



**DİZEL YAKITINA DİBÜTİL MALEAT
İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANS VE
EMİSYONLARINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serhat GÜNAYDIN

Danışman

Prof. Dr. Fatih AKSOY

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2022

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİZEL YAKITINA DİBÜTİL MALEAT
İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANS
VE EMİSYONLARINA ETKİSİ**

Serhat GÜNAYDIN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Fatih AKSOY

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**

MAYIS 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL YAKITINA DİBÜTİL MALEAT İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ

Serhat GÜNAYDIN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatih AKSOY

Bu çalışmada, dizel yakıtı içerisine oksijen içeriği %28 olan dibütil maleat (DBM) %10 (DBM10) ve %20 (DBM20) oranında ilave edilmiştir. Bu karışımların motor performans, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonlarına etkisi tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı bir dizel motorunda incelenmiştir. Özgül yakıt tüketiminin 15,10 Nm motor yükünde dizele göre DBM10 ve DBM20 yakıtları ile sırasıyla %5,08 ve %8,13 arttığı görülmüştür. Dizel yakıtı içerisine dibütil maleat ilavesi ile yakıtın oksijen içeriği artmakta, yanma reaksiyonları hızlanmakta ve yanma süresi kısalmaktadır. Maksimum CO ve NO_x emisyonları sırası ile 20,60 Nm motor yükünde DBM10 ve DBM20 yakıtları ile elde edilmiştir. DBM10 ve DBM20 yakıtları ile dizele göre HC emisyonları 20,60 Nm motor yükünde %14,03 ve %15,78 azalma gözlenmiştir. 20,60 Nm motor yükünde dizele göre DBM10 ve DBM20 yakıtları ile sırasıyla is emisyonlarının %46,75 ve %59,74 azaldığı belirlenmiştir.

2022, ix+49 sayfa

Anahtar Kelimeler: Dizel motor, Motor performansı, Dibütil maleat, Yakıt katkısı

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECT OF DIBUTYL MALEATE ADDITION TO DIESEL FUEL ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Serhat GÜNAYDIN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Fatih AKSOY

In this study, dibutyl maleate (DBM) with an oxygen content of 28% was added to diesel fuel at the rate of 10% (DBM10) and 20% (DBM20). The effects of these mixtures on engine performance, combustion characteristics and exhaust emissions were investigated in a single-cylinder, four-stroke, water-cooled diesel engine. It was observed that the specific fuel consumption increased by 5.08% and 8.13%, respectively, with DBM10 and DBM20 fuels compared to diesel at 15.10 Nm engine load. With the addition of dibutyl maleate into diesel fuel, the oxygen content of the fuel increases, the combustion reactions are accelerated and the burning time is shortened. Maximum CO and NO_x emissions were obtained with DBM10 and DBM20 fuels at 20.60 Nm engine load, respectively. Maximum NO_x emission was measured with D80DBM20 fuel at 20.60 Nm engine load. With DBM10 and DBM20 fuels, HC emissions decreased by 14.03% and 15.78% at 20.60 Nm engine load compared to diesel. It was determined that the soot emissions decreased by 46.75% and 59.74%, respectively, with DBM10 and DBM20 fuels at 20.60 Nm engine load compared to diesel.

2022, ix+49 pages

Keywords: Diesel engine, Engine performance, Dibutyl maleate, Fuel additive

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmam süresince, teorik, deneysel ve tez yazımı konusunda değerli katkılarından dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Fatih AKSOY'a, deneysel çalışmalara destek olan Araş. Gör. Mustafa BABAGİRAY ve Öğr. Gör. Tolga KOCAKULAK'a, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Doç. Dr. Ahmet UYUMAZ'a, bu çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür, saygı ve sevgilerimi sunarım.

Serhat GÜNAYDIN
Afyonkarahisar

2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. SIKIŞTIRMA İLE ATEŞLEMELİ MOTORLAR	3
2.1 Sıkıştırma ile Ateşlemeli Motorlarda Yanma	4
2.1.1 Tutuşma Gecikmesi	5
2.1.2 Kontrolsüz Yanma	6
2.1.3 Kontrollü Yanma	7
2.1.4 Art Yanma.....	7
2.2 Sıkıştırma ile Ateşlemeli Motorlarda Emisyonlar	8
2.2.1 Partikül Madde ve İş Emisyonları	9
2.2.2 Hidrokarbon Emisyonları (HC)	10
2.2.3 Karbonmonoksit Emisyonları (CO).....	11
2.2.4 Karbondioksit Emisyonu (CO ₂).....	12
2.2.5 Azotoksit Emisyonu (NO _x)	13
2.2.6 Aldehitler	14
2.2.7 Kükürtdioksit (SO ₂)	14
3. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	15
4. MATERYAL VE METOT	21
4.1 Deney Yakıtları ve özellikleri.....	21
4.2 Deney Düzeneği	22
4.2.1 Deney Motoru	23
4.2.2 Egzoz Emisyon Cihazı.....	24
4.2.3 Basınç sensörü, Amplifikatör ve Veri Toplama Kartı	25

4.3 Motor Performans ve Yanma Analizi.....	26
4.3.1 Özgöl Yakıt Tüketimi	26
4.3.2 Isıl Verim	27
4.3.3 Silindir İçi Basınç Türevlerinin Hesaplanması ve Verilerin Filtrelmesi.....	27
4.3.4 Net İşin ve Ortalama Efektif Basıncın Hesaplanması	28
4.3.5 Isı Dağılımı	28
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	31
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	40
7. KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	49



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

P_a	Ölçülen silindir basıncı
m^3/KA	Krank mili açısına bağlı silindir hacmi değişimi
P_a/KA	Krank mili açısına bağlı silindir basınç değişimi
P_e	Motorun efektif gücü
$\dot{m}_y$	Bir çevrimde silindire alınan yakıt miktarı
P_i	Fonksiyonların silindir basınç sinyali
i	İndisleri belirli krank mili aralıkları
$KA50$	Kümülatif ısı dağılımının %50'sinin krank açısı
η_T	Isıl verim
W_{net}	Elde edilen faydalı iş
$\dot{m}Q_{LHV}$	Yakıt ile elde edilen ısı enerji
RI	Vuruntu yoğunluğu
$\bar{I}_{mep}$	İndike ortalama efektif basınç
V_{kurs}	Kurs hacmi

Kısaltmalar

AÖN	Alt Ölü Nokta
ÜÖN	Üst Ölü Nokta
TG	Tutuşma Gecikmesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma.....	5
Şekil 2.2 İş emisyonlarının oluşumu	9
Şekil 2.3 Hidrokarbon emisyonlarının oluşumu	11
Şekil 2.4 Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak emisyonların değişimi	12
Şekil 4.1 Deney düzeneği.	23
Şekil 5.1 Dibütil maleatin silindir basıncı ve ısı dağılımı üzerindeki etkileri.	32
Şekil 5.2 Tutuşma gecikmesi.	33
Şekil 5.3 Özgül yakıt tüketimi.....	34
Şekil 5.4 KA50 ve ısı verim değişimi.	35
Şekil 5.5 Yanma süresi.....	35
Şekil 5.6 Maksimum basınç artış oranı ve vuruntu yoğunluğu değişimi.	36
Şekil 5.7 CO ve CO ₂ emisyonları.....	37
Şekil 5.8 HC emisyonu.....	38
Şekil 5.9 NO _x ve iş emisyonu değişimi.....	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Dibütil maleatın özellikleri.	22
Çizelge 4.2 Dizel yakıtının özellikleri.....	22
Çizelge 4.3 Deney motorunun teknik özellikleri.....	23
Çizelge 4.4 Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri.	24



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 MAN tarafından üretilen ilk dizel motoru.	3
Resim 2.2 Tek delikli enjektörden püskürtülen yakıtın tutuşma anı.....	4
Resim 2.3 Sıcaklığa bağlı yakıt damlacığında emisyon oluşumu.....	9
Resim 4.1 Dibütil maleat.	21
Resim 4.2 Deney motoru.	24
Resim 4.3 Egzoz emisyon cihazı.	25
Resim 4.4 Test ekipmanları.....	26



1. GİRİŞ

Enerji talebi, nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak sanayileşmenin artması nedeniyle artmaktadır. Enerji toplumların gelişmesi için önemli bir unsurdur. Birincil ve ikincil olmak üzere enerji kaynakları ikiye ayrılmaktadır. Kömür, doğalgaz, biyokütle, güneş, rüzgar, petrol gibi enerjiler birincil enerji kaynaklarını oluşturmaktadır. Birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesi sonucunda benzin, motorin, elektrik, fuel oil ve sıvılaştırılmış petrol gazı gibi elde edilen ürünler ikincil enerji kaynaklarını oluşturmaktadır (Koç ve Kaya 2015).

Enerji kaynakları diğer bir sınıflandırma şeklinde ise yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Güneş, rüzgar, hidrolik, dalga-gelgit gibi enerjinin kullanımını ile azalmayan ve bir çevrim süresince aynı kalan enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılır. Kendi kendini yenilenemeyen kömür, petrol ve doğal gaz gibi enerji kaynakları yenilenemez enerji kaynakları olarak ifade edilmektedir (Koç ve Kaya 2015).

Ülkemizde 2000 ile 2016 yılları arasında enerji tüketimi %28 oranında artış göstermiştir. Enerji tüketiminin artması kullanılan yakıt türüne bağlı olarak çevreye bırakılan zararlı emisyonların artmasına sebep olmaktadır. Çevreye bırakılan zararlı emisyonlar nedeniyle doğal yaşam zarar görmekte ve canlıların hayatı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Demirkesen 2018).

Günümüzde tüketilen enerjinin yaklaşık olarak beşte biri ulaştırma sektörüne harcanmaktadır. Ulaştırma karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu şekillerinde gerçekleşmektedir. Ülkemizde ulaştırma sektöründe esnek ve geniş bir alana yayılması nedeniyle yolcu ve yük taşımacılığının %90'ı karayolları vasıtası ile gerçekleştirilmektedir (Batır 2019). Ulaştırma sektöründe en çok kullanılan enerji dönüşüm sistemi içten yanmalı motorlardır (Demirkesen 2018).

İçten yanmalı motorlar, yanma odasında yakıtların oksijen ile reaksiyona girmesi sonucunda kimyasal enerjiyi ısı enerjisine, oluşan ısı enerjisini de mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir. İçten yanmalı motorlar sıkıştırma ile ateşlemeli ve buji

ateşlemeli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Eroğlu 2019). Buji ile ateşlemeli motorların termik verimleri yüksek sıkıştırma oranlarının vurutuya sebep olması nedeniyle düşüktür. Devir ve yük silindir içerisindeki dolgunun kısılması ile gerçekleştiği için buji ile ateşlemeli motorlarda kısılma kayıpları bulunmaktadır. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorların termik verimleri yüksek ve kısılma kayıpları bulunmamaktadır (Polat 2015).

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar düşük kullanım maliyetleri, dayanıklılığı ve yüksek verimi dolayısı ile tercih edilmektedir. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yakıtın yanması sonucunda partikül madde (PM), azotoksitler (NO_x), hidrokarbonlar (HC), karbonmonoksit (CO) emisyonları ortaya çıkmaktadır. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar buji ile ateşlemeli motorlar ile karşılaştırıldığında karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbonlar (HC) emisyonları daha düşüktür. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda en önemli kirleticileri partikül madde (PM) ve azotoksitler (NO_x) oluşturmaktadır. Bu iki emisyon canlıların sağlığı ve çevre açısından oldukça zararlıdır (Keskin ve Sağıroğlu 2010).

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda farklı enerji kaynaklarının (biyoyakıt, alkoller, hidrojen, doğal gaz vb.) kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle alkoller (metanol, etanol, bütanol vb.) dizel yakıtına belirli oranlarda ilave edilerek kullanılmaktadır. Buna ilaveten, egzoz emisyonlarının azaltmak ve yanma verimini artırmak amacı ile dizel yakıtı içerisine ilave edilen katkı maddeleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Doğanay 2019).

Bu çalışmada, dizel yakıtı içerisine yüksek oksijen içeriğine sahip dibütil maleat %10 ve %20 oranında ilave edilmiştir. Test yakıtlarının (Dizel, DBM10 ve DBM20) motor performans, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonlarına etkisi tek silindirli direkt enjeksiyonlu su soğutmalı bir dizel motorunda incelenmiştir.

2. SIKIŖTIRMA İLE ATEŖLEMELİ MOTORLAR

1824 yılında Nicholas Leonard Sadi Carnot tarafından sıkıŖtırma ile ateŖlemeli motorların alıŖma prensibi ilk olarak ortaya koyulmuŖtur. 1892 yılında, Rudolf Diesel yakıtın tutuŖma sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığın havanın sıkıŖtırılması sonucunda elde edildiği makinenin patentini almıŖtır. Bu makinede yakıt olarak toz halindeki kömür kullanılmıŖtır. 1895 yılında Rudolf Diesel dört zamanlı, silindire yakıtın yüksek basınçlı hava ile püskürtüldüğü, su soğutmalı ve %24 termik verimi sahip olan motorun tanıtımını gerekleŖtirmiŖ ve 1897 yılında MAN firması ile günümüzde kullanılan dizel motorları retilmiŖtir. Resim 2.1’de MAN firması tarafından üretilen ilk dizel motoru grlmektedir (KocabaŖ 2007).



Resim 2.1 MAN tarafından üretilen ilk dizel motoru (KocabaŖ 2007).

2.1 Sıkıştırma ile Ateşlemeli Motorlarda Yanma

Yakıt içerisinde yer alan karbon ve hidrojenin oksijen ile reaksiyonu sonucu kimyasal enerji ortaya çıkmasına yanma denir. Yanmanın gerçekleşebilmesi için ortam sıcaklığının belirli bir seviyede olması gerekir. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma süreci yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ve egzoz supabının açılması arasında gerçekleşen fiziksel ve kimyasal olaylardan meydana gelmektedir (Yeşilyurt 2017). Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda püskürtülen yakıt, yanma odasındaki hava ile sürtünmesi sonucunda yakıt demeti çevresinde daha fazla olmak kaydı ile parçalanır. Yanma odası içerisinde püskürtme ile reaksiyonlar başlar. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma difüzyon şeklinde gerçekleşir (Kocabaş 2007). Resim 2.2’de tek delikli enjektörden püskürtülen yakıtın tutuşma anı görülmektedir.



