اثر ترکیبات مختلف متیل استر روغن کلزا بعنوان بیودیزل بر مشخصه های عملکرد یک موتور اشتعال تراکمی کم دور

حمید مشهدی میغانی[۱]- سعید مینایی[۲]

چکیده

در جهت مقایسه عملکرد موتور متیل استر روغن کلزا بعنوان بیودیزل و ترکیبات مختلف آن با سوخت دیزل در یک موتور بکار گرفته شد . موتور از نوع تک سیلندر مدل *M8/1* ساخت شرکت صانع تبریز بوده که به دینامومتراز نوع جذبی فرود مدل *DPX* متصل و مشخصه های توان ترمزی ، گشتاور ، مصرف سوخت ، مصرف سوخت ویژه ترمزی ، توان حرارتی و بازده حرارتی ترمزی موتور اندازه گیری گردید . آزمونها بصورت آزمایش فاکتوریل۷×۵ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام پذیرفت . فاکتورها شامل نوع سوخت در۵ سطح (سوخت دیزل مرسوم در ایران به عنوان سوخت مرجع و ترکیبات دارای ۲۵ ، ۵۰ ، ۷۵ و ۱۰۰٪ متیل استرکلزا بر مبنای حجمی بترتیب با *B00* ، *B25* ، *B50* ، *B75* و *B100*) و دور موتور در ۷ سطح (۵۵۰ تا ۱۱۵۰ با فواصل ۱۰۰ دوربر دقیقه از *S1* تا *S7*) انتخاب و نامگذاری گردید .

نتایج تستهای کوتاه مدت موتور که بر مبنای استاندارد *SAE1349 – Jun 95* انجام پذیرفت ، توان ترمزی وگشتاور *B100* را به ترتیب ۲۱/۹۴٪ و ۲۲/۴۷٪ کمتر از *B00* نشان می دهد . مصرف سوخت و توان حرارتی *B100* نیز نسبت به *B00* با ۲۹/۴۳٪ و ۳۴/۲۳٪ کاهش همراه است .

۱- دکترای مکانیک ماشینهای کشاورزی وعضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اراک
۲- استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

کلید واژه ها *:* بیودیزل ، متیل استر کلزا ، آزمون کوتاه مدت موتور ، مشخصه های عملکرد ، موتور کم دور

مقدمه

امروزه افزایش نیازمندی استفاده از منابع سوختهای فسیلی که با روند صعودی قیمت این محصولات ، کاهش ذخایر موجود و مسایل زیست محیطی همراه بوده است لزوم دستیابی به منابع جدید انرژی را اجتناب ناپذیر کرده است . طی پنج سال گذشته نیاز ۱۴ میلیارد تنی به این نوع محصولات با ۵۰٪ افزایش مواجه بوده و به منظور حفظ منابع موجود ، استفاده از منابع نوین و سوختهای جایگزین امری اجتناب ناپذیر است (نات ، ۱۹۹۵) . در طی ۱۵ سال گذشته روند حاکم بر مصرف انرژی جهانی بر مبنای استفاده از سوختهای جایگزین بوده و در سال ۱۹۹۲ مصوبه سیا ست انرژی جهانی [1] دولتها را موظف کرده تا سال ۲۰۰۵ میزان ۷/۵٪ از سوختهای موتورهای فعلی را با سوختهای غیر نفتی جایگزین نموده و این رقم تا سال ۲۰۱۰ بایستی به ۲۵٪ افزایش یابد (فیشر و همکاران ، ۱۹۹۸) .

