

## Dizel Motorda Kullanılan Biodizel/Motorin Karışım Yakıtların Yanma, Performans ve Emisyon Parametrelerinin Deneysel ve Sayısal Araştırılması

İlker TEMİZER<sup>1</sup>, Bünyamin ESKİCİ<sup>2</sup>

**ÖZET:** Bu çalışma, ayçiçek yağı metil ester ve dizel karışımlarının motor karakteristiklerini ve yanma analizlerini içermektedir. Deneysel çalışmalar tek silindri dizel bir motorda yapılmıştır. Sayısal çalışma ise AVL-FIRE yazılımının ESE-Diesel kısmında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, karışım yakıtlar içerisinde en yüksek motor torku %10 ayçiçek yağı metil ester-%90 motorin (AYME10) çalışmasında elde edilmiştir. Bütün test yakıtları içerisinde en yüksek silindir içi basınç, %30 ayçiçek yağı metil ester-%70 motorin (AYME30) karışım çalışmada elde edilmiştir. Karışım içerisindeki biodizel oranının artmasıyla birlikte NOx emisyonları artarken, CO ve HC emisyonları ise azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Biodizel, yanma analizi, motor performans, egzoz emisyon

### Experimental and Numerical Investigation of Combustion, Performance and Exhaust Emission Parameters of Biodiesel / Diesel Mixture Fuels Used in a Diesel Engine

**ABSTRACT:** This study is include combustion analyzes and engine characteristics of sunflower oil methyl ester biodiesel and its diesel blends. Experimental studies were performed on a single cylinder diesel engine. Numerical operation was performed in ESE-Diesel part of AVL-FIRE software. When the results are examined, maximum engine torque for mixed fuels has obtained in 10% sunflower oil methyl ester-90% diesel (SOME10) study. Maximum cylinder pressure in all test fuels has obtained at 30% sunflower oil methyl ester-70% diesel (SOME30). With the increase in biodiesel ratio in the mixture, while NOx emissions increased, CO and HC emissions decreased.

**Keywords:** Biodiesel, combustion analysis, engine performance, exhaust emission

<sup>1</sup> İlker TEMİZER (Orcid ID: 0000-0003-1170-3898), Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

<sup>2</sup> Bünyamin ESKİCİ (Orcid ID: 0000-0001-5713-0840), Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: İlker TEMİZER, e-mail: ilktemizer@gmail.com

\* Bu çalışma Bünyamin ESKİCİ'nin Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

## GİRİŞ

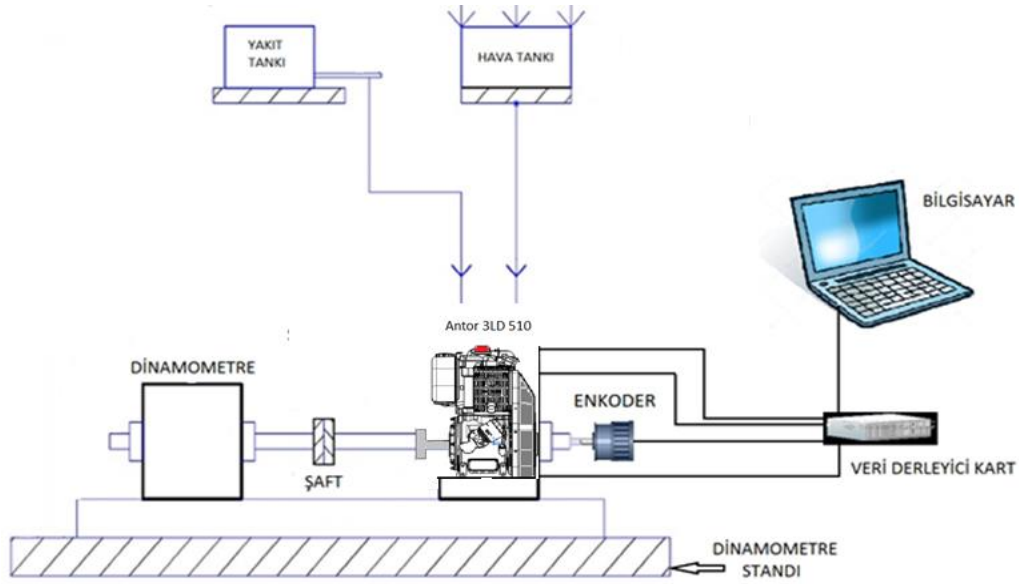
Biodizel yakıtlarının yenilenebilir olması, kimyasal yapılarında oksijen içermesi, motorlarda doğrudan kullanılabilir olması gibi birçok avantajı dizel motorlarda kullanımının önünü açmaktadır (Aldhaidhawi ve ark., 2017). Günümüzde birçok araştırmacı, biodizel yakıtlarının motor performans ve emisyonları üzerindeki etkisine odaklanmıştır (Lesnik ve ark., 2014; Sanli ve ark., 2015; Subhash ve Subramanian, 2015; Labeckas ve ark., 2014; Qi ve ark., 2010). Özellikle biodizel yakıtlarının oksijen içeriği yanma ve egzoz emisyon değerlerinin iyileşmesine neden olduğu görülmektedir (Ozener ve ark., 2014; An ve ark., 2013; Patel ve Sankhavara, 2017; Can, 2014; Şanlı ve ark., 2015). Petranovic ve ark. (2015) çalışmalarında, içten yanmalı motorlarda yanma sonu emisyonlarını öngörmek için AVL-FIRE yazılımı ile bir model geliştirmişlerdir (Zvonimir ve ark., 2016). Hassan ve ark. (2015) farklı yakıt kullanılan motorun performans ve emisyon tahmini için hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) yazılımı olan AVL Fire programını kullanmışlardır (Hassan ve ark., 2015). Aldhaidhawi ve ark. (2017) %20 biodizel ve %0-5 arasında hidrojen içeren bir karışımli çalışmayı, AVL kodlarını (HYDSIM ve BOOST 2013) kullanarak gerçekleştirmişlerdir (Aldhaidhawi ve ark., 2017). Payri ve ark. (2004), k-ε türbülans modeli ile oluşturulmuş ve çözüm için PISO (Pressure Implicit with Splitting of Operator) algoritmasının kullanıldığı çalışmalarında piston geometrisinin emme ve sıkıştırma zamanının başlangıcında akışı etkilediğini saptanmıştır (Payri ve ark., 2004). Biodizel yakıtlarının motorin yakıtına kıyasla sahip olduğu düşük kalorifik değer, motorlarda özgül yakıt tüketiminin artmasına neden olur (Dhar ve Agarwal., 2015; InWong ve ark., 2013; Temizer ve ark., 2018; Chiatti ve ark., 2016; Chiatti ve ark., 2014). Atık kızartma yağlarından elde edilen biodizel yakıtının motorlarda kullanımı ile yaklaşık %12 oranlarında daha az CO oluştuğu, bir başka çalışmada raporlanmıştır (Murillo ve ark., 2007). Birçok araştırmacı, biodizel yakıtlarının kullanımı ile HC emisyonlarında azalmaların olduğunu raporlamıştır (Kweon ve ark., 2003; Attia ve Hassaneen, 2016). Bir başka çalışmada, dizel yakıtına kıyasla biodizel yakıtlarının dizel motorlarda kullanımı ile daha yüksek silindir içi sıcaklık ve ısı salınım oranları elde edilmiştir (Ananthakumar ve Jayabal, 2017). Atık kızartma yağı metil esterinin kullanıldığı bir başka çalışmada ise biodizel karışımli yakıt motorda düşük ısı salınımları oluşturmuştur. Bunun temel nedeni olarak, biodizel karışımlarında tutuşma gecikmesi sürelerinin kısalması ve yakıtın yavaş yanması gösterilmektedir (SenthilKumar ve Loganathan, 2016). Farklı motor yüklerinin incelendiği bir başka çalışmada, biodizel yakıtı silindir içi gaz basıncında artışa, ısı salınım değerlerinde ise azalmaya neden olduğu vurgulanmıştır (Wei ve ark., 2017). Ayrıca literatür incelemesinde, yanma parametreleri üzerinde yakıtın setan sayısı, yoğunluğu ve viskozitesi gibi bazı özelliklerin oldukça önemli olduğu vurgulanmaktadır (Soloiu ve ark., 2015; Aydın ve Bayindir, 2010; Islam ve ark., 2015; Gopal ve Karupparaj, 2015).

