

Benzinli Bir Motorda Isıtılmış Biyoetanölün İkincil Yakıt Olarak Kullanımının İncelenmesi

Tahsin Yüksel^{1*}, İlker Temizer², İbrahim Can³, Ferhat Koca⁴

¹Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye

*¹tyuksel@cumhuriyet.edu.tr

(Geliş/Received: 21/03/2018;

Kabul/Accepted: 01/12/2018)

Özet: Bu çalışmada, benzinli bir motor üzerinde birtakım düzenlemeler yapılarak biyoetanöl gaz halinde ikincil yakıt olarak kullanıldı. Farklı oranlarda ikincil yakıt olarak kullanılan biyoetanölün motorun performans değerleri, yakıt tüketimi ve emisyon değişimleri araştırıldı. Yakıtın silindir içerisine gaz haliyle gönderilmesi sayesinde sıvı yakıtın oluşturduğu bazı olumsuzluklara çözüm bulunmaya çalışıldı. Deneylerde kullanılan motor 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 ve 2250 dak⁻¹ devirlerde tam yükte (tam gazda) çalıştırılarak motor performans, emisyon ve yanma karakteristikleri incelendi. Elde edilen sonuçlara göre emisyon salınımlarında iyileşmelerin olduğu gözlemlendi ve farklı çalışma şartları altında silindir içi maksimum basınçları ve ısı salınım miktarları Febris yanma analiz programı yardımı ile hesaplandı.

Anahtar Kelimeler: Biyoetanöl, biyoyakıtlar, çift yakıt, yanma analizi, febris

Investigation of the Using Heated Bioethanol as a Dual Fuel in a Gasoline Engine

Abstract: In this study, the bioethanol was used as dual fuel in gas form by making some arrangements on a gasoline engine. Fuel consumption and emission values were investigated as experimental the use of evaporated bioethanol as a dual fuel at various mixture ratios in a gasoline engine. It was tried to find solutions to some of the negative effects of liquid fuel thanks to the gas form fuel being sent in to the cylinder. The engine used in the experiments was operated to examine the engine performance, emission and combustion characteristics at full load (full throttle) at speeds of 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 and 2250 rpm. According to the obtained experimental results, improvements in the emission values were observed and maximum cylinder pressures and heat release amounts under different operating conditions were calculated with the aid of Febris combustion analysis program.

Keywords: Bioethanol, biofuels, dual fuel, combustion analysis, febris

1. Giriş

Otomotiv sektöründe kullanılan yakıtların fosil kökenli kaynaklardan karşılanması noktasında ülkeler bazında durum pek iç açıcı değildir. Araçların yürütülmesi için gerekli olan enerjinin karşılandığı yakıtı yani petrolü, büyük oranda ithalat yoluyla tedarik eden petrolde dışa bağımlı olan ülkeleri olumsuz olarak etkilemektedir. Petroldeki dışa bağımlılığı azaltmak, üretimdeki en önemli gider kalemlerinden olan akaryakıt giderlerini azaltarak ürün maliyetlerini düşürmek ve çevre kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunmak gerekmektedir. Bu hususların yanı sıra dünya üzerindeki fosil kaynakların azalmakta ve tükenecek olması da en önemli sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeplerle yeni enerji kaynaklarının bulunması ve kullanılması zorunluluk haline gelmiştir [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya enerji talebi içinde gelecekteki konumları Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan çalışmaya göre, 2000-2030 yılları arasında fosil enerji kaynaklarının payının %85, petrol ve doğal gazın payının ise %60 seviyelerinde olacağı öngörülmüştür. Yenilenebilir enerji payı ise %15 düzeyinde olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük teknik potansiyele biyokütle sahiptir [2]. Biyoyakıtları ve özellikle etanolü uluslararası gündeme taşıyan esas gelişme, 2007 yılı başlarında ABD yönetiminin, Brezilya ile beraber, biyoyakıtları küresel çapta bir enerji kaynağı haline getirme kararı almasıdır [3].

Biyetanöl; petrol esaslı olmayan şekerli ve nişastalı bitkilerin fermantasyonu veya selülozik kaynakların asidik hidrolizi ile üretilmektedir. Şeker pancarı, şeker kamışı, buğday, mısır, patates, sap-saman-kabuk gibi odunsu atık veya artıklar ile odun biyoetanöl üretiminde kullanılabilir. Şeker üretimi yan ürünü melas da önemli bir alkol hammaddesi olarak kullanılmaktadır [2]. Biyoetanöl, etil alkol, bitkisel alkol veya iştirto olarak da adlandırılmaktadır. Biyoetanöl, renksiz, saydam, hafif kokulu bir sıvıdır. Soluk, mavimsi ve ıssız bir alevle yanmaktadır. Etanol suyla karışması neticesinde hacminde küçülme meydana gelmektedir. Yüksek oktan

* Sorumlu yazar: tyuksel@cumhuriyet.edu.tr. Yazarların Orcid Numarası: ¹0000-0003-3238-9113, ²0000-0003-1170-3898, ³0000-0003-4774-3744, ⁴0000-0001-8849-5295

