

# BİYOALKOLLERİN İÇTEN YANMALI MOTORLARDA MOTOR PERFORMANSI ve EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ ÜZERİNE BİR DERLEME

İbrahim MUTLU<sup>1</sup>

Muhammed ARSLAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, [ibrahimmutlu@aku.edu.tr](mailto:ibrahimmutlu@aku.edu.tr), 03000, Merkez AFYON

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Çay Meslek Yüksekokulu, Motorlu Taşıtlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Otomotiv Teknolojisi Programı, 03700, AFYON

Sorumlu Yazar<sup>2</sup>:[arslanmuhammed10@gmail.com](mailto:arslanmuhammed10@gmail.com)

## ÖZET

Dünya’da sanayileşmenin ve enerji talebinin artması ile petrol kökenli yakıtlara olan talepte ciddi bir artış olmuştur. Petrol kökenli yakıtlar, sınırlı rezervlere sahip olup dünya üzerinde düzensiz bir şekilde yataklanmıştır. Bu durum, petrol kökenli yakıt rezervine sahip olmayan ülkeleri petrol ithalatı yapmaya zorlamıştır. Bu yüzden, ülkeler enerji talebini karşılamak için alternatif enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Alternatif enerji kaynağı olarak birçok yakıt olsa da, hiçbir yakıt tek başına bir yakıttan beklentileri karşılamada yeterli değildir. Ancak bir yakıt için düşük sıcaklıkta oksitlenme ve işlenebilme konusunda tatmin edici performans sağlanabilir. Oksitlenebilir ve biyo kökenli olduğu için biyoalkoller ilgi çekici bir yakıttır ve içten yanmalı motorlarda emisyonları azaltma potansiyeline sahiptir. Ayrıca yanma sonucunda hemen hemen hiç kurum oluşturmamaktadır. Bu derleme çalışmasında içten yanmalı motorlarda biyoalkol kullanımı ile motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişim incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Enerji, biyoalkol, motor performansı, egzoz emisyon, yanma

## A REVIEW FOR EFFECT OF BIOALCOHOLS ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

### ABSTRACT

There is an increase in the demand for petroleum-based fuels with increase of industrialization and energy demand in the world. Petroleum-based fuels are limited reserves and are distributed irregularly throughout the world. This has forced countries, which don't have oil-based fuel reserves, to import oil and thus encounter energy / foreign exchange problems. So, countries have turned to alternative energy sources to supply energy demand. Although there are many fuels as an alternative energy source, no fuel is alone sufficient to supply expectations from a fuel. However, satisfactory performance can be achieved for oxidation and processing at low temperature for a fuel. Because of oxidizable and being bio-based, bio alcohols are an interesting fuel and have the potential to reduce emissions in internal combustion engines. Also, no soot almost is formed as a result of burning. In this review study, when using of bioalcohol in internal combustion engines, variations of engine performance and exhaust emissions have been investigated.

**Keywords:**Energy, bioalcohol, engine performance, exhaust emission, burning

## 1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı, çevresel sorunlardan birisi olup, günden güne daha önemli bir hal almaktadır. Benzin ve dizel gibi petrol kökenli yakıtlar, dünya'nın birincil enerji ihtiyacının yarısından fazlasını karşılamaktadır. Petrol kökenli yakıtların rezervlerinin az olması [1-3], fiyatlarının yüksek olması [1,4] ve çevreye zarar vermesi [5-8], bu yakıtlar için birer dezavantajdır. Bahsedilen bu sorunlara alternatif enerji kaynakları ile bir çözüm yolu bulunmuştur. İçten yanmalı motorlarda petrol kökenli yakıtların yerini alabilecek en uygun alternatif enerji kaynağı biyoyakıtlardır (biyodizel ve biyoalkol). Biyoalkoller, biyokütle ve biyo enerji bitkilerinden üretilen biyoyakıtların en önemlilerinden biridir [9,10].

Alkoller genellikle bünyesinde şeker ve nişasta bulunan ürünlerden elde edilmektedir. Hammadde saf maya ile fermente edilir ve damıtma ile yan ürünler alkolden uzaklaştırılarak (rektifikasyon ve dehidrasyon) alkol yalnız bırakılır [2]. Alkollerin içten yanmalı motorlarda kullanımının yaklaşık 100 yıllık bir tarihi vardır. Özellikle alkollerin hafif otomobillerde kullanımı yeni değildir; ancak dünya çapında ilgi çekmeye geç başlamıştır. İçten yanmalı motorlarda etanol, bütanol, metanol, fuzel yağı ve eter gibi alkoller yakıt olarak kullanılmaktadır [1].

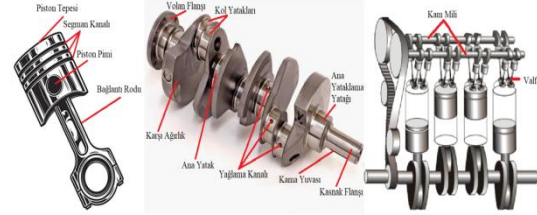
Biyometanol veya etanol yakıtı, biyokütle'den elde edilen yakıtların en önemlilerinden birisidir ve kimyasal formülü  $C_2H_5OH$ 'dir. Yenilenebilir olması, düşük buhar basıncı, yüksek oktan sayısı ve buharlaşma ısısından dolayı araştırmacılar tarafından benzene alternatif bir yakıt olarak görülmektedir. Ayrıca kolayca karışabilir ve daha temiz bir emisyon için benzin yakıtının oksijenli kısmı olarak kullanılabilir [10]. İlk olarak 1930'larda ABD'de etanolün içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımı fikri ortaya atılmış, yaygın olarak kullanımı 1970'lerde başlamıştır [11]. Ayrıca 1930'larda Brezilya hükümeti % 5 biyometanol ile karıştırılmış benzin yakıtının kullanımını desteklemiştir; 1970'lerde ki petrol krizinden sonra petrol bağımlılığını azaltmak amacıyla Ulusal Alkol Programı'nı kurmuştur [12]. Metanol 1930'larda motor performansını artırmak amacıyla yakıt olarak kullanılmıştır.  $CH_3OH$  kimyasal formülüne sahip en basit kimyasal yapıya, tek karbonlu, "odun alkolü" olarak bilinen, tatsız, renksiz ve toksik bir sıvıdır. Avantajlarının başında maliyetinin düşük ve üretim yollarının fazla olması gelmektedir [1].

Bu derleme çalışmasında, içten yanmalı motorlarda kullanılan geleneksel yakıtların yerine biyoalkollerin kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir.

## 2. İÇTEN YANMALI MOTORLAR

İçten yanmalı motorlar otobüs, kamyon ve otomobiller'de hergün görülür. Bir bujiye ihtiyaç duyan

ateşlemeli motorlar ve bir akışkanı sıkıştırmaya dayalı ateşlemeli motorlar olmak üzere iki temel tür içten yanmalı motor vardır. Buji ile ateşlemeli motorlar, hava-yakıt karışımını alır, sıkıştırır, ve bujiyi kullanarak karışımı ateşler. Yanma pistonu aşağı yukarı hareket ettirerek hareketin krank milinde dairesel harekete dönüşmesini sağlar. Piston, silindir ve yanma odası ile kapsüllenmiştir. Üstteki valf'ler ise silindire alınan ve silindirden atılan hava yakıt karışımı için gerekli egzoz ve emme valf'leridir [13].



Şekil 1. Bir Piston-Krank mili-İçten yanmalı motor örneği

## 3. BİYOALKOLLERİN TARİHİ

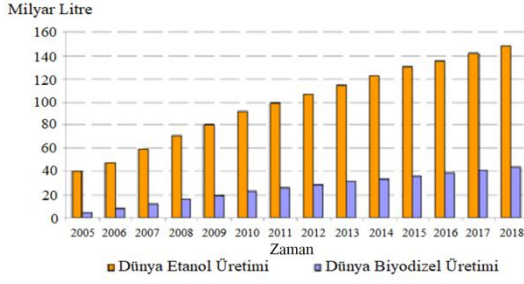
Tarihçi Lyle Cummins'e göre, en az bir düzine mucit, 17. yüzyıl ile 19. yüzyılın başları arasında bir tür içten yanmalı motor geliştirmeye çalıştı. Uçucu sıvı yakıt ile çalışan, karbüratör ve benzin motorlu ilk otantik içten yanmalı motor, ABD'li mühendis Samuel Morey tarafından 1826 gibi erken bir tarihte geliştirildi. Morey'in motoru etil alkol ve terebentin (kamphene) yakıtları ile Connecticut Nehri'ne saatte sekiz mil hızla küçük bir tekninin gitmesini sağladı. Ancak Morey finansman bulamadığından yeteri kadar bilinmiyordu ve sadece bir prototip imal etmişti. Başarılı olan başka bir mucit Alman Nicholas August Otto'ydu. Otto, 1860 yılında bir motorda ispirto lambaları için yaygın olarak mevcut olan etil alkolü yakıt olarak kullanmıştır. Morey gibi, motor çalıştırıldığında buharlaşmasına yardımcı olmak için alkolü ısıtan bir karbüratör geliştirdi. Fakat Ocak 1861'de Prusya Krallığı ile yapılan patent başvurusu reddedilmişti, çünkü ısıtılmış alkol karbürasyon ilkesi zaten ispirto lambalarında kullanılmıştı. Otto'nun finansmanı Avrupa'nın alkol lambası yakıt pazarlarıyla bağlantıları olan bir şeker rafineri şirketi olan Eugen Langen oldu. Otto ve Langen Şirketi, 1870 yıllarında, genellikle kömür gazı ile çalışan motorlar üreterek başarıya ulaştı. 1880 yılında motor için "Otto çevrimi" geliştirildi ve motor alkol veya benzen gibi çeşitli yakıtlara uyarlabilir bir motordur [14]. Etanol ve etanol-benzin karışımlarının otomotiv sektöründe bir yakıt olarak uzun bir tarihi vardır. 1800'lerde, Henry Ford, Nicholas Otto ve diğerleri etanol ile çalışan motor ve araçlar imal etmişlerdir. Ford, 1908'de Model T'yi alkol, benzin veya "alkol-benzin" karışımını kullanacak şekilde ayarlanabilen karbüratörler ile esnek bir yakıt aracı olarak geliştirmiştir. Birinci Dünya Savaşı'nda ABD'de ki yakıt ihtiyacı etanol talebini 0,19-0,23 hm<sup>3</sup>/yıl artırmıştır. Savaştan sonra talebin azalmasıyla birlikte benzin, tercih

