



## Dizel motorlu bir jeneratörün egzoz emisyonları üzerinde biyoetanol, n-butanol ve biyodizelin etkisi

**İsmail SEVEN\***

Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman  
[ismailseven2010@gmail.com](mailto:ismailseven2010@gmail.com), Tel: (488) 217 37 88

**Şehmus ALTUN**

Batman Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Batman

Geliş: 05.07.2017 , Kabul Tarihi: 15.01.2018

### Öz

*Bu çalışmada biyoetanol, n-butanol ve biyodizel gibi alternatif yakıtların dizel motorlu bir jeneratörün performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Biyoetanol, n-butanol ve biyodizel sırasıyla konvansiyonel dizel yakıtına hacimsel olarak %10, %16 ve %30 oranlarında katılarak benzer oksijen içeriğine sahip alternatif dizel yakıtları elde edilmiştir. Bu karışım yakıtları ve konvansiyonel dizel yakıtı bir 4-zamanlı ve 4-silindirli doğal emişli dizel motorlu jeneratör setinde sabit devir (1500 dev/dak) ve farklı yük şartlarında test edilmiştir.*

*DeneySEL sonuçlar biyodizel katkılı yakıt karışımı kullanımında özgül yakıt tüketiminde yaklaşık %10 oranında bir artış olduğunu, efektif verimin ise önemli bir şekilde değişmediğini göstermiştir. Bununla beraber alkol katkılı karışım yakıtları kullanımında özgül yakıt tüketimi petrol dizeli kullanımına göre %8-10 arasında daha düşük olurken; efektif verim ise yaklaşık %5 oranında artmıştır. Alternatif yakıtların kullanımında ortalama NO<sub>x</sub> emisyonları dizel kullanımına göre düşmüş ve alkol katkılı yakıtların kullanımında bu düşüş daha fazla olmuştur. Yanmamış HC emisyonlarında ise tersi bir durum gözlemlenmiştir. Biyodizel karışımı ile HC emisyonları %20 oranında daha düşük olurken; alkol katkılı yakıtların kullanımı ile yaklaşık %15 oranında artmıştır. Duman emisyonları düşük ve orta yük kademelerinde alternatif yakıtlar ile ölçülmeyecek derecede düşük çıkmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel; Biyoetanol; n-Butanol; Dizel Jeneratör

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Hızlı nüfus artışı ile artan enerji tüketimi günümüzde önemli bir sorun haline gelen çevre ve hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Dünya enerji tüketiminin büyük bir kısmının petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil enerji kaynaklarından karşılandığı göz önüne alındığında; bu kaynakların enerji üretiminde kullanımının azaltılması ve/veya daha etkin kullanımı çevre ve hava kirliliğine olumlu yönde katkı sağlayacaktır.

Petrol kökenli yakıtların yoğun bir şekilde kullanıldığı ulaştırma ve taşımacılık sektörlerinde yüksek verimleri ve dayanıklılıkları nedeni ile çoğunlukla dizel motorlar kullanılmaktadır. Bu durum son yıllarda petrol kökenli dizel yakıt tüketiminin artmasına neden olmuştur. Örneğin, 2014 yılında petrol kökenli yakıtların satışları 2013'e göre %4.1 artarak 28.5 milyon m<sup>3</sup> olmuştur (Anonim, 2015a). Bu yakıtlar arasında %73.26'lık tüketim ile en büyük paya sahip olan dizel yakıtları tüketimi 2014'de bir önceki yıla göre %4.2 artarak 20.9 milyon m<sup>3</sup> olmuştur (Anonim, 2015a). Öte yandan, günümüzde en önemli çevre sorunlarından biri olarak kabul edilen küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının büyük bir kısmı fosil enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklandığı bilinmektedir (Karagöz, 2013). Petrol kökenli dizel yakıtların kullanıldığı dizel motorlarda çoğunlukla azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve partikül madde (PM) emisyonları oluşmaktadır. Dizel motorlarda petrol esaslı yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının azaltılması için günümüzde alternatif yakıtların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Şanlı ve Çanakçı, 2005). Alternatif kaynaklar içerisinde en önemli bir potansiyele sahip olanlardan biri biyoyakıtlar olup; üretimi ve kullanımı her geçen yıl artmaktadır. 2004 yılında dünya biyoyakıt üretimi yaklaşık 6 milyon ton iken; 2014 yılına gelindiğinde 30 milyon ton civarında olmuştur (Anonymous, 2015). Ayrıca biyoyakıtlar ile ilgili yapılan projeksiyonlarda kullanımının

artmaya devam edeceği ve 2023 yılında 200 milyon ton dolaylarına ulaşması beklenmektedir (navigantresearch.com). Taşımacılık sektöründe de yaygınlaşan biyoyakıt kullanımı; 2010 yılında yaklaşık %3 iken; 2013 yılında ise %4 dolaylarına ulaşmıştır (iea.org/). 2015 yılında Brezilyada taşımacılık sektöründe kullanılan yakıtların yaklaşık %23'ü, ABD'de %5'i ve AB'de ise %4'ü biyoyakıtlardan karşılanmıştır (iea.org/). Taşımacılık sektöründe çoğunlukla biyodizel ve biyoetanol gibi sıvı biyoyakıtlar kullanılmaktadır. 2013 yılında dünya genelinde 88 milyar litre etanol üretilirken, biyodizel üretimi 23 milyar litre kadar olmuştur (Üstün ve Genç, 2015).

