



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**METANOL-BENZİN KARIŞIMLARI  
KULLANILAN BİR BENZİN MOTORUNDA  
SIKIŞTIRMA ORANININ PERFORMANS VE  
EMİSYONLARA ETKİSİ**

---

---

**MUSTAFA TEMÜR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı  
Makine Eğitimi Programı

**DANIŞMAN**  
Doç. Dr. Cenk SAYIN

**İSTANBUL, 2013**

---

---



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**METANOL-BENZİN KARIŞIMLARI  
KULLANILAN BİR BENZİN MOTORUNDA  
SIKIŞTIRMA ORANININ PERFORMANS VE  
EMİSYONLARA ETKİSİ**

---

---

**MUSTAFA TEMÜR**

(522410006)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Makine Eğitimi Anabilim Dalı  
Makine Eğitimi Programı

**DANIŞMAN**

Doç. Dr. Cenk SAYIN

**İSTANBUL, 2013**

---

---

## **ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR**

Günümüzde, motorlu taşıt sayılarının artması, bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu artış petrol rezervlerinin hızla tükenmesi ve egzoz emisyonlarının çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle taşıtların ihtiyacı olan enerjiyi sağlamak için günümüzde alternatif yakıtlar önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, farklı sıkıştırma oranlarında metanol-benzin karışımlı yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmanın yapılmasında emeği geçen tüm herkese, özellikle tez çalışmamın her aşamasında hiçbir yardımını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Cenk Sayın hocama teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışmamda değerli katkıları olan Marmara Üniversitesi araştırma görevlisi İlker Turgut Yılmaz'a ve yapılan deneylerde yardımını esirgemeyen araştırma görevlileri Abdurrahman Demirci ve Sadık Kaşifoğlu'na ve son olarak hayatım boyunca beni destekleyen aileme teşekkür ederim.

**Aralık, 2013**

**Mustafa TEMÜR**

# İÇİNDEKİLER

	<b>SAYFA</b>
<b>ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR</b>	<b>i</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>ii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>SEMBOLLER</b>	<b>vi</b>
<b>KISALTMALAR</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>ix</b>
<b>TABLolar</b>	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın amacı	2
1.3. Genel bilgiler	3
1.3.1. Metanol üretimi	3
1.3.2. Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri	5
1.3.3. Metanolün insan sağlığı ve çevre üzerine etkisi	9
1.3.4. Metanolün buji ateşlemeli motorlarda kullanımı	9
1.3.5. Alkol yakıtların Türkiye'deki kullanım süreci	11
1.4. Sıkıştırma Oranı	12
1.4.1. Sıkıştırma oranı değiştirme yöntemleri	14
1.5. Günümüze kadar yapılan çalışmalar	15
<b>2. MATERYAL ve YÖNTEM</b>	<b>21</b>
2.1. Deney donanımı	21
2.1.1. Deney motoru	23
2.1.2. Deney yakıtları	24
2.1.3. Dinamometre ve yük kontrol sistemi	25
2.1.4. Yakıt tüketimi ölçüm sistemi	26
2.1.5. Egzoz gaz analiz cihazı	26
2.1.6. Sıkıştırma oranının değişken hale dönüştürülmesi	27
2.2. Deneyin yapılışı	28

2.3. Deney verilerinin analizinde kullanılan hesaplama yöntemleri	28
2.3.1. Ortalama efektif basınç	28
2.3.2. Özgül yakıt tüketimi	29
2.3.3. Efektif verim	29
2.3.4. Özgül enerji tüketimi	30
2.3.5. Hava tüketimi	30
<b>3. BULGULAR ve TARTIŞMA</b>	<b>33</b>
3.1. Özgül yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması	33
3.2. Efektif verimlerin karşılaştırılması	37
3.3. NO <sub>x</sub> emisyonlarının karşılaştırılması	41
3.4. HC emisyonlarının karşılaştırılması	44
3.5. CO <sub>2</sub> emisyonlarının karşılaştırılması	48
3.6. CO emisyonlarının karşılaştırılması	51
3.7. EGS'nin karşılaştırılması	54
<b>4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>60</b>
<b>EKLER</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ÖZET

### METANOL-BENZİN KARIŞIMLARI KULLANILAN BİR BENZİN MOTORUNDA SIKIŞTIRMA ORANININ PERFORMANS ve EMİSYONLARA ETKİSİ

İçten yanmalı motorlarda yakıt tüketimi, hava kirliliği ve çevre koşulları açısından benzine alternatif oluşturabilecek yeni ve yenilebilir enerji kaynakların önemi oldukça artmaktadır.

Bu çalışmada, üç farklı sıkıştırma oranında (7/1, 8/1 ve 9/1) benzin ve metanol-benzin (M5, M10, M20 ve M50) karışımlarının, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel olarak, dört zamanlı, tek silindri, buji ile ateşlemeli bir motorda ve motor dinamometresi kullanılarak 10 Nm ve 20 Nm motor yükünde ve 2000 d/d'da sabit hızda yapılmıştır.

Deneysel sonuçlarında, karışımdaki metanol oranının artmasıyla özgül yakıt tüketimi artarken, efektif verim, NO<sub>x</sub>, HC, CO<sub>2</sub> ve CO emisyonları azalmaktadır. Sıkıştırma oranının artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi ve HC emisyonları azalırken, efektif verim, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> ve CO emisyonları artmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Metanol, Benzin, Sıkıştırma Oranı, Motor Performansı, Egzoz Emisyon

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF COMPRESSION RATIO ON PERFORMANCE AND EMISSIONS IN A GASOLINE ENGINE IN WHICH METHANOL-GASOLINE MIXTURES ARE USED**

In internal combustion engines, the importance of new and renewable energy resources which may be an alternative to gasoline in terms of fuel consumption, air pollution and environmental conditions notably increases.

In this study, the effect of gasoline and methanol-gasoline (M5, M10, M20 and M50) mixtures on the engine performance and exhaust emissions has been experimentally examined at three different compression ratios (7/1, 8/1 and 9/1). The experiments have been performed on a four-stroke, single cylinder and spark plug ignition engine by using engine dynamometer at 10 Nm and 20 Nm engine load and at 2000 rev/min constant speed.

In consequence of experiments, effective output, NO<sub>x</sub>, HC, CO<sub>2</sub> and CO emissions decrease while specific fuel consumption increases with the increase of methanol ratio in the mixture. Effective output, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> and CO emissions have increased while specific fuel consumption and HC emissions have decreased depending on the increase of compression ratio.

**Keywords:** Methanol, Gasoline, Compression Ratio, Engine Performance, Exhaust Emissions

## SEMBOLLER

<b><i>C</i></b>	: Karbon
<b><i>c<sub>d</sub></i></b>	: Deşarj katsayısı
<b><i>CU</i></b>	: Bakır
<b><i>CO</i></b>	: Karbonmonoksit (%)
<b><i>CO<sub>2</sub></i></b>	: Karbondioksit (%)
<b><i>d</i></b>	: Orifis plaka çapı (m)
<b><i>F</i></b>	: Dinamometre gövdesi yük değeri (kg)
<b><i>g</i></b>	: Yerçekimi ivmesi (m/s <sup>2</sup> )
<b><i>HC</i></b>	: Hidrokarbon (ppm)
<b><i>H<sub>u</sub></i></b>	: Yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg)
<b><i>H<sub>2</sub></i></b>	: Hidrojen
<b><i>H<sub>2</sub>O</i></b>	: Su
<b><i>k</i></b>	: Özgül ısı oranı
<b><i>L<sub>kol</sub></i></b>	: Moment kol uzunluğu (m)
<b><i>M<sub>e</sub></i></b>	: Efektif motor momenti (Nm)
<b><i>m<sub>hava</sub></i></b>	: Kütleli hava debisi (kg/s)
<b><i>m<sub>yakıt</sub></i></b>	: Yakıt kütlesi (kg)
<b><i>m<sub>y</sub></i></b>	: Kütleli yakıt debisi (kg/m <sup>3</sup> )
<b><i>n</i></b>	: Motor hızı (d/d)
<b><i>N</i></b>	: Azot
<b><i>N<sub>e</sub></i></b>	: Efektif güç (kW)
<b><i>n<sub>max</sub></i></b>	: Maksimum motor hızı (d/d)
<b><i>NO<sub>x</sub></i></b>	: Azot oksit (ppm)
<b><i>P</i></b>	: Basınç (bar)
<b><i>T</i></b>	: Sıcaklık (K)
<b><i>V<sub>c</sub></i></b>	: Yanma odası hacmi (m <sup>3</sup> )
<b><i>V<sub>h</sub></i></b>	: Silindir kurs hacmi (m <sup>3</sup> )
<b><i>Q<sub>max</sub></i></b>	: Maksimum hacimsel hava tüketimi (m <sup>3</sup> /s)
<b><i>ω</i></b>	: Açısal hız (rad/s)

## SEMBOLLER (Devamı)

- $\rho_{hava}$  : Havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )  
 $\rho_{sivi}$  : Eğik manometre sıvı yoğunluğu ( $kg/m^3$ )  
 $\lambda$  : Hava fazlalık katsayısı  
 $\Delta_h$  : Yataya dik olan yükseklik (m)  
 $\Delta_l$  : Eğik manometre sıvı yükselme miktarı ( $mmH_2O$ )  
 $\Delta_t$  : Yakıt tüketilme süresi (h)  
 $\Phi$  : Eşdeğerlik oranı  
 $\theta$  : Manometre eğiklik açısı  
 $\eta$  : Efektif verim (%)

## KISALTMALAR

<b>AA</b>	: Ateşleme Avansı
<b>AOS</b>	: Araştırma Oktan Sayısı
<b>AÖN</b>	: Alt Ölü Nokta
<b>AÖNS</b>	: Alt Ölü Noktadan Sonra
<b>BAM</b>	: Buji Ateşlemeli Motor
<b>BTE</b>	: Fren Termik Verim
<b>EGS</b>	: Egzoz Gazı Sıcaklığı
<b>H/Y</b>	: Hava/Yakıt oranı
<b>ID</b>	: Isı Dağılımı (J/KA)
<b>ISV</b>	: Isıl Verim (%)
<b>İYM</b>	: İçten Yanmalı Motorlar
<b>MOS</b>	: Motor Oktan Sayısı
<b>NŞA</b>	: Normal Şartlar Altında
<b>OEB</b>	: Ortalama Efektif Basınç (kPa)
<b>ÖET</b>	: Özgül Enerji Tüketimi ( $kJ/kWh \cdot 10^3$ )
<b>OS</b>	: Oktan Sayısı
<b>PPM</b>	: Milyonda bir birim
<b>SGB</b>	: Silindir Gaz Basıncı (kPa)
<b>SO</b>	: Sıkıştırma Oranı
<b>ÜÖN</b>	: Üst Ölü Nokta
<b>WOC</b>	: Organik bileşikler
<b>Y/H</b>	: Yakıt/Hava oranı
<b>YV</b>	: Yanma Verimi (%)

## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>SAYFA</b>
Şekil 1.1. Biyokütleden metanol üretim prosesinin şematik görünümü	4
Şekil 1.2. Volumetrik verimin incelenmesi	8
Şekil 1.3. Tam yükte motor momentinin devir sayısı ile olan değişimi	11
Şekil 1.4. SO'nun motor gücüne ve özgül yakıt tüketimi (ÖYT)'ye etkisi	12
Şekil 1.5. Çeşitli eşdeğerlik oranlarında ISV'nin SO'ya bağlı değişimi	13
Şekil 1.6. Sıkıştırma oranı değiştirme yöntemleri	15
Şekil 2.1. Deney donanımının şematik görünümü	22
Şekil 2.2. Deney donanımının genel görünümü	23
Şekil 2.3. Deney motoru	24
Şekil 2.4. Motor dinamometresi ve yük kontrol sistemi	25
Şekil 2.5. Yakıt tüketim ölçüm sistemi	26
Şekil 2.6. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı	27
Şekil 2.7. Silindir kapağı ve motor bloğunun genel görünümü	28
Şekil 2.8. Hava tüketimi ölçüm sisteminin şematik görünümü	30
Şekil 3.1. 7/1 SO'da ÖYT'nin Motor Yüğü ile Değişimi	34
Şekil 3.2. 8/1 SO'da ÖYT'nin Motor Yüğü ile Değişimi	34
Şekil 3.3. 9/1 SO'da ÖYT'nin Motor Yüğü ile Değişimi	35
Şekil 3.4. 10 Nm'de ÖYT'nin SO ile Değişimi	36
Şekil 3.5. 20 Nm'de ÖYT'nin SO ile Değişimi	37
Şekil 3.6. 7/1 SO'da $\eta$ 'nin Motor Yüğü ile Değişimi	38
Şekil 3.7. 8/1 SO'da $\eta$ 'nin Motor Yüğü ile Değişimi	38
Şekil 3.8. 9/1 SO'da $\eta$ 'nin Motor Yüğü ile Değişimi	39
Şekil 3.9. 10 Nm'de $\eta$ 'nin SO ile Değişimi	40
Şekil 3.10. 20 Nm'de $\eta$ 'nin SO ile Değişimi	40
Şekil 3.11. 7/1 SO'da $\text{NO}_x$ 'in Motor Yüğü ile Değişimi	41
Şekil 3.12. 8/1 SO'da $\text{NO}_x$ 'in Motor Yüğü ile Değişimi	42
Şekil 3.13. 9/1 SO'da $\text{NO}_x$ 'in Motor Yüğü ile Değişimi	42
Şekil 3.14. 10 Nm'de $\text{NO}_x$ 'in SO ile Değişimi	43
Şekil 3.15. 20 Nm'de $\text{NO}_x$ 'in SO ile Değişimi	44

## ŞEKİL LİSTESİ (Devamı)

Şekil 3.16. 7/1 SO'da HC'nin Motor Yüğü ile Değişimi	45
Şekil 3.17. 8/1 SO'da HC'nin Motor Yüğü ile Değişimi	45
Şekil 3.18. 9/1 SO'da HC'nin Motor Yüğü ile Değişimi	46
Şekil 3.19. 10 Nm'de HC'nin SO ile Değişimi	47
Şekil 3.20. 20 Nm'de HC'nin SO ile Değişimi	47
Şekil 3.21. 7/1 SO'da CO <sub>2</sub> 'nin Motor Yüğü ile Değişimi	48
Şekil 3.22. 8/1 SO'da CO <sub>2</sub> 'nin Motor Yüğü ile Değişimi	49
Şekil 3.23. 9/1 SO'da CO <sub>2</sub> 'nin Motor Yüğü ile Değişimi	49
Şekil 3.24. 10 Nm'de CO <sub>2</sub> 'nin SO ile Değişimi	50
Şekil 3.25. 20 Nm'de CO <sub>2</sub> 'nin SO ile Değişimi	50
Şekil 3.26. 7/1 SO'da CO'nun Motor Yüğü ile Değişimi	51
Şekil 3.27. 8/1 SO'da CO'nun Motor Yüğü ile Değişimi	52
Şekil 3.28. 9/1 SO'da CO'nun Motor Yüğü ile Değişimi	52
Şekil 3.29. 10 Nm'de CO'nun SO ile Değişimi	53
Şekil 3.30. 20 Nm'de CO'nun SO ile Değişimi	54
Şekil 3.31. 7/1 SO'da EGS'nin Motor Yüğü ile Değişimi	55
Şekil 3.32. 8/1 SO'da EGS'nin Motor Yüğü ile Değişimi	55
Şekil 3.33. 9/1 SO'da EGS'nin Motor Yüğü ile Değişimi	56
Şekil 3.34. 10 Nm'de EGS'nin SO ile Değişimi	56
Şekil 3.35. 20 Nm'de EGS'nin SO ile Değişimi	57

## **TABLolar**

	<b>SAYFA</b>
<b>Tablo 1.1.</b> Benzin ve metanolün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	5
<b>Tablo 2.1.</b> Deney motoruna ait teknik özellikler	25
<b>Tablo 2.2.</b> Deney yakıtların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	26
<b>Tablo 2.3.</b> Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri	28

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Giriş

Dünyada sanayileşme ve artan nüfus nedeniyle enerji ihtiyacı günden güne artmaktadır. Bunun sonucunda da tüm dünyada enerji açığı ortaya çıkmaktadır. Sanayileşmiş ve sanayileşmekte olan ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yeni enerji kaynaklarına yönelmektedir. Yeni ve yenilebilir enerji kaynaklarının geliştirilmek istenmesinin bir başka sebebi de, dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin tükeniyor olmasıdır. Üretilen petrol ve doğal gaz rezervlerinin azalması, insanlığın geleceği açısından düşündürücüdür [1].

Günümüzde kullanılan motorlu taşıtların egzoz gazlarının sebep olduğu hava kirliliğinin, önlemler alınmasını gerektiren bir çevre sorunu haline gelmesi, kullanılan enerji kaynaklarının ekonomik kriz sebebiyle ekonomik özelliklerini yitirmesi ve bu kaynakların zamanla tükenecek olması bilim adamlarını bu enerji kaynaklarının yerine alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya yöneltmiştir. İçten yanmalı motorlarda (İYM)'de kullanılan yakıtın kolayca buharlaşabilmesi, birim hacminden yüksek enerji sağlanabilmesi ve dünyanın her yerinde kolay bulunabilmesi istenir. Araştırmacılar, motorlar üzerinde yaptıkları çalışmalarda, yüksek verimli ve çevreci motorların geliştirilmesini hedeflemiştir. Fosil kökenli yakıtlar, yakıtın özelliklerinden dolayı motor performansını sınırlayıcı nedenler, yenilebilir alternatif yakıtların araştırılmasını zorunlu duruma getirmiştir. 1976 yılından beri etanol ve metanol gibi alkol kökenli yakıtların İYM'de kullanılması ile ilgili çalışmalar artarak devam etmektedir.

Alkol yakıtlar bitkisel kökenlidir. Üretilmesi fiziksel ve kimyasal işlemler sonucu oluşur. Ülkemizde tarımsal alanları göz önünde bulundurursak, bitkisel kökenli yakıt üretimi de buna paralel olarak önem kazanmaktadır. Bununla beraber, ülkemizde de kimyasal olarak, etanol ve metanol üretimi de yapılmaktadır.

İYM'de kullanılabilecek yakıtların ekonomik olması, üretim kaynaklarının çeşitli ve fazla olması, ısıl değerlerinin yüksek olması, kolayca depolanması ve taşınması, yüksek sıkıştırma oranlarında (SO) çalışmaya imkan vermesi ve en düşük seviyede egzoz emisyonu üretmesi beklenir [2-3]. Alkol yakıtlarından biri olan metanol, bitkisel kaynaklardan sentez gazı yöntemi ile kömür, doğalgaz gibi maddelerden üretilmektedir.

Alkol yakıtlar Buji Ateşlemeli Motorlar (BAM)'da yakıt olarak kullanıldıklarında benzine oranla bazı avantajlar sağlamaktadır. Metanolün vuruntu direnci benzine göre daha yüksektir. SO'nun fazlalaştırılmasıyla efektif verim ( $\eta$ ) iyileştirilebilir [4-5]. Metanol BAM'da saf olarak veya benzin ile karıştırılarak kullanılabilir. Saf olarak kullanılırsa, motor ve yakıt sisteminde bazı değişiklikler yapmak gerekirken, karışım olarak kullanıldığında herhangi bir değişiklik yapmaya gerek olmadan kullanılabilir. Bu iki yöntemde de performans ve emisyonlarda gözle görülür iyileşmeler olmaktadır [6-7].

## 1.2. Çalışmanın amacı

İhracat gelirlerinin büyük bir çoğunluğunun petrol için kullanıldığı ülkemizde, petrole alternatif yakıt olabilecek, motor yakıtlarına önem verilmesine ihtiyaç vardır. Ülkemizin tarım alanında gelişmiş olması, metanolün yenilebilir enerji kaynaklarından elde edilebilmesi sebebiyle önemli hale gelmiştir. Bu sebeple, motor üzerinde çok fazla değişiklikler yapılmadan yenilebilir alternatif yakıtların uygulanmasının, performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesi düşüncesi, bu çalışmanın esas amacını teşkil etmektedir.

Öte taraftan, İYM'de, performans ve emisyonlara etki eden farklı işletme ve yapısal parametrelerin üzerine araştırmalar yoğun bir şekilde incelenmektedir. Ateşleme avansı (AA), püskürtme avansı, püskürtme basıncı, hava/yakıt oranı (H/Y) ve supap zamanlaması gibi motorun ayarlanabilir özellikleri işletme parametrelerindedir. SO ve yanma odası şekli gibi motorun imalatı esnasında belirlenen biçimsel özelliklerle, yakıtın Oktan Sayısı (OS) gibi özellikleri yapısal parametrelerdir.

Farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olan alternatif yakıtlar, işletme ve yapısal parametrelerinin de önem kazanmasını sağlamıştır. Bu bağlamda, günümüze kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde alkol yakıtlı motorların, işletme veya yapısal parametrelerinin genellikle bir tanesinin performans ve emisyonlar üzerindeki etkisinin araştırıldığı görülmektedir. Fakat motorlarda performans ve emisyonların belirlenmesinde temel sebep olan işletme ve yakıtın kimyasal özelliklerinin (OS) bir bütün halinde kapsamlı olarak incelenmelidir. Bu çalışmada, farklı çalışma parametreleri ve metanol kullanımında optimum çalışma koşulları belirlenebileceği gibi,

metanolün yakıt özelliğinden (alt ısı değeri düşük olması gibi) kaynaklanan performans düşüklüğünün de giderilebileceği hedeflenmiştir. Bu yeni çalışma şartlarına göre, motor malzemesi, ateşleme sistemleri (elektronik kontrol ünitesi, buji sayısı ve kapasitesi vb.) ve yakıt sistemleri geliştirilmesi sağlanabilir. Ve böylece, farklı yakıt kullanmak için sonradan dönüştürülen motorlarda meydana gelen sorunlar azaltılmış olur [8].

Bu çalışmada, farklı SO'larında benzin ve benzin-metanol yakıtlarının kullanılması durumunda motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

### **1.3. Genel bilgiler**

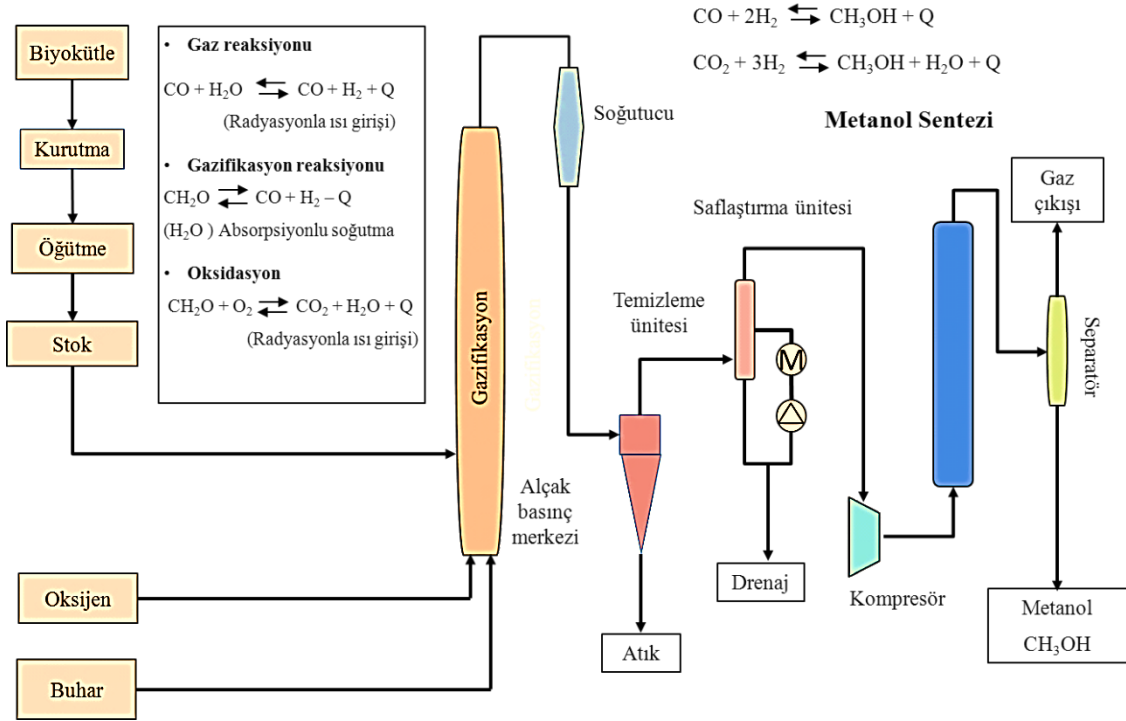
İYM'lerde alternatif yakıt olarak kullanılabilen alkol yakıtlardan en önemlilerinden biri metanoldür. Yenilenebilir kaynaklardan üretilmiş olan metanolün üretim süreçleri, fiziksel ve kimyasal özelliklerini içeren genel bilgiler aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

#### **1.3.1. Metanol üretimi**

Alkol yakıtlar arasında en fazla ilgi metanole gösterilmektedir. General Motors, Toyota, Ford motor şirketi ve diğer yetkili ve kuruluşlara göre metanol geleceğin yakıtı olarak görülmektedir. Metanol çok farklı maddelerden oluşabilmekte ve diğer alternatiflere göre daha ekonomiktir. Ayrıca benzin yakıtında olduğu gibi motorlu araçlarda yakıt dağıtım sisteminde önemli bir değişikliğe ihtiyaç duyulmamaktadır [9].

Saf metanol ilk kez 1661 yılında Robert Boyle tarafından şimşirin distilasyonu ile üretilmiştir. Metanolün kimyasal bileşimi ise 1834 yılında Fransız kimyagerler Dumas ve Peligot tarafından bulunmuştur. 1922 yılında BASF firması tarafından, sentez gazı karbon monoksit ve hidrojen ( $CO$  ve  $H_2$ ) ile metanol üretimi yöntemi geliştirilmiştir [10]. Metanol; petrol, doğalgaz, ağır yağlar ve kömür gibi fosil kökenli yakıtlardan elde edildiği gibi içerisinde şeker içeren biyolojik kaynaklardan elde edilebilmektedir. Metanol, sentez gazı olarak da adlandırılan  $CO$  ve  $H_2$  karışımından yüksek basınçlarda katalitik olarak üretilmektedir. Dünyada metanol üretiminde genel olarak kömür kullanılmaktadır. Ayrıca, biyoteknolojik usullerle metanol üretimi de daha fazla önem

kazanmaktadır [11, 12]. Odun, orman atığı, evsel ve hayvansal katı atıklar, kanalizasyon ve bununla beraber atmosferdeki karbondioksit (CO<sub>2</sub>)’den de metanol üretilmektedir. Bütün biyokütleler metanol üretimi için gaz haline getirebilirler. Fakat üretim sürecinin verimi hammadde stokunun kalitesine ve doğallığıyla ilişkilidir. Odun ve yan ürünleri, otsu bitkiler ve ekin kalıntıları vb. düşük nemli malzemeler metanolün üretimi için daha elverişli şartlarda olduğu belirtilmiştir [12].



**Şekil 1.1.** Biyokütleden metanol üretim prosesinin şematik olarak görünümü [13].

Şekil 1.1’de biyokütleden biyometanol elde etmek için geliştirilmiş bir ünitenin şematik şekli verilmiştir. Geliştirilen bu teknolojiye yüksek kalorili gazlaştırma ve kısmi oksidasyon yöntemi tercih edilmektedir. Biyokütleler kurutulduktan sonra çapı 1 mm olana kadar öğütülerek toz haline getirilmektedir. Tozlaştırılmış biyokütle hammaddesi oksijen ve buhar yardımıyla 900-1000°C sıcaklıklarda gaz haline getirilerek içerisinde bulunan karbonhidratlar, H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ve su buharına (H<sub>2</sub>O)’ya çevrilmektedir. Çevrilmiş olan gaz karışımlarına bakır/çinko (Cu/Zn) malzemeli katalizör ile termokimyasal reaksiyon uygulanırsa 40-80 atm basınç altında biyometanol üretilmiş olur [13].

### 1.3.2. Metanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Alternatif yakıtların İYM’de kullanılabilirliğinin göstergesi olan fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi, motor performansı ve egzoz emisyonları açısından önemlidir. Benzin ve metanol yakıtları ile ilgili bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1.1’ de gösterilmiştir.

