



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bir Dizel Motoruna Etanol Fumigasyonunun Enerji Dağılımına Etkisi

 Ömer Faruk YILDIZ ^{a,*},  Yusuf ÇAY ^b,  Vezir AYHAN ^b,  İdris CESUR ^b

^a Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: omerfaruk.yildiz.90@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.634631

ÖZET

Enerji ihtiyacını karşılamak için ülkemizde olduğu gibi dünya genelinde de hâlihazırda petrol türevli yakıtlar kullanılmaktadır. Artan sanayileşme ve nüfus yoğunluğu ve buna bağlı olarak taşıt miktarı ile birlikte petrole olan eğilim daha da artmakta, bu durum kaynakların tükenmesine yol açmaktadır. Petrol rezervlerinin gün geçtikçe azalması ve petrolün çevreye olan olumsuz etkileri göz önüne alındığında alternatif yakıtlara olan yönelim artmaktadır. Bu çalışmada su soğutmalı, tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda farklı yakıt karışımları kullanılarak motorun enerji değişimleri incelenmiştir. Motorun 1200 d/d ile 2400 d/d arasında 200'er d/d aralıklarla farklı devir sayıları için dört farklı yakıtla çalıştırıldığı durumdaki enerji analizleri yapılmıştır. Öncelikle yakıt olarak standart dizel (STD) kullanılmıştır. Sonra sırası ile hacimsel olarak %20 etanol (E20), %25 etanol (E25) ve %30 etanol (E30) olacak şekilde etanol emme manifoldundan elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi yardımıyla püskürtülmüştür. Dizel motorun bu yakıtlarla kullanılmasının enerji analiz parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda; motor performansında düşüşler, özgül yakıt sarfiyatında artış gözlemlenmiştir. Standart dizel, E25 ve E30 yakıtları için en verimli devir 1400 d/d iken, E20 yakıtı için 1600 d/d olarak tespit edilmiştir. 2000 d/d ve üst devirler için E30 yakıtının standart dizele alternatif olarak kullanılabilceği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Etanol, Fumigasyon, Enerji analizi

Investigation of The Effect of Ethanol Fumigation on Energy Distribution in a Diesel Engine

ABSTRACT

In order to meet the energy need, petroleum-derived fuels are already being used throughout the world as in our country. With increasing industrialization and population density and consequently the amount of vehicles, the tendency towards oil increases, which leads to depletion of resources. Considering the decrease in oil reserves and the negative effects of oil on the environment, the tendency towards alternative fuels increases. In this experiment, thermodynamic analyzes were performed for a water-cooled, single-cylinder direct injection diesel engine. Energy analyzes were carried out when the engine was operated with four different fuels at different speeds between 1200 rpm and 2400 rpm by increasing 200 rpm. First, standard diesel (STD) was used as direct fuel injection. Then 20% ethanol (E20, 25% ethanol (E25 and 30% ethanol (E30) is sprayed from the intake manifold by means of electronical controlled ethanol injection system. The effect of diesel engine with these fuels on the energy analysis parameters was investigated. As a result of this study; overall improvements in emissions and reductions in engine performance were observed. While the most efficient speed for standard diesel, E25 and E30 fuels is 1400 rpm, it is determined as 1600 rpm for E20 fuel. It is seen that E30 fuel can be used as an alternative to standard diesel for 2000 rpm and higher cycles

Keywords: Ethanol, Fumigation, Energy analysis

I. GİRİŞ

Ülkelerin refah, gelişme ve kalkınmalarını sağlamak için en önemli araç olan enerji, son zamanlarda küresel sistemde en stratejik araçlardan biri haline gelmiştir. Bundan dolayı ülkeler enerji politikalarını planlarken; kısa vadede enerji kaynaklarının küresel pazarlara güvenle ulaşması, fiyatlandırma ve arzı göz önünde bulundururken, uzun vadede enerji politikaları ve kalkınma planlamaları önem arz etmektedir. OPEC (Petrol İhraç Eden Ülkeler) 2017 raporuna göre fosil yakıtların 2015'te %81 olan küresel enerjideki payı 2020'de %80'e, 2030'da %78'e ve 2040'ta ise %74'e düşmesi öngörülmektedir. Aynı rapora göre fosil yakıtların küresel enerjideki payında düşüş olsa da petrol ve doğalgazın küresel enerji ihtiyacının %50'sinden fazlasını karşılamaya devam edeceği tahmin edilmektedir. Bu durum gelecekteki birkaç on yıl içinde petrol ve doğalgaz rezervleri açısından bir sorun teşkil etmiyor olsa da yeni kaynakların bulunması, aranması veya üretilmesi gibi konular, küresel ilişkileri etkileyen problemlerden biridir. Türkiye'nin enerji kaynakları bakımından kendine yetebilmesi açısından alternatif enerji kaynaklarının kullanımı kaçınılmazdır [1].

Bu çalışmada azalan kaynaklara alternatif olabilecek yakıtlardan etanolün dizel yakıtla karşılaştırılması ve etanolün dizele alternatif yakıt olup olamayacağı tespit edilmek istenmiştir. Bunun için literatürler taranmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Şenveli [2] yaptığı çalışmada etanolün dizel yakıt ile değişken sıkıştırma oranları ve farklı oranlarda kullanılması durumunu inceleyerek silindir içi basınç ve egzoz emisyonlarının nasıl değiştiğini irdelemiştir. Tek silindirli test motorunu 900 d/d ve yüksüz olarak çalıştırmış ve sırasıyla %100 dizel, hacimsel olarak %5, %10 ve %15 etanol katkılı dizel yakıtı deneyini gerçekleştirmiştir. Bu deney sonucunda etanol katkısının motor moment ve güç değerlerini sürekli azalttığını, özgül yakıt tüketimini ise arttırdığını gözlemlemiştir.

