

یادداشت پژوهشی

# کاربرد مخلوط اتانول / گازوییل با افزودنی مناسب به عنوان سوخت موتورهای دیزل

یداله پیرزاده\*، مهرداد معینی شاد<sup>۱</sup>، مرضیه شکرریز<sup>۲</sup>، علی بار کاظمی فر<sup>۱</sup>، بیژن پوریمین<sup>۱</sup> و احمد روشنی<sup>۲</sup>

۱- پژوهشکده توسعه و بهینه‌سازی فناوری‌های انرژی، پردیس پژوهش و توسعه فناوری‌های انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه صنعت نفت

۲- پژوهشکده علوم و فناوری‌های شیمیایی، پردیس پژوهش و توسعه صنایع پائین دستی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت

۳- پژوهشکده محیط زیست و بیوتکنولوژی، پردیس توسعه فناوری‌های انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه صنعت نفت

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۱۶

## چکیده

آلاینده‌های منتشره از اگزوز موتورهای دیزلی یکی از منابع مهم آلودگی محیط زیست در شهرها می‌باشد. برای کاهش آلاینده‌های این موتورها روش‌های گوناگونی وجود دارد که کاربرد اتانول به عنوان سوخت جایگزین تجدیدپذیر اکسیژنه یکی از این روش‌ها می‌باشد. تهیه مستقیم مخلوط اتانول و گازوییل به دلیل مشکلات اختلاط امکان‌پذیر نیست. در این تحقیق با استفاده از مواد افزودنی سازگار با محیط زیست و قابل تهیه در داخل کشور، مخلوط ۱۰٪ حجمی اتانول در گازوییل به صورت شفاف و پایدار تهیه شد و با انجام آزمون‌های موتوری میزان انتشار دود و عملکرد موتور با این سوخت مخلوط مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج، بیان‌گر کاهش دود به میزان ۳۶/۶٪ و افت توان به مقدار ۷/۵٪ بود. در ضمن این فرمولاسیون تاثیر منفی بر قطعات فلزی و پلیمری سیستم سوخت رسانی موتور نداشت.

**کلمات کلیدی:** مواد افزودنی، مخلوط اتانول و گازوییل، موتور دیزل، مصرف سوخت و آلاینده‌گی

## مقدمه

استانداردهای سخت‌گیرانه برای محدوده مجاز آلاینده‌های منتشره از خودروهای دیزلی را ضروری ساخته است [۱].

در سال‌های اخیر استفاده از الکل، به عنوان سوخت موتورهای درون‌سوز به تنهایی و یا به صورت ترکیب با سایر سوخت‌ها به دلیل مزایای زیست محیطی و اقتصادی درازمدت نسبت به سوخت‌های فسیلی، بیشترین توجه را به خود جلب نموده است. متانول و اتانول برای این منظور مناسب هستند و می‌توان این الکل‌ها را به گاز طبیعی تبدیل نمود.

موتورهای دیزلی علی‌رغم راندمان حرارتی بالا و مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر نسبت به موتورهای بنزینی، به دلیل ویژگی‌های احتراق نفوذی و مصرف هوای کمتر، میزان زیادی ذرات معلق و دود تولید می‌کنند و به علت دمای بالای محفظه احتراق، NOx زیادتری منتشر می‌نمایند. اثرات سوء زیست محیطی ناشی از استفاده گسترده از موتورهای دیزلی، تدوین

\*مسئول مکاتبات

pirzadehy@ripi.ir

آدرس الکترونیکی

شرکت، براساس آزمایشات میدانی و آزمایشگاهی ذرات معلق (PM)، منوکسید کربن و اکسیدهای ازت نسبت به گازوییل معمولی به ترتیب حدود ۴۱٪، ۲۷٪ و ۵٪ کاهش داشته است [۳]. تحقیقاتی در دانمارک بر روی یک دستگاه کامیون اسکانیا با ۱۰٪ اتانول در گازوییل نشان داد که ذرات معلق، منوکسید کربن و اکسیدهای ازت نسبت به گازوییل معمولی به ترتیب ۳۱٪، ۲۹٪ و ۵٪ کاهش پیدا کرده است. مصرف سوخت حدود ۲،۲٪ افزایش یافته و حداکثر توان موتور تقریباً ۷٪ کاهش داشت [۶].

