علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره هفدهم، شماره تابستان، ۹۴

تعیین اندیس دیزل سوخت های بیودیزل تولید شده از ترکیبات اتیل استر اسیدهای چرب بر اساس استاندارد ASTM D 611

صالح محمدی[۱]

havre.irani@gmail.com

بهمن نجفی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۵ **تاریخ پذیرش:۹۲/۲/۳**

چکیده

زمینه و هدف: از پارامترهای کیفی احتراق سوخت, اندیس دیزل می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی درجه‌ی آرام‌سوزی و کیفیت سوخت دیزل است. یکی از روش‌هایی که بدون صرف هزینه و زمان زیاد می‌توان این پارامتر را اندازه‌گیری نمود استاندارد ASTM D 611 است.

روش بررسی: در این تحقیق از هفت نوع روغن‌گیاهی (ذرت، سویا، سبوس برنج، هسته انگور، زیتون، آفتابگردان و کلزا) برای تولید سوخت بیودیزل با استفاده از الکل اتانول و به روش ترنس‌استریفیکاسیون استفاده گردید. در راستای به دست آوردن اندیس دیزل، اندازه‌گیری نقطه‌ی آنیلین و درجه‌ی API لازم می‌باشد. اندازه‌گیری نقطه‌ی آنیلین نیز بر اساس استاندارد ASTM D 611-04 انجام شد. در این آزمایش‌ها از گازوییل به‌عنوان سوخت مبنا استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل نشان داد که مقادیر اندیس دیزل سوخت های بیودیزل تولید شده از ترکیبات اتیل استر اسیدهای چرب, در بازه ۴۵-۳۸ می‌باشد در حالی‌که سوخت گازوییل دارای اندیس دیزل ۵۱/۵۶ می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که چگالی سوخت های بیودیزل به مراتب بالاتر از سوخت گازوییل است که باعث کاهش درجه‌ی API شده است.

نتیجه‌گیری و بحث: سوخت های بیودیزل حاصل از اتیل استر اسیدهای چرب از لحاظ کیفیت احتراق، اختلاف کمی در درجه آرام‌سوزی نسبت به سوخت گازوئیل دارند. مقادیر اندیس دیزل نمونه سوخت های بیودیزل بجز کلزا و سویا به گازوییل نزدیک است. این نتایج نشان می‌دهد که سوخت های اتیل استر اسیدهای چرب می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت های فسیلی باشند.

واژه های کلیدی: بیودیزل، اتیل استر اسیدهای چرب، اندیس دیزل، درجه‌ی API

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اردبیل.

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

در سال های اخیر بدلیل کاهش منابع سوخت های فسیلی و مسائل زیست‌محیطی و قابلیت تجدیدپذیری سوخت های بیودیزل تحقیقات وسیعی در راستای امکان استفاده از آن به جای سوخت گازوییل انجام یافته است. منابعی به عنوان سوخت جایگزین می‌توانند مطرح شوند که اولا منابعی ارزان قیمت و در دسترس (عدم وابستگی به منطقه‌ی جغرافیایی) بوده و ثانیا دوستدار محیط‌زیست باشند که از آن جمله می‌توان به سوخت های بیولوژیکی به عنوان یک پیشنهاد اشاره کرد. مواد بیولوژیک پایه آلی داشته و به عنوان منابع انرژی قابل بازیابی، قابلیت مستقیم به انرژی و یا مواد حامل انرژی را دارند. یکی از مهم ترین سوخت های بیولوژیک، بیودیزل‌ها می‌باشند. بیودیزل را می توان از روغن‌های گیاهی تازه یا کارکرده و چربی‌های حیوانات تولید نمود. استفاده از روغن‌های گیاهی به طور مستقیم در موتور دیزل، با توجه به ویسکوزیته‌ی بالای روغن و به علت اتمیزه نشدن مناسب، باعث بوجود آمدن مشکلاتی از قبیل پایین بودن کیفیت اشتعال و احتراق ناقص سوخت می-شود. از طرف دیگر با تشکیل لایه‌ای از سوخت محترق نشده روی دیواره‌ی سیلندر، کار سیستم روانکاری را مختل می‌نماید. برای جایگزین نمودن روغن گیاهی به عنوان سوخت در موتورهای دیزل باید بعضی از خواص آن را اصلاح کرد. لذا باید عملیاتی بر روی این روغن‌ها انجام گیرد تا خواص آن با سوخت دیزل مطابقت داشته باشد و نیاز به ایجاد تغییرات را در موتور دیزل به حداقل رسانده، پایداری و ارزش حرارتی بیشتری داشته و مصرف ویژه‌ی آن پایین بیاید. لذا باید روغن گیاهی طی فرآیندی تغیر یافته و به صورت بیودیزل اصلاح گردد. برای تهیه‌ی بیودیزل، روغن‌ها با یک الکل مخلوط می‌شوند و یک کاتالیزور مانند هیدروکسید پتاسیم همراه با آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتیجه‌ی واکنش روغن با الکل در کنار کاتالیزور مناسب در دما و فشار تعیین شده، تولید استر و گلیسیرین است(۱).

