



## TEK SİLİNDİRLİ BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORLARDA BENZİN-PROPANOL-HEKZAN YAKIT KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİSİ

Doğan ŞİMŞEK\*, Faruk ORAL\*\* ve Niyazi Yılmaz ÇOLAK\*\*\*

\*Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü  
13000, Bitlis, dsimsek@beu.edu.

\*\*Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü 13000, Bitlis,  
foral@beu.edu.tr (Sorumlu Yazar)

\*\*\* Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri  
Bölümü 13000, Bitlis, nycolak@beu.edu.tr

(Geliş Tarihi: 08.10.2018, Kabul Tarihi: 26.02.2019)

**Özet:** Bu çalışmada, buji ateşlemeli bir motorda benzin alkol karışımına, hekzan ( $C_6H_{14}$ ) ilavesinin motor performans ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada benzin yakıtı içerisine %20 oranında n-propanol ve izo-propanol alkolü ilave edilmiş ve motor performansı açısından değerlendirilmiştir. İkinci aşamada belirlenen yakıt karışımına % 1-3 oranında hekzan ilave edilmiş ve motor performans ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında elde edilen sonuçlarda, benzin içerisine ilave edilen iso-propanol alkolü ile motor performansında n-propanol alkolüne göre iyileşme olduğu görülmüştür. İkinci aşama sonuçlarında ise iso-propanol ilave edilen yakıt karışımına % 1 oranında hekzan ilave edilmesi ile motor momentinde ve gücünde önemli bir değişikliğin olmadığı, özgül yakıt tüketiminde (ÖYT) iyileşme olduğu görülmüştür. Artan hekzan ilavesi ile motor performansının kötüleştiği belirlenmiştir. Elde edilen emisyon sonuçlarında, %1 hekzan ilave edilmesi ile benzin yakıtına göre HC ve CO emisyonlarında azalmanın olduğu,  $NO_x$  emisyonlarında önemli bir değişikliğin olmadığı,  $CO_2$  emisyonlarında ise artış olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Buji ateşlemeli motor, n-propanol, izo-propanol, Hekzan, Motor performansı, Egzoz emisyonu

## THE EFFECT ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF GASOLINE-PROPANOL-HEXANE FUEL BLENDS ON SINGLE CYLINDER SPARK-IGNITION ENGINES

**Abstract:** In this study, the effect of the addition of small amounts of hexane ( $C_6H_{14}$ ) to the gasoline alcohol mixture in a spark ignition engine is investigated on engine performance and emissions. In the first stage, 20% n-propanol and iso-propanol alcohol are added to the gasoline fuel and evaluated for engine performance. In the second stage, 1-3% of hexane is added to the fuel mixture, and its effect on engine performance and emissions is investigated. In results of the first stage, it is seen that gasoline with iso-propanol added to gasoline improved engine performance compared to n-propanol alcohol. In results of the second stage, there is not any significant change in engine torque and power for adding 1% hexane to the fuel mixture that has iso propanol, but there is a better change in specific fuel consumption (SFC). It is determined that engine performance is worsened with the addition of more hexane. In the emission results, it is observed that the addition of 1% hexane decreased the HC and CO emissions compared to gasoline fuel, increased the  $CO_2$  emissions and did not change  $NO_x$  emissions.

**Keywords:** Spark ignition engine, n-propanol, iso-propanol, Hexane, Engine performance, Exhaust emissions

### SEMBOLLER VE KISALTMALAR

**B100** Benzin  
**P20-n** %80 benzin + %20 n-Propanol  
**P20-izo** %80 benzin + %20 izo-Propanol  
**H1** %99P20-izo+ %1 Hekzan  
**H2** %98P20-izo+ %2 Hekzan  
**H3** %97P20-izo+ %3 Hekzan

**ÖYT** Özgül Yakıt Tüketimi [g/kWh]  
**HC** Hidrokarbon [ppm]  
 **$NO_x$**  Azotoksit [ppm]  
**CO** Karbonmonoksit [%]  
 **$CO_2$**  Karbondioksit [%]  
**Teg** Egzoz gaz sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]

## GİRİŞ

Çevre kirliliği 21. yüzyılın başlıca sorunlarından biridir. Fosil kökenli yakıtların yanması ile açığa çıkan ürünler, çevre kirliliğinin önemli kaynaklarından birisidir. Motorlu kara taşıtlarının çevreye olan olumsuz etkisini azaltmanın ve fosil kökenli yakıt rezervlerinin korunmasının bir yolu sürdürülebilir, biyokütle yakıtların kullanılmasıdır (Thakur vd, 2017; Thangavel vd, 2016). Benzinli motorlar için alkoller iyi bir biyokütle yakıt olarak görülmektedir. Biyokimyasal işlemlerle elde edilen alkoller, oksijen içeriğinin fazla olması, yenilenebilir ve daha temiz yanan alternatif bir yakıt sağlama potansiyeline sahiptirler (Beatrice vd, 1998). Farklı hidrokarbon bileşiklerini yapısında bulunduran benzin temiz yanan bir yakıt değildir. Benzinden daha düşük molekül ağırlığına sahip alkoller benzin ile karıştırıldığında, benzinli motor emisyonlarında ciddi iyileşmeler sağlamaktadır (Gravalos vd, 2013). Alkoller benzine göre daha yüksek bir alev hızı ile yanar ve içeriğinde kükürt ve fosfor gibi elementler bulundurmazlar. Bütün bu faktörler alkoller için büyük bir avantajdır (Niven, 2005).

Buji ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak alkollerin kullanılması birçok araştırmacı tarafından yıllardır yaygın olarak araştırılmaktadır (Rice vd, 1991; Yacoub vd, 1998; Bayraktar, 2005; Koç vd, 2009; Yusoff vd, 2018). Bütün bu çalışmalarda, benzin içerisine belirli oranlarda alkol ilavesinin avantajlarının yanı sıra dezavantajlarının da olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle, bu alkollerin kullanılması için (özellikle saf halde) motorda bazı değişikliklerin yapılması gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar arasında en yaygın olarak tercih edilen yapısal değişim, motor sıkıştırma oranının değiştirilmesi olarak görülmektedir (Abdel-Rahman ve Osman 1997; Çelik vd, 2011; Yücesu vd, 2006; Taylor vd, 1996). Bazı araştırmacılar alkollerin yüksek buharlaşma ısısına sahip olması, alt ısı değerinin düşük olması gibi fiziksel özelliklerinin, özellikle HC (Hidrokarbon) emisyonları üzerine olumsuz etkisinin olduğunu belirtmişlerdir (Çelik ve Çolak 2008; Arapatsakos vd, 2004). Keskin ve Gürü (2011), dört zamanlı buji ateşlemeli bir motorda belirli oranlarda benzin-etanol ve benzin-propanol yakıt karışımlarının egzoz ve gürültü emisyonları üzerine etkisini araştırdıkları bir çalışmada, izo-propanol ilave edilen yakıtların kullanılması ile HC ve CO emisyonlarının arttığını, NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaldığını belirtmişlerdir. Ancak bu görüşün tersi yönünde görüş belirten çalışmalarda bulunmaktadır (Masum vd, 2015). Altun vd. (2010), tarafından yapılan çalışmada, buji ateşlemeli bir motorda benzin-izo-propanol yakıt karışımlarının kullanılmasının egzoz emisyonları üzerine etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda, Karbonmonoksit (CO) ve Hidrokarbon (HC) emisyonları azalırken, karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca Mourad ve Mahmoud (2018), tarafından yapılan çalışmada, benzin-propanol yakıt karışımları

