

Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Benzoiltiyöüre Türevi Yakıt Katkısının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi

Sertaç COŞMAN 

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 15030, Burdur, Türkiye

Geliş Tarihi (Received): 28.11.2023, Kabul Tarihi (Accepted): 16.12.2023

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author*): scosman@mehmetakif.edu.tr

☎ +90 248 2132773 📠 +90 248 2132704

ÖZ

Yakıt katkı maddeleri, motor performansını iyileştirmek ve ayrıca motorda yanma sonrasında ortaya çıkan kirletici emisyonları azaltmak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ilk defa tek silindirli buji ateşlemeli bir motorda, N-(2-amino-5-bromo-1,2-dihydropyridine-1-carbonothioyl)furan-2-carboxamide ($C_{11}H_{10}BrN_3O_2S$) kimyasal bileşimine sahip benzoiltiyöüre türevi yakıt katkı maddesinin motor torku, efektif güç, özgül yakıt tüketimi (ÖYT), ısı verim, CO, CO₂ ve HC emisyonlarındaki değişimlere etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, test motoru tam açık gaz kelebeğinde, 2400, 2800, 3200, 3600 ve 4000 dev/dk motor devirlerinde çalıştırılmış ve benzine katkı maddesi eklendikçe motor gücü ve torkun azaldığı görülmüştür. ÖYT, 2800 dev/dk'da saf benzine kıyasla test yakıtı-1, test yakıtı-2, ve test yakıtı-3 için sırasıyla yaklaşık %5,52, %9,60 ve %14,20 oranında azalmıştır. Aynı devirde test yakıtı-2 için ısı verimin benzine göre yaklaşık %16,45 oranında arttığı görülmüştür. Yakıt katkısı ilave edildikçe CO emisyonlarında dikkat çekici bir azalmanın olduğu görülmüştür. Test yakıtı-1 ve test yakıtı-2 ile HC emisyonlarının benzine göre azaldığı, test yakıtı-3 ile arttığı saptanmıştır. Sonuç olarak, benzoiltiyöüre türevinin buji ile ateşlemeli bir motorda yakıt katkı maddesi olarak kullanılabilmesi ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Benzoiltiyöüre, Benzin, Egzoz Emisyonları, Motor Performansı, İçten Yanmalı Motor

Investigation of the Effect of Benzoylthiourea Derivative Fuel Additive on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark Ignition Engine

ABSTRACT

Fuel additives have been used to improve the engine performance and reduce the pollutant emissions that occur after the combustion of the engine. In this study, the effect of benzoyl thiourea derivative fuel additive with the chemical composition of N-(2-amino-5-bromo-1,2-dihydropyridine-1-carbonothioyl)furan-2-carboxamide ($C_{11}H_{10}BrN_3O_2S$) on engine torque, effective power, specific fuel consumption (SFC), thermal efficiency, CO, CO₂ and HC emissions were investigated for the first time in a single cylinder spark ignition engine. For this purpose, the test engine was operated at 2400, 2800, 3200, 3600 and 4000 rpm engine speeds at wide open throttle. Engine power and torque decreased as the additive was added to gasoline. At 2800 rpm, the SFC decreased by approximately 5,52%, 9,60%, and 14,20% for test fuel-1, test fuel-2, and test fuel-3, respectively, compared to pure gasoline. At the same engine speed, the thermal efficiency for test fuel-2 increased by about 16.45% compared to gasoline. There was a noticeable reduction in CO emissions as the fuel additive was added. However, HC emissions decreased with test fuel-1 and test fuel-2 compared to gasoline and increased with test fuel-3. In conclusion, benzoylthiourea derivative can be used as a fuel additive in a spark ignition engine.

Keywords: Benzoylthiourea, Gasoline, Exhaust Emissions, Engine Performance, Internal Combustion Engine

GİRİŞ

Enerji, modern endüstriyel ekonominin temeli olmakla birlikte, çoğu insan faaliyeti için gerekli bir kavramdır. İnsanlığın temel gereksinimleri olan, aydınlatma, ısınma, gıda üretimi, depolama, eğitim, endüstriyel üretim ve ulaşım vb. gibi birçok ihtiyaca cevap vermektedir. Diğer bir ifadeyle, insanlık hem bireysel hem de toplumsal olarak enerjiye bağımlı hale gelmiştir. Bu ihtiyaçlardan birisi ulaşım. Otomobil, birçok gelişmiş ekonomi için dünyada birincil ulaşım şeklidir. Günümüzde ise yaklaşık bir milyar aracın olduğu tahmin edilmektedir. Diğer taraftan kentleşme ve sanayileşmenin hızla artmasıyla birlikte enerji ihtiyacı da sürekli artmaktadır. Burada petrol türevi yakıtlar ekonomik ve sosyal yaşamın önemli bir bileşeni olarak rol oynamaktadır (Kumar ve ark., 2018).

Dünya nüfusu artmaya devam ederken ulaşım, sanayi ve araştırma sektörlerinin gelişmesi ile petrol yakıtlarında talebi artıran bir kriz yaşanmaktadır. Son dönemde petrol rezervlerinin hızla tükenmesiyle birlikte egzoz gazlarının çevreye olan etkisi tüm dünyada önemli bir sorun haline geldi. Çünkü fosil yakıtın yanması sonucu açığa çıkan CO₂ ve diğer sera gazı emisyonları hem insan hem de çevreye çok fazla zarar vermektedir. Petrol rezervlerinin tükenmesi ve motorlu araçların bu zararlı egzoz emisyonları nedeniyle araştırmacılar alternatif yakıtlar üzerine yoğunlaşmaktadır. Dizel motorlar yakıt ekonomisi açısından daha avantajlı ve buji ile ateşlemeli (SI) motorlara göre daha yüksek ısı verim sunarken, daha fazla zararlı egzoz gazları yaymaktadırlar. Diğer yandan buji ateşlemeli motorlar, daha düşük sıkıştırma oranı sebebiyle daha düşük ısı verime rağmen, dizel motorlara kıyasla daha düşük egzoz emisyonları ve soğuk çalıştırma şartlarında daha iyi çalışması yönünden avantajlıdır. Düşük ısı verime sahip buji ateşlemeli motorlardaki bu durum yakıt katkı maddeleri kullanılarak iyileştirilebilir (Günaydin ve ark., 2023; Uyumaz, 2023; Sharma ve Murugan, 2022; Karthick ve ark., 2022; Siddartha ve ark., 2022).