Yenilenebilir kaynaklardan (bitkisel/hayvansal yağlar gibi) transesterifikasyon yöntemi ile üretilen biyodizel, dizel motorlarda kullanılırken; biyokütle kaynaklarından elde edilen biyoetanol hem dizel hem de benzinli motorlarda kullanılabilir. Biyoetanol; biyodizel üretiminde alkol olarak değerlendirilebileceği gibi direk dizel yakıtlara (motorin) katılarak da kullanılabilir (Usta vd., 2005). Butanolün yakıt özelliklerinin dizel özelliklerine yakın olması ve her oranda dizel yakıtı ile etanole göre daha iyi karışım oluşturması butanolü etanole göre daha fazla tercih ettirmiştir (Armas vd., 2012; Lapuerta vd., 2010a; Lapuerta vd., 2010b). Alternatif yakıt olarak biyodizel-dizel karışımının kullanılması durumunda ise motor performansında dizel yakıtına göre farkın çok az olduğu gözlemlenmiştir. Bu karışımların kullanımında NO<sub>x</sub> emisyonlarında artış olurken; CO ve HC'lerde azalma olduğu bildirilmiştir. Ancak yukarıda verilen literatür çalışmalarından da anlaşılacağı üzere bu yakıt karışımlarının dizel motorlu jeneratör setlerinde kullanılmaları durumunda özellikle yakıt tüketimi ve yanmamış HC emisyonlarında farklı sonuçlar bildirilmiştir.

Bu çalışmada günümüzde dizel motorlar için dikkate alınan en önemli alternatif yakıtlar olan biyodizel ve alkol yakıtların dizel motorlu bir

jeneratör setinde performans ve egzoz emisyon karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Alternatif yakıt olarak biyodizel, biyoetanol ve n-butanol'ün petrol türevi dizel yakıtı ile uygulamada kullanılan karışım oranları dikkate alınarak hazırlanan karışım yakıtları kullanılmıştır.

### **Dizel Motorlu Jeneratör Setleri**

Buhar, gaz, su ve rüzgâr türbinleri ile içten yanmalı motorlar gibi kaynaklardan elde edilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makineler jeneratör denilmektedir (en.wikipedia.org). Günümüzde kullanılan elektromanyetik jeneratörlerin prensipleri 1831-32 yılları arasında Michael Faraday tarafından bulunmuştur (solar-academy.com).

Birim yakıt başına elde edilen güç daha fazla ve benzine göre daha ucuz bir şekilde temin edilebildiği için birçok endüstriyel sektörde dizel motorlu jeneratörler tercih edilmektedir. Bu jeneratörler konutlarda kullanılabileceği gibi endüstriyel tesisler, hastaneler gibi daha büyük yerlerde de asıl güç kaynağı veya yedek güç kaynağı olarak istenilen büyüklüklerde tasarlanabilirler. 5-30 kW arasında düşük; 30 kW-6 MW güç üreten jeneratörlerde vardır (dieselserviceandsupply.com).

Çok çeşitli alanlarda kullanılan dizel jeneratörler, elektriğin olmadığı ve elektrik hatlarının çekilemediği yerlerde daha fazla kullanılmaktadır. Bunun yanında elektrikle kesintisiz çalışması gereken birçok cihaz, üretimde sürekliliğin gerektiği fabrikalar, atölyeler gibi yerlerde elektrik kesintilerine karşı, yedek elektrik kaynağı olarak kullanılmakta ayrıca maden ocakları, hastaneler, tarım işletmeleri gibi birçok alanda kullanılan önemli bir enerji dönüşüm makinesidir (Korkmaz, 2010). Dizel yakıtının benzin yakıtına göre daha ucuz olması dizel motorlu jeneratör setleri içinde geçerli olduğundan günümüzde dizel jeneratörlerin kullanımını benzinli jeneratörlerden daha yaygındır (Korkmaz, 2011).

## **Materyal ve Yöntem**

### **Test Yakıtları ve Özellikleri**

Bu çalışmada Batmanda bulunan bir akaryakıt istasyonundan temin edilen petrol türevi düşük kükürlü dizel yakıtı (DY) referans dizel yakıtı olarak kullanılmış ve bu yakıt kullanımından elde edilen veriler karşılaştırma için esas alınmıştır. Dizel motorlu jeneratör setinde DY'na alternatif olarak test edilecek E10, Bu16 ve B30 alternatif yakıtlarının hazırlanması için DY, biyoetanol, n-butanol ve biyodizel yakıtları kullanılmıştır. %99.95 saflıkta ve mısırın fermantasyonundan elde edilen biyoetanol, yerel bir üretim şirketinden (Adana, Türkiye) temin edilmiştir. Ayrıca; analitik derece Tekkim marka %99.0 saflıkta n-butanol ile pamuk yağı esaslı atık kızartma yağlarından laboratuvar şartlarında transesterifikasyon reaksiyonu ile üretilen biyodizel kullanılmıştır. Biyoetanol, n-butanol ve biyodizel sırasıyla referans yakıt ile hacimsel olarak %10, %16 ve %30 oranlarında karıştırılarak E10, Bu16 ve B30 alternatif dizel yakıtları elde edilmiştir. Test yakıtları ile ilgili daha ayrıntılı bilgi Seven (2017)'de verilmiştir. Hacimsel olarak %10 oranında biyeetanolün DY ile karıştırılması ile elde edilen E10; geniş bir sıcaklık aralığında karışım stabilitesi sağladığı (Lapuerta vd., 2007), ve ayrıca böyle düşük bir miktarda biyoetanol kullanımının motorda değişiklik gerektirmemesi ile aynı miktardaki biyodizel eklenmesinden daha fazla oksijen sağlaması gibi nedenlerden dolayı seçilmiştir. Bununla beraber son zamanlarda etanolden daha iyi bir alternatif olarak gösterilen butanol; E10 ile aynı oksijen içeriği elde etmek için hacimsel olarak %16 oranında dizele katılmış ve Bu16 olarak gösterilmiştir (Armas vd., 2012; Lapuerta vd., 2010b). Uygulamalarda çoğunlukla düşük oranlarda biyodizel kullanılmasına ve genellikle hacimsel olarak %20 biyodizel oranının tercih edilmesine karşın; alkol-dizel karışımlarına yakın oksijen içeriği elde etmek için hacimsel olarak %30 oranında biyodizel dizel yakıtı katılmış ve B30 olarak adlandırılmıştır. Bu oranın Avrupa'daki yakıt istasyonlarında da kullanılıyor olmasının yanında (Lapuerta vd., 2010b), hem yakıt özellikleri ve hem de motorda kullanımında

