

ETANOL KARIŞIMLI MOTORİN YAKITIN DİSEL MOTORU EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ

Özer CAN*, İsmet ÇELİKTEN**, Nazım USTA***

*Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Kınıklı/Denizli

**Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Teknikokullar/Ankara

***Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çamlık/Denizli

Geliş Tarihi : 20.05.2004

ÖZET

Organik oksijenli bileşiklerin Dizel No.2 yakıtı ile karıştırılarak kullanılması ile dizel motor emisyonlarında olumlu iyileşmeler olmaktadır. Bu çalışmada Dizel No.2 yakıtına % 10 ve % 15 hacimsel oranlarında etanol karıştırılarak farklı motor dönme sayılarında ve yüklerinde çalışan bir ön yanma odalı turbo dizel motorun egzoz emisyonları incelenmiştir. Deney sonuçları etanol ilavesinin, NO_x emisyonunda artma ve ısı değerinin düşük olmasından dolayı da bir miktar motor gücünde düşmeye sebep olduğunu göstermesine rağmen, CO, is ve SO₂ emisyonlarında azalma sağladığını göstermektedir. Emisyonlardaki iyileşme tam yükte, kısmi yüklere nisbeten daha çok dikkate değer bir seviyededir.

Anahtar Kelimeler : Etanol, Dizel motor, Egzoz emisyonları

EFFECTS OF ETHANOL BLENDED DIESEL FUEL ON EXHAUST EMISSIONS FROM A DIESEL ENGINE

ABSTRACT

Diesel engine emissions can be improved by adding organic oxygenated compounds to the No. 2 diesel fuel. In this study, effects of 10 % and 15 % (in volume) ethanol addition to Diesel No. 2 on exhaust emissions from an indirect injection turbocharged diesel engine running at different engine speeds and loads were investigated. Experimental results showed that the ethanol addition reduced CO, soot and SO₂ emissions, although it caused some increase in NO_x emission and some power reductions due to lower heating value of ethanol. Improvements on emissions were more significant at full load rather than at partial loads.

Key Words : Ethanol, Diesel engine, Exhaust emissions

1. GİRİŞ

Tüm dünyada egzoz emisyonları (CO, HC, is, partikül, NO_x, SO_x) için getirilen yasal sınırlamalar dizel motorların emisyonlarında da azalma sağlamak için çalışmaları teşvik etmiştir. Yasal düzenlemelerin gerekliliklerini yerine getirmek için sadece motor tasarımında yapılacak değişiklikler yeterli olmamaktadır. Emisyonları azaltmak için

katalitik sistemler uygulanmakla birlikte, alternatif yakıtlar üzerine çalışmalar devam etmektedir. Kullanılacak alternatif yakıtın, yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi ve mevcut teknolojide önemli bir yapısal değişiklik gerektirmeden doğrudan kullanılabilmesi büyük önem taşımaktadır.

Alkoller çeşitli tekniklerle, kısmen dizel yakıtı ile birlikte kullanılabilir (Hardenberg and Ehnert, 1981; Likos and Callahan, 1982; Eugene et

al., 1984; Bertilsson and Gustavsson, 1987; Ubong, 1990; Jiang et al., 1990; Simonsen and Chomiak, 1995; Bollentin and Wilk, 1996; Ajav et al., 1998; Abu-Qudais et al., 2000; Chao et al., 2001). Motorun performans ve egzoz emisyonları farklı tekniklerin uygulamasına bağlı olarak değişim göstermektedir.

Alkoller (metanol ve etanol) dizel yakıtı göre daha küçük moleküler yapıya sahip olmaları, yapılarında oksijen bulundurmaları ve dizel yakıtında bulunan kükürt, kanserojen maddeler ve ağır metalleri içermemelerinden dolayı egzoz emisyonlarında olumlu etkilere sebep olmaktadır.