**Tablo 1.1.** Benzin ve metanolün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri [16].

<b>Yakıt özellikleri</b>	<b>Benzin</b>	<b>Metanol</b>
Kimyasal formülü	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	CH <sub>3</sub> OH
Moleküler kütle (g/mol)	95-120	32,04
Oksijen ağırlığı (%)	-	49,94
Karbon/Hidrojen (C/H) oranı (%)	0,444	0,25
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> 20° C)	0,740	0,792
Alt ısı değeri (kJ/kg)	44300	20100
Stokiyometrik H/Y oranı	14,6	6,46
Stokiyometrik karışımın ısı değeri (kJ/kg- karışım)	3034,25	3111,45
Araştırma oktan sayısı (AOS)	95	108,7
Motor oktan sayısı (MOS)	85	88,6
Yakıt duyarlılığı (AOS-MOS)	10	20,1
Tutuşma sıcaklığı (°C)	257	455
Alevlenme noktası (°C)	25	11
Buhar basıncı (kPa 20° C)	45-90	12,8
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	349	1100
Kaynama noktası (°C 101,3 kPa)	27-225	64,5
Tutuşma sınırları (% hacim)	1,4-7,6	5,5-36,5
Laminer yanma hızı (cm/s, λ:1,0; NŞA)	28	42
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	2002	1870
Spesifik CO <sub>2</sub> emisyonu (g/MJ)	73,95	68,44

Metanol-benzin karışımlarının alt ısı değeri M5, M10, M20 ve M50 yakıtları için sırasıyla 43090, 41880, 39460, 32200 kJ/kg’dır. Yakıtın birim kütesinin ihtiva ettiği enerji miktarı ısı değeri olarak tanımlanır. Alt ısı değeri ise yakıtın tam yanması neticesinde açığa çıkan enerji olmakla beraber, en kötü şartlarda yakıtın verebileceği minimum ısı değeri göstermektedir [14]. Yakıtın tam olarak yanabilmesi için ihtiyaç duyulan teorik H/Y oranı benzin, etanol ve metanol için sırasıyla 14,6/1; 9,0/1 ve 6,46/1 dir. BAM’da önemli olan ise yanma odasında yanan karışımın ısı değeridir. Karışımın ısı değeri, yakıtın alt ısı değerinin stokiyometrik yakıt/hava (Y/H) oranı ile çarpılması

ile bulunmaktadır [15]. Metanolün H/Y oranının düşük olması yakıtın kimyasal bileşiminde bulunan oksijen neden olmaktadır. Metanol içerisindeki oksijen oranı %49,94'dür. Yakıtların alt ısıl değerleri mukayese edildiğinde benzinin alt ısıl değerinin metanole göre, 2,204 kat daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Bu durum metanol yakıtlı çalışmalarda birim güç başına benzine oranla daha fazla yakıt harcamasına neden olmaktadır. Stokiyometrik H/Y oranının az olması karışımın ısıl değerini artırmaktadır. Bunun için, metanolün BAM'larda kullanılması teorik olarak, ısıl değer bakımından bir kayıp değildir. Ancak birim güç başına tüketilen yakıt miktarının benzine oranla oldukça fazla olması kaçınılmazdır.

OS yakıtın kendi kendine tutuşmaya karşı olan gösterdiği direncin ölçüsüdür. Bu ölçü motorların tasarımındaki en önemli parametrelerden biridir ve aracın performansına direkt etki eder. Metanol yakıtına bakıldığında hem AOS'unun hem de MOS'unun benzine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. OS'nin yüksek olması vuruntuya karşı direncin fazla olmasını sağlar. Yakıt duyarlılığı ise AOS ile MOS'un arasındaki farktır. Yakıt duyarlılığı motorlarda çalışma şartlarının sınırını oluşturan bir etkidir. Zor şartlarda ise duyarlılığın fazla olması, vuruntu ihtimalinin fazla olabileceğinin bir nedenidir. Değişik iklim ve çevre koşullarında ve çalışma şartlarında motorlarda kullanılan yakıt çeşitlerinin iklim şartlarına ne ölçüde adapte olacağına bir göstergesidir. Bu nedenle alkol yakıtlar daha duyarlı olmaktadır. Ancak yine de metanolün MOS'u, benzine oranla daha fazladır. Benzin ve metanolün MOS'ları incelendiğinde sırasıyla 85 ve 88,6 oldukları görülmektedir. Alkol yakıtların OS'lerinin fazla olması daha yüksek SO'larda motorun çalıştırılmasına imkan sağlamaktadır.

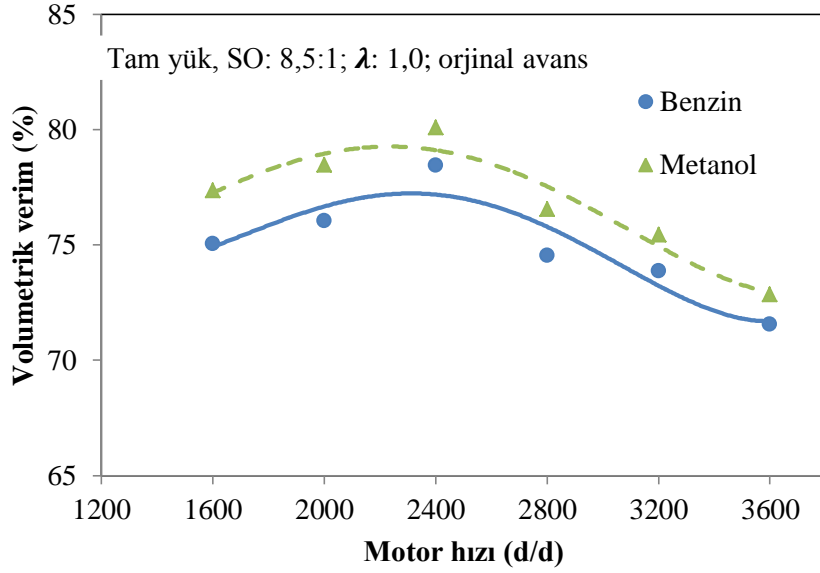
Tutuşma sıcaklığı yakıtın dışarıdan bir ısı kaynağı ile kendi kendine yanmasına sebep olan minimum sıcaklık değeridir. BAM'da bu değer vuruntulu çalışmaya neden olan bir parametredir [14]. Yanma odasındaki olası karbon birikintilerinin ve kızmış supap başlarının yakıtın tutuşma sıcaklığına varması sonucu vuruntu görülebilmektedir. Tutuşma sıcaklığının yüksek olması bu nedenle önemlidir. Alkol yakıtları mukayese edildiğinde metanolün tutuşma sıcaklığının daha yüksek değerde olduğu görülmektedir. Metanolün tutuşma sıcaklığı 455°C'dir. Benzin ise çok farklı hidrokarbonlardan oluştuğu için tutuşma sıcaklığı sabit olmamaktadır.

Alevlenme noktası, yakıt buharının açık alev ile temas ettiğinde bir an için alevlendiği

sıcaklıktır. Alevlenme noktası bir taraftan sıcaklıkla, diğer taraftan da yakıt-hava karışımının tutuşma sınırları ile ilgili olduğu gibi aynı zamanda yakıtın buharlaşma miktarına, bu nedenle buharlaşma basıncına da bağlıdır. Bu değer, yakıtın depolanması ve taşınması ile alakalı standart ve emniyet tedbirlerini belirlemede kullanılır [15]. İki yakıtın buhar basıncı ve tutuşma limitleri incelendiğinde metanolün buhar basıncının daha az olduğu, yanma limitlerinin ise benzine oranla daha geniş aralıkta olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle, metanolün alevlenme noktası benzine oranla oldukça düşüktür. Alevlenme noktası metanolde 11°C iken benzinde 25°C olduğu belirtilmiştir. Bu durum metanolün depolanması ve taşınmasında dikkatli olunması gerekliliğini vurgulamaktadır.

Buhar basıncı, alevlenme noktasını etkilediği gibi yakıtın uçuculuğunu, depolamadaki hidrokarbon kayıplarını gösteren bir değerdir. Buhar basıncının düşük değerde olması yakıtın iyi uçucu olmadığını ve soğuk havada ilk çalışmanın zor olacağını gösterir. Buhar basıncı atmosfer basıncı değeri ile aynı olduğu zaman buhar tıkaçları oluşmaktadır [14]. Metanolün buhar basıncı, benzine oranla oldukça düşüktür. Bu, metanolün soğukta ilk harekete geçmesini zorlaştıran bir özelliktir.

Buharlaşma ısı, yakıtların kaynama noktasından itibaren buharlaşması için ihtiyaç duyulan ısıya denir. Yakıt-hava karışımı, yakıtın buharlaşması için ihtiyacı olan ısıyı çevresinde bulunan motor elemanlarından almaktadır [17]. Benzin ve metanol yakıtlarının buharlaşma ısıları sırasıyla 349 ve 1100 kJ/kg'dır. Metanol benzine göre oldukça yüksek buharlaşma gizli ısısına sahiptir. Bu durum metanol kullanılan doğal emişli motorlarda bazı avantaj ve dezavantajları oluşturur. Özellikle karbüratörlü motorlarda silindirler içerisindeki havanın soğumasına ve kütlece daha fazla havanın içeri alınmasına neden olur. Bu durum motorun volumetrik verimini artırıcı bir özelliktir. Aynı zamanda, motorun ilk çalışma hareketine geçişte zorlanmasına neden oluşturabilir. Ayrıca, sıcaklığın bir fonksiyonu olan azot oksit ( $NO_x$ ) emisyonunun da azalmasına neden olmaktadır. Benzin ve metanolün yakıt olarak kullanıldığı, doğal emişli tek silindirli bir motorda elde edilen örnek bir volumetrik verim değişimi Şekil 1.2'de gösterilmektedir. Tam yükte ve farklı motor hızlarında her iki yakıt türünden elde edilen volumetrik verim değerlerine bakıldığında metanolün benzine göre daha yüksek volumetrik verim sağladığı sonucu çıkarılabilmektedir. Motor metanol yakıtı ile %80 volumetrik verime erişmiş ve bu durum 2400 d/d motor hızında gerçekleşmiştir.



**Şekil 1.2.** Volumetrik verimin incelenmesi [17]

Yanma esnasında çevreye olan ısı kaybı, kinetik ve potansiyel enerjilerde değişim meydana gelmiş ve iş oluşmamış ise sistemin reaksiyon sonunda ulaştığı sıcaklığa adyabatik alev sıcaklığı denmektedir [17]. Özellikle adyabatik alev sıcaklığı  $NO_x$  emisyonunun oluşmasındaki önemli bir faktördür. Ayrıca motorlardan çevreye olan ısı transfer miktarını sınırlamakta olan bu sıcaklık değeri motorun yakıt-hava çevrim verimi (ISV)'sini etkileyebilmektedir. Metanolün adyabatik alev sıcaklığı benzine göre bir miktar düşüktür. Bu düşüşün sebebi olarak metanolün benzine göre daha düşük C/H oranına sahip olması gösterilmektedir [18]. Bu durum motorlarda ISV'nin bir miktar fazlalaşmasına,  $NO_x$  emisyonunun ise düşmesine neden olmaktadır. Metanolün adyabatik alev sıcaklığı  $1867^\circ C$ 'dir. Benzini adyabatik alev sıcaklığı daha yüksektir.

Metanol, benzine göre çok geniş yanma limitlerine sahiptir. Bu nedenle depoda veya taşıma tankındaki doymuş buhar, çevre sıcaklıklarında patlayıcı olabilmektedirler. Örneğin  $20^\circ C$ 'de doymuş havadaki metanol oranının %13 olması durumunda patlayıcı ortam oluşmaktadır. Bu sebeple taşıma ve depolamada tedbir alınmalıdır [14].

Yakıtların spesifik  $CO_2$  emisyonları incelendiğinde yüksek oranda oksijen içeren metanol yakıtının spesifik  $CO_2$  emisyonlarının düşük düzeyde olduğu ve benzin yakıtının ise daha yüksek spesifik  $CO_2$  emisyonlarına sahip olduğu görülmektedir. Sera gazı etkisi yapan  $CO_2$ 'nin metanolde daha az görülmesi önemli bir avantajdır.

### **1.3.2.1. Metanolün insan sağlığı ve çevre üzerine etkisi**

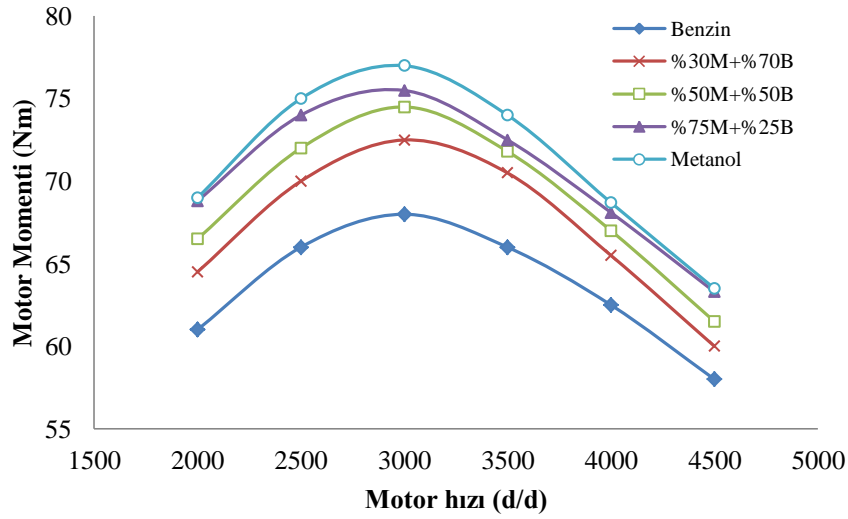
Metanol yakıt bileşiminde bulunan formaldehit ve formik asit sebebiyle oldukça zehirli (toksik) bir bileşiktir. Bu nedenden dolayı insan sağlığına bazı olumsuz etkileri olabilmektedir. Vücudun metanol ile doğrudan teması durumunda, deriden çok hızlı emilmekte ve belirli konsantrasyona ulaştığında ise beyin hücrelerinin ölümüne, ani körlüğe, karaciğer yetmezliğine ve ölüme sebep olabilmektedir. Metanol, su ile her oranda karışabilmesi ve biyolojik olarak mikroorganizmalar tarafından çok hızlı indirgenebilen bir yapıya sahip olması sebebiyle çevre kirliliğine neden olmamaktadır. İYM'lerde metanol kullanımının başta CO emisyonu olmak üzere NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının değerini düşürmektedir. Metanolün en fazla olarak görülen emisyon dezavantajı zehirli ve kanserojen madde olan formaldehit emisyonunu artırmış olmasıdır. Bununla beraber formaldehit gibi bazı hidrokarbon bileşikleri, insanlarda tümör başlatıcı, geliştirici ve ilerletici gibi özellikleri olan kanserojen maddelerdir [19].

### **1.3.2.2. Metanolün buji ateşlemeli motorlarda kullanımı**

Günümüzde bilinmekte olan en basit dört alkol, etanol, bütanol, metanol ve propanol'dür. Daha karmaşık özelliğe sahip alkoller olmasına karşın, bu dört alkol ticari hedefler için daha uygun olmaktadır. Alkol yakıtların İYM'de yakıt olarak kullanılması çok eski zamanlara dayanmaktadır. Motor yakıtı olarak metanol kullanımı İYM'nin icadı kadar eskidir.

Yenilebilir kaynaklardan ve petrol kökenli ürünlerden üretilebilen metanol çok esnek bir alternatif yakıttır. Yakıt olarak metanolün kullanılmasına 1970'li yıllardaki petrol krizinde düşük maliyeti nedeniyle başlanmıştır [12, 20]. ABD'de bulunan Massachusetts Teknoloji Enstitüsündeki araştırmacı Thomas Reed yakıt olarak metanol kullanımını savunan ilk kişilerden biridir. 1973'te bilim dergisinde metanolün bazı avantajlarını konu alan yayınları bulunmaktadır. Benzine %10 metanol eklenmesinin motor performansını iyileştirdiği, daha yüksek menzil mesafesine ulaştırdığı ve zararlı olan egzoz gaz emisyonlarını düşürdüğü belirtilmiştir [12]. Buna benzer neticelere Almanya'da yapılan araştırmalarda da ulaşılmıştır. Hükümetin 1975'te destek verdiği Volkswagen firması tarafından yapılan deneylerde yakıt olarak M15 (%15 Metanol+%85 Benzin) karışım yakıtı kullanılmış ve deneyler 45 araç üzerinde

gerçekleştirilmiştir. Testler neticesinde, metanol-benzin karışımı kullanımının motor performansını iyileştirdiği saptanmıştır. Bununla beraber metanolün bir oktan artırıcı olduğu vurgulanmış ve metanol-benzin karışımının saf benzine oranla fazla güç ürettiği belirtilmiştir [12]. Yine Volkswagen firması beş araçta ise saf metanol (M100) denemiştir. Testlerde metanolün düşük uçuculuğundan kaynaklanmakta olan soğukta ilk çalışma gibi dezavantajlı etkiler bütan ve pentan gibi katkı maddeleri ile engellenmek istenmiştir [12]. 1980'li yılların sonlarında ise güncel hale getirilmiş yeni egzoz emisyon standartlarını oluşturabilmek için alternatif yakıtlar üzerine otomobil şirketleri tarafından yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. General Motor, Ford, Chrysler, Volvo, Mercedes ve bunun gibi otomobil şirketleri birkaç yüz dolar ek maliyet harcayarak araba modellerini, metanol ile çalışabilecek duruma getirmişlerdir. Ford şirketi tarafından yapılan araştırmalarda metanol kullanan araçlarda 0-100 km/s hız aralığındaki ivmelenmenin benzine göre iki kat daha fazla olduğu neticesine varmışlardır. Metanol satan şirketlerin fazla olmamasından dolayı hem M85 (%85 Metanol+ %15 Benzin) yakıtı ile çalışan hem de benzin ile çalışan esnek motorlar dizayn edilmiştir. 1990'lı yıllarda geliştirilen katalitik konvertör enjeksiyonlu yakıt sistemleri ve benzinin kimyasal bileşiminde yapılan değişimler ile birlikte metanol yakıtı ile elde edilen egzoz emisyonlarındaki iyileşmeler benzinli motorlarda da sağlanmıştır. Bu nedenle otomobil şirketlerinin alternatif yakıtlara olan ilgisi fazla olmamıştır. Fakat yükselen petrol fiyatları ve iklim şartlarının değişimleri sonucunda oluşan endişelerden dolayı metanole olan ilgi tekrar artmıştır. Gelecekte metanolün saf olarak kullanılacağı ve metanollü yakıt hücrelerinin artacağı düşünülmektedir. Petrol rezervlerinin azalması ve ülkelerin ekonomik durumları itibariyle metanole olan ilginin gelecekte fazlasıyla artacağı kaçınılmazdır. Son yıllarda alkol yakıtlara olan ilgi, petrol ücretlerinin artması ve alkollerin hidrokarbon yakıtları ile karışım oluşturarak kullanılması, esnek yakıtlı araçların üretilmesiyle iyice artmıştır [12]. Metanol BAM'larda daha çok benzinle karıştırılarak kullanılmaktadır. Şekil 1.3'de yakıt olarak benzin-metanol karışımı kullanan bir motorun, motor hızına bağlı, motor momentindeki değişimler gösterilmiştir.



**Şekil 1.3.** Tam yükte motor momentinin devir sayısı ile olan değişimi [21].

Şekil 1.3’de görüldüğü gibi karışım içerisindeki metanol oranı arttıkça motor momentinin arttığı belirtilmiştir. Tam yükte ve yakıtların iki farklı karbüratör boğazından verildiği testlerde en fazla moment artışının saf metanol ile elde edildiği anlaşılmaktadır [21].

### 1.3.3. Alkol yakıtların Türkiye’deki kullanım süreci

Bitkisel kökenli yakıtlar, ülkemizde ilk kez 1931 yılında Ankara’da düzenlenen Birinci Ziraat Kongresi’nde ele alınmıştır. Ana hedefi, “An’anevi Ziraattan Rasyonel Ziraata” olan bu kongrede, ülkemizdeki tarımsal üretiminin nitelik ve nicelik olarak zenginleştirilmesi, dünya piyasalarında rekabet gücünün iyileştirilerek tarımsal ihracatımızın artırılması en önemli amaç olarak belirlenmiştir. Yaklaşık olarak 50 alt kısımdan oluşan kongreye ait ihtisas raporlarında alt başlıklardan biri olan, “Ziraat Aletleri” kısmında, tarım ürünleri üretiminin artırılmasında tarımsal alet ve makinelerin önemi vurgulanmış, söz konusu makineleri ve bu makinelerde kullanılan yakıtı başka ülkelerden ithal etmek yerine yerel kaynaklardan üretilmesinin faydaları belirtilmiştir. Tüm bunlar sonucunda, o zamanki adı biyoyakıt olmasa da ülkemizde ilk defa Birinci Ziraat Kongresi’nde, yerel kaynaklar kullanılarak üretilen yakıtın milli ekonomimiz açısından çok faydalı olduğuna değinilmiş ve biyoyakıt üretiminin önemi çeşitli boyutlarıyla belirtilmiştir [22].

Buna ilave olarak, Atatürk’ün de talimatıyla dönemin milletvekilleri ve ilgili kurumların

yetkililerinin 1934 yılında imzaladığı belge, ülkemizde biyolojik kökenli yakıtlarla ilgili ilk resmi belge olması açısından önemlidir. Bu çalışmalarda Atatürk Orman Çiftliğinde tarımsal üretimde faaliyet gösteren traktörlerde bitkisel yağlar yakıt olarak kullanılmıştır. Bundan dolayı, o zamanki ismi bitkisel yağ da olsa, biyodizelin araç motorlarında kullanımı gerçekleştirilmiştir [22].

#### 1.4. Sıkıştırma oranı

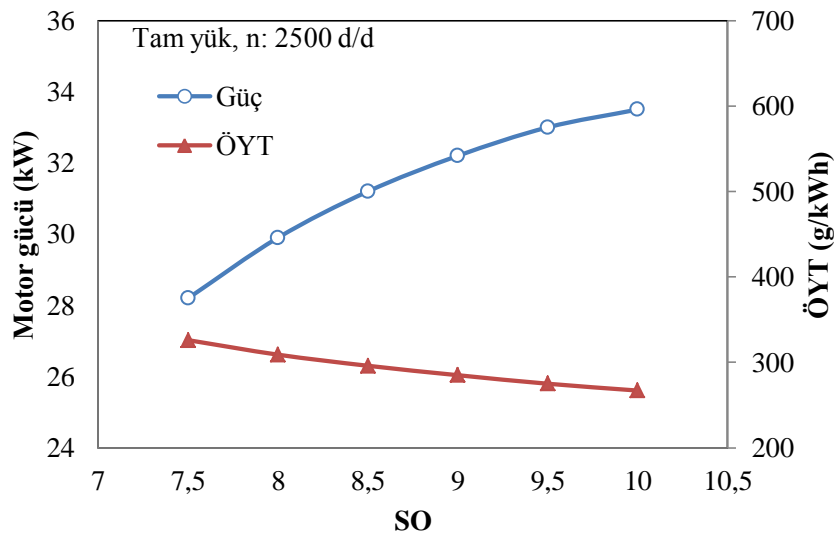
İdeal bir çevrimde, sıkıştırma başlangıcındaki silindir hacminin ( $V_1$ ), sıkıştırma sonu hacmine ( $V_2$ ) oran şeklinde tanımlanan  $SO$ ;

$$SO = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c} \text{ ile hesaplanır} \quad (2.1)$$

Burada;  $V_h$ : silindir hacmini ve  $V_c$ : yanma odası hacmini ifade etmektedir. Gerçek bir çevrimde ise sıkıştırma alt ölü noktada (AÖN) değil, emme supabı kapandıktan sonra başlamaktadır. Bu nedenle motorun gerçek  $SO$  değeri ( $SO_g$ );

$$SO_g = \frac{(V_h - V_k) + V_c}{V_c} \text{ dir.} \quad (2.2)$$

Burada; " $V_k$ " AÖN'den sonra (AÖNS) supapların kapanmasına kadar pistonun taradığı hacimdir [23].



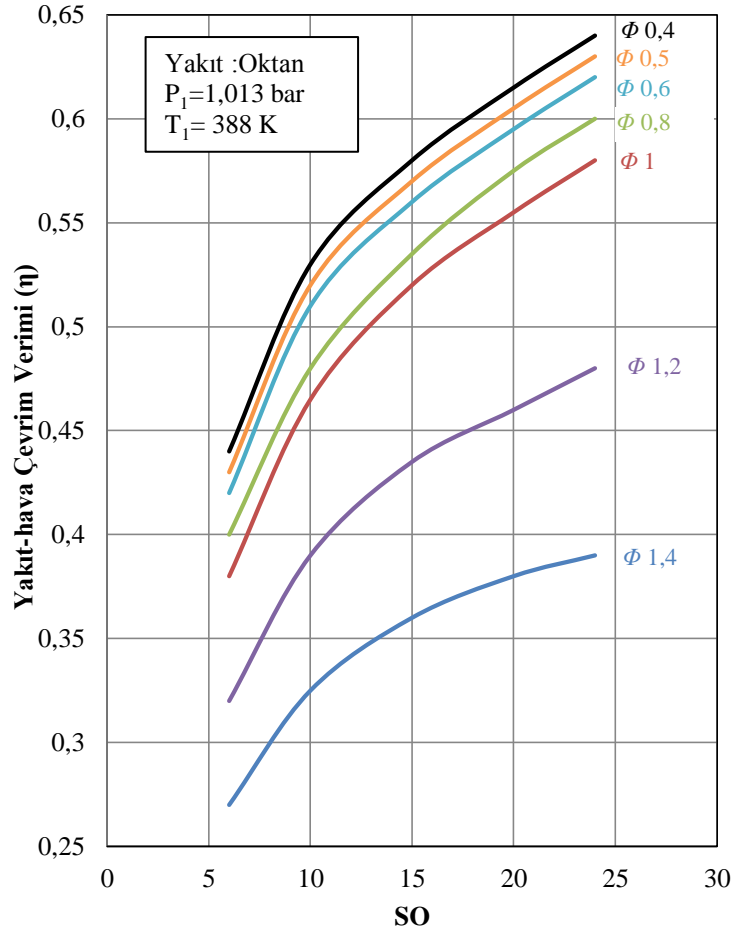
Şekil 1.4. SO'nun motor gücüne ve özgül yakıt tüketimi (ÖYT)'ye etkisi [24].

SO, motorun gücünü ve verimini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. SO'nun performansa etkisini incelemek için yapılan bir araştırmada, buji ile ateşlemeli, 2,2 litrelik bir motor tam gazda ve sabit devirde (2500 d/d) SO değiştirilerek test edilmiştir. SO'nun artmasıyla motor gücünün arttığı, ÖYT'nin azaldığı tespit edilmiştir, Şekil 1.4 [24].

BAM'da oluşan işlemleri en iyi açıklayan model olan Otto çevrimi, ISV'nin SO ile arttığını gösterir [15].

$$\eta = 1 - \frac{1}{SO^{k-1}} \quad (2.3)$$

H/Y çevrimi, Otto çevriminin geliştirilmiş halidir ve gazların gerçek termodinamik özellikler göstermesine izin verir. Bu çevrime göre SO'nun eşdeğerlik oranına ( $\Phi$ ) bağlı olarak verime etkisi Şekil 1.5'de görülmektedir [25].



Şekil 1.5. Çeşitli eşdeğerlik oranlarında ISV'nin SO'ya bağlı değişimi [25].

Şekil 1.5'den anlaşılacağı gibi karışım fakirleştikçe ( $\Phi \rightarrow 0$ ), artan SO ile birlikte verim artar. Diğer bir deyişle, fakir karışımlardaki gazların karakteristikleri Otto çevrimi için kabullenilen karakteristiklere çok yakındır. Bu sebeple maksimum verime fakir karışımlarda ulaşılır [23, 24].

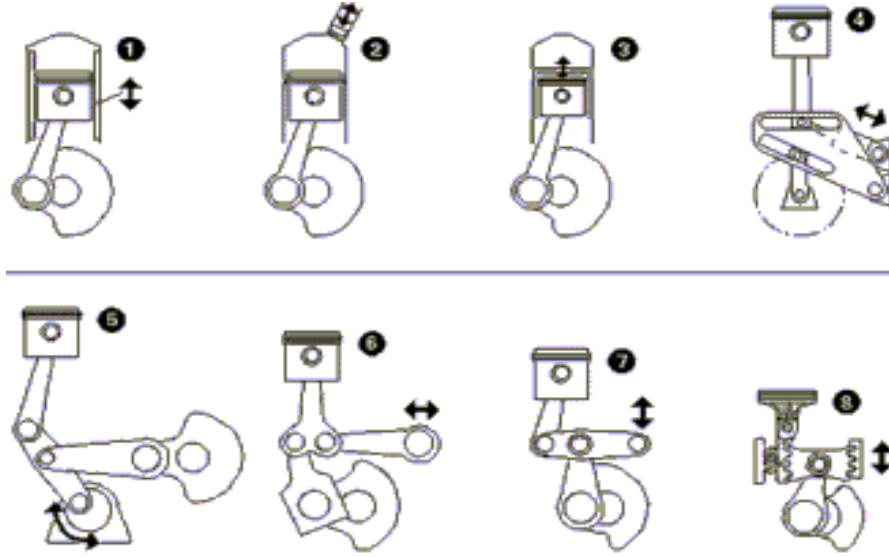
Ancak, gerçekte ISV Otto çevrimiyle belirlenen seviyede artırılamamaktadır. Bunun başlıca sebepleri, sıkıştırma ve genişleme zamanları esnasında mekanik sürtünme ve ısı kayıplarının olması, yanma işleminin ani olarak oluşmaması, egzoz supabının genişleme zamanı tamamlanmadan önce açılması ve kullanılan yakıtın Otto çevrimi için öngörülen mükemmel gaz özelliklerini göstermemesidir [23].