değişiklik gerektirmemesi açısından petrol dizeline önemli bir alternatif olmaktadır (Ali vd., 2016; Millo vd., 2015). Alternatif yakıtların karakteristik özelliklerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir (Giakoumis vd., 2015; Jin vd., 2011; Usta vd., 2005; Rakopoulos vd., 2010; Rakopoulos vd., 2015).

**Tablo 1.** Alternatif yakıtların karakteristik özelliklerinin dizel yakıtı ile karşılaştırılması

Özellikler	Dizel	Biyodizel	n-Butanol	Biyometanol
H/Y Oranı	15	12.5	11.2	9
Parlama Noktası (°C)	70	174	37	13
Viskozite (mm <sup>2</sup> /sn)	2.66	4.47	2.24	1.2
Setan Sayısı	50	54.9	25	8
Oksijen	0	11	21.6	34.8
Isıl Değer	43	37	33	26.8
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	835	881	810	789
Gizli Buharlaşma Isısı (kJ/kg)	250	230	585	840

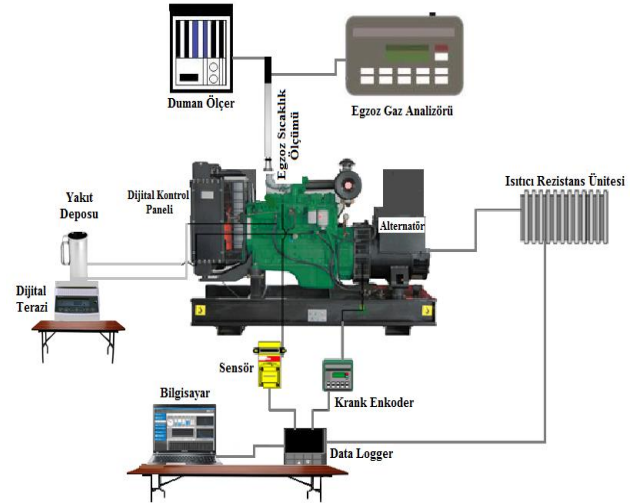
### Motor Deney Seti

Batman Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü Motor Laboratuvarında bulunan 4 silindirli ve 4 zamanlı, direkt püskürtmeli ve doğal emişli dizel motorlu jeneratör setinde 230/400 V fırçasız senkron alternatör ile kontrol ve çalıştırma için gerekli araçlar bulunmaktadır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Motorun yüklenmesi jeneratörün ürettiği elektrik enerjisini tüketen rezistans modülü ile sağlanmış ve çıkış gücü set üzerine bütünleşmiş ampermetre ve voltmetrelerin dijital gösterge üzerinde gösterdiği değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 1'de deney setinin şematik resmi gösterilmiştir. Ölçüm yapmadan önce her bir test için ilgili yakıt ile motor kararlı hale gelene kadar çalıştırılmıştır. Kararlı çalışma şartları için motor soğutma suyu sıcaklığı ile egzoz gaz sıcaklığı sürekli kontrol edilerek değişimler gözlemlenmiştir. Kararlı çalışma şartlarında her bir test yakıtı ile motor 1500 dev/dak sabit hızda ve bu devirdeki maksimum

güç çıkışının yaklaşık %20, %40 ve %60'na karşılık gelen üç farklı güç çıkışında (3.6 kW, 7 kW ve 10.2 kW) deneyler yapılmıştır. Deneyler sırasında ortam sıcaklığı ve nemi dijital nem ve sıcaklık ölçer ile soğutma sıvısı sıcaklığı ise kontrol panelinde bulunan göstergeden sürekli olarak kontrol edilmiştir. Egzoz gaz emisyonları ve duman koyuluğunu ölçmek için CAPELEC marka CAP 3200 model analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile yanmamış HC ve NO<sub>x</sub> emisyonları 1 ppm, duman koyuluğu ise %0.01 hassasiyet ile ölçülebilmektedir.