عمده ترین مصرف سوختهای فسیلی در موتورهای احتراق داخلی می باشد . سوختهای جایگزین موتورهای اشتعال تراکمی بدلیل منشأ حیاتی آنها به نامهای بیودیزل [2] نامیده می شوند . لذا بیودیزل به طیف وسیعی از سوختها گفته می شود که از انواع روغنهای گیاهی و چربیهای حیوانی تهیه می شوند . مهمترین جنبه بکارگیری بیودیزلها توانایی این گونه سوختها در راه اندازی و دوام عملکرد موتور به هنگام استفاده از آنها در مقایسه با سوختهای مرسوم می باشد . محققین زیادی در رابطه با این موضوع تلاش کرده اند که در ادامه به برخی از آنها اشاره خواهد شد . پترسون و همکاران (۱۹۹۷) در جهت ارزیابی عملکرد هشت نوع سوخت متفاوت آنها را مورد ارزیابی کوتاه مدت و بلند مدت در موتور قرار دادند . . پارامترهای عملکرد سوخت شامل قدرت خروجی ، گشتاور ، غلظت دود خروجی و ارزیابی مصرف سوخت در این آزمونها مورد توجه قرار گرفته است . نتایج این تحقیق نشان می دهد که بطور متوسط ۹/۲٪ از توان موتور نسبت به سوخت مرجع کاسته شده واین امر اثر خود را به صورت کاهش متوسط ۱۰٪ گشتاور نمایان می کند . کلارک و همکاران (۱۹۹۷) نیز مقایسه هایی بین متیل و اتیل استر سویا به عنوان جایگزین با سوخت دیزل انجام داده اند . آزمونهای مزرعه ای متفاوتی نیز توسط محققین در ارتباط با بکارگیری این سوختها انجام شده است . از آن جمله زانچی و همکاران (۱۹۹۷) بکارگیری اتیل استر کلزا در یک موتور فیات را با سوخت دیزل مقایسه کردند . با توجه به لزوم انجام آزمونهای مختلف در راستای تعیین امکان استفاده از آن و ارزیابی عملکرد موتور تحقیق حاضر با اهداف زیر انجام گرفت :

- بررسی عملکرد یک موتور اشتعال تراکمی کم دور مورد استفاده در کشاورزی با استفاده از بیودیزل

---

[1] - Energy policy act ; EPA
[2] - Biodiesel

- بکارگیری ترکیبات مختلف سوخت حاوی درصدهای متفاوت از بیودیزل مورد نظر و سوخت دیزل مرسوم در ایران به منظور مقایسه عملکرد موتور در حالتهای مختلف
- ارائه راهکارهایی جهت گسترش و بکارگیری مناسب این سوختها در ایران

در جهت دستیابی به اهداف فوق متیل استر کلزا به عنوان بیودیزل تهیه و آزمونهای لازم جهت ارزیابی و مقایسه خصوصیات آن با سوخت دیزل انجام پذیرفت . به منظور مقایسه عملکرد موتور دیزل ترکیبات مختلف متیل استر کلزا و سوخت دیزل بکار گرفته شد و مشخصه های عملکرد موتور در یک سری آزمون کوتاه مدت اندازه گیری گردید که نتایج امیدوار کننده ای را نشان می دهد .

مواد و روشها

به منظور ارزیابی عملکرد موتور دیزل بهنگام استفاده از بیودیزل و مقایسه آن با سوخت دیزل مرسوم نسبتهای مختلف سوخت مورد نظر در یک موتور دیزل بکارگرفته و مشخصه های عملکرد موتور اندازه گیری گردید. آزمونها در قالب آزمایشات فاکتوریل ۷*۵ به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام گرفت. فاکتورهای مورد نظر عبارتند از سوخت مصرفی در ۵ سطح شامل سوخت دیزل مرسوم در ایران به عنوان مرجع و ترکیبات حاوی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪ بیودیزل بر مبنای حجمی که بترتیب *B00* ، *B25* ، *B50* ، *B75* و *B100* و سرعت دورانی موتور در ۷ سطح از ۵۵۰ تا ۱۵۰ دور با فواصل ۱۰۰ دور بر دقیقه که با *S1* تا *S7* نامیده می شوند.

موتور مورد نظر از نوع تک سیلندر ساخت شرکت صانع دیزل[1] تبریز مدل *M8/1* که در ۸۵۰ دور بر دقیقه دارای توان ۸ کیلووات می باشد و با تزریق مستقیم سوخت کار می کند. دینامومتر مورد استفاده از نوع جذبی فرود[2] مدل *DPX* بود که از طریق کوپلینگ به موتور متصل گردید. آزمونها در قالب یک تست کوتاه مدت بر مبنای استاندارد انجمن مهندسین خودرو *SAE1349-JUN 95* و با هدف ارائه مقایسه دقیق بین سوختها در محل شرکت سازنده موتور انجام پذیرفت .