Resim 2.2 Tek delikli enjektörden püskürtülen yakıtın tutuşma anı (Kocabaş 2007).

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma süreci tutuşma gecikmesi, kontrolsüz yanma, difüzyon kontrollü yanma ve art yanma safhalarından oluşmaktadır (Kocabaş 2007, Aydın 2011, Çelik 2015). Şekil 2.1’de sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma süreci görülmektedir.

Yanma odasına yakıt püskürtüldükten sonra yakıt damlacıklarının etrafında buhar tabakası oluştuğu için tutuşmanın gerçekleşeceği bölgeler bulunmaktadır. Bundan dolayı fiziksel tutuşma gecikmesinin daha kısa olduğu ifade edilebilir. Ancak fiziksel tutuşma gecikmesi özellikle yüksek sıcaklıklarda kimyasal tutuşma gecikmesine göre daha uzundur (Gümüş 2005). Fiziksel tutuşma gecikmesi püskürtülen yakıtın basıncına, yanma odasının şekline ve yakıtın özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Kimyasal tutuşma gecikmesi ise yanma odasındaki sıcaklığa ve yakıtın özelliklerine bağlıdır (Çelik 2015).

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma odasındaki karışım homojen olmadığı için tam buharlaşma süresi buji ile ateşlemeli motorlara göre daha uzun olmaktadır. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda buharlaşma süresi tutuşma gecikmesi süresine eşit ya da kısa olursa karışım bir anda yanmaya hazır olacağı için basınç yükselme hızı yüksek olur. Uzun tutuşma gecikmesi havayla buharlaşarak yakıtın kendiliğinden tutuşması sonucunda vuruntuya sebep olur. Tutuşma gecikmesi sıkıştırma ile ateşlemeli motorlara vuruntuyu belirleyen en önemli faktördür. Tutuşma gecikmesini yakıtın cinsi, sıcaklık, basınç, hava yakıt oranı, inert bileşenler, hava hareketleri ve katkılar etkileyen parametrelerdir (Gümüş 2005). Bu parametreler arasında sıcaklığın ve basıncın yüksek olması tutuşma gecikmesi süresinin kısılmasına sebep olur. Yakıtın özelliklerinden setan sayısının artması tutuşma gecikmesi süresini kısaltmaktadır. Ancak setan sayısının çok yüksek olması is oluşumuna ve enjektörde oluşan koklaşma nedeniyle tıkanmasına sebep olmaktadır. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda setan sayıları 45-65 sınırları arasında değişiklik göstermektedir (Aydın 2011).

2.1.2 Kontrolsüz Yanma

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma, tutuşma gecikmesi sürecinin sonrasında başlamaktadır. Yanma odasına püskürtülen yakıt demetinin dış bölgesinde buharlaşma ve parçalanma olduğu için yanma olayının başlaması bu safhada gerçekleşmektedir. Bu safhada tutuşma gecikmesi sürecinde yanma odasına püskürtülen ve biriken yakıtın yanması sonucunda basınç ani olarak yükselmektedir (Kocabaş 2007, Aydın 2011, Hazar ve Öner 2004). Ani basınç artışı çeşitli motor parçalarına ani yük uygulayarak tahribat oluşturmakta ve dizel vuruntusu olarak adlandırılan olaya sebep olmaktadır

(Gümüş 2005, Çelik 2015).

Kontrolsüz yanma safhasında basınç artış oranı yakıtın atomizasyonuna, tutuşma süresince püskürtülen yakıt miktarı ve hava ile yakıt buharının karışma miktarına bağlıdır. Kontrolsüz yanma safhasındaki basınç artış oranı tutuşma gecikme süresine bağlıdır (Gümüş 2005). Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda basınç artış oranının 3-5 bar/derece olması gerekmektedir. Basınç artış oranının bu değerin üzerinde olması motorun sert çalışmasına ve motor parçalarında tahribata sebep olur. Bu değerin altında ise yanma genişleme sürecinde de devam etmekte ve istenilen maksimum basınca ulaşamamaktadır. Böylece yakıt ekonomisi kötüleşmektedir. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda maksimum basıncın üst ölü noktadan 6-10° krank açısı sonra oluşması ile en iyi yakıt ekonomisi elde edilmektedir (Çelik 2015).

2.1.3 Kontrollü Yanma

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kontrollü yanma safhası, tutuşma gecikmesi sürecinin ardından yanma odasındaki yakıtın ani olarak yanması sonucunda maksimum basıncın oluşması ile başlar ve maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra sona erer (Aydın 2011, Çelik 2015). Bu safhada özellikle yakıtın buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı yanma hızını etkileyen en önemli iki parametredir. Ayrıca kontrollü yanma sürecini yakıt ile hava temasının gelişimini iyileştiren hava hareketleri, ortalama damlacık çapı ve hava fazlalık katsayısı etkileyen önemli özelliklerdir (Gümüş 2005, Aydın 2011, Hazar ve Öner 2004).

Kontrollü yanma safhasında, yanma işleminin sıcaklıkların yüksek ve pistonun üst ölü noktaya (ÜÖN) yakın pozisyonlarında tamamlanması istenmektedir. Yetersiz buharlaşma ve karışma yanmanın genişleme sürecinin ileri aşamalarında tamamlanmasına sebep olmaktadır. Bu durumda yakıtın tamamının yanma olasılığı azalmakta ve is emisyonları oluşmaktadır. Ayrıca motor verimi de düşmektedir (Aydın 2011).

2.1.4 Art Yanma

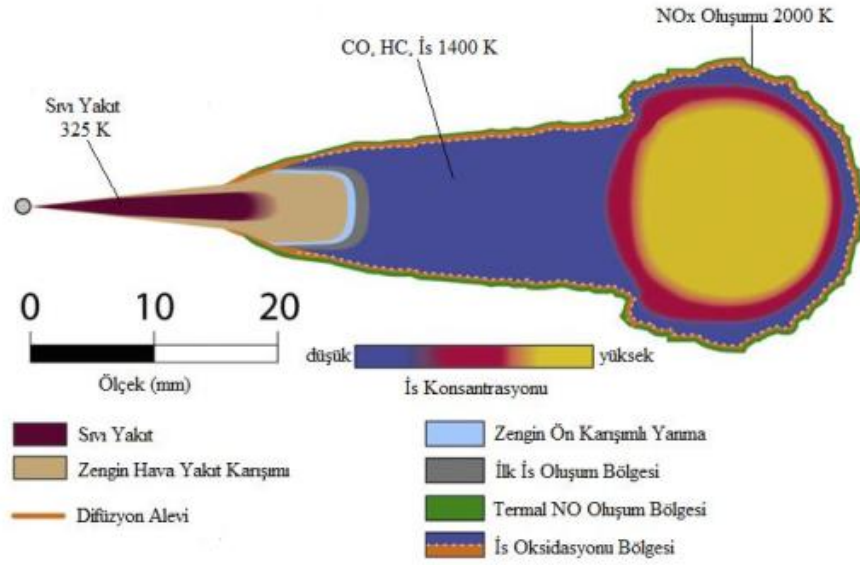
Yanma sürecinin son safhasını oluşturan art yanma safhası maksimum sıcaklığa

ulaşıldığı anda başlar. Bu safhada silindire yakıt püskürtme işlemi sona ermiş ve daha önce püskürtülen yakıt oksijen ile reaksiyona girerek yanma işlemini gerçekleştirmektedir. Art yanma safhasının egzoz zamanına geçilmeden tamamlanması gerekmektedir (Aydın 2011, Çelik 2015).

2.2 Sıkıştırma ile Ateşlemeli Motorlarda Emisyonlar

Fosil kaynaklı yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımı ve yanma işleminin tam olarak gerçekleşmemesi nedeniyle egzozdan kirletici emisyonlar çevreye atılır. Hava kirliliğinin temel sebeplerinden biri olan kirletici emisyonlar hem canlılara hem de çevreye zarar verirler. İçten yanmalı motorlarda yanma sonucunda oluşan karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HC), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), kurşun bileşikleri (Pb) ve is egzoz gazları ile çevreye atılmaktadırlar (Ayhan 2009).

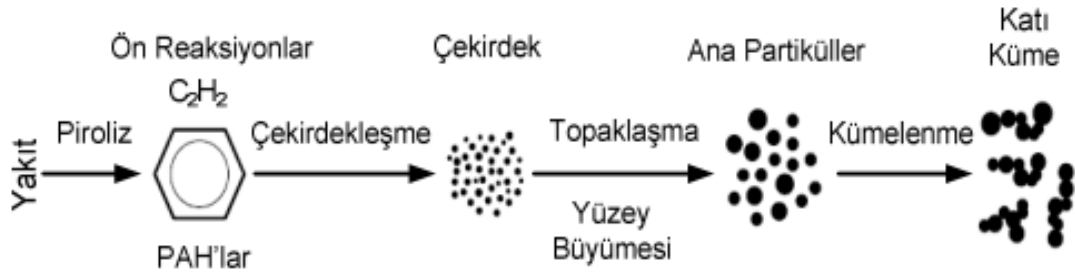
Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda karışımın oluşumu ve yanması homojen olarak gerçekleşmez. Yanma işlemi sırasında homojen olmayan karışımın yanması sonucu oluşan egzoz emisyonları; yakıt tutuşma özellikleri, karışımın oluşumu, genişleme süreci, yanma odasındaki değişik sıcaklıklarda bekleme süresi ve motor özellikleri gibi yanma ve genişleme süreçleri dışında yanma odasındaki şartlara bağlı olarak değişim gösterir (Doğan 2012). Resim 2.3’de sıcaklığa bağlı olarak yakıt damlacığında emisyon oluşumu görülmektedir.



Resim 2.3 Sıcaklığa bağlı yakıt damlacığında emisyon oluşumu (Çelik 2015).

2.2.1 Partikül Madde ve İs Emisyonları

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yakıt damlası içerisindeki hidrojen molekülleri oksijen ile hızlı bir şekilde reaksiyona girmektedir. Yakıt damlası içerisindeki karbon oksijenin yetersiz olması dolayısı ile yanmadan is partikülleri olarak dışarı atılmaktadır (Ayhan 2009, Çelik 2015). Eksik yanmanın bir göstergesi olarak ifade edilebilen is emisyonu, hava/yakıt oranının fazla zengin olması veya yakıt taneciklerinin bir kısmının buharlaşmış olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki yakıt olarak zengin bölgelerde, buhar fazından katı faza geçiş esnasında çekirdeklenen yanmamış yakıtlar is emisyonlarını oluşturur (Doğan 2012). Şekil 2.2’de is emisyonlarının oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.2 İs emisyonlarının oluşumu (Doğan 2012).

Şekil 2.2’de görüldüğü yakıtta uygulanan yüksek sıcaklık dolayısı ile gerçekleşen endotermik reaksiyonlarda moleköl yapısı değışmekte ve poli aromatik hidrokarbonlar (PAH) oluşmaktadır. Bu reaksiyonlar is partiküllerinin oluşumunun başlangıcı kabul edilmektedir. Hidrokarbonlardan oluşan nanopartiküller ve çekirdek daha sonraki reaksiyon basamaklarında yüzey büyümesi ve topaklaşma süreçleri sonunda partiküller bir araya gelerek kümeleşir ve is oluşturur. Is partikülleri ortamda oksitleyici bileşen bulunduğunda yanarak karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve su (H₂O) gibi ürünler meydana getirir (Doğan 2012).

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda silindir içine püskürtülen yakıt miktarı, motorun kararlı çalışma koşullarında motor yükü ile doğru orantılıdır. Yükün artışına bağlı olarak kontrollü yanma süresince yanma odası içerisindeki oksijen miktarı azalır. Bu sıcaklıkların artmasına ve kontrollü yanma sürecinin uzamasına sebep olur. Kontrollü yanma süresinin artması is emisyonu oluşumunu destekler (Doğan 2012).

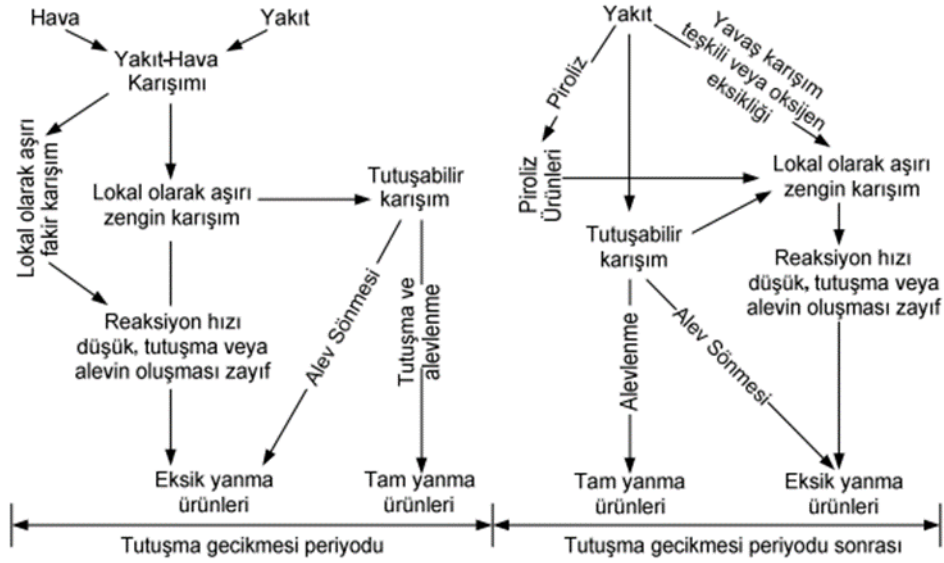
2.2.2 Hidrokarbon Emisyonları (HC)

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda hidrokarbon emisyonları yağlama yağı ve yakıt moleküllerinden kaynaklanmaktadır (Doğan 2012). Hidrokarbon emisyonları silindir içine püskürtülen yakıtın %1-1,5’ini oluştururlar. Hidrokarbon emisyonları; yanma odası içerisinde dar boşlukların sıkıştırma süreci sırasında yakıt-hava karışımı ile dolması, yakıtın yağ katmanları içerisinde absorbe edilmesi, yakıtın silindir içerisinde kalması ve supap yataklarından yakıtın sızmasından kaynaklanmaktadır (Ayhan 2009).

