



**T.C.**

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR DİZEL MOTORDA BİYODİZEL VE METALİK  
KATKILI DİZEL YAKIT KULLANIMINDA NO<sub>x</sub>  
VE DUMAN EMİSYONLARINDAKİ DEĞİŞİMİN  
İNCELENMESİ**

**Zülal ARCA BATI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mayıs-2017  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Zülal ARCA BATI tarafından hazırlanan “Bir Dizel Motorda Biyodizel ve Metalik Katkılı Dizel Yakıt Kullanımında NO<sub>x</sub> ve Duman Emisyonlarındaki Değişimin İncelenmesi” adlı tez çalışması 26/05/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. Hasan BAYINDIR

#### Danışman

Doç. Dr. Şehmus ALTUN

#### Üye

Yrd. Doç. Dr. Selman AYDIN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

  
Doç. Dr. Bahattin İŞCAN  
EBE Müdürü



## TEZ BİLDİRİMİ

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

## DECLARATION PAGE

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



Zülal ARCA BATI

Tarih: 22.06.2017

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# BİR DİZEL MOTORDA BİYODİZEL VE METALİK KATKILI DİZEL YAKIT KULLANIMINDA NO<sub>x</sub> VE DUMAN EMİSYONLARINDAKİ DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ

Zülal ARCA BATI

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şehmus ALTUN

2017, 65 Sayfa

#### Jüri

Doç. Dr. Hasan BAYINDIR  
Doç. Dr. Şehmus ALTUN  
Yrd. Doç. Dr. Selman AYDIN

Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak biyodizel kullanımı ile eksik yanma ürünü egzoz emisyonlarında önemli bir düşüş olurken; NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise genellikle petrol kökenli dizel kullanımına göre bir artış olmaktadır. Biyodizel yakıtların moleküler oksijen içeriğinden dolayı yanma sırasında is oluşumunun azaldığı bilinmektedir. Bu durum yanma odasında radyasyon ile ısı transferini dolayısıyla ortalama alev sıcaklığını etkilediğinden; biyodizel kullanımı durumunda yanma odası sıcaklığına önemli bir derecede bağlı olan NO oluşumu, is oluşumundan dolayı olarak etkilenmektedir.

Bu çalışmada petrol kökenli dizel kullanılan bir dizel motorunda biyodizel kullanımı ile aynı işletme şartlarında benzer is oluşumu elde edilerek; NO emisyonlarındaki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla is oluşumunu azaltmak için yaygın olarak kullanılan petrol kökenli dizel yakıtlara metalik katkı maddesi katılması yöntemi ile is emisyonları biyodizel ile elde edilen oranlara düşürülmüştür. Çalışmada metalik baryumdan katkı maddesi sentezi gerçekleştirilmiş ve sentezlenen katkı maddesi hacimsel olarak % 0,25, % 0,50 ve %1 oranlarında petrol kökenli dizel yakıtına ilave edilmiştir. Katkı maddesi eklenmiş petrol kökenli dizel, petrol kökenli dizel ve soya yağı esaslı biyodizel üç silindri ve direk püskürtmeli bir dizel motorunda sabit devir ve değişik yük şartlarında test edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda; katkı ilaveli test yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri dizel yakıtla benzer çıkarken, biyodizelin özgül yakıt tüketimi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Petrol kökenli dizel ve katkılı dizel yakıtlara göre biyodizelin efektif veriminde düşüş olmuştur. Emisyon testleri neticesinde ise, biyodizelin NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış gözlemlenirken, katkı ilaveli dizel yakıtların duman emisyonlarında önemli düşüşler meydana gelmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre metalik Baryum katkı maddesinin duman emisyonlarını etkin bir şekilde düşürmesine rağmen NO<sub>x</sub> oluşumu üzerinde önemli bir rolü olmadığı görülmüştür. % 1 oranında katkılı dizel yakıtı ile iki farklı yük durumunda % 5,2 ve % 15 duman emisyonu ölçülürken bu oran biyodizel kullanımında % 10,4 ve % 33 olmuştur. İS (duman) emisyonu değerlerinin hemen hemen eşit olduğu durumda da NO<sub>x</sub> emisyonu biyodizel kullanımında daha yüksek ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Baryum Katkısı; Biyodizel; Dizel Motor; İS; NO.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF CHANGE OF NO<sub>x</sub> AND SOOT EMISSIONS USING BIODIESEL AND DIESEL FUEL WITH METALLIC ADDITIVE IN A DIESEL ENGINE**

**Zülal ARCA BATI**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY**

**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AUTOMOTIVE ENGINEERING**

**Advisor: Assoc.Prof.Dr. Şehmus ALTUN**

**2017, 65 Pages**

**Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Hasan BAYINDIR**

**Assoc. Prof. Dr. Şehmus ALTUN**

**Assist. Prof. Dr. Selman AYDIN**

With the use of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines, achieving a significant reduction in exhaust emissions especially incomplete combustion products, NO<sub>x</sub> emissions are generally higher than for petroleum-based diesel. It is known that soot formation during combustion is reduced due to the molecular oxygen content of biodiesel fuels. This situation affects radiation heat transfer in combustion chamber and thus mean flame temperature; therefore, the NO formation, which is strongly depended on the chamber temperature, is affected by soot formation in combustion chamber in case of using biodiesel.

In this study, in a diesel engine fueled with petroleum diesel, the investigation of the change in NO formation is aimed in case of operating conditions, which same with biodiesel use, obtaining similar soot formation as biodiesel. For this purpose, to reduce soot formation in case of using petroleum diesel, soot formation was reduced to a rate that is similar to biodiesel use by the method of the addition of metallic additives to petroleum diesel fuels. In the study, additive was synthesized from metallic barium and the synthesized additive was added to the petroleum based diesel fuel in a volume ratio of 0,25%, 0,50% and 1%. Petroleum based diesel, soybean oil based biodiesel and petroleum based diesel with additive have been tested in a three-cylinder, direct-injection diesel engine at constant speed and under varying load conditions.

As a result of the experiments; specific fuel consumption values of additive test fuels are similar to diesel fuels, while increase in specific fuel consumption values of biodiesel is observed. There was a decrease in the effective yield of biodiesel compared to petroleum-derived diesel and diesel fuel with additive. As a result of the emission tests, an increase in NO<sub>x</sub> emissions of pure biodiesel was observed, but the contribution of the additive diesel fuels decreased significantly According to the results obtained in the study, it was understood that although the Ba additive effectively reduces smoke emissions, it does not have an effective role on NO<sub>x</sub> formation. Petroleum based diesel fuel with 1% barium additive, 5.2% and 15% smoke emissions were measured in the case of two different loads, compared to 10.4% and 33% for biodiesel use. In the case of almost equal soot emission condition, NO<sub>x</sub> emissions have been measured higher in biodiesel use.

**Keywords:** Barium Additive; Biodiesel; Diesel Engines; Soot; NO.

## ÖNSÖZ

Günümüzde giderek artan enerji talebi ile çevre ve hava kirliliği gibi konular alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bu bağlamda fosil kökenli yakıtların kullanıldığı içten yanmalı sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yenilenebilir kaynaklardan üretilen biyodizel yakıtlarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu yakıtların yenilenebilir olmaları ile fosil yakıtlar ile karşılaştırılabilir özelliklere sahip olmalarının yanı sıra literatürde fosil kökenli dizel yakıtlarına göre  $NO_x$  emisyonlarının yüksek olduğu çoğunlukla bildirilmiştir. Bunun nedeni olarak biyodizel yakıtların sahip olduğu moleküler oksijen içeriği, yüksek viskozite ve bulk modülü gibi özelliklerin motorda kullanım sırasında püskürtme ve yanma karakteristiklerinde değişikliği sebep olması gibi faktörler gösterilmiştir. Bu çalışmada da oksijen içeriğinin neden olduğu yanma odasında ki düşük duman (is) oluşumunun dolayısıyla düşük radyatif ısı geçişinin biyodizel ve fosil dizel yakıtı arasındaki  $NO_x$  değişimine etkisi incelenmiştir.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca anlayışı, sabrı ve çalışmalarımın her aşamasında yol göstericiliği için değerli hocam ve danışmanım sayın Doç. Dr. Şehmus ALTUN'a teşekkür ederim. Bana katkılarından dolayı kendisine minnettarım. Laboratuvar çalışmalarımda benden yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Reşit ÇAKMAK'a, deneylerimi gerçekleştirmemde bana yardımcı olan sevgili öğrencilerim Kubilay GÜNER, İsa ÇEBİ ve Onur GÜNAYDIN'a ve son olarak her daim sabırla yanımda olup, varlığıyla bana güç veren sevgili eşim Serkan BATI'ya teşekkürü borç bilirim.

Zülal ARCA BATI  
BATMAN-2017

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>SİMGELER.....</b>	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR .....</b>	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Dizel Motorlarda Yanma ve Emisyon.....	3
1.1.1. NO <sub>x</sub> ve Duman Oluşumu .....	5
1.1.2. NO <sub>x</sub> Düşürme Yöntemleri .....	8
1.1.3. Duman (İs) Düşürme Yöntemleri .....	13
1.2. Biyodizel .....	14
1.2.1. Biyodizelin Özellikleri.....	15
1.2.2. Biyodizel Emisyonları .....	16
1.2.3. Biyodizelin NO <sub>x</sub> ve Duman Üzerinde Etkisi .....	17
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>18</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
3.2. Yakıt Katkı Maddesinin Hazırlanması .....	26
3.3. Katkılı Yakıtların Hazırlanması .....	29
3.4. Motor Deney Düzeneği ve Yöntemler .....	29
3.4.1. Deney Seti .....	29
3.4.2. Egzoz Emisyon ve Duman Ölçüm Cihazı .....	31
3.4.3. Egzoz Sıcaklık Ölçümü .....	32
3.5. Yöntem.....	33
3.6. Hesaplanan performans parametreleri .....	34
3.6.1. Efektif Verim .....	34
3.6.2. Özgül Yakıt Tüketimi .....	34
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>36</b>
4.1. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) .....	36
4.2. Efektif Verim .....	37
4.3. NO <sub>x</sub> Emisyonlarının İncelenmesi .....	38
4.4. Yanmamış Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının İncelenmesi .....	39
4.5. Duman (İs) Emisyonlarının İncelenmesi .....	41
4.6. NO <sub>x</sub> emisyonu üzerinde duman oluşumunun etkisi .....	42
4.7. Ba ilavesinin NO <sub>x</sub> ve duman emisyonu üzerindeki etkisi.....	44
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>47</b>
5.1 Sonuçlar .....	47

5.2 Öneriler .....	48
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>49</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>55</b>





## SİMGELER

Mn	: Mangan
Mg	: Magnezyum
Cu	: Bakır
Ca	: Kalsiyum
Ba	: Baryum
Ba(OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	: Baryum etoksit
Ti	: Titanyum
kW	: Kilowatt
d/dak	: Devir/dakika
NO <sub>x</sub>	: Azot oksit
CO	: Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbon dioksit
HC	: Hidrokarbon
PM	: Partikül madde
FeCl <sub>3</sub>	: Ferric klorür
Mmol	: Mikro mol

## KISALTMALAR

ÖYT	: Özgöl yakıt tüketimi
ppm	: Milyondaki partikül madde
D	: Dizel yakıtı
% 0,25Ba+D	: Hacimce % 0,25 Baryum katkısı içeren dizel yakıt
% 0,50Ba+D	: Hacimce % 0,50 Baryum katkısı içeren dizel yakıt
% 1Ba+D	: Hacimce % 1 Baryum katkısı içeren dizel yakıt
B100	: Biyodizel
MEGEP	: Mesleki eğitimi geliştirme projesi
FBC	: Yakıtla taşınan katalizör
THC	: Toplam Hidrocarbon
EGR	: Egzoz gazı resirkülasyonu
DPF	: Dizel partikül filtresi
DOC	: Dizel oksidasyon katalisti
SCR	: Seçici katalitik indirgeme
SNCR	: Seçici olmayan katalitik indirgeme
ULSD	: Ultra düşük sülfürlü dizel

## 1. GİRİŞ

Günümüzde giderek artan enerji talebi ile çevre-hava kirliliği gibi problemler dünya genelinde petrol gibi fosil enerji kaynaklarının yerine yenilenebilir alternatif yakıtların kullanımı teşvik edilmektedir. Bu bağlamda dizel motorlar için yenilenebilir alternatif yakıt olarak büyük bir teknik potansiyele sahip “biyoyakıt”ların üretimi ve kullanımı her geçen yıl artmaktadır. Örneğin; Avrupa Komisyonu 2020 yılından taşımacılık sektöründe biyoyakıt kullanım oranını % 10’a çıkarmayı hedeflemektedir (Directive, 1999). Benzer olarak Birleşik Devletlerde 2009 yılında 11,1 milyar galon olan biyoyakıt üretimi 2022 yılında 36 milyar galona çıkması beklenmektedir (U.S. EPA, 2002). Biyoyakıtlar arasında bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen biyodizel yakıtları dizel motorlar için dikkate alınan en önemli biyoyakıt olmaktadır. Nitekim taşımacılık sektöründe hedeflenen biyoyakıt kullanım miktarının büyük bir kısmının biyodizel olması beklenmektedir (Directive, 1999). Biyodizel bitkisel ve hayvansal yağlar ile çeşitli atık yağlardan transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen alternatif bir dizel motor yakıtıdır. Biyodizelin oksijen içermesi, yenilenebilir olması, biyolojik olarak bozunabilir olması ve zehirleyici etkisi bulunmaması ile düşük emisyon profili başlıca önemli avantajları olarak sıralanabilir (Demirbaş, 2010; Saidur 2010; Yaşar ve ark., 2011). Biyodizelin dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması ile petrol kökenli dizel yakıtlarına olan bağımlılığın azalması ve çevresel avantajlarından dolayı biyodizel üretimi ile kullanımına olan ilgi giderek artmaktadır. Örneğin; 2015 yılında benzin ve benzin türleri ithal edilmezken bu rakam dizel yakıtları için 11.884.892 ton olmuştur (EPDK, 2016). Aynı şekilde 2015 yılında toplam akaryakıt tüketimi içerisindeki dizel yakıtlarının miktarı % 47 olmuştur (EPDK, 2016). Bu durum dizel motorlu araç sayısındaki artışa bağlanabilir.

Literatürdeki çalışmalar biyodizelin dizel motorlarında direk veya dizel yakıtı ile karıştırılarak, motor veya yakıt sisteminde herhangi bir değişikliğe gidilmeden yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiş olmasına rağmen, biyodizelin dizel yakıttan farklı olan yoğunluk, yüksek viskozite ve setan sayısı ile düşük ısı değeri gibi özelliklerinden dolayı performans, yanma ve emisyon oluşumunda farklılığa neden olmaktadır. Özsezen ve Çanakçı (2009) tarafından yapılan çalışmada biyodizelin kullanılması ile yanmamış HC, karbon monoksit ile duman emisyonlarında önemli azalmalar sağlandığı; NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise bir miktar artış olduğu bildirilmiştir (Özsezen ve

Çanakçı, 2009). EPA tarafından yapılan biyodizelin dizel motorlarında egzoz emisyonları üzerindeki etkisinin araştırıldığı kapsamlı bir çalışmada ortalama olarak %20 biyodizel içeren karışım yakıtın kullanılması ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında %2, biyodizelin saf olarak kullanılması durumunda ise yaklaşık % 10 oranında bir artışın olduğu bildirilmiştir (U.S. EPA, 2002). Biyodizel kullanımında NO<sub>x</sub> emisyonlarındaki artışın sebebi tam olarak açık değilse de; literatürde biyodizel yakıtların yüksek viskozitesi ve bulk modülü ile oksijen içeriği gibi bazı faktörler bu artışa neden olarak önerilmiştir (Mueller ve ark., 2009).

Püskürtme avansındaki artış yanma odası sıcaklığının artmasına ve dolayısıyla NO oluşumunun artmasına neden olmaktadır (Kutlar ve ark., 1998). Biyodizel kullanılan mekanik kontrollü yakıt püskürtme sistemine sahip dizel motorlarında biyodizelin yüksek viskozite ve bulk modülü gibi özelliklerinden dolayı yakıt hattında basınç dalgası oluşması ile yakıt akışının daha hızlı ilerlemesi ve dolayısıyla püskürtmenin daha erken başlamasına neden olmaktadır (Lapuerta ve ark., 2008). Biyodizelin konvansiyonel dizel yakıtlara göre sahip olduğu yüksek viskozite ayrıca pompa kaçaklarını azaltarak yakıt hattındaki basıncın artmasına ve dolayısıyla püskürtmenin daha erken başlamasına neden olmaktadır (Lapuerta ve ark., 2008). Bu durum birçok çalışmada NO oluşu için sebep olarak gösterilmiştir (Keskin ve Ekşi 2006; Mueller ve ark., 2009; Tat ve Van Gerpen, 2003; Kegl, 2007). Örneğin, bir çalışmada biyodizel kullanılan bir dizel motorunda püskürtme avansının arttırılmasının motor performansında iyileşmeye, NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışa, HC ve CO emisyonlarında ise düşüğe neden olduğu belirtilmiştir (Aktaş ve Sekmen, 2008). Başka bir çalışmada arttırılmış püskürtme avansının hayvansal yağ ve soya biyodizeli kullanımında HC ve CO emisyonlarında düşüş, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise artışa neden olduğu bildirilmiştir (Yahya ve Marley, 1994).

İdeal koşullar altında hidrokarbonların yakılması sonucunda esas olarak karbondioksit ve su meydana gelir. Endüstriyel fırınlar, gaz türbinleri veya içten yanmalı motorlar gibi cihazlarda lokal olarak ideallikten sapmaktadırlar. Eğer mevcut oksijen durumu yetersiz ise karbondioksit ve suya ilaveten CO, hidrojen, hidrokarbonlar ve is (duman) oluşur (Bockhorn, 2013). Literatürde dizel motorlarında biyodizel kullanılması ile duman (is) emisyonlarında önemli bir derecede düşüşün olduğu bildirilmiştir (Basha ve ark., 2009). Bu biyodizelin yüksek oksijen içeriğinin yakıtın

oksidasyonunu hızlandırması ve dolayısıyla duman (is) emisyonunun azalmasına neden olduğu şeklinde açıklanmaktadır (Candan, 2012). Bununla beraber is radyasyonu, silindir içi alevden kaynaklanan ısı kaybının birincil nedenlerinden olduğu için, daha yüksek gerçek alev sıcaklıkları ve daha fazla termal NO<sub>x</sub> üreten biodizel alevleri için radyasyonel ısı kayıpları daha düşüktür (Mueller ve ark., 2009). Bu nedenle daha yüksek alev sıcaklıklarına neden olan biyodizelin yanması sırasında difüzyon alev bölgesinde daha az is olmaktadır. Daha yüksek alev sıcaklıkları biyodizelde NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşumuna etki edebilmektedir (Zhang ve Boehman, 2007).

Biyodizel kullanıldığında dizel yakıtı kullanımına göre is (duman) emisyonları önemli bir derecede azalmaktadır. Bu, yanma odasından radyasyon yolu ile transfer edilen ısı miktarını azalttığından, yanma odası sıcaklığı petrol kökenli dizel yakıtı kullanımına göre daha yüksek olmaktadır. NO<sub>x</sub> oluşumu üzerinde yüksek sıcaklığın en önemli parametrelerden biri olduğu düşünüldüğünde biyodizel kullanımında NO<sub>x</sub> emisyonlarının bu durumda yüksek çıkması beklenen bir sonuç olmaktadır. Dolayısıyla yanma odası içerisinde is oluşumunun dolayısıyla is radyasyonunun etkisini incelemek için, önerilen çalışmada biyodizel ve petrol kökenli dizel yakıtlarının oluşturduğu is emisyonları katkı maddeleri kullanılarak aynı seviyelere çekilecek ve bu durumdaki NO<sub>x</sub> oluşumu incelenecektir.

