

**SOYA YAĞI METİL ESTERİNİN DEĞİŞİK PÜSKÜRTME  
BASINÇLARINDA DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EGZOZ  
EMİSYONLARINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

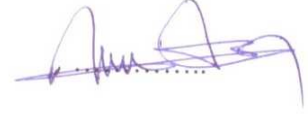
**Doğan ŞİMŞEK**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır.**

**KARABÜK  
Haziran 2010**

Doğan ŞİMŞEK tarafından hazırlanan ‘‘SOYA YAĞI METİL ESTERİNİN DEĐIŐİK PÜŐKÜRTME BASINÇLARINDA DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI’’ baŐlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK  
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 14/06/2010

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

BaŐkan : Doç. Dr. Yakup SEKMEN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

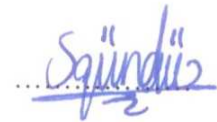
Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)



...../...../2010

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıŐtır.

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*"Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim. "*

Doğan ŞİMŞEK

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

**SOYA YAĞI METİL ESTERİNİN DEĞİŞİK PÜSKÜRTME  
BASINÇLARINDA DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EGZOZ  
EMİSYONLARINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**Doğan ŞİMŞEK**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**Haziran 2010, 73 sayfa**

Artan enerji ihtiyacı ve çevre kirliliği nedeniyle, dizel motorlarda biyodizel, doğal gaz, etanol, metanol, hidrojen ve LPG gibi alternatif yakıtlar kullanılmaktadır. Biyodizel atık ve bitkisel yağlardan üretilmesi ve temiz bir yakıt olması nedeniyle dizel motorlarda tercih edilmektedir. Yapılan bu çalışmada soya yağı metil esteri (SME)'nin dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Testler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak motor; dizel yakıtı, B25, B50, B75 ve B100 yakıtları ile tam yük-sabit bir hızda test edilmiştir. Test sonuçlarına göre performans bakımından en uygun yakıtın B25 olduğu belirlenmiştir. İkinci aşamada motor, dizel yakıtı ile orijinal püskürtme basıncında ve B25 yakıtı ile değişik püskürtme basınçlarında (160, 180, 200, 220, 240 bar) değişik yüklerde

karşılaştırma için test edilmiştir. B25 ile yapılan testler sonucunda, performans ve emisyon bakımından en uygun püskürtme basıncının 220 bar olduğu tespit edilmiştir. B25 yakıtı ile 220 bar püskürtme basıncında, dizel yakıtına göre önemli bir güç kaybı olmadan (~%1) özgül yakıt tüketiminde yaklaşık %2 oranında artış kaydedilmiştir. Ayrıca, HC, CO ve is emisyonlarında dizel yakıtına göre sırasıyla %33, %9 ve %20 oranlarında azalma, NO<sub>x</sub> emisyonunda %12 oranında artış tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Soya yağı metil esteri, alternatif yakıt, biyodizel, püskürtme basıncı, dizel motor

**Bilim Kodu** : 626.10.01

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **THE EFFECT OF USE OF SOYBEAN OIL METHYL ESTER IN A DIESEL ENGINE ON PERFORMANCE AND EMISSIONS AT THE DIFFERENT INJECTION PRESSURES**

**Doğan ŞİMŞEK**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**June 2010, 73 pages**

Due to the increasing energy demand and environmental pollution, alternative fuels such as biodiesel, natural gas, ethanol, methanol, hydrogen and LPG have been used in the diesel engines. As biodiesel is produced from waste and vegetable oil and it is a clean fuel, it is preferred for diesel engines. In this study, the effect of using soybean oil methyl ester in a four-stroke, single cylinder, direct injection diesel engine on performance and emissions were investigated experimentally. The tests were conducted at two stages. Firstly, the engine was tested with diesel fuel, B25, B50, B75 and B100 fuels at full load and at a constant speed. According to this test results, it was determined that the best suitable fuel was B25 in terms of performance. Secondly, engine was tested at different loads with diesel fuel at the original injection pressure and B25 at different injection pressures (160, 180, 200, 220, 240 bar) for comparison. It was determined from tests performed with B25 that

the best suitable injection pressure in terms of performance and emissions was 220 bar. The increase of 2% in specific fuel consumption without important power loss (~%1) was observed with B25 fuel at injection pressure of 220 bar when comparing diesel fuel. In addition, HC, CO, and soot emissions were reduced about 33%, 9% and 20%, respectively. While NO<sub>x</sub> emission was increased about 12%.

**Key Words** : Soybean oil methyl ester, alternative fuel, biodiesel, injection pressure, diesel engine

**Science Code** : 626.10.01

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü desteği sunan ve kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen, bilimsel bakış açımın gelişmesinde bilgilerinden sonsuz faydalandığım değerli hocam Doç. Dr. M. Bahattin ÇELİK' e, görüşleriyle çalışmama yön veren Otomotiv Anabilim Dalı Hocalarıma ve Arş. Gör. Oğuzhan DOĞAN' a, ayrıca yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşım İjlal İSPİR' e teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde ve bu çalışmanın hazırlanmasında maddi ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen sevgili aileme ayrıca teşekkür eder, saygılarımı sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvi
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	3
LİTERATÜR TARAMASI.....	3
BÖLÜM 3. ....	9
DİZEL MOTORLARDA YANMA OLAYI VE PERFORMANSA ETKİ EDEN PARAMETRELER .....	9
3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA.....	9
3.2. TUTUŞMA GECİKMESİ.....	10
3.3. ANİ YANMA SAFHASI.....	10
3.4. KONTROLLÜ YANMA SAFHASI.....	11
3.5. DİZEL MOTORLARDA YANMAYA VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİ EDEN PARAMETRELER .....	12
3.5.1. Giriş basıncı ve sıcaklığı .....	12
3.5.2. Sıkıştırma oranı .....	13
3.5.3. Püskürtme avansı.....	15
3.5.4. Yakıt özellikleri.....	18
3.5.5. Soğutucu akışkan sıcaklığı .....	19

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.5.6. Yakıt / hava oranı .....	20
3.5.7. Girdap oranı.....	22
3.5.8. Enjeksiyon basıncı.....	24
3.6. DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR.....	26
BÖLÜM 4. ....	29
DİZEL MOTORU YAKITININ ÖZELLİKLERİ .....	29
4.1. TUTUŞMA KABİLİYETİ (SETAN SAYISI) .....	29
4.2. VİSKOZİTE .....	31
4.3. AKMA NOKTASI.....	31
4.4. UÇUCULUK.....	31
4.5. ALEVLENME-PARLAMA TEHLİKESİ .....	32
4.6. YANMA ATIKLARI BİRİKİMİ.....	32
BÖLÜM 5. ....	33
BİODİZELİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMI.....	33
5.1. BİYODİZELİN TANIMI.....	33
5.2. BİYODİZELİN ÇEVREYE ETKİLERİ.....	33
5.3. BİYODİZELİ OLUŞTURAN YAĞ BİTKİLERİNİN ÜLKEMİZDEKİ POTANSİYELİ .....	35
5.4. BİYODİZELİN İÇERDİĞİ BİTKİSEL YAĞLARIN KİMYASAL BİLEŞENLERİ.....	36
5.5. BİYODİZELİ OLUŞTURAN BİTKİSEL YAĞLARIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ .....	37
5.6. BİYODİZELİ OLUŞTURAN BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİ .....	38
5.7. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLME YÖNTEMLERİ .....	39
5.7.1. İnceltme .....	40
5.7.2. Mikroemilsiyon Oluşturma .....	41
5.7.3. Proliz.....	41
5.7.4. Transesterifikasyon.....	41
5.8. BİYODİZELİN ULUSLAR ARASI STANDARTLARI .....	42
5.9. ÇEVRE VE BİYODİZEL .....	43

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6. ....	44
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	44
6.1. DENEYSEL ÇALIŞMANIN AMACI.....	44
6.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER .....	44
6.2.1. Deney Yeri.....	44
6.2.2. Deney Motoru.....	45
6.2.3. Deney Yakıtları .....	46
6.3. DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	47
6.3.1. Motor Dinamometresi .....	47
6.3.2. Egzoz Gaz Analizörü.....	47
6.3.3. Yakıt Tüketim Ölçme Düzenegi.....	48
6.3.4. Kronometre .....	49
6.3.5. Yük Sensörü (Load Cell).....	49
6.3.6. Termometre .....	50
6.3.7. Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı.....	50
6.4. DENEYLERİN YAPILIŞI.....	50
6.4.1. Motor Deneyleri .....	50
6.5. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR.....	51
6.5.1. Motor Momenti ve Gücü .....	51
6.5.2. Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi .....	52
BÖLÜM 7. ....	53
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	53
7.1. DEĞİŞİK YAKIT KARIŞIMLARI DENEY SONUÇLARI.....	53
7.1.1. Motor Gücü ve Özgül Yakıt Tüketimi .....	53
7.1.2. Hidrokarbon (HC) Ve Karbon monoksit (CO) Emisyonu Değişimi.....	55
7.1.3. Azotoksit (NO <sub>x</sub> ) ve İs Emisyonu Değişimi .....	55
7.2. DEĞİŞİK PÜSKÜRTME BASINÇLARINDA DENEY SONUÇLARI .....	56
7.2.1. Motor Gücü .....	57
7.2.2. Özgül Yakıt Tüketimi.....	57
7.3. EGZOZ EMİSYONLARI .....	58
7.3.1. Hidrokarbon (HC) Emisyon Değişimi.....	58

	<b><u>Sayfa</u></b>
7.3.2. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi .....	59
7.3.3. İis Emisyonu Değişimi .....	60
7.3.4. Azotoksit (NO <sub>x</sub> ) Emisyonu Değişimi .....	61
7.3.5. Egzoz Gaz Sıcaklığı Değişimi .....	62
7.4. DEĞİŞİK PÜSKÜRTME BASINÇLARINDA YAPILAN DENEYLERİN DENEY SONUÇLARI .....	63
BÖLÜM 8. ....	64
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	64
8.1. SONUÇLAR .....	64
8.2. ÖNERİLER .....	65
KAYNAKLAR .....	66
EK AÇIKLAMALAR A. DENEY SONUÇLARI.....	70
ÖZGEÇMİŞ .....	73

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Bir dizel motorda yanma safhaları.....	9
Şekil 3.2. Giriş basıncının tutuşma gecikmesine etkisi. ....	12
Şekil 3.3. Giriş sıcaklığının tutuşma gecikmesine etkisi .....	13
Şekil 3.4. Dolgu sıcaklığına bağlı olarak NO <sub>x</sub> emisyonu değişimi.....	13
Şekil 3.5. Sıkıştırma oranının basınç-krank açısı diyagramına etkisi .....	14
Şekil 3.6. Sıkıştırma oranının fren özgül yakıt tüketimine etkisi.....	14
Şekil 3.7. Sıkıştırma oranının duman miktarına etkisi.....	14
Şekil 3.8. Püskürtme avansının basınç-krank açısı diyagramına etkisi .....	16
Şekil 3.9. Dinamik enjeksiyon avansının motor performansına ve emisyonlara etkisi.....	17
Şekil 3.10. Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi .....	18
Şekil 3.11. Setan sayısının NO <sub>x</sub> emisyonuna etkisi .....	19
Şekil 3.12. Yağ ve soğutma suyu sıcaklıklarının tutuşma gecikmesi süresine etkisi.....	20
Şekil 3.13. Eşdeğerlik oranının basınç-krank açısı diyagramına etkisi .....	22
Şekil 3.14. Eşdeğerlik oranının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi.....	22
Şekil 3.15. Girdap oranının basınç-krank açısı diyagramına etkisi .....	23
Şekil 3.16. Girdap oranının emisyonlara etkisi.....	23
Şekil 3.17. Enjeksiyon basıncına bağlı olarak damlacık çapı değişimi .....	24
Şekil 3.18. Yakıt hat basıncına bağlı olarak fren özgül yakıt tüketiminin değişimi.....	25
Şekil 3.19. Enjeksiyon basıncına bağlı olarak NO <sub>x</sub> emisyonu değişimi .....	25
Şekil 3.20. Enjeksiyon basıncının duman miktarına etkisi .....	26
Şekil 3.21. Direkt püskürtmeli bir dizel motorunun egzozundaki kirletici konsantrasyonları. ....	27
Şekil 5.1. Triglesiridin açık formülü.....	37
Şekil 5.2. Bitkisel yağların yakıt özelliklerini iyileştirilmesi.....	40
Şekil 6.1. Deney tesisatının genel görünümü.....	44
Şekil 6.2. Deney tesisatının şematik görünüşü. ....	45

## **Sayfa**

Şekil 6.3. Dinamometre ve dinamometre kontrol ünitesinin görünümü.....	47
Şekil 6.4. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.....	48
Şekil 6.5. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.....	49
Şekil 6.6. Load cell'in ve indikatörün görünümü .....	49
Şekil 6.7. Enjektör püskürtme basınç ayar cihazı. ....	50
Şekil 7.1. Değişik yakıtların güç ve özgül yakıt tüketimine etkisi .....	54
Şekil 7.2. Değişik yakıtların HC ve CO emisyonuna etkisi.....	55
Şekil 7.3. Değişik yakıtların NOx ve is emisyonu .....	56
Şekil 7.4. Püskürtme basıncının motor gücüne etkisi .....	57
Şekil 7.5. Püskürtme basıncının özgül yakıt tüketimine etkisi .....	58
Şekil 7.6. Püskürtme basıncının HC emisyonuna etkisi .....	59
Şekil 7.7. Püskürtme basıncının CO emisyonuna etkisi .....	60
Şekil 7.8. Püskürtme basıncının is emisyonuna etkisi .....	61
Şekil 7.9. Püskürtme basıncının NOx emisyonuna etkisi .....	62
Şekil 7.10. Püskürtme basıncının egzoz gazı sıcaklığına etkisi.....	63

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 4.1. DIN 51601'e göre dizel yakıtından (motorinden) istenen özellikler.....	29
Çizelge 5.1. B100 ve B20 yakıtlarının emisyon değerlerinin karşılaştırılması.....	34
Çizelge 5.2. Ülkemizdeki yağ bitkisi potansiyeli .....	35
Çizelge 5.3. Motorin ve bitkisel yağların yakıt özellikleri.....	39
Çizelge 5.4. Bazı bitkisel yağların metil esterlerinin yakıt özellikleri.....	42
Çizelge 5.5. Uluslar arası biyodizel standartları. ....	42
Çizelge 6.1. Deney motorun teknik özellikleri. ....	46
Çizelge 6.2. Deney yakıtları özellikleri.....	46
Çizelge 6.3. Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri.....	48
Çizelge A1. Değişik yakıtlar ile 2600 d/d tam yükte yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri.....	71
Çizelge A2. 160 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri .....	71
Çizelge A3. 180 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri .....	71
Çizelge A4. 200 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri .....	71
Çizelge A5. 220 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri.....	72
Çizelge A6. 240 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri .....	72
Çizelge A7. 200 bar püskürtme basıncında B0 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri.....	72

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Me	: Motor Momenti	(Nm)
Pe	: Motor Gücü	(kW)
B	: Yakıt tüketimi	(kg/h)
be	: Özgül yakıt tüketimi	(g/kWh)

### KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan Test ve Materyaller Birliği
TSE	: Türk Standartlar Enstitüsü
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
ÜÖN	: Üst ölü nokta
AÖN	: Alt ölü nokta
KMA	: Krank mili açısı
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
SME	: Soya metil esteri
SS	: Setan sayısı
Dİ	: Dizel İndeksi



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Enerji ihtiyacı, dünyadaki hızlı nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağımlı olarak artmaktadır. Özellikle kalkınmakta olan ülkelerin enerji ihtiyacındaki önemli artışlar, dünya enerji talebini de artırmaktadır.

Halen, dünya enerji ihtiyacının büyük kısmı petrol, kömür ve doğal gaz kaynaklarından karşılanmakta, ayrıca nükleer ve hidrolik enerjiden de yararlanılmaktadır. Dünya enerji ihtiyacının tarihsel gelişimi incelendiğinde üretim ve tüketimin katı yakıtlardan sıvı ve gaz yakıtlara kaydığı ve günümüzde taş kömürü linyitin payının %80'lerden %3'lere düştüğü diğer yandan petrolün payının %14'ten %38'e çıktığı görülmektedir. Buna karşılık dünya petrol rezervlerinin 43 yıl, kömür rezervlerinin 236 yıl, doğal gaz rezervlerinin ise 64,9 yıl ömrü kaldığı bilinmektedir [1].

Dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmının petrolden karşılanmasına karşılık petrol rezervlerinin sınırlı olması nedeniyle petrol fiyatları sürekli artmaktadır. Bu durum enerji kaynağı olarak petrol türü yakıtlar kullanan otomotiv sektörünü olumsuz yönde etkilemektedir. Petrol kökenli olmayan alternatif motor yakıtlarının üretilmesi ve kullanılmaya başlanmasıyla, petrole olan bağımlılığın azalması mümkün olabilecektir.

Petrol ürünü yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan diğer bir sorun çevre kirliliğidir. Hava kirliliğinde taşıtların payı oldukça fazladır. Özellikle NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, HC ve is emisyonlarında taşıtların önemli rolü olduğu bilinmektedir.

Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak biyodizel, doğal gaz, etanol, metanol, hidrojen ve LPG kullanılmaktadır. Bu yakıtlardan biyodizel dizel motorda saf veya

karışım halde kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motorda, motor üzerinde bir değişikliğe gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir.

Biyodizel; kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir, yer fıstığı gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların bir katalizatör eşliğinde bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Ayrıca evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlardan da biyodizel üretilmektedir.

Biyodizel organik kökenli olması nedeniyle çevreyi kirletmeden toprağa kazandırılabilir. Biyodizelin yapısında oksijen bulunması ve sülfür içermemesi temiz bir yakıt olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışmalardan biyodizelin CO, CO<sub>2</sub>, HC ve is emisyonu bakımından motorine göre daha iyi durumda olduğu görülmektedir. Ayrıca biyodizel kullanımının yaygınlaşması sonucunda tarım sektöründe yeni iş sahaları oluşması beklenmektedir [2].

Dizel motorda karışım oluşumunu ve yanmayı etkileyen parametrelerden birisi püskürtme basıncıdır. Dizel motorda farklı özelliklere sahip alternatif yakıt kullanıldığında karışım oluşumunu ve yanmayı iyileştirmek için motorun bazı parametrelerini değiştirmek suretiyle performans ve emisyonlar iyileştirilebilir.

Yapılan bu çalışmada soya yağından elde edilen biyodizelin (soya yağı metil esteri) dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Biyodizel ile dizel yakıtı çeşitli oranlarda karıştırılarak değişik püskürtme basınçlarında testler gerçekleştirilmiştir. Performans ve emisyon bakımından en uygun karışma oranı ve püskürtme basıncının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Bitkisel yağların ve biyodizelin dizel motorlarında yakıt olarak kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Saravanan et al. tarafından yapılan çalışmada, pirinç kepeği yağından üretilen biyodizel %20 oranında dizel yakıtına katılmış ve yanma karakteristikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda is emisyonunda azalma, NO<sub>x</sub> emisyonunda artma görülmüştür [3].

Jindal et al. jatropha metil esterinin dizel motorlarda kullanımını araştırmışlardır. Testler, değişik sıkıştırma oranları ve enjeksiyon basınçlarında yapılmıştır. Sıkıştırma oranı ve enjeksiyon basıncı arttıkça termik verim artmış, özgül yakıt tüketimi azalmış ve ayrıca HC, NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarında azalma elde edilmiştir [4].

Puhan et al. keten tohumu metil esteri kullanan bir dizel motorda enjeksiyon basıncının motor performans ve emisyonlara etkisini incelemişlerdir. Testler 200, 220 ve 240 bar basınçlarda yapılmıştır. Optimum enjeksiyon basıncının 240 bar olduğu tespit edilmiştir. Bu basınçta CO, HC ve is emisyonu azalmış, NO<sub>x</sub> emisyonu artmıştır. Ayrıca termik verimin dizel motoruna yakın değerde olduğu belirlenmiştir [5].

Basha et al. tarafından yapılan bir çalışmada biyodizel yakıtının üretimi, yanma, emisyon ve performansa etkisi incelenmiştir. Biyodizelin yanma karakteristiklerinin dizel yakıtına benzer olduğu, tutuşma gecikmesinin daha kısa olduğu ve motor gücünün dizel yakıtına yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir [6].

Aktaş ve Sekmen tarafından yapılan çalışmada biyodizel kullanan bir motorda püskürtme avansının motor performans ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışmada biyodizel kullanılması ve püskürtme avansının 26,6° KMA olması durumunda motor momentini ve efektif güçte artış, özgül yakıt tüketiminde azalma görülmüştür. Ayrıca CO ve HC emisyonlarında azalma elde edilirken, NO<sub>x</sub> emisyonunda artış olduğu belirtilmiştir [7].

Altun vd. yaptıkları çalışmada bitkisel yağların dizel motorlarda yakıt olarak kullanımını incelemiştir. Bitkisel yağlar yakıt olarak kullanıldığında motor momentini ve gücünü fazla etkilemediklerini buna karşın özgül yakıt tüketiminde bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca bitkisel yağların yakıt olarak kullanıldıklarında daha temiz egzoz çıktısı verdiklerini tespit etmişlerdir. Ancak dizel yakıtına göre tasarlanmış mevcut dizel motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanıldıklarında bitkisel yağların bazı yakıt özelliklerinden dolayı problemler ortaya çıktığını belirtmişlerdir [8].

Sekmen ve Aktaş yaptıkları çalışmada, soya yağı metil esterinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisini incelemiştir. Testler 1200-2400 1/min hız aralığında ve tam yükte dizel ve soya yağı metil esteri ile yapılmıştır. Biyodizel kullanıldığında motor gücünde azalma özgül yakıt tüketiminde artış olduğu ve ayrıca CO, HC NO<sub>x</sub> ve duman emisyonlarında azalma olduğunu tespit etmişlerdir [9].

İlkılıç yaptığı çalışmada dizel motorda enjeksiyon basıncının egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Testler tam yük ve değişik enjeksiyon basınçlarında yapılmıştır. Yüksek enjeksiyon basınçlarında ve yüklerde CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonunun az değişimine karşılık CO emisyonunda düşmelerin olduğunu belirtmiştir. Daha yüksek enjeksiyon basıncı ve motor hızında CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının sürekli düştüğünü tespit etmiştir [10].

Sekmen yaptığı çalışmada karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterlerinin dizel motorda yakıt olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Yapılan çalışmada keten tohumu ve karpuz çekirdeğinden biyodizel üretmiş ve dizel yakıtı ile %2 oranında karıştırarak test etmiştir. Motor momentini ve gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde artma olduğunu ve ayrıca biyodizel karışımları ile çalışmada CO, HC ve duman emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış olduğunu belirtmiştir [11].

Wagner and Peterson kanola yağı dizel yakıtı karışımının yakıt olarak kullanımını araştırmışlardır. %70 kanola yağı ve dizel yakıtı karışımının kullanıldığı uzun süreli testlerde (850 saat) motorda önemli bir aşınma ve yağlama yağında kirlenme olmamıştır. Ayrıca dizel yakıtına göre güç kaybı tespit edilmemiştir [12].

Strayer et al. yaptığı çalışmada, kolza yağının metil esteri ve onun bileşenlerini alternatif yakıt olarak iki ve altı silindirli motorda kullanmış ve dizel yakıtına yakın güç değerleri elde etmişlerdir. Özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtında % 6 daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca ilk çalışma zorluğu görülmemiş ve partikül madde emisyonlarında düşüş olduğu gözlenmiştir [13].

