مهندسی بیوسیستم ایران، دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۵ (ص ۱۱۰-۱۰۳)

بررسی تاثیر استفاده از سوخت بیودیزل تهیه شده از روغن زیتون تلخ بر عملکرد یک موتور دیزل

حسین جم[۱]، احمد غضنفری مقدم[۲]*، محسن شمسی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. استاد پژوهشکده باغبانی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳. دانشیار بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان

(تاریخ دریافت : ۱۳۹۲/۱۰/۲۵– تاریخ تصویب : ۱۳۹۴/۵/۲۸)

چکیده

کاهش تدریجی منابع سوخت های فسیلی و افزایش قیمت آن‌ها باعث شده تا پژوهشگران به دنبال منابع انرژی تجدید پذیر برای جبران قسمتی از این سوخت‌ها باشند. اخیراً سوخت بیودیزل به دلیل آلودگی کمتر و تجدید پذیر بودن به عنوان یک جایگزین مناسب سوخت دیزل مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش از روغن زیتون تلخ به روش ترانس استریفیکاسیون بیودیزل تولید و خصوصیات فیزیکی و حرارتی آن با سوخت معمولی دیزل مقایسه گردید. سپس بیودیزل تولید شده به مقدار حجمی ٪۱۰، ٪۲۰، ٪۳۰ با گازوئیل مخلوط تاثیر استفاده هر یک از این این مخلوط ها، بیودیزل خالص و دیزل معمولی بر مصرف سوخت و گشتاور یک موتور تراکتور مسی فرگوسن ۲۴۰ مورد اندازه گیری و مقایسه قرار گرفتند. در انجام آزمایش‌ها، موتور با استفاده از یک دینامومتر تحت بارهای ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ نیوتن در متر قرار داده شد و سرعت دورانی موتور نیز از ۱۳۰۰ تا ۱۸۰۰ دور در دقیقه با فواصل ۱۰۰ دور در دقیقه تغییر داده شد. نتایج این بررسی نشان داد که با افزایش درصد حجمی بیودیزل در سوخت دیزل مقدار فشار موثر متوسط ترمزی (bmep)کاهش و مصرف سوخت ویژه ترمزی (bsfc) افزایش یافت. وقتی که بیودیزل خالص مورد استفاده قرار گرفت در مقایسه به دیزل خالص، مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی به مقدار۶۸/۹ درصد افزایش و فشار موثر متوسط ترمزی به مقدار۱۳/۴ درصد کاهش یافت. در مجموع مخلوط‌های ۱۰٪ و ۲۰٪ به ترتیب با ۴/۹ و ۶/۸ درصد افزایش در مصرف سوخت ویژه ترمزی و ۳/۶ و ۴/۳ درصد کاهش در فشار موثر متوسط ترمزی عملکرد بهتری نسبت به سایر مخلوط سوخت‌ها نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: بیودیزل، موتور، مصرف سوخت، توان موثر متوسط ترمزی

مقدمه

استفاده روز افزون از سوخت‌های فسیلی، افزایش قیمت و کاهش ذخایر این مواد باعث شده که مسئله تامین انرژی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته و پژوهشگران را برای یافتن منابع جدید انرژی خصوصاً منابع انرژی‌های پاک و تجدید پذیر ترغیب نماید. در این راستا تحقیقات زیادی در زمینه تهیه سوخت از روغن‌های گیاهی و چربی حیوانی و ضایعات کشاورزی انجام شده است و مطالعات و پژوهش در زمینه استفاده از بیودیزل مورد توجه ویژه پژوهشگران بوده است (Hemmat *et al*, 2013; Feizollhnejad, *et al*, 2009). بیودیزل که با ترانس استریفیکاسیون روغن های گیاهی یا حیوانی به دست می آید یک جایگزین مناسب برای سوخت دیزل می باشد و آلایندگی کمتری نسبت به سوخت دیزل تولید می‌کند (Bagby *et al*., 1987; Munson & Hertz., 1999). این سوخت در مقایسه با سوخت دیزل، به علت داشتن یک اتم اکسیژن در مولکول خود، نسبت به سوخت دیزل دارای ارزش گرمایی کمتری می‌باشد و در نتیجه مصرف آن در موتور توان کمتری تولید می‌کند (Nwafor *et al*., 2008). عدد ستان سوخت بیودیزل بالاتر از سوخت‌های معمولی دیزل بوده و مطالعات نشان می‌دهد که با افزودن ۲۰ تا۳۰ درصد سوخت بیودیزل به دیزل بهسوزی آن افزایش می‌یابد (Gumus & Kasifoglu, 2010).

تحقیقات زیادی در زمینه تولید بیودیزل از روغن‌های گیاهی به روش ترانس استریفیکاسیون صورت گرفته است. الکل‌های مناسب برای انجام واکنش ترانس، متانول، اتانول، پروپانول و بوتانول می‌باشند (Vicente *et al*., 2004). در یک پژوهش برای تهیه بیودیزل از روغن سویا با واکنش استریفیکاسیون از متانول و در حضور کاتالیزور هیدروکسید

*نویسنده مسئول: aghazanfari@uk.ac.ir

سدیم استفاده شد و مخلوط روغن، متانول و هیدروکسید سدیم در دمای ۶۰ درجه حرارت داده شد و برای انجام واکنش بهتر، مخلوط با یک همزن با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۵۰ دقیقه همزده شد(Demirbas, 2005). برای کاهش زمان واکنش و بیودیزل بیشتر تولیدی متغییرهای موثر بر تولید سوخت بیودیزل با استفاده از روش ترانس استریفیکاسیون را مورد بهینه سازی قرار گرفتند. این متغیرهای به ترتیب نسبت مولی الکل به روغن، دمای واکنش، میزان کاتالیزور بازی هیدروکسید پتاسیم، و شدت همزنی بودند (Bagherpur *et al*., 2010).