Gündüz [3] yaptığı çalışmada kızartma yağlarından biyodizel elde etmiş ve yakıtta etanol katarak bir dizel motorunda test etmiştir. Dizeli, biyodizel, BE5, BE10 ve BE15 yakıtları ile farklı motor devirlerinde egzoz emisyonu ve motor performansını gözlemek amacıyla test etmiştir. Bu deney sonucunda biyodizel ve etanol katkılı biyodizelin moment ve güç değerlerinin dizel yakıtta göre düşük çıktığını, yakıt sarfiyatının yüksek çıktığını, NO_x değerlerinin dizele göre yüksek çıktığını gözlemlemiştir.

Ayaz [4] yaptığı çalışmada biyodizel ve biyoetanol katkılı yakıtları 3 silindirli ve direk püskürtmeli dizel motorda denemiştir. Çalışmasını sabit devirde (1500 d/d) ve değişik yük şartları altında yapmıştır. Bunun sonucunda yakıt tüketiminin yüklerle birlikte arttığını, özgül yakıt tüketiminin yükün artmasıyla düştüğünü, motor efektif veriminin yükün artmasıyla orantılı arttığını, CO emisyonlarında yükün artışıyla birlikte artış olduğunu gözlemlemiştir.

Sayın [5] yaptığı çalışmada tek silindirli dizel motoru için 1000-3000 d/d arasında 200'er devir arttırarak %5 biyoetanolle farklı oranlarda dizel ve biyodizel karıştırarak ekserji ve enerji analizini incelemiştir. Bu çalışma sonucunda efektif gücün en çok dizel yakıtta olduğunu, biyodizel oranının artmasıyla motor gücünün azaldığını, maksimum torkun 1500 d/d dizel için, diğer yakıtlar içinse 1400 d/d olduğunu, maksimum gücün ise 2800 d/d'da olduğunu gözlemlemiştir.

Özdemir [6] çalışmasında direkt püskürtmeli bir dizel motorda etanol ve biyodizelin çeşitli oranlarda karışımlarının emisyonlar ve motor performansına etkisini 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 d/d için araştırmıştır. Bu çalışma sonucunda motor moment ve gücünde dizel ve biyodizel karışımında azalma olduğunu, dizel, biyodizel ve etanol karışımlarında yanma veriminin arttığını gözlemlemiştir. Yine bu çalışmada özgül yakıt tüketiminin bütün karışımlarda arttığını bu değişimin ise motor momenti ve gücüyle alakalı olduğunu tespit etmiştir.

Çaylar [7] çalışmasında buji ateşlemeli bir motora etanol katkısının motorun emisyon ve performansına etkisini incelemiştir. Bu çalışmasını 4 silindirli benzinli bir motorda 1000-5000 d/d'lar arasında 1000'er devir arttırarak ve benzin, E5, E10, E20 ve E100 yakıtlarını kullanarak tamamlamıştır. Çalışma

sonucunda motor gücünün azaldığını, yakıt tüketiminin arttığını, CO ve NO emisyonlarının azaldığını, HC emisyonlarının ise arttığını gözlemlemiştir.

Bu çalışma tek silindirli bir dizel motorunda sırasıyla standart, hacimsel olarak %20 etanol, %25 etanol ve %30 etanol katılarak tam yük altında alınan sonuçlar tek boyutlu olarak incelenmiş ve yorumlanmıştır. Deneyler tüm yakıtlar için sabit devir ve yük altında yapılmıştır. Değişken olarak yakıtların hacmi ve miktarı kullanılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Deney düzeneği genel olarak; tek silindirli bir dizel motor, radyatör, dinamometre, elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi, 25 cm³’lük ölçüm yapılabilen bir yakıt kabından oluşmaktadır. Deney düzeneğine ait veriler Tablo 1’de, deney düzeneği şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deney düzeneğine ait teknik veriler

Motor Tipi	Tek Silindirli Dizel Motor
Strok (mm)	100
Strok Hacmi (dm ³)	0.92
Piston Çapı (mm)	108
Silindir Sayısı	1
Güç, 2200 d/d, (kW)	13
Enjektör Açma Basıncı (bar)	225
Sıkıştırma Oranı	17
Püskürtme Avansı (Krank açısı)	29
Maksimum Devir (d/d)	2500
Soğutma Tipi	Su
Püskürtme Tipi	Direkt Enjeksiyon
Piston Tipi	Çanak

Tek silindirli dizel motor olarak Süperstar motor kullanılmıştır. Motora enerji analizini uygulamadan önce hesaplamaların basitleştirilmesi amacıyla aşağıdaki varsayımlar yapılmaktadır.

- Motor, kararlı durumda çalışmaktadır.
- Motorların termodinamik davranışlarını belirleyebilmek için sistemin açık sistem olduğu kabul edilir. Dinamometreyi de içine alan tüm motor, kontrol hacmini oluşturmaktadır.
- Yanma havası ve egzoz gazının ideal gaz karışımı olduğu kabul edilmektedir.
- Kütle giriş ve çıkış akımlarının potansiyel ve kinetik enerjilerdeki değişimleri ihmal edilmektedir [8].

Deneyde kullanılan diğer ekipmanlar ve hassasiyetleri aşağıdaki gibidir.

Deneyel çalışmalar sırasında motoru yüklemek için 50 kg yük tutma kapasiteli hidrolik ESIT marka dinamometre kullanılmıştır. Dinamometrenin koluna motorun ürettiği gücü tespit etmek için 0,1 kg hassasiyetle çalışan S tipi Loadcell bağlanmıştır. Deneyler öncesinde Loadcell’in kalibrasyonu yapılmıştır. Dinamometreye ait özellikler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Dinamometre özellikleri

