

Buji Ateşlemeli Motorlarda Alkol Yakıt Kullanımının Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristikleri Açısından İncelenmesi

*Meltem Göktaş¹ , Cenk Sayın² ,

*¹Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL

²Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği, İSTANBUL

(Alınış / Received: 21.01.2019, Kabul / Accepted: 13.01.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 01.04.2020)

Anahtar Kelimeler

Alkol yakıt,
Buji ateşlemeli motor,
Motor performansı,
Egzoz emisyonları,
Yanma karakteristikleri

Öz: Fosil yakıtlar ile çalışan taşıtlar, çevrede zararlı gazların artmasına ve petrol rezervlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bu zararların minimize edilmesi için pek çok araştırmacı, buji ateşlemeli motorlarda istenilen performansı elde edebilen ve çevreye az oranda egzoz emisyonu bırakabilen alternatif yakıtlardan birinin de alkollerin olduğunu ileri sürmüşler ve pek çok deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırma çalışmasında; buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda motor performansında, emisyonlarda ve yanma karakteristiklerinde ne gibi değişikliklerin olduğu üzerine gerçekleştirilmiş çalışmalar detaylı bir şekilde incelenerek tablolar oluşturulmuş ve bu değişikliklerin nedenleri açıklanmıştır. Araştırma ile alkol kullanılmasıyla motor performansında ve yanma karakteristiklerinde artış olduğu ve egzoz emisyonlarında ise azalmaların gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

An Investigation of the Effect of Usage Alcohol Fuel on Performance, Emission and Combustion Characteristics in Spark-Ignition Engines

Keywords

Alcohol fuel,
Spark-Ignition engine,
Engine performance,
Exhaust emission,
Combustion characteristics

Abstract: Vehicles powered by fossil-fuels cause to increase harmful gases in the environment and decrease petroleum reserves. To minimize these damages, many researchers submitted that one of the alternative fuels which could obtain desired performance and release minimum rates of exhaust emissions in spark-ignition (SI) engines is alcohol and they carried out many experimental studies. In this review study, the studies about which kind of alteration obtained in performance parameters, emissions and combustion characteristics by using alcohol in SI engines were investigated in detail and created tables. In addition, the reasons of these alterations were stated. With this review, improving in engine performance and combustion characteristics and decreasing exhaust emissions were concluded by using alcohols.

1. Giriş

Motorlu taşıtlarda kullanılan fosil kökenli yakıtlar, ideal koşullarda oksijen ile reaksiyona girmesi sonucunda, oluşan emisyonlar; hidrokarbon (HC), karbondioksit (CO₂), su buharı (H₂O) ve azot oksit (NO_x) bileşikleridir [1].

Petrole olan bağımlılığın azaltılması, gelecekte yaşanabilecek petrol krizlerinin en az sıkıntıyla atlatılabilmesi ve çevrenin zararlı etkilerden korunabilmesi için alternatif yakıt arayışları ve bunların içten yanmalı motor yakıtı olarak kullanılabilirliklerinin araştırılması zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle, içten yanmalı motorlarda değişik yapısal ve işletme koşullarında talep edilen gücü en ekonomik ve çevreye en az zararla alabilmek için yapılan çalışmalar hız kazanmıştır [2]. Alkoller, LPG (Likit petrol gazı), biyodizel ve doğalgaz içten yanmalı motorlarda

belirli oranlarda kullanılacak alternatif yakıtlardır. Alkol yakıtlar olarak metanol (M), etanol (E), propanol (P) ve bütanol (B) kullanılmaktadır.

Literatürde, pek çok araştırmacı alkollü yakıtların buji ateşlemeli motorlarda kullanılması durumunda motor performansı, emisyonlar ve yanma karakteristikleri üzerine birçok çalışma gerçekleştirmiştir. Awad vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada, petrol bazlı yakıtların yerini alabilecek veya yakıt özelliklerini iyileştirebilecek oksijenli yakıtlarla çalışan içten yanmalı motorlarda sıkıştırma oranının performansı, yanma ve emisyonlar üzerindeki etkisini sistematik olarak gözden geçirmişlerdir.

Kısaltmalar ve Semboller

B	Bütanol	N	Motor Devri
CO	Karbonmonoksit	N_e	Efektif Güç
CO ₂	Karbondiyoksit	ÖYT	Özgül Yakıt Tüketimi
E	Etanol	P	Propanol
EGS	Egzoz Gazı Sıcaklığı	SGB	Silindir Gaz Basıncı
FG	Fren Gücü	SO	Sıkıştırma Oranı
HC	Hidrokarbon	TV	Termal Verim
ISH	Isı Salınım Hızı	T	Tork
iP	İzo-Propanol	VV	Volümetrik Verim
iB	İzo-Bütanol	V _d	Strok Hacmi
LHV	Alt Isıl Değer	\dot{m}_h	Silindire alınan havanın kütleli debisi
M	Metanol	\dot{m}_y	Yakıtın kütleli debisi
NO _x	Azot Oksit	ρ_h	Havanın yoğunluğu
nB	n-Bütanol (Bütanol)	λ	Hava fazlalık katsayısı

Bu inceleme çalışmasından ortaya çıkan daha önemli bulgulardan biri, içten yanmalı motorlarda orijinal sıkıştırma oranında alkol yakıt kullanıldığında, güçteki kısmî artış veya azalış olmuştur. Ayrıca, özgül yakıt tüketimi artarken; CO, HC ve NO_x emisyonlarının azaldığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, daha yüksek sıkıştırma oranında, hem buji ateşlemeli hem de dizel motorları için motor performansının arttığı ve özgül yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür. Buji ateşlemeli motorda artan sıkıştırma oranı ile NO_x, CO ve CO₂ emisyonları azalmış, ancak HC artmıştır [3].

Chansauria vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada, geleneksel buji ateşlemeli motorda etanol-benzin karışımlarının etkisini araştırmışlardır. Etanolün özellikleri, üretim prosedürü ve çeşitli etanol karışımlarının motorun performansına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada odaklanılan parametreler; mevcut temel sorunlardan biri olan egzoz emisyonları, motor fren torku, motor volümetrik verimi ve termal verimdir. Karışımdaki artan etanol oranı ile genel ısıl verim, ısı salınım hızı, volümetrik verim ve silindir gaz basıncının arttığı görülmüştür. Optimum tutuşma başlangıcının belirlenmesi için belirli sıkıştırma oranında etanol oranının artırılması gerektiği öngörülmüştür [4].

Thakur vd. (2017) yapmış oldukları çalışmada, buji ateşlemeli motorlarda değişen oranlarda benzin-etanol karışımlarının kullanılması durumunda, hava-yakıt oranı, çalıştırma silindir basıncı, ateşleme zamanlaması ve sadece performans parametrelerine bağlı sıkıştırma oranı gibi çeşitli özellikleri teşhis ederek analiz etmişlerdir. Daha düşük oranlarda etanol karışımları kullanıldığında, motor torku için %2.31-4.16 aralığında ve fren gücü için %0.29-4.77 aralığında bir artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Fren özgül yakıt tüketimi, daha yüksek hacimde etanol içeriği için %5.17-56 aralığında arttığını, etanol-benzin karışımı kullanıldığında, fren ısıl veriminin %2,5-6 aralığında yükselişle hafifçe arttığını belirtmişlerdir [5].

Yusri vd. (2017) yapmış olduğu çalışmada, alkol yakıtlarının (metanol, etanol, propanol ve bütanol) kullanılması durumunda buji ateşleme motorunun performansını ve emisyonlarını analiz etmişlerdir. Metanol, etanol, propanol ve bütanol ile ilgili literatürleri gözden geçirmiş ve alternatif bir yakıt olarak uygulanabilirliğini göstermek için özetlemişlerdir. Metanol, etanol, propanol ve bütanolün yakıt özelliklerini açıklamışlar ve bu tür yakıtların buji ateşlemeli motorlar için alternatif yakıt olarak kullanılmasını sağlayan önemli özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Alkol yakıtların motor performansı ve emisyonlar üzerinde farklı sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Şaşırtıcı bir şekilde, bazı araştırmaların, normal dizel ve benzinli yakıtlara kıyasla alkol için olumlu sonuçlar verdiğini açıklamışlardır. Metanol, etanol, propanol ve bütanolün düşük motor performans özelliklerine karşılık olarak motor egzoz emisyonlarını azaltabileceği sonucuna varmışlardır [6].

Yusoff vd. (2015) yapmış oldukları çalışmada, ilk olarak benzine alternatif olarak biyoetanol ve biyobütanolü incelemişlerdir. Daha sonra, benzin, biyoetanol ve biyobütanolün karşılaştırmalı fizikokimyasal özelliklerini ve potansiyel üretim kaynaklarını sunmuşlardır. Biyoetanol ve biyobütanolün motor performansları, yanma analizi, egzoz emisyonları, motor dayanıklılığı ve bunların yağlama yağı üzerindeki etkilerini tartışmışlardır. Biyoetanol

ve biyobutanolün kullanımıyla motor performansının arttığını ve ayrıca egzoz emisyonlarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, karışımdaki alkol oranının artması ile motor dayanıklılığı ve yağlama yağı özellikleri üzerinde olumsuz etkilere yol açtığını belirtmişlerdir [7].

Alternatif yakıt türlerinden olan alkollerin avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Alkoller ham petrolden elde edilen yakıtların yerine geçebilirler,
- Ham petrol yataklarına sahip olmayan ülkeler enerji ihtiyaçlarını petrole bağımlı olmadan karşılayabilirler,
- Alkol üretimi (özellikle etanol), zirai imkânları geniş olan ülkelerin çiftçileri için iyi bir gelir kaynağı oluşturabilir,
- Oktan sayısı 90-100 olan benzin ile karşılaştırıldığında alkoller, 110 gibi yüksek oktan sayısına sahiptir. Bu da motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılması durumunda, motor performansını arttırabilir. Başka bir deyişle daha küçük hacme sahip motorlardan daha yüksek güç çıkışları elde edilebilir,
- Yakıt olarak saf metanol kullanılan bir motorda, benzinin kullanımına kıyasla %10 daha fazla güç artışı görülmüştür,
- Alkoller benzinlere göre daha fakir karışımlarda çalışabilirler.

Alkoller benzinle karıştırıldığında karışımın oktan sayısını arttırıcı etki gösterirler. Örneğin, %10 metanol, %90 benzin karışımının oktan sayısı 95'dir [8].

