

**Atf İçin:** Yakın, A., Uçkan, İ. ve Cabir, B. (2024). Ftalosiyanın Benzinli Motor Performansı ve Emisyonlar Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(3), 1253-1264.

**To Cite:** Yakın, A., Uçkan, İ. & Cabir, B. (2024). Experimental Investigation of the Effects of Phthalocyanine on Gasoline Engine Performance and Emissions. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(3), 1253-1264.

## Ftalosiyanın Benzinli Motor Performansı ve Emisyonlar Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması

Ahmet YAKIN<sup>1\*</sup>, İrfan UÇKAN<sup>2</sup>, Beyza CABİR<sup>1</sup>

### Öne Çıkanlar:

- Ftalosiyanın benzin yakıtına eklenerek FS7.5, FS12.5 ve FS17.5 karışım yakıtları oluşturulmuştur
- Ftalosiyanın benzinli motorun özgül yakıt tüketimini azaltmıştır
- Ftalosiyanın motor moment ve gücünü artırmıştır

### Anahtar Kelimeler:

- Ftalosiyanın
- Motor performansı
- Egzoz emisyonu

### ÖZET:

Fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel ısınmanın ve bu yakıtların sınırlı doğasının farkına varılması, otomotiv mühendislerini alternatif enerji kaynaklarını ve araç tasarımlarını keşfetmeye yöneltmiştir. Hibrit ve elektrikli araçların (HEV'ler ve EV'ler) benimsenmesi artarken, içten yanmalı motorlu (İYM) araçlar yaygınlığını korumaktadır. İYM'lerle ilgili çevresel kaygıları gidermek için bilim insanları, fosil yakıtlara bağımlılığı daha da azaltmak için hidrojen yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV'ler) ve bataryalı elektrikli araçlar (BEV'ler) gibi tamamen yeni araç tasarımlarına yönelik araştırmalara devam etmektedirler. Ayrıca günümüz araçlarında kullanılan motorların, motor verimliliğini artırmak ve emisyonları en aza indirmek için potansiyel çözümler olarak nano yakıtların ve yakıt katkı maddelerinin kullanımını araştırmaktadırlar. Benzin-ftalosiyanın karışımlarının içten yanmalı benzinli bir motordaki performans ve emisyonlarını değerlendirmek için deneysel bir araştırma yapılmıştır. FS7.5 (hacimsel olarak %92.5 benzin %7.5 ftalosiyanın), FS12.5 (hacimsel olarak %87.5 benzin %12.5 ftalosiyanın), FS17.5 (hacimsel olarak %82.5 benzin %17.5 ftalosiyanın) hazırlanmış ve daha sonra motorda değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, benzin yakıtına kıyasla F17.5 karışım yakıtı kullanıldığında motor momenti %1.38 ve motor gücü %1.64 oranında artmıştır. Buna karşın, FS7.5 karışım yakıtı CO emisyonunda %55.89 oranında bir düşüşe yol açmıştır. FS17.5 karışım yakıtı ise egzoz gaz sıcaklığında %2.27 oranında bir azalma yaratırken, tüm karışım yakıtlarının HC, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış gözlenmiştir. Özgül yakıt tüketimleri ise FS7.5, FS12.5 ve FS17.5 karışım yakıtları için sırasıyla %5.51, %4.23 ve %2.83 oranlarında azalmıştır.

## Experimental Investigation of the Effects of Phthalocyanine on Gasoline Engine Performance and Emissions

### Highlights:

- FS7.5, FS12.5 and FS17.5 blend fuels were formed by adding phthalocyanine to gasoline fuel
- Phthalocyanine reduced the specific fuel consumption of the gasoline engine
- Phthalocyanine increased engine torque and power

### Keywords:

- Phthalocyanine
- Engine performance
- Exhaust emission

### ABSTRACT:

Global warming caused by greenhouse gas emissions from the combustion of fossil fuels and the realization of the finite nature of these fuels has led automotive engineers to explore alternative energy sources and vehicle designs. While the adoption of hybrid and electric vehicles (HEVs and EVs) is increasing, internal combustion engine (ICE) vehicles remain prevalent. To address the environmental concerns associated with ICEs, scientists continue research into entirely new vehicle designs such as hydrogen fuel cell electric vehicles (FCEVs) and battery electric vehicles (BEVs) to further reduce dependence on fossil fuels. They are also investigating the use of nanofuels and fuel additives as potential solutions to improve engine efficiency and minimize emissions from the engines used in today's vehicles. An experimental investigation was conducted to evaluate the performance and emissions of gasoline-phthalocyanine blends in an internal combustion gasoline engine. FS7.5 (92.5% gasoline and 7.5% phthalocyanine by volume), FS12.5 (87.5% gasoline and 12.5% phthalocyanine by volume), FS17.5 (82.5% gasoline and 17.5% phthalocyanine by volume) were prepared and then evaluated in the engine. According to the results of the experimental study, engine torque increased by 1.38% and engine power increased by 1.64% when using F17.5 blend fuel compared to gasoline fuel. On the other hand, FS7.5 blend fuel led to a 55.89% reduction in CO emissions. FS17.5 blend fuel resulted in a 2.27% decrease in exhaust gas temperature, while HC, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions of all blend fuels increased. Specific fuel consumption decreased by 5.51%, 4.23% and 2.83% for FS7.5, FS12.5 and FS17.5 blend fuels, respectively..

<sup>1</sup>Ahmet YAKIN ([Orcid ID: 0000-0001-6716-2811](https://orcid.org/0000-0001-6716-2811)), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Van Türkiye.

<sup>2</sup>İrfan Uçkan ([Orcid ID: 0000-0003-3679-5661](https://orcid.org/0000-0003-3679-5661)), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Van Türkiye.

<sup>3</sup>Beyza CABİR ([Orcid ID: 0000-0003-4735-4511](https://orcid.org/0000-0003-4735-4511)) Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Van Türkiye.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ahmet YAKIN, e-mail: ahmetyakin@yyu.edu.tr

## GİRİŞ

Küresel ısınmaya neden olan araçlardan kaynaklanan zararlı egzoz emisyonlarını azaltmak için bilim insanları hem alternatif araçlar hem de alternatif yakıtlar üzerinde çalışıyor. Hibrit araçlar, güneş enerjisiyle çalışan araçlar, elektrikli araçlar ve hidrojen yakıtlı araçlar alternatif araçlar olarak kullanılmaktadır. Alternatif yakıt olarak ise nanoyakıtlar, biyoyakıtlar, alkoller ve yakıt katkı maddeleri kullanılmaktadır. Literatür taramasında, içten yanmalı motorlarda motor performansını artırmak ve araçlardan kaynaklanan zararlı egzoz emisyonlarını azaltmak için benzin veya dizel yakıtta eklenen çeşitli yakıt katkı maddeleri,