Yüksek SO'larda silindir kapağı ile piston arasındaki ezilme bölgesindeki kütle yüzdesinin artması, yanma süresini uzatmaktadır. Ayrıca, yanma odası yüzey/hacim oranının SO ile birlikte artması, yanma süresinin uzamasına katkıda bulunmaktadır. Artan SO ile yanma odası şeklinin değişmesi, dolayısıyla türbülansın az olması da yanma süresini artırabilmektedir. Yanma süresinin artması ile birlikte ısı alışverişi için geçen süre artmakta, piston ÜÖN'dan bir hayli uzaklaştıktan sonra bile yanma devam etmektedir. Bu durum motorlarda ISV'nin azalmasına neden olur [23, 26].

SO'nun yanmayı etkilemesi sonucu emisyon miktarları da değişmektedir. Hidrokarbon (HC) emisyonlarının en önemli kaynaklarından birisi yanma odası yüzey alanıdır. Yanma odası içindeki alev yüzeye yakın bölgelerde soğumakta ve sönmektedir. Bu yanmamış bir HC tabakası bırakır ve bu tabaka yanmamış gazlarla karışarak egzozla atılır. Yanma odası yüzey alanı SO ile birlikte artmaktadır. Dolayısıyla SO'nun artması HC emisyonunu da artırmaktadır. Aynı zamanda, SO'nun artmasıyla yanma sonu sıcaklıkları yükselmekte buna bağlı olarak da  $\text{NO}_x$  emisyonları artmaktadır [23, 24].

#### **1.4.1. Sıkıştırma oranı değiştirme yöntemleri**

Sekmen vd. yapmış oldukları çalışmada, motorun kısmi yük performansını artırmak ve yakıt ekonomisi sağlanması için sıkıştırma oranının değişken hale getirilmesi çeşitli yöntemler olduğunu belirtmişlerdir. Bunlar, yanma odası hacmini büyütüp küçülterek, biyel boyunu veya piston yüksekliğini, krank mili ana veya biyel muylu çapının değiştirilmesiyle, silindir kapağını hareket ettirerek ya da başka şekillerde de olabilmektedir [26].



Şekil 1.6. Sıkıştırma oranı değiştirme yöntemleri [26].

1. Piston hareketi
- 2-3. Yanma odası hacmi
4. Biyel muylu çapı
- 5-6-7. Biyel boyu
8. Piston yüksekliği

### 1.5. Günümüze kadar yapılan çalışmalar

Literatürde metanolün BAM'larda saf olarak ya da karışım olarak uygulanmasına yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Sekmen yapmış olduğu çalışmada, buji ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli ve 4,6:1 SO oranına sahip bir motorda SO'nun motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Motorun silindirinin aşağı yukarı hareket yapmasıyla, SO değişken hale getirilmiştir. Test sonuçlarına göre, SO 5,0:1'den 11,0:1'e artırılmasıyla kısmi yüklerde ÖYT'de %39'a ulaşan iyileşme gözlemlenmiştir. Aynı SO aralığında CO emisyonunda %29'a varan bir azalma, HC emisyonlarında ise %25'e ulaşan bir artış tespit edilmiştir [24].

Abu-Zaid vd. yapmış oldukları çalışmada benzine metanol ilavesi ile buji ateşlemeli bir motorun performansını incelemiştir. Performans testleri tam gaz keleşği açıklığında, 1000-2500 d/d aralığında ve değişik yüklerde gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda metanol-benzin karışımı kullanılan yakıtın motor performansı üzerinde

önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. En iyi performansın %15 metanol-%85 benzin karışımında olduğu tespit edilmiştir [27].

Al-Dawood yapmış olduğu deneysel çalışmada buji ateşlemeli bir motorda, metanol ve etanol yakıtlarını benzin ile üç değişik oranda (hacimsel olarak %10, 15 ve 20) karıştırarak motor yakıtı olarak kullanılmıştır. Bu yakıtların kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Test sonuçlarına göre oksijenli yakıtlardan elde edilen ISV'nin kurşunlu benzine göre daha iyi olduğu görülmüştür. Metanol karışimli yakıttan elde edilen ISV ve motor gücünün diğer oksijenli yakıtlara göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir [28].

Bilgin ve Sezer buji ateşlemeli bir motorun metanol-benzin karışımları kullanılarak motor performansı ve yakıt maliyetleri baz alınarak yapmış oldukları testlerde, yakıt karışımları olarak %5, %10, %15 ve %20 metanol-benzin yakıtlarını kullanmışlardır. Fren termik veriminin (BTE)'nin ise en iyi performansının %20 metanol-benzin karışımında olduğu tespit edilmiştir. %5, %10, %15 ve %20 metanol-benzin karışımlarının benzine göre maliyet artışlarının sırasıyla %18.86, %36.95, %54.20 ve %73.01 olduğu hesaplanmıştır [29].

Chen vd. buji ateşlemeli bir motorda yakıt olarak etanol-benzin karışımı kullanılmasının ilk çalışma emisyonları üzerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Bulunan sonuçlara göre, karışım içerisindeki etanol oranının %20'den fazla olmasının motorun ilk çalışma emisyonunu (CO, HC) önemli miktarda azalttığı görülmüştür [30].

Çanakçı vd. dört silindirli ve dört zamanlı bir benzin motorunda etanol-benzin ve metanol-benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Deneyler dört farklı karışım oranında (%5 metanol-%95 benzin, %10 metanol-%90 benzin, %5 etanol-%95 benzin ve %10 etanol- %90 benzin), dört farklı motor yükünde (5, 10, 15, 20 kW) ve iki farklı taşıt hızında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre; karışım içerisindeki alkol miktarının artışıyla CO, HC, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonunda azalma ÖYT'de ise artma gözlenmiştir [31].

Dai vd. 4 zamanlı ve 4 silindirli benzinli bir motor metanol-benzin karışımının (%15 metanol- %85 benzin ve %100 benzin) buharlaşma ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Egzoz emisyonları açısından bir değerlendirme yapıldığında, karışım yakıtı kullanımı ile CO emisyonunda azalma gözlenirken NO<sub>x</sub> emisyonları ise artmıştır.

Organik bileşikler (WOC) ve karbonil emisyonları ise alkol yakıt kullanımı ile artmıştır [32].

Eyidoğan vd. kurşunsuz benzin, düşük oranlarda etanol-benzin ve metanol-benzin yakıtlarının motor performansı, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bulunan sonuçlara göre, karışım yakıtı kullanımının ÖYT'yi artırdığı, silindir gaz basıncı (SGB) ve ısı dağılımının (ID) ise daha erken artmaya başladığı gözlemlenmiştir. Ve ayrıca, alkol karışımlarının kullanılmasıyla egzoz emisyonlarının azaldığı gözlemlenmiştir [33].

Karaosmanoğlu yaptığı deneysel çalışmada, dört zamanlı, dört silindirli ve su soğutmalı test motorunda, yakıt olarak metanol-benzin ve etanol-benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Testler sabit AA'da, 1/2 ve 1/3 gaz kelebeği açıklığı ve değişik motor hızlarında yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, her iki gaz kelebeği açıklığında, karışım yakıtlarındaki alkol oranının artmasıyla motor gücü ve momentinin azaldığı, ISV ve ÖYT'nin ise arttığı tespit edilmiştir. Karışım içerisindeki etanol miktarının artmasıyla CO emisyonunda azalma, HC emisyonunda ise artma gözlemlenmiştir [34].

Korkmaz yaptığı teorik ve deneysel çalışmada, bir otomobil motorunda benzin ve metanol yakıtının, tek tek uygulanmasının motor performansı üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, metanol ile çalışma durumunda motorunun performans değerlerinin benzinli çalışmaya oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Metanol'ün kullanılması ile CO emisyonu azalırken HC emisyonu artmıştır. Teorik ve deneysel çalışmalara göre, metanol ile çalışma durumunda hem motor performansı açısından hem de egzoz emisyonları açısından emme manifoldunun ısıtılması gereği belirtilmektedir [35].

Shayan vd. Çok nokta enjeksiyonlu, dört silindirli buji ateşlemeli bir motorda yakıt olarak M5; M7,5; M10; M12,5 ve M15 metanol-benzin yakıtı kullanmışlardır. Tam gaz kelebeği açıklığında ve farklı motor hızlarında yapılan testlerde karışım yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen neticelere göre, karışım yakıtı içerisindeki metanol oranının artmasıyla motor momentinin, gücünün, ISV'nin ve volumetrik verimin arttığı, ÖYT ve eşdeğerlik oranın ise azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, karışım yakıtı kullanımının bütün motor

hızları için CO ve HC emisyonlarını sırasıyla %24,9 ve %23,7 oranında azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının sırasıyla %7,5 ve %17,5 oranında arttığı belirlenmiştir [36].

Shenghua vd. metanol-benzin karışımı kullanılan (M0 ve M10) benzinli bir motorda performans ve emisyon parametrelerini incelemiştir. Testler neticesinde, M10 yakıtının M0 ile aynı gücü ürettiği belirlenmiştir. Bununla beraber, M0'a kıyasla HC ve CO emisyonlarında azalma tespit edilmiştir [37].

Siwale vd. 4 zamanlı, 4 silindirli doğal emişli bir benzin motorunda çift yakıt (metanol-benzin ve metanol-bütanol-benzin) kullanımının performans, yanma ve emisyon karakteristiklerine etkilerini incelemiştir. Test yakıtları olarak %53 metanol - %17 bütanol - %30 benzin ve %70 metanol - %30 benzin karışımları seçilmiştir. Test sonuçlarına göre; karışım içerisindeki metanol miktarının artışı ile özgül yakıt tüketimi ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında artma, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> ve yanma veriminde azalma gözlenmiştir [38].

Nazzal tek silindirli, 6/1 SO'ya sahip buji ateşlemeli bir test motorunda yakıt olarak alkol-benzin karışımı kullanımının motor performansı üzerine etkilerini incelemiştir. Alkol-benzin karışımı olarak E12 (%12 etanol+%88 benzin), M12 (%12 metanol+%88 benzin) ve E6M6 (%6 etanol+%6 metanol+%88 benzin) ve E6M6 (%6 etanol+%6 metanol+%88 benzin) yakıtları kullanmışlardır. Tam yük ve değişik motor hızlarında yapılan test neticelerine göre 2000 d/d motor hızında M12, E6M6 ve E12 karışım yakıtlarının benzinli çalışmaya oranla motor gücünü sırasıyla %27,3; %23,7 ve %21,6 oranlarında artırdığını tespit etmişlerdir. ÖYT'yi ise sırasıyla %18,4; %14 ve %10 oranında düşürdüğü belirtilmiştir. Bununla beraber, ISV'yi sırasıyla %31,5; %23,6 ve %17 oranında artırdığı gözlemlenmiştir [39].

Literatürde benzinli motorlarda SO'nun motor performansına etkilerine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Abdel-Rahman vd. farklı SO'da alkol-benzin karışımlarının performansa etkilerini incelemiştir. Alkol-benzin karışımlarında %10 etanol ve %90 benzin karışımlarında maksimum iyileşmenin meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca yüksek SO'da yüksek miktarlarda alkol kullanımının motor gücünü artırdığı gözlemlenmiştir [40].

Ayhan yapmış olduğu deneysel çalışmada, tek silindirli, dört zamanlı, SO değişebilen

bir test motorunda, metanolün değişik hacimsel oranlarında (%10, 15, 20) kurşunsuz benzine karıştırılmasının, motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini incelemiştir. Ayrıca bu deneysel çalışmada, HC emisyonunu azaltmak amacıyla piston üzerine bariyer çember oluşturulmuştur. Testler tam yükte, farklı motor hızlarında ve farklı SO'larda gerçekleştirilmiştir. Testlerin sonucuna göre, termal bariyer uygulaması ve metanol-benzin karışımının kullanılmasıyla HC emisyonunun %50'ye varan oranda azalma belirlenmiştir. Ayrıca, karışım yakıtından elde edilen motor performansının, SO'nun artmasıyla iyileştiği gözlemlenmiştir [41].

Costa vd. yapmış oldukları deneysel çalışmada buji ateşlemeli bir motorun performansını, %22 etanol- %78 benzin ve saf etanol kullanarak SO'ya olan etkisi araştırılmıştır. Sekiz valfli, dört silindri bir motorun 1500 ile 6500 d/d aralığında test edilmiştir. Yüksek SO'da saf etanolün etkileri gözlemlenmiştir ve motor performansının iyileştiği görülmüştür [42].

Çelik vd. yapmış oldukları testlerde, tek silindri bir motorda ve yüksek SO'da saf metanol kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisini gözlemlenmişlerdir. Tam gaz kelebeği açıklığında ve farklı motor hızlarında yapılan testlerde hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) 1,0 olarak ayarlanmış ve motor 6,0:1, 8,0:1 ve 10,0:1 SO'da çalıştırılmıştır. Elde edilen neticelere göre, aynı SO'da (6,0:1) metanol kullanımının benzine kıyasla motor gücünü ve egzoz emisyonlarını (CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>) azalttığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber, ISV ve HC emisyonunun da arttığı gösterilmiştir. Orjinal SO'da (6,0:1) benzin ile yapılan çalışmaya oranla, metanol yakıtlı çalışmada SO'nun artmasıyla beraber motor gücü ve ISV'nin arttığı, ÖYT'nin ise azaldığı belirtilmektedir. Öte yandan, CO emisyonunun azaldığı, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarının ise arttığı gözlemlenmiştir [43].

Erbaş yapmış olduğu çalışmada, tek silindri, değişken SO ve AA'ya sahip, bir benzin motorunu değişik SO'larda ve tam yük şartlarında incelemiştir. Daha sonra, bulunan deneysel parametreleri termodinamiğin 1. ve 2. yasasına uygulayarak incelemiştir. Elde edilen enerji analizinde, yakıt enerjisi, soğutma suyu enerjisi ve çevreye ısı kayıpları hesaplanmıştır. 2. yasaya göre yapılan ekserji analizinde ise, yakıt ekserji, faydalı güç, egzoz ekserji, soğutma suyu ekserji ve kayıp ekserji değerleri hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlara göre, SO'nun artmasıyla, efektif güç, çevreye ısı transferi ve sürtünme

gücünün arttığı; buna karşın egzoz gazlarının enerjisinin azaldığı elde edilmiştir [44].

Gong vd. farklı ateşleme sisteminde (tek ve çift buji) olan buji ateşlemeli bir motorda, farklı püskürtme şeklinde olan enjektörler ile metanol kullanımının ISV, yanma süresi ve yakıt ekonomisine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı motor yüklerinde, 14,0:1 ve 16,0:1 SO'da ve 1600 d/d motor hızında yapılan testlerde metanol yakıtlı çalışmada çift buji kullanımının tek buji kullanımına oranla ISV'nin %25 artırdığı ve yakıt ekonomisini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. SO'nun azalmasıyla, düşük yüklerde ISV artarken yükün artmasıyla beraber ISV'nin düştüğü belirtilmiştir. Aynı zamanda, enjektör püskürtme şekli değişiminin tutuşma gecikmesini azalttığı ve yakıt ekonomisini iyileştirdiği tespit edilmiştir [45].

Ma ve arkadaşları hidrojen katkılı bir doğal gaz motorunda sıkıştırma oranı değişiminin performans ve yanma karakteristiklerine etkilerini incelemişlerdir. Testler tam yük ve üç farklı (9, 10, 11/1) sıkıştırma oranında gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre sıkıştırma oranının artırılmasıyla termik verim ve açığa çıkan ısı miktarında artma, yanma hızında ise azalma görülmüştür [46].

Majmudar yapmış olduğu bir çalışmada, bir benzin motorunda metan, benzin, bütanol-benzin, etanol-benzin, metanol-benzin gibi yakıtların kullanımı için nümerik bir simülasyon oluşturmuştur. Simülasyon motor hızının, AA'nın, eşdeğerlik oranının ve SO'nun motor performansına olan etkilerini incelemek için yapılmış ve bulunan sonuçlar literatürde yapılan deneysel çalışma ile karşılaştırılmıştır. Bütün yakıt türlerinde motor maksimum güce 1-1,2 eşdeğerlik oranında, 20° AA'da ve yüksek SO'da ulaştığı gözlemlenmiştir [47].

Porpatham ve arkadaşları biyogaz yakıtlı bir benzin motorunda sıkıştırma oranı değişiminin performans ve yanma karakteristiklerine etkilerini incelemişlerdir. Testler dört farklı sıkıştırma oranı (9,3, 11, 13, 15/1) iki farklı motor yükü (% 25 ve % 100) ve 1500 d/d sabit motor hızında gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma oranının artırılması ile efektif verim, efektif güç ve açığa çıkan ısı miktarında artma, tutuşma gecikmesinde ise azalma gözlemlenmiştir. Egzoz emisyonları açısından ise sıkıştırma oranının artırılması HC ve NOx emisyonlarını artırmıştır [48].

Sugözü vd. buji ateşlemeli, dört zamanlı, tek silindirli ve sıkıştırma oranı 8,5/1 olan bir motorun sıkıştırma oranı değiştirilmiş ve sıkıştırma oranı değişiminin motor

performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Standart motoru, değişken sıkıştırma oranlı motora dönüştürmek için silindir kapağını 0,5 mm aralıklarla beş kez taşlamışlardır. Sıkıştırma oranı değiştirilen motorun sıkıştırma oranı 8,5/1 ile 12,72/1 değerleri arasında değiştirmişlerdir. Sıkıştırma oranının 8,5/1'den 11,28/1'e yükseltilmesiyle tam yükte özgül yakıt tüketiminde %14,5'e kadar iyileşme elde edilmiş, aynı sıkıştırma oranı aralığında CO emisyonlarında %27'e kadar azalma, HC emisyonlarında maksimum %12 artış belirlenmiştir [49].

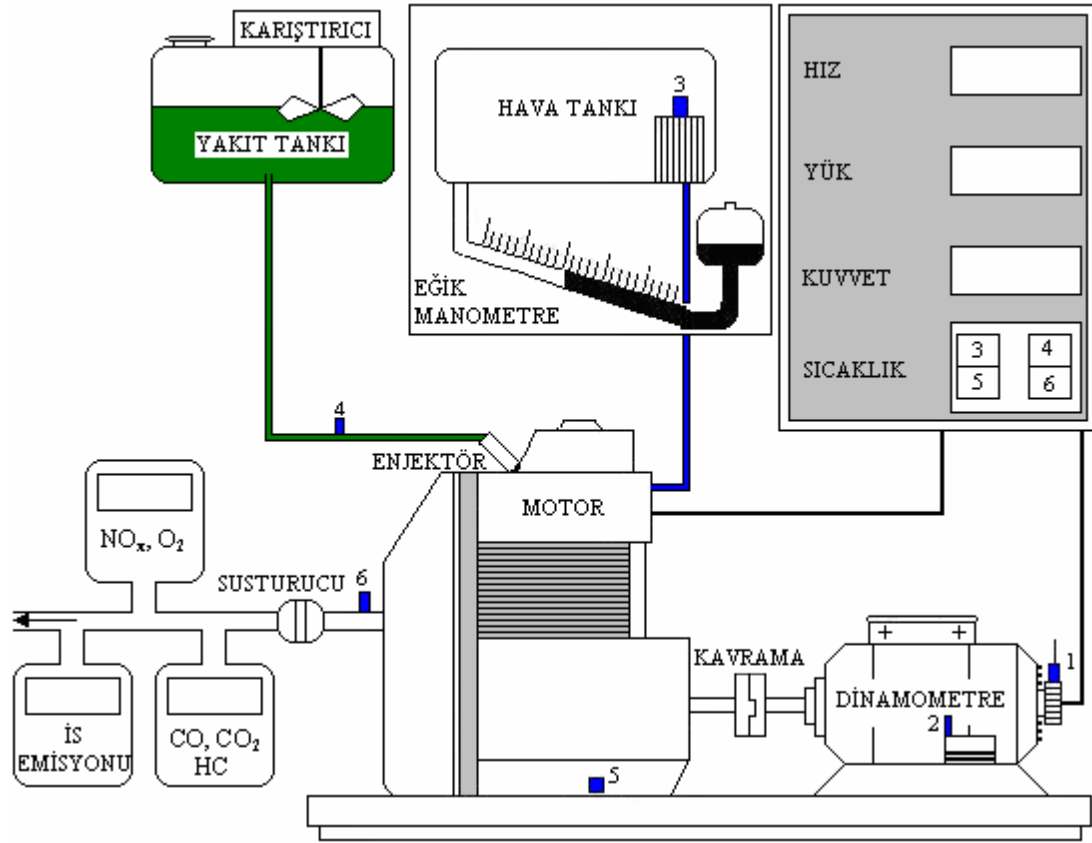
Çelik yapmış olduğu çalışmada düşük güçlü benzinli motorların emisyonlarını azaltmak ve performanslarını artırmak için yüksek SO'da yakıt olarak etanol kullanmıştır. Testler 6,0:1 ve 10,0:1 SO'da, benzin, saf etanol ve E25, E50 ve E75 olmak üzere üç farklı etanol-benzin karışımları için tam yük ve sabit devirde yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, performans ve emisyonlar açısından en elverişli yakıtın E50 olduğu görülmüştür. Yüksek SO'da, benzinli çalışmaya kıyasla E50 yakıtından elde edilen motor gücünün yaklaşık olarak %29 oranında arttığı vurgulanmıştır. Aynı zamanda, ÖYT ve CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarında iyileşmeler görülmüştür [50]. Literatür incelendiğinde farklı oranlardaki metanol-benzin karışımları kullanımında SO oranı değişiminin emisyon, performans ve yanma özelliklerine etkisinin araştırılmadığı görülmektedir. Bu çalışma ile bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır.

## **2. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu bölümde, öngörülen motor testlerinin yapılmasında kullanılan deney donanımları, deney verilerinin analizinde kullanılan hesaplamalar ve testlerde izlenen yöntemler belirtilmiştir.

### **2.1. Deney donanımı**

Deney donanımında; tek silindirli benzinli motor, tek silindirli motorlar için motor dinamometresi, egzoz gaz analizörü, hava ve yakıt tüketimi ölçüm düzeneğinden oluşmaktadır. Deneyler, Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Otomotiv laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Test donanımının şematik ve genel görünümü Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Deney Donanımının Şematik Görünümü

- 1- Hız Sensörü
- 2- Kuvvet Sensörü
- 3- Hava Sıcaklık Termokuplu
- 4- Yakıt Sıcaklık Termokuplu
- 5- Yağ Sıcaklık Termokuplu
- 6- Egzoz Sıcaklık Termokuplu

Ayrıca, dijital hız göstergesi, dijital yük göstergesi, motor yağ basınç göstergesi, yakıt tüketimi ölçüm sistemi, hava akış ölçeri (orifis ve eğik manometre) de şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 2.2.** Deney donanımının genel görünümü

### **2.1.1. Deney motoru**

Testlerde, 8:1 SO'ya ve 389 cc silindir hacmine sahip, buji ateşlemeli, hava soğutmalı, KIPOR AG390 marka tek silindirli bir test motoru kullanılmıştır, Şekil 2.3. Deney motoruna ait teknik özellikler Tablo 2.1'de görülmektedir.



**Şekil 2.3.** Deney motoru

**Tablo 2.1** Deney motoruna ait teknik özellikler

<b>Özellikler</b>	
Motor tipi	Hava soğutmalı, 4-zamanlı, tek silindirli
Silindir çapı x kurs	88 x 64 mm
Motor hacmi	389 cc
SO	8:1
Net çıkış gücü	4,8 kW /3600 d/d
Yağ türü	15/40
Yağ kapasitesi	1,1 l
Motor ağırlığı	35 kg

### **2.1.2. Deney yakıtları**

Deneylerde saf olarak kurşunsuz benzin ve metanol yakıtları kullanılmıştır. Metanol yakıtı %99,9 saflık derecesindedir. Testlerde kullanılan yakıtlarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.2** Deney yakıtlarının bazı fiziki ve kimyasal özellikleri [16,51].

	Birim	Kurşunsuz Benzin	Metanol
Kimyasal formülü	-	-	CH <sub>3</sub> OH
Molar ağırlığı	g/mol	95-120	32,04
Tutuşma sıcaklığı	°C	210	455
Yoğunluk (20°C)	kg/m <sup>3</sup>	720-775	792
Kaynama noktası (101,3 kPa)	°C	27-225	64,5
Buhar basıncı (20°C)	kPa	45-90	12,8
Yanma limitleri	% hacim	1,4-7,6	5,5-36,5
Alevlenme noktası	°C	25	11
Alt ısıl değer	kJ/kg	44300	20100

Deneylerde kullanılan metanol-benzin karışımları aşağıdaki gibidir.

**M0** : % 100 Benzin

**M5** : %5 Metanol + %95 Benzin

**M10** : % 10 Metanol + %90 Benzin

**M20** : %20 Metanol + %80 Benzin

**M50** : %50 Metanol + %50 Benzin

### 2.1.3. Dinamometre ve yük kontrol sistemi

Motorun yüklenmesinde ve yük değerinin belirlenmesinde kullanılan motor dinamometresi ve yük kontrol sistemi Şekil 2.4'de verilmiştir.



**Şekil 2.4.** Motor Dinamometresi ve yük kontrol sistemi

Motorun yüklenmesi için deneylerde CUSSONS P8160 marka tek silindirli motor dinamometresi kullanılmıştır. Dinamometre motora ilk hareketi vermede, motoru yanma olmaksızın tahrik etmede ve motorun yüklenmesinde kullanılabilir. Motorun yüklenmesinde kullanılabilmektedir.

Dinamometre iki ana üniteden okunmaktadır. Birincisi elektrik motoru ve içten yanmalı motorların monte edildiği kaynaklı çelik levhadır. İkincisi ise kontrol panelidir. Dinamometrede kullanılan elektrik motoru doğru akım motoru olup 4000 d/d'da maksimum 10 kW yükleme yapabilmektedir.

#### 2.1.4. Yakıt tüketimi ölçüm sistemi

Motor testlerinde kullanılan yakıt tüketim ölçüm sistemi Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Yakıt tüketim ölçüm sistemi

Yakıt tüketimini ölçmek için kullanılan düzenek; 10 cm<sup>3</sup> ve 20 cm<sup>3</sup> hacminde ölçekli cam balonlardan, vanalardan ve bunları birbirlerine bağlayan bağlantı hortumundan oluşmaktadır. Yakıt tüketimi ölçümünde 10 cm<sup>3</sup> hacmindeki cam balon kullanılmıştır. Yakıt tüketimi süresinin ölçümü 0,01 saniye hassasiyetinde dijital kronometre ile yapılmıştır.

#### Egzoz gaz analiz cihazı

Egzoz emisyonlarının ölçümü için Bilsa Mod 2000 (G486) egzoz emisyon analiz cihazı kullanılmıştır, Şekil 2.6'da görülen egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri Tablo

2.3' de verilmiştir. Egzoz gaz analiz cihazı ile NO<sub>x</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub>, λ ve O<sub>2</sub> değişkenleri ölçülebilmektedir.

**Tablo 2.3.** Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri

Parametreler	Ölçüm Aralıkları	Hassasiyeti
(CO)	(CO) 0...12% Vol	%0,001
(CO <sub>2</sub> )	0...25% Vol	%0,01
(HC)	(0...2000 ppm Vol	1 ppm
NO <sub>x</sub>	0...2000 ppm Vol	1 ppm



**Şekil 2.6.** Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı

### 2.1.6. Sıkıştırma oranının değişken hale dönüştürülmesi

Sıkıştırma oranını artırabilmek için silindir kapağı taşlanmıştır. Orjinalinde 8:1 sıkıştırma oranında bulunan motorun yanma odası hacmi azaltılarak sıkıştırma oranı artırılmış ve 9:1'e çıkarılmıştır. Sıkıştırma oranını azaltabilmek için ise ek silindir kapak contaları eklenmiş ve bu oran 7:1'e dönüştürülmüştür. Şekil 2.7'de taşlanmış silindir kapağı ve motor bloğu görülmektedir.



**Şekil 2.7.** Silindir kapağı ve motor bloğunun genel görünüşleri

## **2.2. Deneyin yapılışı**

Motor testleri 2000 d/d sabit hız ve iki farklı (10 ve 20 Nm) yükte gerçekleştirilmiştir. Deneylere başlamadan önce motor yağ sıcaklığı 65°C'ye gelene kadar çalıştırılmış ve bu sıcaklıktan sonra deneylere başlanmıştır. Test ölçümlerinin kararlılığı açısından, her deneyden sonra motor bir süre dinlenmeye bırakılmıştır.

## **2.3. Deney verilerinin analizinde kullanılan hesaplama yöntemleri**

Motor performansının detaylı bir şekilde incelenebilmesi için, yapılan deneylerden elde edilen ham veriler aşağıda sunulan hesaplamalarda kullanılmıştır.