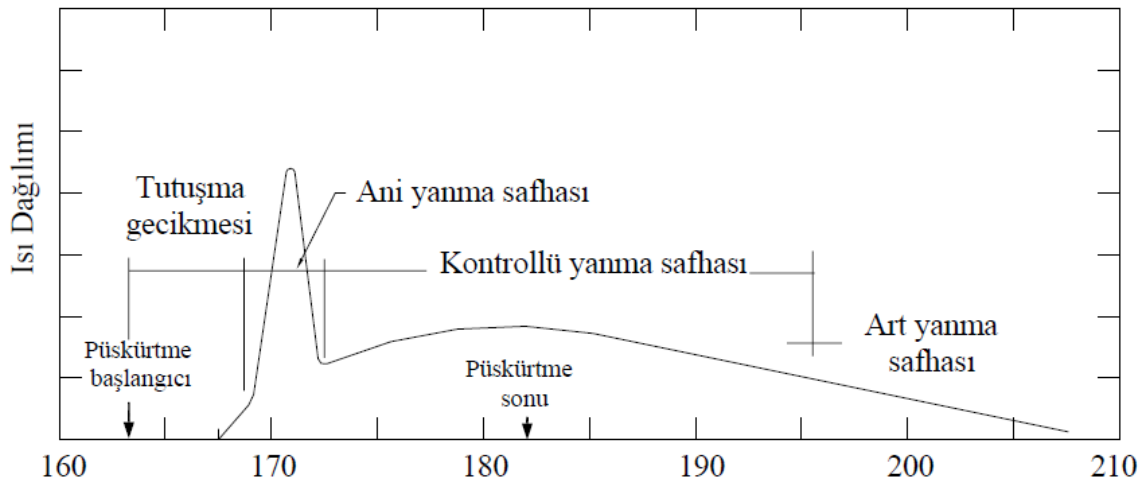
### 1.1. Dizel Motorlarda Yanma ve Emisyon

Dizel motorlarında yakıtın havada içerisindeki oksijenle tepkimeye girmesi sonucunda CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> gibi yanma ürünleri oluşur. Çevrim tamamlandığında yakıt tam olarak yanmaz yani eksik yanma meydana gelirse bu bileşenlere ek olarak CO, HC, NO<sub>x</sub> ve PM kirletici bileşenler de oluşur (Anonim,2009). Dizel motorlarında yakıt yanma odası içine doğrudan püskürtüldüğünden yakıt ile havanın homojen olarak karışması gerçekleşmeden yanma başlar. Bu durum sonucunda egzozda yanmamış gazlar bulunur. Dizel motorlarında yanmanın verimli olarak gerçekleşmesi yanma odası içerisindeki hava miktarına doğrudan bağlıdır.

Dizel yakıtının hava ile yanma denklemi aşağıdaki gibidir:



Kuru havada hacimsel olarak % 21 oksijen ve % 79 azot olduğundan dolayı, 1 kmol  $O_2 + 3.76$  kmol  $N_2 = 4.76$  kmol hava oluşturur (Anonim,2009).



Şekil 1.1. Dizel motorların yanma safhaları (Heywood, 1988; Özsezen, 2007)

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi dizel motorlarda yanma; püskürtme başlangıcından yanmanın başlamasına kadar geçen zaman olan tutuşma gecikmesi, bu süre boyunca silindirde biriken yakıtın ani bir şekilde yandığı ani veya kontrolsüz yanma, püskürtülen yakıtın hemen yandığı ve yanmanın püskürtülen yakıt ile kontrol edildiği kontrollü yanma safhası ile püskürtme sonunda silindir içerisinde yanmamış yakıt parçacıklarının yeterli oksijen bulunması durumunda yanmaya devam ettiği art yanma olmak üzere dört safhada gerçekleşir. Bu yanma olayında yeterli süre veya oksijen bulunmamasından dolayı yakıtın tam yanmaması ile havanın içinde bulunan azot moleküllerinin aktif hale gelerek oksitlenmesi sonucu çevre ve hava kirliliğine sebep olan egzoz emisyonları oluşmaktadır. Bu kirlenici bileşenlerin başlıca oluşum nedeni Pulkrabek (2004)’te belirtildiği gibi eksik yanma ve azotun parçalanmasıdır (Pulkrabek, 2004).

Yakıttan tam enerji alabilmek için yeterli miktarda havaya ihtiyaç vardır. Teorik olarak dizel motorunda tam yanma gerçekleşmesi için en az yakıtın 1,5-2 katı kadar hava gerekir. Kirlenicilerin oluşumu yanma olayıyla alakalıdır. Silindir içerisinde yakıtı yakacak gerekli hava bulunmaması halinde eksik yanma meydana gelir. Bu da eksik yanmanın ürünü olan is’i oluşturur. Dizel motorlarında hava/yakıt oranının istenilen değerler dışına çıkması kirlenicilerin artmasına neden olmaktadır. Dizel motorlardan kaynaklanan başlıca kirleniciler partikül madde (PM), hidrokarbonlar (HC),

karbonmonoksit (CO) ve azot oksitler (NO<sub>x</sub>)'dir (Keskin ve Sağıroğlu, 2010). Bunlar içerisinde en önemlileri NO<sub>x</sub> ve PM'dir.

### 1.1.1. NO<sub>x</sub> ve Duman Oluşumu

Yanma sonucu yanma odası sıcaklığı 1800 K üzerine çıktığında hava içerisindeki azot oksijenle birleşerek azot oksitleri meydana getirir. NO<sub>x</sub> oluşturan reaksiyonlar en çok sıcaklığa bağlıdır. Bundan dolayı NO<sub>x</sub> emisyonları motor yükü ile orantılıdır ve NO<sub>x</sub> emisyonları motor ilk çalışmasında ve ısınma sırasında bağıl olarak düşüktür. Motordaki azot oksit emisyonlarının büyük kısmını azot oksit (NO), az miktarda azot dioksit (NO<sub>2</sub>) ve diğer azot oksit bileşiklerinden oluşmaktadır. Bunların hepsi birlikte NO<sub>x</sub> olarak gruplandırılır (Aydoğan, 2008). Azot oksit oluşumu hava/yakıt oranı ve yanma odası sıcaklığı gibi parametrelerden diğer parametrelere göre daha çok etkilenir. Atmosferik azottan NO oluşum reaksiyonları incelendiğinde, NO oluşumunu yönlendiren 3 farklı mekanizma tanımlanmaktadır. Bu mekanizmalar; Isıl NO oluşum mekanizması (Zeldovich), ani-Fenimore mekanizması ve yakıt kaynaklı NO mekanizmasıdır.

**Isıl NO oluşum mekanizması (Zeldovich mekanizması):** Azot oksit oluşumu konusunda yanma sistemlerinde çeşitli mekanizmalar mevcuttur ancak, azot oksit oluşumu için en yaygın model Zeldovich mekanizması kabul görmektedir.



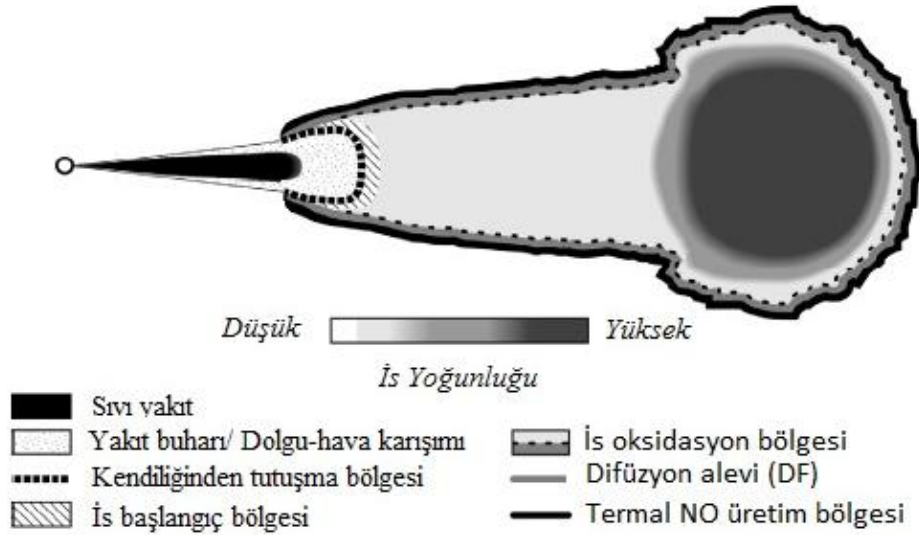
Azot oksitler, alev cephesinin ön ve arka kısımlarında oluşur. Yanmanın motorda yüksek basınçta gerçekleşmesinden dolayı alev bölgesi çok incedir (~0,1 mm) ve alev bölgesinde alevin kalma süresi oldukça kısadır. Yakıt erken püskürtüldüğü için hava yakıt karışımı yanmaya devam ederken sıkıştırma işlemi de devam eder. Bu durum alev cephesinin geçmiş olduğu bölgede karışımın sıcaklığının yanma bittikten sonra bile artmasına neden olur. Bu nedenle alev cephesinin geçmiş olduğu bölgelerde, yüksek sıcaklıktan ötürü alev cephesinin önündeki bölgeye oranla daha fazla azot oksit meydana gelecektir (Haşimoğlu ve İcingür, 2002).

**Ani veya Fenimore NO oluşum mekanizması:** Ani denilmesinin nedeni yakıtın zengin karışım olduğu yerin önündeki yanmada NO'nun çabuk oluşmasıdır.



Fenimore tarafından yapılan çalışmalarda birincil reaksiyon bölgesinde yaptığı ölçümlerde, NO'nun alevin başında Zeldovich mekanizması tarafından tarif edilenden daha hızlı bir şekilde oluştuğu tespit edilmiştir. Ani NO'un zengin karışımlarda sadece hidrokarbon yanmalarında görüldüğü, çok zayıf şekilde sıcaklığa bağlı olduğu ve eşdeğerlilik oranı arttıkça arttığı belirlenmiştir (Tat, 2003).

**Yakıttan kaynaklanan NO:** Yakıtlardaki NO miktarı içeriğinde bulunan azot miktarına bağlıdır. Bu azot NO oluşturmak için reaksiyona girebilir. Yakıttan kaynaklanan NO oluşum hızı sıcaklığa ve hava-yakıt karışım oranındaki azot bileşiklerine bağlıdır.

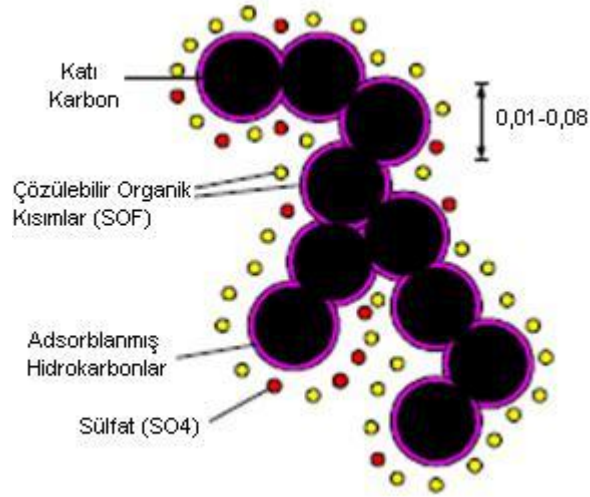


**Şekil 1.2.** Yarı kararlı yanma döneminde reaksiyon gösteren bir DI dizel jetinin şeması (Dec, 1997; Mueller ve ark., 2009)

Dizel motorlarda meydana gelen difüzyon alevinde, oksijenin yetersiz olduğu bölgelerde bulunan yakıt molekülleri ısıl parçalanmayla beraber, hidrojen atomlarının

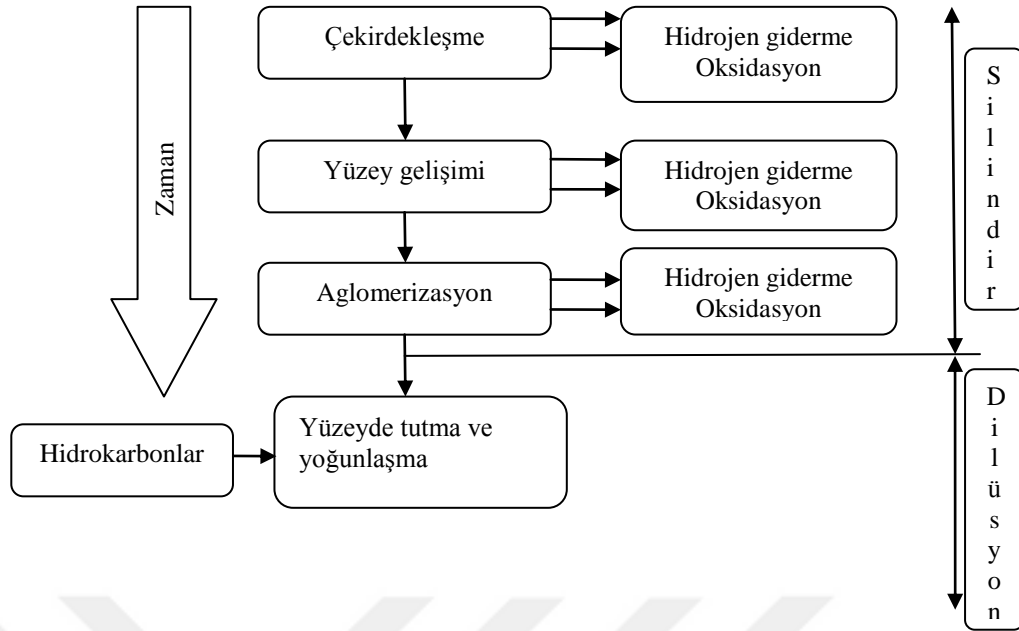


karbon atomlarına oranla oksijene karşı daha aktif olması nedeniyle yanmanın tamamlanması için bazı partiküller oluşacaktır. Bu partiküller katı karbon parçacıkları ve duman yada is olarak bilinirler. Dizel motorlarda hava-yakıt karışımı ve yakıt cinsi partikül madde oluşumuna sebep olmaktadır.



Şekil 1.3. Partikül maddenin yapısı (Fenghu ve ark., 2010; Mutlu ve Keskin, 2011).

Siyah duman olarak bilinen is, hava miktarı yetersiz olduğu zaman eksik yanma sonucunda meydana gelmektedir. Dizel motorlarında isin oluşumuna neden olan etkenler hem yakıt cinsinden hem de karışım şeklinden kaynaklanırlar. İs oluşum süreci incelendiğinde, yakıt moleküllerinin oksijence fakir ortamda ısıl parçalanması (termal kriting) şeklinde de yorumlanabilir. Hidrojenleri ayrılan karbonca zengin büyük moleküller birleşmektedirler (polimerizasyon), bu birleşmeler fazlaştıkça is zerrecikleri yığınları oluşmaktadır. (aglomerizasyon). Bu is zerrecikleri yanabilmek için hava ile yeterli bir zaman ve sıcaklık içinde temas geçmelidirler (Borat ve ark., 1995).

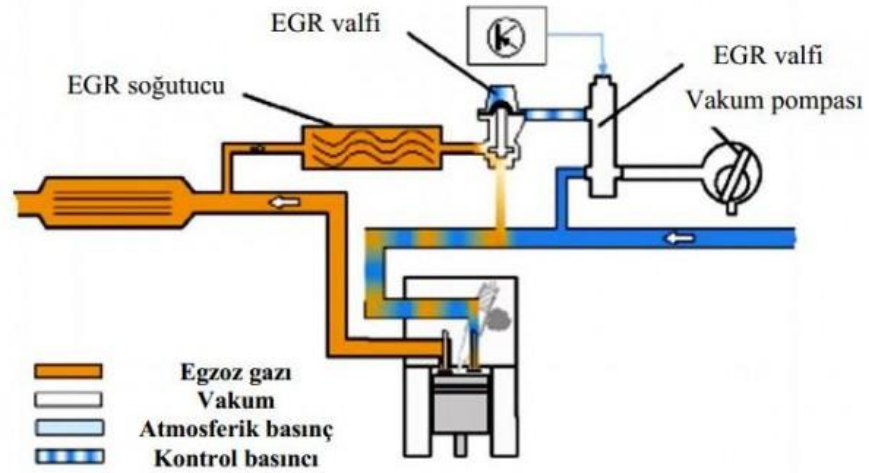


Şekil 1.4. Dizel parçacıkların oluşum süreci (Heywood, 1988).

## 1.1.2. NO<sub>x</sub> Düşürme Yöntemleri

### 1.1.2.1. Egzoz gazı resirkülasyonu (EGR)

Yanma esnasında meydana gelen NO<sub>x</sub> miktarı büyük oranda sıcaklıkla ilişkilidir. Yanma sonu sıcaklıkları ve üretilen NO<sub>x</sub> miktarı, yanma odasındaki karışımın egzoz gazları ile seyreltilmesinden dolayı azalmaktadır. Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR), yanma sonu sıcaklıklarını düşürmek amacıyla kullanılır. EGR sisteminin amacı egzoz gazlarının bir kısmını yeniden taze dolguyla silindire göndererek karışım içerisindeki oksijen oranını azaltıp, silindir içerisindeki gazların ısı kapasitesini yükseltmek ve maksimum gaz sıcaklığını düşürmektir.



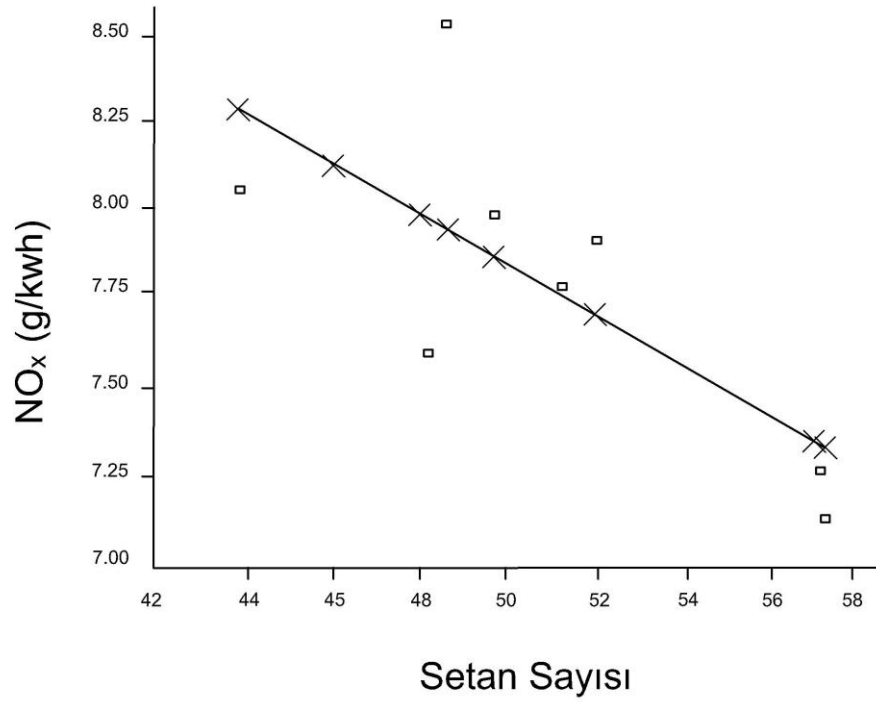
Şekil 1.5. EGR sistemi (Anonoim, 2015).

EGR ile silindir içerisindeki oksijenin bir kısmı su ve atık karbondioksit ile yer değiştireceği için oksijen konsantrasyonu düşecektir. Bu durum yakıt ve oksijenin reaksiyona girme ihtimallerini azaltacaktır. Bu nedenle reaksiyon hızı ve lokal alev sıcaklığı düşecek ve  $\text{NO}_x$  oluşumu azalacaktır (İçingür ve Salman, 1993).

Yapılan bir çalışmada, tek silindirli dizel motorunda farklı EGR oranlarının (% 10, 20, 30) motor performans ve emisyon üzerine etkileri incelenmiştir. EGR uygulaması sayesinde  $\text{NO}_x$  emisyonlarında önemli ölçüde düşüş gözlemlenmiştir (Haşimoğlu ve ark., 2002).