Metanol kömür veya petrolden ucuza üretilen, fakat dizel yakıt içerisinde çözünürlüğü sınırlı olan bir yakıttır. Diğer yandan, etanol enzimler yardımı ile karbonhidratların (şeker ve nişasta) katalizlenerek fermentasyonu ile elde edilebilen yenilenebilir bir yakıttır (Wagner et al., 1979). Fermentasyonda seçilecek karbonhidratlar genellikle mısırdan ve şeker rafinasyonu artığı melastan (şeker pancarı, şeker kamışı); diğer yandan tarımsal ürünlerden patates, pirinç, çavdar ve değişik meyveler kullanılarak; bunların yanında kağıt endüstrisi artığı olan selülozdan da üretilmektedir (Wagner et al., 1979; Noboru et al., 1996; Ajav et al., 1999; McCormick and Parish 2001; Ajav and Akingbehin, 2002). Etanolün yenilenebilir bir yakıt olması ve dizel yakıt ile daha iyi karışabilme özelliğinin bulunmasından dolayı dizel motorlarda kullanımı son yıllarda ön plana çıkmıştır. Etanol-dizel yakıtı karışımları % 20 oranlarına kadar motor üzerinde köklü değişikliklere ihtiyaç duyulmadan kullanılabilir.

Bu çalışmada Dizel No.2 yakıtına % 10 ve % 15 hacimsel oranlarında etanol karıştırılarak farklı motor dönme sayılarında ve yüklerinde çalışan bir ön yanma odalı turbo dizel motorun egzoz emisyonları incelenmiştir.

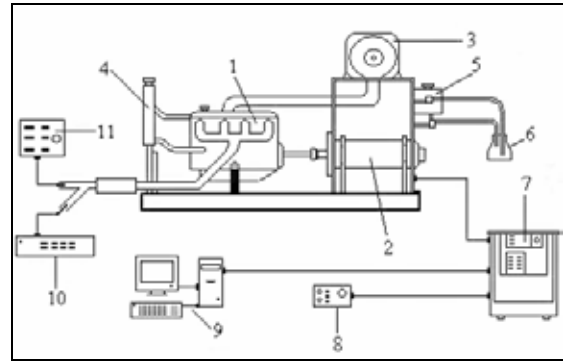
2. TEST DÜZENİ VE YÖNTEMİ

Deneyel çalışmalarda kullanılan Cussons P8653 motor test düzeneğine Ford marka dört silindri XLD 418T model IDI Turbo Dizel motoru ve D.C. Rejeneratif Dinamometre yerleştirilmiştir. Dinamometre maksimum 6000 d/dak'da 90 kW (200 bhp) güç, 200 Nm moment absorbe edebilecek çalışma aralığına sahiptir. Şekil 1'de deney sistemi, Tablo 1'de deney motorunun teknik özellikleri verilmiştir. Deneylerde No. 2 Dizel yakıtı ile birlikte % 10 ve % 15 (hacimsel) etanol karışımları kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlara %1 oranında

izopropanol eklenerek karışımın kararlılığı sağlanmıştır.

Deneyel çalışmalarda, motor soğutma suyu çıkış sıcaklığı yaklaşık 80 °C'ye kadar ısınma periyodu boyunca dizel yakıtı ile çalıştırılarak kararlı durum sağlanmış ve deneylere başlanılmıştır. Çalışmalarda ilk olarak % 100 No. 2 dizel yakıtı, daha sonra hacimsel olarak % 10 (E10) ve % 15 (E15) oranlarında etanol içeren karışımlar kullanılmıştır. Deneylerde motor dönme sayısı tam (% 100), % 75 ve % 50 motor yüklerinde 4500 d/dak'dan başlayarak 500 d/dak düşüşlerle 4000, 3500, 3000, 2500, 2000 ve 1500 d/dak'ya getirilerek ölçümler alınmıştır. Deney sonunda motor dönme sayısı 1500 d/dak'dan tekrar 4500 d/dak'ya çıkartılarak alınan ölçümler kontrol edilmiştir.