چگونگی عملکرد سوخت بیودیزل در موتور موضوع مورد علاقه بسیاری از پژوهشگران بوده است. در یک بررسی از انواع روغن‌های خوراکی، بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون تهیه گردید و با درصدهای مختلف با سوخت دیزل ترکیب گردید و در یک موتور دیزل آزمون شد (Najafi *et al*., 2007). خصوصیات سوخت بیودیزل شامل چگالی، ویسکوزیته و ارزش حرارتی از عواملی هستند که بر عملکرد موتور تاثیر می‌گذارند. در بررسی استفاده از بیودیزل حاصل از روغن پسماند خوراکی را در یک موتور دیزل نشان داده شدکه استفاده از سوخت بیودیزل باعث کاهش توان و گشتاور تولیدی می‌شود و علت این امر به زیاد بودن چگالی و ویسکوزیته و پایین بودن ارزش گرمایی این نوع سوخت ارتباط داده شد (Utlu & Kocak, 2008). ویسکوزیته سوخت بیودیزل به نسبت سوخت دیزل بیشتر است که این ازدیاد در ویسکوزیته منجر می‌شود تا استفاده به طور خالص از سوخت بیودیزل موجب پاشش صحیح سوخت در موتور نگردد (Aydin & Bayindir, 2010; Honnery *et al*., 2008). نجفی و خانی نیز با استفاده از روغن آفتابگردان به روش ترانس استریفیکاسیون بیودیزل تهیه کردند و سپس سوخت را در یک موتور دیزل مجهز به پرخوران آزمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که در دور ۱۴۰۰rpm با استفاده از بیودیزل و مخلوط‌های مختلف آن با گازوییل مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش و توان ترمزی کاهش می یابد (Najafi & Khani, 2011) که این نتایج در مطالعات مشابه دیگر نیز به چشم می خورد (Saidi Neicharan *et al*.,2009).

در ایران نیز پژوهش های متعددی در مورد تهیه بیودیزل از منابع مختلف و استفاده از این سوخت در موتورها مورد بررسی قرار گرفته است (Ghobadian, 2012; Najafi *et al*, 2007; Heidary *et al*, 2013). زیتون تلخ(L.*Meliaazedarach*) درختی است به وفور در هند و پاکستان رشد می‌کند و از آنجا که به گرما، خاک‌های فقیر و هوای خشک مقاوم است کشت آن در پارک‌ها و مناطق جنگلی ایران مورد توجه قرار گرفته است. سالانه درخت زیتون تلخ مقادیر زیادی میوه تولید می‌کند. که مصرفی نداشته بر روی زمین می‌ریزند. در هر دانه زیتون تلخ هسته‌هایی وجود دارند که حدود ۴۲-۴۰ درصد دارند (Zarandi, 2011). روغن زیتون تلخ سمی بوده و مصرف غذایی ندارد ولی از آن می‌توان برای مصارف صنعتی استفاده کرد. در پژوهشی که با استفاده از بیودیزل تهیه شده از روغن زیتون تلخ برای راه اندازی یک موتور دیزل صورت گرفت نشان داد که آلایندگی این سوخت نسبت به سوخت دیزل آلایندگی کمتری تولیدکرده و تنها به دلیل دمای بیشتر محفظه احتراق، مقدار اکسیدهای نیتروژن خروجی از اگزوز زیادتر بودند (Jam *et al*, 2015). هدف از این تحقیق تولید بیودیزل از روغن زیتون تلخ به روش ترانس استریفیکاسیون و آزمون آن در یک موتور تراکتورمسی فرگوسن ۲۴۰ بود که در این بررسی پارامترهای عملکردی مانند مصرف سوخت ویژه ترمزی و توان موثر متوسط ترمزی تحت شرایط مختلف کاری شامل دور، بار و درصدهای مختلف سوخت بیودیزل با دیزل در موتور، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه روغن

در این تحقیق میوه زیتون تلخ از درختان شهر کرمان برداشت و دانه‌های آن شکسته و هسته‌ها جمع آوری شد. هسته‌ها با استفاده از یک آسیاب خانگی خرد و در دمای حدود ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در آون[1] قرار داده شد تا رطوبت آنها تبخیر گردد. سپس مقدار ۲۰۰ گرم هسته آسیاب شده در یک سوکسله[2] یک لیتری ریخته شد تا روغن آنها گرفته شود. روغن‌گیری که با استفاده از حلال هگزان نرمال انجام شد و برای هر سری هسته آسیاب شده حدود ۵ ساعت و ۳۰ دقیقه به طول کشید و از آن حدود ۷۰ گرم روغن بدست آمد. روغن گیری. برای جدا کردن روغن از محلول هگزان نرمال، مخلوط روغن و حلال در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد تا حلال تبخیر شود (Zhang & Wang, 2006; Zarandi, 2011). برای حذف ناخالصی‌های درشت، روغن بدست آمده از یک فیلتر کاغذی عبور داده شد. برای حذف آب و ناخالصی‌های ریز، روغن فیلتر شده را به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. روغن حرارت دیده به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط گذاشته شد تا آب و مواد ریز آن ته‌نشین شوند (Amini & Ghazanfari, 2013).

