

	MÜHENDİSLİKTE YAKITLAR, YANGIN VE YANMA DERGİSİ <i>FUELS, FIRE AND COMBUSTION IN ENGINEERING JOURNAL</i>		
	e-ISSN: 2564-6435		
	Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/fce		
	<u>Geliş/Received</u> 27.11.2020		
	<u>Kabul/Accepted</u> 31.12.2020		<u>Doi</u>

Etanol-Dizel Yakıt Karışımları Kullanılan Bir Motorda Yakıt Püskürtme Zamanının Yanma Üzerine Etkisi

Mustafa Vargün^{*1}, Mersin Hürpekli², AhmetNecati Özsezen³

ÖZET

Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorun yakıt püskürtme başlangıç zamanlaması değiştirilerek etanol-dizel karışımlarının performans, yanma ve emisyon karakteristikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Motor testleri, tek silindirli dizel motor ve Eddy Current tipi dinamometre kullanılarak, %50 yük ve 1600 dev/dak sabit motor devri şartlarında gerçekleştirilmiştir. Motorun 1600 dev/dak daki klasik püskürtme zamanı Üst Ölü Noktadan Önce (ÜÖNÖ) 10,4° KA (krank açısı) olduğundan, motor testleri ilk önce klasik püskürtme zamanlaması konumlandırılarak yürütülmüş, daha sonra püskürtme başlangıç zamanlaması $\pm 2^\circ$ KA ve yakıt tipi değiştirilerek testler tamamlanmıştır. Yakıt karışımları kullanımıyla silindir gaz basıncında FKDY'ye göre artış gözlemlenirken CO₂ emisyon değerlerinde önemli miktarda azalma belirlenmiştir. Tüm yakıtlar için maksimum NO_x emisyon oluşumu ÜÖNÖ 12,4 °KA püskürtme başlangıcında görülmüştür. Çalışma sonucunda, test verileri püskürtme başlangıç zamanlaması ve yakıt tipine göre klasik püskürtme başlangıç zamanı ve % 100 fosil kökenli dizel yakıtı referans alınarak kıyas edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel motor, Püskürtme başlangıç zamanlaması, Etanol, Yanma, Performans

The Effect of Fuel Injection Timing on Combustion a Diesel Engine Using Ethanol-Diesel Fuel Blends

ABSTRACT

In this study, fuel injection timing of a single cylinder diesel engine was changed and performance, combustion and emission characteristics of ethanol-diesel blends were investigated. Engine tests were performed using single cylinder diesel engine and Eddy Current type dynamometer under 50% load and 1600 rpm constant engine speed conditions. Since the classic injection time of the engine at 1600 rpm Before Top Dead Center (BTDC) was 6.4° CA (crank angle), the engine tests were carried out first by positioning the classic injection timing. Then the tests were completed by changing the injection start time $\pm 2^\circ$ CA and fuel type. Compared to FKDY, while a significant decrease CO₂ emission values observed, an increase was seen in cylinder gas pressure with using ethanol-diesel fuel blends. For all fuels, maximum NO_x emission formation were seen at injection start time. At the end of the study, the test data were compared according to the injection start time and fuel type with reference to conventional injection start time and fossil based diesel fuel.

Keywords: Diesel engine, Injection start time, Ethanol, Combustion, Performance

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Otomotiv Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, 41100, İzmit-KOCAELİ, email: mustafavargun@gmail.com

² TÜBİTAK MAM, Enerji Enstitüsü, 41400, Gebze-KOCAELİ, email: mhurpekli@gmail.com

³ Otomotiv Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, 41100, İzmit-KOCAELİ, email: email: nozsezen@kocaeli.edu.tr

1. GİRİŞ

Uluslararası Enerji Ajansının (UEA) tahminlerine göre dünya enerji arzında birinci sırada yer alan fosil yakıtlarına olan talep 2015 yılında 13,7 milyar ton eş değer petrol (tep) iken 2040 yılında yaklaşık %30 artışla 19,3 milyar tep olması tahmin edilmektedir. Fosil yakıtlar 2016 yılında birincil enerji tüketiminin %81'ini karşılarken bu oranın devletlerin enerji politikalarına bağlı olarak 2040 yılında %79'a düşmesi beklenmektedir. UEA tarafından fosil yakıt kullanımında 2040 yılında bir azalma beklenirken, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında artış beklenmektedir [1]. Bu kapsamda, Avrupa Birliği (AB) gibi konsorsiyumlar tarafından enerji kaynağı olarak fosil yakıtların kullanımını sınırlayıp biyoyakıt kullanımını teşvik edecek direktifler yayınlamaktadır [2]. AB tarafından 8 Mayıs 2003 yılında yayınlanan bir direktifte yenilenebilir yakıt kullanımı teşvik edilmektedir. Bu direktife göre; 31 Aralık 2005 tarihinde %2.31 oranında kullanımla başlamak üzere Aralık 2010 itibariyle %5.75 kullanım olması 2020'de %10,0 ve 2030'da %25,0 biyoyakıt kullanımı hedeflenmiştir [3,4]. Ülkemizde, 30098 sayılı resmi gazetede yayınlanan regülasyonla ithal edilen akaryakıtta en az %3 (Vol.), oranında yerli tarım ürünlerinde elde edilen etanolün katılması zorunlu hale getirilmiştir.