### 1.1.2.2. Yakıtın kalitesi

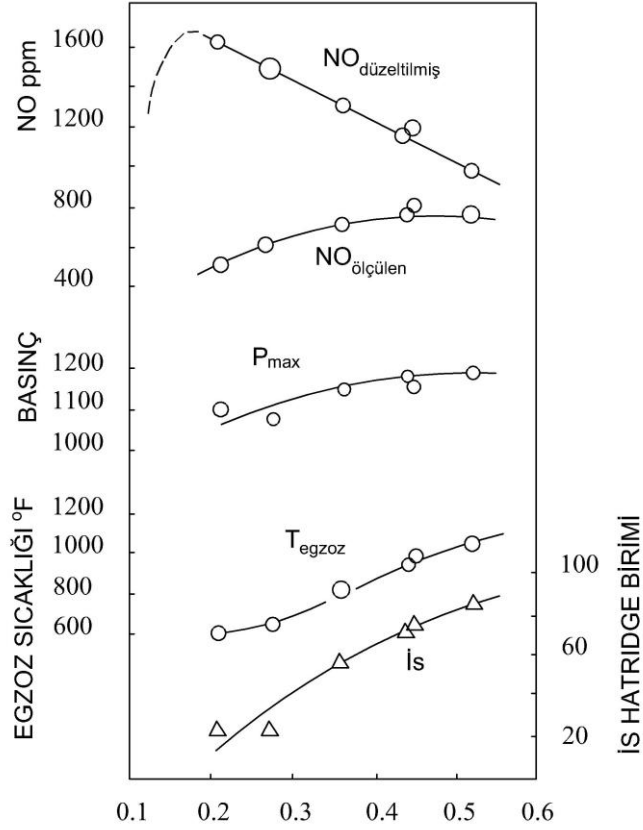
Bir yakıtın setan sayısı arttıkça motordaki tutuşma gecikmesinin süresi de azalmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda setan sayısının egzoz emisyon değerlerinde etkili olduğu görülmüştür. Şekil 1.6'da yakıt setan sayısının  $\text{NO}_x$  emisyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi setan sayısı arttıkça yanma süresi artmakta ve  $\text{NO}_x$  emisyon değeri azalmaktadır.



Şekil 1.6. Setan sayısının NO<sub>x</sub> emisyonuna etkisi (Haşimoğlu ve İçingür, 2000).

### 1.1.2.3. Hava fazlalık katsayısı

Hava/yakıt oranı, kirletici emisyonları kontrol eden en önemli değişkendir. Bu oran NO<sub>x</sub> emisyonlarını doğrudan etkiler. Dizel motorlarda egzoz gazları içerisindeki NO konsantrasyonu artan yüke (yakıt miktarı) bağlı olarak artmaktadır. Ancak burada da kısmi yüklerde egzoz gazlarının fazla hava ile seyreltilmesi söz konusu olduğundan, sitokiyometrik değere göre kıyaslama yapıldığında NO emisyonunun karışımın zenginleşmesi ile başlangıçta arttığı, ancak daha sonra hızlı bir şekilde azaldığı Şekil 1.7’de görülmektedir. Karışımın çok fakirleşmesi sonucunda sıcaklık azalacağından, NO emisyonunda da azalma meydana gelmektedir. Eğrinin sağ tarafındaki bölgede ise oksijenin azalması nedeniyle NO emisyonunda da azalma gözlemlenmektedir (Soruşbay, b.t.).

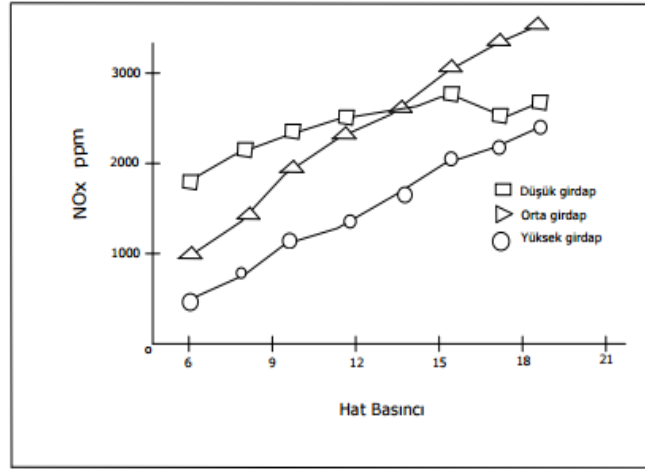


Şekil 1.7. Yakıt/hava oranının NO<sub>x</sub> emisyonuna etkisi (Soruşbay, b.t.).

#### 1.1.2.4. Püskürtme sistemi

Yakıt enjeksiyon sistemi havanın yakıt ile karışmasını ve yanmasını etkiler. Ayrıca enjeksiyon sisteminin özellikleri yakıt atomizasyonu, alevin oluşumu ve alevin yayılması, yakıtın dağıtımına da etkir. Tutuşma gecikmesi safhasında püskürtülen yakıt miktarı azaldıkça oluşan azot oksit emisyonları da azalır. Bu şartları sağlamak ve azot oksit emisyonlarını azaltmak için, enjektörlerin çapı küçültülebilir. Enjektör delik çapının küçültülmesiyle püskürtme süresi uzarken, pilot yakıt miktarı azalmaktadır. Bu durumda hava ile yakıtın daha iyi karışması sağlanır ve alev bölgesi daha geniş bir alana yayılır. Sonuç olarak azot oksit emisyonlarında artış meydana gelir. Püskürtülen yakıt miktarındaki azalma ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında elde edilen azalma, alev bölgesinin daha geniş bir alana yayılmasından dolayı dengelenecek ve azot oksit emisyonlarında bu durum neticesinde değişiklik gözlemlenmeyecektir. Bunun için setan sayısı daha yüksek olan yakıt kullanılarak ve püskürtme basıncı artırılarak tutuşma gecikmesinin

kısaltılması gerekir (Haşimoğlu ve İçingür, 2000; Herzog ve ark., 1992; Zelenka ve ark., 1990).



Şekil 1.8. Enjeksiyon basıncına bağlı olarak NO<sub>x</sub> değişimi (Vural, 2009).

Şekil 1.8.'de da görüldüğü gibi enjektör hat basıncının artmasıyla NO<sub>x</sub> değerlerinde her durumda artış gözlemlenmektedir.

#### 1.1.2.5. Seçici katalitik indirgeme (SCR)

Seçici katalitik indirgeme (SCR) içten yanmalı motorlarda egzoz içerisinde bulunan zararlı kirleticilerden olan azot oksitleri, daha zararsız olan N<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüştüren bir sistemdir. SCR sistemlerinde sulu amonyak, susuz amonyak veya üre gibi indirgeyici bir madde egzoz gazına eklenir ve SCR reaksiyonlarının gerçekleştiği bir katalizör üzerine absorbe edilir (Tabak, 2010). Yapılan işlemin çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir:

- İşletme sıcaklığı 300-450 °C olan bir katalizör yatağında SCR yapılır.
- Baca gazına sıvı yada gaz fazdaki üre entegre edilir. Amonyakın katalizör yüzeyine absorbe edilmesi sağlanır.
- Genellikle katalizör olarak zeolitler, aktif karbon, demir oksitler ve Ti<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gibi metal oksitler kullanılmaktadır.
- Güvenli çalışma sıcaklığı aktif karbon kullanımı için 100-220°C aralığında olmalıdır. Bu sebepten ötürü termik santrallerde yalnızca tail-end uygulaması için kullanılır.

- Katalizör yüzeyine absorbe edilen amonyak, oksijen varlığında ortamda  $\text{NO}_x$  ile reaksiyona girer ve reaksiyon sonucunda  $\text{N}_2$  gazı ve  $\text{H}_2\text{O}$  oluşur (Demiröz, 2010).

#### **1.1.2.6. Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)**

SNCR sistemleri,  $\text{NO}_x$  emisyonlarının bir bölümünü kimyasal olarak azaltmak için gaz fazlı homojen kimyasal reaksiyonlar kullanmaktadır. Sıcaklık, SNCR'nin maksimum verimlilikle çalışmasını sağlamak için önemlidir. Yanma sisteminin herhangi bir alanındaki gaz sıcaklığındaki düzensizlik yüzünden, SNCR sistemleri genelde % 50'den daha az  $\text{NO}_x$  azaltma verimi ile sınırlıdır (Anonymous, 2008).

### **1.1.3. Duman (İs) Düşürme Yöntemleri**

#### **1.1.3.1. Dizel oksidasyon katalisti (DOC)**

Dizel oksidasyon katalizörü (DOC), dizel motorlardan partiküler madde (PM), karbon monoksit (CO) ve gaz halindeki reaktif organik gaz (ROG) emisyonlarını katalitik oksidasyon ile düşürür. Bu yöntem dizel PM'nin çözünür organik kısmı üzerinde etkilidir ve bu nedenle bir DOC tarafından sağlanabilen genel indirgeme yüzde 10 ila 30 arasındadır (Khair ve McKinnon, 1999).

#### **1.1.3.2. Dizel partikül filtreleri (DPF)**

Dizel partikül filtreleri (DPF) filtreleme yoluyla dizel PM emisyonlarını azaltır. Bu yöntem, dizel PM emisyonlarının kontrolünde çok etkilidir ve % 90-95 aralığında PM dönüşümleri sağlar. Bu filtreler genelde ya kordiyeritten (katalitik konvertörlerde substrat olarak kullanılan bir kil türevi malzeme) ya da silisyum karbürden (SiC) oluşur. Filtre duvarları optimum gözenekliliğe sahip olacak şekilde tasarlanmıştır, aygıtın "basınç düşüşünü" en aza indirmek için, parçacık türlerini toplamaya yeterli derecede geçirimsizken egzoz gazlarının engelleri olmadan duvarlarından geçmesini sağlar. Açıkta ki DPF Sistemleri hem küçük hem de büyük PM türlerini filtrelemede son derecede etkilidir. Böylece, PM kütlesi önemli ölçüde azaltılır (Walker, 2004).

### 1.1.3.3. Alternatif yakıtlar

Alternatif dizel yakıtlar, dizel motorunda motor üzerinde herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılabilen bir yakıtlardır. Alternatif dizel yakıtlar arasında, emülsiyon haline getirilmiş yakıtlar, biyodizeller, Fischer-Tropsch (F-T) yakıtlar ve bu yakıtların düzenli dizel yakıtlarla kombinasyonu bulunmaktadır. Su emülsiyonlu dizel yakıtı, dizel ile suyu karıştırır ve yakıt ve suyun ayrılmasını önleyecek bir madde ilâve eder. Yakıt içindeki damlacıklar içinde su asılı kalır ve yanma odasında NO<sub>x</sub> emisyonlarını düşüren bir soğutma etkisi yaratır. Yakıt suyu emülsiyonu, yanma odasında daha düşük bir yakıt-hava oranı oluşturarak yanma sırasında daha az kurum oluşturarak PM emisyonlarını düşürür (Anonymous, n.d.).

### 1.1.3.4. Yakıt katkıları

Yakıt katkı maddeleri esas olarak yakıtta bulunan herhangi bir maddedir. Bu katkı maddeleri, CO, NO<sub>x</sub> ve reaktif olmayan gaz üretiminde değişken etkileri olan PM toplam kütesini azaltabilir. Yakıtla taşınan katalizörler (FBC), egzoz akışındaki karbonatik parçacıkların tutuşma sıcaklıklarını düşürerek dizel partikül filtrelerinde kalanın uzaklaştırılmasına yardımcı olmak için dizel yakıtına karıştırılan katkı maddeleridir. Ateşleme sıcaklığı düşükse, egzoz akışının karbon içeren kısmından daha çok yanar ve dizel partikül filtresine sıkışmaz. Bu FBC'ler, pasif ve aktif DPF'ler ile birlikte kullanılacaktır. FBC, seryum, platin, baryum, mangan, bakır ve demir gibi çeşitli metalleri kullanır. Çoğu yakıt katkı maddesi, diğer yakıtlar ve diğer yakıt katkılarıyla birlikte bir dizi kükürt konsantrasyonu ile birlikte çalışacaktır. Taşınabilir dizel motorlar için FBC'ler şu anda doğrulanmamıştır (Anonymous, n.d.).

Dizel motorlarda daha önce bir çok yakıt katkı maddesi kullanılmıştır. Bunlardan biri de metalik katkı maddesi olan baryum katkısı olmuştur. Baryum alkali toprak elementlerinden birisidir ve is oluşumunu azaltmak için kullanılan en etkili metalik katkı maddesidir (Cotton ve ark. 1971; Bulewicz ve ark. 1975; Song, 2012).

## 1.2. Biyodizel

Biyodizel, bitkisel yada hayvansal yağlar gibi yenilenebilir biyolojik kaynakların transesterifikasyon, piroliz, dilüsyon yada mikroemülsifikasyon gibi çeşitli yöntemlerle



yakıt haline getirilmesi sonucunda oluşun alternatif bir yakıttır. Doğada çözünebilir olması, toksik olmaması ve düşük emisyon değerleriyle çevre dostu bir yakıttır (Krawczyk, 1996).

Biyodizel üretiminde soya fasülyesi, ayçiçeği, kanola, mısır gibi bitkisel ve hayvansal yağlardan faydalanılır. Biyodizel, dizel motorda direkt olarak kullanılabilceği gibi dizel yakıtla çeşitli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Biyodizelin enerji olarak kullanımının önemli bir sektör oluşturmasında hızlı bir potansiyele sahip olmasının nedenleri;

- Motorda hiçbir konstrüksiyon değişikliğine ihtiyaç duymadan dizel yakıt yerine kullanılabilmesi,
- Yakıt veriminin dizel yakıtı yakın olması,
- Bitkisel ve hayvansal yağlar gibi doğada kolayca bozunabilen ürünlerden elde edilebilir olması,
- Enerji tarımı için potansiyel işgücü ve ekonomi oluşturması,
- Çevreci olmasıdır (Ejder, 2007).

### 1.2.1. Biyodizelin Özellikleri

Biyodizel genellikle 16 ila 20 arasında değişen karbona sahip hidrokarbon zincirlerinden oluşur ve yaklaşık olarak ağırlıkça % 11'ini oksijen oluşturur. Bu özellikleri ile biyodizel, dizel yakıtlarına belirli oranda karıştırılarak kullanıldığında, egzoz emisyonlarından CO, HC ve partikül madde (PM) miktarında azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ve özgül yakıt sarfiyatında artış gözlemlenmektedir (Akgün ve ark., 2009). Dizel yakıtların sahip olması gereken en önemli özelliklerden biri viskozite olup; biyodizel üretildiği kaynağa ve yöntemine bağlı olmakla birlikte EN standartlarında 3,5–6 mm<sup>2</sup>/sn arasında viskozite değerine sahip olması beklenmektedir. Viskozitenin artması hidrokarbonların zincir uzunluğu ile doğru orantılıdır, çift bağ sayısı ile ters orantılıdır (Anonim, 2011). Dizel yakıtlarda yoğunluk yakıt tüketimi açısından önemli bir parametredir ve biyodizel yakıtlarda hidrokarbon zinciri uzamasıyla birlikte yoğunluk azalır, çift bağ sayısının artmasıyla yoğunluk artar (Anonim, 2011). Biyodizelin yoğunluğu 860–900 kg/m<sup>3</sup> olup dizel yakıtına göre daha yüksektir. Dizel motorlarında yakıtın tutuşma kalitesinin bir ölçüsü olan setan sayısı, biyodizel yakıtlarda özellikle doymuş yağ asidi yönünden zengin olanlarda yüksek olmaktadır. Yakıt tüketimi açısından önemli bir faktör olan

yakıtın alt ısı değeri biyodizel yakıtlarda oksijen içeriğinden dolayı konvansiyonel dizel yakıtlarına göre daha düşüktür (Anonim, 2011). Parlama noktasının yüksek olması biyodizelin en üstün özelliklerinden biridir. Parlama noktası yakıtın depolanması ve güvenliği ile ilgili bilgilerin elde edilmesini sağlar. Parlama noktasında meydana gelebilecek değişimler yakıtın yanma karakteristiğinde önemli ölçüde bir değişikliğe sebep olmaz (Anonim, 2011).

Biyodizel, petrol kökenli dizel yakıtından daha yüksek bir akma noktasına sahiptir, bundan dolayı biyodizeller soğuk hava koşullarında kullanıldığında bazı sıkıntılar meydana gelebilmektedir. Biyodizelde CP, PP, CFPP gibi doymuş hidrokarbonların değerleri yüksektir ve yüksek sıcaklıkta kristalize olurlar. Soğuk akış özelliği olmayan bu yakıtlar zamanla motorun yakıt besleme gibi bölümlerinde çeşitli hasarlara sebep olabilirler. Bunun dışında motorda ilk hareket gibi problemlerde oluşabilir (Akyarlı ve ark., 2004).

Motorun birbiriyle temas halinde bulunan piston-segman, krank mili yatağı gibi çeşitli elemanlarında sürtünme ve aşınma problemlerinin meydana gelmemesi için yağlanmaları gerekmektedir. Günümüzde fosil kökenli standart dizel yakıtlarındaki kükürt miktarı ciddi oranda azaltılmıştır. Kükürt miktarı azaltılmış olan dizel yakıtın yağlayıcılığını artırmak için çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Ancak bu katkı maddelerindeki artış çeşitli tortular oluşmasına sebep olabilmektedir. Biyodizelin yağlayıcılık özelliği fosil kökenli dizele oranla gayet iyidir (Karahan, 2005).

### **1.2.2. Biyodizel Emisyonları**

Tarımsal bitkilerden elde edilen biyodizel, biyolojik karbon döngüsü içerisinde fotosentez ile CO<sub>2</sub>'yi dönüştürerek karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisini artırıcı herhangi bir etkisi yoktur (Sarıdemir, 2016). Ayrıca CO, SO<sub>x</sub>, yanmamış hidrokarbon (HC) ve partikül madde emisyonlarının düştüğü kanıtlanmıştır (Dizge ve ark., 2005). Biyodizelin NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise genel bir değişim olmamakla birlikte çoğunlukla biyodizel kullanıldığında dizel yakıtına göre NO<sub>x</sub> emisyonlarının bir miktar arttığı bildirilmiştir (Dizge ve ark., 2005). Ayrıca biyodizelin içeriğinde kükürt yoktur. Bu nedenle biyodizelin yakıt olarak kullanıldığı sistemlere NO<sub>x</sub> kontrol teknolojileri

uygulanabilir. Ancak petrol kökenli motorinin içeriğinde kükürt bulunduğu için NO<sub>x</sub> kontrol teknolojileri için uygun değildir (Vermeersch, 2001).

