

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 055902 (1214-1224)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 055902 (1214-1224)

DOI: 10.35414/akufemubid.1024495

Araştırma Makalesi / Research Article

Buji Ateşlemeli Bir Motorda Ultrasonik Yakıt Sistemi Kullanılmasının Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Cengiz ÖNER*¹, Gökhan ÖZTÜRK², Burak TANYERİ³¹ Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bingöl.² Batman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Batman.³ Fırat Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu Uçak Bakım ve Onarım Bölümü, Elazığ.

Sorumlu yazar e-posta: coner@bingol.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3278-2831>

gokhan.ozturk@batman.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2780-6966>

burak.tanyeri@firat.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3517-9755>

Geliş Tarihi: 17.11.2021

Kabul Tarihi: 14.10.2022

Öz

Buji ateşlemeli motorlarda kullanılan yakıtın parçalanıp hava ile karıştırılması, yanma ve egzoz emisyonu üzerinde oldukça etkilidir. Motorun farklı çalışma koşullarına uygun ideal hava-yakıt karışım oranını hazırlamak için yakıt sistemleri üzerinde çalışılmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada buji ateşlemeli motorlarda kullanılan geleneksel yakıt sistemlerine alternatif olarak ultrasonik yakıt sistemi kullanılmıştır. Buji ateşlemeli motorlarda kullanılan enjektörlü yakıt sisteminde 20-30 µm olan ortalama damlacık çapı, ultrasonik parçalama ile ortalama damlacık çapı 12 µm olarak gerçekleşmiştir. Motor ½ sabit yükte farklı devirlerde ultrasonik, karbüratörlü ve enjeksiyonlu yakıt sistemleri ile çalıştırılıp egzoz emisyonları ölçülmüştür. Üç yakıt sistemi için ölçülen egzoz emisyonlarının maksimum değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ultrasonik yakıt sistemi kullanıldığında, karbüratörlü sisteme göre CO da %99, HC de %60, NO_x de %18 azalma, CO₂ de % 10 ve artış olduğu, enjektörlü sisteme göre CO da %99, CO₂ de %12, HC de %45 azalma, NO_x de % 55 artış olduğu görülmüştür. Genel olarak ultrasonik yakıt sisteminin egzoz emisyonları üzerinde olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Ultrasonik parçalama;
Yakıt;
Yanma;
Emisyon

Investigation of the Effect of Using Ultrasonic Fuel System on Exhaust Emissions in a Spark Ignition Engine

Abstract

Fragmentation and mixing of the fuel used in spark ignition engines with air is highly effective on combustion and exhaust emissions. Studies are carried out on fuel systems in order to prepare the ideal air-fuel mixture ratio suitable for different operating conditions of the engine. In this study, ultrasonic fuel system was used as an alternative to the traditional fuel systems used in spark ignition engines. The average droplet diameter of 20-30 µm in the injector fuel system used in spark ignition engines has been realized as 12 µm with ultrasonic fragmentation. The engine was run at ½ constant load at different speeds with ultrasonic, carburetor and injection fuel systems, and exhaust emissions were measured. The maximum values of the measured exhaust emissions for the three fuel systems were examined comparatively. When the ultrasonic fuel system is used, there is a 99% reduction in CO, 60% in HC, 18% in NO_x, 10% and an increase in CO₂ compared to the carburetor system, 99% reduction in CO, 12% in CO₂, and 45% in HC compared to the injector system. It was observed that there was a 55% increase in NO_x. In general, it has been determined that the ultrasonic fuel system has a positive effect on exhaust emissions.

Keywords

Ultrasonic shredding;
Fuel;
Combustion;
Emission

1. Giriş

Dünyadaki nüfus artışına bağlı olarak araç sayısının artması, çevreye zararlı etkilerin önemli boyutlara ulaşmasına sebep olmuştur. Günümüzde motorlu taşıtlar için enerji çoğunlukla fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Dünya da petrol ürünlerinin kullanımı arttıkça petrol rezervlerinin azaldığı bilinmektedir (Liao *et al.* 2016). Fosil yakıt kullanımı sonucu ortaya çıkan çevre kirliliği önemli sorun olarak kabul edilmektedir. İçten yanmalı motorlar sera gazı salınımının önemli bir kaynağı olarak küresel ısınmanın başlıca sebebi olarak görülmektedir (Sagar 1995). Yapılan çalışmalarda dünyada sera gazının yaklaşık %20 taşıt kaynaklı olduğu bilinmektedir (Çalışkan vd. 2017). Avrupa Birliği, ABD ve Japonya gibi ülkeler emisyon standartlarını yükselterek bu soruna karşı önlemler almaktadır (Batmaz 1996). Otomotiv firmaları, motor üreticileri ve yakıt sistemi parçaları alt sanayi imalatçıları, egzoz emisyonlarının çevresel etkilerini azaltmak için (EURO 6 Tier 2 gibi) standartlara uygun üretim yapmaktadırlar (Twigg 2003).

Geçmiş yıllarda buji ateşlemeli motorlarda kullanılan karbüratörlü yakıt sisteminin birçok dezavantajları olduğu bilinmektedir. Hava yakıt karışımını yeterince homojen olmaması, zengin karışım oluşturması ve bu karışımın yanması sonucunda yüksek değerlerde egzoz emisyonların ortaya çıktığı yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur (Salman vd. 2003).

Günümüzde karbüratörlü sistemlerin eksikliklerini gidermek ve yüksek emisyon değerlerini azaltmak için enjeksiyonlu sistemlere geçilmiştir. Buji ateşlemeli motorlarda kullanılan enjeksiyonlu yakıt sistemleri, yakıtı pompa ve enjektörler aracılığıyla emme manifolduna, supap arkasına veya direkt silindir içerisine göndermektedir (Çelik ve Özdalyan 2010, Song *et al.* 2016). Yakıtın emme manifolduna veya supap arkasına püskürtülmesi halinde; yakıtın silindire girmeden buharlaşması sonucu daha homojen hava yakıt karışımı hazırlanmaktadır. Bu enjeksiyon sistemlerinde yakıtın püskürtüldüğü yüzeylerde bir yakıt filmi oluşur. Özellikle motorun soğuk çalışma şartlarında daha fazla yakıt püskürtülür ve karışım zenginleşir. Zengin karışım yakıt tüketimi ve hidrokarbon emisyonlarını önemli