Etanol C_2H_5-OH kimyasal formülü ile gösterilmektedir ve % 52.18 karbon, % 34.78 oksijen ve % 13.04 hidrojen'den oluşmaktadır [5]. Etanol, ülkemizdeki yerel tarım ürünleri olan mısır, şeker kamışı ve pirinç gibi kaynaklardan üretilebilir olması ülkemizdeki fosil kökenli yakıtlara olan bağımlılığını azaltıp ayrıca tarımın kalkınmasına ve istihdamın gelişimine katkı sağlamaktadır [6]. Alkol yakıtların içten yanmalı motorlarda fosil kökenli yakıtlarla karıştırılarak kullanımının avantajları bulunmaktadır. Alkol yakıtlardan olan etanol ve metanol içten yanmalı motorlarda büyük bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir [7,8]. Etanol-dizel yakıt karışımının kullanıldığı içten yanmalı motorda anormal bir aşınma ve hasarın meydana gelmediği gözlemlenmiştir [9]. Etanol'ün içerdiği oksijen sayesinde fosil kökenli yakıtla karışımı sonucunda silindir içindeki yanmayı iyileştirip, egzoz emisyonlarını azalttığı birçok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir [10]. Ayrıca Etanol gibi alternatif olacak yakıtların içten yanmalı

motorlarda kullanılabilirliği gelecek için egzoz emisyonları açısından önemli avantajlar sağlamaktadır [11].

Etanol'ün içten yanmalı motorlarda kullanımının bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Etanol'ün sahip olduğu kimyasal özelliklerden dolayı Etanol-Dizel yakıt karışımlarındaki Etanol oranı arttıkça karışım yakıtının setan sayısı ve ısıl değeri azalmaktadır. Etanol'ün setan sayısının düşük olmasından dolayı dizel-etanol yakıt karışımları, silindir içersinde tutuşma gecikmesi süresini artırmaktadır [8,10,12]. Fosil kökenli dizel yakıtına maksimum etanol ilavesi yanma vuruntusu ile sınırlıdır [9]. Etanol'ün fosil kökenli yakıtlarla karışım oluşumlarında faz ayrışımı görülmektedir [12,13]. Etanol-Dizel karışımlarındaki faz ayrışımına etanolün içerdiği su miktarı sebep olmaktadır [12]. Literatürde alkol-fosil kökenli yakıt karışımı sonucu oluşan faz ayrışımını engellemek için katkı maddesi kullanımı önerilmektedir. Faz ayrışmasının engellenmesi için önerilen katkı maddelerinden bazıları; iso-propanol, n-propanol, iso-bütanol ve n-bütanol'dür [14]. Bu çalışmada, etanol-dizel yakıt karışımındaki faz ayrışımının engellenmesi için karışımdaki etanol oranının %20 oranında karışıma 2-bütanol eklenmiştir.

İçten yanmalı motorların gelişimi sürekli devam etmektedir. Gelişim parametrelerinden olan performans, yanma karakteristiği ve emisyon değerlerinin üzerine enjeksiyon stratejilerinin (enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon zamanı) önemli rol oynadığı bilinmektedir [15]. Enjeksiyon zamanlaması ile ilgili yapılan bir çalışmada, enjeksiyon avansı erkene alındıkça indike termik verim ile yanma veriminin arttığı görülmüştür ve özgül yakıt tüketimi azalmıştır. Maksimum indike termik verimde en erken enjeksiyon avansında elde edilmiştir [16]. Püskürtme zamanlaması değiştirilerek NO_x ve CO_2 egzoz emisyonlarında azalma görüldüğü gibi yapılan çalışma ile optimum performans ve yanma değerleri elde edilmiştir [17].

Bu çalışmada, fosil kökenli dizel yakıtı motorin (FKDY) ve hacimsel olarak etanol-dizel karışımlarının (E5, E10) kullanıldığı tek silindirli bir dizel motor enjeksiyon zamanlaması değiştirilerek 1600 devirde ve %50 motor yükünde testler gerçekleştirilmiştir. Yakıtlar ilk olarak silindir içersine standart enjeksiyon başlangıç zamanlaması olan üst ölü noktadan önce $10,4^\circ KA$ 'da ve daha sonra püskürtme stratejilerine uygun olarak standart enjeksiyon

zamanlaması $\pm 2^\circ\text{KA}$ değiştirilerek püskürtülmüştür.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmadaki motor testleri, tek silindri, direkt püskürtmeli, common rail yakıt püskürtme sistemine sahip, 4 zamanlı, süpersarjlı ve su soğutmalı içten yanmalı bir dizel motor kullanılarak TÜBİTAK Motor Test Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Motor testleri, 1600 dev/dak sabit motor devrinde ve %50 yük şartları altında yapılmıştır. Kullanılan tek silindri dizel motorun teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Motor test düzeneğinin temel komponentleri eddy current dinamometresi, yakıt enjeksiyon sistemi (common rail, enjektör, yakıt filtresi ve yakıt pompası) ve motor kontrol ünitesidir (EKU). Ayrıca, motor test düzeneğinin üzerinde kararlı şartları sağlamak için EKU, yağ pompası ve soğutma pompası bulunmaktadır. Bu gibi parçalar motorun test süresi boyunca kararlı çalışmasına yardımcı olmuştur.