Emisyon ölçümlerinde Tablo 2'de özellikleri verilen kimyasal hücre tipi Loy Gaco-SN egzoz emisyon cihazı ile opazimetrik VLT 2600-S emisyon cihazı kullanılmıştır. Emisyon değerleri konsantrasyon cinsinden ölçülerek, karşılaştırmalar yapılmıştır.



1-Motor, 2-Dinamometre, 3-Hava Tankı, 4-Motor Soğutma Ünitesi, 5-Ana Yakıt Tankı, 6-Alternatif Yakıt Tankı, 7-Kontrol Ünitesi, 8-Elle Kontrol Ünitesi 9-Bilgisayar 10-Gaco-SN gaz analizörü, 11-VLT 2600-S is ölçer).

Şekil 1. Deney sisteminin şematik görünüşü

Tablo 1. Deney Motoru Teknik Özellikleri

Marka ve model	Ford-1998-XLD 418T
Motor tipi	4 zamanlı, sıra tipi, Dizel, IDI, Turboşarj
Silindir sayısı	4
Silindir hacmi	1.8L
Strok	82 mm
Silindir çapı	82.5 mm
Motor gücü	4800 d/dak'da 44kW
Motor momenti	2500 d/dak'da 110 Nm
Yakıt sistemi pompası	Lucas DPC distribütör
Enjektör tipi	Tek Nokta
Yağlama sistemi	Tam Basınçlı
Soğutma sistemi	Su Soğutmalı

Tablo 2. Emisyon Cihazlarının Ölçüm Aralıkları ve Hassasiyetleri

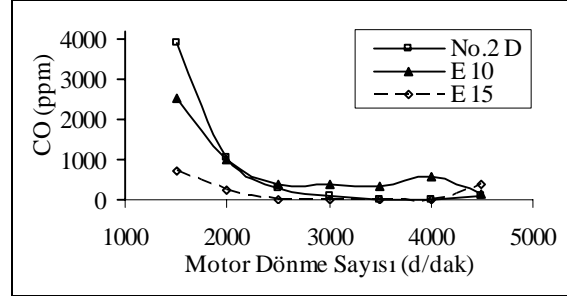
LOY Gaco-SN Emisyon Cihazı		
	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
O ₂ %	0-20.9	± 0.1
CO ppm	0-10000	± 20
SO ₂ ppm	0-2000	± 20
NO _x ppm	0-3000	± 20
VLT 2600-S Emisyon cihazı		
	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
Duman Koyuluğu (K, %)	0-100	%0.99-0.01

3. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

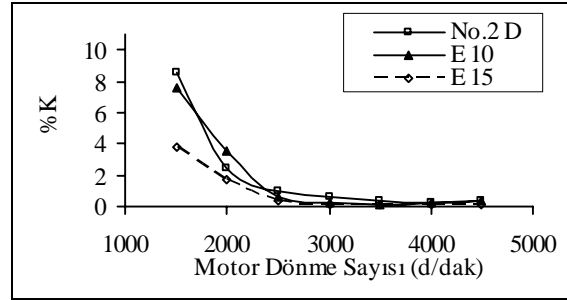
Dizel No. 2 yakıtta % 10 ve % 15 oranlarda etanol ilavesinin tam yükte çalışan dizel motorun CO emisyonuna etkisi Şekil 2’te verilmiştir. Motor dönme sayısı artırılınca özellikle ön yanma odalı dizel motorlar için gerekli olan silindir içi türbülans artarak daha iyi karışım oluşmakta, böylece yanma sonu genişleme zamanında silindir içi gaz sıcaklığının artması ile CO’ın CO₂’e oksidasyonunda artış göstererek CO emisyonları azalmaktadır (Lin and Huang, 2003). Ayrıca kısmi yüklerde azalan yakıt/hava oranı ile yanma hızı azalmakta ve CO’nun CO₂’e dönüşmesi için daha fazla zaman kalmaktadır. CO, etanol eklenmesi ile özellikle düşük devirlerde (1500-2000 d/dak) azalma göstermektedir. Her ne kadar yüksek dönme sayılarında E10 yakıtının CO seviyesi dizel yakıtına göre çok az oranda yüksek olmasına rağmen (% 0.05), bu değer buji ile ateşlemeli motorlara göre oldukça düşük bir değer olarak görünmektedir. CO emisyonlarındaki iyileşmenin temel sebebi; etanolün dizel yakıtına göre daha az karbon ihtiva etmesi ve yapısında oksijen bulundurmasıdır. Motor tam yükte çalıştırıldığında silindir içerisindeki yakıtın zengin olduğu bölgelerde etanol yapısındaki oksijen ile oksijen/yakıt oranını artırarak yanmanın tam olarak gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır (Likos and Callahan, 1982; Eugene et al., 1984; Ajav et al., 1999; Choi and Reitz, 1999).

