

AYÇİÇEĞİ METİL ESTERİ -DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ MOTOR TİTREŞİMİNE VE GÜRÜLTÜSÜNE OLAN ETKİSİNİN DENEYSSEL İNCELENMESİ

Suat SARIDEMİR¹, Sevda MERT², Şenol MERT³

^{1,3}Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Makine ve İmalat Müh. Bölümü, 81620, Düzce, TÜRKİYE

²Düzce Üniversitesi, [Gölyaka Meslek Yüksekokulu](#), Alternatif Enerji Kaynakları Teknolojisi Bölümü, 81620, Düzce, TÜRKİYE
suatsaridemir@duzce.edu.tr

Özet-Dünyada petrolün aşırı kullanımı ile hava kirliliğine sebep olan egzoz emisyonları artmaktadır. Bu nedenle dünyanın ekolojik dengesinde bozulmalar olmaktadır. Bitkisel yağlardan üretilen biyodizel yakıtlar, çevreci ve yenilenebilir bir alternatif yakıt olarak öne çıkmaktadır. Biyodizel yakıtlar, içeriğine ve üretim yöntemine bağlı olarak fosil kökenli dizel yakıtlara göre farklı kimyasal yapıya ve yakıt özelliklerine sahiptirler. Bu nedenle, her bir biyodizel yakıtın yanma karakteristiği de farklıdır. Tutuşma gecikmesi, basınç artış hızı ve yanma karakteristiğinin sebep olduğu titreşimler, motorlarda mekanik gürültüleri oluşturur. Yanma işlemi süresince meydana gelen ani basınç farklılıkları ve hareket halindeki motor parçalarının ivmelerinin değişimlerinden kaynaklı atalet kuvvetleri içten yanmalı motorlarda titreşimlere neden olmaktadır.

Bu çalışmada farklı oranlardaki ayçiçeği yağı metil esteri ve standart dizel yakıt karışımlarının, tam yük altında farklı devirlerde tek silindirli bir dizel motorun silindir içi basıncına, çalışma titreşimine ve gürültüsüne olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. B25 ile tüm devirlerde en küçük silindir içi basınçlar elde edilmiştir. Tüm yakıtlar için 1400 d/d'deki maksimum silindir gaz basıncı, 1800 ve 2600 d/d'lerdeki silindir gaz basınçlarında daha yüksek çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler- Ayçiçeği metil esteri, dizel motor, titreşim, gürültü

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SUNFLOWER METHYL ESTER AND DIESEL FUEL MIXTURES ON ENGINE VIBRATION AND NOISE

Abstract-Exhaust emissions that cause air pollution are increasing with the overuse of petroleum around the world. For this reason, the ecological balance of the world has been impaired. Biodiesel fuels produced from vegetable oils stand out as an environmentally friendly and renewable alternative fuel. Biodiesel fuels have different chemical structure and fuel characteristics compared to fossil based diesel fuels, depending on their content and production method. For this reason, the combustion

characteristics of each biodiesel fuel are also different. Sudden pressure differences during the combustion process and the inertia forces resulting from the changes in the accelerations of the moving engine parts cause vibrations in the internal combustion engines. The vibrations caused by ignition delay, pressure increase rate and combustion characteristics are generates mechanical noises at engines. In this study, the effects of different mixture ratios of sunflower oil methyl ester and Standard diesel fuel on a single cylinder diesel engine cylinder pressure, vibration and noise were investigated experimentally at full engine load. The smallest cylinder pressures were obtained with B25 in all engine speed. The maximum cylinder gas pressure at 1400 rpm for all fuels was higher than at 1800 and 2600 rpm engine speed.