Bu çalışmada, farklı oranlarda motorin yakıtına ilave edilen biodizel yakıtının motor performans, emisyon ve yanma analizi gerçekleştirilmiştir. Yanma analizleri hem deneysel hem de sayısal gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Deney motoru ve kullanılan yakıtların sayısal olarak modellenmesi ve deneysel verilere yakın sonuçların elde edilmesi bu çalışma için bir başarı ölçütüdür. Bu çalışma aynı zamanda, biodizel yakıtları gibi alternatif motor yakıtlarının da motorlarda sayısal olarak modellenmesi ve yanma yorumlarının daha da genişletilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, ayçiçek yağından elde edilen biodizel yakıtı ile referans kabul edilen motorin yakıtı kullanılmıştır. Biodizel yakıtı, Cumhuriyet Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünde

sentezlenmiştir. Motor deneylerinde %100 Motorin (M100), hacimsel olarak %90 motorin-%10 ayçiçek yağı metil esteri (AYME10), %80 motorin-%20 ayçiçek yağı metil esteri (AYME20) ve %70 motorin-%30 ayçiçek yağı metil ester (AYME30) yakıtları kullanılmıştır. Deneysel çalışmada motor performans ve egzoz emisyonları tespiti için Cumhuriyet Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği laboratuvarında bulunan tek silindirli dizel motor (Çizelge 1), ANKA marka elektrikli motor dinamometresine bir şaft aracılığı ile bağlanmıştır (Şekil 1). Motor çalışma basıncı OPRANT marka basınç sensörü yardımıyla, krank açışı ise KUBLER marka enkoder ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler bir veri derleyici kart aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Motora ait güç, moment, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı motorun 1250, 1500, 1750, 2000 ve 2250 devir/dakika aralıklarında anlık olarak izlenerek kayıt altına alınmıştır. Bütün motor deneyleri tam gaz açıklığında ve tam yükte gerçekleştirilmiştir. Egzoz emisyon değerlerinin tespiti Bosch marka BAE350 model egzoz emisyon cihazı kullanılarak yapılmıştır. Motorun beş farklı devri için CO, HC ve NO emisyonları ölçülmüştür.