### 1.2.3. Biyodizelin NO<sub>x</sub> ve Duman Üzerinde Etkisi

Biyodizelin alternatif dizel motor yakıtı olarak kullanılarak yapılan çalışmalardaki en önemli farklılık azot oksit emisyonlarında meydana gelen değişimdir. Araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmaların çoğunluğu standart dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında biyodizel kullanımının NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışa neden olduğu yönündedir. Ancak bunun yanı sıra herhangi bir değişim olmadığını veya NO<sub>x</sub> emisyonlarında düşüş meydana geldiğini bildiren çalışmalar da vardır. Bu durumun sebepleri arasında, biyodizel yakıtların üretiminde kullanılan hammaddelerin farklılığı, farklı motor tasarımı ve farklı şartlarda kullanılmaları sayılabilir (Altun, 2010). Motorun biyodizel kullanımına uygun olması emisyon miktarı üzerinde etkilidir. Biyodizel kullanımıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarında meydana gelen artışın nedeni olarak, biyodizelin oksijen içeriğinin fazla olması gösterilebilir. Çünkü oksijen içeriğinin fazla olması yanma kalitesini arttırmakta ve yanma sıcaklıklarını yükseltmektedir. Aynı zamanda biyodizelin oksijence zengin olmasından dolayı CO, HC ve duman emisyonlarında oksidasyonun artması nedeniyle azalmalar meydana gelmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonunda çevresel faktörler, motorun ve kullanılan yakıtın özelliklerine bağlı olarak değişiklikler meydana gelebilir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde biyodizel kullanılan dizel motorlarında  $NO_x$  ve is (duman) emisyonlarının oluşumu ile bunların azaltılmasına yönelik kullanılan yöntemlerin etkilerinin araştırıldığı çalışmalar incelenmiş ve sonuçları sunulmuştur. Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında dizel motorlarında biyodizelin yakıt olarak kullanılması durumunda  $NO_x$  emisyonlarının petrol kökenli dizel yakıt kullanımına göre bir miktar yüksek olduğu ancak is (duman) emisyonlarının ise önemli miktarda düştüğü görülmektedir. Biyodizel motorlarda yüksek  $NO_x$  oluşumu için önerilen nedenler arasında yakıtın püskürtme avansındaki değişim ile silindir içi is (duman) oluşumunun düşük olmasından dolayı radyatif ısı geçişinin düşmesi ile silindir içi sıcaklığın yükselmesi gibi etkenler ön plana çıkmaktadır. Örneğin soya biyodizeli ile yapılan bir çalışmada yanma başlangıcının ve ön karışimli yanma oranının değişmediği şartlarda bile petrol dizel yakıtına göre daha yüksek  $NO_x$  emisyonu elde edildiği bildirilmiştir (Lapuerta ve ark. 2008; Cheng ve ark. 2006). Çalışmada bu durumun radyatif ısı geçişinin düşmesi ile alev sıcaklığının artmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Biyodizel motorlarında is (duman) oluşumunun  $NO_x$  artışı üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için literatürde dizel motorlarında biyodizel kullanımı sonucu bu emisyonlardaki değişim ile bunların nedenlerinin araştırıldığı çalışmaları incelemek gerekirse; Lapuerta ve ark. (2008) tarafından yapılan kapsamlı literatür çalışmasında biyodizel kullanılan dizel motorlarında partikül madde emisyonlarında belirgin bir düşüşün ve yüksek  $NO_x$  emisyonlarının çoğunlukla bildirilen sonuçlar olduğu belirtilmiştir.

da Silva ve ark. (2017) biyodizel emisyonlarının özellikle  $NO_x$  emisyonlarının bağlı olduğu faktörlerin  $NO_x$  emisyonlarını nasıl etkilediğini araştırdıkları çalışmalarında; soya, palmiye ve atık kızartma yağı metil ve etil esterlerinin karışımlarını test etmişlerdir. Etil ester karışımlarının daha düşük  $NO_x$  emisyonlarına sahip olduğunu ve palmiye etil ester karışımlarının en iyi sonuca sahip olduğunu, ayrıca, tüm faktörler dikkate alındığında, soya metil esterinin % 20 oranındaki karışımının en düşük  $NO_x$  emisyonuna sahip olduğu belirtilmişlerdir.

Aydoğan (2008) kanola, atık bitkisel yağlar ve tütün tohumu yağı gibi kaynaklardan üretilen biyodizel yakıtları petrol kökenli dizel yakıtı ile hacimsel olarak % 10, 20, 30 ve 50 gibi oranlarda karıştırarak ön yanma odalı ve turbo dizel bir motorda tam yükte ve farklı devir sayılarında test etmiştir. Çalışmasında karışım yakıtların kullanılmasıyla motor performansında önemli bir değişiklik olmadığını ancak ÖYT'nin % 9-13 arasında bir artış gösterdiğini belirtmiştir. Bununla beraber biyodizel içeren karışım yakıtların emisyon değerleri üzerindeki etkileri ise; NO<sub>x</sub> emisyonlarında bir miktar artış ile beraber CO ve is emisyonlarında azalmalar olduğu bildirilmiştir.

Can ve ark. (2017) kanola biyodizelini % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında dizel yakıtıyla karıştırmış ve karışım yakıtlarını tek silindirli bir dizel motorda farklı yüklerde test etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, kanola biyodizel karışımlarının yakılmasının, genellikle daha erken yanma zamanlamasına bağlı olarak tüm yükler için ateşleme gecikme süresinin kılmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Kanola biyodizel oranı yüksek yükte % 20'ye yükseldiğinde, ÖYT'nin % 6.56'ya yükseldiği ve termik verimin % 4.2'ye düştüğü belirtilmiştir.

Altun (2014) farklı doymamışlık derecesine sahip biyodizel yakıtları test ettiği çalışmasından daha doymamış yakıtların daha yüksek NO<sub>x</sub> ve duman emisyonlarına sahip olduğunu ve bu sonuçlar üzerinde daha çok setan sayısı ve adyabatik alev sıcaklığı gibi faktörlerin etkili olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Altun ve Lapuerta (2014) farklı yağ asidi kompozisyonuna sahip biyodizel yakıtları arasında is (duman) emisyonlarının dizel yakıtlara göre doymamışlık derecesinin ve molekül ağırlığının artmasıyla artacağını ayrıca adyabatik alev sıcaklığı ve buharlaşma entalpisi değerlerine göre dizel yakıtı ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında bir miktar farklılığın olacağını ve hatta doymamışlık ile biraz artış olabileceğini bildirmişlerdir.

Aydın ve Ögüt (2017) aspir tohumundan elde edilen yağı transesterifikasyon yöntemi ile biyodizele dönüştürerek çeşitli oranlarda dizel yakıtı ile karıştırmışlardır. Bu karışım yakıtları dört zamanlı, tek silindirli, su soğutmalı, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda test ettikleri çalışmalarında saf dizel yakıtı ile kıyaslandığında düşük oranlarda biyodizel kullanımının setan sayısını yükselttiğini ve motor ve yanma verimliliğini artırdığını belirtilmiştir.

Karakuş (2000) dizel motorlarında yakıt kalitesinin ve özelliklerinin motor performansı ve emisyonlar üzerinde etkileri olduğunu belirtmiştir. Yaptığı çalışmada, 4 silindirli 4 zamanlı direkt püskürtmeli bir dizel motoru üzerinde değişik setan sayısına sahip dizel yakıtlarının motor performans ve emisyonlar üzerindeki etkilerini değişik çalışma koşullarında incelemiştir. Deneylede, dizel yakıtı setan sayısı ve püskürtme basıncı parametreleri değiştirerek, emisyonlarda meydana gelen değişimleri gözlemlemiştir. Sonuç olarak, Setan sayısındaki artışa bağlı olarak CO emisyonlarında %5, NO<sub>x</sub> emisyonlarında %20 oranında azalma, duman emisyonunda ise artış olduğu gözlemlenmiştir. Motor gücünde ise %5 civarında bir artış meydana geldiği belirtilmiştir.

Lebedevas ve ark. (2009) kolza yağı metil esterlerine farklı oranlarda etanol ilave ederek, motor performans ve emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla test etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, özgül yakıt tüketiminin arttığını, Kolza yağı metil esterleri ile harmanlanan etanol miktarının her %10 artışı için CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları da %10-12'ye kadar düşüş olduğunu bildirmişlerdir.

Temizer (2010) 1 litre yakıt içerisinde % 5, % 10 ve % 15 oranlarında metanol ve faz ayrışımını engellemek için de dodekanol ilave etmiş ve hazırladığı yakıt numunelerini 4 silindirli direk enjeksiyonlu dizel motorunda test etmiştir. Ayrıca Mn metalinin bileşiklerini sentezleyerek katkı maddesi olarak çözeltilerini hazırlamıştır. Yaptığı deneyler neticesinde; karışımlardaki metanol miktarının artması ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında ve özgül yakıt tüketiminde artış olduğunu, CO emisyonlarında azalma sağlanırken, sentezi gerçekleştirilen MnO<sub>2</sub> ile setan sayısında artış, viskozite, parlama noktası ve donma noktası değerlerinde düşüş sağlandığı belirtilmiştir.

Nabi ve ark. (2006) neem yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmişlerdir. Dizel yakıtı ve dizel-biyodizel karışımlarını emisyon değerlerini incelemek üzere test etmişlerdir. Dizel-biyodizel harmanları konvansiyonel dizel yakıtla karşılaştırıldığında daha düşük karbon monoksit (CO) ve duman emisyonları, ancak daha yüksek azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonu değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, dizel yakıtla karşılaştırıldığında, EGR uygulandığında dizel-biyodizel karışımlarıyla NO<sub>x</sub> emisyonu EGR hafifçe azaldığı gözlemlenmiştir.

Song ve Jacobs (2014) çalışmalarında biyodizel kullanımıyla is emisyonlarında oluşan azalmanın  $\text{NO}_x$  emisyonu üzerinde herhangi bir etkiye neden olup olmadığını incelemişlerdir. Bunun için is emisyonları üzerine azaltıcı etkisi olduğu bilinen metalik esaslı Baryum katkı maddesini standart dizel yakıtı ve saf Palm biyodizeline katmışlardır. Çalışma sonucunda duman emisyonlarının  $\text{NO}$  oluşumu üzerinde dominant bir etken olmadığı, bu nedenle muhtemelen biyodizelin  $\text{NO}_x$  emisyonlarındaki artışa çok az katkıda bulunduğu belirtilmiştir.

Wang ve ark. (2016) Farklı biyodizellerle çalışan bir dizel motorda is oluşumunu anlamak için KIVA-3V kodunu çok aşamalı bir fenomen toplama modeli ile birlikte kullanarak sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Simülasyonlar üç çeşitli biyodizel hammadde tipleri için isteki farklılıkları tahmin etmek için kullanılmıştır. Çeşitli motor çalışma koşullarında motor denemelerinin ve simülasyonların karşılaştırılmasında duman emisyonlarıyla ilgili ulaştıkları sonuçlar neticesinde, biyodizel yakıtı üretiminde doymuşluğun derecesi ve oksijen içeriğinin biyodizelin duman emisyonu oluşumundan sorumlu olduğunu belirtmişlerdir. Biyodizelin pirolizinde üretilen asetilenin doymamış yağ asidi metil esterinin (CAC çift bağlarının sayısı) orantılı olduğunu gözlemlemişlerdir. Üç farklı biyodizel yakıtı arasında, hem sayısal modelleme hem de dizel motor deneyleri yoluyla en düşük doymamış alkil esterleri içeriğinden dolayı *Jatropha* Metil Esterinin duman emisyon değerlerinin en düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Gürü ve ark. (2002) Mn, Mg, Cu ve Ca metallerinin organik bileşiklerini sentezlenmiş ve hazırlanan çözeltileri dizel yakıt katkısı olarak kullanmışlardır. En fazla düşüşü dizel yakıtı donma noktasında sağlayan bu katkı maddelerini, optimum dozaj oranı ve diğer performans etkilerini belirlemek için test etmişlerdir. Sonuç olarak en büyük düşüş Donma noktasında elde edilmiştir. Bu katkıların,  $54.2 \mu\text{mol M/l}$  dizel yakıt dozaj oranında donma noktasını  $12.4 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye düşürdüğü belirtilmiştir. Katkı maddesiz dizel yakıtın setan sayısı 46.22 iken, optimum dozaj miktarında katkılı dizel yakıtın setan sayısını 48.24 olarak saptanmıştır. Organik bazlı manganezin viskozite ve parlama noktasını düşürdüğü ve egzoz gazlarının içeriğini geliştirdiği gözlemlenmiştir.

Kannan ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada atık pişirme palmiye yağı biyodizeli için yakıtla taşınan katalizör (FBC) olarak ferric klorür ( $\text{FeCl}_3$ ) kullanımını

araştırmışlardır. Metal esaslı katkı maddesini biyodizele 20 µmol/l dozunda ilave etmişlerdir. Deneyleri, farklı çalışma koşullarında 1500 dev/dk sabit hızda çalıştırılan doğrudan enjeksiyonlu dizel motorun performansı, emisyonu ve yanma özellikleri üzerine biyodizele eklenen ferrikloridin etkisini incelemek üzere yürütmüşlerdir. Sonuç olarak, FBC'nin eklendiği biyodizelin özgül yakıt tüketiminde (BSFC) % 8.6 oranında azalma olduğu, buna karşın termik verimliliğinde ise (BTE) % 6.3 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. Katkı eklenen biyodizel ile dizel yakıtı karşılaştırıldığında NO emisyonlarının daha düşük, CO<sub>2</sub> emisyonlarının ise çok az bir farkla daha yüksek çıktığı saptanmıştır. FBC eklenmiş biyodizelin, FBC içermeyen biyodizel ile karşılaştırıldığında karbon monoksit (CO), toplam hidrokarbon (THC) ve duman emisyonu, optimum çalışma koşulunda sırasıyla % 52.6, % 26.6 ve % 6.9 oranında azaldığı belirtilmiştir.

Keskin ve ark. (2011) metalik katkı maddelerinin yakıt tüketimine ve dizel motorun egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Katkı maddelerini, MnO<sub>2</sub> veya MgO ile abiyetik asidin sentezlenmesiyle üretmişlerdir. Bu katkı maddeleri dizel yakıtta 8 ve 16 µmol/l oranında katılarak test yakıtları hazırlanmıştır. Her iki katkıda da fiziksel özelliklerde (viskozite, parlama noktası, bulanıklık noktası ve akma noktası vb.) iyileşmeler meydana geldiği gözlemlenmiştir. Hazırlanan katkılı ve katkisiz test yakıtlarının motorda test edilmesi sonucunda; özgül yakıt tüketiminde % 4.16 oranında azalma meydana geldiğini gözlemlenmiştir. CO ve duman emisyonlarında sırasıyla % 16.35 ve % 29.82 oranında azalmalar kaydedilirken, NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinde artış olduğu belirtilmiştir. Ayrıca CO<sub>2</sub> emisyonuyla ilgili önemli bir değişiklik kaydedilmemiştir.

Turley ve ark. (1973) işlenmemiş dizel yakıtı, hacimce % 0.5 Bryton katkı maddesi ve hacimce % 0.75 Lubrizol katkısı kullanarak duman emisyon özelliklerini belirlemek için testler yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda, kullanılan katkı maddelerinin partikül büyüklüğü dağılımını değiştirmedeğini, ancak motordaki toplam kütle emisyonunun yaklaşık olarak % 50 azaldığını belirtmişlerdir.

Keskin ve ark. (2013) titanyum esaslı katkı maddesini 25, 50, 75 ve 100 ppm değerlerinde dizel yakıtıyla karıştırmış ve hazırlanan yakıt numunelerini motor performans ve emisyon testlerine tabi tutmuşlardır. Testler sonucunda motor tork ve



gücü dizel yakıtıyla benzerlikler gösterdiği, Özgül yakıt tüketiminde hafif düşüş meydana geldiği belirtilmiştir. Emisyon değerlerinde ise özellikle CO ve is emisyonunda ciddi azalmalar gözlemlenmiştir.

Haşimoğlu ve İçingür (2000) dizel motorlarından kaynaklanan NO<sub>x</sub> emisyonlarını incelemiş ve azaltılması için kullanılan yöntemleri araştırmışlardır. NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmaya yönelik kullanılan yöntemler diğer parametreler (yakıt sarfiyatı, HC ve PM) üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğundan, iki durumun da optimize edilmesi için birkaç kontrol yönteminin bir arada kullanılmasını önermişlerdir.

Haşimoğlu ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada tek silindri bir dizel motorunun egzoz gazlarını belirli oranlarda motorun emme hattına geri gönderip, motor performans ve emisyonkarakteristiklerini incelemişlerdir. EGR ile azot oksit emisyonlarında ciddi azalmalar meydana gelirken, özgül yakıt tüketimi ve duman emisyonlarında artış olmuştur.

Lapuerta ve ark. (2012) dizel oksidasyon katalisti ve dizel partikül filtresi eklenmiş EN-590 yakıtı kullanılan modern bir common-rail dizel motorunda filtre yüklemesi işlemini test etmişlerdir. Sonuç olarak, test süresince azotoksit emisyonlarında yaklaşık % 60 artış gözlemlenmiştir. Test boyunca alınan ölçümler neticesinde yakıt tüketiminde % 4 oranında bir artış ölçülmüştür ve bu durum literatür ile karşılaştırıldığında, literatürde beklenenden daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Kelso ve ark. (1990) organometalik esaslı platin katkı maddesini yakıtla karıştırarak 3 farklı motorda test etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, katkılı yakıtın özgül yakıt tüketiminde ortalama % 5 azalma olduğunu, CO ve HC emisyonlarında ise % 46'ya kadar azalma meydana geldiğini saptamışlardır. Katkı maddesi olarak kullanılan platinin öngörülen maliyetinin, yakıt sarfiyatındaki iyileşmeyle karşılaştırıldığında daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

D'Siva ve ark. (2015) titanyum dioksit nanopartiküllerini yakıt katkı maddesi olarak kullanmış ve dizeldeki nanopartikül dağılımının yoğunluğu, yanma noktası, viskozite ve kalorifik değeri deneysel olarak belirlemişlerdir. Daha sonra dizel yakıtı ve katkı ilaveli dizel yakıt için motor performans ve emisyon testleri yapmışlardır. Testler

sonucunda, nanopartiküllerin ilavesi ile motorun termik veriminde bir artış olduğu ve özgül yakıt tüketimi  $TiO_2$  nanopartiküllerin ilavesi ile azami yükte % 22 oranında azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Emisyonlar arasında,  $TiO_2$  nanopartiküllerinin eklenmesi, yanmamış hidrokarbon emisyonlarını % 18 ve karbon monoksit emisyonlarını % 25 azalttığı belirtilmiştir.

Imtenan ve ark. (2014) % 15 palm biyodizeli % 80 dizel yakıt karışımlarına % 5 oranında katkı maddesi olarak etanol, n-butanol ve dietil eter eklemiş ve karışımların emisyon ve performans karakteristiklerindeki değişimleri karşılaştırmışlardır. Çalışmaları neticesinde, genel olarak katkı maddelerin kullanımıyla özgül yakıt tüketiminin azaldığını, termik verimin arttığını gözlemlemiştirler. Özgül yakıt tüketiminde % 3.28 azalma gösteren ve % 20 palm biyodizeli % 80 dizel karışıma göre % 4'lük verim artışı olan dietil eterin katkı maddeleri içerisinde en iyi sonuçları verdiği belirtilmiştir. Sadece % 5 oranında ilave edilmelerine rağmen, katkı maddesi kullanılarak CO ve NO emisyonlarında ciddi azalmalar olduğu gözlemlenmiştir.

Alloune ve ark. (2017) *Citrullus colocynthis* L. Metil esterlerini biyodizel (B100) ve dizel yakıtlı karışım (B30) yakıt olarak bir dizel motorunda 1500 dev/dk' da performans, emisyon ve yanma karakteristiklerini incelemek amacıyla test etmişlerdir. Sonuç olarak, B100 ve B30' un dizel yakıtına kıyasla aynı yanma özelliklerine sahip olduğu ve düşük motor yüklerinde, B30 için silindir basıncının ve ısı salınım oranının (HRR) pik noktaları, ön karışimli yanma periyodu boyunca B100 ve dizel yakıtından daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında özgül yakıt tüketiminin tüm motor yüklerinde B100 için daha yüksek ölçülmüştür. HC, PM ve NO emisyon değerlerinde ise hem B100 hem de B30 yakıtı için % 50 ' ye varan azalmalar olduğu bildirilmiştir.

Ramalingam ve ark. (2016) *Annona* biyodizel için optimum karışım olduğu belirlenen A20 biyodizeline 5 ila 10 ml arasında (% 99.0 A20 +% 1.0 1,4) 1,4-dioksan yakıt katkı maddesi ilave etmiş ve dizel bir motorda test etmişlerdir. Çalışmalarında, tam yükte A20' ye kıyasla A20-10 ml için ısı verimliliğinin % 6.48 oranında iyileştiği, bununla beraber hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO), azot oksitler ( $NO_x$ ) ve duman emisyonlarında sırasıyla % 29,7, % 20, % 16,87 ve % 25,51 azalmalar olduğu bildirilmiştir.

Uyar (2013) tez çalışmasında çeşitli yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle ürettiği biyodizelleri saf olarak ve B20, B35, B50, B75 oranlarında dizel yakıtıyla karıştırarak, buna ek olarak B50 yakıtına Mn, dodekanol ve propilen glikol katkı maddeleri ilave ederek, üç silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda motor performans ve emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla test etmiştir. Çalışmaları sonucunda, özgül yakıt tüketiminde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca HC, CO ve is emisyonlarında düşüş, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise artış olduğu belirtilmiştir. Katkı ilave edilen B50 yakıtının test sonuçlarında ise, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> emisyonlarında artış, HC, NO<sub>x</sub>, CO ve is emisyonlarında düşüş olduğu bildirilmiştir.