Geyer et al. ayçiçek yağı, pamuk tohumu yağı ve bunların metil esterleriyle yaptıkları çalışmada elde ettikleri yakıtları, tek silindirli direkt püskürtmeli dizel motorunda denemişlerdir. Denemeler esnasında emisyon değerlerini incelemişler, sonuçta tam yükte ayçiçek yağı hariç diğer bitkisel yağların partikül artıklarının dizel yakıtından daha fazla, metil ester yakıtların partikül artıklarının dizel yakıtından daha az çıktığını belirtmişlerdir [14].

Wagner et al. tarafından, soya yağının etil, metil ve bütil esterleri direkt püskürtmeli turboşarjlı bir motorda denenmiştir. Performans bakımından dizel yakıtı ile esterler arasında fazla fark olmadığı tespit edilmiştir. HC, CO ve partikül emisyonlarının dizel yakıtına benzerlik gösterdiği, NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış olduğu gözlenmiştir [15].

Schumacher et al. bir dizel motorda yakıt olarak soya yağı metil esterini denemişler ve soya yağı metil esterinin dizel motorlarında kolayca kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda motorlarda hacimsel olarak % 10-20-30-40-50 soya yağı metil esteri-motorin karışımlarının kullanımı sonucunda; karışımdaki soya yağı metil esteri oranının artmasıyla güç, islilik oranı, CO ve HC emisyon değerlerinin düştüğü, NO<sub>x</sub> emisyonları ve yakıt tüketiminin arttığını tespit etmişlerdir [16].

Scholl and Sorenson tarafından 1992 yılında yapılan bir çalışmada, bitkisel yağların metil esterleri dizel motorlarında alternatif yakıt olarak önerilmiştir. Yapılan çalışmada motor performansı, egzoz emisyonları ve ısı kayıpları araştırılmış, deneysel ölçümleri yapılmış değişik meme çapları ile değişik enjeksiyon zamanlamasının performansa etkileri araştırılmıştır. Soya metil esterinin performans ve ısı kaybı açısından dizel yakıtı ile karşılaştırılabilir olduğu görülmüştür. Metil esterin HC emisyonu ve duman koyuluğu bakımından dizel yakıtından daha iyi olduğu görülmüştür [17].

Thompson et al. tarafından yapılan çalışmada kolza yağı metil ve etil esteri üretilmiş ve 24 ay bekletilmiştir. Motorlarda dizel yakıtı, yeni üretilmiş kolza yağı metil ve etil esteri ve bekletilmiş kolza yağı metil ve etil esteri kullanılmıştır. Testler direkt püskürtmeli turboşarjlı motorda yapılmıştır. Etil ve metil esterinin moment, güç, özgül yakıt sarfiyatı eğrileri birbirine yakın görülmüştür [18].

Altın vd. çalışmalarında tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde No 2-D dizel yakıtı ile birlikte dokuz değişik bitkisel yağ [ham ayçiçek yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı ve bunlardan elde edilen ayçiçek yağı metil esterleri, pamuk yağı metil esterleri, soya yağı metil esterleri ile rafine edilmiş haşhaş yağı, kanola yağı ve mısır yağı] kullanılmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla motoru tam gaz-değişik devir ve sabit devir-değişik yük deneyine tabi tutmuşlardır. Araştırmacılara göre; yapılan testler sonucunda bitkisel yağların performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük, duman koyuluğu bitkisel yağlarda daha yüksek, NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise No 2-D dizel yakıtından daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Esterleştirme işlemi ile ham yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir miktar iyileşme olduğu görülmüştür. Üretilen bitkisel yağ metil esteri esaslı yakıtların motor performansı değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine daha yakın olduğu belirlenmiştir [19].

Yamık, çalışmasında ham ayçiçek yağından metil ve etil ester üreterek, fiziksel özelliklerini tespit etmiştir. Tek silindirli bir dizel motorunda dizel yakıtı, ayçiçek

yağı metil esteri ve etil esterinin tam yük değişik devir ve sabit devir değişik yük deneylerini yapmıştır. Deneyler sonucunda her yakıt için performans haritaları çıkartmıştır. Araştırmacı tarafından, tam yük değişik devir deneylerinde etil ester performansı dizel yakıtı ve metil estere göre daha düşük değerlerde ölçülmüştür. Emisyonlar bakımından etil ester emisyon değerleri metil esterinkine yakın değerlerde ölçülmüştür. Ayçiçek yağı metil esterinin ısı değer ve özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına benzer değerler verdiği saptanmıştır. Deneyler sırasında gürültü ölçümü yapılmış ve esterlerin gürültü seviyelerinin dizel yakıtından düşük olduğu belirlenmiştir. Her yakıt için maksimum momentin meydana geldiği optimum avans değerleri tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda metil esterinin performans bakımından dizel yakıtına alternatif olabileceği saptanmıştır. Etil esterinin motor gücü ve momentinin ise dizel yakıtına yakın olduğu belirlenmiş buna karşılık özgül yakıt tüketimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle özgül enerji tüketimi ve özgül enerji maliyetlerinin etil esterde diğer yakıtlara göre yüksek olduğu hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bitkisel yağ metil esterlerinin dizel yakıtına alternatif olabileceği görülmüştür [20].

Yahya ve Stephen yaptıkları çalışmada bir dizel motorda soya yağı metil esteri ve don yağı metil esteri yakıt olarak kullanılmıştır. Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek, değişik püskürtme avansı ve basınçlarında dizel yakıtı ile bu yakıtların mukayesesi yapılmıştır. Püskürtme basıncı artırıldığında yakıt tüketiminin % 6,4-7 civarında azaldığını tespit etmişlerdir. Düşük hızlarda her iki yakıt ile yüksek hıza göre % 5,6-8 daha fazla efektif güç sağladığı belirtilmiştir [21].

Schinstock et al. direkt enjeksiyonlu bir motorda, rafine edilmiş soya ve ayçiçek yağını dizel yakıtıyla belirli oranlarda karıştırmış ve kullanımının performansa etkilerini değerlendirmiştir. Sonuçların elde edilmesi için, 200 saat süreyle sabit güç testi uygulamıştır. Yanma odalarında görülen aşırı birikintilerin deney yapılan motorda bu yakıtların kullanımını engelleyecek düzeyde olmadığı belirlenmiştir [22].

Çelikten tarafından yapılan çalışmada bir dizel motorda püskürtme basıncının motor performansına ve emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Dizel yakıtı ile

değişik yük ve değişik motor hızlarında yapılan çalışmada, püskürtme basıncının artmasıyla güç ve ÖYT' nin azaldığı görülmüştür. Ayrıca yüksek püskürtme basınçlarında CO, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarında azalma ve NO<sub>x</sub> emisyonunda artma olduğu tespit edilmiştir [23].



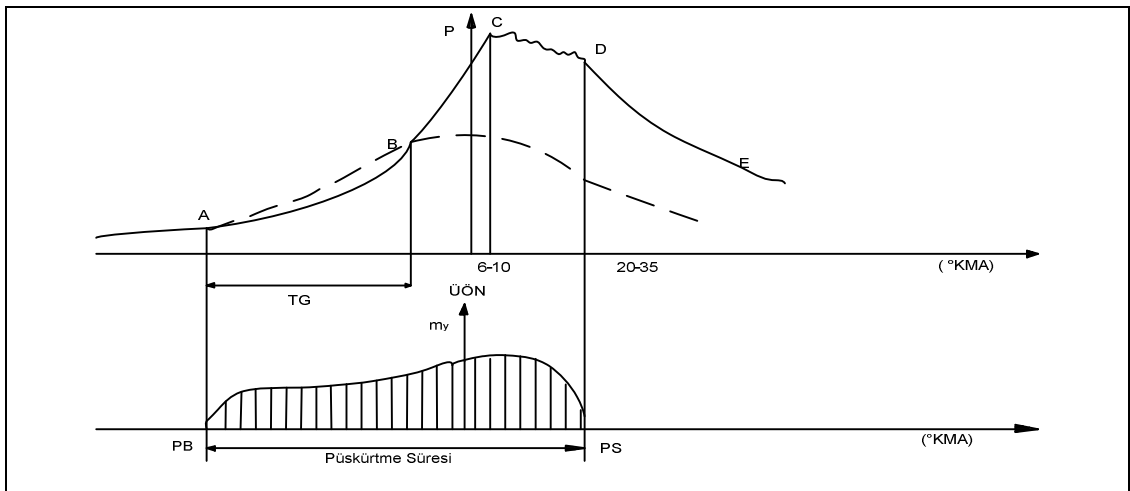
## BÖLÜM 3

### DİZEL MOTORLARDA YANMA OLAYI VE PERFORMANSA ETKİ EDEN PARAMETRELER

#### 3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA

Dizel motorlarında yanma olayı; yakıtın silindir içerisine püskürtülmeye başladığı andan yanma ürünlerinin egzoz supabından atılmaya başladığı ana kadar meydana gelen bir takım reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlar: yakıtın püskürtüldüğü anda hacim genişlemesi nedeniyle parçalanması, hava ile karışması, buharlaşması, kendi kendine tutuşması, yanması ve silindir içerisindeki basınç ile sıcaklığın artışına etkileri şeklinde özetlenebilir. Tüm bu olaylarda; motorun ve yakıt sisteminin dizaynı önemli bir etkiye sahiptir. Zira silindire gönderilen yakıtın zamanlaması ve miktarının kontrolü yanmayı etkiler [27].

Dizel motorlarında yanma olayını Ricardo üç safhada incelemiştir [25]. Bunlar; tutuşma gecikmesi, ani yanma safhası ve kontrollü yanma safhasıdır. Şekil 3.1' de bir dizel motorda yanma safhaları görülmektedir.



Şekil 3.1. Bir dizel motorda yanma safhaları [26].

### 3.2. TUTUŞMA GECİKMESİ

Tutuşma gecikmesi safhası, yakıtın silindire püskürtülmeye başladığı andan (A noktası) silindir içerisindeki basıncın ani olarak artmaya başladığı ana (B noktası) kadar geçen süreyi kapsar. Şekil 3.1'deki dolu çizgi ile ifade edilen eğri hava-yakıt karışımı ile elde edilen basınç-krank açısı değişimini göstermektedir. Kesik çizgi ile ifade edilen eğri ise; yalnızca hava ile elde edilen basınç-krank açısı değişimidir. Burada; A-B noktaları arasındaki kesik çizgi ile dolu çizgi arasındaki fark, püskürtülen yakıtın buharlaşabilmek için ısıyı üzerine alması nedeniyle oluşur. Buhar tabakasının oluşması esnasında, kendi kendine tutuşmanın ilk alev çekirdekleri de meydana gelerek, basıncın ve sıcaklığın yükselmeye başlamasına neden olur. Tutuşma gecikmesini; fiziksel tutuşma gecikmesi ve kimyasal tutuşma gecikmesi olarak iki kısma ayırabiliriz. Fiziksel tutuşma gecikmesi, yakıtın parçalanması ve ısıyı üzerine alarak buharlaşması için geçen süredir. Kimyasal tutuşma gecikmesi ise; yakıtın parçalanarak buharlaşmasını takiben tutuşma anına kadar meydana gelen ön reaksiyonların oluştuğu safhayı ifade eder [25, 26].

Tutuşma gecikmesi süresince, yakıt silindir içerisine püskürtülür ve tutuşma başlayıncaya kadar birikmeye devam eder. Reaksiyon hızlarının küçük olması nedeniyle meydana gelen basınç ve sıcaklık değişimleri ihmal edilebilecek düzeydedir [26].

Tutuşma gecikmesi süresi; sıkıştırılan havanın basınç ve sıcaklığına, yakıtın atomizasyonu ve kalitesine, enjeksiyon avansına ve türbülansa bağlıdır [26].

### 3.3. ANİ YANMA SAFHASI

Ani yanma safhası, silindir içerisindeki basıncın ani olarak yükselmeye başladığı andan (B noktası) basıncın maksimum değerine ulaştığı ana (C noktası) kadar geçen süreyi kapsar. Bu safhada; silindirde tutuşma gecikmesi süresince biriken yakıtın ani olarak yanmasıyla, basınç çok hızlı bir yükseliş gösterir. Bu yanma hızı, basınç artma oranındaki ( $dp/d\alpha$ ) değişimi etkiler. Basınç artma oranının değerinin 0,2-0,3 Pa/°KMA arasında olması istenir. Zira, bu değer motorun yumuşak veya sert çalışmasını belirtir [27].

Ani yanma safhasında, basıncın artış hızı tutuşma gecikmesi süresine bağlıdır. Bu süre boyunca silindirde biriken yakıt miktarı arttıkça, basınç artma oranı da artar. Yüksek basınç artışı, motorun daha sert çalışmasına neden olur. Bu durum, "dizel vuruntusu" olarak nitelendirilen gürültülü bir çalışma olarak kendini gösterir. Bu şekildeki çalışma, motor parçalarının zorlanmasına ve zamanla yorulmasına neden olur. Bu nedenle, maksimum basınç belli bir sınırdan tutulmalıdır. Tutuşma gecikmesinin yanı sıra; basınç artışı silindir içindeki türbülansa, yakıtın atomizasyonuna karışım oluşumuna bağlıdır [27].

### **3.4. KONTROLLÜ YANMA SAFHASI**

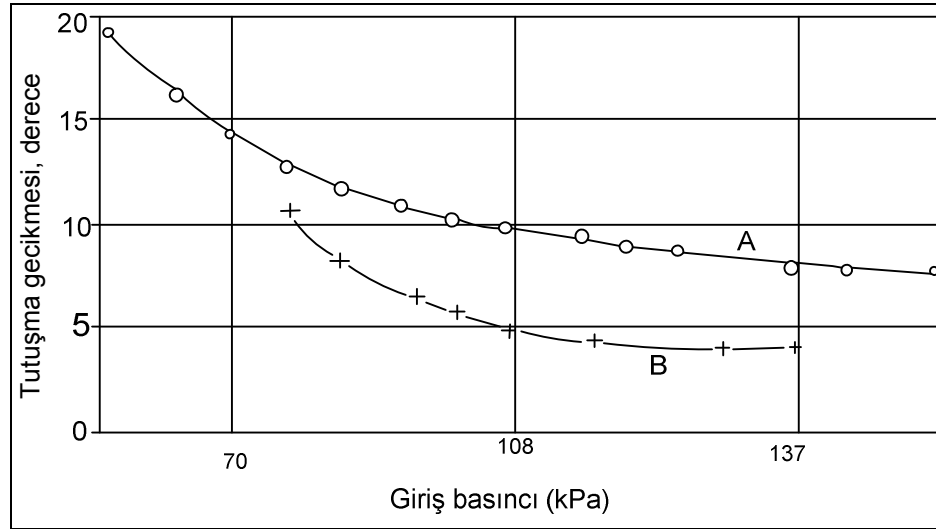
Kontrollü yanma safhası, maksimum basıncın oluştuğu andan (C noktası) yanmanın büyük ölçüde tamamlandığı ana (D noktası) kadar geçen süreyi kapsar. Ani yanma safhası sonunda; silindir içerisindeki basınç ve sıcaklık çok yüksek olduğundan, enjektörden püskürtülen yakıt oksijen bulur bulmaz hemen yanar. Motor verimi açısından yanmanın, mümkün olduğunca ÜÖN' ye yakın bir zamanda tamamlanması gerekir. Bu açıdan yanmanın hızı, yakıt ile havanın birbiriyle karışmasına, dolayısıyla türbülansa, enjeksiyon karakteristiğine ve silindir içerisinde kalan oksijen miktarına bağlıdır. Bu safhada, basınç değişimi üzerinde pistonun ÜÖN' den uzaklaşmasının etkisi oldukça belirgindir ve basınç değişimi önemsizdir. Sıcaklık ise; maksimum değerine ulaşır [28].

Kontrollü yanmanın ardından, egzoz supabının açıldığı ana kadar meydana gelen reaksiyonlar art yanma olarak nitelendirilir. Püskürtmenin sona ermesiyle silindir içerisinde kalan yakıt ve henüz yanmasını tamamlayamamış yanma ürünleri de türbülans ve oksijen miktarına bağlı olarak yanmaya devam ederler. Pistonun AÖN' ye doğru hareketiyle, önünde kalan hacmin artmasıyla basınç ve sıcaklık giderek azalır. Art yanmanın, motor verimi açısından mümkün olduğunca kısa sürmesi istenir [28].

### 3.5. DİZEL MOTORLARDA YANMAYA VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİ EDEN PARAMETRELER

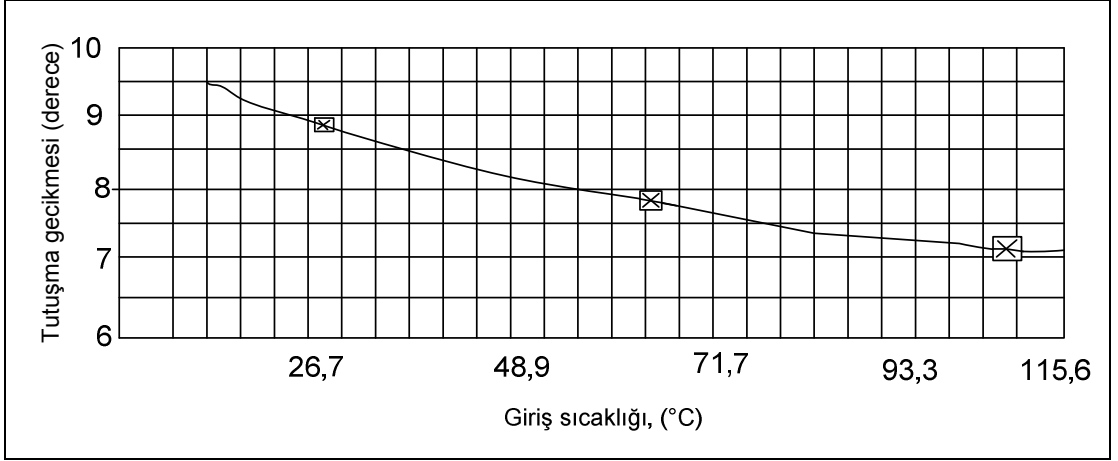
#### 3.5.1. Giriş Basıncı Ve Sıcaklığı

Emme zamanında silindire alınan havanın giriş basıncı arttıkça, sıkıştırma sonu basıncı ve sıcaklığı artacağından tutuşma gecikmesi süresi azalır. Şekil 3.2'de giriş basıncının tutuşma gecikmesine etkisi görülmektedir. Giriş basıncının artmasıyla, silindire daha fazla hava alınacağından volümetrik verim de artar. İçeriye daha fazla yakıt püskürtülerek, güç artırılabilir. Ancak, bu durum maksimum basıncın da artmasına neden olur [25, 29].



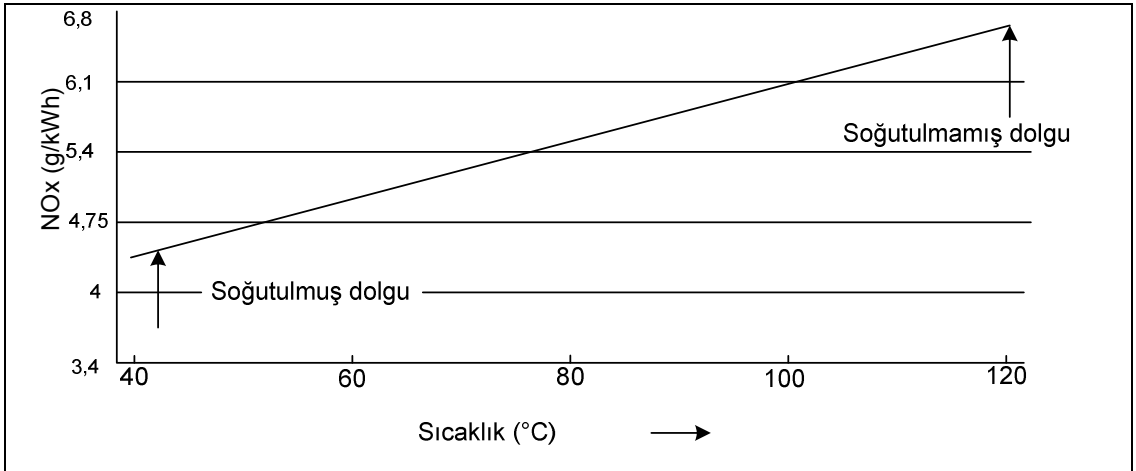
Şekil 3.2. Giriş basıncının tutuşma gecikmesine etkisi a) A. Düz yanma odası b) B Bölünmüş yanma odası [30].

Şekil 3.3'te emilen hava sıcaklığının tutuşma gecikmesine etkisi görülmektedir. Giriş sıcaklığının artması da tutuşma gecikmesi süresinin azalmasına neden olur. Zira, daha yüksek sıcaklıkta yakıt tanecikleri kolay buharlaşır. Fakat, giriş sıcaklığı arttıkça havanın yoğunluğu azalacağından volümetrik verim azalır [27].



Şekil 3.3. Giriş sıcaklığının tutuşma gecikmesine etkisi [30].

Şekil 3.4 'de silindir içerisine alınan dolgunun sıcaklığının  $\text{NO}_x$  emisyonuna etkisi görülmektedir. Dolgu havası sıcaklığının artması, tutuşma gecikmesi süresinin azalmasına, basınç ve sıcaklığa bağlı olarak  $\text{NO}_x$  emisyonunun artmasına neden olmaktadır [31].

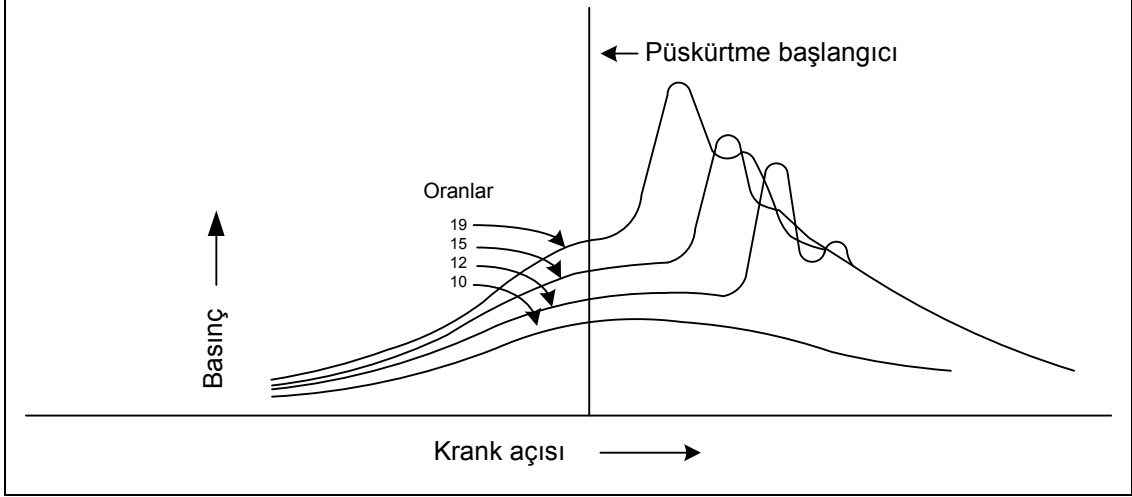


Şekil 3.4. Dolgu sıcaklığına bağlı olarak  $\text{NO}_x$  emisyonu değişimi [29].

