

Gaz Kolunun Kontrol Edildiği İki Zamanlı İçten Yanmalı Bir Motorda Metanol Kullanımının Egzoz Emisyonlarına Etkisi

The Effect of Methanol Usage on Exhaust Emissions in a Two-Stroke Internal Combustion Engine with Controlled Throttle

Ahmet Yapmaz¹, Ahmet Hakan Ünalı²

¹Makine Mühendisliği Bölümü
Marmara Üniversitesi, İstanbul
ahmetyapmaz@gmail.com

²Makine Mühendisliği Bölümü
Marmara Üniversitesi, İstanbul
ahmethakanunaldi@gmail.com

Özetçe

Havacılıkta kullanılan motorların performans parametrelerinin belirlenebilmesi için test düzeneklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan bu çalışmada iki silindirli, iki zamanlı, kıvılcım ateşlemeli, boxer tipi bir havacılık motorunun; itki, itkiye bağlı kütleli yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı ve egzoz gazı emisyonlarını ölçebilen bir test düzeneği geliştirilmiştir. Geliştirilen düzende içten yanmalı motorlarda (İYM) kullanılan alternatif yakıtlardan biri olan metanol kullanımının motor performansına ve egzoz gazı emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Motor testleri gerçekleştirilirken itki ölçümü için yük hücresi kullanılırken motor devrinin kontrolü için ise kontrolcü kullanılmıştır. Testler 3500 d/d, 4000 d/d ve 4500 d/d motor devirlerinde, referans yakıt olan benzine %5 ve %10 oranlarda metanol eklenmesi ve 29×10 ölçüsündeki aħşap pervanenin oluşturmuş olduğu motor yükü ile gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda benzine metanol eklenmesi ve metanolün yakıt karışımı içerisindeki oranının artmasıyla CO₂ emisyonlarında ve egzoz gazı sıcaklıklarında artış gözlemlenirken HC, CO emisyonları ve itkiye bağlı kütleli yakıt tüketimi değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. İtki değerlerinde ise motor devrinin artması sonucunda artış gözlemlenmiştir.

Abstract

In aviation, test setups are required to determine the performance parameters of aircraft engines. In this study, a test setup capable of measuring thrust, thrust-specific fuel consumption, exhaust gas temperature, and exhaust gas emissions was developed for a two-cylinder, two-stroke, spark-ignited, boxer-type aircraft engine. The effect of using methanol, one of the alternative fuels used in internal combustion engines (ICE), on engine performance and exhaust gas emissions was investigated using the developed setup. During the engine tests, a load cell was used for thrust measurement, and a controller was used for controlling the engine speed. The tests were conducted at engine speeds of

3500 rpm, 4000 rpm, and 4500 rpm, with the addition of 5% and 10% methanol to the reference fuel, gasoline, and under the load imposed by a 29×10 wooden propeller. The results of the tests showed an increase in CO₂ emissions and exhaust gas temperatures with the addition of methanol to gasoline and an increase in the proportion of methanol in the fuel mixture. However, reductions were observed in HC and CO emissions, as well as in thrust-specific fuel consumption values, as methanol content increased. Thrust values increased as the engine speed increased.

1. Giriş

Hobicilikte kullanılan küçük boyutlu insansız hava araçlarında genellikle 5 – 10 hp arasında güç oluşturabilen model havacılık motorları kullanılmaktadır [1]. Model havacılık motorları hafif ve düşük maliyetli olmaları nedeniyle fazlaca tercih edilmelerine karşın literatürde bu motorların performansı ile alakalı çok az bilgi bulunmaktadır [2]. Motor performansı ile alakalı bilgilerin az olmasından dolayı motoru kullanacak kullanıcılar motor performansını ölçebilmek için çeşitli test düzenekleri geliştirmişlerdir.