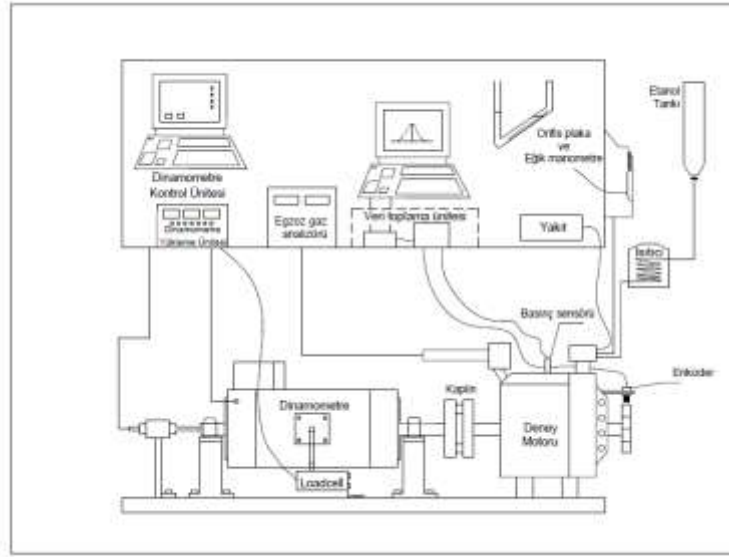
sayısına (yaklaşık 108 ROS) sahip olması, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artırılmasına olanak sağladığı için bu tür motorlarda kullanılması avantaj sağlamaktadır [4 - 7]. Günümüzde sıvı etanol, benzin motorlarında yaygın olarak saf halde veya karışım olarak kullanılmaktadır ve benzin-biyoyakıt karışım oranı standart bir değere kadar olabilmektedir [8]. Benzine etil alkol katılması sayesinde yanma iyileşmekte ve vuruntu dayanımı artmaktadır. Aynı zamanda alkol kullanımı hava kirliliğini azaltmakta oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır. Alkoller, içeriğindeki oksijen miktarı ve oktan sayısının yüksek oluşu nedeniyle yanma sonucu çevreye verdikleri zarar, fosil kökenli yakıtlara göre daha düşüktür. [5]. Bunun yanı sıra benzinle kıyaslandığında yüksek buharlaşma ısısına sahip olan alkoller, silindir içerisine emilen karışımı soğutmakta ve bu durumda motorun volümetrik verimini arttırmaktadır. Ancak fosil kökenli yakıtlara göre alkollerin ısı değerlerinin düşük oluşu özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır [9]. Buharlaşma ısısının yüksek olması motorun soğukta ilk hareketini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple ilk harekette emme sisteminde buharlaşmayı iyileştirici önlemler almak gerekmektedir. Keskin ve arkadaşları, ısı değerinin düşük olmasından dolayı alkollerin benzine katılmasıyla özgül yakıt tüketiminde artış tespit etmişlerdir. Ayrıca CO emisyonlarında önemli derecede düşüş, CO₂ emisyonlarında benzine göre artış, HC emisyonlarında benzine göre artış ve NO_x emisyonlarında düşme eğilimi gözlemlerken, O₂ emisyonlarında önemli bir değişim olmadığını gözlemlemişlerdir [10]. Turner ve arkadaşları, benzine eklenen etanolün motor emisyonlarının azalmasına ve verim artışına olumlu katkısının olduğunu belirlemişlerdir [11]. Egzoz gazlarının küresel ısınma ve çevre felaketlerine olan etkisini azaltmak için dünya genelinde pek çok yasal sınırların ve desteklemelerin olduğu bilinmektedir. Avrupa'da 2020 yılına kadar toplam enerji ihtiyaçlarının en az %10'unu biyoyakıtlardan ve alternatif yakıtlardan karşılanması amaçlanmaktadır [12].

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların en başta gelen özellikleri arasında ucuz olmaları, düşük emisyon değerlerine sahip olmaları, ihtiyaçları karşılayacak miktarlarda üretilebilmeleri, kolaylıkla depolanabilir ve taşınabilir olmaları istenir. Ayrıca vuruntuya neden olmamaları için yüksek sıkıştırma oranlarında çalışmaya uygun olmaları da gerekmektedir. Biyoyakıtlar, bu özellikleri karşılama noktasında çözümler arasında yer almakla birlikte kullanılan motorlarda önemli değişikliklere ihtiyaç yoktur. Yüksel ve arkadaşı, etanol-benzin karışımı kullanarak yaptıkları deneyler neticesinde ısı veriminde önemli bir değişiklik olmadığı, özgül yakıt tüketiminde artış olduğu, motor momenti ve motor gücünde azalma olduğu, %80 oranında CO emisyonunda, %50 oranında HC emisyonunda azalma ve motorun çalışma koşullarına göre %20 oranında CO₂ emisyonunda artış olduğunu belirlemişlerdir [13]. Cohn ve arkadaşları, sıvı etanolün direkt püskürtülmesi ve ikincil yakıt olarak benzin ile eş zamanlı püskürtülmesinin avantaj sağladığını belirtmişlerdir [14-15]. Benzer şekilde Ford, ikincil yakıt metodunu kullanarak daha yüksek basınçlarda püskürtme yaptıklarını ve olumlu sonuçlar aldıklarını ifade etmişlerdir [16]. Çelik, benzinli bir motor için yüksek sıkıştırma oranında uygun etanol-benzin karışımı oranının deneysel olarak belirlenmesi üzerine yaptığı çalışmada, etanolün yüksek oktan sayısına ve düşük emisyon değerleri verdiğini ifade etmiştir [17]. Al-Hasan, çeşitli oranlardaki kurşunsuz benzin-etanol karışımları kullanarak yaptığı araştırmada bütün motor devirlerinde ölçülen bütün parametreler için en iyi sonuçlar hacimsel olarak %20 etanol yakıt karışımında elde etmiştir [18]. Bayraktar, benzin-etanol karışımı kullanılan motorda %7,5 etanol karışımı motor performansı ve egzoz emisyonları bakımından en uygun olduğunu ifade etmiştir [19]. Koç ve arkadaşları, yaptıkları testlerin sonuçlarına göre kurşunsuz benzine eklenen etanolün motor torkunu, gücü ve yakıt tüketimini arttırırken, karbon monoksit (CO), azot oksit (NO_x) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarını azalttığını göstermişlerdir [20]. Abdel-Rahman ve arkadaşı, hacimce %10, 20, 30 ve 40 etanol içeren etanol-benzin karışımlarının farklı sıkıştırma oranlarında motor performansına etkilerini üzerine yaptıkları testlerin sonuçlarına göre, benzine etanol ilavesinin oktan sayısını artırdığını, etanolün buharlaşma ısısının benzine göre daha yüksek olmasından dolayı etanol ilavesinin, karışımın ısı değerini azalttığından dolayı performansı olumsuz yönde etkilediğini ifade etmişlerdir [21]. Huang ve Hong, ısıtılmış etanolün silindir içerisine enjektörle püskürtülerek motor emisyon değerlerini deneysel olarak incelemişlerdir. CO ve HC emisyonlarını önemli derecede azalttığını ve NO emisyonunu az miktarda artırdığını belirlemişlerdir. Sonuçta etanolün ısıtılmasının olumlu etkisi olduğunu göstermişlerdir [22].