**Tablo 2.** Deney motorunun teknik özellikleri

Marka ve model	Kraft-4DW81-23D
Çıkış Gücü	1500 dev/dk'da 18 kW
Çap x Strok (mm)	85x100
Silindir Sayısı	4
Püskürtme Sistemi	Direkt
Sıkıştırma Oranı	17:1
Enjektör Memesi Sayısı	4



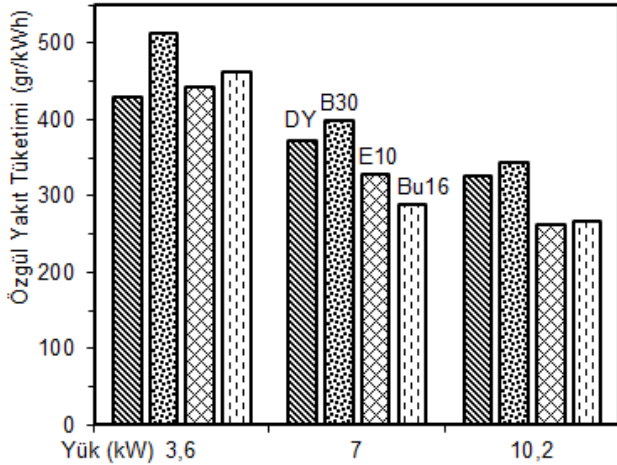
*Şekil 1: Deney düzeneğinin şematik görünümü*

Yakıt tüketimi 1 g hassasiyetli bir elektronik terazi ve dijital süreölçer ile kütleli olarak ölçülmüştür. Motor performansının değerlendirilebilmesi için ölçülen çıkış gücü ve yakıt tüketimi ile birlikte yakıtların ısıl değerleri kullanılarak özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve efektif verim değerleri hesaplanmıştır.

### Sonuçlar ve Tartışma

Şekil 2'de deney yakıtlarının özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerlerinin yük ile değişimi

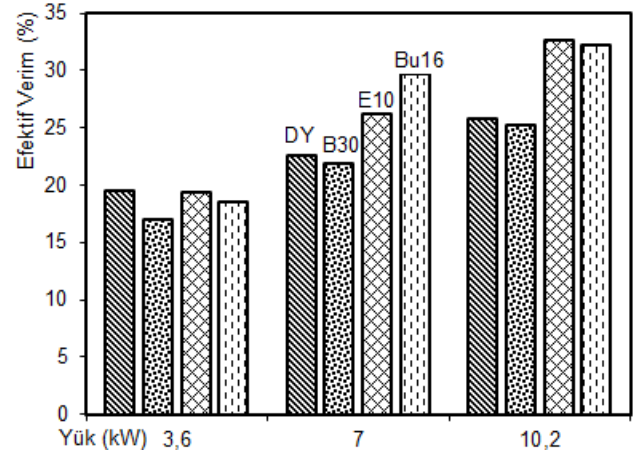
gösterilmiştir. Düşük yük şartlarında alternatif yakıt kullanımında ÖYT DY kullanımına göre artarken orta ve yüksek yük kademelerinde alkol karışımı yakıtların kullanımında bir miktar azalmıştır. Bununla beraber B30 kullanımında her yük kademesinde DY kullanımına göre ÖYT artmıştır. 3.6 kW yükte ÖYT DY kullanımına göre B30 için %10, E10 için %3 ve Bu16 için %7.5 oranında daha fazla çıkmıştır. Ancak 7 kW ve 10.2 kW yük şartlarında B30 kullanımında dizel yakıtına göre ÖYT %7 ve %5.5 artarken; E10 ve Bu16 kullanımında sırasıyla %12.1-%19.6 ve %22.6-%18.4 oranında düşmüştür. Alternatif yakıtların dizel yakıtına göre ortalama ÖYT değerlerinde B30 için yaklaşık %11 artış olurken; E10 ve Bu16 için yaklaşık sırasıyla %8.5 ve %10 oranında düşüş olmuştur. Teorik olarak petrol dizeline göre düşük ısıl değere sahip yakıt karışımlarının aynı güç çıkışı için daha yüksek yakıt tüketimine sahip olmaları gerekmektedir. Ancak bu çalışmada görüldüğü gibi biyodizel katkılı yakıt karışımı kullanımında ÖYT artarken; alkol katkılı yakıt karışımları durumunda ise ÖYT’de bir düşüş olmuştur. Bu sonuç düşük oranda alkol katılması durumunda yüksek oksijen içeriğinden dolayı yanmanın iyileşmesine bağlanabilir.



Şekil 2. Deney yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinin yük ile değişimi.

Deney yakıtlarının efektif verimlerinin farklı yük kademelerindeki değişimleri Şekil 3’te verilmiştir. B30 alternatif yakıtının efektif verimi dizel yakıtına göre bütün yük kademelerinde daha düşük olmuştur. E10 ve

Bu16 yakıtlarının efektif verim değerleri ise 3.6 kW yükte DY ile karşılaştırıldığında daha düşük olurken; orta ve yüksek yük kademelerinde daha yüksek çıkmıştır. 7 kW ve 10.2 kW yük şartlarında dizel yakıtına göre efektif verim E10 kullanımında sırasıyla yaklaşık %3.6-%7 ve Bu16 %7-%6.5 oranında artış olmuştur. Görüldüğü gibi dizel yakıtına alkol ilavesi efektif verimi artırmıştır. Biyodizel katıldığında ise özellikle yüksek yüklerde önemli bir değişim olmamakla birlikte genel olarak bir miktar düşüş olmuştur. Bütün yük kademelerinde en düşük efektif verim B30 yakıtı kullanımında olurken en yüksek ise 3.6 kW yükte DY kullanımında, 7 kW yükte Bu16 ve 10.2 kW yükte ise E10 kullanımında elde edilmiştir. Ortalama efektif verim değerleri DY ile karşılaştırıldığında B30 için %1.27 oranında düşerken; E10 ve Bu16 yakıtları için ise sırasıyla %3.4 ve %4.19 oranlarında artmıştır. Alkol katkılı yakıt karışımlarının kullanılması ile efektif verimdeki iyileşme alkol içeriğinden dolayı yüksek gizli buharlaşma ısısının silindirdeki ısı kayıplarını azaltması ve düşük setan sayısının sebep olduğu uzun tutuşma gecikmesi sonucunda ön karışimli yanma safhasında daha fazla yakıtın yanmış olmasına bağlanabilir (Di vd., 2009; Li vd., 2005; Hansen vd., 2005).