### **2.3.1. Ortalama efektif basınç**

Motorun gerçek çevrimdeki eşdeğer gücün elde edilebilmesi için kurs boyunca pistonu etkimesi gereken sabit basınç olarak tarif edilen ortalama efektif basınç (OEB) aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [17, 52].

$$OEB = \frac{N_e}{V_h \cdot i \cdot n} \quad (2.1)$$

Dört zamanlı motorlarda  $i$ : 1/2 olarak alınmaktadır. OEB'nin hesaplanabilmesi için öncelikle motor momentinin ve gücü hesaplanmaktadır. Buna göre motor momenti;

$$M_e = F \cdot L_{kol} \text{ (Nm)} \quad (2.2)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır. Momentin açısal hız ile çarpımı efektif gücü vermektedir.

$$N_e = \omega \cdot M_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot M_e \cdot \frac{1}{1000} \text{ (kW)} \quad (2.3a)$$

Formülün sadeleştirilmiş hali Eş.(2.3b)'de verilmiştir [17, 25, 52, 53].

Burada;

$M_e$  : Döndürme momenti (Nm)

$F$  : Dinamometre gövdesinde oluşan kuvvet değeri (N)

$L_{kol}$  : Moment kol uzunluğu (m)

$N_e$  : Efektif güç (kW)

$n$  : Motor hızı (d/d)'yi ifade etmektedir.

### 2.3.2. Özgül yakıt tüketimi

Testler esnasında 10 g yakıtın ( $m_{yakıt}$ ) tüketilme süresi kronometre ile ölçülmüş ve aşağıdaki formül ile birim zamanda tüketilen yakıt miktarı hesaplanmıştır;

$$\dot{m}_y = \frac{m_{yakıt} \cdot 10^{-3} \cdot 3600}{\Delta t} \text{ (kg/h)} \quad (2.4)$$

Burada,  $\dot{m}_y$ : kütleli yakıt debisi (kg/h) ve  $\Delta t$ : 10g yakıtı tüketme süresini (s) göstermekte olup, formüldeki ( $10^{-3} \cdot 3600$ ) çarpımı birim eşleştirme için kullanılmıştır. Eş. (2.3d) ve (2.4)'de bulunan sonuçlar aşağıdaki formülde yerine yazılarak ÖYT hesaplanmaktadır [17, 25, 52, 53, 54, 55].

$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_y}{N_e} \cdot 10^3 \left( \frac{kJ}{kWh} \right) \quad (2.5)$$

### 2.3.3. Efektif verim

Efektif verim, motor milinden elde edilen gücün, yakıt ile motora verilmiş olan enerjiye oranı olan  $\eta$  'nin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır [21, 34, 77, 78, 81].

$$\eta = \left( \frac{1}{\text{ÖYT} \cdot H_u} \right) (\%) \quad (2.6)$$

Burada;  $H_u$ : yakıtın alt ısıl değeridir (kJ/kg).

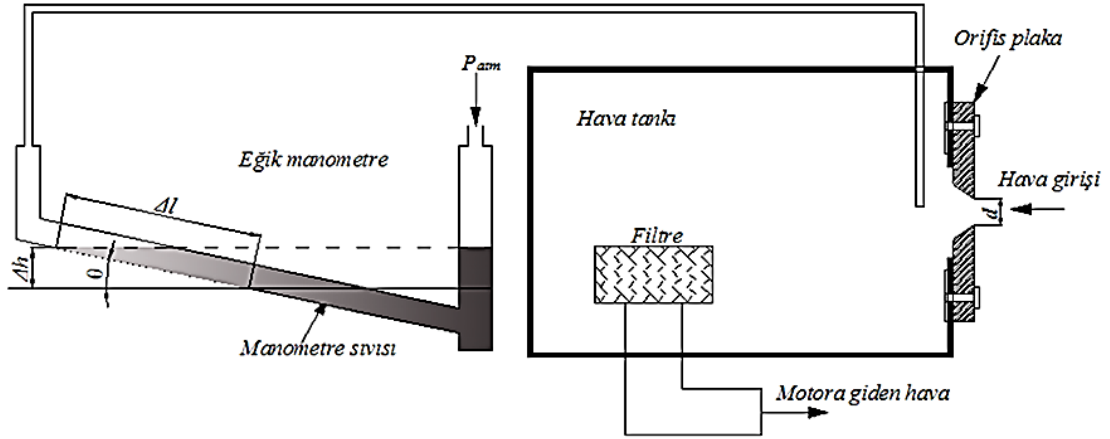
### 2.3.4. Özgül enerji tüketimi

Özgül enerji tüketimi (ÖET), deney motorunda birim güç başına harcanan yakıt ile o yakıtın alt ısıl değerinin çarpımına eşittir [21].

$$\text{ÖET} = \text{ÖYT} \cdot H_u \quad (kJ/kWh) \quad (2.7)$$

### 2.3.5. Hava tüketimi

Motor testlerinde volumetrik verimin ve gerçek  $\lambda$  değerinin hesaplanabilmesi için çalışma sırasında motora alınan hava debisinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, ISO 5167-2 [56] standardına göre hazırlanmış orifis plaka ve eğik manometre tekniği ile hava debisi elde edilmiştir. Formülde kullanılacak olan değişkenler Şekil 2.8’de şematik olarak verilmiştir.



**Şekil 2.8:** Hava tüketimi ölçüm sisteminin şematik görünümü

Orifis çapı ( $d$ ), deney motorunun her türlü çalışma koşullarına uygun hava gereksinimini karşılayacak şekilde olmalıdır. Bu amaç için kullanılan orifis plakanın orifis çapı, Eş. (2.8a ve 2.8b) ile belirlenmiştir.

$$d = \sqrt{Q_{max}} \quad (m) \quad (2.8a)$$

Teorikte motor bir çevrimde emebileceği maksimum hava miktarına ( $Q_{max}$ ), maksimum motor hızında ( $n_{max}$ ) ulaşır. Buna göre dört zamanlı motorlarda  $Q_{max}$ ;

$$Q_{max} = \frac{V_h \cdot n_{max}}{2} \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (2.8b)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Orifisten geçen havanın oluşturduğu basınç düşümü, manometre sıvısının “ $\Delta l$ ” kadar yükselmesine sebep olmaktadır. Bu, testler sırasında eğik manometreden mmH<sub>2</sub>O cinsinden okunan değerdir. Eğik manometre hidrostatik prensibe göre çalıştığından, hesaplamalarda yataya dik olan yükseklik “ $\Delta h$ ” kullanılmaktadır [53]. Buna göre;

$$\Delta h = \Delta l \cdot \sin\theta \text{ (mmH}_2\text{O)} \quad (2.9)$$

Hidrostatik prensibe göre basınç farkı ise Eş. (2.10)’da verilen formül ile hesaplanır;

$$P_1 - P_2 = \Delta h \cdot \rho_{sivi} \cdot g \quad (2.10)$$

Hava akışında, hidrodinamik prensipler geçerlidir. Buna göre, orifis plakadan geçen havaya göre Bernoulli denklemi yazılacak olursa;

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + z_1 = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + z_2 \quad (2.11a)$$

bağıntısına ulaşılır. Burada;

$$\rho_1 \cong \rho_2 \cong \rho_{hava}, z_1 \cong z_2, v_1 \cong 0$$

olduğu kabul edilip, formül tekrar düzenlendiğinde;

$$\frac{P_1}{\rho_{hava}} = \frac{P_2}{\rho_{hava}} + \frac{v_2^2}{2} \quad (2.11b)$$

halinde sadeleşir. Buradan akış hızı ( $v_2$ ) yalnız bırakılırsa;

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho_{hava}}} \text{ (} \frac{m}{s} \text{)} \quad (2.11c)$$

bağıntısı elde edilir. Eş. (2.9) ve (2.10)'daki ifadeler Eş. (2.11c)'deki yerine yazılacak olursa;

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_{sıvı} \cdot g \cdot \Delta l \cdot \sin\theta}{\rho_{hava}}} \quad (2.11d)$$

ifadesi elde edilir.

Süreklilik denkleminde yararlanılarak ve hesaplamalar sonucu bulunan deşarj katsayısı “ $C_d$ ” göz önünde bulundurulduğunda akış hızı bilinen havanın kütleli debisi;

$$\dot{m}_{hava} = C_d \cdot \rho_{hava} \cdot A \cdot v_2 \quad (2.12a)$$

formülü ile hesaplanır. Eş. (2.11c)'deki ifade Eş. (2.12a)'de yerine yazılırsa;

$$\dot{m}_{hava} = C_d \cdot \rho_{hava} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_{sıvı} \cdot g \cdot \Delta l \cdot \sin\theta}{\rho_{hava}}} \quad (2.12b)$$

bağıntısı elde edilir. Burada;  $\dot{m}_{hava}$ : kütleli hava debisi (kg/s),  $C_d$ : deşarj katsayısı,  $g$ : yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ ),  $\rho_{hava}$ : havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ ),  $\rho_{sıvı}$ : manometre sıvısı yoğunluğu ( $kg/m^3$ ),  $\theta$ : Manometre eğiklik açısı ve  $\Delta l$ : Eğik manometreden okunan sıvı yükseliş miktarını (mmSS) gösterir.

Momenti, motorun efektif gücünü, özgül yakıt tüketimini ve efektif verimin hesaplanmasını bir örnekle açıklayacak olursak;

2000 d/d motor devrinde, M0 yakıtı için, 40 N motor yükünde şu değerler elde edilmiştir.

$M_e$  : Döndürme momenti (Nm)

$$M_e = 40 \cdot 0,25 = 10 \quad (Nm)$$

$N_e$  : Efektif güç (kW)

$$N_e = \frac{10 \cdot 2000}{9549,3} = 2,094 \quad (kW)$$

ÖYT: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

$$\dot{m}_y = \frac{10^{-5} \cdot 0,740 \cdot 10^{-3} \cdot 3600}{122} = 2,18 \cdot 10^{-4} \quad (kg/h)$$

$$\ddot{OYT} = \frac{2,18 \cdot 10^{-4}}{2,094} \cdot 10^3 = 0,104 \quad (g/kWh)$$

$\eta$ : Efektif verim (%)

$$\eta = \left( \frac{1}{0,104 \cdot 44,3} \right) = 21,7(\%)$$

$\ddot{OET}$ : Özgül Enerji Tüketimi (J/kWh)

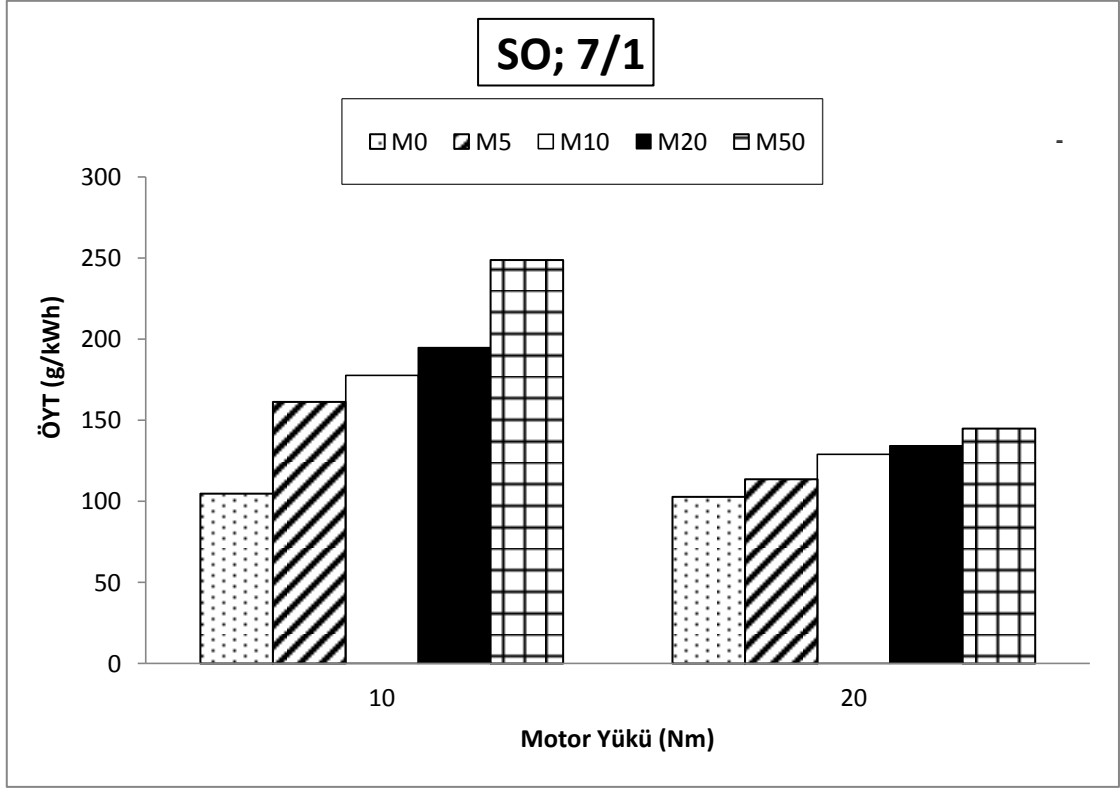
$$\ddot{OET} = 0,104 \cdot 44,3 = 4,6072 \quad \left( \frac{J}{kWh} \right)$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

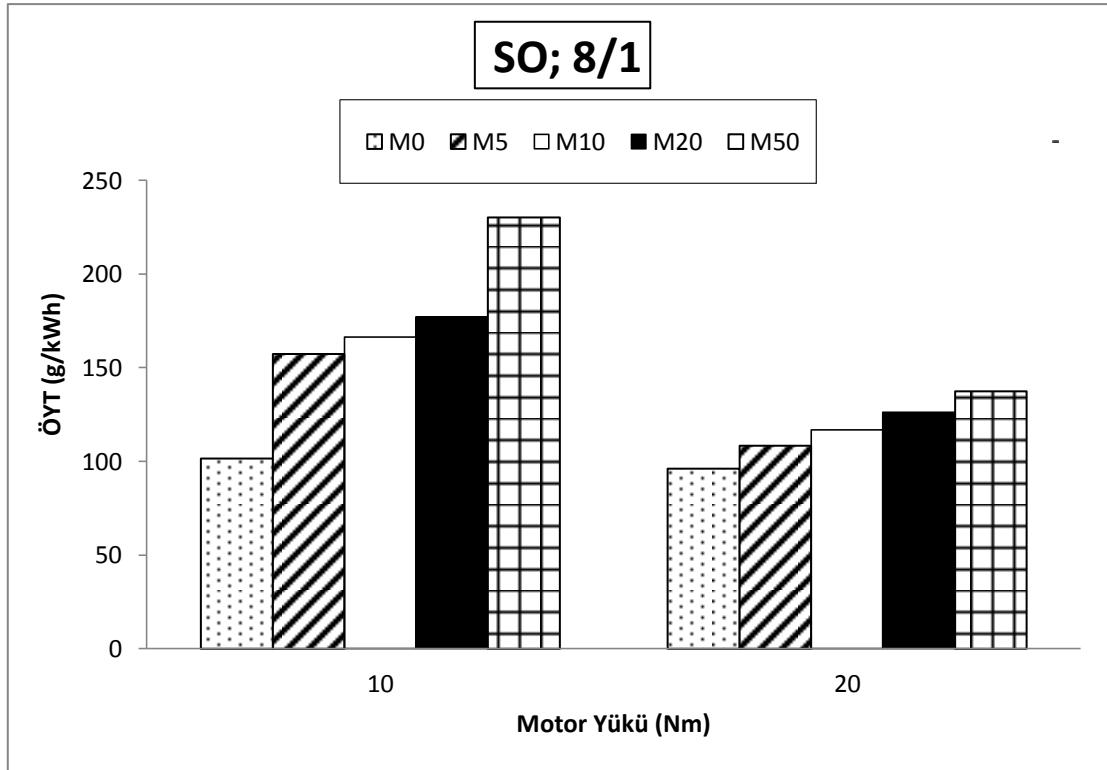
Bu bölümde 2000 d/d motor hızında, 10 Nm ve 20 Nm yüklerinde, farklı SO'da M0, M5, M10, M20 ve M50 yakıtları kullanılarak yapılan deneylerde ÖYT, Egzoz gazı sıcaklığı (EGS), CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonları incelenerek, karşılaştırma yapılmıştır.

#### 3.1. Özgül yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması

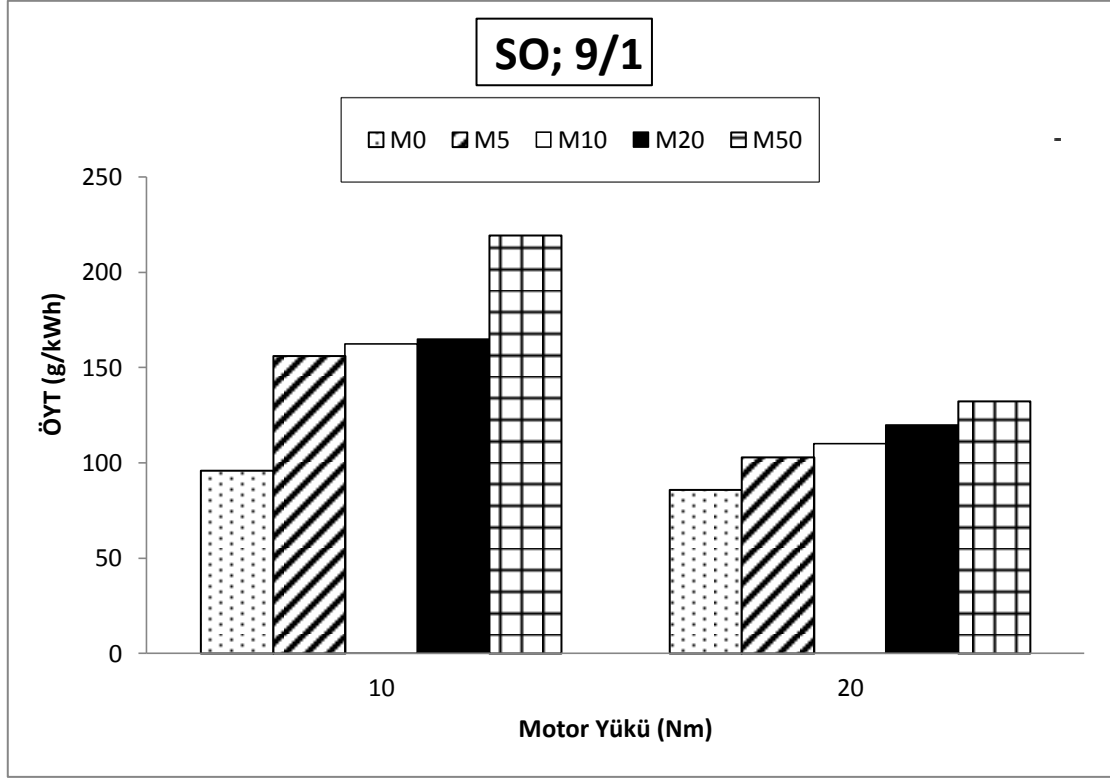
ÖYT, birim güç başına tüketilen yakıt miktarıdır. Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3 incelendiğinde, motor yükü arttıkça ÖYT azalmaktadır. 10 Nm yükte M10 yakıtı için ÖYT değeri 166,34 g/kWh iken 20 Nm'de yine aynı yakıt için 116,88 g/kWh olarak hesaplanmıştır. Motor yükünün artmasıyla beraber yanma ürünlerinin egzoz sisteminde kalma süresi azalmaktadır. Bunun sonucunda volumetrik verim artar. Motorun belli çalışma şartlarında emdiği gerçek hava miktarının, teorik hava miktarına oranına volümetrik verim denir. Volümetrik verimin artması da ÖYT'nin azalmasına sebep olur [57].



Şekil 3.1. 7/1 SO'da ÖYT'nin Motor Yüğü ile Değişimi

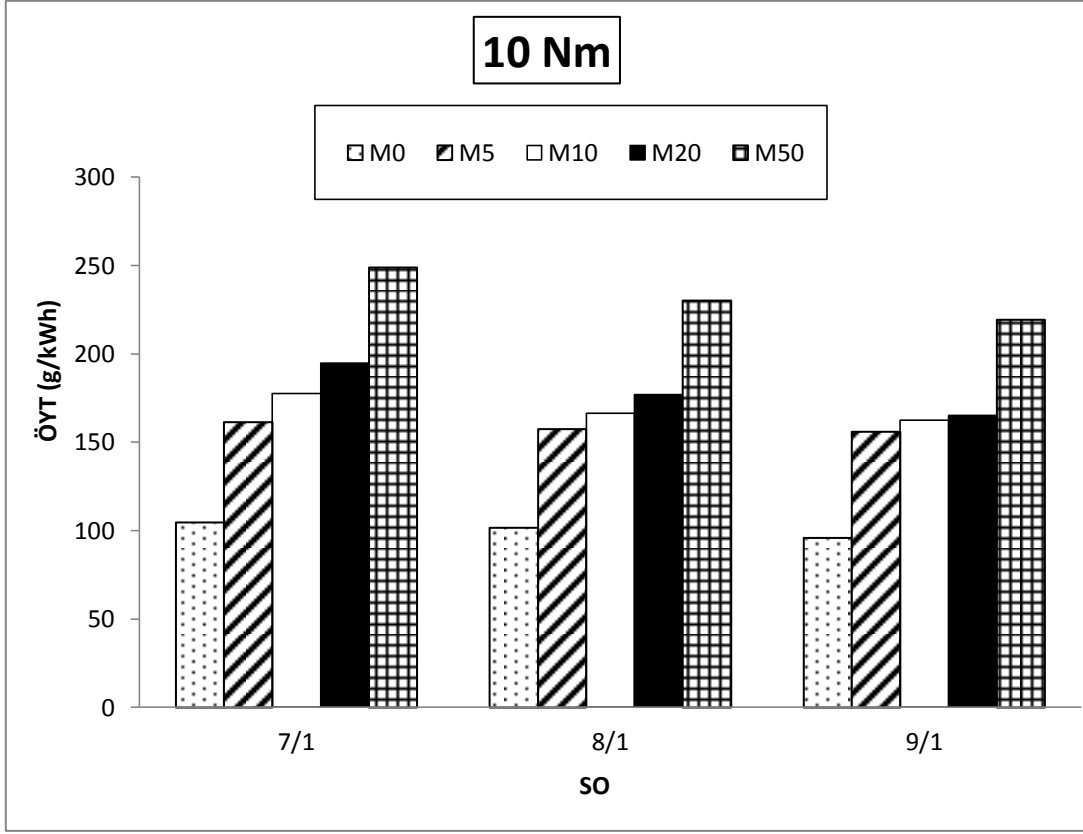


Şekil 3.2. 8/1 SO'da ÖYT'nin Motor Yüğü ile Değişimi



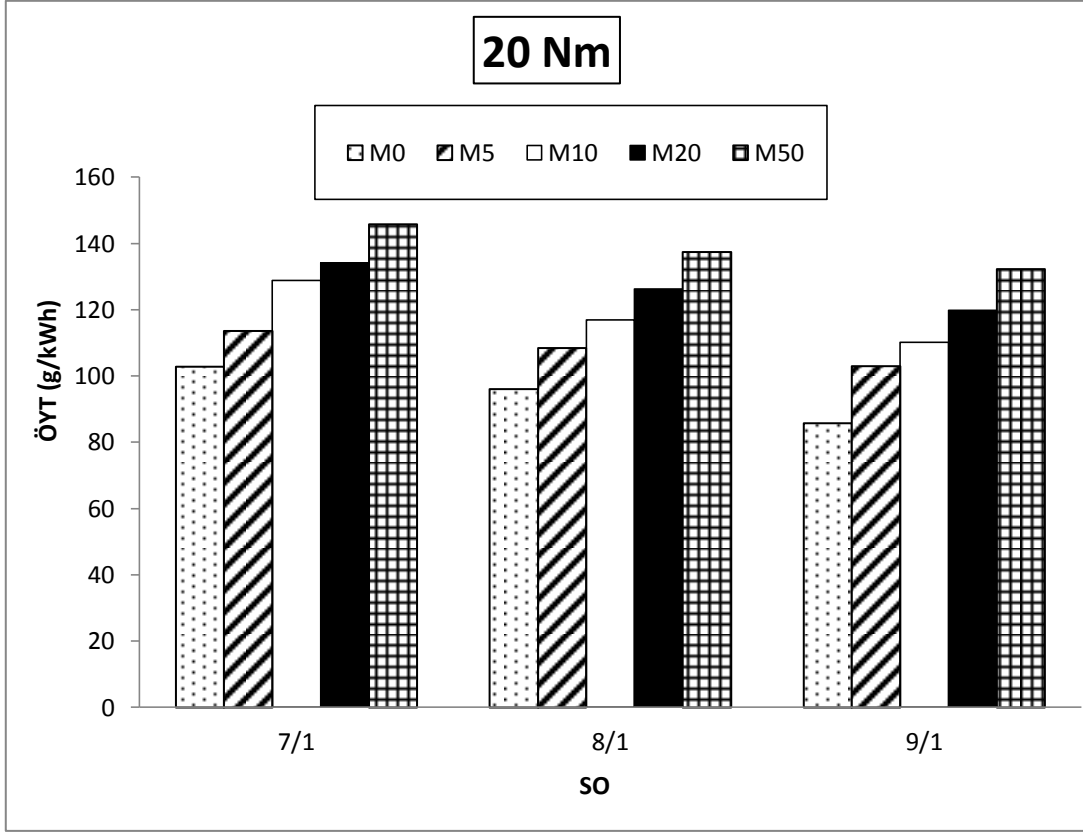
**Şekil 3.3.** 9/1 SO'da ÖYT'nin Motor Yüğü ile Değişimi

En düşük ÖYT, ve 9/1 SO'da 20 Nm'de M0 yakıtından elde edilmiştir. M5, M10, M20 ve M50 yakıtlarında ÖYT'nin benzine göre ortalama artış miktarları sırasıyla %12,02; %21,71; %31,41 ve %43,05 olarak belirlenmiştir. Metanol-benzin karışımlarında meydana gelen ÖYT artışının temel nedeni, metanolün içeriğinde oksijen bulundurması sonucunda ısıl değerlerinin benzine göre daha düşük olmasıdır [58].



**Şekil 3.4.** 10 Nm’de ÖYT’nin SO ile Değişimi

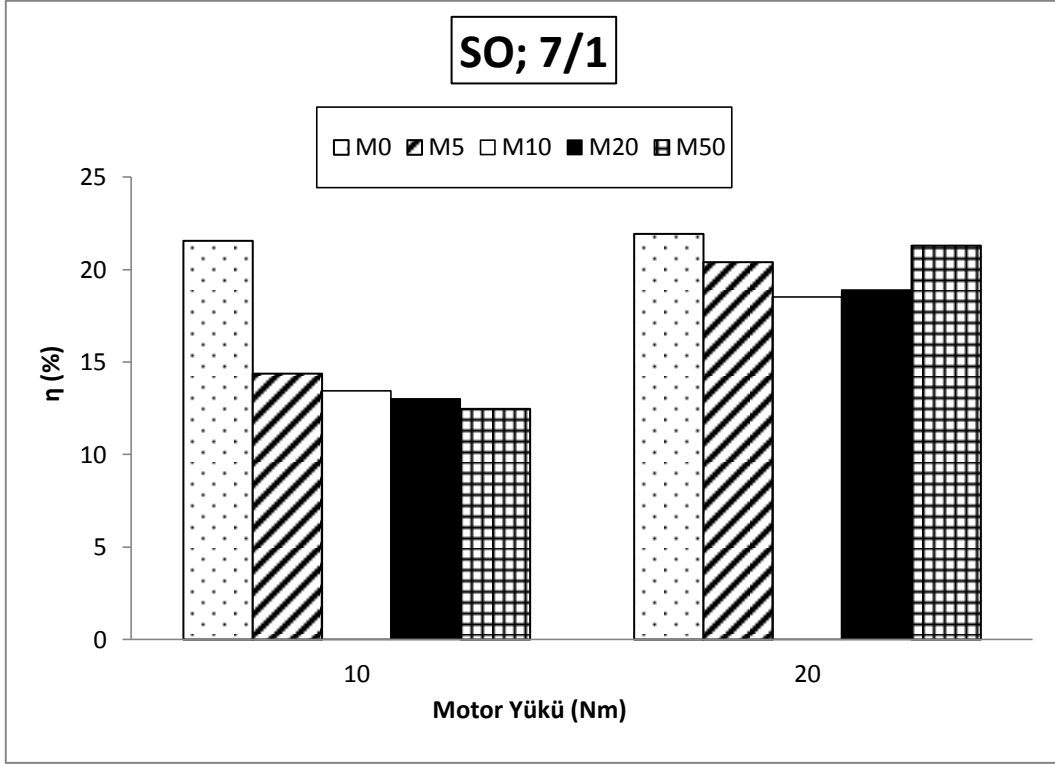
Benzin-metanol karışımlarının üç farklı SO’da kullanımının ÖYT’ye etkisi Şekil 3.4 ve 3.5’de görülmektedir. Şekiller incelendiğinde, SO’nun artmasıyla birlikte ÖYT’nin azaldığı görülmektedir. Minimum ÖYT’nin M0 yakıtı için 85,82 g/kWh olduğu ve bunun 9/1 SO’da gerçekleştiği gözlemlenmektedir. 9/1 SO’da ve aynı yakıt için 8/1 ve 7/1 SO ile kıyaslandığında sırasıyla %11,89 ve %19,83 oranlarında artış gözlenmiştir [43]. Eklerde de görüldüğü gibi SO’nun artması beraberinde yanma sonu sıcaklıklarını da artırmıştır. Buna bağlı olarak, yanma veriminin iyileşmesinin ÖYT’deki azalmaya neden olduğu düşünülmektedir [57].