Şekil 3’te dizel yakıtta etanolün katkısıyla birlikte motor dönme sayısına bağlı olarak is emisyonlarındaki azalma görülmektedir. Dizel difüzyon alev ilerlerken yakıtın yoğun olduğu bölgelerdeki is oluşum eğiliminin kimyasal olarak kontrolünde, etanolün içerisinde atomik bağla bağlı olan oksijenin pozitif bir etkisi olmaktadır (Likos and Callahan, 1982; Eugene et al., 1984; Miyamoto et al., 1998; Flynn et al., 1999; Choi and Reitz, 1999; Melton et al., 2000; Kocis et al., 2000; McCormick

and Parish 2001; Curran et al., 2001; Satgé de Caro and Moloungui, 2001; Kitamura et al., 2001a; Kitamura et al., 2001b; Lin and Huang, 2003; Bang-Quan et al., 2003). Böylece, özellikle 3000 d/dak’dan düşük dönme sayılarında, is oranında azalma görülmektedir.



Şekil 2. Tam yükte etanol-dizel yakıtı karışımlarının CO emisyonlarına etkisi

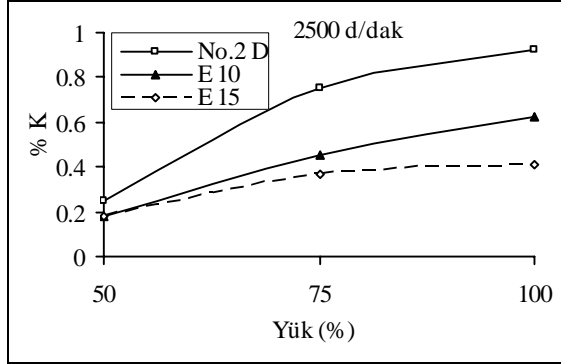


Şekil 3. Tam yükte etanol-dizel yakıtı karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisi.

Ayrıca, 2500 d/dak’da farklı motor yüklerinde etanol-dizel yakıtı karışımlarının is emisyonlarına etkisi Şekil 4’te verilmiştir. Is emisyonları motorun çalışma koşullarında yük değişimlerine ve etanol oranına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Yüksek motor yüklerinde bağıl olarak yakıt enjeksiyon periyodunun artışı ile birlikte hava fazlalık katsayısı azalarak silindir içi sıcaklık daha da yükselmektedir (Choi and Reitz, 1999). Ön yanma odalı dizel motorlarda is oluşum mekanizması incelendiğinde yakıt enjeksiyonu çok fazla olduğundan püskürtülen yakıtın ön yanma odası duvarlarına çarpması ile adezyona uğramaktadır. Bu noktada ön yanma odası duvarlarına çarpan yakıtın kolay ve hızlı bir şekilde buharlaşmaması ve bu alandan dışarıya (ana yanma odasına) transfer olamaması üzerine is emisyonları artışı göstermektedir (Hotta et al., 1997).