1. Oven
2. Soxhlet

تهیه بیودیزل

با استفاده از روش استریفیکاسیون از روغن بدست آمده، بیودیزل تهیه گردید. در این پژوهش از متانول برای الکل و از هیدروکسید سدیم برای کاتالیزور واکنش، استفاده شد (Zarandi & Ghazanfari, 2007). بیودیزل بدست آمده را به روش آبشویی با همزن و فیلتر کردن با کاغذ صافی، خالص سازی شد. خصوصیات سوخت بیودیزل تهیه شده بر اساس استانداردهای ASTM D6751 بدست آمد و با همین استاندارد مقایسه شد. نقطه اشتعال و نقطه احتراق به روش روباز انجام شد. نقطه ریزش و ابری شدن به ترتیب مطابق با استانداردهای ASTM D97 و ASTM D 2500 و ویسکوزیته سینماتیکی با استفاده از ویسکومتر با میله دوار (FUNGILAB S.A. COModel VISCO BASIC+H, Spain) اندازه‌گیری شد. هر یک از این خصوصیات در سه تکرار اندازه گیری و میانگین هر اندازه‌گیری برای مقایسه با خصوصیات سوخت دیزل مورد استفاده قرار گرفت تا در صورت امکان اختلاف عملکرد این دو سوخت در موتور به خصوصیات آنها ربط داده شود.

آزمون موتور دیزل با سوخت‌های تهیه شده

پژوهشهای قبلی که در قسمت مقدمه به آنها اشاره شده نشان میدهند که بیودیزل در صورتیکه تا حدود ۲۰٪ با سوخت دیزل مخلوط شود، بدون نیاز در ساختار موتور، می‌تواند در موتورهای دیزل استفاده شود. در این پژوهش مقداری از بیودیزل تهیه شده با نسبت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ درصد با سوخت دیزل مخلوط گردید و بترتیب نمادهای B10، B20 و B30 برای آنها درنظر گرفته شد. از این مخلوطها، بیودیزل خالص (B100) و سوخت دیزل معمولی برای راه‌اندازی یک موتور دیزل استفاده تا عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گیرد. در این آزمون‌ها از یک موتور دیزل (Engine diesel, Model AD3.152, Perkins, England) که روی یک تراکتور مسی فرگوسن ۲۴۰ سوار بود استفاده شد. مشخصات این موتور در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات موتور دیزل تراکتور مسی فرگوسن ۲۴۰

قطر سیلندر(mm)	۹۱/۴
کورس پیستون(mm)	۱۲۷
نسبت تراکم	۱: ۱۶/۵
تعداد سیلندر	۳
سیال خنک کننده	آب
حجم جابجایی(l)	۲/۵
حداکثر گشتاور در دور۱۳۵۰(N.m)	۱۷۳/۵

در هر آزمون ابتدا موتور را به مدت ۱۰ دقیقه بدون بار با استفاده از سوخت معمول دیزل روشن تا شرایط دمایی و کاری موتور به حد معمول برسد. سپس با بستن مسیر سوخت دیزل، ادامه کار موتور با استفاده از سوخت مورد نظر که در یک مخزن جانبی قرار داشت صورت می گرفت.

در این آزمون ها دور موتور در ۶ سطح ۱۳۳۰، ۱۴۰۰، ۱۵۰۰، ۱۶۰۰، ۱۷۰۰ و ۱۸۰۰ دور در دقیقه (rpm) و بار موتور در سه سطح ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ نیوتن بر متر تنظیم گردید. در هر آزمون توان و گشتاور با استفاده از یک دینامومتر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سوخت مصرف شده، مخزن جانبی بر روی یک ترازوی دیجیتالی با دقت یک گرم قرار داده شده و زمان تغییرات جرمی سوخت با استفاده از کرونومتر اندازه‌گیری گردید. شکل ۱ تصویری از دستگاه دینامومتر و تراکتور را نشان می‌دهد.

شکل ۱- تراکتور مسی فرگوسن و نحوه اتصال دینامومتر به آن

یکی از شاخص‌های مورد نیاز برای ارزیابی یک سوخت مصرف سوخت ویژه ترمزی می‌باشد. سوخت بیودیزل به علت ارزش گرمایی پایین‌تر نسبت به سوخت دیزل در هنگام ترکیب با سوخت دیزل باعث می‌شود تا ارزش حرارتی سوخت ترکیبی کم شود و موجب کاهش در توان تولیدی می‌گردد. البته این کاهش در توان در نسبت‌های پایین ترکیب، کم می‌باشد. برای ارزیابی بهتر سوخت ترکیبی دیزل و بیودیزل و مقدار توان تولیدی به ازای سوخت مصرف شده از مصرف سوخت ویژه ترمزی استفاده گردید. مصرف سوخت ویژه ترمزی بیانگر نرخ مصرف سوخت به توان ترمزی خروجی از موتور می‌باشد (Ferguson & Kirkpatrick, 2001) که به صورت زیر محاسبه گردید:

$$bsfc = \dot{m}_f / \dot{w}_b \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در این رابطه $\dot{m}_f$ نرخ جرمی سوخت ورودی به داخل سیلندر و $\dot{w}_b$ توان ترمزی موتور می‌باشد.