Bu araştırma çalışmasında, alkol yakıtların buji ateşlemeli motorlarda kullanılmasının söz konusu avantajlarından yola çıkılarak, performans, emisyon ve yanma karakteristikleri üzerinde geçmişten günümüze yapılmış deneysel çalışmaların incelenmesi, yorumlanması ve karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda motor performansı (termal verim (TV), tork (T), fren gücü (FG), volümetrik verim (VV), özgül yakıt tüketimi (ÖYT)), egzoz emisyonları (hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x)) ve yanma karakteristiklerinde (silindir gaz basıncı (SGB), ısı salınım hızı (ISH), egzoz gazı sıcaklığı (EGS)) ne gibi değişikliklerin olduğu üzerine gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir.

İnceleme işlemi tamamlandıktan sonra performans parametreleri, egzoz emisyonları ve yanma karakteristiklerine özel, Excel programında ayrı ayrı tablolar oluşturulmuş ve buji ateşlemeli motorda alkol kullanılmasıyla yukarıda belirtilen parametrelerde artış veya azalışın olduğu belirtilmiş ve bu artış ve azalışların nedenleri açıklanmıştır.

2.1. Alkoller

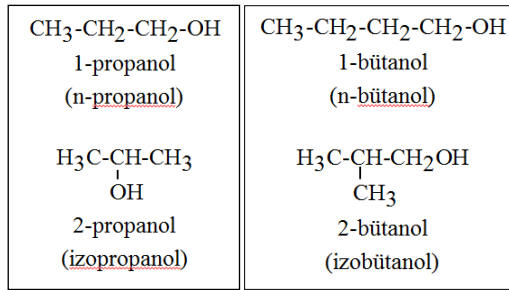
Metanol: Oda sıcaklığı ve basıncında renksiz bir organik sıvı olan metanol, genel olarak metil alkol veya odun ispirosu olarak bilinir. Metanol içerisinde metil alkol bulunan, odun, kömür gibi fosil yakıtların ısı altında damıtılması yolu ile doğal gaza birtakım damıtma işlemleri uygulanarak veya CO ve hidrojenin katalitik ortamda sentezleri sonucunda elde edilebilir. Metanol üretimi düşük basınçta sentez prosesi yaparak gerçekleştirilir. Metanolün özellikleri Tablo 1'de verilmektedir [9]. Metanol kullanımında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Çünkü metanol havada kolaylıkla yanabilen bir kimyasaldır. Ayrıca metanol buharı da bazı ortamlarda patlayıcı olabilmektedir. Zehirli bir kimyasal olduğu için de insanlarda kalıcı körlüğe, hatta ölümlere bile sebep olabilir. Su ile her oranda karışabilecek yanıcı bir çözelti meydana getirir [10]. Yakıt olarak metanol kullanıldığında motor geometrisi sıkıştırma oranı önemli ölçüde artırılabilir. Bunun nedeni, daha yüksek bir oktan oranının, sıkıştırma oranında önemli bir artışa izin vermesi ve daha yüksek bir ısı buharlaşma değerinin, gelen yakıt-hava şarjını, artan hacimsel verimi ve artan güç çıkışını azaltmasıdır [11].

Etanol: Genellikle C₂H₅OH olarak kısaltılmış en basit ikinci alkoldür. Uçucu, yanıcı, renksiz bir sıvıdır. Biyokütleden üretilen etanol, tamamen biyolojik olarak parçalanabilir ve yenilenebilir olabilir. Diğer bir avantajı, benzine kıyasla yüksek oktan sayısına sahip olmasıdır. Etanol çok kolay su çeker ve bu da depolamayı sorunlu hale getirir. Dahası, benzinden daha yüksek bir yoğunluğa ve viskoziteye sahiptir ve genellikle fiziksel engeller yoluyla daha etkilidir. Etanol, gaz yakıtından daha yüksek enerji yoğunluğuna ve nispeten düşük C/H oranına (0.33) sahiptir [12]. Etanol; buharlaşma ısısı, oktan sayısı ve kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olduğu için buji ateşlemeli motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilir. Bu da motor gücünün artmasını sağlamaktadır. Ayrıca etanol, yüksek buharlaşma ısısına sahip olduğu için emilen taze karışım üzerinde soğutucu etki oluşturmakta ve bu da motorun volümetrik verimini artırmaktadır. Etanol, buji ateşlemeli motorlarda tek

başına ya da benzine belirli oranlarda katılarak kullanılmaktadır. Etanol ile çalışan motorlarda CO, CO₂ ve NO_x emisyonları benzine göre daha az olmaktadır [13].

Propanol: Etanol ve metanol ile karşılaştırıldığında n-propanol ve izo-propanolün yanma kimyası ile ilgili çok az detaylı deneysel ve kinetik modelleme çalışmaları yapılmıştır. Yakın zamanda, 3-karbonlu yakıtlar (propan, n-propanol, propanal ve aseton) arasında, propanol en yüksek alev hızlarını gösterirken, n-propanol ve propanın benzer laminar alev hızları ve özellikle de H ve OH gibi benzer radikal konsantrasyonları sunduğu bulunmuştur. Propanol yanmanın temelleri hakkında daha derin bilgiler sağlamanın yanı sıra, bu çalışmalar ayrıca, alkol yanmasının yan ürünleri olan toksik oksijenli kirleticiler (aldehitler ve asetonlar gibi) hakkında da bilgi vermektedir. Propanolün oksidasyonu sırasında üretilen ana aldehitlerin formaldehit ve propanaldehit olduğu bulunmuştur [14]. Kapalı formülleri aynı olup açık formülleri farklı olan alkollere izomer alkoller denir. Şekil 1’de propanol ve izopropanolün açık kimyasal formülleri verilmiştir.

Bütanol: 4-karbonlu bir yapıya sahiptir ve karbon atomları farklı özelliklere sahip olan düz zincirli veya dallı bir yapı oluşturabilir. OH ve karbon zinciri yapısının konumuna bağlı olarak farklı izomerler vardır (n-bütanol, 2-bütanol, izo-bütanol, tert-bütanol). Bütanol izomerlerinin özellikleri oktan sayısı, kaynama noktası, viskozite vb. bakımından farklı olmasına rağmen, ana uygulamalar, çözücüler, endüstriyel temizleyiciler veya benzin katkı maddeleri olarak kullanılma gibi bazı yönlerde benzerdir. Bütün bu bütanol izomerleri fosil yakıtlardan farklı yöntemlerle üretilebilmektedir. Sadece n-bütanol, biyokütleden elde edilen düz zincirli bir molekül yapısıdır [15]. Bütanol ve izobütanolün açık kimyasal formülleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Propanol, izopropanol, bütanol ve izobütanolün açık kimyasal formülleri [16]

Tablo 1’de benzin, metanol, etanol, propanol ve bütanolün fiziksel ve kimyasal özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 1. Benzin ve alkollerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Birim	Benzin (G)	Metanol (M)	Etanol (E)	Propanol (P)	Bütanol (B)
Kimyasal formül	-	C ₈ H ₁₈	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₃ H ₇ OH	C ₄ H ₉ OH
Kaynama noktası [9, 17, 18]	°C	27-225	64,5	79	97	117,7
Alt ısı değer [9, 17, 18]	kJ/kg	44300	20100	26800	29820	33100
Buharlaşma gizli ısı [17, 18]	kJ/kg	380-500	1162.64	918.42	727.88	582
Araştırma oktan sayısı (AOS) [18,19]	-	88-98	109	109	112	98
Stokiyometrik H/Y oranı [18, 20]	-	14,7	6,49	9,02	10,35	11,21
C/H oranı	-	0,444	0,25	0,33	0,375	0,4

2.2. Performans Parametreleri

Termal Verim (TV): Yakıttan elde edilen termal girdinin bir fonksiyonu olarak ısı motorunun fren gücü olarak tanımlanmaktadır. Termal verim, bir motorun yakıttan elde edilen ısıyı mekanik enerjiye ne kadar iyi dönüştürdüğünü değerlendirmek için kullanılır [5].

$$TV = \frac{\text{Fren Gücü (FG)}}{\text{Yakıt Tüketim oranı } (\dot{m}_y) \cdot \text{Alt Isıl Değer (LHV)}} \quad (1)$$

Tork (T): Pistonun krank milinden gelen basınçla üretilen bir dönme kuvvetidir. Motor strokunun uzunluğuna, sarj durumuna ve ortalama efektif silindir basıncına bağlıdır [7].

Fren Gücü (FG): Dişli, şanzıman, sürtünme vb. aracılığıyla meydana gelen güç kayıpları hariç tutularak motor tarafından üretilen güç çıkışı olarak tanımlanmaktadır. Bu güç, "fren gücü" olarak adlandırılır, çünkü fren, dinamometre içindeki şaftı yavaşlatmak için kullanılır [7].

$$FG = 2 \cdot \pi \cdot N \cdot T \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

N: Motor devri [rpm]

T: Tork [N/m]

Volümetrik Verim (VV): Motordaki emiş sistemi –hava filtresi, karbüratör, gaz kelebeği plakası, emme manifoldu, emme deliği, emme valfi- motora giren hava miktarını kısıtlar. Bu parametre, motorun emme prosesinin etkinliğini ölçmek için kullanılır. Volümetrik verim, belirli bir emme prosesine sahip 4 stroklu motorlarda kullanılır [21].

$$VV = \frac{2\dot{m}_h}{\rho_h \cdot V_d \cdot N} \quad (3)$$

\dot{m}_h : Silindire alınan havanın kütleli debisi [kg/s]

ρ_h : Havanın yoğunluğu [kg/m³]

V_d : Strok hacmi [m³]

Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT): Bir motorun iş üretmek için verilen yakıtı ne kadar verimli kullandığını belirten bir parametredir. Verilen yakıtın kütleli debisinin efektif güce oranı bize ÖYT değerini verir [21].

$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_y}{N_e} \left[\frac{g}{\text{kWh}} \right] \quad (4)$$

\dot{m}_y : Kütleli yakıt debisi [kg/h]

N_e : Efektif güç [kW]

2.3. Yanma Karakteristikleri

Silindir Gaz Basıncı (SGB): Silindir basıncı; silindir hacmi değişimi, yanma, yanma odası duvarlarına ısı aktarımı, aralık bölgelerin içine ve dışına akış ve sızıntı sonucu oluşan krank açısıyla değişir. Bu etkenlerden ilk ikisinin önemi büyüktür. Hacim değişiminin basınç üzerindeki etkisi kolayca göz önüne alınabilir. Böylece, yanma hızı bilgisi, kalan olgular için modellerin uygun bir yaklaşım seviyesinde geliştirilebilmesi durumunda, doğru basınç verilerinden elde edilebilir. Silindir basıncı genellikle fizyolelektrik basınç transdüserleri ile ölçülür. Aşağıdaki adımların gerçekleştirilmesi yoluyla, gerekli sistemler ile krank açısına karşı hassas silindir basıncı verileri elde edilebilir:

- Ölçülen basınç sinyallerini mutlak basınçlara dönüştürmek için doğru referans basıncı kullanılır.
- Yaklaşık 0.2° krank açısı fazına karşı basınç hassastır.
- Boşluk hacmi yeterli doğrulukta tahmin edilir.