KeyWords-Sunflowermethyl ester, diesel engine, vibration, noise

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dizel motorlar güvenilirlik, dayanıklılık ve yüksek yakıt verimliliği nedeniyle endüstriyel alanlarda, mobil ve sabit uygulamalar için tarım alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı, dizel motorlarında yenilenebilir yakıt olarak kullanılabilen ve tarım ürünlerinden üretilen biyokütlebazlı yakıtlar üzerine çalışmalar yapmaktadır. Biyodizel yakıtlar; bitkisel yağlar, hayvansal yağlar ve atık yenilebilir yağlardan transesterifikasyon yöntemi ile üretilmektedir. Biyodizel yakıtların kullanımı, sera gazı etkisini, hava kirliliğini ve petrol kökenli yakıtlara bağımlılığı azaltmaktadır.

Motor titreşiminin büyüklüğü motor performansını, motor ömrünü ve yolcuların konforunu önemli derecede etkiler. Motor titreşiminin ilk kaynağı hareketli motor parçaları, diğer kaynağı ise yanma odasında oluşan yanmadır. Titreşim büyüklüğü motor devrine, yakıt türüne ve yakıt enjeksiyon yöntemine bağlıdır. Motordaki yanma işleminden kaynaklanan gürültü ve titreşim, motor parçalarının aşınması ve ömrü üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Enjeksiyon zamanlaması, enjektör püskürtmesi, yakıt miktarı ve yakıt tipi motor bloğu titreşimine etki eden unsurlardır [1]. Literatürde benzinli ve dizel motor titreşimleri farklı yönleri ile çalışılmıştır. Farklı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının motor gürültüsü ve titreşimine olan etkileri Uludamar ve arkadaşları tarafından incelenmiş, sonuçları biyodizel oranının saf biyodizele kadar artmasıyla motorun ses ve titreşiminin azaldığını ortaya koymuştur [2]. Başka bir çalışmada, Taghizadeh-Alisaraei ve arkadaşları D100, B20, B40, B60, B80 ve B100 gibi yakıtlar kullanarak zaman - frekans analiziyle dizel motorlarında yanma, titreşim ve vuruntuyu incelemişlerdir. En iyi motor performansı B40 yakıt karışımı ile elde edilmiştir [3]. Uludamar ve arkadaşları, dizel ve biyodizel karışımları ile çalışan motora H₂ ilavesinin motor titreşim, gürültü ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Sonuçta, biyodizel ve H₂'nin motor gürültüsünü ve titreşimini azalttığını belirtmişlerdir [4]. Farklı biyodizel karışımlarının bir dizel motorun gürültüsüne olan etkileri, Sanjid ve arkadaşları tarafından deneysel olarak araştırılmış ve biyodizel yakıt karışımlarının dizel yakıtı göre motor gürültüsünü azalttığı ifade edilmiştir [5,6]. Yıldırım ve arkadaşları, dört farklı yakıt karışımı ile sabit devirde altı silindirli bir dizel motorun titreşim ve gürültüsünü deneysel olarak incelemişlerdir. Dizel yakıtın ortalama gürültüsünün biyodizele göre daha yüksek olduğunu ve en yüksek titreşimin B50 yakıtıyla elde edildiğini vurgulamışlardır [7]. Shaikh ve Umale tarafından yapılan çalışmada, biyodizel yakıt karışımlarının sabit devirde çalışan tek silindirli dizel bir motorun titreşim ve akustik davranışlarına olan etkisi incelenmiştir. Biyodizel oranının artmasıyla gürültü ve titreşim değerlerinin azaldığı bildirilmiştir [8]. Literatürde genelde biyodizel yakıt karışımlarının motor titreşim ve gürültüsünü azalttığı belirtilmekle birlikte çelişkili sonuçlarda bulunmaktadır.

Çelişkili sonuçların temel sebepleri, biyodizel yakıtların kalitesi, motor tipi, deney şartları ve yakıt enjeksiyon stratejisi ile açıklanabilir.