### فرمولاسیون سوخت

از بین سوخت‌های مخلوط فرموله شده با اتانول تجاری ۹۶٪ و گازوییل معمولی، فرمولاسیونی که در دمای پایین کاملاً شفاف و پایدار بود و مشخصات لازم برای استفاده در موتور را داشت، به شرح ترکیب وزنی ذیل انتخاب شد:

گازوییل معمولی ۸۰±۲٪

اتانول ۱۰٪

مواد افزودنی ۱۰±۲٪

این فرمولاسیون حاوی مواد افزودنی، علاوه بر پایدار بودن در مدت زمان طولانی، با استفاده از مواد اولیه در دسترس و سازگار با محیط زیست تهیه شده است. برای بررسی اندازه قطرات سوخت نانو امولسیون از دستگاه زتا پتانسیل استفاده گردید و قطر قطرات در حدود ۲/۵ nm به دست آمد. مشخصات فیزیکی شیمیایی سوخت فرموله شده مخلوط دیزل/ اتانول و دیزل تجاری (پایه) در جدول ۱ ارائه شده است. برای بررسی تکرارپذیری فرمولاسیون، نمونه مورد آزمایش دوبار تهیه شد. نقطه اشتعال یکی از خواص سوخت است که از نظر ایمنی اهمیت زیادی دارد. در مخلوط اتانول/دیزل نقطه اشتعال در محدوده دمای محیط قرار می‌گیرد که باید هنگام ذخیره‌سازی و استفاده در باک خودرو مورد توجه قرار گیرد [۷].

در این میان اتانول اهمیت بیشتری دارد و به عنوان یک سوخت تجدیدپذیر به آسانی از مواد آلی همچون دانه‌های گیاهی و یا چغندر قند به دست می‌آید. در برزیل اتانول را از نیشکر و در ایالات متحده از ذرت به دست می‌آورند [۲].

مخلوط اتانول- دیزل<sup>۱</sup> یک سوخت جایگزین مناسب با احتراق پاک‌تر نسبت به گازوییل معمولی می‌باشد [۳]. اتانول یک ترکیب اکسیژنه سازگار با سوخت دیزل است ولی به راحتی با آن مخلوط نمی‌شود. در محیط‌های گرم، اتانول بدون آب با سوخت دیزل مخلوط می‌شود، ولی در دمای کمتر از ۱۰ °C، اتانول و گازوییل از هم جدا می‌شوند. این مشکل را به سه روش می‌توان برطرف نمود که عبارتند از: الف) استفاده از امولسیفایرهایی که بتوانند قطرات کوچک اتانول را درون سوخت دیزل معلق نگه دارند و ب) تهیه مخلوط همگن به وسیله افزودن یک کمک حلال<sup>۲</sup> به منظور ایجاد سازگاری بین پیوندهای ملکولی آنها. معمولاً امولسیون سازی در مراحل اختلاط به حرارت نیاز دارد ولی با استفاده از کمک حلال‌ها به راحتی با تکان خوردن مخلوط می‌شوند و ج) میکرو امولسیون‌ها مخلوطی از اتانول آبدار، سوخت دیزل و ماده فعال سطحی<sup>۳</sup> تجاری بسیار ریز و شفاف هستند. این مخلوط بسرعت و با تکان اندک تشکیل می‌شود. [۴ و ۵].

اتانول حاوی ۳۵٪ اکسیژن است که می‌تواند در کاهش دود، ذرات معلق، اکسیدهای ازت و منوکسید کربن منتشره از موتورهای دیزلی موثر باشد [۶]. هدف از این تحقیق ارزیابی عملکرد سوخت مخلوط پایدار و شفاف گازوییل/ اتانول به کمک مواد افزودنی در موتور دیزل می‌باشد.

در حال حاضر به دلیل پیشرفت در زمینه مواد افزودنی، تجاری شدن E-Diesel امکان‌پذیر شده است. بر اساس تحقیقات شرکت انرژی پاک و ماده افزودنی (puranol) با اختلاط تلاطمی به اتانول اجازه اختلاط شفاف را می‌دهد. طبق ادعای این