- Motor çevrimi sırasında duvar ısı akışındaki değişiklik nedeniyle transdüser sıcaklık değişimleri (transdüser kalibrasyon faktörünü değiştirebilir) minimumda tutulur.

Silindir gaz basıncının artması veya azalması yakıtların belirli özelliklerine bağlıdır. Yüksek laminar yanma hızına sahip yakıtların kullanılması, yanmanın kısa vadede gerçekleşmesine neden olur. Bunun sonucunda, silindir duvarlarından ısı kaybı azalır ve SGB değeri artar. Buharlaştırma gizli ısıları yüksek yakıtlar, motorda termal ve volümetrik verimleri artırır, bu da SGB'yi artırır [27, 39, 36]. Alt ısı değeri düşük yakıtların kullanılmasıyla, silindir içerisinde yanma sonucunda düşük ısı enerjisi oluşur ve böylece SGB değeri düşer [49, 35, 50].

Isı Salınım Hızı (ISH): Yanma sırasında açığa çıkan ısının hızı olarak tanımlanmaktadır. Isı salınım hızı, bir çevrim sırasında termodinamiğin birinci yasasından hesaplanır ve dışına akış ve sızıntılardan elde edilen sonuçlara bağlı olan krank açısı ile değişmektedir [7].

Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS): Egzoz gazı sıcaklığı, silindir sıcaklığının önemli bir göstergesidir. Ayrıca EGS, egzoz emisyonunu analiz etmek için de kullanılır. Başka bir deyişle, EGS, yanma sıcaklığının bir fonksiyonudur. Yanma sıcaklığı da yakıtın alt ısı değeri (LHV) ile yakından ilişkilidir. Buna ek olarak, azot oksitlerin (NO_x) oluşumu temel olarak yanma sıcaklığına bağlıdır [7].

2.4. Emisyonlar

Hidrokarbon (HC): Hidrokarbonlar, karter havalandırmadan buharlaşma yolu ile egzozdan ise hatalı hava/yakıt oranı, düşük kompresyon, supap bindirmesi ve silindir içerisinde homojen olmayan sıcaklık dağılımından dolayı ya kısmen yanmış ya da yanma olayına hiç dahil olmadan atmosfere bırakılan emisyonlardır. Atmosferde süspansiyon halinde bulunan HC emisyonları, azot oksitlerle reaksiyona girerek “fotokimyasal sis-smog” olarak bilinen bir sis tabakası oluşturup, solunum sistemi ve canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır [22].

Karbonmonoksit (CO): Karbonmonoksit emisyonları, yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarlı olup, hava/yakıt oranına karşı daha duyarlı davranmaktadır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını CO_2 şeklinde yakacak oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlar, kısmi yüklerde yakıt ekonomisi açısından stokiyometrik orandan biraz fakir karışımlarla çalışmakla birlikte, tam yükte belirli bir kurs hacmi için emilen havadan tam olarak yararlanmak amacıyla zengin karışımla çalışırlar. Dolayısıyla buji ile ateşlemeli motorların CO emisyonunun kontrolü önemlidir. Otomobillerden yayılan CO emisyonları soğuk havalarda dramatik olarak artmaktadır. Bu durum otomobillerin soğuk havalarda çalıştırılması için daha fazla yakıt ihtiyacı duymasından ve O_2 sensörleri ile katalitik konvertörler gibi bazı emisyon kontrol aygıtlarının soğuk iken daha az etkin çalışmalarından kaynaklanmaktadır [23].

Karbondioksit (CO_2): Karbendioksit emisyonu, fosil yakıtların yanmasıyla ortaya çıkmakta ve sera gazı emisyonuna en büyük katkıyı tek başına sağlamaktadır. İklim değişikliğine neden olan birçok kirleticiler arasında yer alan CO_2 , tüm sera gazlarının %58.8'ini oluşturmaktadır [24]. Fakir karışimli yanmanın uygulandığı direkt püskürtmeli benzin motorları düşük yakıt tüketimi nedeniyle özellikle Japonya ve AB ülkelerinde yaygınlaşmaktadır. Bunun dışında motorlarda elektronik kontrol donanımlarının kullanımı, verimi artırıcı tasarıma dayalı önlemlerin alınması, küçük strok hacimli motorların şehir içi koşullarda tam yüke yakın işletme koşullarında çalıştırılması da yakıt tüketimi açısından fayda sağlayacaktır [25].

Azot Oksit (NO_x): NO_x , değişik miktarlarda azot ve oksijen içeren fazlaca reaktif bir gazdır. Hava-yakıt karışımı içindeki NO_x , yanma odası sıcaklığı $1800^\circ C$ 'ye yükseldiğinde azot (N_2) ve oksijen (O_2)nin birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık $1800^\circ C$ 'nin üzerine çıkmaz ise N_2 ve O_2 , NO gazını meydana getiremeden egzoz sisteminden dışarı atılır. Azot ve oksijen gazlarının değişik moleküllerinin birleşmesi ile NO, NO_2 , N_2O , N_2O_3 gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden “azot oksitler” denir ve NO_x olarak ifade edilir. Azot oksitler, kandaki hemoglobinle birleşmektedir. Akciğerdeki nemle birleşerek nitrik asit oluştururlar. Zamanla birikerek solunum yolu hastalıkları bulunan kişiler için tehlike oluştururlar. Ayrıca azot oksitler aerosol ve foto kimyasal duman oluşumu ile ozon tabakasının tahribine yol açarlar [26].

3. Bulgular

Buji ateşlemeli motorlarda alkollü yakıtların kullanılması durumunda performans parametrelerinde, emisyon değerlerinde ve yanma karakteristiklerinde ne gibi değişimler gözlediği üzerine yapılmış makaleler incelenerek tablolar sunulmuş ve parametrelerdeki artış ve azalışların nedenleri açıklanmıştır.

3.1. Performans Parametreleri

Tablo 2’de ilgili makaleler incelenerek buji ateşlemeli motorlarda alkol kullanılması durumunda performans parametrelerinde meydana gelen değişimler belirtilmiştir.

3.1.1. Termal Verim (TV)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre alkollerin; içerisinde oksijen bulundurmaları sonucu yanmanın kaliteli gerçekleşmesi ve yanma verimini artırması nedeniyle TV değerini benzine kıyasla artırmıştır. Ayrıca, buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması sonucu sıkıştırma aşamasında buharlaşırken silindir duvarlarından daha fazla ısıyı absorbe etmesi, böylece hava-yakıt karışımının daha kolay sıkıştırılması ve alkollerin alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması nedeniyle TV değerini benzinin kullanılmasına kıyasla yüksek oranda artırdığı görülmüştür [27, 28]. Ayrıca, motor hızı ve yükü arttıkça da kullanılan yakıt ne olursa olsun TV değeri artmıştır.

3.1.2. Tork (T)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre bütanol hariç diğer alkollerin; hava-yakıt oranını artırarak yanmayı daha verimli gerçekleştirmeleri, oktan sayılarının yüksek olması sayesinde yanma zamanlamasını geliştirerek yanma basıncını artırması nedeniyle T değerini benzine kıyasla artırmıştır. Ayrıca, yapılarında oksijen bulundurmaları sayesinde yanmayı tam olarak gerçekleştirmeleri ve buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması sonucu emiş aşamasının sonunda yakıt-hava karışımının daha fazla yoğunlukta alınması ve böylece volümetrik verimi artırması nedeniyle benzin kullanılmasına kıyasla T değeri artmıştır [30, 31, 32, 33]. Ancak, bütanol içerikli yakıtların; düşük enerjiye sahip olmaları, alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması sonucu yanma vasıtasıyla ısı salınımında düşüşün gerçekleşmesi nedeniyle T değerini benzine kıyasla azalttığı görülmüştür [34, 29, 35]. Ayrıca, motor hızı ve yükü arttıkça belirli bir hız ve yük değerine kadar T artarken, sonra azalmıştır. Sıkıştırma oranı arttıkça da kullanılan yakıt ne olursa olsun T artmıştır.

3.1.3. Fren Gücü (FG)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre bütanol hariç diğer alkollerin; kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları, buharlaşma gizli ısılarının benzininkinden yüksek olması sayesinde silindir içerisindeki yakıt-hava karışım sıcaklığının düşmesi ve volümetrik verimin artması nedeniyle FG değerini benzine kıyasla artırmıştır [33, 38, 37]. Ancak, bütanol içerikli yakıtların; enerji içeriklerinin düşük olması ve alt ısı değerinin benzininkinden düşük olması nedeniyle benzine kıyasla FG değerini azalttığı görülmüştür [29]. Ayrıca, kullanılan yakıt ne olursa olsun, motor hızı arttıkça FG artmıştır.

3.1.4. Volümetrik Verim (VV)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre bütanol hariç diğer alkollerin; kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları ve buharlaşma gizli ısılarının benzininkinden yüksek olması sayesinde silindir içerisine alınan yakıt-hava karışımının yoğunluğunun artması nedeniyle benzine kıyasla VV artmıştır [33]. Ancak, bütanol yakıtlar; doyma basıncının benzininkinden çok daha düşük olması sonucu yüksek yakıt buharlaşma prosesinin gerçekleşmesi nedeniyle VV benzininkinden daha düşük olmuştur [34]. Ayrıca, motor hızının artmasıyla, kullanılan yakıt ne olursa olsun, VV’de düşüş gerçekleşmiştir.

3.1.5. Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre alkollerin; alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması sonucu silindirde aynı miktarda enerji çıkışını elde etmek için daha fazla miktarda yakıtın tüketilmesi ihtiyacı nedeniyle benzine kıyasla ÖYT’ni artırdığı görülmüştür [37, 36]. Ayrıca, motor hızının, yükünün ve sıkıştırma oranının artmasıyla ÖYT’nin azaldığı görülmüştür.