Şekil 1. Deney sisteminin şematik gösterimi

Çizelge 1. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor Teknik Özellikleri	
Motor Tipi	4- zamanlı, direkt enjeksiyonlu dizel motor
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi-cm <sup>3</sup>	510
ÇapxStrok mm x mm	85 x 90
Sıkıştırma Oranı	17,5:1
Maksimum Güç (kW)	8.8@3000
Maksimum Tork (Nm)	35@2000

Sayısal çalışma, AVL-FIRE yazılımının ESE-DIESEL kısmında gerçekleştirilmiştir. AVL-FIRE yazılımında gerçeğe yakın bir modelleme yapabilmek için motor sınır şartları sisteme tanımlanmış, püskürtme modeli olarak WAVE modeli, türbülans modeli olarak k-zeta-f modeli ve yanma modeli olarak EFCM-3Z modeli kullanılmıştır. Hesaplamalar yaklaşık 50000 hücre için gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada, tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel motorun yanma odası AVL-FIRE yazılımında modellenmiştir.

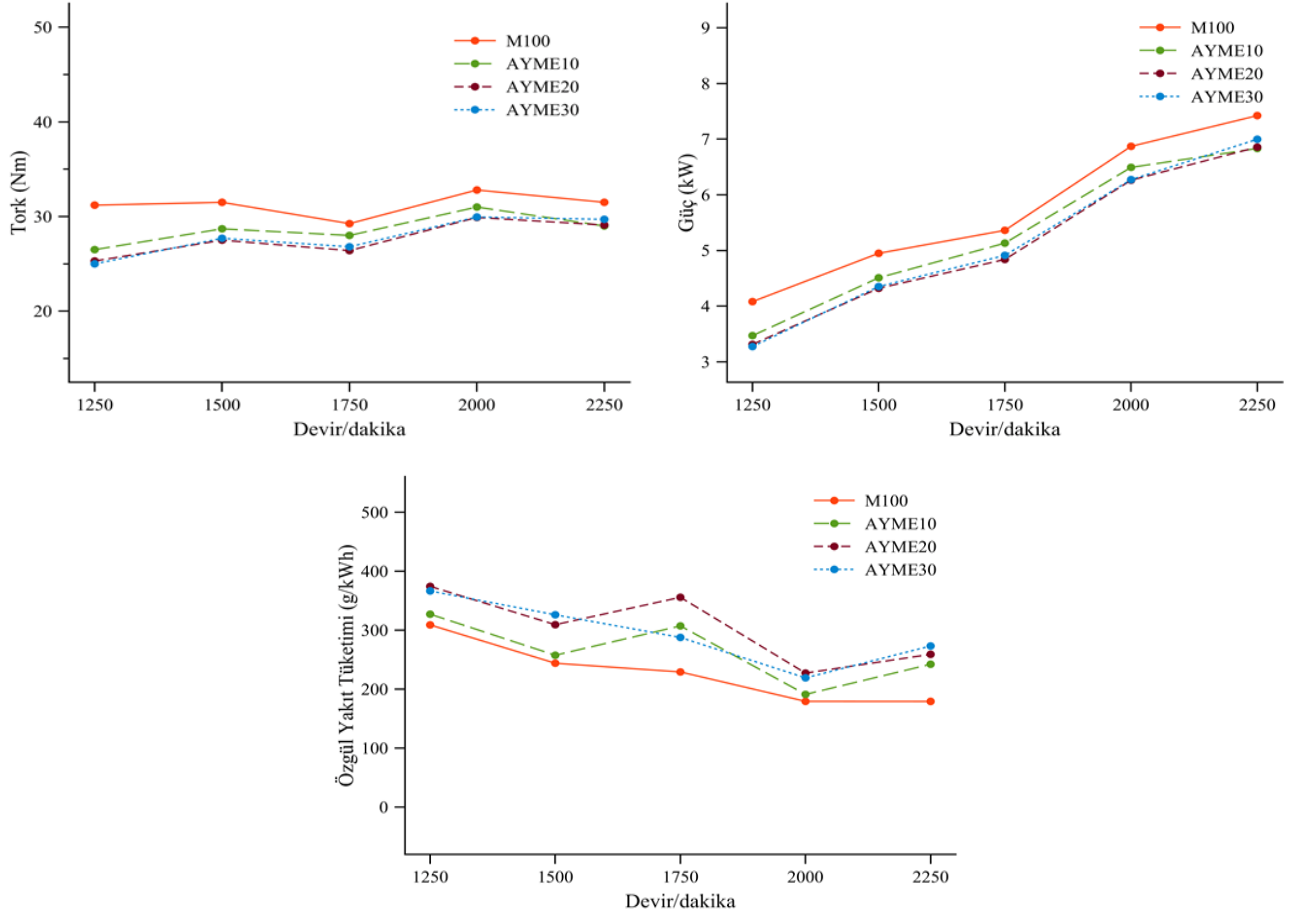
## BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 2’de referans kabul edilen motorin yakıtı ile belirli oranlarda AYME yakıtı içeren karışım yakıtlarına ait motor performans değerleri görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde, maksimum motor torku M100 yakıtının ile elde edilmiştir. Karışım içerisinde AYME oranının artmasıyla paralel motorun tork ve güç değerleri azalmıştır. Maksimum motor gücü M100 yakıt çalışmasında elde edilmiştir. Motorun devir sayısındaki artışla paralel olarak, motora çevrim başına püskürtülen yakıt miktarının artması motor güç değerlerinin bütün test yakıtları için artmasına neden olmuştur. Motorda bir başka performans karakteristiği ise Özgül Yakıtı Tüketimi (ÖYT) değeridir. Devir sayısının artmasına paralel olarak yükselen silindir içi sıcaklıklar ve iyileşen hava hareketliliği, ÖYT değerlerinin azalmasına neden olmuştur. AYME karışımli yakıtlar motorun ÖYT değerlerinde artışlara neden olmuştur. Bu sonuç karışım yakıtlarının kalorifik değerlerindeki azalmaların yanı sıra, biodizel yakıtların yüksek viskozitesinin bir sonucu olarak da değerlendirilebilir (Kaplan ve ark., 2006). Yakıt karışımlarının sahip oldukları yüksek viskozite atomizasyonu kötüleştirerek yakıtın parçalanmasını engeller (Büyükkaya.,2010). Bu durum yakıtın yanma verimini azaltarak, yakıt tüketim değerlerinin de artmasına neden olmaktadır. Biodizel ve motorinin kullanıldığı çalışmada, %3 ile yüzde %5 oranlarında biodizel içeren yakıtların motor torkunda azalmalara neden olduğu belirtilmiştir (Cetinkaya ve ark., 2005). Biodizel yakıtlarının kullanıldığı motorlardaki güç düşüşleri motor torku ile bağlantılıdır. Biodizel karışımli yakıtların yaklaşık %4.5 civarlarında motor gücünde azalmalara neden olduğu literatürde de vurgulanmaktadır (Bjorn ve ark., 2013). Motorine kıyasla, yaklaşık %10 oranlarında daha düşük kalorifik değer içeren biodizel yakıtları motor tork ve güçlerinde azalmalara, özgül yakıtım tüketim değerlerinde ise artışlara neden olmaktadır (Kaplan ve ark., 2006).