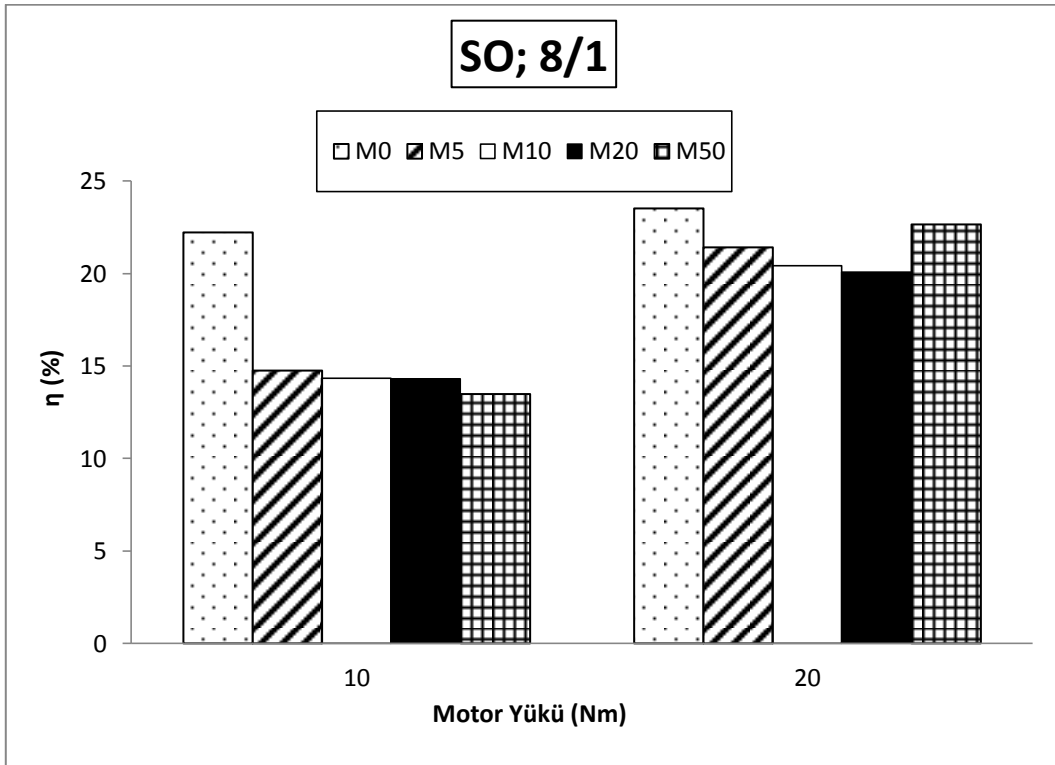
**Şekil 3.5.** 20 Nm’de ÖYT’nin SO ile Değişimi

### 3.2. Efektif verimlerin karşılaştırılması

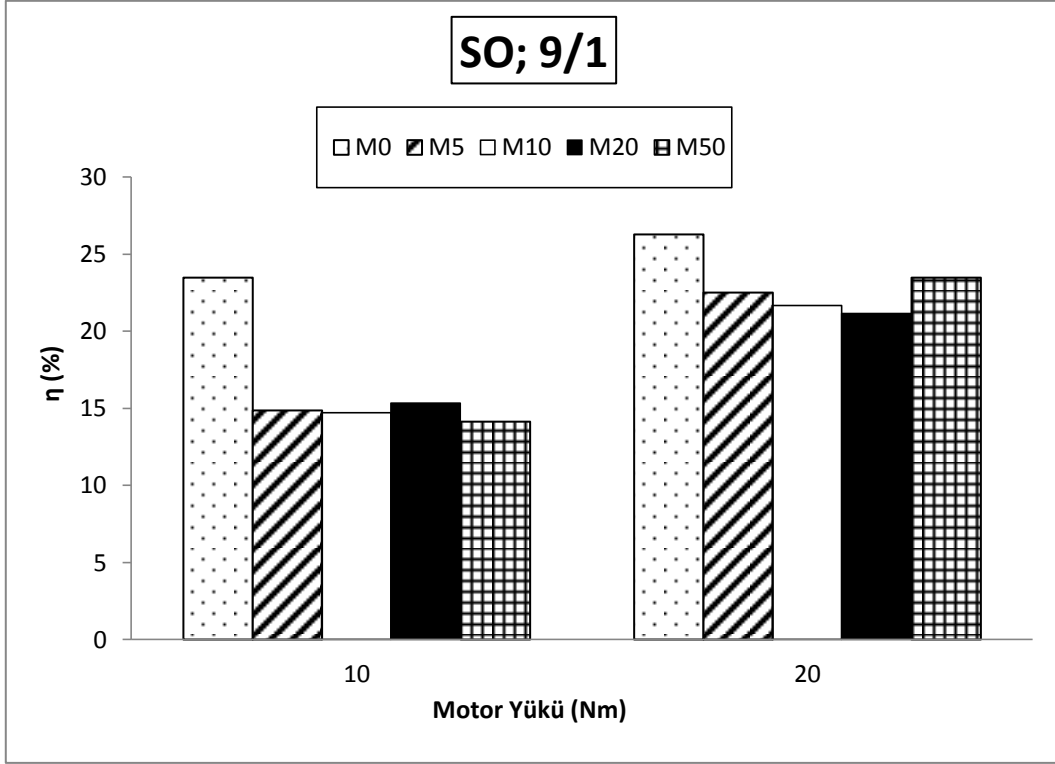
Efektif verim ( $\eta$ ), motor milinden alınan işin, motora verilen toplam enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.6, 3.7 ve 3.8 incelendiğinde, motor yükü arttıkça  $\eta$  artmaktadır. 8/1 SO’da ve 10 Nm yükte M10 yakıtı için  $\eta$  değeri %14,35 iken 20 Nm’de yine aynı yakıt için %20,43 olarak görülmektedir. Denklem 2.6’da görüldüğü gibi  $\eta$  değeri, ÖYT değeri ve karışımın  $H_u$  değerinin artması ile beraber azalmaktadır. Motor yükünün artması ile ÖYT azalmaktadır. Bununla beraber  $\eta$  değeri artmaktadır [59].



**Şekil 3.6.** 7/1 SO'da  $\eta$ 'nün Motor Yüğü ile Değişimi



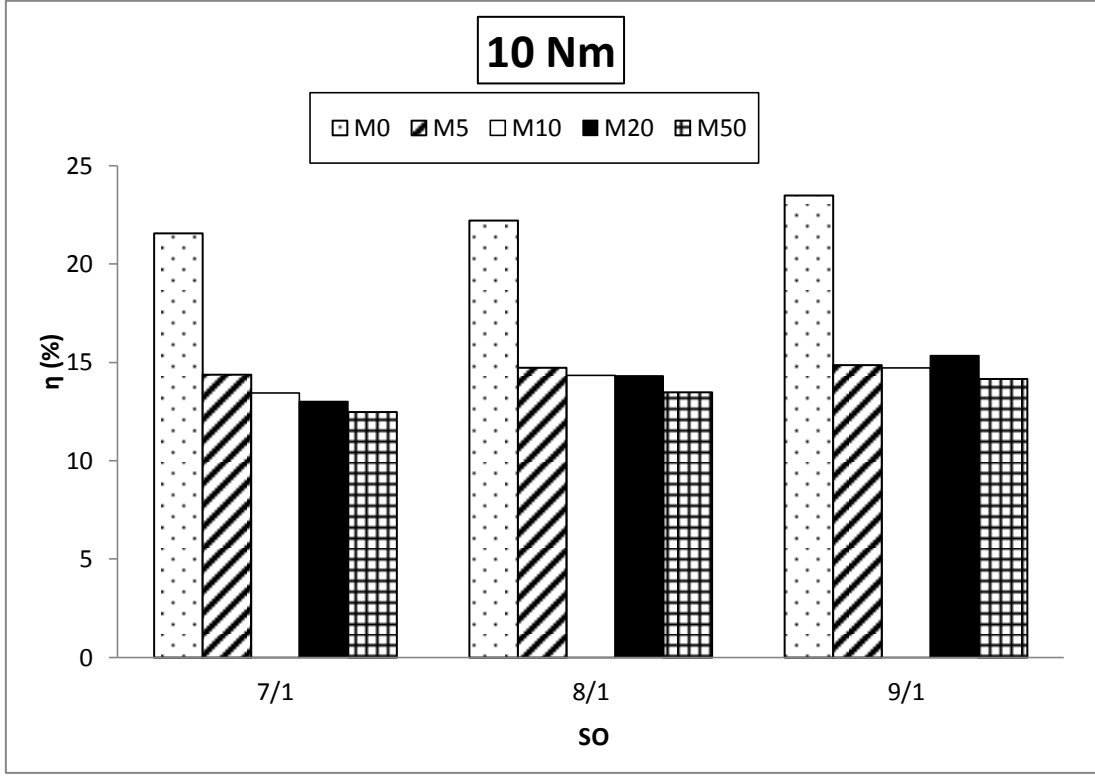
**Şekil 3.7.** 8/1 SO'da  $\eta$ 'nün Motor Yüğü ile Değişimi



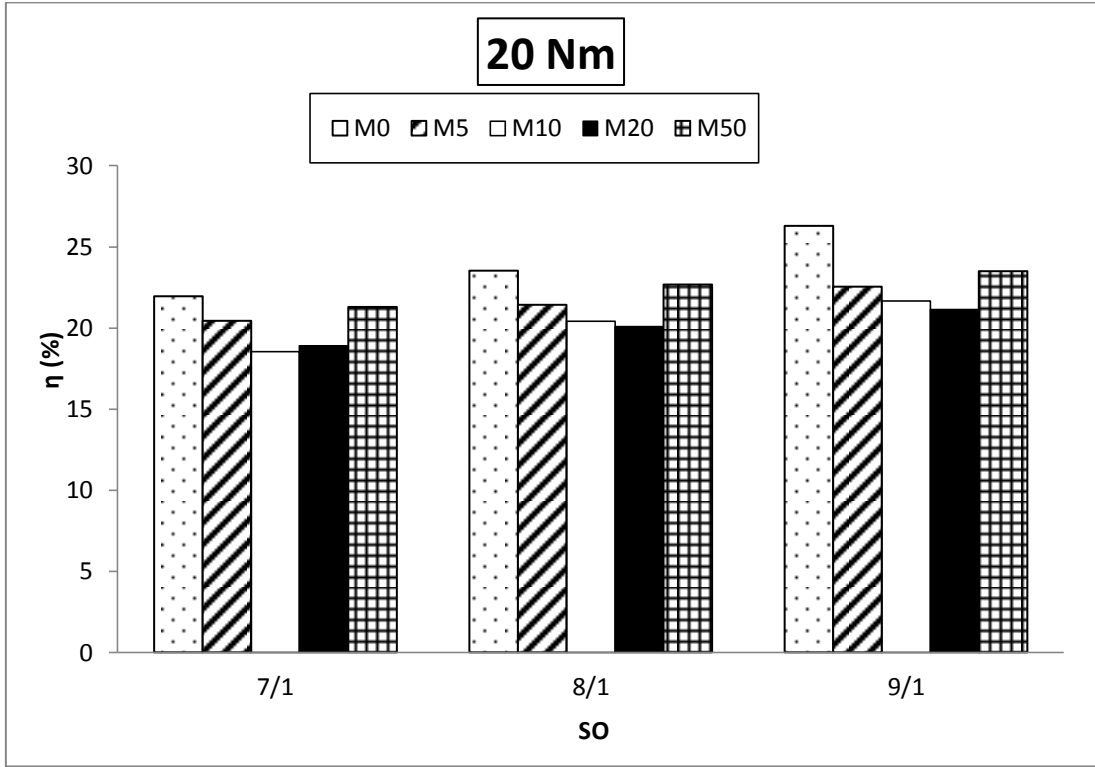
**Şekil 3.8.** 9/1 SO'da  $\eta$ 'nün Motor Yüğü ile Değişimi

En düşük  $\eta$ , 7/1 SO'da ve 10 Nm'de M50 yakıtından elde edilmiştir. M5, M10, M20 ve M50 yakıtlarında  $\eta$ 'nün benzine göre ortalama azalma miktarı sırasıyla %33,66; %35,42; %25,60 ve %39,29 olarak belirlenmiştir. Metanolün benzine göre adyabatik alev sıcaklıklarının daha düşük olması ve yanma hızlarının yüksek olması  $\eta$ 'nün artışında önemli bir neden olmaktadır [60].

Benzin-metanol karışımlarının üç farklı SO'da kullanımının  $\eta$ 'ye etkisi Şekil 3.9 ve 3.10'da görülmektedir. Şekiller incelendiğinde, SO'nun artmasıyla birlikte  $\eta$ 'nün bir noktaya kadar artarken ondan sonra artış hızının yavaşladığı gözlemlenmektedir. Maksimum  $\eta$ 'nün %26,3 olduğu ve bunu 9/1 SO'da benzin yakıtından sağladığı görülmektedir. 9/1 SO'da ve aynı yakıt için diğer 8/1 ve 7/1 SO ile kıyaslandığında sırasıyla %11,86 ve %19,81 oranında arttığı tespit edilmiştir. SO'nun artışı ile beraber yanma odası yüzey/hacim oranının artışı çevreye olan ısı transferini de artırmakta olduğundan  $\eta$ 'deki artış oranı sınırlı kalmıştır [26].



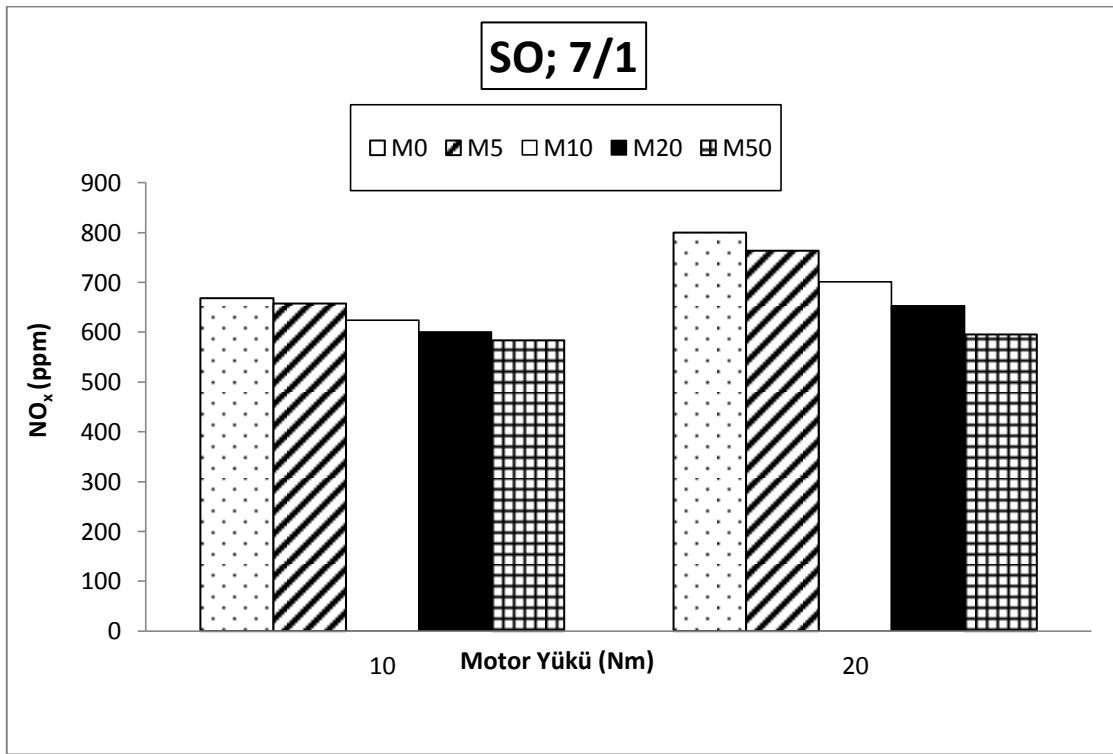
Şekil 3.9. 10 Nm’de  $\eta$ ’nün SO ile Değişimi



Şekil 3.10. 20 Nm’de  $\eta$ ’nün SO ile Değişimi

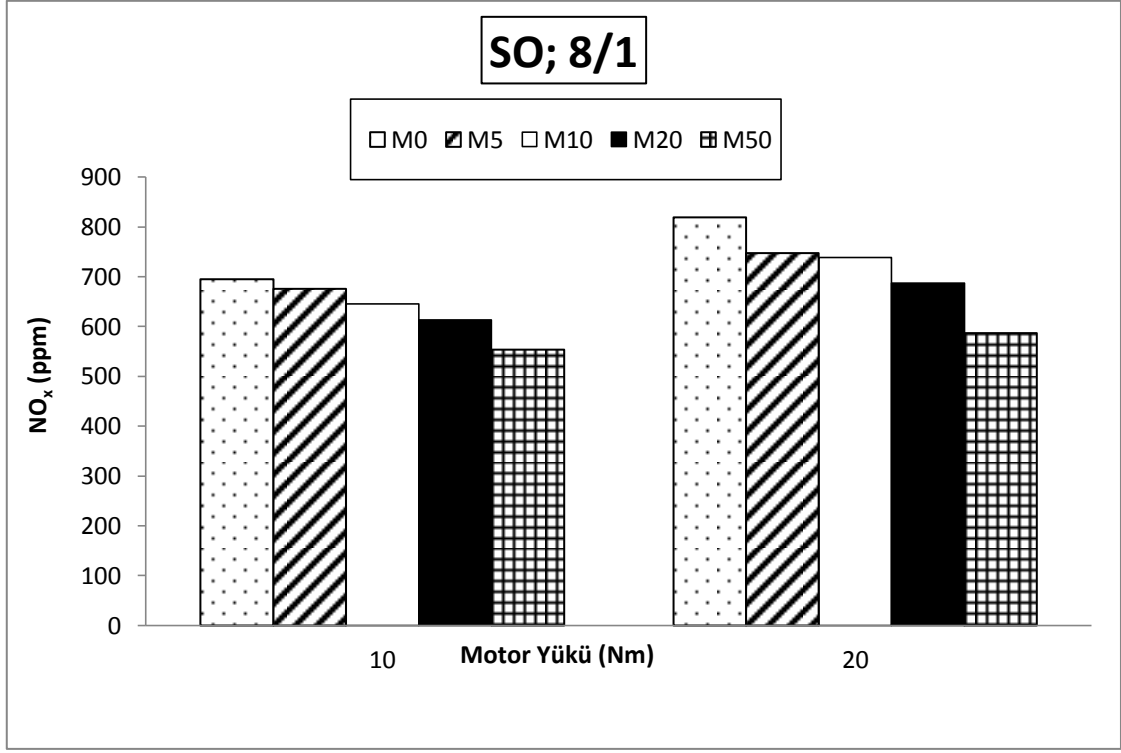
### 3.3. NO<sub>x</sub> emisyonlarının karşılaştırılması

NO<sub>x</sub> hava içerisindeki azot (N) atomunun yüksek sıcaklık etkisi ile oksitlenmesi sonucu oluşan bir emisyonudur. Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13 incelendiğinde motor yükü arttıkça NO<sub>x</sub> azalmaktadır. 8/1 SO'da 10 Nm yükte M10 yakıtı için NO<sub>x</sub> değeri 645 ppm iken 20 Nm'de yine aynı yakıt için 739 ppm olarak ölçülmüştür. NO<sub>x</sub> oluşumunu silindir içi basınç ve sıcaklığın etkilediği, sıcaklık arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonunun da hızla artması beklenir [61].

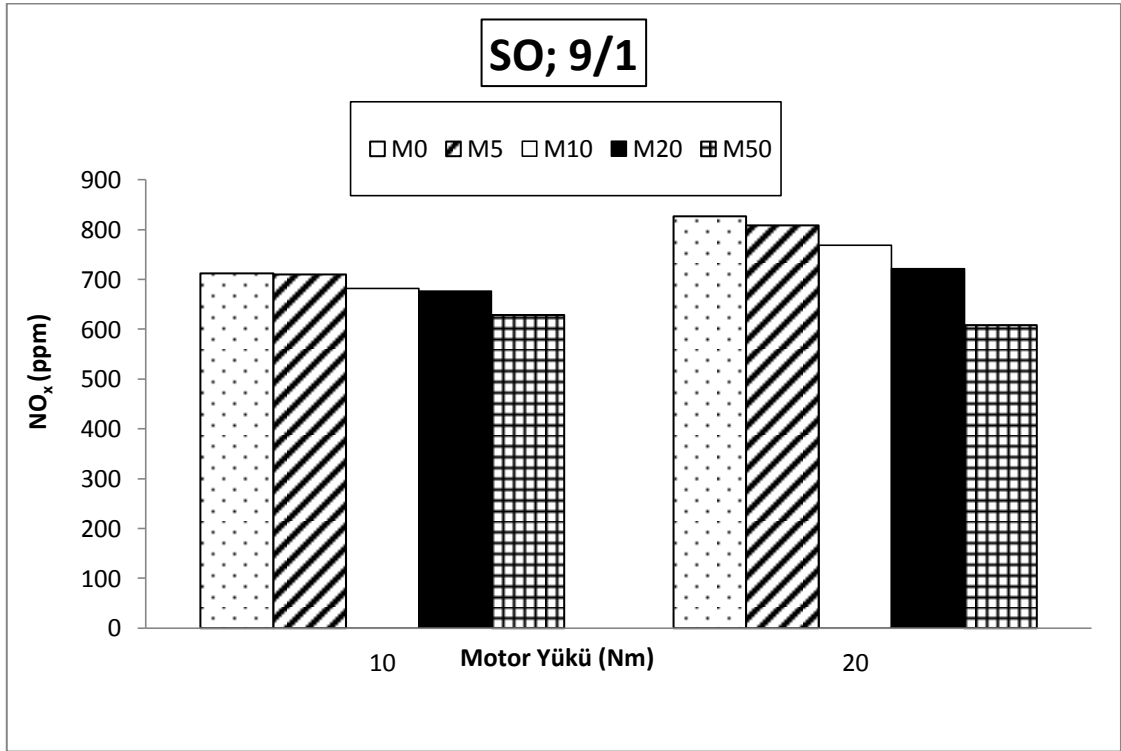


Şekil 3.11. 7/1 SO'da NO<sub>x</sub>'in Motor Yükü ile Değişimi

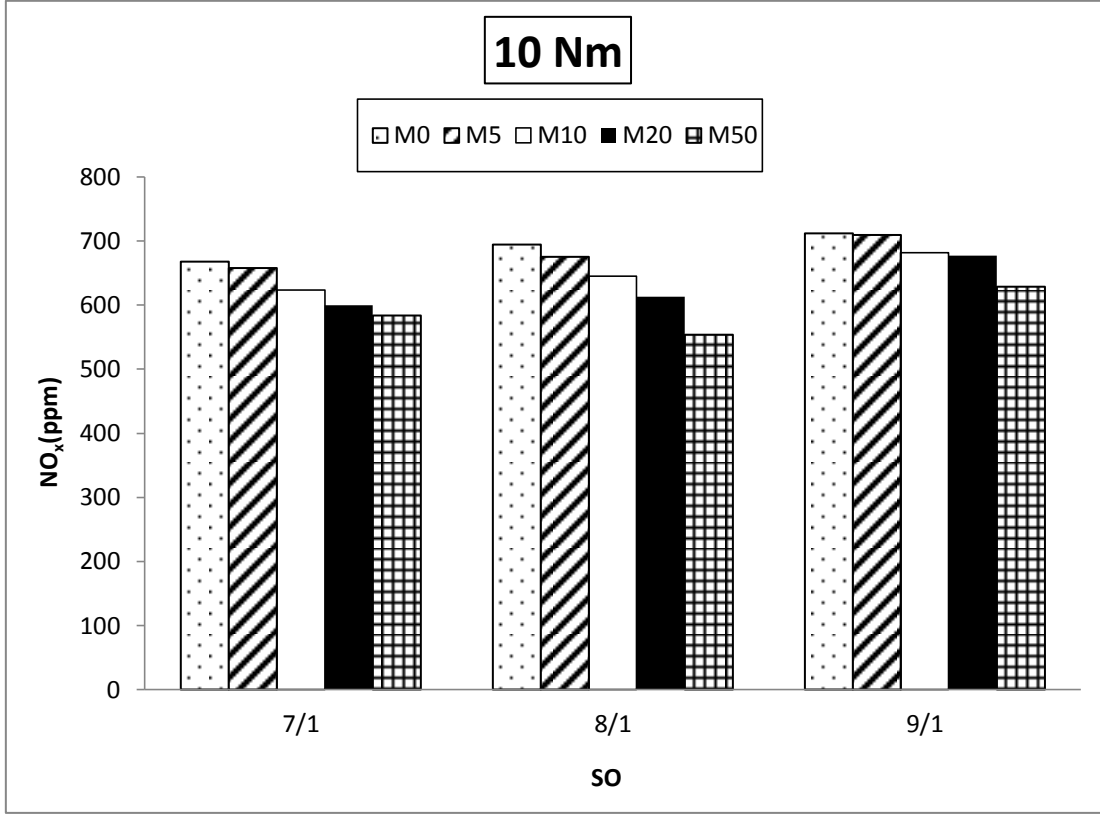
En düşük NO<sub>x</sub> 10 Nm'de M50 yakıtından elde edilmiştir. M5, M10, M20 ve M50 yakıtlarında NO<sub>x</sub>'in benzine göre ortalama azalma miktarları sırasıyla %2,83; %7,20; %11,80 ve %20,29 olarak belirlenmiştir. Metanolün adyabatik alev sıcaklığının düşük olması NO<sub>x</sub> emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır [62-63].