یکی دیگر از پارامترهای ارزیابی موتور، فشار موثر متوسط

ترمزی (bmep) می‌باشد. فشار موثر متوسط ترمزی یک پارامتر خوب برای طراحی و یا مقایسه موتورها می‌باشد چون این پارامتر به سرعت و یا اندازه موتور بستگی دارد. برای مقایسه موتورهای بزرگ بهتر است از پارامتر گشتاور در فرمول فشار موثر استفاده شود (Pulkrabek, 1997). پس از اندازه‌گیری توان و گشتاور خروجی موتور با استفاده از دینامومتر پارامتر فشار موثر متوسط ترمزی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{bmep} = \frac{4\pi\tau}{V_d} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن τ گشتاور و V_d حجم جابجایی موتور می‌باشد.

برای بررسی عمیق‌تر تاثیر نوع سوخت بر عملکرد موتور، ابتدا مقدار میانگین درصد افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی یا با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$IF = \left(\sum_{i=1}^{i=6} \frac{FD_i - FB_i}{FD_i} \times 100\%\right)/6 \quad \text{(رابطه۳)}$$

در این رابطه IF درصد افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی، FD مقدار اندازه گیری شده برای سوخت دیزل در سرعتی مشخص و FB مقدار اندازه گیری شده برای سوخت ترکیبی در همان سرعت است. مقدار میانگین درصد افزایش فشار موثر متوسط ترمزی با رابطه (۴) به صورت زیر محاسبه شد:

$$IP = \left(\sum_{i=1}^{i=6} \frac{PD_i - PB_i}{PD_i} \times 100\%\right)/6 \quad \text{(رابطه ۴)}$$

در این رابطه IP درصد افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی یا کاهش فشار موثر متوسط ترمزی، PD مقدار اندازه گیری شده برای سوخت دیزل در یک سرعت مشخص و PB مقدار اندازه گیری شده برای سوخت ترکیبی در همان سرعت می‌باشد. در روابط (۳) و (۴) مقدار i از ۱ تا ۶ تغییر می کند زیرا در انجام آزمایش‌ها سرعت دوران موتور در ۶ سطح در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

خصوصیات اندازه‌گیری شده برای سوخت بیودیزل و دیزل معمولی در جدول ۲ نشان داده شده است. در همین جدول نیز محدوده توصیه شده‌ای نیز برای هر یک از این خصوصیات آورده شده است. همان‌طور که در جدول نشان داده شده است بیودیزل تهیه شده دارای چگالی بیشتری نسبت به سوخت دیزل می‌باشد ولی مقدار آن در محدوده توصیه شده می‌باشد. چگالی بیشتر نشان می‌دهد که مخزن پر شده از سوخت بیودیزل ۴/۸٪ وزنی بیشتر از مخزن پر شده با سوخت دیزل خواهد داشت. بیودیزل دارای ویسکوزیته بیشتری نسبت به سوخت دیزل می‌باشد، ویسکوزیته بیودیزل و دیزل به ترتیب ۴/۵۶cst و ۳/۵۶cst به دست آمد، زیادتر بودن ویسکوزیته سوخت بیودیزل باعث می‌شود تا با افزایش مقدار بیودیزل به سوخت دیزل عمل پاشش به خوبی صورت نگیرد و سوخت هنگام پاشش به خوبی پودر نشود. ویسکوزیته سینماتیکی به دست آمده سوخت بیودیزل در محدوده قابل قبول می‌باشد ولی استفاده خالص سوخت بیودیزل در موتور، موجب می گردد تا برای راندمان بهتر، در سامانه سوخت‌رسانی تغییراتی اعمال گردد (Aydin & Bayindir, 2010). بالا بودن نقاط اشتعال و احتراق سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل باعث می‌شود تا سطح ستان سوخت افزایش یابد (Icigur & Altiparmak, 2003) که این یک مزیت به شمار می‌آید و همچنین باعث می‌شود تا این سوخت همانند دیزل در دمای پایین مشتعل نشود. نقطه اشتعال بیودیزل ۷۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دیزل می‌باشد که باعث افزایش دما محفظه احتراق شود. نقطه ریزش و ابری برای بیودیزل به ترتیب ۹- و ۷- سانتی‌گراد به دست آمد که این مقادیر بیشتر از سوخت دیزل می‌باشد و این می‌تواند موجب بروز مشکلاتی هنگام روشن شدن موتور در دماهای سردتر شود.

جدول۲- مقایسه خصوصیات سوخت‌های دیزل و بیودیزل تهیه شده و محدوده توصیه شده برای آن‌ها

خصوصیات سوخت	دیزل	بیودیزل	محدوده (Dilip *et al*., 2008)
چگالی(kg/m^3)	۸۴۰	۸۸۰	۸۶۰۰-۹۰۰
ویسکوزیته (cst)	۳/۵۶	۴/۵۶	۱/۵-۶
نقطه اشتعال($^{\circ}C$)	۷۶	۱۴۶	۱۲۰<
نقطه احتراق($^{\circ}C$)	۱۲۵	۱۷۳	na
نقطه ریزش($^{\circ}C$)	-۱۷	-۹	۱۰<
نقطه ابری شدن($^{\circ}C$)	-۱۴	-۷	۷<

na: مقداری برای آن ذکر نشده است.

