

Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Olarak Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonlar Üzerindeki Etkisi

Abdullah KAYA^{1*} 

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Karaman, Türkiye

Alındı/Received: 22/05/2024; Kabul/Accepted: 05/07/2024; Yayın/Published: 10/12/2024

* Corresponding author e-mail: abdullahkaya@yandex.com

Öz

Alternatif yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar, enerji tüketiminin her geçen gün artması ve zararlı egzoz gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlamak için sürekli çalışma konusu olmuştur. Ülkemizde motorlu kara taşıt sayısı TÜİK verilerine göre 2024 yılı mayıs ayı sonu itibarıyla 29791066'ya ulaşmıştır. Yine sera gazı emisyonlarında en büyük payı 2022 yılı verilerine göre %71,8 ile enerji sektörü ilk sırada yer almıştır (TÜİK 2024). Bu yüzden içten yanmalı motorlarda alternatif yakıtlar üzerine çalışmak kaçınılmaz olmuştur. Etanolün içten yanmalı motorlar için uygun bir alternatif yakıt olduğu ve fiziksel ile kimyasal özelliklerinden dolayı buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımının daha uygun olduğu görülmüştür. İçten yanmalı motorlarda yanma olayı performans ve emisyon açısından önemli bir faktördür. Etanolün benzinle karıştırıldığında yanmanın iyileştiği ve temiz yanma oluştuğundan dolayı motor performansı ve emisyonlar üzerinde olumlu etkiler yarattığı görülmüştür. Bu araştırmada etanolün (C_2H_5OH) buji ile ateşlemeli (Otto çevrimli) motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması araştırılmıştır. Motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Etanolün buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılmasının yakıt özelliklerine göre sonuçları irdelenmiştir. Buji ile ateşlemeli motorlarda etanol kullanımının emisyon değerlerinde azalma ve motor performansında ise artış sağladığı görülmüştür. Etanol üretimi için kullanılan bitkisel ham maddelerin yetişme alanı uygun olan coğrafi bölgelerde üretim teknolojilerinin gelişmesi devam etmektedir. Dünyanın çoğu yerinde kullanımı mümkün olduğundan, ülkeler bu alternatif yakıt üzerinde araştırmalarına halen devam etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Etanol, emisyon, buji ateşlemeli motor

The Effect of Using Ethanol as Fuel on Performance and Emissions in Spark Ignition Engines

Abstract

Research on alternative fuels has been the subject of constant study to ensure that energy consumption increases day by day and harmful exhaust gas emissions are reduced. According to TÜİK data, the number of motor vehicles in our country reached 29791066 as of the end of May 2024. Again, the energy sector ranked first with the largest share in greenhouse gas emissions, with 71.8% according to 2022 data (TUIK 2024). Therefore, it has become inevitable to work on alternative fuels in internal combustion engines. It has been observed that ethanol is a suitable alternative fuel for internal combustion engines and that it is more suitable for use in spark ignition engines due to its physical and chemical properties. In internal combustion engines, combustion is an important factor in terms of performance and emissions. It has been observed that when ethanol is mixed with gasoline, combustion improves and clean combustion occurs, thus creating positive effects on engine performance and emissions. In this research, the use of ethanol (C_2H_5OH) as an alternative fuel in spark ignition (Otto cycle) engines was investigated. Its effect on engine performance and emissions has been studied. The results of using ethanol in spark ignition engines were examined according to fuel properties. It has been observed that the use of ethanol in spark ignition engines reduces emission values and increases engine performance. The development of production technologies continues in geographical regions where the plant raw materials used for ethanol production are suitable for cultivation. Since its use is possible in most parts of the world, countries are still continuing their research on this alternative fuel.

Key Words: Ethanol, emission, spark ignition engine

Atf / To cite: Kaya A (2024). Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Olarak Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonlar Üzerindeki Etkisi. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6(2): 68-83.

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında, yaklaşmakta olan iklim ve gıda sorunlarının etkilerinin öngörülmesi nedeniyle çevresel kaygılar artarak daha da önemli hale gelmiştir. İklim değişikliği, hava kirliliği, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı gibi konular ülkeleri sanayilerin ve teknolojik gelişmelerin çevresel etkilerini değerlendirmeye yöneltmiştir. Bu bağlamda içten yanmalı motorlar enerji verimliliği, emisyon kontrolü, sürdürülebilirlik gibi konularla doğrudan ilişkilendirilmektedir (Kantaroglu 2024). Bu nedenle mevcut motor teknolojilerinin geliştirilmesi ya da yeni yakıt arayışları zorunlu bir hal almıştır (Kantaroglu ve Doğan 2024).

Enerji krizi, başta gelişmiş ülkeler olmak üzere dünyanın en önemli sorunlarından biridir. Artan nüfus, sanayileşme, gelişmiş ulaşım, çeşitli sektörlerde fosil yakıtların sürekli kullanımı enerji kıtlığının başlıca nedenleridir (Dehande ve ark. 2021). Ulusal ve Avrupa Birliği iklim hedeflerine ulaşmak, karayolu ve arazi araçlarından kaynaklanan egzoz emisyonlarının azaltılması, daha katı düzenlemeleri karşılamak için, hem güç ünitelerinin enerji verimliliğini önemli ölçüde artırmak hem de fosil yakıtlardan uzaklaşmak gerekli hale gelmiştir (Stepień 2024). Enerji ve çevre konuları dünyanın her yerinde giderek artan bir ilgi görmektedir (Tang ve ark. 2023). Dünya nüfusunun artması ve enerji tüketimindeki benzeri görülmemiş eğilim, içinde bulunduğumuz yüzyılın önemli zorluklarını temsil etmektedir (Estrada ve ark. 2021).

Enerji, sosyal ve ekonomik sürdürülebilir kalkınma için kilit bir rol oynamaktadır. Sanayi Devrimi'nden bu yana dünyanın enerji tüketimi önemli ölçüde artmıştır. Geleneksel enerji, yani petrol, kömür, doğal gaz ve diğer fosil enerji kaynakları da hızla tükenmektedir (Wu ve ark. 2021). Bu durum araştırmacıların alternatif yakıtlar üzerine odaklanmasına neden olmuştur. İnsanların içten yanmalı motorlarda ekonomik, güvenli ve çevre dostu yakıt arayışı yıllardır devam eden bir konudur. Etanol, içten yanmalı motorlarda en çok araştırılan alkollü yakıt olmuştur (Chansauria ve Mandloi 2018). Alternatif yakıtlar arasında şu an kullanılan yakıtlar içinde yakıt özelliklerine uygun olan etanol bilim insanları tarafından araştırma konusu olmuştur (Türköz 2012).

Etanol, dünyanın bütün coğrafyasında kolay temin edilebilmesi, yakıt maliyetinin ucuz olması ve kullanılan yakıtın kolayca buharlaşması birim hacimden maksimum enerji elde edilmesine olanak sağlar. Etanolün emisyon değerlerinin düşürülmesi için çalışmalar hep süregelmektedir. Etanol, çeşitli alkoller arasında buji ile ateşlemeli motorlar için en uygun yakıt olarak bilinir (Chansauria ve Mandloi 2018). Etanol, etanol/benzin karışımlarının oktan sayısını ve oksijen içeriğini artırmak, fosil yakıtlara olan bağımlılığı ve eksik yanma ürünlerinin egzoz emisyonlarını azaltmak için buji ateşlemeli motorlar için alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir (Iodice ve ark. 2021).

Etanol (C₂H₅OH) ilk olarak 1930'larda bir motor yakıtı olarak ABD'de önerilmiştir. Ancak bazı ülkelerde yaygın olarak kullanımı 1970'lerde gerçekleşmiştir (Poulopoulos ve ark. 2001). Ülkemizde son yıllarda alkollerden etanol üretimine yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Petrol maliyetinin yükselmesiyle bu çalışmalara verilen önem artmıştır (Özer 2014). Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, çevre kirliliğinin azaltılması ve Avrupa Birliğinin yenilenebilir enerji politikalarına uyum sağlanması amacıyla "Benzin Türlerine Etanol Harmanlanması Hakkında Tebliğ" Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından hazırlanarak Resmi Gazetede yayımlanmıştır. 2023 yılı için harmanlama yükümlülüğü hacimce %2 (v/v)'dir (29 Aralık 2022 tarihli ve 32058 sayılı RG).

Dünya üzerinde ülkelerden bazılarında içten yanmalı motorlarda etanol kullanımı üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu ülkelerde etanol alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. Bir örnek olarak, Brezilya yağmur ormanları ortasında bulunması nedeni ile bitkisel üretim açısından zengin bir ülke konumundadır. Bu ülkede bitkisel fermantasyon ile üretilen etanolün saf yakıt olarak kullanılması petrol konusunda sıkıntı yaşamamasından kaynaklanmaktadır. Brezilya etanol kullanımında 30 yıldan daha fazla bir deneyime sahiptir (Saria ve ark. 2018). Kendi kendine tutuşma direnci ve buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranının artması için gerekli özelliklere sahip olmasından dolayı bu motorlarda kullanımı daha avantajlıdır. Etanol kullanımı gelişen dünyada petrol ve türevi yakıtlara olan ihtiyacı azaltabilir (Meral ve Saydan Kanberoğlu 2012). Ülkelerin otomotiv yakıt ihtiyaçları her geçen gün artan bir eğilimde olmasından, etanolün çevreye etkisi olan emisyon değerlerinin düşürülmesi için de araştırmalar halen devam etmektedir (Öğüt ve Kuş 2017). 1950'lerde araştırılmaya başlanan etanolün tarihsel gelişimi günümüzde de devam etmektedir (İmrağ 2006).