Tablo 2. İncelenen makalelerde buji ateşlemeli motorlarda alkol içerikli yakıtların kullanılması durumunda performans parametrelerindeki değişimler

YAZAN	Kullanılan Karışımlar	Motor Özellikleri	Çalışma Parametreleri	PERFORMANS PARAMETRELERİ					Kyn.
				Termal Verim (TV)	Tork (T)	Fren Gücü (FG)	Volumetrik Verim (VV)	Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)	
Agarwal vd.	G, M10, M20	4 silindirli buji ateşlemeli motor	•1500, 2500 ve 3500 rpm •0 - 8 bar farklı fren ortalama etkin basınçları	•Her hızda fren ortalama etkin basınç↑ TV↑ •TVM20> TVM10> TVG	-	-	-	•Her hızda fren ortalama etkin basınç↑ ÖYT↓ •ÖYTM20> ÖYTM10> ÖYTG	[27]
Masum vd.	G, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1000-6000 rpm	•TVE15>TVG •5000 rpm'e kadar TV↑	•TE15>TG •4000 rpm'e kadar T↑, sonra T↓.	-	-	•ÖYTE15> ÖYTG •5000 rpm'e kadar ÖYT↓, sonra ÖYT↑.	[28]
Elfasakhany A.	G, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	2600- 3400 rpm	-	•2800 rpm'e kadar T↑, sonra T↓ •TG>TniB10> TniB7> TniB3	•Hız↑ FG↑ •FGG> FGniB10> FGniB7> FGniB3	•Hız↑ VV↓ •VVG>VVniB10> VVniB7>VVniB3	-	[29]
Najafi vd.	G, E5, E10, E15, E20	4 silindir ve 4 strokluk buji ateşlemeli motor	1000-5000 rpm	•3000 rpm'e kadar TV↑, sonra TV↓ •TVE20> TVE15> TVE10>TVE5> TVG	•3500 rpm'e kadar T↑, sonra T↓ •TE20>TE15> TE10>TE5>TG	•Hız↑ FG↑ •FGE20> FGE15> FGE10>FGE5> FGG	•VVE20>VVE15> VVE10>VVE5>V VG	•3500 rpm'e kadar ÖYT↓, sonra ÖYT↑ •ÖYTG> ÖYTE5> ÖYTE10>ÖYTE15> ÖYTE20	[30]
Koç vd.	G, E50, E85	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	1500-5000 rpm ve farklı sıkıştırma oranları	-	•10:1 ve 11:1'lik S.O'da 3000 rpm'e kadar T↑, sonra T↓. •10:1 S.O.da TE50=TE85>TG •11:1'lik S.O.da TE85>TE50>TG	-	-	•10:1 ve 11:1'lik S.O.da 3000 rpm'de ÖYT min. •10:1 ve 11:1'lik S.O.da ÖYTE85> ÖYTE50> ÖYTG	[31]

Tablo 2. (Devamı)

Yusoff vd.	E10, E20, iB10, iB20, E5iB5, E10iB10, G	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1000- 5000 rpm	<ul style="list-style-type: none"> •Hız↑ TV↑ •TVE20> TVE10iB10>TVE10>TVE5iB5>TViB20>TViB10>TVG 	<ul style="list-style-type: none"> •Hız↑ T↑ •TE20>TE10iB10>TiB20>TiB10>TE10>TE5iB5>TG 	<ul style="list-style-type: none"> • Hız↑ FG↑ •FGE20>FGiB20> FGE10iB10>FGG> FGE5iB5>FGE10> FGiB10 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Hız↑ ÖYT↓ •ÖYT_G> ÖYT_{iB20}> ÖYT_{iB10}>ÖYT_{E5iB5}>ÖYT_{E10}>ÖYT_{E20}> ÖYT_{E10iB10} 	[32]
Elfasakhany A.	G, EM3, EM7, EM10, iBE3, iBE7, iBE10, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	2600-3400 rpm	-	<ul style="list-style-type: none"> •2600 ve 3400 rpm'de TEM>TG> TiBE>TniB 	<ul style="list-style-type: none"> •2600 ve 3400 rpm'de FGEM> FGiBE> FGniB 	<ul style="list-style-type: none"> •Her iki hızda VVEM> VVG> VViBE> VVniB 	-	[33]
Elfasakhany A.	iBM3, iBM7, iBM10, nBE3, nBE7, nBE10, G	Tek silindirli buji ateşlemeli motor	2600-3400 rpm	-	<ul style="list-style-type: none"> •Tüm M yakıt karışımları için T değerleri aynıdır. •TG>TnBE10> TnBE7> TnBE3 	<ul style="list-style-type: none"> • Hız↑ FG↑ •FGG> FGiBM10> FGiBM7> FGiBM3 •FGG> FGnBE10> FGnBE7> FGnBE3 	<ul style="list-style-type: none"> • Hız↑VV↓ •VVG> VViBM3> VViBM7> VViBM10 •VVG>VVnBE 	-	[34]
Elfasakhany vd.	G, nBM3, nBM7, nBM10	Tek silindirli buji ateşlemeli motor	2600 rpm'den 3400 rpm'e kadar değişen motor hızları	-	<ul style="list-style-type: none"> • Hız↑ T↓ •TG>TnBM10>TnBM7>TnBM3 	<ul style="list-style-type: none"> • Hız↑FG↑ •FGG> FGnBM10> FGnBM7> FGnBM3 	<ul style="list-style-type: none"> • Hız↑VV↓ •VVG> VVnBM10> VVnBM7> VVnBM3 	-	[35]
Balki vd.	G, M99, E99	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	1200-4000 rpm	<ul style="list-style-type: none"> •2400 rpm'e kadar TV↑, sonra TV↓. •TVE99> TVM99> TVG 	<ul style="list-style-type: none"> •2400 rpm'e kadar T↑, sonra T↓. •TM99>TE99>TG 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> •2400 rpm'e kadar ÖYT↓, sonra ÖYT↑. •ÖYTM99> ÖYTE99> ÖYTG 	[36]
Balki vd.	G, M100, E100	Tek silindir ve 4-strokluk buji ateşlemeli motor	<ul style="list-style-type: none"> •20°C ve 26°C'lık farklı krank açıları •1600-3600 rpm •8.0 ve 9.0'lık sıkıştırma oranları 	<ul style="list-style-type: none"> •TVM100>TVE100> TVG 	-	<ul style="list-style-type: none"> •FGM100>FGE100> FGG 	-	<ul style="list-style-type: none"> •ÖYTM100> ÖYTE100>ÖYTG 	[37]

Najafi vd.	E5, E7.5, E10, E12.5, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1500-4000 rpm	-	•Maks. T değeri 3400 rpm'de. •Karışımındaki E↑ T↑	•Hız↑FG↑ •Karışımındaki E↑ FG↑	-	• Min. ÖYT değeri 3400 rpm'de, maks. ÖYT değeri 4000 rpm'de. •Karışımındaki E↑ ÖYT↓	[38]
Sivasubramanian vd.	G, iP10, iP20, iP30	4 silindirli ve 4 strok, çok noktalı yakıt enjeksiyonlu buji ateşlemeli motor	1400'den 2800 rpm'e kadar değişen farklı motor hızları	•Motor hızı arttıkça yakıtlar için TV↑ •TV _{iP30} > TV _{iP20} > TV _{iP10} >TV _G	-	-	-	-	[39]

3.2. Emisyon

Tablo 3'te ilgili makaleler incelenerek buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda egzoz emisyonlarında meydana gelen değişimler belirtilmiştir.

3.2.1. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre alkollerin; kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları sayesinde yanma verimini artırmaları, benzine nazaran kimyasal yapılarında az sayıda karbon (C) bulundurmaları ve laminer yanma hızının yüksek olması sonucu yakıt karışımının tam yanmasını sağlaması nedeniyle HC emisyon miktarında benzinin kullanılmasına kıyasla daha fazla azalma görülmüştür. Ayrıca, kaynama noktalarının düşük olması, buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması sonucu daha fazla havanın emilmesiyle tam yanmanın gerçekleşmesi nedeniyle benzine kıyasla HC emisyon miktarında daha fazla azalma görülmüştür [42, 30, 28, 41]. Ancak, Çelik vd. ve Agarwal vd. yapmış oldukları bir deneysel çalışmada; saf metanolün buharlaşma gizli ısısının benzininkinden yaklaşık 3 kat yüksek olması nedeniyle silindir sıcaklığını düşürmektedir. Bu durum, silindir duvarlarına yakın bölgelerde yanlış ateşlemeye ve/veya kısmî yanmaya sebebiyet vermesi nedeniyle metanol kullanımı HC emisyon miktarını artırmıştır [27, 44]. Bunun yanında, motor hızının artmasıyla silindir içerisine daha fazla yakıt alınacak, yakıt-hava daha iyi karışacak ve daha fazla boyutta yanmanın gerçekleşecek olması, yanmamış HC miktarında azalmaya neden olacak, böylece HC emisyon miktarı azalacaktır [39].

3.2.2. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre alkollerin; kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları sayesinde daha iyi yanmanın gerçekleşmesi ve CO'nin oluşması için oksijenin verimli bir şekilde sağlanması nedeniyle benzinin kullanılmasına nazaran daha fazla azalma görülmüştür. Ayrıca, buharlaşma gizli ısısının yüksek olması ile silindirde yanmanın yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi sonucu CO oksidasyonunun sağlanması nedeniyle CO emisyon miktarında benzine nazaran daha fazla azalmaya yol açtığı görülmüştür [42, 38]. Bunun yanında, motor hızının artmasıyla, yanma odasındaki türbülansın artması ve homojen karışımın oluşması nedeniyle CO emisyon miktarı azalmıştır [42].

3.2.3. Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre alkollerin; C/H oranının düşük olması, yüksek oksijen içeriğine sahip olması, tüm yüklerde yüksek hava/yakıt oranının oluşması sonucu daha fazla oksijenin oksidasyonu ile yanmanın daha verimli gerçekleşmesi nedeniyle benzinin kullanılmasına nazaran CO₂ emisyon miktarında artış görülmüştür. Ayrıca, yanma prosesinin artmasıyla CO oksidasyonunun daha iyi gerçekleşmesi, düşük kaynama noktaları sayesinde yakıtın tam olarak yanması nedeniyle CO₂ emisyon miktarında benzine kıyasla daha fazla artış görülmüştür [44, 32, 43, 33]. Bunun yanında, motor hızı ve sıkıştırma oranının artmasıyla yanma veriminin de artması sonucu, TV'nin yükselmesi nedeniyle CO emisyon miktarında azalma görülürken CO₂ emisyon miktarında ise artış gözlenmiştir [44].

