علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره چهاردهم، شماره دو، تابستان ۹۱

بازیافت روغن پسماند خوراکی به صورت سوخت بیودیزل و بهینه‌سازی برخی از خواص فیزیکی آن

مهدی ترکیان بلداجی [1*]

بهمن نجفی [2]

امیرحسین زمزمیان [3]

رضا ابراهیم‌زاده [4]

تاریخ دریافت:۸۷/۸/۱۰ **تاریخ پذیرش:۸۷/۱۱/۱۷**

چکیده

بیودیزل آلکیل اِستر اسیدهای چربی است که از منابع طبیعی مانند روغن‌های گیاهی و یا چربی‌های حیوانی تولید می‌شود. این سوخت در مقایسه با گازوئیل متعارف فاقد ترکیبات گوگرد و آروماتیک بوده و در ساختمان مولکولی خود ۱۰٪ اکسیژن دارد که باعث کاهش آلاینده‌های خروجی از اگزوز موتور می‌گردد. در این تحقیق بیودیزل از روغن پسماند حاصل از پخت و پز به روش ترانس‌استریفیکاسیون و در حضور کاتالیزور سدیم‌هیدروکسید (۵/ درصد وزنی روغن) و متانول با نسبت مولی الکل به روغن ۶ به ۱ تولید شد. از روش کریستالیزه‌کردن اِستر در حلال هگزان نرمال برای بهبود برخی از خواص فیزیکی بیودیزل نظیر نقاط ابری‌شدن و ریزش استفاده گردید. نمونه‌های مختلفی از مخلوط بیودیزل (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد حجمی) و گازوئیل تهیه شده و از بیودیزل خالص و گازوئیل خالص نیز به عنوان سوخت شاهد استفاده گردید. سپس خواص فیزیکی هر یک مانند چگالی، ویسکوزیته، نقطه ابری شدن، نقطه ریزش و ارزش حرارتی نسبت به گازوئیل مورد مقایسه قرارگرفت. نتایج نشان داد که با افزایش درصد بیودیزل در نمونه‌ها چگالی، ویسکوزیته، نقطه ابری‌شدن و نقطه ریزش در مقایسه با گازوئیل متعارف افزایش یافت.

واژه های کلیدی: بیودیزل، روغن پسماند، ترانس استریفیکاسیون، خواص فیزیکی سوخت.

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین-پیشوا، باشگاه پژوهشگران جوان، ورامین، ایران (مسئول مکاتبات)

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- استادیار ، مهندسی شیمی پژوهشگاه مواد و انرژی- پژوهشکده انرژی

۴- دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین – پیشوا، دانشکده کشاورزی، تهران، ورامین

مقدمه

بحران کاهش منابع سوخت‌های فسیلی از یک طرف و مسئله آلودگی محیط زیست از سوی دیگر باعث شده است تا تولید و مصرف سوخت بیودیزل به شدت مورد توجه قرار بگیرد(۱). بیودیزل آلکیل استری است که از روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تولید شده و به عنوان سوخت در موتورهای دیزل استفاده می‌گردد. این سوخت بسیار شبیه به گازوئیل متداول بوده و برای استفاده از آن در موتور دیزل تغییرات اساسی لازم نیست و فقط باید تغییراتی در آغاز، خاتمه و میزان پاشش اعمال کرد که این به دلیل متفاوت بودن ارزش گرمایی و عدد ستان و برخی از خواص فیزیکی آن است(۲). تولید سوخت بیودیزل به سال‌ها قبل از اختراع موتور دیزل، به سال ۱۸۵۳ میلادی بر می‌گردد که توسط دو دانشمند آلمانی به نام‌های Duffy و Patrick تولید گردید. موضوع استفاده از سوخت‌های جایگزین در موتورهای احتراق داخلی منجر به اختراع موتور اشتعال تراکمی توسط رادولف دیزل گردید(۲).

با افزایش روزافزون جمعیت و محدودیت منابع آب و خاک برای تامین غذا، استفاده از روغن‌های خوراکی به عنوان سوخت نه تنها موجب از بین بردن منابع غذایی می‌شود بلکه از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه نمی‌باشند. بنابراین استفاده از منابع غیر خوراکی برای تولید سوخت بیودیزل امری الزامی است.