ölçüde arttırmaktadır. Bu sorunu çözebilmek için direkt yakıt enjeksiyon sistemi geliştirilmiştir. Yakıtın direkt silindir içerisine püskürtülmesi, enjeksiyon sisteminin daha iyi kontrol edilmesini sağlar. Özellikle yakıtın geç püskürtülmesi sırasında emme supaplarının kapalı olması sıkıştırma sonu basıncının daha yüksek olacağı anlamına gelir (Çelik ve Özdalyan 2010). Direkt enjeksiyonlu sistemlerde yakıtın buharlaşması için yeterli sürenin olmaması nedeniyle parçalanmayı iyileştirmek için, yakıt silindir içerisine yüksek basınçla püskürtülür (Çelik ve Özdalyan 2010, Iwamoto *et al.* 1997, Scholar 2016, Zhao *et al.* 1999, Geiger *et al.* 1999). Bir enjeksiyon sisteminin maksimum püskürtme basıncı, silindir çapı/strok boyu oranı, sıkıştırma oranı ve karışım oranına bağlı olarak 50 ile 150 bar arasında değişir. Bu tür enjeksiyon sistemlerinde yakıt demetindeki yakıt damlacıklarının hızı 30-70 m/s, büyüklüğü 20-30 µm arasında olup 80 mm'nin üzerinde derinlik nüfusuna sahip olduğu görülmüştür (Ohsuga *et al.* 1997).

Son yıllarda buji ateşlemeli motorlarda direkt püskürtme sistemleri oldukça popüler hale gelmiştir. Direkt püskürtmeli sistemlerde homojen ve kademeli olmak üzere iki temel prensiple karışım oluşturulur. Hava yakıt karışımının hazırlanmasında yakıtın parçalanması büyük önem taşımaktadır (Postrioti *et al.* 2016).

Yakıt atomizasyon kalitesinin yüksek olması hava yakıt karışımının daha homojen olacağı anlamına gelir. Homojen karışım, termik verimi arttıracak gibi egzoz emisyon değerlerini de düşürmektedir (Groff 2016).

Ultrasonik transduser kullanarak elektrik enerjisi mekanik enerjiye veya mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülebilir (Zhang *et al.* 2012). Piezoelektrik dönüştürücüler, yüksek frekanslı ses dalgaları üretmek için kullanılır. Bu dalgalar, ultrasonik atomizasyonda akustik kavitasyonu sağlar. Çoğunlukla, akustik kavitasyon, görülmeyecek kadar küçük kabarcıkların veya sıvı damlacıklarının oluşturulması anlamına gelir (White 1962).

Ultrasonik atomizasyon yöntemi, içten yanmalı motorlarda atomizasyon kalitesini ve dolgu homojenliğini arttırmaya dönük yeni bir yöntem olarak düşünülebilir. İlk olarak Wood ve Lommis

tarafından keşfedilen Ultrasonik atomizasyon, yüksek yoğunluklu ultrasonik ses dalgalarıyla sıvıların parçalanmasını sağlayarak, sıvı-gaz arası özellikler taşıyan damlacıklar oluşturmak için kullanılmaktadır (Neppiras 1980). Ultrasonik atomizasyonda 100 µm den daha düşük çaplı sıvı damlacıklar oluşturulabilir. Bu değerler, en küçük damlacık çapı üretebilen sprey nozzlardan çok daha küçüktür ve herhangi bir termal değişim gerektirmemektedir. Ayrıca ultrasonik atomizasyon için ısı girişine de ihtiyaç yoktur. Ultrasonik atomizasyonda sıvıları parçalamak için yüksek yoğunluklu ses dalgaları kullanır. Bu teknik inhilasyon ilaçlarının hastaya verilmesinde, yakıtların parçalanmasında, analitik nebulizerlerde hava pürifikasyon teknolojilerinde kullanılmaktadır (Neppiras 1980). Bu teknikte damlacık oluşumunun altındaki mekanizma tam olarak anlaşılmasına rağmen bu alanda iki teori kabul görmüş durumdadır.

Bunlardan ilki kavitasyon teorisidir. Bu teoride ultrasonik ses dalgaları sıvı üzerinde hidrolik titreşimler oluşturur. Bu hidrolik titreşimler kavitasyon olarak bilinen mikro kabarcık oluşumuna neden olur. Mikro kabarcıklar, ultrasonik enerji tarafından çok hızlı bir şekilde genişletilir ve kasılır ve sonunda patlar. Damlacıklar mikro kabarcıkların patlaması ile meydana gelen şok dalgasıyla sıvı yüzenden koparak ayrılır. Yapılan gözlemler kavitasyonun, sıvı üzerinde sis damlacıkları yaratmak için yeterli enerjiye sahip olduğunu göstermiştir (Wood and Loomis 1927, Eknadiosyants 1968).

İkinci teori ise kılcal dalga teorisidir. Yüksek frekanslı ultrasonik ses dalgaları sıvının üzerinde durgun olmayan salınımlar oluşturur. Kılcal dalga teorisi, durgun olmayan bu salınımların sıvı yüzeyinden uzaklaştığı, pik noktasında parçalanarak sıvıdan ayrılan damlacıkların nano boyutlu sis bulutu oluşturduğu söylemektedir. Bu nedenle üretilen damlacıkların boyutu, kılcal dalga teorisinde dalga boyuna bağlıdır. Ultrasonik dalganın frekansı arttıkça kılcal dalga boyu azalır. Bu nedenle yüksek frekanslarda daha iyi sis bulutu üretilir. Kılcal dalgaların dalga boyu kelvinin denklemi (1) ile hesaplanabilir (Çiçekdağı 2011).

$$\lambda = \left(\frac{8 \pi T}{\rho F^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

(1)

Bu denklemde, λ kılcal dalganın dalga boyu (cm), T sıvının yüzey gerilimi (dyne/cm), ρ sıvının yoğunluğu (g/ml), F ultrasonik frekans (Hz) göstermektedir. Lang çalışmalarında 10-800 kHz frekanslar için, ultrasonik olarak üretilen damlacıkların ortalama çapı (CMD), dalga boyu (λ) ile orantılı olduğunu söylemektedir ve korelasyon (2) önermektedir (Çiçekdağı 2011).

$$D_p = 0,34\lambda \quad (2)$$

Burada D_p oluşan sisin ortalama damlacık çapını (cm) ifade etmektedir. Böylelikle oluşan sisin ortalama damlacık çapı ile ultrasonik frekans arasındaki ilişki Lang denklemi (3) ile aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Çiçekdağı 2011).

$$D_p = 0,34 \left(\frac{8 \pi T}{\rho F^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

(3)

Denklemden de anlaşılacağı gibi damlacık boyutları üzerinde ultrasonik frekansın etkisi büyüktür. Fakat Lang denklemdeki gözlemler, damlacık boyutlarının optik olarak ölçümlerinin karşılaştırılmasından elde edilen bir sabit sayı içermektedir. Bu nedenle damlacık bulutu mikroskopta görülemeyecek kadar küçük damlacıklar içeriyorsa, damlacık boyutunun doğru tahmini mümkün olmayabilir (Çiçekdağı 2011).