kullanılarak buji ateşlemeli bir motorun performansını değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda, yakıt ekonomisinin yaklaşık %2.84 oranında arttığını, egzoz emisyonlarında iyileşmenin olduğunu, özellikle HC ve CO emisyonlarında sırası ile %14.18 ve %10.87 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Hekzan, düz zincir yapılı, atomlar arası bağları zayıf, düşük buharlaşma ısısı, otomatik ateşleme sıcaklığı düşük, alkali grubuna ait doymuş bir hidrokarbondur (Acaroğlu vd, 2010).

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, buji ateşlemeli bir motorda n-propanol ve iso-propanol alkolü ile hekzan gibi düşük tutuşma sıcaklıklarına sahip hidrokarbon ilavesi üzerine yeterli bir çalışma görülmektedir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada, benzinli motorlarda herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan kullanılan benzin/propanol alkol karışımlarına az miktarlarda hekzan (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>) ilavesinin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

## DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, buji ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılmak üzere hacimsel olarak %20 oranlarında n-propanol ve izo-propanol alkollerini kullanarak motor performansına olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, belirlenen ideal yakıt karışımı ile %1-3 hekzan karışımları hazırlanarak elde edilen yakıtların motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Deneylerde kullanılan benzin ticari olarak, n-Propanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH) 99% saflıkta, izo-Propanol (CH<sub>3</sub>CHOHCH<sub>3</sub>) 99.5% saflıkta ve hekzan (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>) 95% saflıkta Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan yakıtların Tablo 1'de gösterilen fiziksel özellikleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Kullanılan test yakıtlarının fiziksel özellikleri (İnternet 1, 2018; İnternet 2, 2018; Chen vd, 2010; Prosen ve Rossini 1945).

Yakıt özellikleri	Benzin	n-Propanol	izo-Propanol	Hekzan
Formül	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> OH	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
Molekül (kg/kmol)	114,18	60,1	60,10	86,18
Alt ısı değeri (MJ/kg)		44	29,81	32.94
				48,34
Stok. H/Y oranı	14,60	10,28	10,28	---
Otom. Ateş. Sic. (°C)		257	380	380
				240
B. Isı (kJ/kg)	225	585	761	210
Araştırma Oktan Sayısı		95	112	112.5
				----
Motor Oktan Sayısı	85	----	----	---
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	720-775	804	785	659

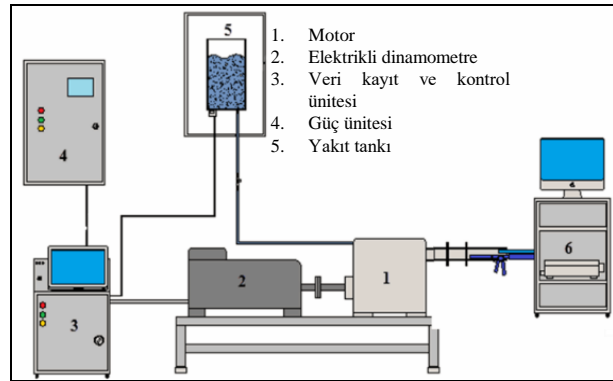
Deneyler, Bitlis Eren Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu otomotiv laboratuvarında yapılmıştır. Deneylerde, tek silindirli, buji ateşlemeli, hava soğutmalı, yağlı hava filtreli Atimax marka bir araştırma motoru kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan

motorun teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Deneysel çalışmaya başlanmadan önce motor yağı değiştirilmiş, hava filtresi yağı iptal edilmiştir. Deneyler, motor çalışma sıcaklığına ulaştığında başlanmış, deneyler 2 kez tekrarlanmış, sonuçların ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlardaki belirsizlik analizi sonucu hata aralığı bazı grafiklerde belirtilmiş, grafikte belirgin olmayan hata aralığı ise bazı grafiklerden kaldırılmıştır. Deneysel çalışmada motor, tam gazda ve 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 d/d hızlarında çalıştırılmıştır.

**Tablo 2.** Test motorunun özellikleri

Motor	
Marka	Atimax AG 210 E
Motor tipi	Dört zamanlı, tek silindirli
Motor Hacmi (cm <sup>3</sup> )	196
Sıkıştırma oranı	8,5/1
Maksimum hız (rpm)	4200
Ateşleme sistemi	Transistörlü bobin
Yakıt sistemi	Karbüratör
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı

Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1’de verilmiştir. Deneylerde motorun yüklenmesi için 26 kW gücünde, 80 Nm tork ve maksimum 5000 d/d hızında elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Test sisteminde yakıt tüketimi, motor momentini ve motor gücü verileri anlık olarak, kullanılan arayüz programı ile dijital olarak kaydedilmiştir.



**Şekil 1.** Deney düzeneği şematik görünümü

Deney motorunun egzoz emisyonlarının ölçümü için Mobidyic-5000 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Yakıt karışımlarının Emisyon değerleri belirlenen motor devirlerinde ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kullanılan emisyon cihazı teknik özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Egzoz gazı cihazı özellikleri

MOBYDIC 5000 GAZ ANALİZ CİHAZI	
CO % Hacim	0 – 10
CO <sub>2</sub> % Hacim	0 – 20
HC ppm Hacim	0 – 20000
O <sub>2</sub> % Hacim	0 – 21
NO <sub>x</sub> ppm	0 – 5000
Lambda	0 – 5