Marka	ESIT
Model	STCS 200 kg C3
Frenleme Şekli	Hidrolik
Seri	4901
Çıkış	2 mV/V

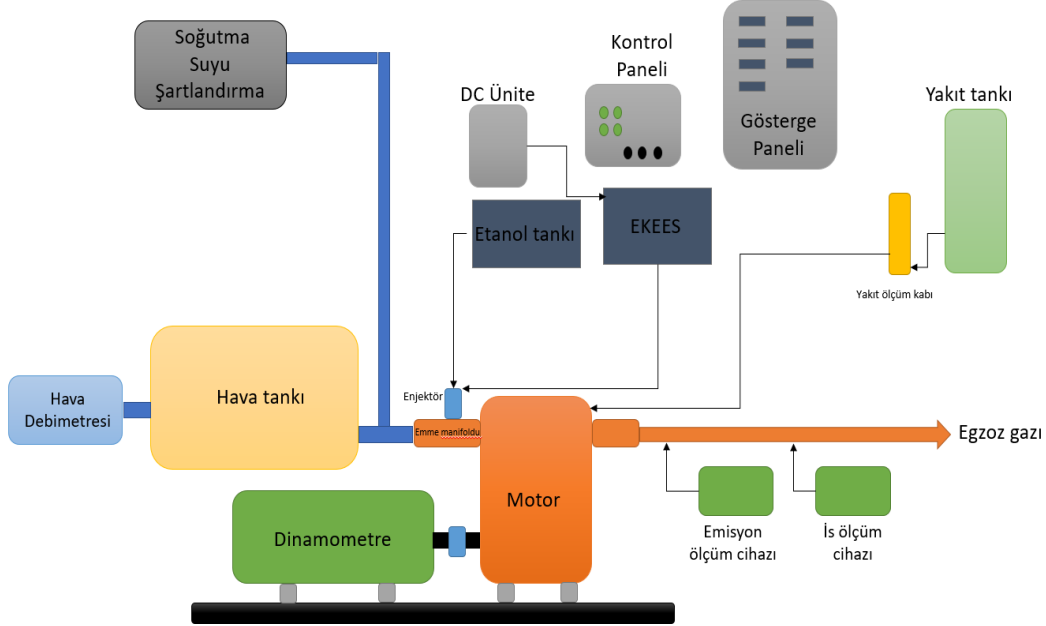
Deneyler sırasında her bir adımda yakıt sarfiyatının ölçülebilmesi için 25 ve 50 cm³'lük ölçüm haznesi olan yakıt ölçer kullanılmıştır. Yakıt ölçümü hacimsel olarak ve bir kronometre yardımıyla yapılmıştır. Deneyler esnasında ortam sıcaklığı, egzoz gaz sıcaklığı ve soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları NiCr-Ni tipi termokupullar kullanılarak ölçülmüştür. Bu termokupullar Elimko 680 marka 8 kanallı bir sıcaklık göstergesine bağlanmıştır.

Deneyel çalışmalarda emisyonların ölçülebilmesi için Bosch BEA 060 marka bir egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Emisyon ölçüm sistemi aşağıda gösterilmiştir.

Bu cihaz sayesinde NO_x, HC, CO₂ ve CO emisyonlarının egzozdaki miktarları yüzde (%) ve ppm olarak ölçülmüştür. İS (duman koyuluğu) emisyonlarının ölçümü için aşağıda gösterilen Bosch BEA "070 marka bir cihaz kullanılmıştır. Cihaz, İS ölçümünü yüzde veya K faktörü şeklinde yapmaktadır. Emisyon cihazlarına ait teknik özellikler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Emisyon cihazları özellikleri

Ölçüm	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
CO(% Hacimce)	0-10	%0.001
CO ₂ (% Hacimce)	0-18	%0.01
HC(ppm)	0-9999	+1,-1
O ₂ (% Hacimce)	0-22	%0.01
Hava Fazlalık Katsayısı	0.5-9.999	0.01
İs(% Hacimce)	0-100	% 1
NO(ppm)	0-5000	Ölçülen Değerin %5'i



Şekil 1. Deney düzeneği şeması.



Şekil 2. Enjektör Kontrol Paneli

Özgül yakıt tüketimi, $OYT = \frac{\dot{m}_{yakıt}}{p_f}$ formülasyonu ile hesaplanır.

Efektif güç, hidrolik dinamometre kullanılarak elde edilen verilerden yola çıkarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [9].

$$P_f = M_d * \omega = F * l * \omega = F * l * 2 * \pi * n / 60 \quad (1)$$

Burada M_d ; motor döndürme momenti (Nm), n ; motor devri (d/d), F ; dinamometrede okunan su freni yük değeri (N), l ; kol uzunluğu (m) ve ω ise açısal hızı ifade etmektedir.

Hava enerjisi;

$$\dot{Q}_{hava} = \dot{m}_{hava} * h_{hava} \quad (2)$$

Bağıntısından bulunur. Burada $h_{hava} = c_p * T$ yerine konulursa denklem;

$$\dot{Q}_{hava} = \dot{m}_{hava} * c_p * T \quad (3)$$

Şeklinde düzenlenir. c_p ise;

$$c_p = 1.04841 - \frac{3.83719}{10^4} * T + \frac{9.45378}{10^7} * T^2 - \frac{5.49031}{10^{10}} * T^3 + \frac{7.92981}{10^{14}} * T^4 \quad (4)$$

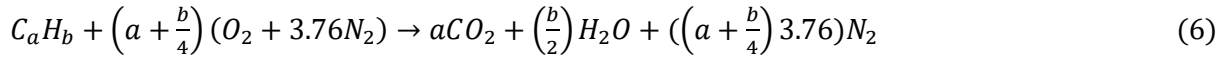
Bağıntısıyla bulunur [10]. Burada c_p ; özgül ısıyı (kJ/kg.K) ve T ; sıcaklığı (K) ifade eder.