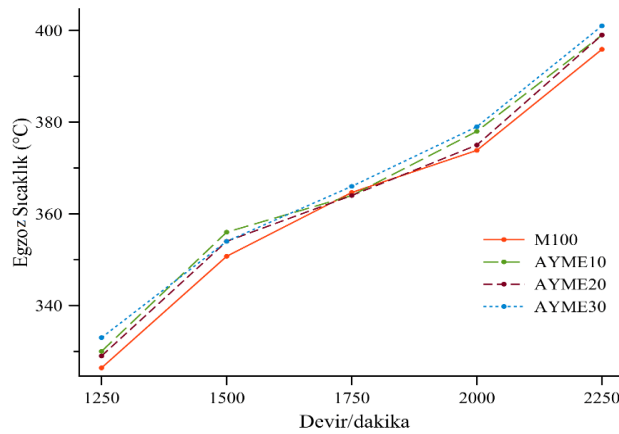
Şekil 3’te farklı çalışma rejimlerinde egzoz gazlarının sıcaklık dağılımı görülmektedir. Bütün motor devirlerinde biodizel karışımli yakıtlar motorin yakıtına kıyasla, egzoz gazı sıcaklıklarında bir miktar yükselmelere neden olmuştur. Bilindiği gibi, motorlarda yanma sonu sıcaklıkları birçok değışkene bağılı olarak değışir. Bu çalışmada, biodizel yakıtlarının motorin yakıtına karıştırılması ile genel olarak yanma sonu sıcaklıklarının arttığı görülmektedir. Özellikle AYME yakıtlarının sahip oldukları oksijen içeriğinin yanmanın gelişmesine olumlu katkı sağladığı düşünülmektedir. AYME karışımli çalışmalarda, karışım içerisinde artan biodizel oranı ile paralel olarak, sıcaklıklar da bir miktar artış göstermektedir. Bu artışın bir başka nedeni olarak yakıtların sahip oldukları yoğunluk gösterilebilir (Kaplan ve ark., 2006). Özellikle enjektörün açılmasıyla birlikte silindir içerisine püskürtülen yakıt miktarları her bir yakıt çalışmasında farklılık gösterir. Biodizel yakıtlarının motorin yakıtlarına kıyasla sahip oldukları yüksek yoğunluk birim hacimde daha fazla yakıtın silindir içerisine püskürtülmesine neden olur. Bu durum gaz sıcaklıklarının az da olsa artış göstermesinde etkili olduğu söylenebilir (Şekil 3).

Motorlardaki yanma karakteristikleri hakkında bilgi veren eksik yanma ürünlerinden biri CO emisyonudur. Deneysel sonuçlar incelendiğinde, özellikle motorun orta devir aralıklarında artan silindir içi sıcaklıklar ve hava hareketliliğinin CO emisyonlarının azalmasında etkili olduğu düşünülebilir (Şekil 4). M100 yakıtına kıyasla, AYME karışımli test yakıtlarının kullanıldığı motorda CO değerleri M100 yakıtına kıyasla daha düşüktür. Özellikle yanmanın idealleşme eğilimi gösterdiği 1800-2000 devir/dakika aralıklarında bütün yakıtlar için CO emisyonu azalmıştır. Aynı zamanda karışım içerisindeki AYME oranının artışına paralel olarak da CO emisyonu azalmaktadır. Literatürde birçok çalışmada, motorlarda biodizel yakıtlarının kullanımı ile CO ve HC emisyonlarında önemli azalmaların olduğu vurgulanmaktadır (Murillo ve ark., 2007; Dhar ve Agarwal., 2015; Lesnik ve ark., 2014; Sanli