Motor testlerinde kütleli hava akış ölçümü kg/saat ölçeği ile AVL marka ultrasonik hava akış metre kullanılarak tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi AVL-735 model ölçüm cihazı ile kg/kWh birimden hacimsel olarak ölçülmüş olup 1gr hassasiyet ile veriler toplanmıştır. Ayrıca test hücresine AVL-FITR emisyon ölçüm bağlantısı yapılarak CO₂ ve NO_x emisyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Tek Silindri Deney Motorun Özellikleri

Motor	Tek Silindri Araştırma Motoru
Tipi	4 Zamanlı
Soğutma şekli	Su soğutmalı
Enjeksiyon tipi	Direk Enjeksiyonlu – 1800 bar
Silindir hacmi	1120 cm ³
Supap sayısı	4
Maksimum silindir içi basınç	190 bar
Maksimum motor hızı	2500 d/d
Maksimum güç	50 kW
Maksimum tork	160 Nm
Bore	106.5 mm
Stroke	127 mm
Sıkıştırma Oranı	16.4

Motor testleri sırasında her bir ölçüm parametresi için hesaplanan hata analizi Tablo 2’de verilmiştir. Motor sistemi dinamometre ve

test hücre ekipmanları ile tam entegre şekilde çalışır ve test yürütücüsü tarafından kontrol edilebilmektedir. Deney düzeneği görünümü Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 2. Test Hücresi Cihazları ve Doğrulukları

Ölçüm	Cihaz	Doğruluk
Tork	HBM Torque Flange	$\pm 0.1\%$
Motor Devri	AVL Encoder	$\leq \pm 0.1\text{CA}$
Hücre Nem Testi	Vaisala – HMT 330	$\pm 1\% \text{RH}$
Hücre Sıcaklık Testi	Vaisala – HMT 330	$\pm 0.2^\circ\text{C}$
Hava Akışı	AVL Flowsonix	$< \pm 0.25\%$
Silindir Gaz Basınç Sensörü	GU22C	0.05CA
Enjeksiyon Zamanlaması	Angle Encoder	$\pm 0.1\text{CA}$
Supercharger – Boost Hava Sıcaklığı	AVL 515X	$\pm 5^\circ\text{C}$
Supercharger – Boost Hava Basıncı	AVL 515X	$\pm 10\text{mbar}$
Motor Soğutma ve Yağ Şartlandırıcı	AVL-577	$\pm 1\text{K}$
Yakıt Tüketimi	AVL-735	$< 0.15\%$
Blow-by	AVL 442	$\pm 1.5\%$
NO _x	Chemiluminescence Detector	$\leq \pm 1\%$
CO ₂	Non-Dispersive Infrared Rays	$\leq \pm 0.5\%$
Sıcaklık Sensörleri	PT100 (K Type)	$\leq \pm 1\%$

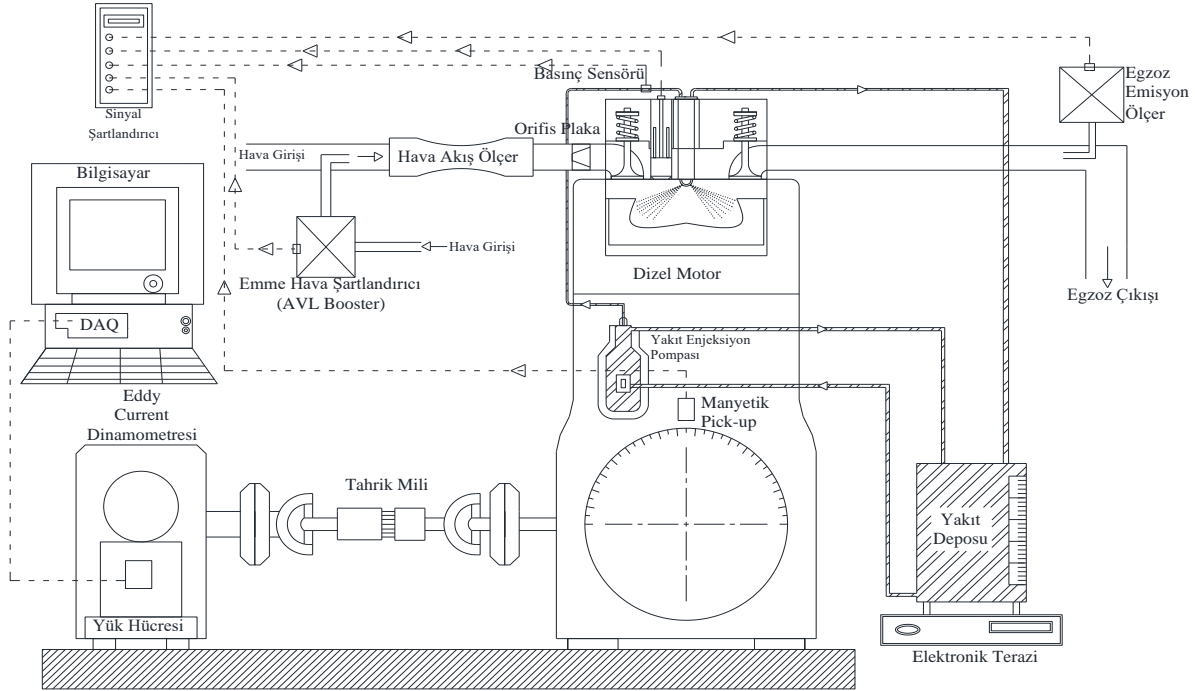
Enjeksiyon başlangıç zamanlaması değişimini EKU’ya bağlanarak harita değişimine olanak veren sürücü sistemiyle kontrol edilmiştir. Motor EKU’si kullanıcıya açık olduğundan enjeksiyon başlangıcı, ana enjeksiyon miktarı ve rail basınç haritası kontrol edilebildiği için anlık olarak motor üzerindeki etkileri gözlemlenebilmektedir. Motor, yanma karakteristikleri ve silindir gaz basıncı hesaplamaları için silindir içi basınç ölçüm cihazı ile donatılmıştır.