Son dönemde dizel ve benzinli motorlarda farklı yakıt katkı maddeleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda özellikle yakıt katkı maddelerinin yüksek oksijen içeriği kullanılarak yanma ve motor performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu katkı maddeleri ile ilgili araştırmaya konu olan kimyasallardan bazıları ise benzoiltiyöüre ve türevleridir. Tiyöüreler; oldukça etkili biyolojik uygulamalara sahip olan çok yönlü kimyasallar olarak bilinmektedir. En belirgin biyolojik uygulamalarından bir tanesi enfeksiyon tedavisidir (Kalem ve Erbil, 2022). Benzoiltiyöüre türevlerinin genel akti-

vite profilleri incelendiği zaman geçiş metallerini ayırmada kullanılan önemli ligandlardan biri olması, metal komplekslerinin farklı mikroorganizmaları kontrol altına alabilen antimikrobiyal özelliğe sahip olmaları, bu konuya olan ilgiyi arttırmıştır. Bu yüzden tiyöüre türevleri farmostatik kimya alanında, analitik ve teknik uygulamalarda ilgi çekici olmakla birlikte, tıbbi ve koordinasyon kimyasının gelişmesi açısından önemli bir rol oynamakta ve kimya alanında yapılan çalışmalar için çok büyük önem arz etmektedir. Benzoiltiyöüre türevleri, koordinasyon özellikleri nedeniyle, geçiş metal iyonlarına çok sayıda bağlanma olanağı da sağlarlar. Sonuç olarak, platin, rodyum, paladyum, bakır, nikel, kobalt, kadmiyum ve çinko dahil olmak üzere benzoiltiyöüre türevlerinin farklı koordinasyon modlarına sahip çeşitli geçiş metal kompleksleri birçok çalışmada rapor edilmiştir (Kurt, 2008; Schmitt ve ark., 2012; Yang ve ark., 2012; Saeed ve ark., 2014; Mukiza ve ark., 2021; Abdelhamid ve ark., 2021; Zahra ve ark., 2022; Kurt, 2019). Benzoiltiyöüre ile ilgili yapılan başka bir çalışmada N-(5-bromo-pyridin-2-yl)carbonothioyl) furan-2-carboxamide ve bunun Cu, Ni ve Co metal kompleksleri hazırlanmış ve yapısal karakterizasyonları elementel analiz, FT-IR, UV-vis., ¹H NMR, tek kristal XRD, manyetik susseptibilite ve DTA/TG teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Yeşilkaynak ve ark., 2022). Benzoiltiyöüre türevleri ile ilgili yürütülen diğer çalışmalar ise yakıt katkı maddesi olarak araştırılmasıdır. Benzoiltiyöüre türevi bileşikler içten yanmalı motorlarda yakıt özelliklerini iyileştirmek için yakıt katkısı olarak kullanılabilir. Bunun yanında benzoiltiyöüre türevi bileşiklerin kullanımı ile motor performansında iyileşme ve egzoz emisyonlarında azalma eğilimleri görülmektedir. Ancak literatürde yakıt karışımı olarak incelenmesi ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça kısıtlı sayıdadır. Benzoiltiyöüre ve türevleri ile ilgili yapılan bazı araştırma makaleleri bu çalışmada sunulmuştur.

Solmaz ve ark., (2022) yapmış oldukları çalışmada, ucuz ve ticari olarak temin edilebilen başlangıç malzemelerinden hazırlanması kolay olan benzoil tiyöüre türevi ligandın (4-klorobenzoil klorür ve potasyum tiyosiyanat) katalitik olarak etkili paladyum komplekslerini geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada çeşitli moleküler karakterizasyonlar, istenen paladyum komplekslerinin başarılı bir şekilde sentezlendiğini ortaya koymuştur. Ayrıca Paladyum komplekslerinin katalitik aktivitesi, aril bromürlerin fenilboronik asit ile Suzuki-Miyaura çapraz bağlanma reaksiyonunda da değerlendirilmiştir. Keskin ve ark., (2022) tarafından yapılan çalışmada, izoftaloil diizotiyosiyanattan türetilen iki benzoiltiyöüre türevi bileşikler (H₂L¹ and H₂L²) hazırlanmış ve di- ve tetra-nükleer oksorhenium (V) komplekslerinin hazırlanması için bir ligand olarak uygulamışlardır.

Sentezlenen kompleksler, oksidan olarak 'BuOOH kullanılarak difenil sülfürün oksidasyonunda test edilmiştir. Propil ve bütül bazlı ligandlar, büyük olasılıkla benzer elektronik özellikleri nedeniyle katalitik aktivite üzerinde önemli bir farklılık sağlayamamıştır. Ancak yapılan çalışmada arilin oksorhenium kompleksi katalizli oksidasyonu sülfürlerin hafif, etkili ve hızlı olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda kullanım yönünden kolaylık sağlaması diğer reaksiyonlarda katalizör olarak araştırma yapılması yönünden cezbedici olabileceği vurgulanmıştır. Sievers ve Schuster, (2015) yapmış oldukları çalışmada, Almanya'nın Münih kent merkezinin dışında bulunan Landshuter Allee, Candid ve Trappentreu tünellerindeki toz örneklerini 1994'ten 2012'ye kadar tozdaki paladyum konsantrasyonlarını izlemiştir. Eldeki numunenin tamamen sindirilmesi ve paladyum ve platinin yüksek derecede seçici şelatlama ajanları olarak görev yapan N, N-Dialkil-N' -benzoi tiyöüreler ile zenginleştirilmesinden sonra Atomik Absorpsiyon Spektrometresi yardımıyla PGM (Platin Grubu Metaller) analizi yapılmıştır. Toz örneklerindeki platin konsantrasyonu da 2007'de maksimuma ulaşmış ve 2007'den 2012'ye kadar azaldığını ortaya koymuşlardır. Tünel tozundaki paladyum ve platin konsantrasyonunun 2007'den sonra düşmesinin olası sebebini, otomotiv katalitik konvertörlerinin üretimindeki ilerlemeye bağlı olarak; özellikle trafikten kaynaklanan kirletici emisyonların da giderek azaldığı belirtilmiştir. Keskin ve ark., (2018) yapmış oldukları çalışmada tiyöüre türevleri olan HL¹ (N-(di-n-propylcarbamothiöyl)-4-fluorobenzamide) ve HL² (N-(di-n-propylcarbamothiöyl)-4-bromobenzamide) ve bunların platin komplekslerini başarıyla sentezlemiştir. Gümüş ve ark., birbirine benzeyen dört tiyöüre türevini sentezlemiş, FT-IR, 1H NMR ve 13C NMR spektroskopisi tekniklerini kullanarak karakterize etmişlerdir. Kısaca, benzoiltiyöüre türevlerinin paladyum komplekslerinin potansiyel kullanım alanları arasında katalitik aktiviteler bulunmaktadır (El- Ayaan ve ark., 2007; Al- Hazmi ve ark., 2008; Abu-Melha ve El- Metwally., 2008; Refat ve El- Metwally., 2012; Graser ve ark., 2013; El- Metwally ve ark., 2006). (Keskin ve ark., (2015) dizele metal katkı maddesi olarak bis-(N, N-dimetil-N'-2)-klorobenzoylthiöureato) paladyum (II), PdL₂ ve bis-(N, N-dimetil-N'-2 klorobenzoylthiöureato)nikel (II), NiL₂ komplekslerinin eklenmesinin etkisini görmek için deneysel çarışma yürütmüşlerdir. PdL₂ ve NiL₂ kompleksleri dizele 50 ve 100 ppm olarak eklenmiş ve her bir test yakıtının özellikleri (yoğunluk, viskozite, kalorifik değer, Setan sayısı, sülfür içeriği, parlama noktası, akma noktası ve bakır şerit korozyonu) incelenmiştir. Yapılan çalışmada, dizel yakıtı PdL₂ ve NiL₂ komplekslerinin eklenmesinin yakıt özelliklerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. Ancak, metal katkıları dizelelin akma noktasını düşürmüş ve parlama noktasını