Solmaz ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, araştırmacılar atık kızartma yağı biyodizeline (B20) çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNTs) eklemenin doğrudan enjeksiyonlu sıkıştırma ateşlemeli bir motorda motor performansı, yanma ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneyler dört farklı motor yükü altında maksimum motor tork hızında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, MWCNT katkısı içermeyen B20 yakıtının motor performansını saf dizel yakıtla kıyasla biraz düşürdüğünü göstermiştir. Bununla birlikte, B20'ye MWCNT'lerin eklenmesi yakıt özelliklerini ve motor performansını iyileştirmiştir. Örneğin, 100 ppm MWCNT katkısının kullanılması, saf dizel yakıtla kıyasla yanma süresini kısaltmış, bu da ısı kayıplarının azalması nedeniyle termal verimlilikte bir artışa işaret etmiştir. Belirtilen en yüksek termal verimlilik, B20 yakıtında 100 ppm MWCNT katkısı kullanılarak 15 Nm motor yükünde %33.16 olmuştur. Ayrıca, MWCNT'nin yakıtta eklenmesiyle emisyonlar saf dizel yakıtla kıyasla azalmıştır (Solmaz ve ark.,2023).

Literatür çalışmalarında, yakıt katkı maddesi olarak konvansiyonel yakıtlara nano boyutlu olarak manganez (Mn) ve berilyum (Be) gibi elementlerinin ilave edilmesi yakıtların hem yoğunlukları ve tutuşması hem de gravimetrik ve hacimsel özelliklerini geliştirmektedir (Beach ve diğ, 2007; Abu-Hamed ve diğ, 2007; Mandilas ve diğ, 2014; Shkolnikov ve diğ, 2011; Steinfeld ve diğ, 1998; Wen, 2010).

Küçültülmüş, turbo şarjlı GDI motorların yükselişi, olağandışı yanma olayları olan LSPI ve süper vuruntu üzerine yoğun araştırmalara yol açmıştır. LSPI, yağ-yakıt damlacıkları tarafından tetiklenen erken ateşlemeyi içerirken, nadir bir tırmanma olan süper vuruntu, şok dalgaları veya sıcak noktalar yoluyla yüksek yoğunluklu patlamaya kadar ilerler. Gözlem ve metodolojik tutarsızlıklardaki zorluklara rağmen, özel motorlar ve geliştirilmiş vekiller dâhil olmak üzere ilerlemeler bu olayların modellenmesine ve analiz edilmesine izin vermektedir. Bu derlemede LSPI ve süper vuruntu mekanizmaları, deneysel yöntemler ve azaltma stratejileri ele alınmakta, yağ-yakıt damlacığı etkisine odaklanılmakta ve bu zararlı etkileri en aza indirmek için gelecekteki araştırma ihtiyaçları belirlenmektedir (Rönn ve ark.,2023).

Nanoboyutlu maddeler, yakıtlara katkı maddesi olarak katıldıklarında, yanma esnasında yakıtın katalitik rolünü iyileştirdiğinden dolayı verimli bir tam yanma meydana geldiği ve motor performansının iyileştiği için içten yanmalı motor yakıtlarının içerisine ilave edilebildiği ifade edilmektedir (Gürü ve diğ, 2002; Kasper ve diğ, 1999; Lissianski ve diğ, 2001). Ayrıca blok kalınlığının artırılması ve blok mesafesinin azaltılması tüm akışkan türleri ve geometrilerinde termal direnç üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Göksu, 2024a; Göksu, 2024b; Göksu ve Tılmaz, 2021).

Artan enerji ihtiyacı ve çevresel kaygılar, elektrik üretimi ve ulaşımda fosil yakıt bağımlılığının azaltılmasını gerektirmektedir. Yeşil çözümlere yönelik bu yarışta, biyogaz umut verici bir rakip olarak ortaya çıkmaktadır. Çok yönlülüğü, kolayca bulunabilen tarımsal veya evsel biyokütle kullanılarak kırsal alanlarda, evlerde ve hatta endüstrilerde enerji üretimi için kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, biyogaz bileşimi kaynağına bağlı olarak dalgalanmakta, yüksek karbondioksit içeriği

istikrarlı motor çalışması ve motor ömrünün kısılması için bir zorluk oluşturmaktadır. Bu derleme, biyogazın sürdürülebilir kalkınma için potansiyelini araştırmakta ve özellikle kıvılcım ateşlemeli motorlardaki uygulamasına odaklanmaktadır. Biyogaz üretimi ve yükseltme tekniklerindeki son gelişmeleri inceleyerek, motor stabilitesi ve performans sınırlamalarının üstesinden gelmeye yönelik stratejileri vurguluyoruz. Bunlar arasında hem motor modifikasyonları hem de biyometan üretimi veya hidrojen karışımı yoluyla yakıt kalitesinin iyileştirilmesi yer almaktadır. İnceleme, bu yaklaşımların motor performansı, yanma özellikleri ve emisyonlar üzerindeki etkilerini titizlikle analiz etmekte ve çalışma parametrelerinin rolünü vurgulamaktadır. Bu yolları keşfederek, temiz ve sürdürülebilir biyogazla çalışan bir geleceğin önünü açıyoruz (Gupta ve ark.,2023).

Kurien ve Mittal çalışmalarında (2023), Fosil yakıtlar sürdürülebilirliği tehdit ederken, temiz alternatifler ortaya çıkıyor. Karbonsuzlaştırma için umut verici olan hidrojen, altyapı engelleriyle karşı karşıyadır. Amonyak, yerleşik ulaşım altyapısı ve yeşil üretim potansiyeli ile hem otomotiv hem de enerji sektörleri için cazip bir alternatif sunmaktadır. Bu çalışma, amonyağın buji ateşlemeli motorlarda yanmasını araştırmakta, saf amonyak ve diğer yakıtlarla karışımlarla beslenen motorları analiz etmektedir. Daha yüksek otomatik tutuşma sıcaklığı, daha düşük yanıcılık ve daha yavaş alev hızı zorluklara yol açmaktadır, ancak motor modifikasyonları ve yakıt kalitesindeki iyileştirmeler bu zorlukları azaltabilir. Sıkıştırma oranlarının artırılması ve hidrojen karışımlarının eklenmesi önemli performans artışları göstermiştir. Tartışmada, amonyağın yanma yakıtı olarak kullanılmasına yönelik zorluklar ve stratejiler ele alınmakta, teknik ilerlemeler ve sosyal kabul vurgulanmaktadır. Yeşil amonyak üretiminin enerji verimliliği de ele alınmakta, hava ve sudan doğrudan sentezin umut verici sürdürülebilir bir yol olduğu vurgulanmaktadır.