edilen yakıt haline gelmiştir; ancak petrol yakıtlarının yerine geçmesi mümkün ve vuruşta önleyici etkisi olan etanole sürekli bir ilgi varolmuştur. 1921'de tetraetil kurşun'un vuruşta önleyici özelliklerinin keşfedilmesi etanole olan merakı azalttı ve kalıcı sağlık endişelerine rağmen sonraki yıllarda kurşunlu benzin satışı ciddi derecede artış gösterdi. Alkol karışımı yakıtlar, Orta Batı Devletleri'nde mısır fiyatlarının düşmesiyle burada ki çiftçilerin hasat için alternatif kullanımlar arayışına girmesinden dolayı, 1930'ların ortalarında küçük bir canlanma gösterdi. Bu dönemde çeşitli alkol-benzin karışımları, Alcolene ve Agrol gibi ticari markalı isimler altında pazarlandı. Alkol yüzdesi % 5-17,5 arasında değişen ikinci marka, 1930'larda Hindistan'dan Güney Dakota'ya 2000'den fazla perakende satış mağazasında satıldı. Ancak yeni petrol keşiflerinin petrol ürünlerine olan ihtiyacının aciliyetini azaltırken, kurşunlu benzinin kolay ve ucuz üretildiği ispatlanmıştır. Bu durum İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra etanole olan ilgiyi azaltmıştır [7]. Fransız etanol yakıt programı, I. Dünya Savaşı'ndan önce Tarım Bakanlığı tarafından desteklendi ve Fransız biyoyakıt üretimi 1900 yılında 2,7 milyon galon'dan 1903 yılında 5,7 milyon galon'a, 1905 yılında 8,3 milyon galona yükseldi. Başlıca amacı, Fransız şeker pancarı pazarlarını desteklemek ve diğer pek çok ürünün artan fazlasını azaltmaktır. İç petrol rezervlerinin olmaması yanında bir diğer endişe ise Rusya ve ABD'den gelen petrol ithalatındaki artış oldu. Ancak, Almanya gibi büyük ölçekli bir alkol geliştirme programına girilmedi. Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra Fransız bir komite, % 40-50 etanol içeren benzinle "ulusal bir yakıt" oluşturulmasını önerdi. Zorunlu karışım seviyesi 1928 yılında % 25 alkol olarak revize edildi. "Carburant Poids Lourds" (kamyon yakıtı), "Tourisme" ve "Supa Carburant" gibi birçok marka pazarlandı. 1931 yılına gelindiğinde, karışım stokları 87 milyon litreden fazlaydı ve Devlet Alkol Servisi şarap endüstrisinden daha fazla alkol aldı. Biyoyakıtlar, 1935 yılında 406 milyon litrede zirve yaparak yakıt kullanımının % 7'sini karşılarken, 1937 yılında yetersiz hasat nedeniyle 194 milyon litreye geriledi [14].

Birinci ve İkinci Dünya Savaşları sırasında Almanya'nın alkollü içki kıtlığı yaşaması Birinci Dünya Savaşı'nın uzamasına sebep oldu. Alkol üretimi tarım ekonomisinin önemli bir parçasını oluşturmasaydı (1917 yılına kadar) Almanya yenilecekti. 1940'lara gelindiğinde, Almanya bir kez daha petrol sıkıntısından kaçınmayı denedi ancak bu noktada kömür temelli yakıtlar endüstriyel bazda daha uygun hale geldi. 1942 yılında, Almanya'nın sentetik yakıt üretiminin en yoğun olduğu yılda yaklaşık 1,7 milyar litre yakıt kömürden geldi. Çoğunlukla patateslerden elde edilen yaklaşık 267 milyon litre yakıt etanol üretildi. Hepsinden önce, savaş öncesi Alman yakıt üretiminin % 54'ü petrol dışı kaynaklardan elde edildi ve sadece % 8'i yenilenebilir kaynaklardan gelen etanoldü. Savaşlardan zorlanan yiyeceklerin az olduğu Çin ve Hindistan'da, şeker

kamışından yenilemeyen pekmez, yakıt için alkol haline getirildi. Hindistan'ın Uttar Pradesh eyaleti, alkol vermeyi zorunlu kılan yüzde 20'lik bir yasaya geçti ancak savaş sırasında tüm yakıtlarda kıtlık yaşandı. Çin'de, % 55 alkol, % 40 benzen ve % 5 gazyağı karışımı olan "Benzolit" 1930'larda yaygın olarak satıldı. Savaş patlak verdiğinde, pekmez damıtıcıları özellikle etanol üretimi yönüne çevrildi. Alkol kullanımı artık bir masraf veya verimlilik meselesi değil, zorunluluktur. Savaşın ardından Hindistan'da 1946'da yaklaşık 8 milyon litre alkol kullanıldı ve 1948'de zirve yaptığında 9 milyona yükseldi. 1951'de kullanılan yaklaşık 1 milyar litrelik benzinin dışında, karışımlarda 20 milyon litre daha kullanıldı. Başlangıçta muhtemel "gıda ya da yakıt" çatışmalarından haberdar olan Hindistan yöneticileri, hububat ve kök mahsullerinin hammadde olarak kullanılmasını yasaklamıştı. 1948 yılında Hint Alkol Yasası mümkün olduğunda % 20 karışımı zorunlu kılmıştı ancak yaygın şekilde kabul görmedi [14]. Etanol yakıtı piyasası 1970'lerde yeniden canlandı. İlk olarak Brezilya 1975 yılında 1973 OPEC Arap petrol ambargosuna tepki olarak şeker kamışı temelli bir "Proalkol" programı geliştirdi [12]. 1980'lerin başında 3,5 milyon araç alkol ile yakıtlandırılmış [11], otomobillerin yarısından fazlası % 95 susuz alkol ile çalıştırılmıştır; ancak bu dönemde şeker sıkıntısı yaşanmış şekerin fiyatının artışı bugün ki esnek yakıtlı otomobillerin % 20'sinde bu rakamın azalmasına sebep olmuştur. Yine de, günümüzde Brezilya'da satılan tüm benzin yakıtlarının en az % 25 susuz alkol karışımı (E20) olması gerekmektedir. Etanol, hali hazırda ülkede kullanılan toplam yakıtın yaklaşık % 40'ını oluşturmaktadır. Bununla birlikte Brezilya, 2005 yılında hem Hindistan'a hem de ABD'ye 0.38 hm<sup>3</sup> (100 Mgal) etanol ihraç etmiştir [12].

II. Dünya Savaşı'ndan 25 yıl sonra küresel petrol tüketimi beş buçuk misli arttı ve dünya Orta Doğu'dan gelen ucuz petrole bağımlı hale geldi. 1973 yılında petrol ihraç eden ülkeler örgütü'nün (OPEC) toplantılarını endişelendiren artan fiyatlar konusundaki gerilimler bir krize sebep oldu. 6 Ekim 1973'te Mısır, Suudi Arabistan ve diğer Arap ülkelerinin 1967 savaşında kaybolan toprakları geri kazanmak için İsrail'e saldırı başlattı. 17 Ekim 1973'e gelindiğinde, saldırı bozuldu ve ABD askeri yardımları İsraililere akarken, Kuveyt'te bir araya gelen Arap petrol bakanları Birleşik Devletlere ve İsrail'e dost ülkelerle petrol ambargosu yapmayı kabul ettiler. Talepler karşılanana kadar ayda üretimde % 5 düşüş yapacaklardı. Petrol fiyatı, varil başına 4.50 \$'dan 22.60 \$'a çıktı. Sıkıntılar uzun gaz kuyruklarına sebep oldu ve ABD ile Avrupa'da panik yarattı. Ambargo Mart 1974'te sona ermesine rağmen, ABD'nin gayri safi milli hasılası % 6 oranında düştü ve 1975'e kadar işsizlik % 9'a çıktı. 1980 yılında bir vergi teşviği tasarısı ile etanol programı oluşturuldu ve 1990'lı yılların ortasına kadar devam etti [14]. Şekil 2'de Dünya'da biyoetanol ve biyodizel üretimi verilmiştir.



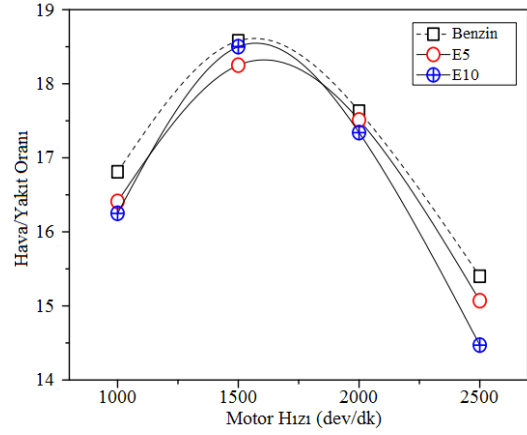
Şekil 2. Dünya etanol ve biyodizel üretimi [15]

#### 4. BİYOALKOLLERİN EGZOZ EMİSYONLARINA VE MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

Alkoller, alkol molekülünün yanma ısısını azaltan bir veya daha fazla oksijene sahip yakıtlardır. Örneğin,  $\text{CH}_3\text{OH}$  (Metanol),  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  (Etanol),  $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$  (Propanol),  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$  (Bütanol). Ancak teknik ve ekonomik olarak içten yanmalı motorlara en uygun olanları metanol ve etanoldür. Biyoalkollerin yüksek oktan ve düşük setan sayısına, daha geniş alevlenme sınırlarına, yüksek oksijen içeriği ve yüksek alev hızına, ve benzinden daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olması motorda daha yüksek bir sıkıştırma oranına, daha kısa yanma süresine, yağsız yanmaya, ve dolayısıyla benzine göre daha verimli bir yanmaya sebep olmaktadır [1, 8, 9, 16].