3.2.4. Azot Oksit (NO_x) Emisyonu

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre, deneysel çalışmaların bir kısmında; alkollerin buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması sonucu karışım sıcaklığının düşmesi ve yakıtların yanması için az miktarda havaya ihtiyaç duyulması, böylece silindir duvarlarından ısı kaybının azalması nedeniyle benzinin kullanılmasına kıyasla NO_x emisyon miktarında daha fazla azalma gerçekleşmiştir. Ayrıca ısı değerlerinin düşük olması ve adyabatik alev sıcaklıklarının düşük olması nedeniyle NO_x emisyon miktarında benzine kıyasla düşüş gözlemlendiği de belirtilmiştir [44, 45, 46, 47]. Ancak, alkollerin içeriğindeki oksijen NO_x oluşması için ek oksijeni takviye eder ve bu da TV ve ÖYT'nin artmasına neden olur. Böylece, yanma odasında yakıt daha fazla miktarda yanar ve böylece azami yanma sıcaklığı ve basıncı elde edilir. Azami yanma sıcaklığı ve basıncı da NO_x emisyon miktarını artırdığı geri kalan çalışmada belirtilmiştir. Ayrıca, yüksek oktan sayısına, düşük hava/yakıt oranına sahip olması nedeniyle daha fakir yanmanın gerçekleşmesi ve NO_x üretimi için kullanılabilir oksijenin sağlanması nedeniyle NO_x emisyon miktarında benzine kıyasla artış gerçekleştiği de açıklanmıştır [39, 42, 43, 40]. Ayrıca, motor hızının ve yükünün artmasıyla, alkollerin yüksek oksijen içeriğine sahip olması sonucu silindir gaz basıncı ve sıcaklığının yüksek olması nedeniyle NO_x emisyon miktarı artmıştır [48].

Tablo 3. İncelenen makalelerde buji ateşlemeli motorlarda alkol içerikli yakıtların kullanılması durumunda egzoz emisyonlarındaki değişimler

YAZAN	Kullanılan Karışımlar	Motor Özellikleri	Çalışma Parametreleri	EMİSYON DEĞERLERİ				Kyn.
				Hidrokarbon (HC)	Karbonmonoksit (CO)	Karbondioksit (CO ₂)	Azot Oksit (NO _x)	
Sivasubramanian vd.	G, iP10, iP20, iP30	4 silindirli ve 4 stroklu, çok nok. yakıt enj. buji ateşlemeli motor	1400-2800 rpm	<ul style="list-style-type: none"> Hız↑ HC↓ HC_G>HC_{iP10}>HC_{iP20}>HC_{iP30} 	<ul style="list-style-type: none"> Hız↑ CO↓ CO_G>CO_{iP10}>CO_{iP20}>CO_{iP30} 	-	<ul style="list-style-type: none"> Hız↑ NO_x↑ NO_xiP30>NO_xiP20>NO_xiP10>NO_xG 	[39]
Sharudin vd.	G, M5, M5B5, M5B10, M5B15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1000-2500 rpm	<ul style="list-style-type: none"> Yük↑ HC↑ HC_G>HC_{M5}>HC_{M5B5}>HC_{M5B10}>HC_{M5B15} 	<ul style="list-style-type: none"> Hız↑ CO↑ CO_G>CO_{M5}>CO_{M5B5}>CO_{M5B10}>CO_{M5B15} 	<ul style="list-style-type: none"> Yük↑ CO₂↑ CO₂M5B15>CO₂M5B10>CO₂M5B5>CO₂M5>CO₂G 	<ul style="list-style-type: none"> Hız↑ NO_x↑ NO_xM5B15>NO_xM5B10>NO_xM5B5>NO_xM5>NO_xG 	[40]
Masum vd.	G, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1000-6000 rpm	<ul style="list-style-type: none"> Maks. HC miktarı 3000 rpm'de. HC_G>HC_{E15} 	<ul style="list-style-type: none"> Hız↑ CO↑ CO_G>CO_{E15} 	-	<ul style="list-style-type: none"> 5000 rpm'e kadar NO_x↑, sonra. NO_x↓ NO_xE15>NO_xG 	[28]
Najafi vd.	G, E5, E10, E15, E20	4 silindir ve 4 stroklu buji ateşlemeli motor	1000-5000 rpm	<ul style="list-style-type: none"> Hız↑ HC↓ HC_G>HC_{E5}>HC_{E10}>HC_{E15}>HC_{E20} 	<ul style="list-style-type: none"> Hız↑ CO↑ CO_G>CO_{E5}>CO_{E10}>CO_{E15}>CO_{E20} 	<ul style="list-style-type: none"> Hız↑ CO₂↓ CO₂E20>CO₂E15>CO₂E10>CO₂E5>CO₂G 	<ul style="list-style-type: none"> NO_xE20>NO_xE15>NO_xE10>NO_xE5>NO_xG 	[30]
Yusoff vd.	E10, E20, iB10, iB20, E5iB5, E10iB10, G	4 silindirli buji ateşlemeli motor	<ul style="list-style-type: none"> 1000-5000 rpm 20-100 Nm 	<ul style="list-style-type: none"> Motor hızlarına bağlı HC_G>HC_{E5iB5}>HC_{E10}>HC_{E20}>HC_{iB20}>HC_{iB10}>HC_{E10iB10} Motor torklarına bağlı HC_G>HC_{E10}>HC_{iB10}>HC_{E5iB5}>HC_{iB20}>HC_{E10iB10}>HC_{E20} 	<ul style="list-style-type: none"> Motor hızlarına bağlı CO_G>CO_{E5iB5}>CO_{iB10}>CO_{iB20}>CO_{E10}>CO_{E10iB10}>CO_{E20} Motor torklarına bağlı CO_G>CO_{iB10}>CO_{E5iB5}>CO_{E10}>CO_{iB20}>CO_{E10iB10}>CO_{E20} 	<ul style="list-style-type: none"> Motor hızlarına bağlı CO₂E10iB10>CO₂E20>CO₂iB20>CO₂iB10>CO₂E10>CO₂G>CO₂E5iB5 	<ul style="list-style-type: none"> Motor hızlarına bağlı NO_xE20>NO_xE5iB5>NO_xiB20>NO_xE10>NO_xiB10>NO_xE10iB10>NO_xG 	[32]
Elfasakhany A.	G, EM3, EM7, EM10, iBE3, iBE7, iBE10, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-stroklu buji ateşlemeli motor	2600-3400 rpm	<ul style="list-style-type: none"> 2600 rpm'de HC_G>HC_{iBE3}>HC_{niB3}>HC_{EM3}>HC_{niB7}>HC_{EM7}>HC_{iBE7}>HC_{niB10}>HC_{iBE10}>HC_{EM10} 3400 rpm'de HC_G>HC_{niB3}>HC_{iBE3}>HC_{niB7}>HC_{iBE7}>HC_{niB10}>HC_{iBE10}>HC_{EM3}>HC_{EM7}>HC_{EM10} 	<ul style="list-style-type: none"> 2600 rpm'de CO_G>CO_{niB3}>CO_{niB7}>CO_{niB10}>CO_{iBE3}>CO_{EM3}>CO_{iBE7}>CO_{iBE10}>CO_{EM7}>CO_{EM10} 3400 rpm'de CO_{niB3}>CO_{niB7}>CO_{niB10}>CO_G>CO_{iBE3}>CO_{iBE7}>CO_{EM3}>CO_{iBE10}>CO_{EM7}>CO_{EM10} 	<ul style="list-style-type: none"> 2600 ve 3400 rpm'de CO₂EM10>CO₂EM7>CO₂EM3>CO₂G>CO₂iBE10>CO₂niB10>CO₂iBE7>CO₂iBE3>CO₂niB7>CO₂niB3 	-	[33]
Elfasakhany A.	G, E3, E7, E10, M3, M7, M10, nB3, nB7, nB10,	Tek silindirli buji ateşlemeli motor	2600- 3400 rpm	<ul style="list-style-type: none"> 2600 rpm'de HC_G>HC_E>HC_M>HC_{iB}>HC_{nB} 	<ul style="list-style-type: none"> 2600 rpm'de CO_G>CO_E>CO_M>CO_{iB}>CO_{nB} 	<ul style="list-style-type: none"> 2600 rpm'de CO₂M>CO₂E>CO₂G>CO₂nB>CO₂iB 	-	[41]