Ultrasonik boyutta damlacık üretmek için farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı mikron ve mikron altı damlacık üretmek için yapılan ultrasonik jeneratörler iken, diğer bir kısmı da üretilen mikron veya nano boyutu damlacık boyutlarının doğru ölçülmesi üzerine yapılan çalışmalardır (Çiçekdağı 2011).

Yanma, püskürtme özelliklerine duyarlıdır. Mevcut spreyler mükemmel bir yanma için ideal değildir. Klasik enjeksiyonlu sistemlerde sprey gerçek zamanlı bir olay olduğu için, hız ve yük aralığı üzerinden optimizasyon zordur, soğuk ve ağır yüklü çalışma sırasında silindir cidarının ıslanması HC emisyonlarına neden olur. Soğukta motoru ilk çalıştırma sırasında yakıt zenginleştirilmesine

ihtiyaç duyulur. Karbüratörlü yakıt sistemine sahip motorlarda önemli ölçüde daha yüksek NOx emisyonları oluşur.

Bu çalışma, buji ile ateşlemeli motorların hava yakıt karışımı hazırlama sistemlerine alternatif yeni bir yöntem olarak ultrasonik atomizer kullanımının egzoz emisyonları üzerine etkilerini belirlemek üzere yapılmıştır. Önce yakıt, yüksek frekanslı ses dalgası ile atomize edilerek, atomizasyon performansı belirlenip yakıt atomizasyonu için en uygun frekans tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmada buji ateşlemeli tek silindirli karbüratörlü bir motorda esas bir değişiklik yapmadan enjeksiyonlu ve ultrasonik yakıt sistemleri ile çalışması sağlanmıştır. Yakıt sistemini motora uygulamak ve sistemin konfigürasyonunu gerçekleştirmek yeterli olmuştur. Ultrasonik yakıt sistemi kullanılarak GDİ motorlarından daha küçük yakıt atomizasyonu (12 mikron) ile homojen hava/yakıt karışımı sağlamak ve egzoz gazı emisyonlarının düşürülmesi amaçlanmıştır. Ultrasonik yakıt sisteminin soğuk çalıştırma sırasında yakıt zenginleştirmeden çalışma potansiyeline sahip olduğu öngörülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada ultrasonik atomizerin, içten yanmalı motorların yakıt sistemine alternatif olarak kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla Piezoelektrik seramik transducer içeren 1.6 MHz frekanslı ultrasonik atomizer tasarlanıp üretilmiştir. Ultrasonik atomizer karbüratörlü tek silindirli bir motorun yakıt sistemine uygulanmıştır. Ultrasonik atomizerin oluşturduğu sis bulutunun içerdiği damlalar yüksek çözünürlüklü dijital mikroskoplar tarafından fotoğraflanıp görüntü işleme yöntemiyle damlacık boyutları hesaplanmıştır. Ultrasonik jeneratörün frekansı ayarlanarak ortalama yakıt damlacık çapının 12 mikron civarında olması sağlanmıştır. Testlerde Şekil 1'de görülen 4 zamanlı, tek silindirli, karbüratörlü, buji ateşlemeli bir motor kullanılmış olup teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kama By Reis KGP20 motor

Çizelge 1. Deney motoru özellikleri

Motor Tipi	4 Zamanlı tek silindirli karbüratörlü benzin motoru
Çap X Strok	68 x 45 mm
Silindir Hacmi	163 cm ³
Sıkıştırma Oranı	9,0 : 1
Net güç	3,6 kW (4,8HP) / 3600 rpm
Max. Net Tork	10,3 Nm / 1,05 kgfm / 2500 rpm
Ateşleme Sistemi	Manyetik ateşleme
Çalışma Şekli	Marş motoru /el ile
Yakıt deposu kapasitesi	3,1 lt.
Yakıt tüketimi	1,4 lt/h
Yağ Kapasitesi	0,6 lt.
Boyutlar(L x W x H)	312 x 362 x 346 mm
Motor Gücü	5,5 HP
Ağırlık	24 kg.
Yakıt Tipi	Kurşunsuz Benzin

Deney motorunu yüklemek için kullanılan su pompası, motor seviyesindeki su deposundan çektiği suyu 3,5 m yüksekliğindeki su deposuna basmaktadır. Bu sayede motorun sabit bir kısmı yük altında çalışması sağlanmıştır. Motor 1500-3000 1/dak devir aralığında üç farklı yakıt sistemi ile çalıştırılıp egzoz gazı emisyonları ölçülerek karşılaştırılmıştır. Çalışmalarda Bosch BAE 350 marka egzoz analiz cihazı kullanılmıştır. Cihaz hem dizel motor egzoz emisyonlarını hem de buji ateşlemeli egzoz emisyonlarını ölçebilmektedir. Cihazın görüntüsü Şekil 2'de, benzin ölçüm modunda ölçebildiği emisyonlar ve hassaslık derecesi çizelge 2'de verilmiştir.