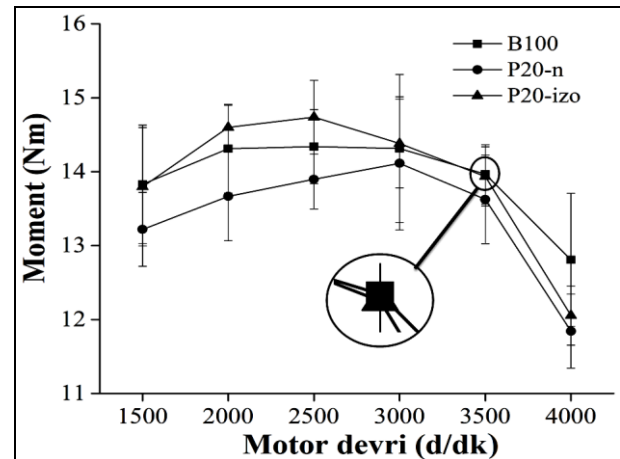
Deneysel çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada buji ateşlemeli motorda benzin yakıtına hacimsel olarak %20 oranında n-ropanol ve izo-Propanol alkolü ilave edilmiştir. Elde edilen P20-n (80% Benzin + 20% n-Propanol) ve P20-izo (80% Benzin + 20% izo-Propanol) yakıt karışımları ile B100 (100% Benzin) yakıtının, motor momentini, motor gücü ve özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) motor devrine göre değişimi incelenmiştir. Deneylerde elde edilen performans değerleri karşılaştırılarak sonraki aşamada araştırılmak üzere kullanılacak yakıt belirlenmiştir. Yapılan çalışmanın ikinci aşamasında seçilen yakıt karışımına 3 farklı oranda (1%, 2% ve 3%) Hekzan (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>) ilave edilmiştir. Yeni yakıt karışımları, H1 (%99 P20-izo + %1 Hekzan), H2 (%98 P20-izo + 2% Hekzan), H3 (%97 P20-izo + 3% Hekzan), hazırlanmış ve aynı şartlarda deneyler tekrarlanmıştır. Elde edilen performans ve emisyon sonuçları grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Deneyler esnasında hekzan yakıt ilavesinin artması ile deney motorunda kendine özgü bir ses ve düzensiz çalışma olduğu saptanmış ve maksimum %3’e kadar hekzan ilave edilmiştir. Kullanılan ara yüz program ile anlık kayıta motor devir değişimleri her yakıt türü için maksimum motor gücünün sağlandığı motor devrinde, 30 veri arasında en yüksek ve en düşük devir sayıları alınmış ve standart sapması belirlenmiştir. Elde edilen standart sapma değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

**Tablo 4.** Motor devirlerinde standart sapma değişimleri

	B100	P20-izo	H1	H2	H3
En yüksek motor hızı	3560	3561	3570	3627	3582
En düşük motor hızı	3459	3462	3457	3464	3372
Standart sapma	71,41	70,00	79,90	115,25	148,49

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

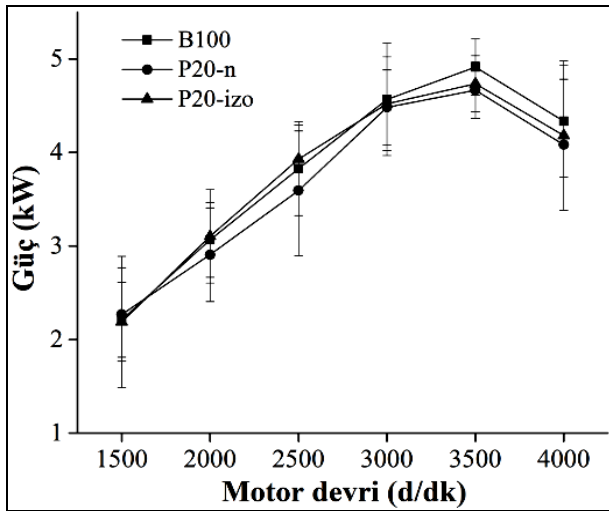
Belirli oranda farklı alkol türevi ilave edilen yakıtların motor momentine etkisi Şekil 2’de verilmiştir.



**Şekil 2.** Belirli oranda farklı alkol türevi ilave edilen yakıtların motor momentine etkisi

Şekil 2’de verilen moment grafiği incelendiğinde, 3000 d/dk motor devrinden sonra bütün yakıt türlerinde motor momentinde belirgin bir azalmanın olduğu

görülmektedir. B100 yakıtı kullanılması ile maksimum moment değeri 2500 d/dk motor devrinde 14,339 Nm, P20-n yakıtı kullanılması ile 3000 d/dk motor devrinde, 14,11 Nm ve P20-izo yakıtı kullanılması ile 2500 d/dk motor hızında 14,73 Nm olduğu görülmektedir. Maksimum motor momentinin P20-izo yakıtı kullanılması ile 2500 d/dk motor devrinde olduğu görülmektedir. Ancak artan motor devri ile aynı yakıtla benzin yakıtına göre motor momentinde ciddi bir azalmanın olduğu görülmektedir. Bu durum yanma hızı ile ilişkilendirilebilir. Çünkü genel olarak daha yavaş yanan bir yakıtta kullanılabilir enerjinin elde edilmesi daha verimlidir (Li vd, 2016. Bununla birlikte Veloo ve Egolfopoulos, (2011), yaptıkları bir çalışmada izo-propanol/hava ve n-propanol/hava yanması esnasında alev hızlarını incelemiş ve izo-propanol/hava alevlerinin n-propanol/hava alevlerinden sürekli olarak 3,5-5 cm/s daha düşük olduğunu ve bu iki yakıt için adyabatik alev sıcaklığında kayda değer bir fark olmadığını belirtmişlerdir. Belirli oranda farklı alkol türevi ilave edilen yakıtların motor gücü'ne etkisi Şekil 3'de verilmiştir.

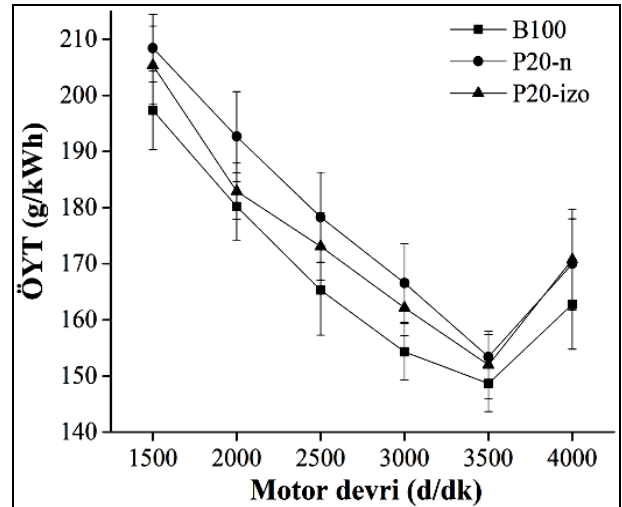


Şekil 3. Belirli oranda farklı alkol türevi ilave edilen yakıtların motor gücüne etkisi