1. E-diesel

2. Co- solvent

3. Co- surfactant

جدول ۱- مقایسه مشخصات سوخت دیزل تجاری با مخلوط دیزل/ اتانول ۱۰٪

مشخصات	دیزل تجاری	دیزل/ اتانول	روش آزمایش
دانسیته در °C ۱۵/۶ (g/cm <sup>3</sup> )	۰/۸۲۹	۰/۸۴۰۴	ASTM-D452
ویسکوزیته سینماتیک در °C ۳۷/۷ (mm <sup>2</sup> /s)	۳/۲۴	۳/۳۳۱	ASTM-D445
گوگرد (٪)	۰/۷۳	۰/۵۳	ASTM-D2622
نقطه ریزش (°C)	-۳	-۵	ASTM-D97
نقطه اشتعال (°C)	۶۲	۱۸	ASTM-D93
باقی مانده کربن (٪)	۰/۱۲۳	۰/۰۲۳	ASTM-D524
خوردگی نوار مس (۳ ساعت در °C ۱۰۰)	1a	1b	ASTM-D130
ارزش حرارتی خالص (MJ/kg)	۴۵/۳۷۵	۴۱/۹۷۵	ASTM-D340
اندیس ستان	۵۸	۵۳	ASTM-D976
تقطیر در ۷۶۰ mmHg			
نقطه جوش ابتدایی (IBP) (°C)	۱۵۸/۳	۷۷/۶	ASTM-D86
۱۰٪ حجمی تقطیر شده (°C)	۱۹۵/۲	۱۰۴/۵	
۵۰٪ حجمی تقطیر شده (°C)	۲۹۱/۳	۲۸۵/۱	
۹۰٪ حجمی تقطیر شده (°C)	۳۵۳/۸	۳۶۴/۴	
نقطه جوش انتهایی (FBP) (°C)	۳۸۲/۶	۳۶۴/۴	

## نتایج و بحث

عدد ستان پایین اتانول موجب افت عدد ستان مخلوط اتانول/ دیزل می‌شود. افزودن هر ۱۰٪ حجمی اتانول به گازوییل پایه موجب ۷/۱ واحد کاهش در ستان سوخت می‌شود [۸]. در مخلوط اتانول/ گازوییل مورد آزمایش نیز این کاهش قابل مشاهده است، ولی بالا بودن شاخص ستان گازوییل پایه باعث گردیده تا شاخص ستان مخلوط در محدود مورد قبول قرار گیرد.

## بررسی نتایج آزمایش عملکرد موتور

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی موتور دیزل بنز OM314 نشان داد، استفاده از سوخت حاوی نانو امولسیون گازوییل/ اتانول ۱۰٪ در مقایسه با گازوییل معمولی (پایه)، بر مشخصه‌های عملکرد موتور مؤثر است که این تأثیر در خصوص توان، گشتاور و دود خروجی از اگزوز بسیار مشهود است. جدول ۲ میزان این تغییرات را به تفکیک مشخصه‌های مورد آزمایش نشان می‌دهد. آزمایشات عملکرد موتور با مخلوط گازوییل/ اتانول و گازوییل معمولی سه بار

تکرار گردید تا ضمن افزایش دقت، داده‌ها از نظر تکرارپذیری و فاصله اطمینان، مورد بررسی قرار گیرند.

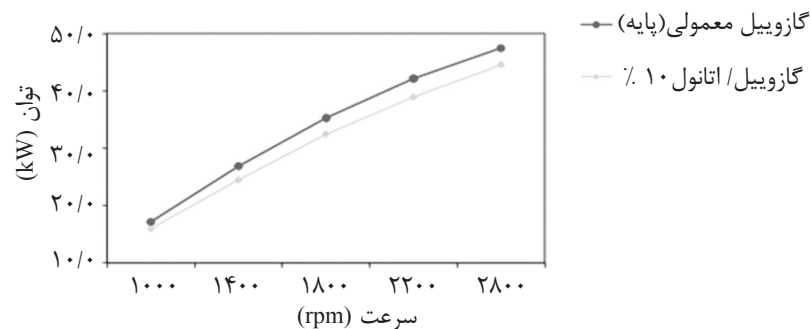
## تأثیر سوخت مخلوط گازوییل/ اتانول بر توان موتور

شکل ۱ تأثیر سوخت‌های نانوامولسیون گازوییل/ اتانول و گازوییل معمولی (پایه) را در سرعت‌های مختلف و در شرایط تمام بار بر توان موتور نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان گفت استفاده از این سوخت موجب افت توان موتور شده است.

طبق اطلاعات جدول ۲ با این سوخت، به طور میانگین توان موتور در شرایط تمام بار نسبت به گازوییل معمولی (پایه)، ۷/۵٪ کاهش یافته است. با توجه به اینکه توان خروجی از موتورهای احتراق داخلی با حاصل ضرب گشتاور خروجی از موتور سرعت دورانی آن متناسب است (P= K.T.N)، در یک دور ثابت، توان خروجی تابعی از بار یا گشتاور موتور می‌باشد.