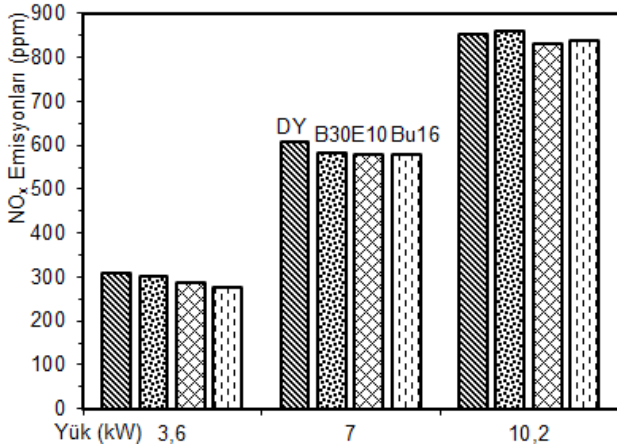


Şekil 3. Deney yakıtlarının efektif verim değerlerinin yük ile değişimi.

Farklı yük şartlarında azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının değişimi Şekil 4’te gösterilmiştir. Düşük ve orta yük kademelerinde alternatif yakıt kullanımında NO<sub>x</sub> emisyonları



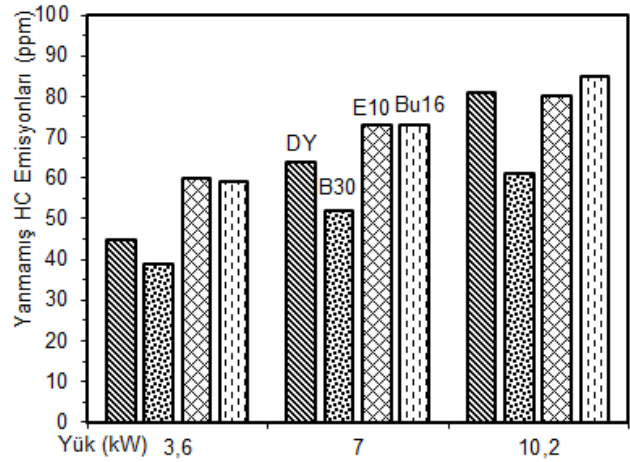
DY kullanımına göre bir miktar azalırken; yüksek yük şartlarında B30 kullanımında bir miktar artmıştır. 3.6 kW yükte NO<sub>x</sub> DY kullanımına göre B30 için %2, E10 için %7 ve Bu16 için %11 oranında azalmıştır. 7 kW yük kademesinde ise NO<sub>x</sub> alternatif yakıt kullanımında DY kullanımına göre %4-5 oranında daha düşük olmuştur. Maksimum yükte ise B30 yakıtı kullanımında DY kullanımına benzer NO<sub>x</sub> elde edilirken; E10 ve Bu16 kullanımında ise sırasıyla %3-%2 oranında düşüş olduğu gözlenmiştir. Ortalama NO<sub>x</sub> değerlerinde ise B30, E10 ve Bu16 için DY değerlerine göre sırasıyla 9 ppm, 23 ppm ve 26 ppm kadar bir azalma olmuştur. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere dizel yakıtına biyodizel katılması ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında önemli değişim olmamıştır. Ancak; alkol ilavesi ile bir miktar düşüş olmuştur. Alternatif yakıtlar kendi aralarında karşılaştırıldığında ise en yüksek NO<sub>x</sub> emisyonlarının B30 yakıtı kullanımında elde edildiği görülmüştür.



Şekil 4. Deneysel yakıtların NO<sub>x</sub> değerlerinin yük ile değişimi.

Test yakıtlarının yanmamış HC emisyonlarının yüke göre değişimleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Bütün yük kademelerinde B30 kullanıldığında DY kullanımına göre HC'ler düşerken; alkol karışimli yakıtlar kullanıldığında artmıştır. Ortalama HC emisyonları B30 için yaklaşık %20 oranında daha düşük ancak E10 ve Bu16 için ise sırasıyla %11 ve %15 oranında yüksek olmuştur. Alptekin (2013) yaptığı çalışmada etanol içeren karışımlarda etanol miktarının artması ile birlikte HC emisyonunun arttığını

bildirmiştir. Benzer şekilde Sukjit vd., (2012)'de etanol ve butanol karışımlarının kullanılması ile aynı oksijen içeriğine sahip biyodizel karışımı kullanımına göre toplam HC emisyonlarında artış olduğunu belirtmiştir. Alkol katkılı yakıt karışımlarının kullanımında yanmamış HC emisyonlarındaki artışın sebebi alkol yakıtlarının sahip olduğu yüksek gizli buharlaşma ısısı olabilir (Lapuerta vd., 2008; Li vd., 2005). Atomizasyon ve buharlaşmanın daha az elverişli olduğu düşük yük şartlarında alkol katkılı yakıt karışımlarının kullanımı ile yanmamış HC emisyonlarının daha fazla artması ile yüksek yük kademelerinde artışın daha az olması bu düşüncüyü kuvvetlendirmektedir.