yükseltmiştir. Motor performansı hem dizel hem de metal katkılı yakıtlarda genel olarak benzer sonuçlar gösterirken, fren özgül yakıt tüketimi %7,75'e kadar azalma göstermiştir. Ayrıca PdL₂ ve NiL₂ komplekslerinin dizel motorda yakıt katkısı olarak kullanılması kirletici emisyonlarında (CO, NO_x ve duman) önemli düşüşler sağladığı ortaya konmuştur. Keskin ve ark., (2018) yapmış oldukları diğer bir çalışmada ise Asetilferrosen ve paladyum bazlı katkı maddeleri içeren biyodizel-dizel yakıt karışımlarının dizel motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmişlerdir. Katkı maddeleri karışım yakıtlarına 25 ppm dozajında kullanılarak, bis-(N, N-dimetil-N'-2-klorobenzoylthiöureato) paladyum (II), PdL₂ paladyum bazlı bir katkı maddesi olarak hazırlanmıştır. Paladyum bazlı katkı maddesi kullanılarak hazırlanan AcCp₂Fe ve PdCl₂ yakıt katkıları, dizel yakıt-biyodizel karışımlarının yakıt özelliklerini geliştirmek için kullanılmıştır. Ayrıca, bu katkı maddelerinin motor performansı, emisyon ve titreşim özellikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Test yakıtları biyodizel ve katkı maddeleri ilavesi açısından değerlendirildiğinde, karışım yakıtların yoğunluğu, viskozitesi ve akma noktası artmış, ancak ısı değeri ve setan sayısı azalmıştır. Karışım yakıtlara metal bazlı katkı maddelerinin eklenmesi silindir basıncı değerlerinin karakteristiği üzerinde önemli bir etki göstermemiştir. CO ve PM emisyonları ise sırasıyla %60,07 ve %51,33'e kadar önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.

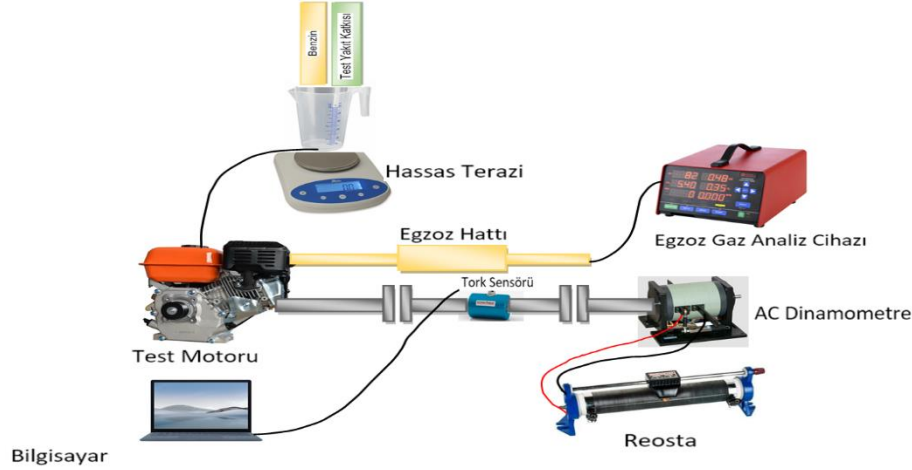
Bu çalışmada, (Yeşilkaynak ve ark., 2022) tarafından sentezlenmiş olan N-(5-bromo-pyridin-2-yl)carbonothioyl) furan-2-carboxamide (C₁₁H₁₀BrN₃O₂S) benzin katkısı olarak ilk defa incelenmiştir. N-(5-bromo-pyridin-2-yl)carbonothioyl) furan-2-carboxamide diklorometanda çözülmüş ve benzine karışabilen katkı maddesi hazırlanarak, tek silindiri bir benzinli motora sahip deney düzeneğinde test edilmiştir. Yakıt katkı maddesi olarak kullanılan benzoiltiyöüre türevi bileşiklerin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırmak için tek silindiri buji ile ateşlemeli bir motor tam yükte, 2400, 2800, 3200, 3600 ve 4000 dev/dk'da çalıştırılmıştır. Daha önce denenmemiş bu yakıt katkı maddesi farklı oranlarda (0,5 mL, 1 mL ve 1,5 mL) benzinle karıştırılarak; motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi (ÖYT), ısı verim, CO, CO₂ ve HC emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Yapılan deneysel çalışma Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Otomotiv Teknolojisi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Sentezlenen yakıt katkısının motor performansı ve emisyonlar (CO, CO₂ ve HC) üzerindeki etkilerini araştırmak için tek silindirli, dört zamanlı bir buji ateşlemeli motor kullanılmıştır. Kullanılan test düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1'de görülmektedir. Test motoruna ait teknik özellikler ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Motor test düzeneğinin şematik görünümü

Tablo 1. Test motorunun özellikleri

Model	Honda GX160
Çap x strok [mm]	68x45
Silindir hacmi [cm ³]	163
Sıkıştırma Oranı	8,5:1
Maksimum güç BG@3600 dev/dk	5,5
Maksimum Tork [Nm]@2500 dev/dk	10,78
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı

Ölçümler, deneysel hataları azaltmak ve daha hassas veriler elde etmek için test motoru çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra yapılmış ve kararlı çalışma koşulları sağlandıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Saf benzine ilave edilen benzoiltiyöüre türevi olan katkı maddesinin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmak için deney motoru 2400, 2800, 3200, 3600 ve 4000 dev/dk devirlerinde tam gaz kelebeği açıklığında çalıştırılmıştır. Test yakıtları, katkı maddesinin saf benzine 0,5 mL, 1 mL ve 1,5 mL ilave edilmesiyle elde edilmiştir. Saf benzin, çalışmada referans olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan test yakıtına ait karışım oranları ve benzinin özellikleri sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