Petrol kökenli dizel yakıtı ulusal bir yakıt istasyonu olan Opet firmasından temin edilmiştir. Dizel yakıt özellikleri incelendiğinde EN590 standartlarına uygun özellikler taşıdığı görülmüştür. Testlerde kullanılan etanol J.T Baker ve 2-bütanol Merck firması tarafından üretilmiştir.

Deneylerde 3 farklı yakıt karışımı kullanılmıştır ve yakıtlar içerdiği etanol miktarının oranına göre karışımlarındaki etanol miktarının %20 hacimsel oranında 2-bütanol Merck eklenmiştir. Deneylerde kullanılan yakıtlar; fosil kökenli dizel yakıtı motorin (FKDY), hacimsel olarak %5 (E5) etanol içeren karışım yakıtı ve hacimsel olarak %10 (E10) etanol içeren karışım yakıtı kullanılmıştır. Karışım yakıtlarının içeriğinin yüzdesel dağılımı şu şekildedir: E5 yakıtının içeriğinde; % 5 etanol + % 1 2-bütanol + % 94 FKDY ve E10 yakıtının içeriğinde; % 10 etanol + % 2 2-bütanol + % 88 FKDY bulunmaktadır. Deneylerde kullanılan yakıtların özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Deneylerde, motorun yağ sıcaklığı 90°C’ye ulaşıncaya kadar dizel yakıtı motorin ile çalıştırılmış, böylece motorun kararlı şartlara gelmesi sağlanmıştır. Yapılan testler boyunca emme hava basıncı 240 milibar, emme hava

isimlendirilmiştir. Ayrıca etanol-dizel karışımlarında faz ayrışımını önlemek için yakıt sıcaklığı 25°C, yakıt sıcaklığı 20°C, yağ sıcaklığı 90°C, soğutma suyu sıcaklığı 70°C’de sabit tutulmuştur. Yapılan çalışmada dotalar 0,1°KA’da toplanmıştır ve toplam çevrimin sayısının ortalaması alınmıştır. Testlerde FKDY, E5 ve E10 yakıtları sırasıyla kullanılmıştır. Deneylerde yakıtlar ilk olarak main enjeksiyon başlangıç zamanında püskürtüldü ve daha sonra enjeksiyon başlangıç zamanı ±2°KA değiştirilerek testler gerçekleştirilmiştir. Püskürtme başlangıç zamanlaması değişimini gösteren alan Şekil 2’de verilmiştir. Çalışma sonucunda, test verileri püskürtme zamanlaması ve yakıt tipine göre klasik püskürtme zamanı ve fosil kökenli dizel yakıtı referans alınarak silindir içi gaz basıncı, NOx ve CO₂ emisyonları kıyas edilmiştir.

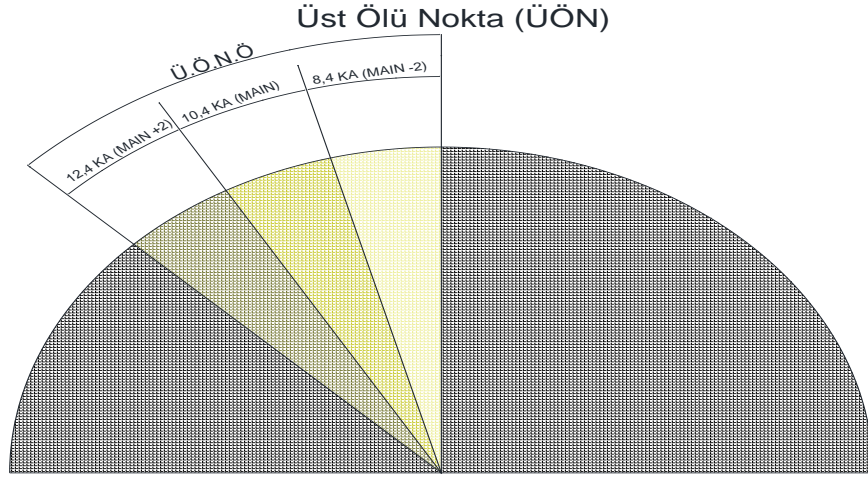


Şekil 1. Deney Düzenekinin Şematik Görünümü

Tablo 3. Yakıt Özellikleri*

Özellikler	Motorin	Etanol (C ₂ H ₆ O)	Bütanol (C ₄ H ₁₀ O)
Yoğunluk (kg/m ³)	820 – 845	790	805
Viskozite (mm ² /sn)	2,0 - 4,5	-	5
Kaynama Noktası (°C)	160	78	102
Donma Noktası (°C)	-	-114,5	-115
Parlama Noktası (°C)	≥ 55	12	20,5
Safılık (%)	-	≥ 99,9	≥ 99,0
Su İçeriği (%)	0,020	≤ 0,2	≤ 0,2
Setan Sayısı	≥ 51	-	-

*Yakıt özellikleri üretici firmalardan alınmıştır.



Şekil 2. Püskürtme Başlangıç Zamanlaması Değişimini Gösteren Alan

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Silindir Gaz Basıncı

Şekil 3’de görüldüğü üzere bütün enjeksiyon başlangıç zamanlarında etanol-dizel yakıt karışımlarının (E5, E10), silindir içi gaz basınç değerleri dizel yakıtı (FKDY) göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum silindir gaz basıncı E10(88 bar) yakıtıyla Ü.Ö.N.Ö 12,4° KA’daki püskürtme başlangıç zamanında elde edilerek, FKDY(83,4 bar) yakıtına göre yaklaşık %5 oranında artış gözlemlenmiştir. E5 yakıtıyla maksimum silindir gaz basıncı püskürtme başlangıç zamanının, klasik enjeksiyon başlangıç zamanına göre 2° KA Ü.Ö.N’den uzaklaştırılmasıyla (Ü.Ö.N.Ö 12,4° KA’da) 86,8 bar olarak tespit edilmiştir.