Şekil 3.12. 8/1 SO'da NO<sub>x</sub>'in Motor Yüğü ile Değişimi

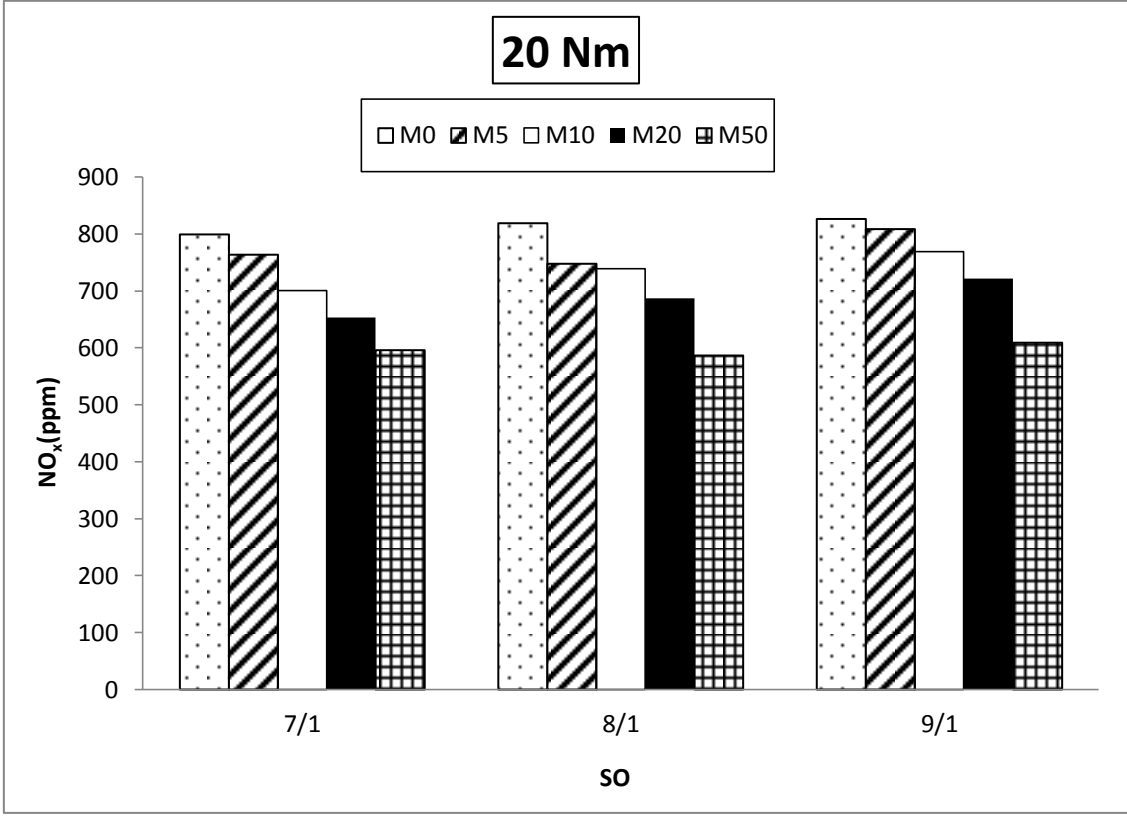


Şekil 3.13. 9/1 SO'da NO<sub>x</sub>'in Motor Yüğü ile Değişimi



**Şekil 3.14.** 10 Nm’de NO<sub>x</sub>’in SO ile Değişimi

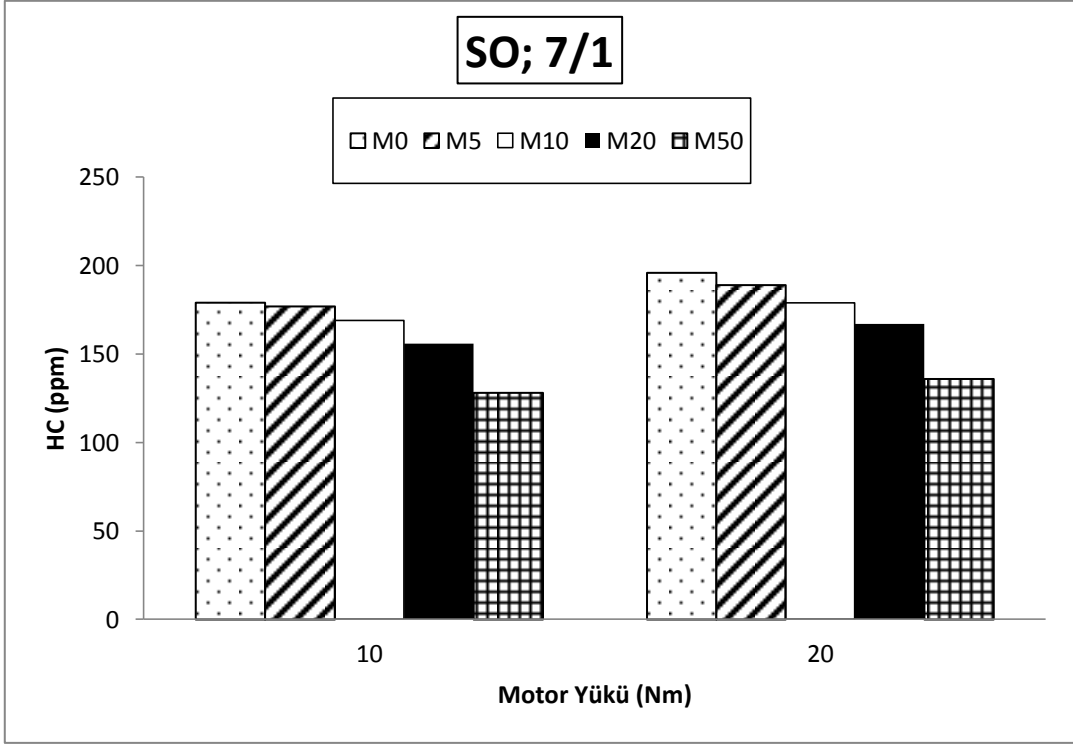
Benzin-metanol karışımlarının üç farklı SO’da kullanımının NO<sub>x</sub>’e etkisi Şekil 3.14 ve 3.15’de görülmektedir. Şekiller incelendiğinde, SO’nun artmasıyla birlikte NO<sub>x</sub> emisyonu artmıştır. Maksimum değere NO<sub>x</sub> emisyonu 9/1 SO’da M0 yakıtında ulaşmıştır. 7/1; 8/1 ve 9/1 SO’da aynı yakıt için NO<sub>x</sub> emisyonlarının sırasıyla 800 ppm, 819 ppm ve 827 ppm olduğu görülmüştür. NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki artışa, sıkıştırma sonucu artan basınç ve sıcaklığındaki artışın neden olduğu düşünülmektedir [18].



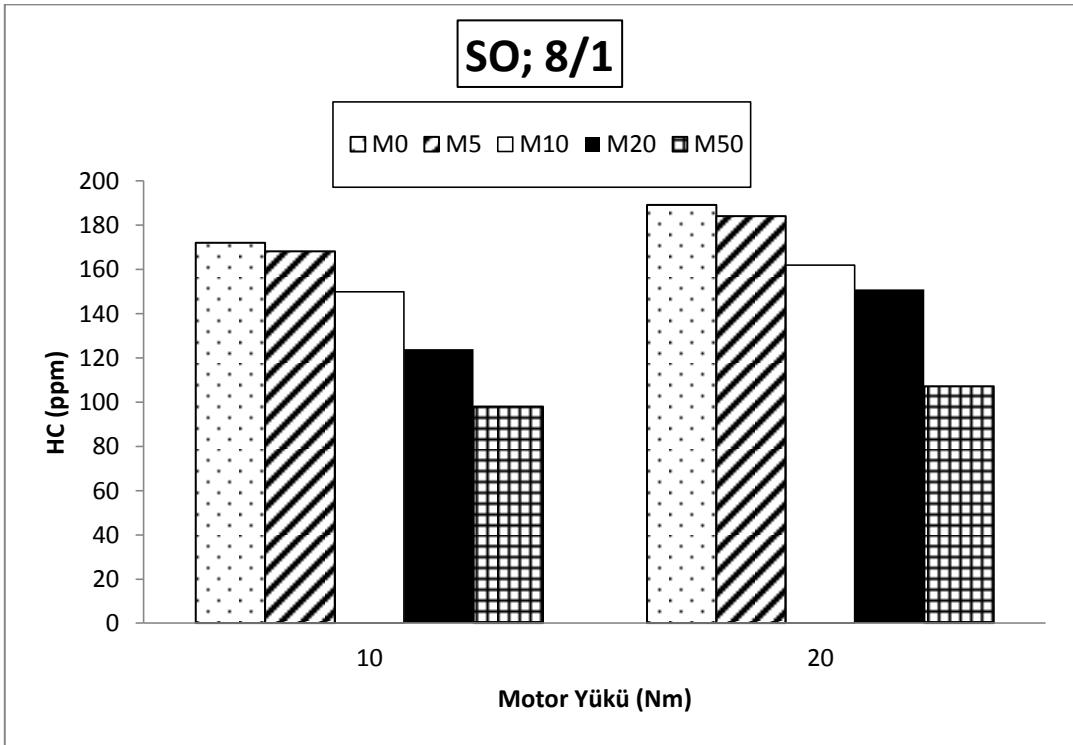
Şekil 3.15. 20 Nm’de NO<sub>x</sub>’in SO ile Değişimi

### 3.4. HC emisyonlarının karşılaştırılması

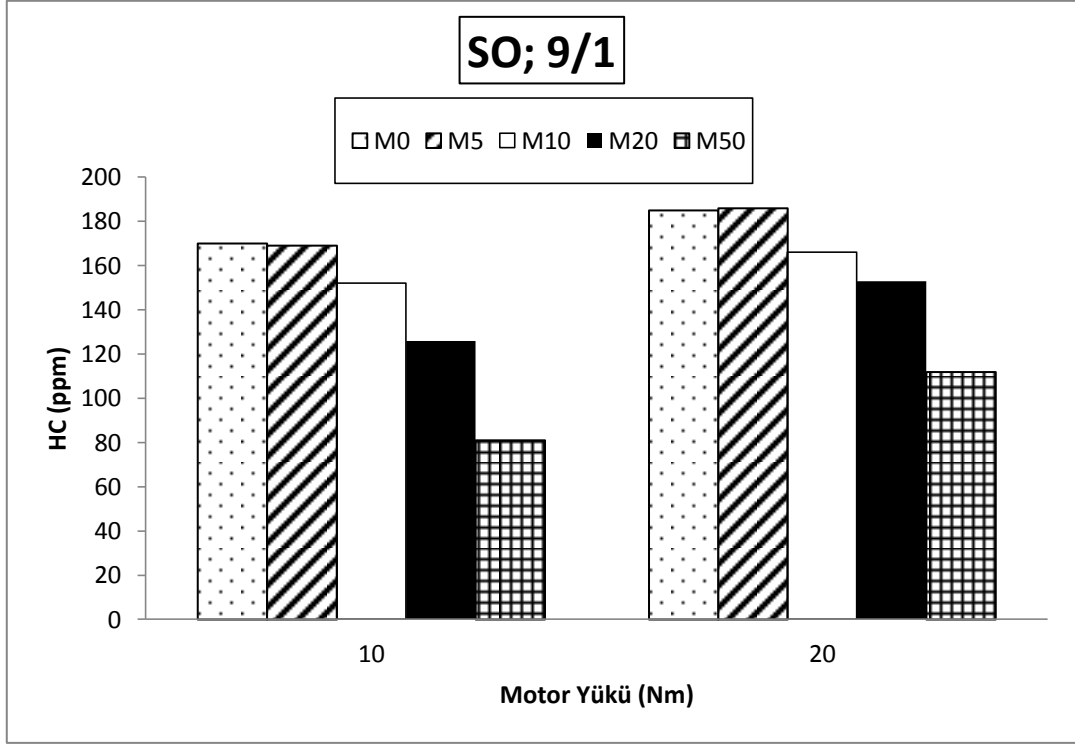
HC emisyonları yanmamış veya kısmi yanmış hidrokarbon yakıtlardan oluşmaktadır. HC emisyonlarının oluşmasına sebep olan başlıca nedenler fazla zengin veya fakir karışımlar sonucunda oluşan eksik yanma, hava-yakıt karışımı içerisinde bulunan yüksek oranda yanmış egzoz gazları, yanma yüzeylerinde oluşan alev sönmesi, yanma odasındaki karbon birikintileri ve silindir cidarındaki yağ tabakasının yakıt tutması olarak sıralanabilir [64]. Şekil 3.16, 3.17 ve 3.18 incelendiğinde, motor yükü arttıkça HC emisyonları artmaktadır. 8/1 SO’da 10 Nm yükte M10 yakıtı için HC emisyon değeri 150 ppm iken 20 Nm yükte yine aynı yakıt için 162 ppm olarak ölçülmüştür. Motor yükünün artması ile birlikte karışımın zenginleşmesinden dolayı HC emisyonları artmaktadır [65].



Şekil 3.16. 7/1 SO'da HC'nin Motor Yüğü ile Değişimi



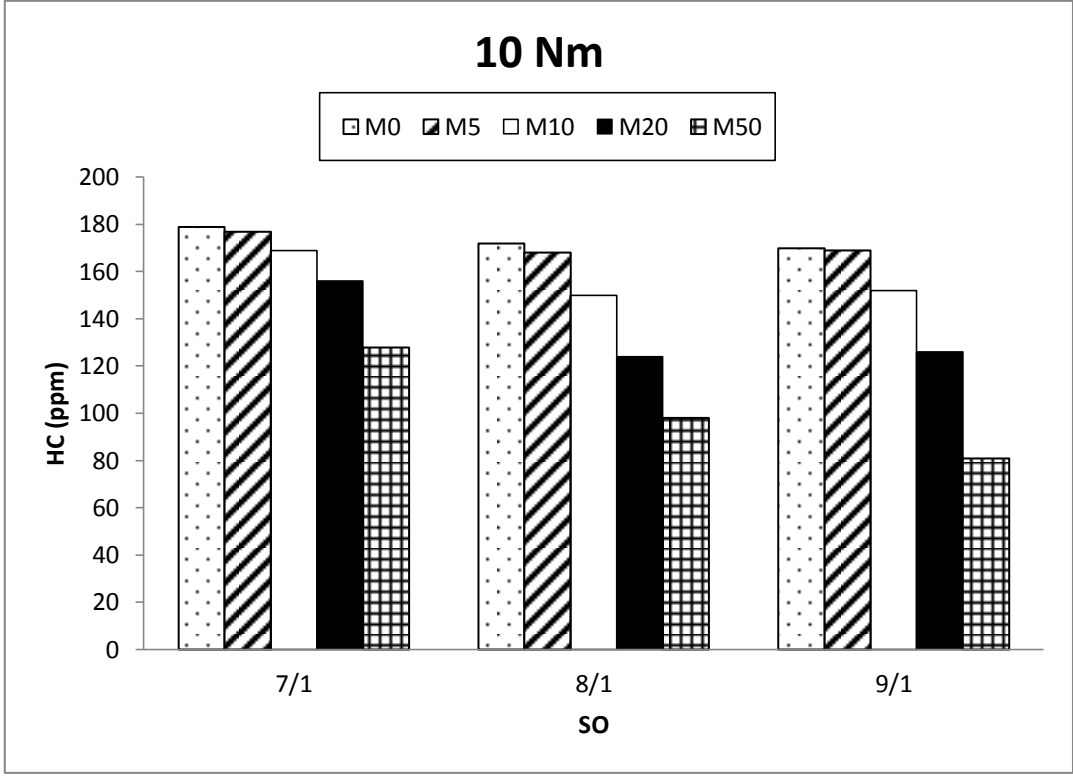
Şekil 3.17. 8/1 SO'da HC'nin Motor Yüğü ile Değişimi



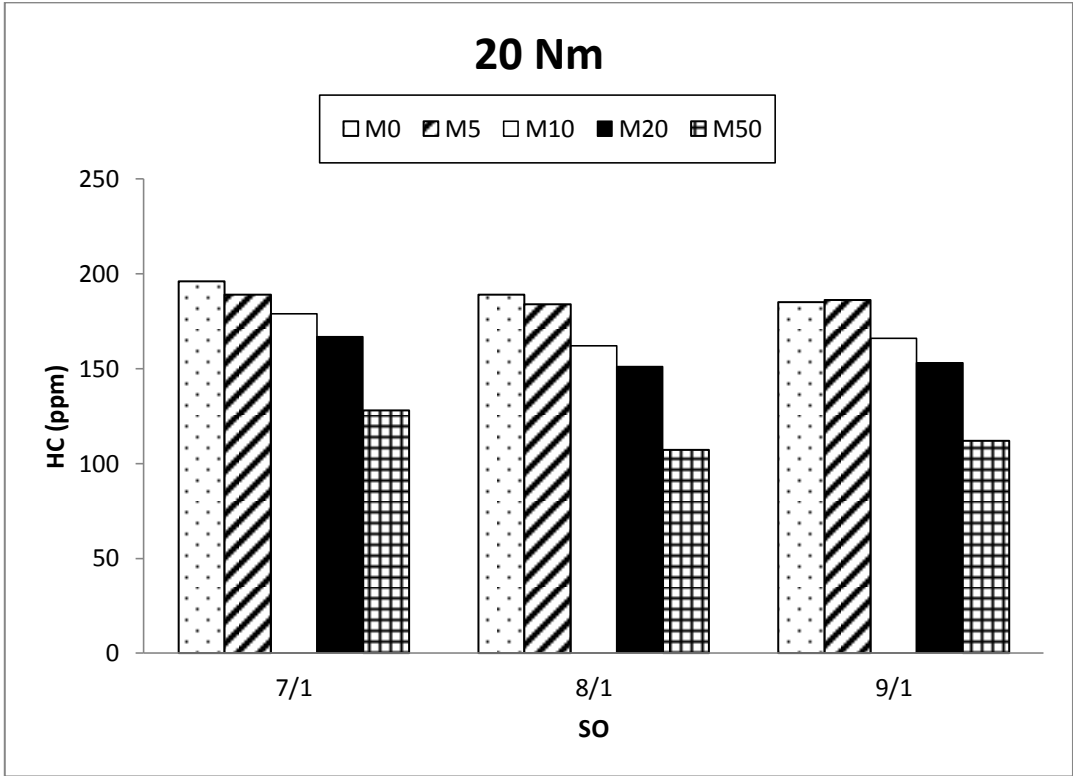
**Şekil 3.18.** 9/1 SO'da HC'nin Motor Yüğü ile Değişimi

En düşük HC emisyonu, 10 Nm'de M50 yakıtından elde edilmiştir. M5, M10, M20 ve M50 yakıtlarında HC'nin benzine göre azalma miktarları sırasıyla %2,33; %12,79; %17,91; %43,03 olarak belirlenmiştir. HC emisyonlarındaki azalmanın nedeni, metanol içindeki C miktarının düşük olması ve yapısında O<sub>2</sub> bulundurması ile yanma kalitesinin iyileşmesinden kaynaklanmaktadır [66].

Benzin-metanol karışımlarının üç farklı SO'da kullanımının HC emisyonlarına etkisi Şekil 3.19 ve 3.20'de görülmektedir. Şekiller incelendiğinde SO'nun artmasıyla birlikte HC emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Maksimum değere 7/1 SO'da M0 yakıtında ulaştığı görülmektedir. M10 yakıtı için HC emisyonu değerleri 7/1, 8/1 ve 9/1 SO için sırasıyla 179 ppm, 162 ppm ve 166 ppm olarak ölçülmüştür. SO 9/1 olduğu M20 yakıtında, SO'nun artmasıyla beraber yanma odasının yüzey/hacim oranı artarak alev sönme bölgesini genişletmektedir. Bundan dolayı HC emisyonu bir miktar artış göstermiştir [67].



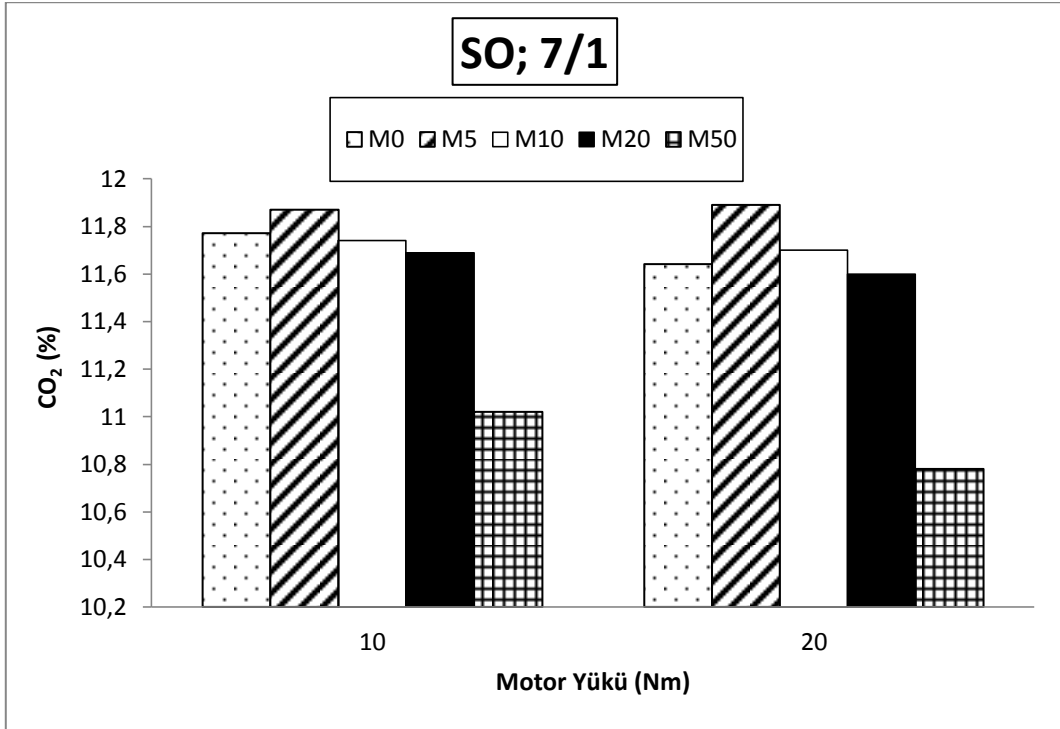
Şekil 3.19. 10 Nm’de HC’nin SO ile Değişimi



Şekil 3.20. 20 Nm’de HC’nin SO ile Değişimi

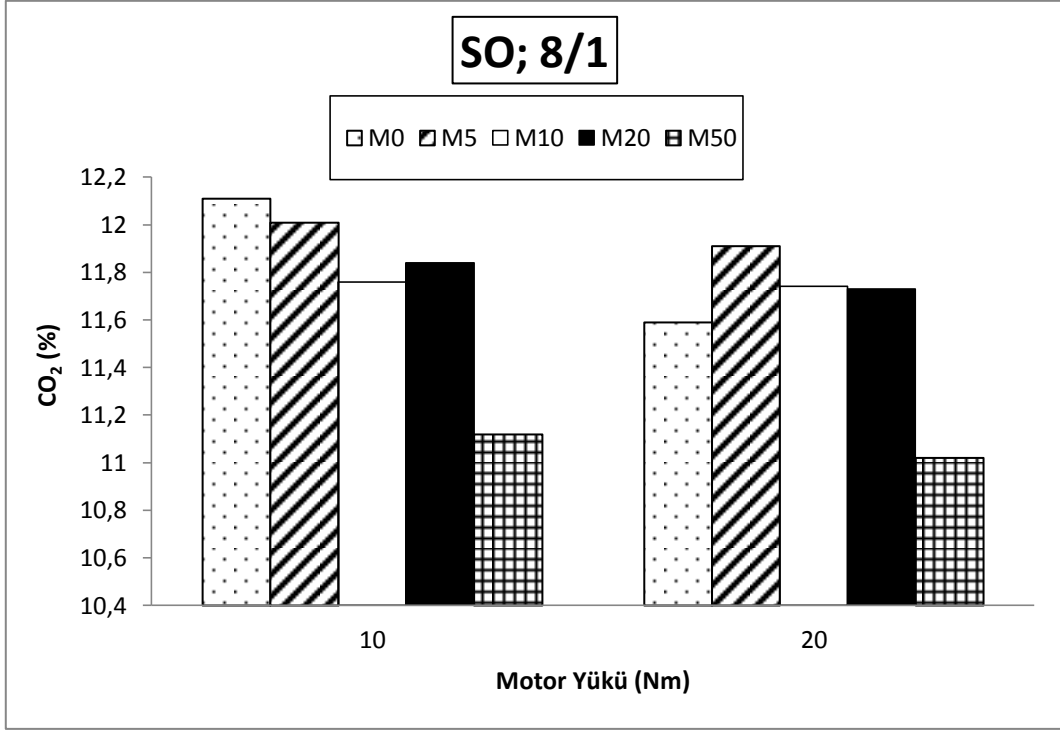
### 3.5. CO<sub>2</sub> emisyonlarının karşılaştırılması

CO<sub>2</sub>, yakıt içerisindeki C atomlarının tam olarak yanması ile beraber ortaya çıkan bir emisyonudur. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak için, içerisindeki C atomu az olan veya hiç olmayan yakıtlar kullanılabilir [68]. Şekil 3.21, 3.22 ve 3.23 incelendiğinde, motor yüküne göre CO<sub>2</sub> emisyonları önemli bir farklılık göstermemektedir. 10 Nm yükte M10 yakıtı için CO<sub>2</sub> emisyonu değeri %11,76 iken 20 Nm yine aynı yakıt için %11,74 olarak ölçülmüştür.

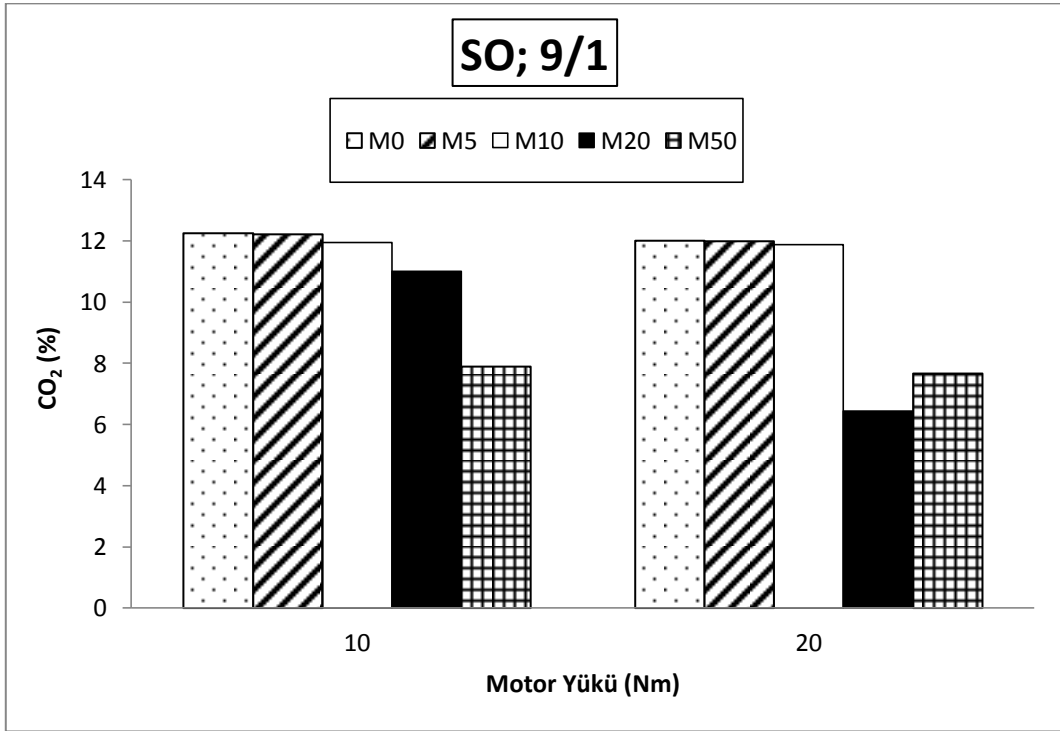


Şekil 3.21. 7/1 SO'da CO<sub>2</sub>'nin Motor Yükü ile Değişimi

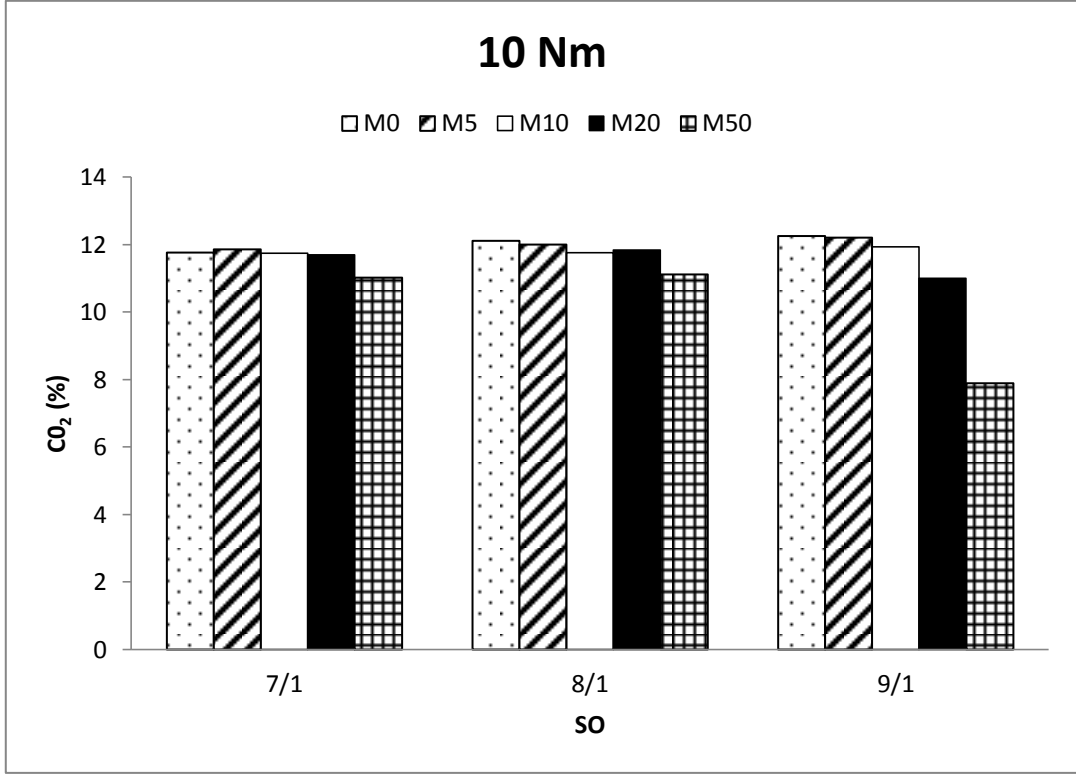
En düşük CO<sub>2</sub> emisyonu 20 Nm'de M50 yakıtından elde edilmiştir. M5, M10 ve M20 yakıtlarında artış oranı sırasıyla %2,76; 1,29 ve %1,21 olarak ve M50 yakıtında azalma oranı %4,92 olarak tespit edilmiştir [19].