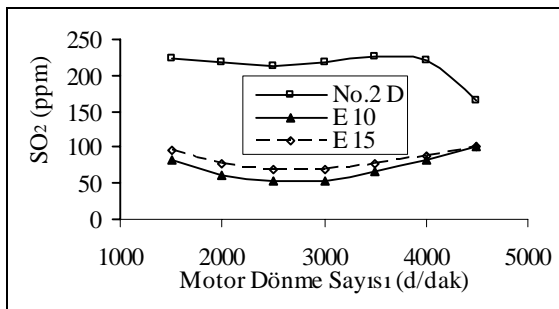
Kısmi yüklerde ise etanol katkısının is emisyonları üzerindeki etkisi daha az oranda olmaktadır (Miyamoto et al., 1998; Choi and Reitz, 1999; Bang-Quan et al., 2003). Çünkü kısmi yüklerde düşük alev sıcaklığı ve daha fakir bir karışım ile artan hava yakıt oranından dolayı oksijenli yakıt olarak

etanolün emisyonlar üzerindeki etkisi daha az gerçekleşmektedir.



Şekil 4. Farklı yük oranlarında etanol-dizel yakıtı karışımının is emisyonlarına etkisi

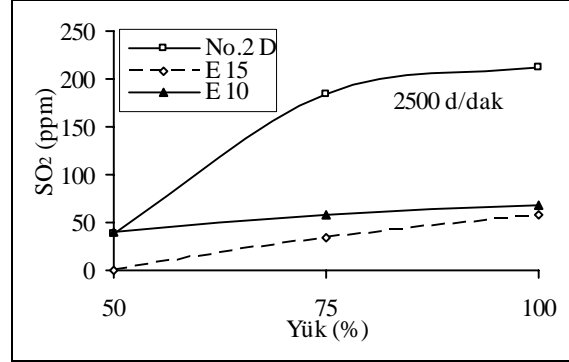
SO₂ emisyonunda etanol katkısıyla birlikte Şekil 5'de görüldüğü gibi dikkate değer bir azalma olmaktadır. Etanol içerisinde kükürt bulunmadığından dolayı, karışıma ilave edilen etanol oranında SO₂ emisyonunda da bir azalma beklenirken, SO₂ emisyonlarındaki azalma oranı beklenenden daha fazla oranda gerçekleşmiştir. SO₂ emisyon seviyesi dizel No. 2 yakıtı ile 225 ppm dolaylarında iken, % 10 ve % 15 etanol katkısı ile 100 ppm'in altına düşmüştür. SO₂'deki bu büyük oranda azalma etanolün yapısında bulunan oksijen ile motorun tam yükte partikül madde içerisindeki SO₄ sülfat oluşumunu hızlandırdığı öngörülerek SO₂ emisyonlarında daha fazla azalmaya sebep olduğu tahmin edilmektedir. % 10 ve % 15 etanol katkısı ile elde edilen SO₂ emisyonları birbirlerine oldukça yakın değerlerde olmakta ve motor dönme sayısına göre benzer eğilim göstermektedir.



Şekil 5. Tam yükte etanol-dizel yakıtı karışımlarının SO₂ emisyonuna etkisi

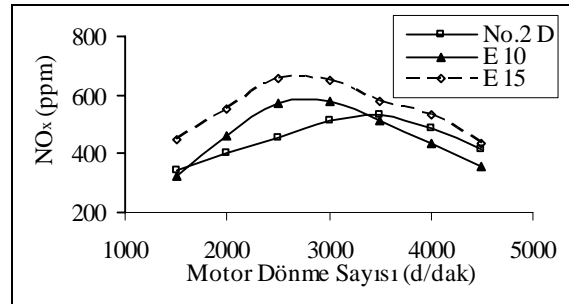
Şekil 6'de farklı motor yüklerinde etanol-dizel yakıtı karışımlarının SO₂ emisyonları üzerine etkisi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi motor yükü artırıldıkça SO₂ emisyonları artış göstermektedir. Kısmi motor yüklerinde daha önce açıklandığı üzere fakir bir karışım oluşmakta ve hava fazlalık katsayısı artmaktadır. Böylece

silindirlere daha az alınan dizel yakıtının kükürt miktarında orantılı olarak bir azalma olmaktadır. Etanol katkısının emisyonlar üzerine olumlu etkisi kısmi motor yüklerinde daha az belirgin olmaktadır.