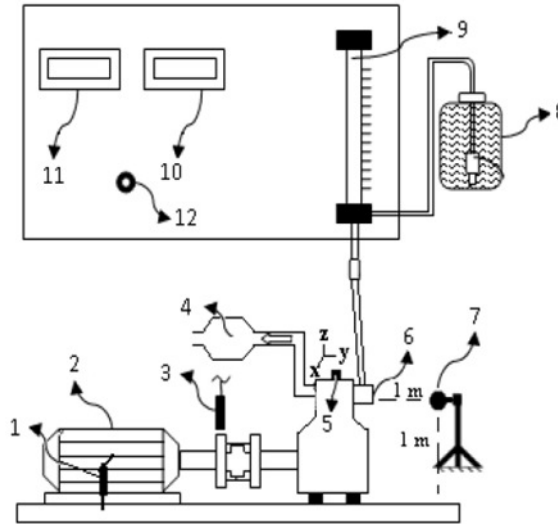
Bu çalışmada farklı oranlardaki ayçiçeği yağı metil esteri ve standart dizel yakıt karışımlarının, farklı devirlerde tek silindirli bir dizel motorun silindir içi basıncına, çalışma titreşimine ve gürültüsüne olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

Rafine ayçiçeği yağından elde edilen biyodizel yakıt standart dizel yakıt (B0) ile hacimsel olarak %6 oranında karıştırılarak (B6) yakıtı, %12 oranında karıştırılarak (B12) yakıtı ve %25 oranında karıştırılarak (B25) yakıtı elde edilmiştir. Deneyler tam yük altında 1400 d/d, 1800 d/d ve 2600 d/d motor devirlerinde aynı şartlar altında yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan motor test düzeneğinde; direkt enjeksiyonlu, 4 zamanlı ve tek silindirli hava ile soğutmalı Antor 6LD 400 model bir dizel motor ve 15 kW güç absorbe edebilen Kemsan marka bir elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney motoruna ait teknik özellikler Tablo 1’de, deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deney motorunun teknik özellikleri (Technical specifications of the test engine)

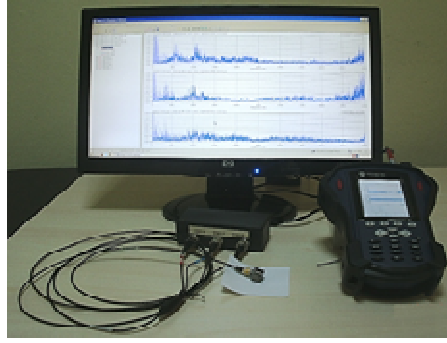
Motor	Antor 6LD 400
Silindir Sayısı	1
Kurs Hacmi	395 cm ³
Sıkıştırma Oranı	18:1
Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı
Maksimum Motor Devri	3600 d/d
Enjektör açılma basıncı	200 bar
Maksimum Motor Momenti	21Nm @ 2200 d/d
Maksimum Motor Gücü	6.25 kW @ 3600 d/d



1. Yük sensörü 2. Elektrikli dinamometre 3. Hız sensörü 4. Egzoz 5. İvme ölçer (3 eksenli) 6. Yakıt pompası 7. Gürültü ölçüm cihazı 8. Yakıt kabı 9. Yakıt ölçüm büreti 10. Hız göstergesi 11. Tork göstergesi 12. Yükleme anahtarı

Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü (Schematic view of the experimental setup)

Silindir içi basıncı oprand marka basınç sensörü ile ölçülmüştür. Motor titreşim ölçüm ekipmanları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Titreşim ölçüm cihazı (Vibration measuring instrument)

Titreşim ölçüm verileri, 4527 model üç eksenli(x, y, z) piezoelektrik ivme ölçere sahip dört kanallı VIBROTEST 80 model FFT analizi yapabilen veri toplama cihazı ile alınmıştır. İvme ölçere ait teknik özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Cihaz Brüel&Kjaer yazılım ve donanım sistemine sahiptir. Veriler Hanning filtreleme yöntemi ile 6400 çözünürlükte filtrelenerek analiz edilmiştir. Deneylerde 5 kHz’e kadar olan titreşim verileri alınmıştır. Titreşim verilerinin toplam genlik ortalaması, ortalama karekök (RMS) yöntemi ile belirlenmiştir. Titreşim genlik birimi (m/s^2) dir. Zaman bölgesi titreşim verileri belirlenen örnekleme frekansında 1,28 s boyunca kayıt edilmiştir. Her bir deney için ivme ölçerin her bir kanalından toplam 16384 veri alınmıştır.

