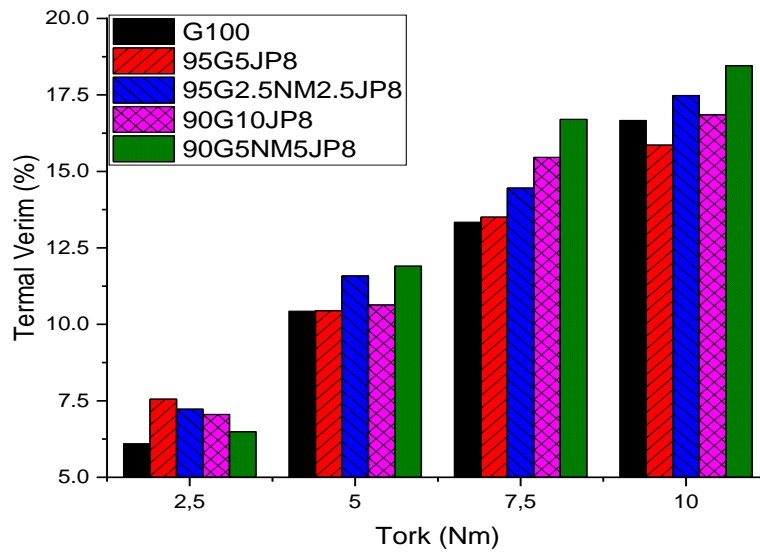


**Grafik 4.15.** Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının Termal verimlilik - Tork değişim grafiği

Grafik 4.15 ve 4.16, farklı yakıt karışımları arasında değişen motor yüklerinde termal verimliliği göstermektedir. Tüm yakıt türleri boyunca, tork arttıkça termal verimlilik artmaktadır. Örneğin, B100 yakıtında, 2,5 Nm’de %6,10’dan 10 Nm’de %16,67’ye kadar bir

verimlilik artışı vardır. Bu artış, tüm yakıt karışımları boyunca tutarlıdır ve bu da motorların genellikle daha yüksek yükler altında daha verimli çalıştığını yansıtmaktadır. Çünkü daha tamamlayıcı yakıt yanması ve optimize edilmiş performans sağlanmaktadır.

Termal verimlilik yanma sonucu üretilen ısı enerjisinin ne kadar miktarının faydalı işe dönüştürüldüğünü ölçmektedir. Grafiğe bakıldığında termal verimliliğin tork arttıkça artış gösterdiği görülmektedir. Torkun en fazla olduğu 7,5 Nm de benzinin 90, Jet A1 ve JP 8 in %5 olduğu yakıt karışımında termal verimlilik en fazladır. 7,5 Nm de en düşük termal verimlilik benzin ve Jet A1 yakıt karışımıdır. Jet A1 bazlı karışımlar özellikle daha yüksek torklarda iyi termal verimliliği vardır. Örneğin, 90B10JetA1 10 Nm’de %18,23’e ulaşarak en yüksek performanslı JP 8 ve nitrometan karışımlarıyla kıyaslanabilmektedir. Daha düşük tork değerinde, Jet A1 yakıt karışımları nispeten yüksek verimlilik değerlerini korumakta, benzine göre güçlü bir alternatif yakıt olma potansiyeli taşımaktadır. B100 (saf benzin), yakıt karışımlarıyla karşılaştırıldığında tutarlı olarak daha düşük termal verimliliğe sahiptir. 10 Nm’de termal verimliliği %16,67 olup, çoğu karışık yakıttan daha düşüktür. Jet A1 karışımları özellikle yüksek torkta rekabetçi verimlilik sunarak onları benzine uygun bir alternatif yakıt haline getirmektedir. B100’ün (saf benzin), genel olarak düşük termal verimliliği vardır ve bu da yakıt karışımlarının motor performansını artırmadaki faydalarını göstermektedir. Veriler, oksijenli ve yüksek enerjili yakıtların termal verimliliği önemli ölçüde artırdığını, özellikle yüksek yüklerde göstermektedir.