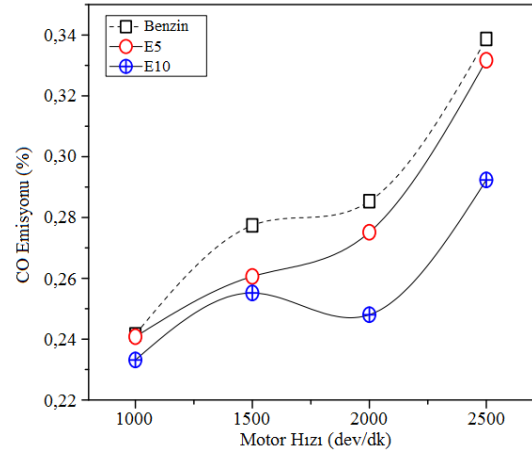
##### 4.1 Egzoz Emisyonları

Silindir içerisinde H/Y oranının düşük olması sonucunda yakıt, yanmak için yeteri kadar oksijen bulamayacağından eksik yanma meydana gelir. CO ve HC emisyonları içeriğinde düşük oksijen bulunduran yakıtların ve zengin karışımların yanması sonucu oluşur. Etanol ve diğer oksijenli bileşikler zengin oksijen içerdiğinden daha fakir bir yanma sağlar. CO ve HC emisyonları, bu atomların ortamdaki yeterli oksijen ile tepkimeye girmesi sonucu azalır ve  $\text{CO}_2$  emisyonu artar [8,17,18]. CO ve yanmamış HC emisyon oluşumlarını etkileyen anahtar parametrelerden biri de hava-yakıt oranıdır. Aşağıda Özsezen tarafından yapılan bir çalışma örnek gösterilmiş, Şekil 3'te benzin, E5 (% 95 benzin-% 5 etanol) ve E10 (% 90 benzin-% 10 etanol) yakıtları için motor hızına bağlı olarak Hava/Yakıt oranının değişimi verilmiştir [19].



Şekil 3. Benzin, E5 ve E10 yakıtları için motor hızına bağlı olarak Hava/Yakıt oranının değişimi [19]

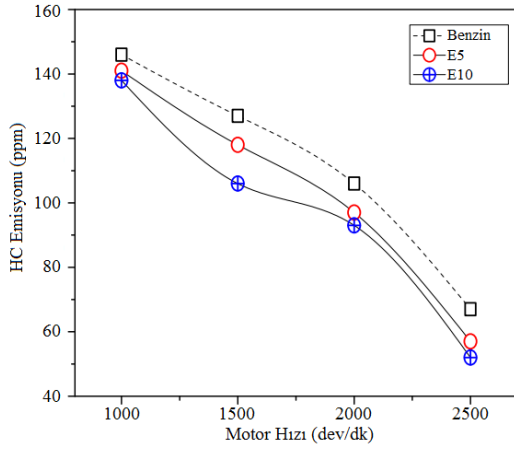
Özellikle motorun zengin karışımında çalışmasıyla, CO molekülleri,  $\text{CO}_2$ 'ye dönüşmek için yeteri kadar oksijen bulamadığından CO emisyonu artacaktır. Emisyon deneyleri benzin yakıtına etanol ilave edilmesiyle yanmanın iyileştiğini ve bu yüzden CO emisyonunun azaldığını göstermiştir. Ortalama CO emisyonu 1000, 1500, 2000 ve 2500 dev/dk motor hızlarında benzine göre E5 karışımının kullanımı ile sırasıyla % 0,3, % 6, % 3,6 ve % 2; E10 karışımının kullanımı ile sırasıyla % 3,5, % 8, % 13 ve % 13,7 azalmıştır. Biyoetanolin en önemli özelliklerinden birisi, CO emisyonlarını azaltacak oksijen atomlarına sahip olduğundan ve daha iyi buharlaştığından dolayı yanmayı iyileştirmesidir [19-25]. Şekil 4'te benzin, E5 ve E10 yakıtları için motor hızına bağlı olarak CO emisyonu değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4. Benzin, E5 ve E10 yakıtları için motor hızına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi [19]

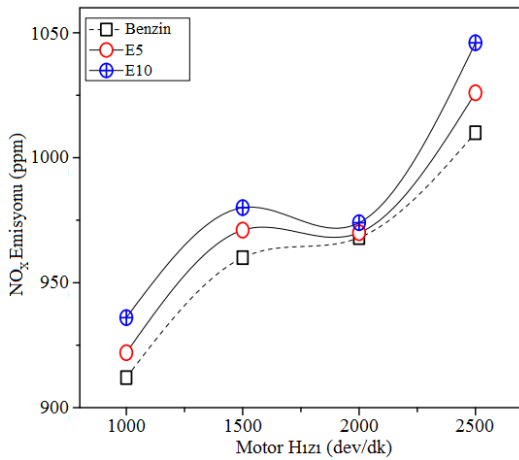
Ortalama HC emisyonları 1000, 1500, 2000 ve 2500 dev/dk motor hızlarında benzine göre E5 karışımının kullanımı ile sırasıyla % 3,4, % 7,1, % 8,5 ve % 14,9; E10 karışımının kullanımı ile sırasıyla % 5,5, % 16,5, % 12,3 ve % 22,4 azalmıştır. Yüksek oksijen içeriği, iyi buharlaşma ısısı ve motor hızının artmasıyla artan yanma sıcaklığına bağlı olarak tam yanma gerçekleşmiş ve HC

emisyonu azalmıştır [19, 22, 24, 26, 27]. Şekil 5'te benzin, E5 ve E10 yakıtları için motor hızına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi gösterilmiştir.

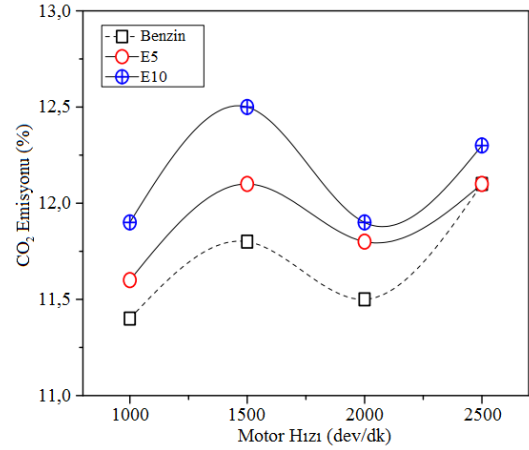


Şekil 5. Benzin, E5 ve E10 yakıtları için motor hızına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi [19]

Şekil 6 ve Şekil 7'de benzin, E5 ve E10 yakıtları için motor hızına bağlı olarak CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının değişimi gösterilmiştir. E5 ve E10 karışımlarının kullanımı ile benzine göre sırasıyla NO<sub>x</sub> emisyonu % 1 ve % 2,2; CO<sub>2</sub> emisyonu ise % 1,7 ve % 3,9 artmıştır. NO<sub>x</sub> emisyonu, silindir içindeki maksimum alev sıcaklığı ve bu sıcaklıkta kalma süresi ile ilişkilidir. Alev sıcaklığı ise yakıtın alt ısıl değerine, buharlaşma ısısına ve oksijen miktarına bağlıdır. Etanolün içerdiği zengin oksijenin yüksek sıcaklıklarda kalması sonucu NO<sub>x</sub> emisyonları artmaktadır [16, 19, 28-34]. CO<sub>2</sub> emisyonu ile CO ve HC emisyonları arasında ters bir bağlantı olmalıdır. Etanolün yüksek oksijen içeriği yanma odasındaki zengin bölgelerin hava/yakıt oranını artırmakta, dolayısıyla yanma iyileşmektedir. Bu koşullar altında eksik yanma azalmakta ve CO<sub>2</sub> emisyonu, etanol oranı arttıkça artış göstermektedir. [20, 24, 26, 30, 35].



Şekil 6. Benzin, E5 ve E10 yakıtları için motor hızına bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonunun değişimi [19]

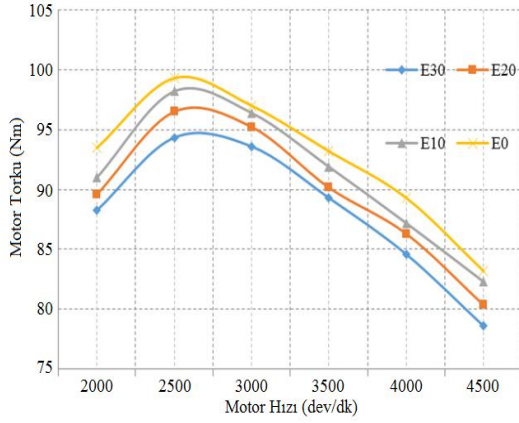


Şekil 7. Benzin, E5 ve E10 yakıtları için motor hızına bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyonunun değişimi [19]

## 4.2 Motor Performansı

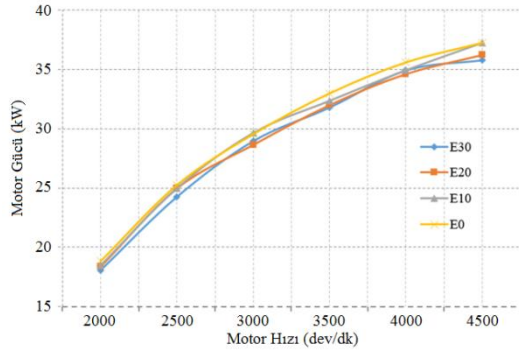
Tork, motorun çalışma yeteneği olarak tanımlanır. İçten yanmalı motorlarda, silindir içindeki dolun oranı düşüktür ve, düşük ve yüksek devirlerde yanma koşulları en düşük seviyededir, bu yüzden torklar düşüktür. Bu nedenle, en verimli çalışma koşulları orta hızlarda elde edilir. Aşağıda Doğan ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma örnek verilmiştir. Şekil 8'de E0 (Benzin), E10 (% 90 benzin-% 10 etanol), E20 (% 80 benzin-% 20 etanol) ve E30 (% 70 benzin-% 30 etanol) yakıtları için motor hızına bağlı olarak motor torkunun değişimi gösterilmiştir [21].