Literatürde yapılan çalışmalarda genellikle içten yanmalı motorlar için; itki, tork ve güç gibi temel performans parametreleri ölçen test düzenekleri geliştirilmiştir [1]–[3]. Biryuk ve ark. yapmış oldukları çalışmada tek silindirli bir motor için test düzeneği geliştirmiş ve bu test düzeneğinde 8 farklı motor devrinde ve 3 farklı pervane boyutunda, motorun oluşturmuş olduğu itki, tork ve hava akış hızını ölçmüşlerdir. Ölçümler sonucunda motor devrindeki artışla birlikte itki, tork ve hava akış hızı değerlerinde artış gözlemlenmişlerdir [3]. Menon ve ark. yapmış oldukları çalışmada, farklı boyutlardaki havacılık motorlarının testlerini gerçekleştirebilecek bir test düzeneği oluşturmuşlardır. Çalışmalarında kullandıkları farklı motorların üretici referans güç değerlerini yapmış oldukları testlerle karşılaştırmışlar ve referans değerlerin doğruluğunu belirli bir hata payıyla teyit etmişlerdir [2]. Brown ve ark. ise yapmış oldukları çalışmada havacılık motorları için bir test düzeneği geliştirmiş ve bu test düzeneğini rüzgâr tüneline tek

silindirli, kıvılcım ateşlemeli bir motor ile çalıştırmışlardır. Çalışmalarında rüzgâr hızı arttıkça itkinin azaldığını ve pervane verimliliğinin arttığını gözlemlemişlerdir [1].

Küresel sivil havacılık sektörünün tüm enerjiyle ilişkili CO₂ emisyonlarının %2'sini, toplam sera gazı emisyonlarının ise %4-5'ini oluşturması nedeniyle içten yanmalı motorların performans parametrelerinin ölçümleri kadar açığa çıkardıkları emisyon değerlerinin ölçümleri de büyük önem taşımaktadır [4], [5]. Bu nedenle, havacılık sektöründe emisyonları azaltmaya yönelik çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır [5], [6].

Yapılan araştırmalar kapsamında Larsson ve ark. havacılıktan kaynaklanan emisyonların azaltılabilmesi için düşük karbonlu yakıtların kullanılmasının etkili bir yöntem olduğuna değinmişlerdir [6]. Verhelst ve ark. ise düşük karbonlu bir yakıt olan metanolü ele almış ve metanolün açığa çıkardığı CO₂ emisyonunun birim enerji başına benzine kıyasla %7 daha az olduğunu belirtmişlerdir [7].

İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak metanolün kullanılmasının CO₂ emisyonunu azaltmasının yanı sıra birçok avantajı daha bulunmaktadır. Metanol fosil hammaddelerden üretilen, birim kütle başına sahip olduğu enerji miktarı bakımından diğer alternatif yakıtlara kıyasla en ucuz sıvı alternatif yakıttır [8]. Hafif bir alkol olmasından dolayı, herhangi bir değişiklik yapılmadan içten yanmalı motorlarda saf yakıt veya karışım yakıtı olarak kullanılabilir [7], [9]. Literatürde benzin-metanol karışımları kullanımıyla yapılan çalışmalar mevcuttur [10]–[12]. Benzine metanol eklenmesiyle oluşan yakıt karışımının oktan sayısı artmaktadır [13]. Alt patlama limiti, tutuşma hızı ve buharlaşma ısısı benzine kıyasla daha yüksektir ve sahip olduğu yüksek buharlaşma ısısı, silindir içerisine alınan havayı soğuttuğundan motor performansını artırmaktadır [14].

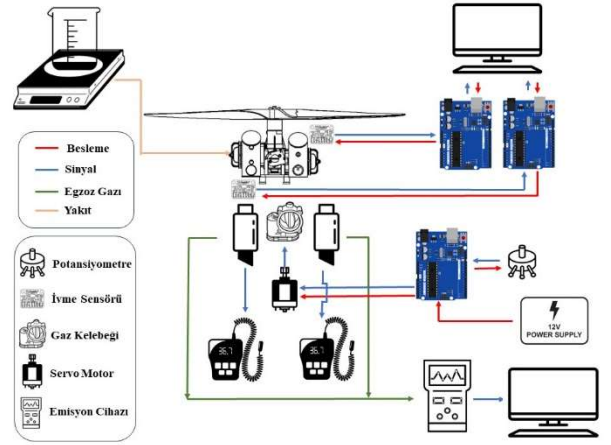
Literatürde alternatif yakıt olarak metanolün kullanıldığı çalışmalar kapsamında, Vancoillie ve ark. yapmış oldukları çalışmada çift yakıtlı bir motorda metanol-benzin karışımı kullanmış ve saf benzine kıyasla yanma odasında daha izokorik bir yanma reaksiyonu gerçekleşmesinden dolayı metanol kullanımının %10'luk bir verim artışı sağladığını saptamışlardır [15]. Shayan ve ark. ise kıvılcım ateşlemeli bir motorda yapmış oldukları çalışmada farklı motor hızlarında metanol-benzin karışımlarının oluşturmuş olduğu emisyonları incelemişlerdir. Yakıt karışımlarının metanol yüzdesi arttıkça CO ve HC emisyonlarında azalma gözlemlemişlerdir [16].