Klasik (Main) enjeksiyon başlangıç zamanında (Ü.Ö.N.Ö 10,4° KA) karışım yakıtları kullanılarak elde edilen silindir gaz basınç değerleri E5 yakıtı için 81 bar ve E10 yakıtı için 80,6 bar iken FKDY yakıtı için 80 bar olarak elde edilmiştir. Enjeksiyon başlangıç zamanlaması, klasik enjeksiyon başlangıç zamanına göre 2° KA Ü.Ö.N’ya yaklaştırılmasıyla (Ü.Ö.N.Ö 8,4° KA’da) E5, E10 ve FKDY yakıtları püskürtüldüğünde silindir gaz basınçları azalma eğilimi göstermiştir. Yakıtlar Ü.Ö.N.Ö 8,4° KA’da püskürtüldüğünde E5 yakıtı 77,7 bar, E10 yakıtı 75,3 bar ve FKDY için 74,7 bar olarak elde edilirken bu değerler klasik püskürtme başlangıç zamanında elde edilen silindir gaz basınç değerlerinden E5 yakıt için 3,3 bar, E10 yakıtı için

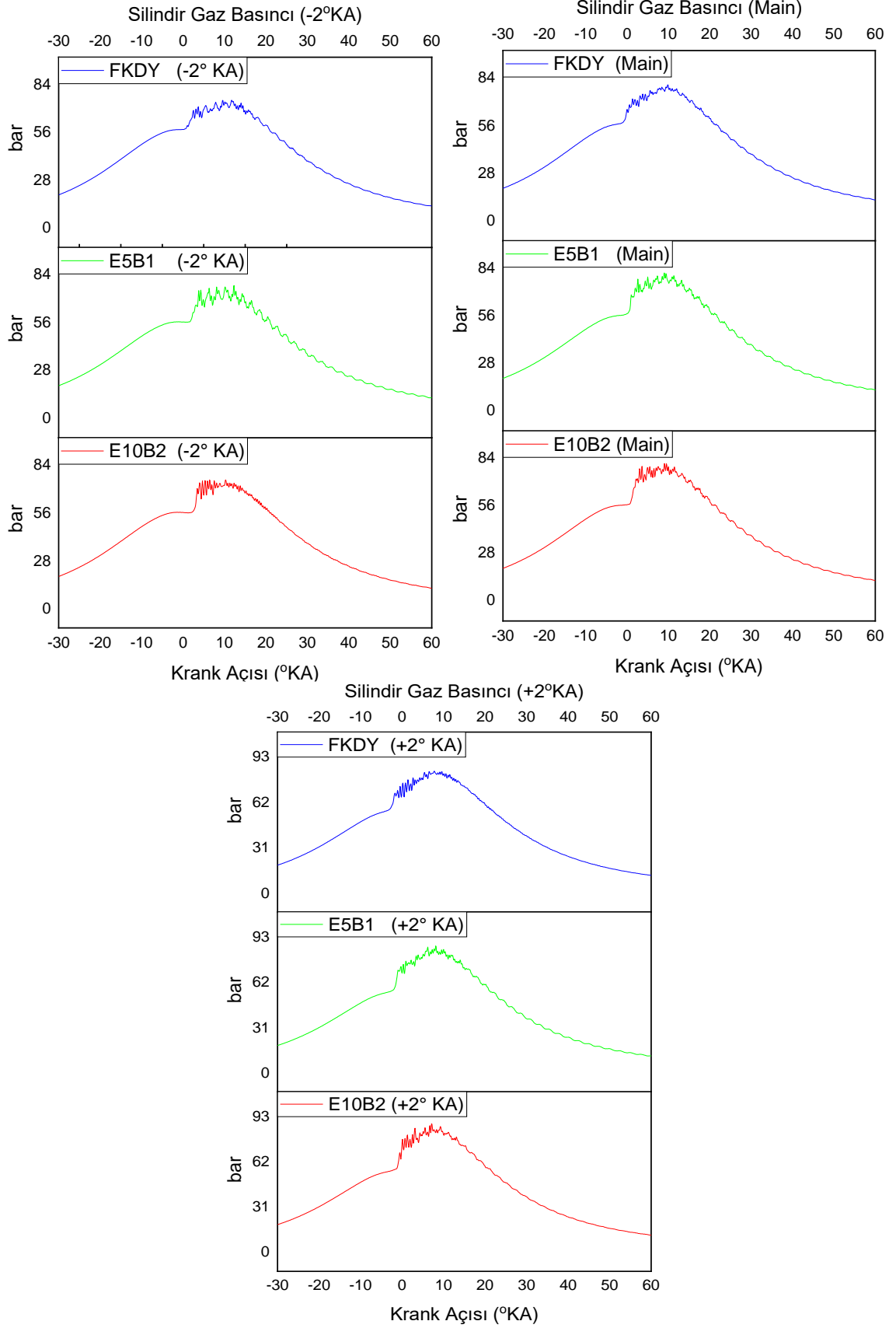
5,3 bar ve FKDY yakıtı için yaklaşık 5,3 bar düşük olduğu görülmüştür. Minimum silindir gaz basıncı, püskürtme başlangıç zamanı Ü.Ö.N.Ö 8,4° KA’da FKDY kullanımında 74,7 bar olarak görülmüştür.