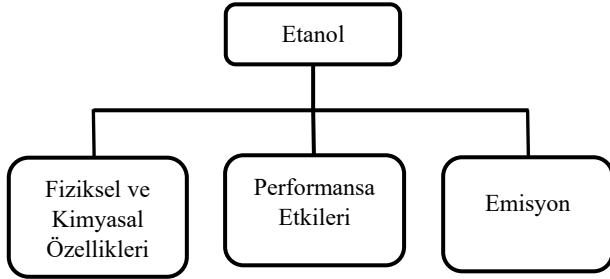
Tarım ürünlerinden üretilen etanol, alternatif yakıt olarak yaygın kullanıldığı ülkelerin genellikle yağışın bol ve yüksek verim elde edilen coğrafyalar üzerinde olduğu görülmüştür. İçten yanmalı motorlardan buji ile ateşlemeli motorlarda donanımsal değişikliğe fazla gerek duyulmadan kullanılması ve söz konusu motorlarda kullanımının performans ve emisyonlar açısından olumlu etkilerinden dolayı diğer alternatif yakıtlara oranla tercih edilme sebebi olduğu görülmüştür.

Farklı biyoenerji türleri arasında araştırılan etanol mevcut altyapıya entegre edilebilir. İçten yanmalı motorlarda kullanımından bir adım daha ileri giden etanol biyoenerjisi, karbon yakalama ve depolama ile birleştirildiğinde atmosferden karbonun uzaklaştırılmasını sağlama faydalarıyla endüstriyel proses ısısı gibi diğer sektörlere yönlendirilebilecek kadar esneklik (Cavalcanti ve ark. 2022).

2. MATERYAL VE METOT

İçten yanmalı motorlarda aradığımız en önemli parametreler motor performansının yüksek ve emisyonun düşük olmasıdır. Motor performansının artırılması ve emisyon değerlerinin düşürülmesi istenilen hedeflerdir. Bu araştırmada bilim insanları tarafından yapılmış deneyler ile araştırmaların detaylı çalışmaları incelenmiştir. Etanol üretimi dünyanın coğrafya yapısına uygun olması, tarımsal atıklardan bile üretilmesi etanolün en önemli

avantajlarından biri olup, alternatif yakıt olarak tercih edilme sebeplerinden biridir. Zararlı egzoz emisyonlarında azalma ve motor performans artışı sağlaması önemli özellikleridir. Buji ile ateşlemeli motorlarda olumlu sonuçlarından dolayı bu araştırma da detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 1'de etanolün incelendiği konu başlıkların diyagramı gösterilmektedir.



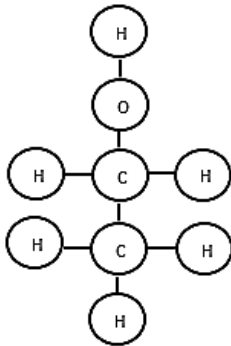
Şekil 1. Etanolün detaylı incelendiği konular

Etanolün buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımının motor performans ve emisyon üzerinde etkisinin incelenmesinin yanında üretimi ile ilgili bilgiler, üretildiği ham madde kaynaklarına göre ülkelerin coğrafi özellikleri ve iklim koşulları faktörleri göz önünde bulundurularak yoğun olarak üretildiği ülkelere makalede yer verilmiştir.

2.1. Etanol

Etanol, berrak, renksiz, zehirli olmayan, karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan fermantasyon yoluyla elde edilen, motorlu araçlarda kullanılabilen yenilenebilir bir yakıttır. Etanol, kirletici ve sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlayan fosil yakıtların yerini kısmen almak için dünya çapında yenilenebilir bir biyoyakıt olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Wang ve ark. 2022).

Etanolün (C_2H_5OH), bir molünde kütle olarak % 52,18 karbon, % 34,78 oksijen ve % 13,04 hidrojen barındırır (Vargün ve ark. 2020). Etanolün benzinle karışımına göre sembolleri vardır. Bu semboller Tablo 1'de gösterilmektedir. Ham maddesi tarım ürünlerinden oluşan etanol, yaygın olarak üretimi kolay ve maliyeti düşük olan şeker kamışından üretilir (Doğan ve ark. 2017).



Şekil 2. Etanolün molekül yapısı (Gürsel 2017).

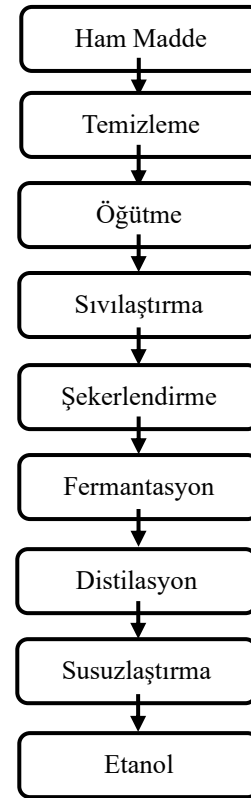
Etanol, benzinle karşılaştırıldığında mükemmel özelliklere sahiptir. Genel olarak etanol, yüksek laminar hız ve hidroksil (OH) gruplarının mevcudiyeti nedeniyle yanma sırasında tamamen yanar (Suresh ve Porpatham 2023).

Etanol içten yanmalı motorlarda saf olarak kullanıldığı gibi karışım şeklinde de kullanılabilir (Yüksel ve ark. 2019). Tablo 1'de etanolün elde edilme süreci ile ilgili bilgiler gösterilmiştir.

Tablo 1. Etanolün bazı kısa gösterimi ile ilgili bilgileri

E0	% 100 benzin
E5	%95 benzin, % 5 etanol
E10	% 90 benzin, %10 etanol
E20	%80 benzin, %20 etanol
E30	%70 benzin, %30 etanol
E40	%60 benzin, %40 etanol

Üretim süreci sırasıyla; ham madde, temizleme, öğütme, sıvılaştırma, şekerlendirme, fermantasyon (mayalanma), distilasyon (damıtma) ve susuzlaştırma süreçleridir.



Şekil 3. Etanol Üretim Şeması (İlçin 2020)

Farklı etanol karışımının özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir (Kumbhar ve Khot 2023).

Tablo 2. Farklı etanol karışımının özellikleri

Yakıt Özellikleri	E0	E20	E40	E60
Yoğunluk (15° C'de) (kg/m ³)	743	753	780	789
Kinematik Viskozite	0,5-0,6	0,6	0,691	0,70
Buhar Basıncı (kPa)	53,7	58,3	63	57,4
Stokiyometrik H/Y oranı	14,7	13,5	12,42	11,28
Araştırma oktan sayısı (RON)	92	94,8	101,7	108
Motor oktan sayısı (MON)	80,3	81,6	90,8	102,8
Alt ısı değeri (kJ/kg)	44000	40480	37160	33740
Parlama noktası	-45 -13	-20	-13,5	-5
Oksijen içeriği	0	7,05	15,90	24,78

Ham madde kaynaklarının enerji potansiyelleri ile ilgili bilgiler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Ham madde kaynaklarının enerji potansiyelleri (Balat ve ark. 2008)

Ham madde	Enerji Potansiyeli (lt/ton)
Şeker Kamışı	70
Şeker Pancarı	110
Mısır	360
Pirinç	430
Buğday	340
Arpa	250
Tatlı Sorgum	60
Küspe ve diğer selülozik biyoküteller	280

Bazı ham maddelerin etanole dönüşme miktarı ve maliyetleri Tablo 4'te gösterilmiştir (Şimşek ve ark. 2018).

Tablo 4. Bazı ham madde dönüşüm miktarları ve maliyetleri (2017 yılı verileri)

Ham Madde	Ham Madde Miktarı (kg)	Etanol Miktarı (lt)	Maliyeti (lt/TL)
Şeker Pancarı Melası	1000	464	2,50
Mısır	1000	460	2,81
Buğday	1000	380	2,95

**Şekil 4.** Etanol üretimi yapılan bazı tarım ürünleri görselleri.

2.2. Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

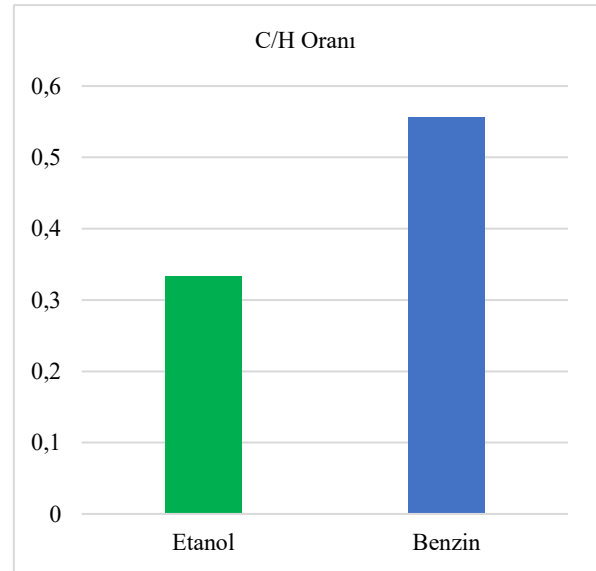
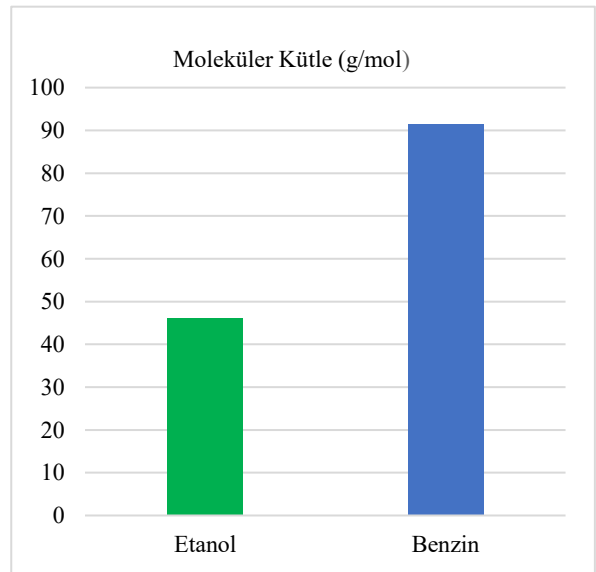
Etanol'ün, fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 5'te gösterilmiştir (Cooney ve ark. 2009).