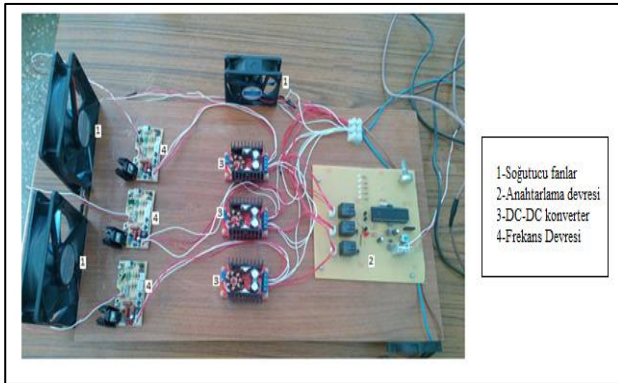


Şekil 2. Bosch BEA 350 egzoz emisyon analiz cihazı

Çizelge 2. Bosch BAE 350 Benzin modu emisyon değerleri ve hassasiyeti

Emisyon	Ölçüm Aralığı	Hasasslık
CO	0,000–10,00 %vol	0,001%vol
CO2	0,00–18,00 %vol	0,01 %vol
HC	0–9,999 ppm vol	1 ppm vol
O2	0,00–22,00 %vol	0,01 %vol
λ	0,500–9,999	0,001
NO	0–5000 ppm vol	<=1 ppm vol

Şekil 3'de Ultrasonik yakıt sistem elemanları görülmektedir. Ultrasonik atomizer pasif durumda iken motor klasik karbüratörlü yakıt sistemi ile çalışmaktadır. Bu durumda yakıtın tamamı sıvı haldedir ve yakıt karbüratör ve emme manifoldunda hava ile karışarak buhar formuna dönüşmektedir.



Şekil 3. Ultrasonik yakıt sistemi generatör devresi

Ultrasonik yakıt sistemi dönüşümü yapmak için karbüratörlü sistemin karbüratör çanağı ve yakıtın geçtiği şamandıra iğnesi sökülüp, yerine ultrasonik atomizasyonun yapıldığı yakıt deposu bir hortum ve vana ile bağlanmıştır. Motorun hava yakıt oranları bu vanalar yardımıyla ayarlanmaktadır. Ultrasonik

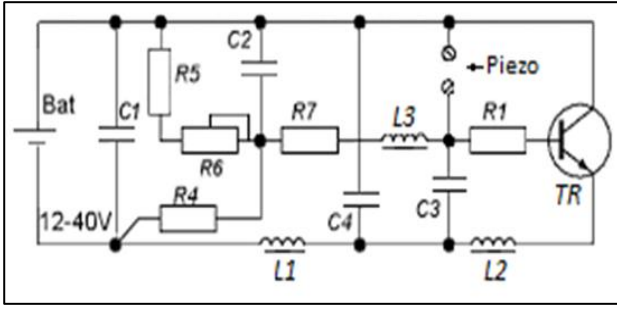
yakıt sisteminde parçalanmış yakıt vakum etkisiyle çekilmekte ve emme manifoldunda hava ile karıştırılarak silindire gönderilmektedir.

Ultrasonik atomizerin jeneratör devresine enerji verildiğinde sistem aktif duruma geçmektedir. Aktif durumda depoda bulunan yakıtın bir kısmı sis bulutuna dönüşüp yakıt deposunun üst kısmında toplanmakta, yakıt karbüratöre buhar fazında gönderilmektedir. Şekil 4'de atomizerin aktif ve pasif durumları için depodaki yakıt görülmektedir. Ultrasonik generatör 1,6 Mhz frekans üretebilen 180 W gücünde olup 12 V batarya gerilimi ile çalışmaktadır. Maksimum frekans ile çalışma durumunda sistem 72 A akım çekmektedir.



Şekil 4. Atomizerin aktif ve pasif durumları için depodaki yakıtın görünüşü

Şekil 5'de Frekans devresi üzerinde görülen açma kapama anahtarı açık konuma geçtiği anda 12 V DC gerilimi, giriş soketi üzerinden sistemi aktif duruma geçirir. Bu durumda mikro işlemci tarafından aküden gelen 12 V' luk gerilimi kontrol eden birinci röleye akım gönderilerek rölenin açık konuma geçmesi sağlanır. 12 V' luk akü gerilimi yükselteç devresinin giriş soketinden sisteme giriş yapar. Yükselteç devresinde gerilim önceden ayarlanmış olan 30 V'a çıkarılarak frekans devresine gönderilir. Ultrasonik atomizerin elektronik frekans devresi basit olup sistemde sadece bir transistör kullanır. sistemdeki R6 potansiyometre veya trimpot, ultrason frekansını ayarlar. Besleme, 12 ila 40 Voltluk bir pil ile yapılabilir.



Şekil 5. Frekans devresinin şematik gösterilişi

Frekans devresine gelen 30 V' luk gerilim 1,6 MHz frekansa çevrilerek AC dalga şeklinde piezoelektrik seramik transducer üzerine gönderilir. Yüksek frekans, ses osilatörü olarak görev yaparak tek taraflı darbeler oluşturur. Böylece transducer üzerinde mekanik titreşimler oluşturularak ultrasonik ses dalgası üretilir. Deney motorunu enjeksiyonlu sistemine dönüştürmek için, Howdytubor marka tek silindirli motorlar için üretilen enjektör kiti tedarik edilmiştir. Motordan karbüratörün takılı olduğu kısım sökülerek yerine enjektör sistemi takılmıştır. Şekil 6'da sistemin tüm parçaları gösterilmiştir. Enjeksiyon sisteminin gaz kelebeği gövdesi, karbüratörün yerine monte edilmiş, üzerine hava filtresi, enjektör ve entegre sensör (TPS, MAP, MAT) takılmıştır.



Şekil 6. Enjeksiyon sistemi parçaları

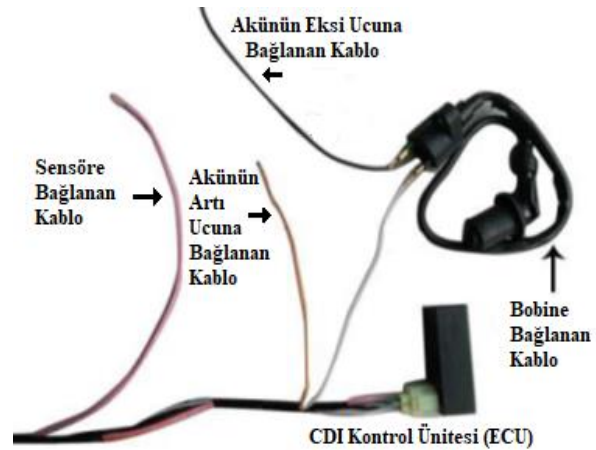
Yakıt basıncını yükseltmek için yakıt pompası kullanılmıştır. Pompa üzerinde bir basın regülatörü bulunmakta ve yakıt basıncı 3 bara ayarlanmaktadır (Şekil 7). Yakıtı püskürtmek atomizasyonu sağlamak için emme manifolduna sistemin bir parçası olan enjektör yerleştirilmiştir. Enjeksiyon sisteminde kullanılan elektronik ateşleme sistemi şekil 8'de gösterilmiştir. Sistemde primer ve sekonder sargılar