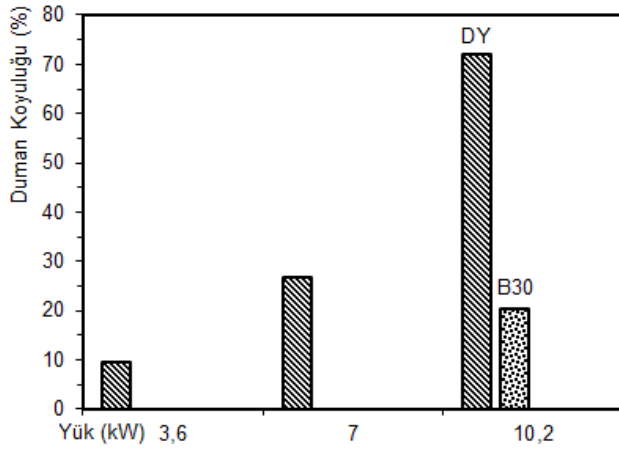


Şekil 5. Deneysel yakıtların HC değerlerinin yük ile değişimi.

Şekil 6'da test yakıtları için sabit devir ve değişik yüklerde ölçülen duman koyuluk değerleri gösterilmiştir. Duman koyuluğu yük artışı ile DY kullanımına göre alternatif yakıt kullanımında düşük ve orta yük kademelerinde yaklaşık %0 gibi düşük seviyelerde olurken; yüksek yükte B30 ile %52 oranında düşüş olmuştur. Yük kademesindeki değişime bağlı olarak duman koyuluğu artışı en fazla DY ile olurken E10 yakıtında hemen hemen hiç artış olmamış ancak Bu16 ile yüksek yük kademesinde çok küçük bir artış görülmüştür. Ortalama duman koyuluğu ise DY yerine alternatif yakıt kullanıldığında B30 yakıtı için %81 oranında; E10 veya Bu16 yakıtı kullanımında ise yaklaşık %99 oranında düşük

olmuştur. Benzer bir karşılaştırma B30 yakıtı yerine E10 ve Bu16 yakıtı kullanımında görülmektedir.

Duman koyuluğunun DY kullanımına göre düşük çıkmasında en önemli faktör yakıt karışımlarının oksijen içeriğidir. Bununla beraber yakıt karışımlarının benzer oksijen içeriğine sahip olmalarına karşın alkol içeren karışımların duman emisyonlarının daha düşük olması moleküler yapı gibi bazı diğer faktörlerin de etkili olduğunu göstermektedir. Nitekim; alkol karışımlarının duman emisyonlarının aynı oksijen içeriğine sahip biyodizel-dizel karışımlarına göre daha düşük olduğunu Sukjit vd., (2012) tarafından da bildirilmiş ve çalışmada yakıt moleküllerinin farklı yapıda olmasının bunun sebebi olabileceğini belirtmiştir (Pepiot-Desjardins vd., 2008; Cheng vd., 2002). Sukjit vd., (2012)'nin çalışmada bir karbon atomunun iki oksijen atomuna bağlandığı ester yapıdaki biyodizel durumuna karşın bir oksijen atomunun bir karbon atomuna bağlanmış olduğu alkol durumunun duman oluşumunu önlemede daha etkili olduğu öne sürülmüştür (Westbrook vd., 2006).



Şekil 6. Deney yakıtlarının duman koyuluğu değerlerinin yük ile değişimi.

## Sonuçlar

Tüm test yakıtları için yükün artmasıyla ÖYT azalmış ve B30 ÖYT DY'na göre daha yüksek çıkmıştır. Bununla beraber, E10 ve Bu16 kullanımı ile özgül yakıt tüketimi daha düşük olmuştur. Benzer bir durum efektif verim içinde

gözlenmiştir. Alternatif yakıt karışımlarının NO<sub>x</sub> emisyonu değerleri DY'na göre biraz daha düşük olmuştur. B30 kullanımında yanmamış HC emisyonlarının DY'na göre belirgin bir şekilde azalmış olmasının yanında; E10 ve Bu16 kullanımında yanmamış HC emisyonları artmıştır. Alternatif yakıtların aynı oksijen içeriğine sahip oldukları göz önüne alındığında bu durum alkol yakıtlarının yüksek gizli buharlaşma ısısına bağlanabilir. Duman koyuluğu değerlerinde ise; alternatif yakıt karışımlarının kullanımı ile dizel yakıtı kullanımına göre çok yüksek bir oranda düşüş olmuştur. Düşük ve orta yüklerde hemen hemen ölçülmeyecek derecede düşük olan duman emisyonları yüksek yük kademesinde B30 kullanımında bir miktar artmıştır. Alternatif yakıt karışımlarının benzer oksijen içeriğine sahip olmalarına karşın özellikle yüksek yüklerde farklı duman emisyonu üretmeleri yakıtların yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada kullanılan dizel motorlu jeneratör seti için petrol kökenli dizel yakıtı yerine düşük oranlarda alkol katkılı dizel yakıt karışımlarının kullanımı performans ve duman emisyonları açısından olumlu sonuçlar göstermiştir.