Motor torku 2500 dev/dk motor hızında E0 yakıtı ile maksimum değerine ulaşmıştır. En düşük tork değeri ise E30 yakıtı ile 4500 dev/dk motor hızında elde edilmiştir. Motor torku E10, E20 ve E30 yakıtları kullanımı için benzin yakıtına göre sırasıyla % 2, % 3 ve % 5 azalmıştır. Deneylerde kritik motor devrinin tüm yakıt türleri için yaklaşık 2500 dev/dk olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, motor yükü dinamometre ile değiştirildiğinden, motorun kritik motor devir sayısının altındaki ve üstündeki hızlarda hacimsel verim azaldığı için, aynı zamanda benzine etanol ilavesi ile karışımın ısıl değeri benzin yakıtına göre az olduğu için motor torkunun düştüğü tespit edilmiştir [21].



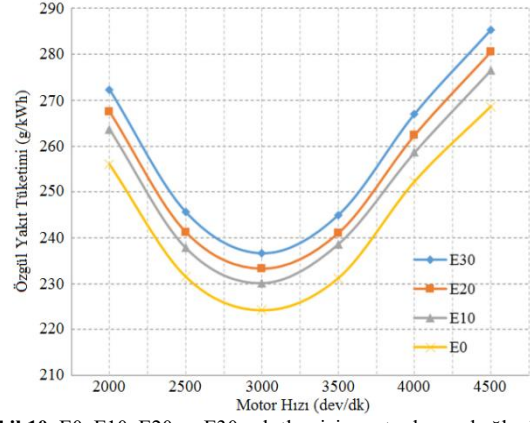
Şekil 8. E0, E10, E20 ve E30 yakıtları için motor hızına bağlı olarak motor torku değişimi [21]

Şekil 9'da E0, E10, E20 ve E30 yakıtları için motor hızına bağlı olarak motor gücü değişimi gösterilmiştir. Deneylerde tüm test hızlarında, en etkili motor gücü E0 yakıtıyla elde edilmiştir. Etanol-benzin karışımları benzin ile karşılaştırıldığında daha düşük ısıl değere sahip olduğundan, torkun azalması motor gücünü etkiler. Tüm yakıtlar için motor hızı attıkça birim zaman başına yapılan iş miktarının arttığı görülmüştür [21, 36].



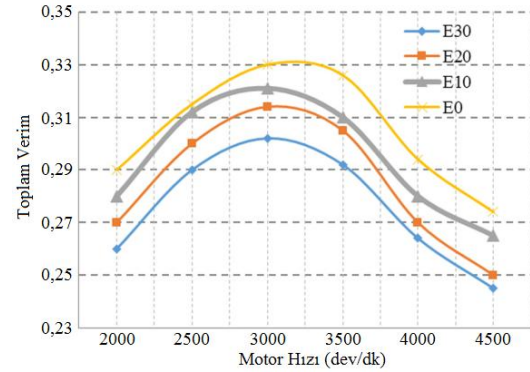
Şekil 9. E0, E10, E20 ve E30 yakıtları için motor hızına bağlı olarak motor gücü değişimi [21]

Şekil 10'da E0, E10, E20 ve E30 yakıtları için motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi gösterilmiştir. Etanolün ısıl değerinin benzine göre düşük olmasından dolayı, aynı motor gücünü sağlamak için etanol kullanımı ile özgül yakıt tüketimi artış göstermektedir. Bir başka deyişle alkol benzine göre hacim başına daha az enerjiye sahip olduğundan özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Bu yüzden en yüksek özgül yakıt tüketimi 4500 dev/dk motor hızında E30 karışımının kullanımı ile; en düşük özgül yakıt tüketimi ise 3000 dev/dk motor hızında E0 yakıtı ile elde edilmiştir. İçten yanmalı motorlarda en yüksek motor torkunun elde edildiği hız aralığı, en verimli çalışma aralığı olarak kabul edilir. Bu aralıkta, hacimsel ve yanma verimliliğinin yüksek olması spesifik yakıt tüketimini düşürür ve motor torkunu artırır [1, 10, 21, 37].



Şekil 10. E0, E10, E20 ve E30 yakıtları için motor hızına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi [21]

Şekil 11'de E0, E10, E20 ve E30 yakıtları için motor hızına bağlı olarak toplam verimin değişimi gösterilmiştir. İçten yanmalı motorlarda toplam verim, yakıtın yakılmasıyla elde edilen ısı enerjisinin faydalı enerjiye dönüşüm oranıdır. Deneylerde en yüksek toplam verim E0 yakıtı ile elde edilmiştir [21].



Şekil 11. E0, E10, E20 ve E30 yakıtları için motor hızına bağlı olarak toplam verimin değişimi [21]

## 5. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Günümüze kadar benzin ve dizel motorlarında geleneksel benzin ve dizel yakıtlarına alkol ilave edilmesi ile motor performansının ve egzoz emisyonlarının değişimi konusunda araştırmalar yapılmıştır. Birçok araştırmacı tarafından benzin ve dizel yakıtlarına alkol ilavesi ile genel olarak emisyonların ve motor performansının iyileştiği görülmüş olsa da aksi yönde sonuçlanan çalışmalarda mevcuttur.

Abu Quadis ve arkadaşları (2000), etanol fumigasyonunun ve etanol-dizel karışımının tek silindri bir dizel motorunun performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak araştırmışlar, aynı zamanda hem daha düşük emisyon hem de daha yüksek performans sağlayan etanolün karışımdaki yüzdesini fumigasyon metodu kullanarak belirlemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre fumigasyon ve karışım metotları

performans ve egzoz emisyonları üzerinde benzer etkileri göstermiş, ancak fumigasyon kullanımındaki gelişmenin karışımlardan daha iyi olduğu görülmüştür. Etanol fumigasyonu için optimum oranı % 20 olarak belirlemişler ve bu oranın fren termal verimini % 7,5, CO emisyonunu % 55 ve HC emisyonunu % 36 artırdığını; is emisyonunu ise % 55 azalttığını gözlemlemişlerdir. Etanol-dizel karışımları için optimum oranı % 15 olarak belirlemişler ve bu oranın fren termal verimini % 3,6, CO emisyonunu % 43,3 ve HC emisyonunu % 34 artırdığını; is emisyonunu ise % 32 azalttığını görmüşlerdir [37].

Al Baghdadi (2000), hidrojen/etil alkol ilavesi miktarının, benzin motorun performansı ve egzoz emisyonu üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sonuçlara göre motor ikili etil alkol ve hidrojen ilavesi ile çalıştırıldığında bütün motor performans parametreleri iyileşmiştir. Alkol ilavesinin önemli iyileştirmeleri, hidrojen destekli motorun yüksek sıkıştırma oranını ve çıkış gücünü artırarak NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmak olmuştur. 1500 dev/dk motor hızında ve 9:1 sıkıştırma oranında çalışan bir benzin motoruna % 30 hacimde etil alkol içeren % 8 oranında hidrojen ilavesi CO emisyonunda % 48,5, NO<sub>x</sub> emisyonunda % 31,1 ve özgül yakıt tüketiminde % 58,5 azalma sağlamış, ayrıca motor termal verimliliği ve çıkış gücü sırasıyla % 10,1 ve % 4,72 artmıştır. Etil alkol oranının % 30'un üzerine çıkması ise motor performansını düşürmüştür [38].

Ahmed (2001), otobüs, kamyon, yolcu (ağır ve hafif ticari araçlar) araçları için dizel motorlarında kullanılabilir bir yakıt olmak üzere Puranol'un dizel motorlarında performans ve emisyon karakteristiklerini incelemiştir. Laboratuvar ve arazi deneylerinin sonuçlarına göre Puranol kullanımı ile dizele göre, ağır ticari araç dizel motordan partikül madde emisyonunda % 41'in üzerinde, CO emisyonunda % 27 ve NO<sub>x</sub> emisyonunda ise % 5 azalma görülmüştür [39].

Hsieh ve arkadaşları (2002), farklı oranlardaki (% 0, % 5, % 10, % 20 ve % 30) benzin-etanol karışımlarının bir benzin motorunun performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlara göre etanol-benzin karışımı kullanımı ile benzine göre motor torku ve yakıt tüketimi bir miktar artış gösterirken; CO ve HC emisyonları ciddi şekilde azalmış, CO<sub>2</sub> emisyonu ise artmıştır [28].

Al Hasan (2003), farklı oranlarda etanol-benzin karışımları kullanarak 1000-4000 dev/dk motor hızı aralığında 4 silindirli TOYOTA, TERCEL-3A benzin motorunun motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmıştır. En iyi sonuçlar % 20 hacimce etanol ilavesi ile elde edilmiştir. Benzin yakıtına etanol ilavesi ile fren gücü, motor torku, yakıt tüketimi, volümetrik ve termal veriminde artış gözlenirken; fren özgül yakıt tüketiminde ve hava-yakıt eşdeğerlik oranında azalma olmuştur. Ayrıca egzoz gazında ki CO

ve HC emisyonları azalmış ve CO<sub>2</sub> emisyonu artmıştır [40].