شکل۲ مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی در سرعت‌ها و بارهای مختلف برای سوخت‌های مورد استفاده شده را نشان می‌دهد. با افزایش مقدار بیودیزل به سوخت دیزل مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش یافته است. استفاده از بیودیزل به علت دارا بودن ارزش حرارتی پایین و ویسکوزیته بالا موجب می‌شود تا مقدار مصرف سوخت افزایش یابد (Raheman & Ghadge, 2008). با افزایش مقدار بیودیزل به دیزل تا حدود ۲۰٪ حجمی، اختلاف ناچیزی در مصرف سوخت ایجاد می‌شود. این افزایش بیودیزل به دیزل باعث شده تا از نظر چگالی و ویسکوزیته حالت مطلوبی داشته باشد و باعث بهسوزی در موتور

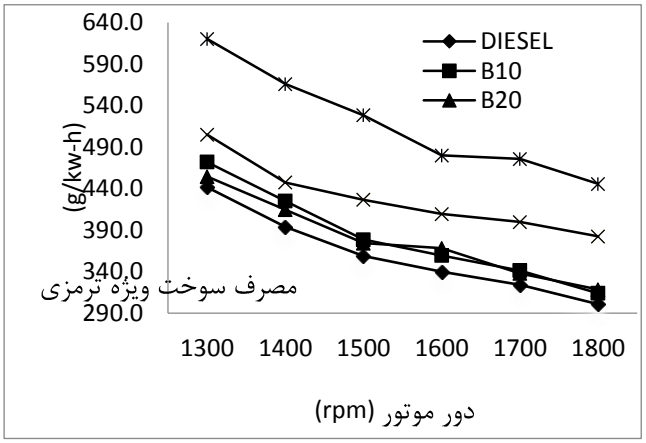
گردد (Sundarapandian & Devaradjane, 2007). مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی برای سوخت دیزل کمتر از سوخت بیودیزل می باشد. علت این امر در بیشتر بودن ۴ الی ۵ درصدی مقدار ارزش حرارتی سوخت دیزل است (Honnery *et al*., 2008).

مصرف سوخت ویژه ترمزی تابعی از سرعت دورانی می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش سرعت دورانی موتور، به دلیل کوتاه‌تر شدن زمان، تلفات حرارتی در طی هر چرخه، مصرف سوخت کاهش و در نتیجه مصرف سوخت ویژه ترمزی کاهش می‌یابد که البته این کاهش به پایین ترین حد خود می‌رسد ولی در سرعت های بالاتر از ۱۸۰۰ دور در دقیقه به دلیل تلفات اصطکاکی بالاتر، توان اصطکاکی افزایش می‌یابد که با توجه به کاهش راندمان مکانیکی و حفظ گشتاور خروجی ثابت، منجر به افزایش نرخ مصرف سوخت می‌شود تا این کاهش جبران شود (Lin & Wang, 2004). همان‌طور که در شکل‌های۲-الف، ۲-ب و ۲-پ مشاهده می‌شود با افزایش سرعت موتور، در سرعت مشابه برای سوخت دیزل که ارزش گرمایی بالاتری دارد، مقدار سوخت کمتری مصرف شده است. استفاده از سوخت بیودیزل خالص به دلیل داشتن ارزش گرمایی کمتر نسبت سوخت‌های دیگر، باعث افزایش مصرف آن شده است.

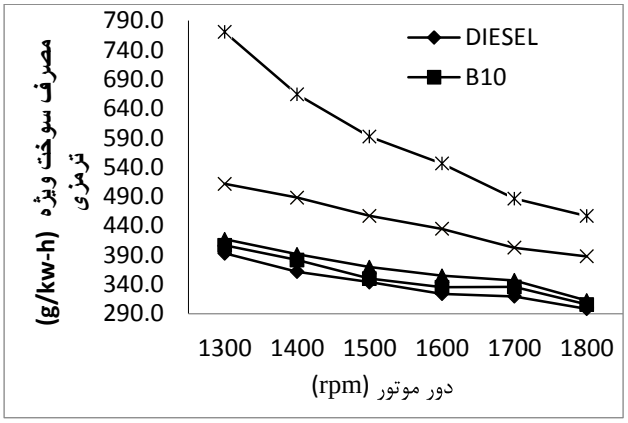
هنگامی که مقدار بار وارد بر موتور افزایش می‌یابد به همان نسبت مقدار سوخت بیشتری به داخل سیلندر پاشیده می‌شود. این امر در شکل‌های ۲-الف، ۲-ب و ۲-پ نشان داده شده است که کمترین و بیشترین مقدار مصرف سوخت را بترتیب سوخت‌های دیزل و B100 به خود اختصاص داده‌اند. همان‌طور که در شکل۲-پ نشان داده شده است با افزایش بار، مقدار مصرف سوخت در B100 به شدت افزایش می‌یابد (Sundarapandian & Devaradjane, 2007). اصولاً، سوخت بیودیزل به دلیل ویسکوزیته بالا و ارزش حرارتی پایین، عمل پاشش سوختن آن به خوبی صورت نمی‌گیرد که باعث احتراق ناقص شده و موتور جبران افت توان باید سوخت بیشتری مصرف نماید (Nurun *et al*., 2009; Mbarawa *et al*., 1999).