## Öneriler

Dizel motorlu bir jeneratör setinde yapılan bu çalışma sonucunda; biyoetanol, butanol ve biyodizel gibi alternatif yakıtların petrol dizeli kullanılan jeneratörlerde emisyonları azaltmak için umut verici alternatif yakıtlar olduğu söylenebilir. Ancak alkol katkılı yakıt karışımlarının kullanılması ile özellikle yanmamış HC emisyonlarının artması durumunun daha iyi anlaşılabilmesi için farklı karışım oranları ile biyodizel-alkol ve dizel içeren üçlü yakıt karışımlarının denenmesi büyük önem taşımaktadır.

## Kaynaklar

- Ali, O.M., Mamat, R., Abdullah, N.R., Abdullah, A.A., (2016). Analysis of blended fuel properties and engine performance with palm biodiesel-diesel blended, *Fuel*, 86, 59-67.
- Alptekin, E., (2013). Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve bir dizel motorda kullanımının incelenmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, Sayfa:182.
- Altun, Ş., (2014). Effect of the degree of unsaturation of biodiesel fuels on the exhaust emissions of a diesel power generator, *Fuel*, 117, 450–457
- Anonim (2015). 2014 Yılı Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu, TPAO, 4-58.
- Anonymous (2015). BP Statistical Review of World Energy, June 2015, BP, 64 sayı, 39.
- Armas, O., García-Contreras, R., Ramos, Á., (2012). Pollutant emissions from engine starting with ethanol and butanol diesel blends, *Fuel Process Technol*, 100, 63–72
- Cheng, A.S., Dibble, R.W., Buchholz, B.A., (2002). The effect of oxygenates on diesel engine particulate matter, *SAE Paper*, 2002-01-1705
- Di, Y., Cheung, C.S., Huang Z., (2009). Comparison of the effect of biodiesel-diesel and ethanol-diesel on the gaseous emission of a direct-injection diesel engine, *Atmospheric Environment*, 43, 2721–2730.
- Giakoumis, E.G., Rakopoulos, C.D., Rakopoulos, D.C., (2015). Impact of properties of vegetable oil, bio-diesel, ethanol and n-butanol on the combustion and emissions of turbocharged HDDI diesel engine operating under steady and transient conditions, *Fuel*, 156, 1-19.
- Hansen, A.C., Zhang, Q., Lyne, P.W.L., (2005). Ethanol-diesel fuel blends—a review. *Bioresource Technology*, 96, 277–285
- Jin, C., Yao, M., Liu, H., Leed, C.F. and Ji, J., (2011). Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel. *Renew Sustain Energ Rev*, 15, 4080-4106.
- Karagöz, H., (2013). Sera Gazı Emisyonu, Konya Ticaret Odası, *Etüt Araştırma Servisi*, Konya, 1-8
- Korkmaz, K., (2010). Dizel Jeneratör Uygulamaları ve Seçim Kriterleri, *EMO Dergisi*, Mayıs 2010, 35-37.
- Korkmaz, K., (2011). Jeneratör Seçim Kriterleri, II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi Bildirileri, İzmir, 1-10.
- Lapuerta, M., García-Contreras, R., Campos-Fernández, J., Dorado, M.P., (2010a). Stability, lubricity, viscosity and cold-flow properties of alcohol–diesel blends, *Energ Fuel*, 24, 4497–4502.
- Lapuerta, M., Garcia-Contreras, R., Agudelo, J.R., (2010b). Lubricity of ethanol-biodiesel-diesel fuel blends, *Energy Fuel*, 24, 1374-1379.
- Lapuerta, M., Armas, O., García-Contreras R. (2007). Stability of diesel–bioethanol blends for use in diesel engines, *Fuel*, 86, 1351–1357
- Lapuerta, M., Armas, O., Herreros, J.M. (2008). Emissions from a diesel–bioethanol blend in an automotive diesel engine, *Fuel*, 87, 25–31
- Li, D.G., Huang, Z., Lu, X.C., Zhang, W.G., Yang, J.G., (2005). Physico-chemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines, *Renewable Energy*, 30, 967–976.
- Millo, F, Debnath, B.K, Vlachos, T, Ciaravino, C, Postrioti, L, Buitoni, G., (2015). Effects of different biofuels blends on performance and emissions of an automotive diesel engine, *Fuel*, 159, 614–627



Pepiot-Desjardins, P., Pitsch, H., Malhotra, R., Kirby, S.R., Boehman, A.L., (2008). Structural group analysis for soot reduction tendency of oxygenated fuels, *Combustion and Flame*, 154, (1-2), 191-205

Rakopoulos, C.D., Dimaratos, M.A., Giakoumis, G.E., Rakopoulos, D.C., (2010). Investigating the emissions during acceleration of a turbocharged diesel engine operating with bio-diesel or n-butanol diesel fuel blends, *Fuel*, 35, 5173-5184

Rosa, H.A., Wazilewski, W.T., Secco, D., Chaves, L.I., Veloso, G., Souza, S.N.M., Silva, M.J., Santos R.F., (2014). Biodiesel produced from crambe oilin Brazil—A study of performance and emissions in a diesel cycle engine generator, *Fuel*, 38, 651-655

Seven, İ., (2017). Bir dizel motorlu jeneratörün egzoz emisyonları üzerinde farklı dizel yakıtların etkisi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Sayfa 58.