ve direkt bujiye bağlanabilen buji kablosu görevi yapan başlıklar kullanılmaktadır. Sistemdeki ECU motorun o anki çalışma koşullarına göre en uygun ateşleme avansını belirleyerek, bobinin primer devre akımını keser ve bobinin sekonder devresinde yüksek gerilimin oluşmasını sağlar. Ateşleme zamanlaması volan üzerinde bulunan manyetik sensör üzerinden alınır.

Ayrıca sistemde kullanılan oksijen sensörü ve Emme manifoldu basıncını ölçmek için MAP (Mutlak basınç) kullanılmıştır. Sensör verileri ile ECU tarafından ateşleme avansı, hava/yakıt oranı ve yakıt enjeksiyon miktarı ayarlanır. Pickup sensörü (Manyetik devir sensörü) volanın hareketiyle oluşan manyetik alan değişimini algılar ve devri belirleyerek ECU'ya bildirir.



Şekil 7. Yakıt pompası



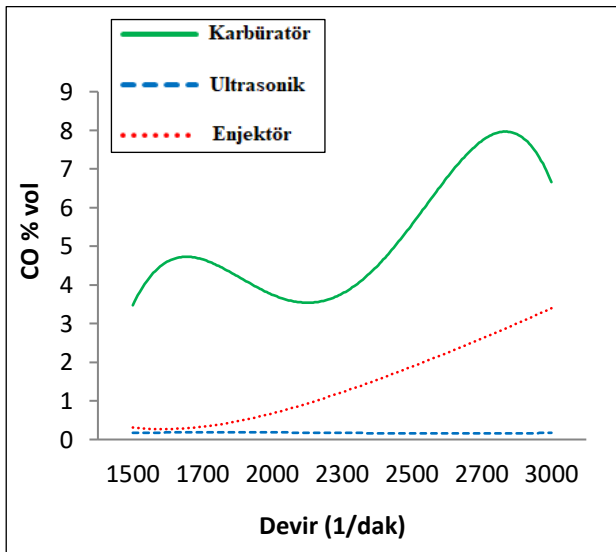
Şekil 8. Elektronik ateşleme sistemi (CDI)

Motorun püskürtmesi gereken yakıt miktarını ve ateşleme zamanını ECU belirler. Bu zamanlamayı mükemmel hale getirmek için motordan gelen tüm sinyalleri yazılımla değiştirilebilir. Enjektör sistemini deney motoruna uygun hale getirmek ve ECU'ya müdahale etmek için sistemle birlikte EFITune 2.25 ara yazılım programı alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. CO Emisyonları

CO emisyonları eksik yanma ürünüdür (Rayleigh 1945). Şekil 9’ da farklı yakıt sistemlerine ait CO emisyon değerleri grafik olarak gösterilmiştir. Karbüratörlü sistem için CO emisyonları düşük devirlerde düşük, devir yükseldikçe arttığı 2000-2300 1/dak devir aralığında minimum değerini aldıktan sonra devir artışı ile tekrar yükseldiği görülmektedir. Düşük devirlerde volümetrik verimin düşük olması yanında hava hareketlerinin zayıf olması nedeniyle CO emisyonlarının yüksek çıktığı söylenebilir. Devir arttıkça volümetrik verimin artması, hava hareketlerinin yükselmesi neticesinde daha homojen bir karışım hazırlandığı buna bağlı olarak yanmanın iyileştiği, sonuçta CO emisyonlarının azaldığı düşünülmektedir. İçten yanmalı motorlarda yanma koşullarının en iyi olduğu devir sayısı aralığı bulunmaktadır. Deney motoru, karbüratörlü yakıt sistemi ile çalıştırıldığında, 2000-2300 1/dak devirleri arasında en ideal çalışma koşullarının sağlandığı anlaşılmaktadır. Yüksek devirlerde CO emisyonunun artması, kimyasal reaksiyonlar ve yanma için yeterli zaman olmayışının doğal sonucudur.



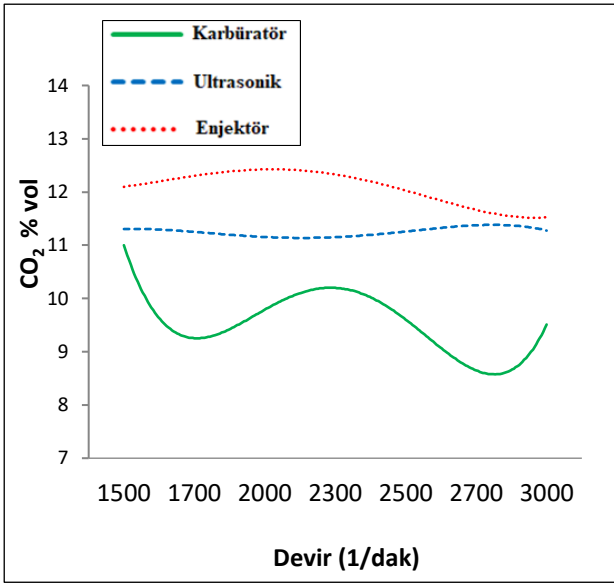
Şekil 9. Farklı yakıt sistemlerine ait CO emisyonları

Buji ateşlemeli motorlarda kimyasal reaksiyon ve yanma hızının en yüksek olduğu karışım oranının stokiyometrik karışım olduğu bilinmektedir. Ultrasonik yakıt sistemi kullanıldığında bütün çalışma koşullarında stokiyometrik karışım

hazırlanabilmekte ve hava fazlalık katsayısı sabit tutulabilmektedir. CO emisyonlarının çok düşük ve devir sayısı ile değişmemesinin bütün motor devirlerinde stokiyometrik karışım hazırlamanın doğal bir sonucu olduğu söylenebilir (Gottuk and Lattimer 2016, Çelik vd. 2015). Ultrasonik yakıt sistemi kullanıldığında CO emisyon değerlerinin sifıra yakın olduğu ve devir sayısı ile değişmediği görülmektedir. Ultrasonik yakıt sisteminin oluşturduğu rezonans etki ile yakıtın bağ yapısının zayıflayıp daha küçük parçalara ayrılarak yanmanın hızlandığı, yanmanın iyileşmesinin bir sonucu olarak CO emisyon değerlerinin düştüğü söylenebilir. Maksimum CO emisyon değerleri karşılaştırıldığında ultrasonik sistemin CO değerinin enjektörlü ve karbüratörlü sisteme göre yaklaşık %99 azaldığı görülmektedir.