2. Materyal ve Metot

2.1. Test Düzenineğin Özellikleri

Test düzeni; itki, yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklıkları ve egzoz gazı emisyonlarını ölçebilmektedir. Yapılan bu çalışmada itki ölçümleri bir yük hücresi ile, egzoz gazı sıcaklıkları her iki egzoz çıkışına da sabitlenmiş olan K tipi termokupullar ile ve kütleli yakıt tüketimi hassas terazi ile ölçülürken egzoz gazı emisyonları ise emisyon ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Test düzenineğinin bağlantıları incelendiğinde test motoru bir bağlantı plakasına rijit bir şekilde sabitlenirken, bağlantı plakası ise sürtünmeyi azaltması amacıyla lineer kızaklar üzerine bağlanmıştır. Motor bağlantı plakası, itki ölçümlerinin yapıldığı yük hücresine lineer kızaklar ile yataklanarak sabitlenmiştir. Şekil 1. ile gösterilen şemada test düzenineğinin detaylı bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 1. Test düzeni şeması

Test motorunun devir kontrolü bir gaz kolu kontrolcüsü ile sağlanmıştır. Gaz kolu kontrolcüsü Arduino Uno mikrodenetleyicisi, servo motor ve dört kol mekanizmasından oluşmaktadır.

2.1.1. Motor Özellikleri

Test motoru iki silindirli, iki zamanlı, kıvılcım ateşlemeli, boxer tipi ve benzine hacimsel olarak ~%3.3 tam sentetik iki zamanlı motor yağı eklenerek oluşturulan benzin-yağ karışımı ile çalışan bir havacılık motorudur. Test motorunun detaylı özellikleri

Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Test motorunun özellikleri

Motor Özellikleri	Değerler
Piston Çapı (mm)	47
Strok (mm)	35
Silindir Sayısı	2
Maksimum Güç (kW)	8.95
Sıkıştırma Oranı	10.5:1
Devir/Dakika Çalışma Aralığı	1700-9000
Benzin/Yağ Karışım Oranı	30:1

2.1.2. Kontrolcü Özellikleri

Test düzenineğinin kontrolünü sağlayan kontrolcü temelde iki görevi yerine getirmektedir. Bu görevler; motorun gaz kolunun konumunu belirlemek ve yük hücresi aracılığıyla ölçülen itki değerini, Arduino Uno mikrodenetleyicisi ile okuyarak, Arduino IDE programının veri ekranına yansıtmaktır. Test motorunun gaz kolu ~1 Nm tork oluşturabilen bir servo motor ile kontrol edilmiştir. Servo motor bir potansiyometre ile konumlandırılmaktadır. Potansiyometrenin çevrilmesiyle birlikte servo motor 0-90° arasında dönmektedir. Servo motorun üzerine bağlanan dört kol mekanizması dönme hareketini gaz koluna ileterek gaz kolu açıklığını kontrol etmektedir.

İtki ölçümlerini gerçekleştiren yük hücresi ~500 N ölçüm kapasitesine, ~0.25 N ölçüm hassasiyetine sahiptir. İtki ölçümlerini Arduino Uno'ya 50 Hz örnekleme frekansında aktaran transmitter, yük hücresinin oluşturmuş olduğu çıkış sinyalini, 0-10V çıkış sinyali olacak şekilde dönüştürmektedir. Arduino Uno'nun maksimum giriş gerilimi 5V olduğundan

transmitterden gelen maksimum gerilim direnç kullanımıyla 5V'a düşürülerek Arduino Uno'ya gönderilmekte ve bu voltaj değeri kalibrasyon eğrisinin denklemiyle çarpılarak itki değerine dönüştürülmektedir.

2.1.3. Test Ekipmanlarının Özellikleri

Test düzeneğinde kullanılan emisyon ölçüm cihazı: CO₂ ve CO emisyonlarını yüzde hacimsel, HC emisyonlarını ise ppm olarak ölçmektedir. Emisyon ölçüm cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti Tablo 2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Egzoz emisyon cihazı özellikleri

Emisyon Adı	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
Karbondioksit (CO ₂)	%0 – 18	%0.01
Karbonmonoksit (CO)	%0 – 10	%0.001
Hidrokarbon (HC)	0 – 9999	1

Test düzeneğinde kütleli yakıt tüketimi laboratuvar tipi, 0.001 kg ölçüm hassasiyetine sahip bir hassas teraziyle ölçülürken egzoz gazı sıcaklıkları iki adet K tipi termokupl ve 0.1 °C hassasiyete sahip iki adet termometre ile ölçülmektedir. Motor devri ölçümleri ise 10 d/d ölçüm hassasiyetine sahip bir takometre ile ölçülmüştür.