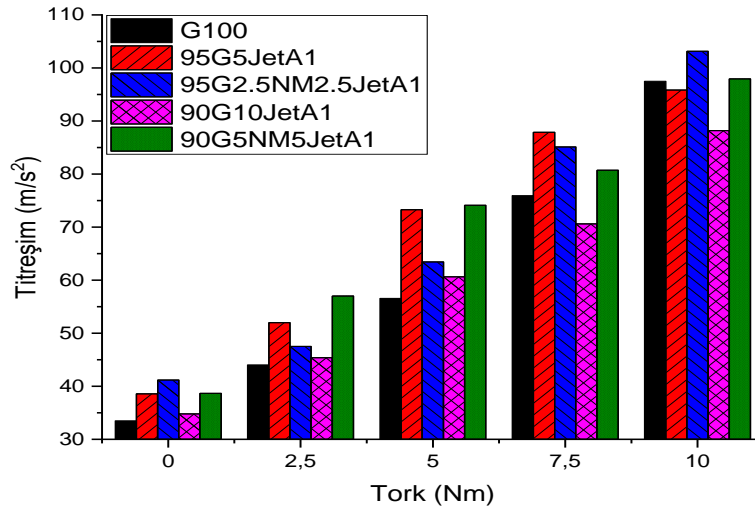


**Grafik 4.16.** Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının termal verimlilik - tork değişim grafiği

Grafik 4.16'ya bakıldığında tork arttıkça termal verimlilik artmıştır. Termal verimlilik en iyi benzinin %90, JP 8'in ve nitrometanın %5 olduğu 7,5 Nm torktadır. Termal verimlilik bu karışımda % 18,46'ye ulaşmışken saf benzin de %16,67'ye ulaşmıştır. JP 8 ve nitrometan içeren yakıt karışımları, saf benzine kıyasla daha yüksek termal verimliliğe sahiptir. Örneğin, 90B5NM5JP8 yakıt karışımı 10 Nm'de %18,46 ile en yüksek verimliliğe sahiptir. B100 yakıtı ise %16,67 oranına sahiptir ve 90B5NM5JP8 yakıt karışımından düşüktür.

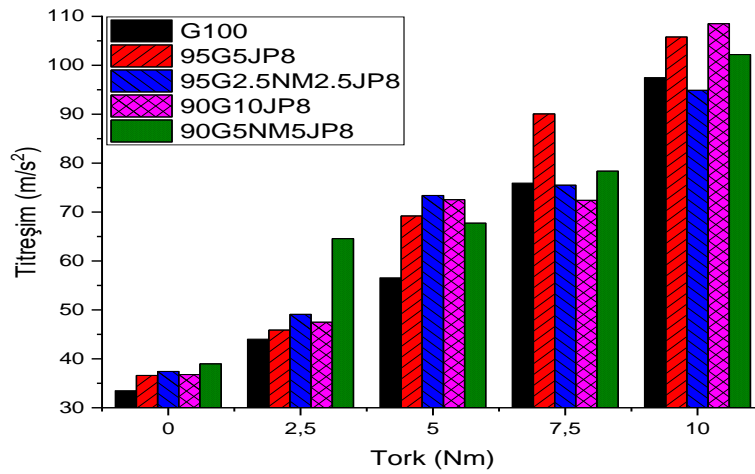
Nitrometan ile zenginleştirilmiş karışımlar, örneğin 95B2,5NM2,5JP8, 10 Nm'de %17,48 ile üstün verimlilik değerlerine ulaşmakta ve bu da nitrometanın yüksek enerji içeriği ve oksijenlendirici etkisi nedeniyle gelişmiş enerji dönüşümünü ve yanma kalitesini yansıtmaktadır. Bu, saf benzinin enerji dönüşümünün, özellikle yüksek yük koşullarında, JP 8, Jet A1 veya nitrometan eklenmiş yakıt karışımlarına kıyasla daha az etkili olduğunu göstermektedir. Nitrometan gibi oksijenli bileşikler ve yüksek enerjili yakıtlar içeren yakıtlar, özellikle daha yüksek yüklerde saf benzini genellikle geride bırakmaktadır. Örneğin Grafik 4.16'da, 90B5NM5JP8 yakıt karışımında termal verimlilik %18,46'ya kadar çıkmaktadır. Termal verimlilik, tüm yakıtlar için torkla birlikte artmakta ve bu, daha yüksek yüklerde daha verimli motor çalışmasını yansıtmaktadır. JP 8 ve nitrometan ile zenginleştirilmiş yakıtlar, özellikle yüksek torkta en yüksek termal verimliliği sağlamaktadır. Bu da yakıtların yanma kalitesini ve enerji dönüşümünü geliştirdiğini göstermektedir (Wiegand vd., 2012).

#### 4.9. Vibrasyon Ölçüm Sonuçları



**Grafik 4.17.** Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının Vibrasyon - Tork değişim grafiği

Grafik 4.17 ve 4.18, farklı yakıt karışımları arasında değişen motor yüklerinde titreşim seviyesini ( $m/s^2$ ) göstermektedir. Tüm yakıt karışımlarında, motor yükü (tork) arttıkça titreşim seviyeleri sürekli olarak artmaktadır. Grafik 4.17’de ki verilere göre Jet A1 bazlı karışımlar, örneğin 95B5JetA1 yakıt karışımı, JP 8 ve nitrometan karışımlarına kıyasla genellikle daha düşük titreşim seviyelerine sahiptir. Bu yakıtlar daha düzgün yanma sağlamakta ve bu da biraz daha düşük titreşimlere neden olmaktadır. Örneğin, 95B5JetA1 yakıt karışımı 10 Nm’de  $95,83 m/s^2$  titreşim üretmekte, bu da JP 8 bazlı yakıt olan 95B5JP8 yakıt karışımı ( $105,8 m/s^2$ ) ile karşılaştırıldığında titreşim değeri daha düşüktür. Düşük motor yüklerinde (örneğin, 0 Nm ve 2,5 Nm), yakıt türleri arasındaki titreşim seviyeleri farkları daha az belirgindir. Örneğin, 0 Nm’de tüm yakıt türleri için titreşim değerleri  $33,49 m/s^2$  ile  $38,98 m/s^2$  arasında değişmekte ve sadece küçük bir varyasyon olmaktadır. Bu, yakıt karışımının yüksek yüklerde titreşimi etkilemede önemli bir rol oynadığını ve bu sırada motorun daha fazla mekanik stres ve yanma aktivitesi yaşadığını göstermektedir. 95B5JetA1 yakıt karışımı ve 95B2,5NM2,5JetA1 yakıt karışımı gibi Jet A1 karışımly yakıtlar, titreşim seviyeleri açısından nispeten iyi performansa sahiptir. Saf benzin yakıtından (B100) daha yüksek titreşim sergilese de, daha uçucu nitrometan ve JP 8 bazlı karışımlardan daha düşük değerlere sahiptirler. Örneğin; 95B2,5NM2,5JetA1 yakıt karışımı 10 Nm’de  $103,14 m/s^2$  gösterir ki bu, benzinden daha yüksek ancak JP 8 bazlı yakıtlardan daha düşük titreşime sahiptir. Motor yükü, titreşim seviyeleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve tüm yakıt türlerinde yük arttıkça titreşim sürekli olarak artmaktadır. JP 8 ve nitrometan bazlı karışımlar özellikle yüksek motor yüklerinde daha yüksek titreşim seviyeleri sergilemektedir. Bu da büyük mekanik stres ve yanma yoğunluğu demektir.