پارامترهای تحت کنترل دور موتور، بار اعمالی از طرف دینامومتر به موتور و آهنگ مصرف سوخت بوده است. به منظور کنترل دقیق دور موتور از دور سنج دیجیتالی و دستی بطور توأم استفاده شد و بار اعمالی نیز به روش دستی کنترل گردید. اندازه‌گیری آهنگ مصرف سوخت از روش پیپت انجام پذیرفت. هر مرحله ای تست شامل کارکرد موتور در دور مورد نظر بمدت ۳۰ ثانیه و فاصله بین مراحل نیز ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شد. مرحله گرم کردن موتور شامل ۲ دقیقه کارکرد با سوخت دیزل و ۸ دقیقه با سوخت مورد نظر تعیین گردید.

مشخصه های توان ترمزی، گشتاور، آهنگ مصرف سوخت، مصرف سوخت ویژه، توان حرارتی و راندمان حرارتی ترمزی موتور در رابطه با هر نوع سوخت بعنوان پارامتر مورد مقایسه در نظر گرفته شد. طبق استاندارد به منظور تصحیح اثر ارتفاع محل تست ۱۶٪ به توان انداه گیری اضافه گردید. در طول مدت تستها

1- Sane Diesel Co.
2- Froud

تغییری در موتور اعمال نگردید و هیچ مشکلی از قبیل اختلال در جریان سوخت و گرفتگی انژکتور مشاهده نشد. نتایج آزمونها بکمک نرم افزار *SPSS* مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

بحث و نتیجه گیری

نتایج مقایسه میانگین های سطوح مختلف فاکتورها در سطح ۵٪ که به روش آزمون چند دامنه ای دانکن انجام پذیرفته ، در جدول (۱) نشان داده شده است . مقایسه میانگین های توان ترمزی در سوختهای متفاوت اختلاف معنی داری را بین *B00* و *B25* نشان نداده است . این در شرایطی است که متوسط توان ترمزی *B25* نسبت به *B00* فقط با ۲/۷۴٪ کاهش همراه بوده است . بیشترین تغییردر توان ترمزی مربوط به سوخت *B100* نسبت به *B00* بوده که ۲۱/۹۴٪ کاهش داشته است . شکل (۱) این تفاوتها را بهتر نشان می دهد . کاهش توان ترمزی به واسطه افزایش درصد بیودیزل موجود در ترکیب سوختی مورد استفاده نتیجه کمتر بودن ارزش حرارتی این سوختها و کمتر بودن فشار درون محفظه احتراق در موقع بکارگیری بیودیزلها می باشد (مانیکام و وندل ، ۱۹۹۳). در همین رابطه اختلاف معنی دار میانگین های توان ترمزی در دورهای مختلف نیز به دلیل ارتباط مستقیم این مشخصه با دور موتور می باشد .