Tablo 2. İvme ölçere ait teknik özellikleri (The technical specifications of accelerometer)

İvme Ölçer Tipi	Brüel&Kjaer 4527
Frekans Aralığı	0.3 - 10000 Hz
Hassasiyet	10 mV/g
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-60 - 180 °C
Ağırlık	6 gram
Elektrik Bağlantısı	1-4 28 UNF
Rezonans Frekansı	30 kHz

Svantek 104 model bir gürültü ölçüm cihazı (dozimetre) ile motor gürültü ölçümü yapılmıştır. Gürültü ölçümü için cihazı, ISO 362-1:2007 standardına uygun olarak motor bloğundan 1 m uzaklığa yerleştirilmiştir. Gürültü ölçüm cihazına ait teknik özellikler Tablo 3’te verilmiştir.

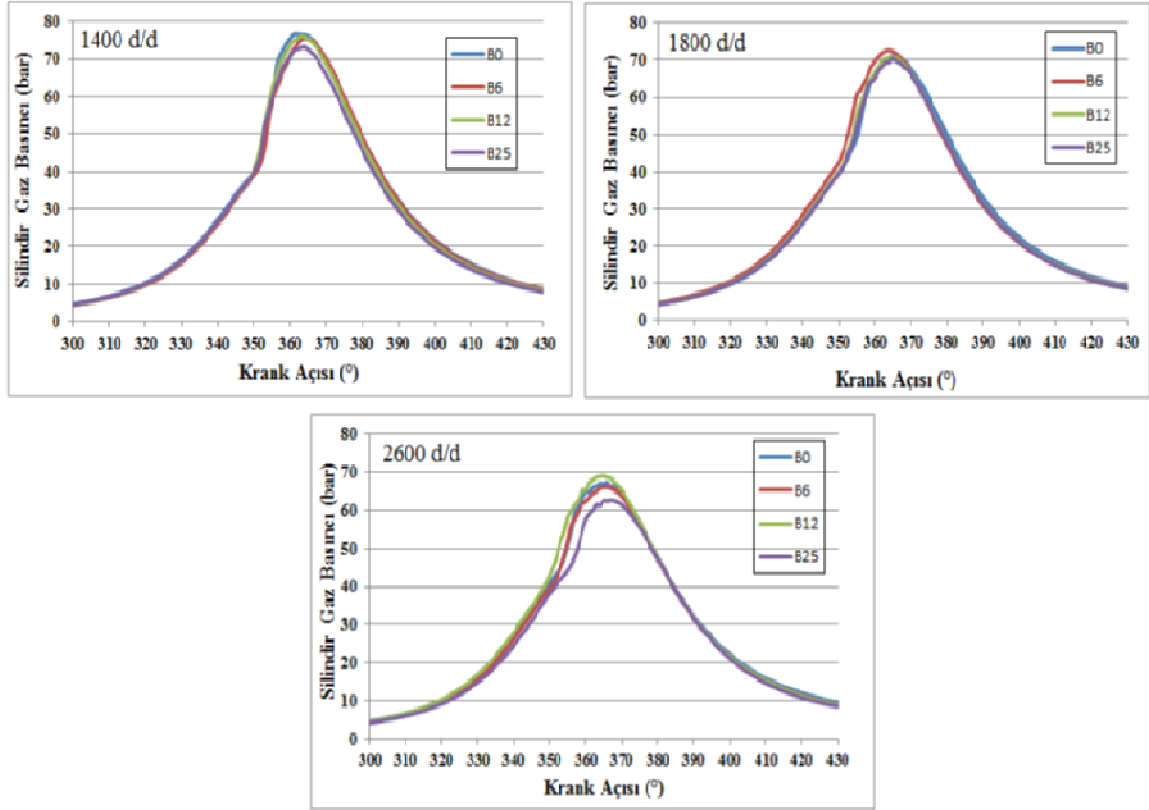
Tablo 3. Gürültü ölçüm cihazı teknik özellikleri (The technical specifications of noise measuring device)