Kontrol hacmindeki enerji girişinin yalnızca yakıtın kimyasal enerjisinden ibaret olduğu varsayımını yaparsak, yakıt enerji akımının yakıtın alt ısıl değeri (H_u) ile debisinin ($\dot{m}_{yakıt}$) fonksiyonu olduğunu bulabiliriz. Kontrol hacmindeki enerji girişinin yakıtın kimyasal enerjisi ile oluştuğunu varsayalım. Bu durumda yakıt enerjisi;

$$\dot{Q}_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} * H_u \quad (5)$$

Bağıntısından elde edilir. Bu bağıntı için $\dot{m}_{yakıt}$; yakıtın kütleli debisini (kg/s), H_u ; yakıtın alt ısıl değerini (kJ/kg) temsil etmektedir. Bu bağıntıda yakıtın alt ısıl değerinin kullanılmasının nedeni yanma sonu sıcaklığının çok yüksek olmasından dolayı yanma sonunda suyun buhar fazında olmasıdır.

Deneyde yanma havasının içinde su buharı bulunmadığı ve molar olarak %79 azot ve %21 oksijen içerdiği varsayılır. Genel bazda bir hidrokarbonun (CaHb) teorik yanma denklemi;



Şeklinde ifade edilir. Bu denklem kullanılan yakıtta uygulandığında da, yakıtın yanma denklemi elde edilir. Bu işlem içinde havadaki N₂'nin NO_x ve NO gibi gazlara dönüşmediği ve yanmamış hidrokarbonların emisyon miktarlarının düşük olduğu varsayılarak denklemde HC'ye yer verilmemektedir.

Deneyde kullanılan yakıtlar olan etanol ve dizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4. Etanol ve dizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

ÖZELLİKLER	BİRİM	ETANOL	DİZEL
Kimyasal formül	-	C ₂ H ₅ OH	C ₁₄ H ₂₅
Karbon içeriği	% Kütlesele	52,2	87,1
Hidrojen içeriği	% Kütlesele	13,1	12,9
Yoğunluk (285 K)	kg/m ³	809,9	829
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı	273 K	423	220
Kaynama noktası	273 K	78	170-390
Alt ısııl değer	kJ/kg	42640	27000

Deneyde önce standart verileri almak için dizel yakıt kullanılmıştır. İlk deney için öncelikle soğutma suyu açılmıştır. Yağ seviyesi kontrol edilmiştir. Yağ ısıtıcı çalıştırılarak yağ sıcaklığı 80°C'ye gelene kadar beklenilmiştir. Emisyon cihazlarının filtreleri değiştirilmiş ve emisyon cihazları açılmıştır. 1800 d/d'da lambda değeri 1,48-1,52 olacak şekilde motorda lambda ayarı yapılmıştır. Devir 1200 d/d'ya getirilerek motor kararlı hale geldikten sonra veriler alınmıştır. Motor 1400 d/d'ya dinamometre yük kolu kullanılarak getirilmiştir. Bu şekilde 2400 d/d'da dâhil olmak üzere veriler standart olarak alınmış ve STD olarak grafiklerde gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada fumigasyon yöntemlerinden etanol yakıtının emme manifoldundan direk havanın içine püskürtülmesi kullanılmıştır. Etanol miktarı ve süresi elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi ile kontrol edilerek ayarlanmıştır. Etanol parametrelerini belirlemek için bir düzenek kurulmuştur. Bu düzenek etanol tankı, pompa, enjektör, ortak hat sistemi ve hassas teraziden oluşmuştur. Etanol tankının içine pompa koyulmuştur. Düzenek 3 bar'a sabitlenmiştir.

Elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi 500 palsa ayarlanmıştır. Uygulanan her bir mili saniye için 500 palsta püskürtülen yakıt miktarı, 0,01 gram hassasiyette olan terazi yardımıyla bulunmuştur. Emme manifolduna etanol püskürtmek için enjektör konumlandırılmıştır. Enjektör, emme zamanında Üst Ölü Nokta 5° iken püskürtmeye başlamaktadır. Enjektör püskürtme cihazı DC güç kaynağına bağlanmış ve 20V güçte çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Enjektör ölçümleri için gerekli olan encoder motora bağlanmıştır. Encoderin üst ölü nokta ve Z pals noktalarını doğru olarak tanımladığını kontrol etmek için motor el ile döndürülmüştür. El ile döndürme sırasında enjektör kontrol paneli ile karşılaştırma yapılmıştır.

1200 d/d'da önceki okunan güç değerinin %10'u kadarı çıkartılarak 1200 d/d'da standart verilere göre %90 yüke göre motor dinamometre ve gaz kolu yardımıyla ayarlanmıştır. Elektronik kontrollü etanol enjeksiyon sistemi çalıştırılarak standart verilere göre %100 yüke gelene kadar enjektör ppm sayısı artırılmış ve gerektiğinde dinamometre yük kolu ile oynanarak motor 1200 d/d ve %100 yüke getirilmiştir. Motor kararlı hale gelene kadar beklenilmiş ve sonrasında veriler not edilmiştir. Örneklandırmek gerekirse STD verilerde X devri için dinamometrede 10 kg ölçüldüğü farz edildiğinde