مواد و روش ها

۱- روش تولید سوخت بیودیزل

به منظور تولید سوخت بیودیزل، مولکول‌های روغن به اجزای ساده‌تر شکسته می‌شود تا قابل استفاده در موتور باشد. برای تولید بیودیزل سه روش شناخته‌شده وجود دارد: پیرولیز، میکروامولسیون و ترانس‌استریفیکاسیون، که روش ترانس استریفیکاسیون به لحاظ سادگی کاربرد بیشتری دارد. این فرآیند شبیه به فرآیند هیدرولیز است با این تفاوت که به جای آب، الکل جایگزین می‌شود. بدین منظور مولکول‌های ترکیبات روغن یا چربی با یک الکل مانند متانول و یا اتانول در حضور یک کاتالیزور اسیدی و یا قلیایی شرکت کرده و OH الکل مورد استفاده جایگزین زنجیره هیدروکربنی موجود در روغن می‌شود. در نتیجه استرهایی با ساختمان مولکولی جدید به نام استرهای متیل و یا اتیل اسید چرب به وجود می‌آید که تشابه زیادی با گازوئیل دارد(۳). میزان کاتالیزور مصرفی در حدود ۰/۵ تا ۱ ٪ وزنی روغن می‌باشد. نسبت استوکیومتریک برای واکنش الکل و روغن نسبت ۳ به ۱ مولی است ولی در عمل از نسبت ۶ به ۱ استفاده می‌شود که این به دلیل اطمینان از پیشرفت سریع و انجام کامل واکنش بوده و از نظر اقتصادی نیز باصرفه می‌باشد. یکی از محصولات با ارزش در فرآیند ترنس‌استریفیکاسیون گلسیرین است که در صنایع مختلف از جمله داروسازی و مواد آرایشی کاربرد دارد (۴).

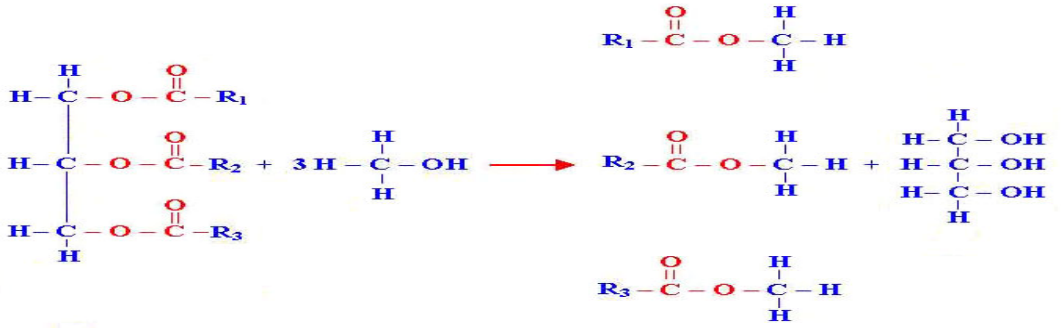
اهداف این تحقیق عبارتند از:

الف- بازیافت روغن پسماند حاصل از پخت و پز

ب- تولید سوخت بیودیزل از روغن پسماند

ج- بررسی خواص سوخت بیودیزل تولید شده از روغن پسماند

د- بررسی خواص سوخت مخلوط دیزل و بیودیزل



شکل ۱- فرآیند تبدیل تری‌گلیسیریدهای روغن به سوخت بیودیزل

۲- منبع تولید سوخت بیودیزل

روغن پسماند حاصل از پخت و پز که به عنوان یک ماده زاید به حساب می‌آید، می‌تواند به عنوان منبعی ارزان قیمت برای تولید سوخت بیودیزل مورد توجه قرارگیرد. در این تحقیق از روغن پسماند برای تولید سوخت بیودیزل استفاده گردید. به دلیل وجود ذرات و برخی ناخالصی‌های شیمیایی در روغن پسماند، بیودیزل تولیدشده دارای نقطه ابری‌شدن و ریزش نسبتا بالایی است. به منظور بهبود این خواص، اِستر تولید شده از واکنش ترانس‌استریفیکاسیون در حلال هگزان حل شده و ناخالصی‌های موجود در استر که به صورت شبکه-های مومی ظاهر می‌شود در اثر سردکردن تا دماهای زیر ^{o}C ۱۰- از استر جدا می‌گردد و در نتیجه تشکیل شبکه‌های مومی در دماهای بالاتر رفع شده و نقاط ابری و ریزش سوخت بیودیزل اصلاح می‌گردد.

۳- مراحل تولید سوخت بیودیزل

مراحل تولید سوخت را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۳-۱- تصفیه روغن پسماند: برای جداکردن ناخالصی‌ها و ذرات معلق، روغن پسماند رستوران از کاغذ صافی عبور داده شد.