**Grafik 4.18.** Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının Vibrasyon - Tork değişim grafiği

Grafik 4.18’de ki verilere göre tork arttıkça vibrasyon tüm yakıtlarda artmıştır. 10 Nm torkta en yüksek vibrasyon %90 benzin, yüzde 10 JP 8 yakıt karışımındadır. En düşük vibrasyon ise %95 benzin, %2,5 JP 8 ve nitrometan yakıt karışımındadır. Genel olarak tüm torklarda %100 benzin yakıtının vibrasyonu en düşüktür. Grafik 4.18’de B100 (saf benzin) için titreşim 0 Nm’de 33,49 m/s<sup>2</sup>’den 10 Nm’de 97,49 m/s<sup>2</sup>’ye yükselmektedir. Bu eğilim, 0 Nm’de 36,61 m/s<sup>2</sup>’den 10 Nm’de 105,8 m/s<sup>2</sup>’ye yükselen 95B5JP8 gibi diğer tüm yakıt karışımları için de geçerlidir. JP 8 ve nitrometan içeren yakıt karışımları, saf benzine kıyasla daha yüksek titreşim seviyeleri sergileme eğilimindedir. Özellikle yüksek yüklerde daha belirgindir. Örneğin, titreşim 10 Nm’de 95B5JP8 yakıt karışımında 105,8 m/s<sup>2</sup> değerindedir. 90B10JP8 yakıt karışımında 108,5 m/s<sup>2</sup> değerindedir ve her ikisi de aynı yükte 97,49 m/s<sup>2</sup> üreten B100 (saf benzin) yakıtından önemli ölçüde daha yüksektir. Benzer şekilde, 90B5NM5JP8 10 Nm’de 102,2 m/s<sup>2</sup> titreşim değerine sahiptir. Fazla titreşim olması yakıt karışımlarının yüksek enerjili olmasının neden olduğu büyük mekanik stresi göstermektedir.

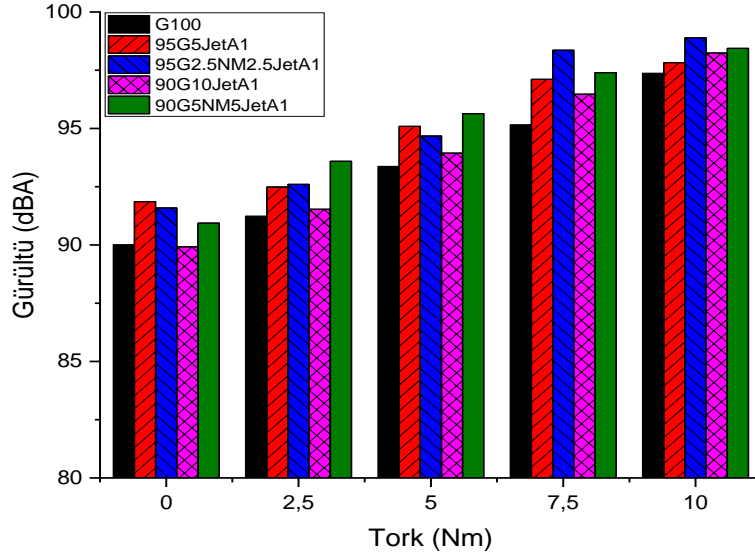
Nitrometan bazlı karışımlar, örneğin 95B2,5NM2,5JP8 ve 90B5NM5JP8 yakıt karışımları, benzin ve etanol bazlı karışımlara kıyasla tüm yük koşullarında sürekli olarak daha yüksek titreşim seviyeleri sergilemektedir. Grafik 4.18’de 95B2,5NM2,5JP8 yakıt karışımı 10 Nm’de 94,89 m/s<sup>2</sup> değerindedir. Aynı yükteki B100’dan daha yüksek değere sahiptir. Bu da, nitrometanın agresif yanma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu da daha yoğun yanma basınçları ve dolayısıyla daha yüksek titreşim seviyeleri yaratabilmektedir.