Günümüzde yeni ihtiyaçlara cevap verebilecek motorları üretmek veya alternatif yakıtların hâlihazır motorlarda kullanılabilirliğinin değerlendirilebilmesi için deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda zaman ve masraf açısından kayıplar olmakla beraber birçok ölçüm parametresine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısı ile kayıpları azaltmak ve çeşitli ölçüm parametrelerini elde etmek amacıyla yanma analiz programları ile bu sıkıntı giderilmeye çalışılmaktadır. Çalışmada, çeşitli oranlarda buhar etanolün motora gönderilmesi sonucu motordan ve yanma analiz programı (FEBRİS) kullanılarak elde edilen verilerin birlikte işlenmesi yoluyla biyoetanolin kullanımı araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Yapılmış olan çalışma ile benzinli motorların temel çalışma prensipleri göz ardı edilmeden, motorun sıkıştırma oranı değiştirilmeden yakıt sisteminde birtakım değişiklikler yapılarak benzin/hava ve benzin-buhar etanol/hava karışımlarının homojen olarak doldurulmasının sonucunda motorun performans, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri üzerindeki değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı miktarlardaki etanolün bir buharlaştırıcıdan geçirilerek buharlaştırılması ve emme manifoldundan karışım halinde silindire ulaşan benzin ve buhar etanolün hava ile karışımının daha iyi olması sağlanarak silindirde özellikle etanolün buharlaşması aşamasındaki enerji kaybının önüne geçilmesi planlanmıştır. Bilindiği üzere, biyoetanol farklı yöntemlerle motorlarda kullanılabilen alternatif yakıtlardan biridir. Benzinli bir motorda biyoetanolün gaz halinde ikincil yakıt olarak kullanılması sonucu motorun performansı, yakıt tüketimi, emisyon değişimlerinin yanı sıra yanma analiz programı yardımı ile silindir içi maksimum basınçları ve ısı salınım miktarları araştırılmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda motora ilave yapılan sistemler ile deney düzeneğinin elemanları montajlanarak şematik görünümü Şekil 1’de gösterilen hale getirilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Bu çalışmada bazı özellikleri Tablo 1’de verilen değişik oranlardaki benzinin ve ısıtılarak buharlaştırılan etanolün farklı yollardan teknik özellikleri Tablo 2’de verilen buji ateşlemeli benzinli bir motora gönderilmesi sayesinde emme manifoldunda karışım oluşturulmuş ve karışımın silindire alınması sağlanmıştır.

Tablo 1. Benzin ve etanolün kimyasal özellikleri [6-7]

	Benzin	Etanol
Kimyasal formülü	$C_7H_{16}-C_8H_{18}$	C_2H_5OH
Yoğunluk (gr/cm^3) (20 °C)	0.72-0.76	0.789
Alt ısıl değer (kJ/kg)	44300	26900
Parlama noktası (°C)	-45 - -13	12-20
Kaynama noktası (°C)	27-225	78
Donma noktası (°C)	-40	-114
Buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg)	349	900-920
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	228-470	363
Araştırma oktan sayısı (ROS)	91-100	108.6-110
Motor oktan sayısı	82-92	92
Hava / Yakıt oranı (kg/kg)	14.2-15.1/1	8.97/1
C/H oranı	0.55-0.7	0.33

Motorun yüklenmesi işlemi, Baturalp Taylan marka elektrikli (aktif) dinamometre ile gerçekleştirilmiştir. Yakıtın silindir içerisine gaz haliyle gönderilmesi sayesinde buharlaşma ısısının sebep olduğu olumsuz etkiler ortadan kaldırılmaya çalışılarak hacimsel olarak farklı oranlardaki etanol deneyde kullanılan motorda 1000-2250 dak⁻¹ devir aralıklarında tam yükte (tam gazda) çalıştırılarak motorun performans değerleri, yakıt tüketimi ve emisyon değişimleri ve yanma karakteristikleri incelenmiştir. Silindir içi maksimum basınç değişimlerinin ölçümü, krank açısı değişimlerinin belirlendiği enkoder (krank açısı sensörü) aracılığı ve silindir kapağına yerleştirilen optik basınç sensörü yardımıyla tespit edilmiştir. Farklı çalışma şartları altında silindir içi maksimum basınçları ve ısı salınım miktarları Febris yanma analiz programı yardımı ile hesaplanmıştır. Deney esnasında ölçülen motor teknik verileri Febris sensör arayüzü aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarımı sağlanmıştır.

Yapılan çalışmada, yakıt sisteminde yapılan düzenlemelerle yakıt olarak benzin ve buhar halindeki etanol aynı anda ayrı ayrı sistemlerden motor içerisine gönderilmiştir. Bu aşamada motor devir sayısı, yakıt tüketimi, motor torku gibi motor çalışma parametreleri ve motor emisyon değerlerinin ölçümleri ve eş zamanlı olarak kaydedilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, enkoder ve basınç sensörü kullanılmasının yanı sıra deney motorunun motor silindir çapı, strok boyu, silindir sayısı, sıkıştırma oranı ve biyel kolu uzunluğu gibi teknik veriler yazılım programına girilmiş [23-24] ve kompleks yanma analizlerini yapabilen Febris yanma analiz yazılımı ile deneysel veriler elde edilmiştir.