**جدول ۲-** میزان تغییرات عملکرد موتور دیزل بنز OM314 در حالت تمام بار با سوخت نانو امولسیون گازوییل/ اتانول ۱۰٪ در مقایسه با سوخت گازوییل معمولی

میانگین	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۱۸۰۰	۱۴۰۰	۱۰۰۰	سرعت (rpm)	پارامترها	$\hat{Q}_f$
(٪)	(٪)	(٪)	(٪)	(٪)	(٪)			
-۷/۵	-۶/۱	-۷/۶	-۷/۹	-۸/۹	-۷		توان	۱
+۶/۷	+۵/۹	-۶/۹	-۴/۸	+۹/۱	+۶/۶		مصرف ویژه سوخت	۲
-۳۶/۶	-۴۱	-۳۷/۵	-۳۸/۹	-۳۶	-۲۹/۶		دود	۳
+۱/۲	+۱/۱	+۱/۷	+۲	-۰/۳	+۱/۳		راندمان حرارتی	۴
علامت منفی به معنای کاهش می باشد								



شکل ۱- تغییرات توان موتور با گازوییل معمولی در مقایسه با مخلوط گازوییل/ اتانول ۱۰٪

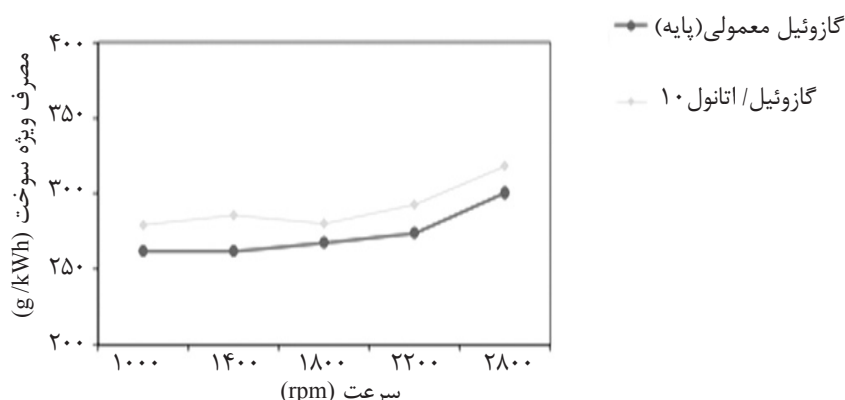
### تأثیر سوخت مخلوط گازوییل/ اتانول بر دود خروجی از اگزوز موتور

برای بررسی کامل عملکرد موتور دیزل با سوخت نانوامولسیون گازوییل/ اتانول ۱۰٪، دود سیاه خروجی از اگزوز اندازه گیری شد. دود سیاه خروجی از موتور دیزل در کنار قدرت و کارایی بالا از موارد مطرح این قبیل موتورهاست. مصرف هوا در موتورهای دیزل تقریباً ثابت است. با افزایش بار، میزان سوخت ورودی داخل سیلندرها افزایش می یابد و مقدار هوای موجود برای احتراق کامل سوخت کافی نمی باشد. به همین دلیل موتورهای دیزلی برای کار با نسبت هوا- سوخت وسیع طراحی شده اند. در شرایط خاص و به ویژه حالت پرباری، یک مخلوط غنی تشکیل شده و موجب احتراق ناقص و در نتیجه تولید دود زیاد می شود.

تغییرات گشتاور موتور دیزل بنز OM314 با سوخت نانوامولسیون گازوییل/ اتانول در مقایسه با گازوییل معمولی (پایه) مشابه توان موتور کاهش نشان می دهد.

### تأثیر سوخت مخلوط گازوییل/ اتانول بر مصرف سوخت موتور

شکل ۲ تغییرات مصرف ویژه سوخت موتور دیزل OM314 را در حالت تمام بار نشان می دهد. با مشاهده این شکل می توان دریافت که مصرف ویژه سوخت موتور با مخلوط سوخت مورد آزمایش، نسبت به گازوییل معمولی (پایه) به طور میانگین ۶/۷٪ افزایش یافته است (جدول ۲). این میزان افزایش مصرف سوخت با توجه به افت ارزش حرارتی سوخت نانو امولسیون گازوییل/ اتانول قابل پیش بینی می باشد.