Tork arttıkça tüm yakıtlarda vibrasyon artmıştır. 10 Nm torkta en düşük vibrasyon %90 benzin, %5 Jet A1 ve %5 JP 8 yakıt karışımındadır. 10 Nm torkta en yüksek vibrasyon ise %95 benzin, %2,5 Jet A1 ve %2,5 nitrometan yakıt karışımındadır. Daha düşük yüklerde, yakıt karışımları arasındaki titreşim farkları az belirginken, daha yüksek yüklerde yakıt bileşiminin etkisi daha belirgin hale gelmektedir. Bu bulgular, JP 8 ve nitrometan içeren yakıt karışımlarının performansı artırabileceğini, ancak aynı zamanda daha yüksek motor titreşimlerine neden olarak motor dayanıklılığı ve gerçek dünya uygulamalarında operasyonel konforu etkileyebileceğini göstermektedir.

#### **4.10. Gürültü Ölçüm Grafiği**

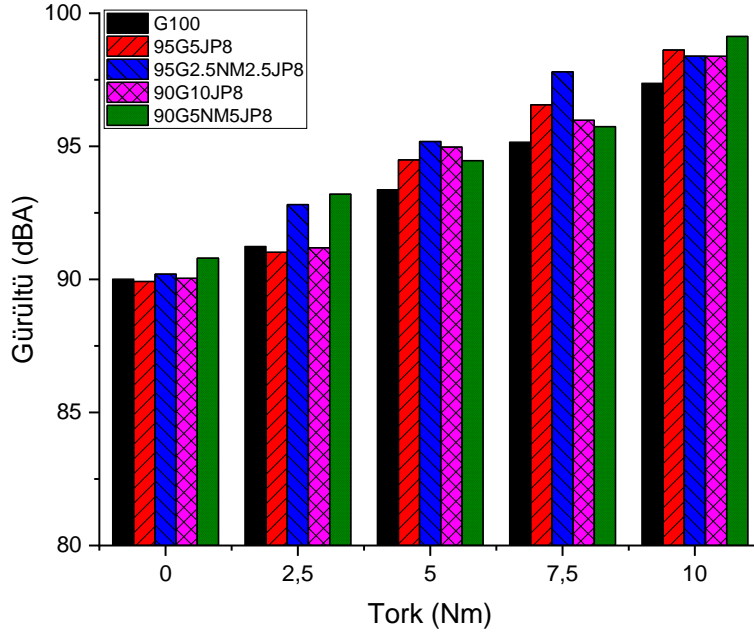
Grafik 4.19 ve 4.20, farklı yakıt karışımları arasında değişen motor yüklerinde gürültü seviyesi ölçümlerini (dBA) göstermektedir. Tüm yakıt karışımları için, motor yükü (tork) arttıkça gürültü seviyeleri artmaktadır. Örneğin, saf benzin (B100) ile gürültü, 0 Nm’de 90,01

dBA'dan 10 Nm'de 97,37 dBA'ya yükselmektedir. Yük arttıkça artan mekanik stres ve yanma yoğunluğunun gürültü artışına katkıda bulunduğunu göstermektedir.



**Grafik 4.19.** Benzin, Jet A1 ve nitrometan yakıt karışımlarının Gürültü - Tork değişim grafiği

JP 8, Jet A1 ve nitrometan gibi alternatif yakıtları içeren karışımlar, özellikle daha yüksek yüklerde, saf benzine kıyasla genel olarak daha yüksek gürültü seviyeleri üretmektedirler. Örneğin grafik 4.20'de ki verilere göre 90B5NM5JP8 yakıt karışımı, 10 Nm'de 99,13 dBA'ya ulaşarak B100'ün(saf benzin) 97,37 dBA'sını geçmektedir. Bu, alternatif yakıtlarla ilişkili daha yoğun yanma veya silindir içi basınçların daha yüksek olmasından kaynaklanabilmektedir. Grafik 4.19'a göre Jet A1 bazlı yakıt karışımları, JP 8 veya nitrometan yakıt karışımlarına kıyasla biraz daha düşük gürültü değerlerine sahiptir ve bu da daha kontrollü yanma özelliklerini göstermektedir. Düşük yüklerde (0 ve 2,5 Nm), yakıt karışımları arasındaki gürültü farkları minimaldir ve değerler 89,92 dBA (95B5JP8) ile 90,94 dBA (90B5NM5JP8) arasında değişmektedir.



**Grafik 4.20.** Benzin, JP 8 ve nitrometan yakıt karışımlarının Gürültü - Tork değişim grafiği

Grafiklere bakıldığında tüm torklarda, yakıtların hepsinde gürültü seviyesi farkları birbirine yakındır. Motor yükü arttıkça bu farklar daha belirgin olmaktadır. Örneğin, 10 Nm’de, JP 8 bazlı karışımlar belirgin şekilde daha yüksek gürültü üretmektedir. 95B2,5N2,5JP8 yakıt karışımı 98,39 dBA gürültü değerine sahiptir, B100 ise 97,37 dBA değerine sahiptir. Karşılaştırıldıklarında saf benzinin gürültü değeri biraz daha düşüktür. Bu eğilim, motor yükü gürültü seviyelerini etkileyen birincil faktörken, yakıt türünün ikincil bir rol oynadığını ve yüksek enerjili yakıtların artan yüklerde gürültü emisyonlarını artırdığını göstermektedir. Bu veriler, alternatif yakıtların motor performansını artırabileceğini, ancak gürültüyü de artırabileceğini ve bu durumun gürültüye duyarlı ortamlarda önemli olabileceğini vurgulamaktadır.