Şekil 6. Farklı yük oranlarında etanol-dizel yakıtı karışımlarının SO₂ emisyonlarına etkisi

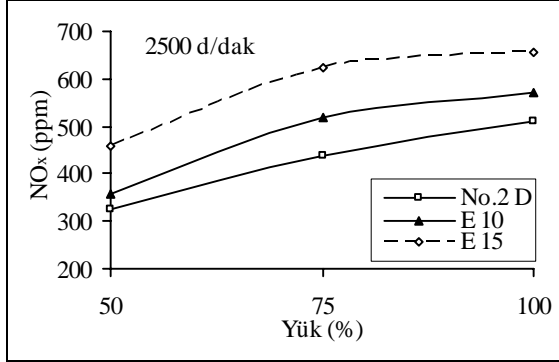
Dizel yakıtına etanolün eklenmesinin motor dönme sayısına bağlı olarak NO_x emisyonuna etkisi Şekil 7'de verilmiştir. Etanol ilavesi ile maksimum NO_x'in görüldüğü motor dönme sayısına yaklaşık 3500 d/dak'dan 2500 d/dak'ya kaydığı görülmektedir. % 10 etanol katkısı ile NO_x emisyonları 1500-3500 d/dak dönme sayıları arası dizel emisyonlarına göre daha yüksek, 3500 d/dak'dan sonra düşük olmaktadır. % 15 etanol-dizel yakıtı karışımlarında motor dönme sayısına göre değişimler benzer bir değişim göstermekle birlikte bütün dönme sayılarında daha fazla NO_x oluşumu görülmektedir.



Şekil 7. Tam yükte etanol-dizel yakıtı karışımlarının NO_x emisyonuna etkisi

Şekil 8'de görüldüğü gibi motor yükü artırıldığında sabit püskürtme avansı çevrim başına yakıt enjeksiyonu artarak ön yanma odasında daha zengin karışım oluşmakta, yanma sıcaklığı yükselerek NO_x emisyonları artmaktadır (Hotta et al., 1997). Ön yanma odalı dizel motorlarda NO_x emisyonları daha çok ön yanma odasında oluşmakta ve daha sonra ana yanma odasına taşınırken NO_x oluşum reaksiyonları azalmaktadır. Dizel yakıtına etanolün eklenmesi ile azalan setan sayısının NO_x emisyonlarına olumsuz

etkisi farklı yüklerde de benzer eğilim göstermektedir. NO_x emisyonları: etanol miktarına, motorun çalışma koşullarına (yük), motor tipine ve dizel motorunun teknolojisine göre değişim göstermektedir (Chao et al., 2001; Hansen et al., 2001; Lin and Huang, 2003).



Şekil 8. Farklı yük oranlarında etanol-dizel yakıtı karışımının NO_x emisyonlarına etkisi

4. SONUÇLAR

Ön yanma odalı turbo dizel bir motorda etanol-dizel yakıtı karışımlarının farklı yüklerde egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Dizel yakıtına oksijenli bir bileşik olan etanolün eklenilmesi CO, is ve SO₂ emisyonlarını önemli derecede azaltırken NO_x emisyonlarını bir miktar artırmıştır. Bu karşılaştırmalar emisyon değerlerinin konsantrasyon cinsinden ölçümleri sonucu yapılmıştır.

Alternatif yakıtların emisyonları karşılaştırılırken motor çalışma şartları ve büyüklükleri de dikkate alınmalıdır. Bu da emisyon değerlerinin konsantrasyon cinsi yerine özgül emisyonlar (g/kW-saat) cinsinden karşılaştırmaları ile daha kolay olabilmektedir.