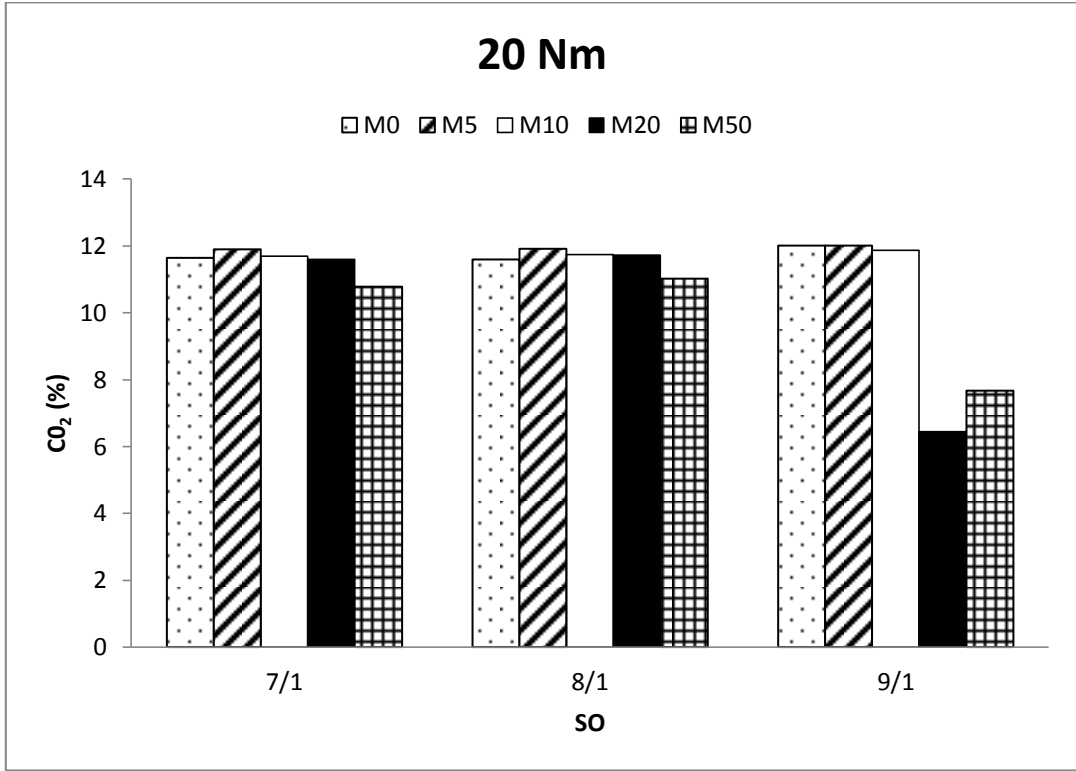
Şekil 3.22. 8/1 SO'da CO<sub>2</sub>'nin Motor Yüğü ile Değişimi



Şekil 3.23. 9/1 SO'da CO<sub>2</sub>'nin Motor Yüğü ile Değişimi



Şekil 3.24. 10 Nm’de CO<sub>2</sub>’nin SO ile Değişimi

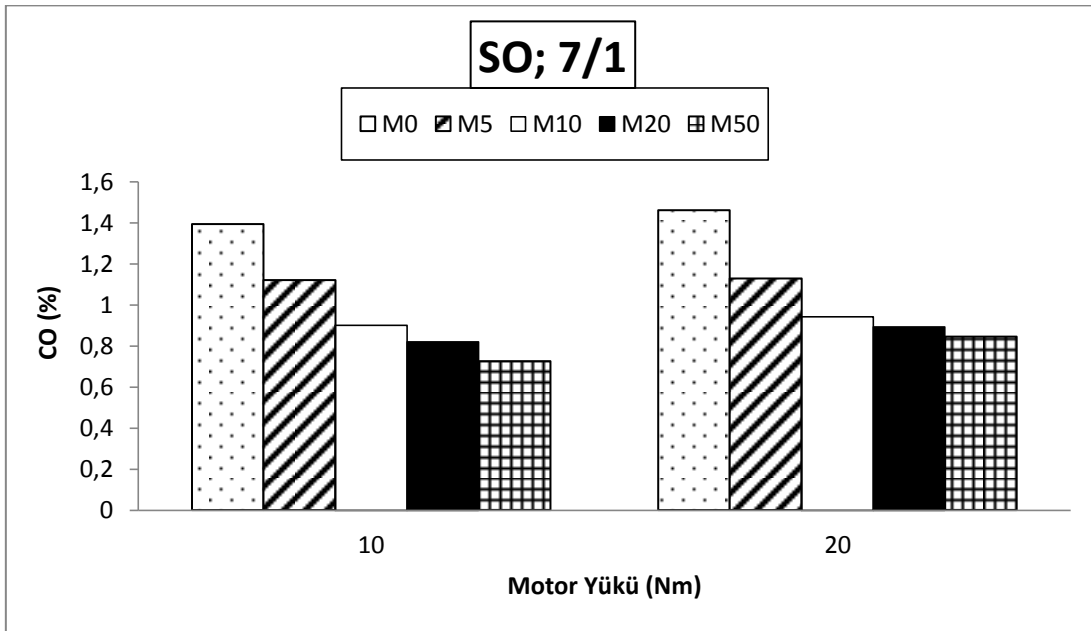


Şekil 3.25. 20 Nm’de CO<sub>2</sub>’nin SO ile Değişimi

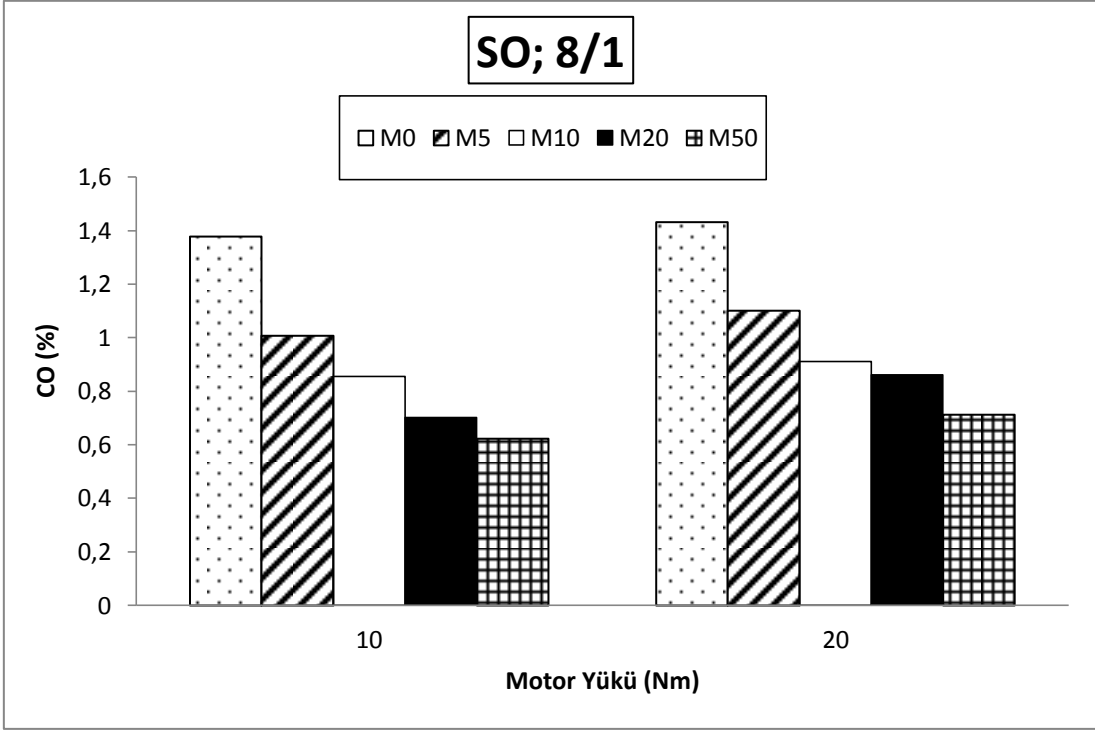
Benzin-metanol karışımlarının üç farklı SO'da kullanımının CO<sub>2</sub> emisyonuna etkisi Şekil 3.24 ve 3.25'de görülmektedir. Şekiller incelendiğinde SO'nun artmasıyla beraber yanmanın iyileşmesi sonucu benzin ve benzin-metanol yakıtlarında CO<sub>2</sub> emisyonunun arttığı görülmektedir. Fakat 9;1 SO'da M20 ve M50 yakıt türlerinde yanmanın iyileşmesi sonucu CO<sub>2</sub> emisyonu azalmıştır [8].

### 3.6. CO emisyonun karşılaştırılması

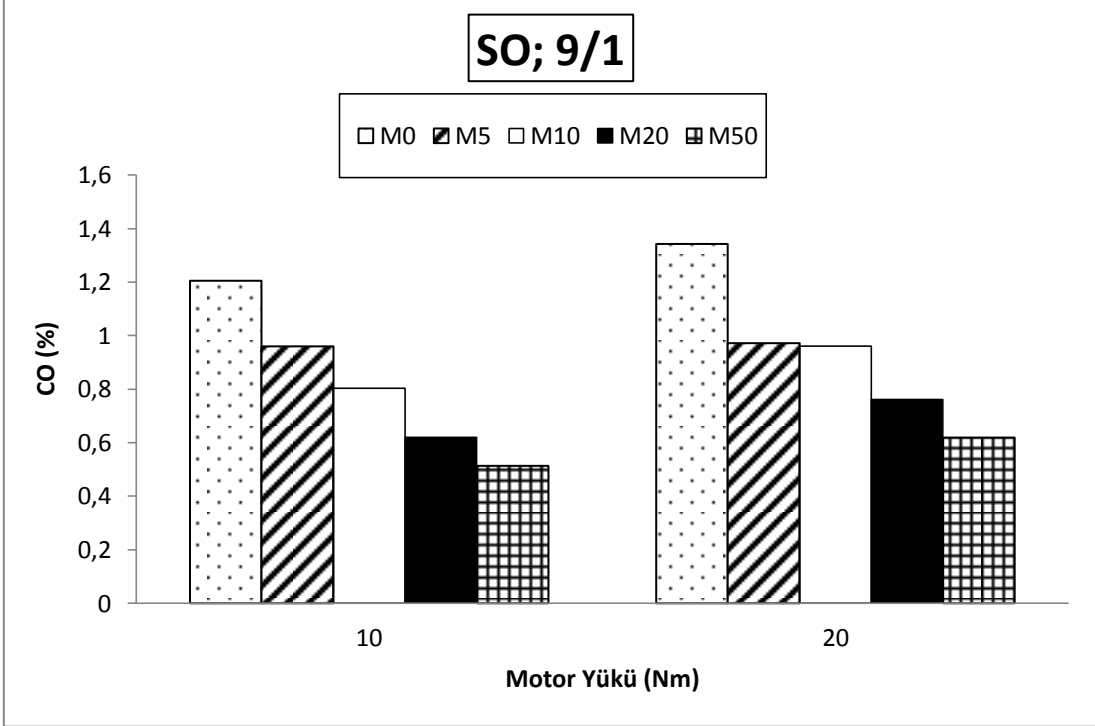
CO emisyonu, yanma odası içerisinde yetersiz O<sub>2</sub> bulunmasıyla yakıt içerisindeki C atomlarının tam olarak yanamamasıyla oluşur. CO emisyonu yakıtın kimyasal bileşiminde bulunan C atomu sayısı ile de ilişkilidir [25-61]. Şekil 3.26, 3.27 ve 3.28 incelendiğinde, motor yükü arttıkça CO emisyonu artmaktadır. 10 Nm yükte M10 yakıtı için CO değeri %0,856 iken 20Nm'de yine aynı yakıt için %0,912 olarak ölçülmüştür. CO emisyonunu etkileyen başlıca etkenler,  $\lambda$ , yanma odasındaki türbülans ve yakıtın moleküler yapılarıdır. Eğer  $\lambda < 1$  ise, yani gerekenden daha az hava var ise yanma yetersiz O<sub>2</sub> ortamında olacak ve yakıttaki C'nun tümü CO<sub>2</sub>'ye dönüşmesi gerçekleşmeyerek CO olarak kalacaktır. Motorda silindir içindeki O<sub>2</sub> genel olarak yetersiz olabileceği gibi, karışımın tam homojen olmaması durumunda silindir içinde de yetersiz olabilir [57].



Şekil 3.26. 7/1 SO'da CO'nun Motor Yükü ile Değişimi

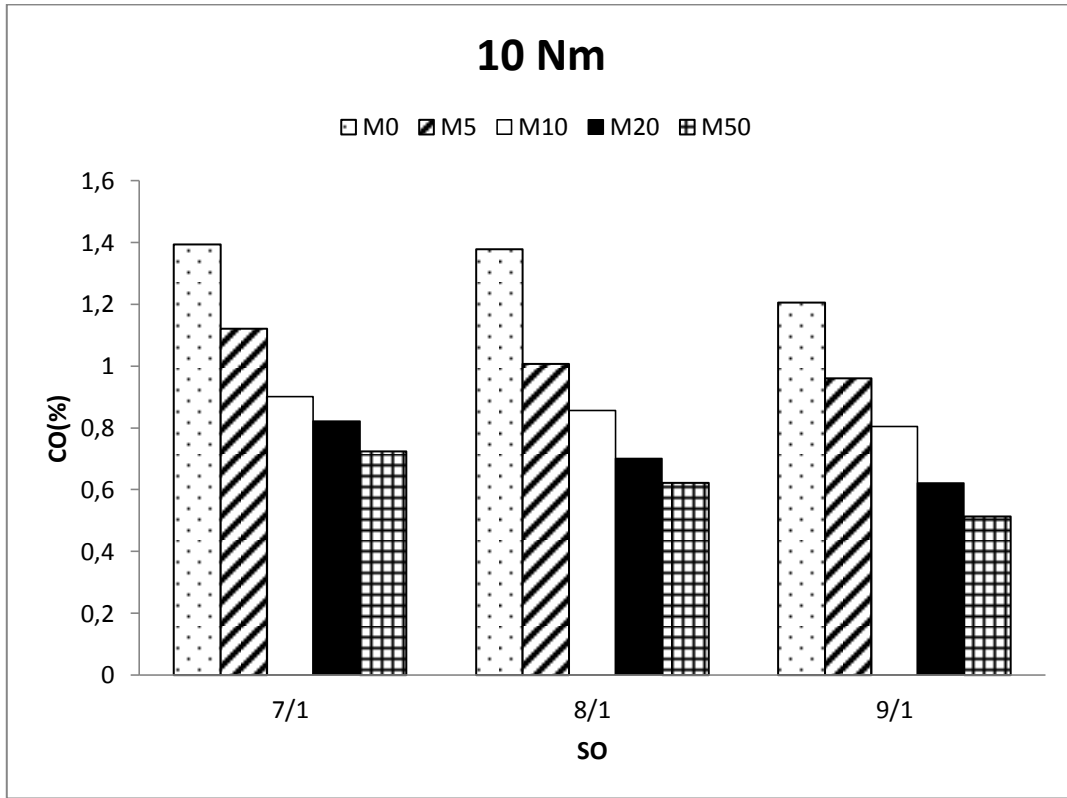


Şekil 3.27. 8/1 SO'da CO'nun Motor Yüğü ile Değişimi



Şekil 3.28. 9/1 SO'da CO'nun Motor Yüğü ile Değişimi

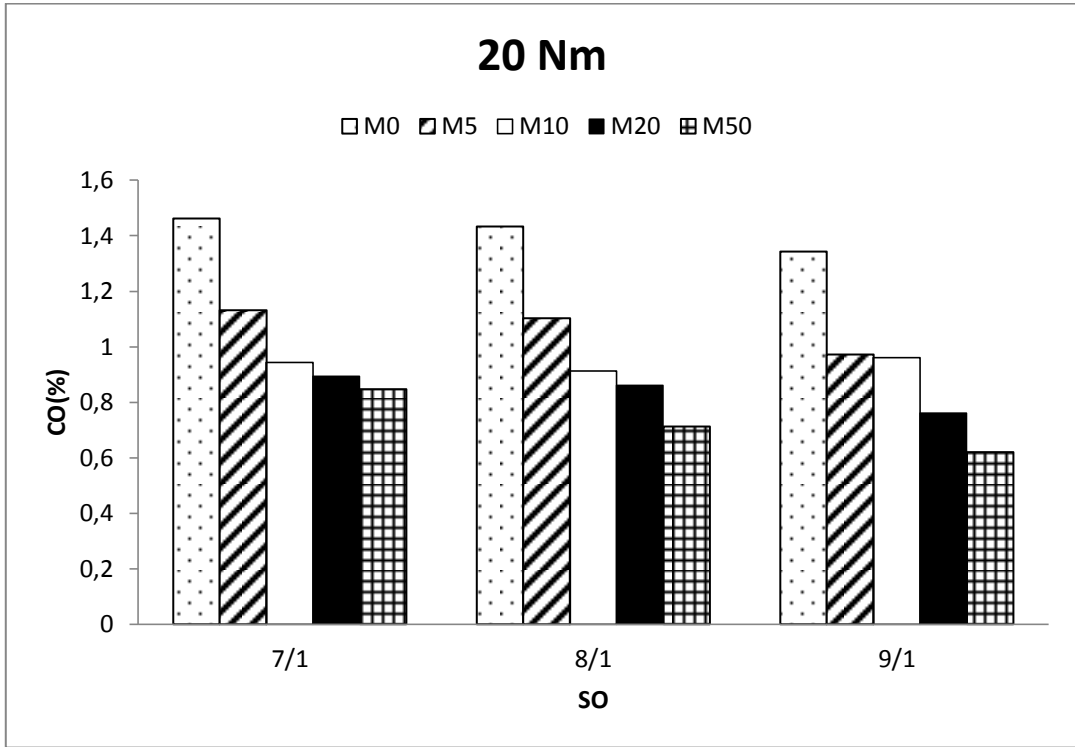
En düşük CO emisyonu 10 Nm'de M50 yakıtından elde edilmiştir. M5, M10, M20 ve M50 yakıtlarında CO emisyonunun benzine göre azalma miktarları sırasıyla %26,92; %37,89; %49,13 ve %55,79 olarak belirlenmiştir. CO emisyonunun azalmasının sebebi, metanolün benzin yakıtına göre daha az C'dan oluşması ve yapısında O<sub>2</sub> bulundurmasıdır. Silindir içerisindeki yakıt enjeksiyonunun zengin olduğu bölgelerde metanolün yapısındaki O<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>/yakıt oranını artırarak yanmanın tam olarak gerçekleşmesi sağlanmaktadır [17-71].



**Şekil 3.29.** 10 Nm'de CO'nun SO ile Değişimi

Benzin-metanol karışımlarının üç farklı SO'da kullanımının CO emisyonuna etkisi Şekil 3.28 ve 3.29'da görülmektedir. Şekiller incelendiğinde, SO'nun artmasıyla birlikte kimyasal bileşimdeki O<sub>2</sub> oranı daha çok olan metanol yakıtının SO'larda CO'yu düşürdüğü gözlenmiştir. Metanolün kaynama noktasının sabit olması ve benzine göre düşük değerde oluşması yanma odası içerisindeki yakıtın iyi buharlaşmasına neden olmaktadır [72]. Bu sebeple metanol benzine göre daha homojen bir karışım

oluşturabilmektedir. Ayrıca, metanol yakıtının O<sub>2</sub> içermesi ve SO'nun artması yanma verimini (YV)'yi iyileştirdiğinden, CO emisyonunun azalmasına neden olmaktadır [73].

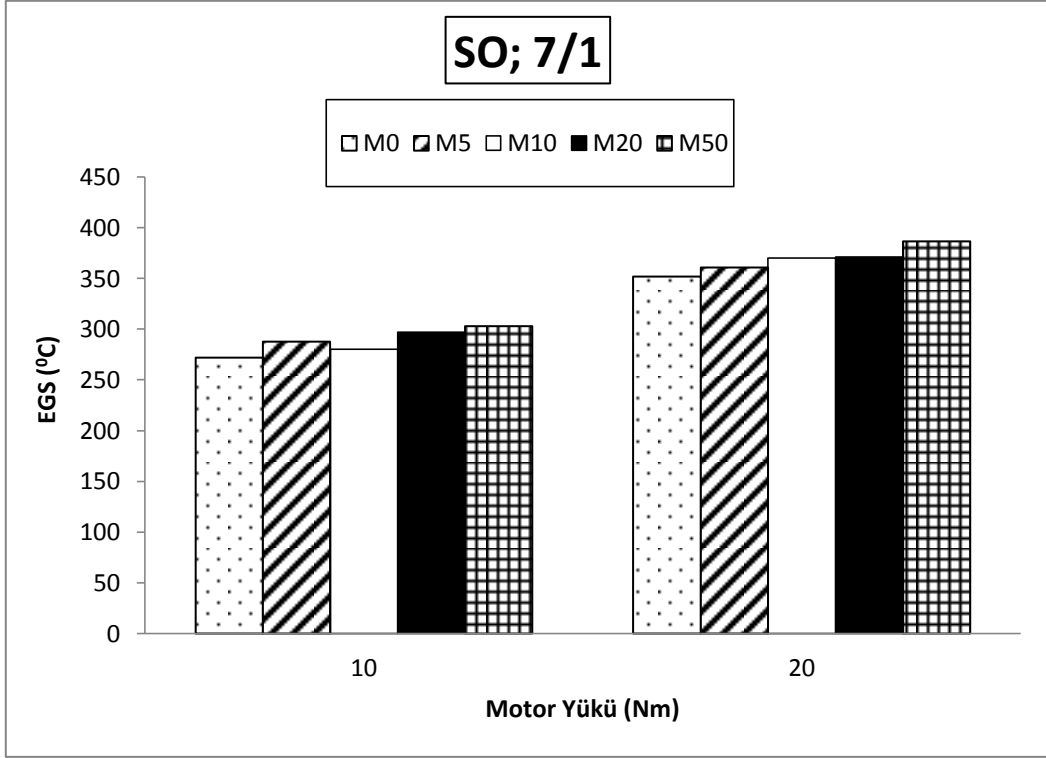


Şekil 3.30. 20 Nm’de CO’nun SO ile Değişimi

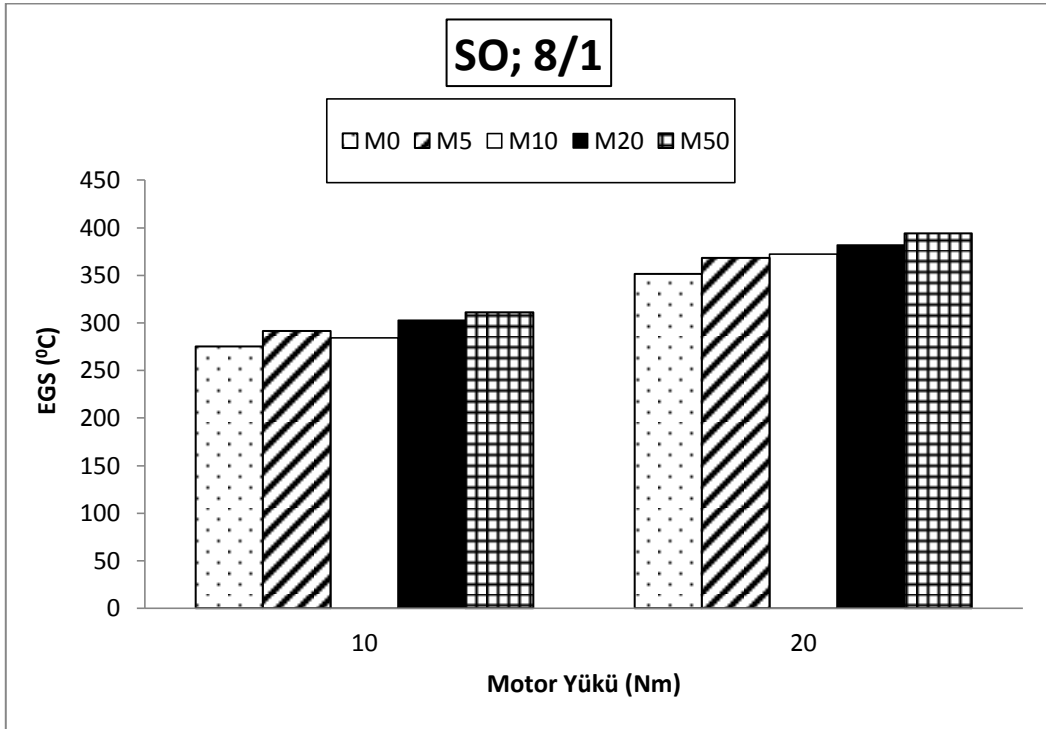
### 3.7. EGS’nin karşılaştırılması

EGS, silindir içerisinde yanma sonucu ulaşılan maksimum sıcaklıkla orantılı olarak değişmektedir [19]. Şekil 3.31, 3.32 ve 3.33 incelendiğinde, motor yükü arttıkça EGS artmaktadır. 10 Nm yükte M10 yakıtı için EGS değeri 284°C iken 20 Nm’de yine aynı yakıt için 372°C olarak ölçülmüştür.

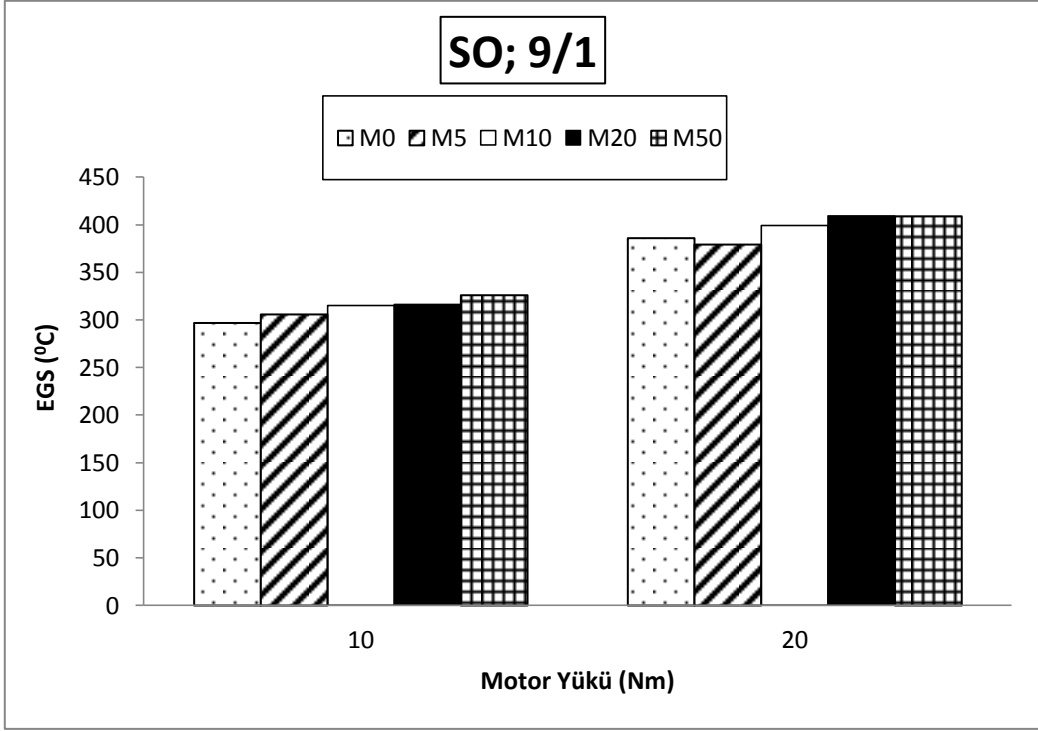
En düşük EGS, 10 Nm ve M0 yakıtından elde edilmiştir. M5, M10, M20 ve M50 yakıtlarında EGS’nin benzine göre artış miktarları sırasıyla %5,81; %3,27; %10,18 ve 13,09 olarak belirlenmiştir. Metanol, benzine göre daha yüksek gizli buharlaşma ısısına sahiptir [69]. Metanol buharlaşma esnasında ortamdan daha ısı çektiği için metanolün adyabatik alev sıcaklığı benzine göre daha düşüktür [70].