## 5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı benzinli bir motorda saf benzin ve benzin içerisine belirli oranlarda JP 8, Jet A1 ve nitrometan karıştırılmasıyla elde edilen emisyon sonuçları incelenmiştir. Deney motorunda değişiklik yapılmadan 0/ 2,5/ 5/ 7,5 vr 10 Nm yüklerde deneyler yapılmıştır. Referans alınan tork değerleri 0- 2,5-5-7,5-10 Nm'dir.

Bu çalışma, yakıtları teker teker veya daha basit karışımlar halinde inceleyen önceki çalışmalardan farklı olarak, bunların karıştırılarak birleşik etkilerini incelemektedir. Çalışma özgül yakıt tüketimi (FÖYT ve termal verimlilik gibi motor performans ölçümlerini iyileştiren etkileri ortaya çıkarmaktadır.

Özgül yakıt tüketimine genel olarak bakarsak yakıt karışımlarının hepsinde deneyler sonucu azalma görülmüştür. Benzin oranı fazla olan yakıt karışımlarında özgül yakıt tüketiminin arttığını, içeriğine diğer yakıtlar eklendiğinde özgül yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür. FÖYT değerleri, tüm yakıt karışımları boyunca tork arttıkça sürekli olarak azalmış ve bu da motor yükü arttıkça yakıt kullanımının iyileştiğini göstermiştir. 90B5NM5JP8 karışımı, 10 Nm'de 458,17 g/kWh ile en düşük FÖYT değerini göstermiş ve bu da yakıtın verimli enerji dönüşümünü vurgulamıştır. B100 (saf benzin) daha yüksek FÖYT değerlerine sahip olup, tüm torklarda daha fazla yakıt tüketimi göstermektedir. Bu da JP 8 ve nitrometan içeren yakıt karışımlarının, özellikle yüksek yüklerde daha iyi yakıt ekonomisi sağladığını göstermektedir.

CO<sub>2</sub> emisyonunda, benzin içine diğer yakıtlar katıldığında CO<sub>2</sub> emisyon oranının artış gösterdiği deneyler sonucunda görülmüştür. Bu da olumsuz yönde etkilendiğini göstermektedir. CO<sub>2</sub> emisyon değeri, motor yükü arttıkça artan yakıt yanma seviyelerini yansıtarak tork arttıkça yükselmiştir. JP 8 ve Jet A1 yakıt karışımları genel olarak saf benzine kıyasla daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonları üretmiştir, bu da yakıtlardan daha tamamlayıcı yanma ve daha yüksek enerji salımı olduğunu göstermektedir.

CO emisyonunda benzin içine diğer yakıtların katılmasıyla elde edilen sonuçların daha iyi olduğu görülmüştür. B100 (saf benzin) yakıt deneyine göre benzin içine diğer yakıtlar katıldığında yapılan deneyler sonucunda CO emisyonunda düşüş görülmüştür. En iyi sonuç 90B5NM5JetA1 karışimli yakıtta alınmıştır. CO emisyonları, tüm yakıt karışımları için tork arttıkça azalmış ve bu da daha yüksek yüklerde iyileştirilmiş yanmayı göstermiştir. Örneğin, B100 (saf benzin) 10 Nm'de %4,785 CO üretirken, 90B5NM5JP8 karışım yakıtı aynı yük altında %3,026 CO emisyonuna sahiptir ve bu da yakıt karışımlarının daha temiz yanmasını

yansıtmaktadır. Jet A1 ve nitrometan içeren yakıt karışımları, genellikle benzine kıyasla daha düşük CO emisyonlarına sahip olup, özellikle daha yüksek tork ayarlarında daha tamamlayıcı bir yanma sürecini işaret etmektedir.

Egzoz gazı sıcaklığında B100 (saf benzin) yakıtı yakıldığında diğer yakıt karışımlarına göre daha düşük sıcaklıklar elde edilmiştir. Egzoz gaz sıcaklığı, beklendiği gibi tüm yakıtlar için tork arttıkça artmıştır. En yüksek egzoz sıcaklığı, 10 Nm'de 725,5 °C'ye ulaşan 90B5NM5JP8 yakıt karışımı için kaydedilmiştir. Bu da JP 8 ve nitrometan karışımlarının daha yüksek enerji içeriği ve daha yoğun yanmasını göstermektedir. B100 (saf benzin) yakıtı için daha düşük egzoz gaz sıcaklıkları görülmüştür. Bu da yakıt karışımlarının daha tamamlayıcı yanma ve daha yüksek enerji verimliliği sonucunu desteklemektedir.