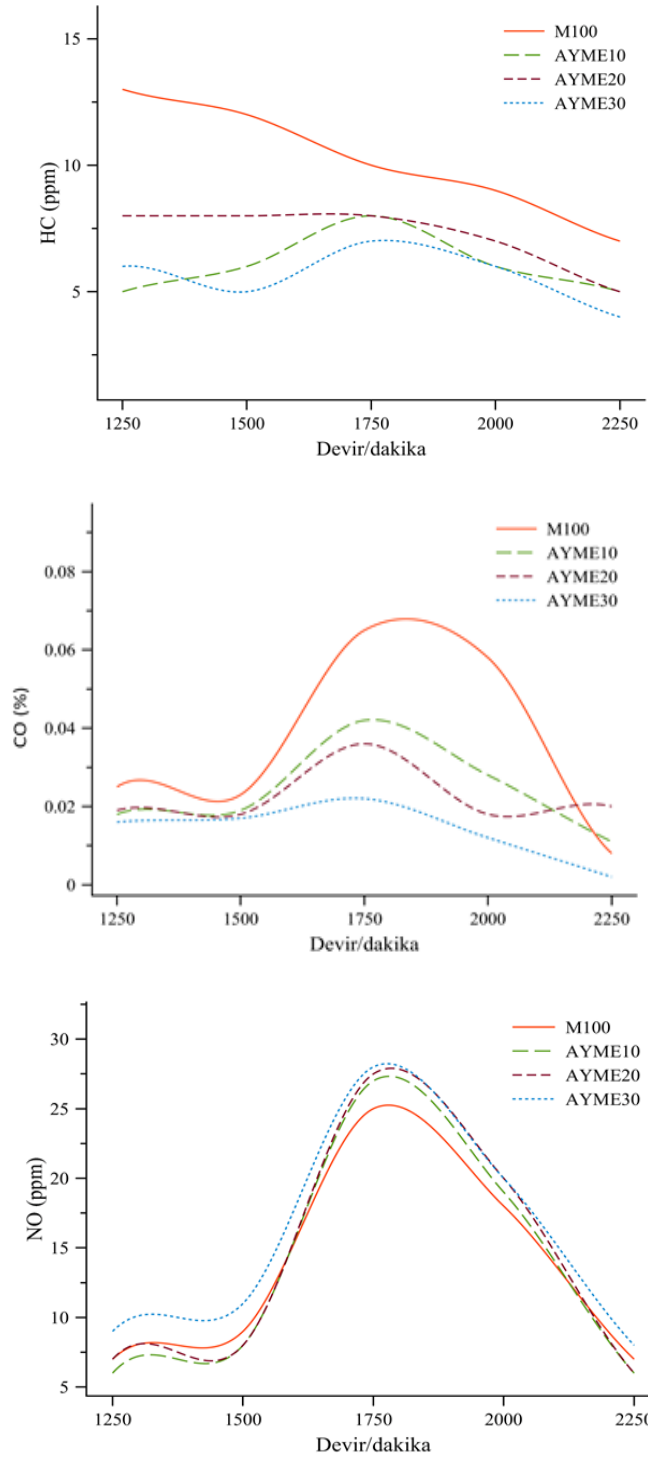
ve ark., 2016; Subhash ve Subramanian, 2015). Biodizel yakıtının kimyasal yapısında yer alan oksijenin yanma olayına olumlu etki yaptığı söylenebilir.



Şekil 2. Farklı test şartları altında motor karakteristik özellikleri



Şekil 3. Motorda farklı devir sayılarında test yakıtları ile oluşan egzoz gaz sıcaklıkları

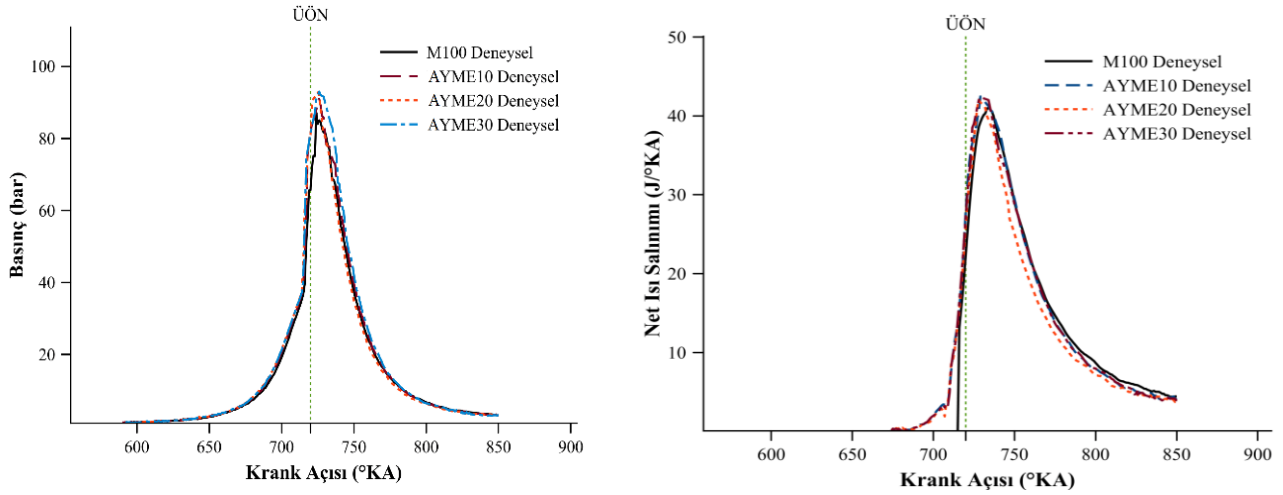


Şekil 4. Motorda farklı devir sayılarında test yakıtları ile oluşan HC, CO ve NO emisyonları değişimi

Bilindiği gibi, eksik yanma ürünlerinden biri de HC emisyonudur. Deney sonuçları incelendiğinde, artan devir sayısı ile HC emisyonunun azaldığı görülmektedir (Şekil 4). Sonuçlar incelendiğinde, AYME karışımı yakıtların egzoz gaz sıcaklıklarında bir miktar artışlara neden olduğu görülmektedir. Bu sıcaklık artışının HC emisyonlarını etkili düşünülmektedir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan bir başka emisyon ise NO'dur. NO emisyonları silindir içi sıcaklık, yanma süreleri ve hava fazlalık katsayısının bir fonksiyonu olarak değişmektedir. AYME karışımı yakıtların kullanılmasıyla artan silindir içi sıcaklıkların NO emisyonlarını tetiklediği düşünülmektedir. Motorda 1750 devir/dakika motor hızlarına

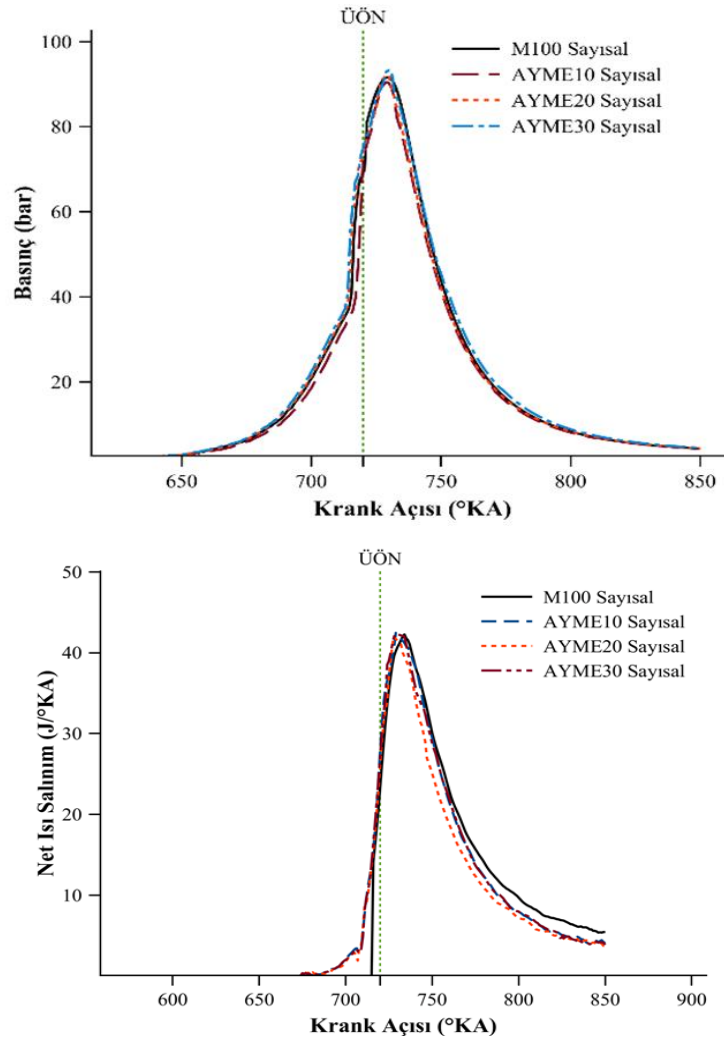
kadar NO değerleri bütün test yakıtları için artmıştır (Şekil 4). Bu devire kadar silindir içi artan sıcaklıkların NO değerlerini arttırdığı düşünülmektedir. Ancak orta devirlerden itibaren NO seviyelerinin düştüğü görülmektedir. Yanma için ayrılan zamanın kısalmasının bu düşüşte etkili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca motorin içerisi farklı oranlarda ilave edilen AYME yakıtı NO seviyesini arttırmıştır. Yapılan birçok çalışmada, motorlarda biodizel yakıtlarının kullanımı ile silindir içerisindeki sıcaklıkların arttığı ve beraberinde NO emisyonlarının da artış gösterdiği vurgulanmaktadır (Labeckas ve ark., 2014; Dhar ve Agarwal., 2015; Lesnik ve ark., 2014; Subhash ve Subramanian, 2015).

Biodizel yakıtlarının yoğunluklarının motorin yakıtına kıyasla fazla olması ile enjektörden daha fazla yakıtın silindir içerisine püskürtülmesi silindir içi maksimum basınçlarda artışlara neden olabilir (Dhar ve Agarwal., 2014; Patel., 2019). Ayrıca, bu çalışmada AYME yakıtlarının kimyasal yapısında bulunan oksijenin silindir içi sıcaklıkları artırarak silindir içi maksimum basınçların artmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Bilindiği gibi, biodizel yakıtları motorin yakıtına kıyasla daha yüksek viskozite ve düşük buharlaşma yeteneğine sahiptir. Özellikle biodizel yakıtlarının yüksek viskozite ve düşük buharlaşma dereceleri, motorlarda tutuşma gecikmesi (TG) sürelerini artırır (Temizer ve ark., 2018). TG sürelerindeki artışlar, motorda ani bir basınç değişimlerine ve silindir içi maksimum basınçların artmasına neden olur. Nitekim bu sonucu silindir içi basınç/krank açısı değişimi açık bir şekilde ortaya koymuştur. Özellikle, AYME karışımli yakıtların yanma başlangıcının kontrollü yanma fazına doğru kayması, dizel yakıtından daha fazla ısı salınım oranının oluşmasına neden olmuştur. Bilindiği gibi biodizel yakıtlarının motorin yakıtına kıyasla yüksek viskozite ve düşük buharlaşma derecesi, yakıt hava karışımının gerçekleşmesi için daha fazla zamana ihtiyaç duymasına anlamına gelmektedir. Bu durum aynı zamanda yakıt zerreciklerinin atomizasyonu zorlaştırarak yanmanın ileriki safhalara kaymasına da neden olur. Farklı oranlarda AYME içeren karışımlar ısı salınım oranının değişmesine neden olmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Farklı test yakıtları için deneysel silindir içi basınç /krank açısı ve ısı salınım oranı/krank açısı değişimi

Deneysel çalışmada kullanılan yanma odası ve yakıtlar sayısal olarak da modellenerek silindir içi yanma olayı incelenmiştir. Böylece sayısal ve deneysel sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuş, sayısal modelin geçerliliği üzerinde durulmuştur. Sayısal gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde, deneysel veriler ile olan benzerlik dikkat çekmiştir. Sayısal ve deneysel çalışmada elde edilen silindir içi basınç/krank açısı değerleri arasındaki benzerlik tüm test yakıtlarında görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Farklı test yakıtları için sayısal silindir içi basınç /krank açısı ve ısı salınım oranı/krank açısı değişimi

Deneysel çalışmada olduğu gibi sayısal gerçekleştirilen analizlerde de, biodizel karışımı yakıtların motorin yakıtına yakın bir silindir içi yanma davranışı gösterdiği görülmektedir. Deneysel çalışmada görülen silindir içi maksimum basınç ve ısı salınım oranlarında ki az da olsa artışlar sayısal sonuçlarda da elde edilmiştir. Sayısal sonuçlar incelendiğinde, deneysel veriler ile olan benzerlik dikkat çekmiştir. Özellikle biodizel karışımı çalışmalarda artan yanma sonu sıcaklıklar her ne kadar maksimum ısı salınım değerlerini ÜÖN civarlarında arttırmış görülmüşse de, pistonun aşağı yöndeki hareketiyle birlikte yakıtın sahip olduğu düşük kalorifik değer ısı salınımlarının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu durum özellikle sayısal gerçekleştirilen çalışmada, AYME10 ve AYME20 yakıt türleri için deneysel çalışmaya kıyasla daha belirgin olmuştur.

## SONUÇ

Bu çalışmada, M100, AYME10, AYME20 ve AYME30 yakıtlarının kullanıldığı tek silindirli bir dizel motorunun performans, emisyon ve yanma analizleri incelenmiştir. Motor performans deneyleri sonucunda tork ve güç değerlerinin AYME10, AYME20 ve AYME30 kullanımıyla azaldığı görülmüştür. AYME karışımı yakıtların kullanılması durumunda motor gücündeki azalmalara paralel olarak ÖYT değerlerinde artışların olduğu gözlenmiştir. Ayrıca AYME kullanımı ile bir miktar yüksek egzoz gazı sıcaklıkları oluşmuştur. Egzoz emisyon ölçüm testlerinde M100 yakıt çalışmasına kıyasla AYME10, AYME20 ve AYME30 yakıtlarının motorda kullanımıyla CO ve HC emisyonlarının azaldığı,



NO emisyonlarının ise arttığı görülmüştür. Yapılan yanma analizlerinde AYME karışımli yakıtların kullanımıyla silindir içi maksimum basınç ve ısı salınım oranlarında bir miktar yükselmenin olduğu gözlemlenmiştir. Hem deneysel hem de sayısal sonuçlar incelendiğinde, biodizel yakıtlarının motorin yakıtına kıyasla yüksek viskozite ve düşük buharlaşma derecesinin silindir içi basınç ve ısı salınım oranları üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı, TEKNO.020 No'lu proje kapsamında maddi olarak destekleyen CÜBAP'a ve çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

- Aldhaidhawi M, Brabec M, Lucian M, Chiriac R, Bădescu V, 2017. Experimental and numerical assessment of ignition delay period for pure diesel and biodiesel B20, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, (252); 012068.
- Aldhaidhawi M, Chiriac R, Bădescu V, Descombes G, Podevin P, 2017. Investigation on the mixture formation, combustion characteristics and performance of a Diesel engine fueled with Diesel, Biodiesel B20 and hydrogen addition, Internation Journal of Hydrogen Energy, (42);16793-16807.
- An H, Yang WM, Maghbouli A, Li J, Chou SK, Chua KJ. 2013. Performance, combustion and emission characteristics of biodiesel derived from waste cooking oils. Applied Energy;(112):493–9.
- Ananthakumar S, Jayabal SP. 2017. Thirumal, Investigation on performance, emission and combustion characteristics of variable compression engine fuelled with diesel, waste plastics oil blends, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, (39);19–28.
- Attia AM, Hassaneen AE. 2016. Influence of diesel fuel blended with biodiesel produced from waste cooking oil on diesel engine performance. Fuel;(167);316–328.
- Aydin H, Bayindir H, 2010. Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine, Renewable Energy (35);588–592.
- Büyükkaya E, 2010. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics, Fuel 89 3099–3105.
- Bjorn SS, Sergio C. C, Jewel AC, 2013. Engine Performance and Exhaust Emissions of Peanut Oil Biodiesel, Journal of Sustainable Bioenergy Systems,(3), 272-286.
- Can O. 2014. Combustion characteristics, performance & exhaust emissions of a diesel engine with a waste cooking oil biodiesel mixture. Energy Conversion and Management;(87):676–86.
- Chiatti G, Chiavola O, Palmieri F, 2016.Vibration and acoustic characteristics of a city-car engine fueled with biodiesel blends. Applied Energy (5):186–192,
- Chiatti G, Chiavola O, Palmieri F, Albertini S, 2014.Combustion and emissions characterization of biodiesel blends in a city-car engine. Energy Fuels, 28 (8);5076–85.
- Çetinkaya M, Ulusoy Y, Tekin Y, Karaosmanoğlu F, 2005. Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel, Energy Conversion and Management , 46, 1279-1291.
- Dhar A, Agarwal AK, 2014. Performance, emissions and combustion characteristics of Karanja biodiesel in a transportation engine, Fuel,119,70-80.
- Dhar A, Agarwal AK. 2015.Experimental investigations of the effect of pilot injection on performance, emissions and combustion characteristics of Karanja biodiesel fuelled CRDI engine. Energy Conversion and Management;(93):357–66.
- Gopal KN, Karupparaj RT, 2015. Effect of Pongamia biodiesel on emission and combustion characteristics of DI compression ignition engine, Ain Shams Engineering Journal (6);297–305.
- Hassan NMS, Rasul MG, Harch CA, 2015. Modelling and experimental investigation of engine performance and emissions fuelled with biodiesel produced from Australian Beauty Leaf Tree, Fuel (150); 625–635.