Tablo 2. Deney motorunun teknik özellikleri

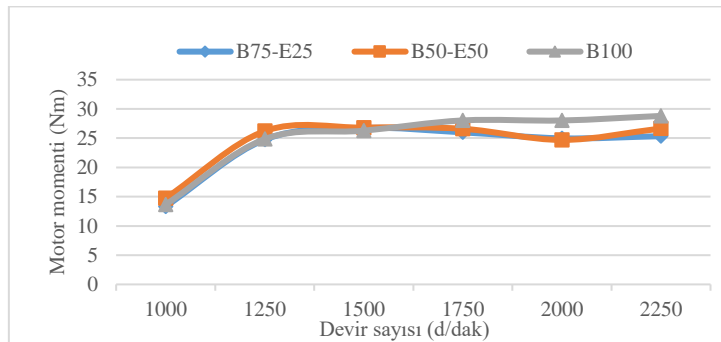
Motor modeli	Loncin G420 F
Motor soğutması	Hava soğutmalı
Silindir sayısı	1
Motor Hacmi	420 cc
Maksimum Güç	3600 dev/dak, 8.5 kW
Sıkıştırma oranı	8.3:1
Çevrim sayısı	4 zamanlı
Çalışma şekli	Buji ateşlemeli

Deneylerde test yakıtı olarak kullanılan biyoetanol, Elâzığ Şeker Fabrikasından temin edilen şeker pancarı melasının Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Laboratuvarlarında işlenmesi yoluyla üretimi gerçekleştirilmiştir. Egzoz emisyon değerlerinin ölçümü BOSCH marka BEA 350 tipi egzoz gaz analiz cihazı yardımı ile yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda motor, testlerden önce yaklaşık 15 dakika yüksüz olarak çalıştırılarak çalışma sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Tüm deneyler için ortam sıcaklığının sabit değerde olduğu yaklaşık 22°C'de gerçekleştirilmiştir.

3. Deneysel Bulgular

3.1. Motor Momenti

Şekil 2'de farklı yakıt tiplerinde ve oranlarında çalışma durumunda gaz keleşği tam açıkken motorun tam yükteki moment değişimi görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi her iki yakıt türü için devir sayısının yükselmesi ile motor momentinin artması birim zamandaki çevrim sayısının artmasının sonucudur.



Şekil 2. Motor momentleri

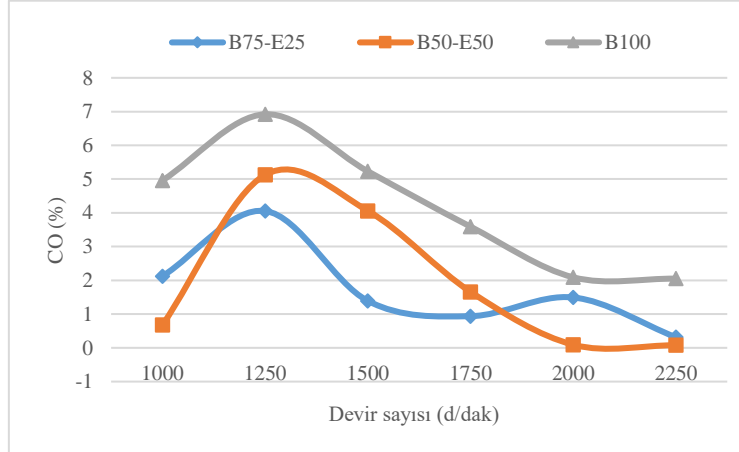
İçten yanmalı motorlarda motor momentini belirleyen temel değişken parametrenin ortalama efektif basınç (Pme) olduğu bilinmektedir [21, 25]. Motorlarda Pme'nin maksimum olduğu devirlerde motor momentini de maksimumdur. Çalışma verilerine bakıldığında da düşük motor devirlerinde tüm çalışma durumlarında motor momentini de düşüktür. Devir artışı ile birlikte motor momentlerinin arttığı görülmektedir. Saf benzinle (B100) çalıştırılan motorda, motor momentini sürekli artış durumunda iken benzin-etanol karışım yakıtı kullanılan durumda ise moment artışı gözlemlenirken %25 (B75-E25) oranında etanol kullanılan motor için 1500 dak⁻¹ üzerindeki devirlerde bir miktar düşüş meydana gelmiştir. Karışım yakıt oranı %50 (B50-E50) olan motor çalıştırma koşullarında aynı devir üzerindeki devirlerde motor momentini sabit değer göstermektedir. Bu durumlar karışım yakıtlarda etanol miktarının artması ile alt ısıl değeri düşük olan yakıt miktarının artması olarak yorumlanabilir.

Alt ısıl değerinin düşmesi ile yanma sonucu motora giren enerji miktarının azalması ile Pme'nin azalmasına sebep olur. Sonuç olarak motor momentinin azalması beklenen bir sonuçtur. Karışım yakıtlar içerisinde etanol miktarının artması bu durum itibari ile bir avantaj olarak görülmektedir.

3.2. CO Emisyonları

CO, eksik yanmayı gösteren zararlı bir emisyon türüdür. Temel oluşum nedeni, silindir içerisindeki O₂ yetersizliği şeklinde açıklanabilir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde alkollü yakıtların bulunduğu çalışmalarda referans yakıtımıza göre önemli düşüşler elde edilmiştir. Bu azalmada, yakıt içerisindeki O₂ varlığı ve alkol yakıtlarının stokiyometrik oranlarının etkili olduğu söylenebilir.

Şekil 3'de görüldüğü gibi karışım yakıtlarla saf benzin kıyaslandığında karışım yakıtlardaki CO emisyon oranlarında önemli oranlarda azalmalar olduğu ve bu azalmanın yüksek devirlerde de devam ettiği görülmektedir. Bu durum etanolün molekül yapısında var olan oksijen miktarının yüksek olması ve beraberinde yüksek oktan sayısı ve içeriğinde kükürt bileşiklerinin olmamasından kaynaklandığını söyleyebiliriz. Etanol oranı yüksek olan karışım yakıt için yüksek devirlerdeki CO miktarı düşüşü daha yüksek olduğu görülmektedir [10, 13, 20, 22]. Motor devrinin artması sonucu her çevrimde silindire alınan etanol miktarındaki artışın bu duruma imkân verdiğini söylemek mümkündür.