Hidrokarbon emisyonunda, karışimli yakıtlarda B100 (saf benzin) yakıtına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Hidrokarbon emisyonu karışım yakıtlarda daha düşük çıkmıştır. Özellikle benzinin %90, nitrometan, JP 8 ve Jet A1'in %5 olduğu karışım yakıtlarda HC değerlerine göre daha düşüktür. HC emisyonları, CO emisyonlarına benzer bir eğilim izleyerek tork yükü arttıkça azalmıştır. Saf benzin (B100) 0 Nm'de 1573 ppm ile en yüksek HC emisyonlarını gösterirken, 90B5NM5JP8 gibi yakıt karışımları 10 Nm'de sadece 76 ppm HC emisyonu sergilemiştir. Bu durum, bu yakıt karışımlarının daha tamamlayıcı ve verimli bir yanma süreci sağladığını göstermektedir. JP 8 ve nitrometan karışımlarındaki HC emisyonlarının önemli ölçüde azalması, bu yakıtların yanma sırasında hidrokarbonların daha iyi oksidasyonunu teşvik ettiğini göstermektedir.

NO<sub>x</sub> emisyonunda B100 (saf benzin) yakıtı ile yapılan deney diğer yakıt karışımlarına göre daha iyi sonuç vermiştir. Benzin içine diğer yakıtların katılmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonunda yükseliş meydana gelmiştir. Nitrometan ilavesiyle oluşan yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu, emisyon kontrol stratejileri gerektirmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonları, tork yükü arttıkça önemli ölçüde artmıştır. Örneğin, 90B5NM5JP8, yüksek yük koşullarında nitrometan ve JP 8'in agresif yanmasını yansıtarak 10 Nm'de 2000 ppm ile en yüksek NO<sub>x</sub> emisyonlarına sahiptir. Saf benzin (B100), tüm tork seviyelerinde daha düşük NO<sub>x</sub> emisyonları üretmiştir. Bu da, saf benzinin daha düşük yanma sıcaklıkları nedeniyle daha az NO<sub>x</sub> oluşumuna neden olduğunu düşündürmektedir.

Oksijen emisyon oranında genel olarak B100 (saf benzin) yakıtı ve diğer yakıt karışımlarında deney sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Nitrometan olan yakıt karışımlarında oksijen oranı nitrometanın içeriğinde bulunan oksijenden dolayı biraz yüksek çıkmıştır.

Termal verimlilikte benzin içine diğer yakıtların katılmasıyla oluşan yanmada B100 (saf benzin) yakıtına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. B100 (saf benzin) yakıtı ile olan yakıtın yanma sonucu oluşan termal verimliliği diğer yakıt karışımlarına göre daha düşüktür. Bu karışımlar termal verimliliği artırmıştır fakat zararlı gaz emisyonlarını azaltmıştır. Yüksek tork seviyelerinde, tüm yakıt karışımları için termal verimlilik artmaktadır. 10 Nm'lik en yüksek tork ayarında, JP 8 ve nitrometan içeren yakıtlar en iyi performansı göstermiştir. 90B5NM5JP8, %18,46 ile en yüksek termal verimliliği sergilerken, bunu yakından takip eden 90B10JetA1 ve 95B2,5NM2,5JetA1 olmuştur. Saf benzin (B100) en düşük termal verimliliği göstermiştir. Özellikle daha yüksek yük koşullarında 10 Nm'de %16,67'ye ulaşmıştır. Benzinin tek başına test edilen yakıt karışımlarına kıyasla daha az verimli olduğu görülmüştür.

Vibrasyon ölçüm sonuçlarında B100 (saf benzin) ile yapılan deney sonucunda vibrasyon daha düşük çıkmıştır. JP 8-benzin karışımı yakıtta Jet A1-benzin karışımı yakıtı göre daha yüksek vibrasyon ölçüm sonucu elde edilmiştir. Titreşim seviyeleri, tüm yakıt karışımları için tork arttıkça artmıştır. 90B5NM5JP8 yakıt karışımı, 10 Nm'de 108.5 m/s<sup>2</sup> ile en yüksek titreşim seviyesine sahiptir. Bu, JP 8 ve nitrometan karışımlarının yüksek enerjili yanma özellikleriyle tutarlıdır. Saf benzin (B100), tüm tork ayarlarında daha düşük titreşim seviyeleri sergilemiş ve bu da karışık yakıtlara kıyasla daha düzgün bir yanma sürecine işaret etmektedir.

Gürültü ölçüm sonuçlarında genel olarak bütün yakıt ve karışımlarında deney sonuçları birbirine yakın değerlerde olup yüksek değerler çıkmaktadır. Gürültü seviyeleri, genellikle daha yüksek torkla birlikte artmış ve 90B5NM5JP8, 10 Nm'de 99,13 dBA ile en yüksek gürültü seviyesine ulaşmıştır. Bu durum, JP 8 ve nitrometan karışımlarının daha yüksek enerji salınımı ve daha agresif yanmasıyla açıklanabilmektedir. Saf benzin, daha düşük gürültü seviyeleri üretmiş ve bu da yakıt karışımlarına kıyasla daha az agresif yanma sürecine işaret etmiştir.