شکل ۲- تغییرات مصرف ویژه سوخت موتور با سوخت گازوئیل معمولی در مقایسه با سوخت گازوئیل/ اتانول ۱۰٪

بر راندمان حرارتی موتور مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۴ تاثیر نانو امولسیون تهیه شده و گازوئیل معمولی (پایه) را بر راندمان حرارتی موتور نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان گفت استفاده از سوخت مخلوط گازوئیل/ اتانول ۱۰٪ موجب بهبود راندمان حرارتی موتور در شرایط تمام بار نسبت به گازوئیل معمولی شده است. با توجه به اطلاعات جدول ۲ میانگین راندمان حرارتی موتور با سوخت نانو امولسیون حدود ۱/۲٪ نسبت به گازوئیل معمولی (پایه) افزایش نشان می‌دهد. با توجه به میزان افزایش راندمان حرارتی، اظهار نظر قطعی در مورد افزایش راندمان منوط به انجام آزمایشات بیشتر می‌باشد.

#### تأثیر سوخت مخلوط گازوئیل/ اتانول بر قطعات سیستم سوخت‌رسانی موتور

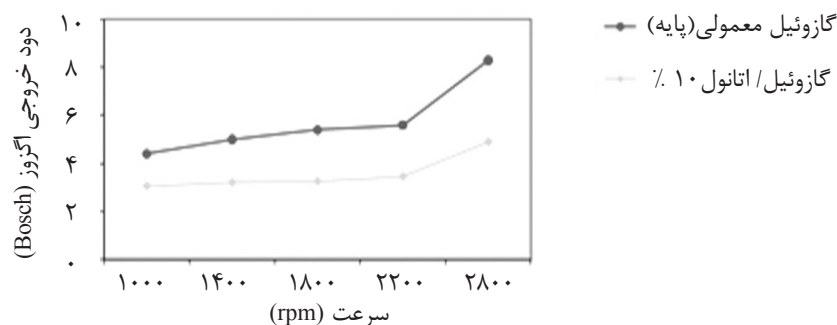
جنس قطعات پلیمری و فلزی مورد استفاده در سیستم سوخت‌رسانی موتور (فیلتر پمپ گازوئیل، شیلنگ‌های سوخت، انژکتور، لوله‌های فلزی سوخت) با روش‌های استاندارد شناسایی و مواد مشابه تهیه گردید (نایلون ۶، ABS، فولاد ۱۰۲۳، ۱۰۱۸). برای ارزیابی مقاومت کششی، ازدیاد طول و وزن قطعات پلیمری از روش غوطه‌وری مطابق استاندارد ASTM D534 استفاده شد. میزان خوردگی قطعات فلزی طبق استاندارد ASTM G31 مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد مخلوط گازوئیل/ اتانول هیچ گونه تأثیر منفی بر قطعات ندارد.

از نظر تئوری اکسیژن موجود در اتانول از تشکیل مخلوط (هوا/ سوخت) خیلی غنی در موتور جلوگیری نموده و موجب بهبود کیفیت احتراق می‌گردد. در نتیجه میزان انتشار دود و ذرات معلق کاهش می‌یابد. در نتیجه میزان دود، ذرات معلق و اکسیدهای ازت کاهش می‌یابد. در شکل ۳ روند تغییرات دود خروجی از اگزوز موتور دیزل بنز OM314 با سوخت مخلوط گازوئیل/ اتانول ۱۰٪ در مقایسه با گازوئیل معمولی بر اساس میزان غلظت دود (کدر بودن دود) و برحسب واحد اندازه‌گیری بوش<sup>۱</sup> رسم شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، این سوخت انتشار دود خروجی از اگزوز موتور را در قیاس با گازوئیل معمولی کاهش داده است.