مقایسه میانگین های گشتاور موتور در سوختهای مختلف علی رغم اختلاف معنی دار گشتاور تولیدی توسط *B00* و *B25* فقط ۳/۵۹٪ کاهش را برای *B25* نسبت به *B00* نشان می دهد . این در حالی است که *B100* با ۲۲/۴۷٪ کاهش نسبت به *B00* حداکثر تفاوت در میزان گشتاور تولیدی را در سطوح سوخت دارا می باشد . حداکثر گشتاور در سوختهای مختلف در محدوده *S3* تا *S5* که ناحیه کارکرد مفید موتور می باشد مشاهده شده است (شکل - ۱) . دلیل افت گشتاور در سرعتهای بالا افزایش تلفات اصطکاکی و محدودیت عملکرد صحیح سوپاپها در دور بالا و در نتیجه کاهش بازده حجمی موتور می باشد (میرسلیم ، ۱۳۷۸) . در سرعتهای پایین وجود بار معکوس روی سیلندر قبل از بسته شدن سوپاپها ی هوا باعث افت گشتاور موتور خواهد گردید (پیروزپناه ، ۱۳۷۸) . میانگین مصرف سوخت نمونه های خالص سوختهای دیزل و بیودیزل تفاوت زیادی با یکدیگر نشان می دهند (شکل- ۲) بطوریکه مصرف سوخت *B100* نسبت به *B00* دارای ۲۹/۴۳٪ کاهش می باشد . این اختلاف به دلیل زیادتر بودن وزن مخصوص و گرانروی *B100* بوده وبا توجه به اینکه در هنگام انجام آزمایشها تغییری در مکانیزم سیستم سوخت رسانی اعمال نگردیده است لذا ممکن است ارسال سوخت بطور کامل انجام نشده باشد . این شرایط در دورهای بالاتر به دلیل نیاز بیشتر به ارسال سوخت محدودیت بیشتری را برای موتور فراهم می کند . از دیدگاه اقتصادی مصرف سوخت کمتر مطلوبتر است ولی احتمال اینکه سیستم سوخت رسانی قابلیت هدایت کامل مقدار سوخت مورد نیاز با گرانروی زیاد را نداشته و عملاً سوخت کمتر از حد مورد نیاز در مراحل پاشش به سیلندر ارسال شده باشد نیز وجود دارد . کاهش قابل توجه مشخصه های توان ترمزی و گشتاور موتور مخصوصاً در سرعتهای بالا در مورد *B100* و دیگر ترکیبات دارای بیودیزل را نیز می توان دلیل دیگری برای این موضوع دانست . میانگین

مصرف سوخت تابع شرایط کارکرد و دور موتور بوده و لذا در دورهای متفاوت اختلاف معنی داری نشان می دهند . مصرف سوخت موتور یک معیار کمّی بوده و برای ارزیابی کیفی کارکرد موتورمشخصه مصرف سوخت ویژه ترمزی مورد بررسی قرار می گیرد . کمترین میزان مشخصه مورد نظر برای *B25* بدست آمده که ۱۲/۴۱٪ نسبت به *B00* کاهش نشان می دهد . این حالت از دیدگاه اقتصادی بسیار مطلوب می باشد و به معنی این است که با افزودن درصد مناسبی از بیودیزل به سوخت دیزل مرسوم ، تولید توان با صرف میزان سوخت کمتر امکان پذیر است . میانگین توان حرارتی سوخت در سرعتهای دورانی مختلف تابع مصرف سوخت و ارزش حرارتی آن می باشد . بیشترین توان حرارتی متعلق به *B00* و کمترین مقدار آن به *B100* تعلق دارد که با ۳۴/۲۳٪ کاهش همراه است . این کاهش تا حدودی متعلق به مصرف سوخت کمتر بواسطه بیشتر بودن گرانروی آن بوده وبا اعمال تغییر در سیستم سوخت رسانی تا حدودی قابل جبران می باشد . مقایسه بازده حرارتی ترمزی سوختها بیانگر این است که کمترین بازده متعلق به *B00* می باشد . با توجه به اینکه بیشترین توان ترمزی مربوط به سوخت یادشده است ، کاهش بازده قطعاً به دلیل تولید توان حرارتی افزون تر می باشد . به عبارت دیگر علی رغم تولید توان ترمزی بیشتر این موضوع منتهی به افزایش بازده حرارتی ترمزی نگردیده است . در این شرایط مصرف سوخت بیشتر فقط موجب تولید حرارت در موتور گردیده و افزایش فرسایش قطعات ، کاهش کیفیت روغن ، عملکرد نا مطلوب موتور و بعضی عیوب دیگررا به همراه دارد . از دیدگاه اقتصادی این حالت یک جنبه منفی برای سوخت دیزل مرسوم محسوب می گردد . بیشترین بازده حرارتی ترمزی متعلق به *B25* بوده و به میزان ۱۲/۵۷٪ نسبت به *B00* بیشتر است .