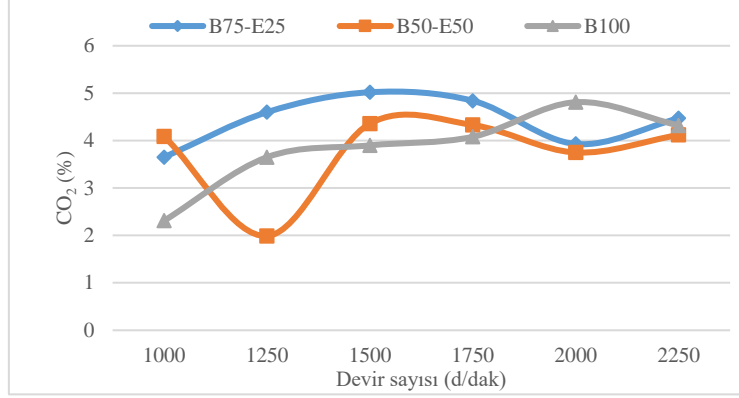


Şekil 3. CO emisyon oranları

3.3. CO₂ Emisyonları

CO₂ emisyonu, motorlardaki yanma kalitesi hakkında bilgi veren önemli bir emisyon türüdür. Tam yanma ürünleri içerisinde bulunan CO₂ emisyonu, yakıtın C/H oranı, O₂ konsantrasyonu gibi yakıt özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Bilindiği üzere etanolün C/H oranı benzine kıyasla düşüktür. Aynı zamanda referans benzin yakıtına kıyasla CO emisyonundaki azalmalar ile CO₂ emisyonlarındaki artışlar birbirine bağımlı gelişmektedir. CO₂ emisyonlarının ortamdaki O₂ konsantrasyonu ile beraber arttığı deney sonuçlarında elde edilmiştir [10, 13]. Şekil 4'de de görüldüğü üzere CO₂ oranı karışım yakıtlarda benzine oranla yüksek olduğu görülmektedir. Motorun çalıştırılma koşulu tam yük ve tam gaz keleşliği açıklığında gerçekleştirildiği için yani tüm motor çalıştırma koşullarında gaz keleşliği açıklığı değiştirilmediğinden silindir içerisine alınan karışım miktarı

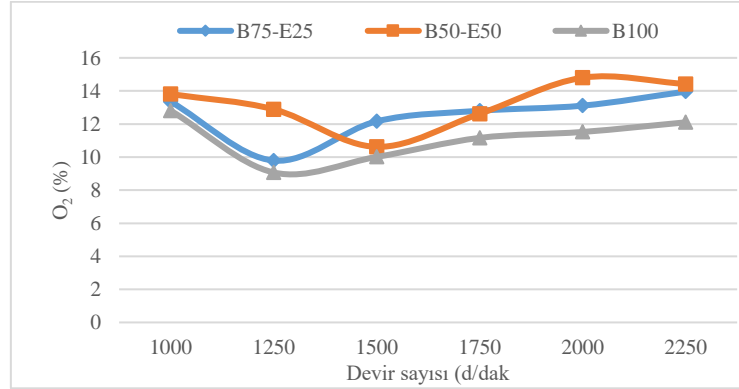
benzinden daha fazladır. Yaklaşık olarak iki katı civarına denk gelmektedir. Bu sebeple karışım yakıtlarda kullanılan etanol miktarı da benzindeki karbon oranına yaklaşmaktadır. Dolayısı ile karışım yakıt kullanımındaki CO₂ oranı da yüksek çıkmaktadır. Artan motor devirleri ile birlikte silindire alınan karışım yakıt miktarındaki artış neticesinde CO₂'deki artış da devam etmiştir. Ayrıca CO₂ emisyonu tam yanmanın bir göstergesi olarak karışımıza çıkmaktadır. Bu nedenle emisyondaki artış, silindire alınan karışımların tam yanma olayına yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. CO₂ emisyonları

3.4. O₂ Emisyonları

Egzoz emisyonları içerisindeki O₂ varlığı yanmanın hangi şartlarda gerçekleştiği hakkında bilgi veren önemli bir parametredir. Yüksek devirlerde yanma için ayrılan sürenin azalması yeterli miktarda oksijenin reaksiyona girememesine neden olmuştur. Orta devirler için ise oksijen miktarındaki azalma yanma için yeterli oksijenin reaksiyona girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzine kıyasla karışım yakıtlardan elde edilen O₂ emisyon değerleri Şekil 5'de görüldüğü gibi daha yüksek çıkmıştır [5, 11]. Bu durumu karışım yakıtların kimyasal yapılarında yer alan oksijen miktarının fazlalığı sonucu yanma ürünlerinde de emisyon değerlerindeki O₂ miktarının fazlalığı ile açıklamak mümkündür.

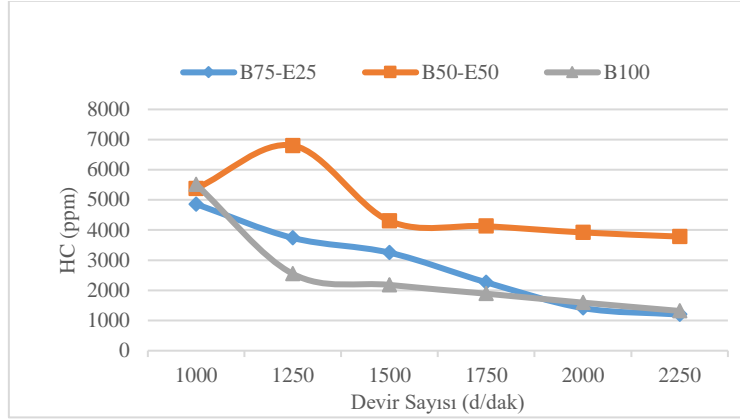


Şekil 5. O₂ emisyonları

3.5. HC Emisyonları

HC emisyonu, tam yanmayan ürünlerin dışarı atılması sonucu eksik yanmadan kaynaklanmaktadır. Bu durum iyi hazırlanmış bir karışımın yüksek yanma verimleri ve yanmayı olumsuz etkileyecek yapısal ve işletme faktörlerinin iyileştirilmesi ile azaltılabilmektedir. Silindir cidarlarına yakın soğuk bölgelerde alev sönmelerine yol açması neticesinde HC emisyon değerleri daha yüksek çıktığı bilinen bir durumdur. Şekil 6'da görüldüğü üzere motor devirlerinin yükselmesi ile HC emisyonlarının her üç yakıt tipi için azaldığı ancak karışım yakıtlar benzine göre yüksek çıkmıştır [10]. Ayrıca karışım yakıttaki etanol oranı atıkça bu artış daha yüksek değerlere