Etanolün ısı değerinin daha düşük olmasından dolayı güçte belirli bir oranda düşme olmaktadır. Etanol katkısının emisyonlar üzerine olumlu etkisi, kısmi motor yüklerinde yüksek hava fazlalık katsayısı nedeniyle daha az oranda gerçekleşmektedir.

Etanolün setan sayısı ve viskozitesi No.2 dizel yakıtı göre oldukça düşük olduğu için, etanol karışımı ile kullanılacak olan dizel yakıtın viskozitesinin ve setan sayısının yüksek olanı tercih edilmelidir.

Ayrıca etanol-dizel karışımlarına setan sayısı düzeltici maddelerin ilavesi önemli bir araştırma konusudur.

Kısa süreli çalışmalardan elde edilen sonuçlara ek olarak, alternatif yakıtın motor dayanımı, aşınma, enjektör tıkanması, yağlama yağına etkileri uzun süreli denemeler ile ortaya çıkarılması gerekir.

5. KAYNAKLAR

Abu-Qudais, M., Haddad, O., Qudaisat, M. 2000. The Effect of Alcohol Fumigation on Diesel Engine Performance and Emissions, Energy Conversion and Management, 41: 389-399.

Ajav, E. A., Akingbehin, O. A. 2002. A Study of some Fuel Properties of Local Ethanol Blended with Diesel Fuel, Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development., 6: 25-36.

Ajav, E. A., Singh, B., Bhattacharya, T. K. 1999. Experimental Study of Some Performance Parameters of Constant Speed Stationary Diesel Engine Using Ethanol-Diesel Blends as Fuel, Biomass and Bioenergy, 17: 357-365.

Ajav, E. A., Singh, B., Bhattacharya, T. K. 1998. Performance of A Stationary Diesel Engine Using Vaporized Ethanol as Supplementary Fuel, Biomass & Bioenergy, 15 (6): 493-502.

Bang-Quan, H., Shi-Jin, S., Jian-Xin, W., Hong, H. 2003. The Effect of Ethanol Blended Diesel Fuels on Emissions from A Diesel Engine, Atmospheric Environment, 37: 4965-4971.

Bertilsson, B. I., and Gustavsson, L. 1987. Experience of Heavy-Duty Alcohol Diesel-Ignition Engines, SAE, Paper No: 871672.

Bollentin, J. W., Wilk, R. D. 1996. Autoignition Characteristics of Ethanol, SAE, Paper No: 961175.

Chao, M. R., Lin, T. C., Chao, H. R., Chang, F. H., Chen, C. B. 2001. Effects of Methanol-Containing Additive on Emission Characteristics From a Heavy-Duty Diesel Engine, The Science of the Total Environment, 279: 167-179.

Choi, C. Y., Reitz, R. D. 1999. An Experimental Study on The Effects of Oxygenated Fuel Blends and Multiple Injection Strategies on DI Diesel Engine Emissions, Fuel, 78: 1303-1317.