Şekil 3'de verilen motor gücü grafiği incelendiğinde, maksimum motor gücü değerlerinin kullanılan bütün yakıtlarda 3500 d/dk motor devrinde elde edildiği görülmektedir. Maksimum motor gücü B100 yakıtı kullanılması ile 4,91 kW, P20-n yakıtı ile 4,66 kW ve P20-izo yakıtı kullanılması ile düşük motor devirlerde (2000-2500 d/dk) benzin yakıtına göre motor gücünün arttığı görülmektedir. Bu durumu Şekil 2'de verilen motor moment grafiği desteklemektedir. Li vd. (2016), tarafından belirtilen yavaş yanan yakıttan kullanılabilir enerji daha verimli elde edilebilir açıklamasına göre, yükün artması ile motor devrindeki azalma (tam gaz konumunda, motordan çekilen yük ile motor devrinin düşmesi) ve bunun sonucunda yanmanın yavaşlaması (yakıtın yanmak için diğer motor devirlerine göre yeterli zamanı bulması) bu durumu açıklamaktadır. Bunun yanı sıra artan motor devirlerinde aynı yakıt ile güçte

azalmanın olduğu görülmektedir. Bu durum artan motor devri ile pistonun anlık hızının artması tam yanma için gerekli olan zamanın kısalmasına neden olmaktadır. Ayrıca yakıt olarak P20-n kullanılması ile motor gücünde azalmanın olduğu bu azalmanın temel nedeni, kullanılan alkollerin alt ısıl değerinin düşük olmasıdır. Mourad ve Mahmoud (2018), tarafından yapılan çalışmada benzin içerisine farklı miktarlarda propanol ilavesi ile motor gücünde bir miktar azalmanın olduğunu bu azalmanın ise silindir içerisine giren yakıtın alt ısıl değerinin düşük olduğundan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Belirli oranda farklı alkol türevi ilave edilen yakıtların ÖYT'ne etkisi Şekil 4'de verilmiştir.

Şekil 4'de verilen ÖYT (Özgül Yakıt Tüketimi) grafiği incelendiğinde motor devrine bağlı olarak ÖYT'nin azaldığı, minimum ÖYT'nin 3500 d/dk motor devrinde B100 yakıtı ile 148,653 g/kWh olduğu görülmektedir. Bununla birlikte P20-n yakıtı ile aynı motor devrinde 153,412 g/kWh ve P20-izo yakıtı ile 151,957 g/kWh olarak elde edilmiştir.

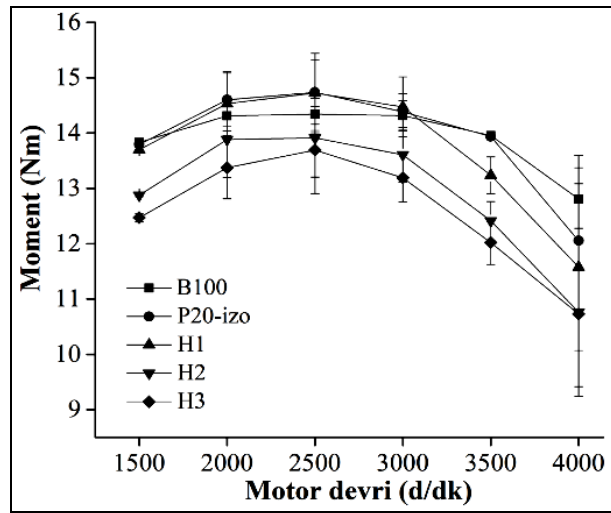


Şekil 4. Belirli oranda farklı alkol türevi ilave edilen yakıtların ÖYT'ne etkisi.

Alt ısıl değeri düşük olan yakıt ile daha fazla enerji elde edebilmek için daha fazla yakıt kullanılması gerekmektedir ve bu durum ÖYT'nin artmasına neden olmaktadır (Bayraktar, 2005). Bunun yanı sıra kullanılan yakıtın yoğunluğu da ÖYT'nin artmasına sebep olan diğer bir parametredir. Çünkü yakıt yoğunluğunun yüksek olması aynı hacimde daha fazla yakıt tüketimi anlamına gelmektedir. Ancak moment ve güç grafiğine göre, 2000-2500 d/dk motor hızında P20-izo yakıtının ÖYT değerinin daha düşük olması beklenmektedir. Çünkü üretilen gücün yüksek olması ile ÖYT değerinin azalması beklenmektedir. Ancak yanma odasındaki yanma davranışının, yakıt karışımının alt ısıl değeri, yanma odası içerisindeki yük (hava-yakıt) karışım derecesi ve homojenliği, karışımın kaynama/buharlaştırma noktaları ve hava/yakıt oranı gibi parametreler etkilidir. Gravalos vd. (2013), bu etkenlerin hepsi yanma sürecini etkileyebilir ve bu etkenlerden birisinin belirli bir zamanda, değişik motor hızlarında dengesiz sonuçlara

yol açar ve yanmayı diğerinden daha fazla etkiler. Bu nedenle, daha yüksek motor gücünün daha düşük ÖYT sağlaması beklenirken, belirtilen bu etkenlerden dolayı ÖYT’de beklenmedik sonuçların olabileceğini belirtilmiştir.

Birinci aşama sonuçlarına göre benzin yakıtı içerisinde izo-Propanol ilave edilmesi ile motor momentinde ve gücünde özellikle düşük devirlerde artma olduğu görülmektedir. ÖYT propanol ilave edilmesiyle arttığı, benzin yakıtına göre kıyaslandığında izo-Propanol ilave edilen yakıtın, n-Propanol ilave edilen yakıt karışımına göre daha düşük olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmanın devamında izo-propanol/benzin (P20-izo) yakıt karışımına küçük miktarlarda hekzan ( $C_6H_{14}$ ) ilave edilmiş, motor performansı ve emisyonları açısından benzin yakıtı ile karşılaştırılmıştır. P20-izo yakıtına farklı miktarlarda ilave edilen hekzanın ( $C_6H_{14}$ ) motor momentine ve gücüne etkisi Şekil 5’de verilmiştir.