2.2. Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

Şekil 4’de E5, E10 ve FKDY yakıtlarının farklı yakıt püskürtme başlangıç zamanlamalarında (-2° KA, klasik, +2° KA) CO₂ emisyon salınımının değerlerini göstermektedir. Maksimum CO₂ emisyonu, FKDY kullanımında püskürtme başlangıç zamanlaması 12,4° KA’na ayarlandığında 49689 ppm olarak ölçülürken minimum CO₂ emisyon salınımı 2° KA Ü.Ö.N’ya (Ü.Ö.N.Ö 8,4° KA) yaklaştırılmasıyla E10 yakıt kullanımıyla 47915 ppm olarak ölçülmüştür.

Klasik enjeksiyon püskürtme zamanlamasında (Ü.Ö.N.Ö 10,4° KA) maksimum CO₂ emisyon salınımına FKDY (49284 ppm) sebep olurken E5 yakıt kullanımında bu miktar %2,96 (1012 ppm) ve E10 yakıt kullanımında ise %2,1 (973 ppm) azalmıştır.

Püskürtme başlangıç zamanlaması, klasik enjeksiyon zamanına göre 2° KA Ü.Ö.N’ya (Ü.Ö.N.Ö 8,4° KA) yaklaştırılmasıyla maksimum CO₂ emisyon salınımı FKDY ile 48819 pmm, E5 yakıtı için 47968 ppm ve E10 yakıtı için 47915 pmm olarak ölçülmüştür. Tüm yakıtlar için püskürtme başlangıç zamanı Ü.Ö.N.Ö 8,4° KA ayarlandığında elde edilen CO₂ değerleri en düşük seviyede ölçülmüştür.

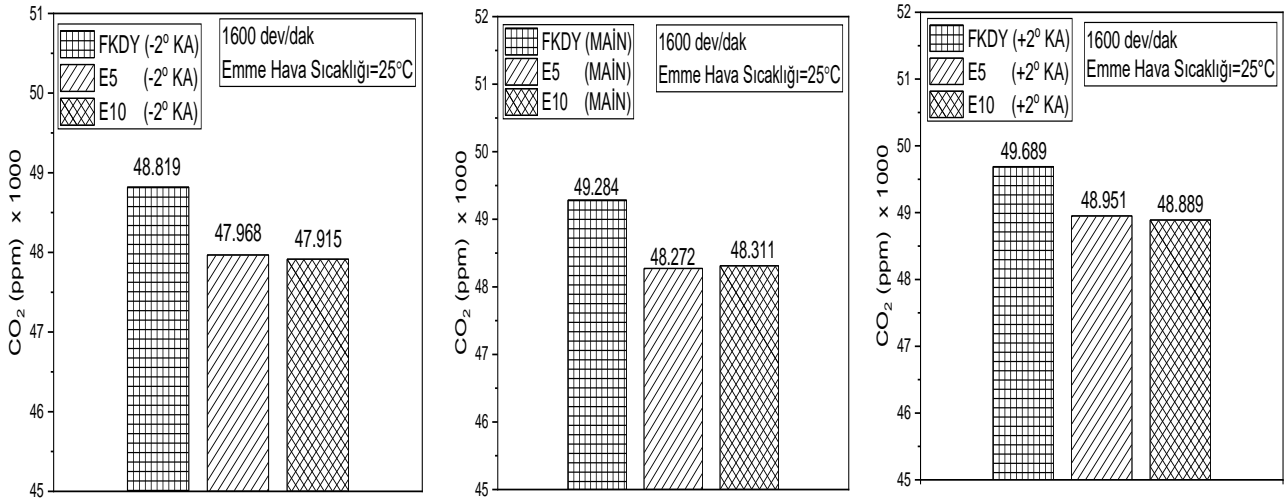


Şekil 3. Püskürtme başlangıç zaman değişiminin silindir gaz basıncı üzerine etkisi

Diğer taraftan, tüm yakıtlar için en yüksek CO₂ değeri enjeksiyon başlangıç zamanlamasının, main enjeksiyon zamanına göre 2° KA

Ü.Ö.N'dan uzaklaştırılmasıyla elde edilmiştir. Ü.Ö.N.Ö 12,4° KA'da yakıtlar püskürtüldüğünde ölçülen değerler FKDY yakıtı için 49689 ppm, E5

yakıtı için 48951 ppm ve E10 yakıtı için 48889 ppm'dir.