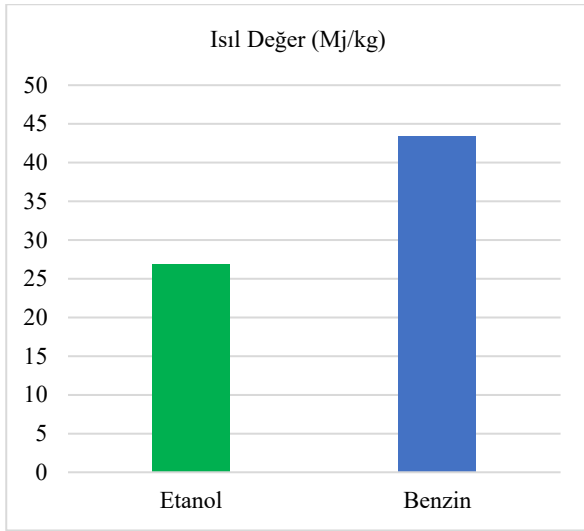
Etanolün donma noktasının yüksek olması bu yakıtta dünyanın birçok yerinde kullanılabilme imkânı sağlamaktadır. Etanolün birim kütle ve birim hacim başına ortaya çıkacak ısı miktarı (ısı değeri) benzinden daha düşüktür. Etanol su ile çeşitli oranlarda karışabilmektedir.

Tablo 5. Etanolün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin benzin yakıtı ile karşılaştırılması (Baliç 2007; Greenwood ve ark. 2014)

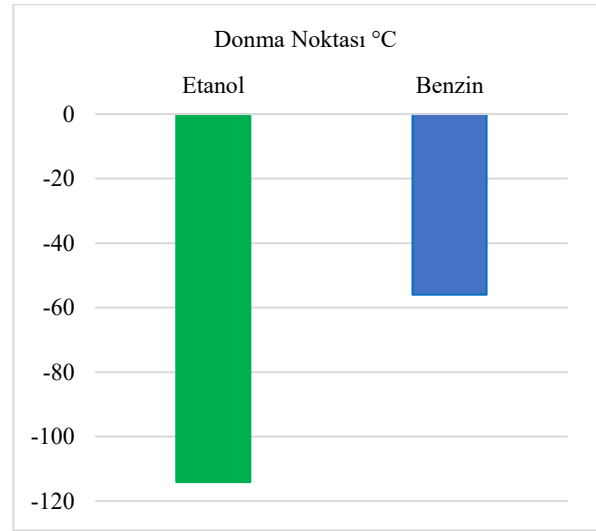
Yakıt	Etanol	Benzin
Kimyasal Denklemi	C_2H_5OH	C_nH_{2n+2}
C/H Oranı	0,333	0,556
Moleküler Kütle (g/mol)	46,07	91,4
Isıl Değer (Mj/kg)	26,9	43,4
Stokiyometrik Karışım – Kütleli	8,96	14,7
Stokiyometrik Karışım – Hacimsel	14,3	45,79
Buharlaşma Isısı (Mj/kg)	0,856	0,272
Tutuşma Sınırı % Hacim	3,5-19	1,3-7,6
Kaynama Noktası °C	78,7	32-221
Donma Noktası °C	-114,1	-56
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı °C	392	257
Oktan Sayısı – ROS (Araştırılan)	106	91-100
Oktan Sayısı – MOS (Motor)	87	82-94
Maksimum Alev Hızı* (m/s)	0,61	0,57

* 1 atm, 273 K'deki hesaplanan değer

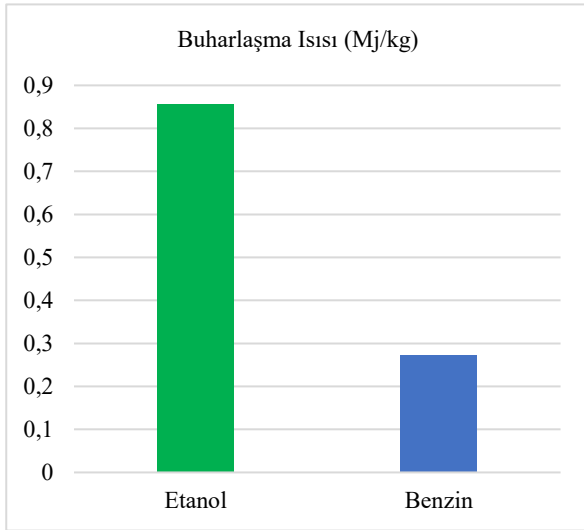
**Şekil 5.** Etanol- Benzin C/H oranı**Şekil 6.** Etanol-Benzin moleküler kütle



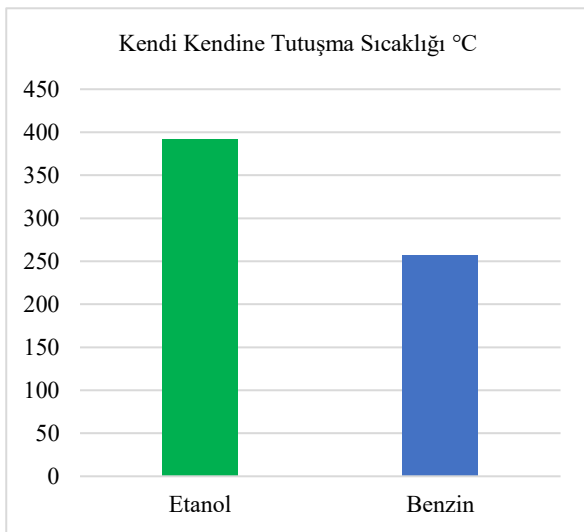
Şekil 7. Etanol- Benzin ısı değer (Mj/kg)



Şekil 10. Etanol-Benzin donma noktası °C



Şekil 8. Etanol- Benzin buharlaştırma ısısı (Mj/kg)



Şekil 9. Etanol-Benzin kendi kendine tutuşma sıcaklığı °C

2.3. Performansa Etkileri

Etanol, yüksek oktan sayısına (vuruntuya karşı direnç yeteneğine) sahip olmasından Otto motorlarında kullanımı daha uygundur. Yüksek oktan sayısı, vuruş toleransını artırır ve hızlı alev yanma sürecine potansiyel faydalar sağlar (Cooney ve ark. 2009). İçten yanmalı motor için optimum temiz ve verimli yanma durumunun elde edilmesi çok önemlidir (Zhang ve ark. 2024).

Daha yüksek oktan sayısı ve gizli buharlaştırma ısısı nedeniyle, sulu etanol daha yüksek vuruş direncine sahiptir ve bundan dolayı ateşleme avansının ilerlemesine olanak tanır (Wang ve ark. 2022). Benzine etanol eklenmesi oktan sayısını, yakıtın oksijen içeriğini ve alev hızını artırır. Etanol, benzinin ısı enerji değerinin yaklaşık 2/3'üne sahip olduğundan, etanol karışımının artırılması, etanol-benzin karışımının ısı enerji değerinde bir azalmaya neden olacaktır. Sonuç olarak, saf yakıtla aynı güç seviyesini ortaya çıkarmak için daha fazla yakıt karışımına ihtiyaç vardır (Kumbhar ve Khot 2023). Etanolün kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artması için gerekli niteliklere sahip olması otto motorlarında kullanımı daha avantajlı hale getirir.

Formül (1)'de k değerinin sabit olduğu kabul edilen şartlarda, teorik olarak sıkıştırma oranı (ϵ) arttıkça, verim (η) artacağından etanolün buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımı teorik verimi önemli ölçüde etkilemektedir. Sıkıştırma oranının artırılması, yanma odasındaki yakıt-hava karışım yoğunluğunu ve akış türbülans şiddetini etkileyerek, basınç artış hızını artırıp ve daha hızlı yanmaya olanak sağlar (Wang ve ark. 2022).

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^k} \quad (1)$$

Chansauria ve ark. (2018) yapmış olduğu araştırmada, 100 km/h araç hızında kurşunsuz benzine kıyasla E5 ve E10'un ısı verimindeki artış sırasıyla %1,9 ve %2,5'tir. E5 hariç 80 km/sa araç hızında, E10 için ısı verimindeki artış %0,4'tür. Kurşunsuz benzine kıyasla E5 için ısı veriminde %0,8'lik bir azalma olduğu, E10 karışımının E5'e göre daha fazla oksijen oranına sahip olması, yanmanın daha

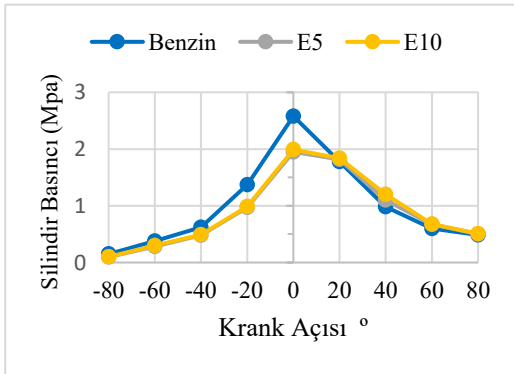
iyi hale gelmesinden dolayı ısıl verimliliği arttırdığını görmüşlerdir.

Dhande ve ark. (2023) yapmış oldukları araştırmada atık nar etanol karışımları kullanılarak buji ateşlemeli bir motorun performansını tahmin etmek için bir yapay sinir ağı (YSA) geliştirilmiştir. Tek silindirli, dört zamanlı, buji ateşlemeli bir motor üzerinde yapılan bir dizi deney, sinir ağı eğitimi ve doğrulaması için gereken verileri sağlamıştır. Deneysel verilerin yüzde 70'i, ileri beslemeli geri yayılım (FFBP) algoritmasını kullanarak ağı eğitmek için kullanılmış, geliştirilen ağ modelinin performansı, çıktısı deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Giriş parametreleri motor devrini, etanol karışımlarını içermektedir. Çıkış parametreleri ise belirtilen ve fren gücünü, termal, hacimsel ve mekanik verimlilikleri içermektedir. Eğitim ve test verilerinin regresyon katsayıları neredeyse bire eşit olduğunu görmüşlerdir. Araştırma, YSA modelinin motor performansını daha yüksek doğrulukla tahmin etmek için daha iyi bir seçenek olabileceğini ortaya çıkardığını görmüşlerdir. Etanol ve benzin karışımları kullanılarak daha iyi hacimsel verimin elde edilebileceği analiz edilmiştir (Chansauria ve Mandloi 2018).