Ayrıca metalik baryumun is oluşumuna etkisiyle ilgili bir çok çalışma mevcuttur. Norman ve ark. (1965) baryum katkısının duman koyuluğunu % 30-55 arasında düşürdüğünü ayrıca bir çok motor parçasının daha temiz ve daha az aşınmaya maruz kaldıklarını belirtmişlerdir. Benzer deneysel sonuçlar Truex ve ark. (1980) tarafından lubrizol 556 baryum katkısı kullanılarak elde edilmiştir. Yakıtı eklenen baryum katkısı hacimsel olarak % 0,25 oranında olmuştur. Baryum katkısıyla duman koyuluğundaki düşüş % 30-40 arasında ölçülmüştür.

Draper ve ark. (1988) karbonlu materyalin baryum katkı maddesi kullanılarak emisyon kütlesi içinde yaklaşık %30'a düştüğü gözlemlenmiştir. Karbon maddesinin indirgenmesinin duman koyuluğunun azaltılmasıyla ilişkili olabileceğini düşünmüşlerdir.

Yukarıdaki nedenlerden ötürü, mevcut araştırmada is oluşumunu kontrol etmek ve is oluşumu ile NO<sub>x</sub> oluşumu arasındaki muhtemel ilişkiyi araştırmak için petrol kökenli dizel yakıtına baryum içeren katkı maddesi eklenerek is oluşumunun azaltılması ve bu durumda NO<sub>x</sub> emisyonunun değişimi incelenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Test Yakıtları

Bu çalışmada, motor testleri geleneksel petrol kökenli dizel (ultra düşük sülfürlü dizel, ULSD) yakıtı ve soya bazlı biyodizel yakıtı ile gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtı esas yakıt olarak kullanılmış ve 0.25, 0.5 ve 1% hacimsel oranda baryum katkısı ile karıştırılmıştır. Biodizel direk (B100) olarak kullanılmış ve ticari bir firmadan temin edilmiştir. Test yakıtlarının bazı özellikleri Tablo 1'de listelenmiştir. Yakıt analiz sonuçlarında çok az miktardaki Ba katkısı petrol kökenli dizelin özelliklerini çok fazla etkilemeyeceği için dikkate alınmamıştır.

**Tablo 1.** Biyodizel ve petrol dizelinin fiziksel-kimyasal özellikleri

Özellik	Birim	EN14214	ASTM D6751	Biyodizel	Dizel
Yoğunluk 15 °C'de	kg/m <sup>3</sup>	860-900	-	883	840
Viskozite 40°C'de	mm <sup>2</sup> /sn	3.5-5.0	1.9-6.0	4.2	3.2
Parlama Noktası	°C	120 min	130 min	131	60
Kükürt içeriği	mg/kg	10 maks	50 maks	-	10
Alt ısı değeri	MJ/kg	-	-	39.5	42

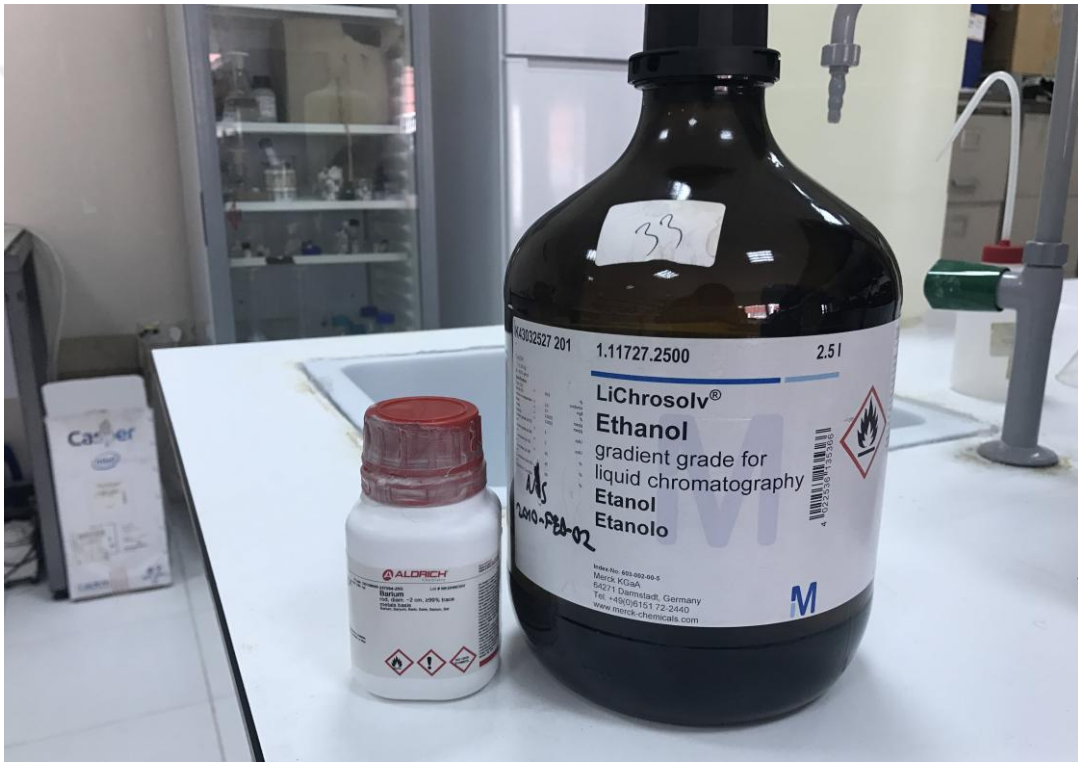
#### 3.2. Yakıt Katkı Maddesinin Hazırlanması

Dizel yakıtların yüksek emisyon değerlerini düşürmek ve yanma verimini artırmak için katkı maddeleri üzerinde devam eden bir çok çalışma mevcuttur. Üzerinde en çok çalışılan konulardan birisi de baryum, titanyum, mangan, nikel ve seryum gibi metalik yakıt katkı maddeleridir. Yapılan araştırmalar neticesinde katkı maddelerinin dizel yakıtının kirletici emisyonları azalttığı ve birçok özelliğini olumlu yönde değiştirdiği belirlenmiştir. Bu bağlamda yapılan çalışmada metalik baryum etanol ile reaksiyona sokularak katkı maddesi sentezi gerçekleştirilmiştir.

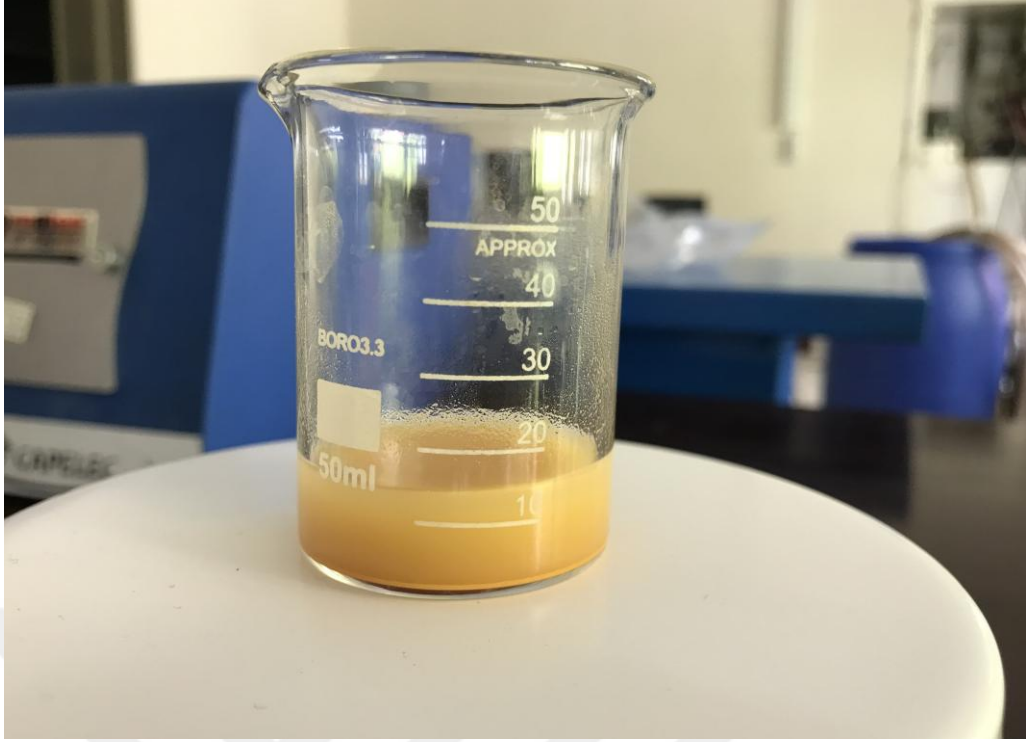
Kimyasal deneyler Batman Üniversitesi Kimya Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Bu çalışmada amaç metalik Baryum maddesinin katkı maddesi olarak bileşiğinin hazırlanması ve bu katkı maddesinin dizel yakıtına karıştırılarak dizel yakıtın

duman emisyonlarının düşürülmesi ve duman emisyonunun  $\text{NO}_x$  üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır.

Katkı maddesinin hazırlanması için, Şekil 3.1’de gösterilen % 99 saflıkta LiChrosolv marka etanol içerisine yine aynı şekilde gösterilen % 1 oranında % 99 saflıkta Aldrich marka metalik baryum öğütülerek ilave edilmiştir. Etanol ile baryumun reaksiyona girmesi ve bu reaksiyondan katkı maddesinin elde edilmesi için manyetik ısıtıcılı karıştırıcıda 400 rpm dönme hızında 70 °C’de 120 dakika boyunca karıştırılmıştır. Reaksiyon sonucunda elde edilen metalik baryum esaslı katkı maddesi Şekil 3.2’de verilmiştir.

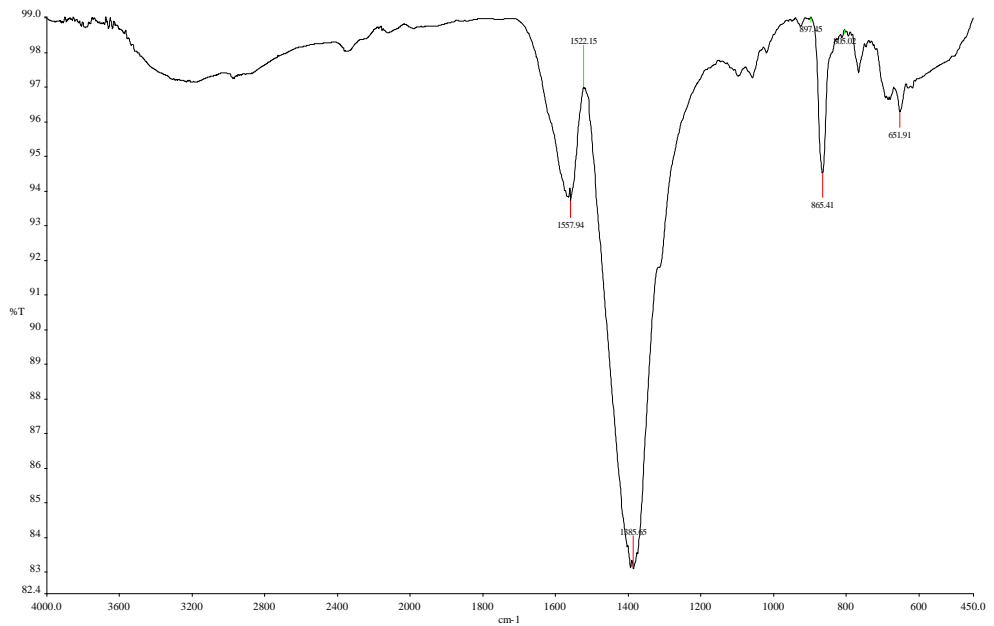


Şekil 3.1. Ticari olarak temin edilen metalik baryum ve etanol



Şekil 3.2. Metalik baryum ve etanol tepkimesi sonucu elde edilen bileşik

Metalik baryum ve etanolün reaksiyonu sonucu elde edilen bileşiğe Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR) Spektroskopi uygulanarak bileşiğin yapısındaki fonksiyonel grupların belirlenmesi ve bu sayede bileşiğin molekül formülünün anlaşılması amaçlanmıştır. Şekil 3.3.'teki görünen FTIR analizi sonucuna göre sentezlenen bileşiğin  $\text{Ba}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2$  (Baryum etoksit) olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Sentezlenen bileşiğin FTIR analizi

### 3.3. Katkılı Yakıtların Hazırlanması

Katkılı yakıtlar test için hazırlanırken, standart dizel yakıtı üzerine hacimsel olarak % 0,25, % 0,50 ve % 1 Ba katkı maddesi ilave edilmiştir. Bu oranlar seçilirken literatürde önerilen oranlar ile uygulamada karşılaşılan katkı oranları dikkate alınmıştır.

Dizel yakıtlarının özelliklerini geliştirmek amacıyla yakıt numuneleri içerisine farklı miktarlarda katkı maddeleri ilave edilmiştir. Farklı özellikteki yakıt numunelerine katkı maddeleri ilave edilerek fiziksel ve kimyasal yönden en iyi özelliklere sahip yakıtların elde edilmesi amaçlanmıştır. Daha önce metalik Ba esaslı katkı maddesi senteziyle bir çalışma yapılmadığından, uygun dozajın belirlenmesi için numune sayısı fazla tutulmuştur. Her test yakıtı motor performans ve emisyon karakteristiklerinin belirlenmesi için ayrı ayrı dizel motorda test edilmiştir. Her bir yakıt numunesinin kısaltılmış ismi ve içeriğiyle ilgili bilgi Tablo 3.1’de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Test yakıtlarının adlandırılması

Yakıtın kısaltılması	Yakıtın içeriği
<b>D</b>	% 100 Dizel yakıtı
<b>% 0,25Ba+D</b>	2 litre dizel yakıtı içinde 5 ml Ba katkısı
<b>% 0,50Ba+D</b>	2 litre dizel yakıtı içinde 10 ml Ba katkısı
<b>% 1Ba+D</b>	2 litre dizel yakıtı içinde 20 ml Ba katkısı
<b>B</b>	% 100 Biyodizel

### 3.4. Motor Deney Düzeneği ve Yöntemler

#### 3.4.1. Deney Seti

Deney düzeneği, dizel motorlu jeneratör, hassas terazi, alternatör, yükleme için alternatör tarafından üretilen elektrik enerjisini tüketen elektrikli rezistanslar, egzoz gazı analiz cihazı ve duman ölçüm cihazından oluşmaktadır. Test 3 silindirli direkt püskürtmeli INTER-IDE314NG dizel motorunda yapılmıştır. Motor 1500 dev/dak’da 12.5 kW prime 13.5 kW’ta stand-by güç çıkışına sahiptir. Strok hacmi 1.4 L, sıkıştırma oranı ise 17:1’dir. Deneylerde kullanılan motorun diğer motor özellikleri Tablo 3.2.’de verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Deney motorunun teknik özellikleri

<b>Marka ve model</b>	<b>INTER-IDE314NG</b>
Net Motor Gücü	12.5-13.5 kW @ 1500 dev/dak
Soğutma	Su soğutma
Çap x strok (mm)	80x90
Strok hacmi	1,4 lt
Silindir sayısı	3
Püskürtme sistemi	Direkt
Sıkıştırma oranı	17:1

Hazırlanan test yakıtları Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarı'nda bulunan üç silindirli, direkt püskürtmeli ve su soğutmalı dizel motorlu jeneratör deney setinde test edilmişlerdir. Motorun yüklenmesi için 230/400 V ve aktif gücü 1500 dev/dak hız ile 50 Hz frekansta 9.6 (prime) ve 10.4 (stand-by) kW olan senkron tip fırçasız alternatör kullanılmıştır. Jeneratörün özellikleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

**Tablo 3.3** Deney Jeneratörünün özellikleri

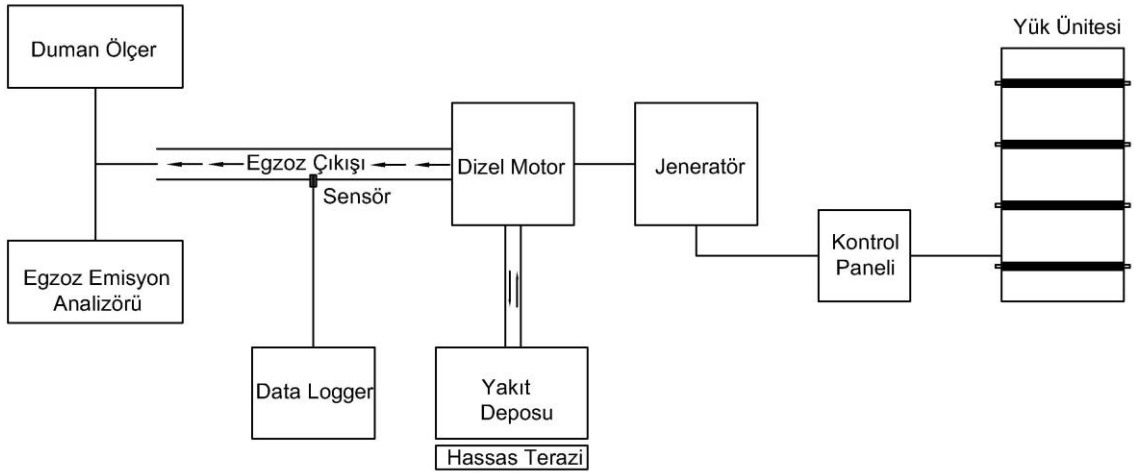
<b>MARKASI</b>	<b>GENPOWER GNT 13</b>
Tipi	Senkron-Fırçasız
Gerilim Toleransı	0,5
Gerilimi	231-400V
Akım Dağılımı	L1-L2-L3
Dayanımı	2U+1000V Minimum 1800 Volt
Güç çıkışı	9.6-10.4 kW @ 1500 dev/dak ve 50 Hz

Testlerde motorun yüklemesi için alternatör tarafından üretilen elektrik enerjisini tüketen farklı güçlerde rezistanslar kullanılarak motor yükü kontrol edilmiştir. Çıkış gücü deney setinde bulunan ampermetre ve voltmetre'nin gösterdiği değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 3.4 ve 3.5'te deney setinin fotoğrafı ve şematik olarak gösterimi yer almaktadır. Veri toplama işlemine başlamadan önce her bir testten önce motor kararlı hale gelmesi için o testte kullanılan yakıt ile bir süre çalıştırılmıştır. Motor kararlı hale geldikten sonra her bir test yakıtı kullanılarak 1500 dev/dak sabit hızda ve iki farklı motor yük şartlarında testler yapılmıştır. Soğutma sıvısı sıcaklığı kontrol panelinde bulunan göstergeden okunmuştur. Egzoz sıcaklığı ise egzoz manifolduna takılan termokupl kullanılarak ölçülmüştür.





Şekil 3.4. Deney düzeneğinin genel görünümü



Şekil 3.5. Deney düzeneğinin şematik görünümü

### 3.4.2. Egzoz Emisyon ve Duman Ölçüm Cihazı

Deneylerde egzoz emisyon ve duman değerlerini ölçmek için kullanılan CAPELEC CAP 3200 marka gaz analiz cihazı Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.4. Egzoz emisyon ve duman ölçüm cihazı

Egzoz emisyon ve duman ölçüm cihazının ölçme hassasiyeti ve ölçüm aralığı Tablo 3.4' te yer almaktadır.

Tablo 3.4. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri

Parametre	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
NO <sub>x</sub>	0-5000 ppm	% 0,01
CO	% 0-15	% 0,001
O <sub>2</sub>	% 0-21.7	% 0.01
CO <sub>2</sub>	% 0-20	% 0.1
HC	0-20 ppm	1 ppm
Duman koyuluğu	% 0-99.9	% 0.01

### 3.4.3. Egzoz Sıcaklık Ölçümü

Egzoz gazı sıcaklık ölçümü için Elimko marka E-680 serisi 32 girişe kadar değişik noktalardan alınan bilgilerin gösterimini yapabilen universal girişli-gelişmiş tarayıcı cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.7.'de cihazın görüntüsü Tablo 3.5'te ise teknik özellikleri yer almaktadır.