۳-۲- واکنش ترنس‌استریفیکاسیون: ابتدا روغنی که از صافی کاغذی عبور داده شده بود تا دمای ^{o}C ۶۰ حرارت داده شد و همزمان متانول با نسبت مولی الکل به روغن ۶ به ۱ انتخاب و با سدیم‌هیدروکسید معادل ۰/۵ وزن روغن مخلوط گردید و سپس محلول الکل و کاتالیزور به آن اضافه گردید و به مدت ۳۰ دقیقه به بهم زده شد و همزمان با هم‌زدن محلول، دمای آن تا ^{o}C ۸۰ افزایش داده شد.

۳-۳- جداسازی گلیسیرین: بعد از تکمیل فرآیند، محلول به دست آمده در شرایط آزمایشگاه قرار داده شد تا گلیسیرین تشکیل‌شده از واکنش در حین سرد شدن محلول به دلیل سنگین‌تر بودن در ته ظرف جمع شده و از فاز اصلی واکنش جدا گردد.

۳-۴- خنثی‌سازی: بعد از جداسازی گلیسیرین، فاز به وسیله اسید هیدروکلریدریک (HCl) خنثی‌شد و pH محلول تا عدد ۷ پایین آورده شد. pH سوخت بیودیزل پس از مرحله خنثی‌سازی باید بین ۶ تا ۷ می‌باشد(۲).

۳-۵- خالص‌سازی: محلول خنثی‌سازی شده با آب مقطر که تا دمای ^{o}C ۵۰ حرارت داده شده بود برای حذف گلیسیرین باقی مانده و سایر ناخالصی‌ها شستشو داده شد. امولسیون تشکیل شده در اثر اضافه کردن آب به اِستر به مدت ۴۸ ساعت به حال سکون در شرایط آزمایشگاه قرار داده شد تا اِستر نهایی از سایر فازها تفکیک‌شده و از ناخالصی‌های موجود جدا گردد. اِستر جمع‌آوری شده جهت حذف برخی از ناخالصی و ذرات معلق برای بار دوم از صافی با شبکه‌های ریز عبور داده شد.

سوخت بیودیزل حاصل از روغن پسماند به دلیل درصدهای بالای اسیدهای چرب اشباع و مواد مومی، نقطه ابری‌شدن و ریزش بالایی داشت و در دماهای بالاتر شبکه‌های کریستالی در داخل سوخت نمایان می‌شد. جهت پایین آوردن

نقطه ابری شدن و ریزش از روش کریستالیزلسیون استر استفاده گردید. در این روش، اِستر در هگزان حل شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای زیر ^{o}C ۱۰- قرار داده شد. در پایان این مرحله دو فاز کاملا مشخص تشکیل گردید. فاز مایع که محلول هگزان و متیل استر بود به روش ثقلی از موم‌های ایجاد شده جدا گردیده و برای اطمینان از جدایش کامل موم از فاز مایع، محلول از کاغذ صافی با شبکه‌های ریز عبور داده شد و به منظور جداکردن هگزان از متیل استر از روش تبخیر در خلا استفاده گردید.

۴- تهیه مخلوط‌های سوخت بیودیزل و گازوئیل

برای مقایسه‌ی خواص فیزیکی سوخت بیودیزل، مخلوط‌های مختلفی از بیودیزل در نه سطح ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد حجمی با گازوئیل تهیه شد. این نمونه‌ها با علامت B_xD_y نمایش داده شدند که B بیانگر بیودیزل و D سوخت گازوئیل معمولی می‌باشد. اندیس‌های x وy نشان‌دهنده درصد بیودیزل و گازوئیل موجود در هر نمونه است. در کل ۹ نمونه سوخت از مخلوط بیودیزل با گازوئیل تهیه گردید و از سوخت بیودیزل خالص و گازوئیل به عنوان شاهد استفاده گردید.

۵- تعیین خواص فیزیکی سوخت بیودیزل

برای هر نمونه از مخلوط سوخت خواص فیزیکی شامل چگالی، ویسکوزیته، نقطه ابری شدن، نقطه ریزش مطابق با استاندارد ASTM اندازه‌گیری شده و با گازوئیل خالص مورد مقایسه قرارگرفت.

- چگالی نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM D4052 با استفاده از روش وزن اندازه‌گیری شد.

- ویسکوزیته نمونه‌ها نیز مطابق استاندارد ASTM D445 به کمک ویسکوزیته‌متر موئین و در دمای ^{o}C ۴۰ اندازه‌گیری شد(۳).