### 3.5.2. Sıkıştırma Oranı

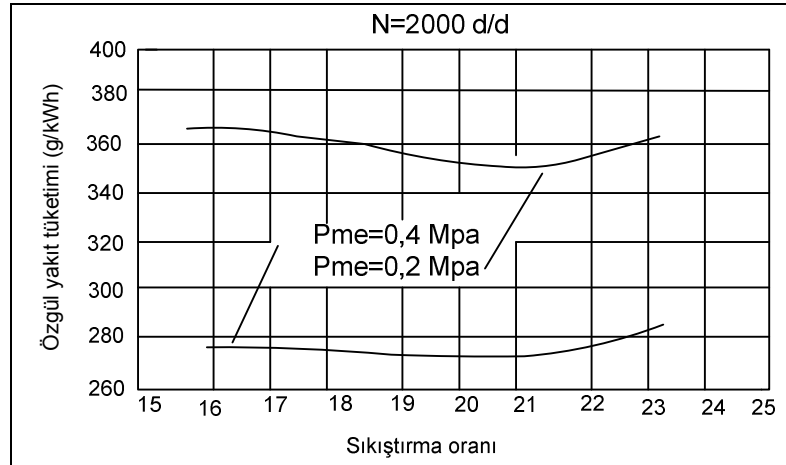
Sıkıştırma oranının artması, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığının yükselmesine neden olur. Şekil 3.5'te sıkıştırma oranının açık indikatör diyagramına etkisi görülmektedir. Yüksek sıkıştırma oranında, maksimum basınç daha erken ve daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Ancak, maksimum basıncın artması krank-biyel

mekanizmasının daha dayanıklı yapılmasını gerektirir. Ayrıca, kompresyon kaçaklarının artması ve motorun ilk harekete geçişinin zorlaşması mekanik verimi azaltır [29].



Şekil 3.5. Sıkıştırma oranının basınç-krank açısı diyagramına etkisi  $n=600$  1/min,  $Y/H=0,05$ , Püskürtme avansı= $12^\circ$  [26].

Şekil 3.6'da sıkıştırma oranına bağlı olarak fren özgül yakıt tüketiminin değişimi görülmektedir.

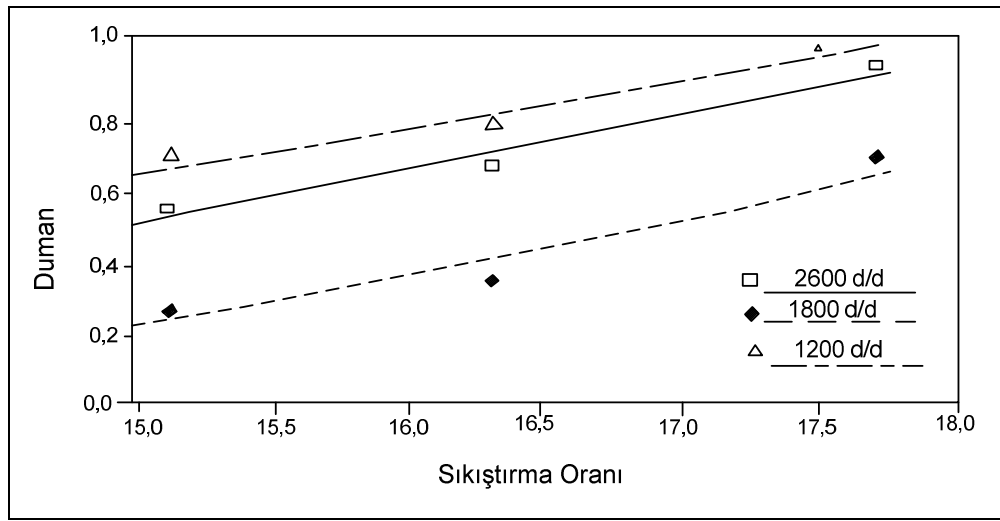


Şekil 3.6. Sıkıştırma oranının fren özgül yakıt tüketimine etkisi [31]

Sıkıştırma oranı arttıkça sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığı artmaktadır. Buna bağlı olarak piston üzerine etki eden efektif basınç artmakta ve fren özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Ancak belirli bir sıkıştırma oranından sonra kompresyon kaçaklarının

artması ve mekanik verimin azalmasıyla fren özgül yakıt tüketimi artmaya başlamaktadır.

Şekil 3.7'de sıkıştırma oranına bağlı olarak duman miktarının değişimi görülmektedir. Sıkıştırma oranının artmasıyla duman miktarı da buna bağlı olarak artmaktadır. Zira, sıkıştırma oranının artmasıyla yanma odası içerisindeki girdabın azalması ve hava yakıt karışım formasyonunun kötüleşmesi duman miktarının artmasına neden olmaktadır [31].

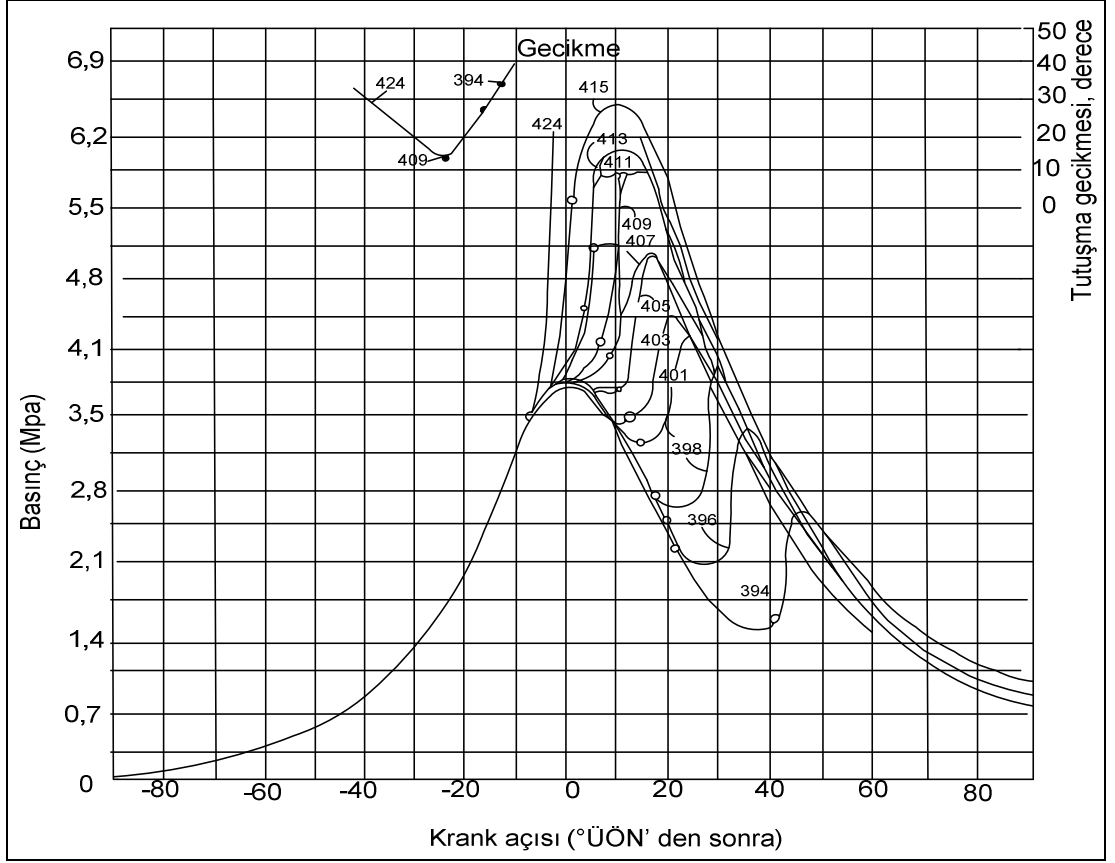


Şekil 3.7. Sıkıştırma oranının duman miktarına etkisi [31].

### 3.5.3. Püskürtme Avansı

Püskürtme avansı, yakıtın kendi kendine tutuşması ve yanması sonucunda oluşan maksimum basıncın, piston iş zamanında ÜÖN 'ye yakın olduğu bir anda oluşması için; yakıtın, sıkıştırma zamanı sonuna doğru silindir içerisine enjekte edilmeye başlanmasıdır.

Optimum püskürtme avansı; motorun ve yakıt sisteminin dizaynına, silindire alınan havanın basıncına, sıcaklığına, motor yüküne ve devrine bağlıdır. Yani; sıkıştırma oranı, yanma odasının şekli ve püskürtme karakteristikleri verilmesi gereken avans miktarını etkiler [25]. Şekil 3.8 de püskürtme avansının basınç-krank açısı diyagramına etkisi görülmektedir.

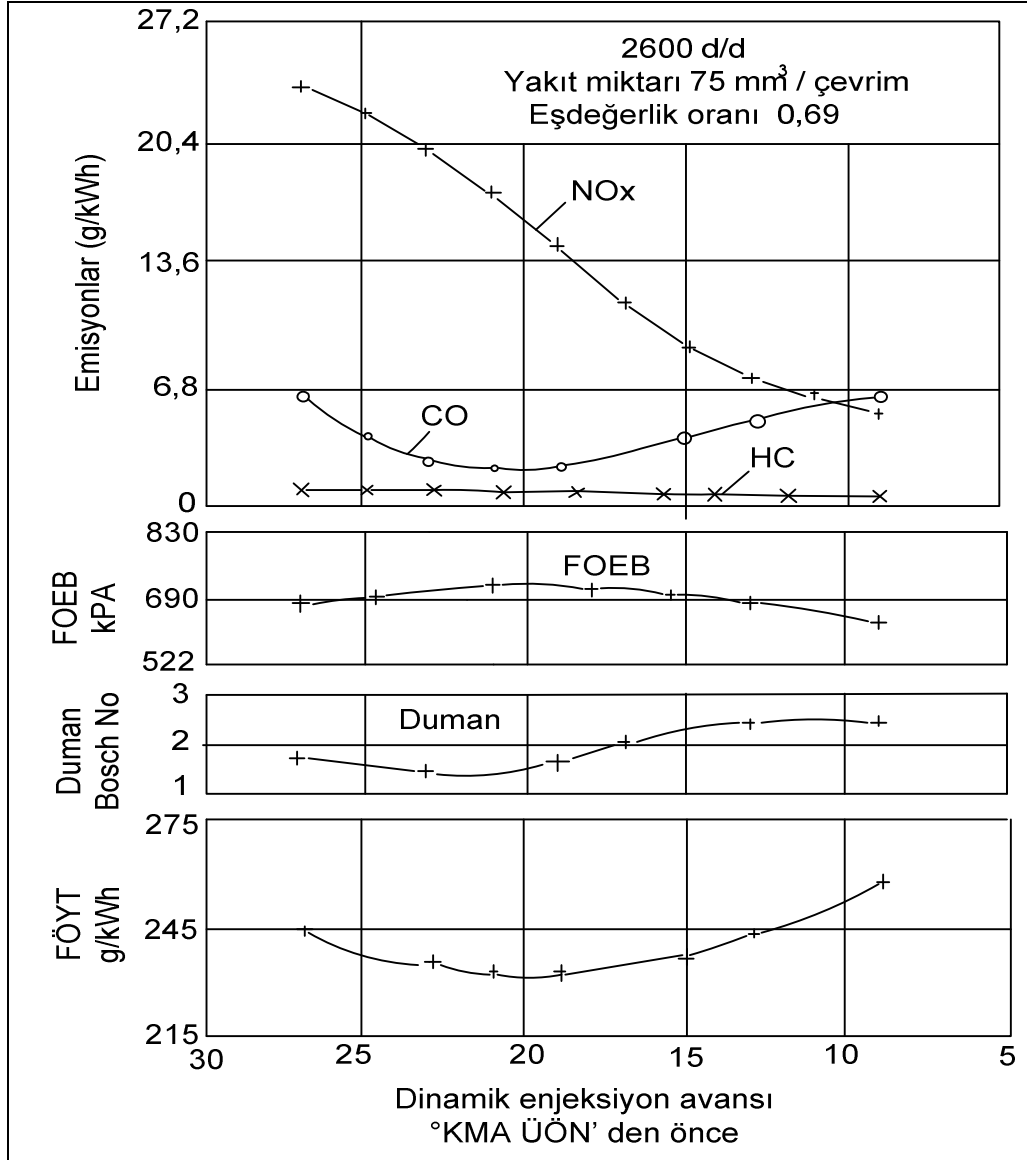


Şekil 3.8. Püskürtme avansının basınç-krank açısı diyagramına etkisi [30].

Motorun çalışma şartlarına göre, verilmesi gereken avans miktarı arttırılacak olursa; yakıt, silindir içerisine püskürtülmeye başlandığı anda silindir içerisindeki basınç ve sıcaklık daha düşük olacağından tutuşma gecikmesi süresi artar. Bu durumda; silindirde biriken yakıt, ani yanma safhasında yanacağından basınç artma oranı yükselir. Sonuç olarak; motor sert çalışacağından krank-biyel mekanizmasının zorlanmasına neden olur. Ayrıca, yanma sıcaklığı arttığından  $NO_x$  emisyonları artarken, HC emisyonları azalır [27, 29].

Püskürtme avansı azaltılacak olursa; yakıtın silindir içerisine püskürtülmeye başlandığı anda, silindir içerisindeki basınç ve sıcaklık daha yüksek olacağından tutuşma gecikmesi süresi azalır. Motor daha yumuşak çalışır ancak yanmanın önemli bir kısmı kontrollü yanma safhasında oluşması ve pistonun ÜÖN' den uzaklaşması nedeniyle motor gücü düşer. Yanma sıcaklığı azaldığından  $NO_x$  emisyonları azalırken, HC emisyonları artar [27]. Şekil 3.9' da Dinamik enjeksiyon avansının motor performansına ve emisyonlarına etkisi görülmektedir.





Şekil 3.9. Dinamik enjeksiyon avansının motor performans ve emisyonlara etkisi [33].

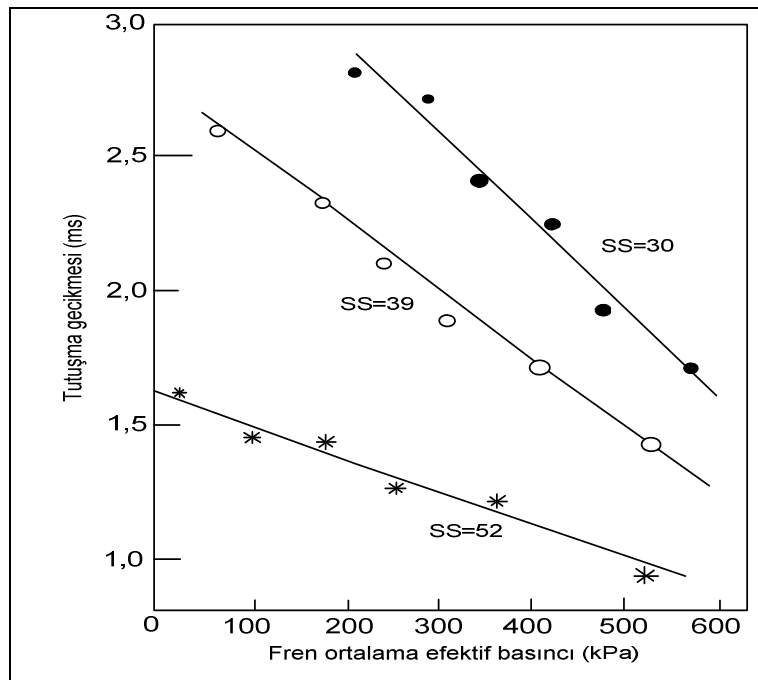
Şekil 3.9' da dinamik enjeksiyon avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi görülmektedir. Bu grafikte yaklaşık olarak 20° dinamik enjeksiyon avansında fren özgül yakıt tüketiminin minimum olduğu ve bu noktada fren ortalama efektif basıncının en yüksek değerini aldığı görülmektedir. Bu avans değerinden itibaren avans rötara alındıkça şekil 3.8'de görüldüğü gibi hacim genişlemesi nedeniyle piston üzerine etki eden basınç azalmakta ve fren özgül yakıt tüketimi artmaktadır. 20° Dinamik enjeksiyon avansı değerinden itibaren avans arttıkça basınç artma oranı ( $dp/d\alpha$ ) arttığından motor vuruntulu çalışmakta ve fren ortalama efektif basıncı azalmakta, fren özgül yakıt tüketimi ise; artmaktadır.

Dinamik enjeksiyon avansının egzoz gazlarına etkisi incelendiğinde; avans, 9°'den itibaren arttırıldıkça duman miktarı azalırken, NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığı görülmektedir [33].

### 3.5.4. Yakıt Özellikleri

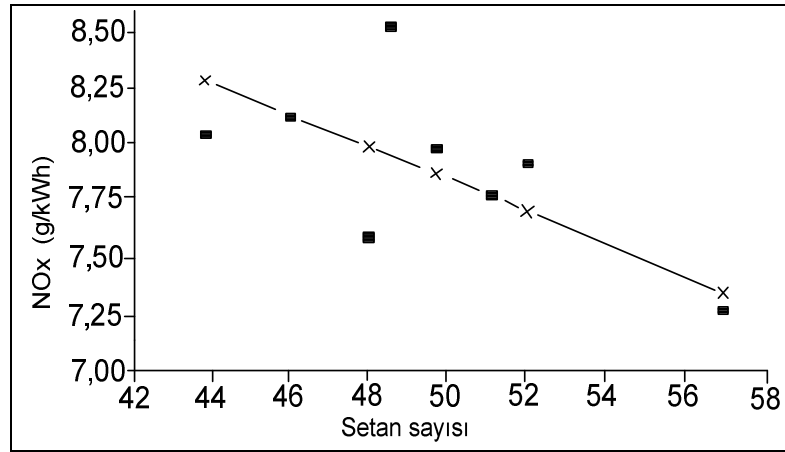
Dizel motorlarında yakıt olarak kullanılan motorin, çeşitli hidrokarbon moleküllerinin bileşiminden oluşmuştur. Bu hidrokarbonlardan, parafinik hidrokarbonlar, yakıtın setan sayısının yükselmesine neden olur. Setan sayısı, dizel yakıtının ateşlenme kalitesini yani tutuşmaya gösterdiği meyli ifade eder [27].

Şekil 3.10'da, setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi görülmektedir. Setan sayısı yüksek olan yakıtın, tutuşma gecikmesi süresinin daha kısa olduğu görülmektedir. Tutuşma gecikmesinin kısalması, ani yanma safhasındaki basınç artma oranını azaltır. Yakıtın çoğunluğu, kontrollü yanma safhasında yandığından silindir içerisinde oluşan maksimum basınç daha düşük olmaktadır. Ayrıca, tutuşma gecikmesinin azalmasıyla, karışımın sağlanabilmesi için daha az süre olması ve yakıtın yanma odası içerisinde iyi dağılamaması nedeniyle yanma hızı da azalır [34].



Şekil 3.10. Setan sayısının tutuşma gecikmesine etkisi [33].

Şekil 3.11'de setan sayısının  $\text{NO}_x$  emisyonuna etkisi görülmektedir. Burada setan sayısı arttıkça  $\text{NO}_x$  emisyonunun azaldığı görülmektedir. Setan sayısı arttıkça yakıtın kendi kendine tutuşmaya gösterdiği meyil artmaktadır. Böylece yakıt daha kolay tutuşacağından, tutuşma gecikmesi; şekil 3.10'da da görüldüğü gibi azalarak, ani yanma safhasındaki basınç artma oranının azalmasına neden olabilmektedir. Basıncın ve sıcaklığın azalması,  $\text{NO}_x$  oluşumunun yavaşlamasına neden olmakta ve  $\text{NO}_x$  emisyonu azalmaktadır [31].

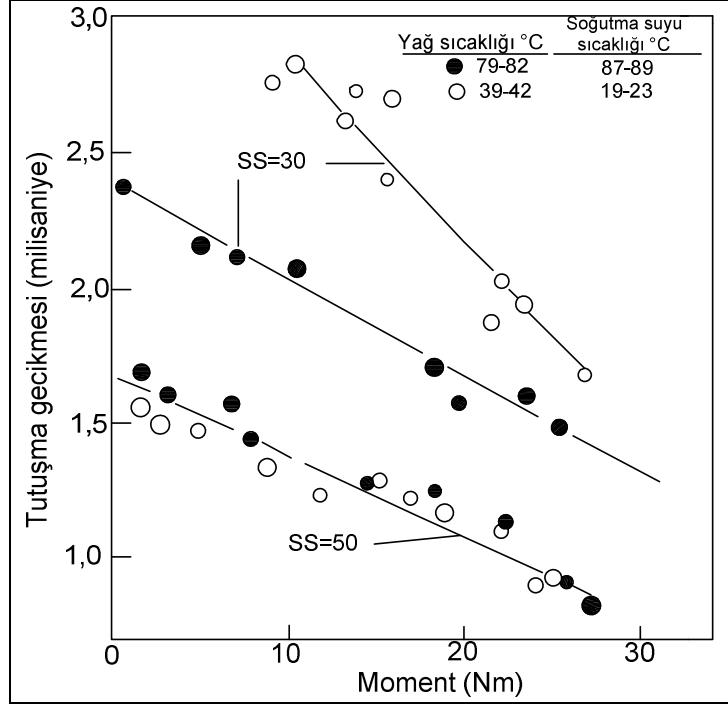


Şekil 3.11. Setan sayısının  $\text{NO}_x$  emisyonuna etkisi [33].

### 3.5.5. Soğutucu Akışkan Sıcaklığı

Soğutucu akışkan sıcaklığı arttıkça, tutuşma gecikmesi süresi ve basınç artış oranı azalır. Çeket sıcaklığı arttıkça püskürtme anında yakıt, daha yüksek sıcaklıktaki hava içerisine püsküreceğinden daha kolay buharlaşır [27].

Şekil 3.12'de, yağ ve soğutma suyu sıcaklıklarının tutuşma gecikmesine etkisi görülmektedir. Aynı şartlarda; 30 ve 52 setan sayısına sahip yakıtlar kullanılmıştır. Setan sayısı 52 olan yakıt kullanıldığında yağ ve soğutma suyu sıcaklıklarının etkisinin belirgin olmadığı görülmektedir. Ancak, setan sayısı 30 olan yakıt kullanıldığında; daha yüksek yağ ve soğutma suyu sıcaklığında tutuşma gecikmesi süresinde önemli bir azalma meydana gelmektedir [33].



Şekil 3.12. Yağ ve soğutma suyu sıcaklıklarının tutuşma gecikmesi süresine etkisi [33].

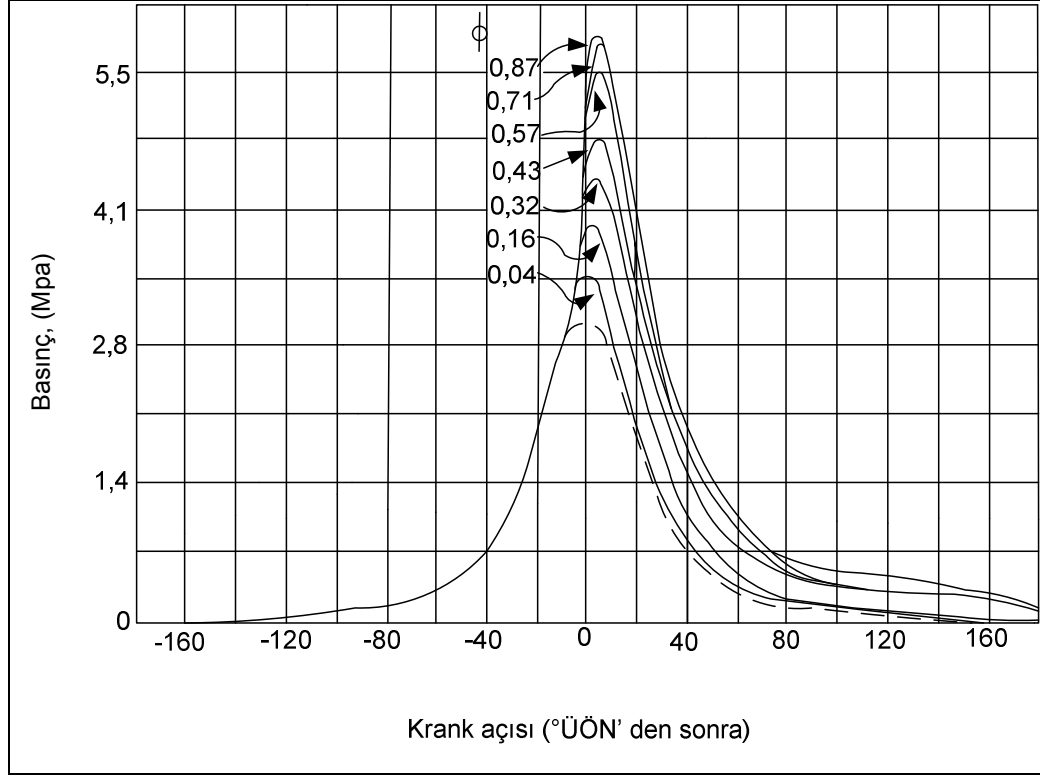
### 3.5.6. Yakıt / Hava Oranı

Yakıt/hava oranı üzerinde, yanma yönünden bir sınırlama yoktur. Zira, silindir içerisinde yakıt/hava oranının aynı olmadığı ve bu oranın sıfır ile sonsuz arasında değiştiği birçok nokta bulunmaktadır. Bu nedenle; yanma olayı, en uygun yakıt/hava oranına sahip nokta veya noktalardan başlar. Dizel motorlarında düşük yakıt/hava oranında, silindire püskürtülen yakıt yanabilir. Ancak, püskürtme karakteristiklerinin istenilen düzeyde tutulması güçleşir.