2.1.4. Yakıt Özellikleri

Test motoru iki zamanlı olduğundan motorun yağlanması benzine 30:1 oranında tam sentetik yağ karıştırılmasıyla sağlanmaktadır. Test motorunun referans yakıtı 95 oktan benzindir. Bu çalışmada ise metanol kullanımının motor performansına olan etkileri incelenmek istendiğinden benzine hacimce %5 ve %10 metanol eklenerek karışım yakıtları elde edilmiş ve testler bu karışım yakıtlarının kullanımı ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Metanol ve Benzinin Özellikleri [17], [18]

Özellikler	Benzin	Metanol
Kimyasal Formül	C ₈ H ₁₈	CH ₃ OH
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	44.5	19.66
Yoğunluk (g/ml @ 20 °C)	0.72-0.78	0.796
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	228-470	465
Gizli Isı (kJ/kg @ 25 °C)	310	1109
Oksijen İçeriği (% kütleli)	-	50
Oktan Sayısı	95	108.7

Tablo 4. Karışım Yakıtlarının Özellikleri [18]

	B97Y3	M5B92Y3	M10B87Y3
Kimyasal Formül	C ₈ H ₁₈	C _{7.65} H _{17.3} O _{0.05}	C _{7.3} H _{16.6} O _{0.1}
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	44.5	43.258	42.016
Oktan Sayısı	95	95.685	96.37
C (% Kütleli)	84.21	83.5	82.8
H (% Kütleli)	15.79	15.74	15.69
O (% Kütleli)	-	0.76	1.51
Benzin (% Hacimsel)	97	92	87
Metanol (% Hacimsel)	-	5	10

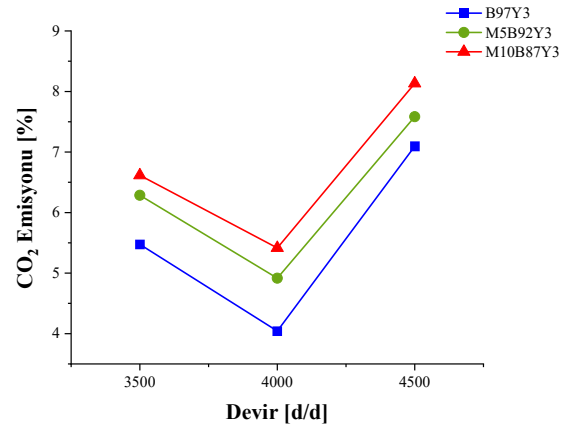
Referans yakıt olan benzin B97Y3 (%97 benzin, %3 tam sentetik yağ) olarak isimlendirilirken alternatif yakıt karışımları M5B92Y3 (%5 metanol, %92 benzin, %3 tam sentetik yağ) ve M10B87Y3 (%10 metanol, %87 benzin, %3 tam sentetik yağ) olarak isimlendirilmiştir. Yakıt özellikleri Tablo 3. ve Tablo 4.'te detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

2.2. Test Yöntemi

Motor testleri her bir yakıt tipi için 3500 d/d, 4000 d/d ve 4500 d/d motor devirlerinde ve 29×10 sabit hatveli ahsap bir pervanenin oluşturmuş olduğu motor yüküyle gerçekleştirilmiştir. Testler gerçekleştirilirken, ölçümler alınmaya başlanmadan önce, test motoru iki dakika çalıştırılmış ve test koşullarına alıştırmıştır. Ölçümler üç dakika boyunca tüm veriler eş zamanlı bir şekilde alınarak gerçekleştirilmiştir. Her bir test üç defa tekrar edilerek ortalamaları alınmıştır.