He ve arkadaşları (2003), etanol-dizel karışımının bir dizel motorunun emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Etanolün artması ile yoğunluk, setan sayısı, kinematik viskozite, üst ısı değer ve aromatik fraksiyonlar azalmış, distilasyon sıcaklıkları da değişmiştir. Bu nedenle bir katkı maddesini etanol-dizel karışımına ilave ederek yakıtın stabilitesini ve viskozitesini kısmen geliştirmişlerdir. Ayrıca setan sayısını artırmak amacıyla ateşleme geciktiricisi kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre, etanol-dizel karışımının yüksek yüklerde yanmamış etanol, asetaldehit, is ve NO<sub>x</sub> emisyonları üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür. Karışımda ki etanol oranının artması ile is, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları azalırken; CO, asetaldehit ve yanmamış etanol emisyonları çoğu çalışma koşullarında artmıştır [41].

Yüksel ve Yüksel (2004), bir ticari aracın karter karbüratöründe küçük değişiklikler yaparak etanol-benzin karışımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlara göre etanol-benzin karışımının kullanımı ile motor torkunun bir miktar arttığı görülmüştür. CO ve HC emisyonları ise ciddi şekilde azalırken; CO<sub>2</sub> emisyonu artış göstermiştir [36].

Xing cai ve arkadaşları (2004), 4 silindirli etanol-dizel yakıtlı bir dizel motorunda setan sayısını artırıcı maddenin ısı salınım hızı ve emisyonlara etkisini araştırmışlardır. Deneyleri karışımlara farklı oranlarda (% 0, % 2 ve % 4) setan sayısı artırıcı madde ilave ederek gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre etanol-dizel karışımlarının kullanımı ile özgül yakıt tüketimi artmış, yanma verimi iyileşmiş, NO<sub>x</sub> ve is emisyonları azalmıştır. Karışımlara setan artırıcı madde ilavesi ile NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarında daha fazla azalma olmuştur. Yanma analizi sonuçlarına göre etanol-dizel karışımlarının kullanımı ile dizel yakıtına göre ateşleme gecikmesi uzamış, toplam yanma süresi kısalmıştır. Yüksek yüklerde etanol-dizel karışımının yanma karakteristikleri setan sayısı artırıcı madde ile dizel yakıtı yerine kullanılabilir olsa da, düşük yüklerde iki yakıt arasında ciddi bir fark vardır [42].

Shi ve arkadaşları (2005), hacimce % 20 etanol/metil soyat oranında bir karışım hazırlamışlar ve bu karışımı hacimce % 15 (BE15) ve % 20 (BE20) oranlarında dizel yakıtına ilave etmişlerdir. Ayrıca dizel yakıtı içinde % 20 metil soya yağı içeren bir karışım (B20) hazırlamışlardır. Üretilen üç karışım bir dizel motorunda test edilmiş ve motor performansı ile egzoz emisyonlarına etkileri geleneksel dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre yakıt içindeki oksijen miktarı arttıkça partikül madde emisyonu azalırken; NO<sub>x</sub> emisyonu artmıştır. BE20 yakıtının kullanımı ile çok az partikül madde ve is emisyonu elde edilirken; en yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu ortaya

çıkılmıştır. Oksijen içeriği yüksek olan tüm yakıtlar ile geleneksel dizel yakıtına göre daha az CO emisyonu açığa çıkmıştır. Ayrıca B20 yakıtının kullanımı ile geleneksel dizel yakıtına göre daha az HC emisyonu elde edilmiştir [43].

Yücesu ve arkadaşları (2006), tek silindri ve 4 zamanlı bir benzin motorunda, stokiometrik hava-yakıt oranında, tam yükte ve farklı sıkıştırma oranlarındaki (8:1-13:1 aralığında 6 farklı oranda) etanol-benzin karışımlarının (E0, E10, E20, E40 ve E60) motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlara göre 13:1 ve 8:1 sıkıştırma oranları karşılaştırıldığında E40 ve E60 yakıtları için en yüksek motor torku değişimi yaklaşık % 14 olarak elde edilmiştir. 11:1 sıkıştırma oranı ile 8:1 sıkıştırma oranı karşılaştırıldığında minimum özgül yakıt tüketimi E0 yakıtı ile elde edilmiş ve yaklaşık olarak % 10 daha az iken; özgül yakıt tüketiminde ki en fazla iyileşme E60 yakıtı ile 3500 ve 5000 dev/dk motor hızlarında sırasıyla % 14,5 ve % 17 olarak elde edilmiştir. Ayrıca egzoz gazı sıcaklığı genel olarak sıkıştırma oranına bağlı olarak azalma eğilimi göstermiş, bununla birlikte E0 gibi düşük oktana sayılı yakıtlar için 10:1 sıkıştırma oranından itibaren patlama başlamıştır. Egzoz emisyonları incelendiğinde, maksimum azalma E40 ve E60 yakıtları ile 2000 dev/dk motor hızlarında elde edilirken; ortalama azalma E40 ve E60 yakıtları için sırasıyla % 11 ve % 10,8'dir. HC emisyonunda ki azalma CO emisyonundan daha fazla olmuş ve E60 yakıtı ile 5000 dev/dk motor hızında ortalama % 16,45 olarak elde edilmiştir [44].

Kumar ve arkadaşları (2006), hayvansal yağ, etanol ve su ile ürettikleri emülsiyonların tek silindri ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunun performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini farklı yüklerde araştırmışlardır. Deneysel sonuçlara göre etanol hayvansal yağ emülsiyonunun kullanımı ile saf hayvansal yağa göre maksimum silindir basıncı ve ateşleme gecikmesi artmıştır. Isı salınımı, hayvansal yağ emülsiyon kullanımı ile saf hayvansal yağa göre iyileşme göstermiştir. HC, NO<sub>x</sub>, is ve CO emisyonları yüksek güç çıkışlarında etanol kullanımı ile saf yağ ve saf dizele göre daha düşüktür. Yalnızca HC ve CO emisyonları düşük yüklerde emülsiyon kullanımı ile yükselmiştir. Genel olarak hayvansal yağ emülsiyonu saf yağ ile karşılaştırıldığında motor performansı ve egzoz emisyonları iyileşme sağlamıştır [45].

Kwanchareon ve arkadaşları (2007), bir dizel motorunda dizel-biyodizel-etanol karışımının çözümlülüğünü, yakıt özelliklerini (yoğunluk, yanma ısı, setan sayısı, parlama noktası ve akma noktası) ve emisyon özelliklerini incelemişler ve geleneksel dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlara göre yakıt özelliklerinin dizel yakıtına yakın olduğu, bununla birlikte etanol içeren karışımların parlama noktasını geleneksel dizel yakıtının parlama noktasına göre çok

farklı olarak elde etmişlerdir. Yüksek motor yüklerinde etanol kullanımı ile CO ve HC emisyonları azalmış; NO<sub>x</sub> emisyonu ise artmıştır. Bu bilgiler göz önüne alındığında ise % 80 dizel-% 15 biyodizel-% 5 etanol içeren bir karışım, kabul edilebilir yakıt özellikleri (parlama noktası hariç) ve emisyonları azaltması sebebiyle dizohol üretimi için en uygun oran olarak bulunmuştur [27].

Yanju ve arkadaşları (2008), hacimce % 10 (M10), % 20 (M20) ve % 85 (M85) metanol içeren metanol-benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini 3 silindri ve tek noktalı enjeksiyonlu bir benzin motorunda araştırmışlardır. Deneysel sonuçlara göre, yakıtın metanol oranı arttıkça fren termal verimi büyük ölçüde artmıştır. CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının ise metanol/benzin oranı arttıkça azaldığı görülmüş, M85 karışımının kullanımı ile CO ve NO<sub>x</sub> emisyonları sırasıyla % 25 ve % 80 azalmıştır. Ancak benzin yakıtına metanol ilavesi ile yanmamış HC emisyonu artış göstermiştir [46].

Yousufuddin ve Mehdi (2008), E0, E10, E25, E35 ve E65 etanol-benzin karışımlarının tek silindri bir motorda ateşleme zamanı ve sıkıştırma oranı değiştirerek motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlarına göre, minimum özgül yakıt tüketimi 11:1 sıkıştırma ve 0,95 eşdeğerlik oranında E0 yakıtı ile elde edilmiş ve etanol yüzdesi arttıkça artmıştır. E0 yakıtı ile ateşleme zamanının 29 ° krank açısına yükseltilmesi ile vuruntu oluşmuş; ancak benzin yakıtına etanol ilavesi ile (E35 ve E65) 35 ° krank açısı ateşleme zamanına kadar vuruntu önlenmiştir. Ayrıca karışımın etanol yüzdesi arttıkça HC ve CO emisyonları azalmıştır [47].

Mallikarjun ve Mamilla (2009), 4 silindri bir benzin motorunda benzin yakıtına farklı oranlarda (% 0-15) metanol ilave ederek ve farklı motor hızlarında çeşitli alt sistemler ile küçük değişiklikler yapılarak egzoz emisyonlarının değişimini araştırmışlardır. Deneysel olarak yapılan çalışmada, yakıt içindeki metanol miktarının artması ile benzin yakıtına göre metanolün zengin oksijen içeriğinden dolayı CO ve HC emisyonları azalırken; NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonları (yüksek sıcaklık ve basınçta) artmıştır. Ayrıca yakıtta metanol ilavesi ile daha az özgül yakıt tüketimi; daha fazla fren gücü ve fren termal verimi elde edilmiştir [48].

Koç ve arkadaşları (2009), E0 (kurşunsuz benzin), E50 (% 50 etanol-% 50 benzin) ve E85 (% 85 etanol-% 15 benzin) yakıtlarının tek silindri, 4 zamanlı ve 2 sıkıştırma oranlı (10:1 ve 11:1) bir benzin motorunun performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Motor hızı tam gaz keleşliği açıklığında 1500-5000 dev/dk aralığında değiştirilmiştir. Sonuçlara göre benzin yakıtına etanol ilavesi ile motor torku, fren gücü ve özgül yakıt tüketimi artış gösterirken; CO, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonları azalmıştır. Ayrıca etanol-benzin



karışımlarının vuruntu oluşmadan sıkıştırma oranının artmasını mümkün kıldığı görülmüştür [49].