Formül (2)'de hacimsel verim gösterilmiş olup, karışım yakıtının hacimsel verimi benzin yakıtından yüksektir. Artan hacimsel verimlilik, daha az yakıt-hava oranını ve daha iyi yanma verimliliğini temsil eder (Chansauria ve Mandloi 2018).

$$\eta v = \frac{\text{Emilen hava hacmi}}{\text{Yanma Odası Hacmi} + \text{Silindir Hacmi}} \quad (2)$$

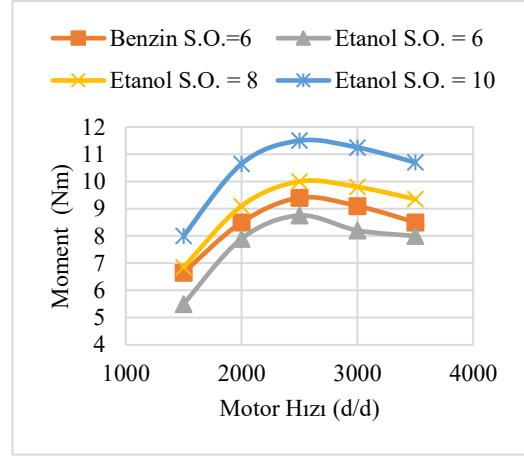
Buji ile ateşlemeli motorda, silindir gaz basıncı arttığında yanıcı yakıtın entalpisi artar. Artan entalpi nedeniyle, yakıtın enerjisi iyileşir (Chansauria ve Mandloi 2018). Şekil 11'de silindir gaz basıncının krank açısına bağlı olarak yakıtlara göre değişimi gösterilmektedir.



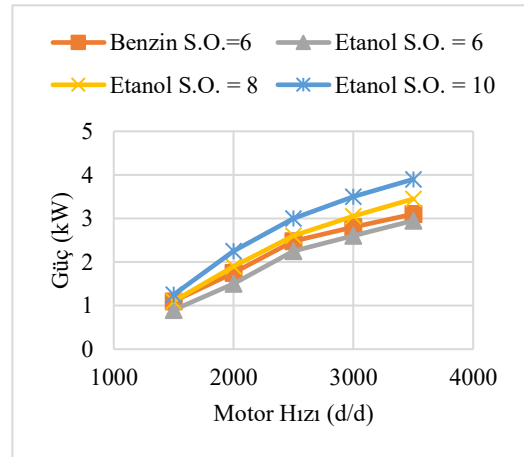
Şekil 11. 80 km/h araç hızında test yakıtları için ortaya çıkan silindir basınç değerleri (5 kW).

Etanolün saf hali, motor tasarımında ve yakıt sisteminde çok az değişiklik gerektirirken, buji ile ateşlemeli motorlarda her hangi bir değişiklik yapılmadan benzine karıştırılarak düşük konsantrasyonlarda kullanılabilir (Chansauria ve Mandloi 2018). Çelik ve Çolak (2008). Lombardini marka tek silindirli, hava soğutmalı, dört zamanlı, sıkıştırma oranı 4 ile 10 arasında değiştirilebilen, 250 cm³ motor hacmine sahip, bir araştırma motorunda deney yapmışlar ve deney sonucunda sıkıştırma oranı

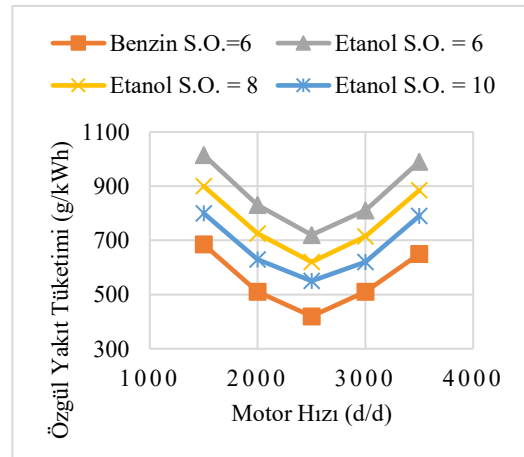
değiştirilmeden, Otto motor etanol ile çalıştırıldığında motor momentini ve gücünde bir miktar kayıp olduğu fakat zararlı emisyonlarda azalma olduğunu, artan sıkıştırma oranı ile birlikte yanma sonu basıncının ve sıcaklığının arttığını, dolayısıyla motor momentinde, motor gücünde artış ve özgül yakıt tüketiminde ise azalma olduğunu görmüşlerdir.



Şekil 12. Değişik sıkıştırma oranları ve karışımlar için motor momentinin değişimi (Çelik ve Çolak 2008).



Şekil 13. Değişik sıkıştırma oranları ve karışımlar için motor gücünün değişimi (Çelik ve Çolak 2008).



Şekil 14. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin değişimi (Çelik ve Çolak 2008).

2.4. Emisyon

Artan enerji tüketiminin getirdiği çevre ve hava kirliliği, egzoz emisyonlarının büyük bir kısmından sorumlu olan içten yanmalı motorların kullanıldığı ulaştırma sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına olan ilgiyi artırmıştır. Alkol yakıtları, içten yanmalı motorlarda kullanılmak üzere yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmekte olup, egzoz emisyonlarını ve maliyetlerini düşürdüğü bilinmektedir (Altun ve ark. 2023).

Çevremizin temiz olması ve hava kirliliğinin az olması yakıt tercihlerinde önemli bir durumdur. Alternatif yakıtların yapısındaki oksijen yoğunluğu zararlı egzoz emisyon değerlerini etkilemektedir. İçeriğinde oksijeni bol olan yakıtlar emisyon değerlerin azalması ve temiz bir çevre için önemli rol oynar. Söz konusu yakıtlar motor yakıtları ile beraber yakıldığında yanma performansının yüksek ve emisyon değerlerini ise düşürmektedir (Temizer 2020).

Karbonmonoksit (CO) eksik yanma ürünüdür. CO emisyonuna sebep olan etmenler, hava fazlalık katsayısı (λ), yanma odasında bulunan mevcut türbülans ile yakıtın molekülüdür. Eğer hava fazlalık katsayısı birden küçükse ($\lambda < 1$ ise), yani olması gerektiğinden daha az hava var ve yanma yeterli değilse yakıtta bulunan karbonun hepsi CO₂'e dönüşmeyecek, CO olarak kalacaktır. Oksijenin motor silindiri içerisinde yeterli olmaması hava yakıt karışımının kötü olması durumunda silindir içinde de yeterli olmayabilir (Sayın ve ark. 2014).

Benzinde bulunan karbon etanolde bulunan karbondan daha fazladır. Karbon yanma olayında karbonmonoksite dönüşmektedir. Oksijenin etanolde yüksek olmasından dolayı yanma iyileşeceğinden karbonmonoksitin düşük olmasına sebep olur (Sarıdemir ve Erkayalı 2016). Oksijen egzoz emisyonları için önemli bir faktördür. Benzine göre etanol karışımı yakıtların O₂ emisyon değerleri daha yüksektir. Bunun nedeni etanol karışımı yakıtın kimyasal yapısındaki oksijen fazlalığı nedeniyle yanma sonu emisyon değerlerinde bulunan O₂ miktarının yüksek olması ile açıklanabilir (Yüksel ve ark. 2019).

Buji ateşlemeli motorlarda HC ve CO emisyonlarını etkileyen ana parametreler yanma sıcaklığı, yanma süresi ve oksijen içeriğidir (Iodice ve Cardone 2021). Hidrokarbon (HC) emisyonu, eksik yanma olayından kaynaklanmaktadır. HC emisyonunun düşük olması yanma olayının silindir içinde verimli olmaması, taşıt hızı ile motor yükünün artması ile ilgilidir. Motorun boştaki devri ile yük durumundaki devirlerde HC emisyonu farklılık gösterir. Etanol ilavesi yakıtların daha iyi buharlaşmasını sağladığı için hava yakıt karışımının da iyi olması yanmayı iyileştireceğinden hidrokarbon emisyonunu düşürür. Farklı yüklerde araç boşta iken, veya farklı torklarda (yüklerde) hidrokarbon emisyonu değişkenlik gösterir (Pang ve ark. 2008). Deneysel araştırmaların çoğu, benzin yakıt karışımlarına etanol eklenmesinin, yeni nesil buji ile ateşlemeli motorların HC ve CO egzoz emisyonlarını etkili bir şekilde azaltabileceği sonucuna varmıştır (Iodice ve Cardone 2021).

İçten yanmalı motorlar CO₂ emisyonlarının ana kaynağıdır. CO₂ gibi sera gazları iklim değişikliğinden

sorumludur. Bu nedenle içten yanmalı motorlardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılması, küresel ısınmanın ve artan sıcaklıklar, değişen yağışlar, eriyen buzullar ve yükselen deniz seviyeleri dahil olmak üzere etkilerinin azaltılması açısından çok önemlidir (Sikora ve Orliński 2024).

CO₂ emisyonu, karbon bileşikli yakıtların tam yanma olayı sonunda açığa çıkar. Dolayısıyla, karbondioksit emisyon değerlerindeki artma, silindirlere alınan yakıtın yanmasının tam yanma olayına yaklaştığını göstermektedir (Örs ve ark. 2009). Etanol/benzin karışımı yakıtlar, saf benzine göre daha düşük karbon sayıları ürettiğinden, karışımları ile CO₂ emisyonları azaltılmıştır (Kunwer ve ark. 2022). NO emisyonu silindir içi sıcaklıkların değişiminden etkilenmektedir. Karışım zenginleştikçe silindir içi sıcaklıklar artar. Silindir içi sıcaklıkların düşük olması NO emisyonlarını azaltacaktır (Demirci ve ark. 2017).