3. Tartışma ve Değerlendirme

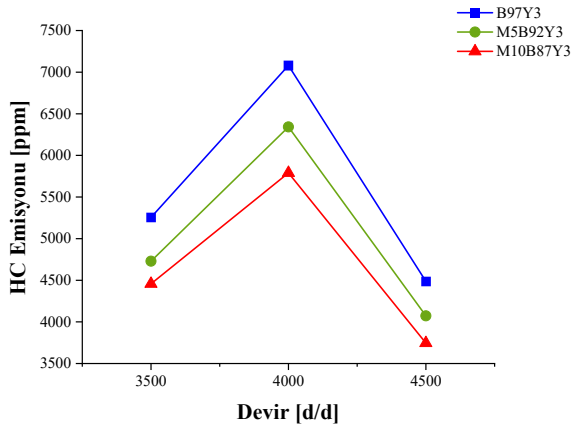
3.1. CO₂ Emisyonu



Şekil 2. Farklı motor devirlerinde CO₂ emisyonu değişimi

Şekil 2.'de farklı devirlerde kullanılan B97Y3, M5B92Y3 ve M10B87Y3 yakıtlarının CO₂ emisyonları üzerine etkisi verilmiştir. 4000 d/d motor devrinde yapılan testlerde her bir yakıt tipi için minimum CO₂ emisyonu değerleri gözlemlenirken, bu motor devrinde açığa çıkan CO₂ emisyonu değerleri B97Y3 yakıtı kullanımında %4.04, M5B92Y3 yakıtı kullanımında %4.92 ve M10B87Y3 yakıtı kullanımında ise %5.42 olarak gözlemlenmiştir. Tüm test şartlarında maksimum CO₂ emisyonu değerleri M10B87Y3 yakıtı kullanımında elde edilirken, en düşük CO₂ emisyonu değerleri ise B97Y3 yakıtı kullanımında elde edilmiştir.

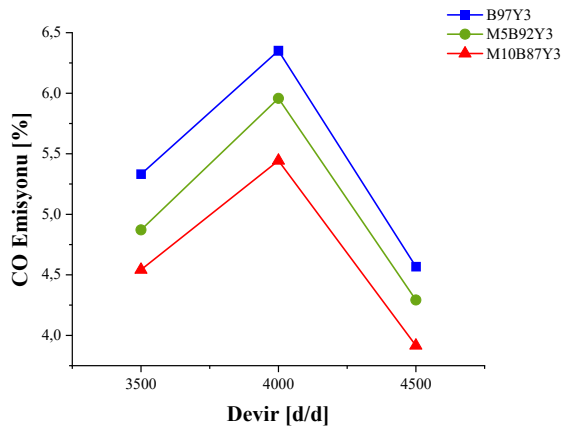
3.2. HC Emisyonu



Şekil 3. Farklı motor devirlerinde HC emisyonu değişimi

Şekil 3.'te farklı devirlerde kullanılan B97Y3, M5B92Y3 ve M10B87Y3 yakıtlarının HC emisyonları üzerine etkisi verilmiştir. Tüm test şartlarında maksimum HC emisyonu değerleri B97Y3 yakıtı kullanımında elde edilirken, minimum HC emisyonu değerleri ise M10B87Y3 yakıtı kullanımında elde edilmiştir. Her bir yakıt tipi için maksimum HC emisyonu salınımı 4000 d/d motor devrinde B97Y3 yakıtı kullanımında 7080 ppm, M5B92Y3 yakıtı kullanımında 6342 ppm ve M10B87Y3 yakıtı kullanımında ise 5789 ppm olarak gözlemlenirken minimum HC emisyonu salınımı ise 4500 d/d motor devrinde M10B87Y3 yakıtı kullanımında 3745 ppm, M5B92Y3 yakıtı kullanımında 4072 ppm ve B97Y3 yakıtı kullanımında ise 4487 ppm olarak gözlemlenmiştir.