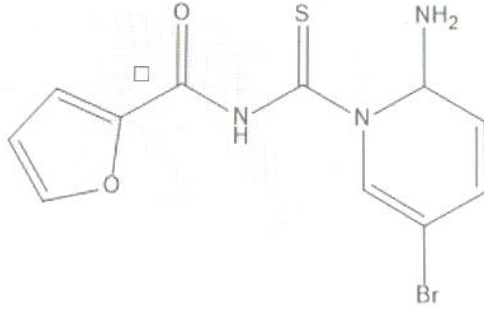
Tablo 2. Test yakıtı ve karışım oranları

Yakıtlar	Karışım oranları
Benzin	%100 Benzin (500 mL)
Test yakıtı-1 (0,5 mL)	0,5 mL + %100 Benzin
Test yakıtı-2 (1 mL)	1 mL + %100 Benzin
Test yakıtı-3 (1,5 mL)	1,5 mL + %100 Benzin

Tablo 3. Benzinin özellikleri (URL-1, 2023)

Özellikler	Benzin
Yoğunluk [kg/m ³]	746
Gizli buharlaşma ısısı [kJ/kg]	331,6
Parlama noktası [°C]	-43
Tutuşma sıcaklığı [°C]	257,2
Kaynama noktası [°C]	30-225
Oktan sayısı	96,47

Şekil 2'de deneylerde kullanılan Benzoiltiyöüre türevi yakıt katkısının (N-(5-bromo-pyridin-2-yl)carbonothioyl) furan-2-carboxamide) kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 2. Benzoiltiyöre türevi yakıt katkısının (N-(5-bromo-pyridin-2-yl)carbonothioyl) furan-2-carboxamide) kimyasal yapısı

Benzoiltiyöre türevi yakıt katkısının (N-(5-bromo-pyridin-2-yl)carbonothioyl) furan-2-carboxamide) bazı özellikleri Tablo 4' te verilmektedir.

Tablo 4. Yakıt katkısının bazı özellikleri

Özellikler	N-(5-bromo-pyridin-2-yl)carbonothioyl) furan-2-carboxamide
Kimyasal formülü	C ₁₁ H ₁₀ BrN ₃ O ₂ S
Moleküler ağırlık [g/mol]	328,19
Elemental analiz	C:40,26, H:3,07, Br:24,35, N:12,80, O:9,75, S:9,77

Yöntem

Buji ateşlemeli motorun tam yük hız karakteristiklerini elde etmek için test motoru Şekil 1'de görüldüğü gibi AC dinamometreye bağlanmıştır. Dinamometre çıkışına bağlanan devre elemanlarının (dirençlerin) kademeli çalıştırılması ile tam açık gaz kelebeğinde çalışan test motoru yüklenerek farklı devirlerde test edilmiştir. Bu esnada test motorunun yüklenmesi sırasında kullanılan dirençleri korumak amacıyla devreden geçen akım ampermetre ile ölçülmüştür. Yakıt tüketimini belirlemek için ise 0,5 gr hassasiyetle ölçüm yapabilen PLT Power marka hassas terazi kullanılmıştır. Motor torku ve motor devrini ölçmek için Burster 8661 marka tork sensörü, AC dinamometre ile test motoru arasına monte edilmiştir. Test esnasında ölçülen motor devri ve tork verileri kablo bağlantısı yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Motor devri ve tork verileri Digivision arayüzü ile sürekli olarak izlenmiş ve kaydedilmiştir. Tork sensörüne ait teknik özellikler Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Tork sensörü özellikleri

Model	Burster 8661
Nominal destek voltaj aralığı [V DC]	10-30
Nominal tork çıkış voltajı [V]	+10
Yalıtım direnci [MΩ]	>5
-3 dB cut-off frekansı [Hz]	200
Dalgalanma [mV]	<50
Sürücü sinyali (K pin) [V DC]	10...30

SUN MGA1500 model egzoz gazı analiz cihazı yardımıyla CO, CO₂ ve HC emisyonları ölçülmüştür. Cihaza ait teknik özellikler ise Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Egzoz gazı analiz cihazının teknik özellikleri

	Çalışma Aralığı	Hassasiyet
CO	%0-14	%0,001
HC	0-9999 ppm	1 ppm
NO _x	0-5000 ppm	1 ppm
CO ₂	%0-18	%0,1
O ₂	%0-25	%0,01
λ	0-4	%0,001

Motor torku, motor hızına bağlı olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte efektif güç hesaplanabilir. Bu veriler ile özgül yakıt tüketimi Denklem 1 yardımıyla bulunabilir:

$$\text{ÖYT} = m_f / N_e \quad (1)$$

Burada m_f yakıt tüketimini, N_e ise efektif gücü tanımlamaktadır. Isıl verim ifadesi, ısı enerjisinin yakıt tarafından net işe nasıl dönüştürüldüğünü gösteren bir parametre olup Denklem 2 yardımıyla hesaplanabilir (Heywood, 1988).

$$\eta_T = N_e / m_f Q_{LHV} \quad (2)$$

Burada η_T ısıl verim, Q_{LHV} ise yakıtın kalorifik değerini ifade etmektedir. Belirsizlik analizi Denklem 3 yardımı ile hesaplanmıştır (Uyumaz, 2023; Gorski ve ark., 2020; Holman, 2001; Mofat, 1985; Kumar ve Murgesan, 2023). Analiz sonuçları ise Tablo 7'de verilmiştir.

$$\left[\left(\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right) \Delta x_1 \right)^2 + \left(\left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \right) \Delta x_2 \right)^2 + \dots + \left(\left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \right) \Delta x_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

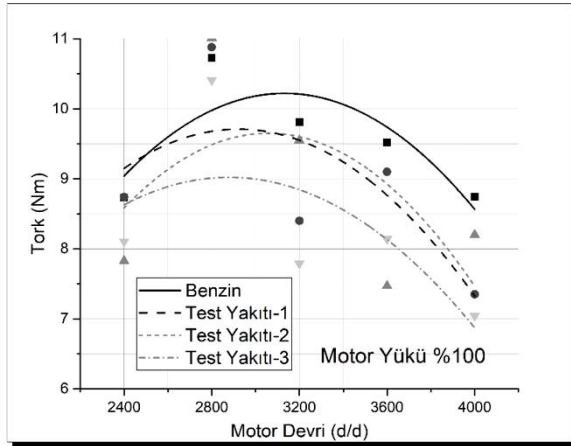
Tablo 7. Belirsizlik analiz sonuçları

	Hassasiyet	(%) Belirsizlik
Yakıt tüketimi (g)	± 0,5	± 0,16
Tork (Nm)	± 0,01	± 0,38
Güç (kW)	± 0,01	± 0,13