Hidrokarbon emisyonları motor yükü, yanma odasındaki koşullara, yakıt sistemine, doğal ya da aşırı doldurmalı olmasına bağlı olarak oluşur (Doğan 2012). Hidrokarbon emisyonlarının oluşmasının temel nedeni yetersiz sıcaklık ve oksijendir. Yanma hava fazlalık katsayısı birden küçük olduğu için tamamlanamamakta ve hidrokarbon emisyonları oluşmaktadır (Ayhan 2009).

Tutuşma gecikmesi öncesi ve sonrasında hidrokarbon emisyonlarının oluşumu Şekil 2.3’de görülmektedir. Tutuşma gecikmesi ve sonrasındaki şartlar hidrokarbon oluşumu

için oldukça önemlidir (Doğan 2012). Tutuşma gecikmesi süresinin uzun olması ya da tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıt miktarının fazla olması hidrokarbon emisyonlarını artırmaktadır (Aydın 2011, Çelik 2015). Motorun ilk hareketi sırasında ve soğuk çalışma koşullarında hidrokarbon emisyonlarının büyük bir bölümü oluşmaktadır (Ayhan 2009, Aydın 2011, Çelik 2015).



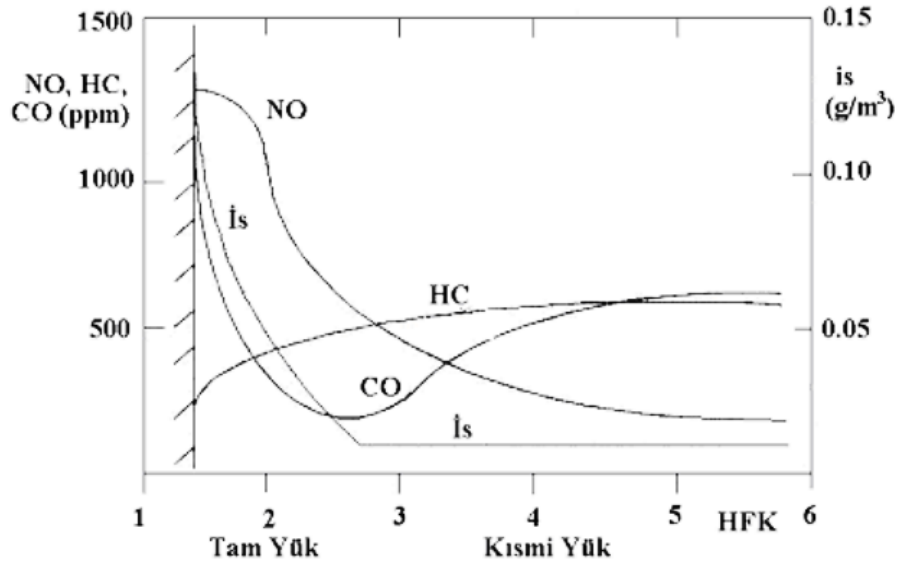
Şekil 2.3 Hidrokarbon emisyonlarının oluşumu (Doğan 2012).

2.2.3 Karbonmonoksit Emisyonları (CO)

Karbonmonoksit kokusuz, renksiz ve zehirli bir gazdır. Ülkedeki karbon monoksit emisyonlarının %60'ı karayollarında kullanılan taşıtlardan kaynaklanmaktadır (Ayhan 2009). Karbonmonoksit kana karıştığında solunum yeteneğinin azalmasına sebep olur. Karbonmonoksit miktarının fazla olması görüş bozukluğu, iş yapma ve öğrenme yeteneğinde azalmalara yol açmaktadır. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda buji ile ateşlemeli motorlara göre egzoz gazları ile salınan karbonmonoksit emisyonları daha azdır (Aydın 2011).

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda motorun yük ve devir sayısına bağlı olarak karışım oranı değişmektedir. Bu tip motorlar çoğunluk ile fakir karışım ile çalışmakta ve karbonmonoksit oksijen ile reaksiyona girerek karbondioksit oluşturmaktadır. Oksijenin

yetersiz olması ve yanma sıcaklığının düşük olduğu koşullarda karbonmonoksit oksijen ile reaksiyona girmeden dışarıya atılmaktadır (Çelik 2015). Hava fazlalık katsayısı özellikle direkt enjeksiyonlu sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda karbonmonoksit emisyonlarını etkileyen en önemli parametredir (Ayhan 2009, Aydın 2011). Zengin karışımlarda ($HFK < 1$) yanma odası içerisinde oksijenin yetersiz olması nedeniyle karbonmonoksit karbondioksite dönüşmeyecektir. Bu durumda karbonmonoksit miktarı artacaktır. Silindir içerisinde oksijen miktarı karışımın homojen olmaması halinde bölgesel olarak da yetersiz olabilir (Ergen 2006, Çelik 2015). Şekil 2.4’de hava fazlalık katsayısına bağlı olarak direkt püskürtmeli bir motorda emisyonların değişimi görülmektedir.



Şekil 2.4 Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak emisyonların değişimi (Ergen 2006).

Ayrışma silindir içerisinde karbonmonoksit oluşumunun diğer bir nedenidir. Yanma ürünleri olan CO_2 ve H_2O yüksek yanma sıcaklıklarında parçalanarak elementlere dönüşmekte ve bu süreçte ortamdan ısı emerler. Yüksek sıcaklıklarda ($1800\text{ }^{\circ}C$ 'nin üzerinde) ayrışma işlemi ve dolayısıyla karbonmonoksit oluşumu başlamaktadır (Ergen 2006, Ayhan 2009).

2.2.4 Karbondioksit Emisyonu (CO_2)

Tam yanma ürünleri arasında yer alan karbondioksit, kaynak sularında çözülmüş olarak

%0,03-%0,06 konsantrasyonlarında bulunmaktadır. Atmosferde ısı tutan gazların ve CO₂ miktarının artması küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Fosil yakıtlı yakıtların kullanımı nedeniyle atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu her yıl 2,3 ppm artış göstermektedir. Bu miktarın bir bölümü atmosferden uzaklaştırılırken, yaklaşık olarak 1,5 ppm atmosferde kalmaktadır. Geri kalan karbondioksit ise sera gazı etkisine sebep olmaktadır (Aydın 2011).

2.2.5 Azotoksit Emisyonu (NO_x)

Azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂), diazot dioksit (N₂O₂) gibi bileşiklerin tamamı azot oksit (NO_x) olarak adlandırılmaktadır. Azotoksitler akciğerlerde nitrik asit oluşturmakta ve konsantrasyonuna bağlı olarak yaptığı etki değişmektedir. Ayrıca azot oksitler atmosferde su ile reaksiyona girerek nitrik asit oluşturmakta ve asit yağmurlarına yol açmaktadır. Azot dioksit (NO₂) tahriş edici bir gaz iken azot monoksit (NO) gazı felçe neden olabilmektedir (Ergen 2006).

Hava içerisindeki azotun yanma sırasında oluşan yüksek sıcaklıklarda oksijen ile reaksiyonu sonucunda oluşan azot oksitler; %90 azot monoksit (NO), %5 azot dioksit (NO₂) ve kalanı ise diazot dioksit (N₂O₂), diazot trioksit (N₂O₃), azot pentaoksit (N₂O₅) içerir (Ayhan 2009).

Azot oksit emisyonların büyük bir bölümünü oluşturan azot monoksit (NO) ani (prompt), yakıt esaslı ve termal (ısıl) olmak üzere üç farklı türde meydana gelmektedir. Ani azot monoksit (NO) oluşumunda sıcaklığın etkisi az iken, hava fazlalık katsayısının oldukça fazladır. Yakıt içeriğindeki kimyasal bağlı azotun oksijenle reaksiyona girmesi sonucu yakıt esaslı azot monoksit (NO) oluşmaktadır. Yakıt esaslı azot monoksit (NO) hava yakıt oranına bağlıdır. Ancak yakıt içerisindeki azot miktarı oldukça düşüktür. Yüksek sıcaklıklar azotun oksijen ile reaksiyonu sonucunda ısı azot monoksit (NO) meydana gelmektedir. Sıcaklığın bir fonksiyonu olan ısı azot monoksit (NO) alev sıcaklıklarının yüksek olduğu koşullarda gerçekleşmektedir. Ayrıca yakıt hava karışımı ısı azot monoksit (NO) oluşumunu etkileyen diğer önemli bir faktördür (Ayhan 2009).

Yanma odası içerisindeki maksimum sıcaklık ve hava-yakıt oranı azot oksit oluşumunu

etkileyen iki önemli parametredir. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda 1800 °C üzerindeki yanma sonu sıcaklıklarında azot oksit oluşmaktadır (Ayhan 2009).

2.2.6 Aldehitler

Düşük sıcaklıklarda hidrokarbonların oksidasyonu sonucunda oluşan aldehitler, rolein ve formaldehitlerden meydana gelirler. MAK değeri 0,6 mg/m³ olan aldehitler kötü kokuludur. Ayrıca solunum yollarını ve gözleri tahriş etmektedirler (Ergen 2006).

2.2.7 Kükürtdioksit (SO₂)

Kükürt dioksit oksijen ve dizel yakıtı içeriğinde bulunan kükürtün reaksiyona girmesi ile meydana gelmektedir. Kükürt dioksit su buharı ile reaksiyona girerek sülfürik asit ve sülfat oluşturmakta ve asit yağmurlarına yol açmaktadır. Renksiz bir gaz olan kükürt dioksit özellikle karaciğer ve solunum yolu hastalıklarına sebep olmaktadır. Ayrıca mukoza zarına zarar vermektedir (Ergen 2006).

3. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yakıt olarak fıstık yağı, bu tip motorların mucidi Rudolph Diesel tarafından 1900 yılında Paris fuarında kullanılmıştır (Altın vd. 2001). Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda dizel yakıtına alternatif olarak bitkisel yağlar, biyodizel, alkoller ve dizel yakıt katkıları üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan bir bölümü aşağıda verilmiştir.

Sathiyagnanam ve Saravanan (2008) tarafından yapılan çalışmada dizel yakıtına 1 ml, 3 ml ve 5 ml oranlarında di-metoksi-metan (DMM) ve di-metoksi-propan (DMP) ilave edilmiştir. Deneyler tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda dizel partikül filtreli (DPF) ve filtresiz olarak gerçekleştirilmiştir. Dizel partikül filtresiz ve dizel partikül filtreli ile yapılan deneylerde; duman koyuluğu ve partikül madde miktarında maksimum azalma, dizel yakıtına 3 ml di-metoksi-metan (DMM) ve 5 ml di-metoksi-propan (DMP) ilave edildiği oranlarda bulunmuştur. Tüm yakıt katkı oranlarında NO_x emisyonlarında artış gözlenmiştir (Sathiyagnanam ve Saravanan 2008).

Doğan (2011) tarafından yapılan çalışmada, dizel yakıtına n-bütanol ilavesinin motor performans ve emisyonlarına etkisini dört zamanlı tek silindirli bir dizel motorunda incelenmiştir. Dizel yakıtı, B5 (hacimce 5% n-butanol ve 95% dizel yakıtı), B10, B15 ve B20 yakıtları 2600 dev/dk sabit motor devrinde ve farklı yüklerde test edilmiştir. Yakıt içerisinde n-butanol miktarının artmasıyla egzoz gaz sıcaklığı, karbon monoksit, azot oksit, duman koyuluğunda azalma, hidrokarbon emisyonlarında artış elde edilmiştir. Dizel yakıtı içerisinde n-butanol miktarının artması ile fren özgül yakıt tüketimi ve fren termal veriminde artış gözlenmiştir (Doğan 2011).

Bayık ve Çelik (2012) tarafından yapılan çalışmada dizel yakıtına %5, %10, %15 ve %20 oranlarında izobütanol ilavesinin motor performans ve emisyonlarına etkisi tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorunda incelenmiştir. Deneyler 2600 dev/dk motor devrinde ve farklı motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtı içerisindeki izobütanol miktarı arttıkça NO_x, is ve CO emisyonlarında azalma, HC emisyonunda ise artış gözlenmiştir. İzobütanol ilavesi ile fren özgül yakıt tüketiminde artışlar elde edilmiştir (Bayık ve Çelik 2012).

Singh vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada yüksek oksijen içeriğine sahip dimetil karbonat (DMC) ve dibütil maleat (DBM)'in motor performans ve emisyonlarına etkisi tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, su soğutmalı ve dört zamanlı bir dizel motorunda incelenmiştir. Deneyler 1500 dev/dk motor devrinde ve farklı yük koşullarında (boşta, tam yükün %25'i, %50'si ve %75'i ve tam yükte) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde dimetil karbonat (DMC) ve dibütil maleat (DBM) dizel yakıtına %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ilave edilmiştir. Tam yükte DMC20 yakıtı ile dizel yakıtına göre duman miktarında %35 oranında azalma elde edilmiştir. DMC15 ve DBM15 karışımları kullanımı ile motor performansında belirgin değişiklikler gözlenmeden duman ve CO emisyonlarında azalma elde edilebilecek en iyi karışım oranı olduğu belirtilmiştir (Singh vd. 2013).

İbrahim (2016) tarafından yapılan çalışmada, dizel yakıtı içerisine %5, %10, %15 oranında dietil eter (DEE) ilavesinin motor performans, yanma özellikleri ve motor kararlılığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneyler 1500 dev/dk motor hızında ve farklı motor yüklerinde yapılmıştır. %15 oranında dietil eter katkısı kullanımı ile dizel yakıtına göre motor maksimum fren termal veriminde %7,2 artış, en düşük fren özgül yakıt tüketiminde %6,7 azalma elde edilmiştir. Dietil eter katkısı kullanımı ile birçok motor yük koşullarında dizel yakıtına göre maksimum silindir basıncında ve maksimum net ısı yayma oranında artış gözlenmiştir (İbrahim 2016).