بیودیزل سوخت تجدیدپذیر، غیر سمی، بدون گوگرد و ترکیبات آروماتیک است(۲) و متشکل از آلکیل استر اسیدهای چرب با زنجیره طویل بوده که از منابع تجدیدپذیر مانند روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تهیه می‌شوند و دارای فرمول شیمیایی کلی $3C_{19}H_{35}COOR$ می‌باشند و به عنوان سوخت در موتورهای احتراقِ داخلی و سیستم‌های گرمایشی بکار می-روند(۳).

از جمله مهم ترین فرآیندها در موتورهای احتراق داخلی, فرآیند احتراق می‌باشد. از پارامترهای مهم در فرآیند احتراق, درجه آرام‌سوزی سوخت است که نشان‌دهنده‌ی کیفیت احتراقی سوخت می‌باشد. برای تخمین درجه‌ی آرام سوزی سوخت، از عدد ستان و اندیس دیزل استفاده می‌کنند. اندازه-گیری عدد ستان نیاز به موتور مخصوص دارد و از طرفی آزمایش آن پر هزینه و وقت‌گیر است. لذا برای تخمین درجه‌ی آرام‌سوزی سوخت، معمولا به جای عدد ستان از اندیس دیزل استفاده می‌کنند. به عبارتی بهتر پارامتر اندیس دیزل، مشخص‌کننده‌ی آرام سوزی یک سوخت می‌باشد که از رابطه (۱) به دست می‌آید(ASTM D611)؛

$$\text{Diesel Index} = \frac{(\text{An Pt°F}) * (\text{Degree API})}{100} \quad (۱)$$

An pt : نشان‌دهنده‌ی پارامتر نقطه‌ی آنیلین است. نقطه آنیلین عبارت است از پایین‌ترین درجه حرارتی که آنیلین و نمونه مورد نظر با هم مخلوط می‌شوند و تشکیل یک فاز را می‌دهند(۴).

(Sp.gr) : دانسیته نسبی نسبت جرم حجمی سوخت در ۱۵ درجه سانتی‌گراد به جرم آب هم حجم سوخت در همان درجه حرارت است. که به صورت $Sp.gr(\frac{60}{60°F})$ بیان می‌شود.

API : تابعی از (Sp.gr) است که به صورت رابطه‌ی (۲) می‌شود (۴).

$$API = \frac{141.5}{Sp.gr(\frac{60}{60°F})} - 131.5 \quad (۲)$$

مالک اژدر و همکاران در سال ۱۳۹۰ ، از پنج نوع روغن، کلزا، سویا، ذرت، آفتابگردان و پسماند رستوران بیودیزل تولید کردند و با نسبت ۲۰ به ۸۰ با گازوئیل مخلوط نمودند و سوخت