Bunun yanı sıra; yakıt/hava oranının belli bir sınırın üzerinde artırılması is teşekkülüne neden olur. Bu da özellikle; yanmamış HC emisyonunun artmasına ve motorun duman yapmasına neden olur [29].

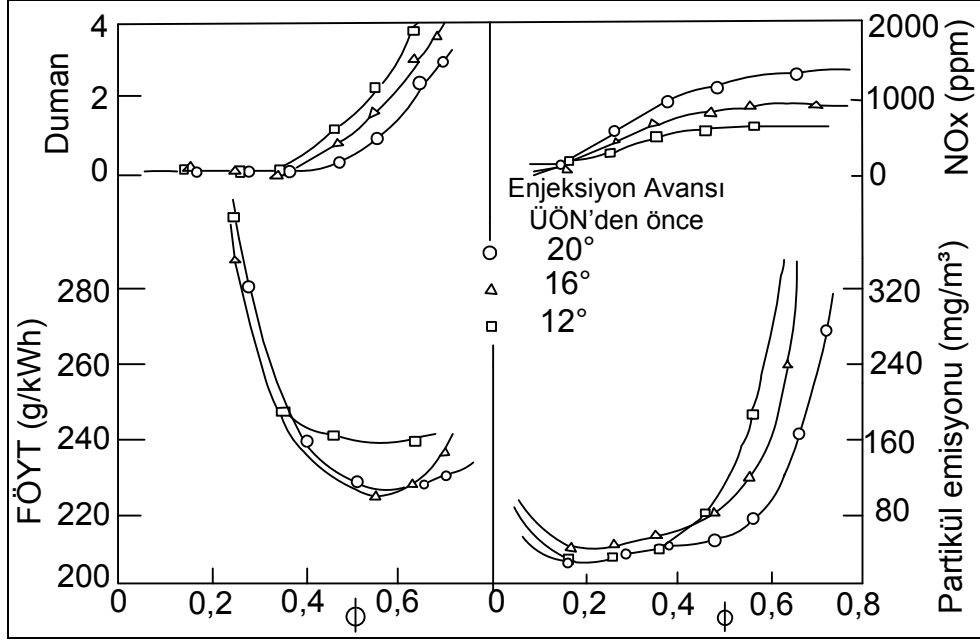
Şekil 3.13'de eşdeğerlik oranının, basınç-krank açısı değişimine etkisi görülmektedir. Burada; yakıt miktarı arttıkça, silindir içerisine daha fazla ısı sürüldüğünden maksimum basınç artmaktadır. Yakıt/hava oranının, tutuşma gecikmesi üzerinde dolaylı bir etkisinin olduğunu söyleyebiliriz. Zira, yakıt/hava oranı azaldıkça yanma

sonu basınç ve sıcaklığı azaldığından silindir duvar sıcaklığı da azalmaktadır. Duvar sıcaklığının azalmasıyla, tutuşma gecikmesi süresi artabilir [27, 29].



Şekil 3.13. Eşdeğerlik oranının basınç-krank açısı diyagramına etkisi [33].

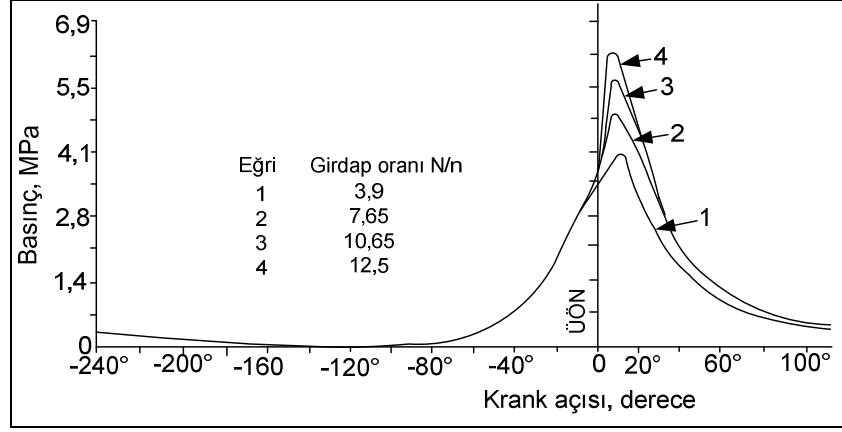
Şekil 3.14'de eşdeğerlik oranının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi görülmektedir. Eşdeğerlik oranı arttıkça, silindir içerisinde oluşan basınç arttığından, piston üzerine etki eden ortalama efektif basınç artmakta ve fren özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Silindir içerisine sürülen yakıtın belli bir oranın üzerinde artırılması (HFK<2) is oluşumunu hızlandırdığından fren özgül yakıt tüketimi bu noktadan itibaren artmaktadır. Zira, silindir içerisine sürülen yakıt tanecikleri yanmalarını tamamlayabilmeleri için yeterli hava bulamamaktadırlar. Eşdeğerlik oranı arttıkça NO emisyonu da artmaktadır. Yakıt miktarının artması silindir içerisindeki basınç ve sıcaklığı arttırdığından NO oluşumu hızlanmaktadır [33].



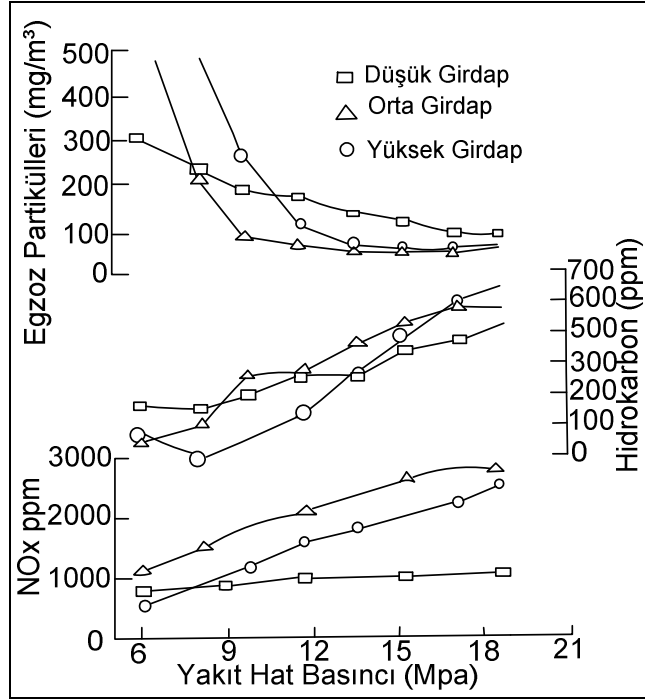
Şekil 3.14. Eşdeğerlik oranının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi [33].

### 3.5.7. Girdap Oranı

Girdap yani silindir içerisindeki hava hareketi, yakıtın hava ile karışımına dolayısıyla yanma sürecine ve emisyonlara doğrudan etki etmektedir. Şekil 3.15'da bir dizel motoruna ait basınç-krank açısı diyagramı üzerinde girdap oranının etkisi görülmektedir. Burada girdap oranı; sabit motor devrinde emme portu içerisine yerleştirilen birkaç kılavuz vana ile vananın açısı değiştirilerek ayarlanmıştır. Girdap oranı arttıkça, tutuşma gecikmesi süresinde herhangi bir değişme olmadığı ancak, maksimum basıncın ve basınç artma oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, ortalama efektif basınç ve verim de artmaktadır. Fakat girdap oranını arttırmak genellikle egzoz partikülleri, HC ve dumanı azaltırken, NOx miktarının artmasına neden olmuştur. Bunun yanı sıra, ortalama efektif basıncın ve verimin artması için, girdap oranına uygun püskürtme karakteristiğinin sağlanması gerekmektedir [35].



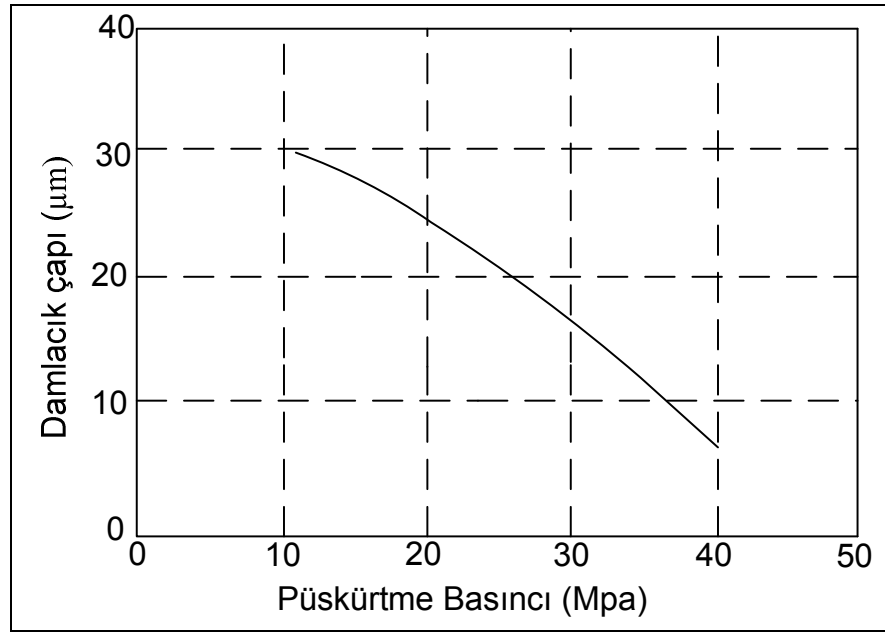
Şekil 3.15. Girdap oranının basınç-krank açısı diyagramına etkisi [33]. a) N=Girdap hızı  $\text{min}^{-1}$  n=Motor hızı  $\text{min}^{-1}$



Şekil 3.16. Girdap oranının emisyonlara etkisi [33].

### 3.5.8. Enjeksiyon Basıncı

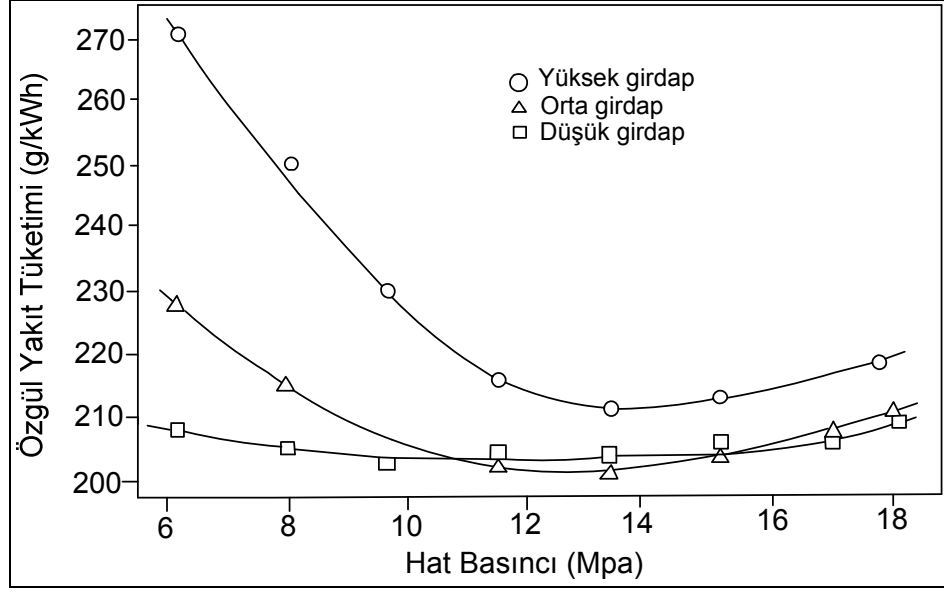
Enjeksiyon basıncı, yakıtın atomizasyonuna, dolayısıyla karışım formasyonuna etki eden faktörlerden birisidir. Enjeksiyon basıncı arttıkça yakıt daha iyi parçalanarak, damlacık çapı küçülmektedir. Şekil 3.17'de enjeksiyon basıncına bağlı olarak, yakıt damlacık çapının değişimi verilmektedir. Burada enjeksiyon basıncı arttıkça damlacık çapının azaldığı görülmektedir [33].



Şekil 3.17. Enjeksiyon basıncına bağlı olarak damlacık çapı değişimi [34].

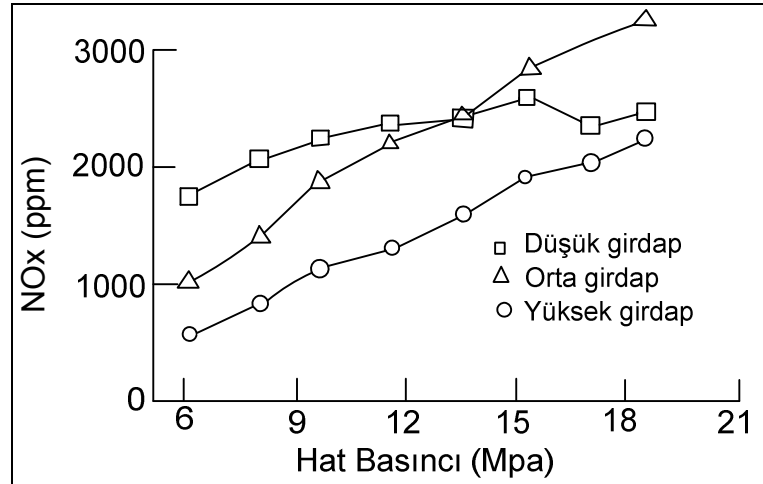
Şekil 3.18' de yakıt hat basıncına bağlı olarak, fren özgül yakıt tüketiminin değişimi görülmektedir. Enjeksiyon basıncı arttıkça yakıt damlacık çapı küçülmekte ve bu durum yakıtın daha kolay buharlaşmasına neden olmaktadır. Ancak, yakıt taneciği küçüldükçe ataleti de azaldığından yakıtın yanma odasındaki nüfuz derinliği azalabilmektedir. Silindir duvarlarına yakın bölgelerdeki havanın kullanılamaması nedeniyle yanma kötüleşebilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi yüksek basınçlarda, özellikle yüksek girdap oranında fren özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Düşük enjeksiyon basınçlarında damlacık çapının artması, yakıtın buharlaşmasının daha uzun zaman almasına neden olabilmektedir. Bu durum yanmayı kötüleştireceğinden düşük enjeksiyon basıncında fren özgül yakıt tüketimi artmaktadır [33].





Şekil 3.18. Yakıt hat basıncına bağlı olarak fren özgül yakıt tüketiminin değişimi [33].

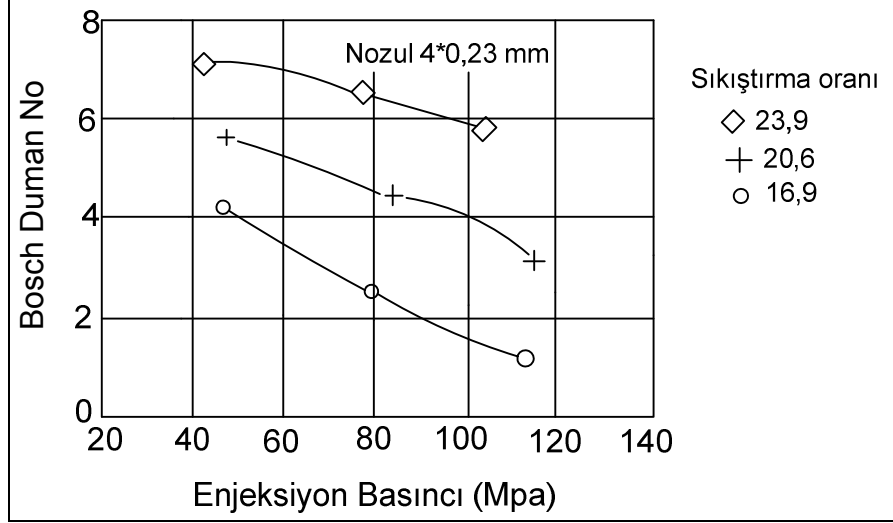
Şekil 3.19' da enjeksiyon basıncına bağlı olarak  $\text{NO}_x$  emisyonunun arttığı görülmektedir. Enjeksiyon basıncı arttıkça yakıt damlacık çapı giderek küçülmektedir. Yakıtın daha iyi buharlaşması yanma hızını arttırdığından, basınç ve sıcaklığa bağlı olarak  $\text{NO}_x$  oluşumu hızlanmaktadır [33].



Şekil 3.19. Enjeksiyon basıncına bağlı olarak  $\text{NO}_x$  emisyonu değişimi [33]

Enjeksiyon basıncına bağlı olarak duman miktarının değişimi şekil 3.20' de görülmektedir. Enjeksiyon basıncı azaldıkça duman miktarı artmaktadır. Enjeksiyon

basıncının azalmasıyla damlacık çapı artmakta ve yakıtın buharlaşması daha uzun zaman almaktadır. Karbon tanecikleri yanmalarını tamamlayabilmeleri için, gerekli süreyi bulamadıklarından is oluşumu hızlanmaktadır [28, 31].

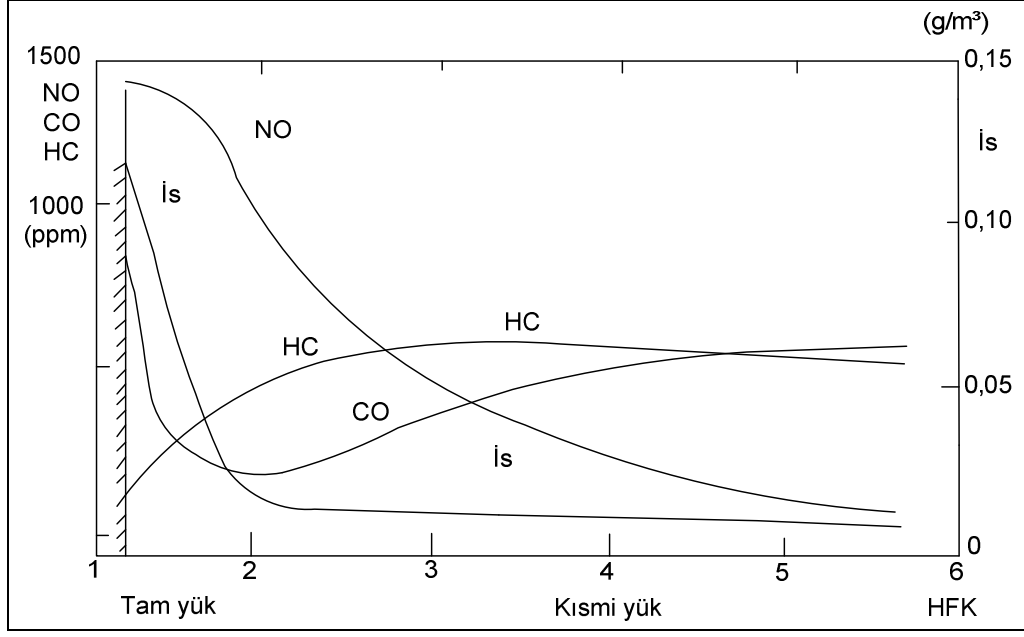


Şekil 3.20. Enjeksiyon basıncının duman miktarına etkisi [33].

### 3.6. DİZEL MOTORLARINDA EMİSYONLAR

Dizel motorları, genellikle fakir karışım oranlarında çalışmakta ve hava/yakıt oranı motorun yük durumuna göre değişmektedir. Şekil 3.21'de hava fazlalık katsayısının emisyonlara etkisi görülmektedir. Karışımın belli bir oranın üzerinde zenginleşmesini sınırlayan belli bir is sınırı mevcuttur. Özellikle; HFK 2'den az olduğunda is önemli derecede artmaktadır [36].

CO emisyon oluşumu; hava/yakıt oranı ile ilişkilidir. Zira; yanma olayının ara kademelerinde oluşan CO' nun CO<sub>2</sub>' ye dönüşmesi için ortamda yeterli oksijenin bulunması gerekir. Ancak; CO<sub>2</sub>' nin oluşabilmesi, oksijenin yanı sıra reaksiyon için yeterli sıcaklığı ve zamanı da gerektirir. Düşük yüklerde, sıcaklığın az olması nedeniyle CO' nun oksidasyonu için gerekli reaksiyonlar gerçekleşemediğinden CO miktarı yüksektir. Yük arttıkça; CO azalmaktadır. Tam yüke doğru, oksijen miktarının ve reaksiyon süresinin azalması nedeniyle CO miktarı tekrar artış gösterir [36].



Şekil 3.21. Direkt püskürtmeli bir dizel motorunun egzoz gazı içerisindeki kirlenici konsantrasyonları [32].

Hidrokarbonlar ve aldehitler, alevin söndüğü silindir duvarlarında ve yanma sürecinin başında veya sonuna doğru hava tarafından yanmanın kalitesinin bozulduğu bölgelerde oluşur. Yani; silindir cidarlarında soğuyan yakıt damlacıkları, HC emisyonunu artırır. Yükün artışı ile, silindire alınan yakıt miktarının artmasına rağmen sıcaklıklardaki yükseliş, reaksiyonları hızlandırmakta ve yanmamış HC emisyonu azalmaktadır [36].

Azotoksitlerin oluşumu; yanma odasındaki basınç ve sıcaklığa, karışımın formasyonuna ve tutuşma gecikmesi süresince silindirde biriken yakıt miktarına bağlıdır. Azotoksitler, yüksek sıcaklıkta yanmış gaz bölgelerinde oluşur. Ancak, yanmış gazlar içerisinde sıcaklık ve hava/yakıt oranı üniform olmadığından, azotoksitlerin oluşum hızı stokiyometrik bölgelere yaklaştıkça artar. Şekil 3.21'de görüldüğü gibi,  $NO_x$  yük arttıkça ve hava/yakıt oranının stokiyometrik orana yaklaşması ile artmaktadır [33].

Dizel motorlarında motorun yük durumuna göre hava/yakıt oranı değişmektedir. Verimli bir yanma için; yanma odası içerisinde yeterli havanın, yeterli sürenin ve yeterli sıcaklığın olması gerekmektedir. İs oluşumu; hava miktarına, yanma odası

içerisindeki sıcaklığa ve yanma için tanınan süreye bağlı olarak değişmektedir. Dizel motorlarında; düşük devirlerde hava hareketlerinin az olması, yüksek devirlerde ise; volümetrik verimin azalması ve yetersiz süre nedeniyle karbon tanecikleri, is oluşumuna neden olmaktadır. Is miktarı; yük arttıkça, artmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi yük arttıkça HFK azalmakta ve buna bağlı olarak yanma odası içerisindeki hava miktarının azalmasıyla karbon tanecikleri, yanmasını tamamlayamadıklarından is oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca devir arttıkça yanma için tanınan süre azaldığından is oluşumu hızlanmaktadır. Bu nedenle dizel motorlarında izin verilen is emisyonu sınırı, motor gücünü sınırlayan bir faktör olmaktadır [28, 35].