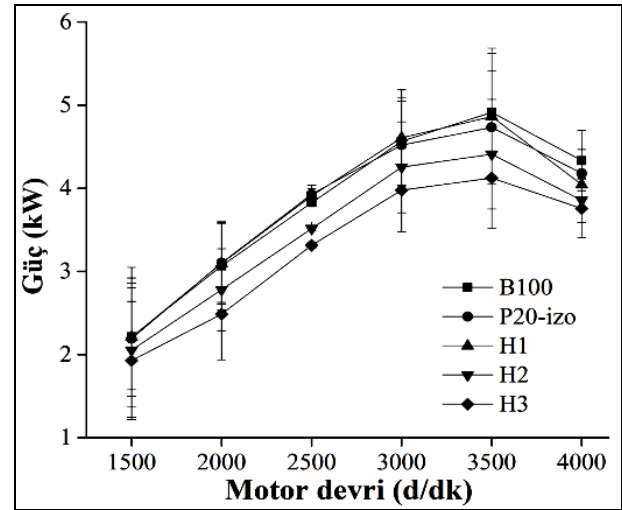


Şekil 5. P20-izo yakıtına farklı miktarlarda ilave edilen hekzan'ın motor momentine etkisi

Şekil 5’de verilen P20-izo yakıtına farklı miktarlarda hekzan ilavesinin motor momentine etkisi incelendiğinde, %1 hekzan ilavesi ile özellikle düşük devirlerde, motor momentinde önemli bir değişikliğin olmadığı, motor devrinin artması ile motor momentinde azalmanın olduğu görülmektedir. Maksimum motor momentini 2500 d/dk motor hızında B100 yakıtı ile 14,33 Nm, P20-izo yakıtı ile 14,73 Nm, H1 yakıtı ile 14,72 Nm, H2 yakıtı ile 13,91 ve H3 yakıtı ile 13,62 Nm olarak elde edilmiştir. H1 yakıtı kullanılması ile maksimum motor momentinde P20-izo yakıtına göre önemli bir değişikliğin olmadığı görülmektedir. Bu durum yakıt içerisine ilave edilen hekzan'ın zincir yapısından kaynaklanmaktadır. Parafinler grubunda yer alan ve doymuş karbon atomlarına sahip olan hekzan'ın düz zincir yapısı ve atom bağ kuvvetlerinin zayıf olmasından dolayı çözümleri kolay, yanma eğilimleri fazladır (Acaroğlu vd, 2010). Bu nedenle artan motor hızlarında, hekzan ilavesinin silindir içerisinde karışımın kendiliğinden tutuşmasına neden olmaktadır. Bu durumu, Tablo 4’de verilen maksimum güç devrindeki

standart sapma değerleri desteklemektedir. Artan motor hızlarında yanma odası sıcaklığının artması hekzan ilave edilen yakıtın düzensiz yanma eğilimini artırması motor momentinde azalmaya neden olduğu söylenebilir. Bunun yanı sıra artan hekzan ilavesi ile bütün motor devirlerinde momentin azaldığı görülmektedir. En düşük motor momentini %3 hekzan ilave edilen (H3) yakıtta olduğu görülmektedir. Yakıt içerisine ilave edilen hekzan miktarının artması ile motorda vuruntu meydana gelmesi motor momentinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum motorun çalışması esnasında kendine özgü bir ses ve düzensiz çalışma şeklinde görülmüştür. Tablo 4’te verilen maksimum motor gücünün elde edildiği motor devrindeki standart sapma değerleri bu durumu desteklemektedir. P20-izo yakıtına farklı miktarlarda ilave edilen hekzan'ın motor gücü'ne etkisi Şekil 6’da verilmiştir.

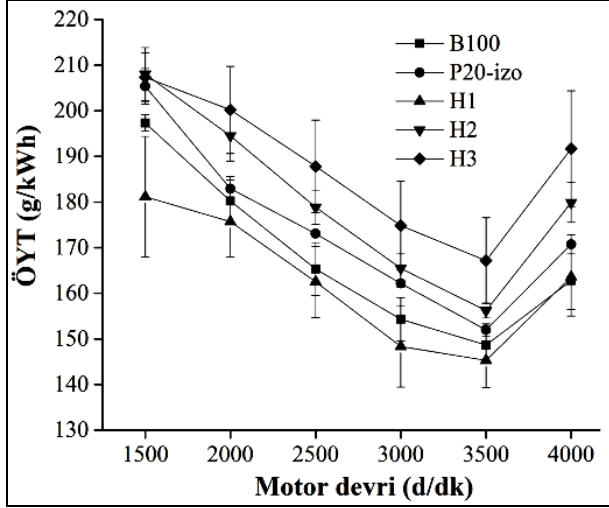
Şekil 6’da verilen farklı miktarlarda hekzan ilave edilen yakıt karışımlarının motor gücüne etkisi incelendiğinde, hekzan ilavesi ile motor gücünde azalmanın olduğu görülmektedir. Maksimum motor gücü 3500 d/dk motor devrinde B100 yakıtı ile 4,91 kW, P20-izo yakıtı ile 4,73 kW, H1 yakıtı ile 4,86 kW, H2 yakıtı ile 4,41 kW ve H3 yakıtı ile 4,12 kW olarak elde edilmiştir.



Şekil 6. P20-izo yakıtına farklı miktarlarda ilave edilen hekzanın motor gücüne etkisi.

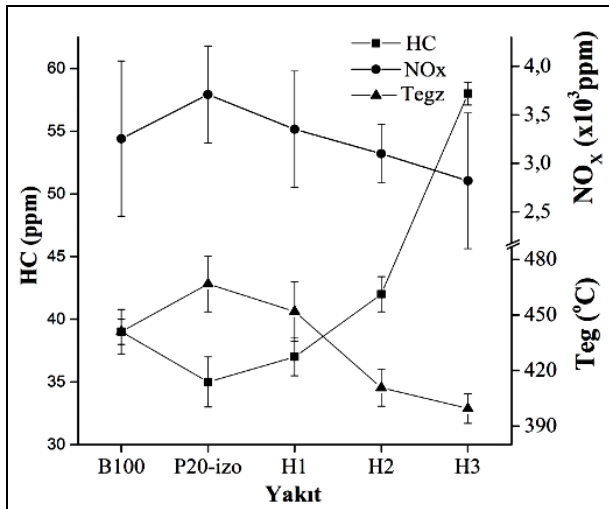
H1 yakıtının maksimum motor gücü P20-izo yakıtından daha yüksek olduğu görülmektedir. Yakıt içine ilave edilen hekzan'ın artması motor gücünde azalmaya neden olmaktadır. Motor gücündeki bu azalma ilave edilen hekzan ile yanmanın düzensizliğinden kaynaklandığı söylenebilir. Düz zincirli parafin grubunun oktan sayısını düşürme etkisinden dolayı motor gücünde azalmaya neden olmaktadır. Çünkü buji ateşlemeli motorlarda oktan sayısını, motor performansını etkileyen önemli bir parametredir (Yücesu vd, 2006). P20-izo yakıtına farklı miktarlarda ilave edilen hekzan'ın ÖYT’ne etkisi Şekil 7’de verilmiştir.





Şekil 7. P20-izo yakıtına farklı miktarlarda ilave edilen hekzanın ÖYT'ne etkisi.