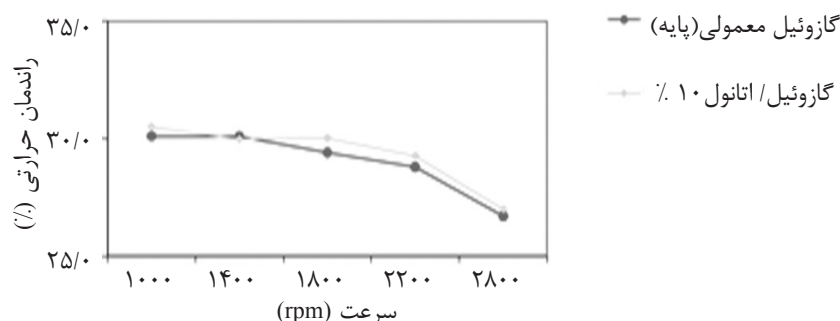
در جدول ۲ میزان کاهش دود خروجی از اگزوز موتور دیزل مورد آزمایش هنگام استفاده از سوخت مخلوط نسبت به گازوئیل معمولی (پایه) ارائه شده است که بیان‌گر کاهش دود به میزان ۳۶/۶٪ می‌باشد.

#### تأثیر سوخت مخلوط گازوئیل/ اتانول بر راندمان حرارتی موتور

راندمان حرارتی ترمزی، میزان بهره‌دهی حرارت آزاد شده در فرآیند احتراق و تولید قدرت ترمزی را نشان می‌دهد که بستگی به توان خروجی موتور، دبی سوخت مصرفی و ارزش حرارتی آن دارد. به دلیل نقش مهم ترکیب سوخت بر راندمان حرارتی موتور، تأثیر ترکیب سوخت مورد آزمایش



شکل ۳- تغییرات دود خروجی از موتور دیزل با گازوئیل معمولی و سوخت گازوئیل/اتانول ۱۰٪.



شکل ۴- منحنی تغییرات راندمان حرارتی موتور دیزل با گازوئیل معمولی و سوخت مخلوط گازوئیل/اتانول ۱۰٪.

می‌یابد.

۵- سوخت مخلوط گازوئیل/اتانول ۱۰٪ در مقایسه با گازوئیل معمولی تأثیری منفی بر قطعات فلزی و پلیمری سیستم سوخت رسانی موتور ندارد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب امتنان خود را از مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران به جهت حمایت از تحقیقات منتهی به این نتایج اعلام می‌دارند.

### نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشات انجام شده بر روی موتور دیزل OM314 با سوخت‌های نانو امولسیون الکل و گازوئیل در مقایسه با گازوئیل معمولی (پایه) بدون تغییر در تنظیم موتور به شرح ذیل می‌باشد:

۱- دود خروجی از آگزوز موتور حدود ۳۶/۶٪ کاهش می‌یابد.

۲- مصرف ویژه سوخت موتور با سوخت مخلوط الکل و گازوئیل ۶/۷٪ افزایش می‌یابد.

۳- توان موتور حدود ۷/۵٪ افت می‌کند.

۴- راندمان حرارتی ترمزی موتور حدود ۱/۲٪ بهبود

### مراجع

- [1]. Keith Owen and Trevor Coley, *Automotive fuels reference book*, Second Edition, Society of Automotive Engineers, Inc., 1995, U.S.A.
- [2]. Renewable Fuels Association, 2010 Ethanol Industry Outlook, *Climate of opportunity*, www.Ethanol RFA.org., Feb. 2010.
- [3]. Ahmed I., Pure Energy Corporation, "Oxygenated diesel: emission and performance characteristics of ethanol-diesel blends in CI engines", SAE, Inc., 2001-01-2475, 2001.

- [4]. Alan C. Hansen, Zhang Q., and W. L. Lyne P., Department of agricultural and biological engineering, University of Illinois, "*Ethanol-diesel fuel blends – a review*", Bioresource Technology, Vol. 96, pp.277-285, 15 Jun. 2004.
- [5]. L. McCormick R., and Parish R. *Technical barriers to the use of ethanol in diesel fuel* national renewable energy laboratory, NREL/MP-540-32674 Nov. 2001.
- [6]. Kim H., Choi B., Park S. and Kil Kim Y., *Engine performance and emission characteristics of CRDI diesel engine equipped with WCC and DOC using ethanol blebbed diesel Fuel*, Automobile Reseach Center, Chonnam National University, Gwangju, pp. 500-757, Korea.
- [7]. Walerand L. R., Venkatesh S. and Unnasch S., *Safety and performance assessment of ethanol/diesel blends(E-Diesel)*, TIAXLLC, Cupertino, California, NREL/SR-540-34817, Sept. 2003.
- [8]. Millan C., Chacartegui, Emilio Gonzales Lopez J., *Blending Ethanol in Diesel*, Final report for Lot 3b of Bioscopes project, Ecofys, Abengoa Bioenergy, O<sub>2</sub> Diesel, May 2007.