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulgular

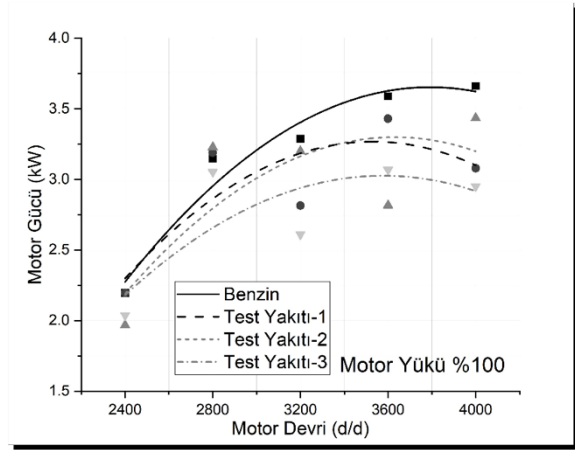
Deney düzeneğindeki test motorunun stabil çalışma koşulları sağlandıktan sonra benzin içerisine kimyasal bileşimi $C_{11}H_{10}BrN_3O_2S$ olan benzoiltiyöre türevi yakıt katkı maddesi saf benzine 0,5 mL, 1 mL ve 1,5 mL eklenerek test yakıt karışımları elde edilmiştir. Bu test yakıtlarına ait motor torku değerleri Şekil 3'de görülmektedir. Maksimum motor torku 2800 dev/dk'da elde edilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü üzere tam yükte ve farklı motor devirlerinde yapılan deneyler sonucunda motor torkunun yakıt katkısı ile azaldığı görülmüştür. Test yakıtı-2 ile 2800 dev/dk'da maksimum motor torkunun benzine göre %2,60 oranında arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, motor devri arttıkça, her strok için gaz kaçakları ve termal kayıplar artmaktadır. Böylece motor torku tüm test yakıtları için azalmaktadır. Torkun motor devrine bağlı değişimi Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Torkun motor devrine bağlı değişimi

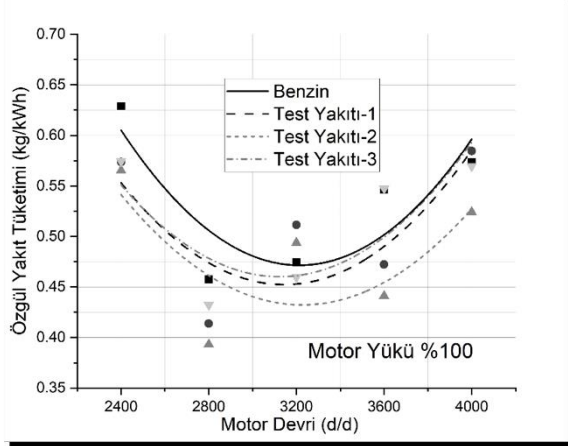
Şekil 4'te efektif gücün farklı test yakıtları için motor devrine bağlı değişimi gösterilmektedir. Burada efektif güç, motor devrine bağlı olarak tüm test yakıtlarıyla arttığı gözlenmiştir. Motor devrinin artışı ile birim zamanda yapılan iş artmaktadır. Maksimum motor devrinden sonra mekanik ve akış kayıplarındaki artış nedeniyle motordaki güç artışları yavaşlamaktadır. Motor devri arttıkça karışımın homojenliği artmakta hava ve

yakıt moleküllerinin daha iyi karışması mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte yanma odasının genelinde oksidasyon reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi ihtimali artmaktadır. Maksimum motor gücü çıkışı benzin ve test yakıtı-2 için 4000 dev/dk'da hesaplanırken, test yakıtı-1 ve test yakıtı-3 için 3600 dev/dk'da gerçekleşmiştir. Test yakıtı-3 ile hesaplanan efektif güç, benzin ve diğer yakıt karışımlarına nazaran biraz daha azalma göstermiştir. Genel olarak, yakıt katkı maddesi ilavesi ile benzin ile kıyaslandığında motor gücünün azaldığı görülmektedir. Ancak 4000 dev/dk motor devrinde test yakıtı-2 ile test yakıtı-1'e göre daha fazla motor gücünün elde edildiği görülmektedir.

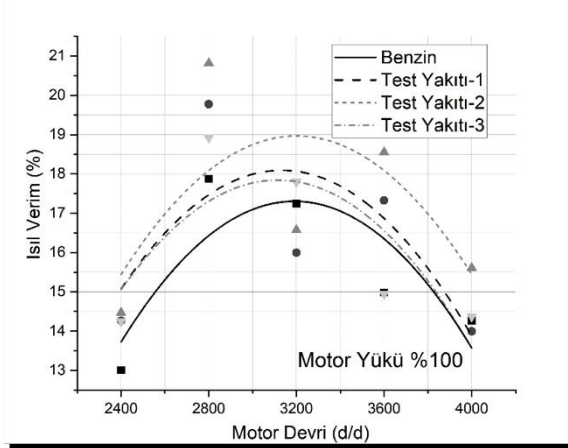


Şekil 4. Motor gücünün devir ile değişimi

İçten yanmalı motorlardaki en önemli performans göstergelerinden birisi özgül yakıt tüketimidir. Düşük ve yüksek motor hızlarında, mekanik kayıplar ve tam yanma için gerekli olan oksijen yetersizliği nedeniyle efektif güç azalmaktadır. Buna bağlı olarak, ÖYT Şekil 5'de gösterildiği üzere düşük ve yüksek motor devirlerinde artmaktadır. Test yakıtları için minimum ÖYT değerleri 2800 dev/dk'da elde edilmiştir. Yakıt katkısı ilave edildikçe (Test yakıtı-1 ve test yakıtı-2) özgül yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür. Ancak Test yakıtı-3 ile ÖYT artmıştır. Maksimum ÖYT saf benzin olan referans yakıt ile hesaplanmıştır. En düşük ÖYT test yakıtı-2 ile belirlenmiştir. ÖYT, 2800 dev/dk'da saf benzine kıyasla test yakıtı-1, test yakıtı-2, ve test yakıtı-3 için sırasıyla yaklaşık %5,52, %9,60 ve %14,20 oranında azalmıştır. Şekil 5'te görüldüğü üzere katkı maddesinin kullanılması ÖYT'de azalışa neden olduğu açıktır. Kocakulak ve ark. (2023) yapmış oldukları çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorda benzine metil etil keton katkısı arttıkça ÖYT değerlerinin benzer şekilde azaldığını görmüşlerdir. Minimum ÖYT, MEK40 yakıtı ile 2800 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir.