	iB3, iB7, iB10			•3400 rpm'de HC _{iB} >HC _G >HC _{nB} >HC _E >HC _M	•3400 rpm'de CO _{nB} >CO _{iB} >CO _G >CO _E > CO _M •Genel olarak %10 alkol içeren karışım en düşük, %3 alkol içeren karışım en yüksek CO değerini göstermiştir.	•3400 rpm'de CO _{2M} >CO _{2E} >CO _{2G} > CO _{2iB} >CO _{2nB}		
Najafi vd.	E5, E7.5, E10, E12.5, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1500 rpm'den 4000 rpm'e kadar değişen farklı motor hızları	•Her bir yakıt için artan motor hızına bağlı olarak HC↓ •HCE ₅ >HCE _{7.5} >HCE ₁₀ >HCE _{12.5} >HCE ₁₅	•CO _{E5} >CO _{E7.5} >CO _{E10} >CO _{E12.5} >CO _{E15}	•Her bir yakıt için artan motor hızına bağlı olarak CO ₂ ↓ •CO _{2E15} >CO _{2E12.5} >CO _{2E10} >CO _{2E7.5} >CO _{2E5}	•3000 rpm'e kadar NO _x E ₁₅ >NO _x E _{12.5} >NO _x E ₁₀ >NO _x E _{7.5} >NO _x E ₅ , sonra NO _x E ₁₅ >NO _x E ₁₀ >NO _x E _{12.5} >NO _x E _{7.5} >NO _x E ₅	[38]
Mallikarjun vd.	G, M3, M5, M10, M15	4 silindir ve 4 stroklu buji ateşlemeli motor	Farklı fren güçleri (FG)	•FG↑ HC↑ •HCG>HCM ₃ >HCM ₅ >HCM ₁₀ >HCM ₁₅	•FG↑ CO↑ •COG>COM ₃ >COM ₅ >COM ₁₀ >COM ₁₅	-	•FG↑ NO _x ↓ •NO _x M ₁₅ >NO _x M ₁₀ >NO _x M ₅ >NO _x M ₃ >NO _x G	[42]
Feng vd.	G, B35	Tek silindir ve 4-stroklu buji ateşlemeli motor	•Tam yükte 3500-9000 rpm' •Kısmi yükte 6500-8500 rpm	•Min. HC 7500 rpm'de •HCG>HCB ₃₅	•Hız↑ CO↓ •COG>COB ₃₅	•Yük↑ CO ₂ ↑ •CO _{2B35} >CO _{2G}	•Maks. NO _x miktarı 7500 rpm'de görülmüştür. •NO _x B ₃₅ >NO _x G	[43]
Çelik vd.	G, M100	Tek silindir ve 4-stroklu buji ateşlemeli motor	•1500-3500 rpm •6:1, 8:1 ve 10:1'lik farklı sıkıştırma oranları	•Hız↑ HC↓ •S.O.↑ metanollü yakıtlara ait HC↑ •6:1'lik sıkıştırma oranında HCM ₁₀₀ >HCG	•Hız↑ CO↓ •S.O.↑ metanollü yakıtlara ait CO↓ •6:1'lik sıkıştırma oranında COG>COM ₁₀₀	•Hız↑ CO ₂ ↑ •S.O.↑ metanollü yakıtlara ait CO ₂ ↑ •6:1'lik sıkıştırma oranında CO _{2G} >CO _{2M100}	•Tüm yakıtlara ait maks. NO _x miktarı 2500 rpm'de. •S.O.↑ metanollü yakıtlara ait NO _x ↑ •6:1'lik sıkıştırma oranında NO _x G>NO _x M ₁₀₀	[44]
Doğan vd.	G, E10, E20, E30	4 silindir, 4 strok buji ateşlemeli motor	2000-4500 rpm	•Hız↑ HC↓ •HCE ₃₀ >HCE ₂₀ >HCE ₁₀ >EG	•Hız↑ CO↑ •COG>COE ₁₀ >COE ₂₀ >COE ₃₀	•CO _{2G} >CO _{2E10} >CO _{2E20} >CO _{2E30}	•NO _x G>NO _x E ₁₀ >NO _x E ₂₀ >NO _x E ₃₀	[45]
Akansu ve ark.	G, E20	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1500 rpm'de ve 2500 rpm'de %0-100 motor yükleri	•Yük↑ HC↓ •1500 rpm'de %25'lik yüke kadar HCE ₂₀ >HCG, daha sonra HCG>HCE ₂₀ •2500 rpm'de %85'lik yüke kadar HCE ₂₀ >HCG, daha sonra HCG>HCE ₂₀	•Düşük motor yüklerinde COE ₂₀ >COG •Yüksek motor yüklerinde COE ₂₀ ↓	•Yük↑ CO ₂ ↑ •1500 rpm'de %50'lik motor yüküne kadar CO _{2G} >CO _{2E20} , daha sonra CO _{2E20} >CO _{2G} •2500 rpm'de CO _{2G} >CO _{2E20}	•Yük↑ NO _x ↑ •Her iki hızda da NO _x G>NO _x E ₂₀	[46]

Hasan vd.	G, E10, E20	Tek silindir ve 4-strok buji ateşlemeli motor	1:4, 1:5.5, 1:7, 1:8.5, 1:10'luk farklı sıkıştırma oranları (S.O.)	<ul style="list-style-type: none"> S.O.↑ HC↓ HCG>HCE10> HCE20 	<ul style="list-style-type: none"> 1:7'lik S.O.'ya kadar CO↓, sonra artmıştır 1:7'lik S.O.'ya kadar COG>COE20> COE10, 1:7'lik S.O.'dan sonra COE20>COE10> COG 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂G>CO₂E10> CO₂E20 	<ul style="list-style-type: none"> S.O.↑ yakıtlara ait NO_x↓ NO_xG>NO_xE10> NO_xE20 	[47]
Çanakçı vd.	G, M5, M10, E5, E10	4 stroklu buji ateşlemeli motor	<ul style="list-style-type: none"> 5-10-15 ve 20 kW 80-100 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> Güç↑ HC↓ 80 km/h'de HCG>HCE5> HCM10>HCE10> HCM5 HCG>HCM5>HCE5>HC E10≈ HCM10 	<ul style="list-style-type: none"> 80 km/h'de Güç↑ CO↑ ve COG>COM10> COM5>COE10> COE5 100 km/h'de güç↑ COM10,E5↓, COG,M5,E10↑ ve COM10>COE5> COG>COE10> COM5 	<ul style="list-style-type: none"> Güç↑ CO₂↓(az miktarda) 80 km/h'de CO₂G>CO₂M10>CO₂E10 > CO₂E5> CO₂M5 100 km/h'de 10 kW güce kadar CO₂G>CO₂M10> CO₂E10>CO₂E5> CO₂M5 10 kW'tan sonra CO₂M10>CO₂G>CO₂E5> CO₂E10> CO₂M5 	<ul style="list-style-type: none"> Güç↑ NO_x↑ 80 km/h'te NO_xG> NO_xM10> NO_xM5> NO_xE5> NO_xE10 100 km/h'te NO_xM10> NO_xM5> NO_xG>NO_xE5> NO_xE10 	[48]
Agarwal vd.	G, M10, M20	4 silindirli buji ateşlemeli motor	<ul style="list-style-type: none"> 1500 rpm, 2500 rpm ve 3500 rpm 0-8 bar farklı fren ortalama etkin basınçları 	<ul style="list-style-type: none"> Düşük fren ortalama etkin basınçlarda HC oranı yüksektir ve yük↑ HC↓ Tüm motor koşullarında M yakıtlar için HC oranı benzininkinden yüksektir. 	<ul style="list-style-type: none"> Yük↑ CO↓ Düşük motor hızlarında, yük↑ CO↓ Yüksek motor yüklerinde CO↑ Aynı motor hızında M yakıtlar için CO oranı benzininkinden düşüktür. 	-	<ul style="list-style-type: none"> Yük↑ NO↑. Çok yüksek motor yüklerinde NO↓ M yakıtlar için NO oranının benzininkinden düşüktür. 	[27]

3.3. Yanma Karakteristikleri

Tablo 4'de ilgili makaleler incelenerek buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanılması durumunda yanma karakteristiklerinde meydana gelen değişimler belirtilmiştir.

3.3.1. Silindir Gaz Basıncı (SGB)

Deneyleri gerçekleştiren araştırmacılara göre, deneysel çalışmaların bir kısmında; alkollerin oksijen içeriğine ve oktan sayısına sahip olması, yüksek laminer alev hızına sahip olması sonucu yanmanın kısa sürede gerçekleşmesi ve silindir duvarlarından ısı kaybının azalması nedeniyle benzinin kullanılmasına kıyasla SGB değeri artmıştır. Ayrıca, buharlaşma gizli ısılarının benzininkinden yüksek olması sonucu volümetrik ve termal verimlerinin yüksek olması nedeniyle alkol yakıtların kullanılmasıyla elde edilen SGB değeri benzininkinden yüksektir [27, 39, 36]. Deneysel çalışmaların geri kalan kısmında ise; alkol yakıtların silindir içerisindeki sıcaklığı düşürmesi, alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması ve benzinin yanma sürecinin daha uzun olması nedeniyle bu yakıtların kullanılmasıyla SGB değeri düşmüştür [49, 35, 50]. Ayrıca, motor hızının ve gücünün artmasıyla silindir içerisinde daha fazla yakıtın enjekte edilmesi ve yüksek volümetrik verimin elde edilmesi nedeniyle SGB artmıştır [50]. Buna ek olarak, sıkıştırma oranının artmasıyla yanma çevriminin sonunda pistonun üst ölü noktaya ulaşması nedeniyle SGB artmıştır [51].

3.3.2. Isı Salınım Hızı (ISH)

Deneysel çalışmaların bir kısmında; alkollerin yüksek oranda oksijen içeriğine sahip olması ve buharlaşma gizli ısısının yüksek olması nedeniyle ISH benzininkinden yüksektir [39]. Deneysel çalışmalarının diğer kısmında ise; benzinin farklı kaynama noktalarıyla çok sayıda hidrokarbon içermesi ve alkollerin alt ısı değerlerinin benzininkinden düşük olması nedeniyle benzinin kullanılmasıyla daha yüksek ISH elde edilmiştir [27, 52].

3.3.3. Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS)

Deneysel çalışmaları gösteren araştırmacılara göre alkollerin; yüksek oktan sayısına sahip olması sonucu daha fazla yanma ısısının kullanılmasına yardımcı olan silindir içindeki yanmanın daha erken gerçekleştirilmesi nedeniyle EGS düşmüştür [53]. Ayrıca, kimyasal yapılarında oksijen bulundurmaları, alt ısı değerlerinin düşük olması, buharlaşma gizli ısılarının yüksek olması sonucu buharlaşma ile silindir içindeki sıcaklığın yüksek oranda düşmesi nedeniyle EGS benzine kıyasla düşmüştür [29, 28, 27]. Ayrıca, yüksek motor hızlarında daha fazla miktarda yakıtın yanması nedeniyle motor hızı arttıkça EGS artmıştır [28].