Alkol bazlı yakıtlar, zararlı emisyonları azaltmanın yanı sıra motor performansını ve yanma verimliliğini artırmaktadır. Bu yakıtlar, yapısında barındırdıkları yüksek oksijen seviyesi, yüksek alev hızı ve yüksek gizli buharlaşma ısısı gibi özelliklerinden dolayı kıvılcım ateşlemeli motorda yakıt olarak kullanılmaktadır (Kocakulak ve diğ. 2022; Solmaz 2020, Ardebili ve diğ. 2020; Ağbulut 2021, Yakın ve diğ. 2022).

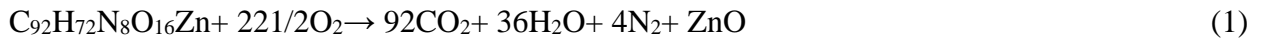
Yang Hua'nın çalışması, IC motorlar için umut verici, yenilenebilir ve karbon-nötr biyoyakıtlar, alternatif yakıtlar olarak yüksek alkollerini araştırmaktadır. Bilimsel çalışma, 1) çeşitli karışımların (dizel, biyodizel, atık yağ, bunların kombinasyonları ve daha düşük alkol ilaveleri) motor performansı, yanma ve emisyonlar üzerindeki etkisini; 2) çift yakıt modunda yüksek alkol kullanan RCCI ve PCCI motorlarının geliştirilmesini; ve 3) setan sayısı iyileştiricilerin kullanılması, EGR'nin ayarlanması ve enjeksiyonun değiştirilmesi gibi optimizasyon stratejilerini araştırmaktadır. Motorlarda kullanılan yüksek alkoller tipik olarak BSFC'yi artırırken, Partikül Madde emisyonlarını önemli ölçüde azaltır, PM-NOx dengesini iyileştirir ve dizele benzer BTE'yi korur. CO, HC ve NOx emisyonları üzerindeki etkileri karışıma göre değişir. Düşük alkollerle karşılaştırıldığında, dizel emisyonlarını iyileştirmede daha az etkilidirler, ancak biyodizel ve atık yağ performansı ve emisyonları için önemli avantajlar sunarlar. Çift yakıt modunda daha yüksek alkoller kullanan RCCI motorları, eş zamanlı PM ve NOx azaltımı ve bazı performans iyileştirmeleri için umut vaat etmektedir, ancak verimlilik kazanımları enjeksiyon oranına bağlıdır. Geliştirilmiş enjeksiyon stratejileri, EGR uygulaması ve hidrojen ilavesi ile bu motorlar için daha fazla iyileştirme sağlanabileceği tespit edilmiştir (Hua, 2024).

Markiewicz'in çalışması, sıkılaşan emisyon düzenlemeleri ve azalan fosil yakıtların, kıvılcım ateşlemeli motorlarda E100 etanol gibi biyoyakıtların araştırılmasını teşvik ettiğini araştırıyor. Çevre için faydalı olsa da, E100 güç ve torktan ödün vermektedir. Bu çalışma, güç, tork, emisyonlar, gürültü ve yazılım ayarlamaları dahil olmak üzere E100 yakıtlı bir motorun performansını analiz etmektedir. Çeşitli kontrol sistemi yazılım değişikliklerinin test edilmesi, E100 performansını optimize etmedeki

etkinliklerini doğrulamış ve alternatif yakıtlarla yanmalı araç performansı hakkındaki kullanıcı endişelerini giderirken emisyonları azaltmak için değerli bir araç sunmuştur (Markiewicz, 2024).

De Simio ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan çalışmada, araştırmacılar ağır hizmet tipi kıvılcım ateşlemeli bir motorda sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) hidrojen eklemenin etkisini test etmişlerdir. 15 ve %25 hidrojen içeren karışımlar kararlı durum ve geçici koşullarda yakılarak yanma ve emisyonlar analiz edilmiştir. Daha düşük kıvılcım avansı ile azot oksitlerin azaldığı, karbon oksitlerin ve hidrokarbonların azaldığı ve özellikle saf CNG ile aynı motor kontrol ayarlarına sahip geçici durumlarda tutarlı karbondioksit azalması olduğu görülmüştür. Çalışmanın en önemli yeniliği, farklı yakıtlara karşı geçici performans ve motor yönetimi tepkisinin analiz edilmesidir. Bu, hidrojen-metan karışımlarının karbonsuzlaştırma için gelecekte potansiyel bir yakıt seçeneği olarak kullanılmasına ilişkin değerli bilgiler sunmakta ve ayrıca bu karışımlarla partikül emisyonları hakkında yeni bulgular ortaya koymaktadır.

Formülü  $C_{92}H_{72}N_8O_{16}Zn$  ve molekül ağırlığı 1739.24 g/mol olan ftalosiyanın, aşağıdaki denkleme göre yanmaya uğrar:



Burada, bileşik karbondioksit ( $CO_2$ ), su ( $H_2O$ ), nitrojen gazı ( $N_2$ ) ve çinko oksit ( $ZnO$ ) üretmek için oksijenle reaksiyona girer. Yanma tipik olarak karbon ve hidrojenin oksijenle reaksiyona girmesini içerirken, nitrojen gibi diğer elementler de ürünlerde görülebilir.

Karşılaştırma yapmak gerekirse, aseton ( $C_3H_6O$ , molekül ağırlığı 58.08 g/mol) bu denkleme göre yanar:



Ftalosiyanine benzer şekilde, aseton da karbondioksit ve su oluşturmak üzere oksijenle reaksiyona girer. Yanma genellikle bir bileşiğin karbon ve hidrojeninin oksijenle reaksiyona girmesini içerir ve ortaya çıkan ürünler denkleme gösterilir.

Benzin gibi hidrokarbon çözücüler tipik olarak organik bileşiklerle daha iyi karışır. Ancak bazı inorganik çözücüler de belirli koşullar altında benzinle karışabilir. İşte benzinle karışabilen bazı organik ve inorganik çözücüler (Dahlen ve Miles, 1939).

Ftalosiyanın, motor odasında daha temiz yanmayı teşvik ederek benzin için ilgi çekici faydalar sunar. Kalıntı oluşumunu azaltarak motorun daha düzgün çalışmasını sağlayabilir ve potansiyel olarak genel performansı artırabilirler (Ma ve ark., 2021). Ayrıca ftalosiyanın, düşük kaliteli bileşenler mevcut olsa bile benzinin oktan derecesini yükseltme potansiyeline sahiptir (Kouwenhoven ve de Kroes, 2001). Bu, daha verimli yakıt kullanımı ve aracınızın egzozundaki zararlı emisyonların potansiyel olarak daha da azalması anlamına gelebilir.