Şekil 4. Püskürtme başlangıç zaman değişiminin CO₂ emisyonu üzerine etkisi

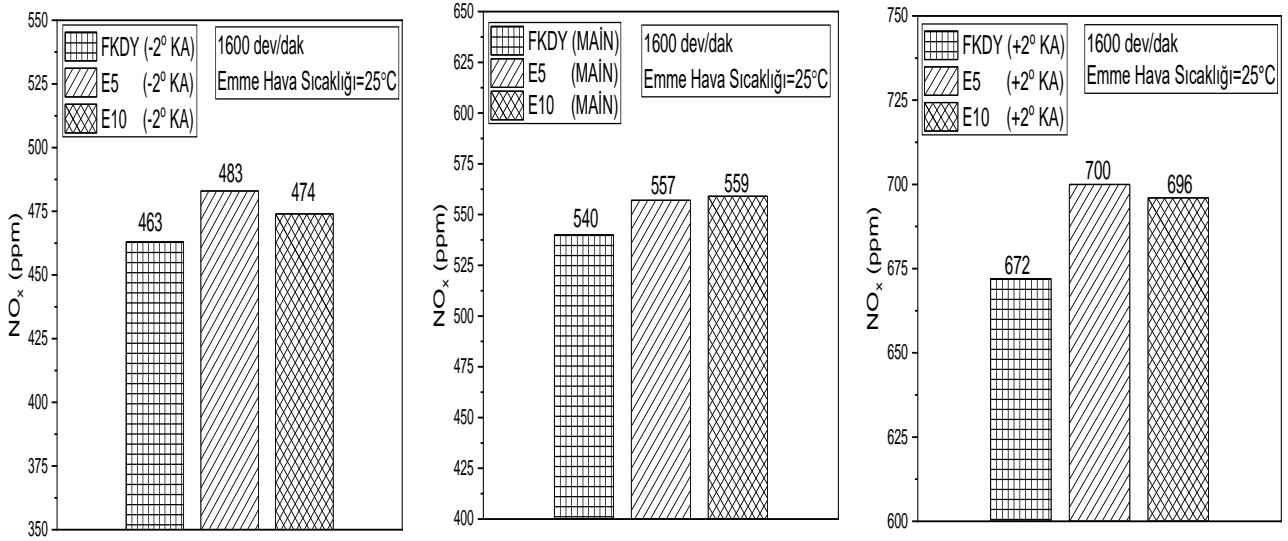
3.3 Azot Oksit (NO_x) Emisyonu

Şekil 5'de görüldüğü üzere yakıt püskürtme başlangıç zamanlaması değiştirilerek E5, E10 ve FKDY yakıtları kullanılmış ve NO_x emisyon salınımları incelenmiştir. Deneylerde, farklı enjeksiyon başlangıç zamanlamalarında (-2° KA, klasik, +2° KA) kullanılan üç farklı yakıt tipinde (E5, E10 ve FKDY) minimum NO_x emisyonu klasik enjeksiyon başlangıç zamanına göre 2° KA Ü.Ö.N'ya yaklaştırılmasıyla FKDY ile 463 ppm olarak gözlemlenirken maksimum NO_x emisyon salınımı ise E5 (700 ppm) yakıtıyla enjeksiyon başlangıç zamanlamasının 2° KA Ü.Ö.N'dan uzaklaştırılmasıyla (+2° KA) elde edilmiştir. Test yapılan tüm enjeksiyon başlangıç zamanlarında FKDY yakıtıyla elde edilen NO_x emisyonları E5 ve E10 yakıtlarıyla elde edilen NO_x emisyonlarından daha düşük olduğu görülmüştür.

Klasik enjeksiyon başlangıç zamanlamasında (Ü.Ö.N.Ö 10,4° KA), NO_x emisyonu FKDY ile

540 ppm olarak tespit edilirken E5 (557 ppm) ve E10 (559 ppm) yakıtlarının kullanımında yaklaşık %3,2 oranında bir artış görülmüştür. Yapılan testlerde, Ü.Ö.N.Ö 8,4° KA enjeksiyon başlangıç zamanında NO_x emisyon salınımını E5 (483 ppm), E10 (474 ppm) ve FKDY (463 ppm) yakıtı için minimum seviyede olduğu gözlemlenmiştir.

Klasik enjeksiyon başlangıç zamanlamasına göre püskürtme başlangıç zamanının Ü.Ö.N'dan 2° KA yaklaştırılmasıyla her bir yakıt için minimum NO_x emisyon salınım miktarı elde edilmiştir. Enjeksiyon başlangıç zamanının Ü.Ö.N'ya klasik enjeksiyon başlangıç zamanına göre 2° KA uzaklaştırılmasıyla maksimum NO_x emisyon değerleri tespit edilmiştir; E5 yakıtı (700 ppm), E10 yakıtı (696 ppm) ve FKDY ile (672 ppm) olarak gözlemlenmiştir.

Şekil 5. Püskürtme başlangıç zaman değişiminin NO_x emisyonu üzerine etkisi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, etanol-dizel yakıt karışımları (%5 ve %10 hacimsel etanol) kullanılarak bir dizel motorda performans ve emisyon parametreleri üzerine etkisi incelenmiştir. Klasik enjeksiyon başlangıç zamanı (Ü.Ö.N.Ö 10,4° KA) ve 2° KA Ü.Ö.N.'ya yaklaştırılıp, uzaklaştırılmasıyla testler gerçekleştirilmiştir.

Fosil kökenli dizel yakıtı ile kıyaslandığında karışım yakıtları (E5, E10) ile elde edilen değerler silindir gaz basınç değerleri tüm enjeksiyon başlangıç zamanlarında (+2, klasik (main), -2) artış gözlemlenmiştir.

Püskürtme başlangıç stratejilerinin silindir gaz basıncı üzerine etkisi incelendiğinde, klasik enjeksiyon başlangıç zamanlamasıyla kıyaslandığında silindir gaz basınç değerlerinin püskürtme zamanı Ü.Ö.N.'dan 2° KA uzaklaştırıldığında E10 yakıtı için %10, E5 ve FKDY için yaklaşık %5 arttığı gözlemlenmiştir. Enjeksiyon başlangıç zamanlaması, main enjeksiyon başlangıç zamanına göre 2° KA Ü.Ö.N.'dan uzaklaştırılması ve 2° KA Ü.Ö.N.'ya yaklaştırılmasıyla elde edilen silindir gaz basınçları kıyaslandığında E5 yakıtı için yaklaşık %12, E10 yakıtı için yaklaşık %17 ve FKDY yakıtı için yaklaşık %11 artış görülmüştür. Deneylerde, enjeksiyon başlangıç zamanlaması

ve yakıt tipi değişimiyle silindir gaz basınç değerinde artış elde edilmiştir.