JP 8, nitrometan karışımları daha yüksek torkta verimliliği ve yakıt ekonomisini artırmaktadır. JP 8, Jet A1 ve nitrometan karışımlarında CO ve HC emisyonlarında azalış, CO<sub>2</sub> de artış meydana gelmiştir.

Bu bulgular şunu göstermektedir ki:

Bu çalışma; Jet A1, JP 8 ve nitrometan içeren benzin karışımlarının özellikle yüksek tork koşullarında termal verimliliği ve özgül yakıt tüketimini artıracak ve NO<sub>x</sub> emisyon kontrolünde zorluklar olabileceğini göstermektedir. Bu yakıt karışımlarının yüksek performanslı uygulamalar için umut vaat ettiği, fakat daha fazla çalışmanın gerekli olduğu

görülmektedir. Bu çalışmanın bulguları, alternatif yakıt karışımlarının motor performansını ve yanma verimliliğini artırabileceğini, ancak aynı zamanda motor titreşimleri ve gürültü seviyelerini de artırabileceğini göstermektedir. Özellikle JP 8 ve nitrometan içeren karışımlar, daha yüksek termal verimlilik ve daha düşük oksijen emisyonları sergilemekle birlikte, daha yüksek yanma sıcaklıkları ve mekanik stresler nedeniyle artan NO<sub>x</sub> emisyonlarına ve titreşim seviyelerine neden olmaktadır. Jet A1 bazlı yakıt karışımları ise daha kontrollü yanma özellikleriyle öne çıkmakta ve nispeten daha düşük titreşim ve gürültü seviyeleri sunmaktadır.

Alternatif yakıt karışımları, motor performansını ve verimliliğini artırmak için potansiyel sunmaktadır, ancak bu iyileştirmeler, motor dayanıklılığı ve operasyonel konfor açısından bazı yan etkilerle birlikte gelmektedir. Bu nedenle, bu yakıt karışımlarının optimize edilmesi ve belirli kullanım senaryolarına göre değerlendirilmesi önemlidir. Çalışmada, JP 8 ve nitrometan karışımlarının motor performansını ve verimliliğini önemli ölçüde iyileştirdiği sonucuna varılmaktadır. Ancak daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonlarına neden olmaktadır.

DeneySEL verilerin analizi, değişen yük koşulları altında bir benzin motorunda test edilen çeşitli yakıt karışımlarının performans ve emisyon özellikleriyle ilgili birkaç önemli sonuç ortaya koymaktadır:

1. Yanma Verimliliği: JP 8 ve nitrometan içeren karışımlar, daha yüksek termal verimlilik sergilemekte ve bu, özellikle yüksek yüklerde yanma kalitesinin ve enerji dönüşümünün arttığını göstermektedir.

2. O<sub>2</sub> Emisyonları: Tüm yakıt karışımları için motor torku arttıkça O<sub>2</sub> emisyonları azalmaktadır. Nitrometan içeren karışımlar, daha düşük oksijen emisyonları göstererek daha tamamlayıcı yanmayı teşvik etmektedir.

3. NO<sub>x</sub> Emisyonları: JP 8, Jet A1 ve nitrometan içeren alternatif yakıt karışımları, özellikle yüksek tork seviyelerinde saf benzine kıyasla daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları üretmektedir.

4. Titreşim Seviyeleri: JP 8 ve nitrometan içeren yakıt karışımları, daha yüksek mekanik stresler ve yanma basınçları nedeniyle saf benzine kıyasla daha yüksek titreşim seviyeleri sergilemektedir.

5. Gürültü Seviyeleri: Tüm yakıt karışımları için motor yükü arttıkça gürültü seviyeleri artmaktadır. JP 8, Jet A1 ve nitrometan içeren karışımlar, özellikle yüksek yüklerde daha yüksek gürültü seviyeleri üretmektedir.

6. Jet A1 Karışımları: Jet A1 bazlı karışımlar, daha kontrollü yanma özellikleriyle öne çıkmakta ve nispeten daha düşük titreşim ve gürültü seviyeleri sunmaktadır.

Bu sonuçlar, alternatif yakıt karışımlarının motor performansını ve verimliliğini artırma potansiyeline sahip olduğunu, ancak bu iyileştirmelerin motor dayanıklılığı ve operasyonel konfor üzerinde bazı olumsuz etkiler yaratabileceğini göstermektedir.

Çalışmadan elde ettiğimiz veriler JP 8, Jet A1 ve nitrometan içeren yakıt karışımlarının, saf benzine kıyasla termal verimlilik ve yakıt tüketimi açısından önemli iyileştirmeler sağladığını açıkça göstermektedir. Ancak, bu karışımlar aynı zamanda daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonları, egzoz sıcaklıkları ve titreşim seviyeleri üretmektedirler. Nitrometan ve JP 8 bazlı yakıt karışımlar, özellikle yüksek yük koşullarında motor performansını artırma potansiyeli göstermekte, ancak emisyonlar üzerindeki etkileri dikkatle yönetilmelidir.

## KAYNAKÇA

**Adaramola, M. S., & Vagnes, E. E.** (2015). Preliminary Assessment of a Small-Scale Rooftop Pv-Grid Tied in Norwegian Climatic Conditions. *Energy Conversion and Management*, 458-465.