Yang vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada California dizel yakıtına %5, %12,5, %20 ve %30 oranında dimetil karbonat (DMC) ilavesinin egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Dimetil karbonat oranının artmasıyla partikül madde emisyonlarında azalmalar gözlenmiştir. NO_x emisyonlarında DMC5 ve DMC12,5 karışımları için belirgin bir farklılık gözlenmezken, karışım oranının artması ile DMC20 ve DMC30 yakıtları için dizel yakıtına göre sırası ile %3,2 ve %3,1'lik artış elde edilmiştir. Dimetil karbonat oranının artması ile karbondioksit emisyonu ve fren özgül yakıt tüketimi değerlerinde dizel yakıtına göre artış gözlenmiştir (Yang vd. 2016).

Alptekin (2017) tarafından yapılan çalışmada, hacimsel olarak %50 kanola ve %50 aspir yağı karışımlarından biyodizel üretilmiş ve oksijen içerikli yakıt katkı maddeleri

(solketal ve etanol) ilave edilmiştir. Dizel, biyodizel, %85 biyodizel + %15 solketal karışımı ve %85 biyodizel + %15 etanol karışımı yakıtlar common rail bir dizel motorunda, üç motor hızında (1500 d/dak, 2000 d/dak ve 2500 d/dak) ve orta motor yükü (100 Nm) koşullarında test edilmiştir. Biyodizel ve biyodizel+oksijenli yakıt karışımlarının fren özgül yakıt tüketimi, dizel yakıtından daha yüksek elde edilmiştir. Biyodizel içerisine solketal ve etanol ilavesi fren özgül yakıt tüketimini artırmıştır. Maksimum silindir içi basınçları tüm yakıtlar için birbirine yakın elde edilmiştir. Biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre NO_x ve CO₂ emisyonlarında artış, CO ve THC emisyonlarında azalmalar elde edilmiştir. Solketal ve etanol yakıt karışımları NO_x emisyonlarında artışa neden olmuş ve biyodizel ile karşılaştırıldığında ortalama olarak daha düşük CO₂, CO ve THC emisyonları sağlamıştır. Etanol-biyodizel ve solketal-biyodizel karışımlarından birbirine benzer sonuçlar elde edilmiştir (Alptekin 2017).

Pan vd. (2019) dizel yakıtına %10 ve %20 oranlarında dimetil karbonat ilavesinin farklı EGR oranlarında motor performans ve emisyonlarına etkisini incelemiştir. DMC20 yakıtı kullanımı ile tutuşma gecikmesi süresinin arttığını belirlemiştir. DMC20 kullanımı ile fren özgül yakıt tüketiminin arttığını gözlemlemiştir. DMC20 yakıtı %20-30'luk EGR oranlarıyla birlikte kullanıldığında en iyi yanma performansını göstermiştir. %40 EGR oranında, DMC20'nin NO_x emisyonu %64,9 oranında ve is emisyonunda ise %80 oranında azalma gözlenmiştir (Pan vd. 2019).

Sevinç ve Hazar (2020) tarafından yapılan çalışmada, dibütil maleat (DBM) karışımlarıyla çalışan krom oksit (Cr₂O₃) kaplı tek silindirli dizel motorun egzoz emisyonu ve performans özellikleri incelenmiştir. Ayrıca deneysel tekrarları, maliyeti ve zaman kaybını azaltma yeteneğine sahip bir yapay sinir ağı (YSA) tasarlanmış ve performansı incelenmiştir. Dizel motorun piston başı ve valfleri krom oksit ile kaplanmıştır. Deneyler hacimce sırasıyla %3, %6, %9 DBM içeren DBM3, DBM6, DBM9 karışımları ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar; izole motorda; karbonmonoksit, hidrokarbon, duman yoğunluğu, fren özgül yakıt tüketimi değerlerinin azaldığı, buna karşın azot oksit, egzoz gazı sıcaklığı ve motor titreşim değerlerinin standart motora göre arttığı belirlenmiştir. DBM'nin eklenmesi karbonmonoksit, hidrokarbon, duman yoğunluğu, egzoz gazı sıcaklığı ve motor titreşimini azaltırken, azot oksit ve fren özgül

yakıt tüketimi değerlerinde hem izole hem de standart motorda artışlar gözlenmiştir. YSA sonuçları ile bir motorun egzoz emisyonu ve performans özelliklerinin yüksek doğrulukla tahmin edilebileceğini ortaya koymuştur (Sevinç ve Hazar 2020).

Elkelawy vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, B20 (hacimce %20 biyodizel ve %80 dizel yakıt karışımı) ve B50'nin (hacimce %50 biyodizel ve %50 dizel yakıt karışımı) içerisine hacimsel olarak %2, %4 ve %6 oranında aseton ilave edilmiştir. Dizel, biyodizel, B20, B50, B20AC2, B20AC4, B20AC6, B50AC2, B50AC4 ve B50AC6 yakıtları tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı bir dizel motorunda 1600 dev/dk motor devrinde farklı motor yüklerinde test edilmiştir. Dizel yakıtına göre aseton-dizel-biyodizel karışımları kullanımı ile özgül enerji tüketimi ve fren termal veriminde ortalama olarak sırası ile %9,39 ve %10,21 oranında iyileşme gözlenmiştir. Duman koyuluğu ve HC emisyonlarında aseton katkısı kullanımı ile azalma elde edilmiştir. Ancak aseton kullanılan karışımlar için NO_x emisyonları, dizel, biyodizel ve biyodizel-dizel karışımlarına göre artış göstermiştir (Elkelawy vd. 2020).

Qian vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, dizel, DMC20 ve DMC20'ye üç farklı oranda (%0,5, %1 ve %2) setan geliştirici 2-etil nitrat ilavesinden oluşan beş farklı yakıtı, farklı son püskürtme oranlarında (%0, %5, %10, %15 ve %20) turboşarjlı ve dört silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. DMC20 yakıtı kullanımıyla is emisyonları yaklaşık olarak %70 azalmıştır. Ancak DMC20'ye 2-etil nitrat ilavesi ile is emisyonlarında DMC20'ye oranla artışlar gözlenmiştir. Son püskürtme oranlarının artması ile NO_x ve CO emisyonları azalırken, HC emisyonu artış elde edilmiştir (Qian vd 2020).

Mehta vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, dizel yakıtı (D100), %10 pamukyağı biyodizeli + %90 dizel yakıtı karışımı (DB) ve dizel biyodizel karışımına farklı oranlarda etilen glikol monoasetat (%1, %3, %5 ve %7) ilavesinden oluşan farklı yakıt karışımlarını kullanan dört zamanlı tek silindirli dizel motorun performans ve emisyon özellikleri incelenmiştir. Motor, 1500 dev/dk motor devrinde farklı yük koşullarında test edilmiştir. Dizel-biyodizel karışımında etilen glikol monoasetat konsantrasyonunun %1'den %7'ye değişmesiyle fren termal verimliliğinde %7 ile %13 arasında azalma

gözlenmiştir. Dizel-biyodizel karışımında etilen glikol monoasetat konsantrasyonunun %1'den %7'ye değişmesiyle, CO ve duman emisyonunun %15'ten %40'a, egzoz gazı sıcaklığı ve HC emisyonunun ise DB93E7 karışımı için %25 azaldığı belirtilmiştir. %93 dizel-biyodizel karışımında %7 etilen glikol monoasetat (DB93E7) karışımı ile motor performans ve emisyon açısından olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Mehta vd. 2021).

Razzaq vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada oksijen içeren dimetil karbonat (DMC) ve oksijen içermeyen palm biyodizel karışımlarının sıkıştırma ateşlemeli motor üzerindeki etkisi incelenmiştir. Palm yağı biyodizeli ağırlıkça %0,75 katalizör konsantrasyonu (KOH), %60 V/V metanol/yağ oranı, 38 dakikalık reaksiyon süresi ve 60°C reaksiyon sıcaklığında üretilmiştir. Altı farklı yakıt numunesinin (B10, B20, B30, B10+DMC, B20+DMC, B30+DMC) motor performans, emisyon ve yanma özellikleri tam yük koşullarında ve farklı motor devirlerinde (1100-2100 dev/dk aralıklarında) belirlemişlerdir. B10+DMC, B20+DMC ve B30+DMC yakıtları kullanımı ile biyodizel karışımlarına göre fren gücünde ortalama %1,70, %1,22 ve %0,95; fren termal veriminde ortalama %4,30, %4,77 ve %4,90 sırası ile artış gözlenmiştir. B10+DMC, B20+DMC ve B30+DMC yakıtları kullanımı ile biyodizel karışımlarına göre özgül yakıt tüketiminde ortalama %1,31, %2,93 ve %1,08; egzoz gaz sıcaklığında ortalama %2,63, %2,80 ve %4,54; CO emisyonlarında ortalama %19,04, %25 ve %26,47; HC emisyonlarında ortalama %12,76, %19,35 ve %33,33 oranlarında sırası ile azalma elde edilmiştir (Razzap vd. 2021).

Razzap vd. (2022) %10 dimetil karbonat ve %30 palmye biyodizeli içerisine 40, 80 ve 120 ppm konsantrasyonunda grafen oksit nano tanecik ilavesinin motor performansı ve emisyon etkilerini dört zamanlı sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda araştırmışlardır. Ayrıca bu karışımların tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Özgül yakıt tüketimi ve fren termal veriminde diğer yakıtlara göre B30GNP40DMC10 için maksimum azalma sırasıyla %5,05 ve %22,80 olarak elde edilmiştir. B30DMC10 için HC ve CO emisyonlarında sırası ile %25 ve %4,41 bir azalma elde edilmiştir. B30GNP40DMC10 için NO_x'te %3,65'lik bir azalma gözlenmiştir (Razzap vd. 2022).

Wang vd. (2022), dizel yakıtı içerisine oksijen içeren n-oktanol, metilal (ME) ve dimetil

karbonat (DMC) ilave etmiştir. NO45, ME13, and DMC8 yakıtlarını 0,4 - 1,2 MPa arasındaki yüklerde dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Yanma performansı incelendiğinde n-oktanolün kullanımı ile ısı yayılım oranında iyileşme, ME13, and DMC8 kullanımı ile azalma elde etmişlerdir. NO45 yakıtı ile en düşük CO emisyonunu elde etmişlerdir. NO45, ME13 ve DMC8 gibi oksijenli yakıtların kullanımı ile is emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında artış elde edilmiştir (Wang vd. 2022)

Fan vd. (2022), dizel yakıtı içerisine dimetil karbonatı (DMC) %8,3, %15 ve %25 oranlarında ilave ederek iki farklı devirde is emisyonlarının kimyasal özellikleri FT-IR ve XPS teknolojileri kullanılarak karakterize edilmiştir. DMC ilavesinin, yüzey oksijen içeriği, oksijenli gruplar ve bunların çeşitli DMC içeriği ile bağlanma durumları üzerinde farklı etkiler uyguladığını belirtmişlerdir (Fan vd. 2022).

4. MATERYAL VE METOT

Bu bölüm deney yakıtlarının hazırlanması, deney düzeneği ve deneysel verilerin işlenmesi süreçlerinden oluşmaktadır.

4.1 Deney Yakıtları ve özellikleri

Renksiz bir sıvı olan Dibütil Maleat (DBM) metanol, aseton, dietil eter ve su ile karışabilmektedir. Dibütil maleat çözünme yeteneği yüksek, düşük viskozite ve düşük kaynama noktasına sahip bir sıvıdır. Buna ilaveten %28 oranında oksijen içeriğine sahip olduğu için dizel yakıtına oksijen geliştirici katkı olarak ilave edilebilmektedir (Sevinç 2018). Resim 4.1 ve Çizelge 4.1’de deneysel çalışmada kullanılan Dibütil maleatın resmi ve özellikleri sırası ile görülmektedir.



Resim 4.1 Dibütil maleat.

Çizelge 4.1 Dibütil maleatın özellikleri (Sevinç 2018).

Tanımı	Dibütil Maleat
Ampirik formül	$C_{12}H_{20}O_4$
Molekül formülü	$CH_3(CH_2)_3OOCCH=CHCOO(CH_2)_3CH_3$
Molar kütle	228.29 g/mol
Kaynama noktası	280 °C
Yoğunluk	0.99 g/cm ³ (20 °C)
Parlama noktası	120 °C
Tutuşma noktası	280 °C
Oksijen içeriği (wt %)	28.0
Karbon içeriği (wt %)	42
Kalorifik değer (MJ/kg)	29
Setan sayısı	35-36

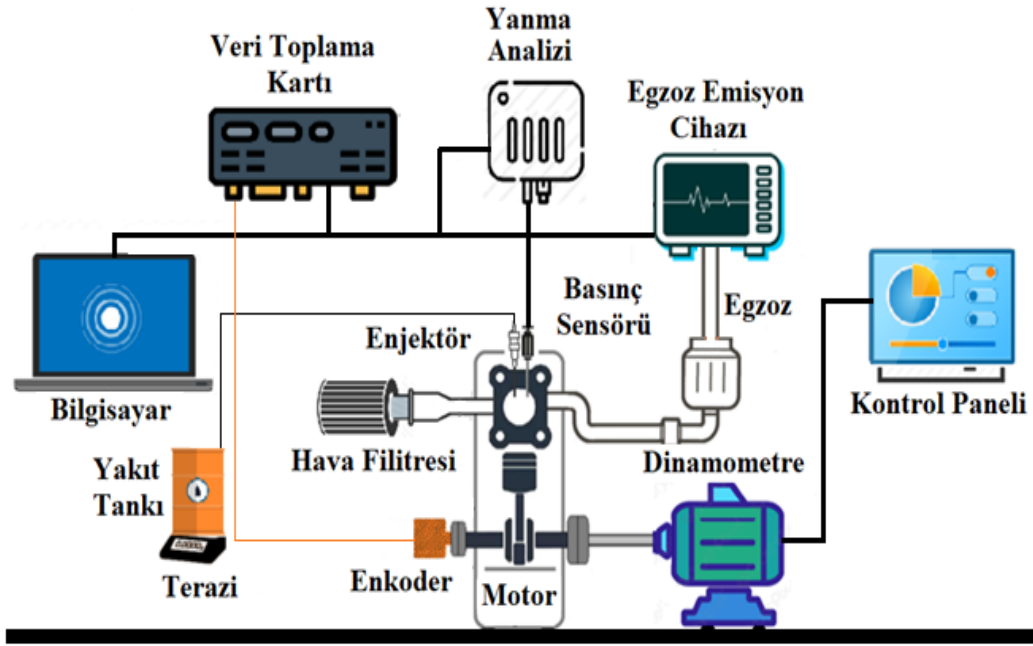
Dibütil maleat dizel yakıtına oksijen içerikli katkı olarak hacimsel olarak %10 ve %20 oranında ilave edilmiştir. Yakıtlar D100 (%100 dizel yakıtı), DBM10 (%90 dizel yakıtı + %10 dibütil maleat) ve DBM20 (%80 dizel yakıtı + %20 dibütil maleat) olarak adlandırılmıştır. Dizel yakıtının özellikleri Çizelge 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.2 Dizel yakıtının özellikleri (Opuz 2022).