3.2. CO₂ Emisyonları

Tam yanma ürünü olan karbondioksit (CO₂) yanma kalitesinin bir göstergesi olarak değerlendirilir. CO₂ tam yanmanın doğal bir sonucu olsa da, çevreye salınan diğer zararlı gazlarda olduğu gibi yanma ürünleri içerisinde düşük olması istenir (Tanyeri 2015). Stokiyometrik hava/yakıt oranı yüksek olan yakıtlar yakıldığında CO₂ salınımı daha fazladır. Şekil 10’ da üç yakıt sistemi için CO₂ emisyon salınımı grafik olarak verilmiştir. Karbüratörlü sistemde yanmanın enjeksiyonlu ve ultrasonik yakıt sistemlerine göre daha kötü olduğu söylenebilir. Karbüratörlü yakıt sistemi kullanıldığında, 2000-2400 1/dak devir aralığında yanmanın, düşük ve yüksek devirlere göre daha iyi olduğu, buna bağlı olarak CO₂ emisyonunun arttığı görülmektedir. Yakıt parçalanıp küçüldükçe daha homojen bir karışım oluşur, oksijenle temas yüzeyi artarak yanma hızlanır (Groff 2016).



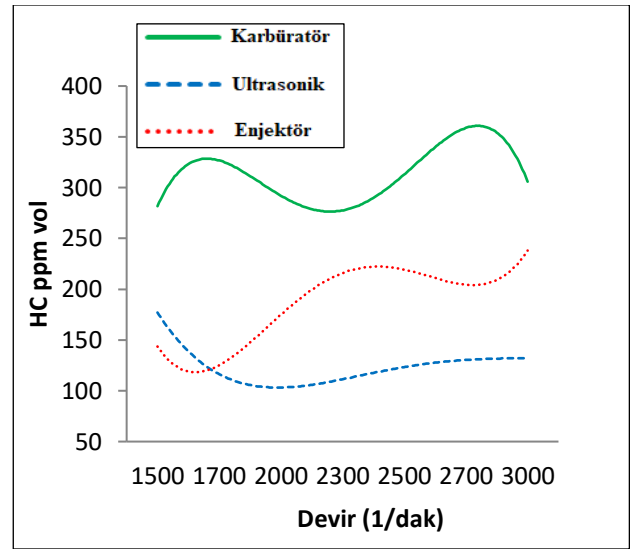
Şekil 10. Farklı yakıt sistemlerine ait CO₂ emisyonları

Ultrasonik yakıt sistemi ile çalışmada CO₂ emisyonunun motor devir sayısı ile değişmediği görülmektedir. CO₂ değerlerindeki bu kararlılık, ultrasonik yakıt sistemi kullanıldığında yakıt atomizasyonu ve karışım homojenliğini motor devir sayısının etkilemediğinin bir kanıtı olarak ileri sürülebilir. Enjeksiyonlu ve ultrasonik yakıt sistemleri kullanıldığında CO₂ emisyon değerlerinin motor devrine göre değişim trendlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Motor 2300 1/dak devirde çalışırken üç yakıt sisteminde maksimum CO₂ oluşmaktadır. Ultrasonik yakıt sistemi ile çalışmada CO₂ emisyonunun karbüratörlü sisteme göre % 10 daha fazla, enjeksiyonlu yakıt sistemine göre % 12 daha düşük olmaktadır. 2700 1/dak motor devrinde ultrasonik yakıt sistemi ile enjeksiyonlu yakıt sisteminin CO₂ değeri arasında kayda değer bir değişim olmadığı, ultrasonik ve enjektörlü sistemin karbüratörlü sisteme göre CO₂ değerinde yaklaşık % 35 artış olduğu görülmektedir.

3.3. HC Emisyonları

Hidrokarbonlar (HC) yakıtın kimyasal yapısını oluştururlar ve yanma sırasında oksijenle reaksiyona girerek ısı enerjisi üretirler. Teorik olarak hesaplanan yanma olayında yanma sonu ürünleri arasında HC bulunmaz. Bu durum yanmanın %100 verimle gerçekleştiği anlamına gelir Fakat gerçekte yanma verimi hiçbir zaman %100 gerçekleşmez ve yanma sonu ürünleri

arasında HC'na rastlamak çok olasıdır. Yani motor silindirine alınan yakıt moleküllerinin bir kısmı yanmadan HC emisyonu olarak egzozdan atılırlar (Li et al. 2016). Motordan çıkan hidrokarbon emisyonlarının ana kaynağı, yakıt-hava bulutunun aşırı zayıf kenarlarındaki alevin söndürülmesinden kaynaklanmaktadır. Aşırı zayıf karışım kısımları, sönerken HC emisyon sorununa neden olur. Şekil 11'de üç yakıt sistemi için egzoz gazı emisyonlarının motor devri ile değişimi gösterilmiş olup en düşük HC emisyon değerleri ultrasonik yakıt sisteminde olduğu görülmektedir. En yüksek HC emisyonu motor 2800 1/dak ile çalışırken karbüratörlü yakıt sisteminde oluşmaktadır.