مقدار درصد افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی برای سوخت‌های ترکیبی نسبت به سوخت دیزل در بارهای مختلف که با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شده است در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می شود سوخت بیودیزل خالص (B100) با میانگین ۶۸/۹ درصد افزایش مصرف را داشته ولی سوخت‌های B10 و B20 به سوخت دیزل نزدیک بوده و می‌توانند جایگزین مناسبی برای سوخت دیزل باشند.

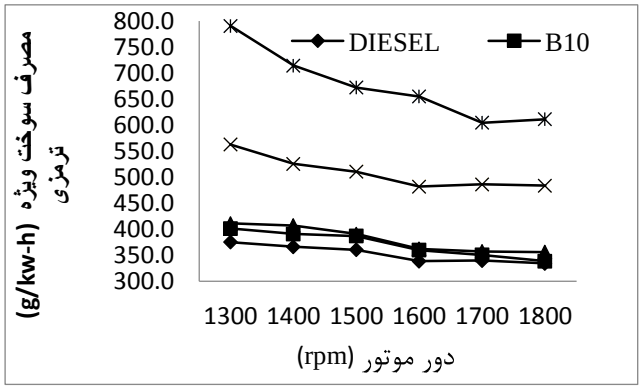
شکل ۳ تاثیر مقدار بیودیزل بر فشار موثر متوسط ترمزی در بارها و سرعت‌های مختلف را نشان می‌دهد. با افزایش مقدار بیودیزل به سوخت دیزل مقدار فشار موثر متوسط ترمزی کاهش می‌یابد (Kalam & Masjuki, 2008; Zhang & Wang, 2006). همان‌طور که در نمودارهای ۳ مشخص است سوخت دیزل بیشترین مقدار توان تولیدی را دارا می‌باشد. سوخت بیودیزل به علت ارزش حراراتی پایین، قادر به رقابت با سوخت دیزل در بارهای بالاتر نمی‌باشد و مصرف زیاد سوخت نیز کمکی به این امر نمی‌تواند بکند.



الف



ب

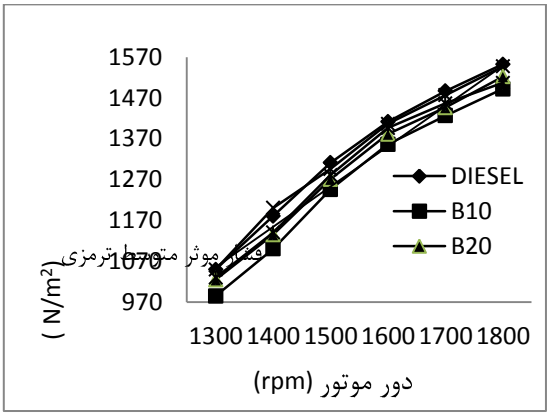


پ

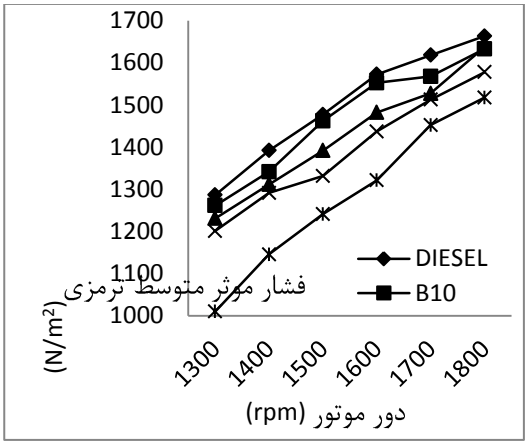
شکل ۲- تاثیر دور موتور بر مصرف سوخت ویژه ترمزی در بارهای مختلف: الف-۲۰۰، ب-۲۵۰ و پ-۳۰۰نیوتن متر

جدول ۳- درصد افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت به سوخت دیزل

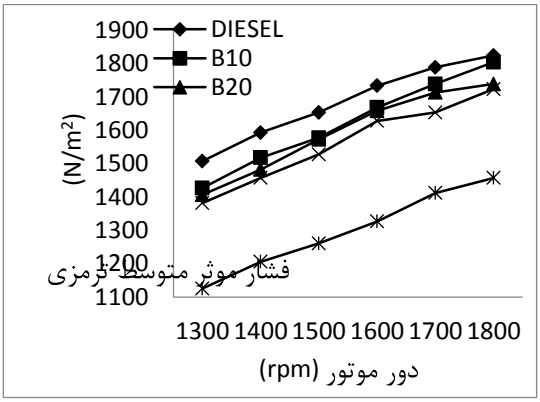
سوخت	بار وارد بر موتور			میانگین
	N.m۳۰۰	N.m۲۵۰	N.m۲۰۰	
B10	۵/۳	۳/۶	۵/۷	۴/۹
B20	۸	۷/۴	۵/۱	۶/۸
B30	۵۳/۷	۳۱/۴	۱۹/۵	۳۴/۹
B100	۹۱/۱	۷۱	۴۴/۵	۶۸/۹



الف



ب



پ

شکل ۳- تاثیر دور موتور بر فشار موثر متوسط ترمزی در بارهای الف: ۲۰۰، ب، ۲۵۰، پ و ۳۰۰ نیوتن متر