Suresh ve Porpatham (2024) yapmış oldukları araştırmada etanol-benzin karışımları ile HC emisyonları azaltıldığını görmüşler, etanol yüksek oksijen içeriğine sahip olduğundan karışımı zayıflatıp, bu nedenle HC emisyonları benzinle 112 g/kWh'den 0,74 eşdeğerlik oranında E10 karışımıyla 80 g/kWh'ye düştüğünü, E10 benzinle karşılaştırıldığında NO_x emisyonları 0,98 eşdeğerlik oranıyla 30,35 g/kWh'den 30,6 g/kWh'ye çıktığını görmüşlerdir. Bunun nedeni E10'un benzine göre daha hızlı yanması ve silindir içinde daha yüksek sıcaklıklara sahip olmasından olduğunu belirtmişlerdir.

Etanol kullanımı ülkelerin ihtiyaç duyduğu petrolün yanı sıra, NO_x, SO₂ ile yüzde duman miktarı emisyon değerlerinin de azalmasına sebep olacaktır (Duzcan 2017). Su karışımında farklı motor devirlerinde NO_x emisyonunda azalmaya neden olmaktadır (Morsy 2015). Söz konusu yakıt benzin yakıtına göre düşük kirletici emisyonları verir (Greenwood ve ark. 2014). Kükürt bileşikleri bulunmadığından temiz yanma gerçekleşmektedir (Keskin ve Reşitoğlu 2009). Motor performansını iyileştirmesinin yanında egzoz emisyonlarını da iyileştirebilir (Bayraktar 2005).

Tarımsal ürünlerden elde edilen yakıtların doğa dostu olması, ülkemizin tarım alanlarının geniş olması ve dört mevsimin belirgin yaşanmasından dolayı bitkisel üretime emisyon tasarrufu açısından önem verilmelidir (Çöpür ve ark. 2006). Yakıt fiyatlarının artması ile kirletici egzoz emisyon kısıtlamaları daha sıkı hale geldikçe yenilenebilir yakıtlara ilgi daha fazla olmaktadır.

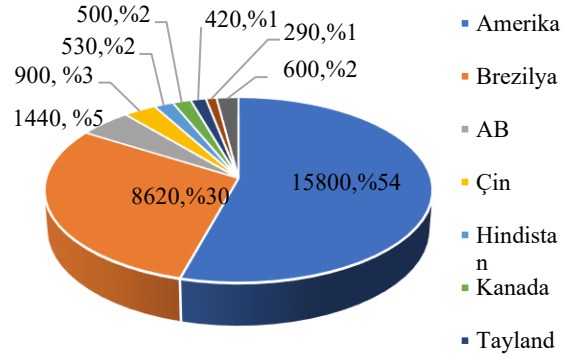
3. BULGULAR

Son birkaç on yılda, etanol önemli bir nakliye sıvı yakıtı haline geldi. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki mısır etanolü ve Brezilya'daki şeker kamışı etanolü olgun bir endüstri olarak konularını kazanmıştır. Sürdürülebilir kaynaklardan etanole olan güçlü ilgi, biyokütleden etanol üretimi için proses teknolojisinin gelişmesine yol açmıştır. Bu alandaki araştırmalar, biyobazlı ürün endüstrisinde birçok teknolojik başarıya ve değişime yol açmıştır (Hoang ve Nghiem 2021). Ülkemizde her geçen yıl artan taşıt sayısına bağlı olarak toplam sera gazı emisyonlarında 2022 yılında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı %71,8 ile

enerji kaynaklı emisyonlar alırken bunu sırasıyla %12,8 ile tarım, %12,5 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve %2,9 ile atık sektörü takip etmiştir (TÜİK 2024). Dolayısıyla hem enerji tüketimini hem sera gazı emisyonlarını azaltmak için çalışmalar sürekli devam etmektedir. Ülkemizde 2024 yılı mayıs ayı sonundaki taşıt sayısının değişimi Şekil 16'da gösterilmektedir.

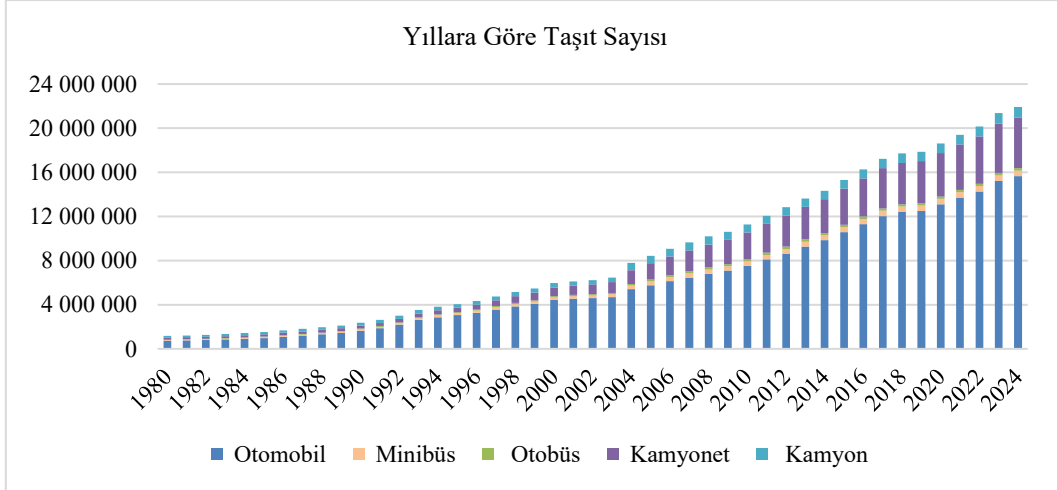
Etanol uzun süredir buji ateşlemeli motorlar için iyi bir yakıt olarak görülmektedir. Buji ateşlemeli motorlar, içten yanmalı motorları geliştirmenin başlarında etanol yakıtını kullanmaktadır. Benzine göre daha az kirletici madde yayan ve daha fazla kullanılabilirliğe sahip, nispeten düşük maliyetli bir alternatif yakıttır. Genel olarak, etanol ve etanol karışımlarının çevre açısından benzine göre daha iyi olduğu düşünülmektedir (Lee ve ark. 2022). Etanolün ülkelere göre üretim dağılımı Şekil 15'te gösterilmiştir (Wu ve ark. 2021).

Küresel etanol üretimi yüzyılın başında 18 milyar litreden 2019'da 110 milyar litreye altı kattan fazla artarak pandemi nedeniyle 2020'de sadece 98,6 milyar litreye gerilemiştir.



Şekil 15. 2019 yılında ülkelere göre etanol üretiminin (milyon galon) dağılımı (Wu ve ark. 2021).

COVID-19 pandemisinden önceki ilk beş etanol üreticisi ABD, Brezilya, Avrupa Birliği (AB), Çin ve Kanada'ydı. 2020'de Hindistan, Kanada'dan biraz daha fazla etanol üretmiştir, ancak ilk dört etanol üreticisi değişmemiştir (Mofijur ve ark. 2015).



Şekil 16. Taşıt sayısı değişimi (TÜİK. 2024).

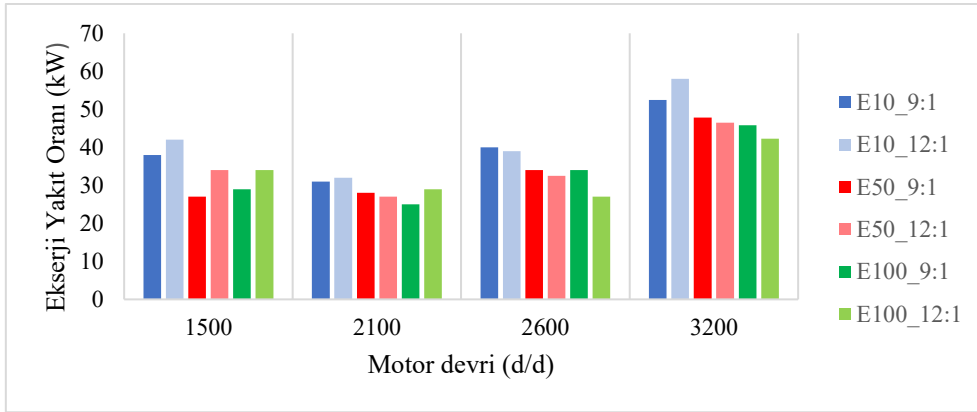
Khoa ve ark. (2022) yapmış oldukları çalışmada motor yakıtı olarak kullanılan etanolün optimum yanma süresinin 60 °KMA olarak bulmuşlardır. Su ve ark. (2022) yapmış oldukları çalışmada etanol karışımı dört farklı yakıtta etanol oranının %0'dan %20'ye, %40'tan %60'a çıkmasıyla silindir içi basınç önce artma sonra düşme eğilimi göstermektedir. E20'deki tepe silindir basıncı maksimum 3,01 MPa'ya ulaştığını görmüşlerdir. Alternatif yakıtlar arasında etanol, buji ateşlemeli motorlarda modifikasyonu olmayan mevcut motorlarla kullanımı uyumludur (Kunwer ve ark. 2022). Ekte sunulan Tablo 6'da bazı araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalar ile ilgili emisyon verileri gösterilmektedir.