Tablo 4. İncelenen makalelerde buji ateşlemeli motorlarda alkol içerikli yakıtların kullanılması durumunda yanma karakteristiklerindeki değişimler

YAZAN	Kullanılan Karışımlar	Motor Özellikleri	Çalışma Parametreleri	YANMA KARAKTERİSTİKLERİ			Kaynak
				Silindir Gaz Basıncı (SGB)	Isı Salınım Hızı (ISH)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS)	
Sivasubramanian vd.	G, iP10, iP20, iP30	4 silindirli ve 4 strok, çok nokt. yakıt enj. buji ateşlemeli motor	1400-2800 rpm	<ul style="list-style-type: none"> Her bir yakıt için maks. SGB 10°lik krank açısında SGB_{iP30}>SGB_{iP20}>SGB_{iP10}>SGBG 	<ul style="list-style-type: none"> Her bir yakıt için maks. ISH, 5°lik krank açısında ISH_{iP30}>ISH_{iP20}>ISH_{iP10}> ISHG 	-	[39]
Agarwal vd.	G, M10, M20	4 silindirli buji ateşlemeli motor	<ul style="list-style-type: none"> 1500, 2500 ve 3500 rpm 0-8 bar fren ortalama etkin basınçları 	<ul style="list-style-type: none"> Hız ve yük↑ SGB↑ 1500 rpm'de maks. SGB 0°lik krank açısında, 2500 ve 3500 rpm'de maks. SGB 10°lik krank 	<ul style="list-style-type: none"> Hız ve yük↑ ISH↑ Maks. ISH 65°lik krank açısında 1500 rpm'de yüksüz durumda ve 	<ul style="list-style-type: none"> Hız ve yük↑ EGS↑ 1500 rpm'de EGS_G>EG 	[27]

				açısında görülmüştür. •Tüm motor hızlarında SGBM10;20> SGBG	16°de 3500 rpm'de 60 Nm yükte görülmüştür. •ISHG> ISHM10;20	SM10≈ EGSM20 •2500 ve 3500 rpm'de EGSG>EG SM10> EGSM20	
--	--	--	--	--	--	---	--

Tablo 4 (Devamı)

Masum vd.	G, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1000-6000 rpm	-	-	•Hız↑ EGS↑ •EGSG>EGSE15	[28]
Elfasak hany A.	G, niB3, niB7, niB10	Tek silindir ve 4-stroklı buji ateşlemeli motor	2600-3400 rpm	•Her bir yakıt için maks. SGB 390°lik krank açısında ve SGBG>SGBniB10>SGBniB3>SGBniB7	-	•Hız↑ EGS↑ •EGSG> EGSniB10> EGSniB7> EGSniB3	[29]
Elfasak hany vd.	G, nBM3, nBM7, nBM10	Tek silindirli buji ateşlemeli motor	2600- 3400 rpm	•Maks. SGB 390°lik krank açısında ve bu noktada SGBG> SGBnBM10>SG BnBM7>SGBnB M3	-	•Hız↑ EGS↑ •EGSG> EGSnBM10> EGSnBM7> EGSnBM3	[35]
Balki vd.	G, M99, E99	Tek silindir ve 4-stroklı buji ateşlemeli motor	1200- 4000 rpm	• Hız↑ SGB↓ •Maks. SGB 380°-390°lik krank açılarında. •1600 rpm'de SGBG≈SGBM99> SGBE99 •2400 rpm'de SGBM99> SGBE99> SGBG •3600 rpm'de SGBE99> SGBM99> SGBG	-	-	[36]
Elfasak hany A.	G, iBE3, iBE7, iBE10	Tek silindir ve 4-stroklı buji ateşlemeli motor	2600-3400 rpm	•Her bir yakıt için maks. SGB 390°lik krank açısında ve SGBG>SGBiBE10>SGBiBE7> SGBiBE3	-	•Hız↑ EGS↑ •EGSG> EGSiBE10> EGSiBE7> EGSiBE3	[49]

Eyidoğ an vd.	G, M5, M10, E5, E10,	4 silindir ve 4 stroklu buji ateşlemeli motor	80-100 km/h ve 5, 10, 15 ve 20 kW	<ul style="list-style-type: none"> Hız ve yük↑ SGB↑ •80 km/h'de 10-15 ve 20 kW'da SGBG>SGBM,E •100 km/h'de 5 ve 20 kW'da SGBG>SGBM,E 	<ul style="list-style-type: none"> •Tüm hız ve yüklerde ISHM,E>ISHG 	<ul style="list-style-type: none"> •Hız ve yük↑ EGS↑ •80 km/h'de EGSg>EGSE5>EGSM10>EGSM5 •100 km/h'de EGSg>EGSE5>EGSM10>EGSE10>EGSM5 	[50]
Balki vd.	G, M99, E99	Tek silindir ve 4-stroklu buji ateşlemeli motor	8.0:1, 8.5:1, 9.0:1 ve 9.5:1'lik sıkıştırma oranları	<ul style="list-style-type: none"> •S.O.↑ SGB↑ •Maks. SGB 15°lik krank açısında görülmüştür. •SGBM99>SGBE99>SGBG 	<ul style="list-style-type: none"> •9.5:1'lik S.O.'ya kadar her bir yakıt için ISH↑, 9.5:1'de ISH düzensizdir. •9.0:1'de ISHG>ISHM99>ISHE99 	-	[51]
Liu vd.	G, B30, B35	Tek silindir ve 4-stroklu buji ateşlemeli motor	3000- 8500 rpm	<ul style="list-style-type: none"> •3000 rpm'de SGBG≈SGBB30>SGBB35 •4500 rpm'de SGBG>SGBB30>SGBB35 •6500 ve 8500 rpm'de SGBG>SGBB35>SGBB30 	<ul style="list-style-type: none"> •3000 rpm'de ISHG≈ISHB30>ISHB35 •4500 ve 6500 rpm'de ISHG>ISHB30>ISHB35 •8500 rpm'de ISHG≈ISHB35>ISHB30 	-	[52]
Masum vd.	G, E15	4 silindirli buji ateşlemeli motor	1000-6000 rpm	-	-	<ul style="list-style-type: none"> •Hız↑ EGS↑ •EGSG>EGSE15 	[53]

4. Tartışma ve Sonuç

Buji ateşlemeli motorlarda alkollü yakıtların kullanılması durumunda performans parametrelerinde ne gibi değişimler gözlediği üzerine yapılmış makaleler incelenerek genel olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Alkollerin gerek saf halde, gerekse belirli oranlarda benzinle karıştırılması durumunda TV değerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca, motor hızı ve yükü arttıkça da kullanılan yakıt ne olursa olsun TV değeri artmıştır.
- Bütanol hariç diğer alkollerin kullanılması T değerini artırmıştır. Ayrıca, motor hızı ve yükü arttıkça belirli bir hız ve yük değerine kadar T artarken, sonra azalmıştır. Sıkıştırma oranı arttıkça da kullanılan yakıt ne olursa olsun T artmıştır.
- Bütanol hariç diğer alkollerin kullanılması FG değerini artırmıştır. Ayrıca, kullanılan yakıt ne olursa olsun, motor hızı arttıkça FG artmıştır.
- Bütanol hariç diğer alkollerin kullanılması VV değerini artırmıştır. Ayrıca, motor hızının artmasıyla, kullanılan yakıt ne olursa olsun, VV'de düşüş gerçekleşmiştir.
- Sadece benzinin kullanılmasıyla en düşük ÖYT elde edilir. Ayrıca, motor hızının, yükünün ve sıkıştırma oranının artmasıyla ÖYT'nin azaldığı görülmüştür.

Buji ateşlemeli motorlarda alkollü yakıtların kullanılması durumunda emisyon değerlerinde ne gibi değişimler gözlediği üzerine yapılmış makaleler incelenerek genel olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Alkollerin gerek saf halde, gerekse belirli oranlarda benzinle karıştırılması durumunda HC emisyonunun azaldığı görülmektedir. Ayrıca, motor hızının artmasıyla HC emisyon miktarı azalmaktadır.
- Alkol kullanımının genel olarak CO emisyon miktarında benzine nazaran daha fazla azalmaya yol açtığı sonucuna varılabilir. Ayrıca, motor hızının artmasıyla CO emisyon miktarı azalmıştır.
- Alkollerin kullanılması genel olarak CO₂ emisyon miktarını benzine kıyasla artırmaktadır. Ayrıca, motor hızı ve sıkıştırma oranının artmasıyla CO₂ emisyon miktarı da artmaktadır.
- Deneysel çalışmaların bir kısmında alkollerin kullanılması NO_x emisyon miktarını artırırken, diğer çalışmalarda ise NO_x emisyon miktarının azaldığı görülmektedir. Ayrıca, motor hızının ve yükünün artmasıyla NO_x emisyon miktarı artmıştır.

Buji ateşlemeli motorlarda alkollü yakıtların kullanılması durumunda yanma karakteristiklerinde ne gibi değişimler gözlemediği üzerine yapılmış makaleler incelenerek genel olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Deneysel çalışmaların bir kısmında alkollerin kullanılması ile SGB değeri artarken, diğer çalışmalarda ise SGB değerinin azaldığı görülmektedir. Buna ek olarak, sıkıştırma oranının artmasıyla SGB artmıştır.
- Deneysel çalışmaların bir kısmında alkollerin kullanılması ile ISH değeri artarken, diğer çalışmalarda ise ISH değerinin azaldığı görülmektedir.
- Alkollerin gerek saf halde, gerekse belirli oranlarda benzinle karıştırılması durumunda EGS değerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca, motor hızı arttıkça EGS artmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde emeği geçen herkese, özellikle tez çalışmamın her bir aşamasında zamanını ayıran ve hiçbir yardımını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Cenk SAYIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

- [1] Kelen, F. 2014. Motorlu Taşıtların Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2014), 81-82.
- [2] Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C. 1995. İçten Yanmalı Motorlar. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [3] Awad, O.I., Mamat, R., Noor, M.M., Ibrahim, T.K., Yusri, I.M., Yusop, A.F. 2018. The Impacts of Compression Ratio on the Performance and Emissions Of Ice Powered by Oxygenated Fuels: A Review. Journal of the Energy Institute, 91(2018), 19-32.
- [4] Chansauria, P., Mandloi, R.K. 2018. Effects of Ethanol Blends on Performance of Spark Ignition Engine-A Review. Materials Today: Proceedings, 5(2018), 4066-4077.
- [5] Thakur, A.K., Kaviti, A.K., Mehra, R., Mer, K.S. 2017. Performance Analysis of Ethanol-Gasoline Blends on a Spark Ignition Engine: A Review. Biofuels, 8(2017), 91-112.
- [6] Yusri, I.M., Mamat, R., Najafi, G., Razman, A., Awad, O.I., Azmi, W.H., Ishak, W.F.W., Shaiful, A.I.M. 2017. Alcohol Based Automotive Fuels From First Four Alcohol Family in Compression and Spark Ignition Engine: A Review On Engine Performance and Exhaust Emissions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 77(2017), 169-181.
- [7] Yusoff, M.N.A.M., Zulkifli, N.W.M., Masum, B.M., Masjuki, H.H. 2015. Feasibility of Bioethanol and Biobutanol as Transportation Fuel in Spark-Ignition Engine: A Review. RSC Advances, 5(2015), 100184-100211.
- [8] Öğüt, H., Kuş, R. 1999. Motorlu Taşıtlarda Alternatif Yakıt Kullanımı. II. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi, (1999), 149-161.
- [9] Vancoillie, J., Verhelst, S. 2010. Modeling the Combustion of Light Alcohols in SI Engines: A Preliminary Study. FISITA 2010 World Automotive Congress, (2010), 1-12.