Bu çalışmada, FS7.5 (%95 benzin + %5 ftalosiyanın), PHT10 (%90 benzin + %10 ftalosiyanın), PHT15 (%85 benzin + %15 ftalosiyanın) ftalosiyanın katkı maddelerinin farklı oranlarda homojen olarak benzin yakıtına karıştırılmasıyla elde edilmiştir.

Bu yakıtlar hacimsel oranlarda (%5, %10, %15) test edilmiş ve harmanlanmış yakıtların performansını ve egzoz emisyonlarını belirlemek için deneysel bir motorda test edilmiştir. FS7.5, FS12.5, FS17.5 ve saf benzin olmak üzere toplam dört yakıt, deneysel bir motorda performans ve emisyonlar açısından test edilmiştir.

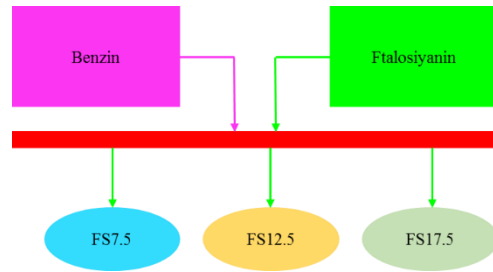
## MATERYAL VE METOT

### Ftalosiyanın ile Güçlendirilmiş Harmanlanmış Yakıtlar

İki farklı yakıt kullanılmıştır: saf benzin ve FS7.5, FS12.5 ve FS17.5 adı verilen karışımları oluşturmak için yakıt katkısı olarak ftalosiyanın ile karıştırılmış benzin. Yakıtlar Şekil 1'de gösterildiği

gibi benzinli bir motorda test edilmek üzere tasarlanmıştır. Bu yöntemde kullanılan ftalosiyanın bileşiği, "[Tetrakis(4-((4-izopropoksifenil)sülfonil)fenoksi)ftalosiyanimato]çinko(II)," sentezlediğimiz yöntemle benzer bir şekilde elde edilmiştir (Ağırtaş ve ark., 2022).

Çalışmamızda kullanılan [Tetrakis (4-((4-isopropoxyphenyl)sulfonyl) phenoxy) phthalocyaninato] zinc(II) bileşiği benzinde çözünmüyordu. Bunun yerine, Çinko(II) ftalosiyanın bileşiği asetonitril adı verilen bir çözücüde çözülmüştür. Asetonitril benzinle karışabilen bir çözücüdür. Elde edilen çözelti daha sonra çalışmada kullanılan farklı benzin-ftalosiyanın karışımlarının temelini oluşturmak üzere benzinle karıştırılmıştır. Yeni yakıt karışımları, asetonitril içinde çözülmüş ftalosiyanın içeren 2 litrelik benzin/ftalosiyanın çözeltisi karışımının hacimce %7.5, %12.5 ve %17.5'inden oluşmaktadır. Hazırlanan harmanlanmış yakıtlar, biri saf benzin ve diğer üçü sırasıyla %7.5, %12.5 ve %17.5 ftalosiyanın ve %92.5, %87.5 ve %82.5 benzin içeren FS7.5, FS12.5 ve FS17.5 olarak adlandırılan üç farklı tipten oluşmaktadır. Böylece testlerde kullanılmak üzere toplam üç test yakıtı hazırlanmıştır.



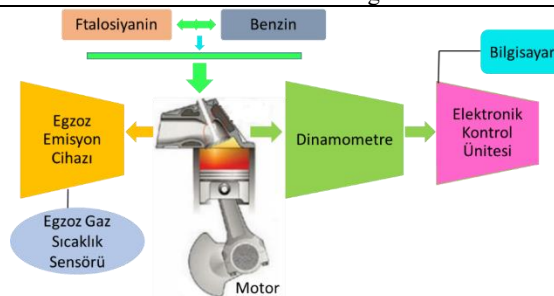
Şekil 1. Deney Yakıtları

## Motor Testleri

Deneyler Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği motor test laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde içten yanmalı, tek silindirli, buji ateşlemeli, su soğutmalı, değişken sıkıştırma oranına sahip bir test motoru kullanılmıştır. Test motorunun teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Deneyler, test motoru benzin yakıtıyla çalıştırıldıktan sonra, motorun soğutma suyu sıcaklığı ve yağlama yağı sıcaklığı stabil hale geldikten sonra başlatılmıştır. Motor testleri 1400 d/d, 1800 d/d, 2200 d/d, 2600 d/d ve 3000 d/d olmak üzere beş farklı motor devrinde ve tam yükte gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Test motorunun özellikleri

Özellik	Motor
Marka	Ricardo Hydra
Silindir sayısı	1
Sıkıştırma oranı	10:1
Maksimum hız (1/min)	5400
Maksimum güç (kW)	15kW, 5400 1/min de
Minimum hız (1/min)	1200
Silindir çapı (mm)	80.26
Silindir kurs (mm)	88.90
Supap sistemi	Üstten kamlı iki supap
Yakıt sistemi	Port tipi enjeksiyon
Soğutma sistemi	Sıvı soğutmalı



Şekil 2. Deney Düzenliği



Çalışmada kullanılan deney düzeneği Şekil 2'de gösterilmiştir. Deney motoru, 6500 d/d motor devrinde 30 kW gücü absorbe edebilen McClure marka elektrikli dinamometreye bağlanmıştır. Motor performansı, motor yağı sıcaklığı, motor moment ve egzoz sıcaklığı dijital olarak kaydedilirken, yakıt tüketimi analog olarak belirlenmiştir. Yakıt deposu 1 g hassasiyetindeki dijital terazi üzerine yerleştirilmiş ve motorun bir dakikada tükettiği yakıt verisi kaydedilmiştir.

Egzoz emisyonları, BEA 060 model egzoz gaz analiz cihazı ile ölçülmüştür. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Deneyler sırasındaki ölçüm hassasiyeti ve belirsizlikler ise Çizelge 3'te gösterilmiştir. Deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Yakıtların test edildiği deney düzeneğinin fotoğrafı

Çizelge 2. Egzoz gazı analiz cihazının teknik özellikleri

Parametre	Ölçme aralığı	Hassasiyet	Doğruluk
CO	0-10 % vol	0.001 % vol	± 5 %
CO <sub>2</sub>	0-18 % vol	0.01 % vol	± 5 %
HC	0-9999 ppm vol	1ppm vol	± 5 %
O <sub>2</sub>	0-22 % vol	0.010 % vol	± 5 %
NO	0-5000 ppm vol	1ppm vol	± 4 %
Lambda	0.5-9.9999	0.001	

Çizelge 3. Ölçülen doğruluklar ve hesaplanan belirsizlikler

Ölçüm	Çalışma aralığı	Ölçüm hassasiyeti	Belirsizlik (%)
Moment (Nm)	0-80Nm	0.01 Nm	Belirsizlik ± 0.25
Yakıt tüketimi (g)	----	0.01g	Doğruluk ± 0.1
Motor hızı (1/min)	0-7000 1/min	1 1/min	Doğruluk ± 1
Sıcaklık (°C)	----	----	Doğruluk ± 1
Ateşleme zamanı	70° ÜÖN' dan önce 20° ÜÖN' dan sonra	1° KMA	----

Bir ölçüm değerinin toplam hatası, imalat ve sabit hatalar ile rastgele hataların birleşimi olarak hesaplanır. Bu hesaplamada (3) numaralı denklem kullanılır. Farklı bağımsız değişkenlerin neden olduğu  $W_R$  belirsizliği ise tarafından sunulan aşağıdaki eşitlik elde edilir (Holman 1971).