Yakıt Türü	D100
Kinematik viskozite, mm ² /s, 40 °C	3,00
Parlama Noktası, °C	75
Su, ppm	18,54
Yoğunluk, kg/m ³ , 15°C	829,48

4.2 Deney Düzeneği

Motor performans deneyleri KEMSAN marka 20 HP rejeneratif dinamometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test düzeneği dinamometre, deney motoru, emisyon ölçüm cihazı, dijital terazi, termokupl, dijital termometre, basınç sensörü ve amplifikatörden oluşmaktadır. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1 Deney düzeneği.

4.2.1 Deney Motoru

Deneylerde Antor AD510 BS marka su soğutmalı, dört zamanlı, tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel motoru kullanılmıştır. Deney motorunun resmi ve teknik özellikleri Resim 4.2 ve Çizelge 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.3 Deney motorunun teknik özellikleri.

Motor	Antor AD510 BS
Silindir sayısı	1
Kurs x Çap	90 x 85 mm
Toplam silindir hacmi	510 cm ³
Sıkıştırma oranı	17,5:1
Motor Gücü	12 HP
Maksimum Tork	32,1 Nm/1800 rpm



Resim 4.2 Deney motoru.

4.2.2 Egzoz Emisyon Cihazı

Deneylerde CO, CO₂, NO_x, HC ve is emisyonları ölçümünde Bosh BEA 350 marka emisyon cihazı kullanılmıştır. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri ve resmi Çizelge 4.4 ve Resim 4.2’de görülmektedir

Çizelge 4.4 Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri.

Egzoz Emisyonu	Hassasiyet	Ölçüm aralığı
CO (% vol.)	0,001	0-10
CO ₂ (% vol.)	0,01	0-18
HC (ppm)	1	0-9999
O ₂ (% vol.)	0,01	0-22
Lambda	0,001	0,5-9,999
NO (ppm)	1	0-5000



Resim 4.3 Egzoz emisyon cihazı.

4.2.3 Basınç sensörü, Amplifikatör ve Veri Toplama Kartı

Deneylerde silindir içi basınç verilerinin ölçümü ve bilgisayara aktarılmasında basınç sensörü, enkoder ve şarj amplifikatörü kullanılmıştır. Deneyler AVL QC34C marka 0-250 bar aralığında ölçüm yapabilen basınç sensörü kullanılmıştır. Basınç sensörü tarafından üretilen voltajı basınç sinyaline dönüşümünü sağlamak için Kistler marka 5018A şarj amplifikatörü kullanılmıştır. Krank açısının ölçülmesi için Opkon marka 1000 pulslik enkoder kullanılmıştır. Krank ve silindir içi basınç verileri National Instrument marka veri toplayıcısı kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Resim 4.4’de silindir içi basınç ölçümünde kullanılan test ekipmanları görülmektedir.



Resim 4.4 Test ekipmanları.

4.3 Motor Performans ve Yanma Analizi

4.3.1 Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi motor tarafından üretilen birim güç başına tüketilen yakıt miktarıdır. Özgül yakıt tüketiminin hesaplanmasında Eş 4.1 kullanılmıştır (Heywood, 1988, Uyumaz 2014, Opuz 2022).

$$\dot{öyt} = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \left(\frac{kg}{kWh} \right) \quad (4.1)$$

Özgül yakıt tüketimi hesabında kullanılan bu eşitlikte, $\dot{m}_y$ birim zamanda motorun tükettiği yakıt miktarını ve P_e motorun efektif gücünü göstermektedir (Uyumaz 2014, Opuz 2022).

4.3.2 Isıl Verim

Tüketilen yakıt ile elde edilen ısı enerjinin ne kadarının faydalı işe dönüştüğünün bir ölçüsü olan ısı verim, Eş. 4.2 kullanılarak hesaplanmıştır (Heywood 1988, Uyumaz 2014, Opuz 2022).

$$\eta_T = \frac{W_{net}}{\dot{m} Q_{LHV}} \quad (4.2)$$

Eş. 4.2’de $\dot{m}$ bir çevrimde silindire alınan yakıt miktarını (kg/çevrim) ve Q_{LHV} yakıtın alt ısı değerlerini (kJ/kg) ifade etmektedir (Uyumaz 2014, Opuz 2022).

4.3.3 Silindir İçi Basınç Türevlerinin Hesaplanması ve Verilerin Filtrelmesi

0,36° KA aralıklarla alınan silindir içi basınç verileri dijital sinyallere çevrilmektedir. Isı dağılımı hesabı için dijital sinyallere çevrilen basınç verilerinin türevi alındığında gürültü ortaya çıkmaktadır. Basınç verilerine gürültünün engellenmesi amacıyla aşağıda verilen fonksiyon ile filtreleme işlemine uygulanmaktadır. Yapılan çalışmada ısı dağılımı 4. dereceden filtreleme işlemine tabi tutulmuştur. Silindir içi basınç sinyalleri Taylor serisi formatında 4. seriye göre açılabilir (Can 2012, Uyumaz 2014, Calam 2018, Opuz 2022).

$$\begin{aligned} P_{i+2} &= P_i + \frac{2 P_i' d\theta}{1!} + \frac{2^2 P_i'' d\theta^2}{2!} + \frac{2^3 P_i''' d\theta^3}{3!} + \frac{2^4 P_i'''' d\theta^4}{4!} + \\ P_{i+1} &= P_i + \frac{P_i' d\theta}{1!} + \frac{P_i'' d\theta^2}{2!} + \frac{P_i''' d\theta^3}{3!} + \frac{P_i'''' d\theta^4}{4!} + \dots \\ P_i &= P_i \\ P_{i-1} &= P_i - \frac{P_i' d\theta}{1!} + \frac{P_i'' d\theta^2}{2!} - \frac{P_i''' d\theta^3}{3!} + \frac{P_i'''' d\theta^4}{4!} + \dots \\ P_{i-2} &= P_i - \frac{2 P_i' d\theta}{1!} + \frac{2^2 P_i'' d\theta^2}{2!} - \frac{2^3 P_i''' d\theta^3}{3!} + \frac{2^4 P_i'''' d\theta^4}{4!} - \end{aligned} \quad (4.3)$$

Fonksiyonun 1. mertebe türevi,

$$P_i' = \frac{P_{i-2} - 8P_{i-1} + 8P_{i+1} - P_{i+2}}{12d\theta} \quad (4.4)$$

elde edilmektedir. Eş. 4.5 basınç verilerindeki gürültüyü azaltmak için kullanılmıştır (Heywood 1988, Martyr 2007, Can 2012, Uyumaz 2014, Opuz 2022).

$$P_i = \frac{1}{x^2} \left[\frac{P_{i-(x-1)} + 2P_{i-(x-2)} + 3P_{i-(x-3)} + \dots + xP_i + \dots + 3P_{i+(x-3)} + 2P_{i+(x-2)} + P_{i+(x-1)}}{2P_{i+(x-2)} + P_{i+(x-1)}} \right] \quad (4.5)$$

4.3.4 Net İşin ve Ortalama Efektif Basıncın Hesaplanması

Her çevrimde elde edilen net iş ve ortalama efektif basınç (İMEP) silindir içi basınç verileri kullanılarak hesaplanabilir. Silindir sayısı, hacmi ve motor devrine bağlı olmayan ortalama efektif basınç, motor veriminin belirlenmesinde önemli bir parametredir (Calam 2018).

Motorun gerçek çevrimdeki gücünü verebilmesi için bir kurs boyunca piston üzerine etki eden sabit basınca indike ortalama efektif basınç denir (Stone 1999, Uyumaz 2014, Calam 2018, Opuz 2022). İndike ortalama efektif basınç,

$$imep = \frac{W_{net}}{V_{kurs}} \quad (Pa) \quad (4.6)$$

ile hesaplanabilir (Stone 1999, Uyumaz 2014, Calam 2018). Net iş krank açısına bağlı olarak değişen silindir hacmi ve ölçülen silindir basıncı verileri çarpılmak suretiyle integrali alınarak Eş. 4.7 ile hesaplanmaktadır (Uyumaz 2014, Calam 2018, Opuz 2022).

$$W_{net} = \int PdV \quad (Joule) \quad (4.7)$$

4.3.5 Isı Dağılımı

Tek bölgeli yanma modeli ile termodinamiğin birinci kanunu uygulanarak ısı dağılımı hesaplanmaktadır. Yanma odasında bulunan karışımın ideal gaz ve üniform olduğu kabul edilmektedir. Çevrim sonunda yanma odası içersinde bir miktar egzoz gazı kalmaktadır. Silindir içerisindeki karışımın termodinamik açıdan dengede olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca yanma odasında açık sistemler için termodinamiğin birinci kanunu

uygulanmakta ve ısı dağılımı Eş. 4.8 ile hesaplanabilmektedir (Heywood 1988, Can 2012, Uyumaz 2014, Calam 2018, Opuz 2022).

$$\frac{dQ_{gr}}{d\theta} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{heat}}{d\theta} \quad (4.8)$$

Eş. 4.8’de;

$\frac{dQ_{gr}}{d\theta}$	toplam ısı dağılımını, (J)
$\frac{dQ_{heat}}{d\theta}$	silindir cidarlarına transfer edilen ısıyı (J)
P	ölçülen silindir basıncını, (Pa)
V	silindir hacmini, (m^3)
$\frac{dV}{d\theta}$	silindir hacminin krank mili açısına göre türevini, ($m^3 / ^\circ KA$)
$\frac{dP}{d\theta}$	silindir basıncının krank mili açısına göre türevini ($Pa / ^\circ KA$)

ifade etmektedir.

Yanma süresince oluşan ısı kayıpları, yanma odasına verilen enerjinin yaklaşık olarak %10-15’ini oluşturmakta ve net işin azalmasına sebep olmaktadır. Eş. 4.9 yardımı ile taşınım ile ısı transfer oranı belirlenmektedir (Stone 1999, Can 2012, Uyumaz 2014, Calam 2018).

$$\frac{dQ_{heat}}{d\theta} = A_2 h_c (T_g - T_w) \quad (W / ^\circ KA) \quad (4.9)$$

Eş. 4.10 yardımı ile vuruş yoğunluğu hesaplanabilmektedir.

$$RI = \frac{1}{2\gamma} \frac{\left(\beta \left(\frac{dP}{dt}\right)_{\max}\right)^2}{P_{\max}} \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T_{\max}} \quad (4.10)$$

Eş. 4.10'da maksimum basınç artış oranı, maksimum sıcaklık, maksimum basınç ve politropik indeksi sırası ile $\left(\frac{dP}{dt}\right)_{\max}$, $T_{\max}$, $P_{\max}$ ve γ ile ifade edilmektedir (Stone 1999, Ansari vd. 2016, Poorghasemi vd. 2017, Opuz 2022).

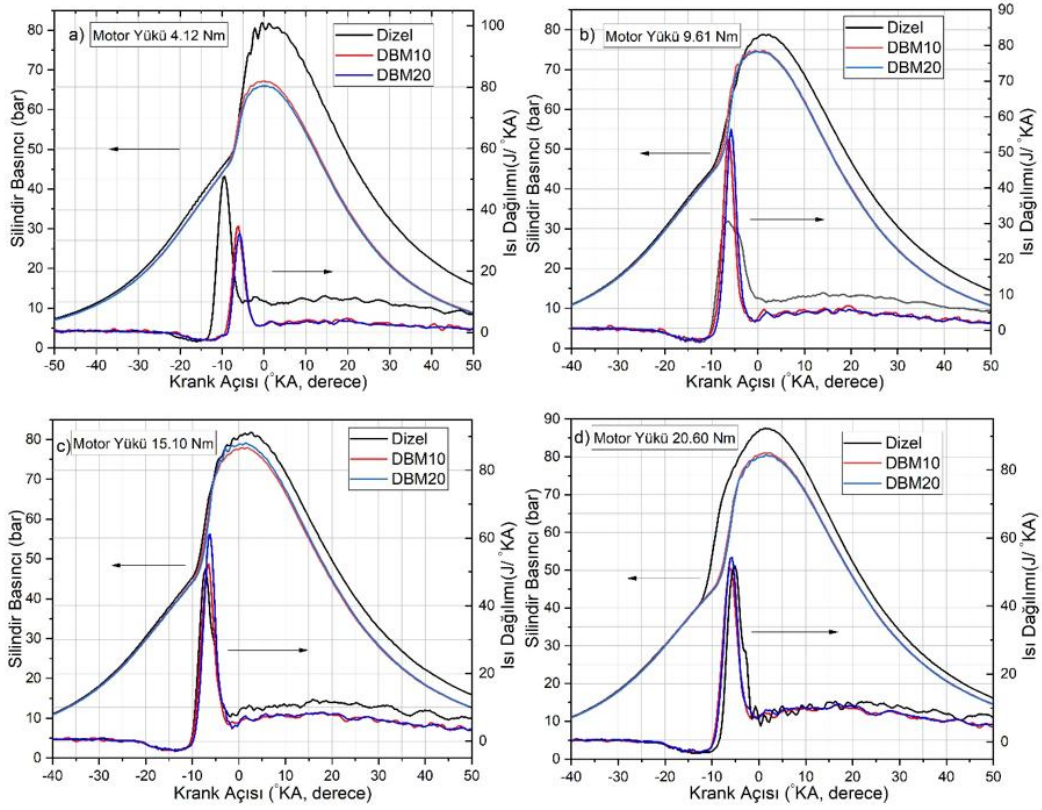
Yanma verimi, yanma başlangıcı ve yanma bitişi arasında ortaya çıkan toplam enerjinin silindir içerisine verilen toplam enerjiye oranı olarak ifade edilmektedir. Yanma verimi Eş. 4.11 kullanılarak hesaplanabilmektedir (Can 2012, Uyumaz 2014, Calam 2018, Opuz 2022).