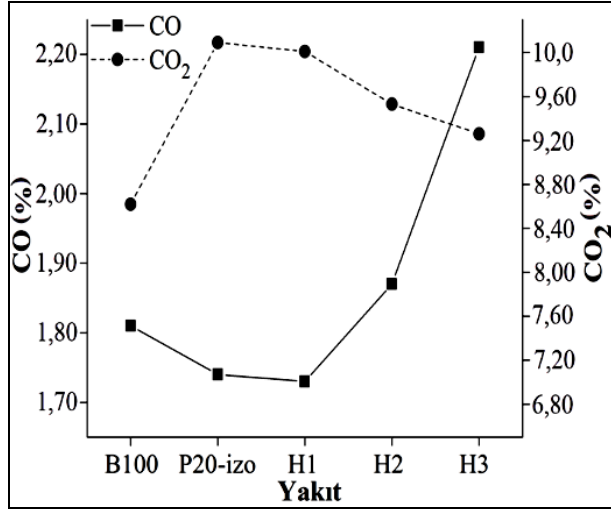
Şekil 7'de verilen P20-izo yakıtına farklı miktarlarda ilave edilen hekzan'ın ÖYT'ne etkisi incelendiğinde, en düşük ÖYT, H1 yakıtı ile 145,37 g/kWh olarak elde edilmiştir. Aynı motor devrinde B100 yakıtı ile 148,65 g/kWh, H2 yakıtı ile 156,21 g/kWh ve H3 yakıtı ile 167,15 g/kWh olarak elde edilmiştir. Şekil 6'da verilen güç grafiği elde edilen sonuçları desteklemektedir. Güç grafiğinde %1 hekzan ilave edilen yakıt karışımının benzin yakıtına yakın bir güç sağlaması ÖYT'nin düşük olmasını sağlamaktadır. Ayrıca yakıt karışımı içerisine ilave edilen hekzanın yoğunluğunun düşük olması, birim hacimde silindir içerisine giren yakıt miktarının az olması dolayısıyla ÖYT'nde azalmasına neden olmaktadır. P20-izo yakıtına farklı miktarlarda hekzan ilavesinin HC, NO<sub>x</sub> emisyonlarına ve egzoz gaz sıcaklığına etkisi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. P20-izo yakıtına farklı miktarlarda ilave edilen hekzanın maksimum motor gücünde HC, NO<sub>x</sub> ve egzoz gaz sıcaklığına etkisi

Şekil 8'de verilen HC emisyon değişimleri incelendiğinde, benzin içerisine ilave edilen propanol ile HC emisyonlarında azalma olduğu görülmektedir. Maksimum motor gücünün elde edildiği motor devrinde

(3500 d/dk) B100 yakıtı ile 39 ppm, P20-izo yakıtı ile 35 ppm, H1 yakıtı ile 37 ppm, H2 yakıtı ile 42 ppm ve H3 yakıtı ile 58 ppm olarak elde edilmiştir. Bu durum, ilave edilen alkolün yapısında oksijen içermesi, silindir içerisinde yanmaya sağladığı olumlu katkıdan kaynaklanmaktadır. Çünkü yanma işleminde oksijen miktarının fazla olması, yanma odası içerisinde yanma reaksiyonlarının daha verimli gerçekleşmesini sağlamaktadır (Mourad ve Mahmoud 2018). Yakıt içerisine ilave edilen %1 hekzan ilavesinin HC emisyonlarında azda olsa bir iyileşmenin olduğunu görülmektedir. Bu durum, düz zincir yapısından dolayı daha çabuk bozulan ve yanma eğilimi daha yüksek olan Hekzan'ın yanma reaksiyonunun güçlendirdiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yakıt karışımı içerisinde artan hekzan ilavesi ile HC emisyonlarında ciddi bir artışın olduğu görülmektedir. Bu durum silindir içerisinde verimsiz yanma reaksiyonunda bir göstergesidir. Çünkü biliyoruz ki, CO ve HC emisyonu eksik yanma reaksiyonunun bir ürünü olarak açığa çıkmaktadır (Widory 2006). Yine aynı grafikte verilen NO<sub>x</sub> emisyon değişim grafiği incelendiğinde, maksimum motor gücünün elde edildiği motor devrinde (3500 d/dk) maksimum NO<sub>x</sub> emisyonu P20-izo yakıtı ile 3709 ppm olarak elde edilmiştir. H1 yakıtı kullanılması ile NO<sub>x</sub> emisyonu 3350 ppm, B100 yakıtı kullanılması ile 3254 ppm, H2 yakıtı kullanılması ile 3100 ppm ve H3 yakıtı kullanılması ile 2819 ppm olarak elde edilmiştir. NO<sub>x</sub> emisyonu oluşumu silindir içi sıcaklık ve basıncına bağlı olduğu bilinmektedir. Alkoller gibi oksijen içeriği yüksek yakıtların kullanılması, daha yüksek silindir içi basınç ve sıcaklık nedeni ile yüksek NO<sub>x</sub> emisyonlarına neden olmaktadır (Yusoff vd, 2017; Imdadul vd, 2016; Singh vd, 2014). Hazırlanan karışım yakıt içerisine hekzan ilavesi ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma olduğu görülmektedir. Bu durum yanma verimi ile ilişkilidir. Oksijen içeriği yüksek yakıt karışımlarının yanmayı olumlu yönde etkilediği ve daha yüksek NO emisyonuna neden olduğu bilinmektedir (Yusoff vd, 2017; Mourad ve Mahmoud 2018). İlave edilen hekzan ile silindir içerisinde oksijen oranının değişmesi (yakıtın C/H, C/O gibi değişim), silindir içerisindeki yanmayı doğrudan etkilemektedir. Bu durum NO<sub>x</sub> emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Nitekim Şekil 7'de verilen egzoz gaz sıcaklığı sonuçları bu durumu desteklemektedir. Yusoff vd. (2017), yaptıkları bir çalışmada alkol ilave edilen yakıtlarda daha yüksek NO emisyonları elde ettiklerini ve bu durumun egzoz gaz sıcaklığı ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. P20-izo yakıtına farklı miktarlarda hekzan ilavesinin CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarına etkisi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. P20 izo yakıtına farklı miktarlarda ilave edilen hekzanın maksimum motor gücü devrinde CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarına etkisi