**Çelebi S, Demir Ü, Ergen G.** (2022). *Experimental Investigation of the Effect of Nitromethane Addition to Gasoline Fuel on A Single-Cylinder Spark-Ignition Engine Performance and Emissions.* Int J Automot Sci Technol;6:226–32.

**Çelebi, S.** (2012). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü *Nitrometanın İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması* Yüksek Lisans Tezi, Temmuz.

**Çevik İ, Çelebi S, Çevik İ,** (2013). Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü Sakarya S. *Benzin nitrometan karışımlarının özgül yakıt sarfiyatı ve emisyonlara etkisinin incelenmesi.* Sak Univ J Sci 2013;17:271–6.

**Çolak, A.** (2006). *Buji ateşlemeli motorlarda farklı sıkıştırma oranlarında etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

**De Giorgi MG, Ciccarella G, Ficarella A, Fontanarosa D, Pescini E.** (2019). Effect of jet-A1 emulsified fuel on aero-engine performance and emissions. AIP Conf Proc 2019;2191.

**G, Yamik H, Calam A, Solmaz H, İçi ngür Y, Üniversitesi G, et al.**(2014). *Havacılık Yakıtı Jp-8 Ve Dizel Karışımlarının Tek Silindirli Bir Dizel Motorunda Performans Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi.* J Fac Eng Archit Gazi Univ;28:787–93.

**Gültekin E, Calam A, Şahin M.** (2023).*Experimental investigation of trimethyl borate as a fuel additive for a SI engine.* Energy Sources, Part A Recover Util Environ Eff 2023;45:419–33.

**Jing L, El-Houjeiri HM, Monfort JC, Littlefield J, Al-Qahtani A, Dixit Y, et al.** (2022). *Understanding variability in petroleum jet fuel life cycle greenhouse gas emissions to inform aviation decarbonization.* Nat Commun 2022 131 2022;13:1–10.

- Kumar C, Rana KB, Tripathi B.** (2019). *Effect of diesel-methanol-nitromethane blends combustion on VCR stationary CI engine performance and exhaust emissions.* Environ Sci Pollut Res;26:6517–31.
- Labeckas G, Slavinskas S, Vilutienė V.** (2015). *The effect of aviation fuel JP-8 and diesel fuel blends on engine performance and exhaust emissions.* J KONES;Vol. 22, No. 2:129–38.
- Lee J, & Bae C.** (2011). *Application of JP-8 in a heavy duty diesel engine.* Fuel ;90:1762– 70.
- Manigandan S, Atabani AE, Ponnusamy VK, Gunasekar P.** (2020). *Impact of additives in Jet- A fuel blends on combustion, emission and exergetic analysis using a micro-gas turbine engine.* Fuel ;276:118104.
- Özer S.** (2021). *Effects of alternative fuel use in a vehicle with TSI (turbocharged direct960 injection spark-ignition) engine technology.* Int J Green Energy 2021;18:1309–19.
- Özer, S.** (2014). *Alkollerin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 19, Sayı 1.*
- Raviteja S, Ramakrishna PA, Ramesh A.** (2020). *Effect of nitromethane addition on the performance of two-stroke spark ignition unmanned aerial vehicles piston engine.* J Eng Gas Turbines Power;142.
- Solmaz H, Yamik H, Uyumaz A, Polat S, Yilmaz E.** (2016). *Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Dizel Ve Jet-A1 Yakıt Karışımlarının Yanma, Motor Performansı Ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri Üzerine Deneysel Bir Çalışma.* J Therm Sci Technol;36:51–60.
- Song Z, Li Z, Liu Z.** (2024). *Comparison of Emission Properties of Sustainable Aviation Fuels and Conventional Aviation Fuels: A Review.* Appl Sci 2024, Vol 14, Page 5484 2024;14:5484.
- Świątek P, Fuć P, Ziolkowski A, Świątek L, Melwinski P.** (2019). *Tests of a prototype spark-ignited, direct-injection engine powered by JET-A1 fuel.* Combust Engines 2019;178:117–20.
- Wiegand AL, &Wiegand, L. A.** (2012). *Conversion of a micro, glow-ignition, two-stroke engine from nitromethane-methanol blend fuel to military jet propellant (JP-8).* PhD.

**Xue X, Lin Y, Zhang C, Tian Y, Sung CJ.** (2014). *Experimental Study on NO<sub>x</sub> and CO Emissions of Aviation Kerosene and Coal-to-Liquid Synthetic Aviation Fuel in a Jet Stirred Combustion Reactor*. Proc ASME Turbo Expo;4B.

**Yang Y, Xue X, Hui X, Tan Y, Wei W, Liu C, et al.** (2022). *Emission Characteristics of Aviation Kerosene Combustion Under Near-Critical and Supercritical Fuel Injections*. Proc ASME Turbo Expo;3-B.

**Yu W, Zong Y, Lin Q, Tay K, Zhao F, Yang W, et al.**(2019). Experimental study on engine combustion and particle size distributions fueled with Jet A-1. Fuel 263:116747.