Qi ve arkadaşları (2010), direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda biyodizel-dizel karışımlarına ilave olarak metanol kullanımının farklı motor yüklerinde motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristiklerine olan etkilerini incelemişlerdir. Yakıt olarak BD50 (% 50 biyodizel-% 50 dizel), ve bu yakıtta % 5 ve % 10 metanol ilavesi ile BDM5 ve BDM10 yakıtları üretilmiştir. Sonuçlara göre yanma karakteristikleri incelendiğinde, BDM5 ve BDM10 yakıtlarının kullanımı ile BD50 yakıtına göre yanma düşük motor yüklerinde daha geç başlamış, yüksek motor yüklerinde neredeyse aynı kalmıştır. 1500 dev/dk motor hızında, BDM5 ve BDM10 yakıtları ile benzer maksimum silindiri basınçları ve BD50 yakıtına göre daha yüksek maksimum ısı salınım oranı elde edilmiştir. Motor performansı ve egzoz emisyonları incelendiğinde, BDM5 ve BDM10 yakıtlarının kullanımı ile motor gücü ve torkunda bir miktar azalma görülmüş; ancak is emisyonları ciddi şekilde azalmıştır. Özellikle düşük motor hızlarında BD50 yakıtına göre daha az CO emisyonu elde edilirken, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonları tam yükte benzerlik göstermiştir [32].

Balaji (2010), tek silindirli bir benzin motorunda kurşunsuz benzin yakıtının ve etanol ilavelerinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmıştır. Deneyleri sabit motor hızında ve değişken tork değerlerinde farklı yakıtlar için gerçekleştirmiştir. Tüm tork değerlerinde en iyi performansı % 5 izobütanol ve % 10 etanol ilave edilmiş benzin yakıtları göstermiştir. Sonuçlara göre motor performansı incelendiğinde, benzin yakıtına etanol ilave edilmesi ile fren gücü, yakıt tüketimi, volümetrik ve fren termal verimleri artmıştır. Egzoz emisyonları incelendiğinde ise, CO ve HC emisyonları azalırken; NO<sub>x</sub> emisyonu artış göstermiştir [50].

Nazzal (2011) tarafından yapılan çalışmada, % 12 metanol-% 88 benzin, % 12 etanol-% 88 benzin ve % 6 metanol-% 6 etanol-% 88 benzin karışımlarının motor performansına ve egzoz sıcaklığına etkileri araştırılmıştır. Deneyler farklı motor hızı değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, % 12 metanol ve % 12 etanol yakıtı kullanımı ile benzin yakıtına göre sırasıyla 2000 dev/dk motor hızında % 27,3 ve % 21,6 daha fazla fren gücü, 2000 dev/dk motor hızında % 31,5 ve % 17 daha fazla fren termal verimi, 2400 dev/dk motor hızında % 18,4 ve % 10 daha az özgül yakıt tüketimi ve 2000 dev/dk motor hızında % 3,1 ve % 1,5 daha az egzoz gazı sıcaklığı elde edilmiştir [51].

Özsezen ve Çanakçı (2011), düşük alkol (metanol ve etanol) içerikli benzin yakıtlı bir aracın motor performansını ve egzoz emisyonlarını araştırmışlardır. Deneyler 40, 60, 80 ve 100 km/h hızlarında bir edi akımı

şası dinamometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda yakıt olarak alkol-benzin karışımı kullanıldığında benzin yakıtına göre maksimum tekerlek gücü ve yakıt tüketimi az miktarda artış göstermiştir. Ayrıca CO emisyonlarında sabit bir eğilim görülememiş, HC emisyonları ise azalmıştır. Benzin yakıtına % 5 metanol ilave edildiğinde ise minimum CO<sub>2</sub> emisyonu elde edilmiştir [52].

Gravalos ve arkadaşları (2013), metanol, etanol, propanol, bütanol, pentanol den oluşan bir alkol karışımını benzin yakıtı ile karıştırmışlar ve tek silindirli bir benzin motorunun egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre alkol-benzin karışımı ile benzin yakıtına göre daha az HC ve CO emisyonları oluşmuş, NO<sub>x</sub> emisyonu ise artış göstermiştir [53].

Ramirez ve arkadaşları (2014), tek silindirli bir dizel motorunda ağır bir alkol olan fitol'ün (C<sub>20</sub>H<sub>40</sub>O) ile % 5 (P5), % 10 (P10) ve % 15 (P15) oranlarında dizel yakıtına ilave edilmesinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Karışımları viskozite ve buhar basıncı haricinde çoğunlukla kıyaslanabilir değerler ile kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirlemek için yoğun şekilde analiz etmişlerdir. Yakıt enjektöründe yüksek viskoziteli fitolün etkilerini anlamak için, farklı karışımların enjeksiyon ve kavitasyon karakteristikleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, püskürtme akış simülasyonlarına göre, fitolün fiziksel özellikleri, % 5 fitol seviyesinden yüksek karışımlarda sprey atomizasyon özelliklerini etkileyeceği gözlenmiştir. Deneysel çalışmalara göre dizel-fitol karışımı ile dizel yakıtı arasında ki performans ve emisyon farkının küçük olduğu, Fitol-dizel karışımından kaynaklanan NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarının saf dizel yakıtıninkine ile benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca yakıt farklılıkları için gecikmeli enjeksiyon zamanlaması durumunda (Üst ölü noktadan 0 derece önce) düşük, gelişmiş enjeksiyon zamanlaması durumunda (Üst ölü noktadan 8 derece önce) tolerans fazladır [54].

Elfasakhany (2014), kurşunsuz benzin ve kurşunsuz benzin-etanol yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde ki etkilerini deneysel olarak tek silindirli bir benzin motorunda araştırmıştır. Deneyleri E0 (% 100 benzin), E3 (% 3 etanol-% 97 benzin), E7 (% 7 etanol-% 93 benzin) ve E10 (% 10 etanol-% 90 benzin) yakıtları ile 2600-3500 dev/dk motor hızlarında gerçekleştirmiştir. Deneylerde en iyi sonuçlar E10 yakıtı ile elde edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, etanol kullanımı ile tüm motor performans parametrelerinin iyileştiği, HC ve CO emisyonları azalırken CO<sub>2</sub> emisyonlarının ise arttığı görülmüştür [55].

Yılmaz ve arkadaşları (2014), biyodizel-bütanol karışımlarının su soğutmalı ve ön yanma odalı bir dizel motorunun performans ve egzoz emisyonları üzerindeki

etkilerini incelemişlerdir. Deneyler dört farklı motor yükünde bütanol-biyodizel, saf dizel (D100) ve saf biyodizeli (B100) karşılaştırarak yapılmış, biyodizel-bütanol karışımları hacimce % 5 (B95Bu5), % 10 (B90Bu10) ve % 20 (B80Bu20) olarak ayarlanmıştır. Sonuçlara göre % 0 ve % 46 yüklerinde, biyodizel karışımlarında bütanol oranı arttıkça literatürün aksine CO emisyonları artış göstermiştir. En düşük HC emisyonu tüm yükler için biyodizel ile elde edilmiş, düşük bütanol oranlı biyodizel-bütanol karışımları saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında HC emisyonları açısından ciddi bir fark göstermemiştir. NO<sub>x</sub> emisyonu biyodizel ek olarak bütanol kullanımı ile azalmıştır. Bütanol'ün soğutma etkisinden dolayı bütanol miktarı arttıkça yanma sıcaklığı düşmektedir, bu yüzden en düşük NO<sub>x</sub> emisyonu B80Bu20 yakıtı ile elde edilmiştir [56].

An ve arkadaşları (2015), nümerik olarak dizel yakıtına metanol ilave edilmesinin motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Analizlerde, sabit 2400 dev/dk motor hızında, % 10, % 50 ve % 100 yük altında saf biyodizel ve onun metanol ile hacimce % 5, % 10 ve % 15 oranlarındaki karışımları için KIVA4 ve CHEMKIN II kodları kullanılarak 3-D bilgisayarlı akışkanlar dinamiği simülasyonları yapılmıştır. Nümerik sonuçlara göre % 10 yük altında etanol-biyodizel karışımlarının maksimum silindir basınçları saf biyodizel göre devamlı olarak iyileşmiştir. Metanole ait zengin oksijen içeriği ve düşük vizkoziteden dolayı, yakıt içeriğinde ki metanol oranının artması ile tüm yük koşullarında neredeyse doğrusal olarak artan bir termal verimlilik gözlenmiştir. Ayrıca tüm yük koşullarında metanol ilavesi ile CO ve kurum emisyonları azalmıştır. NO<sub>x</sub> emisyonunun düşük ve orta yüklü motor yük koşullarında biyodizel-metanol karışımı yakıtlar için, metanol yakıtının oksijen içeriği ve geliştirilmiş yanma prosesi nedeniyle arttığı ancak yüksek yük koşullarında ciddi bir değişim olmadığı gözlenmiştir [57].

Yasin ve arkadaşları (2015), 4 silindri, ön yanma odalı su soğutmalı bir Mitsubishi 4D68 dizel motorunda biyodizel (% 20)-metanol (% 5)-dizel (% 75), biyodizel (% 20)-metanol (% 10)-dizel (% 70), biyodizel (% 20)-dizel (% 80) ve geleneksel dizel yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Deneyler % 20, % 40 ve % 60 motor yüklerinde yapılmıştır. Deneysel sonuçlara göre karışımlardaki metanol oranı arttıkça dizel yakıtına göre daha fazla fren özgül yakıt tüketimi elde edilmiş; egzoz gazı sıcaklığı metanole sahip karışımlar ile bir miktar artmasına rağmen, sıcaklıklar arasında ciddi farklılıklar oluşmamıştır. Ayrıca metanol oranı arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonları artış gösterirken; CO emisyonları azalmıştır, % 5 metanole sahip biyodizel-dizel karışımı CO emisyonlarını azaltmada biyodizel (% 20)-dizel (% 80) karışımına göre daha verimli olmuştur [58].