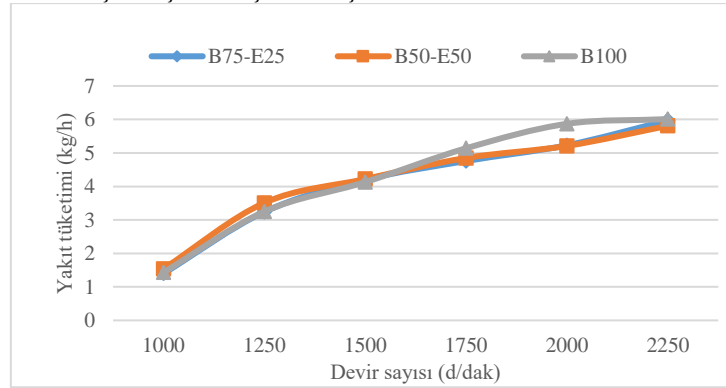
ulaştığı görülmektedir. Etanolün motora buharlaştırılarak gönderilmesinden ötürü emme manifolduna da etanolün buharlaştırılması için ekstra ısı çekilmemesi ve buhar halde emme manifolduna alınan etanolün hava ile karışım oluşum hızının artması yüksek devirlerde kısalan emme sürelerinde avantaj sağlamıştır. Bu avantaj grafikte görüldüğü üzere benzin ile %25'lik karışım oranına sahip yakıt karşılaştırıldığında açığa çıkan HC değerlerinin çok yakın olduğu ifade edilebilir. Elde edilen deneysel veriler ve motor üreticisinin belirttiği %10 etanol benzin sıvı karışımları çalışma sınırlarının %20-25 karışım oranlarına çıkarılmasını mümkün olduğunu göstermektedir. Etanol oranının artması, HC emisyon değerlerinin daha da yüksek çıkması ise etanolün yanma hızının düşük olmasına bağlanmaktadır. Dolayısı ile düşük oranda etanol karışım yakıt kullanmak daha avantajlı görülmektedir.



Şekil 6. HC emisyon oranları

3.6. Yakıt Tüketimleri

Motor testlerinde her bir test yakıt tipi için aynı devirlerde ve kelebek pozisyonunda birim zamandaki tüketim miktarları ölçülmüştür. Şekil 7'deki grafikte de görüldüğü üzere devir sayısının artması ile birim zamandaki çevrim sayısı arttığından motora giren yakıt miktarlarının artması olağandır. Ancak grafiğe bakıldığında yakıt içerisindeki etanol miktarının artması ile tüketilen yakıtın kütsel değerinin arttığı görülmektedir [5, 13, 20]. Bu durum etanolün alt ısıl değerinin azalması ve stokiometrik karışım oranının benzinden daha düşük olması ile açıklanabilir. Her üç yakıt türünde yapılan çalışmalarda Hava Fazlalık Katsayısı (λ) değeri 1 olacak şekilde karışım teşkili oluşturulmuştur.

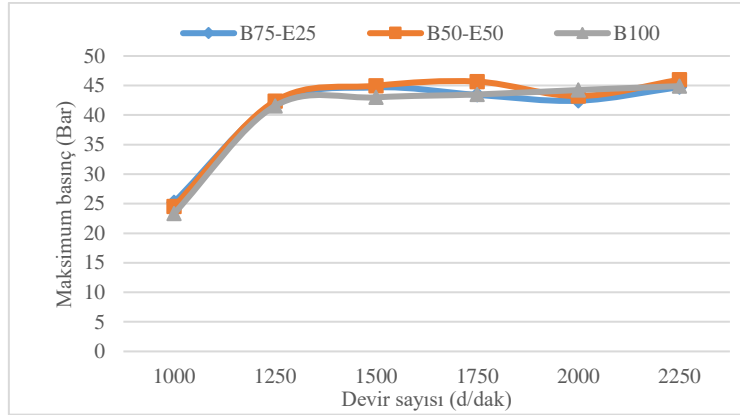


Şekil 7. Yakıt tüketimleri

3.7. Silindir İçi Maksimum Basınçlar

Yanma sonu silindir içi basınç ve krank mili açısına bağlı hacim değişimleri ile motorların performans ve iş çevrim parametreleri hakkında önemli bilgiler üretebilmektedir. Silindir içi basınç değişimleri deneysel ve teorik olarak farklı şekillerde elde edilebilmektedir. Deneysel olarak yapılan çalışmada, FEBRİS yanma analizörü

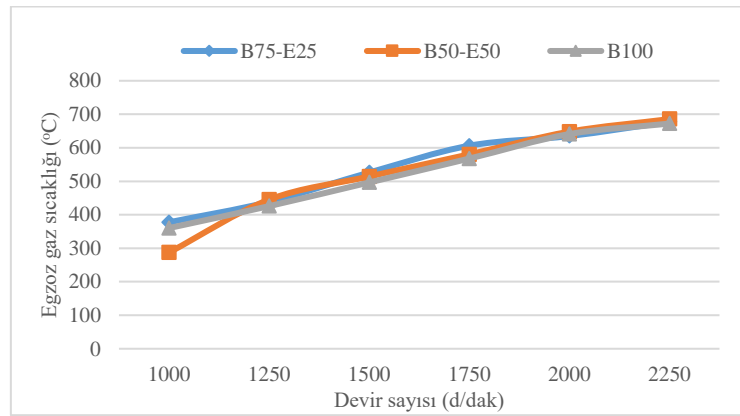
kullanılarak silindir kapağına yerleştirilen optik basınç sensörü ve krank mili üzerine yerleştirilen enkoder ile gerçek test şartlarında ölçülen basınç-krank mili açısı (KMA) değerleri FEBRİS ara yüzü aracılığı ile Şekil 8'deki grafik elde edilmiştir. Grafiğe baktığımızda aynı kelebek açıklığında her üç yakıt tipi için maksimum basınç değerlerinin devire bağlı arttığı 1500 dak⁻¹ değerinden sonra ise maksimum basınç değerindeki artış daha düşük kaldığı görülmektedir. Yüksek devirlerde devir artışının bir takım mekanik kayıpların ve hidrodinamik kayıpların artmasına sebep olduğu bilindiğinden, iş çevrim parametrelerindeki olumsuz değişimler ile yüksek devirlerdeki basınç artış hızındaki yavaşlama ile izah edilebilir. Her üç yakıt tipi için maksimum basınç değişimlerin yakın olduğu görülmektedir, bu durum ise yakıt tiplerine göre kalorifik değerlerin değişimi söz konusu olsa dahi ve yakıtların alt ısıl değerleri farklı olmasına rağmen etanolün stokiyometrik karışım oranları ve hava fazlalık katsayısının (HFK) toplamda 1- 1.05 aralığında olduğu dikkate alındığında silindir içerisine alınan kilogram başına karışımların kalorifik değerlerinin birbirine yakın olması şeklinde izah edilmektedir [25].