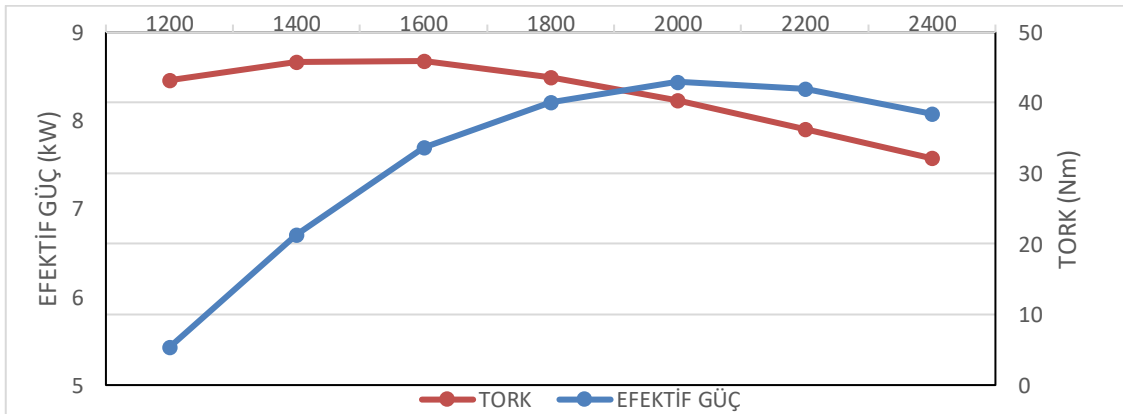
%90 yük için 9 kg dinamometrede ölçülmesi gerekmektedir. Motor STD yakıtla dinamometrede 9 kg okunana kadar devir değiştirilir. 9 kg ölçüldükten sonra etanol ilavesine başlanır. Sadece etanol kullanılarak devir X devrine ve güç ise 10 kg okunana kadar etanol ilavesi yapılır. Bu işlemler sonucunda etanolden 1 kg güç alabilmek için harcanan etanol, aynı gücü sağlayan STD yakıtı göre hacimsel olarak daha fazla gerekmektedir. Yani STD dizelin %10 ile sağladığı gücün etanol ile %20 (E20) hacimle sağlandığı tespit edilmiştir. Bu sonuçla da STD ile 100X kadar hacimde yakıt kullanılması gerekirken 110X etanol ve STD dizel karışımı kullanılması gerekmektedir. Bu da kullanılması gereken havanın daha fazla gerekmesine neden olmuştur. Bu işlemler sonucunda %15 düşük güç için hacimsel olarak %25 (E25) etanol ve %20 düşük güç için %30 (E30) etanol gerektiği tespit edilmiştir. Bu tespitler sonucunda tüm deney E20, E25 ve E30 için 1200-2400 devir aralıklarında 200'er artacak şekilde yapılarak tamamlanmıştır.

III. ARAŞTIRMA BULGULARI

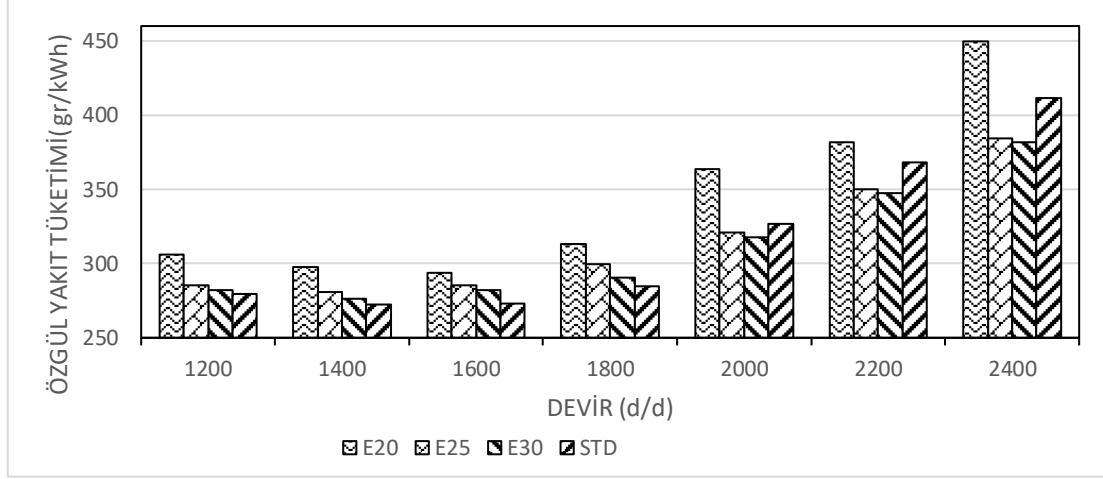
Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motoruna referans olarak dizel yakıtı ve sonrasında ise emme manifoldundan hacimce %20, %25 ve %30 olmak üzere etanol püskürtülerek deneyler tamamlanmıştır. Çalışma sonucunda enerji analizleri yapılmıştır.

Efektif güç ve motor tork grafiği Şekil 3.'de verilmektedir. Motor efektif gücün maksimum seviyesine 2000 d/d'da ulaşmıştır. Güç sabit tutulduğundan tüm yakıtlar için efektif güç değeri aynıdır. Motor torku ise yükün en yüksek olduğu devir olan 1600 d/d'da maksimuma ulaşmaktadır.

Özgül yakıt tüketimi grafiği Şekil 4.'te gösterilmektedir. Motor verim eğrisine göre ters orantılı bir grafik sergilemektedir. Özgül yakıt tüketimi öncelikle motorun optimum devrine kadar düşüş sonrasında ise artış göstermiştir. En yüksek tüketim E20 yakıtında görülmüştür. En düşük tüketim ise 2000 d/d'ya kadar standart dizelde, sonrasında ise E30 yakıtında görülmüştür. Bu sonuçlara bakıldığında yüksek devirler için E30 yakıtı standart dizel yakıtına tercih edilebilir. Motorun maksimum tork ürettiği devir olan 1600 d/d'da E20 yakıtı standart dizele oranla %7'lik bir yakıt tüketimi artışına neden olmuştur. Maksimum gücün elde edildiği devir olan 2000 d/d'da ise %13'lük bir yakıt tüketimi artışı gerçekleşmiştir. Özgül yakıt tüketimi motorun en verimli devri olan 1600 d/d'da en düşük olarak ölçülmüş sonrasında ise devir artışına bağlı olarak artan yakıt ihtiyacına göre artış gözlemlenmiştir.