Şekil 9' da verilen CO ve CO<sub>2</sub> emisyon değişimleri incelendiğinde, maksimum motor gücünün elde edildiği motor devrinde (3500 d/dk) en yüksek CO<sub>2</sub> emisyonu ise P20-izo yakıtı ile % 10,09 olarak elde edilmiştir. Benzin içerisine ilave edilen iso-propanol alkolü ile silindir içerisine daha fazla oksijen gönderilmesi yanma verimini artırmakta ve CO emisyonlarını azaltırken CO<sub>2</sub> emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Gravalos vd, 2013; Keskin ve Gürü 2011; Mourad ve Mahmoud 2018). Buna ek olarak yakıt içerisine buharlaşma ve tutuşma sıcaklığı düşük olan hekzan ilavesi ile CO emisyonlarının benzin ve P20-izo yakıtına göre daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük CO emisyonu %1 hekzan ilave edilen H1 yakıtında % 1,73 olarak elde edilmiştir. Hazırlanan benzin alkol karışımı yakıtının yapısındaki oksijen miktarı yakıt içerisinde karbon (C) atomlarının çoğunun CO<sub>2</sub> ye dönüşmesine neden olmaktadır. Yine Şekil 9'da verilen CO<sub>2</sub> emisyon sonuçları bu durumu desteklemektedir. Çünkü bir hidrokarbonun yanması sırasında, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve metan olmayan HC şeklinde karbonlu gazlar açığa çıkar (Lobert ve Warnatz 1993; Ward, 1993) ve karbonun çoğu CO<sub>2</sub> gazı halinde salınır. Yanma veriminin yüksek olması ile karbon dönüşümünün 90% dan fazlası CO<sub>2</sub> ürünü ile sonuçlanır. Bunun yanı sıra, yanma veriminin düşmesi, CO<sub>2</sub> üretimini de 50% ye kadar düşürür (Widory, 2006). Ayrıca artan hekzan ilavesi ile CO emisyonlarında artmanın olduğu görülmektedir. Bu yakıt içerisine ilave edilen hekzan'ın, buharlaşma ısısının ve tutuşma sıcaklığının düşük olması ve silindir duvar sıcaklığının yüksek olması ile kontrolsüz yanma safhasının meydana gelmesine neden olmaktadır. Kontrolsüz yanma ise motorda vuruntuya sebep olmaktadır. Çünkü hava soğutmalı motorun silindir duvar sıcaklığı su soğutmalı motorlara göre daha yüksektir ve bu yüksek sıcaklık vuruntu üzerinde etkilidir (Çelik ve Çolak 2008). Bu durum ise CO emisyonları üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. CO emisyonundaki artış ile CO<sub>2</sub> emisyonları azalmaktadır.

Nitekim CO<sub>2</sub> emisyonu değişimi nispi yakıt hava karışımına ve CO konsantrasyonuna bağlıdır (Wu vd, 2004).

## SONUÇLAR

Buji ateşlemeli motorlarda Benzin-propanol-hekzan yakıt karışımlarının motor performans ve emisyon üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Maksimum motor momenti P20-izo yakıtı ile 2500 d/d motor devrinde elde edilmiştir. P20-izo yakıtı kullanılması ile benzin yakıtına göre yaklaşık %2,7 oranında bir artış olduğu P20-n yakıtı kullanılması ile benzin yakıtına göre yaklaşık %3,07 oranında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir.
- Maksimum motor gücü 3500 d/d motor devrinde benzin yakıtı ile elde edilmiştir. P20-n ve P20-izo alkolü ilave edilen yakıtların kullanılması durumunda sırası ile yaklaşık %5,09, %3,66 oranında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir.
- Minimum ÖYT, 3500 d/d motor devrinde benzin yakıtı ile elde edilmiştir. P20-n ve P20-izo yakıtları kullanılması durumunda sırası ile yaklaşık olarak %3,22, %2,23 oranında bir artış olduğu belirlenmiştir.
- P20-izo yakıtına farklı oranlarda ilave edilen hekzan ile yapılan çalışmalarda, H1 yakıtı kullanılması durumunda benzine göre motor momentinde %2,72 oranında artış olduğu, H2 ve H3 yakıtı kullanılması ile motor momentinde sırası ile %2,93, %4,46 oranında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir.
- Maksimum motor gücü 3500 d/d motor devrinde benzin yakıtı ile elde edilmiştir. Aynı motor devrinde H1, H2 ve H3 yakıtı kullanılması durumunda sırası ile %1,01, %10,18 ve %19,14 oranında bir azalmanın olduğu görülmüştür.
- Minimum ÖYT, H1 yakıtı kullanılması ile benzin yakıtına göre yaklaşık %2,24 oranında bir azalmanın olduğu, H2 ve H3 yakıtı kullanılması durumunda benzin yakıtına göre sırası ile yaklaşık olarak %5,08 ve %12,44 oranında bir artışın olduğu belirlenmiştir.
- Minimum CO emisyonu, H1 yakıtı kullanılması ile benzin yakıtına göre yaklaşık %4,41 oranında bir azalmanın olduğu, H2 ve H3 yakıtı kullanılması durumunda sırası ile yaklaşık %3,31 ve %22,09 oranında bir artışın olduğu belirlenmiştir.
- Maksimum CO<sub>2</sub> emisyonu P20-izo yakıtı kullanılması ile elde edilmiştir. H1 yakıtı kullanılması durumunda benzin yakıtına göre yaklaşık %16,12 oranında bir artış olduğu, H2 ve H3 yakıtı kullanılması durumunda benzin yakıtına göre sırası ile yaklaşık %10,55 ve %7,42 oranında bir artışın olduğu belirlenmiştir.

- Minimum HC emisyonu, H1 yakıtı kullanılması durumunda benzin yakıtına göre yaklaşık %5,12 oranında bir azalmanın olduğu, H2 ve H3 yakıtları kullanılması durumunda benzin yakıtına göre sırası ile %7,69 ve %48,71 oranında bir artışın olduğu belirlenmiştir.
- NO<sub>x</sub> emisyonlarında, H1 yakıtı kullanılması durumunda kayda değer bir değişimin olmadığı, H2 ve H3 yakıtı kullanılması durumunda sırası ile yaklaşık %4,73 ve %13,36 oranında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

Abdel-Rahman A. A. and Osman M. M., 1997, Experimental investigation on varying the compression ratio of SI engine working under different ethanol-gasoline fuel blends, *Int. J. Energy Res.*, 21(1), 31-40.

Acaroğlu M., Ünalı M. and Aydoğan H., 2010, *Yakıtlar ve Yanma*, Nobel yayınevi, Ankara

Altun Ş., Öner C. and Fırat M., 2010, Exhaust Emissions from A Spark-Ignition Engine Operating on Iso-Propanol and Unleaded Gasoline Blends, *Technology*, 13(3), 183-188.

Arapatsakos C., Karkanis A. and Sparis P., 2004, Gasoline-Ethanol, Methanol Mixtures and A Small Four-Stroke Engine, *Int. J. Heat and Tech.*, 22(2).

Bayraktar H., 2005, Experimental and theoretical investigation of using gasoline-ethanol blends in spark-ignition engines, *Renew. Energy*, 30(11), 1733-1747.

Beatrice C., Bertoli C. and Giacomo N. D., 1998, New findings on combustion behavior of oxygenated synthetic diesel fuels, *Comb. Sci. Tech.*, 137(1-6), 31-50.

Çelik M.B. and Çolak A., 2008, Buji Ateşlemeli Bir Motorda Alternatif Yakıt Olarak Saf Etanolün Kullanılması, *Gazi Üni. Müh.Mim. Fakül. Der.*, 23(3), 619-626.