Şekil 3.7. Üniversal girişli-gelişmiş tarayıcı

Tablo 3.5. Egzoz gazı sıcaklık ölçme cihazının teknik özellikleri

Doğruluk sınıfı	0,5
Çalışma ortam sıcaklığı	-10 – +50 °C
Güç sarfı	Max 10 VA
Ağırlık	650 gr

### 3.5. Yöntem

Deneylere katkı maddesinin sentezlenmesiyle başlanmıştır. Elde edilen katkı maddesi farklı oranlarda standart dizel yakıtına eklenmiş ve motor deneyleri yapılmıştır. Deneyler, motor bir süre yüksüz çalıştırılıp optimum koşulları sağladıktan sonra, her bir test yakıtı için sabit devirde (1500 dev/dk) ve %30-%70 yük koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yakıt numunelerinin farklı yük koşulları altında özgül yakıt, efektif verim, egzoz emisyon ve duman değerleri ölçülmüştür. 1500 dev/dak ve 3.4 kW (% 30 yük) ve 1500 dev/dak ve 7.6 kW (%70 yük) olmak üzere iki motor çalışma durumu incelenmiştir. 1500 dev/dak motor hızı jeneratör setinin anma hızıdır. Bununla beraber hava-yakıt karışımının silindir içerisinde yüksek sıcaklıklarda daha uzun süre kalmasından dolayı bu çalışmada NO<sub>x</sub> oluşumunun araştırılması için düşük motor devir sayısı ve yüksek yük şartlarında, ayrıca, düşük hız ve düşük yük koşullarında jeneratör setleri gibi stasyonere dizel motorların tipik çalışma koşullarını temsil ettiği için düşük motor devir sayısı ve düşük yük koşullarında da çalışılmıştır.

Dolayısıyla işletme şartları 1500 dev/dak ve bu devirdeki maksimum güç çıkışının %30'u oranında yük (3.4 kW) ile 100 dev/dak ile %70 yük (7.6 kW) olarak seçilmiştir.

### 3.6. Hesaplanan performans parametreleri

Yakıt numunelerinin yanma, motor performans ve emisyonlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi için deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak efektif verim ve özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

#### 3.6.1. Efektif Verim

Efektif verim; yakıtın yanması sonucunda oluşan ısı enerjisinin, motorun bu enerjiyi faydalı iş haline dönüştürme oranıdır.

Yanma sonunda açığa çıkan ısı enerjisinin büyük bir kısmı yağlama sistemi ve soğutma sistemi ve egzoz gazları tarafından motordan uzaklaştırılır. Bunun sonucunda ancak geriye kalan ısı motorlardan güce dönüşebilir.

$$\eta_e = \frac{3600}{be * Hu} \quad (3.1)$$

$\eta_e$  :Efektif verim (%)

$be$  :Özgül yakıt tüketimi (kg/kWh)

$Hu$  : Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

#### 3.6.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi motorun birim güç başına harcadığı yakıt miktarı olarak tanımlanabilir. Yapılan çalışmalarda, her bir yakıt numunesi için yakıt tüketimi 3'er dakikalık periyotlar süresince gr cinsinden kaydedilmiştir. Daha sonra özgül yakıt tüketimi formülü üzerinden ÖYT hesaplanmıştır.

$$be = \frac{B}{Pe} \times 3600 \quad (3.2)$$

$be$  : Özgül yakıt tüketimi (g/kW-saat)

$Pe$  : Efektif güç (kW)

$B$  : Yakıt tüketimi (g/s)



#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde Standart dizel yakıtı, katkılı dizel yakıt karışımları ve biyodizelin sabit motor hızı ve farklı yük koşullarında (3,4 kW ve 7,6 kW) jeneratörlü bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmalarıyla elde edilen motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerinin deneysel sonuçları grafikler halinde sunulmuştur.

##### 4.1. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)

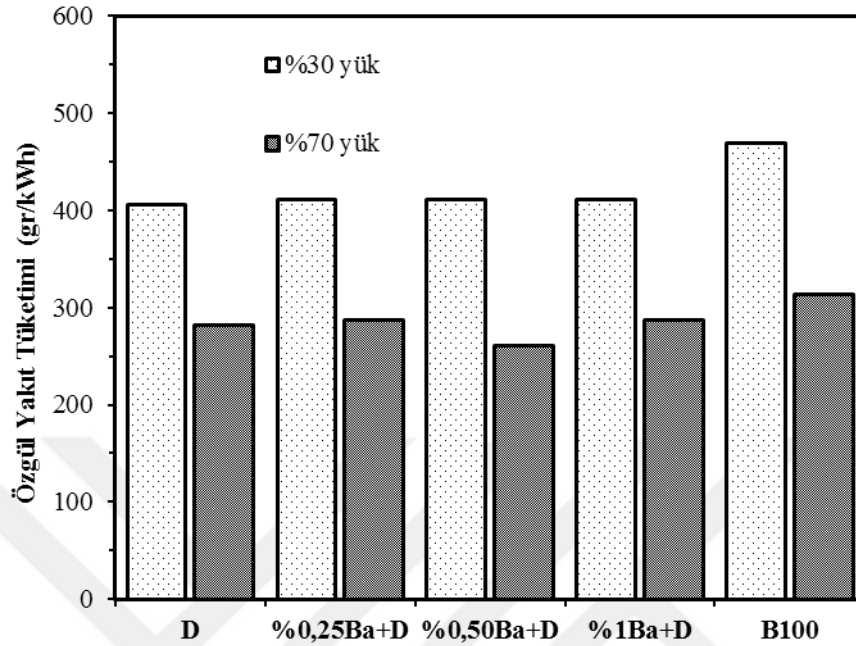
Şekil 4.1’de deney yakıtları için farklı yük koşullarında ve sabit motor hızında elde edilen özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerleri gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi düşük yük koşullarında tüm test yakıtları için yüksek olan ÖYT yüksek yükte düşmüştür. Test yakıtları kendi aralarında karşılaştırıldığında 3,4 kW yük koşullarında hemen hemen tüm yakıtlar için ÖYT’nin benzer çıktığını bununla beraber saf dizel kullanımında bir miktar düşük ÖYT elde edildiği söylenebilir. Biyodizel kullanımının yükün 3,4 kW olduğu durumda ÖYT değeri dizel kullanımına göre % 16 artmıştır. Yük miktarı 7,6 kW’a yükseltildiğinde ise biyodizelin ÖYT değerinin saf dizel yakıtın ÖYT değerinden % 11,1 daha yüksek olduğu görülmektedir. Teorik olarak standart dizel yakıtına göre daha düşük ısı değere sahip olan biyodizelin, aynı güç çıkışı için ÖYT’nin daha yüksek olması gerekmektedir. Bunun yanısıra Ba katkılı yakıt numunelerinin özgül yakıt tüketiminin standart dizel yakıtı ile benzer çıkması, katkı maddesinin yakıt tüketimi üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermektedir. Bu durum katkılı yakıtların emisyon değerlerinin karşılaştırılmasını kolaylaştırmaktadır.

**Tablo 4.1.** Test yakıtlarının farklı yüklerdeki ÖYT değerleri

Yakıt Türü	ÖYT Değerleri (gr/kWh)	
	% 30 (3.4 kW)	% 70 (7.6 kW)
D	404,8	281,3
% 0,25Ba+D	410,7	286,5
% 0,50Ba+D	410,7	260,3
% 1Ba+D	410,7	286,5
B100	469,4	312,5

Katkı ilaveli yakıtlar kendi aralarında karşılaştırıldığında; düşük yük şartlarında tüm yakıtlar için ÖYT’nin aynı olduğu görülmektedir. Yüksek yük koşullarında ise; en

düşük ÖYT'nin % 0,50 Ba katkılı yakıt kullanımında elde edildiği gözlemlenmiştir. % 0,25 ve % 1 Ba katkılı yakıtların ise özgül yakıt tüketimleri aynı çıkmıştır.



Şekil 4.1. Özgül yakıt tüketimi değerlerinin yük ile değişimi

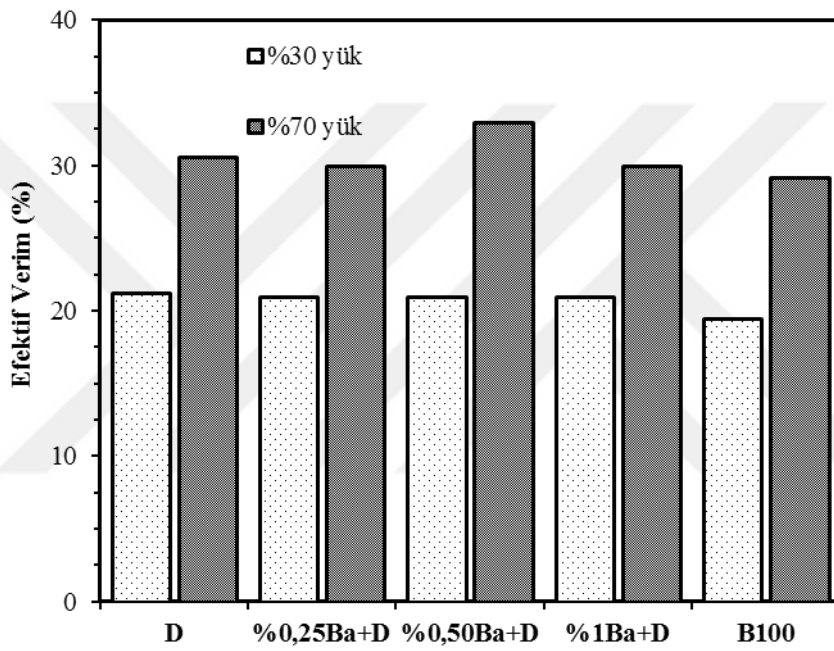
#### 4.2. Efektif Verim

Test yakıtlarının farklı yüklerdeki efektif verimlerinin değişimleri Şekil 4.2.'de verilmiştir. Motor çıkış gücündeki artışla beraber Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi bütün yakıtlar için efektif verimde artış gözlemlenmiştir. Baryum katkılı yakıtların düşük yüklerdeki efektif verimleri birbirine çok yakın seyretmekte olup; saf dizel yakıt kullanımında bir miktar yüksek efektif verim elde edildiğini söylemek mümkündür. Yük oranının artmasıyla beraber farklı oranlardaki baryum katkılarının etkileri gözle görülür şekilde değişmiştir. 3,4 kW yükteki efektif verim değerlerine baktığımızda katkısız dizel yakıtının biyodizel ve baryum katkılı dizel yakıtla oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak 7,6 kW yük şartlarında özellikle % 0,50 Ba katkılı yakıtın efektif verimi bütün yakıtlara oranla daha yüksek çıkarken, % 0,25 Ba ve % 1 Ba katkılı yakıtların efektif verim oranları dizel yakıtla çok yakın ancak % 1,7 daha düşük olmuştur. Biyodizel yakıtın efektif verim değerleri bütün yük kademelerinde diğer yakıtlara oranla düşük çıkmıştır. Testlerde kullanılan yakıt numuneleri için efektif verim

değerlerinin Tablo 4.2' deki gibi çıkması yakıtın ısı değeri ve özgül yakıt tüketimi ile ilgili olabilir.

**Tablo 4.2.** Test yakıtlarının farklı yüklerdeki Efektif Verim değerleri

Yakıt Türü	Efektif Verim Değerleri (%)	
	% 30 (3.4 kW)	% 70 (7.6 kW)
D	21,2	30,5
% 0,25Ba+D	21	30
% 0,50Ba+D	21	33
% 1Ba+D	21	30
B100	19,4	29,1



**Şekil 4.2.** Efektif verim değerlerinin yük ile değişimi

### 4.3. NO<sub>x</sub> Emisyonlarının İncelenmesi

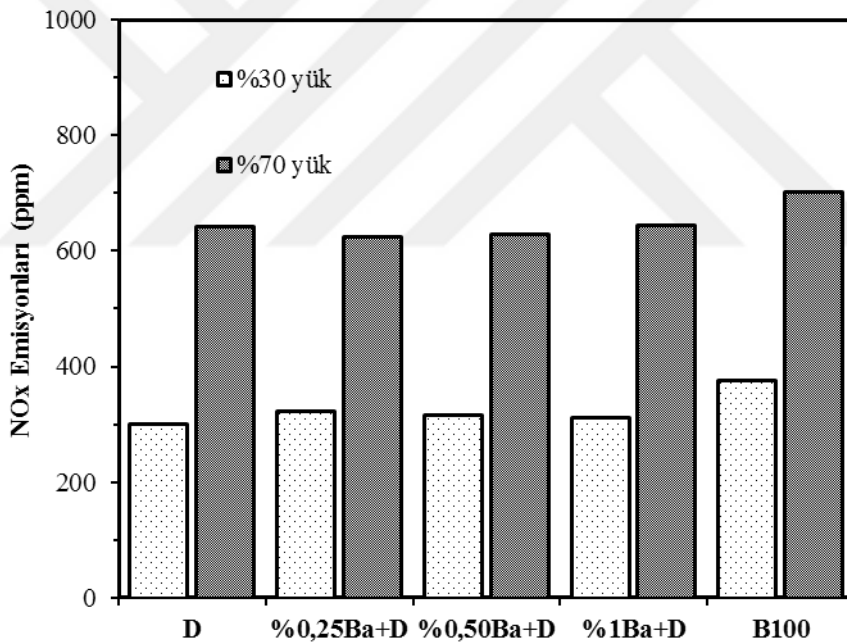
Metalik Baryum esaslı katkı maddelerinin % 0,25, 0,50 ve 1 hacimsel oranlarında standart dizel yakıtına ilave edilmesiyle elde edilen karışımların, saf dizel yakıtın ve % 100 biyodizelin, dizel motorda sabit devir ve farklı yük kademelerinde oluşturduğu NO<sub>x</sub> emisyon değerleri Tablo 4.3.'te verilmiştir. Her iki yük kademesinde de en fazla NO<sub>x</sub> artışı B100 yakıtı ile gerçekleşmiştir. Katkılı yakıtların kullanımı ile 3,4 kW yük kademesinde dizel yakıtı oranla NO<sub>x</sub> emisyonlarında % 0,25Ba+D, % 0,50Ba ve % 1Ba katkıli yakıtlarda sırasıyla % 7,4, % 5,4 ve % 4,4 artış gözlemlenmiştir. 7,6 kW yük kademesinde ise saf dizel yakıt kullanımına göre % 0,25Ba+D yakıtı için %



3,1, % 0,50Ba+D için % 2,1 azalma meydana gelirken; % 1Ba+D yakıtı için ise NO<sub>x</sub> değerleri benzer çıkmıştır. NO<sub>x</sub> değerlerinin B100 yakıtının kullanımıyla 3,4 kW yük için % 26 ve 7,6 kW yük için % 9,4 oranlarında artması biyodizel yakıtının Oksijen içeriğinin fazla olmasıyla açıklanabilir. Elde edilen test sonuçlarından da anlaşılacağı gibi; dizel yakıtına katkı maddesinin ilave edilmesi NO<sub>x</sub> emisyonlarında önemli değişikliklere neden olmamıştır.

**Tablo 4.3.** Test yakıtlarının farklı yüklerdeki NO<sub>x</sub> emisyon değerleri

Yakıt Türü	NO <sub>x</sub> Emisyonu (ppm)	
	% 30 (3.4 kW)	% 70 (7.6 kW)
D	299	642
% 0,25Ba+D	321	623
% 0,50Ba+D	315	629
% 1Ba+D	312	643
B100	376	702



**Şekil 4.3.** Farklı yükler için NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinin değişimi

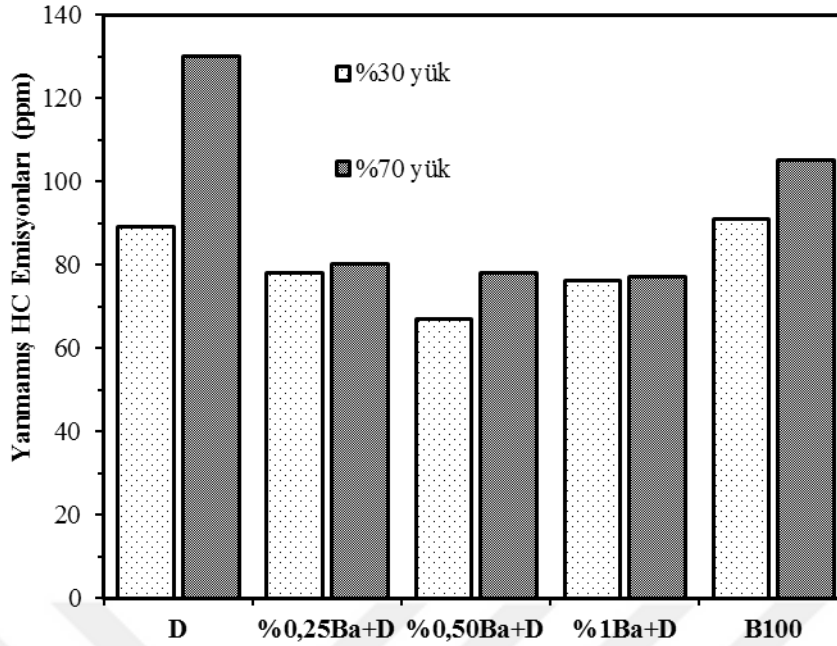
#### 4.4. Yanmamış Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının İncelenmesi

1500 dev/dak'lık sabit hızda, % 30 ve % 70 değişken yük şartlarında çalıştırılarak ÖYT ölçülmüştür. Hazırlanan katkılı yakıtlar % 0,25Ba+D, % 0,50Ba+D ve % 1Ba+D ve B100 yakıtlarının emisyon testlerinden ölçülen HC değerleri, saf dizel yakıtın değerleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen emisyon verileri değerleri Tablo

4.4'te sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi kullanılan tüm yakıtlar için yükün artması ile HC emisyonlarında artış olmuştur. Katkılı yakıtlar saf dizel yakıtının HC değerleriyle karşılaştırıldığında; 3,4 kW yük koşulunda % 0,25Ba+D, % 0,50Ba+D ve % 1Ba+D yakıtları için sırasıyla % 14,1, % 32,8 ve % 17,1 oranlarında azalma meydana gelirken, B100 yakıtı için ise % 2,2 oranında artış gözlemlenmiştir. Yük kademesi 7,6 kW 'ya çıkarıldığında ise; test yakıtları içerisinde en yüksek HC emisyon değerinin 130 ppm ile saf dizel yakıtına ait olduğu görülmektedir. % 0,50Ba+D katkıli yakıt ise 78 ppm değeriyle en düşük HC emisyon değerine sahiptir. Ortalama HC emisyonları ise % 0,25Ba+D, % 0,50Ba+D, % 1Ba+D ve B100 yakıtları için saf dizel yakıtına göre yaklaşık % 40,6, % 34, % 30,1 ve % 18 oranında daha düşük olmuştur. Katkı ilaveli test yakıtlarının HC emisyon değerlerinin düşük çıkması yakıtın setan sayısı üzerindeki etkisi ve oksijen miktarını arttırmasına bağlanabilir. B100 yakıtının HC emisyon değerlerinin biyodizelin oksijen içeriğinin fazla olmasından dolayı saf dizel yakıtından düşük olması beklenen bir sonuç olmasına rağmen, biyodizelin viskozitesinin yüksek olması düşük yük kademesinde enjektörden iri taneli damlacık olarak püskürtülmesinden dolayı, tutuşma gecikmesi uzun sürmekte ve bu nedenle eksik yanma meydana getirmektedir. Bu durumun sonucu olarak da 3,4 kW yük kademesinde B100 yakıtının HC emisyon değerlerinin saf dizel yakıtına oranla daha yüksek çıkmasına neden olmaktadır.