Şekil 8. Silindir içi maksimum basınçlar

3.8. Egzoz Gaz Sıcaklıkları

Egzoz gazı sıcaklıkları benzin ve karışım yakıtlar için kıyaslandığında, Şekil 9'da görüldüğü gibi karışım yakıtlarda daha yüksek çıkmıştır. Bu durum her ne kadar etanolün buharlaştırılması yoluyla çözülmeye çalışıldıysa da etanolün gizli buharlaşma ısıl değerinin yüksek olması ve düşük yanma hızı sebebi ile yanma olayının piston alt ölü noktaya doğru ilerlemesi halinde bile devam etmesi neticesindeki ısı artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 9. Egzoz gaz sıcaklıkları

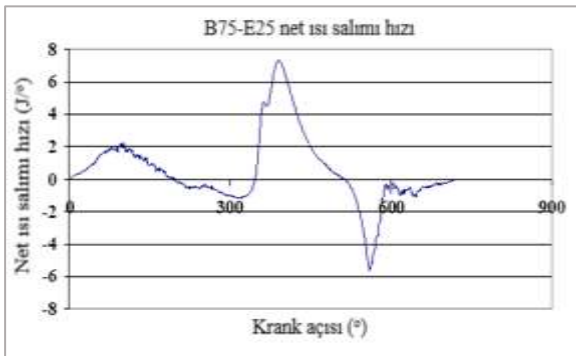
3.9. Net Isı Salımı

Isı salımı oranı, yanmanın incelenmesi açısından oldukça önemlidir. Silindir içerisinde yanma sonucu oluşan ısının krank mili açısına (KMA) bağlı olarak ısı salımı FEBRİS yanma analiz programı yardımı ile incelenmiştir. FEBRİS yanma analiz programında ısı salımı, KMA'na bağlı olarak hacim değişimi, basınç, transfer edilen ısı ve yakıtın özgül ısı oranlarına bağlı olarak incelenmektedir. Net ısı salımı hesabı yapılırken silindir içerisindeki ısı transferi ihmal edilmektedir. Şekil 10'da B100 yakıtının net ısı salımı oranı, Şekil 11'de B75-E25 karışım yakıtının net ısı salımı oranı ve Şekil 12'de B50-E50 karışım yakıtının net ısı salımı oranı gösterilmektedir. 1250 dak⁻¹ için grafikler incelendiğinde, benzin içerisindeki etanol miktarı arttıkça net ısı salımı oranındaki düşüş şeklinde gözlemlenmektedir. Bu durumu benzinle beraber silindire gönderilen etanolün artışı ve etanolün buharlaşma nedeniyle silindir içerisinde ısı çekmesi şeklinde yorumlanabilir. Net ısı salımı ateşleme zamanı öncesi eksi değerleri göstermektedir.



Şekil 10. B100 yakıtının net ısı salımı (FEBRİS)

Bu durumun sebebi silindire alınan yakıt/yakıtların ateşleme zamanı öncesinde buharlaşma süreci esnasında ortamdaki ısı çekmesidir. Bujinin oluşturduğu kıvılcım ile başlayan yanma olayının neticesinde yakıt bir anda yanmaya başlayarak ani yanma gerçekleşerek ısı salımı artı değerlere ulaşmıştır. Devam eden süreçte yanma gerçekleşerek silindir hacminin genişlemesi ve yanmanın sona ermesi ile ısı salımı oranı giderek azalmaktadır. Egzoz supabının açılması ile ortamda ani ısı ve sıcaklık düşüşü olduğundan ısı salımı oranı yine negatif değerlere düşmektedir. Grafikler benzer olmalarına rağmen karışım içerisindeki etanol yüzdesi arttıkça yakıtların buharlaşması için gereken ısı miktarındaki artışın etkisi ile net ısı salımı değerleri de düşüş göstermiştir. Saf benzin ve karışım yakıtlar için 1250 dak⁻¹ görülen net ısı salımı oranları, motor devrinin artması ile birlikte artmış ve bu durum tüm motor devirlerinde benzerlikler göstermiştir. Motor devrindeki artışla silindirde sıcaklık değerlerinin yükselmiş olması ve beraberinde ısı transferi hızının düşmesi bu durumu izah etmektedir.