Elfasakhany (2015), bir benzin motoru için farklı oranlarda hazırlanan etanol-metanol-benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmıştır. Deneyleri EM (etanol:metanol:benzin sırası ile 5:5:90, 3,5:3,5:93, 1,5:1,5:97 oranlarında), E (etanol:benzin sırası ile 10:90, 7:93, 3:97 oranlarında) ve M (metanol:benzin sırası ile 10:90, 7:93, 3:97 oranlarında) yakıtları ile gerçekleştirmiştir. Deneysel sonuçlara göre metanol-benzin karışımı ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. En düşük CO ve HC emisyonları metanol-benzin karışımı ile elde edilirken; etanol-benzin karışımının emisyon değerleri, benzin yakıtı ile etanol-metanol-benzin karışımı arasında kalmıştır. Benzin yakıtına etanol ve/veya metanol ilavesinin CO<sub>2</sub> emisyonunu artırdığı görülmüştür. Benzer şekilde, en yüksek volümetrik verim ve tork metanol-benzin karışımı ile elde edilirken; en yüksek fren gücü etanol-benzin karışımı ile elde edilmiştir. Etanol-metanol-benzin karışımı ile, etanol-benzin ile metanol-benzin karışımları arasında fren gücü, tork ve volümetrik verim elde edilmiş, en düşük değerler ise benzin yakıtıyla elde edilmiştir [22].

Junior ve Martins (2015), dizel-etanol çift yakıt modunda çalışan bir dizel motorunun egzoz emisyonlarını analiz etmişlerdir. Deney motoru tek silindri dizel direkt enjeksiyonlu ve emme kanalında homojen bir hava-yakıt karışımı oluşturmak için etanol enjeksiyon kanallı bir dizel motordur. Sonuçlara göre dizel-etanol ikili yakıt modu ile NO<sub>x</sub> emisyonu % 60 azalmıştır. Tüm motor çalışma koşullarında fakir karışım kullanılmasına rağmen CO ve HC emisyonlarının yüksek seviyelerde olmasını, etanol ile hava-yakıt karışımının gizli ısıısının ortadan kalkmasıyla ve etanol enjeksiyonunun yerinin homojen bir karışım oluşturulmaması ile açıklamışlardır. HC emisyonlarının % 90'ı etanol olduğu görülmüştür. Ayrıca aldehit emisyonlarında artmıştır [59].

Wei ve arkadaşları (2016), ağır ticari tipi, metanol enjeksiyonlu, ön karışimli bir dizel motoru için farklı dizel enjeksiyon zamanlamalarında (DEZ) ve metanol/dizel oranlarında (MDO) yanma, motor performansı ve egzoz emisyonlarını araştırmışlardır. Deneysel sonuçlara göre artan MDO ile ateşleme gecikmesi uzamış; yanma süresi ise kısalmıştır. DEZ azaldığında, yanma gecikmesi uzamış ve yanma süresi başlangıçta sabit kalmış, ardından bir miktar azalmıştır. Ayrıca fren termal verimliliği ise düşük MDO değerlerinde stabil kalmasına rağmen, yüksek MDO değerlerinde bir miktar azalma göstermiştir. Egzoz emisyonları için, MDO artışı ile NO<sub>x</sub> ve is emisyonları azalmış; ancak HC ve CO emisyonları ciddi şekilde artmıştır. DEZ azalması ile, CO emisyonları sürekli artarken, HC emisyonları ilk olarak artış göstermiş daha sonra azalmıştır. Ancak NO<sub>x</sub> ve is emisyonları arasındaki dengeleme ilişkisi artan MDO ile önemli ölçüde

iyileşmiş, özellikle 1,54 MDO değerinde neredeyse sıfır olmuştur [31].

Soni ve Gupta (2016), daha düşük egzoz emisyonlarına ulaşmak amacıyla iki aşamalı bir yol izlemişlerdir. İlk aşamada, NO<sub>x</sub> ve is emisyonu mümkün olan maksimum seviyede azaltmak için nümerik simülasyon kullanılarak optimum bir dizel metanol karışımı belirlenmiştir. Bir sonraki aşamada, nümerik simülasyon üç farklı egzoz azaltma yöntemi ile gerçekleştirildi. Birinci metot girdap oranının değişimi metodu, ikinci metot EGR (Egzoz gazı resirkülasyonu) tekniğindeki egzoz gazlarının resirküle miktarındaki değişim metodu ve üçüncü metot emisyonları daha fazla düşürmek amacıyla optimum metanol dizel karışımına farklı oranlarda su ilave etmektir. Nümerik simülasyon, piyasada bulunan CFD yazılımı AVL FIRE kullanılarak tek silindirli Kirloskar dizel motorunda (model TV1) gerçekleştirilmiştir. Temel yakıt olarak optimum dizel metanol karışımı ile başlayan simülasyon, 1, 1,3, 1,6 ve 2 girdap oranlarında, % 10-% 20 aralığında değişen EGR ve hacimce % 5, % 10 ve % 15 oranında temel yakıtta su ilavesi ile analiz edilmiştir. Sonuçlara göre su karışım yöntemi ile dizele göre NO<sub>x</sub> ve is emisyonları sırasıyla % 95 ve % 14 azalma eğilimi göstermişlerdir [60].

Doğan ve arkadaşları (2017), farklı oranlarda ki etanol-benzin karışımlarının (E0, E10, E20 E30) tam yükte 4 zamanlı bir benzin motorunun performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarda motor torku, yakıt ve soğutma suyu akış hızları, ve egzoz ve motor yüzey sıcaklıklarını ölçmüşlerdir. Motor enerji dağılımını, egzoz ve soğutma sistemindeki tersinmez süreçleri, ve ekserji dağılımını, deneysel verileri ve termodinamiğin birinci ve ikinci formüllerini kullanarak hesaplamışlardır. Teorik ve deneysel sonuçlara göre, benzin yakıtına etanol ilavesi ile benzin yakıtına göre ciddi bir güç kaybı olmadan CO, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları azalmıştır. Ayrıca silindir içi sıcaklığın azalması HC emisyonunu artırmıştır [21].

## 6. SONUÇLAR

İnsanoğlunun enerji talebi gün geçtikçe artmakta, ve bu talep birincil olarak petrol kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Petrol kökenli yakıtların atmosferde seragazlarına ve asit yağmurlarına sebep olduğu, kaynaklarının tükendiği ve savaşlara yol açtığı bilinmektedir. Bu sorunlar karşısında bilim adamları biyoyakıtlara yönelmiştir. Biyoalkoller bu yakıtlardan birisidir. Bu çalışmada geleneksel petrol kökenli motor yakıtlarına alternatif olabilecek biyoalkollerin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri araştırılmış, kronolojik olarak literatür derlemesi yapılmıştır. İçten yanmalı motorlarda motor torku ve gücünün artması, ve özgül yakıt tüketiminin azalması için yanma veriminin artırılması gerekmektedir. Yüksek oksijen içeriğine sahip etanol ve metanol gibi içten

yanmalı motorlarda kullanılacak ideal yakıtlar ile motorda ki yanmanın daha verimli olabileceği, dolayısıyla motor performansı ve egzoz emisyonlarının iyileştirilebileceği görülmüştür.

## TERMİNOLOJİ

CO	Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
dev/dk	devir/dakika
g/kWh	gram/Kilowatt.Saat
HC	Hidrokarbon
Hm <sup>3</sup>	Hektometre küp
kW	Kilowatt
NO <sub>x</sub>	Azotoksit
Nm	Newton.metre
ppm	Milyonda bir
\$	Amerikan doları

## KAYNAKLAR

- [1] Awad O. I., Mamat R., Ali O. M., Sidik N. A. C., Yusaf T., Kadirgama K. **Maurice Kettner, Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review**, Renewable and Sustainable Energy Reviews 82 Part 3 (2018) 2586-2605.
- [2] Güven S., Güneşer O., **Biyoetanol Üretimi ve Önemi**, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi 1 (2007) 91-96.
- [3] Raza R., Ullah M. K., Afzal M., Rafique A., Ali A., Arshad S., Zhu B. **15 – Low-temperature solid oxide fuel cells with bioalcohol fuels**, In Bioenergy Systems for the Future, Woodhead Publishing (2017) 521-539.
- [4] Shafiee S., Topal E., **When will fossil fuel reserves be diminished?**, Energy Polic, 37 (2009) 181–189.
- [5] Isa Y. M. Ganda E. T. **Bio-oil as a potential source of petroleum range fuels**, Renewable and Sustainable Energy Reviews 81 69–75, 2018.
- [6] Azizi K., Moraveji M. K., Najafabadi H. A., **A review on bio-fuel production from microalgal biomass by using pyrolysis method**, Renewable and Sustainable Energy Reviews 82 (2018) 3046-3059.
- [7] Othman M.F., Adama A., Najafi G., Mamat, R., **Green fuel as alternative fuel for diesel engine: A review**, Renewable and Sustainable Energy Reviews 80 (2017) 694–709.
- [8] Kasmuri N. H., Kamarudina S. K., Abdullah S. R. S., Hasan H. A., Som A. Md., **Process system engineering aspect of bio-alcohol fuel production from biomass via pyrolysis: An overview**, Renewable and Sustainable Energy Reviews 79 (2017) 914–923.
- [9] Ghasemzadeh K., Jalilnejad E., Basile A., **3 - Production of bioalcohol and biomethane**, In Bioenergy Systems for the Future, Woodhead Publishing (2017) 61-86.