Archive of SID

www.SID.ir

حاصل (B20) جهت تعیین میزان آلایندگی خروجی بر روی موتور تست گردید. نتایج آنها نشان داد که سوخت های بیودیزل در حالت کلی آلایندگی کمتری نسبت به گازوئیل دارند و مناسب‌ترین سوخت پیشنهادی با توجه به کمترین آلایندگی بیودیزل کلزا می‌باشد(۵). در سال ۱۳۹۱، محمدی، خواص فیزیکی و شیمیای اتیل استر اسیدهای چرب (چگالی، ویسکوزیته، نقطه اشتعال و عدد ستان) برای سوخت بیودیزل پسماند روغن سویا، با استفاده از استانداردهای ASTM و DIN موجود اندازه‌گیری کرد و این خواص را با سوخت دیزل متداول در ایران مقایسه نمود. نتایج نشان داد عدد ستان اتیل استر اسیدهای چرب پسماند سویا پایین‌تر از سوخت بیودیزل سویا و سوخت دیزل می‌باشد در حالی‌که خواص چگالی، ویسکوزیته و نقطه اشتعال در پسماند سویا بالاتر از سوخت دیزل می‌باشد و تفاوت زیادی با بیودیزل سویا ندارد(۶). در سال ۱۳۸۹، عباسی‌فخر ، سوخت های بیودیزل تشکیل شده از اتیل استر اسیدهای چرب را از هفت نوع روغن گیاهی (ذرت، سویا، سبوس برنج، هسته انگور، زیتون، آفتابگردان و کلزا) تولید نمود. چگالی، ارزش حرارتی، نقطه ابری شدن، گرانروی و نقطه اشتعال سوخت بیودیزل، بر اساس اتیل استر اسیدهای چرب موجود در آن، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی کرد(۷). در سال ۲۰۰۵، رامادز و همکاران در تحقیقی، داده-های شاخص ستان سوخت های بیودیزل تولید شده از متیل استر اسیدهای چرب روغن آفتاب‌گردان مربوط به آزمایشات محققین در طول سالهای ۲۰۰۵-۱۹۹۵ را جمع‌آوری نموده و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدلی را برای تخمین شاخص ستان بر حسب درصد متیل استر اسیدهای چرب تعیین نمودند(۸). بامگبوی و هانسن در سال ۲۰۰۸، عدد ستان سوخت بیودیزل را برحسب ترکیبات متیل استر اسیدهای چرب (FAME) به دست آوردند. در این تحقیق، آنها از عدد ستان متیل استر اسیدهای چرب تولید شده از روغن‌های گیاهی سویا، کلزا، آفتابگردان، خرما، پیه نهنگ، گوشت خوک، پنبه‌دانه و بادام‌زمینی اندازه‌گیری شده‌ی توسط محققان پیشین، استفاده کردند(۹). اثرات زیست محیطی اتیل استر اسید چرب کلزا، توسط نت و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش آنها شامل انتشار آلاینده‌ها از سوخت های بیودیزل متیل استر اسیدهای چرب و اتیل استر اسیدهای چرب و مخلوط آنها با گازوییل بوده است. نتایج نشان داد که خروج اکسیدهای نیتروژن(NO_x) و منوکسید کربن(CO) و دوده در صورت استفاده از اتیل استر، اثرات مخرب کمتری نسبت به متیل استر روغن کلزا دارد. انتشار(NO_x) در اتیل استر اسیدچرب بیودیزل در مقایسه با سوخت دیزل ۸/۳ درصد بیشتر است. هنگامیکه حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد بیودیزل با سوخت گازوییل مخلوط شد، انتشار (NO_x) کاهش پیدا می‌کند. زمانی که اتیل استر کلزا به صورت خالص سوخته شود، انتشار HC تا ۵۳درصد و (CO) تا ۷/۲ درصد و دوده ۷۲/۶ درصد در مقایسه مقایسه با سوخت گازوییل به کار برده شده کاهش می‌یابد. قابلیت تجزیه پذیری اتیل استر در مقایسه با متیل استر و سوخت گازوییل سریعتر است. در طول یک دوره‌ی استاندارد ۲۱ روزه ۹۷/۷ درصد متیل استر کلزا، ۹۸ درصد اتیل استر و ۶۱/۳ درصد سوخت گازوییل به طور بیولوژیکی تجزیه شده است. خطر انتشار خروجی‌های ماشین‌آلات با جایگزینی سوخت بیودیزل بجای سوخت گازوییل کاهش پیدا می‌کند(۱۰). در ۱۰ سال اخیر نیز بطور افزاینده‌ای مطالعه‌ی تاثیر سوخت های بیودیزل بر روی عملکرد موتور مورد مطالعه قرار گرفته است. استفاده از بیودیزل منجر به کاهش قابل توجهی در آلاینده‌های CO، به همراه کاهش نامحسوس در توان، افزایش مصرف سوخت و افزایش آلاینده-های NOx در موتورهای دیزل معمولی، با ایجاد تغییر کمی یا بدون تغییر در موتور حاصل می‌شود(۱۱).