Markası	Svantek SV 104
Filtreler	A, C ve Z
Zaman sabitleri	Yavaş, Hızlı, Impulse
Ölçüm aralığı	55 dBA RMS ÷ 140.1 dBA Pik
Frekans aralığı	30 Hz ÷ 8 kHz
Dinamik aralık	95 dB
Hafıza	8 GB

3. BULGULAR (FINDINGS)

Şekil 3’te tüm yakıt karışımları için 1400 d/d, 1800 d/d ve 2600 d/d’de elde edilen silindir içi basınç grafikleri görülmektedir. Şekiller incelendiğinde silindir içi basınçların birbirine benzer yapıda çıktığı görülmektedir. Tüm yakıtlar için 1400 d/d’deki maksimum silindir gaz basıncı, 1800 ve 2600 d/d’lerdeki silindir gaz basınçlarında daha yüksek çıkmıştır. Volumetrik verim

düşük devirlerde yüksek devirlere göre daha fazladır. Bu nedenle 1400 d/d'de motora emilen dolgu miktarı daha fazla olduğu için, maksimum silindir gaz basıncı da yüksektir. B25 ile tüm devirlerde en küçük silindir içi basınçlar elde edilmiştir. Maksimum basınç ani yanma periyoduna bağlı olarak değişmektedir. Setan sayısı, yakıtın oksijen ve enerji içeriğine bağlı olarak değişen tutuşma gecikmesi, ani yanma periyodundaki yanan yakıt miktarını ve silindir basıncını etkilemektedir.



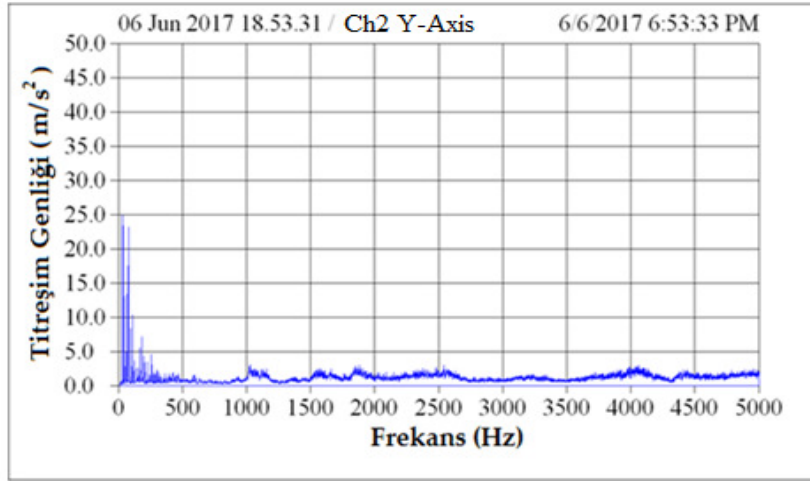
Şekil 3. Motor devrine bağlı olarak elde edilen silindir basınç grafikleri (Cylinder pressure graphs based on engine speed)

Şekil 4'te B0 ile, 1800 d/d motor devrinde 1 saniye içinde eksenel (y) doğrultudaki kanal Ch2'den alınan verilere göre elde edilen zaman bölgesi analiz grafiği görülmektedir. Zaman düzlemi, titreşimin zamana bağlı olarak ne kadar değiştiğini gösterir.



Şekil 4. 1800 d/d motor devrinde Ch2'den alınan zaman bölgesi grafiği (Time domain graph from Ch2 at 1800 rpm engine speed)

Motorun dakikadaki devir sayısı (1800 d/d), 60'a bölüldüğünde krank milinin 1 saniyede kendi eksenini etrafındaki dönüş sayısı (30) bulunur. Dört zamanlı motorlarda krank milinin kendi eksenini etrafındaki 2 dönüşünde, enjektör 1 kere yakıt püskürtmektedir. Bu nedenle enjektör 1 saniyede 15 kere yakıt püskürtür. Enjektörün her bir yakıt püskürtmesi ile oluşan yanma sonucunda, aşağıda görüldüğü gibi 15 adet titreşim genlik bölgesi oluşmuştur. Şekil 5'te B0 ile, 1800 d/d motor devrinde Ch2 kanalından alınan zaman bölgesi verilerinin FastFourierTransform (FFT) analizi ile frekans bölgesi verilerine dönüştürülmesi ile elde edilen, frekans bölgesi grafiği görülmektedir