به منظور تعیین چگونگی تأثیر مشخصه های عملکرد اندازه گیری شده بر یکدیگر ، نسبت به انجام رگرسیون خطی نتایج اقدام گردید . در این بررسی بازده حرارتی ترمزی به عنوان متغیر وابسته و مشخصه های سرعت دورانی موتور ، آهنگ
مصرف سوخت و ارزش حرارتی به عنوان متغیرهای مستقل در نظرگرفته شده اند . بر این اساس معادله حاصل به صورت

جدول (۱) - مقایسه میانگین مشخصه های عملکرد موتور در سطوح مختلف فاکتورهای آزمایش در سطح ۵٪

سطوح	مقادیر اندازه گیری شده

اصلی متغیرها	توان ترمزی (کیلووات)	گشتاور (نیوتن متر)	مصرف سوخت (کیلوگرم بر ساعت)	مصرف سوخت ویژه ترمزی (کیلوگرم بر کیلووات ساعت)	توان حرارتی (کیلووات)	بازده حرارتی ترمزی (درصد)
B00	۵/۸۷۴*a*	۶۵/۷۳*a*	۱/۹۴۶*a*	۰/۳۲۲*a*	۲۲/۸۷۱*a*	۰/۲۷۳۴*c*
B25	۵/۷۱۳*a*	۶۳/۳۷*ab*	۱/۷۵۵*b*	۰/۲۸۲*d*	۱۹/۰۸۸*b*	۰/۳۰۷۸*a*
B50	۵/۲۷۵*b*	۵۹/۷۵*b*	۱/۵۷۹*b*	۰/۲۹۸*c*	۱۷/۶۶۴*c*	۰/۳۰۴۶*ab*
B50	۵/۱۷۹*c*	۵۷/۵۹*c*	۱/۵۷۵*b*	۰/۳۰۸*bc*	۱۷/۴۴۹*c*	۰/۲۹۸۷*b*
B100	۴/۵۸۵*d*	۵۰/۹۶*d*	۱/۴۷۳*c*	۰/۳۱۳*b*	۱۵/۰۴۳*d*	۰/۳۰۶۳*a*
S1	۲/۸۸۳*f*	۵۰/۰۶*e*	۰/۹۶۷*g*	۰/۳۴۱*b*	۱۰/۹۸۳*g*	۰/۲۶۱۵*d*
S2	۳/۸۷۷*e*	۵۶/۹۶*c*	۱/۱۰۱*f*	۰/۲۸۶*d*	۱۲/۴۶۴*f*	۰/۳۱۱۹*b*
S3	۴/۹۶۳*d*	۶۳/۲۱*a*	۱/۳۱۷*e*	۰/۲۶۵*e*	۱۴/۹۴۵*e*	۰/۳۳۴۶*a*
S4	۵/۶۳۴*c*	۶۳/۳۰*a*	۱/۵۲۴*d*	۰/۲۷۱*e*	۱۷/۲۷۸*d*	۰/۳۲۷۳*a*
S5	۶/۲۸۱*b*	۶۳/۱۵*a*	۱/۷۵۵*c*	۰/۲۷۹*d*	۱۹/۸۸۹*c*	۰/۳۱۷۹*b*
S6	۶/۷۶۳*a*	۶۱/۵۱*b*	۲/۱۵۰*b*	۰/۳۱۷*c*	۲۴/۴۲۲*b*	۰/۲۸۳۳*c*
S7	۶/۷۳۵*a*	۵۵/۹۳*d*	۲/۴۲۷*a*	۰/۳۶۱*a*	۲۷/۵۷۹*a*	۰/۲۵۰۷*e*

رابطه زیر می باشد . در این رابطه :