- Curran, H. J., Fisher, E. M., Glaude, P. A., Marinov, N. M., Pitz, W. J., Westbrook, C. K., Layton, D. W., Flynn, P. F., Durrett, R. P., zur Loye., A. O., Akinyemi, O. C., Dryer, F. L. 2001. Detailed Chemical Kinetic Modelling of Diesel Combustion with Oxygenated Fuels, SAE, Paper No: 2001-01-0653.
- Eugene, E. E., Bechtold, R. L., Timbaro, T. J., McCallum, P. W. 1984. State of Art Report on the Use of Alcohols in Diesel Engines, SAE, Paper No: 840118.
- Flyn, P. F., Durrett, R. P., Hunter, G. L., zu Loye, A. U., Akinyemi, O. C., Deck, J. E., and Westbrook, C. K. 1999. Diesel Combustion: an Integrated View Combining Laser Diagnostics, Chemical Kinetic Empirical Validation, SAE, Paper No: 99-01-0509.
- Hansen, A. C., Lyne, W. L., Zhang Q. 2001. Ethanol-Diesel Blends: A Step Towards A Bio-Based Fuel for Diesel Engines, ASAE, Paper No: 01-6048.
- Hardenberg, H. O., Ehnert, E. R. 1981. Ignition Quality Determination Problems with Alternative Fuels for Compression Ignition Engines, SAE, Paper No: 811212.
- Hotta, Y., Nakakika, K., Inayoshi, M., Ogawa, T., Sato, T., Yamada, M. 1997. Combustion Improvement for Reducing Exhaust Emissions in IDI Diesel Engine, JSAE Review, 18: 19-31.
- Jiang, Q., Ottikkutti, P., VanGerpen, J., VanMeter, D. 1990. The Effect of Alcohol Fumigation on Diesel Flame Temperature and Emissions, SAE, Paper No: 900386.
- Kitamura, T., Ito, T., Senda, J., Fujimoto, H. 2001a. Extraction of The Suppression Effects of Oxygenated Fuels on Soot Formation Using a Detailed Chemical Kinetic Model, JSAE Review, 22 (2): 139-145.
- Kitamura, T., Ito, T., Senda, J. Fujimoto, H. 2001b. Detailed Chemical Kinetic Modeling of Diesel Spray Combustion with Oxygenated Fuels, SAE, Paper No: 2001-01-1262.
- Kocis, D., Song, K., Lee, H. S., and Litzinger, T. 2000. Effects of Dimethoxymethane and Dimethylcarbonate on Soot Production in an Optically-accessible DI Diesel Engine, SAE, Paper No: 2000-01-2795.
- Likos, B., Callahan, T. L. 1982. Performance and Emissions of Ethanol and Ethanol-Diesel Blends in Direct-Injected and Pre-Chamber Diesel Engines, SAE, Paper No: 821039.
- Lin, C.Y., Huang, J. C. 2003. An Oxygenating Additive for Improving the Performance and Emission Characteristics of Marine Diesel Engines, Ocean Engineering, 30: 1699-1715.
- McCormick, R.L., Parish, R. 2001. Miles Report: Technical Barriers to the Use of Ethanol in Diesel Fuel, National Renewable Energy Laboratory, NREL/MP-540-32674.
- Melton, T. R., Inal, F., and Senkan, S. M. 2000. The Effects of Equivalence Ratio on the Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Soot in Premixed Ethane Flames, Combustion and Flame, 121 (4), 671-678.
- Miyamoto, N., Ogawa, H., Kohichi, O., Ging-Hoing, C. 1998. Improvement of Diesel Combustion and Emissions by Addition of Oxygenated Agents to Diesel Fuels: Influence of Properties of Diesel Fuels and Kinds of Oxygenated Agents, JSAE Reviews, Technical Notes, (19): 151-160.
- Noboru, N., Tearo, H., Sakta, C. 1996. Performance Improvement by Control of Flow Rates and Diesel Injection Timing on Dual-Fuel Engines with Ethanol, Biosource Technology, 56: 35-39.
- Satgé de Caro P., Moloungui, Z. 2001. Interest of Combining an Additive with Diesel-Ethanol Blends for Use in Diesel Engines, Fuel, 80: 565-574.
- Simonsen, H., and Chomiak, J. 1995. Testing and Evaluation of Ignition Improvers for Ethanol in a DI Diesel Engine, SAE, Paper No: 952512.
- Ubong, E. U. 1990. Development of an Ethanol D.I. Spark Assisted Diesel Engine (SADE), SAE, Paper No: 901567.
- Wagner, T. O., Gray, D. S., Zarah, B. Y., Kozinski, A. A. 1979. Practicality of Alcohols as Motor Fuel, SAE, Paper No: 790429.