مواد و روش ها

در این تحقیق از هفت نوع روغن‌گیاهی (ذرت، سویا، سبوس برنج، هسته انگور،زیتون، آفتابگردان و کلزا) برای تولید سوخت بیودیزل با استفاده از الکل اتانول و به روش ترنس-استریفیکاسیون استفاده گردید. نسبت مولی مشخصی از الکل به روغن(۶ به ۱) را تحت دمای معین(۷۰ درجه سانتیگراد) و درصد وزنی مشخصی از میزان کاتالیزور بازی هیدروکسید سدیم(یک درصد وزن روغن) با شدت همزنی مطابق با شرایط

Archive of SID

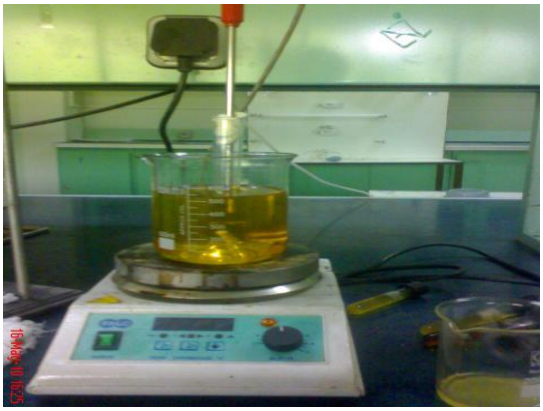
www.SID.ir

بهینه تولید سوخت بیودیزل(۶۰۰ دور در دقیقه) در نظر گرفته شد. در این حالت زنجیره‌ی اسیدهای چرب به اتیل استراسیدهای چرب ناخالص تبدیل می‌شود. اما بدلیل استفاده از کاتالیزور بازی هیدروکسید سدیم، PH سوخت بازی شد که به منظور خنثی‌سازی از اسید کلریک استفاده شد. به منظور حذف الکل و گلسیرین موجود در سوخت و با توجه به تبخیرشدن الکل و حل‌شدن گلسیرین در آب، فرآیند آبشویی در سه مرحله و با استفاده از آب مقطر انجام گرفت(۵).

در راستای به دست آوردن اندیس دیزل، اندازه‌گیری نقطه‌ی آنیلین و درجه‌ی API لازم می‌باشد. آنیلین مورد نیاز جهت انجام آزمایشات، آنیلین خالص می‌باشد شکل ۱ دستگاه آماده سازی شده برای تقطیر جهت خالص‌سازی آنیلین را نشان می‌دهد. پس از تنظیم دستگاه تقطیر ASTM مقدار ۱۰۰ cc از نمونه را در بالن دستگاه تقطیر ریخته و بالن با ملایمت حرارت داده شد. پس از مدت زمان ۳۰ دقیقه مقدار ۸۰ cc آنیلین خالص به دست آمد.

شکل ۱- روش خالص سازی آنیلین

برای به دست آوردن نقطه‌ی آنیلین طبق استاندارد (ASTM D 611-64) دستگاهی به مانند شکل (۲) آماده شد و وسایل مورد لزوم جهت انجام آزمایش‌ها، دماسنج دیجیتالی، همزن مغناطیسی، چوب پنبه مناسب، لوله آزمایش مناسب ۱۰۰سی‌سی، بشر بزرگ ۴۰۰سی‌سی، گیره با سه پایه و هیتر(گرم‌کن) می‌باشند.



شکل ۲- دستگاه آماده‌سازی شده برای اندازه‌گیری نقطه‌ی آنیلین

Archive of SID

www.SID.ir

در مرحله‌ی آماده‌سازی دستگاه اندازه‌گیری نقطه‌ی آنیلین، بدلیل نقطه‌ی جوش بالاتر روغن نسبت به آب، برای گرم کردن از حمام روغن سویا استفاده شد. دماسنج را بالاتر از سطح روغن و آنیلین به صورت عمودی قرار داده شد. روش کار به شرح زیر می‌باشد.