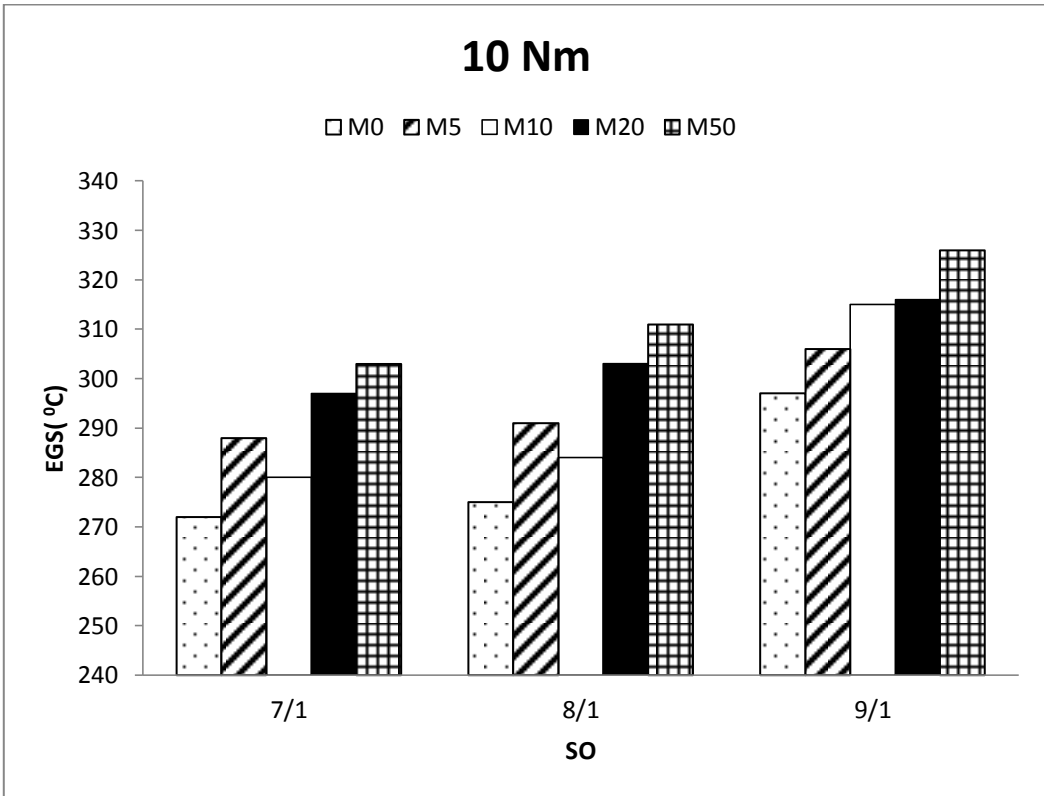
**Şekil 3.31.** 7/1 SO'da EGS'nin Motor Yüğü ile Değişimi



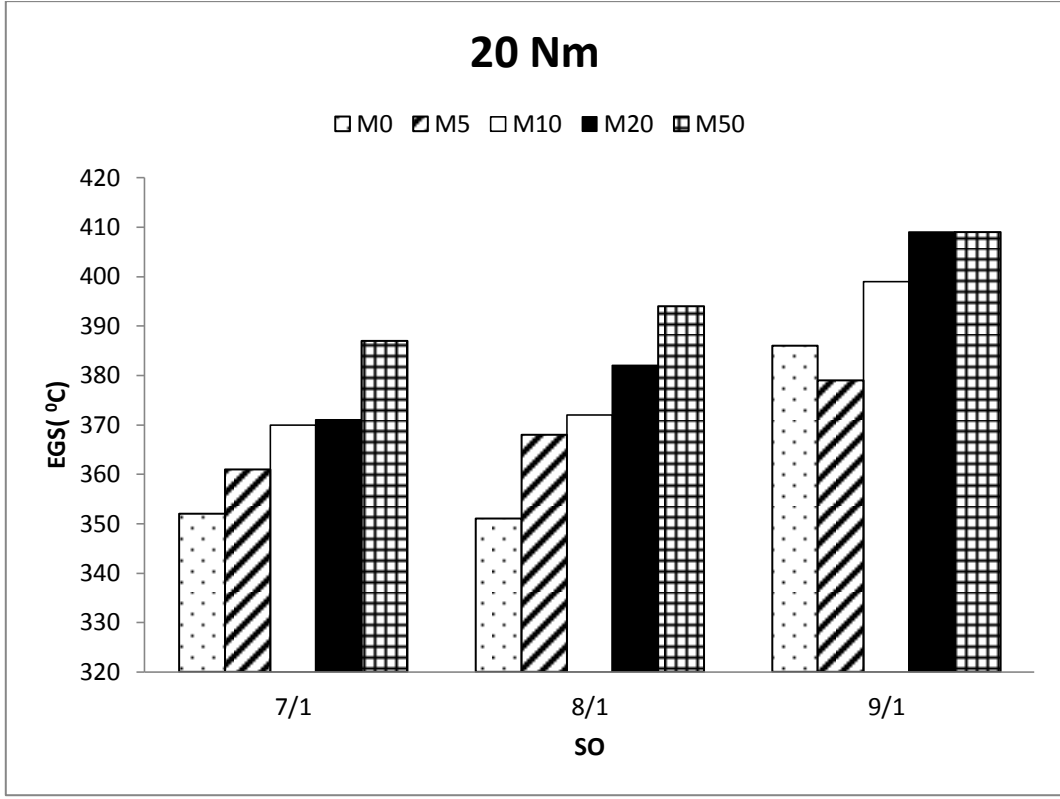
**Şekil 3.32.** 8/1 SO'da EGS'nin Motor Yüğü ile Değişimi



**Şekil 3.33.** 9/1 SO'da EGS'nin Motor Yüğü ile Değişimi



**Şekil 3.34.** 10 Nm'de EGS'nin SO ile Değişimi



Şekil 3.35. 20 Nm’de EGS’nin SO ile Değişimi

Benzin-metanol karışımlarının üç farklı SO’da kullanımının EGS’ye etkisi Şekil 3.34 ve 3.35’de görülmektedir. Şekiller incelendiğinde SO’nun artmasıyla birlikte EGS’nin de arttığı görülmektedir. Minimum EGS’nin M0 yakıtında 8/1 SO’da gerçekleştiği gözlemlenmektedir. 7/1; 8;1 ve 9;1 EGS değerleri sırasıyla 352, 351 ve 386 °C’de olduğu görülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İçten yanmalı motorlarda, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını minimum düzeye indirme çabaları ve özellikle dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin tükeniyor olması alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmaların başlangıç noktasını oluşturur.

Bu çalışmada, tek silindirli bir benzin motorunda, çok fazla değişiklikler yapılmadan, 2000 d/d’da sabit, sıkıştırma oranlarına bağlı olarak, farklı oranlarda (M0, M5, M10, M20 ve M50) yakıtlar kullanılarak, egzoz emisyonları ve motor performans üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneyler motorun silindir kapağının taşlanmasıyla, yanma odası hacmini artırarak ya da azaltarak sıkıştırma oranının değiştirilmesiyle yapılmıştır.

Deney sonuçlarına göre, karışımdaki metanol oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi ve HC, CO emisyon değerleri artarken, efektif verim, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinde azalma görülmüştür. Sıkıştırma oranı arttıkça da efektif verim, ve NO<sub>x</sub> emisyonu artarken, özgül yakıt tüketimi ve HC, CO<sub>2</sub>, CO emisyon değerleri azalmıştır.

1- ÖYT, metanolün içeriğinde oksijen bulundurması sonucunda ısıl değerinin daha düşük olması nedeniyle artmıştır. Sıkıştırma oranının artmasıyla birlikte yanma sonu sıcaklıkları da artacağından, yanma veriminin iyileşmesiyle birlikte ÖYT azalmıştır.

2- Efektif verim, özgül yakıt tüketimi ile ters oranda gerçekleşeceğinden karışımdaki metanol oranı arttıkça efektif verim azalmış, sıkıştırma oranı arttıkça efektif verim artmıştır.

3- NO<sub>x</sub> emisyonu, karışımdaki metanolün adyabatik alev sıcaklığının düşük olması sebebiyle karışım içerisindeki metanol oranının artmasıyla NO<sub>x</sub> miktarı azalmıştır. Sıkıştırma oranı artmasıyla birlikte artmıştır. Bu sonuca piston ÜÖN'ya geldiğinde sıkıştırma sonu artan basınç ve sıcaklığın neden olduğu düşünülmektedir.

4- HC emisyonu, karışımdaki metanol içerisinde karbon miktarının düşük olması ve yanma kalitesinin iyileşmesinden dolayı azalmıştır. Sıkıştırma oranının artmasıyla beraber azalmış ancak alev sönme bölgelerinin genişlemesiyle beraber bir miktar artış göstermiştir.

5- Karışımdaki metanol oranının artmasıyla beraber CO<sub>2</sub> emisyonunda azalma görülmüştür. Sıkıştırma oranı artmasıyla da yanmanın iyileşmesi sonucu CO<sub>2</sub> emisyonu azalmıştır.

6- CO emisyonu, metanol-benzin karışımındaki metanolün daha az karbon ve yapısında oksijen bulundurması sonucu azalmıştır. Sıkıştırma oranı artışıyla beraber sıcaklıkların artmasına sebep olmaktadır. Bu ise yanma hızının artmasına ve alev sönme bölgelerinin azalmasına sebep olduğundan CO emisyonunda azalmalar görülmüştür.

Alternatif yakıtlara olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Metanol bitkisel kökenli yakıtlardan elde edilmesiyle ve Türkiye'nin de bir tarım ülkesi olması sebebiyle oldukça önemlidir. Başta ABD olmak üzere diğer ülkeler metanol üretimini destekleyerek, dış ülkelere yaptıkları ihracat ile ülke ekonomisini önemli bir gelir kaynağı oluşturmaktadır. Ülkemizde de metanol üretiminin ülke çıkarları açısından, devlet tarafından desteklenmesi gerektiğini düşünmekteyiz.

Bununla birlikte, metanolün yüksek oktan sayısı, motor çalışma parametrelerinin belirlenmesinde önemli avantajlar oluşturmaktadır. Bundan sonraki yapılacak incelemelerde, yüksek sıkıştırma oranlarında metanol-benzin karışımları kullanımında ateşleme avansının değerlendirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] İingür, Y., Yamık, H., (2003). Metil ve Etil Esterlerin Dizel Yakıtı Olarak Kullanılma İmkanlarının Deneysel Olarak Araştırılması. Politeknik Dergisi, 459-464
- [2] Kahraman, N., Akansu, S.O., Albayrak, B. (2003). Motorlu Taşıtlarda Alternatif ve Yenilebilir Yakıt Kullanımının İrdelenmesi. Makine Mühendisleri Odası, Yeni ve Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri, Türkiye, 81-89.
- [3] olak, A. (2006). Buji Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye, 2-3.
- [4] Gao, J., Jiang, D., Huang, Z. (2007). Spray Properties of Alternative Fuels: A Comparative Analysis of Ethanol-Gasoline Blends and Gasoline. Fuel, 86, 1645-1650.
- [5] Topgül, T., Yücesu, H.S., ınar, C. (2004). Etanol-Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak Belirlenmesi. 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 8-9 Eylül, Ankara, Türkiye.
- [6] Yüksel, F., Yüksel, B. (2004). The Use of Ethanol-Gasoline Blend as a Fuel in an SI Engine. Renewable Energy, 29, 1181-1191.
- [7] Bayraktar, H. (2005). Experimental and Theoretical İncestigatıon of Using Gasoline-Ethanol Blends in Spark-İgnition Engines. Renewable Energy, 30, 1733-1747.
- [8] Balki, M.K. (2013). Alkol-Benzin Karışımlarının Buji Ateşlemeli Motorlara Uygulanmasında İşletme Parametrelerinin Performans ve Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [9] Short, G.D., Antonia, L. (1990). Methanol in Gasoline and Diesel Engines Enviromental Considerations. Proceedings Fuelled the Intersociety Energy Conversation Engineering, 4.Sayı, 326-330.
- [10] Minteer S. (2006). Alcoholic Fuels, CRC press, Boca Raton, New York, USA.

- [11] Onurbaş Avcioğlu, A., Türker, U., Atasoy, D., Koçtürk, D. (2011). Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler Biyoyakıtlar. Nobel yayıncılık, Ankara, Türkiye, 387-440.
- [12] Olah, G.A., Goeppert, A., Prakash, G.K.S. (2006). Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy, WILEY-VCH , Weinheim, USA, 209-235, 170-180.
- [13] Nakagawa, H., Harada, T., Ichinose, T., Takeno, K., Matsumoto, S., Kobayashi, M., Sakai, M. (2007). Biomethanol Production and CO<sub>2</sub> Emission Reduction from Forage Grasses, Trees, and Crop Residues. Japan Agricultural Research Quarterly, 41(2), 173-180.
- [14] Acaroğlu, M., Unaldı, M., Aydoğan, H. (2010). Yakıtlar ve Yanma, Nobel Yayınclık, Ankara, Türkiye.
- [15] Safgonul, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C. (1999). İten Yanmalı Motorlar, Birsen yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- [16] Vancoillie, J., Verhelst, S. (2010). Modeling the Combustion of Light Alcohols in SI Engines: a Preliminary Study. FISITA 2010 World Automotive Congress, Budapest, Hungary, 1-12.
- [17] Borat, O., Surmen, A., Balcı, M. (1992). İçten Yanmalı Motorlar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi vakfı yayınları, Ankara.
- [18] Masum, B.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Fattah, I.M.R., Palash, S.M., Abedin, M.J. (2013). Effect of Ethanol-Gasoline Blend on NO<sub>x</sub> Emission in SI Engine. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24, 209-222.
- [19] Eyidoğan, M. (2008). Etanol-Benzin ve Metanol-Benzin Karışımlarının Buji Ateşlemeli Bir Motorun Yanma Karakteristiği ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitusu, Kocaeli, Türkiye, 26-27.
- [20] Pandey, A. (2009). Handbook of Plant-Based Biofuels, CRC press, Boca Raton, New York, xvi, 297p.
- [21] elik, M.B. (1994). Metanol-Benzin Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitusu, Ankara, Türkiye.

- [22] Hatunoğlu, E.E. (2010). Biyoyakıt Politikalarının Tarım Sektörüne Etkileri, Devlet Planlama Teşkilatı Uzmanlık Tezleri, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- [23] Çelik, M.B. (1999). Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [24] Sekmen, Y. (2003). Buji Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Değiştirilebilir Hale Getirilmesi ve Performansa Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [25] Heywood, J.B. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book Co., USA.
- [26] Sekmen, Y., Erduranlı, P., Gölcü, M., Salman, M. S. (2005). Buji Ateşlemeli Motorlarda Sıkıştırma Oranı Değişiminin Performans Parametrelerine Etkisi. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(1), 23-30.
- [27] Abu-Zaid, M., Badran, O., Yamin, J., (2004). Effect of Methanol Addition on the Performance of Spark Ignition Engines. Energy Fuels, 312-315.
- [28] Al-Dawood, A.M. (1998). Effect of Blending MTBE, Methanol, or Ethanol with Gasoline on Performance and Exhaust Emissions of SI engines, Master of Science in Mechanical Engineering, King Fahd University of Petroleum&Minerals, Dhahran, SAUDI ARABIA, UMI Number: 1398014.
- [29] Bilgin, A., Sezer, İ., (2008). Effects of Methanol Addition to Gasoline Performance and Fuel Cost of a Spark Ignition Engine. Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, Energy Fuels, 22 (4), 2782-2788.
- [30] Chen, R.H., Chiang, L.B., Chen, C.N., Lin, T.H. (2011). Cold-Start Emissions of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuel. Applied Thermal Engineering, 31, 1463-1467.
- [31] Çanakçı, M., Özsezen, A.N., Alptekin, E., Eyidoğan, M. (2012). Impact of Alcohol-Gasoline Fuel Blends on the Exhaust Emission of an SI. Renewable Energy 52, 111-117.
- [32] Dai, P., Ge, Y., Lin, Y., Su, S., Liang, B. (2013). Investigation on Characteristics of Exhaust and Evaporative Emissions From Passenger Cars Fueled with Gasoline/Methanol Blends. Fuel, 10-16.

- [33] Eyidoğan, M., anakçı, M., zsezen, A.N., Alptekin, E., Trkcan, A., Kılıaslan, İ. (2011). Investigation of the Effect, of Ethanol-Gasoline and Methanol-Gasoline Blends on the Combustion Parameters and Exhaust Emissions of a Spark Ignition Engine. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(3), 499-507.
- [34] Karaosmanoğlu, F. (1990). Alkollü Benzinlerin Alternatif Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [35] Korkmaz, İ. (1996). Benzin ve Metanol Yakıtlı Buji Ateşlemeli Motorlarda Performans ve Emisyon Karakteristiklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [36] Shayan, S.B., Seyedpour, S.M., Ommi, F., Moosavy, S. H., Alizadeh, M. (2011). Impact of Methanol-Gasoline Fuel Blends on the Performance and Exhaust Emissions of a SI Engine. *International Journal of Automotive Engineering*, 1(3), 219-227.
- [37] Shenghua, L., Hui, L., Shengchun, L., Clemente, E.R.C., Donghui, Q. (2006). Effects of Methanol-Gasoline Blend on Gasoline Engine Performance and Emissions. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2006-01.
- [38] Siwale, L., Kristof, L., Bereczky, A., Mbarawa, M., Kolesnikov, A. (2013). Performance, Combustion and Emission Characteristics of n-Butanol Additive in Methanol-Gasoline Blend Fired in a Naturally-Aspirated Spark Ignition Engine. *Fuel Processing Technology* 118, 318-326.
- [39] Nazzal, I.T. (2011). Experimental Study of Gasoline-Alcohol Blends on Performance of Internal Combustion Engine. *European Journal of Scientific Research*, 52(1), 16-22.
- [40] Abdel-Rahman, A.A., Osman, M.M., (1998). Experimental Investigation on Varying the Compression Ratio of SI Engine Working Under Different Ethanol-Gasoline Fuel. *International Journal of Energy Research*, 21(1), 31-40.
- [41] Ayhan, V. (2006). Metanol-Benzin Karışımlarının MgO-ZrO<sub>2</sub> Termal Bariyer emberli Bir Motorda Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.

- [42] Costa, R.C., Sodre, J.R. (2010). Compression Ratio Effects on an Ethanol/Gasoline Fuelled Engine Performance. *Applied Thermal Engineering*, 31, 278-283.
- [43] Çelik, M.B., Özdalyan, B., Alkan, F. (2011). The Use of Pure Methanol as Fuel at High Compression Ratio in a Single Cylinder Gasoline Engine. *Fuel*, 90, 1591-1598.
- [44] Erbaş, Y. (2006). Su Soğutmalı Bir Benzin Motorunda Sıkıştırma Oranı Değişiminin Birinci ve İkinci Kanuna Göre Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- [45] Gong, C.M., Huang, K., Jia, J.L., Su, Y., Gao, Q., Liu, X.J. (2011). Improvement of Fuel Economy of a Direct-Injection Spark-Ignition Methanol Engine Under Light Loads. *Fuel*, 90, 1826-1832.
- [46] Ma, F., Li, Shun., Zhao, J., Qi, Z., Deng, J., Naeve, N., He, Y., Zhao S. (2012). Effect of Compression Ratio and Spark Timing on the Power Performance and Combustion Characteristics of an HCNG Engine. *International Journal Hydrogen Energy* 37, 18486-18491.
- [47] Majmudar, K. (2003). Numerical Simulations of a Spark Ignition Engine Using Alternative Fuels, Master of Science in Mechanical Engineering, The Faculty of the College of Graduate Studies Lamar University, Texas, United States, UMI Number: 1417359.
- [48] Porpatham, E., Ramesh, A., Nagalingam B. (2011). Effect of Compression Ratio on the Performance and Combustion of a Biogas Fuelled Spark Ignition Engine. *Fuel*, 95, 247-256.
- [49] Sugözü, İ., Deniz, T., Mutlu İ. (2009). Buji Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt:1, No:1, 17-24.
- [50] Çelik, M.B. (2008). Experimental Determination of Suitable Ethanol-Gasoline Blend Rate at High Compression Ratio for Gasoline Engine, *Applied Thermal Engineering*, 28(5-6), 396-404.
- [51] Yakıt Özellikleri, <http://www.tupras.com.tr>. (Erişim Tarihi: 20.12.2013)

- [52] Topgöl, T. (2006). Buji Ateşlemeli Motorlarda Etil Alkol-Benzin Karışımı Kullanımında Optimum Çalışma Parametrelerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA, Türkiye, s.56.
- [53] Atkins, R.D. (2009) An Introduction to Engine Testing and Development, SAE International R-344, United States, 1-48.
- [54] Merker, G.P., Schwarz, C., Teichmann, R. (2012) Combustion Engines Development. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany.
- [55] Öz, İ.H., Borat, O., Sürmen, A. (2003) Internal Combustion Engines, Alfa basım yayım dağıtım Ltd., İstanbul, Türkiye.
- [56] Orifis Plaka Standardı, ISO 5167-2 (2003).
- [57] Sayın, C., Çanakçı, M., Kılıçaslan, İ., Özsezen, N. (2005). Çift Yakıt (Benzin+LPG) Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlar Üzerine Etkisinin Deneysel Analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 20, Sayı 4, 483-491.
- [58] Richard, L., Bechtold P.E. (1997). Alternative Fuels Guidebook. Society of Automotive Engineers, Inc. Warrendale, PA, USA.
- [59] Haşimoğlu, C., İcingür, Y., Ögüt H., (2002) Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi. Turkish J. Eng. Env. Sci. 26, 127-135.
- [60] Salman, M.S. (1996) Buji Ateşlemeli Motorlarda Yanma Hızının Performansa Etkileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [61] Ergeneman, M., Kutlar, A., Mutlu, M., Arslan, H. (1998) Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- [62] Kumar, C.R., Nagarajan, G. (2009) Investigation of Aldehyde Emission from an Alcohol Fueled SI Engine. Journal of Environmental Research and Development, 3(3), 685-694.
- [63] Yaşar, A. (2010). Effects of Alcohol-Gasoline Blends on Exhaust and Noise Emissions in Small Scaled Generators. Metalurgia, 49(4), 335-338.
- [64] Wu, C.W., Chen R.H., Pu, J.Y., Lin, T.H., (2004). The Influence of Air-Fuel Ratio on Engine Performance and Pollutant Emission of An SI Engine Using

- Ethanol-Gasoline Blended Fuels. *Atmospheric Environment*, 38 (40 SPEC.ISS.), 7093-7100.
- [65] Kodah, Z., Soliman, S. (2000) Combustion in a Spark Ignition Engine. *Applied Energy*, 66. 237-250.
- [66] Soruşbay, C. (1999) İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Gazları Emisyonları. İTÜ Makine Fakültesi Ders Notları, İstanbul.
- [67] Çelik M.B., Balcı, M. (2002) Sabit Yük ve Hız Şartlarında Sıkıştırma Oranının Motor Karakteristiklerine Etkisi. *Teknoloji*, 5(3-4), 39-45.
- [68] Çelik M.B., Çolak A. (2008) Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Alternatif Yakıt Olarak Saf Etanolün Kullanılması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 23(3), 619-626.
- [69] Alcohols and Ethers (1988). American Petroleum Institute, API Publication 4261.
- [70] Turns, S.R. (2000) *An Introduction to Combustion-Concepts and Applications*. McGraw- Hill, New York, USA, 32-51.
- [71] Ajav, E.A., Akingbehin, O.A. (2002). A Study of Some Fuel Properties of Local Ethanol Blended with Diesel Fuel. Ibadan University Technology Faculty, Nijerya.
- [72] Salman, M.S. Sümer, M. (1999) Effect of Using Ethanol and Ethanol-Gasoline Mixture on Engine Performance in Spark-Ignition Internal Combustion Engines. *Journal on Polytechnic*, 2(2), 27-35.
- [73] Yousufiddin, S., Venkateswarlu, K.İ Sastry, G.R.K. (2012) Effects of Compression Ratio and Equivalence Ratio on the Emission Characteristics of a Hydrogen-Ethanol Fuelled Spark Ignition Engine. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 40, 91-100.

## EKLER

Ek 1. 7/1 SO'da, değişken yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

<b>Kullanılan Yakıt</b>	<b>M0</b>	<b>M0</b>	<b>M5</b>	<b>M5</b>	<b>M10</b>	<b>M10</b>	<b>M20</b>	<b>M20</b>	<b>M50</b>	<b>M50</b>
<b>Sıkıştırma Oranı</b>	7;1	7;1	7;1	7;1	7;1	7;1	7;1	7;1	7;1	7;1
<b>Motor Devri (d/d)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Ölçülen Motor Devri (d/d)</b>	1992	1995	2003	2007	2003	1988	2007	2003	1995	2007
<b>Ölçülen Kuvvet (kg)</b>	4,075	8,14	4,075	8,16	4,08	8,175	4,055	8,17	4,065	8,16
<b>Ölçülen Tork (N.m)</b>	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
<b>Yakıt Tüketimi (sn)</b>	122	62	79	56	72	50	66	48	53	45
<b>NO<sub>x</sub> (ppm)</b>	668	800	658	764	624	701	600	653	584	596
<b>CO (%)</b>	1,395	1,462	1,121	1,13	0,901	0,943	0,821	0,894	0,725	0,846
<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	11,77	11,64	11,87	11,89	11,74	11,7	11,69	11,6	11,02	10,78
<b>HC (ppm)</b>	179	196	177	189	169	179	156	167	128	136
<b>Hava Sıcaklığı (°C)</b>	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17
<b>Yakıt Sıcaklığı (°C)</b>	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17
<b>Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)</b>	272	352	288	361	280	370	297	371	303	387
<b>Yağ Sıcaklığı (°C)</b>	70	77	67	78	69	76	72	79	69	77
<b>Efektif Güç (kW)</b>	2,086	4,178	2,097	4,203	2,097	4,163	2,101	4,195	2,089	4,203
<b>Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)</b>	104,68	102,84	161,46	113,64	177,63	128,85	194,71	134,09	249,07	145,8
<b>Efektif verim (%)</b>	21,56	21,95	14,37	20,42	13,44	18,53	13,01	18,9	21,3	21,3

Ek 2. 8/1 SO'da, değişken yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

<b>Kullanılan Yakıt</b>	<b>M0</b>	<b>M0</b>	<b>M5</b>	<b>M5</b>	<b>M10</b>	<b>M10</b>	<b>M20</b>	<b>M20</b>	<b>M50</b>	<b>M50</b>
<b>Sıkıştırma Oranı</b>	8;1	8;1	8;1	8;1	8;1	8;1	8;1	8;1	8;1	8;1
<b>Motor Devri (d/d)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Ölçülen Motor Devri (d/d)</b>	1988	2007	2003	1997	2000	1992	1995	2003	2007	1997
<b>Ölçülen Kuvvet (kg)</b>	4,12	8,14	4,105	8,175	4,072	8,165	4,085	8,15	4,065	8,147
<b>Ölçülen Tork (N.m)</b>	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
<b>Yakıt Tüketimi (sn)</b>	126	66	81	59	77	55	73	51	57	48
<b>NO<sub>x</sub> (ppm)</b>	695	819	676	748	645	739	613	687	554	587
<b>CO (%)</b>	1,378	1,432	1,007	1,102	0,856	0,912	0,701	0,861	0,623	0,712
<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	12,11	11,59	12,01	11,91	11,76	11,74	11,84	11,73	11,12	11,02
<b>HC (ppm)</b>	172	189	168	184	150	162	124	151	98	107
<b>Hava Sıcaklığı (°C)</b>	18	18	20	20	20	18	18	18	17	17
<b>Yakıt Sıcaklığı (°C)</b>	18	18	20	20	20	18	18	18	17	17
<b>Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)</b>	275	351	291	368	284	372	303	382	311	394
<b>Yağ Sıcaklığı (°C)</b>	68	74	72	71	73	72	69	75	67	72
<b>Efektif Güç (kW)</b>	2,081	4,203	2,097	4,182	2,094	4,172	2,089	4,195	2,101	4,182
<b>Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)</b>	101,6	96,03	157,47	108,41	166,34	116,88	177,05	126,2	230,27	137,37
<b>Efektif verim (%)</b>	22,22	23,51	14,74	21,41	14,35	20,43	14,31	20,08	13,49	22,67

Ek 3. 9/1 SO'da, değişken yükte elde edilen ve hesaplanan değerler

<b>Kullanılan Yakıt</b>	<b>M0</b>	<b>M0</b>	<b>M5</b>	<b>M5</b>	<b>M10</b>	<b>M10</b>	<b>M20</b>	<b>M20</b>	<b>M50</b>	<b>M50</b>
<b>Sıkıştırma Oranı</b>	9;1	9;1	9;1	9;1	9;1	9;1	9;1	9;1	9;1	9;1
<b>Motor Devri (d/d)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Ölçülen Motor Devri (d/d)</b>	2007	2003	1995	2000	1997	2003	2003	1992	2000	1992
<b>Ölçülen Kuvvet (kg)</b>	4,09	8,16	4,065	8,145	4,055	8,15	4,08	8,17	4,08	8,14
<b>Ölçülen Tork (N.m)</b>	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
<b>Yakıt Tüketimi (sn)</b>	132	74	82	62	79	58	78	54	60	50
<b>NO<sub>x</sub> (ppm)</b>	712	827	710	809	682	769	677	722	629	609
<b>CO (%)</b>	1,206	1,343	0,96	0,972	0,804	0,961	0,621	0,761	0,513	0,619
<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	12,25	12,01	12,21	12	11,94	11,87	11	6,44	7,89	7,672
<b>HC (ppm)</b>	170	185	169	186	152	166	126	153	81	112
<b>Hava Sıcaklığı (°C)</b>	17	17	18	18	18	18	18	17	17	17
<b>Yakıt Sıcaklığı (°C)</b>	17	17	18	18	18	18	18	17	17	17
<b>Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)</b>	297	386	306	379	315	399	316	409	326	409
<b>Yağ Sıcaklığı (°C)</b>	71	77	69	72	67	74	70	77	68	72
<b>Efektif Güç (kW)</b>	2,101	4,195	2,089	4,189	2,091	4,195	2,097	4,172	2,094	4,172
<b>Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh)</b>	96,06	85,82	156,15	102,99	162,36	110,23	165,07	119,85	219,48	132,22
<b>Efektif verim (%)</b>	23,5	26,3	14,86	22,53	14,71	21,66	15,35	21,14	14,15	23,49

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Mustafa TEMÜR  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Fatih/İstanbul 1986  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-Posta** : [mustafatemur@marun.edu.tr](mailto:mustafatemur@marun.edu.tr)

### Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
Lise	Lise/Fen Bilimleri	Bahçelievler Kocasınan Lisesi	2004
Üniversite	Makine Eğitim Bölümü/Otomotiv Öğretmenliği A.B.D.	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi / Karabük Teknik Eğitim Fakültesi	2009
Üniversite	Makine Mühendisliği A.B.D.	Trakya Üniversitesi/ Mühendislik Fakültesi	Devam Ediyor
Y. Lisans	Makine Eğitimi A.B.D	Marmara Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü	Devam Ediyor