## BÖLÜM 4

### DİZEL MOTORU YAKITININ ÖZELLİKLERİ

Düz yanma odalı bir dizel motorunda yanma süreci, yakıtlarının özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Dizel motorlarında kullanılan yakıt özelliklerinin değerleri ile ilgili bilgiler Çizelge 4.1 de verilmiştir [37].

Çizelge 4.1. DIN 51601'e göre dizel yakıtından (motorinden) istenen özellikler.

Hacimsel su miktarı %0,1	DIN51777
15°C'de yoğunluk 0,820-0,860 g/ml	DIN51757
Kaynama olayı hacimsel Olarak 360°C'e kadar en az % 90	DIN51752
20°C'de viskozite 1,8-10 cst veya 1,1-1,85 Engler	DIN51550
Parlama noktası Abel-Pensky'ye göre 55°C	DIN51755
Filtrasyon (Hageman ve Hammerich'e göre) yazın 0°C, kışın -12°C	DIN51770
Kükürt'ün maksimum kütleli yüzdesi % 1,0	DIN51768
Konradson'a göre koklaşma artığının kütleli maksimum yüzdesi % 0,1	DIN51551
Kütlesinde değişiklik olarak çinkoya karşı davranışı 4 mg	DIN51779
Tutuşma kabiliyeti en küçük setan sayısı olarak 40 SS	DIN51773
Kül miktarı, kütleli yüzde olarak maksimum % 0,02	DIN51575

Dizel yakıtları için uygun değerde olması istenen bazı performans özellikleri aşağıda verilmiştir.

#### 4.1. TUTUŞMA KABİLİYETİ (SETAN SAYISI)

Dizel yakıtında en önemli özellik setan sayısıdır. Setan sayısı, dizel yakıtının yanma kalitesini gösteren ve benzindeki oktan sayısı gibi ölçülebilen bir sayıdır. Setan sayısı

taininde iki ayrı özellikte sıvı yakıt kullanılır (Setan ve Alfa-metil naftalin). Bunların muhtelif oranlarda karışımıyla elde edilen yakıt, numune yakıtın vuruntusuna eşit vuruntu verdiğiğinde, bu durum o yakıtın setan %'desi olarak tespit edilir. Örneğin, % 45 setan ve % 55 alfa-metil naftalin karışımının standart deney motorundaki vuruntusu, setan sayısı belirlenecek dizel yakıtının vuruntusuna eşit ise bu yakıtın setan sayısı 45'dir [37].

Setan sayısının belirlenmesi, zor, pahalı ve zaman alan bir deney metodu gerektirdiğinden setan sayısı yerine bu değer hakkında bilgi verecek olan "Dizel İndeksi" kullanılır. Dizel indeksi formüller vasıtasıyla hesaplanabilir. Bunun için yakıtın anilin noktası ve API gravitesi gibi değerlerinin bilinmesi gerekir. Bunun dışında, setan sayısının belirlenmesi' yöntemi olarak nomograflar kullanılır.

$$DI = \frac{API \text{ Gravite } (60^{\circ}F'da) * \text{Anilinnoktası } (^{\circ}F)}{100} \quad (4.1)$$

Nomograflar, API gravite ve yakıtın % 50'sinin destile olduğu ortalama kaynama noktasına bağlı olarak hazırlanmıştır. Nomograflar normal destilasyon ürünü, termal ve katalitik kraking ünitelerinden alınan dizel yakıtları için iyi netice verirler. Şayet setan sayısını yükseltmek amacıyla yakıtta katık konmuşsa ve yakıtın içinde fuel oil, gazyağından daha uçucu maddeler, zift, hayvani ve nebati yağlar ve sentetik yakıtlar mevcutsa, yapılan dizel indeks tayini, deneyde bulunan setan sayısına tekabül etmez.

Normal dizel yakıtının setan sayısı 45 olmalıdır. Netice olarak yakıtın dizel indeksi yükseldikçe kendi kendine tutuşma kabiliyeti artar. 45 ila 50 arasındaki setan sayısı ve dizel indeksi aşağı yukarı aynıdır. 45'in altında değerlerde dizel indeksi setan sayısından çok küçük, aksine 50'nin üstündeki değerler için ise çok az büyüktür. Normal dizel yakıtının dizel indeksi asgari 45 civarındadır [37].

Bir dizel yakıtının ihtiva ettiği hidrokarbon cinsleriyle çok yakından ilgilidir. Parafinik hidrokarbonlar setan sayısını yükseltir. Naftenik hidrokarbonlar vasat setan sayısını temin eder. Olefinlerin setan sayısına etkisi kesin olarak belirlenememiştir. Aromatik hidrokarbonlar düşük setan sayısı temin ederler [37].

## 4.2. VİSKOZİTE

Viskozite; sıvıların iç sürtünmelerinin ve akmaya karşı dirençlerinin bir ölçüsüdür. Dinamik viskozite: birbirinden 1 m uzaklıktaki iki düzlem arasındaki 1 m<sup>2</sup> alanlı sıvı tabakasını 1 m/s hızla kaydırmak için gerekli Newton kuvvetidir. Kinematik viskozite ise; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır. Sıvı ve katı yağların en önemli özelliklerinden biriside kinematik viskozite kabiliyetidir [2].

Açık yanma odalı bir dizel motorunun çalışması, yanma için uygun bir yakıt karışımı hazırlayacak iyi bir enjeksiyona bağlıdır. Yakıtın viskozitesi, yakıt bir enjektörden veya dar bir kanaldan hava içine püskürtüldüğünde oluşacak yakıt demetini çok etkiler. Viskozite büyüdükçe yakıtın zerrelere ayrılması azalır, dolayısıyla iri yakıt zerreciklerinin nüfuzu fazlalaşır [39]. İri yakıt zerreciklerinin yanmayı ayrıştırarak ve iyi bir performans sağlayacak olan enjeksiyon sistemi üzerinde büyük etkisi vardır. Düşük viskozite, özelliklede parçalar aşındığında, aşırı iç pompa sızıntısına ve sapkın yakıt dağıtımına yol açabilir. Yüksek viskozite ise, sistem basıncını kabul edilemez bir düzeye yükseltip enjeksiyon sürecini ve püskürtme atomizasyonunu etkileyebilir.

## 4.3. AKMA NOKTASI

Akma ya da katılaşma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Katılaşma durumunda, gerekli yakıt akışı sağlanamayacağından motor çalışmayacaktır. Akma noktası sıcaklığı, motor çalışmasını garantiye almak üzere, ortam sıcaklığının 5-100 °C daha altında olmalıdır [37].

## 4.4. UÇUCULUK

Uçuculuk; dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması için (benzinde olduğu gibi) yüksek oranda gerekmesede, çalışmayı kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir yakıt-hava karışımını sağlayabilmek amacıyla bir dereceye kadar gereklidir. Damıtma özellikleri uçuculuk göstergeleri vermekte olup, iyi petrol yakıtlarının kaynama dereceleri 200-300 °C arasında değişmektedir [38].

#### **4.5. ALEVLENME-PARLAMA TEHLİKESİ**

Bir yakıtın parlama noktası, bir kaptan ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ile geçici olarak tutuşma halinde yakıt buharı teşekkül ettiği en düşük sıcaklıktır. Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığıdır. Alevlenme sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz yüksektir. Kendi kendine tutuşma bakımından yakıtlar buldukları ortama son derece bağımlıdır. Benzin gibi buharlaşma kabiliyeti yüksek yakıtla açık havada oldukça düşük sıcaklıklarda alevlenirler. Bu bakımdan dizel yakıtları gibi buharlaşma sıcaklıkları nispeten yüksek yakıtlar daha emniyetlidirler. Deniz seviyesinden yaklaşık alevlenme sıcaklığı sınırları hafif dizel yakıtlar için 340-420 K'dir [40].

#### **4.6. YANMA ATIKLARI BİRİKİMİ**

Dizel yakıtların en önemli problemlerinden biri önemli ölçüde karbon ve kül ihtiva etmeleridir. Yanma sonunda oluşan artıklar silindir cidarları, segman ve supaplarda birikirler. Setan sayısı belli bir değere kadar muhtemelen yanma olayını iyileştirmek suretiyle bu temayülü azaltır. Ancak bu değer üstünde ise teşekkülüne olumsuz etki eder [2]. Herhangi bir maddenin dizel yakıt ilavesi olarak kabul edilmesinden önce, yukarıdaki özelliklerin dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir [40].



## BÖLÜM 5

### BİODİZELİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMI

#### 5.1 BİYODİZELİN TANIMI

Biyodizel, kolza (kanola), ayçiçek, soya, aspir, gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Evsel kızartma yağları ve hayvansal yağlar biyodizel ham maddesi olarak kullanılabilir [28].

Biyodizel petrol içermez, fakat saf olarak ya da her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motoruna, motor üzerinde bir değişikliğe gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Biyodizel, dizel ile karışım oranları bazında aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır [28].

B5 : %5 Biyodizel + %95 Dizel

B20 : %20 Biyodizel + %80 Dizel

B50 : %50 Biyodizel + %50 Dizel

B100 : %100Biyodizel

#### 5.2 BİYODİZELİN ÇEVREYE ETKİLERİ

Sera gazları içinde büyük bir pay sahibi olan CO<sub>2</sub> dünyanın en önemli çevre sorunu olan küresel ısınmaya neden olmaktadır ve yanma sonucu ortaya çıkan bir emisyondur. Yine yanma sonucu açığa çıkan ve sera gazları arasında yer alan CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> emisyonları da insan sağlığına zararlıdır [41].

Biyodizel tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle, biyolojik karbon döngüsü içinde, fotosentez ile CO<sub>2</sub>'i dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Yani biyodizel CO<sub>2</sub> emisyonları için doğal bir yutak olarak düşünülebilir. Ayrıca CO, SO<sub>x</sub> emisyonlarının, partikül madde ve yanmamış hidrokarbon (HC) daha az salındığı kanıtlanmıştır.

Biyodizelin NO<sub>x</sub> emisyonları dizel yakıtta göre daha fazladır. Emisyon miktarı motorun biyodizel yakıtta uygunluğuna bağlı olarak değişir. NO<sub>x</sub> emisyonlarının %13 oranına kadar arttığı test edilmiştir. Bununla birlikte biyodizel kükürt içermez. Bu yüzden NO<sub>x</sub> kontrol teknolojileri biyodizel yakıtı kullanan sistemlere uygulanabilir. Dizel yakıtı kükürt içerdiği için NO<sub>x</sub> kontrol teknolojilerine uygun değildir.

Ozon tabakasına olan olumsuz etkiler biyodizel kullanımında dizel yakıtta nazaran %50 daha azdır. Asit yağmurlarına neden olan kükürt bileşenleri biyodizel yakıtlarda yok denecek kadar azdır.

Biyodizel yakıtının yanması sonucu ortaya çıkan CO oranı dizel yakıtların yanma sonucu oluşan CO oranından %50 daha azdır. Saf biyodizel (B100) ve %20 oranında (B20) biyodizel kullanılması durumunda ortaya çıkabilecek emisyon değerlerinin dizel yakıtlarla karşılaştırmalı değerleri çizelge 4.1 de verilmektedir.

Çizelge 5.1. B100 ve B20 yakıtlarının emisyon değerlerinin karşılaştırılması [28].

	B100	B20
Yanmamış Hidrokarbonla	%-93	%-30
Karbon Monoksit	%-50	%-20
Partikül Madde	%-30	%-22
NO <sub>x</sub> (Azot Oksitler)	%+13	%+2
Sülfatlar	%-100	%-20
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar PAH (Kansorejen Madde)	%-80	%-13
nPAH (Nitratlı PAH'lar)	%-90	%-50
Hidrokarbonların Ozon Tabakasına Etkisi	%-50	%-10

Ayrıca, biyodizelin sudaki canlılara karşı herhangi bir toksit etkisi yoktur. Buna karşılık 1 litre ham petrol 1 milyon litre içme suyunun kirlenmesine neden olabilmektedir.

### 5.3. BİYODİZELİ OLUŞTURAN YAĞ BİTKİLERİNİN ÜLKEMİZDEKİ POTANSİYELİ

Bitkisel yağlar ülkemizde halen yemeklik yağ olarak tüketildiğinden, üretim şartlarının da uygun olmasına rağmen motorda kullanımı geri planda kalmıştır. Bitkisel yağların alternatif motor yakıtı olarak kullanılabilir hale gelmesiyle, bu alandaki üretimin artırılma olanağı her an mevcuttur. GAP bölgesinde yetiştirilecek bitkiler içerisinde, özellikle ikinci bir ürün olarak, yağ bitkileri önemli bir potansiyele sahip olacaktır.

Çizelge 5.2. Ülkemizdeki yağ bitkisi potansiyeli [8].

Yağ bitkisi	Ekiliş alanı (ha)	Üretim (ton)	Verim (kg/ha)	Fiyat (TL/kg)
Susam	48 000	458	48000	1432814
Ayçiçeği	550000	1551	547891	690523
Yer Fıstığı	33000	2727	33000	1011559
Soya	25500	2941	25500	341314
Aspir	40	625	40	166667
Kolza	550	2737	548	410000
Keten Toh.	385	520	590	1382692
Kenevir Toh.	536	76	103	912500
Haşhaş	55000	374	570	775000
Pamuk Toh.	731362	2021	1798	

Ülkemizde petrol kaynaklarının yetersiz olması diğer yandan yaşanan enerji krizleri, alternatif enerji kaynaklarını gündeme getirmektedir. GAP projesi ile her yıl 150.000 hektar alanın sulu tarıma açılarak, toplam 1,7 milyon hektar alanın sulanması planlanmaktadır. Bu büyük projenin sadece yağlı tohum üretiminde % 73 gibi oldukça büyük bir artışa neden olacağı tahmin edilmektedir [28].

Özelikle kolza, soya yağı ve pamuk yağının maliyetinin diğer yağlara göre düşük olması nedeniyle bu bitkiler ülkemizde yeniden yetiştirilmeye başlanmıştır. Bu bitkilerden elde edilen yağların henüz yeterince kullanılmaması çiftçimizi zor durumda bırakmakta ve bu bitkilerin üretiminde azalmaya gidilmektedir. Bu konuda üretilecek politikalar çevresinde Avrupa Birliği'nde uygulanmakta olan sübvans mekanizması işletilirse, çiftçilerin yağ bitkileri üretimi için teşvik sağlanabilir.

#### **5.4. BİYODİZELİN İÇERDİĞİ BİTKİSEL YAĞLARIN KİMYASAL BİLEŞENLERİ**

Yağlar esas itibarıyla trigliseridler olmakla beraber bunların içinde karbonhidrat yapılı reçinems maddeler (musilaj maddeler), boyar maddeler, serbest yağ asitleri, fosfaditler, kokulu maddeler, bazı yükseltgenme ürünleri ve erime noktası yüksek olan gliseridler gibi maddeler bulunmaktadır [40].

Yağ asidi adı verilen organik kimyasal birimlerin yağ içerisindeki sayıları ve dizilişleri arasında farklar vardır. Karbon, oksijen ve hidrojenin birbirine bağlı bir yapı oluşturarak meydana getirdiği yağ asitlerinde, karbon önemli bir yer tutar. Karbon sayısı ve karbonlar arasındaki bağların çift yada tek oluşu doymuş veya doymamış yağ adı verilen yağ türlerini meydana getirir.

Bitkisel yağlarda yağ asidi serbest halde düşük miktarda bulunurken büyük oranda gliserinle esterleşmiş halde bulunurlar. Trigliseriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturur. Doymamış yağ asidi moleküllerinin karbon atomları arasında bulunan çift bağ sayısı, bir ya da daha fazla olabilmektedir. Yağ asitleri içerdekileri karbon atomu sayısına bağlı olarak uzunluğu farklı zincirler oluşturur [2].

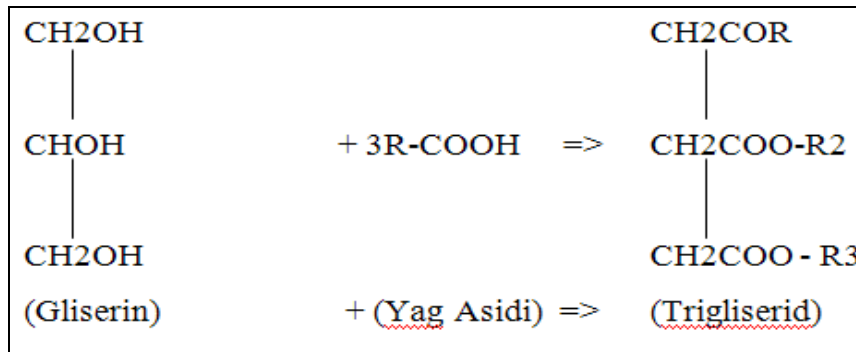
Doymamış miktarı hidrojen atomlarının yerleşmemiş olmasına bağlıdır. Bütün hidrojen atomları yerleşmiş ise yani her karbon atomu zinciri iki hidrojen atomu tutmuş ise bu oluşum doymuş bir yağ asididir. Karbon atomları arasındaki çift bağ sayısı ne kadar fazla ise yağ asidi o kadar doymamış yani sıvı haldedir. Karbona hidrojen eklenmesi ile bu bağlar bire indirilirse o zaman doymuş yağ yani katı yağ

elde edilir. Doymamışlık miktarı yükselirken erime noktası düşer. Karbonun yanma ısısı hidrojenin %20'si kadardır. Dolayısıyla hidrokarbonların yapısındaki karbon elementi yanma ısısı daha yüksek bir elementle değiştirilerek yüksek enerjili hidritleri elde etmek mümkündür.

Bitkisel yağların kimyasal özelliklerinden, fosfat içeriği önemlidir. Düşük fosfat değerleri, yağın sakızlaşmayacağını gösterir. Bu açıdan keten, mısır, pamuk ve yerfıstığı yağı düşük fosfat değerlerine sahiptir.

## 5.5. BİYODİZELİ OLUŞTURAN BİTKİSEL YAĞLARIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Bitkisel yağlar, yağ asitlerinin (R-COOH), 3 değerli bir alkol olan gliserinle yapılmış olduğu esterlerdir. Gliserin molekülündeki 3 alkol grubunun yağ asitleri ile esterleşmesi durumunda ise Triglisirid elde edilir. Triglisiridler normal yağların %95'ini oluştururlar [50]. Şekil 4.1'de gliserin ve yağ asitlerinden oluşan triglisiridin açık formülü görülmektedir.



Şekil 5.1. Triglesiridin Açık Formülü [24].

Gliserin 3 karbon atomunun da aynı yağ asidi ile esterleşmesine basit triglisirid, farklı yağ asitleri ile esterleşmesine ise karışık triglisirid adı verilir. Triglisiriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturur. Doymamış yağ asidi moleküllerinin karbon atomları arasında bulunan çift bağ sayısı, bir ya da daha fazla olabilmektedir. Yağ asitleri, içerdikleri karbon atomu sayısına bağlı olarak, uzunluğu farklı zincirler oluşturur. Bitkisel yağlarda en çok bulunan yağ

asitlerine örnek olarak; 16 karbonlu palmitik ile 18 karbonlu stearik, oleik, linoleik ve linolenik asitleri gösterilebilir. Bunlardan palmitik asidin çift bağ sayısı olmayıp doymuştur. Oleik ve lisiloneik yağ asitleri bir çift bağa diğerleri iki çift bağa sahiptir [40].

## **5.6. BİYODİZELİ OLUŞTURAN BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİ**

Bazı bitkisel yağların, yakıt olarak kullanılabilme özellikleri Çizelge 5.3’de dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, bitkisel yağların viskozitelerinin ASTM tarafından dizel yakıtı için verilen 4.0 olan üst sınır değerine göre yaklaşık 9-13 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Viskozitenin yüksekliği bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasındaki en önemli dezavantajlarından biridir [40].

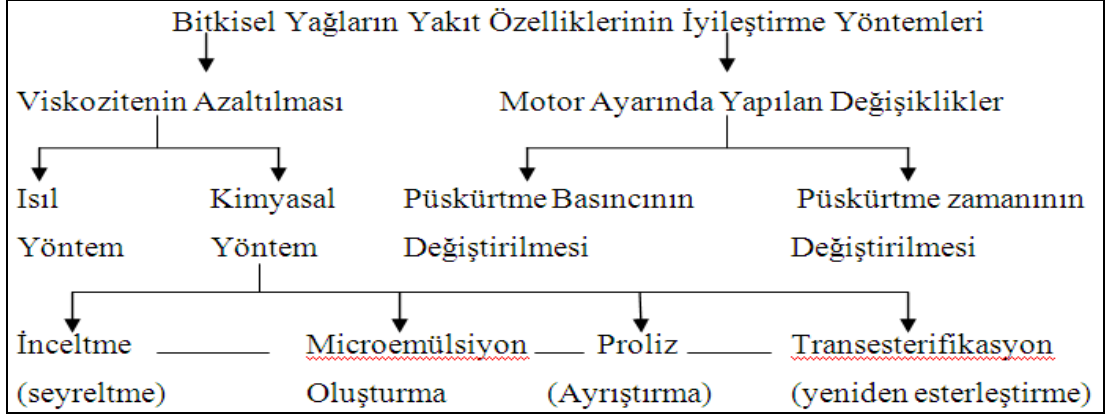
Setan sayısı açısından bitkisel yağların ASTM alt sınırı olan 40’a büyük ölçüde yaklaştığı görülmektedir. Bu açıdan pamuk ve yer fıstığı yağlarının en uygun değerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3. Motorin ve bitkisel yağların yakıt özellikleri [2].

Bitkisel yağın adı	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Kinematik Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)	Isıl değeri (kJ/kg)	Setan sayısı (ASTM) D163	Tutuşma gecikmesi krank açısı	Donma noktası (°C)	Akma noktası (°C)	Oksitlenme süresi (h)
Ayçiçek Yağı	920	34,9	39644	33	23,8	7,2	-15	5,5
Soya yağı	920	36,4	39390	39	19,6	-3,9	-12,2	8
Pamuk yağı	910	37,4	37420	51	21,4	1,7	-15	7,5
Yer fıstığı	910	37,2	37160	39	19,6	12,8	-6,7	6,7
Kolza yağı	920	39	39913	37,6	21,9	-3,9	-31,7	10,5
Keten yağı	-	27,2	39300	34,6	-	1,7	-15	3
Susam yağı	-	35,5	39350	40,2	-	-3,9	-9,4	8,5
Dizel yakıtı	860	2,9	42450	50,8	12,5	-15	-33	150
Karbon kalıntısı	Tüm bitkisel yağlarda %0,22-0,30 (ASTM sınır değeri %0,35)							
Kükürt oranı	Tüm bitkisel yağlarda %0,01 (ASTM sınır değeri %0,5)							
Kül oranı	Tüm bitkisel yağlarda %0,005-0,01 (ASTM sınır değeri %0,01)							
Su ve tortu	Tüm bitkisel yağlarda %0,05 (ASTM sınır değeri %0,05)							

## 5.7. BİTKİSEL YAĞLARIN YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLME YÖNTEMLERİ

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bu iki çalışmadan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, diğeri motor üzerinde yapılan tasarım konstrüksiyonunun değiştirilmesidir. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere 2 yöntem uygulanmaktadır [2].



Şekil 5.2. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirilmesi [2]

Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak olan bitkisel yağların, ön ısıtma ile sıcaklığının yükseltilmesi, viskozitesinin azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak bu yöntem özellikle hareketli bir araç motorunda uygulama zorluğu vardır. Kimyasal yöntem ise dört alt gruba ayrılmaktadır. Bunlar, inceltme, mikroemülsiyon oluşturma, proliz ve transesterifikasyondur. Bu yöntemler aşağıda kısaca açıklanmıştır [2].