۱) در لوله آزمایش محلول آنیلین و محلول سوخت مورد آزمایش با پی‌پت به مقدار برابر در لوله ریخته شد. آنیلین ماده سمی است و از اینرو با دهان به داخل پی‌پت مکیده شد.

۲) در لوله آزمایش با چوب پنبه محکم بسته شد و دماسنج را به صورت مناسب قرار داده شد، یعنی دماسنج را طوری در داخل آن قرار دهید که با بدنه لوله تماس پیدا نکند.

۳) لوله آزمایش را با کمک گیره در حمام گرم کننده قرار داده شد و گرم‌کن زیر آن‌را در حالت روشن قرار داده شد.

۴) با کمک همزن مغناطیسی به صورت مرتب مواد درون لوله را هم زده و با دقت به دما و مواد درون لوله توجه کنید. سرعت همزن را طوری تنظیم می‌کنیم که مخلوط دارای جریان یکنواخت باشد. سرعت گرم کردن بایستی حدود ۱تا ۲°C در هر دقیقه باشد پس از اینکه در اثر گرم کردن دو فاز یکی شدند گرم کن را خاموش کرده و جریان آب سرد را برقرار شد به طوری که مخلوط با سرعت ۰/۵ تا ۱°C در هر دقیقه سرد شد.

۵) دمایی که دوفاز آنیلین و سوخت مورد آزمایش تشکیل یک فاز را می‌دهند خوانده شد. این دما همان نقطه آنیلین است و بعد از سرد شدن و دو فازی شدن نیز می‌توان دما را مشاهده کرد.

۶) این عملِ گرم و سرد کردن، سه بار انجام داده شد تا نقطه آنیلین دقیقی به دست آمد(۴).

برای بررسی صحت آزمایش‌ها، نمونه سوخت اول گازوئیل انتخاب شد به عبارتی دیگر دستگاه با سوخت گازوئیل کالیبره گردید. بدین منظور مقدار چهار و پنج و شش سی‌سی با سرعت بهم زن مغناطیسی ۲۰۰، ۳۰۰ و rpm ۴۰۰ از سوخت گازوئیل، در لوله مورد آزمایش ریخته شد. مشاهده گردید که با مقدار پنج سی‌سی و دور rpm ۳۰۰، نقطه‌ی آنیلین گازوئیل ۵۸/۴۳ °C می‌باشد. بنابراین برای سایر آزمایش‌ها مقدار پنج سی‌سی به عنوان نمونه سوخت انتخاب شد(۴).

برای به دست آوردن درجه‌ی API, اندازه‌گیری چگالی سوخت در دمای °C ۱۵/۵ لازم می‌باشد. با استفاده از دستگاه چگالی‌سنج دیجیتال مدل DA-130N طبق استاندارد ASTM D4052 و در دمای °C ۱۵/۵، چگالی سوخت های مورد آزمایش اندازه‌گیری شد(۵). سپس با استفاده از رابطه‌های (۲) درجه‌ی API به دست می‌آید و با قرار دادن آن در رابطه (۱) اندیس دیزل به دست آمد(۴).

نتایج

برای به دست آوردن اندیس دیزل بر اساس استاندارد (ASTM D 611-64)، لازم است نقطه‌ی آنیلین و درجه‌ی API محاسبه شود. در انجام آزمایشات مشاهده گردید که نمونه سوخت های مورد آزمایش در همان دمایی که با محلول آنیلین مخلوط می‌شوند (نقطه‌ی آنیلین) در همان دما نیز، از آن جدا می‌شود. شکل ۳ نقطه‌ی جدایش سوخت گازوییل با محلول آنیلین را نشان می‌دهد. با استفاده از داده-های نقطه‌ی آنیلین، چگالی نسبی نمونه سوخت های مورد آزمایش و روابط (۱) و (۲)، داده‌های درجه‌ی API و اندیس دیزل به دست آمد که در جدول ۱ نشان داده شده است. با استفاده از دستگاه چگالی‌سنج دیجیتال مدل DA-130N, چگالی آب در دمای ۱۵/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد, ۰/۹۹۹ $\frac{kg}{m^3}$ می‌باشد. سایر پارامترها در (جدول ۱) آورده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- مقادیر اندیس دیزل نمونه سوخت های بیودیزل