3.3. CO Emisyonu

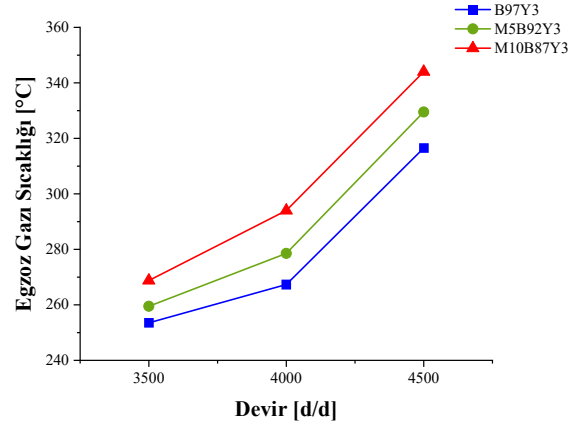


Şekil 4. Farklı motor devirlerinde CO emisyonu değişimi

Şekil 4.'te farklı devirlerde kullanılan B97Y3, M5B92Y3 ve M10B87Y3 yakıtlarının CO emisyonları üzerine etkisi verilmiştir. Benzine göre kıyaslandığında farklı oranlarda metanol kullanımı ile birlikte CO emisyonlarında düşüş gözlemlenmiştir. Tüm yakıt tipleri için en düşük CO emisyonu değerleri 4500 d/d motor devrinde görülmüştür. Tüm test şartlarında en düşük CO emisyonu değerleri M10B87Y3 yakıtı

kullanımında, 3500 d/d motor devrinde %4.54, 4000 d/d motor devrinde %5.44 ve 4500 d/d motor devrinde ise %3.92 olarak elde edilirken en yüksek CO emisyonu değerleri B97Y3 yakıtı kullanımında, 3500 d/d motor devrinde %5.33, 4000 d/d motor devrinde %6.35 ve 4500 d/d motor devrinde ise %4.57 olarak elde edilmiştir.

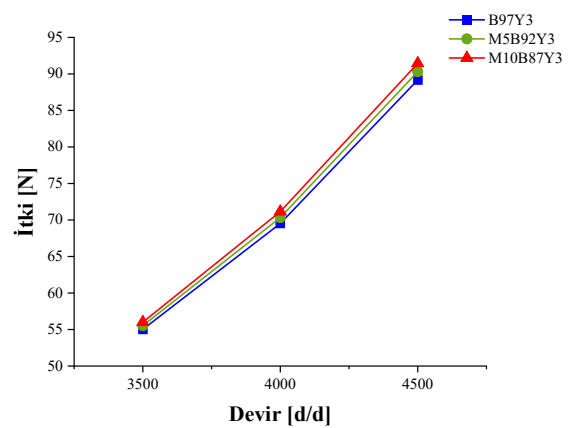
3.4. Egzoz Gazı Sıcaklığı



Şekil 5. Farklı motor devirlerinde egzoz gazı sıcaklığı değişimi

Şekil 5.'te farklı devirlerde kullanılan B97Y3, M5B92Y3 ve M10B87Y3 yakıtlarının egzoz gazı sıcaklığı üzerine etkisi verilmiştir. Testlerde kullanılan tüm yakıt tipleri için en yüksek egzoz gazı sıcaklık değerleri M10B87Y3 yakıtı kullanımında 3500 d/d motor devrinde 268.75 °C, 4000 d/d motor devrinde 294 °C ve 4500 d/d motor devrinde ise 344 °C olarak gözlemlenirken en düşük egzoz gazı sıcaklık değerleri B97Y3 yakıtı kullanımında 3500 d/d motor devrinde 253.5 °C, 4000 d/d motor devrinde 267.35 °C ve 4500 d/d motor devrinde ise 316.5 °C olarak gözlemlenmiştir. Tüm test şartlarında en yüksek egzoz gazı sıcaklık değeri 4500 d/d motor devrinde görülmüştür. Metanol ilavesi ve motor devrinin artmasıyla egzoz gazı sıcaklık değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

3.5. İtki

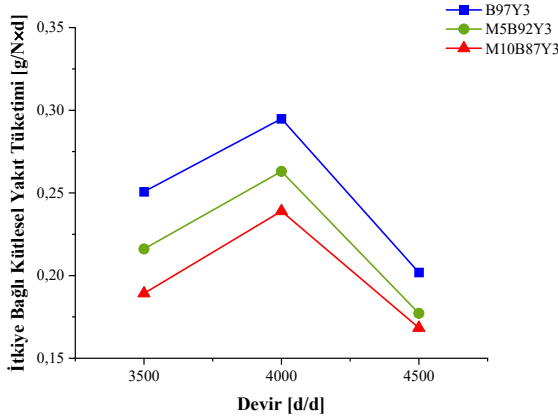


Şekil 6. Farklı motor devirlerinde itki değişimi

Şekil 6.'da farklı devirlerde kullanılan B97Y3, M5B92Y3 ve M10B87Y3 yakıtlarının itki değeri üzerine etkisi verilmiştir. Motor devrinin sabit ve tüm test şartlarında aynı pervanenin

kullanılması sebebiyle aynı motor devrinde itki değerlerinin de aynı olması beklenmektedir. İtki değerlerinin grafikte farklı değerlerde gözlemlenmesi testler esnasında motorun titreşimli bir şekilde çalışmasından kaynaklanmaktadır ve ölçüm sonuçlarında %2'lik bir farklılık meydana getirmektedir. Testlerde elde edilen itki değerleri motor devrinin artmasıyla artış göstermiş ve 3500 d/d motor devrinde 55.5 N, 4000 d/d motor devrinde 70.3 N ve 4500 d/d motor devrinde ise 90.3 N olarak ölçülmüştür.