**Tablo 4.4.** Test yakıtlarının farklı yüklerdeki HC emisyon değerleri

Yakıt Türü	HC Emisyonu (ppm)	
	% 30 (3.4 kW)	% 70 (7.6 kW)
D	89	130
% 0,25Ba+D	78	80
% 0,50Ba+D	67	78
% 1Ba+D	76	77
B100	91	105



Şekil 4.4. HC emisyon değerlerinin yük ile değişimi

#### 4.5. Duman (İs) Emisyonlarının İncelenmesi

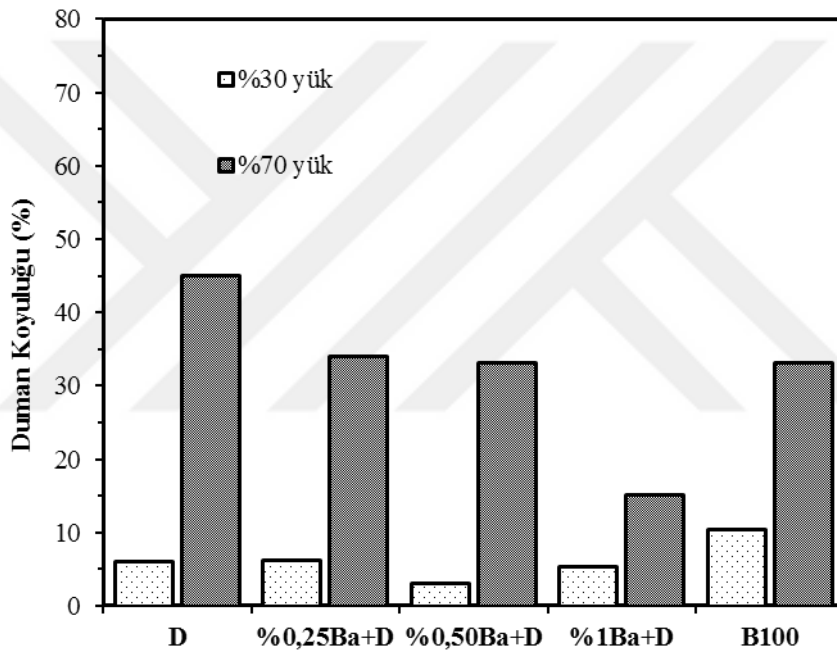
Metalik Baryum esaslı katkı maddesinden hazırlanan % 0,25Ba+D, % 0,50Ba+D ve % 1Ba+D yakıtları ve B100 yakıtının duman emisyon değerleri, saf dizel yakıtının değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sabit devir ve farklı yük kademelerinde yapılan testler sonucunda ölçülen duman emisyon değerleri Tablo 4.4.' te verilmiştir. Düşük yük kademesinde duman koyuluk değerleri düşükken, yük miktarının artmasıyla her bir yakıt numunesi için duman emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. 3,4 kW yük kademesinde en düşük duman emisyon değeri % 0,50Ba+D yakıtıyla elde edilmiştir. Saf dizel yakıt ile karşılaştırıldığında, % 0,50Ba+D ve % 1Ba+D yakıtları için duman koyuluğunda sırasıyla % 50 ve % 13,3 oranında düşüş gözlemlenirken, % 0,25Ba+D ve B100 için % 3,3 ve % 73,3'lük artış olmuştur. Yük kademesi 7,6 kW'ya yükseltildiğinde, en düşük duman koyuluğu % 15 oranıyla % 1Ba+D yakıtıyla elde edilmiştir. Saf dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında % 0,25Ba+D, % 0,50Ba+D, % 1Ba+D ve B100 yakıtı için sırasıyla % 24,4, % 26,7, % 66,7 ve % 26,7 oranlarında azalma olmuştur.

Ortalama duman koyuluğu değeri saf dizel yakıtı için en yüksek iken, saf dizel yakıtına göre % 60,4 oranında daha düşük duman koyuluğu değeriyle % 1Ba+D yakıtı en düşük duman emisyonuna sahiptir. Deneyle elde edilen veriler neticesinde,

metalik Baryum esaslı katkı maddelerinin hacimsel olarak değişik oranlarda saf dizel yakıtı ile karıştırılması sonucu duman emisyon değerlerinde önemli derecede düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 4.5.** Test yakıtlarının farklı yüklerdeki duman koyuluğu değerleri

Yakıt Türü	Duman koyuluğu (%)	
	% 30 (3.4 kW)	% 70 (7.6 kW)
D	6	45
% 0,25Ba+D	6,2	34
% 0,50Ba+D	3	33
% 1Ba+D	5,2	15
B100	10,4	33

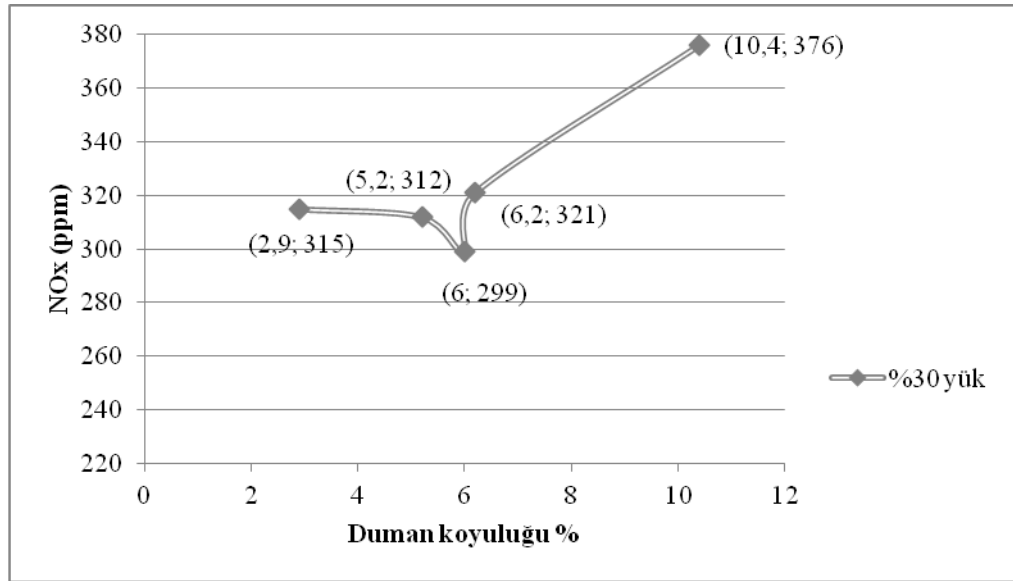


**Şekil 4.5.** Duman koyuluğunun yük ile değişimi

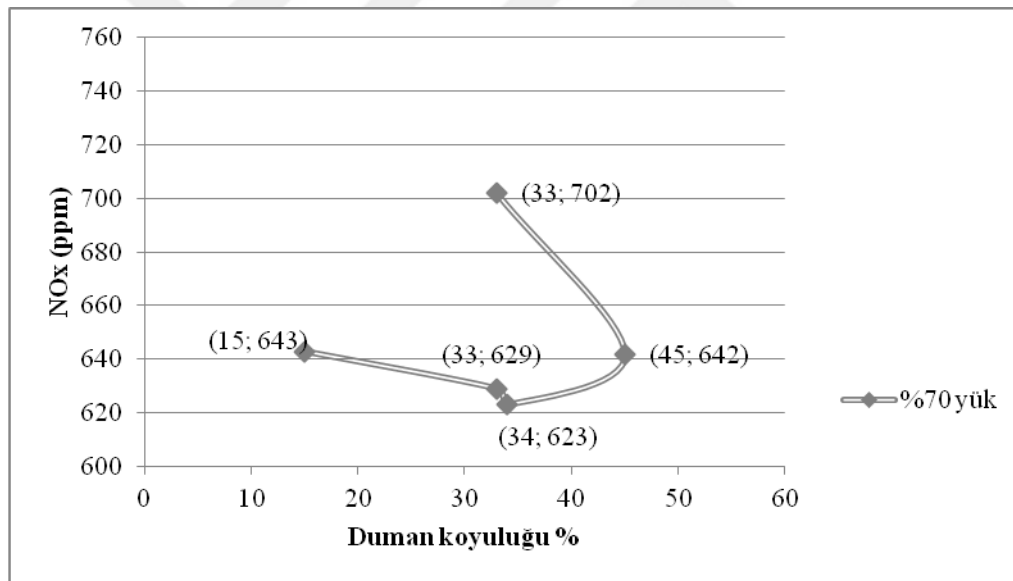
#### 4.6. NO<sub>x</sub> emisyonu üzerinde duman oluşumunun etkisi

Şekil 4.6 ve 4.7’de NO<sub>x</sub> ve duman emisyonlarının Ba miktarına ve yüke göre değişimi verilmiştir. Ba eklenmeden Dizel kullanımı ile % 30 yük şartlarında duman koyuluğu % 6, NO<sub>x</sub> emisyonu ise 299 ppm olarak ölçülmüştür. Bu şartlarda biyodizel ile duman koyuluğu % 10,4 ve NO<sub>x</sub> ise 376 ppm olarak ölçülmüştür. Sabit devir sayısında yük % 70’e çıkarıldığında dizel ile duman koyuluğu % 45, NO<sub>x</sub> ise 642 ppm; biyodizel durumunda ise % 33 duman koyuluğu 702 ppm’de NO<sub>x</sub> elde edilmiştir. Her iki durumda da NO<sub>x</sub> emisyonlarının biyodizel kullanımında dizele göre daha yüksek

olduğu açıktır. Ancak düşük yük şartlarında biyodizel ile duman koyuluğu dizele göre bir miktar yüksek çıkmıştır. Bu beklenmeyen bir sonuçtur. Çünkü biyodizelin yapısında bulunan moleküler oksijen içeriği daha düşük duman emisyonu oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum literatürde yaygın bir şekilde bildirilmiştir (Lapuerta ve ark., 2008). Yüksek yük şartlarında değerlendirme yapmak gerekirse dizel yakıtı ile elde edilen % 45 duman koyuluğu Ba eklenmesi ile % 15 dolaylarına kadar düşmüştür. Dizel yakıtına % 0,25 ve % 0,50 Ba eklenmesi durumunda biyodizel ile ölçülen % 33 duman koyuluğu değerine ulaşılmıştır. Bu şartlarda Ba eklenmiş dizel yakıtları ile dizel yakıtına göre bir miktar daha düşük NO<sub>x</sub> emisyonu ölçülmüştür. Ancak bu düşüş % 2-3 oranlarında olmuştur. Dizel yakıtına Ba eklenmesi duman emisyonlarında ise % 24,4 - 66,7 arasında düşüş olmasına neden olmuştur. Dolayısıyla Ba katkısının NO<sub>x</sub> azaltımı üzerindeki etkisinin düşük olduğu söylenebilir. Benzer sonuçlar literatürde yapılmış diğer çalışmalarda da bildirilmiştir (Song and Jacobs, 2014). Biyodizel kullanımında düşük (is) kurum oluşumunun radyatif ısı geçişini azaltması ve dolayısıyla alev sıcaklığının yüksek olması nedeni ile biyodizel motorlarda NO<sub>x</sub> oluşumunun artması literatürde yüksek NO<sub>x</sub> için rapor edilen nedenler arasındadır (Zhang ve Boehman, 2007). İs (kurum) parçacıklarının radyatif ısı geçişi ile daha düşük alev sıcaklığına sahip olmalarından dolayı thermal NO oluşumunun is oluşumunun artması ile azalması beklenmektedir (Song and Jacobs, 2014; Musulus, 2005; Cheng ve ark., 2006). Dolayısıyla bu çalışmada metalik baryum katkısı kullanılarak dizel durumunda duman oluşumunu azaltarak NO<sub>x</sub> emisyonlarının değişimi incelenmiştir. Çünkü metalik baryum katkısı duman oluşumunu azalttığı bilinmektedir (Song and Jacobs, 2014; Cotton ve ark., 1971; Miller, 1967) Biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre daha yüksek NO<sub>x</sub> elde edildiği durumda Ba ilave edilmiş dizel yakıtı ile benzer oranlarda duman emisyonu elde edilmiş ancak NO<sub>x</sub> emisyonlarında bir artış olmadığı görülmüştür.



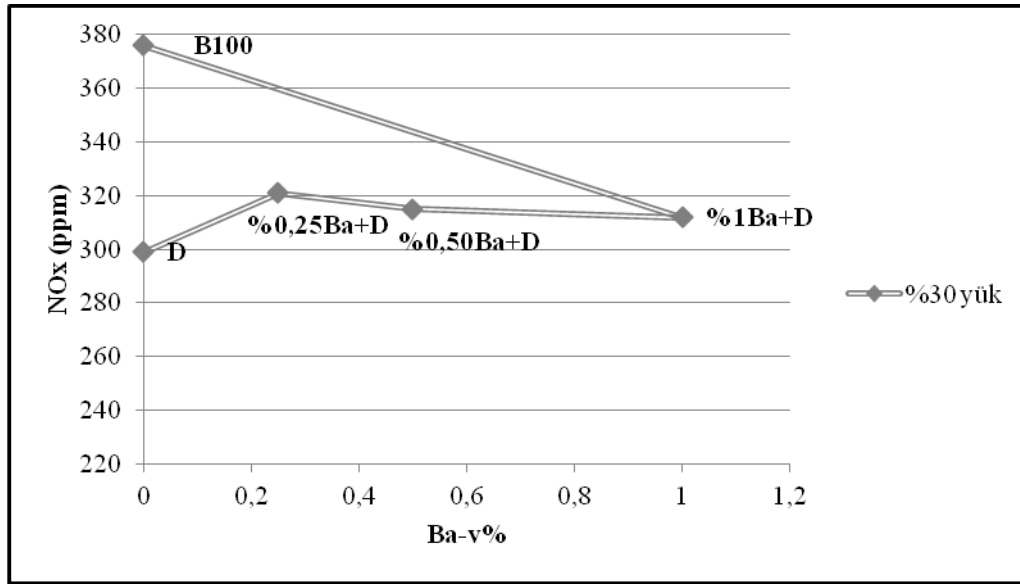
Şekil 4.6. % 30 yükte duman koyuluğu ve NO<sub>x</sub>'in değişimi



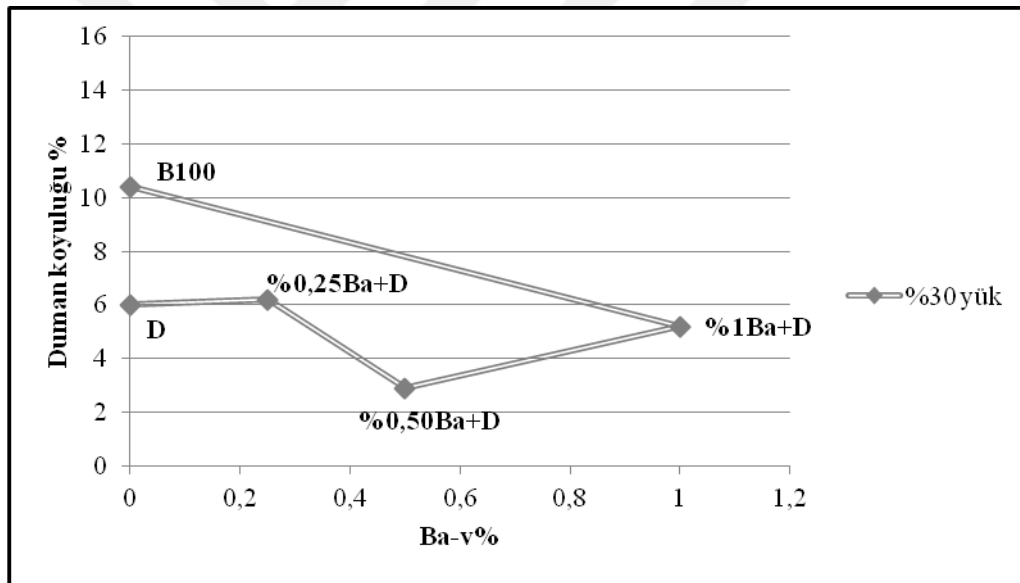
Şekil 4.7. % 70 yükte duman koyuluğu ve NO<sub>x</sub>'in değişimi

#### 4.7. Ba ilavesinin NO<sub>x</sub> ve duman emisyonu üzerindeki etkisi

Şekil 4.8 ve 4.9'da görüldüğü gibi katkı ilaveli yakıtlarda NO<sub>x</sub> emisyon miktarının azalması ile % 30 yük şartlarında duman koyuluğunda bir miktar düşme ile beraber tekrar yükselme olduğu görülmektedir.

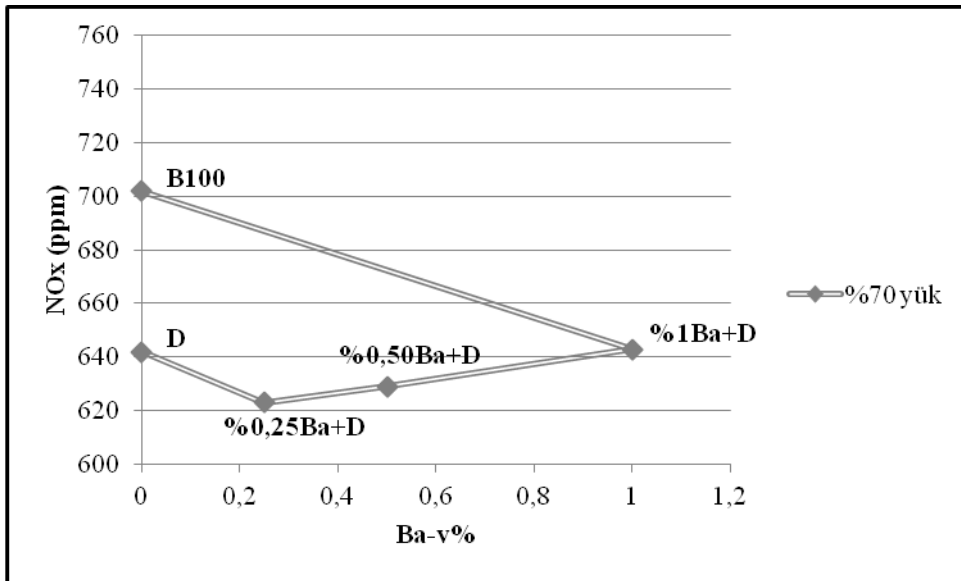


Şekil 4.8. % 30 yükte NO<sub>x</sub> emisyonunun katkı ilavesiyle değişimi

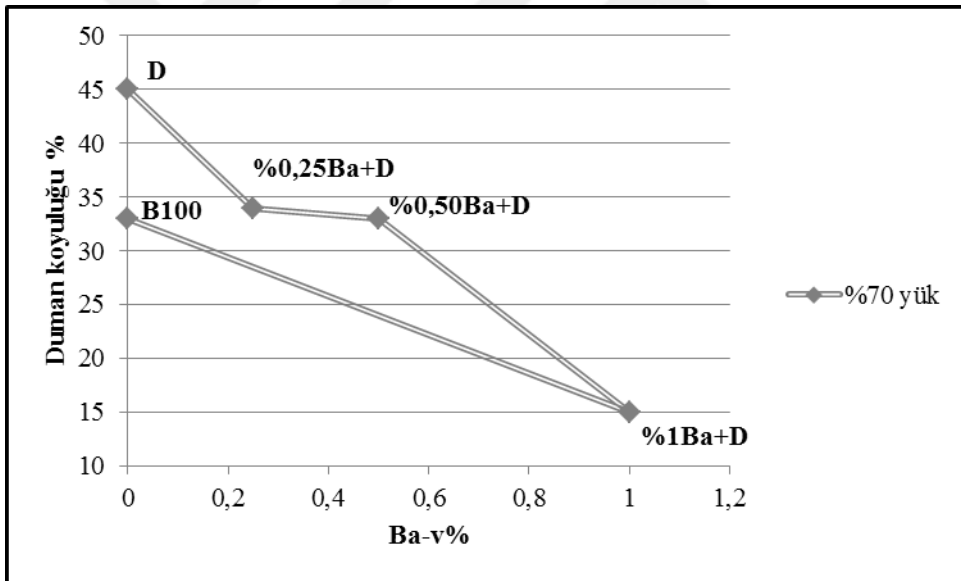


Şekil 4.9. % 30 yükte duman koyuluğunun katkı ilavesiyle değişimi

Yüksek yük şartlarında ise farklı bir durum gözlemlenmiştir. Şekil 4.10 ve 4.11’de ise Ba miktarına bağlı olarak NO<sub>x</sub> ve Duman emisyonlarının değişimi farklı yük şartlarına göre gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere Ba miktarındaki artış ile Duman emisyonlarında önemli bir azalma meydana gelmiş ancak bu durumda NO<sub>x</sub> emisyonlarının da artması beklenirken düşük bir miktarda azalmıştır. Aynı veya benzer duman emisyonları için dizel ve biyodizel ile elde edilen NO<sub>x</sub> emisyonları karşılaştırıldığında; biyodizel ile yüksek NO<sub>x</sub> elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.10. % 70 yükte NO<sub>x</sub> emisyonunun katkı ilavesiyle değişimi



Şekil 4.11. % 70 yükte duman koyuluğunun katkı ilavesiyle değişimi



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada bir dizel motorda petrol kökenli dizel yakıtı ile biyodizel kullanımına benzer miktarda duman emisyonunun elde edildiği şartlarda  $NO_x$  emisyonunun değişimi incelenmiştir. Bu amaçla biyodizel kullanımına göre yüksek olan dizel duman miktarı dizel yakıtına metalik baryum eklenmesi ile düşürülmüştür. Testler iki farklı işletme şartında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Ba miktarına ve duman oluşumuna göre karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen ana sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

-Test yakıtlarının % 30 ve % 70 yük şartlarında ÖYT değerleri incelendiğinde; saf dizel yakıtı ile katkılı yakıtlar arasında çok hafif değişiklikler olmasına rağmen belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Her iki koşulda da en yüksek ÖYT değerleri B100 yakıtı için ölçülmüştür.