- نقطه‌ی ابری شدن دمایی است که اولین شبکه‌های مومی در داخل سوخت ایجاد می‌شود. هر چقدر این نقطه بالاتر باشد قابلیت استفاده از سوخت در شرایط سرد پایین آمده و احتمال گرفتگی فیلتر و مجاری سیستم سوخت رسانی افزایش می‌یابد نقطه ابری شدن نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM D2500 اندازه‌گیری شد(۵).

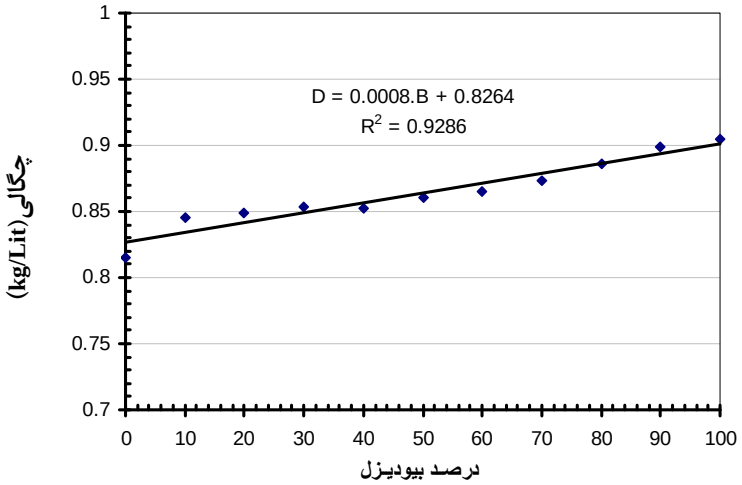
- نقطه‌ی ریزش دمایی است که سوخت از جریان یافتن باز می‌ماند و کم‌ترین دمایی است که می‌توان از سوخت استفاده کرد. استفاده از سوخت در دماهای کم‌تر از نقطه ریزش باعث اختلالات در عملکرد موتور و قطعات سیستم سوخت رسانی می‌شود. این نقطه برای بیودیزل مطابق استاندارد D97 ASTM اندازه‌گیری شد(۳).

- ارزش حرارتی: محتوای انرژی یک سوخت، به مقدار گرمایی گفته می‌شود که یک سوخت درشرایط محیطی آزادکرده و می‌سوزد(۶). ارزش حرارتی، مطابق استاندارد ASTM D240 به وسیله بمب کالریمتر اندازه‌گیری شد. در این تحقیق از کالریمتر Pars Paygeer مدل PM-52 برای اندازه‌گیری ارزش‌حرارتی بیودیزل استفاده گردید.

بحث و نتیجه‌گیری

۱- تاثیر بیودیزل بر چگالی سوخت

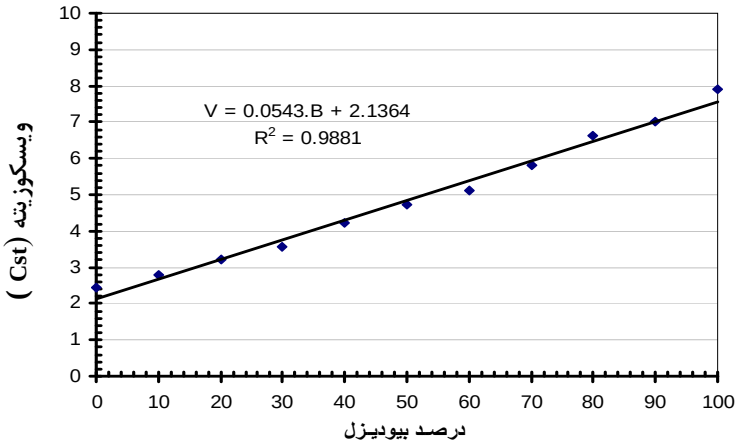
بیودیزل در مقایسه با گازوئیل از زنجیره‌های هیدروکربنی طویلی تشکیل شده است و در نتیجه با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط‌ها، چگالی افزایش یافته است به طوری که چگالی گازوئیل خالص از مقدار kg/Lit ۰/۸۱۵ به میزان kg/Lit ۰/۸۷۱ در بیودیزل خالص افزایش یافته است(نمودار۱).