Sukjit, E., Herreros, J.M., Dearn, K.D., García-Contreras, R., Tsolakis, A., (2012). The effect of the addition of individual methyl esters on the combustion and emissions of ethanol and butanol-diesel blends, *Energy*, 42, 364-374.

Şanlı, H., Çanakçı, M., (2005). Dizel Motorlar İçin Yükselen Bir Alternatif Yakıt: Biyodizel, 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Yeksem 2005, 19-21 Ekim, Mersin, 1, 233-237

Tsai, J.H., vd., (2014). Emissions from a generator fueled by blends of diesel, biodiesel, acetone, and isopropyl alcohol: Analyses of emitted PM, particulate carbon, and PAHs, *Fuel*, 466–467, 195–202

Usta, N., Can, Ö., Öztürk, E., (2005). Alternatif Dizel Motor Yakıtı Olarak Biyodizel Ve Etanolün Karşılaştırılması, *Pamukkale*

*Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Denizli, 11(3), 325-33.

Üstün, G.E., Genç, B., (2015). Dünya’da ve Türkiye’de Biyoyakıtların Durumu, *Uludağ Ün. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29 (2), 157-164

Westbrook, C.K., Pitz, W.J., Curran, H.J., (2006). Chemical kinetic modeling study of the effects of oxygenated hydrocarbons on soot emissions from diesel engines, *J Physical Chemistry A*, 110(21), 6912-6922.

[bp.com/en/global/corporate/about-bp/statistical-review-of-worldenergy2013/review-by-energy-type/renewableenergy/biofuels.html](http://bp.com/en/global/corporate/about-bp/statistical-review-of-worldenergy2013/review-by-energy-type/renewableenergy/biofuels.html) [Ziyaret Tarihi: 10 Ağustos 2016].

[dieselserviceandsupply.com/How\\_Generators\\_Work.aspx](http://dieselserviceandsupply.com/How_Generators_Work.aspx) [Ziyaret Tarihi: 20 Ağustos 2016]

[iea.org/topics/biofuels/](http://iea.org/topics/biofuels/) [Ziyaret Tarihi: 09 Temmuz 2016].

[navigantresearch.com/newsroom/global-biofuels-production-willreach-nearly-62-billion-gallons-by-2023](http://navigantresearch.com/newsroom/global-biofuels-production-willreach-nearly-62-billion-gallons-by-2023) [Ziyaret Tarihi: 08 Temmuz 2016].

[solar-academy.com/menu\\_detay.asp?id=993](http://solar-academy.com/menu_detay.asp?id=993) [Ziyaret Tarihi: 20 Ağustos 2016]

[en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_generator](http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_generator) [Ziyaret Tarihi: 20 Ağustos 2016]

## The effect of bioethanol, n-butanol and biodiesel on the exhaust emissions of diesel engine powered generator

### Extended abstract

*In this study, the effect of alternative fuels like bioethanol, n-butanol and biodiesel on the performance and exhaust emissions of a diesel engine powered generator was investigated. Bioethanol, n-butanol and biodiesel were added to petroleum based diesel fuel by 10%, 16 and 30% (v/v), respectively, to obtain the alternative fuels having similar oxygen content. The blended fuels obtained and petroleum diesel fuel were tested in 4-stroke and 4-cylinder naturally aspirated diesel engine powered generator set at constant speed (1500 rpm) under different power outputs.*

*Experimental results have shown that specific fuel consumption increased at the rate of about 10% by using biodiesel added fuel blend while no significant change was observed in the efficiency when compared with petroleum diesel. However, in case of using alcohol added blended fuels; specific fuel consumption reduced by about 8-10%, efficiency increased at the rate of 5%. In use of alternative fuels mean NO<sub>x</sub> emissions reduced in comparison to petroleum diesel and also this reducing was higher for alcohol blended fuels than for biodiesel blended one. The higher heat of vaporization of alcohols compared to petroleum diesel reduces in-cylinder temperature, resulting in lower NO<sub>x</sub> emissions. Comparing two alcohol blended fuels, for Bu16, the decrease in NO<sub>x</sub> emissions is higher than for E10 with the same oxygen content, revealing the effect of lower temperature of Bu16. On the other hand, an opposite trend was observed for unburnt HC emissions; they reduced at the rate of 20% with biodiesel blended fuel while about 15% increase was observed by using alcohol blended fuels. This means that the addition of alcohol to diesel fuel produces higher unburnt HCs, mainly due to heat of vaporization of alcohols, especially in low load conditions where the combustion temperature is itself lower than at high one. Moreover, HCs obtained with E10 are higher than those obtained with Bu16 at low loads, the heat of vaporization of bioethanol is already higher than that of n-butanol, showing the effect of heat of vaporization as main reason while the lower cetane number of alcohol blends that promotes quenching effect can also be considered as the main parameter*

*that favors the increase of unburnt HC emissions. Smoke opacity were not to be measurable levels at low-mid loads when alternative fuels were used. Furthermore, a significant reduction in smoke opacity by using E10 is observed at all loads considered in comparison to diesel and the reduction by E10 is more evident at the higher loads than Bu16 and B30. Although the opacity reduction by blended fuels can be mainly explained by presence of the bonded oxygen, more reduction with E10 refers to the effect of some other factors such as latent heat of evaporation and molecular structure of the fuels.*

**Keywords:** Biodiesel; Bioethanol; n-Butanol; Diesel Generator.