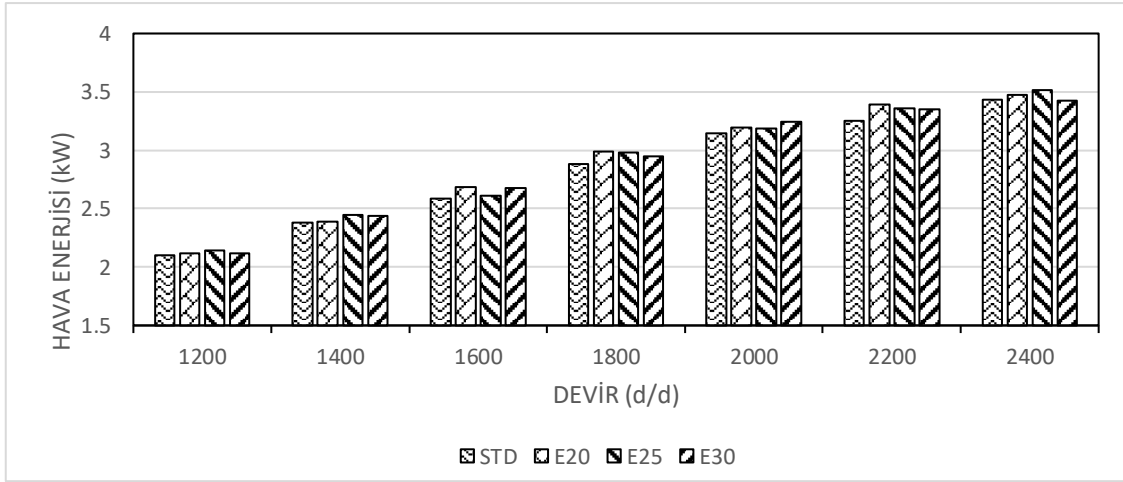


Şekil 3. Efektif güç ve motor torku.



Şekil 4. Motor devrine göre özgül yakıt tüketimi.

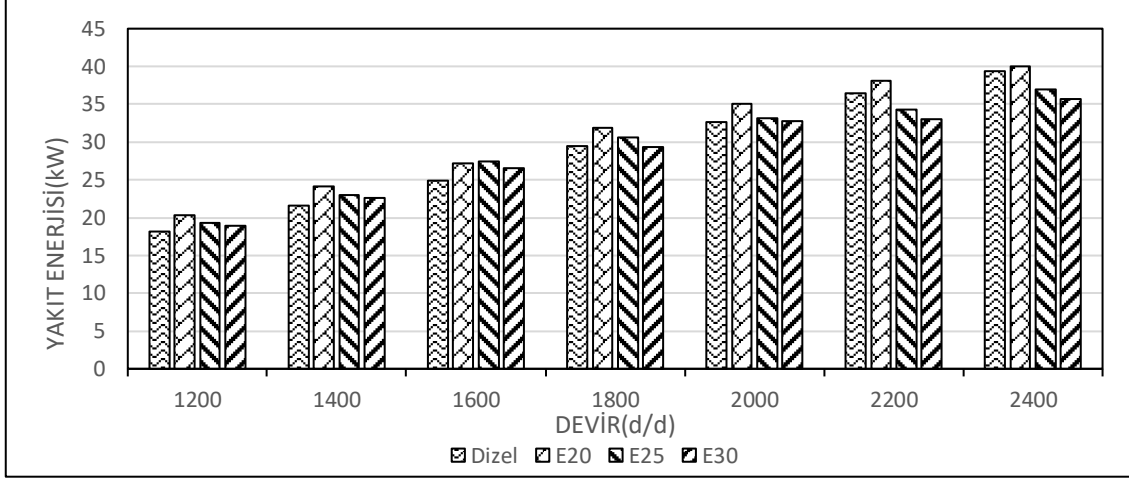
A. ENERJİ ANALİZİ



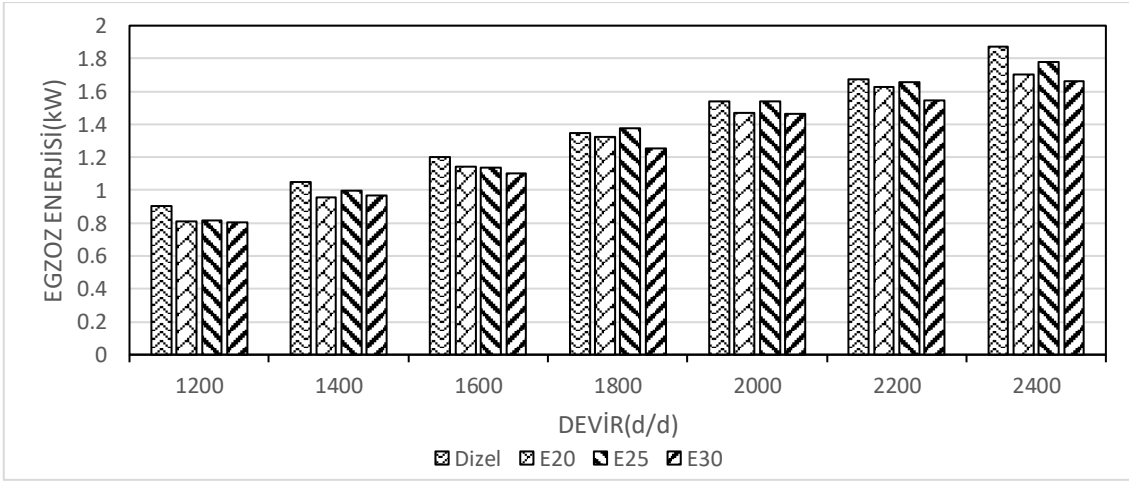
Şekil 5. Motor devrine göre hava enerjisi (kW).

Hava enerjisi Şekil 5'te gösterilmektedir. Hava enerjisine bakıldığında bütün yakıt türlerinde devir sayısına göre bir artış görülmektedir. Bunun sebebi devir sayısı arttıkça daha fazla yakıt hava karışımının yakılmak istenmesi olabilir. Yakıtlar kendi aralarında devir sayısına göre karşılaştırıldıklarında en az hava enerjisine sahip yakıt standart dizeldir. Maksimum tork elde edilen devir olan 1600 d/d'da maksimum ve minimum hava enerji farkı %4 olarak ölçülmüştür. Maksimum gücün sağlandığı devir olan 2000 d/d için ise aradaki fark benzer şekilde %4 olarak gözlemlenmiştir.