نمودار۱- تاثیر بیودیزل بر چگالی مخلوط سوخت بیودیزل و گازوئیل

۲- تاثیر بیودیزل بر ویسکوزیته سوخت

با افزایش سهم بیودیزل، ویسکوزیته سوخت افزایش پیدا می‌کند. ویسکوزیته سوخت گازوئیل خالص ۲/۴۵ و بیودیزل خالص ۷/۸۹ می‌باشد(نمودار۲). سوخت گازوئیل در قطعاتی مانند پمپ انژکتور نقش روغن‌کاری را بر عهده دارد، لذا افزایش ویسکوزیته می‌تواند به عنوان یک عامل مفید به منظور کاهش سائیدگی و خوردگی قطعات مطرح شود. البته میزان ویسکوزیته مخلوط باید در حدی باشد که باعث مصرف قدرت اضافی توسط پمپ انژکتور به منظور پاشش آن به محفظه احتراق نگردد. هر چقدر سوخت، ویسکوزیته بالاتری داشته باشد امکان اتمیزه شدن کامل آن کاهش یافته و انتشار ذرات دوده افزایش پیدا خواهد کرد.



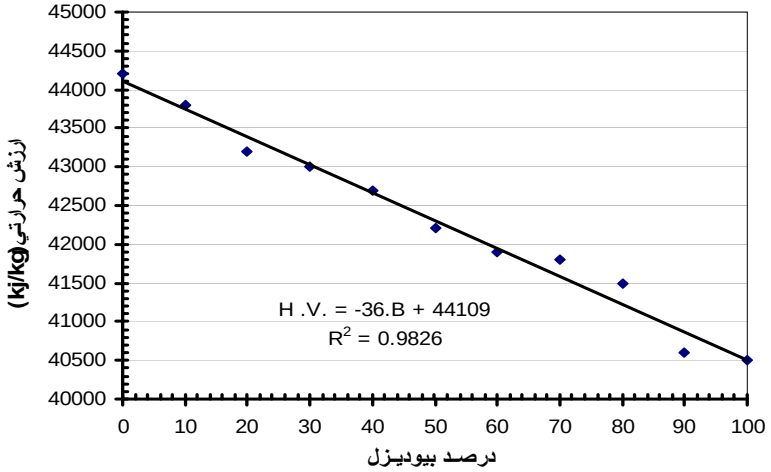
نمودار۲- تاثیر بیودیزل بر ویسکوزیته مخلوط سوخت بیودیزل و گازوئیل

۳- تاثیر بیودیزل بر ارزش حرارتی سوخت

بیودیزل خالص در یک نسبت وزنی معین در مقایسه با گازوئیل حدود ۱۲٪ ارزش حرارتی پایین‌تری دارد، اما بالابودن چگالی این سوخت در یک حجم معین باعث کاهش تفاوت ارزش حرارتی آن در مقایسه با گازوئیل می‌گردد. وجود ترکیبات آروماتیک در ساختمان گازوئیل موجب افزایش ارزش حرارتی آن می‌شود در صورتی که بیودیزل اصولا فاقد هر گونه

ترکیبات آروماتیک بوده اما وجود اسیدهای چرب اشباع شده باعث افزایش ارزش حرارتی سوخت می‌شود(۴).

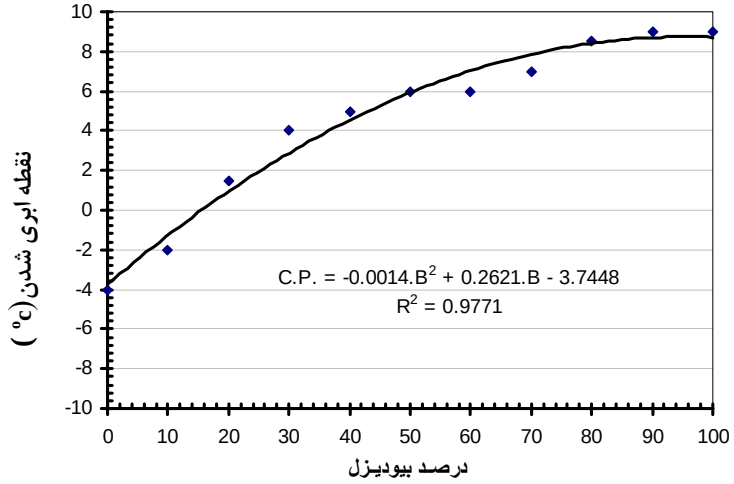
روند تاثیر بیودیزل بر مخلوط سوخت حاصل از بیودیزل و گازوئیل در نمودار ۳ نشان داده شده است.