Şekil 11. B75-E25 karışım yakıtının net ısı salımı (FEBRİS)



Şekil 12. B50-E50 karışım yakıtının net ısı salımı (FEBRİS)

4. Sonuçlar

1. Isıtılmış etanol kullanımı sonucu, etanolün kalorifik değerinin düşük olmasından kaynaklı tüm karışım oranlarında moment değerlerinde bir miktar düşüş gözlenmiştir.
2. Karışım yakıtlar içerisinde etanol miktarının artması, etanolün alt ısı değerinin düşük olmasından kaynaklı motorda enerji veriminin azalmasına yol açmıştır. Bu durumla, belirli oranların üzerinde etanol kullanımının avantajlı olmadığı belirlenmiştir.
3. Motor momenti düşüşü önemli derecede olmamasına karşın yakıt tüketimindeki artış iki katına çıkmadığı görülmüştür. Etanolün buharlaştırılması sonucu hava ile daha iyi karışım teşkil etmiş ve yakıt tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir.
4. Etanol miktarının artışı ile yanmaya giren O₂ miktarı artmıştır. Aynı zamanda CO emisyon oranında düşüş tespit edilmiştir.
5. Silindir içerisine yaklaşık olarak benzine kıyasla iki katı etanol alınması, silindire alınan karbon miktarını arttırmıştır. CO₂ emisyonunun yükselmesinde bu durum tespit edilmiştir.
6. Karışım yakıtlarda benzine oranla, artan oranda silindire alınan etanol HC emisyonunu daha yüksek değerlere çıkarmıştır.
7. Karışım yakıtlar ve benzin yakıtı için maksimum basınç değişimleri yakın değerlerde çıkmıştır.
8. Buharlaşma ısı değerinin yüksek olmasından kaynaklı olarak yanma olayının uzaması egzoz sıcaklıklarının karışım yakıtlarda bir miktar daha yüksek kaldığı tespit edilmiştir.
9. Net ısı salımı değerleri ise saf benzine göre karışım yakıt içerisindeki etanol oranının artması ile silindir içerisinden çekilen ısı oranının artması sebebi ile düşüş göstermiştir.

Son Bilgi

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen TEKNO 003 nolu proje çalışmasından üretilmiştir. Bu çalışmanın bir bölümü 8. International Advanced Technologies Symposium (IATS17)'de yayınlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Yılmaz, İ., İlbaş, M., Su, Ş. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, TMMOB, 3-4 Ekim 2003, Kayseri, 401-408.
- [2] Biyoyakıt teknolojisi ve İTÜ araştırmaları Filiz KARAOSMANOĞLU, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul.
- [3] US Ethanol Industry: the next inflection point. BCurtis Energies and Resource Group, 2007 year in review; 2008
- [4] www.kimyaborsasi.com.tr/e/etil-alkol-186.html
- [5] Gibilisco, S. Gasoline Engine Demystified, McGraw-Hill, London, 2007; 120-123.
- [6] Balki, M. K., Sayın, C., Çanakçı, M., Farklı Alkol Yakıtların Buji Ateşlemeli Bir Motorun Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi, 12. Uluslararası Yanma Sempozyumu, (ICS 2012), Mayıs 2012, 228-234
- [7] Thakur, A. K., Kaviti, A. K., Mehra, R., Mer, K.K.S. Progress in performance analysis of ethanol-gasoline blend on SI engine, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017; 69, 324-340.
- [8] Wua, X., Daniel, R., Tianb, G., Xub, H., Huang, Z., Richardson, D. Dual-injection: The Flexible, Bi-Fuel Concept for Spark-Ignition Engines Fuelled with Various Gasoline and Biofuel Blends, Applied Energy, 2011; 88, 2305-2314.
- [9] Lee, S., Speight, J.G., Loyalka, S.K. Handbook of Alternative Fuel Technologies, Taylor&Francis Group, London, 2007; 297-343.
- [10] Keskin, A., Reşitoğlu, İ.A., Özcanlı, M. Butanol, Etanol ve Benzin Karışıklarının Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Özgül Yakıt Tüketimi ve Emisyona Olan Etkisi, Ç.Ü.Müh. Mim. Fak. Dergisi, 2009; 24, 147-156.
- [11] Turner, D., Xu, H., Cracknell, R.F., Natarajan, V., Chen, X. Combustion Performance of Bio-Ethanol at Various Blend Ratios in a Gasoline Direct Injection Engine, Fuel 2011; 90, 1999-2006.
- [12] Directive 2009/28/EC. Directive 2009/28/EC Official Journal of the European Union. 2009
- [13] Yüksel, F., Yüksel, B. The Use of Ethanol-Gasoline Blend as a Fuel in an SI Engine, Renewable Energy, 2004; 29, 1181-1191.
- [14] Bromberg L, Cohn DR, Heywood JB. Water Based Systems for Direct Injection Knock Prevention in Spark Ignition Engines, United States, 2010.
- [15] Cohn DR, Bromberg L, Heywood JB. Direct Injection Ethanol Boosted Gasoline Engines: Biofuel Leveraging for Cost Effective Reduction of Oil Dependence and CO₂ Emissions, Cambridge, MA 02139: Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [16] Levine M. Ford's , Bobcat, Dual Fuel Engine, 2009.

- [17] Çelik, M.B. Experimental Determination of Suitable Ethanol–Gasoline Blend Rate at High Compression Ratio for Gasoline Engine, *Applied Thermal Engineering* 2008; 28, 396–404.
- [18] Al-Hasan, M. Effect of Ethanol–Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emission, *Energy Conversion and Management*, 2003; 44, 1547–1561.
- [19] Bayraktar, H. Experimental and Theoretical Investigation of Using Gasoline–Ethanol Blends in Spark-Ignition Engines, *Renewable Energy*, 2005; 30, 1733–1747.
- [20] Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., Yücesu, H.S. The Effects of Ethanol–Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark-Ignition Engine, *Renewable Energy*, 2009; 34, 2101–2106.
- [21] Abdel-Rahman, A.A., Osman, M.M. Experimental Investigation on Varying The Compression Ratio of SI Engine Working under Different Ethanol-Gasoline Fuel Blends, *International Journal of Energy Research*, 1997; 21, 31-40.
- [22] Huang, Y., Hong, G. Investigation of the effect of heated ethanol fuel on combustion and emissions of an ethanol direct injection plus gasoline port injection (EDI+ GPI) engine, *Energy Conversion and Management*, 2016; 123, 338-347.
- [23] Woschni, G. A Universally Applicable Equation for the Instantaneous Heat Transfer Coefficient in the Internal Combustion Engine, *SAE Technical Paper 670931*, 1967.
- [24] Heywood, J. *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Macgraw-Hill Book Company, NY, 1988.
- [25] Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C. *İçten yanmalı Motorlar*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2013.