Şekil 5. Özgül yakıt tüketiminin değişimi

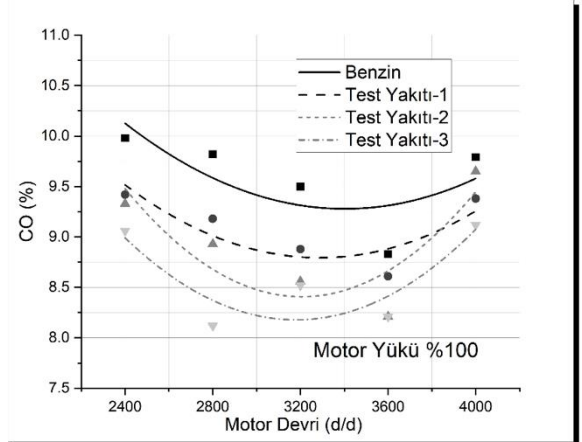


Şekil 6. Test yakıtlarının ısı verim üzerindeki etkileri

Elde edilen ısı veriminin test yakıtları ile değişimi Şekil 6'da ifade edilmiştir. Yakıtle elde edilen ısı enerjisinin net işe dönüşümünü ifade eden ısı verim önemli bir performans parametresidir. Düşük motor devirlerinde ısı transfer için yeterli zaman bulunabilmekte ve ısı silindir duvarına aktarılabilir. Bu durum silindir içi ortalama gaz sıcaklığının azalmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla daha düşük verim elde edilir. Benzer şekilde, yüksek motor devirlerinde gaz kaçakları ve akış kayıpları nedeniyle hacimsel verim azalmaktadır. Oksijen eksikliği ile yanma iyi bir şekilde tamamlanamamakta ve yanmamış hidrokarbonun bir kısmı yanma odasında kalmaktadır. Yanma odasında kalan yakıt molekülleri sonrasında silindirden dışarı atılmaktadır. Yetersiz oksijen, yüksek motor devirlerinde oksidasyon reaksiyonlarını yavaşlatır. Böylece ısı verim azalır (Heywood, 1988). Maksimum ısı verim, ÖYT değerlerinin minimum olduğu 2800 dev/dk'da elde edilmiştir. Tüm test yakıtları için maksimum ısı verim 2800

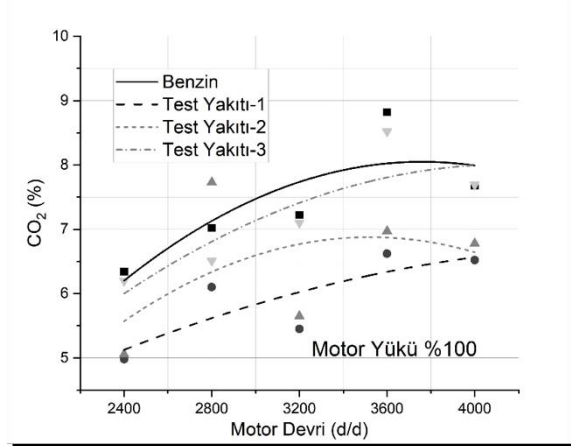
dev/dk'da belirlenmiştir. Test yakıtı-2 için 2800 dev/dk'da ısı veriminin benzine göre yaklaşık %16,45 oranında arttığı ve maksimum değere ulaştığı tespit edilmiştir. Elde edilen ısı verim değerleri ile ÖYT değerleri arasında uyumun olduğu görülmektedir.

Şekil 7, CO emisyonlarının test yakıtlarına bağlı değişimini göstermektedir. CO, düşük silindir içi sıcaklık ve yetersiz oksijen nedeniyle meydana gelir. Yakıt karışımlarına katkı maddesi ilave edildikçe CO azaldığı görülmektedir. En düşük CO değeri 2800 dev/dk'da test yakıtı-3 için elde edilmiştir. Bu motor devrinde, CO emisyonları test yakıtı-3 kullanılmasıyla saf benzine kıyasla %17,3 daha azalmıştır. Motor devrinin artması ile yanma sonrası gaz sıcaklığı artmakta ve CO oluşumu azalmaktadır. Öte yandan, yüksek motor devirlerinde silindire yetersiz oksijen girişi nedeniyle CO oluşumu artma eğilimindedir. Bu durum Şekil 7'de görülmektedir. Yakıt katkısı ilave edildikçe oksidasyon reaksiyonları iyileşmektedir. Bunun sonucunda eksik yanma ürünü olan CO emisyonlarının azaldığı görülmektedir.

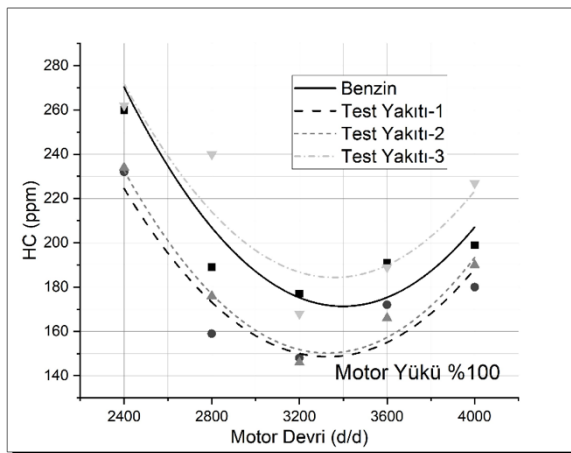


Şekil 7. CO emisyonlarının değişimi

Şekil 8, katkı maddesinin farklı motor devirleri için CO₂ emisyonları üzerindeki etkisini göstermektedir. Kullanılan katkı maddesinin miktarı arttıkça CO₂ emisyonları da artmaktadır. Yüksek motor devirlerinde pompalama kayıplarının artması ve yanma odasındaki oksijen yoğunluğunun azalması sonucu CO oluşumu artmakta ve CO₂ emisyonları azalmaktadır. Görüldüğü üzere, CO ve CO₂ arasında ters bir korelasyon olduğu görülebilir. Şekil 8'de görüldüğü gibi en yüksek CO₂ 3600 dev/dk'da tüm test yakıtları için ölçülmüştür. En düşük CO₂ emisyon değeri 2400 dev/dk'da test yakıtı-1 kullanılması durumunda elde edilmiştir. Bu devirde CO₂ emisyonu benzine göre %21,5 daha azalma göstermiştir.