### 5.7.1. İnceltme

Bitkisel yağların belirli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak inceltilmesi işlemidir. Ziejewski ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, hacim olarak %25 ayçiçek yağı-%75 dizel yakıtından olan karışım 40 °C’ deki viskozitesi 4,88 mm<sup>2</sup>/s olarak bulunmuştur. ASTM standartların da dizel yakıtı için belirlenen üst sınır değer 40°C için 4.0 mm<sup>2</sup>/s’ dir. Bu nedenle hacim olarak %25 ayçiçek yağı, %75 dizel yakıtı karışımının direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında kullanılamayacağı belirlenmiştir [38].

Bu yöndeki bir başka çalışmada kolza yağı ağırlıkça %10 oranında dizel yakıtına katılmış ve bu yağın dizel yakıtı özelliklerinde önemli değişmelere yol açmadığı gözlenmiştir. Bu karışım ile dizel motorlarında yapılan laboratuvar çalışmalarından olumlu sonuçlar alınmış, ayrıca egzoz gazında bazı iyileşmelerin olduğu belirtilmiştir [28].



### **5.7.2. Mikroemilsiyon Oluşturma**

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemilsiyon oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Mikroemilsiyon, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilir [2].

### **5.7.3. Proliz**

Proliz veya kraking kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların proliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan biri, bitkisel yağı ısı etkisiyle kapalı bir kaptaki parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısıl parçalanma etkisinde tutmaktır. Bu yöntem ile yapılan bir çalışmada soya yağından elde edilen distilatının saf bitkisel yağa göre, dizel yakıtına daha yakın özellikler taşıdığı gözlenmiştir [40].

### **5.7.4. Transesterifikasyon**

Bitkisel yağların dizel yakıtı alternatifi olarak uygunlaştırılmasından izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğeriyle alkoliz reaksiyonudur. Transesterifikasyon, bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkol-katalizör eşliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir.

Bitkisel yağ öncelikle ön işlem uygulanarak fosfor lipitlerinden arındırılır. Reaksiyon öncesinde yağ, metanol ve katalizör birbiriyle çok iyi karıştırılması gereklidir. Çünkü metanolün sudaki çözünürlüğü çok azdır [2]. Çizelge 5.4' de bazı bitkisel yağ metil esterlerinin yakıt özellikleri verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi yağların metil esterlerinin dizel yakıtı özelliklerine yaklaştığı görülmektedir.

Çizelge 5.4. Bazı bitkisel yağların metil esterlerinin yakıt özellikleri [33].

Ester Türü	Alevlenme Noktası (°C)	Özgül Kütle 20 °C(kg/m <sup>3</sup> )	Viskozite 40 °C(mm <sup>2</sup> /s)	Setan sayısı	Isıl değer (kJ/kg)
Yerfıstığı yağı	176	883	4,9	54,0	33600
Soya yağı	178	885	4,5	45,0	33500
Ayçiçek yağı	183	880	4,6	49,0	33500

## 5.8. BİYODİZELİN ULUSLAR ARASI STANDARTLARI

Biyodizel için Avusturya'da ÖN C 1190 Standardı, Almanya ve diğer Avrupa ülkelerinde DIN E 51 606 standardı kullanılmakta olup, Amerika Birleşik Devletleri'nde ASTM (American Society of Testing Materials) tarafından standart özellikleri belirlenmektedir. Çizelge 5.5'te biyodizel standart özellikler karşılaştırmalı olarak verilmektedir [2].

Çizelge 5.5. Uluslar arası biyodizel standartları [2].

Özellikler	Birim	DIN 5 1606 Normları	ASTM D6751 Normları
Parlama Noktası	°C	100 min	100 min
Su ve Tortu	Hacimsel %	-	0,050 max
Karbon Atığı	Kütleli%	0,30 max	0,050
Sülfat Külü	Kütleli%	-	0,020 max
Viskozite, 40°C	cSt	0,5-5,5	1,9-6,0
Kükürt	Kütleli%	0,01 max	0,05 max
Setan Sayısı	-	49 min	40 min
Donma Noktası	°C	-	-
Bakır Korozyonu	-	1 max	3 B max
Asit Miktarı	mgKOH/g	0,50 max	0,80 max
Serbest Gliserin	Kütleli%	0,02 max	0,02 max
Toplam Gliserin	Kütleli%	0,25	0,24

## 5.9. ÇEVRE VE BİYODİZEL

Biyodizel düşük egzoz emisyonlarının yanı sıra çevre açısından da önemli özelliklere sahiptir. Petrol kökenli yakıt türlerine göre, tam bir çevreci yakıt türüdür. Biyodizeli oluşturan C 16-C 18 metil esteri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur 10.000 mg/l' ye kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suya bırakıldığında biyodizelin 28 günde %95' motorinin ise %40'ı bozunabilmektedir. Biyodizel doğada bozunabilme özelliği dekstroza (Şeker) benzemektedir. Bu özelliği sayesinde A.B.D' de doğal korumaya alınan bölgelerde kullanılan taşıtlarda biyodizel zorunlu olarak kullanılmaktadır.

Toksit etki; biyodizelin olumsuz bir toksit etkisi bulunmamaktadır. Biyodizel için ağızdan alınmada öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı şeklindedir. Sofra tuzu için bu değer 1,75 g tuz/kg vücut ağırlığı olup, tuz biyodizelden 10 kat daha fazla öldürücü etkiye sahiptir. İnsanlar üzerinde yapılan elle temas testleri biyodizelin cilde %4 lük sabun çözeltisinden daha az toksit etkisi olduğunu göstermiştir. Biyodizel toksit olmamasına karşın biyodizel ve biyodizel karışımlarının kullanımında motorin için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucuları, havalandırma sistemleri vb.) kullanılması önerilmektedir.

Depolama; motorin için gerekli olan depolama yöntem ve kuralları biyodizel için geçerlidir. Biyodizel temiz, kuru, karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalıdır. Depo tankı malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, klorlanmış polietilen ve klorlanmış polipropilen seçilebilir. Depolama, taşıma ve motor malzemelerinde bazı elastomerlerin, doğal ve bütün kauçukların kullanımı sakıncalıdır; çünkü biyodizel bu malzemeleri parçalamaktadır. Bu gibi durumlarda biyodizelle uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanılması önerilmektedir [2].

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 6.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmada; sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda belirli oranlarda biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının değişik püskürtme basınçlarında motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması hedeflenmiştir.

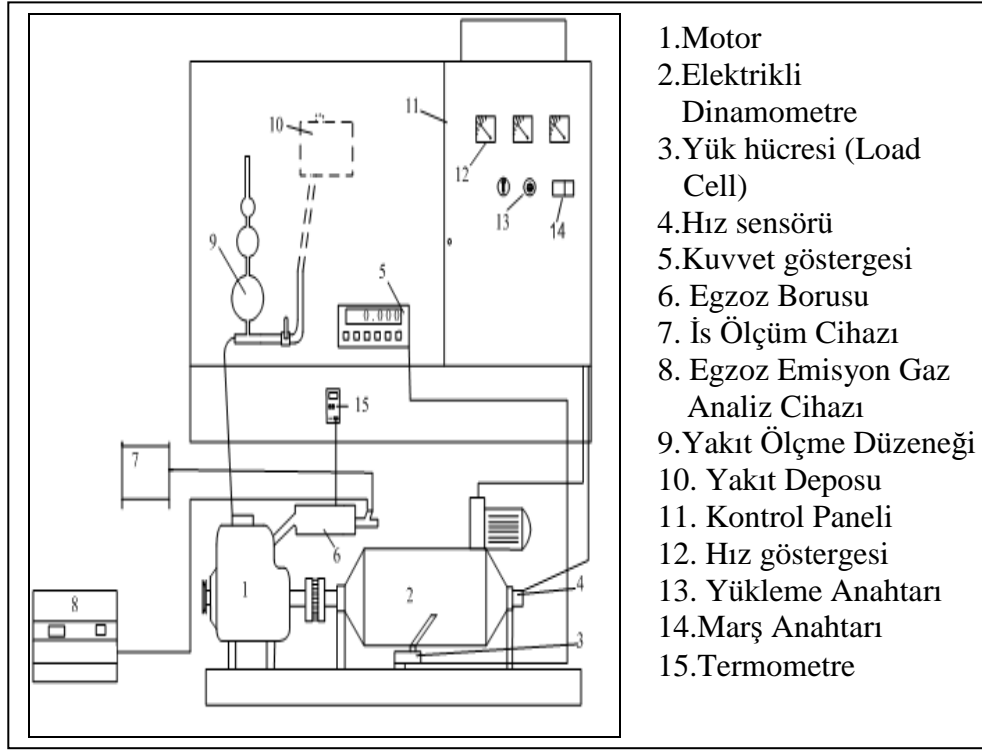
#### 6.2. DENEYLERE İLİŞKİN ÖZELLİKLER

##### 6.2.1. Deney Yeri

Deneysel Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarında yapılmıştır. Deney tesisatının genel görünüşü Şekil 6.1’de, şematik görünüşü ise Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Deney tesisatının genel görünümü.



Şekil 6.2. Deney tesisatının şematik görünüşü.

### 6.2.2. Deney Motoru

Fakülte laboratuvarında yapılan deneylerde, tek silindirli, 4 zamanlı, sıkıştırma ile ateşlemeli KATANA marka bir araştırma motoru kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Deney motorunun orijinal sıkıştırma oranı 18/1 dir. Püskürtme basıncı 200 (bar) dır.

Çizelge 6.1. Deney motorun teknik özellikleri.

Model	Katana KM 170F
Motor genel özellikleri	4 zamanlı, sıkıştırma ile ateşlemeli
Çap x Strok (mm)	70 x 55
Kurs hacmi (mm <sup>3</sup> )	199,28
Silindir sayısı	1
Sıkıştırma oranı	18/1
Yakıt sistemi	Direk püskürtmeli
Soğutma sistemi	Cebri hava soğutmalı
Püskürtme avansı	23°
Püskürtme basıncı	200 (bar)

### 6.2.3. Deney Yakıtları

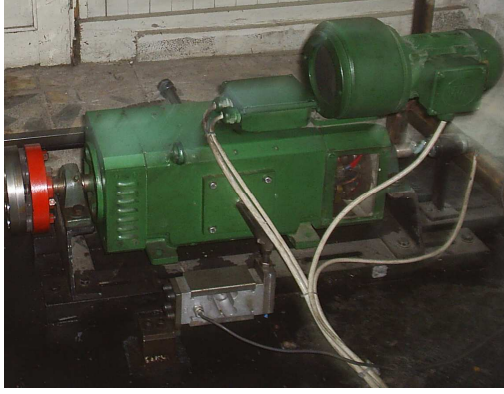
Deneyleerde yakıt olarak motorin (No.2 dizel yakıtı) ve soya yağı metil esteri kullanılmıştır. Soya yağı metil esterinin özellikleri PGM Proje Geliştirme Merkezi Endüstri Sanayi Tic. A.Ş. tarafından analiz edilmiştir. Motorinin özellikleri Shell firmasından alınmıştır. Deneyde kullanılan bu yakıtların bazı özellikleri Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Deney yakıtları özellikleri.

Yakıtın Adı	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Kinematik Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)	Isıl Değer (kJ/kg)	Setan sayısı ASTM D 613	Parlama Noktası (°C)
Soya Metil Esteri	882	4,78	37620	50	170
Motorin	828	2,6	42640	55	60

## 6.3. DENEYDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

### 6.3.1. Motor Dinamometresi



a) Dinamometre



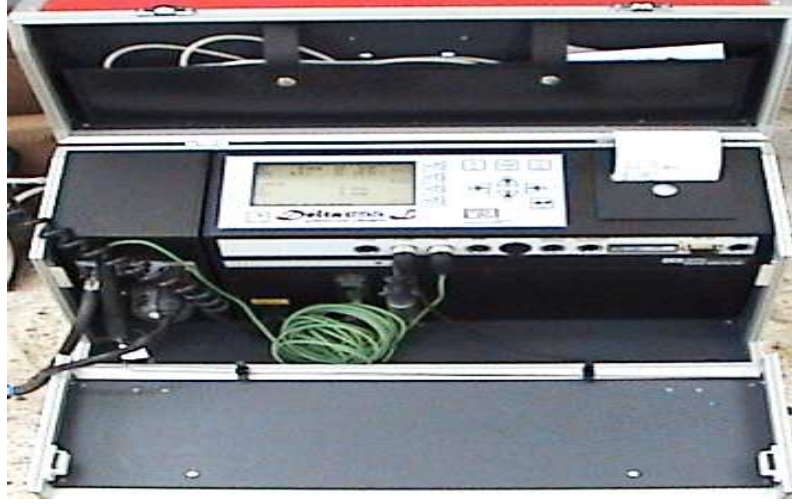
b) Dinamometre Kontrol Ünitesi

Şekil 6.3. Dinamometre ve Dinamometre Kontrol Ünitesinin Görünümü

Deneyleerde motorun yüklenmesi için Kemsan marka, 10 kW gücünde elektrikli dinamometre kullanılmıştır (Şekil 6.3-a). Deney seti; motor momentini, hızını ve sıcaklığını ölçebilecek donanıma sahiptir. Dinamometre kontrol ünitesi ile motorun istenilen devirde hassas olarak yüklenmesi ve marş yaptırılması mümkün olmaktadır (Şekil 6.3-b).

### 6.3.2. Egzoz Gaz Analizörü

Deney motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için MRU DELTA 1600L egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.4). Egzoz gaz analizörü ile  $\text{NO}_x$ , HC, CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\lambda$  (hava fazlalık katsayısı) ve  $\text{O}_2$  değişkenlerini ölçebilmek mümkündür. Bununla birlikte dizel motorları için de aynı değişkenler ve is emisyonları belirlenebilmektedir. Çizelge 6.3'de egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 6.4. Egzoz gaz analiz ölçüm cihazı.

Çizelge 6.3. Egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri

Değişkenler	Ölçüm Aralıkları	Duyarlılık
Oksijen (%)	0 – 25	$\pm 0,1$
Karbon monoksit (%)	0 – 15	$\pm 0,01$
Karbon dioksit (%)	0 – 20	$\pm 0,01$
Hidrokarbon (ppm)	0 – 20000	$\pm 12$
Azot oksit (ppm)	0 – 4000	$\pm 5$
Duman Koyuluğu (%)	0-99	$\pm 2$

### 6.3.3. Yakıt Tüketim Ölçme Düzeneği

Dizel ve biyodizel ile yapılan çalışmada, yakıt tüketimi ölçmek için hacimsel yöntem kullanılmıştır. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği 10 ve 100 ml'lik hacimlere sahiptir. Yakıt tüketim ölçme düzeneği Şekil 6.5'de görülmektedir.





Şekil 6.5. Yakıt tüketimi ölçüm düzeneği.

#### 6.3.4. Kronometre

Yakıt tüketimi süresinin tespiti için Charles Sernard marka bir kronometre kullanılmıştır. Kronometre 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilmektedir.

#### 6.3.5. Yük Sensörü (Load Cell)

Dinamometre gövdesinde oluşan baskı kuvvetinin ölçülmesinde kullanılan Esit marka SP 100 kg C1 Load cell ve PWI-P marka indikatör kullanılmıştır. Deney sırasında ölçülen kuvvet, kuvvet kolu ile çarpılarak motor momenti hesaplanmıştır. Load cell ve indikatörün görünüşleri Şekil 6.6'de verilmiştir.



Şekil 6.6. Load cell'in ve indikatörün görünümü

### 6.3.6. Termometre

Deney esnasında egzoz gaz sıcaklığını ölçmek için TES-1320 marka K tipi iki adet termokupla sahip bir termometre kullanılmıştır.

### 6.3.7. Enjektör Püskürtme Basınç Ayar Cihazı

Deneyle esnasında enjektör basıncını ayarlamak için enjektör püskürtme basınç ayar cihazı kullanılmaktadır. Enjektör püskürtme basınç ayar cihazı Şekil 6.7 de görülmektedir.



Şekil 6.7. Enjektör püskürtme basınç ayar cihazı.

## 6.4. Deneylelerin Yapılışı

### 6.4.1. Motor Deneyleleri

Deneyleysel çalışmada ilk olarak motorun ayarları kontrol edilmiş, motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra deneylelere başlanmıştır. Deneyleler iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

İlk aşamada, motor önce orijinal püskürtme basıncında (200 bar) dizel, belirli oranlardaki dizel-biyodizel karışımı ve saf biyodizelle (B0, B25, B50, B75, B100); 2600 1/min ve tam yükte çalıştırılmış ve moment, güç, yakıt tüketimi ve egzoz

emisyonları ölçülmüştür. Daha sonra bu yapılan çalışmalar motor performansı açısından karşılaştırılmış, değerlendirilmiş ve çalışılan yakıtlar içerisinde dizel yakıtına performans bakımından en yakın yakıt seçilmiştir. İkinci aşamada; seçilen yakıt motorun püskürtme basıncı belirli değerler arasında değiştirilerek değişik yüklerde test edilmiştir. Moment, güç, yakıt tüketimi ve egzoz emisyon değerleri kaydedilmiştir.

## 6.5. DENEYLERE İLİŞKİN ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

### 6.5.1. Motor Momenti ve Gücü

Deney sırasında motor yükte çalışırken kuvvet değeri dinamometreye 0,25 m uzaklıktaki load cell' den okunmuştur.

Motor momenti aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$M_e = F \cdot 9,81 \cdot 0,25 \quad (6.1)$$

Dize lile çalışmada motor devri 2600 1/min' da tam gaz konumunda dinamometreden okunan kuvvet  $F = 4,9$  kg olduğuna göre, 2600 1/min' daki motor momenti; (6.1)'deki eşitlikte yerine konularak  $M_e = 12,02$  Nm olarak tespit edilmiştir.

Motor gücü ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır;

$$P_e = \frac{M_e \cdot n}{9549} \quad (6.2)$$

Moment değeri 12,02 Nm (6.2)'deki eşitlikte yerine yazılarak motor gücü;

$$P_e = \frac{12,02 \cdot 2600}{9549} = 3,27 \text{ kW} \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

### 6.5.2. Yakıt Tüketimi ve Özgül Yakıt Tüketimi

Dizelin yakıt tüketiminin ölçülmesinde hacimsel yöntem kullanılmıştır. Motorun deney setinin yakıt ölçme borusundaki 10 ml yakıtı tüketme süresi kronometre ile tespit edilerek, saatteki yakıt tüketimi kg/saat cinsinden hesaplanmıştır. Ölçekli kap ve dijital tartı aleti kullanılarak deney ortamında yakıtın yoğunluğu 0,835 kg/litre olarak bulunmuştur.

Örneğin motor 2600 1/min ile çalışırken 10 ml yakıtı 26,72 saniyede tükettiğine göre;

10 ml yakıt = 0,01 litre

10 ml yakıt = 0,01.0,835 = 0,00835 kg

Motorun saat deki yakıt tüketimi;

$$B = \frac{0,00835 \cdot 3600}{26,72} = 1,13 \text{ kg / h 'dır.}$$

Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır;

$$b_e = \frac{B \cdot 1000}{P_e} \quad (6.3)$$

2600 1/min için hesaplanan saatlik yakıt tüketimi eşitlik (6.3)'de yerine yazılarak,

$$b_e = \frac{1,13 \cdot 1000}{3,27} = 343,82 \text{ g / kWh} \text{ olarak özgül yakıt tüketimi miktarı belirlenmiştir.}$$

Biyodizelin yakıtının özgül yakıt tüketiminin ölçülmesinde yoğunluğu dikkate alınmıştır.

## BÖLÜM 7

### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

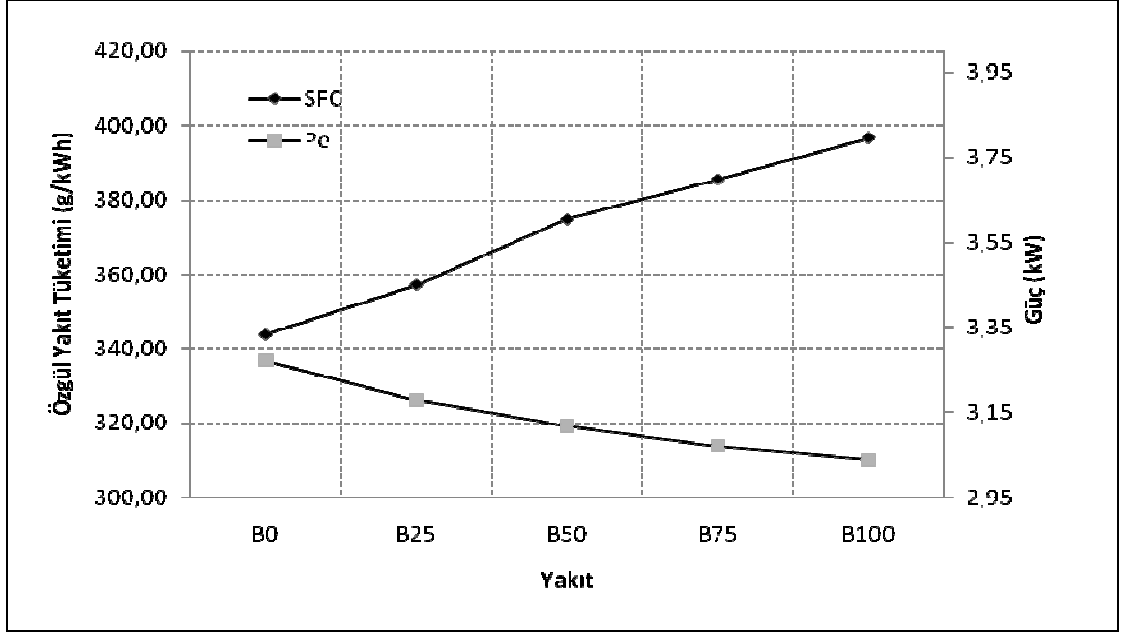
#### 7.1. DEĞİŞİK YAKIT KARIŞIMLARI DENEY SONUÇLARI

Yapılan deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada motor sabit hızda ve tam yükte dizel, biyodizel ve değişik biyodizel-dizel karışımlarıyla test edilmiştir. Motor performansı açısından en uygun yakıt veya yakıt karışımı belirlenmiştir.

İkinci aşamada motor performansı açısından belirlenen en uygun yakıt sabit motor hızında değişik yüklerde ve püskürtme basınçlarında test edilerek performans ve emisyon bakımından en uygun püskürtme basıncı belirlenmiştir.

##### 7.1.1. Motor Gücü ve Özgül Yakıt Tüketimi

Değişik yakıtların motor gücü ve özgül yakıt tüketimine (ÖYT) etkisi Şekil 7.1' de verilmiştir. Tam yük ve 2600 1/min sabit bir hızda yapılan testler sonucunda dizel yakıtı ile elde edilen maksimum güç 3,27 kW iken, B25 ile 3,18 kW, B50 yakıtı ile 3,12 kW, B75 yakıtı ile 3,07 kW, B0 yakıtı ile 3,04 kW olarak belirlenmiştir. Aynı şartlarda B25 ile çalışmada B0 yakıtına göre yaklaşık %3 oranında bir güç düşüklüğü gözlenirken dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranı arttıkça maksimum gücün dizel yakıtına göre azaldığı tespit edilmiştir. Bu güç azalması B100 yakıtı kullanıldığında yaklaşık %7-8 kadardır. Dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranı arttıkça güç azalmasının nedeni, biyodizelin alt ısıl değerinin dizel yakıtına göre düşük olmasıdır.