با افزایش دور موتور مقدار سوخت پاشیده شده به داخل موتور افزایش می‌یابد و به همان نسبت مقدار گشتاور تولیدی افزایش پیدا می‌کند در نتیجه مقدار فشار موثر متوسط ترمزی افزایش می‌یابد. به علت پایین بودن مقدار بار اولیه، مقدار گشتاور تولیدی برای سوخت‌ها تفاوت چندانی ندارد. در بارهای کم، موتور برای غلبه بر بار مقدار سوخت بیشتری مصرف می‌کند به همین علت تفاوت چندانی در توان تولیدی دیده نمی‌شود. با افزایش بار اولیه سوخت بیشتری به داخل موتور پاشیده می‌شود و به همان نسبت توان بیشتری تولید می‌گردد ولی این افزایش بار به حدی می‌رسد که سوخت پاشیده شده به داخل موتور جواب‌گوی بار وارد بر موتور نمی‌باشد و باعث اختلاف بین سوخت‌ها می‌گردد.

جدول ۴ مقدار درصد کاهش فشار موثر متوسط ترمزی را در سه سطح بار نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود میانگین فشار موثر متوسط ترمزی در بار ۲۰۰ نیوتن متر اختلاف ناچیزی را برای هر چهار نوع سوخت دارا می‌باشد. همان‌طور که در قبل گفته شد، به علت سبک بودن بار، این تفاوت ناچیز در فشار موثر متوسط ترمزی، با مقدار مصرف سوخت جبران شده است. در بارهای اولیه ۲۵۰ و ۳۰۰ نیوتن متر این مقدار اختلاف، قابل ملاحظه است اما اگر مقدار مصرف سوخت را برای ایجاد این مقدار کاهش در فشار موثر ترمزی در نظر گرفته شود شاید بیشتر این اختلاف به نظر برسد. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است سوخت بیودیزل خالص با میانگین ۱۳/۴ درصد کمترین مقدارکاهش فشار موثر متوسط ترمزی را دارا بوده است.

جدول ۴- درصد کاهش فشار موثر متوسط ترمزی در سه سطح بار

سوخت	بار وارد بر موتور			میانگین
	N.m۲۰۰	N.m ۲۵۰	N.m۳۰۰	
B10	۵/۰	۲/۱	۳/۷	۳/۶
B20	۲/۷	۴/۸	۵/۳	۴/۳
B30	۰/۱	۷/۳	۷/۳	۴/۹
B100	۲/۳	۱۵/۰	۲۳/۰	۱۳/۴

نتیجه‌گیری

آزمون‌های انجام شده نشان دادند که با استفاده از سوخت خالص بیودیزل تهیه شده از روغن زیتون تلخ یا مخلوط نمودن آن با گازوئیل، می‌توان موتور دیزل را راه‌اندازی کرد. ولی با افزایش مقدار سوخت بیودیزل در گازوئیل توان موتور کاهش و مصرف سوخت آن افزایش می‌یابد. فشار موثر متوسط ترمزی برای سوخت بیودیزل خالص در بارهای های مختلف به طور

متوسط به میزان ۱۳/۴ درصد نسبت به سوخت دیزل کاهش و مقدار مصرف سوخت به طور متوسط به مقدار ۶۸/۹ درصد افزایش نشان داد. نتایج همچنین نشان دادند که در تمام نسبت‌های سوخت، با افزایش دور توان تولیدی موتور افزایش یافت ولی با افزایش درصد بیودیزل در سوخت توان تولیدی کمتر شد. این اختلاف توان در بارهای بزرگتر بیشتر مشهود بود. در مجموع، دو سوخت ترکیبی B10 یا B20 در تولید توان و مقدار مصرف به سوخت دیزل نزدیک‌تر بوده و می‌توانند به عنوان جایگزین سوخت دیزل در نظر گرفته شوند.

سپاسگزاری

نویسندگان از سازمان محیط زیست استان کرمان برای مساعدت‌های فنی و تجهیزاتی لازم برای انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌نمایند.

REFERENCES

Amini Niaki. R. & Ghazanfari A. (2013) Comparison of fuel and emission properties of petro diesel and sunflower biodiesel prepared by optimized production variables. Fuel, 109:384-388.

Aydin, H. & Bayindir, H. (2010). Performance and emission analysis of cotton seed oil methyl ester in a diesel engine. *Renewable Energy*, 35 (3), 588–592.

Bagby, M. O., Freedman, B. & Schwab, A. W. (1987). Seed oils for diesel fuels: sources properties, ASAE Paper Number 871583, ASAE: St. Joseph, MI.

Bagherpur, H., Ghobadiyan, B., Tavakoli, T., Mohamadi, A., FayzoalahNejad, M., & Zenouzi, A. (2010). Optimizing effective parameters in biodiesel fuel production using transestrification method. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 41(1), 37-43. (In Farsi)

Demirbas, A. (2005). Biodiesel production from vegetable oils via catalytic & non-catalytic supercritical methanol transesterification methods. *Progress in Energy & Combustion Science*, 31(5-6), 466–487.

Dilip, K. B., Das, L. M. & GajendraBabu, M. K. (2008). Performance of a mixed biodiesel fueled diesel engine. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 67(1), 73-76.