İçten yanmalı bir motordaki ekserji analizi, en büyük geri tersinmezliklerin mevcut olduğu sürecin noktalarını belirlemeye izin verir. Özünde, bu tür bir analiz, olası kullanımı için mevcut enerjinin belirlenmesinden oluşur. Şekil 17'de E10 yakıtından gelen ekserji oranının, en düşük ve en yüksek dönme hızları olan 1500 ve 3200

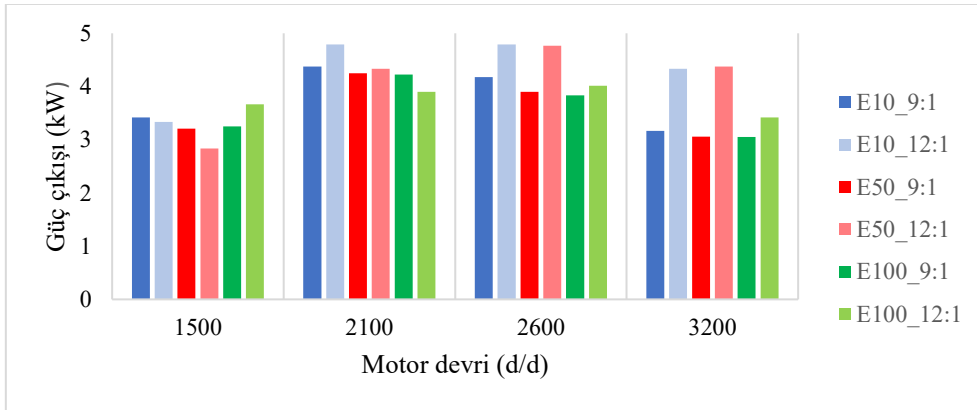
devirde çalıştırıldığında 12:1 sıkıştırma oranı ile arttığı görülmektedir. 12:1 sıkıştırma oranıyla çalışırken her dönüş hızında daha yüksek ekserji yakıt oranına sahip olan E10'un aksine; E50, 9:1 sıkıştırma oranında çalışırken 12:1'e göre daha yüksek yakıt ekserji oranına sahiptir. Bunun nedeni, motorun bu koşullarda çalışması için yakıttan daha fazla ekserji oranı talep etmesidir (Zapata ve ark. 2020). Şekil 18'de güç çıkışının, 1500 devirde E50 için minimum 2,85 kW değerinden, 12:1 sıkıştırma oranıyla 2600 devirde E10 için maksimum 4,80 kW değerine kadar değiştiğini göstermektedir. Ayrıca 3200 devirde, 12: 1 sıkıştırma oranıyla çalışırken patlamaların varlığı nedeniyle E50'nin güç çıkışı, E10'a kıyasla daha üstündür. E50 ve E100'ün 12:1 sıkıştırma oranıyla (E50 için 4,76 kW ila 2600 dev/dk ve E100 için 4,38 kW ila 2100 dev/dk) çalıştırıldığında 2100 dev/dk'nın üzerindeki rejimlerde performans artışı sağladığı gözlemlenmiştir. Çünkü sıkıştırma oranındaki artış termal performansı artırır ve yanma odasındaki basıncı artırır (Zapata ve ark. 2020).

Zapata ve ark. (2020) yapmış olduğu ekserji ile ilgili çalışmalarda ekserjetik göstergeleri karşılaştırılmasından, 12:1 sıkıştırma oranında E50 ve E100 ile çalışırken motordan daha yüksek performans elde edildiği sonucuna varmışlar, bununla birlikte E100 ile çalışırken 9:1 sıkıştırma oranı, 2100 devirlik bir dönme hızında %16,46 en yüksek ekserjetik verim elde edildiğini görmüşlerdir. Ancak diğer çalışma noktalarında ve performans göstergelerinde azalma olduğunu fark etmişlerdir. Etanol geleneksel hidrokarbon (HC) yakıtların yerini alabilecek ve zararlı egzoz emisyonları

azaltabilecek potansiyel bir alternatif yakıttır. Atık malzemelerden veya doğal kaynaklardan yapılabileceği için sürdürülebilir bir seçimdir. Etanolün oktan sayısı benzine göre daha yüksek olduğundan, vuruş önleme özellikleri daha iyidir ve daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışabilir. Benzinden önemli ölçüde daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olmasının yanı sıra, aynı zamanda daha yüksek hacimsel verime ve daha güçlü bir şarj soğutma etkisine sahiptir (Uddeen ve ark. 2024).



Şekil 17. Farklı sıkıştırma oranları için ekserji yakıt oranı ve motor devri (Zapata ve ark. 2020).

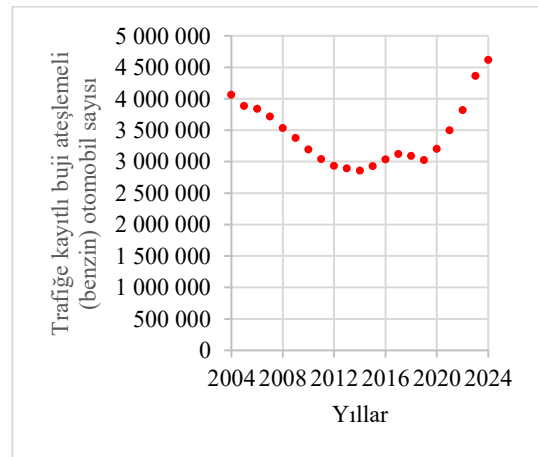


Şekil 18. Farklı sıkıştırma oranları için güç çıkışı ve motor devri (Zapata ve ark. 2020).

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

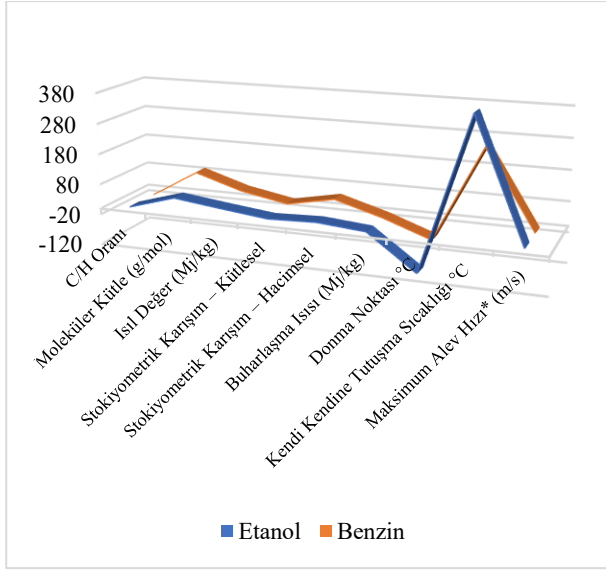
Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte enerji ihtiyacı ile çevreye yayılan zararlı emisyon gazları her geçen gün artmaktadır. Bu yüzden bilim insanları alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Alternatif yakıtlar arasında sürdürülebilir atık malzemelerden ve doğal kaynaklardan üretimi yapılabilen etanol öncelikli tercih edilen yakıtlar arasındadır. Taşıt sayısının artması ile birlikte alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalar hız kazanmıştır.

Bu çalışmada buji ile ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılan etanolün performans ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Ülkemizde 2024 yılı mayıs ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı buji ateşlemeli motorların yıllara göre dağılımı Şekil 19'da gösterilmektedir.



Şekil 19. 2024 yılı mayıs ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı buji ateşlemeli motor sayısı (TÜİK. 2024)

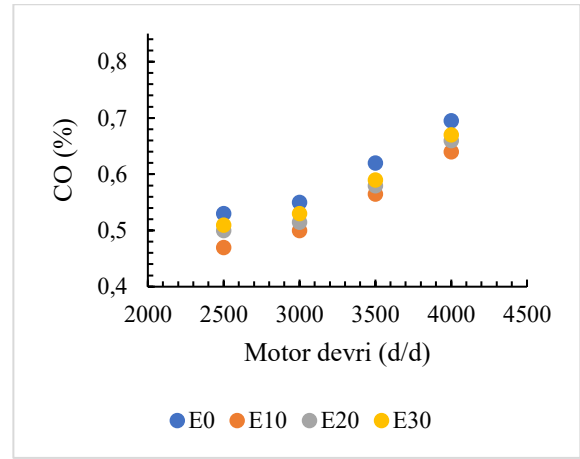
Etanolün fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılmasının daha uygun olduğu ve diğer alkollere oranla alternatif yakıt olarak kullanılmasının ön plana çıktığı görülmüştür.



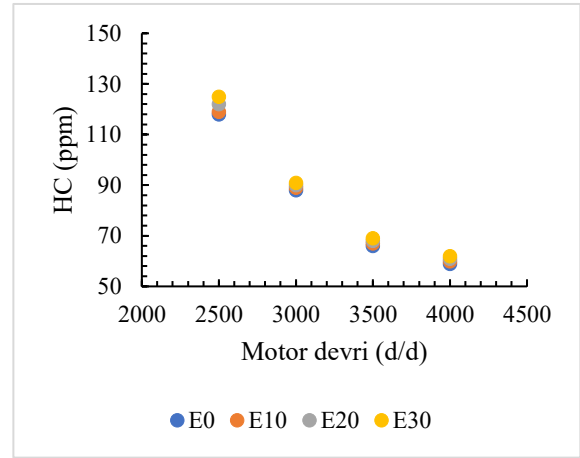
Şekil 20. Etanol/Benzin yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre 3B çizgi diyagramı

Şekil 20'de Etanol/Benzin yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre 3B çizgi diyagramı gösterilmiştir. İlgili diyagramda etanolün benzinli motorlarda kullanımının daha uygun olduğu görülmektedir. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda donanımsal teknik değişikliğe ihtiyaç duyulduğundan dolayı buji ateşlemeli motorlarda kullanımı daha uygun olduğu görülmüştür. Araştırılan çalışmalarda saf etanol ve etanol karışımlarının (E0, E5, E10, E20, vb.) buji ile ateşlemeli motor üzerindeki etkilerinin motor özelliklerine göre farklılıklar gösterdiği ve genel olarak olumlu sonuçların olduğu görülmüştür. Doğan ve ark. (2017) dört silindirli, dört zamanlı buji ateşlemeli motor (Ford Vsg 413, 48 kW) üzerinde yapmış oldukları deneysel çalışmada benzine etanol ilavesinin emisyonlarda olumlu sonuçlar çıkardığını görmüşlerdir.