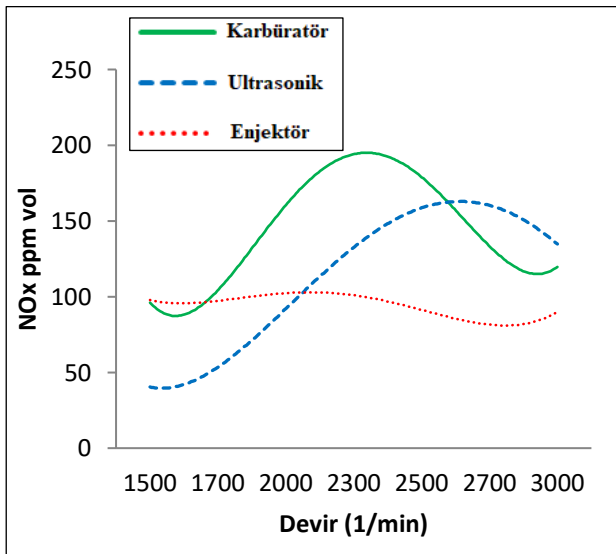
Şekil 11. Farklı yakıt sistemlerine ait HC emisyonları

Üç yakıt sistemi ile çalışmada en yüksek HC emisyonları karşılaştırıldığında; ultrasonik yakıt sistemi HC emisyonunun karbüratörlü sisteme göre % 60, enjeksiyonlu yakıt sistemine göre % 45 daha düşük olduğu görülmektedir. Ultrasonik yakıt sistemi kullanıldığında HC emisyonlarının devir sayısı ile fazla değişmemesi bütün devirlerde yanma prosesinin kararlı olduğunu göstermektedir. CO ve CO₂ emisyonunun kararlı ve düşük çıkması da bu fikri desteklemektedir. Enjektörlü yakıt sistemi ile çalışmada ultrasonik yakıt sistemine göre HC emisyonlarının daha fazla olduğu ve devir sayısı ile arttığı görülmektedir. Yük altında devir sayısının artması yakıt tüketimini de artırmaktadır. Fazla yakıtın yanması için daha fazla zamana ihtiyaç duyulur. Devir sayısının yükselmesi ile tam yanma için ihtiyaç duyulan zaman yetersiz kalmaktadır.

Sonuçta yetersiz yanmanın HC emisyonlarını artırdığı söylenebilir. Karbüratörlü yakıt sisteminde, motorun orta devirlerde çalışması durumunda HC emisyonları düşmektedir. Orta devirlerde CO₂ nin yüksek CO nun düşük çıkması yanmanın daha iyi olduğunun bir kanıtı olarak ileri sürülebilir. Ultrasonik yakıt sisteminde HC emisyonunun karbüratörlü ve enjeksiyonlu yakıt sistemlerine göre daha kararlı olduğu görülmektedir. Ultrasonik yakıt sisteminde yakıt atomizasyonu ve karışım hazırlamanın motor devir sayısı ile fazla etkilenmediği söylenebilir.

3.4. NOx Emisyonları

Buji ateşlemelilerde NOx önemsiz bir kirletici emisyonudur. Motordan çıkan nitrik oksit emisyonlarının ana kaynağı hava içerisindeki azottur. Yanma odası içindeki yerel bölgelerde stokiyometrik yanma sırasında meydana gelen yüksek sıcaklıklarda oluşur. İçten yanmalı motorlarda reaksiyon sıcaklığı yükseldikçe NOx emisyonları da artar (Aydın vd. 1999, Haşımoğlu vd. 2002). Şekil 12’de farklı yakıt sistemlerine ait NOx emisyon değerleri grafik olarak verilmiştir. Buji ateşlemeli motorların genel emisyon karakterine uygun olarak üç sistemde de NOx emisyonları oldukça düşük çıkmıştır.



Şekil 12. Farklı yakıt sistemlerinin NOx emisyonları

Üç yakıt sistemi içerisinde en yüksek NOx emisyon sonuçları karbüratörlü yakıt sisteminde en düşük sonuçlar ise enjektörlü yakıt sisteminde olduğu görülmektedir. Üç yakıt sisteminde de düşük motor devirlerinde NOx emisyonlarının düşük olduğu,

devir artışı ile karbüratörlü yakıt sistemi ve ultrasonik yakıt sistemi kullanımlarında NOx değerinin arttığı belirli bir devirden sonra tekrar düştüğü görülmektedir. Karbüratörlü sistemde maksimum NOx 190 ppm olup 2300 1/dak devirde, ultrasonik yakıt sisteminde maksimum NOx 155 ppm olup 2600 1/dak devirde meydana gelmektedir. Enjeksiyonlu yakıt sistemi kullanıldığında ise 100 ppm civarında olduğu ve devir artışı ile kayda değer bir değişim olmadığı görülmektedir. Maksimum NOx emisyonları dikkate alındığında ultrasonik yakıt sisteminde karbüratörlü sisteme göre %18 azalma, enjeksiyonlu yakıt sistemine göre %55 artış olmaktadır. Karbüratörlü çalışmada orta motor devirlerinde CO ve HC nin düşük CO₂ nin yüksek olması, orta motor devirlerinde yanmanın daha iyi olduğu buna bağlı olarak daha yüksek sıcaklıklara çıktığı anlaşılmaktadır. Orta devirlerde NOx in yüksek çıkmasının, yanma sıcaklığının yüksek olmasının bir sonucu olduğu şeklinde açıklanabilir. Ultrasonik yakıt sisteminde CO, CO₂ ve HC değerlerinin değişmediği, bu açıdan bakıldığında NOx değerinde de bir değişim olması beklenilmez. Ancak yük altında motor devri arttığında her çevrimde tüketilen yakıt miktarı artmakta ve yanma odası sıcaklığı yükselmektedir. NOx değerindeki artış bu sıcaklık yükselmesi ile ilişkili olduğu söylenebilir.

4. Sonuçlar

Karbüratörlü buji ateşlemeli bir motorda, egzoz emisyon değerlerini düşürmek amacıyla enjektörlü yakıt sistemi ve ultrasonik atomizer sistemi geliştirilip kullanılmıştır emisyon sonuçları aşağıya çıkarılmıştır.

CO emisyon değerlerine bakıldığında ultrasonik yakıt sisteminin CO emisyonları sifıra yakın değerlerde olduğu ve devir arttıkça kayda değer bir değişiklik göstermediği görülmüştür. Çalışmada kullanılan üç yakıt sistemi karşılaştırıldığında en iyi sonuçlar ultrasonik sistemde en kötü sonuçlar karbüratörlü yakıt sisteminde olduğu belirlenmiştir. Ultrasonik yakıt sistemi ve enjeksiyonlu yakıt sistemi ile çalışmada CO₂ emisyon değerlerinin yüksek ve birbirine yakın olduğu, karbüratörlü yakıt sisteminde ise daha düşük olduğu görülmüştür.