- [10] Thangavelu S. K., Ahmed A. S., Ani F. N., **Review on bioethanol as alternative fuel for spark ignition engines**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56 (2016) 820–835.
- [11] Agarwal A. K., **Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines**, *Progress in Energy and Combustion Science* 33 (2017) 233–271.
- [12] Solomon B. D., Barnes J. R., Halvorsen K. E., **Grain and cellulosic ethanol: History, economics, and energy policy**, *Biomass and Bioenergy* 31 (2007) 416–425.
- [13] Venkata Sundar Rao K., Kurbet S. N., Kuppast V. V. **A Review on Performance of the IC Engine Using Alternative Fuels**, *Materials Today: Proceedings* 5 Part 1 (2018) 1989–1996.
- [14] <http://www.environmentalhistory.org/billkovarik/about-bk/research/cabi/>
- [15] <http://www.tekgida.org.tr/Oku/8268/Gida-Guvenligi-Ve-Guvencesi-Acisindan-2050-Perspektifi>
- [16] Majid Z. A., Mohsin R., Nasri N. S., **Effect Of Bioethanol on Engine Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Fuel Engine**, *International Journal of Technology* 6 (2016) 972–980.
- [17] Pouloupoulos S., Philippopoulos C., **Influence of MTBE addition into gasoline on automotive exhaust emissions**, *Atmospheric Environment* 34 (2000) 4781–4786.
- [18] How H. G., Masjuki H. H., Kalam M. A., Teoh Y. H., **Engine performance, emission and combustion characteristics of a common-rail diesel engine fuelled with bioethanol as a fuel additive in coconut oil biodiesel blends**, *Energy Procedia* 61 (2014) 1655 – 1659.
- [19] Özsezen A. N., **Evaluating Environmental Effects of Bioethanol-Gasoline Blends in Use a SI Engine**, *Journal of FCE – Scientific Paper* 4 (2016) 36–41.
- [20] Iodice P., Langella G., Amoresano A. **Ethanol in gasoline fuel blends: Effect on fuel consumption and engine out emissions of SI engines in cold operating conditions**, *Applied Thermal Engineering* 130 (2018) 1081–1089.
- [21] Doğan B., Erol D., Yaman H., Kodanlı E. **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.
- [22] Elfasakhany A., **Investigations on the effects of ethanol-methanol-gasoline blends in a spark-ignition engine: Performance and emissions analysis**, *Engineering Science and Technology, an International Journal* 18 (2015) 713–719.
- [23] Phuangwongtrakul S., Wechsato W., Sethaput T., Suktang K., Wongwiset S., **Experimental study on sparking ignition engine performance for optimal mixing ratio of ethanol–gasoline blended fuels**, *Applied Thermal Engineering* 100 (2016) 869–879.
- [24] Elfasakhany A., **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.
- [25] Thangavel V., Momulab S. Y., Gosala D. B., Asvathanarayanan R., **Experimental studies on simultaneous injection of ethanol-gasoline and n-butanol-gasoline in the intake port of a four stroke SI engine**, *Renewable Energy* 91 (2016) 347–360.
- [26] Costagliola M. A., Prati M. V., Florio S., Scorletti P., Terna D., Iodice P., Buono D., Senatore A., **Performances and emissions of a 4-stroke motorcycle fuelled with ethanol/gasoline blends**, *Fuel* 183 (2016) 470–477.
- [27] Kwanchareon P., Luengnaruemitchai A., Jai-In S., **Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine**, *Fuel* 86 (2007) 1053–1061.
- [28] Hsieh W. D., Chen R. H., Wu T. L., Lin T. H., **Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels**, *Atmospheric Environment* 36 (2002) 403–410.
- [29] Yasin M. H. M., Mamat R., Yusop A. F., Aziz A., Najafi G., **Comparative study on biodiesel-methanol-diesel low proportion blends operating with a diesel engine**, *Energy Procedia* 75 (2015) 10–16.
- [30] Costa R. C., Sodre J. R., **Hydrous ethanol vs. gasoline-ethanol blend: Engine performance and emissions**, *Fuel* 89 (2010) 287–293.
- [31] Wei L., Yao C., Han G., Pan W. **Effects of methanol to diesel ratio and diesel injection timing on combustion, performance and emissions of a methanol port premixed diesel engine**, *Energy* 95 (2016) 223–232.
- [32] Qi D. H., Chen H., Geng L. M., Bian Y. ZH., Ren X. CH., **Performance and combustion characteristics of biodiesel–diesel–methanol blend fuelled engine**, *Applied Energy* 87 (2010) 1679–1686.
- [33] Shahad H. A. K., Wabdan S. K., **Effect of Operating Conditions on Pollutants Concentration Emitted from a Spark Ignition Engine Fueled with Gasoline Bioethanol Blends**, *Journal of Renewable Energy* 2015, Article ID 170896, 7 pages, 2015.
- [34] Bae C., Kim J., **Alternative fuels for internal combustion engines**, *Proceedings of the Combustion Institute* 36 (2017) 3389–3413.
- [35] Bokhary A. Y. F., Alhazmy M., Ahmad N., Albahkali A., **Investigations on the Utilization of Ethanol-Unleaded Gasoline Blends on SI Engine Performance and Exhaust Gas Emission**,

- International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS 14 (2014) No:02.
- [36] Yüksel F., Yüksel B., **The use of ethanol–gasoline blend as a fuel in an SI engine**, Renewable Energy 29 (2004) 1181–1191.
- [37] Abu-Quadis M., Haddad O., Qudaisat M., **The effect of alcohol fumigation on diesel engine performance and emissions**, Energy Conversion & Management 41 (2000) 389–399.
- [38] Al Baghdadi M. A. R. S., **Performance study of a four-stroke spark ignition engine working with both of hydrogen and ethyl alcohol as supplementary fuel**, International Journal of Hydrogen Energy 25 (2000) 1005–1009.
- [39] Irshad A., **Oxygenated diesel: emissions and performance characteristics of ethanol- diesel blends in CI engines**, Society of automotive engineers (2001) Paper No. 2001-01-2475.
- [40] Al-Hasan M., **Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission**, Energy Conversion and Management 44 (2003) 1547-1561.
- [41] He B. Q., Shuai S. J., Wang J. X., He H., **The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine**, Atmospheric Environment 37 (2003) 4965–4971.
- [42] Xing-cai L., Jian-guang Y., Wu-gao Z., Zhen H., **Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol–diesel blend fuel**, Fuel 83 (2004) 2013–2020.
- [43] Shi X., Yu Y., He H., Shuai S., Wang J., Li R., **Emission characteristics using methyl soyate–ethanol–diesel fuel blends on a diesel engine**, Fuel 84 (2005) 1543–1549.
- [44] Yücesu H. S., Topgül T., Çınar C., Okur M., **Effect of ethanol–gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios**, Applied Thermal Engineering 26 (2006) 2272–2278.
- [45] Kumar M. S., Kerihuel A., Belletre J., Tazerout M., **Ethanol animal fat emulsions as a diesel engine fuel – Part 2: Engine test analysis**, Fuel 85 (2006) 2646–2652.
- [46] Yanju W., Shenghua L., Hongsong L., Rui Y., Jie L., Ying W., **Effects of methanol/ gasoline blends on a spark ignition engine performance and emissions**, Energy Fuel 22 (2008) 1254–9.
- [47] Yousufuddin S., Mehdi S. N., **Effect of Ignition Timing, Equivalence Ratio, and Compression Ratio on the Performance and Emission Characteristics of a Variable Compression Ratio SI Engine Using Ethanol-Unleaded Gasoline Blends**, IJE TRANSACTIONS B: Applications, 21 (2008) 97-106.
- [48] Mallikarjun M. V., Mamilla V. R., **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.
- [49] Koç M., Sekmen Y. Topgül T., Yücesu H. S., **The effects of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine**, Renewable Energy 34 (2009) 2101-2106.
- [50] Balaji D., **Influence of Isobutanol Blend in Spark Ignition Engine Performance and Emissions Operated with Gasoline and Ethanol**, International Journal of Engineering Science and Technology 2 (2010) 2859-2868.
- [51] Nazzal I. T., **Experimental study of gasoline – Alcohol blends on performance of internal combustion engine**, Eur. J. Sci. Res. 52 (2011) 16–22.
- [52] Özsezen A. N., Çanakçı M., **Performance and combustion characteristics of alcohol–gasoline blends at wide-open throttle**, Energy 36 (2011) 2747-2752.
- [53] Gravalos I., Moshou D., Gialamas T., Xyradakis P., Kateris D., Tsiropoulos Z., **Emissions characteristics of spark ignition engine operating on lower-higher molecular mass alcohol blended gasoline fuels**, Renew. Energy 50 (2013) 27–32.
- [54] Ramírez A. I., Aggarwal S. K., Som S., Rutter T. P., Longman D. E., **Effects of blending a heavy alcohol (C<sub>20</sub>H<sub>40</sub>O) with diesel in a heavy-duty compression-ignition engine**, Fuel 136 (2014) 89–102.
- [55] Elfasakhany A., **The Effects of Ethanol-Gasoline Blends on Performance and Exhaust Emission Characteristics of Spark Ignition Engines**, International Journal of Automotive Engineering 4 (2014) 609-620.
- [56] Yılmaz N., Vigil F. M., Benalil K., Davis S. M., Calva A., **Effect of biodiesel– utanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine**, Fuel 135 (2014) 46–50.
- [57] An H., Yang W. M., Li J., **Numerical modeling on a diesel engine fueled by biodiesel–methanol blends**, Energy Conversion and Management 93 (2015) 100–108.
- [58] Yasina M. H. M., Mamata R., Yusop A. F., **Comparative study on biodiesel- ethanol-diesel low proportion blends operating with a diesel engine**, Energy Procedia 75 (2015) 10–16.
- [59] Júnior R. F. B., Martins C. A., **Emission analysis of a Diesel Engine Operating in Diesel–Ethanol Dual-Fuel mode**, Fuel 148 (2015) 191-201.
- [60] Soni D. K., Gupta R., **Numerical investigation of emission reduction techniques applied on methanol blended diesel engine**, Alexandria Engineering Journal 55 (2016) 1867–1879.