نمودار۳- تاثیر بیودیزل بر ارزش حرارتی مخلوط سوخت بیودیزل و گازوئیل

۴- تاثیر بیودیزل بر نقطه ابری‌شدن سوخت

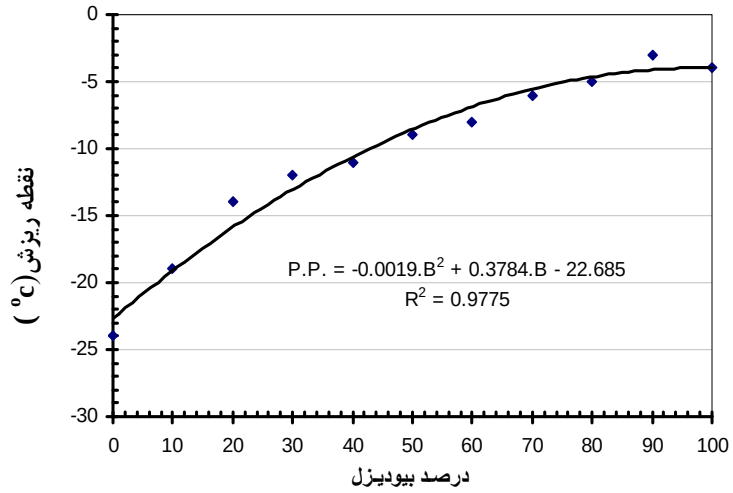
با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط‌ها در همه نمونه‌ها نقطه‌ی ابری شدن سیر افزایشی دارد به طوری که این مقدار از میزان ^{o}C ۴- در گازوئیل خالص به ^{o}C ۸+ در بیودیزل خالص افزایش پیدا می‌کند(نمودار۴). نقطه‌ی ابری شدن تمامی نمونه‌های حاوی بیودیزل، بالاتر از گازوئیل است که باعث محدودیت در استفاده از مخلوط سوخت بیودیزل در شرایط آب و هوایی سرد است.



نمودار۴- تاثیر بیودیزل بر نقطه ابری شدن مخلوط سوخت بیودیزل و گازوئیل

۵- تاثیر بیودیزل بر نقطه ریزش سوخت

نتایج آزمایش‌ها حاکی از این واقعیت است که با افزایش سهم بیودیزل، نقطه‌ی ریزش مخلوط سوخت افزایش پیدا می‌کند(نمودار۵). بالا بودن نقطهٔ ریزش عامل محدود کننده در استفاده از این سوخت در مناطق سردسیر است.



نمودار۵- تاثیر بیودیزل بر نقطه‌ی ریزش سوخت بیودیزل و گازوئیل

نتیجه‌گیری کلی

با مقایسه خصوصیات فیزیکی مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل با گازوئیل، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش سهم بیودیزل، چگالی و ویسکوزیته سوخت در جهت کارایی مناسب موتور و کاهش آلاینده‌ها بهبود پیدا می‌کند، اما محدودیت‌هایی را نیز از نظر دیگر خواص فیزیکی سوخت از جمله ابری‌شدن و نقطه ریزش و کاهش ارزش حرارتی ایجاد می‌کند که مانع استفاده از درصدهای بالای بیودیزل می‌شود. اما با توجه به پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی به نظر می‌رسد روغن‌های پسماند حاصل از پخت و پز می‌توانند به عنوان یک منبع ارزان قیمت برای تولید بیودیزل و انرژی مطرح باشند.

منابع

۱. نیکبخت،ع. قبادیان،ب. ، "بررسی جامع مصرف سوخت در ایران و جهان"، چهارمین کنگره ملی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۱۳۸۵.

۲. نجفی، ب. پیروزپناه، و. قبادیان،ب. ، "فرآیند احتراق و آلایندگی موتور دوگانه سوز با استفاده از سوخت گاز طبیعی و بیودیزل"، رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۵.

3. Weing, Z., "Production of Sunflower Oil Ethyl Ester for Use as a Biodiesel Fuel", Canada,Toronto university, 2000.
4. Van Gerpen, J., Shanks, B. and Pruszko ,R. Biodiesel Analytical Methods, Subcontractor Report, Iowa State University, 2004.
5. Lang, X., Dalai, A.K., Bakhshi, N.N. "Preparation and Characterization of Biodiesel from Various Bio-oil", Bioresource Technology 80 ,2001, pp. 53-62.

۶. ایی‌گورینگ، ک.، ترجمه: رنجبر، قاسم زاده، ح.، داوودی، ش.، "توان موتور و تراکتور"، تبریز، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول ۱۳۷۶.