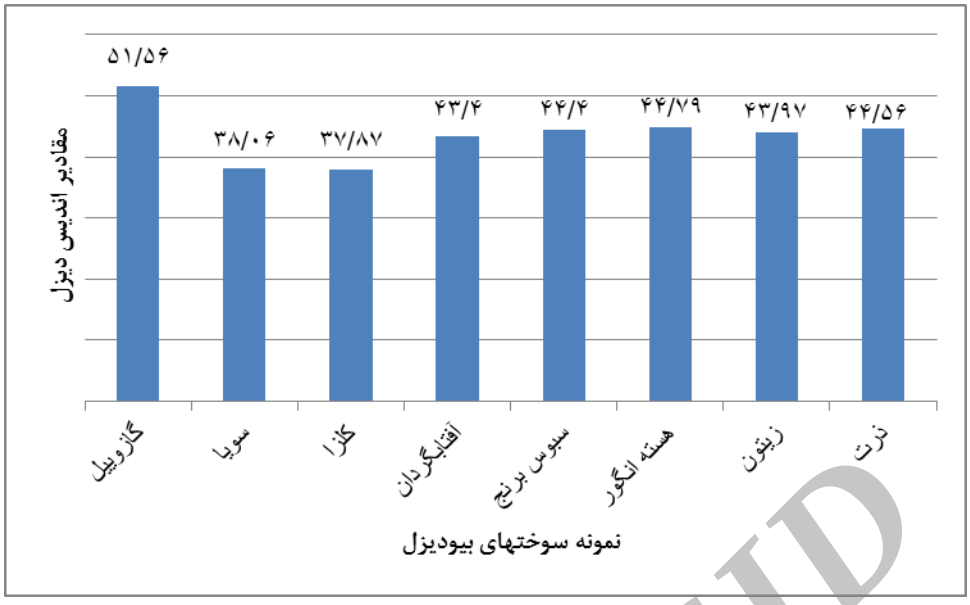
نمونه سوخت	نقطه آنیلین (°C)				نقطه آنیلین درجه فارنهایت	چگالی در دمای ۱۵/۵	درجه‌ی API	اندیس دیزل
	تکرار اول	تکرار دوم	تکرار سوم	میانگین				
گازوئیل	۵۸	۶۰	۵۷/۳	۵۸/۴۳	۱۳۷/۱۷۴	۰/۸۳۶	۳۷/۵۸	۵۱/۵۶
سویا	۶۱	۶۲	۶۲/۳	۶۲/۲	۱۴۳/۹۴۹	۰/۸۹۵	۲۶/۴۴	۳۸/۰۶
کلزا	۵۹	۵۸/۴	۵۹	۵۸/۷	۱۳۷/۶۵۹	۰/۸۸۹	۲۷/۵۱	۳۷/۸۷
آفتابگردان	۷۶	۷۰	۷۱	۷۲/۲	۱۶۱/۹۴	۰/۸۹۳	۲۶/۸	۴۳/۴۰
سبوس برنج	۶۹	۷۰	۷۰/۲	۶۹/۶۳	۱۵۷/۳۳۵	۰/۸۸۵	۲۸/۲۲	۴۴/۴۰
هسته‌انگور	۷۶/۵	۷۴	۷۵/۱	۷۵/۰۷	۱۶۷/۱۲۷	۰/۸۹۳	۲۶/۸	۴۴/۷۹
زیتون	۶۶/۸	۶۵/۷	۶۶/۲	۶۶/۰۸	۱۵۰/۹۴۴	۰/۸۸۰	۲۹/۱۳	۴۳/۹۷
ذرت	۶۸/۶	۶۹/۳	۶۸/۹	۶۸/۸۱	۱۵۵/۸۵۹	۰/۸۸۳	۲۸/۵۹	۴۴/۵۶

شکل ۳- نقطه‌ی جدایش آنیلین با نمونه سوخت مورد آزمایش (گازوییل)