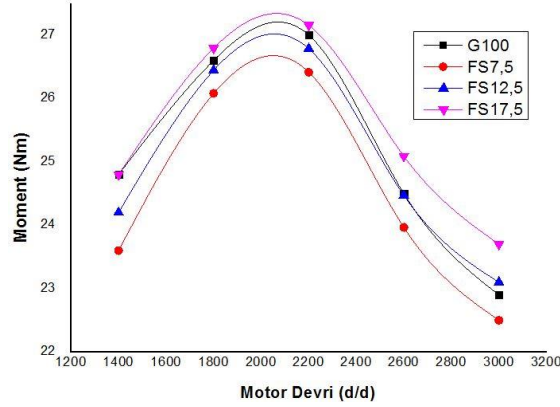
$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (3)$$

Formülden bağımsız değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak  $R$ ,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin belirsizliği ise  $w_1, w_2, \dots, w_n$  'dir.

$w_{BSFC}$  BSFC (özellik yakıt tüketimindeki) 'deki belirsizliği gösterir. Moment, motor hızı ve emisyon belirsizlikleri üretici firma tarafından belirlenmiştir. Değerleri sırasıyla, moment için  $\pm 0.25$ , motor hızı

için  $\pm\%1$ , emisyon değerleri için CO, CO<sub>2</sub>, HC için  $\pm\%5$ , NO<sub>x</sub> için  $\pm\%4$  olarak belirlenmiştir. Hava sıcaklıkları için belirsizlik  $\pm\%1$  °C, özgül yakıt tüketimindeki belirsizlik ise  $\pm\%1.04$  olarak hesaplanmıştır.

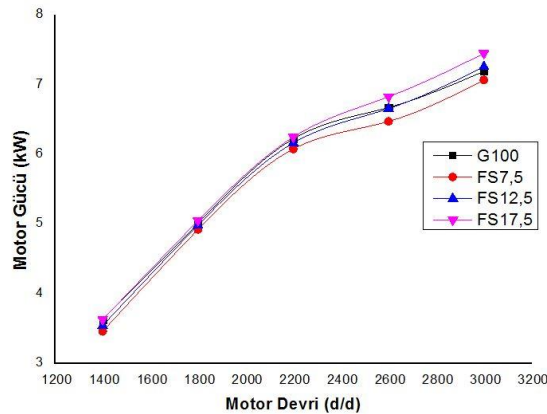
## BULGULAR VE TARTIŞMA



Şekil 3. Motor momentinin motor hızına bağlı değişimi

Taşıtların ilk kalkışta hava direnci, yuvarlanma direnci ve yokuş direnci gibi etkenleri yenerek hızlanması için yüksek motor momentine ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir. Şekil 3'te gösterilen motor momentini - motor hızı grafiğine göre, FS17.5 karışım yakıtı hariç diğer karışım yakıtların motor momentleri benzine kıyasla düşüş göstermiştir. FS17.5 karışım yakıtında ise benzin yakıtına göre %1.38'lik bir artış gözlemlenmiştir.

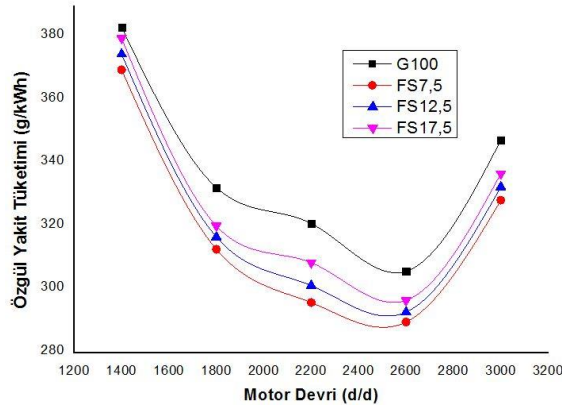
Bu artışın sebebi ftalosiyaninlerin benzin katkı maddesi olarak kullanılmasındır. Ftalosiyaninler, motorun tork değerini artırabilir. Bu artış, ftalosiyaninlerin benzinin yanma odasında daha temiz yanmasını sağlamasıyla ilişkilendirilebilir (Khajone, 2020). Daha temiz yanma, yanma odasındaki kirleticilerin azalması ve silindirlerin daha temiz kalması anlamına gelir. Bu da daha iyi bir sıkıştırma oranı ve daha yüksek bir tork üretimi sağlar. Ayrıca ftalosiyaninler, benzinin oktan sayısını artırarak yanma sürecini optimize eder ve bu da daha yüksek tork üretimine katkıda bulunur.



Şekil 4. Motor gücünün motor hızına bağlı değişimi

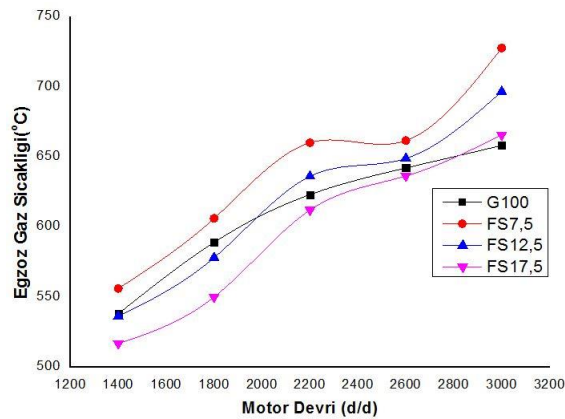
Şekil 4, motor gücünün motor hızına bağlı değişimini gösterir. Grafiğe göre, FS17.5 karışım yakıtı, motor hızına bağlı olarak benzin yakıtına kıyasla motor gücünü %1.64 oranında artırırken, diğer karışım yakıtların motor güçleri benzine kıyasla düşmüştür. Bu ftalosiyaninlerin benzin katkı maddesi olarak kullanılmasından kaynaklanabilir. Ftalosiyaninler, benzinin yanma odasında daha verimli yanmasını sağlayarak motor gücünün artmasına katkıda bulunabilir. Daha verimli yanma, mevcut yakıtın daha iyi kullanılması anlamına gelir ve bu da daha fazla güç üretir. Ftalosiyaninler ayrıca benzinin oktan sayısını

da artırarak daha iyi yanma koşulları sağlar ve bu da daha yüksek bir güç çıkışına neden olabilir (Kadish, 2000).