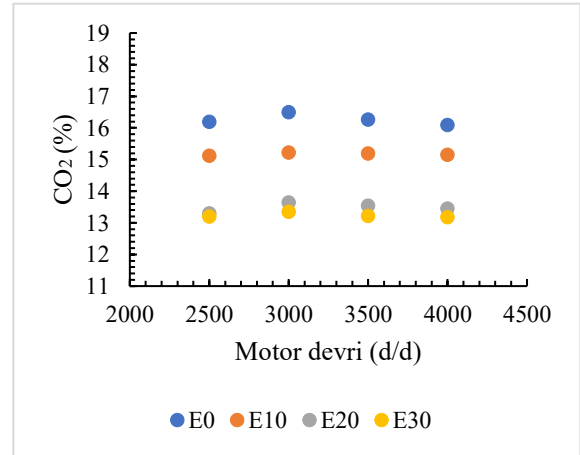
Farklı motor devirlerinde yapılan deneylerde motor devrine göre en yüksek CO emisyonu Şekil 21'de görüldüğü gibi E0 yakıtı ile ölçülmüştür. Etanolün benzine göre daha iyi buharlaşması ve kimyasal yapısındaki oksijen içeriği nedeniyle daha temiz yanmayı sağlar. Benzine eklenen etanol miktarı arttıkça CO emisyonunun azaldığı görülmektedir. Hidrokarbon emisyonu, egzozdan atılan tüketilmemiş yakıttan oluşur. Şekil 22'de verildiği gibi tüm yakıtlar için motor devri arttıkça HC emisyonu azalmaktadır. Motor devri arttıkça silindir içerisinde daha homojen bir karışım elde edildiğinden HC emisyonu azalma eğilimi göstermektedir. HC emisyonunun oluşumunda zaman kadar ısı da önemlidir. Etanol ilave edildiğinde silindir içi sıcaklığın azalmasıyla birlikte etanol ilaveli yakıtların daha yüksek HC emisyonu gösterdiği tespit edilmiştir. Yakıtların karbon bileşikleriyle yanması CO₂ emisyonuna neden olur.



Şekil 21. Motor hızına bağlı olarak CO emisyonları üzerindeki değişim ile ilgili serpilme diyagramı

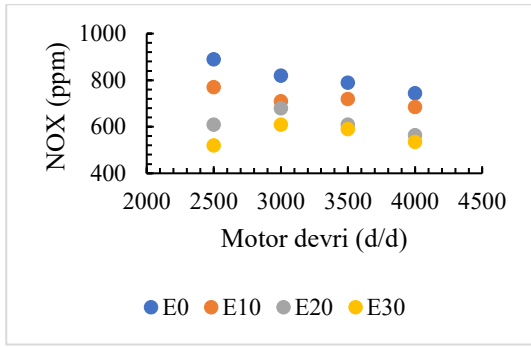


Şekil 22. Motor hızına bağlı olarak HC emisyonları üzerindeki değişim ile ilgili serpilme diyagramı



Şekil 23. Motor hızına bağlı olarak CO₂ emisyonları üzerindeki değişim ile ilgili serpilme diyagramı

CO₂ emisyonundaki artış, silindir içindeki yakıtın yanmasının tam yanmaya daha yakın olduğunu göstermektedir. Şekil 23'te en yüksek CO₂ emisyon değeri E0 ile 3000 devir/dakikada görülmektedir. Yüksek ateşleme avansı, yüksek motor ısıtması ve EGR sisteminin olmayışı NO_x oluşumunu artırmaktadır. Şekil 24'te motor devrine bağlı olarak NO_x değerindeki değişimi göstermektedir.



Şekil 24. Motor hızına bağlı olarak NO_x emisyonları üzerindeki değişim ile ilgili serpilme diyagramı

KAYNAKLAR

- Altun Ş, Adin MŞ, İlçin K (2023). Monohydric aliphatic alcohols as liquid fuels for using in internal combustion engines: A review. *Journal of Process Mechanical Engineering*, 238(4): 1941-1975.
- Balat M, Balat H, Öz C (2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(5): 551-573.
- Baliç F (2007). Dizel motorunda etil alkol fumigasyonunun motor performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek lisans, Sakarya Üniversitesi.
- Bayraktar H (2005). Experimental and theoretical investigation of using gasoline ethanol blends in spark ignition engines. *Renewable Energy*, 30(11): 1733-1747.
- Cavalcanti EJC, Da Silva DRS, Carvalho M (2022). Life cycle and exergoenvironmental analyses of ethanol: performance of a flex-fuel spark-ignition engine at wide-open throttle conditions, 2022(15): 1422.
- Çelik MB, Çolak A (2008). Buji ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak saf etanolün kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3): 619-626.
- Chansauria P, Mandloi RK (2018). Effects of ethanol blends on performance of spark ignition engine a review. *Materials Today: Proceedings*, 5(2): 4066-4077.
- Cooney CP, Yeliana, Worm JJ, Naber JD (2009). Combustion characterization in an internal combustion engine with ethanol gasoline blended fuels varying compression ratios and ignition timing. *Energy & Fuels*, 23(5): 2319-2324.
- Çöpür Y, Tozluoğlu A, Özyürek Ö (2006). Selülozik biyoetanol üretim teknolojisi. *Ormanlık Dergisi*, 10-37.
- Dhanda DY, Choudhari CS, Gaikwad DP, Dahe KB (2023). Development of artificial neural network to predict the performance of spark ignition engine fuelled with waste pomegranate ethanol blends. *Information Processing In Agriculture*, 2023(10): 459-474.
- Dehanda DY, Sinaga N, Dahe KB (2021). Study on combustion, performance and exhaust emissions of bioethanol-gasoline blended spark ignition engine. *Heliyon*, 2021(7).
- Demirci A, Doğan H E, Cihan Ö, Kutlar OA, Mediyev R, Arslan H (2017). Yeni bir yanma odasına sahip benzin motorunda farklı sıkıştırma oranlarının ve ateşleme avanslarının performans ve emisyonlara etkisi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(5): 1-1.
- 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: 433-443.
- Duzcan B (2017). Etanol dizel yakıt karışımlarının kısmi homojen dolgulu bir dizel motorun performansına etkisi. Yüksek lisans, Sakarya Üniversitesi.
- Estrada WG, Cambonel DM, Silvera AB, Quiroga AG, Forero JD (2021). Combustion and performance evaluation of a spark ignition engine operating with acetone-butanol-ethanol and hydroxy. *Applied Sciences*, 11.
- Greenwood JB, Erickson PA, Hwang J, Jordan EA (2014). Experimental results of hydrogen enrichment of ethanol in an ultra lean internal combustion engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(24): 12980-12990.
- Gürsel O (2017). Metanol benzin, etanol benzin ve metanol etanol benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorun performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi. Yüksek lisans, Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Hoang TD, Nghiem N (2021). Recent developments and current status of commercial production of fuel ethanol. *Fermentation*, 7(4).

- İlçin K (2020). İzopropanol bütanol etanol (İbe)'ün dizel ve biyodizel yakıtları ile karışımlarının bir dizel motorunda yanma ve emisyon karakteristiklerine etkisi. Yüksek lisans, Batman üniversitesi.
- İmrağ H (2006). Benzinli motorlarda biyoetanol kullanımının motor karakteristik değerlerine ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması. Yüksek lisans, Balıkesir üniversitesi.
- Iodice P, Cardone M (2021). Ethanol gasoline blends as alternative fuel in last generation spark ignition engines a review on co and hc engine out emissions. *Energies*, 14(13).
- Iodice P, Amoresano A, Langella G (2021). A review on the effects of ethanol/gasoline fuel blends on NO_x emissions in spark-ignition engines. *Biofuel Research Journal*, 32 (2021): 1465-1480.
- Kantaroğlu E (2024). Influence of different reynolds numbers and new geometries on water jacket cooling performance in a CI engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 2024.
- Kantaroğlu E, Doğan A (2024). Ticari buji ateşlemeli bir motorda JP8 askeri jet yakıtı ve amorf elementel bor yakıtlarının kullanımının NO_x emisyonlarına etkisinin deneysel incelenmesi, 7(1): 45-57.
- Keskin A, Reşitoğlu Aİ (2009). Butanol, etanol ve benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorlarda özgül yakıt tüketimi ve emisyona olan etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1).
- Khoa NX, Lim O (2022). Influence of combustion duration on the performance and emission characteristics of a spark ignition engine fueled with pure methanol and ethanol. *ACS Omega*, 7(17): 14505-14515.
- Kumbhar SV, Khot SA (2023). Experimental investigations of ethanol-gasoline blends on the performance, combustion, and emission characteristics of spark ignition engine spark ignition (SI) engine with partial addition of n-pentane. *Materials Today: Proceedings*, 77: 647-653.
- Kunwer R, Pasupuleti SR, Bhurat SS, Gugulothu SK, Singh D (2022). Effect of ethanol gasoline blend on spark ignition engine: a mini review. *Materials Today: Proceedings*, 69: 564-568.
- Lee CS, Huu TP, Anh TL, Minh TP, The LN, Duy TN, Duc KN (2022). Experimental study on the effects of ethanol blends on the combustion process, power performance and emission reduction of a motorcycle spark-ignition engine. *International Journal of Ambient Energy*, 43(1): 7150-7160.
- Meral R, Saydan Kanberoğlu G (2012). Tahıllardan etanol üretimi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(3):61-68.
- Mofijur M, Rasul MG, Hyde J (2015). Recent developments on internal combustion engine performance and emissions fuelled with biodiesel diesel ethanol blends. *Procedia Engineering*, 105(Ictc 2014): 658-664.
- Morsy MH (2015). Assessment of a direct injection diesel engine fumigated with ethanol water mixtures. *Energy Conversion and Management*, 94: 406-414.
- Öğüt H, Kuş R (1999). Motorlutaşıtlarda alternatif yakıt kullanımı. II. Ulaşım ve Trafik Kongresi. Konya, Türkiye.
- Örs İ, Tarakçioğlu N, Ciniviz M (2009). Yakıt olarak benzin etanol karışımlarının taşıt performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi. *Politeknik Dergisi*, 12(1): 13-19.
- Özer S (2014). Alkollerin içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(1): 97-114.
- Pang X, Mu Y, Yuan J, He H (2008). Carbonyls emission from ethanol blended gasoline and biodiesel ethanol diesel used in engines. *Atmospheric Environment*, 42(6): 1349-1358.
- Poulopoulos SG, Samaras DP, Philippopoulos CJ (2001). Regulated and unregulated emissions from an internal combustion engine operating on ethanol containing fuels. *Atmospheric Environment*, 35(26): 4399-4406.
- Saria RL, Golke D, Enzweiler HJ, Salau NPG, Pereira FM, Martins MES (2018). Exploring optimal operating conditions for wet ethanol use in spark ignition engines. *Applied Thermal Engineering*, 138(April): 523-533.
- Sarıdemir S, Erkalı B (2016). Etanol benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkisinin incelenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(1): 71-79.
- Sayın C, Şenbahçe A, Temür M (2014). Alkol yakıtların buji ateşlemeli motorlarda kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi. *Marmara University Journal of Science*, 26(1): 21.
- Sikora M, Orliński P (2024). Hydrotreated vegetable oil fuel within the fit for 55 package. *Combustion Engines*, 197(2): 3-8.
- Su Y, Zhang Y, Xie F, Duan J, Li X, Liu Y (2022). Influence of ethanol blending ratios on in-cylinder soot processes and particulate matter emissions in an optical direct injection spark ignition engine. *Fuel*, 2022(308).