$$\eta bt = 1.307\ S + 0.255\ Hg\ - 1.693\ mf$$

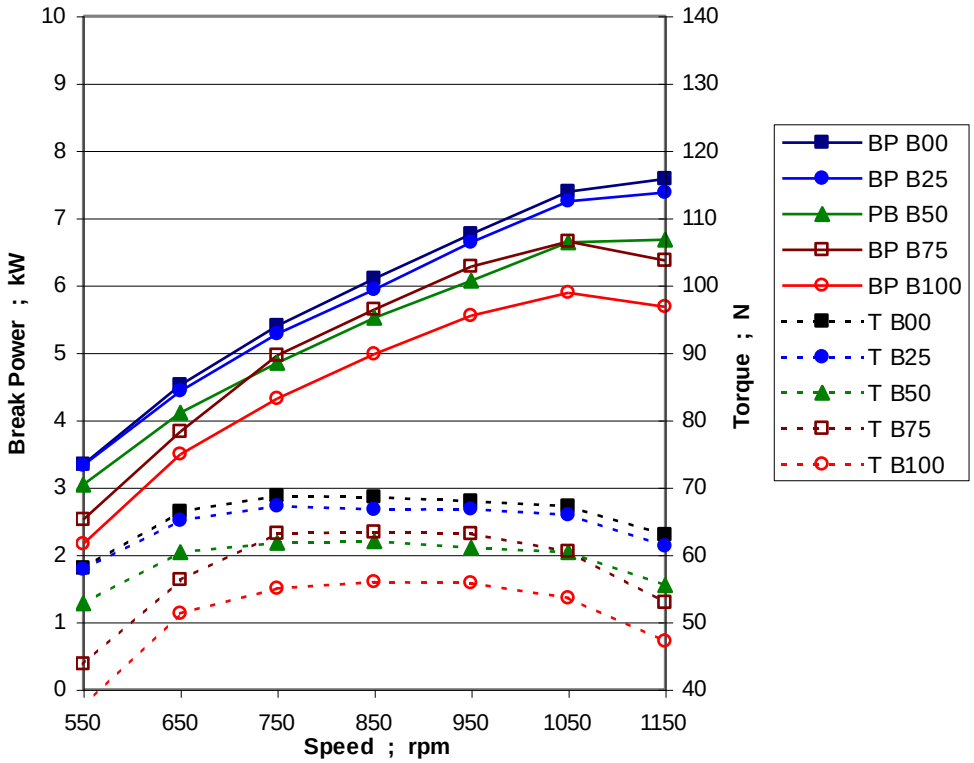
ηbt = بازده حرارتی ترمزی بر حسب درصد

S = سرعت دورانی موتور بر حسب دور بر دقیقه

Hg = ارزش حرارتی سوخت بر حسب کیلو ژول بر کیلوگرم

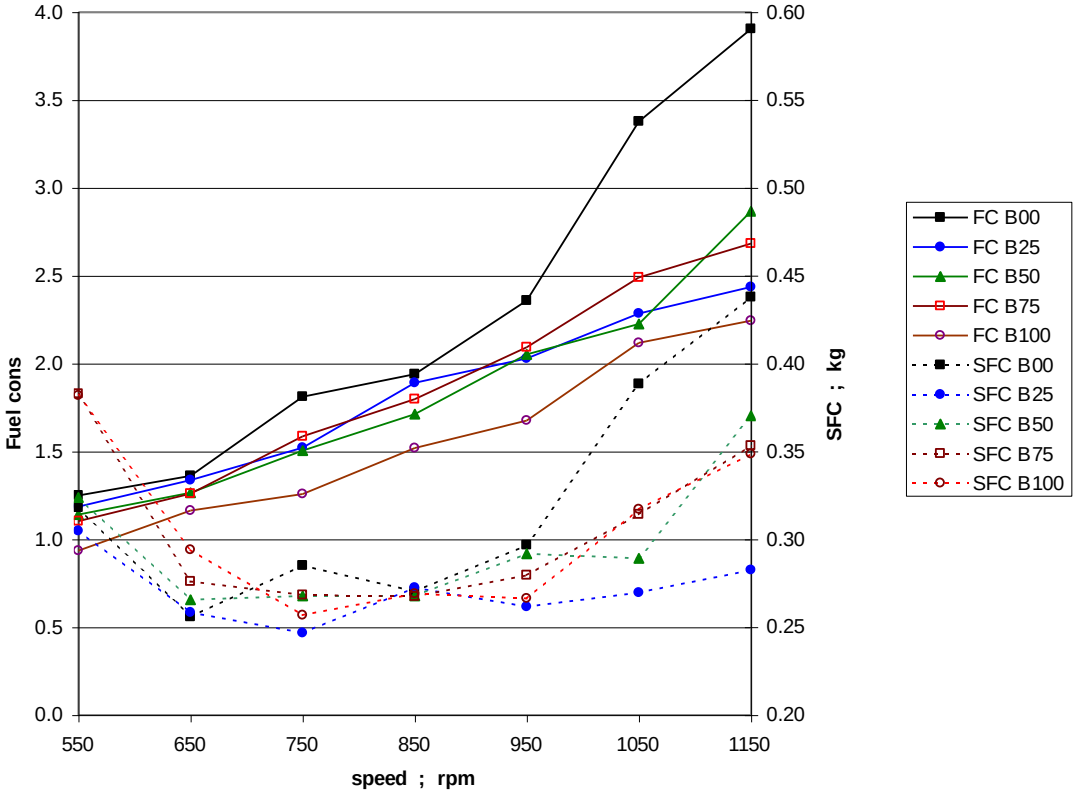
mf = آهنگ مصرف سوخت بر حسب گیلوگرم بر ساعت