Yakıt enerjileri grafiği Şekil 6.'de gösterilmiştir. Yakıt enerjileri devir arttıkça artmıştır. 2000 d/d'ya kadar en düşük yakıt enerjisine sahip yakıt türü, standart dizeldir. 2000 d/d ve sonrasında ise E30 yakıtı en düşük enerjiye sahiptir. En yüksek enerjiye sahip yakıt ise E20 yakıtıdır. Grafiğe bakıldığında standart dizel yerine tercih edilebilecek yakıt olarak E30 yakıtı söylenebilir. 1600 d/d için yakıt enerjisindeki yakıtlar arasındaki fark %10, 2000 d/d için ise %7 olarak bulunmuştur. Yakıt enerjileri de devir sayısı arttıkça oluşan daha fazla yakıt ihtiyacı sonucu artmıştır.



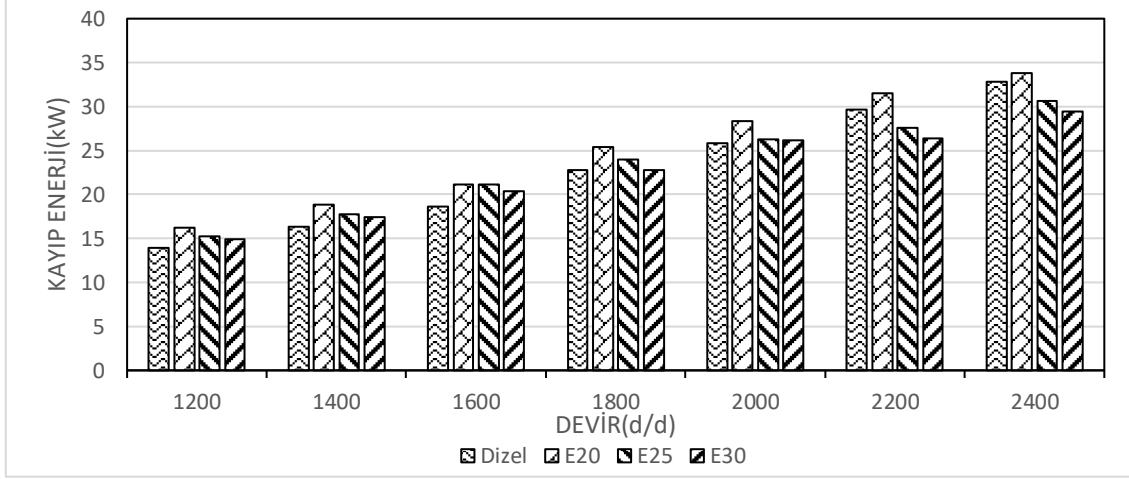
Şekil 6. Motor devrine göre yakıt enerjisi (kW).



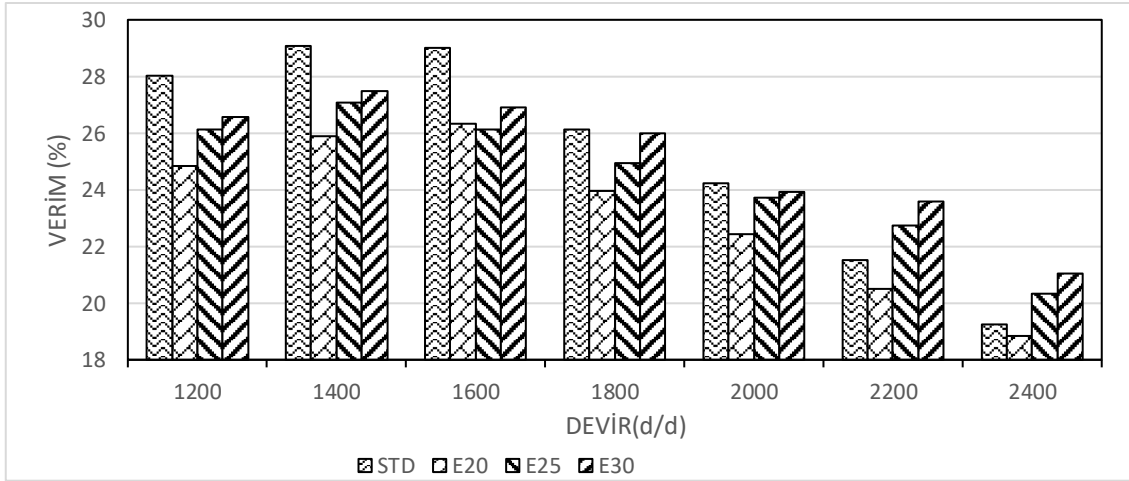
Şekil 7. Motor devrine göre egzoz enerjisi (kW).

Egzoz enerjileri Şekil 7’de gösterilmektedir. Egzoz enerjisine bakıldığında bütün yakıt türlerinde devir arttıkça enerjinin arttığı görülmektedir. Bağımsız olarak incelendiğinde ise enerjisi en yüksek yakıt standart dizel yakıt olarak görülmektedir. Bunun nedeni standart dizelin özgül ısısının karışım yakıtlardan daha yüksek olması olarak söylenebilir. En düşük egzoz enerjisine sahip olan yakıt ise E30 yakıtıdır. Dizele en yakın egzoz enerjisine sahip olan yakıt türü ise E25 olarak görülmektedir. Bu çalışmaya benzer sonuçlar B. Sayın [5] tarafından da tespit edilmiştir. 1600 d/d için yakıtlar arasındaki egzoz enerjisi farkı %9 iken, 2000 d/d için bu fark %7 olarak gözlemlenmiştir. Genel olarak artan devir sayısı ile birlikte artan hava-yakıt ihtiyacı sonucu devir sayısı arttıkça daha fazla egzoz enerjisi oluşmaktadır.