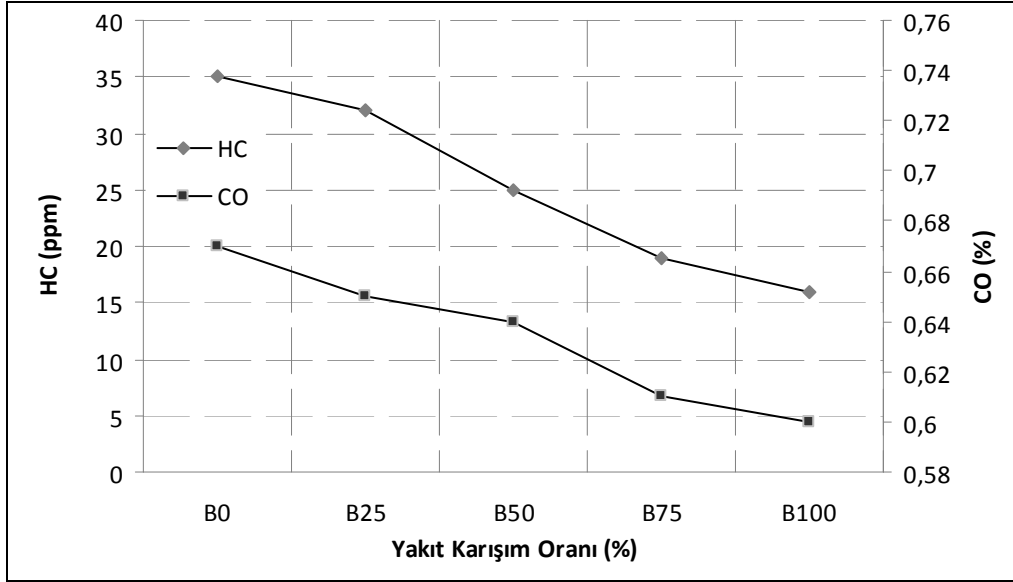
Şekil 7.1. Değişik yakıtların güç ve özgül yakıt tüketimine etkisi

Şekil 7.1'deki ÖYT grafiği incelendiğinde, dizel yakıtı içerisindeki biyodizel miktarı arttıkça ÖYT' de artmıştır. Saf biyodizel kullanılması durumunda ÖYT dizel yakıtına göre yaklaşık %15 oranında fazla çıkmıştır. Tam yük konumunda ÖYT değerleri, dizel kullanılması durumunda 343,82 g/kWh, biyodizel ve karışımlarının (B25, B50, B75, B100) kullanılması durumunda ise sırasıyla 357,25 g/kWh 374,85 g/kWh ve 385,60 g/kWh, 396,74 g/kWh olduğu tespit edilmiştir. B25 yakıtı ile elde edilen ÖYT dizele göre %4 oranında daha fazla çıkmıştır. Biyodizelin alt ısıl değerinin dizele göre düşük olmasından dolayı biyodizel ile özgül yakıt tüketimi artmaktadır.

B25 yakıtını diğer yakıt karışımları ve B100 ile kıyaslayacak olursak; B25 yakıtında özgül yakıt tüketimi ve güç değerleri B0 yakıtına yakın değerde çıkmıştır. Diğer yakıt karışımlarında biyodizel oranı arttıkça ÖYT artmış ve güç azalmıştır.

### 7.1.2. Hidrokarbon (HC) Ve Karbon monoksit (CO) Emisyonu Değişimi

HC ve CO emisyonlarının yakıt türüne göre değişimi Şekil 7.2’de verilmiştir. Şekil 7.2 incelendiğinde karışımdaki biyodizel oranı arttıkça HC ve CO emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Saf biyodizel yakıtı kullanıldığında HC ve CO emisyonları minimum değerdedir. Biyodizel yakıtının oksijen içermesi ve hidrojen/karbon oranının yüksek olması bu azalmanın temel sebebidir. Biyodizel yakıtı içerisindeki oksijen miktarının fazlalığı nedeni ile silindir içerisinde hidrojen ve karbon atomlarının yeterli oksijen bulması ile HC yanmakta ve CO gazları CO<sub>2</sub> ye dönüşmektedir.

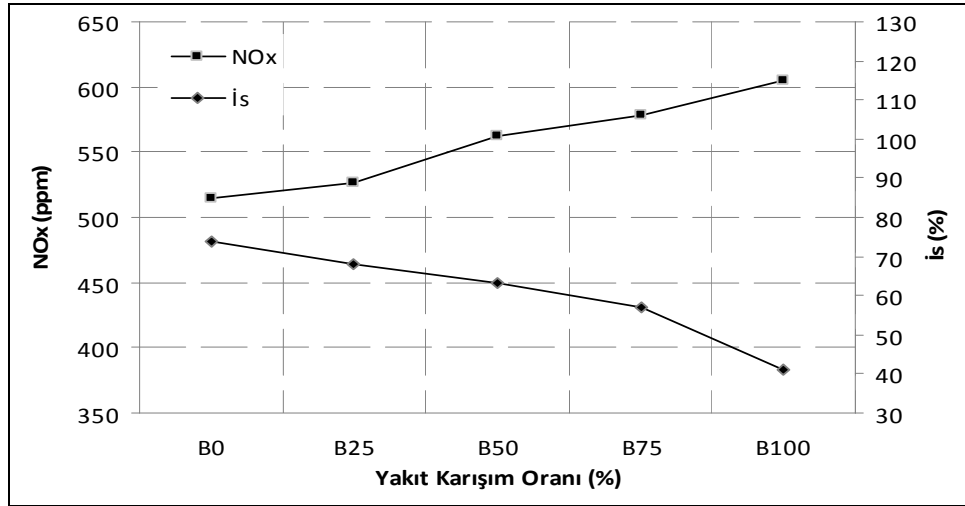


Şekil 7.2. Değişik yakıtların HC ve CO emisyonuna etkisi

### 7.1.3. Azotoksit (NO<sub>x</sub>) ve İs Emisyonu Değişimi

NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarının yakıt türüne göre değişimi Şekil 7.3’de verilmiştir. Şekil 7.3 incelendiğinde dizel yakıtı içerisindeki biyodizel oranı arttıkça is emisyonlarında azalma NO<sub>x</sub> emisyonlarında artma olduğu görülmektedir. NO<sub>x</sub> oluşumunda, silindir içi sıcaklık ve yakıt hava oranı önemli rol oynamaktadır. Yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla yanmanın iyileştiği ve yapısındaki oksijen miktarının fazla olması dolayısıyla NO<sub>x</sub> oluşumunun hızlandığı görülmüştür. İs emisyonunun

oluşumu silindir içerisindeki hava miktarına, sıcaklığa ve yanma için tanınan süreye bağlıdır. Sıcaklığın düşük olması ve yanmayan karbon taneciklerinin yeterli oksijen bulamaması is oluşumunu hızlandırmaktadır. Biyodizel içerisindeki oksijen miktarının dizel yakıtına göre fazla olması yanmayı iyileştirmektedir. Sonuç olarak yanmanın iyileşmesi sıcaklığın ve oksijenin fazla olması is emisyonunu azaltmaktadır.



Şekil 7.3. Değişik yakıtların NOx ve is emisyonu

İlk aşamada yapılan deney sonuçlarına bakıldığında;

B25 yakıtı ile yapılan testlerde ÖYT ve motor gücü B0 yakıtına çok yakın değerdedir (Şekil 7.1). NO<sub>x</sub> emisyonu B25 yakıtı ile çalışmada diğer yakıtlara göre (B50, B75, B100) daha düşük değerde olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre; tek silindirli bir dizel motor için orijinal püskürtme basıncında sabit hız (2600 d/d) ve tam yükte değişik yakıtlarla yapılan testlerde sonucunda performans ve NO<sub>x</sub> emisyonu bakımından en uygun yakıtın B25 yakıtı olduğu tesbit edilmiştir.

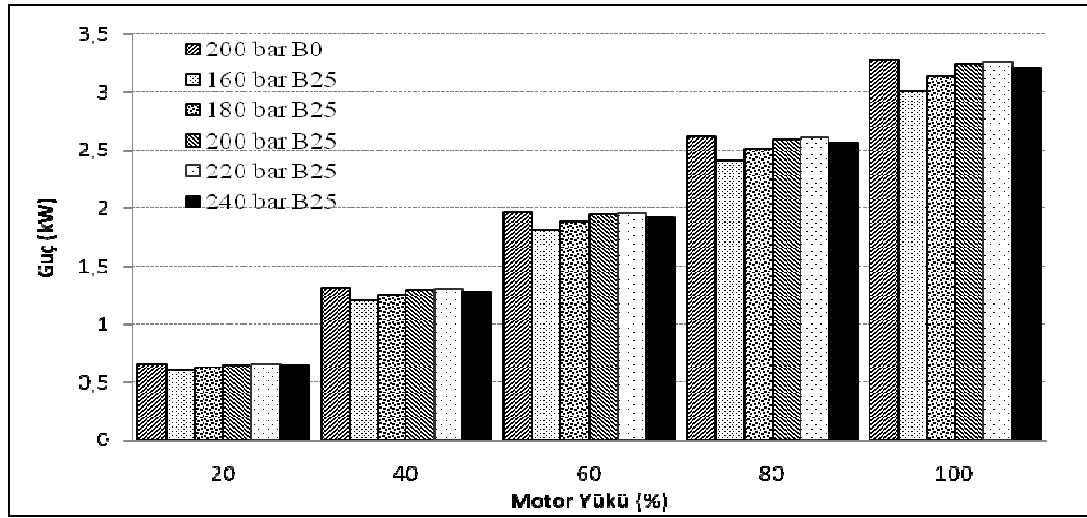
## 7.2. DEĞİŞİK PÜSKÜRTME BASINÇLARINDA DENEY SONUÇLARI

Deneylelerin ikinci aşamasında, motor dizel yakıtı ile orijinal püskürtme basıncında (200 bar), B25 (%25 biyodizel+%75dizel) yakıtı ile 160 bar, 180 bar, 200 bar, 220 bar, 240 bar püskürtme basınçlarında test edilmiştir. Test sonuçları motor performansı ve egzoz emisyonu açısından değerlendirilmiştir.



### 7.2.1. Motor Gücü

B0 ve B25 yakıtlarının değişik püskürtme basınçlarında, değişik yüklerde motor gücüne etkisi Şekil 7.4'de verilmiştir. B0 yakıtı ile orijinal püskürtme basıncında (200 bar) maksimum güç 3,27 kW iken B25 yakıtı ile orijinal püskürtme basıncında (200 bar) güç 3,18 kW, aynı yakıt ile püskürtme basıncı 160, 180, 220 ve 240 bar olduğunda güçler, sırasıyla 3,0; 3,13; 3,25 ve 3,20 kW ölçülmüştür. 160 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında yaklaşık %5-6 oranında güç kaybı görülmüştür. Dizel yakıtı ile elde edilen güce en yakın güç 220 bar basınçta elde edilmiştir. Bu basınçta dizele göre yaklaşık %1 oranında güç kaybı vardır. Biyodizelin yoğunluğu ve viskozitesi dizel yakıtına göre daha fazla olduğundan, püskürtme basıncının 220 bar olmasıyla püskürtülen yakıt daha iyi atomize olmakta ve yanma iyileşmektedir. Ancak biyodizelin alt ısı değerinin düşük olmasından dolayı B25 yakıtı kullanıldığında dizel yakıtına göre motor gücünde mevcut bir azalma olduğu görülmektedir.

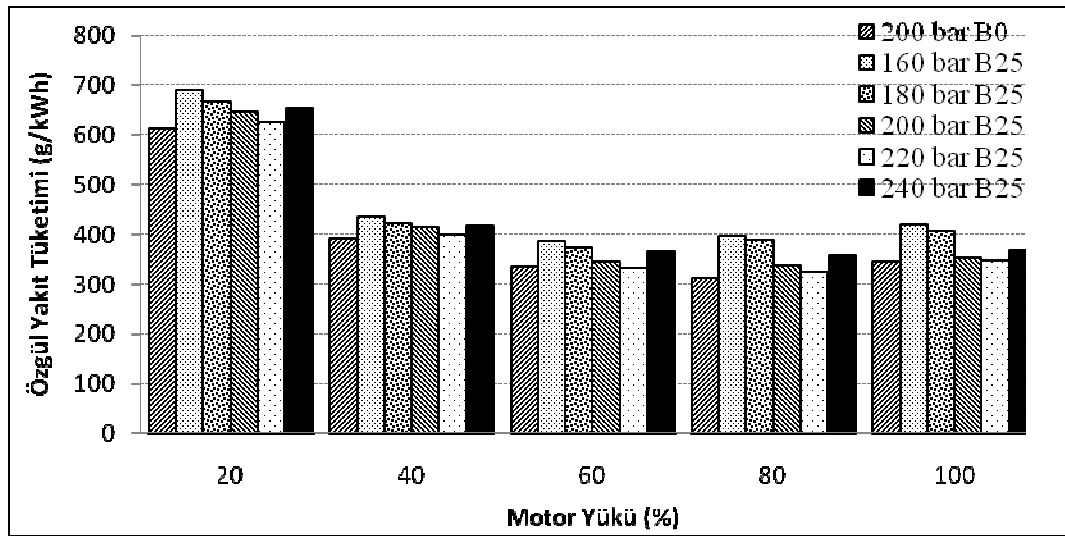


Şekil 7.4. Püskürtme basıncının motor gücüne etkisi

### 7.2.2. Özgül Yakıt Tüketimi

B0 ve B25 yakıtlarının değişik püskürtme basınçlarında özgül yakıt tüketimine (ÖYT) etkisi Şekil 7.5' te verilmiştir. Şekil 7.5' teki grafik incelendiğinde, bütün püskürtme basınçlarında, ÖYT' nin artan motor yükü ile azaldığı tam yük

durumunda tekrar artış gösterdiği ve aynı yakıt kullanılması durumunda püskürtme basınçlarına göre ÖYT' nin benzer değişim gösterdiği görülmektedir. B25 yakıtı ile özgül yakıt tüketimlerinin püskürtme basıncı arttıkça azaldığı ve 220 bar püskürtme basıncında minimum seviyede olduğu ve püskürtme basıncının daha fazla artmasıyla ÖYT' nin de arttığı görülmektedir. B0 yakıtı ile diğer püskürtme basınçlarındaki B25 yakıtı karşılaştırıldığında, dizel ile elde edilen ÖYT' ne en yakın ÖYT' nin B25 yakıtı ile 220 bar püskürtme basıncında elde edildiği görülmektedir. Bu basınçta dizele göre sadece %2 oranında bir artış görülmüştür. Tam yük durumunda dizel yakıtı özgül yakıt tüketimi 343,82 g/kWh iken B25 yakıtı ile orijinal püskürtme basıncında 357,25 g/kWh dır. Püskürtme basıncı 160 bar'da 418,66 g/kWh, 220 bar'da 247,55 g/kWh, 240 bar püskürtme basıncında ise 368,51 g/kWh olduğu tespit edilmiştir. Biyodizelin alt ısıl değeri düşük olduğu için biyodizel kullanıldığında ÖYT artmaktadır.



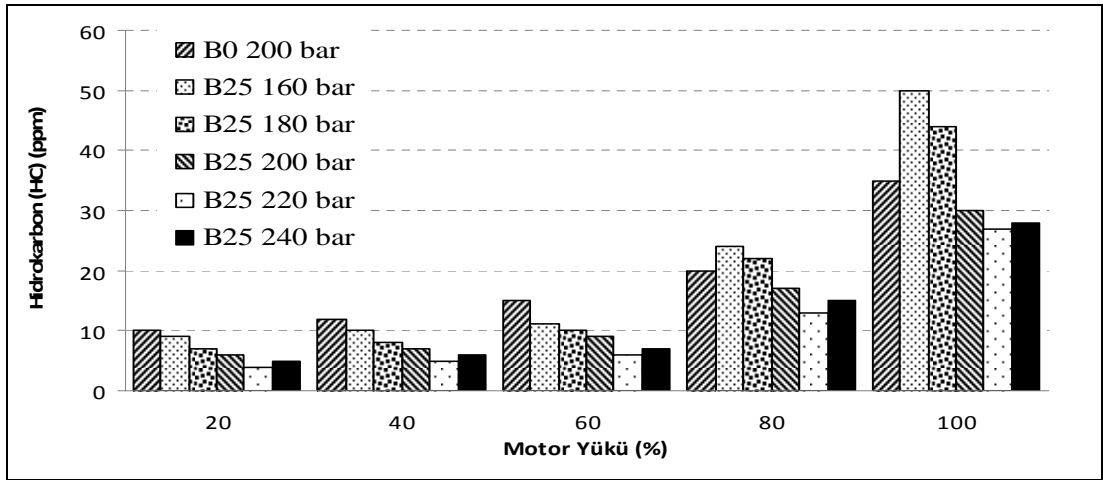
Şekil 7.5. Püskürtme basıncının özgül yakıt tüketimine etkisi

### 7.3. EGZOZ EMİSYONLARI

#### 7.3.1. Hidrokarbon (HC) Emisyon Değişimi

Şekil 7.6'da değişik püskürtme basınçlarında ölçülen HC emisyonları verilmiştir. Hidrokarbon emisyonunu, yanmadan egzozdan atılan yakıt oluşturur. Şekil 7.6

incelendiğinde, B25 ile tam yükte 160 bar püskürtme basıncında orijinal püskürtme basıncına (200bar) göre HC emisyonlarının daha yüksek olduğu ve püskürtme basıncının artmasıyla HC emisyonlarında azalma olduğu görülmektedir. Basıncın daha fazla artırılmasıyla (240 bar) HC tekrar artmıştır. Değişik püskürtme basınçlarında B25 yakıtı ile B0 yakıtı karşılaştırıldığında en düşük püskürtme basıncında (160 bar), HC emisyonunun B0 yakıtına göre yaklaşık %42-43 oranında arttığı görülmektedir. Püskürtme basıncının 220 bar olmasıyla, HC emisyonunda dizel yakıtına göre %33 oranında azalma tespit edilmiştir. Biyodizelin dizel yakıtına göre yoğunluğunun ve viskozitesinin yüksek olması nedeniyle püskürtme basıncının azaltılması durumunda püskürtülen yakıt iyi bir şekilde atomize olamamakta ve karışım oluşumu kötüleşmektedir. Sonuç olarak yanma veriminin azalmasıyla birlikte yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonları artmaktadır. Bunun yanı sıra püskürtme basıncının daha fazla artırılması neticesinde, silindire püskürtülen yakıtın silindir içerisindeki nüfuz derinliğinin artması ve silindir cidarlarına çarpması neticesinde alev sönmeye olabilmekte ve HC emisyonları artabilmektedir.

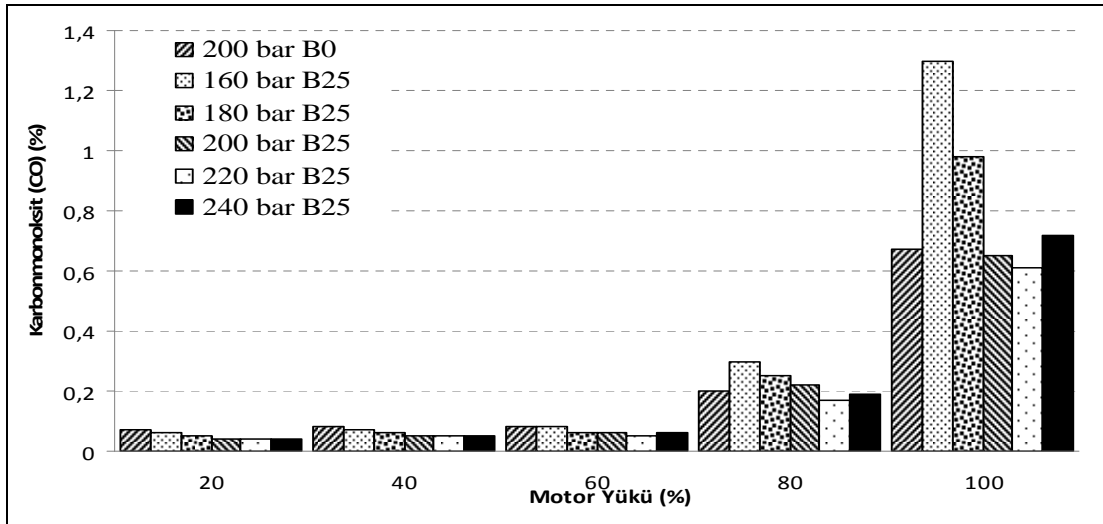


Şekil 7.6. Püskürtme basıncının HC emisyonuna etkisi

### 7.3.2. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu Değişimi

Püskürtme basıncının CO emisyonuna etkisi Şekil 7.7' de verilmiştir. Şekil 7.7 incelendiğinde, B25 yakıtı ile CO' nun artan motor yükü ile arttığı görülmektedir. Tam gaz konumunda en düşük CO emisyonu 220 bar püskürtme basıncında 0,61

olarak görülmüştür. Orijinal püskürtme basıncında B25 yakıtı ile CO emisyonu 0,65, dizel yakıtı ile 0,67 olarak belirlenmiştir. Püskürtme basıncı 220 bar olduğunda dizel yakıtına göre yaklaşık % 9-10' luk bir azalma olduğu görülmektedir. Motor yükünün azalmasıyla birlikte CO emisyonu da azalmakta ve yaklaşık orta yüklere kadar aralarında çok fazla bir fark olmadığı görülmektedir. Biyodizelin yapısında bulunan oksijen daha temiz yanmayı sağlamaktadır. Grafikten de görüldüğü gibi püskürtme basıncı değişiminin orta ve düşük yüklere CO emisyonu üzerindeki etkisi azdır.

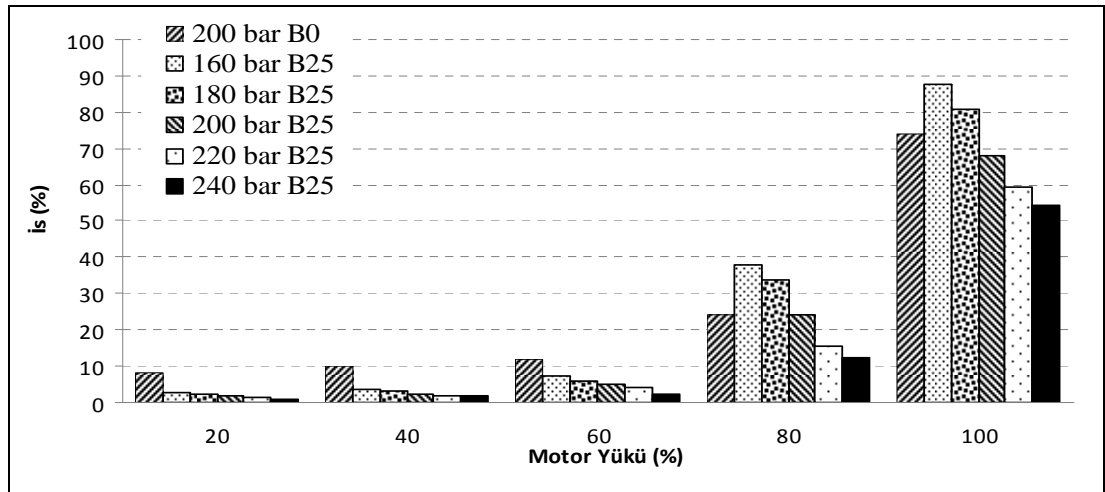


Şekil 7.7. Püskürtme basıncının CO emisyonuna etkisi

### 7.3.3. Is Emisyonu Değişimi

Püskürtme basıncının is emisyonlarına etkisi Şekil 7.8' de verilmiştir. Şekil 7,8 incelendiğinde, is emisyonunun artan motor yüküyle arttığı görülmüştür. Düşük ve orta yüklere; biyodizelin oluşturduğu is emisyonu, dizel'in oluşturduğu is emisyonuna göre azalma kaydettiği görülmüştür. Değişik püskürtme basınçlarında yapılan testlerde en yüksek is emisyonu tam yükte, 160 bar' da ölçülmüştür. Tam yükte 160 bar enjeksiyon basıncında is emisyonunun %87,5, orijinal püskürtme basıncında (200 bar) %68, 220 bar püskürtme basıncında %59,3, 240 bar püskürtme basıncında %54,2 olduğu belirlenmiştir. Dizel yakıtı ile elde edilen is emisyonu %74'tür. Şekil 7.8' de görüldüğü gibi püskürtme basıncı arttıkça is emisyonu azalmaktadır. 220 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı, dizel yakıtına göre is emisyonunda yaklaşık %20-21'lik bir azalma sağlamıştır. Biyodizel içerisinde

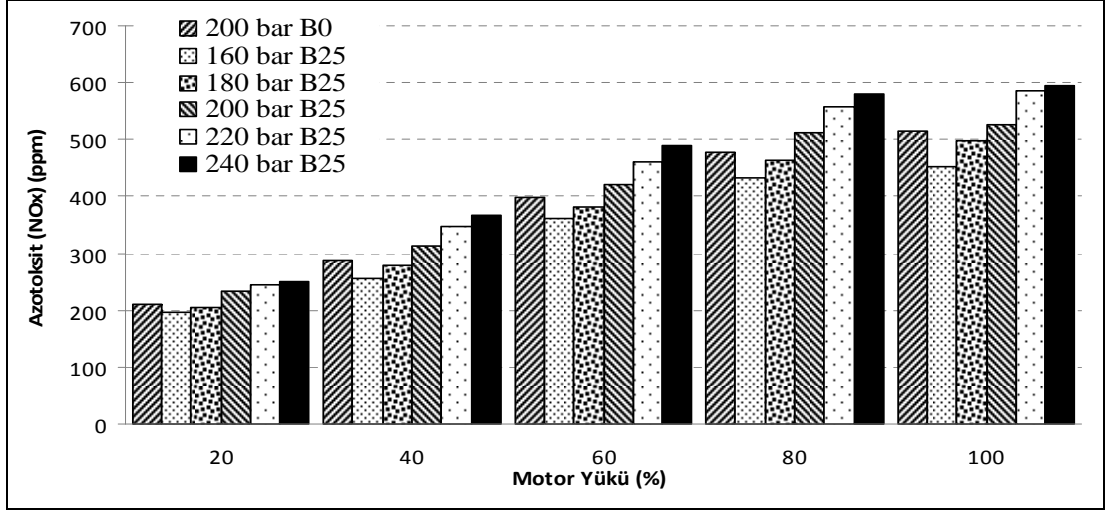
oksijen miktarının fazla olmasından ötürü yanmayan karbon tanecikleri yanabilmekte ve ayrıca CO' lar CO<sub>2</sub> dönüşmektedir. Püskürtme basıncının artması silindir içerisine püskürtülen yakıt daha iyi atomize olması nedeni ile yanma daha iyi olmakta ve is emisyonlarında azalma gözlenmektedir. Şekil 7.7' de görüldüğü gibi orta ve düşük yüklerde püskürtme basıncının değişimi is emisyonunu çok fazla etkilemediği görülmektedir.



Şekil 7.8. Püskürtme basıncının is emisyonuna etkisi

#### 7.3.4. Azotoksit (NO<sub>x</sub>) Emisyonu Değişimi

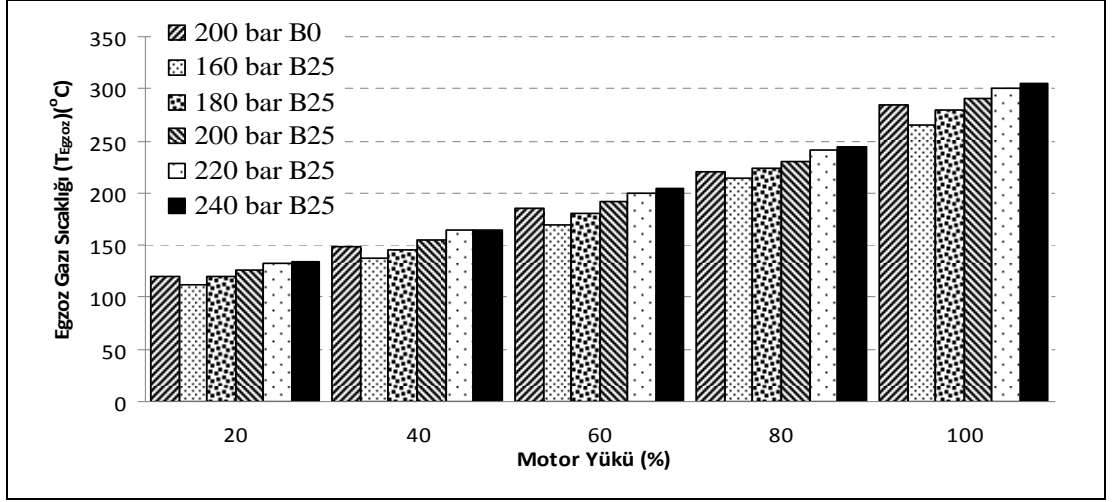
Değişik püskürtme basınçlarının NO<sub>x</sub> emisyonuna etkileri Şekil 7.9' da verilmiştir. Şekil 7.9'daki grafik incelendiğinde, tüm yüklerde püskürtme basıncının artmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarının da arttığı görülmektedir. Yüksek sıcaklıklar NO<sub>x</sub> emisyonunun artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca NO<sub>x</sub> oluşumu; karışım oluşumuna ve tutuşma gecikmesi süresince silindirde biriken yakıt miktarına bağlıdır. NO<sub>x</sub> emisyonu 160 bar püskürtme basıncında 452 ppm iken 240 bar püskürtme basıncında 595 ppm olduğu tespit edilmiştir. Basıncın 160 bar'dan 240 bar'a çıkarılmasıyla NO<sub>x</sub> emisyonu %31 oranında artmıştır. B25 yakıtı ile 160 bar basınçta elde edilen NO<sub>x</sub> emisyonu dizel yakıtına göre %13 daha azdır. Püskürtme basıncı arttıkça püskürtülen yakıtın daha iyi atomize olması ve yanmanın iyileşmesi nedeni ile yanma sıcaklığı artmaktadır. Artan sıcaklığa bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonu da artmaktadır.



Şekil 7.9. Püskürtme basıncının NOx emisyonuna etkisi

### 7.3.5. Egzoz Gaz Sıcaklığı Değişimi

Püskürtme basıncının egzoz gazı sıcaklığına etkisi Şekil 7.10'da verilmiştir. Şekil 7.10' da görüldüğü gibi, motor yükü arttıkça egzoz gaz sıcaklığı da artmıştır. Değişik motor yüklerinde yapılan çalışmalarda en yüksek egzoz gazı sıcaklığı tam yükte 240 bar püskürtme basıncında elde edilmiştir. Enjektör püskürtme basıncının artmasıyla egzoz sıcaklıklarında belirli oranlarda artma görülmüştür. Püskürtme basıncının yükselmesi atomizasyonu olumlu olarak etkilediğinden dolayı silindir içerisinde yanma iyileşecektir. Ayrıca karışımın tutuşma gecikmesinin kısalması, biyodizellerin yapılarında bulunan kaynama noktası yüksek bileşikler nedeni ile yanmanın iş zamanında da devam etmesi egzoz gazı sıcaklığını artırmaktadır. Bundan dolayı biyodizel ile çalışmada püskürtme basıncı arttıkça egzoz gaz sıcaklığı da artmaktadır. Tam yükte dizel yakıtı ile elde edilen maksimum egzoz gaz sıcaklığı 285 °C iken, B25 ile 240 bar'da elde edilen maksimum egzoz gazı sıcaklığı 305 °C dir.



Şekil 7.10. Püskürtme basıncının egzoz gazı sıcaklığına etkisi

#### 7.4. DEĞİŞİK PÜSKÜRTME BASINÇLARINDA YAPILAN DENEYLERİN DENEY SONUÇLARI

İkinci aşamada yapılan deney sonuçları incelendiğinde, performans ve emisyon bakımından en uygun püskürtme basıncının 220 bar olduğu görülür. Motor gücü 220 bar püskürtme basıncında en yüksek değerde, özgül yakıt tüketimi ise 220 bar püskürtme basıncında en düşük değerdedir. HC, CO emisyonları 220 bar püskürtme basıncında diğer basınç değerlerine göre en düşük seviyede elde edilmiştir.

220 bar basınçta elde edilen güç ve ÖYT değerleri dizel yakıtı ile elde edilen değerlere çok yakındır. Yine aynı basınçta HC, CO ve is emisyonu değerleri dizele göre daha düşük seviyede elde edilmiştir.

## BÖLÜM 8

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 8.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir dizel motorda soya yağı metil esteri (SME) kullanımının değişik püskürtme basınçlarında motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada; orijinal püskürtme basıncında (200 bar) dizel yakıtı, belirli oranlarda dizel-biyodizel karışımları ve saf biyodizel (B0, B25, B50, B75, B100) kullanılarak motor test edilmiştir. Bu test sonucunda B25 yakıtı ile motor gücünde %3 azalma, ÖYT' de %4 artma olduğu, kullanılan yakıt içerisindeki biyodizel oranı arttıkça güç kaybının ve ÖYT' nin de arttığı görülmüştür. Saf biyodizel kullanıldığında güçte %7-8 oranında azalma, ÖYT' de %15 oranında artış görülmüştür. Motor performansı açısından dizel yakıtına en yakın yakıtın B25 yakıtı olduğu belirlenmiştir.

İkinci aşamada B25 yakıtı ile çalışmada performans ve emisyonların püskürtme basıncının değiştirilmesiyle iyileştirilmesi amaçlanmıştır. SME yoğunluğu ve viskozitesi dizel yakıtına göre daha fazla olduğu için püskürtme basıncının artırılmasıyla karışım oluşumu ve yanma iyileştirilebilir. Bu aşamada motor, dizel yakıtı ile orijinal püskürtme basıncında ve B25 yakıtı ile değişik püskürtme basınçlarında (160, 180, 200, 220, 240 bar) değişik yüklerde karşılaştırma için test edilmiştir. B25 ile yapılan testler sonucunda, performans ve emisyon bakımından en uygun püskürtme basıncının 220 bar olduğu tespit edilmiştir. B25 yakıtı ile 220 bar püskürtme basıncında, dizel yakıtına göre önemli bir güç kaybı olmadan (~%1) özgül yakıt tüketiminde sadece yaklaşık %2 oranında artış kaydedilmiştir. Ayrıca HC, CO ve is emisyonlarında dizel yakıtına göre sırasıyla %33, %9 ve %20 oranlarında azalma, NO<sub>x</sub> emisyonunda %12 oranında artış tespit edilmiştir.



Deney sonuçlarında da görüldüğü gibi motor ayar değerleri değiştirilmeden, dizel motor B25, B50, B75, B100 yakıtları ile çalıştırıldığında motor gücünde bir miktar kayıp söz konusudur. Ancak yine de NO<sub>x</sub> emisyonu hariç diğer zararlı emisyonların (CO, HC ve is) azaldığı görülmektedir. Püskürtme basıncının kullanılan alternatif yakıtta göre değiştirilmesiyle motor gücünde artış, ÖYT' de azalma elde edilmiştir. Ayrıca en uygun püskürtme basıncında (220 bar) orijinal püskürtme basıncına (200 bar) göre CO, HC ve is emisyonlarında daha fazla azalma kaydedilmiştir.

Deney sonuçları, dizel motorlarda önemli bir güç kaybı olmadan dizel yakıtı yerine belirli oranlarda SME-dizel yakıtı karışımları ve saf SME yakıtının kullanılabilmesini göstermektedir. Kullanılacak yakıtta göre püskürtme basıncının optimize edilmesiyle performans ve emisyonlar daha fazla iyileştirilebilmektedir.

## **8.2. ÖNERİLER**

Ülkemiz toprakları tarıma elverişli olduğu için biyodizel üretiminde bitkisel yağlardan yararlanılabilir. Ülkemizde en yüksek ekim alanına sahip olan soya bitkisinin üretiminin artırılması ve soya yağının biyodizel üretiminde kullanılması teşvik edilebilir.

Biyodizel ile yapılan çalışmalarda, yakıt sıcaklığının ve sıkıştırma oranının değişiminin performans ve emisyonlara etkisi araştırılabilir. Dizel motorlarında biyodizel kullanımının motor parçaları ve enjeksiyon sistemi üzerinde korozif etkilerinin olup olmadığı incelenebilir.

Biyodizel yakıtlı motorlarda NO<sub>x</sub> emisyonu dizel motora göre daha yüksek çıkmaktadır. Motor giriş hava sıcaklığının düşürülmesiyle NO<sub>x</sub> emisyonları azaltılabilir.

SME yakıtı, yenilenebilir ve temiz bir yakıt olması nedeniyle dizel motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir. Ancak SME ve diğer biyodizel yakıtların daha yaygın olarak kullanımı ülkemizde biyodizelin vergisinin azaltılması ile daha ucuz üretilmesine bağlıdır.

## KAYNAKLAR

1. Oğuz, H., “Dizel Yakıtı - Ayçiçek yağı karışımlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanılma imkanlarının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-50 (1998).
2. Kaplan C., “Ayçiçek yağı metil esterinin dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımı”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli 1-10 (2001).
3. Saravanan, S., Nagarajan, G., Lakshmi Narayana Rao, G. and Sampath, S., “Combustion charecteristic of a stationary diesel engine fuelled with a blend of crude rice bran oil methly ester and diesel”, *Energy* 35: 94-100 (2010).
4. Jindal, S., Nandwana, B.P., Radhore, N.S. and Vashistha, V., “Experimental investigation of the effect of compression ratio and injection pressure in a direct injection diesel engine running on jatropha methyl ester”, *Applied Thermal Engineering* 30: 442-448 (2010).
5. Puhan, S., Jegan R., Balasubbramanian, K. and Nagarajan, G., “Effect of injection pressure on performance, emission and combistion charecteristics of high linolenic linseed oil methyl ester in a DI diesel engine” *Renewable Energy* 34: 1227-1233 (2010).
6. Basha, S. A., Raja Gopal, K. and Jebaraj, S., “A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 1628-1634 (2009).
7. Aktaş, A. ve Sekmen, Y., “Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi” *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (1): 199-206 (2008).
8. Altun, Ş. ve Gür, M.A., “Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması” *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (3): 35-42 (2005).
9. Sekmen, Y. ve Aktaş, A., “Soya yağı metil esterinin motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri” *Politeknik Dergisi*, 11 (3): 249-254 (2008).
10. İlkılıç, C., “Bir dizel motorunda enjeksiyon basıncının egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması” *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim Dergisi* 20 (3): 483-491 (2008).

11. Sekmen, Y., “Karpuz çekirdeği ve keten tohumu yağı metil esterinin dizel motorlarda yakıt olarak kullanılması” *Teknoloji Dergisi*, 10 (4): 295-302 (2007).
12. Wagner, G.L. and Peterson, C.L., “Performance of winter rape (brassica napus) based fuel mixtures in diesel engines”, *Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels ASAE*, Fargo, ND, 204: 329-336 (1982).
13. Strayer, R.C., Blake, J.A. and Craig, W.K., “Canola and high erucic rapeseed oil as substitutes for diesel fuel: preliminary tests”, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 60 (8): 1587-1592 (1983).
14. Geyer, S.M., Jacobus, M.J. and Lestz, S.S., “Comparison of diesel engine performance and emissions from neat and transesterified vegetable oils”, *Transactions of the ASAE*, 27 (2): 375-381 (1984).
15. Wagner, L.E., Clark, S.J. and Schrock, M.D., “Effects of soybean oil esters on the performance, lubricating oil, and wear of diesel engines”, *SAE Paper*, No.841385, U.S.A., 670-679 (1984).
16. Schumacher, L.G., Hires, W.G. and Borgelt, S.C., “Fueling a diesel engine with methyl-ester soybean oil”, *Liquid Fuels from Renewable Resources - Proceedings of an Alternative Energy Conference, Ed. By John Cundiff, ASAE*, Nashville, TN., 124-131 (1992).
17. Scholl, K.W. and Sorenson, S.C., “Combustion of soybean oil methyl ester in a direct injection diesel engine”, *SAE Tec.Paper*, No:920934, 211-223 (1993).
18. Thompson, J.C., Peterson, C.L., Reece, D.L. and Beck S.M., “Two year storage study with methyl and ethyl esters of rapeseed”, *Transactions of the ASAE*, 931-939 (1998).
19. Altın, R., Çetinkaya, S., ve Yücesu, S., “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi”, *Turk J Engin Environ Sci*, TÜBİTAK, Ankara, 25: 39 – 49 (2001).
20. Yamık, H., “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak yağ esterlerinin kullanılma imkanlarının araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-65 (2002).
21. Yahya A. ve Stephen J.M., “Performance and exhaust emissions of a compression ignition engine operating on ester fuels at increased injection pressure and advanced timing”, *Biomass and Bioenergy*, 6 (4): 297-319 (1996).
22. Schinstock, J.L., Hamma, M.A. and Schlick, M.L., "Soybean and Sunflower Oil Performance in a Diesel Engine", *Transactions of the ASAE*, 31 (5): 1345-1349 (1988).

23. Çelikten İ., “An experimental investigation of the effect of the injection pressure on engine performance and exhaust emission in indirect injection diesel engines” *Applied Thermal Engineering*, 23: 2051–2060 (2003).
24. Schulz, E. J. “Diesel mechanics”, *Career Education*, New York 138-155 (1983).
25. Safgönül, B. “Pistonlu içten yanmalı motorlar”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul 65-80 (1989).
26. Borat O., Balcı, M. ve Sürmen A. “İçten yanmalı motorlar” *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, 1: 1-77 (1995).
27. Obert E. F. “Internal combustion engine and air pollution”, *Harper&Row, Publishers*, 21-100 (1973).
28. Pireli, E., “Biyodizel ve dizel yakıtı ile çalışan çalışan tek silindri bir dizel motorda püskürtme basıncının performansına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *ZKÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük 1-50 (2006).
29. İcingür, Y., Balcı, M. Ve Çelikten, İ., “Dizel motorlarında işletme parametrelerinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, *1. Ulusal Ulaşım Sempozyumu*, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul 25-30 (1996).
30. Taylor, C. F. “The internal-combustion engine in theory and practice”, *The MIT Press*, 2: 20-30 (1992).
31. Gill, A.P., “Design choices for 1990’s low emissions diesel engines”, *SAE Paper*, No: 880350 1-25 (1988).
32. Ergeneman M., Kutlar O.A., Mutlu M. ve Arslan H., “Taşıtlardan kaynaklanan egzoz kirleticileri” *Birsen Yayınevi*, İstanbul 15 (1998).
33. Topgül, T., “Tek Silindri Direk Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Püskürtme Avansı Ve Püskürtme Basıncının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak Analizi”, Yüksek Lisans Tezi *Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 1-60 (2000).
34. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E. ve Soruşbaşı, C. “İçten yanmalı motorlar”, *Birsen Yayınevi*, Ankara 192 (1999).
35. Bets, W. E., Floyssand, S. A. and Kvinge, F., “The influence of diesel fuel properties on particulate emissions in european cars”, *SAE Paper*, No: 922190 25-31 (1992).
36. Borat O., Balcı M., A., Sürmen A., “Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Ankara 15-35(1992).

37. Karakuş N., “yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlara etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11-23 (2000).
38. Altın R., “Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 33-67 (1998).
39. Zang, Y. and Gerpen, J.H.V., "Combustion Analysis of Esters of Soybean Oil in a Diesel Engine", **SAE Tech. Paper**, No:960765, 782-794 (1996).
40. Ulusoy Y., “Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 6-11 (1999).
41. Yücesu, S. ve Altın, R., "Kanola yağının alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Ankara, 12: 145-158 (1999).
42. Yücel, H.L., "Dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılmış pamuk yağının motor performansı ve emisyon karakteristikleri üzerine etkilerinin araştırılması", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ 1-50 (1998).

**EK AÇIKLAMALAR A**

**DENEY SONUÇLARI**

Çizelge A1. Değişik yakıtlar ile 2600 d/d tam yükte yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Yakıtlar	Güç (kW)	ÖYT (g/kWh)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)
B0	3,27	343,82	35	0,67	74	514
B25	3,18	357,25	32	0,65	68	526
B50	3,12	374,85	25	0,64	63	562
B75	3,07	385,60	19	0,61	57	578
B100	3,04	396,74	16	0,6	41	605

Çizelge A 2. 160 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Motor yükü (%)	Güç (kW)	ÖYT (g/kWh)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)	T <sub>egzoz</sub> (°C)
20	0,6	690,29	9	0,06	2,9	195	112
40	1,2	434,48	10	0,07	3,5	255	137
60	1,8	385,74	11	0,08	7,5	360	170
80	2,4	395,71	24	0,3	38	433	214
100	3,0	418,66	50	1,3	87,5	452	265

Çizelge A 3. 180 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Motor yükü (%)	Güç (kW)	ÖYT (g/kWh)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)	T <sub>egzoz</sub> (°C)
20	0,62	666,71	7	0,05	2,4	206	120
40	1,25	422,13	8	0,06	3,1	279	145
60	1,88	371,87	10	0,06	6,1	382	180
80	2,51	387,57	22	0,25	34	465	223
100	3,13	405,19	44	0,98	81	497	280

Çizelge A 4. 200 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Motor yükü (%)	Güç (kW)	ÖYT (g/kWh)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)	T <sub>egzoz</sub> (°C)
20	0,64	646,53	6	0,04	2	234	127
40	1,29	413,66	7	0,05	2,5	312	155
60	1,94	344,34	9	0,06	5	420	192
80	2,59	337,61	17	0,22	24	512	230
100	3,23	351,92	30	0,65	68	526	291

Çizelge A 5. 220 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Motor yükü (%)	Güç (kW)	ÖYT (g/kWh)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)	T <sub>egzoz</sub> (°C)
20	0,65	642,99	4	0,04	1,5	244	132
40	1,30	398,40	5	0,05	1,9	347	164
60	1,95	332,96	6	0,05	4,3	460	200
80	2,60	324,30	13	0,17	15,4	559	242
100	3,25	347,55	27	0,61	59,3	585	300

Çizelge A 6. 240 bar püskürtme basıncında B25 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Motor yükü (%)	Güç (kW)	ÖYT (g/kWh)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)	T <sub>egzoz</sub> (°C)
20	0,64	654,25	5	0,04	0,7	251	135
40	1,28	418,05	6	0,05	1,6	368	165
60	1,92	364,20	7	0,06	2,3	490	204
80	2,56	357,83	15	0,19	12,2	580	245
100	3,20	368,51	28	0,72	54,2	595	305

Çizelge A 7. 200 bar püskürtme basıncında B0 yakıtı ile 2600 d/d yapılan deneylere ilişkin performans ve egzoz emisyon ölçüm değerleri

Motor yükü (%)	Güç (kW)	ÖYT (g/kWh)	HC (ppm)	CO (%)	İs (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)	T <sub>egzoz</sub> (°C)
20	0,65	612,45	10	0,07	8	210	120
40	1,30	391,59	12	0,08	10	288	148
60	1,96	333,29	15	0,08	12	398	185
80	2,61	311,04	20	0,2	24	478	220
100	3,27	343,82	35	0,67	74	514	285



## ÖZGEÇMİŞ

Doğan ŞİMŞEK 1985'de Amasya'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Suluova ilçesinde tamamladı; Merzifon Teknik Lisesi, Makine Eğitimi Bölümü'nden mezun olduktan sonra 2004 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv öğretmenliğine girdi. 2008'de mezun oldu. Halen; 2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.

## ADRES BİLGİLERİ

Adres : Oğulbağı köyü No:34  
Suluova/AMASYA

Tel : 0542 817 04 78

E-posta : dgnsimsek@gmail.com