بوده ودر آن ضریب همبستگی متغیرهای مورد نظر r^2 =۰/۸۱۸ می باشد . طبق رابطه فوق ، افزایش مشخصه آهنگ مصرف سوخت به مفهوم کاهش بازده حرارتی ترمزی بوده و بیشتر بودن ارزش حرارتی یک سوخت نیز موجب افزایش بازده حرارتی ترمزی خواهد گردید .



شکل (۱) - نمودار منحنی عملکرد توان ترمزی و گشتاور موتور در هنگام استفاده از سوختهای مورد آزمایش

بطور کلی نتایج آزمونها ، تشابه سوخت *B25* را نسبت به *B00* و در مواردی برتری آن را تایید می کند . سوخت *B100* در مقایسه با *B00* در تمامی مشخصه های اندازه گیری شده تفاوتهای معنی داری را داشته است . با توجه به گرانروی بیشتر متیل استر کلزا نسبت به سوخت دیزل و عدم ایجاد تغییر در میزان سوخت ارسالی توسط سیستم سوخت رسانی انتظار می رود با تغییر در سیستم سوخت رسانی و ارسال مقدار سوخت مناسب و کافی این تفاوتها کاهش یابند . توان ترمزی ، گشتاور ، مصرف سوخت ویژه ترمزی و توان حرارتی از مشخصه هایی هستند که با ارسال مقدار سوخت مساوی در طول مدت آزمونها نتایج کاملتری جهت مقایسه با سوخت دیزل دارا خواهند بود . در مقایسه نتایج کلی آزمونها می توان تفاوت خصوصیات سوخت و عملکرد موتور را به میزان درصد متیل استرکلزا موجود در ترکیب مورد نظر مربوط دانست بطوری که این عامل با میزان تفاوت بین پارامترهای مورد نظر ارتباط مستقیم دارد .



شکل (۲) - نمودار منحنی عملکرد مصرف سوخت و مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور در هنگام استفاده از سوختهای مورد آزمایش

فهرست منابع

۱. پیروزپناه ، وهاب . ۱۳۷۹ . احتراق . تست موتورهای احتراق داخلی . انتشارات دانشگاه تبریز

۲. میرسلیم ، مصطفی . ۱۳۷۸ . موتورهای درونسوز . مرکز نشر دانشگاهی تهران

3. *Anonymous . 1995 . Net power rating test . Society of Automotive Engineer (SAE) standard series . Completely revised by the power test committee . AVI pub. Vol. 28:16 .*
4. *Clark , S.L. , L. Wagner and M.D. Schrock . 1997 . Methyl and ethyl soybean as renewable fuels for diesel engine . JAOCS , 61(10) : 632 – 637 .*
5. *Fischer , J. , W. Gumbler and J. krahl . 1998 . Biodiesel in Europe 2000 . Presented at the biodiesel development and future market at the TAE . Ostfildern / Stuttgart , Germany .*
6. *Knott , D. 1995 . Alternative motor fuels as slow start toward use . Oil and gas journal . Vol . 93 (1) : 25 - 29 .*
7. *Manicam , B. and G. Wendel . 1997 . Methyl soyate evaluation of various diesel blends in a big DDC 6V-92TA engine . Final report No. 93 - E14 - 21 for fossen manufacturing .*
8. *Peterson , C. L . , B. Hammand , D. Reecs and Thompson . 1997 . Performance and durability testing of diesel engines using ethyl and methyl ester fuels . Department of*

biological and agricultural engineering of Idaho . Submitted completion of contract No. 52016-1 for NBB .