- [10] Taymaz, İ., Benli M. 2009. Metanolün Taşıtlarda Enerji Kaynağı Olarak Farklı Kullanım Yöntemlerinin İncelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 50(2009), 20-26.
- [11] Şenbahçe, A., Temür, M., Sayın, C. 2014. Alkol Yakıtların Buji Ateşlemeli Motorlarda Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, (2014), 20-29.
- [12] Bielaczyc, P., Woodburn, J., Gandyk, M., Szcotka, A. 2016. Ethanol as an Automotive Fuel – A Review, *Combustion Engines*, 3(2016), 39-45.
- [13] Çelik, M. B., Çolak, A. 2008. Buji Ateşlemeli Bir Motorda Alternatif Yakıt Olarak Saf Etanolün Kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(2008), 619-626.
- [14] Kumar, B.R., Saravanan, S. 2016 Use of Higher Alcohol Biofuels in Diesel Engines: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60(2016), 84-115.
- [15] Liu, H., Wang, G., Zhang, J. 2013. The Promising Fuel – Biobutanol. *InTech Open Science*.
- [16] Kimya Teknolojisi – Alkoller ve Eterler, 2012. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Alkoller%20Ve%20Eterler.pdf (Erişim Tarihi: 05.12.2018).
- [17] Geng, P., Cao, E., Tan, Q., Wei, L. 2017. Effects of Alternative Fuels on the Combustion Characteristics and Emission Products from Diesel Engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71(2017), 523-534.
- [18] Trindade, W.R.S., Santos, R.G. 2017. Review on the Characteristics of Butanol. Its Production and Use as Fuel In Internal Combustion Engines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(2017), 642-651.
- [19] Li, Y., Meng, L., Nithyanandan, K., Lee, T.H., Lin, Y., Lee, C.F., Liao, S. 2016. Combustion, Performance and Emissions Characteristics of a Spark-Ignition Engine Fueled with Isopropanol-n-Butanol-Ethanol And Gasoline Blends. *Fuel* 184(2016), 864–872.
- [20] Lapuerta, M., Garcí'a-Contreras, R., Campos-Fernandez, J., Dorado, M.P. 2010. Stability, Lubricity, Viscosity, and Cold-Flow Properties of Alcohol-Diesel Blends. *Energy Fuels*, 24(2010), 4497-4502.
- [21] Heywood, J.B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Inc.
- [22] Kelen, F. 2014. Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences*, 19 (2014), 80-87.
- [23] Ülger, M. 2010. İstanbul Trafikindeki Ticari Taksilerin Emisyon Açısından Olumsuz Etkileri. (2010).
- [24] Altıntaş, H. 2013. Türkiye’de Birincil Enerji Tüketimi, Karbondioksit Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Eşbütünleşme ve Nedensellik Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi* 8(2013), 263-294.
- [25] Soruşbay, C. Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Karbondioksit Emisyonlarının Çevreye Etkisi ve Kontrolü. *Mühendis ve Makine*, 48 (564), 22-26.
- [26] İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S., Aydın, H. 2009. Dizel Motorlarında Azot Oksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), (2009).
- [27] Agarwal, A.K., Karare, H., Dhar, A. 2014. Combustion, Performance, Emissions and Particulate Characterization of a Methanol-Gasoline Blend (Gasohol) Fuelled Medium Duty Spark Ignition Transportation Engine. *Fuel Processing Technology*, 121(2014), 16–24.
- [28] Masum, B.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A. Palash, S.M., Habibullah, M. 2015. Effect of Alcohol-Gasoline Blends Optimization on Fuel Properties, Performance and Emissions of a SI Engine. *Journal of Cleaner Production*, 86(2015), 230-237.
- [29] Elfasakhany, A. 2016. Experimental Study of Dual n-Butanol and iso-Butanol Additives on Spark-Ignition Engine Performance and Emissions. *Fuel*, 163(2016), 166–174.
- [30] Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Buttsworth, D.R., Yusaf, T.F., Faizollahnejad, M. 2009. Performance and Exhaust Emissions of a Gasoline Engine with Ethanol Blended Gasoline Fuels Using Artificial Neural Network. *Applied Energy*, 86(2009), 630–639.

- [31] Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., Yücesu, H.S. 2009. The Effects of Ethanol–Unleaded Gasoline Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark-Ignition Engine. *Renewable Energy*, 34(2009), 2101–2106.
- [32] Yusoff, M.N.A.M., Zulkifli, N.W.M., Masjuki, M.H., Harith, M.H., Syahir, A.Z., Khuong, L.S., Zaharin, M.S.M., Alabdulkarem, A. 2018. Comparative Assessment of Ethanol and Isobutanol Addition in Gasoline on Engine Performance and Exhaust Emissions. *Journal of Cleaner Production*, 190(2018), 483-495.
- [33] Elfasakhany, A. 2016. Performance and Emissions of Spark-Ignition Engine Using Ethanol–Methanol–Gasoline, n-Butanol–iso-Butanol–Gasoline and iso-Butanol–Ethanol–Gasoline Blends: A Comparative Study. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(2016), 2053–2059.
- [34] Elfasakhany, A., 2018. Exhaust Emissions and Performance of Ternary iso-Butanol, Biomethanol, Gasoline and n-Butanol, Bio-Ethanol, Gasoline Fuel Blends in Spark-Ignition Engines: Assessment and Comparison. *Energy*, 158(2018), 830-844.
- [35] Elfasakhany, A., Mahrous, A. 2016. Performance and Emissions Assessment of n-Butanol–Methanol–Gasoline Blends as a Fuel in Spark-Ignition Engines, *Alexandria Engineering Journal*, 55(2016), 3015–3024.
- [36] Balki, M.K., Sayın, C., Çanakçı, M. 2014. The Effect of Different Alcohol Fuels on the Performance, Emission and Combustion Characteristics of a Gasoline Engine. *Fuel*, 115(2014), 901–906.
- [37] Balki, M.K., Sayın, C., Sarıkaya, M. 2016. Optimization of the Operating Parameters Based on Taguchi Method in sn SI Engine Used Pure Gasoline, Ethanol And Methanol. *Fuel*, 180(2016), 630–637.
- [38] Najafi, G., Ghobadian, B., Yusaf, T., Ardebili, S.M.S., Mamat, R. 2015. Optimization of Performance and Exhaust Emission Parameters of a SI (Spark Ignition) Engine with Gasoline-Ethanol Blended Fuels Using Response Surface Methodology. *Energy*, 90(2015), 1815-1829.
- [39] Sivasubramanian, H., Pochareddy, Y.K., Dhamodaran, G., Esakkimuthu, G.S. 2017. Performance, Emission and Combustion Characteristics of a Branched Higher Mass, C3 Alcohol (Isopropanol) Blends Fuelled Medium Duty MPFI SI Engine. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(2017), 528–535.
- [40] Sharudin, H., Abdullah, N.R., Najafi, G., Mamat, R., Masjuki, H.H. 2017. Investigation of the Effects of Iso-Butanol Additives on Spark Ignition Engine Fuelled with Methanol-Gasoline Blends. *Applied Thermal Engineering*, 114(2017), 593–600.
- [41] Elfasakhany, A. 2017. Investigations on Performance and Pollutant Emissions of Spark-Ignition Engines Fueled with n-Butanol–, Isobutanol–, Ethanol–, Methanol–, And Acetone–Gasoline Blends: A Comparative Study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71(2017), 404–413.
- [42] Mallikarjun, M.V., Mamilla, V.R. 2009. Experimental Study of Exhaust Emissions & Performance Analysis of Multi Cylinder S.I.Engine When Methanol Used as an Additive. *International Journal of Electronic Engineering Research*, 1(2009), 201–212.
- [43] Feng, R., Yang, J., Zhang, D., Deng, B., Fu, J., Liu, J., Liu, X. 2013. Experimental Study on SI Engine Fuelled with Butanol–Gasoline Blend and H2O Addition. *Energy Conversion and Management*, 74(2013), 192–200.
- [44] Çelik, B., Özdalyan, B., Alkan, F. 2011. The Use of Pure Methanol as Fuel at High Compression Ratio in a Single Cylinder Gasoline Engine. *Fuel*, 90(2011), 1591–1598.
- [45] Doğan, B., Erol, D., Yaman, H., Kodanlı, E. 2017. The Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Performance and Exhaust Emissions of a Spark Ignition Engine Through Exergy Analysis. *Applied Thermal Engineering*, 120(2017), 433–443.
- [46] Akansu, S.O., Tangöz, S., Kahraman, N., İlhak, M.İ., Açıkgöz, S. 2017. Experimental Study of Gasoline-Ethanol-Hydrogen Blends Combustion in an SI Engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(2017), 25781-25790.
- [47] Hasan, A.O., Al-Rawashdeh, H., Al-Muhtaseb, A.H., Abu-jrai, A., Ahmad, R., Zeaiter, J. 2018. Impact of Changing Combustion Chamber Geometry on Emissions, and Combustion Characteristics of a

- Single Cylinder SI (Spark Ignition) Engine Fueled with Ethanol/Gasoline Blends. *Fuel*, 231(2018), 197–203.
- [48] Canakci, M., Ozsezen, A.N., Alptekin, E., Eyidogan, M. 2013. Impact of Alcohol-Gasoline Fuel Blends on the Exhaust Emission of an SI Engine. *Renewable Energy*, 52(2013), 111-117.
- [49] Elfasakhany, A. 2016. Engine Performance Evaluation and Pollutant Emissions Analysis Using Ternary Bio-Ethanol-Iso-Butanol-Gasoline Blends in Gasoline Engines. *Journal of Cleaner Production*, 139(2016), 1057-1067.
- [50] Eyidoğan, M., Ozsezen, A.N., Canakci, M., Turkcan, A. 2010. Impact of Alcohol-Gasoline Fuel Blends on the Performance and Combustion Characteristics of an SI Engine, *Fuel*, 89(2010), 2713–2720.
- [51] Balki, M.K., Sayın, C. 2014. The Effect of Compression Ratio on the Performance, Emissions And Combustion of An SI (Spark Ignition) Engine Fueled with Pure Ethanol, Methanol and Unleaded Gasoline. *Energy*, 71(2014), 194-201.
- [52] Liu, K., Li, Y., Yang, J., Deng, B., Feng, R., Huang, Y. 2018. Comprehensive Study of Key Operating Parameters on Combustion Characteristics of Butanol-Gasoline Blends in a High Speed SI Engine. *Applied Energy*, 212(2018), 13-32.
- [53] Masum, B.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A. Palash, S.M., Habibullah, M. 2015. Effect of Alcohol-Gasoline Blends Optimization on Fuel Properties, Performance and Emissions of a SI Engine. *Journal of Cleaner Production*, 86(2015), 230-237.