Şekil 8. CO₂ emisyonlarının değişimi

Şekil 9'da ise benzoiltiyöüre yakıt katkısının HC emisyonları üzerindeki etkileri gösterilmektedir. Yakıt katkı maddesi ilavesi arttıkça HC emisyonlarının arttığı gözlenmiştir. Test yakıtı-1 ve test yakıtı-2 için HC emisyonları benzinle kıyaslandığında azalma gösterirken, test yakıtı-3 kullanılması durumunda HC emisyonları artış göstermiş ve 4000 dev/dk'da en yüksek değer elde edilmiştir. Minimum HC emisyonları test yakıtı-1 için ölçülmüş, 4000 dev/dk motor devri için benzin ve test yakıtı-3 ile karşılaştırıldığında; yaklaşık sırasıyla %9,5 ve %20,7 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde; Keskin ve ark., (2015) yapmış oldukları deneysel çalışmada dizele metal katkı maddesi olarak kullanılmış oldukları benzoiltiyöüre türevi ligandı ile birlikte CO, NO_x ve duman emisyonlarında sırasıyla %68,15, %34,93 ve %50,24 oranlarında düşüş elde etmişlerdir.



Şekil 9. HC emisyonlarının değişimi

SONUÇ

Bu çalışmada, daha önce denenmemiş olan bir benzoiltiyöüre türevi (N-(5-bromo-pyridin-2-yl)carbonothioyl) furan-2-carboxamide) benzin katkısı olarak kullanılmış, motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Motor torku, efektif güç, ÖYT, ısı verim, CO, CO₂ ve HC emisyonlarındaki değişimler tam yükte ve 2400, 2800, 3200, 3600 ve 4000 dev/dk motor devirlerinde incelenmiştir. Buna bağlı olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Tüm yakıtlar için maksimum motor torku ve güç çıkışı sırasıyla 2800 ve 4000 dev/dk'da elde edilmiştir. Test yakıtı-2 için 2800 dev/dk'da maksimum motor torkunun benzine göre %2,60 oranında arttığı tespit edilmiş, tam yükte ve farklı motor devirlerinde yapılan deneyler sonucunda motor torkunun yakıt katkısı ile azaldığı görülmüştür.
- Tüm test yakıtları için efektif güç, motor devrine bağlı olarak artmıştır. Maksimum motor gücü çıkışı benzin ve test yakıtı-2 için 4000 dev/dk'da elde edilirken, test yakıtı-1 ve 3 için ise 3600 dev/dk'da gözlenmiştir.
- ÖYT, 2800 dev/dk'da saf benzine kıyasla test yakıtı-1, test yakıtı-2, ve test yakıtı-3 için sırasıyla yaklaşık %5,52, %9,60 ve %14,20 oranında azalmıştır.
- Test yakıtı-2 için 2800 dev/dk'da ısı verimin benzine göre yaklaşık %16,45 oranında arttığı ve ısı verimin maksimum değere ulaştığı belirlenmiştir.

Emisyonlar ile ilgili bulgular incelendiğinde; 2800 dev/dk motor devrinde, CO emisyonları test yakıtı-3 kullanılmasıyla saf benzine kıyasla %17,3 daha azalmıştır. En düşük CO₂ emisyon değeri 2400 dev/dk'da test yakıtı-1 için elde edilmiş, CO₂ emisyonu benzine göre %21,5 daha azalma göstermiştir. Test yakıtı-1 ve test yakıtı-2 için HC emisyonları benzinle kıyaslandığında sırasıyla %9,5 ve %20,7 oranlarında azalma gösterirken, test yakıtı-3 kullanılması durumunda ise %5,25 artış elde edilmiştir. Sonuç olarak, yakıt katkısı olarak kullanılan Benzoiltiyöüre türevi (N-(5-bromo-pyridin-2-yl)carbonothioyl) furan-2-carboxamide) ilk defa benzin ile karıştırılarak denenmiş, buji ile ateşlemeli motorlarda katkı maddesi olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur. Benzoiltiyöüre türevlerinin yakıt katkı maddesi olarak kullanımı literatürde oldukça kısıtlıdır. Bu yüzden daha detaylı veriler elde etmek için çok silindri içten yanmalı motor-test düzeneğine sahip laboratuvar şartlarında silindir içi yanma analizi yapılarak, farklı yakıt karışımları ile birlikte etkileri araştırılabilir.

Ayrıca nümerik ve simulasyon çalışmaları ile kapsamlı deneysel veri sonuçları karşılaştırılması, ileride yapılacak olan çalışmalara ışık tutacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazar; Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Fatih Mehmet Emen'e çalışmaya vermiş olduğu katkılarından dolayı teşekkür eder.

KISALTMALAR

AC	Alternatif Akım
ÖYT	Özgül Yakıt Tüketimi
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
C ₁₁ H ₁₀ BrN ₃ O ₂ S	N-(2-amino-5-bromo-1,2-dihydropyridine-1-carbonothioyl)furan-2-carboxamide chlorobenzamide
DC	Doğru Akım
HC	Hidrokarbon
PM	Partikül Madde
NOx	Nitrik Oksit
λ	Lambda