نمودار شکل ۴ نشان‌دهنده‌ی اندیس دیزل نمونه سوخت های بیودیزل و گازوییل می‌باشد. مقادیر اندیس دیزل سوخت های بیودیزل بجز کلزا و سویا به گازوییل نزدیک‌تر است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که چگالی سوخت های بیودیزل به مراتب بالاتر از سوخت گازوییل است که این عدد پایین برای چگالی باعث کاهش درجه‌ی API می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴- مقادیر اندیس دیزل نمونه سوخت های مورد آزمایش

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری نقطه‌ی آنیلین نیز بر اساس استاندارد ASTM D 611-04 انجام شد. نتایج حاصل از استاندارد ASTM D 611, نشان داد که مقادیر اندیس دیزل سوخت های بیودیزل تولید شده از ترکیبات اتیل استر اسیدهای چرب، در بازه ۴۵-۳۸ می‌باشد در حالیکه گازوییل دارای اندیس دیزل ۵۱/۵۶ می‌باشد که این مطلب بیانگر اینست که سوخت های بیودیزل از لحاظ کیفیت احتراق، اختلاف کمی در درجه آرام-سوزی نسبت به سوخت گازوئیل دارند. همچنین نتایج نشان داد مقادیر بالای چگالی سوخت های بیودیزل باعث کاهش درجه‌ی API شد.

منابع

1. Nwafor, O. M.I., Rice, G. and Ogbonna, A. I. (2000). Effect of Advanced Injection Timing on the Performance of apeseed Oil in Diesel Engines. Journal of Renewable Energy, pp. 21 ,433.

۲. قبادیان، ب. خاتمی فر، م. ۱۳۸۴، تولید بیودیزل از روغن های پسماند خوراکی، مجموعه مقالات دومین همایش ملی بررسی ضایعات محصولات کشاورزی، قطب علمی مهندسی بازیافت و ضایعات محصولات استراتژیک کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. صفحات ۱، ۲ و ۳.

۳. نجفی، ب. پیروزپناه، و. قبادیان، ب. ۱۳۸۵، فرآیند احتراق و آلایندگی موتور دوگانه سوز با استفاده از سوخت گاز طبیعی و بیودیزل، رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس. صفحات ۱۶، ۱۷ و ۲۳.

4. Standard Test Methods for Aniline Point and Mixed Aniline Point of Petroleum Products and Hydrocarbon Solvents. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Pp. 1-6.

۵. عباسی‌فخر، م. نجفی، ب. جمالی، ش. ۱۳۸۹، پیش‌بینی خواص ترموفیزیکی سوخت بیودیزل با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی. صفحات ۲۷ تا ۳۳.

Archive of SID

www.SID.ir

۶. مالک اژدر، ح. نجفی، ب. عزیززاده، ص. ۱۳۹۱، مطالعهٔ تأثیر اتیل استر پنج نوع روغن گیاهی و مخلوط آنها با گازوییل بر انتشار آلاینده‌های یک موتور اشتعال تراکمی، دومین همایش ملی تنوع زیستی و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست. تیرماه ۹۱. ارومیه. ایران.

۷. محمدی، ص. نجفی، ب. ۱۳۹۱. تولید اتیل استر اسیدهای چرب از روغن پسماند سویا و مقایسه برخی خواص فیزیکی و شیمیایی آن با بیودیزل سویا و گازوییل، نخستین همایش علمی – تخصصی توسعه روستایی و کشاورزی با تاکید بر تولید ملی، زمستان ۹۱. پیرانشهر. ایران.

8. Ramadhas, A. S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., Padmakumari, K. 2005. Artificial neural networks used for the prediction of the cetane number of biodiesel. Renewable Energy , 31, pp. 2524–2533.

9. Bamgboye. A. I. and Hansen A. C.,2008. prediction of cetane number of biodiesel fuel from the fatty acid methyl ester (FAME) composition. Int. Agrophysics, 2008, 22, 21-29.

10. Knothe G and Dunn RO, 1998, Recent Results from Biodiesel Research at the National Center for Agricultural Utilization Research. Landbauforschung Voelkenrode, Sonderheft 190 (Biodiesel-Optimierungspotentiale and mwelteffekte), ISSN: 0376-0723.

11. Jinlin Xue, Tony E. Grift, Alan C. Hansen" Effect of biodiesel on engine performances and emissions" . Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 1098–1116.

Archive of SID

www.SID.ir