Kayıp enerjisi grafiği aşağıda Şekil 8’de gösterilmektedir. Bu grafik incelendiğinde görüldüğü üzere devir sayısına göre kayıp enerji artmaktadır. Yakıt bazında bakıldığında tüm devirlerde en düşük kayıp enerjiye sahip yakıt standart dizeldir. Bu sonuca B. Sayın [5] tarafından da ulaşılmıştır. En yüksek kayıp enerjisine sahip yakıt türü ise E20 yakıtıdır. Kayıp enerjisi için 1600 d/d incelendiğinde %12’lik bir fark varken, 2000 d/d için bu fark %9’a düşmektedir. Artan devir sayısı ve hava-yakıt karışımı ile artan egzoz enerjisi ve motorun en verimli devirden uzaklaşması sonucu motorda oluşan kayıplar artmıştır.



Şekil 8. Motor devrine göre kayıp enerjisi (kW).



Şekil 9. Motor devrine göre enerji efektif verimi.

Enerji verimi için grafik Şekil 9’da verilmiştir. Enerji verimi E20 yakıtı için 1600 d/d’ya kadar, standart dizel, E25 ve E30 için ise 1400 d/d’ya kadar artış ve sonrasında azalma olarak gözlemlenmektedir. 2000 d/d’ya kadar en verimli yakıt standart dizel olarak söylenebilirken, 2000 d/d ve sonraki devirlerde E30 yakıtı olduğu söylenebilir. Tüm yakıt türlerinde verimi en az olan yakıt ise E20’dir. Enerji analizi olarak baktığımızda verim, yakıt sarfiyatı ve performans değerleri standart dizel en yakın yakıt türü E30’dur. E30 yakıtı 2000 d/d sonrasında ise standart dizelden daha mantıklı bir çözüm olarak görülmektedir. Maksimum torkun elde edildiği devir olan 1600 d/d için verimde %10 fark, maksimum gücün elde edildiği devir olan 2000 d/d için ise %8 fark görülmektedir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada tek silindirli su soğutmalı direk enjeksiyonlu bir dizel motor için enerji analizleri yapılmıştır. Öncelikle standart dizel yakıtıyla farklı devirlerde tam yükte ve sonra sırasıyla hacimsel olarak %20-%25-%30 oranlarında emme manifolduna etanol püskürtülerek deney tamamlanmış ve veriler alınmıştır.

- Motor efektif gücün maksimum seviyesine 2000 d/d’da ulaşmıştır. Motor torku ise yükün en yüksek olduğu devir olan 1600 d/d’da maksimuma ulaşmaktadır.
- Özgül yakıt tüketimi öncelikle motorun optimum devrine kadar düşüş sonrasında ise artış göstermiştir. En yüksek tüketim E20 yakıtında görülmüştür.

- Bütün yakıtlar için havanın sahip olduğu enerji, devir sayısı arttıkça çevrim sayısının artmasının bir sonucu olarak artmıştır.
- Yakıt enerjisi devir sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Devir sayısı arttıkça ihtiyaç duyulan hava-yakıt karışımı artmakta bunun sonucu olarak yakıt enerjisini de arttırmaktadır. Yakıt türlerinin içinde genel olarak yakıt enerjisi en yüksek yakıt türü E20 karışımıdır.
- Egzoz enerjisi devir sayısı ile orantılı olarak artmakla birlikte enerjisi en yüksek yakıt türü standart dizel olarak görülmüştür. Bunun sebebi olarak dizelin alt ısı değerinin etanolden yüksek olması gösterilebilir. Egzoz enerjisindeki devir sayısına bağlı artışın genel sebebi, devir sayısı ile birlikte motora giren hava-yakıt karışımının artmasıdır.
- Kayıp enerji devir sayısına bağlı olarak artmakla birlikte en yüksek kayıp enerjiye neden olan yakıt E20, en düşük kayıp enerjiye sahip yakıt ise 2000 d/d'ya kadar standart dizel sonrasında ise E30 yakıtı olarak görülmektedir. Kayıp enerjideki artışın sebebi ise yine devir sayısının artışı ile yakılan hava-yakıt orasının artışına bağlı olarak daha fazla enerjinin kaybolmasıdır.
- Enerji veriminde E20 yakıtı için 1600 d/d'ya kadar diğer yakıt türleri içinse 1400 d/d'ya kadar artış sonrasında ise azalma görülmüştür. 2000 d/d'ya kadar en verimli yakıt standart dizel olarak söylenebilirken, 2000 d/d ve sonraki devirlerde E30 yakıtıdır. Verimi en düşük yakıt ise E20 olarak tespit edilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] B. Demir, “Küçük Ölçekli Bir Biyodizel Sisteminin Oluşturulması, Elde Edilen Pamuk Yağı Metil Esterinin Motor Performans testleri, Enerjetik ve Ekserjetik Değerlendirilmesi,” Doktora Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2009.
- [2] E. Şenveli, “Etanol Katkılı Yakıt Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [3] İ. Ayaz, “Dizel Motorlarda Biyo-Etanol, Biyo-Dizel ve Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Yüküne Bağlı Olarak Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2014.
- [4] İ. Gündüz, “Etanol Katkılı Atık Kızartma Yağlarının Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2017.
- [5] B. Sayın, “Biyo-yakıt Kullanan Bir Dizel Motor İçin Enerji ve Ekserji Analizi Üzerine Bir Deneysel Çalışma,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2014.
- [6] M. Özdemir, “Bir Dizel Motorda Biyo-dizel ve Etanol Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2011.
- [7] G. Çaylar, “İçten Yanmalı Motorlarda Yakıtta Etanol Katkısının Motor Emisyon ve Performansına Etkisi,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [8] M. E. Tat, “Cetane Number Effect On The Energetic And Exergetic Efficiency Of A Diesel Engine Fuelled With Biodiesel,” *Fuel Processing Technology*, c. 92, ss. 1311-1321, 2011.
- [9] Ü. Ünver, Ö. Kaynaklı ve M. Kılıç, “İçten Yanmalı Motorlarda Ekserji Analizi Üzerine Bir Çalışma,” *Otomotiv Kongresi Dergisi*, ss. 161-167, 2002.
- [10] M. J. Moran, H. N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 3. baskı, John Wiley & Sons, New York.