- Suresh D, Porpatham E (2023). Influence of high compression ratio and hydrogen addition on the performance and emissions of a lean burn spark ignition engine fueled by ethanol-gasoline. *International Journal Of Hydrogen Energy*, 2023(48): 14433-14448.
- Suresh D, Porpatham E (2024). Influence of high compression ratio on the performance of ethanol-gasoline fuelled lean burn spark ignition engine at part throttle condition. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2024(53).
- Şimşek S, Özdayan B, Öztürk E, Şimşek H (2018). Alternatif yakıt olarak araçlarda biyoetanolün kullanılması. 14th International Combustion Symposium (INCOS2018). Karabük, Türkiye.
- Stępień Z (2024). Analysis of the prospects for hydrogen-fuelled internal combustion engines. *Combustion Engines*, 197(2): 32-41.
- Tang Q, Ren K, Xie X, Chen T, Jiang P, Zhang D (2023). The effect of acetone-butanol-ethanol and gasoline blends on the knocking performance of spark-ignition engine. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2023(46).
- Temizer İ (2020). The combustion analysis and wear effect of biodiesel fuel used in a diesel engine. *Fuel*, 270.
- Türk İstatistik Kurumu (2024). <https://data.tuik.gov.tr>.
- Türköz N (2012). Etanol-Benzin karışımlarının motor performansını ve emisyonlarına etkisi. Yüksek lisans, Uludağ üniversitesi.
- Uddeen K, Tang Q, Shi H, Turner J (2024). Performance and emission analysis of ammonia-ethanol and ammonia-methane dual-fuel combustion in a spark-ignition engine: an optical study. *Fuel*, 2024(358).
- Vargün M, Hürpekli M, Özzsezen AN (2020). Etanol dizel yakıt karışımları kullanılan bir motorda yakıt püskürtme zamanının yanma üzerine etkisi. *Mühendislikte Yakıtlar, Yangın ve Yanma Dergisi*, 8(8): 47-55.
- Wang X, Gao J, Chen Z, Chen H, Zhao Y, Huang Y, Chen Z (2022). Evaluation of hydrous ethanol as a fuel for internal combustion engines a review. *Renewable Energy*, 194: 504-525.
- Wu B, Wang YW, Dai YH, Song C, Zhu QL, Qin H, Tan FR, Chen HC, Dai LC, Hu GQ, He MX (2021). Current status and future prospective of bio ethanol industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145.
- Yüksel T, Temizer İ, Can İ, Koca F (2019). Benzinli bir motorda ısıtılmış biyoetanolün ikincil yakıt olarak kullanımının incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(1): 67-77.
- Zapata MJ, Restrepo A, Romero C, Quintero H (2020). Exergy analysis of a diesel engine converted to spark ignition operating with diesel, ethanol and gasoline ethanol blends. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42.
- Zhang J, Sun P, Yu X, Li D (2024). The effects of hydrogen peroxide-ethanol blend/gasoline on the combustion and emission performance of a combined injection spark ignition engine. *Journal of Cleaner Production*, 2024(450).

EK

Tablo 6. Bazı araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalar ile ilgili emisyon değerleri

Araştırmacılar	Motor Özellikleri	Yakıt	Devir/Hız	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	NO _x (ppm)
Costa ve ark. (2009)	Dört zamanlı, dört silindirli,8 valfli buji ateşlemeli motor	Benzin Etanol Karşımı	2500	~3	~12,60	~480	~680
Costa ve ark. (2009)	Dört zamanlı, dört silindirli,8 valfli buji ateşlemeli motor	Benzin Etanol Karşımı	3000	~3,80	~12,25	~400	~700
Costa ve ark. (2009)	Dört zamanlı, dört silindirli,8 valfli buji ateşlemeli motor	Benzin Etanol Karşımı	3500	~4,25	~11,95	~340	~650
Costa ve ark. (2009)	Dört zamanlı, dört silindirli,8 valfli buji ateşlemeli motor	Benzin Etanol Karşımı	4000	~4,40	~11,85	~330	~690
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kW	E0	2500	~0,53	~16,20	~118	~890
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kW	E0	3000	~0,55	~16,5	~88	~820
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kW	E0	3500	~0,62	~16,27	~66	~790
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E0	4000	~0,695	~16,1	~59	~745
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E10	2500	~0,47	~15,12	~119	~770
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E10	3000	~0,5	~15,225	~89	~710
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E10	3500	~0,565	~15,2	~67	~720
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E10	4000	~0,64	~15,15	~60	~685
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E20	2500	~0,5	~13,3	~122	~610
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E20	3000	~0,515	~13,65	~90	~680
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E20	3500	~0,58	~13,55	~68	~610
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E20	4000	~0,66	~13,45	~61	~565
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E30	2500	~0,51	~13,2	~125	~520
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E30	3000	~0,53	~13,35	~91	~610
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E30	3500	~0,585	~13,25	~69	~590
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E30	4000	~0,669	~13,18	~62	~535
Çelik ve ark. (2008)	Tek silindirli, hava soğutmalı, 4 zamanlı,250 cm ³ motor hacmine sahip, Lombardini (S.O. 10)	Etanol	1500	~2,75	~8,80	~550	~1900
Çelik ve ark. (2008)	Tek silindirli, hava soğutmalı, 4 zamanlı,250 cm ³ motor hacmine sahip, Lombardini (S.O. 10)	Etanol	2000	~2,35	~10,1	~490	~1740
Çelik ve ark. (2008)	Tek silindirli, hava soğutmalı, 4 zamanlı,250 cm ³ motor hacmine sahip, Lombardini (S.O. 10)	Etanol	2500	~1,85	~11,90	~390	~1600
Çelik ve ark. (2008)	Tek silindirli, hava soğutmalı, 4 zamanlı,250 cm ³ motor hacmine sahip, Lombardini (S.O. 10)	Etanol	3000	~1,70	~12,15	~320	~1350
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E0	20 km/h 2.vites	~0,40	~14,80	~46	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E0	40 km/h 2.vites	~0,25	~14,70	~43	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E0	60 km/h 2.vites	~0,45	~14,75	~33	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E0	80 km/h 2.vites	~1,05	~14,60	~10	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E10	20 km/h 2.vites	~0,15	~14,85	~4,95	-

Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E10	40 km/h 2.vites	~0,80	~14,15	~6,75	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E10	60 km/h 2.vites	~0,20	~14,90	~6,80	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E10	80 km/h 2.vites	~1,85	~14,10	~8,5	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E20	20 km/h 2.vites	~0,30	~15,30	~28,5	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E20	40 km/h 2.vites	~0,80	~14,75	~22	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E20	60 km/h 2.vites	~0,35	~14,85	~15	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E20	80 km/h 2.vites	~2,40	~13,65	~26	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E30	20 km/h 2.vites	~1,15	~14,20	~19	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E30	40 km/h 2.vites	~0,10	~16	~9,25	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E30	60 km/h 2.vites	~0,425	~14,65	~27	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E30	80 km/h 2.vites	~0,20	~14,80	~11	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	1250	~9,20	~7,80	~85	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	1750	~8,30	~8,10	~70	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	2250	~6,90	~10,90	~53	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	2750	~5,00	~13,00	~45	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	3250	~3,00	~12,25	~38	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	3750	~2,00	~11,75	~28	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	1250	~9,00	~7,95	~72	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	1750	~8,10	~9,90	~55	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	2250	~6,20	~11,80	~48	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	2750	~4,50	~13,25	~40	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	3250	~2,60	~13,10	~35	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	3750	~1,90	~12,00	~23	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	1250	~8,90	~8,90	~61	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	1750	~7,90	~10,00	~48	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	2250	~5,50	~11,95	~38	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	2750	~4,00	~13,50	~32	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	3250	~2,10	~12,90	~27	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	3750	~1,50	~12,20	~20	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	1250	~8,20	~9,00	~60	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	1750	~7,20	~10,10	~43	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	2250	~5,10	~12,50	~30	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	2750	~3,10	~14,00	~25	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	3250	~1,90	~13,10	~18	-

Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	3750	~1,00	~12,80	~12	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	1250	~7,50	~10,00	~52	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	1750	~6,20	~11,10	~35	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	2250	~4,20	~12,80	~30	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	2750	~2,50	~14,10	~20	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	3250	~1,50	~13,10	~13	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	3750	~0,50	~12,90	~10	-