Şekil 5. Özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı değişimi

Hem sürücüler hem de otomotiv üreticileri, araçların daha az yakıt tüketerek daha uzun menzile sahip olmasını ister. Günümüz ekonomisinde yüksek yakıt fiyatları göz önüne alındığında, taşıtların yakıt tüketimi her zamankinden daha önemli hale gelmiştir. Şekil 5, özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı değişimini gösterir. Grafiğe göre, tüm karışım yakıtların özgül yakıt tüketimleri, tüm motor devirlerinde benzine kıyasla düşmüştür. Deneysel yakıtları arasında en fazla azalma %5.51 oranında FS7.5 karışım yakıtıyla gerçekleşmiştir. Ftalosiyenin benzin katkı maddesi olarak kullanıldığında özgül yakıt tüketimini düşürmesinin sebebi, bu bileşiklerin oksidasyon ve korozyon direncini artırıcı özellikleridir. Ftalosiyenler, metal iyonlarıyla kompleksler oluşturan organik bileşiklerdir. Bu kompleksler metal yüzeyleri korur ve yanma odasında oluşan yüksek sıcaklıklarda bile bu koruyucu tabakanın bozulmasını önler (Verma, 2021). Bu sayede motor parçalarının ömrü uzar ve daha verimli bir yakıt tüketimi sağlanır. Ayrıca, fталosiyenlerin temizleme özellikleri de vardır, bu da yanma odasındaki tortu ve kalıntıların temizlenmesine yardımcı olur. Bu da motorun daha iyi çalışmasını ve daha az yakıt tüketmesini sağlar.

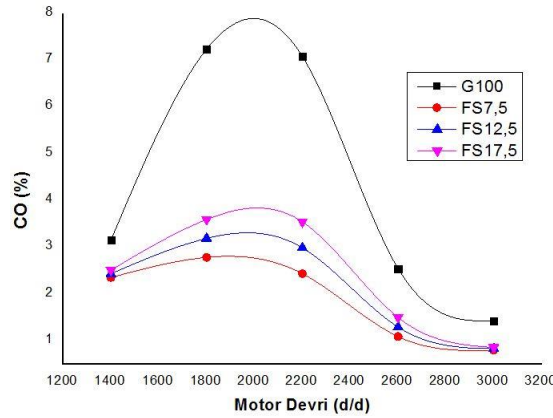


Şekil 6. Egzoz gaz sıcaklığının motor hızına bağlı değişimi

Şekil 6, egzoz gaz sıcaklığının motor hızına bağlı değişimini göstermektedir. Grafiğe bakıldığında, tüm karışım yakıtların yüksek motor devirlerinde egzoz gaz sıcaklıkları benzine kıyasla artmıştır. FS7.5, FS12.5 ve FS17.5 karışım yakıtlarının egzoz gaz sıcaklıkları benzine kıyasla sırasıyla %5.27 artış, %1.49 artış ve %2.27 azalma göstermiştir. Ftalosiyenin benzin katkı maddesi olarak kullanılması, motor hızına bağlı egzoz gazı sıcaklığını düşürmeye yardımcı olur. Bu durum, fталosiyenlerin katalitik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ftalosiyenler, egzoz gazlarındaki zararlı bileşiklerin oksidasyonunu katalize ederek daha temiz bir egzoz sistemi sağlarlar. Bu oksidasyon reaksiyonu,



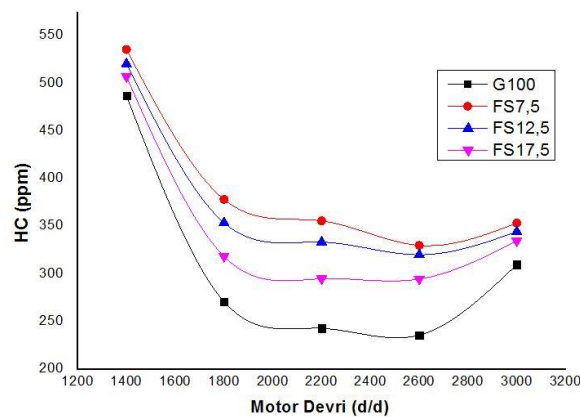
ftalosiyenin moleküler yapılarında bulunan metal merkezlerinin redoks özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Tian, 2022).



Şekil 7. CO emisyonunun motor hızına bağlı değişimi

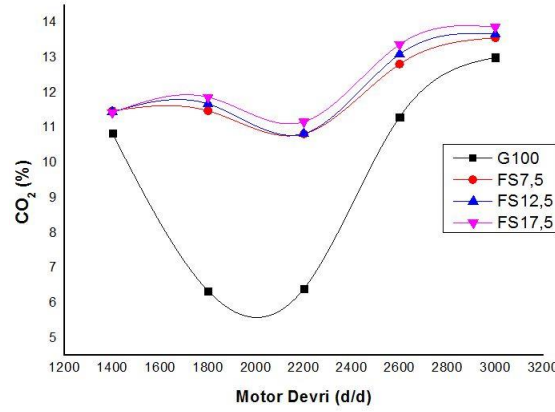
Karbon monoksit emisyonu, silindir içerisindeki yakıtın tam yanmamasından kaynaklanır. Şekil 7, karbon monoksit emisyonunun motor hızına bağlı değişimini göstermektedir. Yanma ürünlerinde CO emisyonunun bulunmasının temel sebebi oksijen eksikliğidir. Yeterli tutuşma süresi olmaması da silindirdeki kısmi alev cephelerinin sönmeye ve CO emisyonunun artmasına neden olabilir. Karbon monoksit (CO), yanma işlemi sırasında oluşan bir gazdır. Hava-yakıt oranındaki değişimlerden doğrudan etkilenir ve genellikle yetersiz oksijen veya tam yanma eksikliği sonucu ortaya çıkar. Yanma odasındaki düşük sıcaklık da CO oluşumunu tetikler. CO emisyonları, türbülans yoğunluğundan da etkilenir. Homojen bir karışım oluşumuna yardımcı olan türbülans, CO emisyonlarını düşürmede önemli bir rol oynar. CO solunumu oldukça tehlikelidir. Hemoglobinin ile birleşerek oksijen taşınımını engeller ve birçok sağlık sorununa yol açar. Felç riskini artırır, öğrenme yeteneğini zayıflatır ve uyku düzensizliklerine neden olur. Ftalosiyenler, yanma odasındaki kimyasal reaksiyonları hızlandıran katalitik özelliğe sahiptir. Bu sayede, havadaki oksijenin daha verimli kullanılmasını sağlayarak daha tam yanma gerçekleşmesine katkıda bulunurlar. Tam yanma sonucunda CO emisyonu azalır. Ftalosiyenlerin yüksek termal iletkenliği, yanma odasındaki sıcaklığı düşürmeye yardımcı olur. Düşük sıcaklıkta yanma, CO ve diğer zararlı emisyonların oluşumunu engeller (Agarwal ve ark.,2006; Amin, 2009).