Şekil 5. 1800 d/d motor devrinde Ch2'den alınan frekans bölgesi grafiği (Frequency domain graph from Ch2 at 1800 rpm engine speed)

Farklı motor devirlerinde tüm yakıtlar ile elde edilen titreşim genlik değerlerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla, her bir deney için ivme ölçerinin her bir kanalı ile ölçülen titreşim genlik değerlerinin ortalama karekök (rms) değerleri hesaplanmıştır. Her bir kanaldan elde edilen zaman bölgesi genlik değerleri, Eşitlik 1'de verilen denklem ile hesaplanmıştır [2,9-11].

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k^2} \quad (1)$$

Burada;

a_{rms} : İvme değerlerinin ortalama karekökü (m/s^2),

a_k : Zaman bölgesi verilerinin k'ıncı değeri (zaman bölgesinde tüm eksenlerde ivme ölçerden sayısal olarak alınmıştır),

n = Zaman bölgesi ivme değerlerinin sayısı (1.28 s süre için $n = 16384$)

Tablo 4'de devre bağılı olarak, tüm kanallardan elde edilen verilere göre hesaplanan a_{rms} titreşim değerleri görülmektedir. Tablo 4'de görüldüğü gibi x,y,z eksenlerinde, tüm yakıtlar içinde motor titreşim değeri genelde devre bağılı olarak artış göstermiştir. Tüm yakıtlar için eksenel (y) yönde Ch2 kanalından elde edilen titreşim değerlerinin en büyük olduğu, yanal (x) ekseninde Ch1 kanalından elde edilen titreşim değerlerinin ise en küçük olduğu görülmektedir. Bu durum, diğer eksenlere göre motorun eksenel yönde daha fazla salınım yapmasından kaynaklanmaktadır. Motor tek silindirli olduğu için ve tam yük altında çalıştırıldığından dolayı eksenel yönde daha fazla salınım yapmaktadır. Bu durum atalet kuvvetlerinin eksenel yönde en büyük, yatay ekseninde ise en küçük olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4. Tüm kanallardan elde edilen verilere göre hesaplanan a_{rms} titreşim genlik değerleri
(Vibrationamplitudevalues a_{rms} calculatedaccordingtothedataobtainedfromallchannels)

Yakıt	Devir (d/d)	Ch1(x) (m/s ²)	Ch2(y) (m/s ²)	Ch3(z) (m/s ²)
B0	1400	8,39	9,9	9,2
	1800	12,08	13,2	11,2
	2200	17,11	20,1	17,2
	2600	19,2	19,64	18,4
B12	1400	9,14	9,4	7,62
	1800	10,63	11,59	9,6
	2200	14,3	17,92	14
	2600	14,09	18,9	16
B25	1400	7,62	9,59	8,1
	1800	9,75	12,95	10,6
	2200	14,24	18,79	17,6
	2600	12,34	17,84	17