$$\eta_{yanma} = \frac{\int_{ty_{bas}}^{ty_{son}} \frac{dQ_{gr}}{d\theta} d\theta}{m_f Q_{LHV}} \quad (4.11)$$

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

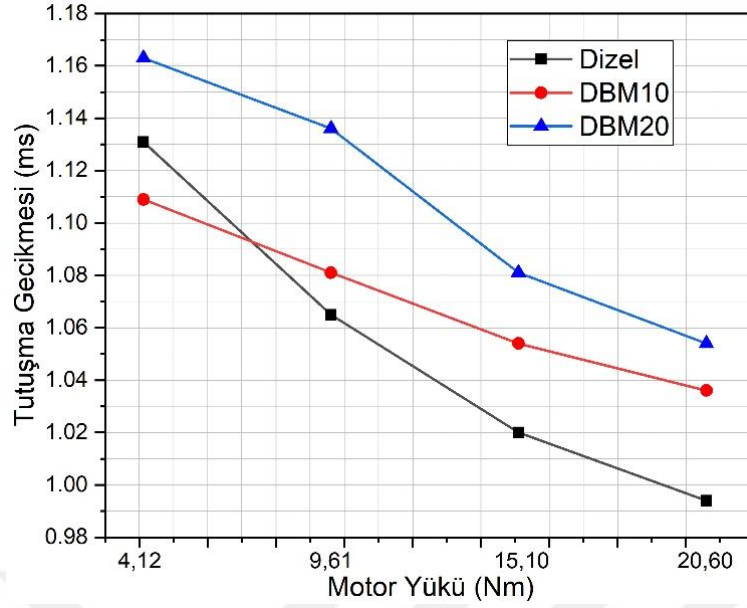
Şıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yanma sürecini iyileştirmek için başvuru olan yöntemlerden biri yakıt içerisinde oksijen içeriği yüksek katkıları ilave etmektir. Oksijen içeriği yüksek yakıt katkıları ile hem oksidasyon oranı artırılabilenkte hem de egzoz emisyonları azaltılabilmektedir. Dibütil maleat organik bir bileşiktir ve dizele yakıt katkısı olarak kullanılabilmektedir (Bhakta vd. 2014, Ball vd.2005, Layton ve Marchetti 2002, Sevinc ve Hazar 2020, Donkerbroek vd. 2011, Singh vd. 2013).

Şekil 5.1’de dizele farklı oranlarda dibütil maleat katkısının silindir içi basıncı ve ısı dağılımı üzerindeki etkileri görölmektedir. Tüm test yakıtları incelendiğinde dibütil maleat katkısı ile maksimum silindir basıncının azaldığı görölmektedir. Yüksek motor yüklerinde (15,10 ve 20,60 Nm) yakıt karışımlarının dizel yakıtına yakın ısı dağılımı verdiği görölmektedir. Dibütil maleat katkısının ısı değeri dizel yakıtına göre düşük olmasına bağılı olarak açığa çıkan ısı miktarı azalmaktadır. Yüksek motor yüklerinde DBM10 ve DBM20 test yakıtları ile dizel yakıtına benzer ısı dağılımları elde edilmektedir. Özellikle yüksek yüklerde daha fazla karışımın yanmasına bağılı olarak yanma odasında sıcaklık artmaktadır. Bu durumda oksijen içeriği yüksek dibütil maleat yakıt katkısı oksidasyon reaksiyonlarını hızlandırmaktadır. Sonuçta ısı dağılımı dizel yakıtına yakın elde edilmektedir.



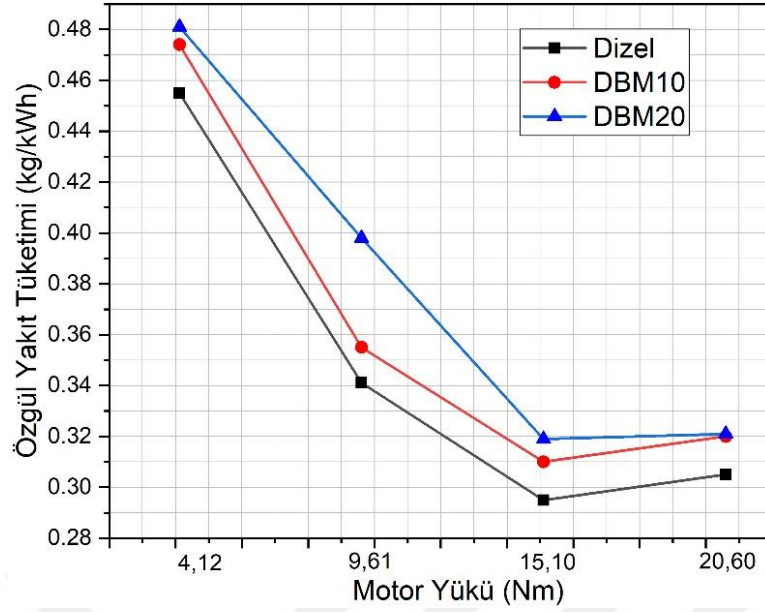
Şekil 5.1 Dibütil maleatin silindir basıncı ve ısı dağılımı üzerindeki etkileri.

Şekil 5.2’de motor yüküne bağlı tutuşma gecikmesi süresinin değişimi görülmektedir. Motor yükü arttıkça tutuşma gecikmesi süresi kısalmaktadır. Silindirde motor yükünün artışına bağlı olarak daha fazla miktarda karışım tutuşmaktadır. Bu durum yanma sürecinde daha fazla ısının açığa çıkmasına neden olmaktadır. İlk alev çekirdeğinin oluşumu için gerekli termodinamik şartlar daha kolay sağlanabilmektedir. Daha sıcak ve tutuşmaya elverişli yanma odasında yakıt karışımının buharlaşması ve tutuşmaya başlaması daha erken gerçekleşebilmektedir. Dibütil maleatin ısı değeri ve setan sayısının dizele göre düşük olması tutuşma gecikmesi süresinin uzamasına neden olmaktadır. En kısa tutuşma gecikmesi süresi 20,60 Nm motor yükünde dizel yakıtı ile belirlenmiştir.



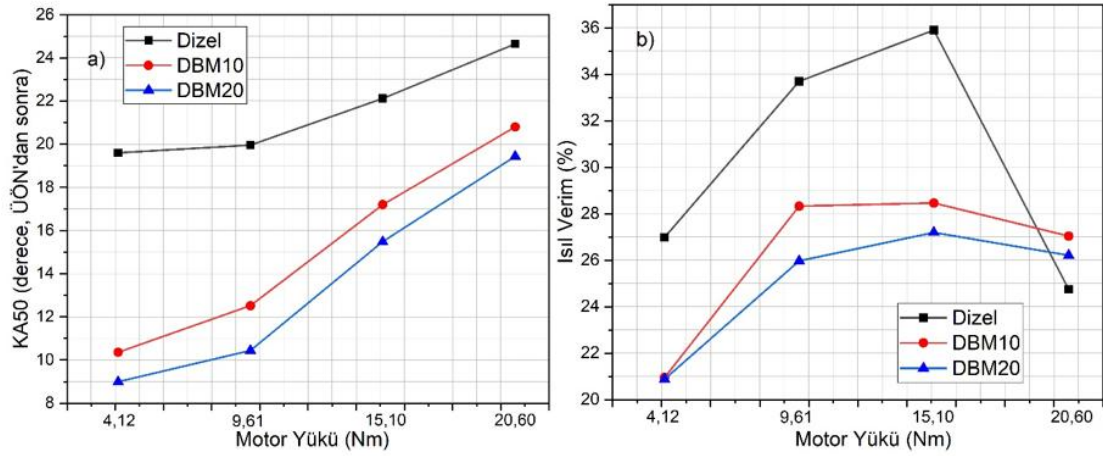
Şekil 5.2 Tutuşma gecikmesi.

Motor yükü arttıkça yanma odası sıcaklığı artmakta, yakıt ile elde edilen ısı enerjisi artmaktadır. Düşük motor yüklerinde silindir sıcaklığı kısmen düşük kalmakta, kimyasal oksidasyon reaksiyonları yavaşlamaktadır. Birim güç başına tüketilen yakıt miktarı artmaktadır. Motor yükü arttıkça ısı kayıpları azalmakta, silindir ortalama sıcaklığı yükselmektedir. Aynı zamanda kurs başına gaz kaçakları da azalmaktadır. Yakıt ile elde edilen ısı enerjisi artış göstermekte, yük artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Yüksek motor yüklerinde ise sürtünme ve akış kayıpları artmakta, mekanik verim azalmaktadır. Silindire alınan yakıt konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak oksidasyon oranı azalmakta, tüketilen yakıt miktarı yeniden artma eğilimine girmektedir. Dibütil maleat yakıtının düşük ısı enerjisi nedeni ile birim güç başına tüketilen yakıt miktarı artmaktadır. Minimum özgül yakıt tüketimi 15,10 Nm motor yükünde hesaplanmıştır. Özgül yakıt tüketimi 15,10 Nm motor yükünde dizel yakıtına göre DBM10 ve DBM20 yakıtları ile sırasıyla %5,08 ve %8,13 artmıştır.



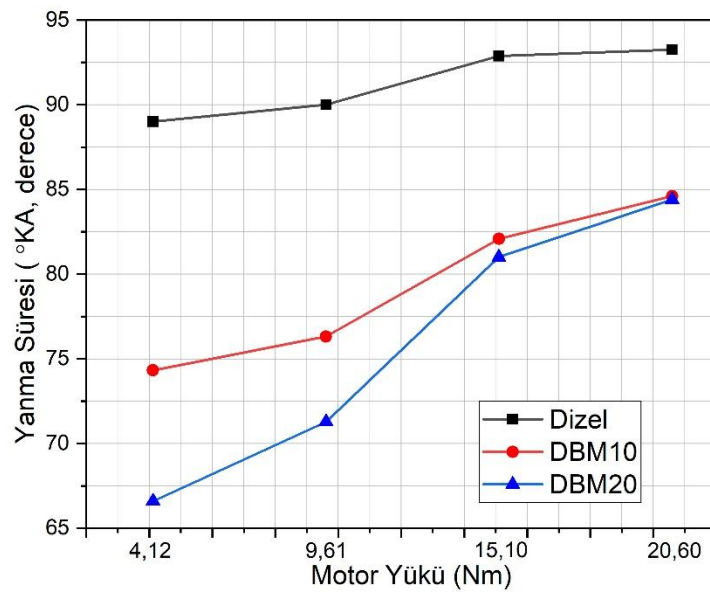
Şekil 5.3 Özgöl yakıt tüketimi.

Yanma karakteristikleri arasında önemli bir parametre olan KA50 yakıt karışımının yarısının yanmasını tamamladığı krank açısını ifade etmektedir. KA50 ve ısı verim arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Yüksek ısı verim için KA50 ÜÖN'dan hemen sonra olmalıdır (Heywood 1988, Stone 1999, Eng 2002, Zhao 2007). Şekil 5.4-a motor yüküne bağlı KA50 değişimini göstermektedir. KA50 değeri dizel yakıtı ile uzamaktadır. Dibütil maleat katkısının içerdiği oksijen KA50 değerinin avansa alınmasını sağlamaktadır. Minimum KA50 DBM20 yakıtı ile tespit edilmiştir. Şekil 5.4-b motor yüküne bağlı ısı verim değişimini göstermektedir. Maksimum ısı verim 15,10 Nm motor yükünde %35,91 olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtının yüksek ısı enerjisi ve setan sayısına bağlı olarak yakıt ile elde edilen enerjinin net işe dönüşümü artış göstermektedir. Karışım yakıtlardaki dibütil maleat katkısı arttıkça ısı verim azalmaktadır.



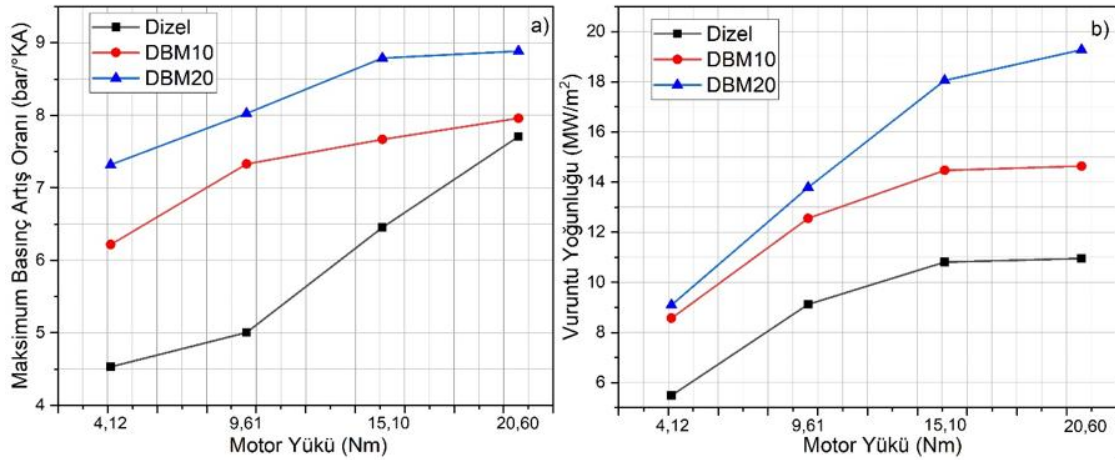
Şekil 5.4 KA50 ve ısı verim değişimi.