3.6. İtkiye Bağlı Kütleli Yakıt Tüketimi



Şekil 7. Farklı motor devirlerinde itkiye bağlı kütleli yakıt tüketimi değişimi

Şekil 7.'de farklı devirlerde kullanılan B97Y3, M5B92Y3 ve M10B87Y3 yakıtlarının itkiye bağlı kütleli yakıt tüketimi üzerine etkisi verilmiştir. Tüm test şartlarında itkiye bağlı maksimum kütleli yakıt tüketimi değerleri B97Y3 yakıtı kullanımında elde edilirken, itkiye bağlı minimum kütleli yakıt tüketimi değerleri ise M10B87Y3 yakıtı kullanımında elde edilmiştir. Her bir yakıt tipi için itkiye bağlı maksimum kütleli yakıt tüketimi değeri 4000 d/d motor devrinde B97Y3 yakıtı kullanımında 0.295 [g/N*d], M5B92Y3 yakıtı kullanımında 0.263 [g/N*d] ve M10B87Y3 yakıtı kullanımında 0.234 [g/N*d] olarak gözlemlenirken itkiye bağlı minimum kütleli yakıt tüketimi değeri ise 4500 d/d motor devrinde M10B87Y3 yakıtı kullanımında 0.168 [g/N*d], M5B92Y3 yakıtı kullanımında 0.177 [g/N*d] ve B97Y3 yakıtı kullanımında ise 0.202 [g/N*d] olarak gözlemlenmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada iki silindirli, iki zamanlı, kıvılcım ateşlemeli bir boxer tipi havacılık motoru sabit hatveli 29×10 boyutlarındaki ahsap bir pervane ile yüklenmiş ve farklı motor devirlerinde (3500 d/d, 4000 d/d ve 4500 d/d) B97Y3, M5B92Y3 ve M10B87Y3 yakıtlarıyla test edilmiştir. Testlerde kullanılan yakıt karışımlarının; itki, egzoz gazı sıcaklığı, itkiye bağlı kütleli yakıt tüketimi ve egzoz gazı emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir.

- Benzine metanol eklenmesi ve metanolün yakıt karışımı içerisindeki oranının artması ile CO₂ emisyonlarında artış görülmüştür.
- HC emisyonları incelendiğinde tüm test şartlarında benzine metanol eklenmesi sonucunda HC emisyonlarında düşüş gözlemlenmiştir.

- CO emisyonları incelendiğinde benzine metanol eklenmesi ve metanolün yakıt karışımı içerisindeki oranının artması ile tüm yakıt tiplerinin açığa çıkardığı CO emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir.
- Motor devrinin artması, benzine metanol eklenmesi ve metanolün yakıt karışımı içerisindeki oranının artması ile egzoz gazı sıcaklıklarında artış gözlemlenmiştir.
- Tüm test şartlarında motor devrinin artmasıyla birlikte pervanenin oluşturduğu itki değerlerinde artış gözlemlenmiştir.
- Benzine metanol eklenmesi ve metanolün yakıt karışımı içerisindeki oranının artması ile itkiye bağlı kütleli yakıt tüketimi değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ) Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Projesi "LIFT UP" kapsamında 20211030K1A1001 proje numarasıyla ve TÜBİTAK 2209-B "Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı" kapsamında 1139B412101603 başvuru numarasıyla desteklenmiştir. Proje sürecinde bizlere destek olan Marmara Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Mustafa KURT'a, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Hasan ERDAL'a ve proje danışmanımız Doç. Dr. İlker Turgut YILMAZ'a saygılarımızı ve teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