-Katkı ilaveli yakıtlar ve dizel yakıtının efektif verim değerleri B100 yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum dizel yakıtı alt ısı değerinin biyodizelden daha yüksek olmasına bağlanabilir.

-Katkı ilaveli yakıtların HC emisyon değerlerinde dizel yakıtına göre düşüş gözlemlenmiştir. B100 yakıtının HC değeri % 30 yük için dizele göre yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni olarak biyodizelin viskozitesinden dolayı yakıtın enjektörden iri damlacık olarak püskürtülmesi ve bu yüzden eksik yanma meydana gelmesi söylenebilir.

-B100 yakıtında diğer yakıtlara göre  $NO_x$  emisyonları daha yüksek çıkmıştır. Biyodizelin oksijen içeriğinin fazla olması bu durumun nedeni olarak açıklanabilir.

-Düşük yük koşullarında duman koyuluğu düşükken yük miktarı arttıkça duman koyuluğu da artmıştır. % 30 yük şartlarında en düşük duman koyuluğu % 0,50Ba+D test yakıtıyla elde edilirken, % 70 yükte % 1Ba+D yakıtı için ölçülmüştür. Bu durum katkı ilavesinin dizel yakıtının duman koyuluğunu düşürmek için etkili olduğunu göstermektedir.

## 5.2 Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre Ba katkı maddesinin duman emisyonlarını düşürmesine karşın  $\text{NO}_x$  oluşumu üzerindeki etkisinin duman oluşumunun radyatif ısı geçişi yolu ile daha iyi anlaşılabilmesi için daha ileri çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bununla beraber biyodizel motorlarında püskürtme avansındaki değişime bağlı olarak yanma zamanının değişmesi  $\text{NO}_x$  emisyonları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla sonraki çalışmalarda bu değişimin sabit tutularak duman oluşumunun etkisinin araştırılması önem arz etmektedir.



## KAYNAKLAR

- Akgün, G., Bayındır, H., Aydın, H., ve Düz, Z., 2009, Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve teknik değerlerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, YEKSEM'09*, 131-36. Diyarbakır.
- Aktaş, A., Sekmen, Y., 2008, Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23: 199-206.
- Akyarlı, A., Alpaslan, N., Çiçek, T., Diktaş, E., Elmacı, Y., Karagözlü, C., Öztüre, N., Sayın, R., Sezerman, U., Sındır, K.O., Sipahi, D., and Şahin, M. O., 2004, Biyodizel yakıtın uluslararası standartlarda üretimi, *Bioenerji 2004 Sempozyumu*, İzmir.
- Alloune, R., Balistrrou, M., Awad, S., Loubar, K. and Tazerout, M., 2017, Performance, combustion and exhaust emissions characteristics investigation using Citrullus colocynthis L. biodiesel in DI diesel engine, *Journal of the Energy Institute.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.joei.2017.01.009>
- Altun, Ş., 2010, Dizel motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde biyodizel yakıtların etkisi, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 2: 9-19.
- Altun, Ş., 2014, Effect of the degree of unsaturation of biodiesel fuels on the exhaust emissions of a diesel power generator, *Fuel*, 117, 450-457.
- Altun, Ş., and Lapuerta, M., 2014, Properties and emission indicators of biodiesel fuels obtained from waste oils from the Turkish industry. *Fuel*, 128, 288-295.
- Anonim, 2009, Tasarım Dizel Emisyonları, <http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/23.12.2009%20Tasarim%20Dizel%20emisyonlari.pdf> [Ziyaret Tarihi: 18 Mart 2017].
- Anonim, 2011, Biyodizelin Yakıt Özellikleri, <http://biyokure.org/biyodizelin-yakit-ozellikleri/5464/> [Ziyaret Tarihi: 2 Nisan 2017].
- Anonim, 2015, EGR Teknolojisi Nedir? Neden Kullanılır?, <http://www.tasitteknolojileri.com/egr-teknolojisi-nedir-neden-kullanilir/> [Ziyaret Tarihi: 2 Mayıs 2017].
- Anonymous, n.d., Appendix E Portable Diesel Engine Emission Control Technology, <https://www.arb.ca.gov/regact/porteng/appe.pdf> [Ziyaret Tarihi: 23 Nisan 2017].
- Anonymous, 2008, NO<sub>x</sub> Reduction Techniques and Control Measures, <http://charmeck.org/mecklenburg/county/LUESA/AirQuality/EducationandOutreach/Documents/NOxReductionhandoutFINAL.pdf> [Ziyaret Tarihi: 1 Mart 2017].
- Aydın, F., Ögüt, H., 2017, Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions, *Renewable Energy*, 103: 688-94.
- Aydın, H., Bayındır, H., 2010, Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine, *Renewable Energy*, 35, 588–592.
- Aydın, S., Sayın, C., 2014, Impact of thermal barrier coating application on the combustion, performance and emissions of a diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel–diesel blends, *Fuel*, 136, 334–340.
- Aydoğan, B., 2008, Biyodizel kullanılan dizel motorlarda NO<sub>x</sub> emisyonlarının ve NO<sub>x</sub> emisyonları azaltma yöntemlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Denizli.
- Basha, S.A., Gopal, K.R., Jebaraj, S., 2009. A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 1628-34.

- Bockhorn, H. (ed), 2013, Soot formation in combustion: mechanisms and models, Springer Science & Business Media, Vol;19, Berlin.
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., 1995, İçten Yanmalı Motorlar Ders Kitabı, Cilt I., Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-2, İstanbul.
- Bulewicz, E.M., Evans, D.G. Padley, P.J., 1975, Effect of metallic additives on soot formation processes in flames, In *Symposium (International) on Combustion* (Vol. 15, No. 1, pp. 1461-1470). Elsevier.
- Can, Ö., Öztürk, E. Yücesu, H.S., 2017, Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine, *Renewable Energy*, 109: 73-82.
- Candan, F., 2012, Dizel metanol ve katkı maddelerinin dizel motor performansı ve emisyonu etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Konya.
- Cheng, A.S., Upatnieks, A. Mueller, C.J. 2006, Investigation of the impact of biodiesel fuelling on NO<sub>x</sub> emissions using an optical direct injection diesel engine. *International Journal of Engine Research*, 7(4), 297-318.
- Cotton, D.H., Friswell, N.J., and Jenkins, D.R., 1971, The suppression of soot emission from flames by metal additives, *Combustion and flame*, 17(1), 87-98.
- da Silva, M.A.V., Ferreira, B.L.G., da Costa Marques, L.G., Murta, A.L.S., de Freitas, M.A.V., 2017, Comparative study of NO<sub>x</sub> emissions of biodiesel-diesel blends from soybean, palm and waste frying oils using methyl and ethyl transesterification routes, *Fuel*, 194, 144-156.
- D'Silva, R., Binu, K.G., Bhat, T., 2015. Performance and Emission Characteristics of a C.I. Engine Fuelled with Diesel and TiO<sub>2</sub> Nanoparticles as Fuel Additive, *Materials Today: Proceedings*, 2: 3728-35.
- Dec, J.E., 1997, A conceptual model of DI diesel combustion based on laser-sheet imaging (No. 970873), *SAE Technical Paper*.
- Demirbaş, A., 2010, Social, economic, environmental and policy aspects of biofuels, *Energy Education Science and Technology Part B-Social and Educational Studies*, 2: 75-109.
- Demirbaş, A.H., 2010, Biofuels for future transportation necessity, *Energy Education Science and Technology part A-Energy Science and Research*, 26: 13-23.
- Demiröz, G., 2010, Seçici Katalitik İndirgeme Sisteminin Ağır Taşıt Motorlarında Kullanımının Optimizasyonu, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Directive, EU, 1999, Council Directive 99/74/EC of 19 July 1999 laying down minimum standards for the protection of laying hens', *Official Journal of the European Communities*, 203, 53-57.
- Dizge N., Canlı O. ve Karpuzcu M., 2005, Biyodizel kullanımının çevre için önemi, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, YEKSEM 2005*, Mersin.
- Draper, W. M., Phillips, J., and Zeller, H. W., 1988, Impact of a barium fuel additive on the mutagenicity and polycyclic aromatic hydrocarbon content of diesel exhaust particulate emissions, *SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exhibition, SAE International*, Portland, Oregon, SAE Paper No. 881651.
- Ejder, S.B., 2007, Etanol-dizel, biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- EPDK, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2016, Petrol Piyasası 2015 Yılı Sektör Raporu, Ankara.

- Fenghu, W., Xiurong, G., Yan, M., Bing, B., Xuling, H, 2010, Experimental study on the relation between pressure drop and seepage velocity in carbonized micro-wood fiber DPF, *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2010 International Conference on IEEE 2010*, Changsha, Vol. 2, pp. 270-272.
- Gürü, M., Karakaya, U., Altıparmak, D., Alıcılar, A., 2002, Improvement of diesel fuel properties by using additives, *Energy Conversion and Management*, 43: 1021-25.
- Haşimoğlu, C, İçingür, Y., 2002, Dizel motorlarında azotoksit kontrol yöntemleri', *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, Sayı 26, İstanbul.
- Haşimoğlu, C., Ciniviz, M., Uçar, G., 2000, Günümüzde içten yanmalı motorlarda hidrojen yakıtının kullanılması, *Selçuk Üniv. On-Line Dergisi*, Vol 1-1.
- Haşimoğlu, C., İçingür, Y., 2000, Dizel motorlarında azot oksit (NO<sub>x</sub>) kontrol yöntemleri, *Selçuk Üniv. On-Line Dergisi*, Vol 1-2.
- Haşimoğlu, C., İçingür, Y., Öğüt, H., 2002, Dizel motorlarında egzoz gazları resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 26: 127-135.
- Herzog, P.L., Bürgler, L., Winklhofer, E., Zelenka, P., Cartellieri, W., 1992, NO<sub>x</sub> reduction strategies for DI diesel engines (No. 920470). *SAE technical paper*.
- Heywood, J.B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, New York.
- İçingür, Y., Salman, M.S., 1993, İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan emisyonlar ve kontrol yöntemleri, 2. *Ulusal Yanma ve Hava Kirliliği Sempozyumu Sayfa*, 115: 130.
- Imtenan, S., Masjuki, H.H., Varman, M., Arbab, M.I., Sajjad, H., Rizwanul Fattah, I. M., Abedin, M.J., Hasib, A.S.M., 2014, Emission and performance improvement analysis of biodiesel-diesel blends with additives, *Procedia Engineering*, 90: 472-77.
- Jiménez-Espadafor, F.J., Torres, M., Velez, J.A., Carvajal, E., Becerra, J.A. 2012, Experimental analysis of low temperature combustion mode with diesel and biodiesel fuels: A method for reducing NO<sub>x</sub> and soot emissions, *Fuel Processing Technology*, 103, 57-63.
- Kannan, G.R., Karvembu, R., Anand, R., 2011, Effect of metal based additive on performance emission and combustion characteristics of diesel engine fuelled with biodiesel, *Applied Energy*, 88(11), 3694-3703.
- Karahan, Ş. 2005, Biyodizel kalitesi ve biyodizel kalitesinin dizel motorlara etkileri, *Türkiye'de Biyodizel Üretimindeki Mevcut Durum, Sorunlar ve Öneriler Çalıştayı, TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü*, 2.
- Karakuş, N. 2000, Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*: 98-100, Ankara.
- Kegl, B. 2007, NO<sub>x</sub> and particulate matter (PM) emissions reduction potential by biodiesel usage, *Energy & Fuels*, 21: 3310-16.
- Kelso, D., Epperly, W.R., Hart, M.L., 1990, Effects of platinum fuel additive on diesel emissions and efficiency, *SAE International*.
- Keskin, A., Ekşi, A., 2006, Dizel motorlarda mısır yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanımının motor performans ve emisyonuna etkisi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (1), 49-55.
- Keskin, A., Sağiroğlu, S. 2010, Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri, *Engineer & the Machinery Magazine*, V. 51-606, 2-12.

- Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D., 2011, Influence of metallic based fuel additives on performance and exhaust emissions of diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 52(1), 60-65.
- Keskin, A., Ocakoğlu, K., Reşitoğlu, İ.A. Gürü, M., 2013, Titanyumun esaslı yakıt katkı maddesinin dizel motor performans ve emisyonları üzerindeki etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(3).
- Khair, M., McKinnon, D.L., 1999, Performance evaluation of advanced emission control technologies for diesel heavy-duty engines, In.: SAE Technical Paper.
- Krawczyk, T., 1996, Biodiesel: alternative fuel makers inroads but hurdles remain, *inform*, 7: 800-15.
- Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan, H., Mutlu, M., 1998, Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.
- Lapuerta, M., Armas, O. and Rodriguez-Fernandez, J., 2008, Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34: 198-223.
- Lapuerta, M., Rodríguez-Fernández, J., Oliva, F., 2012, Effect of soot accumulation in a diesel particle filter on the combustion process and gaseous emissions, *Energy*, 47: 543-52.
- Lebedevas, S., Lebedeva, G., Makareviciene, V., Janulis, P., Sendzikiene, E., 2009, Usage of Fuel Mixtures Containing Ethanol and Rapeseed Oil Methyl Esters in a Diesel Engine, *Energy & Fuels*, 23: 217-23.
- Miller, C. O., 1967, Diesel smoke suppression by fuel additive treatment (No. 670093), *SAE Technical Paper*.
- Mueller, C.J., Boehman, A.L. Martin, G.C., 2009, An experimental investigation of the origin of increased NO<sub>x</sub> emissions when fueling a heavy-duty compression-ignition engine with soy biodiesel, *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 2(2009-01-1792), 789-816.
- Musculus, M.P., 2005, Measurements of the influence of soot radiation on in-cylinder temperatures and exhaust NO<sub>x</sub> in a heavy-duty DI diesel engine (No. 2005-01-0925). *SAE Technical Paper*.
- Mutlu, İ., Keskin, A., 2011, Dizel Partikül Filtreleri ve Malzemeleri, *Electronic Journal of Vehicle Technologies (EJVT)*, 3: 27-37.
- Nabi, M.N., Akhter, M.S., Shahadat, M M Z., 2006, Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel-biodiesel blends, *Bioresour Technol*, 97: 372-8.
- Norman, G.R., 1965, A New approach to diesel smoke suppression, *National Fuels and Lubricants and Transportation Meetings, SAE International*, Houston, Texas, SAE Paper No. 660339.
- Özsezen, A.N., 2007, Atık Palmiye Yağından Üretilen Biyodizelin Motor Performans ve Emisyon Karakterleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Özsezen, A.N., Çanakçı, M., 2009, Biyodizel ve Karışımlarının Kullanıldığı bir Dizel Motorda Performans ve Emisyon Analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15: 173-80.
- Pulkrabek, W.W., 2004, *Engineering fundamentals of the internal combustion engine* Prentice Hall.
- Ramalingam, S., Rajendran, S., Ganesan, P., 2016, Improving the performance is better and emission reductions from Annona biodiesel operated diesel engine using 1, 4-dioxane fuel additive. *Fuel*, 185, 804-809.

- Saidur, R., 2010, Energy, economics and environmental analysis for chillers in office buildings, *Energy Educ Sci Technol Part A*, 25, 1-16.
- Sarıdemir, S., 2016, Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Motor Gürültü ve Egzoz Emisyonlarına Olan Etkisi, *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, ISITES 2016*, Antalya.
- Song, H., 2012, Investigation on Nitric Oxide and Soot of Biodiesel and Conventional Diesel using a Medium Duty Diesel Engine, Doctoral dissertation, *Texas A&M University*.
- Song, H., Jacobs, T.J., 2014, The influence of soot radiation on NO emission in practical biodiesel combustion, *Fuel*, 128: 281-87.
- Soruşbay, C., b.t., Motor Çalışma Koşullarının Emisyonlara Etkisi, Egzoz Gazları Emisyonu ders notları, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi*.
- Tabak, F. (2010). Experimental Study of NO<sub>x</sub> Conversion Efficiency & BSFC for a Thermally Insulated System, Doctoral dissertation, *Istanbul technical University*.
- Tat, M.E., Van Gerpen, J.H., 2003, Measurement of biodiesel speed of sound and its impact on injection timing (pp. 1-114). NREL/SR-510-31462.
- Tat, M.E., 2003, Investigation of oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fueled engines, PhD Dissertation, *Iowa State University*, Ames.
- Temizer, İ., 2010, Bir dizel motorunun performans ve emisyonları üzerine katkı maddelerinin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Truex, T.J., Pierson, W. R., McKee, D. E., Shelef, M., and Baker, R. E., 1980, Effects of barium fuel additive and fuel sulfur level on diesel particulate emissions, *Environmental Science & Technology*, 14(9), pp. 1121-1124.
- Turley, C.D., Brenchley, D. L. and Landolt, R. R. 1973, Barium additives as diesel smoke suppressants, *Journal of the Air Pollution Control Association*, 23(9), 783-787.
- Türkcan, A., Çanakçı, M., Özsezen, A. N. and Sayin, C., 2009, Bir Dizel Motorda Yanma Karakteristiklerinin İncelenmesi, *Fırat University Journal of Engineering*, 21(1).
- U.S. EPA, United States Environmental Protection Agency, 2002, A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions, *Draft report of the US Environmental Protection Agency*, Vol. EPA 420P-02-001.
- Uyar, M., 2013, Transesterifikasyon yöntemiyle üretilen biyodizel yakıtlarının üzerine MnO<sub>2</sub>, dodekanol, propilen glikol katkı maddelerinin etkisinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi', *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Vermeersch, G., 2001, Development of a biodiesel activity, *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 8: 33-38.
- Vural, E., 2009, Küçük hacimli bir dizel motorunda değişik avanslardaki püskürtmenin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Walker, A.P., 2004, Controlling particulate emissions from diesel vehicles, *Topics in catalysis*, 28: 165-70.
- Wang, Z., Li, L., Wang, J., Reitz, R.D., 2016, Effect of biodiesel saturation on soot formation in diesel engines, *Fuel*, 175, 240-248.
- Yahya, A., Marley, S. J., 1994, 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.

- Yasar, F., Altun, S., Adin, H., 2011, Fuel properties of biodiesels produced from blends of canola oil and animal tallow, *Energy Educ Sci Technol Part A*, 27, 199-208.
- Zelenka, P., Kriegler, W., Herzog, P.L., Cartellieri, W.P., 1990, Ways toward the clean heavy-duty diesel (No. 900602), *SAE Technical Paper*.
- Zhang, Y., Boehman, A.L., 2007, Impact of biodiesel on NO<sub>x</sub> emissions in a common rail direct injection diesel engine. *Energy & Fuels*, 21(4), 2003-2012.





## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Zülal ARCA BATI  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Diyarbakır 27.09.1989  
**Telefon** : 0488 217 41 32  
**Faks** :  
**e-mail** : zulal.arca@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ziya Gökalp Lisesi (Y.D.A.)	Yenişehir	/Diyarbakır	2007
Üniversite	: Dicle Üniversitesi	Yenişehir	/Diyarbakır	2013
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	Merkez	/Batman	-
Doktora	:			

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

### UZMANLIK ALANI

### YABANCI DİLLER

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR