



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Etil Alkol Yakıtlı HCCI Motorun Performans, NO ve İS Emisyon Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

 Adem TÜYLÜ^{a,*},  Ahmet KOLİP^a,  Hasan Ali ÇELİK^a

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ademtuylu@subu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1184716

Öz

Rezervlerinin sınırlı ve hızla tükeniyor olması fosil yakıtların kullanım maliyetlerini artırmaktadır. Bununla birlikte, yasal emisyon standartlarının fosil yakıt kaynakları ile karşılanmasında güçlükler yaşanmaktadır. Araştırmacılar yenilenebilir, daha temiz ve ısıl değerleri petrol kökenli yakıtlara yakın olan yakıtları test motorlarında kullanarak incelemektedirler. Etanol içten yanmalı motorlarda yaygın bir biçimde kullanılan, yenilenebilir yakıtlardandır. Etanol yakıtının belirli oranlara kadar dizel motorlarında kullanılması sonucu motor performansında iyileşmeler gerçekleşmektedir. Diğer yandan, NO emisyonlarında artışlar, is emisyonlarında ise azalmalar gözlemlenmektedir. Bu çalışmada, tek silindirli, doğal emişli bir dizel motorunda etanol fumigasyonu ve EGR uygulanmıştır. Homojen dolgulu sıkıştırma ateşleme (HCCI) motor, emme portuna etanol yakıtı enjekte edilerek elde edilmiştir. İlk olarak motor tam yük şartları altında dizel yakıt ile çalıştırılarak standart (STD) motorun emisyon ve performans değerleri çıkartılmıştır. Etanol fumigasyonu aşamalarında, dizel yakıtı kısılarak motorun güç değerleri standart durumda elde edilen güç değerlerine getirilmiştir. Motor özgül yakıt sarfiyatı (ÖYS) ve efektif verimindeki (n_e) değişimler gözlemlenmiştir. EGR uygulamaları üç farklı oranda uygulanmıştır. Motor performans ve emisyon parametreleri bakımından, optimum dizel-etanol yakıtın, kütlece %88 dizel, %12 etanol (E12), optimum EGR oranının %15 (EGR15) olduğu saptanmıştır. Motor tam yük şartlarında E12 ile çalıştırılırken EGR15 uygulanarak E12EGR15'e ait motor performans ve emisyon parametreleri tespit edilmiştir. Etanol fumigasyonu ile artış gösteren NO emisyonlarının E12EGR15 kombinasyonu ile belirgin bir miktarda indirildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dizel Motor, HCCI, Etanol Fumigasyonu, Motor Performansı, NO ve İS Emisyonları

Experimental Investigation of Performance, NO and Soot Emission Properties of Ethyl Alcohol Fueled HCCI Engine

ABSTRACT

Limited and rapidly depleting reserves increase the cost of using fossil fuels. However, meeting legal emissions standards with fossil fuel sources is experiencing difficulties. Researchers study the use of propellants with renewables, cleaner and thermals closer to petroleum-based fuels in test engines. Ethanol is one of the renewable fuels widely used in internal combustion engines. The use of ethanol fuel in diesel engines up to a certain percentage points improves motor performance. On the other hand, there have been increases in NO emissions and reductions in soot emissions. In this study, ethanol fumigation and EGR were applied to a single cylinder, naturally absorbed diesel engine. A homogeneous charge compression ignition (HCCI) engine is achieved by injecting

ethanol fuel into the intake port. Initially, the engine was operated by diesel fuel under full load conditions and standard engine performance and emission data (STD) have been extracted. In the ethanol fumigation stages, the diesel fuel was throttled and the power values of the engine were brought to the power values obtained in the standard condition. Changes in engine brake specific fuel consumption (BSFC) and brake thermal efficiency (BTE) were observed. EGR applications have been implemented at three different rates. In terms of motor performance and emission parameters, optimal diesel-ethanol fuel, 88% diesel, 12% ethanol by mass (E12), optimal EGR ratio of 15% (EGR15) was found. Engine performance and emission parameters of E12EGR15 were determined by applying EGR15 while the engine was running with E12 under full load conditions. It was observed that NO emissions, which increased with ethanol fumigation, were significantly reduced with the combination of E12EGR15.

Keywords: Diesel Engine, HCCI, Ethanol Fumigation, Engine Performance, NO and Soot Emissions

I. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda faydalı iş elde etmek için enerji kaynağı olarak kullanılan petrol kökenli yakıtların rezervlerinin tükeniyor olması, insan ve çevre sağlığı için daha temiz yakıtlara olan ihtiyaç, araştırmacıları motor yanma verimliliğini artırma çalışmalarına yönlendirmektedir [1]. Dizel motorların termal verimliliğini artırmak ve çevreye salmış olduğu zararlı emisyonları azaltmak amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Farklı yenilenebilir yakıtların dizel motorlarında kullanılması ile yanma verimliliğinde artışlar sağlanmaktadır. Verimli yanma neticesinde motor performansında artışların yaşanmasının yanında motordan salınan egzoz emisyonları da indirgenmektedir. İçten yanmalı motorlarda yaygın bir biçimde kullanılan yenilenebilir, alternatif yakıtlar arasında alkoller yer almaktadır [2], [3].

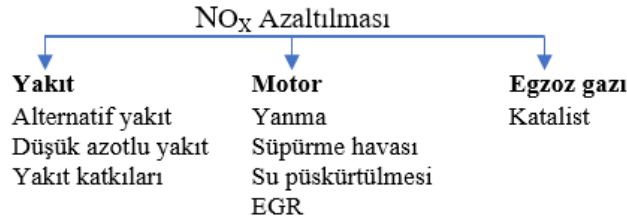
Alkoller dizel motorlarında dört farklı yöntem ile kullanılmaktadır. Bunlar: Alkol-dizel karışımı, alkol-dizel emülsiyonu, alkol fumigasyonu ve çift püskürtme sistemidir. Bu yöntemlerin ilk ikisinde katkı maddeleri kullanarak faz ayrışmalarının önüne geçilir iken diğer iki yöntemde sırasıyla emme portu ve yanma odasına püskürtme yapacak ikinci bir enjektör kullanılmaktadır [4]-[6].

HCCI motor çalışması bakımından otto ve dizel motorların kombinasyonudur. Yanma ve emisyonlar açısından her iki motorun üstün özelliklerini barındırmaktadır. Diğer bir ifadeyle HCCI motor kısmi yük koşullarında düşük yakıt tüketimi, tam yük koşulları altında ise yakıt hava karışımı homojenliğinin yüksek olması ile otto ve dizel motorların sentezi bir motordur. Konvansiyonel dizel motorları farklı uygulamalar veya çeşitli modifikasyonlar ile HCCI motorlara dönüştürülebilmektedir [7]-[11].

HCCI motor genellikle ana enjeksiyon öncesi pilot enjeksiyonların yapılması veya emme zamanı emme hattına yakıt enjeksiyonu yapılarak gerçekleştirilmektedir. Emme ve sıkıştırma zamanlarında homojen bir şekilde karışmış olan yakıt hava karışımı içinde sıkıştırma zamanı sonuna doğru birçok noktada kendiliğinden tutuşmalar başlamakta ve yaymış oldukları ısılar ile yakın noktalardaki karışımın alev almasını tetiklemektedir. Sonuç olarak HCCI motorda yanma, otto motorlardaki gibi alev cephesinin ilerlemesi veya dizel motorlardaki gibi difüzyon alevinin ilerlemesi ile gerçekleşmemekte, silindir içinde yanma rejimine ulaşmış olan noktalarda eş zamanlı ve homojen bir şekilde gerçekleşmektedir. Araştırmacılar HCCI motorların performans ve emisyonlar bakımından geleneksel dizel motorlarından üstün olduğunu ileri sürmektedirler [12]-[17].

Etanol ve metanol alkollerini ekonomik olarak çeşitli hammaddelerden üretilmelerini, içten yanmalı motorlarda herhangi bir modifikasyon gerektirmeden kullanabilmeleri ve çevre dostu yakıtlar olmaları bakımından araştırmacılar için gelecek vaat etmektedir. Dizel-etanol yakıt karışımlarındaki etanol miktarı motor sıkıştırma oranının artırılması veya yakıt karışımı setan sayısının katkı maddeleri ilavesi ile iyileştirilmesi sonucunda %95 oranına kadar artırılabilir [18], [19].

Emisyonlar açısından NO_x ve is emisyonları dizel motorlarında temel sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. NO_x emisyonlarının indirgenmesinde, yanma öncesi, yanma esnası ve yanma sonrasında çeşitli müdahale yöntemleri uygulanmaktadır. EGR ile NO_x emisyonlarında önemli oranlarda indirgemeler gerçekleşirken motor performansı olumsuz etkilenmektedir.



Şekil 1. NO_x Emisyonları Kontrol Yöntemleri [20]

Ezer [21], direkt enjeksiyonlu ve tek silindirli dizel motorunu 1500 d/dk sabit motor hızında, farklı yük koşulları altında, yakıt olarak dizel yakıtı, kütlece %85 dizel ve %15 etanol, dizel yakıtını dietil eter ilavesi miktarınca azaltarak, kütlece %15 etanol ihtiva eden dizel-etanol yakıt karışımına kütlece %2 ve %4 dietil eter katkılarıyla oluşturduğu yakıtları kullanmıştır. Dizel yakıtı alkollerin ilave edilmesi sonucunda motorun aynı çalışma koşulları altında hava fazlalık katsayısının yaklaşık %10 oranında arttığını ve egzoz gazı sıcaklıklarının ortalama %5 azaldığını tespit etmiştir. Dizel-etanol-dietil eter yakıt karışımlarının kullanımı sonucu yalnız dizel yakıt ile elde edilen güce yakın bir güç değeri sağlanırken, ÖYS’de %8,5 azalma ve efektif verimde %16 artış gözlemlenmiştir. NO_x emisyonlarının motor yüklenme koşullarına bağlı olarak %6,8 ile 18,2 oranları aralığında indirgenmiş olduğunu öne sürmüştür.

Aydın ve ark. [22], su soğutmalı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu dizel motorunda yakıt olarak dizel-biyodizel-etanol, üçlü yakıt karışımını kullanmışlardır. Yalnız dizel yakıtın kullanıma kıyasla üçlü yakıt karışımının kullanılması sonucu emisyonların indirgenmesini tespit etmişlerdir. Emisyonlarda meydana gelen azalışın nedenini üçlü yakıt karışımının setan sayısının dizel yakıtın setan sayısından büyük olması ile açıklamışlardır.

Wu ve ark. [23], common rail yakıt enjeksiyon sistemine sahip, aşırı doldurmalı, 6 silindirli bir dizel motorunda dizel-etanol-tetrahidrofuran, üçlü yakıt karışımını kullanımının motorun emisyon ve performansı üzerine etkilerini deneysel bir şekilde araştırmışlardır. Tetrahidrofuran (THF) yakıtını, hacimce farklı oranlarda hazırlanan dizel-etanol yakıt karışımlarının homejenizasyonu, diğer bir ifade ile karışım içinde yakıt ayrışmasının önüne geçmek amacıyla kullanmışlardır. Dizel-etanol-THF yakıt karışımının kullanımı ile kısmi ve tam yük koşulları altında, dizel yakıt kullanımına kıyasla is emisyonlarında düşüşler, NO_x emisyonlarında ise artışlar gözlemlenmiştir. Motor performansı bakımından en yüksek efektif verimleri yalnız dizel yakıtının kullanılması sonucunda elde ettiklerini açıklamışlardır.

Rakopoulos ve ark. [24], direkt enjeksiyonlu, aşırı doldurmalı, 6 silindirli, Mercedes-Benz marka bir dizel motorunda dizel-n-bütanol ve dizel-etanol yakıt karışımlarının motorun emisyon ve performansı üzerine etkilerini deneysel bir şekilde araştırmışlardır. Dizel motor emisyonlarından is emisyonunu indirgemede kullanmış oldukları iki yakıt karışımı içinde dizel-etanol yakıt karışımının, NO_x emisyonlarını indirgemede ise dizel-n-bütanol yakıt karışımının daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Yılmaz [25], doğal emişli, direkt enjeksiyonlu, 2 silindirli bir dizel motorunda dizel-biyodizel-etanol ve dizel-biyodizel-metanol yakıt karışımlarını test etmiştir. Her iki yakıt karışımı için motoru aynı koşullar altında işletmiştir. Yakıt karışımlarının alkol miktarı arttıkça motorun HC ve CO emisyonlarında artışlar, NO emisyonlarında ise azalmalar tespit etmiştir. Yakıt karışımları içerisinde aynı oranda bulunmaları durumunda, NO emisyonlarının indirgenmesinde etanolün metanolden daha etkili olduğunu gözlemlenmiştir.

Pedrozo ve ark. [26], common rail yakıt enjeksiyonlu, tek silindirli bir dizel motorunda etanol fumigasyonu uygulamalarını EGR’siz ve %25 EGR’li olarak tatbik etmişlerdir. Deneysel çalışmalarını

motor hızını sabit 1200 d/dk hızda ve 0,9, 1,2 ve 1,5 MPa ortalama efektif gücü veren, üç yük koşulu altında gerçekleştirmişlerdir. Egzoz hattı üzerine bağlamış oldukları ısı değiştiricisi sayesinde EGR uygulamasını görece soğuk uygulamışlardır. Etanol yakıtının dizel yakıtı oranı her iki yakıtın kütleli debisi ve alt ısı değerlerinden hareketle hesaplanan yakıt enerjileri oranları ile hesaplanmıştır. Toplam yakıt enerjisi içinde etanol kesri 0,0'dan 0,8'e kadar değiştirilmiştir. Etanol miktarı artması sonucu silindir içi basınç artış oranındaki dramatik yükselişler yakıt enjeksiyon sistemi ile uygulanan, ana enjeksiyon öncesi ön enjeksiyonlar ile indirgenmiştir. Ön yakıt enjeksiyonu sayesinde 0,8 etanol kesrine kadar motorun vuruntulu bir yanma gerçekleştirmeden kararlı bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Etanol fumigasyonu sonucu NO_x emisyonlarında maksimum %68 indirgeme, EGR uygulamalı etanol fumigasyonu ile ise maksimum %80 azalma gözlemlenmiştir.

Pandey ve ark. [27], doğal emişli, tek silindirli bir dizel motorunda emme havası sıcaklığını 40°C sıcaklıkta sabit tutarak emme hattına etanol enjeksiyonu gerçekleştirmişlerdir. Uygulamanın emisyonlar üzerine etkisini araştırmışlardır. Emme hattına etanol püskürtülmesi ile düşük yük koşulları altında CO ve HC emisyonlarında artışlar, NO_x ve is emisyonlarında ise azalmalar tespit edilmiştir. Emisyonlardaki değişimi etanol yakıtının gizli buharlaşma ısısının yüksek olup düşük motor yüklerinde silindir içi maksimum basınç ve ısı salınım oranlarını azaltıyor olması ile açıklamışlardır.

Bu çalışmada, tek silindirli doğal emişli bir dizel motorun, tam yük koşulları altında, motor hızının 1200 d/dk'den 2400 d/dk'ye 200'er devir aralıklarla değiştirildiği durumlarda etanol fumigasyonu ile HCCI motor elde edilmiştir. HCCI motor yanması ve EGR uygulamaları ile elde edilen veriler STD veriler ile mukayese edilmiştir. Motor performans ve emisyon değerlerindeki değişimler sunulmuş, nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır.

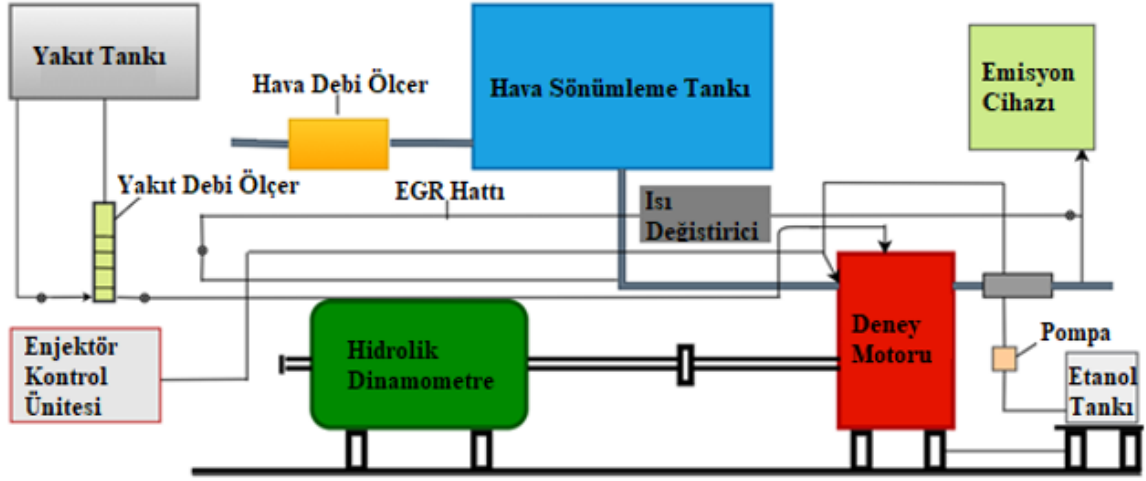
II. MATERYAL ve METOT

Deneyel çalışmada aşağıdaki Tablo 1' de özellikleri verilen Super Star marka dizel motoru kullanılmıştır. Deney motorundan farklı yük koşulları, çeşitli dizel-etanol yakıt karışımları kullanılması ve EGR uygulamaları sonucu elde edilen güç ve tork parametrelerinin saptanabilmesi için, motor gerekli shaft bağlantıları ile hidrolik dinamometreye bağlanmıştır. Test düzeneği şematik olarak Şekil 2' de resmedilmiştir.

Tablo 1. Test Motoru Özellikleri

Motor Tipi	Super Star
Piston Çapı	108 mm
Strok	100 mm
Silindir Sayısı	1
Strok Hacmi	0,92 dm ³
Güç, 2400 d/dk,	12 kW
Püskürtme avansı	32 °KMA
Enjektör Açma Basıncı	225 bar
Maksimum Devir	2800 d/dk
Soğutma Tipi	Su
Püskürtme Tipi	Direkt Enjeksiyon

Dinamometre koluna bağlanan load cell S tipi ve hassasiyeti 0,1 kg' dır. Motor yakıt sarfiyatı ölçümü hacimsel olarak ölçülmüştür. 25 cm³ ve 50 cm³ hacimlere taksimat edilmiş cam tüp içindeki dizel yakıtının tüketiminin süresi tutularak yakıt sarfiyatı elde edilmiştir. Dizel yakıtın yoğunluğu ve tespit edilen hacimsel yakıt tüketiminden hareketle kütleli yakıt debisi saptanmıştır. Deney çalışmada kullanılan yakıtların bazı özellikleri Tablo 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Deneysel Düzeneği Şeması

Etanol fumisasyonu, yakıt pompası, selenoid enjektör, yakıt tankı, basınç sınırlayıcı, manometre, mikrodenetleyici, üst ölü nokta sensörü ve abselit encoderden ve oluşan bir elektronik kontrollü püskürtme sistemi ile uygulanmıştır. Etanol yakıt hattı üzerinde bulunan regülatör aracılığıyla enjektör sabit 3 bar basınçlı etanol ile beslenmiştir.

Deneysel adımlarında uygulanan etanol yakıt miktarının tespit edilebilmesi amacıyla, deneylere başlanılmadan etanol yakıtı enjektörünün karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Elektronik kontrol ünitesi vasıtasıyla enjektör açık kalma süreleri ve enjektöre gönderilen elektrik voltaj değerleri ayarlanmış ve 500 tekrarlı püskürtme, pals, neticesinde püskürtülen yakıt miktarı 0,0001 g hassasiyetindeki hassas terazi ile ölçülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda enjektörün yakıt püskürtme karakteristiği yüksek bir doğrulukla tayin edilmiştir.

EGR uygulamalarında uygulanan EGR oranları, emme havası içeriğindeki yüzde CO₂ konsantrasyonları dikkate alınarak belirlenmiştir [28]. Emme havası emisyon ölçüm cihazına gönderilerek % CO₂' ler saptanmıştır. EGR hattı üzerinde kurulan ısı değiştiricisi, sıcak egzoz gazlarının soğutulmasını emme havasına gönderilmesine imkân sağlamıştır.

$$EGR(\%) = \frac{[(CO_2)_{emme\ manifoldu} - (CO_2)_{cevre}]}{[(CO_2)_{egzoz\ manifoldu}]} \times 100 \quad (1)$$

Emisyonların ölçümünde, NO emisyonları ölçümü için 5 ppm hassasiyetinde ölçüm yapabilen Bosh BEA 550 marka egzoz gazı analiz cihazı, is emisyonları ölçümü için 0,01 hassasiyetinde ölçüm yapabilen Bilsa Mode 5000 marka opacimeter kullanılmıştır.

Tablo 2. Yakıtlara Ait Bazı Özellikler [27]

Yakıt özellikleri	Dizel	Etanol
Özgül ağırlık (20 °C' de kg/m ³)	840	786
Viskozite (40 °C' de mm ² /s)	2.4	1.2
Setan sayısı	50	8
Alt ısı değer (kJ/kg)	43200	26900
Gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)	270	840
Oksijen (% ağırlık)	–	34.8
Alevlenme noktası (°C)	78	15

Deney öncesinde düzenekteki belirli ekipmanların kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Motor rejim sıcaklığına ulaşana denk boşta çalıştırılmıştır.

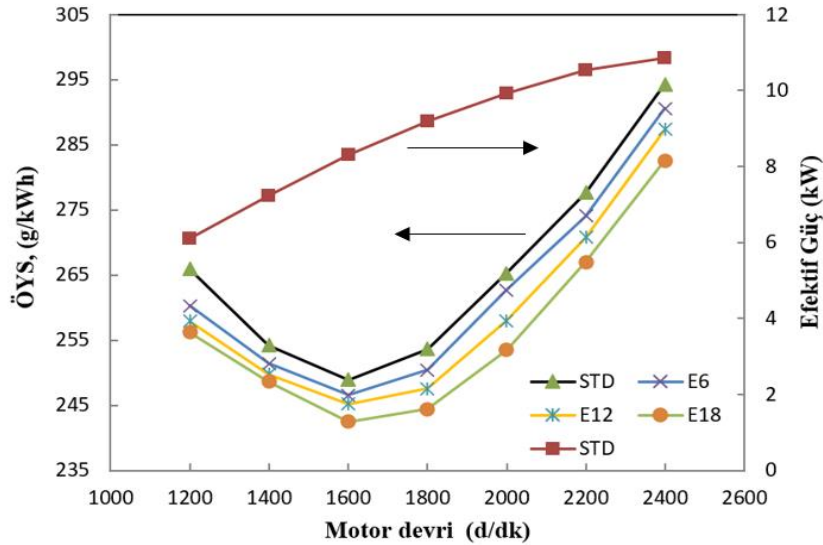
Deney adımları ilk olarak yalnız dizel yakıtı kullanımı ile tam yük şartları altında, motor devrinin 1200' den 2400' e kadar 200' er aralıkla belirlendiği koşullarda gerçekleştirilmiştir. Motor performans ve emisyonlarının motor hızına göre değişimlerinin resmedilmesi için belirlenen 7 motor hızından 1600 d/dk'de maksimum moment, 2400 d/dk'de ise maksimum güç elde edilmektedir. Belirli oranlardaki etanol fumigasyonu ile motor gücünde yaşanan artışlar, belirli miktarda dizel yakıtı kesilerek, yalnız dizel yakıtı ile elde edilen güç büyüklüklerine çekilmiştir. Aynı büyüklükte güç elde edilirken motor özgül yakıt sarfiyatı ve efektif verimindeki değişiklikler belirlenmiştir.

III. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

A. ETANOL FUMİGASYONUNUN MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ

A. 1. Özgül Yakıt Sarfiyatı

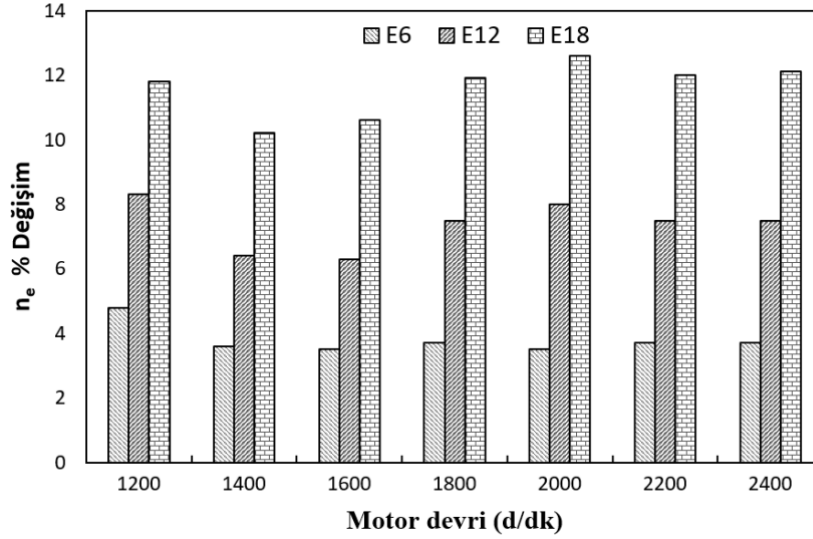
Tam yük koşulları altında, yalnız dizel yakıtı ile elde edilen motor güç değerleri, E6, E12 ve E18 etanol fumigasyonu uygulamalarında, dizel yakıtı kısılarak elde edilmiştir. Dizel ve dizel-etanol yakıt karışımlarının kullanımı ile elde edilen özgül yakıt sarfiyatındaki değişimler Şekil 3' de verilmiştir. Tüm motor devirlerinde ÖYS' nin karışımdaki etanol miktarının artması sonucu, azaldığı görülmektedir. Yakıt sarfiyatındaki iyileşmelerin özellikle 1800-2200 motor devirlerinde kayda değer olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Deney yakıtlarından elde edilen güç ve özgül yakıt sarfiyatı

A. 2. Efektif Verim

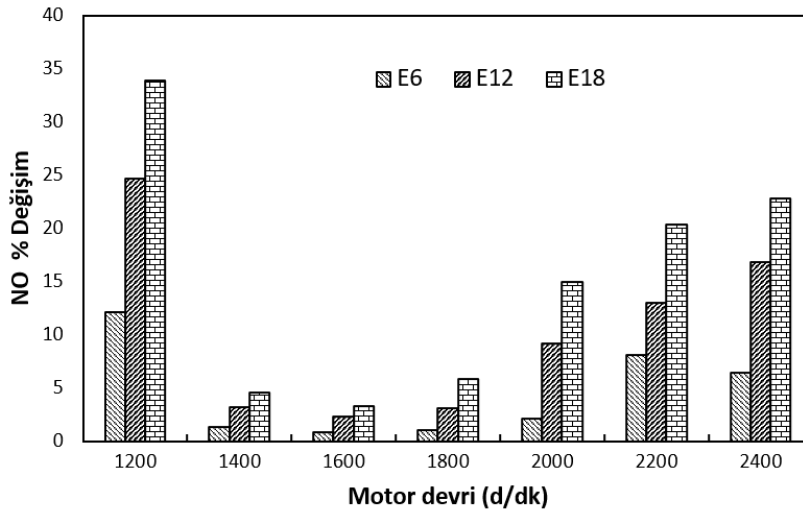
Eşit büyüklüklerde güç elde edilirken daha az yakıt tüketilmesi, doğal olarak, motor efektif veriminde artışlara sebep olmaktadır. Etanol fumigasyonu sonucu standart duruma kıyasla motor efektif verimindeki artışlar Şekil 4' te verilmektedir. Maksimum artış 2000 d/dk' de, E18 ile %12,6 oranında gerçekleşmiştir.



Şekil 4. Farklı oranlarda gerçekleştirilen etanol fumigasyonu ile efektif verimdeki değişimler

B. Etanol Fumigasyonunun NO ve İs Emisyonlarına Etkisi

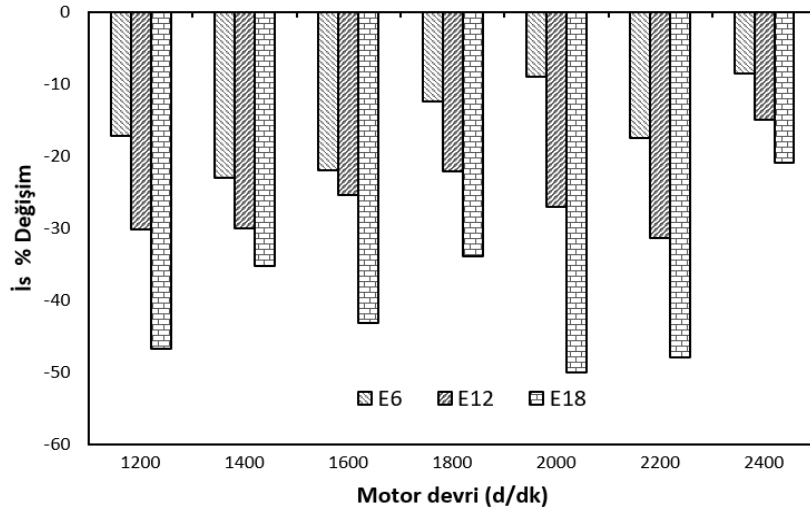
NO ve is emisyonları farklı uygulamalar neticesinde birbirine zıt davranış göstermektedir, yani, NO emisyonlarında artış yaşanırken, is emisyonlarında azalmaların gerçekleşmesi gibi. NO emisyonlarında silindir içi sıcaklıkların artması ve oksijen konsantrasyonunun artması sonucu artışlar gerçekleşmektedir. Etanol yakıtının oksijen içeriği bakımından zengin bir yakıt oluşu ve yüksek gizli buharlaşma ısısı neticesinde emme zamanında daha fazla havanın silindir içerisine alınmasını sağlaması, silindir içi oksijen konsantrasyonlarında belirgin bir artışa sebep olmaktadır. Bununla birlikte etanol yakıtının setan sayısının düşük olması tutuşma gecikmesini artırmaktadır. Bu yakıt hava karışımının daha yüksek basınç ve sıcaklıklarda yanmasına ve dolayısıyla NO emisyonlarında artışa yol açmaktadır. Şekil 5’ te üç farklı oranda uygulanan etanol fumigasyonunun, STD duruma kıyasla NO emisyonlarında meydana getirdiği değişimler sunulmuştur.



Şekil 5. Etanol fumigasyonu ile standart motor verilerine kıyasla NO emisyonlarındaki değişimler

İs emisyonları, yanmamış karbon partikülleri, oluşumundaki artışlar daha ziyade silindir içi oksijen konsantrasyonunun azalması veya uygun hava-yakıt karışımının gerçekleşemediği durumlarda gözlemlenmektedir. Etanol fumigasyonu ile silindir içi oksijen miktarı arttığı için yakıt yanma veriminde iyileşmeler yaşanmakta ve is emisyonlarında azalmalar gerçekleşmektedir. Şekil 6’ da farklı oranlarda uygulanan etanol fumigasyonu sonucu STD duruma göre is emisyonlarındaki değişimler

verilmiştir. Standart is emisyonu verilerine kıyasla belirgin bir şekilde azalmaların gerçekleştiği görülmektedir. 2000 d/d' da E18 ile is emisyonlarında yaklaşık %50' lik bir azalma tespit edilmiştir.

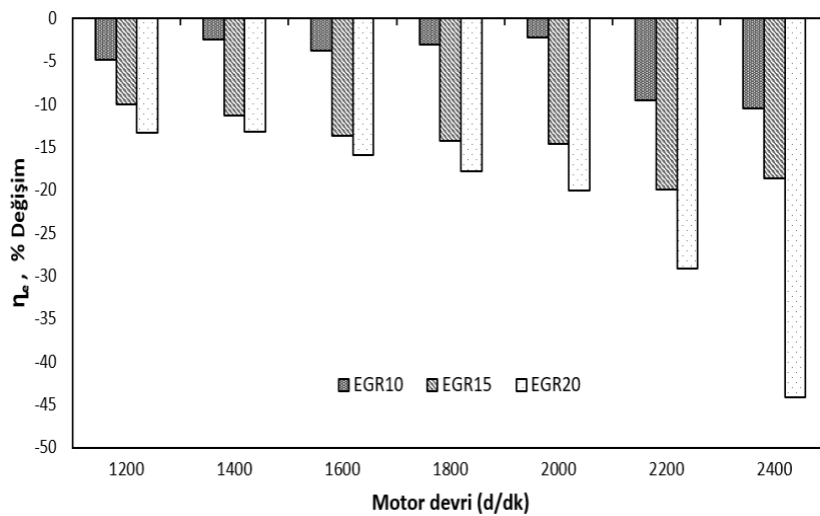


Şekil 6. Etanol fumigasyonu ile standart motor verilerine kıyasla is emisyonlarındaki değişimler

Farklı oranlarda gerçekleştirilen etanol fumigasyonları içerisinde E18' in motor performans ve emisyon parametreleri dikkate alındığında optimum olduğu belirlenmiştir. E18 ile motor performansında ve is emisyonlarında önemli iyileşmeler gerçekleşirken, NO emisyonlarında belirgin miktarda artışlar yaşanmıştır. Artan NO emisyonlarını indirmek amacıyla E18 ile çalışan motora EGR uygulaması yapılmıştır.

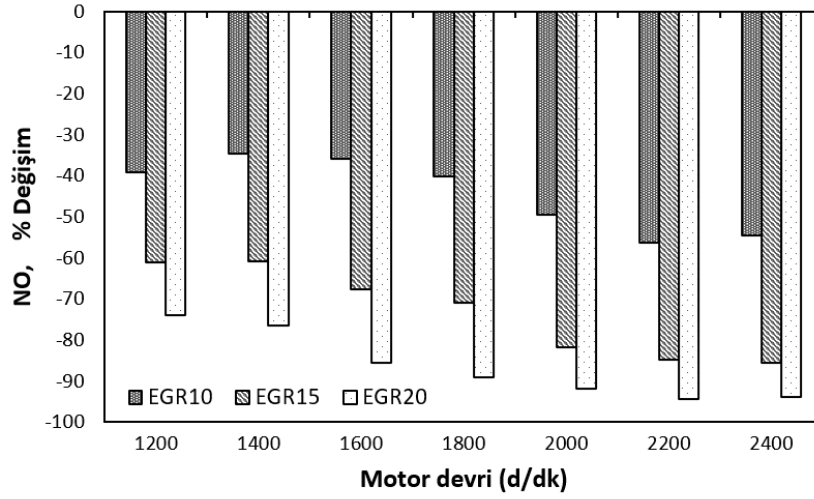
C. EGR' nin Motor Efektif Verimi, NO ve İs Emisyonlarına Etkisi

Farklı oranlarda gerçekleştirilen EGR uygulamalarının standart duruma kıyasla motor efektif veriminde meydana getirdiği değişimler Şekil 7' de verilmiştir. EGR uygulamaları neticesinde, silindir içi oksijen konsantrasyonlarında azalmalar yaşanmaktadır. Yanma odasında uygun hava-yakıt karışımı oluşmadığından yanma veriminde düşüşler gerçekleşmekte ve silindir içi maksimum sıcaklıklarda belirgin azalmalar kaydedilmektedir.



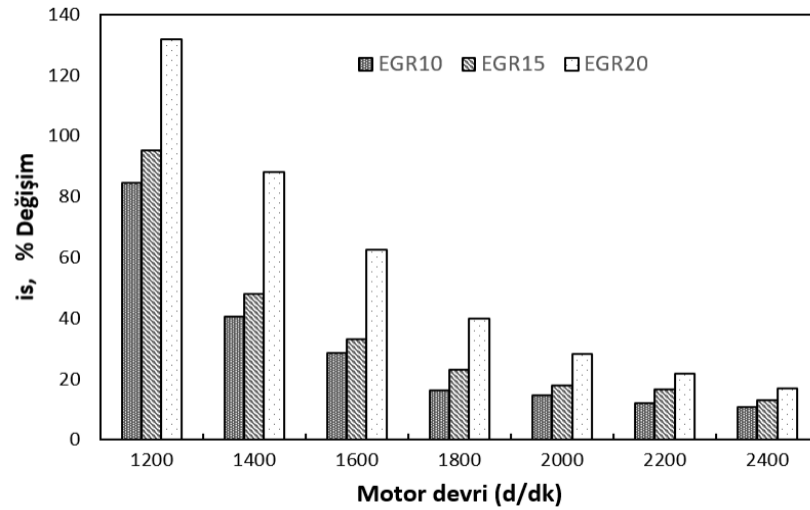
Şekil 7. EGR' nin efektif verime etkisi

EGR uygulamaları ile silindir içi zirve sıcaklıkların ve oksijen miktarlarının düşmesi NO emisyonlarının indirgenmesini sağlamaktadır. Şekil 8' de EGR uygulamaları ile NO emisyonlarındaki azalmalar görülmektedir. EGR oranı arttıkça NO emisyonlarında daha fazla indirgemeler gerçekleşmiştir.



Şekil 8. EGR uygulaması ile NO emisyonlarındaki değişimler

EGR uygulamaları neticesinde yanma verimindeki kötüşmeler is emisyonlarında artışlara neden olmuştur. Şekil 9’da EGR uygulamaları sonucu is emisyonlarındaki değişimler görülmektedir. Tüm motor devirlerinde artan EGR oranı ile birlikte is emisyonlarında da artışlar yaşanmıştır. EGR20 diğer iki oranda gerçekleştirilen EGR’ lere kıyasla is emisyonlarında belirgin artışlara neden olmuştur.

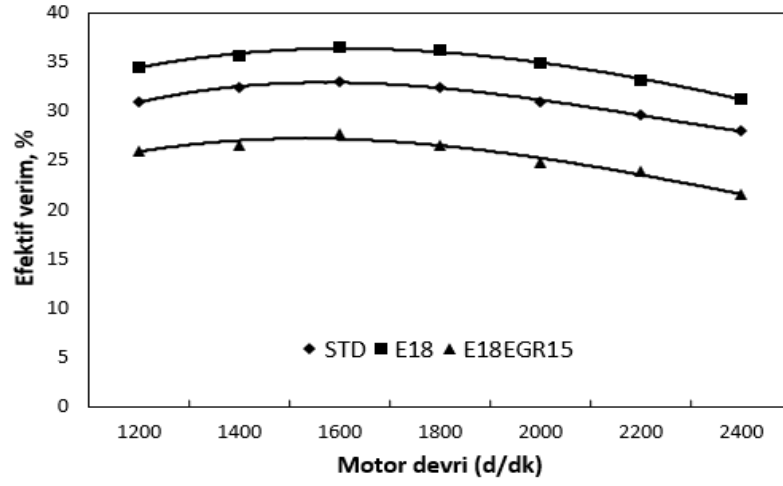
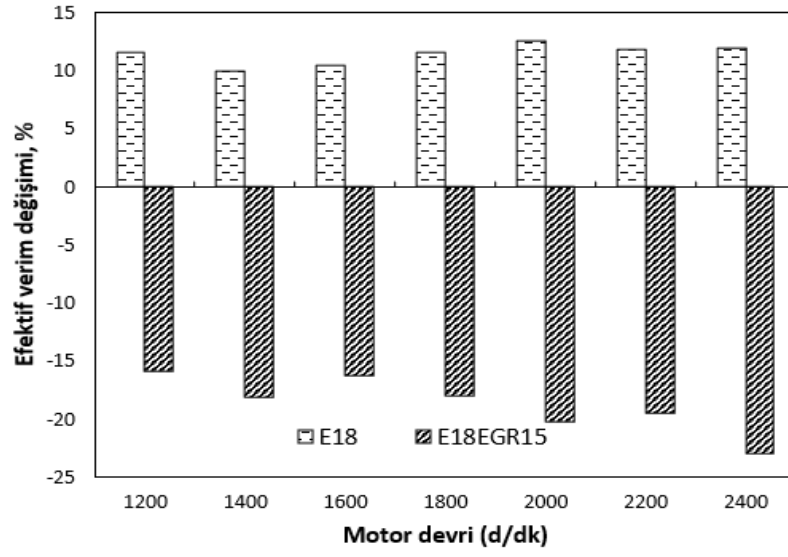


Şekil 9. EGR uygulaması sonucu is emisyonlarında gerçekleşen değişimler

EGR uygulamaları içinde motor performans ve emisyon parametreleri dikkate alındığında optimum EGR oranının EGR15 olduğu tespit edilmiştir. E18 ile NO emisyonlarında gerçekleşen artışların EGR15 ile indirgenmesi araştırılmıştır.

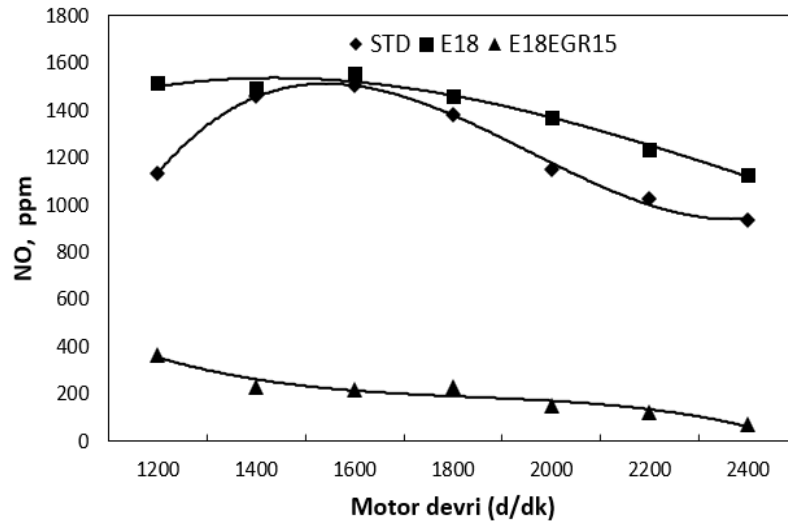
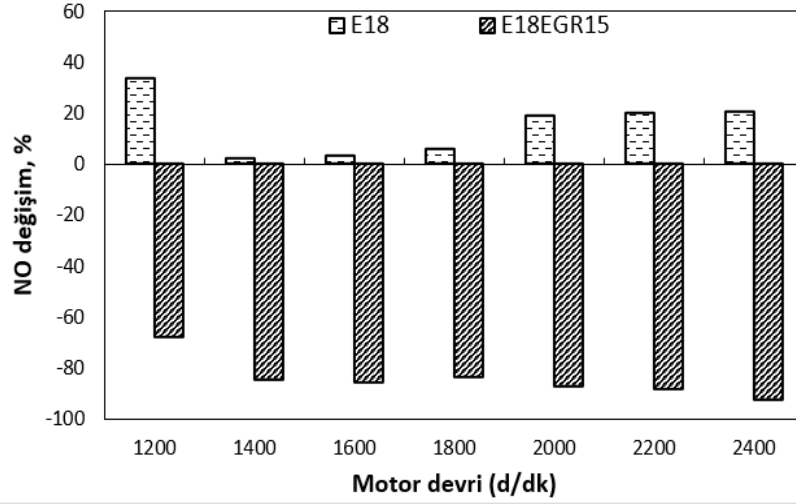
D. Etanol Fumigasyonu ve EGR Uygulamalarının Motor Performans ve Emisyonlara Etkisi

Etanol fumigasyonu ve EGR uygulamaları içerisinde optimum seçilmiş olan E18 ve EGR15’ in birlikte uygulanması neticesinde motor performans ve NO, is emisyonlarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Şekil 10’ da E18 ile motor efektif verimindeki iyileşmelerin E18EGR15 ile kaybedildiği görülmektedir. Etanol fumigasyonu ile elde edilen motor volumetrik verimindeki artışların ve yanma verimindeki iyileşmelerin EGR uygulaması ile belirgin bir şekilde azaldığı ve motor efektif veriminde kayıplara neden olduğu düşünülmektedir.



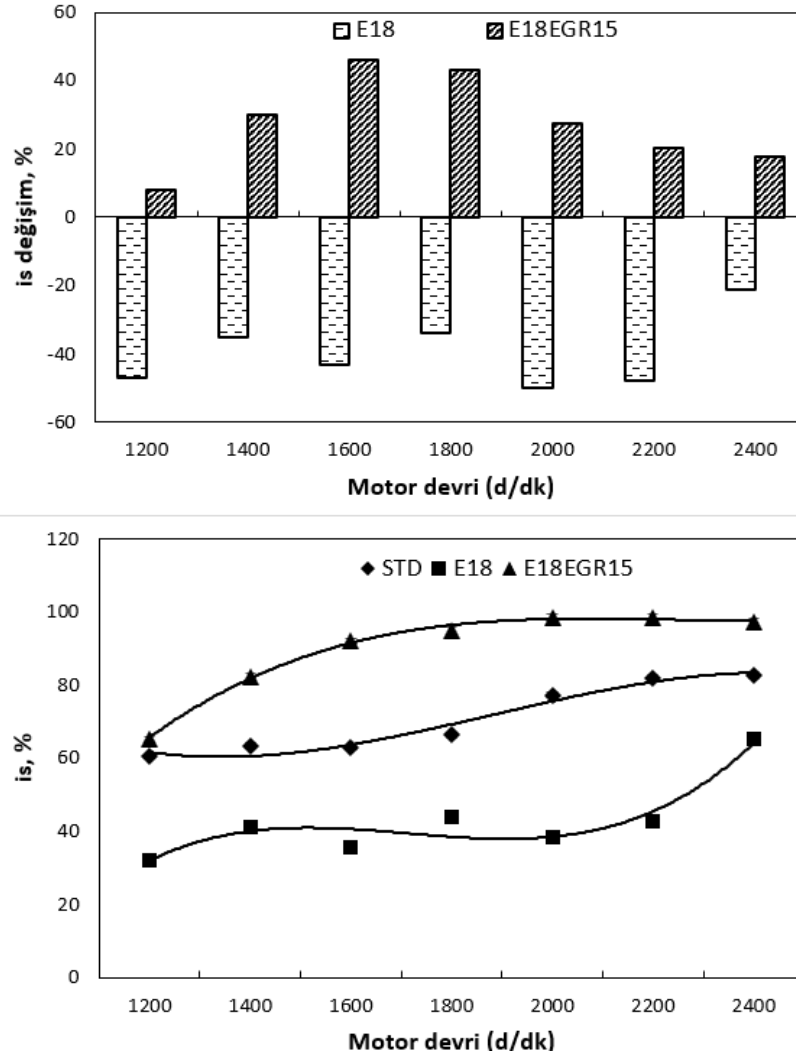
Şekil 10. STD, E18 ve E18EGR15 efektif verimler

Etanol fumigasyonu ile NO emisyonlarında yaşanan artışlar E18EGR15 ile radikal olarak indirgenmiştir. Zirve silindir içi sıcaklıkların düşmesinin ve silindir içi oksijen konsantrasyonlarının azalmasının NO emisyonları üzerinde indirgeyici bir davranış sergilediği literatürde yaygın bir biçimde kabul görmektedir. Şekil 11' de üç farklı çalışma koşulu için NO emisyonlarındaki dağılımlar verilmiştir.



Şekil 11. STD, E18 ve E18EGR15 NO emisyonları değişimi

Zirve is emisyonlarının E18EGR15 ile gerçekleştiği Şekil 12’ de gösterilmektedir. STD duruma kıyasla etanol fumigasyonu sonucu indirgenmiş olan is emisyonları EGR uygulaması ile yeniden artmıştır. 2000 ve 2200 motor devirlerinde is yüzdesi yaklaşık %98 olmuştur.



Şekil 12. STD, E18 ve E18EGR15 is emisyonları değişimi

IV. SONUÇ

Doğal emişli, direkt enjeksiyonlu, tek silindirli bir dizel motorunda etanol fumigasyonu ile HCCI motor yanması sağlanmıştır. HCCI yanması sonucu elde edilen motor performans ve emisyon verileri ile STD verileri mukayese edilmiştir. Etanol fumigasyonu sonucu artan NO emisyonlarının indirgenmesi için EGR uygulanmıştır. Deneysel çalışmamızdan elde ettiğimiz veriler ve literatürde yer alan benzer çalışmalar ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Üç farklı oranda gerçekleştirilen etanol uygulamalarının tümünde motor efektif veriminde artışların yaşandığı tespit edilmiştir. Etanolün emme havası sıcaklığını dūřürerek motor volumetrik verimini artırması ve etanol yakıtının oksijen zengin oluşu motor performansında iyileşmelere neden olan başlıca etmendirdir.
- Tüm motor devirlerinde etanol fumigasyonu ile NO emisyonlarında artışlar, is emisyonlarında ise azalmalar kaydedilmiştir. Alkol fumigasyonu sonucu silindir içi oksijen konsantrasyonlarında artışların yaşanması ve yanma veriminin iyileşmesi emisyonlardaki değişimlerin temel sebebidir.

- Etanol fumigasyonu ile NO emisyonlarında gerçekleşen artışlar EGR ile ciddi oranda azaltılmıştır. EGR uygulamaları motor yanma verimini kötüleştirdiği için is emisyonlarında artışlar yaşanırken motor efektif veriminde düşmeler tespit edilmiştir.
- Etanol fumigasyonu ile elde edilen HCCI motorda motor performans ve emisyonları için optimum dizel yakıt enjeksiyon avansı deneysel çalışmalar ile belirlenebilir.
- Emme havasının ön ısıtılması veya turbo şarj uygulamaları ile etanol yakıtın hava içerisinde daha homojen bir dağılım göstermesi sağlanabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Z.H. Zhang, C. S. Cheung and C. D. Yao, "Influence of fumigation methanol on the combustion and particulate emissions of a diesel engine," Fuel, vol. 111, pp. 442-448, 2013.
- [2] Q. Wang, L. Wei, W. Pan and C. Yao, "Investigation of operating range in a methanol fumigated diesel engine," Fuel, vol. 140, pp. 164-170, 2015.
- [3] Z. Şahin, O. Durgun ve M. Kurt, "Turboşarjlı Ön Yanma Odalı Bir Dizel Motorunda Etanol Fumigasyonunun Deneysel İncelenmesi," TÜBAV Bilim Dergisi, c. 2, s. 4, ss. 446-461, 2009.
- [4] Ö. Can, İ. Çelikten and N. Usta, "Effects of ethanol addition on performance and emissions of a turbocharged indirect injection Diesel engine running at different injection pressures," Energy Conversion and Management, vol. 45, no. 5, pp. 2429-2440, 2004.
- [5] H. B. Yaylamış, "Bir dizel motoruna metanol fumigasyonu ve egr uygulamasının etkilerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2019.
- [6] M. Özdemir, "Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye 2011.
- [7] H. Yücesu, Ö. Can, C. Çınar, H. Yavuzcan ve M. Önder, "Bir dizel motorunda kısmi ve tam HCCI uygulaması," 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Ankara, Türkiye 2011.
- [8] M. Gowtham, C.G. Mohan and R. Prakash, "Effect of n-butanol fumigation on the regulated and unregulated emission characteristics of a diesel engine," Fuel, vol. 242, pp. 84-95, 2019.
- [9] S. K. Verma, S. Gaur, T. Akram, Samsher, and A. Kumar "Performance characteristic of HCCI engine for different fuels" Materials Today, vol. 47, pp. 6030-6034, 2021.
- [10] A. Calam, S. Halis, B. Aydoğan, and C. Haşimoğlu, "Combustion characteristics of naphtha and n-heptane fuels in an auto-ignited HCCI engine at different lambda values and engine loads," Fuel, vol. 327, no. April, 2022
- [11] S. Çelebi, B. Düzcan, U. Demir, A. Uyumaz, and C. Haşimoğlu, "Effects of light naphtha utilization on engine performance in an homogeneous charged compression ignition engine," Fuel, vol. 306, no. July, 2021.
- [12] Ö. Can, "Bir DI dizel motorda etanol ön karışımli kısmi-HCCI uygulamasının yanma ve emisyon üzerine etkilerinin incelenmesi," Doktora tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.

- [13] A. Türkcan, "Direkt püskürtmeli HCCI bir motorda püskürtme parametrelerinin yanma ve emisyon karakteristiklerine etkisinin incelenmesi," Doktora tezi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye 2013.
- [14] G. R. Gawale and G. N. Srinivasulu, "Experimental investigation of ethanol/diesel and ethanol/biodiesel on dual fuel mode HCCI engine for different engine load conditions," *Fuel*, vol. 263, 2020.
- [15] J. A. ENG, "Characterization of pressure waves in HCCI combustion," SAE Technical Paper, 2002.
- [16] C. Baumgarten, "Mixture formation in internal combustion engines," Springer, Heat and Mass transfer series, Berlin, 253-278, 2006.
- [17] A. Tüylü, Kısmi homojen dolgulu direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunun deneysel ve numerik olarak incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2021.
- [18] Y. Çelebi and H. Aydın, "An overview on the light alcohol fuels in diesel engines," *Fuel*, vol. 236, pp. 890–911, 2019.
- [19] A. Calam, B. Aydoğan, and S. Halis, "The comparison of combustion, engine performance and emission characteristics of ethanol, methanol, fusel oil, butanol, isopropanol and naphtha with n-heptane blends on HCCI engine," *Fuel*, vol. 266, no. January, 2020.
- [20] C. Haşimoğlu, Y. İçingür ve H. Öğüt "Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi," *Turkish J. Eng. Environ. Sci.*, cilt 26, no. 2, ss. 127-135, 2002.
- [21] İ. SEZER, "Dizel Yakıtına Etanol ve Dietil Eter Katılmasının Motor Performansı ve Emisyonlara Etkilerinin Deneysel İncelenmesi," *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, cilt 37, no. 1, ss. 61-68, 2017.
- [22] F. Aydın, H. Öğüt, "Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions," *Renew. Energy*, vol. 103, pp. 688–694, 2017.
- [23] H. Liu, X. Wang, Y. Wu, X. Zhang, C. Jin and Z. Zheng "Effect of diesel/PODE/ethanol blends on combustion and emissions of a heavy duty diesel engine," *Fuel*, vol. 257, 2019.
- [24] C. D. Rakopoulos, D. C. Rakopoulos, G. M. Kosmadakis and R. G. Papagiannakis "Experimental comparative assessment of butanol or ethanol diesel-fuel extenders impact on combustion features, cyclic irregularity, and regulated emissions balance in heavy-duty diesel engine," *Energy*, vol. 174, pp. 1145–1157, 2019.
- [25] N. Yılmaz, "Comparative analysis of biodiesel-ethanol-diesel and biodiesel-methanol-diesel blends in a diesel engine," *Energy*, vol. 40, no. 1, pp. 210-213, 2012.
- [26] V. B. Pedrozo, L. May and H. Zhao "Exploring the mid-load potential of ethanol-diesel dual-fuel combustion with and without EGR," *Appl. Energy*, vol. 193, pp. 263–275, 2017.
- [27] S. Pandey, S. Bhurat and V. Chintala "Combustion and emissions behaviour assessment of a partially premixed charge compression ignition (PCCI) engine with diesel and fumigated ethanol," *Energy Procedia*, vol. 160, pp. 590–596, 2019.
- [28] Ç. Çangal, "Farklı yakıt karışımları ve emisyon azaltma teknikleri uygulanan bir dizel motorda optimum parametrelerin taguchi yöntemi ile belirlenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2019.