Çelik M.B., Özdalyan B. and Alkan F., 2011, The use of pure methanol as fuel at high compression ratio in a single cylinder gasoline engine, *Fuel*, 90(4), 1591-1598.

Chen C. C., Liaw H. J., Shu C. M. and Hsieh Y. C., 2010, Autoignition Temperature Data For Methanol, Ethanol, Propanol, 2-Butanol, 1-Butanol, and 2-Methyl-2, 4-Pentenediol, *J. Chem. Eng. Data*, 55(11), 5059-5064.

Gravalos I., Moshou D., Gialamas T., Xyradakis P., Kateris D. and Tsiropoulos Z., 2013, Emissions characteristics of spark ignition engine operating on lower-higher molecular mass alcohol blended gasoline fuels, *Renew. Energy*, 50, 27-32.

İmdadul H. K., Masjuki H. H., Kalam M. A., Zulkifli N. W. M., Alabdulkarem A., Rashed M. M. and How H. G., 2016, Higher Alcohol-Biodiesel-Diesel Blends: An Approach for Improving The Performance, Emission, and Combustion of A Light-Duty Diesel Engine, *Energy Conv. Manag.*, 111, 174-185.

İnternet 1, 2018, [https://www.opet.com.tr/Files/PDF/urun/Kursunsuz\\_Benzin\\_spec.pdf](https://www.opet.com.tr/Files/PDF/urun/Kursunsuz_Benzin_spec.pdf)

İnternet 2, 2018, <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/96566?lang=en&region=TR>

Keskin A. and Gürü M., 2011, The Effects of Ethanol and Propanol Additions into Unleaded Gasoline on Exhaust and Noise Emissions of A Spark Ignition Engine, *Energy Sour. Part A: Recovery, Utilization, and Environ. Effects*, 33(23), 2194-2205.

Koç M., Sekmen Y., Topgül T. and Yücesu H. S., 2009, The effects of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine, *Renew. Energy*, 34(10), 2101-2106.

Li, Y., Meng, L., Nithyanandan, K., Lee, T. H., Lin, Y., Chia-fon, F. L., & Liao, S. (2016). Combustion, performance and emissions characteristics of a spark-ignition engine fueled with isopropanol-n-butanol-ethanol and gasoline blends. *Fuel*, 184, 864-872.

Lober J. M. and Warnatz J., 1993, Emissions From The Combustion Process in Vegetation. In *Fire and The Environment: The Ecological Atmospheric, and Climatic Importance of Vegetation Fires*, (Edited by PJ Crutzen and JG Goldammer), 15-38.

Masum B. M., Masjuki H. H., Kalam M. A., Palash S. M. and Habibullah M., 2015, Effect of Alcohol-Gasoline Blends Optimization on Fuel Properties, Performance and Emissions of A SI Engine, *J. Clean. Prod.*, 86, 230-237.

Mourad M. and Mahmoud K. R., 2018, Performance Investigation of Passenger Vehicle Fueled by Propanol/Gasoline Blend According to A City Driving Cycle, *Energy*, 149, 741-749.

Niven R. K., 2005, Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 9(6), 535-555.

Prosen E. J. and Rossini F. D., 1945, Heats of Combustion and Formation of The Paraffin Hydrocarbons at 25 °C, *J. Res. NBS*, 34(3), 263-267.

Rice R. W., Sanyal A. K., Elrod A. C. and Bata R. M., 1991, Exhaust gas emissions of butanol, ethanol, and



- methanol-gasoline blends, *J. Eng. Gas Turb. Power*, 113(3), 377-381.
- Singh E., Shukla M. K., Pathak S., Sood V. and Singh N., 2014, Performance Emission & Noise Characteristics Evaluation of n-Butanol/Gasoline Blend in Constant Speed SI Engine, *Int. J. Eng. Res. Techn.*, 3, 993-999.
- Taylor A.B., Moran D.P., Bell A.J., Hodgson N.G., Myburgh I.S. and Botha J.J., 1996, Gasoline/Alcohol Blends: Exhaust Emissions, Performance and Burn-Rate in A Multi-Valve Production Engine (No. 961988). *SAE Technical Paper*.
- Thakur A. K., Kaviti A. K., Mehra R. and Mer K. K. S., 2017, Progress in performance analysis of ethanol-gasoline blends on SI engine, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 69, 324-340.
- Thangavel V., Momula S. Y., Gosala D. B. and Asvathanarayanan R., 2016, Experimental studies on simultaneous injection of ethanol-gasoline and n-butanol-gasoline in the intake port of a four stroke SI engine, *Renew. Energy*, 91, 347-360.
- Veloo P. S. and Egolfopoulos F. N., 2011, Studies of n-Propanol, iso-Propanol, and Propane Flames, *Comb. Flame*, 158(3), 501-510.
- Ward D. E., 1993, Trace gasses and particulate matter from fires-a review, *In Backgr. Pp. Proceed. Victoria Falls Workshop*, 2, 126-132.
- Widory D., 2006, Combustibles, Fuels and Their Combustion Products: A View Through Carbon Isotopes, *Comb. Theory Modell.*, 10(5), 831-841.
- Wu C. W., Chen R. H., Pu J. Y. and Lin T. H., 2004, The Influence of Air-Fuel Ratio on Engine Performance and Pollutant Emission of An SI Engine Using Ethanol-Gasoline-Blended Fuels, *Atmospheric Environ.*, 38(40), 7093-7100.
- Yacoub Y., Bata R., and Gautam M., 1998, The performance and emission characteristics of C1-C5 alcohol-gasoline blends with matched oxygen content in a single-cylinder spark ignition engine, *Proc. Insti. Mech. Eng. Part A: J. Power and Energy*, 212(5), 363-379.
- Yücesu H.S., Topgül T., Cinar C. and Okur M., 2006, Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in Different Compression Ratios, *App. Ther. Eng.*, 26(17-18), 2272-2278.
- Yusoff M.N.A.M., Zulkifli N.W.M., Masjuki H.H., Harith M.H., Syahir A.Z., Khuong L.S., Zahari M.S.M. and Alabdulkarem A., 2018, Comparative Assessment of Ethanol and Isobutanol Addition in Gasoline on Engine Performance and Exhaust Emissions, *J. Clean. Produc.*, 190, 483-495.
- Yusoff, M. N. A. M., Zulkifli, N. W. M., Masjuki, H. H., Harith, M. H., Syahir, A. Z., Kalam, M. A. and Khuong, L. S., 2017, Performance and Emission Characteristics of A Spark Ignition Engine Fuelled With Butanol Isomer-Gasoline Blends, *Transp. Res. Part D: Transp.t and Environ.*, 57, 23-38