HC emisyonunun motor hızına bağlı değişimini Şekil 8 göstermektedir. Grafiğe göre tüm deney yakıtlarının HC emisyonları benzin yakıtına kıyasla artmıştır. HC emisyonları, yanma sırasında hava-yakıt karışımındaki yakıt miktarındaki değişikliklerden etkilenir. Benzinli ve dizel motorlarda ideal hava/yakıt oranının sağlanamaması, tam yanma için gerekli oksijenin eksik kalmasına ve HC emisyonlarının artmasına neden olur.



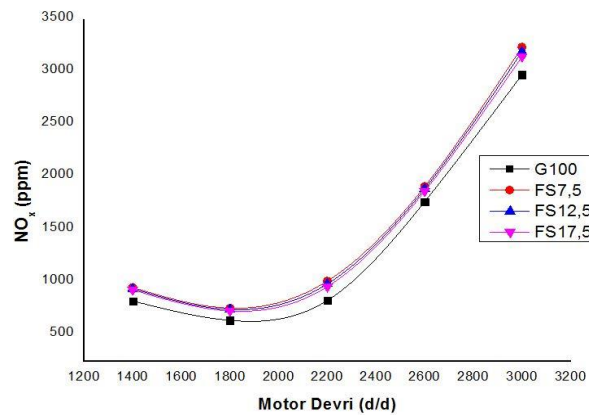
Şekil 8. HC emisyonunun motor hızına bağlı değişimi

Bu artışın sebebi, ftalosiyanın katalitik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yüksek motor hızlarında, ftalosiyanın yüzeyindeki HC molekülleri daha kolay ayrışarak serbest radikaller oluşturur. Bu serbest radikaller, HC moleküllerinin daha fazla oksitlenmesine ve HC emisyonlarında artışa yol açar (Abdulkareem-Alsultan, 2019).



Şekil 9. CO<sub>2</sub> emisyonunun motor hızına bağlı değişimi

Karbon monoksit emisyonu, eksik yanma sonucu oluşur. Aksine, CO<sub>2</sub> emisyonu tam yanma sonucu oluşan bir emisyonudur. Küresel ısınmaya sebep olan emisyonlardan biridir. Şekil 9, CO<sub>2</sub> emisyonunun motor hızına bağlı değişimini göstermektedir. Grafiğe göre, tüm karışım yakıtların CO<sub>2</sub> emisyonları tüm motor devirlerinde benzin yakıtına kıyasla daha artmıştır. Ftalosiyanın, yanma odasındaki oksijenin daha verimli kullanılmasını sağlayarak daha tam yanma gerçekleşmesine katkıda bulunurlar. Tam yanma sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonu artar. Ftalosiyanın, yanma odasında karbonlu partiküllerin oluşumunu artırabilir. Karbonlu partiküller, CO<sub>2</sub> emisyonunun artmasına katkıda bulunan bir kirletici türüdür.



Şekil 10. NO<sub>x</sub> emisyonunun motor hızına bağlı değişimi

Azot oksitler, azot ve oksijen atomlarının bir araya gelmesiyle oluşan bir grup gazdır. Taşıt egzoz emisyonları, NO<sub>x</sub> emisyonlarının en önemli kaynaklarından biridir. Dizel ve benzinli motorlu araçlardan çıkan egzoz gazları, atmosferdeki NO<sub>x</sub> seviyesini önemli ölçüde artırmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşumunda, yanma sıcaklığı, hava-yakıt karışımı, motor tipi, dizel motorlar benzinli motorlara göre daha fazla NO<sub>x</sub> emisyonu üretir. Taşıtlarda kullanılan katalitik konvertör gibi sistemlerde NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltmada etkilidir. NO<sub>x</sub> emisyonunun motor hızına bağlı değişimi Şekil 10'da gösterilmektedir. Grafiğe göre, FS7,5, FS12,5 ve FS17,5 karışım yakıtların benzin yakıtına kıyasla sırasıyla % 11,90, % 10,22 ve % 8,49 oranında artmıştır. Ayrıca karışım yakıt içerisindeki ftalosiyanın oranının arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonu azalmaktadır. Bunun nedeni bu etki, ftalosiyanın yüzey özellikleriyle ilişkilendirilebilir. Ftalosiyanın yüzey özellikleri, reaksiyon ortamına bağlı olarak

değişebilir. Yüksek sıcaklık ve oksijen varlığı, ftalosiyanın yüzeyinde NO<sub>x</sub> moleküllerinin adsorpsiyonuna ve nitrasyon reaksiyonlarının gerçekleşmesine neden olabilir (Souto, 1993).

## SONUÇ

Bu çalışmada, FS7.5, FS12.5 ve FS17.5 karışım yakıtların dört zamanlı ve tek silindirli benzinli bir motordaki performansı ve egzoz emisyonları deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, farklı motor hızı ve tam yük koşullarında gerçekleştirilmiştir. Fren gücü, tork, özgül yakıt tüketimi, CO, HC, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır.

- Motor momenti ve gücü, benzin yakıtına kıyasla FS7.5, FS12.5 karışım yakıtlarında azalırken FS17.5 karışım yakıtında ise artmıştır.
- Özgül yakıt tüketimi, FS7.5, FS12.5 ve FS17.5 karışım yakıtlarının benzin yakıtına kıyasla sırasıyla, %5.51, %4.23 ve %2.83 oranında azalmıştır.
- CO emisyonu FS7.5, FS12.5 ve FS17.5 yakıtlarının benzin yakıtına kıyasla %55.89, %49.95 ve %44.03 oranında azalmıştır.
- Tüm karışım yakıtların HC, CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları benzin yakıtına kıyasla artmıştır.

Egzoz gaz sıcaklığı FS7.5, FS12.5 ve FS17.5 karışım yakıtlarının benzin yakıtına kıyasla sırasıyla %5.27 artma, %1.49 artma ve %2.27 azalma meydana gelmiştir.

## Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Abu-Hamed, T., Karni, J., & Epstein, M. (2007). The use of boron for thermochemical storage and distribution of solar energy. *Solar Energy*, 81(1), 93-101.
- Agarwal, D., Sinha, S., & Agarwal, A. K. (2006). Experimental investigation of control of NO<sub>x</sub> emissions in biodiesel-fueled compression ignition engine. *Renewable energy*, 31(14), 2356-2369.
- Ağbulut, Ü. (2021). Well to Wheel: A life-cycle based analysis of CI engine powered with diesel and various alcohol blends. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 5(4), 289-298.
- Ağırtaş, M. S., Cabir, B., Gonca, S., & Ozdemir, S. (2022). Antioxidant, antimicrobial, DNA cleavage, fluorescence properties and synthesis of 4-(3, 4, 5-trimethoxybenzyloxy) phenoxy substituted zinc phthalocyanine. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 42(8), 5029-5043.
- Amin, A. N. (2009). Reducing Emissions from Private Cars: Incentive measures. *UNEP-Green Economy Initiative*, Jakarta.
- Ardebili, S. M. S., Solmaz, H., Ipci, D., Calam, A., & Mostafaei, M. (2020). A review on higher alcohol of fusel oil as a renewable fuel for internal combustion engines: Applications, challenges, and global potential. *Fuel*, 279, 118516.
- Beach, D. B., Rondinone, A. J., Sumpter, B. G., Labinov, S. D., & Richards, R. K. (2007). Solid-state combustion of metallic nanoparticles: new possibilities for an alternative energy carrier.
- Dahlen, M. A. (1939). The phthalocyanines a new class of synthetic pigments and dyes. *Industrial & Engineering Chemistry*, 31(7), 839-847.
- De Simio, L., Iannaccone, S., Guido, C., Napolitano, P., & Maiello, A. (2024). Natural Gas/Hydrogen blends for heavy-duty spark ignition engines: Performance and emissions analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 50, 743-757.
- Göksu, T. T. (2024a). Investigation of pin and perforated heatsink cooling efficiency and temperature distribution. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1-13.

- Göksu, T. T. (2024b). Enhancing cooling efficiency: Innovative geometric designs and mono-hybrid nanofluid applications in heat sinks. *Case Studies in Thermal Engineering*, 104096.
- Göksu, T. T., & Yılmaz, F. (2021). Numerical comparison study on heat transfer enhancement of different cross-section wire coils insert with varying pitches in a duct. *Journal of Thermal Engineering*, 7(7), 1683-1693.
- Gupta, P., Kurien, C., & Mittal, M. (2023). Biogas (a promising bioenergy source): A critical review on the potential of biogas as a sustainable energy source for gaseous fuelled spark ignition engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(21), 7747-7769.
- Gürü, M., Karakaya, U., Altıparmak, D., & Alicılar, A. (2002). Improvement of diesel fuel properties by using additives. *Energy conversion and Management*, 43(8), 1021-1025.
- Hua, Y. (2024). Research progress of higher alcohols as alternative fuels for compression ignition engines. *Fuel*, 357, 129749.
- Kadish, K., Smith, K. M., & Guillard, R. (Eds.). (2000). *The Porphyrin Handbook*, 3.
- Kasper, M., Sattler, K., Siegmann, K., Matter, U., & Siegmann, H. C. (1999). The influence of fuel additives on the formation of carbon during combustion. *Journal of Aerosol Science*, 30(2), 217-225.
- Khajone, V. B., & Bhagat, P. R. (2020). Brønsted acid functionalized phthalocyanine on perylene diimide framework knotted with ionic liquid: an efficient photo-catalyst for production of biofuel component octyl levulinate at ambient conditions under visible light irradiation. *Fuel*, 279, 118390.
- Kocakulak, T., Babagiray, M., Nacak, Ç., Ardebili, S. M. S., Calam, A., & Solmaz, H. (2022). Multi objective optimization of HCCI combustion fuelled with fusel oil and n-heptane blends. *Renewable Energy*, 182, 827-841.
- Kouwenhoven, H. W., & de Kroes, B. (2001). Preparation of zeolite catalysts. *In Studies in Surface Science and Catalysis*, 137, 673-706.
- Kurien, C., & Mittal, M. (2023). Utilization of green ammonia as a hydrogen energy carrier for decarbonization in spark ignition engines. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Lissianski, V. V., Maly, P. M., Zamansky, V. M., & Gardiner, W. C. (2001). Utilization of iron additives for advanced control of NO<sub>x</sub> emissions from stationary combustion sources. *Industrial & engineering chemistry research*, 40(15), 3287-3293.
- Ma, Y., Wang, X. R., Li, T., Zhang, J., Gao, J., & Sun, Z. Y. (2021). Hydrogen and ethanol: production, storage, and transportation. *International journal of hydrogen energy*, 46(54), 27330-27348.
- Mandilas, C., Karagiannakis, G., Konstandopoulos, A. G., Beatrice, C., Lazzaro, M., Di Blasio, G., ... & Gil, A. (2014). Study of basic oxidation and combustion characteristics of aluminum nanoparticles under engine-like conditions. *Energy & fuels*, 28(5), 3430-3441.
- Markiewicz, M. (2024). Analysis of Performance Parameters of Engines with Spark Ignition with Variable Regulations of the Fuel-Injection System, Powered by E100 Fuel. *Energies*, 17(3), 601.
- Rönn, K., Swarts, A., Kalaskar, V., Alger, T., Tripathi, R., Keskinvääli, J., ... & Larmi, M. (2023). Low-speed pre-ignition and super-knock in boosted spark-ignition engines: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 95, 101064.
- Shkolnikov, E. I., Zhuk, A. Z., & Vlaskin, M. S. (2011). Aluminum as energy carrier: Feasibility analysis and current technologies overview. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(9), 4611-4623.
- Solmaz, H. (2020). A comparative study on the usage of fusel oil and reference fuels in an HCCI engine at different compression ratios. *Fuel*, 273, 117775.
- Solmaz, H., Calam, A., Yılmaz, E., Şahin, F., Ardebili, S. M. S., & Aksoy, F. (2023). Evaluation of MWCNT as fuel additive to diesel–biodiesel blend in a direct injection diesel engine. *Biofuels*, 14(2), 147-156.
- Steinfeld, A., Kuhn, P., Reller, A., Palumbo, R., Murray, J., & Tamaura, Y. (1998). Solar-processed metals as clean energy carriers and water-splitters. *International Journal of Hydrogen Energy*, 23(9), 767-774.
- Taymaz, İ., & Benli, M. (2009). Metanolün taşıtlarda enerji kaynağı olarak farklı kullanım yöntemlerinin incelenmesi. *Engineer & the Machinery Magazine*, (596).
- Wen, D. (2010). Nanofuel as a potential secondary energy carrier. *Energy & Environmental Science*, 3(5), 591-600.
- Yakin, A., Behcet, R., Solmaz, H., & Halis, S. (2022). Testing sodium borohydride as a fuel additive in internal combustion gasoline engine. *Energy*, 124300.