- InWong, K., Wong, P.K., Cheung, C.S.,Vong, C.M., 2013. Modeling and optimization of biodiesel engine performance using advanced machine learning methods, *Energy*, (55); 519-528,
- Islam MA, Rahman MM, Heimann K, Nab MN, Ristovski ZD, Dowell A, Thomas G, Feng B, Alvensleben N, Brown RJ, 2015. Combustion analysis of microalgae methyl ester in a common rail direct injection diesel engine, *Fuel* (143);351–360.
- Kaplan C, Arslan R, Sürmen A, 2006. Performance Characteristics of Sunflower Methyl Esters as Biodiesel. *Energy Sources, Part A*, 28:751–755.
- Kweon CB, Okada S, Stetter JC, Christenson CG, Shafer MM, Schauer JJ, Foster DE. 2003. Effect of fuel composition on combustion and detailed chemical/physical characteristics of diesel exhaust. *SAE Technical Paper* (1)-1899.
- Labeckas G, Slavinskas S, Mazeika M, 2014. The effect of ethanoldiesel-biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine. *Energy Conversion and Management*, (79):698-720.
- Lesnik L, Iljaz J, Hribernik A, Kegl B, 2014. Numerical and experimental study of combustion, performance and emission characteristics of a heavy-duty DI diesel engine running on diesel, biodiesel and their blends. *Energy Conversion and Management*; (81):534-46.
- Murillo S, Miguez JL, Porteiro J, Granada E, Moran JC. 2007. Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines. *Fuel*; 86 (12);1765–71.
- Ozener O, Yuksek L, Ergenc AT, Ozkan M. 2014. Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel*;(115):875–83.
- Patel C, Chandra K, Hwang J, Agarwal RA, Gupta N, Bae C, Gupta T, Agarwal AK, 2019. Comparative compression ignition engine performance, combustion, and emission characteristics, and trace metals in particulates from Waste cooking oil, Jatropha and Karanja oil derived biodiesels, *Fuel* 236, 1366–1376.
- Patel RL, Sankhavara CD. 2017. Biodiesel production from Karanja oil and its use in diesel engine: a review. *Renewable and Sustainable Energy Review*;(71):464–74.
- Payri F, Benajes J, Margeo X, Gil A, 2004. CFD modeling of the in-cylinder flow in directinjection diesel engine. *Computers & Fluids*; (33);995–1021.
- Qi DH, Chen H, Geng LM, Bian YZH, Ren XCH, 2010. Performance and combustion characteristics of biodiesel–diesel–methanol blend fuelled engine. *Appl Energy*;(87):1679–86.
- Sanli H, Canakci M, Alptekin E, Turkcan A, Ozsezen A, 2015. Effects of waste frying oil based methyl and ethyl ester biodiesel fuels on the performance, combustion and emission characteristics of a DI diesel engine. *Fuel*, (159):179-87.
- Santos BS, Capareda SC, Capunitan JA, 2013. Sunflower Methyl Ester as an Engine Fuel, Performance Evaluation and Emissions Analysis, *ISRN Renewable Energy*, 352024,12.
- SenthilKumar R, Loganathan M, 2016. Combustion characteristics of the direct injection diesel engine fuelled with corn oil methyl ester, *International Journal Ambient Energy* 37 (2);136–142.
- Soloiu V, Harp S, Watson C, Butts CL, 2015. Performance of an IDI Engine Fueled with Fatty Acid Methyl Esters Formulated from Cotton Seeds Oils, *SAE Int. J. Fuels Lubr.* 8 (2);277–289.
- Subhash L, Subramanian K, 2015. Effect of different percentages of biodiesel-diesel blends on injection, spray, combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine. *Fuel*;(139):537-45.
- Temizer İ, Yüksel T, Eskici B, İzgi A, 2018. Dizel Motorda Kullanılan Biodizel Yakıtının Sayısal Analizi, *International Engineering and Technology Symposium*, 03-05 May, 65.
- Wei L, Cheung CS, Ning Z, 2017. Influence of waste cooking oil biodiesel on combustion, unregulated gaseous emissions and particulate emissions of a direct-injection diesel engine, *Energy* (127); 175–185.
- Zvonimir P, Wilfried E, Milan V, Neven D, Peter P, Reinhard T, 2016. CFD modelling of spray and combustion process using avl FIRE // *Digital Proceedings of The 36th International Symposium on Combustion COEX*, Seoul, Korea,