KAYNAKLAR

- Abdelhamid, A., Elsaghiera, A., Aref, S., Gad, M., Ahmed, N., & Abdel-Raheem, S. H. A. A. (2021). Preparation and biological activity evaluation of some benzoylthiourea and benzoylurea compounds. *Current Chemistry Letters*, 10(4), 371-376.
- Abu-Melha, K. S., & El-Metwally, N. M. (2008). Spectral and thermal studies for some transition metal complexes of bis (benzylthiocarbohydrazone) focusing on EPR study for Cu (II) and VO₂⁺. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 70(2), 277-283.
- Al-Hazmi, G. A., El-Metwally, N. M., El-Gammal, O. A., & El-Asmy, A. A. (2008). Synthesis, spectral characterization and eukaryotic DNA degradation of thiosemicarbazones and their platinum (IV) complexes. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 69(1), 56-61.
- El-Ayaan, U., El-Metwally, N. M., Youssef, M. M., & El Bialy, S. A. (2007). Perchlorate mixed-ligand copper (II) complexes of β-diketone and ethylene diamine derivatives: thermal, spectroscopic and biochemical studies. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 68(5), 1278-1286.
- El-Metwally, N. M., Gabr, I. M., El-Asmy, A. A., & Abou-Hussen, A. A. (2006). Spectral, magnetic, electrical and thermal studies on malonyl bis (thiosemicarbazide) complexes. *Transition Metal Chemistry*, 31, 71-78.
- Gorski K., Smigins R., Longwic R., (2020). Research on Physico-Chemical Properties of Diethyl Ether/Linseed Oil Blends for the Use as Fuel in Diesel Engines. *Energies*.13:6564.
- Graser, M., Kopacka, H., Wurst, K., Müller, T., & Bildstein, B. (2013). Structurally diverse pyridyl or quinolyl enolato/enamido metal complexes of Li, Zr, Fe, Co, Ni, Cu and Zn. *Inorganica Chimica Acta*, 401, 38-49.
- Gumus, I., Solmaz, U., Binzet, G., Keskin, E., Arslan, B., & Arslan, H. (2019). Supramolecular self-assembly of new thiourea derivatives directed by intermolecular hydrogen bonds and weak interactions: crystal structures and Hirshfeld surface analysis. *Research on Chemical Intermediates*, 45, 169-198.
- Günaydin, S., Uyumaz, A., Kocakulak, T., Coşman, S., Solmaz, H., & Aksoy, F. (2024). Evaluation of dibutyl maleate/diesel blends on combustion, performance and emissions in a DI diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 236, 121520.
- Heywood, J.B. *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Publishing Company; New York, 1988.
- Holman, J.P., *Experimental Methods for Engineers*, McGraw Hill eight edition, Newyork, 2001.
- Kalem, E., & Erbil, A. G. A. R. (2022). Tiyüerelerin tüberküloz tedavisinde kullanımı. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 16(64), 239-262.
- Karthick, M., Logesh, K., Baskar, S., & Sharma, A. (2022). Performance and emission characteristics of single-cylinder diesel engine fueled with biodiesel derived from cashew nut shell. In *Advancement in Materials, Manufacturing and Energy Engineering, Vol. II: Select Proceedings of ICAMME 2021* (pp. 521-529). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Keskin, E., Solmaz, U., Gumus, I., & Arslan, H. (2022). Di- and tetra-nuclear oxorhenium (V) complexes of benzoylthiourea derivative ligands: Synthesis, structural characterization, and catalytic applications. *Polyhedron*, 219, 115786.
- Keskin, E., Solmaz, U., Binzet, G., Gumus, I., & Arslan, H. (2018). Synthesis, characterization and crystal structure of platinum (II) complexes with thiourea derivative ligands. *European Journal of Chemistry*, 9(4), 360-368.
- Keskin, A., Ocakoglu, K., Resitoglu, I. A., Avsar, G., Emen, F. M., & Buldum, B. (2015). Using Pd (II) and Ni (II) complexes with N, N-dimethyl-N'-2-chlorobenzoylthiourea ligand as fuel additives in diesel engine. *Fuel*, 162, 202-206.
- Keskin, A., Yaşar, A., Yıldızhan, Ş., Uludamar, E., Emen, F. M., & Külcü, N. (2018). Evaluation of diesel fuel-biodiesel blends with palladium and acetylferrocene based additives in a diesel engine. *Fuel*, 216, 349-355.
- Kumar, C., Rana, K. B., Tripathi, B., & Nayyar, A. (2018). Properties and effects of organic additives on performance and emission characteristics of diesel engine: a

Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Benzoiltiyüre Türevi Yakıt Katkısının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi

- comprehensive review. *Environmental science and pollution research*, 25, 22475-22498.
- Kumar D.S., Murugesan S., (2023). Experimental Investigation on Impact of Diethyl Ether Additives with Cashew Nut Shell Liquid Biodiesel Blends on Performance Characteristics of Engine Operating at Optimum Conditions. *Emission Control Science and Technology.*; 9:66-75.
- Kurt, G. (2008) yeni şelatlaştırıcı reçinelerin sentezi, uygulama alanlarının araştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Konya.
- Kurt, G. (2019). Synthesis of new poly-benzoylthiourea and thermal and surface properties. *Journal of Polymer Research*, 26(9), 232.
- Mofat, R.J. (1985). Using uncertainty analysis in the planning of an experiment. *J Fluids Eng.* 107(2), 173-178.
- Mukiza, J., Braband, H., Bolliger, R., Blacque, O., Alberto, R., & Nkurunziza, J. B. (2021). A novel benzoylthiourea derivative with a triazinethione moiety: Synthesis and coordination with the organometallic fac-[Re (CO) 3]+ core. *Inorganica Chimica Acta*, 516, 120116.
- Refat, M. S., & El-Metwaly, N. M. (2012). Spectral, thermal and biological studies of Mn (II) and Cu (II) complexes with two thiosemicarbazide derivatives. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 92, 336-346.
- Saeed, A., Flörke, U., & Erben, M. F. (2014). A review on the chemistry, coordination, structure and biological properties of 1-(acyl/aryl)-3-(substituted) thioureas. *Journal of Sulfur Chemistry*, 35(3), 318-355.
- Schmitt, B., Gerber, T. I. A., Hosten, E., & Betz, R. (2012). Monomeric/dimeric complexes of fac-[Re (CO) 3]+ with benzoylthiourea derivatives. *Inorganic Chemistry Communications*, 24, 136-139.
- Siddartha, G. N. V., Ramakrishna, C. S., Kujur, P. K., Rao, Y. A., Dalela, N., Yadav, A. S., & Sharma, A. (2022). Effect of fuel additives on internal combustion engine performance and emissions. *Materials Today: Proceedings*, 63, A9-A14.
- Sievers, H., & Schuster, M. (2014). Long-term monitoring of palladium and platinum contents in road dust of the city of Munich, Germany. In *Platinum metals in the environment* (pp. 187-198). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Sharma, A., & Murugan, S. (2022). Combustion analysis of a diesel engine run on non-conventional fuel at different nozzle injection pressure. In *Innovations in Energy, Power and Thermal Engineering: Select Proceedings of ICITFES 2020* (pp. 109-118). Springer Singapore.
- Solmaz, U., Ince, S., Yılmaz, M. K., & Arslan, H. (2022). Conversion of monodentate benzoylthiourea palladium (II) complex to bidentate coordination mode: Synthesis, crystal structure and catalytic activity in the Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction. *Journal of Organometallic Chemistry*, 973, 122374.
- URL-1 (2023). Tüpraş,2023.https://www.tupras.com.tr/uploads/Urunler_en/UNLEADED_MOTOR_GA-SOLINE_95_ROM-243.pdf, (Erişim Tarihi 20.10.2023).
- Yang, W., Liu, H., Li, M., Wang, F., Zhou, W., & Fan, J. (2012). Synthesis, structures and antibacterial activities of benzoylthiourea derivatives and their complexes with cobalt. *Journal of inorganic biochemistry*, 116, 97-105.
- Yeşilkaynak, T., Özkömeç, F. N., Çeşme, M., Demirdöğen, R. E., Kutlu, E., Kutlu, H. M., & Emen, F. M. (2022). Synthesis of new thiourea derivatives and metal complexes: Thermal behavior, biological evaluation, in silico ADMET profiling and molecular docking studies. *Journal of Molecular Structure*, 1269, 133758.
- Uyumaz, A. (2023). Experimental Research With Diethyl Ether on Engine Performance and Emissions in a Spark Ignition Engine. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 7(3), 167-174.
- Zahra, U., Saeed, A., Fattah, T. A., Flörke, U., & Erben, M. F. (2022). Recent trends in chemistry, structure, and various applications of 1-acyl-3-substituted thioureas: a detailed review. *RSC advances*, 12(20), 12710-12745.