- [1] A. C. Brown, J. Hoke, ve F. Schauer, "Development of Small Internal Combustion Engine Thrust Stand/Dynamometer", Nis. 2010. doi: 10.4271/2010-01-0658.
- [2] S. Menon, N. Moulton, ve C. Cadou, "Development of a Dynamometer for Measuring Small Internal-Combustion Engine Performance", *J Propuls Power*, c. 23, sy 1, ss. 194-202, Oca. 2007, doi: 10.2514/1.19825.
- [3] V. V. Biryuk, M. O. Zakharov, A. A. Gorshkalev, ve V. L. Larin, "Development of a Test Bench for Determining the Power Characteristics of a Small-Size Two-Stroke Internal Combustion Engine", içinde *2021 International Scientific and Technical Engine Conference (EC)*, IEEE, Haz. 2021, ss. 1-6. doi: 10.1109/EC52789.2021.10016873.
- [4] IEA, "Tracking Clean Energy Progress 2023", Paris, 2023. Erişim: 27 Temmuz 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>
- [5] D. S. Lee vd., "Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation", *Atmos Environ*, c. 44, sy 37, ss. 4678-4734, Ara. 2010, doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.06.005.
- [6] J. Larsson, A. Elofsson, T. Sterner, ve J. Åkerman, "International and national climate policies for aviation: a review", *Climate Policy*, c. 19, sy 6, ss. 787-799, Tem. 2019, doi: 10.1080/14693062.2018.1562871.
- [7] S. Verhelst, J. W. Turner, L. Sileghem, ve J. Vancoillie, "Methanol as a fuel for internal

- combustion engines”, *Prog Energy Combust Sci*, c. 70, ss. 43-88, Oca. 2019, doi: 10.1016/j.pecs.2018.10.001.
- [8] W. Heinrich, K.-J. Marquardt, ve A. J. Schaefer, “Methanol as a Fuel for Commercial Vehicles.”, *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, c. 95, ss. 998-1010, 1986.
- [9] Y. Çelebi ve H. Aydın, “An overview on the light alcohol fuels in diesel engines”, *Fuel*, c. 236, ss. 890-911, Oca. 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2018.08.138.
- [10] S. Liu, E. R. Cuty Clemente, T. Hu, ve Y. Wei, “Study of spark ignition engine fueled with methanol/gasoline fuel blends”, *Appl Therm Eng*, c. 27, sy 11-12, ss. 1904-1910, Ağu. 2007, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2006.12.024.
- [11] A. Bilgin ve İ. Sezer, “Effects of Methanol Addition to Gasoline on the Performance and Fuel Cost of a Spark Ignition Engine”, *Energy & Fuels*, c. 22, sy 4, ss. 2782-2788, Tem. 2008, doi: 10.1021/ef8001026.
- [12] I. Gravalos, D. Moshou, T. Gialamas, P. Xyradakis, D. Kateris, ve Z. Tsiropoulos, “Performance and Emission Characteristics of Spark Ignition Engine Fuelled with Ethanol and Methanol Gasoline Blended Fuels”, içinde *Alternative Fuel*, InTech, 2011. doi: 10.5772/23176.
- [13] M. Abu-Zaid, O. Badran, ve J. Yamin, “Effect of Methanol Addition on the Performance of Spark Ignition Engines”, *Energy & Fuels*, c. 18, sy 2, ss. 312-315, Mar. 2004, doi: 10.1021/ef030103d.
- [14] T. M. M. Abdellatif vd., “Innovative conceptual approach to quantify the potential benefits of gasoline-methanol blends and their conceptualization on fuzzy modeling”, *Int J Hydrogen Energy*, c. 47, sy 82, ss. 35096-35111, Eyl. 2022, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.08.076.
- [15] J. Vancoillie vd., “The potential of methanol as a fuel for flex-fuel and dedicated spark-ignition engines”, *Appl Energy*, c. 102, ss. 140-149, Şub. 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.05.065.
- [16] S. B. Shayan, S. M. Seyedpour, F. Ommi, S. H. Moosavy, ve M. Alizadeh, “Impact of methanol-gasoline fuel blends on the performance and exhaust emissions of a SI engine”, *Int J Automot Eng*, c. 1, sy 3, ss. 219-227, 2011.
- [17] C. Jin, M. Yao, H. Liu, C. F. Lee, ve J. Ji, “Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 15, sy 8, ss. 4080-4106, Eki. 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.06.001.
- [18] X. Zhen, Y. Wang, S. Xu, ve Y. Zhu, “Study of knock in a high compression ratio spark-ignition methanol engine by multi-dimensional simulation”, *Energy*, c. 50, ss. 150-159, Şub. 2013, doi: 10.1016/j.energy.2012.09.062.