Ultrasonik yakıt sistemi kullanıldığında yanmanın iyileşmesi sonucu HC emisyon değerlerinin karbüratörlü yakıt sistemine göre oldukça düşük çıktığı görülmüştür.

NO_x emisyon sonuçlarına bakıldığında en yüksek değerler karbüratörlü yakıt sisteminde en düşük değerler ise enjektörlü yakıt sisteminde olduğu görülmüştür. Ultrasonik yakıt sistemi ve karbüratörlü yakıt sistemi kullanıldığında devir yükseldikçe NO_x değerlerinin arttığı, enjektörlü yakıt sistemi kullanıldığında kayda değer bir değişim olmadığı görülmüştür.

5. Kaynaklar

- Aydın, Ö., Köse, R., & Ceylan, N. 1999. Benzinli Motorlarda Egzoz Emisyonlarını Azaltma Kriterleri. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, **001**) 205-214.
- Batmaz İ., 1996. Experimental Investigation of the Relation Ship Between the Vehicle Speed and Fuel Economy. *Ph. D. Thesis, Gazi University Institute of Science and, Ankara/TURKEY*.
- Çalışkan, Z. D., Kurt, Ü., & Timur, M. C. 2017. İklim Değişikliği ve Ulaşım Sektörü İlişkisinin Ekonometrik Analizi: Türkiye Örneği. *International Congress of Energy, Economy and Security Proceedings ENSCON'17* (p. 78).
- Çelik, M. B., & Ozdalyan, B. 2010. Gasoline direct injection. *Fuel Injection*, 1-17.
- Çelik, M., Solmaz, H., & Yücesu, H. S. 2015. Pamuk Metil Esterine N-Heptan Katkısının Motor Performansı Ve Yanma Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **30**(3).
- Çiçekdağı, F. 2011. Ultrasonik Ses Dalgalarının Oluşturduğu Akustik Kaviteyi Etkileyen Değişkenler Ve Kavite Enerjisi Ölçümü (Yüksek Lisans), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 101.
- Eknadiosyants O. K. 1968. Role of cavitation in the process of liquid atomization in an ultrasonic fountain. *Sov Phys Acoust* **14**: 80–84.
- Geiger J, Grigo M, Lang O, Wolters P. and Hupperich P. 1999. Direct Injection Gasoline Engines. *Combustion and Design* **1999**, 01-0170.
- Gottuk D. T. and Lattimer B. Y. 2016. Effect of combustion conditions on species production. *SFPE handbook of fire protection engineering*. Springer New York 486-528.
- Groff E. G. 2016 Automotive Direct-Injection Stratified-Charge Engine Development in the 1970-1980's. *SAE Technical*, No. 2016-01-0175.
- Haşimoğlu, C., İçingür, Y., & Öğüt H. 2002. Dizel motorlarında egzoz gazları resirkülasyonunun (EGR) motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. *Turkish J. Eng. Env. Sci*, **26**, 127-135.
- Iwamoto, Y., Noma, K., Nakayama, O., Yamauchi, T., & Ando, H. 1997. Development of gasoline direct injection engine. *SAE transactions*, 777-793.
- Liao, S., Wang, F., Wu, T., & Pan, W. 2016. Crude oil price decision under considering emergency and release of strategic petroleum reserves. *Energy*, **102**, 436-443.
- Li, Y. H., Chen, G. B., Wu, F. H., Hsieh, H. F., & Chao, Y. C. 2016. Effects of carbon dioxide in oxy-fuel atmosphere on catalytic combustion in a small-scale channel. *Energy*, **94**, 766-774.
- Neppiras, E. A. 1980. Acoustic cavitation. *Physics reports*, **61**(3), 159-251.
- Ohsuga, M., Shiraishi, T., Nogi, T., Nakayama, Y., & Sukegawa, Y. 1997. Mixture preparation for direct-injection SI engines. *SAE transactions*, 794-801.
- Postrioti, L., Cavicchi, A., Paolino, D., Guido, C., Parotto, M., & Di Gioia, R. 2016. An experimental and numerical analysis of pressure pulsation effects of a Gasoline Direct Injection system. *Fuel*, **173**, 8-28.
- Rayleigh W. J. S. 1945. The Theory of Sound. Vol. 2, *Dover Publications*, **344**.
- Sagar A. D., 1995. Automobiles and global warming: Alternative fuels and other options for carbon dioxide emissions reduction. *Environmental Impact Assessment Review* **15.3**: 241-274.
- Salman, S., Çınar, C., & Sekmen, Y. 2003. Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Tek Nokta Yakıt Enjeksiyon Ve Karbüratör Sistemlerinin Performansa Etkileri Üzerine Deneysel Bir Araştırma. *Politeknik Dergisi*, **6**(1), 391-395.
- Scholar U. G. 2016. Fuel Vapour System for SI Engine Using Bubble Creation Method. *International Journal of Engineering Science*, **2770**.
- Song, H., Xiao, J., Chen, Y., & Huang, Z. 2016. The effects of deposits on spray behaviors of a gasoline direct injector. *Fuel*, **180**, 506-513.

- Tanyeri, B. 2015. Benzinli bir motorda ultrasonik atomizer kullanımının motor performans ve egzoz emisyonları üzerine etkisinin deneysel incelenmesi Doktora, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 122.
- Twig, M. V. 2003. Vehicle emissions control technologies. *Platinum Metals Review*, **47(1)**, 15-19.
- White, D. L. 1962. Amplification of ultrasonic waves in piezoelectric semiconductors. *Journal of Applied Physics*, **33(8)**, 2547-2554.
- Wood R. W, Loomis A. L. 1927. The physical and biological effects of high-frequency sound-waves of great intensity. *The London, Edinburgh, and Dublin philosophical magazine and journal of science*, **4(22)**, 417-436.
- Zhang, G., Qiao, X., Miao, X., Hong, J., & Zheng, J. 2012. Effects of highly dispersed spray nozzle on fuel injection characteristics and emissions of heavy-duty diesel engine. *Fuel*, **102**, 666-673.
- Zhao F. Q, Lai M.C., Harrington D. L. 1999. Automotive Spark-Ignited Direct-Injection Gasoline Engines. *Progress in Energy and Combustion Science* **25**, 437-562.