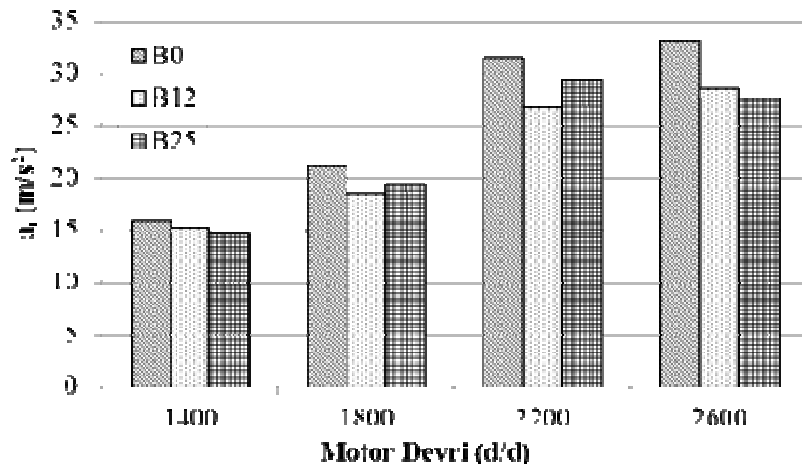
Her bir motor devri için, tüm eksenlerden gelen titreşim verileri aşağıdaki Eşitlik kullanılarak düzenlenmiş ve toplam titreşim ortalama değerleri (a_t) elde edilmiştir. Tüm eksenlerdeki a_t değerini elde etmek için, her bir eksendeki ivme değerleri a_{rms} kullanılmıştır [2,9-11].

$$a_t = \sqrt{a_{rms(x)}^2 + a_{rms(y)}^2 + a_{rms(z)}^2} \quad (2)$$

Burada;

a_t , toplam titreşim ortalama ivme değeri, $a_{rms(x)}$, $a_{rms(y)}$ ve $a_{rms(z)}$, ise sırasıyla yatay, eksenal ve dikey yönlerdeki ivme, a_{rms} değerleridir

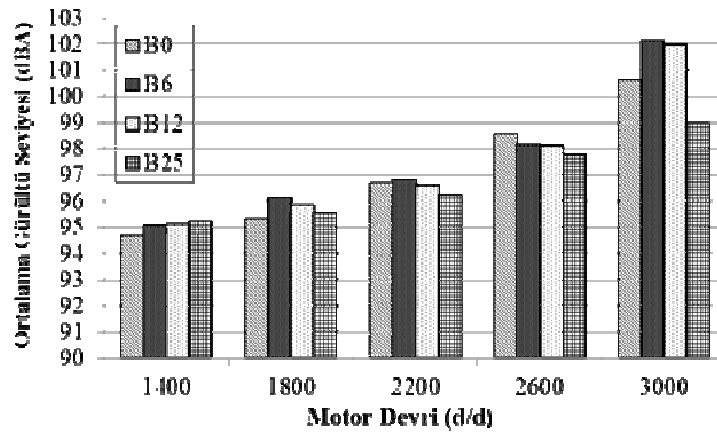
Şekil 6’da B0, B12 ve B25 yakıtları için, toplam titreşim ortalama değerleri görülmektedir.



Şekil 6. B0, B12 ve B25 yakıtları için toplam titreşim ortalama genlik değerleri (Total vibration average amplitude values for B0, B12 and B25 fuels)

Şekil 6'da görüldüğü gibi, a_t değeri tüm yakıtlar için motor devrine bağlı olarak artış göstermektedir. Devre bağlı olarak artan motor parçalarının atalet kuvveti, a_t değerinde artırmıştır. B0 yakıtı ile diğer yakıtlara göre tüm devrilerde daha büyük a_t değeri elde edilmiştir. Biyodizel içerikli yakıtların yanma sonu basınç ve sıcaklığı düşürmesi, yanma şiddetine bağlı olan motor titreşim seviyesi azaltmıştır.

Yanma gürültüsü seviyesi, enjeksiyon zamanlaması ve tutuşma gecikmesi gibi parametrelere bağlı olan silindir basıncı artış oranına bağlıdır. Biyodizel içerikli yakıt karışımlarının yüksek viskozitesi, setan sayısı ile birlikte, motor gürültü emisyonlarını azaltıcı yönde etki etmektedir. Deney yakıtlarının, motor devrine ve zamana bağlı olarak tam yükte elde edilen ortalama gürültü değerleri Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi ortalama gürültü tüm yakıtlar için devre bağlı olarak artmaktadır. 1400 d/d'nin haricindeki tüm devrilerde B25 yakıtı ile daha düşük ortalama gürültü seviyesi elde edilmiştir.