E5 ve E10 yakıtlarla kıyaslandığında, tüm enjeksiyon başlangıç zamanlarında CO₂ emisyon salınımı fosil kökenli dizel yakıtınla daha yüksek elde edilmiştir. Maksimum CO₂ emisyon değeri, enjeksiyon başlangıç zamanı klasik enjeksiyon zamanına göre Ü.Ö.N.'dan 2° KA uzaklaştırıldığında FKDY ile 49689 ppm olarak ölçülmüştür. Enjeksiyon başlangıç zamanlaması değişimiyle CO₂ emisyonlarında azalma ortalama olarak %2.1 oranında gerçekleşmiştir. Bu fark değeri %3'den küçük olduğu için, enjeksiyon zamanlamasının başlangıç değişiminin CO₂ emisyon salınımına fazla bir etkisi olmadığı düşünülmektedir.

Enjeksiyon başlangıç zamanlamasının, klasik enjeksiyon başlangıç zamanına göre 2° KA Ü.Ö.N.'ya yaklaştırılmasıyla tüm yakıt tiplerinde(E5,E10 ve FKDY) yaklaşık %15 oranında NO_x emisyonlarında azalma görülmüştür. FKDY ile kıyaslandığında karışım yakıtları ile elde edilen NO_x emisyon değerlerinin yaklaşık %5 oranında artış tespit edilmiştir. Bu değerler bize göstermiştir ki enjeksiyon başlangıç zamanlaması değişiminin NO_x emisyonlarının artışında etkili olmuştur.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışmanın gerçekleşmesine katkı sunan, TÜBİTAK MAM Motor Mükemmelleştirme Merkezine ve Kocaeli Üniversitesi BAP Birimine (2018/062) desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

REFERANSLAR

- [1] TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Türkiye'nin Enerji Görünümü, Oda Raporu, Nisan2018-Ankara.
- [2] Ş. Gizlenci ve M. A. Samsun, Enerji Bitkileri ve Biyoyakıtlar Sektörel Rapor T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Enerji Bitkileri Tarımı ve Biyoyakıtlar (Biyomotorin,BiyoetanoliBiyomas)-2008.
- [3] N. Kızılaslan ve T. Ünal, Türkiye ve Avrupa Birliği'nde Biyoyakıt, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, Sy. 26-33, 2015.
- [4] A. Onurbaş Avcıoğlu, U. Türker, Z. Atasoy ve D. Koçtürk, *Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler-Biyoyakıtlar*, Nobel Yayınevi, Sy.519, 2011.
- [5] A. Bulur, Çukurova Bölgesinde Üretilen Boğma Rakıların Kimyasal Bileşimleri Üzerine Bir Araştırma, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 2010.
- [6] D. Dağdelen, T.C Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, *Küresel Biyoyakıt Politikalarının AB ve Türkiye Açısından Değerlendirilmesi AB Uzmanlık Tezi*, Ankara-2015.
- [7] S. Iliev, , A Comparison of Ethanol and Methanol Blending with Gasoline Using a 1-D Engine Model, *Procedia Engineering*, 5th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, Sy. 1013 – 1022, 2015.
- [8] S. Özer, Alkollerin İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 19, Sayı 1, 2014.
- [9] B. Likos, T. J. Callahan ve C. A. Moses, Performance and Emissions of Ethanol and

- Ethanol-Diesel Blends in Direct-Injected and Pre-Chamber Diesel Engines, *Society of Automotive*.
- [10] M. Balat, H. Balat ve C. Öz, Progress in bioethanol processing, *Progress In Energy And Combustion Science*, pp. 551–573, 2008.
- [11] C. Stan, R. Troeger, S. Guenther, A. Stanciu, L. Martorano, C. Tarantino ve R. Lensi, Internal Mixture Formation and Combustion - from Gasoline to Ethanol, *Society of Automotive*, 2001-01-1207.
- [12] Y. Çelebi ve H. Aydın, Fuel, An overview on the light alcohol fuels in diesel engines, *Fuel*, pp. 890-911,2019.
- [13] S. A. Shahir, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, A. Imran, I. M Rizwanul Fattah ve A. Sanjid, Feasibility of diesel-biodiesel ethanol / bioethanol blend as existing CIengine fuel: An assessment of properties, material compatibility, safety and combustion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 379-395, 2014.
- [14] F. Karaosmanoğlu, Alkollü Benzinlerin Alternatif Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, 1990.
- [15] N. Raeie, S. Emami ve O. K. Sadaghiyani, Effects of injection timing, before and after top dead center on the propulsion and power in a diesel engine, *Propulsion and Power Research*, pp.59-67,2014.
- [16] A. Uyumaz, H. Solmaz, F. Boz, E. Yılmaz, B. Aydoğan ve H. S. Yücesu, RCCI Bir Motorda Enjeksiyon Zamanlamasına Bağlı Yanma ve Motor Performans Karakteristikleri, *International Congress of the New Approaches and Technologies for Sustainable Development*, Sy. 60-69, September 21-24, 2017 Isparta / TURKEY.
- [17] S. A. Ahmed, S. Zhou, Y. Zhu, Y. Feng, A. Malik ve N. Ahmad, Influence of Injection Timing on Performance and Exhaust Emission of CI Engine Fuelled with Butanol-Diesel Using a 1D GT-Power Model, *Processe*