Şekil 5.5 yanma süresinin değişimini göstermektedir. Motor yükü arttıkça yanmayı bekleyen karışım miktarı artmakta, yanma süresi uzamaktadır. Şekil 5.5’de görüldüğü gibi dibütil maleat yakıt katkısı ile yanma süresinin kısaldığı görülmektedir. Dibütil maleat katkısı ile karışımın oksijen içeriği artmakta, yanma reaksiyonları hızlanmaktadır. Sonuçta yanma süresi kısalmaktadır. Yüksek motor yüklerinde yakıt konsantrasyonu artmakta, yanma odasında kısmen oksijen yetersizliği görülmektedir. Sonuçta kimyasal oksidasyon reaksiyonları yavaşlamaktadır. Bu durum yanmanın tamamlanmasını geciktirmektedir. Maksimum yanma süresi dizel yakıtı ile 20,60 Nm motor yükünde belirlenmiştir.



Şekil 5.5 Yanma süresi.

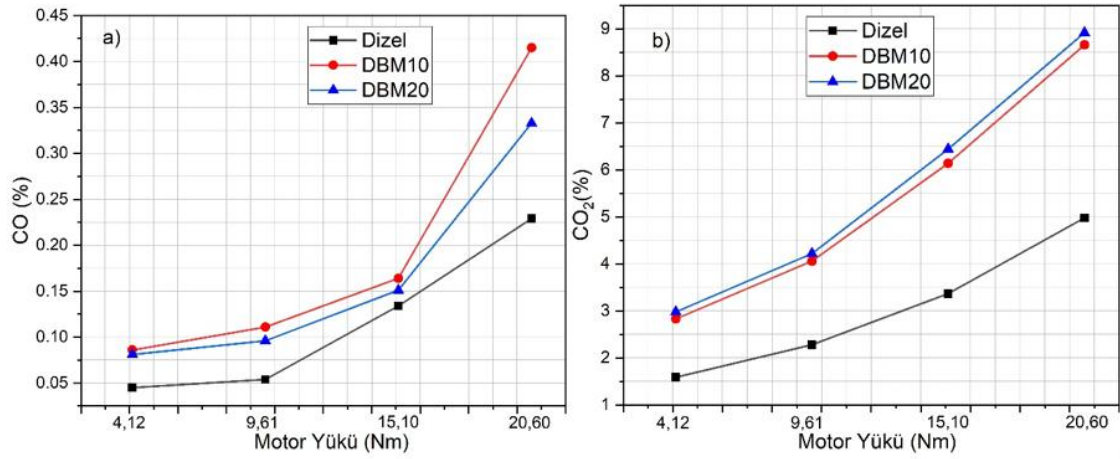
Motorun kararlı ve sağlıklı çalışma sınırları içerisinde çalışmasını ifade eden bir diğer parametre basınç artış oranıdır. Krank açısına bağlı pistonu uygulanan basınç arttığında motor parçalarına gelen yük artmakta, motorun çalışma ömrü kısalmaktadır. Şekil 5.6-a motor yüküne bağlı maksimum basınç artış oranını göstermektedir. Yük arttıkça yanmaya iştirak eden karışım kütlesi artmakta, basınç artış oranı yükselmektedir. Dibütil maleat katkısı ile maksimum basınç artış oranının arttığı görülmektedir. Dibütil maleatin yüksek oksijen içeriği yanma oranını ve basınç artış oranını arttırmaktadır. Genişleme zamanında alev gelişimi sonrası oksidasyon reaksiyonları iyileşmekte, basınç artış oranı artmaktadır. Şekil 5.6-b benzer şekilde vuruntu yoğunluğu değişimini göstermektedir. Vuruntu yoğunluğu maksimum basınç artış oranı ve motor devrinden etkilenmektedir (Zhao 2007, Stone 1999, Eng 2002). Şekil 5.6-b’de görüldüğü gibi karışım yakıtlardaki dibütil maleat katkısı arttıkça vuruntu yoğunluğu artmaktadır. Yakıt molekülleri dibütil maleat ile yeterli oksijeni bulabilmekte ve yanma reaksiyonları iyileşmektedir.



Şekil 5.6 Maksimum basınç artış oranı ve vuruntu yoğunluğu değişimi.

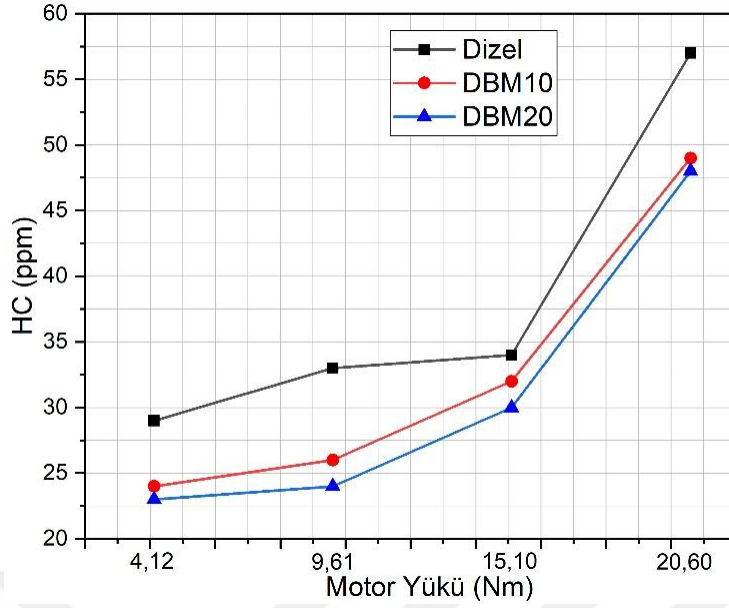
CO yanma esnasında yetersiz oksijen konsantrasyonu ve sıcaklığa bağlı olarak meydana gelmektedir. CO yanmanın tamamlanamamasına bağlı olarak oluşan eksik yanma ürünüdür. Şekil 5.7-a ve Şekil 5.7-b’de sırası ile motor yüküne bağlı olarak CO ve CO₂ emisyonlarının değişimini göstermektedir. Düşük motor yüklerinde kısmen düşük olan yakıt molekülleri ile yeterli miktarda oksijen molekülü reaksiyona girebilme, CO oluşumu zayıflamaktadır. Ancak motor yükü arttıkça yanma odasındaki yakıt miktarı

artmakta, yakıt moleküllerinin tam yanması için gerekli oksijen konsantrasyonu azalmaktadır. Sonuçta eksik yanma görülmekte, CO oluşmaktadır. Yanma aşamasında yeterli oksijen ve sıcaklık ile yakıt molekülleri yanmasını tamamlayarak CO₂ oluşumu görülmektedir. Dibütil maleatin yüksek oksijen içeriği yakıt moleküllerinin ihtiyaç duyduğu oksijeni sağlayabilmektedir. Dibütil maleat ile eksik yanma ihtimali azalmakta, CO₂ oluşumu hızlanmaktadır.



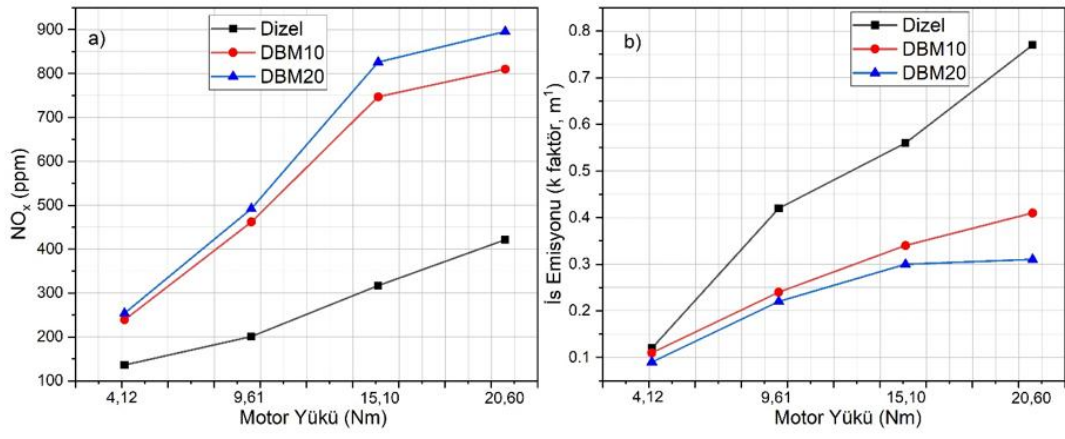
Şekil 5.7 CO ve CO₂ emisyonları.

HC yanma odasında yanmasını tamamlayamamış çiğ yakıttır. Karışımın homojen olmaması, alev cephesinin yanma odasında ilerlerken soğuk silindir cidarlarına ulaştığında sönmesi en önemli oluşum nedenleri arasındadır. Şekil 5.8 motor yüküne bağlı HC değişimini göstermektedir. Motor yükü arttıkça HC emisyonlarının tüm test yakıtları için arttığı görülmektedir. Yükün artması ile yanma odasındaki yakıt molekülleri konsantrasyonu artmaktadır. Özellikle karışımın heterojen olduğu lokal zengin karışım bölgelerinde, piston ve segman köşelerinde oksidasyon reaksiyonları zayıflamaktadır. Sonuçta HC oluşumu artmaktadır. Dizele dibütil maleat katkısı ile HC oluşumu azalmaktadır. Dibütil maleat katkısının yüksek oksijen içeriği oksidasyon oranını arttırmakta, HC oluşumu engellenebilmektedir. Karışım yakıtta dibütil maleat oranı arttıkça HC azalmaktadır. DBM10 ve DBM20 yakıtları ile dizele göre HC emisyonları 20,60 Nm motor yükünde %14,03 ve %15,78 azalmıştır.



Şekil 5.8 HC emisyonu.

Dizel motorlardan kaynaklanan en önemli egzoz emisyonlarından biri NO_x emisyonlarıdır. Yüksek yanma gaz sıcaklıklarında azot ve oksijen molekülleri reaksiyona girerek NO_x emisyonlarının oluşmasına neden olur. Şekil 5.9-a motor yüküne bağlı NO_x değişimini göstermektedir. Motor yükü arttıkça daha fazla miktarda yanmaya iştirak eden karışım ile yanma sonu gaz sıcaklığı artmaktadır. Bunun yanında dibütil maleat katkısı sağladığı oksijen içeriği ile yanma reaksiyonlarının hızlanmasına neden olmakta, NO_x oluşumu artmaktadır. Maksimum NO_x 20.60 Nm motor yükünde DBM20 yakıtı ile ölçülmüştür. Is emisyonları özellikle zengin karışım bölgelerinde meydana gelen bir egzoz emisyon türüdür. Dizel yakıt içerisindeki sülfür is emisyonlarının oluşumuna neden olabilmektedir. Şekil 5.9-b motor yüküne bağlı is emisyonlarının değişimini göstermektedir. Motor yükü arttıkça is emisyonlarının oluşumu artmaktadır. Yüksek motor yüklerinde yanma odasındaki yakıt konsantrasyonu ve lokal zengin karışım bölgelerinin oluşma ihtimali artmaktadır. Bu durum yakıt ile oksijen moleküllerini homojen karışımını engelleyebilmekte, is oluşumunun artmasına neden olmaktadır. Dibütil maleat katkısı arttıkça is emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Minimum is emisyonları 4,12 Nm motor yükünde ölçülmüştür. 20,60 Nm motor yükünde dizele göre DBM10 ve DBM20 yakıtları ile sırasıyla is emisyonlarının %46,75 ve %59,74 azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.9 NO_x ve is emisyonu değişimi.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde enerji toplumlar için önemli bir gereksinimdir. Enerji talepleri nüfusun artması ve sanayileşmeye bağlı olarak artış göstermektedir. Enerji ihtiyacı birincil (kömür, doğalgaz, biyokütle, güneş, rüzgar, petrol vb.) ve ikincil (benzin, motorin, elektrik, fuel oil ve sıvılaştırılmış petrol gazı vb.) enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Dünyada enerji miktarının bir bölümü karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu olmak üzere ulaştırma sektörlerinde harcanmaktadır. Ulaştırma sektöründe ise yaygın olarak sıkıştırma ve buji ile ateşlemeli motorlar kullanılmaktadır.

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar düşük kullanım maliyetleri, dayanıklılığı ve yüksek verimi nedeniyle tercih edilmektedir. Partikül madde (PM), azotoksitler (NO_x), hidrokarbonlar (HC), karbonmonoksit (CO) sıkıştırma ile ateşlemeli motorlardan kaynaklanan emisyonlardır. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda dizel yakıtı içerisine çeşitli katkı maddeleri ilave edilerek egzoz emisyonlarının azaltılması ve yanma verimini artırılması sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada, dizel yakıtı içerisine yüksek oksijen içeriğine sahip dibütil maleat ilave edilerek oksidasyon oranının artırılması ve egzoz emisyonları azaltılması amaçlanmıştır. Dizel yakıtını içerisine %10 oranında dibütil maleat (DBM10) ve % 20 oranında dibütil maleat (DBM20) ilavesinin motor performans, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonlarına etkisi detaylı bir şekilde incelenmiş ve aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Yüksek oksijen içeriği ve düşük ısı değerine sahip dibütil maleatin dizel yakıtı içerisine ilavesi ile silindir içi basınç değerlerinin dizel yakıtına göre belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Düşük motor yüklerinde ısı dağılımı dizel yakıtına göre daha az elde edilirken, motor yükünün artması ile dizel yakıtına benzer ısı dağılımı verileri gözlenmiştir.
- Düşük motor yüklerinde tutuşma süresi uzun iken, motor yükünün artmasına bağlı olarak tutuşma gecikmesi süresi azalmaktadır. En düşük tutuşma

gecikmesi süresi dizel yakıtı ile 20,60 Nm motor yükünde elde edilmiştir. Dizel yakıtı içerisine dibütil maleat ilavesi ile tutuşma geçikme süresi artmaktadır. Tutuşma geçikmesi süresinin artmasına dibütil maleatın ısıl değerinin ve setan sayısının dizel yakıtına göre oldukça düşük olması sebep olmaktadır.

- Maksimum özgül yakıt tüketimleri 4,12 Nm motor yükünde elde edilmiştir. Motor yükünün artması ile silindir içerisindeki ortalama gaz sıcaklığının artması, ısı kayıplarının ve kurs başına gaz kaçaklarının azalması nedeniyle özgül yakıt tüketimleri 15,10 Nm motor yüküne kadar azalmaktadır. 15,10 Nm motor yükünde özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre DBM10 ve DBM20 yakıtları ile sırasıyla %5,08 ve %8,13 artmıştır. Bu motor yükünden sonra oksidasyon oranının azalması, sürtünme ve akış kayıplarının artması nedeniyle özgül yakıt tüketimi artış göstermektedir.
- Minimum KA50 değeri 4,12 Nm motor yükünde DBM20 yakıtı ile elde edilirken, maksimum ısı verim 15,10 Nm motor yükünde dizel yakıtı ile elde edilmiştir.
- Tüm yakıtlar için düşük motor yüklerinde yanma süresi düşük iken, motor yükünün artmasına bağlı olarak karışım miktarının artması ile yanma süresi uzamaktadır. Dibütil maleatın yüksek oksijen içeriğinin yanma reaksiyonları hızlandırması nedeniyle dizel yakıtı içerisine ilave edilen katkı miktarının artması ile yanma süresi kısalmaktadır.
- Dizel yakıtı içerisine dibütil maleat ilave edilmesi ile maksimum basınç artış oranı ve vuruntu yoğunluğu artmaktadır.
- Tüm test yakıtları için minimum CO emisyonu 4,12 Nm motor yükünde elde edilmiştir. Motor yükünün artmasına bağlı olarak yanma odası içerisindeki yakıt miktarı artmakta ve oksijen konsantrasyonu azalmaktadır. Buna bağlı olarak eksik yanma ürünü olan CO emisyonu miktarı artmaktadır.
- Tüm test yakıtları için minimum HC emisyonu 4,12 Nm motor yükünde elde

edilmiştir. Motor yükünün artmasına bağlı olarak HC emisyonları artış göstermektedir. Dizel yakıtı içerisinde dibütil maleat oranının artması ile HC emisyonu tüm motor yüklerinde azalmaktadır. 20,60 Nm motor yükünde DBM10 ve DBM20 yakıtları ile dizel yakıtına göre HC emisyonlarının sırası ile %14,03 ve %15,78 azaldığı gözlenmiştir.

- Tüm test yakıtları için minimum NO_x emisyonu emisyonu 4,12 Nm motor yükünde elde edilmiştir. Dizel yakıtı içerisindeki dibütil maleat oranının artması ile NO_x oluşumu artmaktadır.
- Minimum is emisyonları tüm yakıtlar için 4,12 Nm motor yükünde elde edilmiştir. Motor yükünün artması ile yanma odasındaki yakıt miktarı ve lokal zengin karışım bölgelerinin oluşması nedeniyle is emisyonları artmaktadır. 20,60 Nm motor yükünde dizel yakıtına göre DBM10 ve DBM20 yakıtları ile sırasıyla is emisyonlarının %46,75 ve %59,74 azaldığı görülmektedir.

Sonuç olarak, dibütil maleatin dizel yakıtına ilavesi ile yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonları açısından iyileşmeler elde edilmiştir. Yüksek oksijen içeriğine sahip farklı yakıt katkılarının sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanımı ile ilgili farklı araştırmalar gerçekleştirilebilir.

7. KAYNAKLAR

- Altın R, Çetinkaya S, Yücesu H S, 2001, The Potential of Using Vegetable Oil Fuels As Fuel For Diesel Engines, *Energy Conversion and Management*, 42, 529-538.
- Alptekin E, 2017, Emission, Injection And Combustion Characteristics Of Biodiesel And Oxygenated Fuel Blends In A Common Rail Diesel Engine, *Energy* 119, 44-52.
- Ansari E, Poorghasemi K, Khoshbakht Irdmoussa B, Shahbakhti M and Naber J, 2016, Efficiency and Emissions Mapping of a Light Duty Diesel-Natural Gas Engine Operating in Conventional Diesel and RCCI Modes, *SAE Technical Paper*, 01-2309.
- Aydın H, 2011, Atık taşıt lastiklerinden yakıt üretimi ve dizel motorlarında kullanımının araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Ayhan V, 2009, Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun NO_x ve İş Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması, Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 173s, Sakarya.
- Ball, J, Wolf, L R, Yost, D M, Schulman, M E, Frame, E A,Wallace, J P,Kenney, T E, Hilden, D E, Natarajan, M, Johnson, T V, Wright, K J, Eng, K, Gonzalez D M A, Emissions of Toxicologically Relevant Compounds Using Dibutyl Maleate and Tripropylene Glycol Monomethyl Ether Diesel Fuel Additives to Lower NO_x Emissions, *SAE Transactions*, 2005-01-0475.
- Batır T, 2019, Ulaştırma Sektöründe Akıllı Ulaştırma Sistemlerinin Etkinliğini Arttırmaya Yönelik Bir Model Önerisi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bayık M, Çelik M B, 2012, Dizel Yakıtına İzobütanol İlavesinin Performans ve Emisyonlara Etkisi, *Electron. J. Veh. Technol.*, 4, 25–36.
- Bhakta, M, Pandya, M, Patel, H M, Patel, T M, Rathod, G P, Performance & Emission Studies of Diesel Engine Using Blends of Diesel, Tyre Pyrolysis Oil & Dibutyl Maleate, *International Journal for Scientific Research & Development*, 2, 03, 1390-1394, 2014.

- Calam A, 2018, Homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI) bir motorda sıkıştırma oranının yanma ve performansa etkilerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 148s, Ankara.
- Can Ö, 2012, Bir DI Dizel Motorda Etanol Ön Karışımli Kısmi-HCCI Uygulamasının Yanma ve Emisyonlar Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 207s, Ankara.
- Çelik M, 2015, Biyodizel yakıt özelliklerinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 205s, Ankara.
- Demirkesen C, 2018, Dizel İçten Yanmalı Motorlarda Silindir İçerisindeki Hava Hareketlerinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Doğan O, 2011, The İnfluence Of N-Butanol/Diesel Fuel Blends Utilization On A Small Diesel Engine Performance And Emissions, Fuel, 90, 2467–2472.
- Doğan O, 2012, Atık Taşıt Lastiğinden Üretilen Pirolitik Yakıtın Bir Dizel Motorda Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması, Karabük Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 177s, Karabük.
- Doğanay N, 2019, Alkol katkılı aspir yağı biyodizelinin bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, Elazığ.
- Donkerbroek, A J, Boot, M D, Luijten, C C M, Dam, N J, ter Meulen, J J, 2011, Flame lift-off length and soot production of oxygenated fuels in relation with ignition delay in a DI heavy-duty diesel engine, Combustion and Flame, 158, 525–538.
- Elkelawy M, Kabeel A E, El Shenawy E A, Panchal H, Elbanna A, Bastawissi H A E, Sadasivuni K K, 2020, Experimental Investigation On The Influences Of Acetone Organic Compound Additives Into The Diesel/Biodiesel Mixture In CI Engine, Sustainable Energy Technologies And Assessment 37, 100614.
- Eng J A. Characterization of pressurewaves in HCCI combustion, SAE Paper 2002–01-

2859.

- Ergen G, 2006, Ön Isıtma Uygulanarak Kullanılan Biyodizel Yakıtının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Sakarya.
- Eroğlu A, 2019, Malatya'daki Atık Plastiklerden Piroliz Yöntemiyle Alternatif Yakıt Üretilmesi ve İçten Yanmalı Bir Motorda Yakıt Olarak Kullanılması, İnönü Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Malatya.
- Fan C, Guan Z, Wei, J, Pan M, Huang H, Wei M, 2022, An Assessment of Soot Chemical Property From A Modern Diesel Engine Fueled With Dimethyl Carbonate-Diesel Blends, Fuel, 309, 122220.
- Gümüş M, 2005, Dizel Motorlarında Tutuşma Gecikmesinin Silindir Basınç Seviyesine Etkisi, Marmara Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Hazar H, Öner C, 2004, Dizel ve Benzin Motorlarında Vuruntu Ve Etkileri, Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi, 3, 169-172.
- Heywood J B, 1988, Internal Combustion Engines Fundamentals, McGraw-Hill Education, NewYork
- Ibrahim A, 2016, Investigating The Effect Of Using Diethyl Ether As A Fuel Additive On Diesel Engine Performance And Combustion, Applied Therman Engineering 107, 853-862.
- Keskin A, Sağiroğlu S, 2010, Dizel Motorlardan Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Kontrol Yöntemleri, Mühendis ve Makine, 51, 1-9.
- Kocabaş Ç, 2007, Dizel Motorlarda Yanma Süreci Boyunca Azot Oksit Oluşumu ve Yanmış Ürünlerin Denge Konsantrasyonlarının Matematik Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Koç E, Kaya K, 2015, Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu, Mühendis ve Makine, 56, 36-47.
- Layton, D W, Marchetti, A A, 2002, Comparative Environmental Performance of Two DieselFuel Oxygenates: Dibutyl Maleate (DBM) and Tripropylene Glycol

- Monomethyl Ether (TGME), Society of Automotive Engineers, 02FCC-76 Draft.
- Martyr A J, Plint M A, 2007, Engine Testing, Theory and Practice, SAE International and Elsevier, 468p, Warrendale-Pittsburgh.
- Mehta B, Subhedar D, Patel G, Patel R. Swarnkar A, 2022, Effect Of Ethylene Glycol Monoacetate As An Oxygenated Fuel Additive On Emission And Performance Characteristics Of Diesel Engine Fueled With Diesel-Cottonseed Biodiesel, Materials Today: Proceedings, 49, 2066-2072.
- Opuz M, 2022, Biyodizel içerisinde metalik esaslı yakıt katkı maddesi ilavesinin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56s, Afyonkarahisar.
- Pan M, Qian W, Zheng Z, Huang R, Zhou X, Huang H, Li M, 2019, The Potential Of Dimethyl Carbonate (DMC) As An Alternative Fuel For Compression Ignition Engines With Different EGR Rates, Fuel, 257, 115920.
- Polat S, 2015, HCCI Bir Motorda Çalışma Parametrelerinin Yanmaya Etkilerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Poorghasemi K, Saray R K, Ansari E, Irdmoussa B K, Shahbakhti M and Naber J D, 2017, Effect of Diesel Injection Strategies on Natural Gas/Diesel RCCI Combustion Characteristics in a Light Duty Diesel Engine, Applied Energy, 199, 430-446.
- Qian W, Huang H, Pan M, Huang R, Tong C, Guo X, Yin J, 2020, Effects of 2-ethylhexyl nitrate and post-injection strategy on combustion and emission characteristics in a dimethyl carbonate/diesel blending engine, Fuel, 263, 116687.
- Razzaq L, Mujtaba M A, Soudagar M E M, Ahmed W, Fayaz H, Bashir S, Rizwanul Fattah I M, Ong H C, Shahapurkarf K, Afzal A, Wageh S, Al-Ghamdi A, Shujaat Ali M. , EL-Seesy A I, 2021, Engine Performance and Emission Characteristics of Palm Biodiesel Blends With Graphene Oxide Nanoplatelets and Dimethyl Carbonate Additives, Journal of Environmental Management 282, 111917.

- Razzaq L, Mujtaba M A, Shahbaz M A, Nawaz S, Khan H M, Hussain A, Ishtiaq U, Kalam M A, Soudagar M E M, Ismail K A, Elfakhany A, Rizwan H M, 2022, Effect of Biodiesel-Dimethyl Carbonate Blends on Engine Performance, Combustion and Emission Characteristics, Alexandria Engineering Journal, 61, 5111-5121.
- Sathiyagnanam, A P, Saravanan, C G, 2008, Effects of diesel particulate trap and addition of di-methoxy-methane, di-methoxy-propane to diesel on emission characteristics of a diesel engine, Fuel 87, 2281-2285.
- Sevinç H, 2018, Piston ve Supapları Cr_2O_3 Kaplanmış ve Farklı Yakıt Katkıları Kullanılan Bir Dizel Motorda Performans ve Emisyon Değerlerinin Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 359s, Elazığ.
- Sevinc H, Hazar H, 2020, Investigation Of Performance And Exhaust Emissions Of A Chromium Oxide Coated Diesel Engine Fueled With Dibutyl Maleate Mixtures By Experimental And ANN Technique, Fuel 278, 118338.
- Singh, S, Kumar, A, Mahla, S K, Bath, G S, 2013, Experimental Study on Emission Analysis of Oxygenated Fuels Dimethyl Carbonate (DMC) and Dibutyl Maleate (DBM) in a CI Engine, International Journal of Research in Engineering and Technology, 2, 158-162.
- Stone R, 1999, Introduction to Internal Combustion Engines, The Macmillan Press Ltd., 569p, London.
- Türkcan A, Çanakçı M, Özsezen A N, Sayın C, 2009, Bir Dizel Motorda Yanma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21 , 1-10.
- Uyumaz A, 2014, Homojen Dolgulu Sıkıştırma ile Ateşlemeli Bir Benzin Motorunda Supap Kalkma Miktarının Yanma ve Performansa Etkilerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 219s, Doktora Tezi, Ankara.
- Wang Q, Ni J, Huang R, 2022, The Potential of Oxygenated Fuels (N-Octanol, Methylal, and Dimethyl Carbonate) As An Alternative Fuel For Compression Ignition Engines with Different Load Conditions, Fuel, 309, 122129,

Yang J, Jiang Y, Karavalakis G, Johnson K.C, Kumar S, Cocker III D R, Durbin T D, 2016, Impacts Of Dimethyl Carbonate Blends On Gaseous And Particulate Emissions From A Heavy-Duty Diesel Engine, Fuel 184, 681-688.

Yeşilyurt M K, 2017, Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarına Farklı Alkol İlavelerinin Dizel Motorlarda Performans, Yanma ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi, Bozok Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Yozgat.

Zhao, H, 2007, HCCI and CAI Engines for the Automotive Industry, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK.