Şekil 7. Motor devrine ve yakıtı bağlı ortalama gürültü değerleri (Average noise values versus engine speed and fuel)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada farklı oranlardaki ayçiçeği yağı metil esteri ve standart dizel yakıt karışımlarının tek silindirli bir dizel motorun titreşim ve gürültü karakteristiğine olan etkileri incelenmiştir. Devre bağlı olarak artan motor parçalarının atalet kuvveti, motor titreşim değerini de artırdığı görülmüştür. Biyodizel içerikli yakıtların yüksek setan sayısı nedeniyle tutuşma gecikmesi kısalmakta ve bu süre içerisinde buharlaşan yakıt miktarı da azalmaktadır. Bu nedenle, yanma sonu basınç ve sıcaklığının düşmesiyle, yanma şiddetine bağlı olan motor titreşim ve gürültü seviyesi azalmıştır. B25 ile tüm devrilerde en küçük silindir içi basınçlar elde edilmiştir. Tüm yakıtlar için 1400 d/d'deki maksimum silindir gaz basıncı, 1800 ve 2600 d/d'lerdeki silindir gaz basınçlarında daha yüksek çıkmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 2014.07.04.281 nolu araştırma projesi olarak desteklenmiştir. Yazarlar Düzce Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne verdiği destekten dolayı teşekkür eder.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Taghizadeh-Alisaraei, A., Rezaei-Asl, A., (2016). The effect of added ethanol to diesel fuel on performance, vibration, combustion and knocking of a CI engine, *Fuel*, 185, 718–733.
- [2]. Uludamar, E., Tosun, E., Aydın, K., (2016). Experimental and regression analysis of noise and vibration of a compression ignition engine fuelled with various biodiesels, *Fuel*, 177, 326–333.
- [3]. Taghizadeh-Alisaraei, A., Ghobadian, B., Tavakoli-Hashjin, T., Mohtasebi, S.S., Rezaei-Asl, A., Azadbakht, M., (2016). Characterization of engine's combustion vibration using diesel and biodiesel fuel blends by time-frequency methods: a case study, *Renew Energy*, 95, 422–432.
- [4]. Uludamar, E., Yildizhan, S., Aydın, K., Özcanlı, M., (2016). Vibration, noise and exhaust emissions analyses of an unmodified compression ignition engine fuelled with low sulphur diesel and biodiesel blends with hydrogen addition, *Int J Hydrogen Energy*, 41(11), 481–490.
- [5]. Sanjid, A., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Abedin, M.J., Ashrafur Rahman, S.M., (2014). Experimental investigation of mustard biodiesel blend properties, performance, exhaust emission and noise in an unmodified diesel engine, *APCBEE Proc*, 10, 149–153.
- [6]. Sanjid, A., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Ashrafur Rahman, S.M., Abedin, M.J., Palash, S.M., (2014). Production of palm and jatropha based biodiesel and investigation of palm and jatropha combined blend properties, performance, exhaust emission and noise in an unmodified diesel engine, *J Cleaner Prod*, 65, 295–303.
- [7]. Redel-Macías, M.D., Pinzi, S., Leiva-Candia, D.E., Cubero-Atienza, A.J., Dorado, M.P., (2013). Influence of fatty acid unsaturation degree over exhaust and noise emissions through biodiesel combustion, *Fuel*, 109, 248–255.
- [8]. Shaikh, M.F., Umale, S., (2014). Noise and vibration analysis of diesel engine using diesel and jatropha biodiesel, *Int J Eng Trends Technol*, 104, 228–323.
- [9]. Uludamar, E., Tosun, E., Aydın, K., (2016). Experimental and regression analysis of noise and vibration of a compression ignition engine fuelled with various biodiesels, *Fuel*, 177, 326–333.
- [10]. Saridemir, S., (2013). The effect of dwell angle on vibration characteristics of camshaft bearing housings, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(12), 3571–3577.
- [11]. Saridemir, S., Saruhan, H., (2014). Experimental analysis of maximum valve lift effects in cam-follower system for internal combustion engines, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(9), 3443–3448.