Feizollahnejad, M., Ghobadian, B. Tavakoli Hashtjin T., Bagherpour, H. & Zenozi A. (2009) An investigation of the parameters affecting biodiesel fuel waterwashing. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 4(2): 147-154.

Ferguson, C. R., & Kirkpatrick, A. T. (2001). *Internal combustion engines*. (2nd ed.). Singapore: Wiley.

Ghobadian, B. (2012). Liquid biofuel potential and outlook in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16: 4379-4384.

Gumus, M., & Kasifoglu, S. (2010). Performance & emission evaluation of a compression ignition engine using a biodiesel (apricot seed kernel oil methyl ester) and its blends with diesel fuel. *Biomass and Bioenergy* 34(1), 134–139.

Hemmat, Y, Ghobadian, B., Loghavi M., Kamgar, S., & Fayyazi, E. (2013). Biodiesel fuel production from residual animal fat as inedible and inexpensive feedstock. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 5(1): 84-91.

Heydari, B., Hassan-beygi S.R., Ghobadian, B. & Taghizadeh, A. (2013). Vibration analysis of a small diesel engine using diesel-biodiesel fuel blends. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 15(3):117-123.

Honnery, D. Ghojel, J. and Stamatov, V. 2008. Performance of a DI diesel engine fuelled by blends of diesel and kiln-produced pyroligneous tar. Biomass and Bioenergy, 32, 358 – 365.

Icigur, Y. & Altiparmak, D. (2003). Effect of fuel cetane number & injection pressure on a DI performance & emissions. *Energy Conversion and Management*, 44(3), 389–397.

Jam, H., Ghazanfari, A. & Shamsi, M. (2015). Investigating the effects of using biodiesel prepared from Persian lilac oil on the exhaust emissions of a diesel engine. *Agricultural Machinery Journal*, Accepted for publication. (In Farsi)

Kalam, M. A. & Masjuki, H. H. (2008). Testing Palm biodiesel & NPAA additives to control NOx and CO while improving efficiency in diesel engines. *Biomass and Bioenergy*, 32(12), 1116–1122.

Lin, C. Y. & Wang, K. H. (2004). Diesel engine performance & emission characteristics using three-phase emulsions as fuel. *Fuel*, 83(4-5):537–545.

Mbarawa, M., Milton, B. E., Casey, R. T. & Miao, H. (1999). Fuel injection characteristics of diesel stimulated natural gas combustion. *Industrial Energy Research*, 23(15), 1359–1371.

Munson, J., & Hertz, B. (1999). Lubricity survey of low level biodiesel fuel additives using the 'Munson ROCLE' bench test. SAE Paper 1999-01e3590.

Najafi, B. & Khani, M. (2011). Study of the effect of ethyl ester of sunflower oil & its different mixtures with diesel on performance and emission parameters of a turbocharged direct injection diesel engine. *Journal of fuel & Combustion*, 4(1), 45-55. (In Farsi)

Najafi, G., Piroozpenah, V. & Ghobadian, B. Pour Ranjbar, A. (2007). Emprical investigation of performance and pullting parameters if a diesel enging when using CNG or biodiesel fuel. *Modarres Technical and Engineering Journal*, 28: 79-86. (In Farsi)

Najafi, G., Ghobadian, B., Yusaf, T. & Rahimi H. (2007). Combustion analysis of CI engine performance using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network aid. American

Journal of Applied Sciences, 4(10):756-764.

Nurun, N., Mustafizur, R. & Shamim, A. (2009). Biodiesel from Cotton seed oil & its effect on engine performance & exhaust emissions. *Applied Thermal Engineering*, 29(11-12), 2265–2270.

Nwafor, O., Rice, G. & Ogbonna A. (2008). Effect of advanced injection timing on the performance of Rapeseed oil in diesel engines. *Journal of Renewable Energy*, 21(3-4), 433–444.

Pulkrabek, W. (1997). Engineering fundamentals of internal combustion engines. New Jersey Prentice Hall.

Raheman, H. & Ghadge, S. V. (2008). Performance of diesel engine with biodiesel at varying compression ratio and ignition timing, *Fuel*, 87(2), 2659–2666.

Saidi Neicharan, M., Ghobadian, B. & Najafi, G. (2009). Experimental investigation of a diesel engine performance parameters using biodiesel fuel. *The Journal of Engine Research*, 5(16), 29-35. (In Farsi)

Sundarapandian, S. & Devaradjane, G. (2007). Performance and emission analysis of biodiesel operated CI engine," *Engineering Computing and Architecture*. 1(2), 1-22.

Utlu, Z. & Kocak, M. S. (2008). The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Renewable Energy*, 33(8):1936–1941.

Vicente, G., Martinez, M. & Aracil, J. (2004). A comparison of different homogeneous catalysts system, *Bioresource Technology*, 92(3), 297-305.

Zhang, H. & Wang, J. (2006) Combustion characteristics of a diesel engine operated with diesel & burning oil of biomass. *Renewable Energy*: 33(7),1025–1032.

Zarandi, M. (2011). *Comparison of mechanical and chemical peeling of Persian lilac fruits and extracting oil from their seeds*, M.Sc. thesis, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. (In Farsi)

Zarandi, M. & Ghazanfari, A. (2007). Chemical dehulling *Melia Azedrach* seeds using sodium hydroxide. In: Proceedings of: *The First National Conference on Agricultural Mechanization & New Technologies*.27 - 29, Ahvaz, Iran. (In Farsi)