سنتز زیست‌دیزل از روغن سویا با استفاده از فنّ فراصوت

لطف‌اله سوادکوهی[۱]، انور شلماشی[۲*]، شیوا مسعودی[۳]، فاطمه امانی[۳]

۱- تهران، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، مجتمع تحقیقاتی عصر انقلاب، پژوهشکده مکانیک

۲- تهران، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، مجتمع تحقیقاتی عصر انقلاب، پژوهشکده صنایع شیمیایی

۳- تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، مجتمع پیامبر اعظم، دانشکده علوم

پیام‌نگار: **Shalmashi@irost.org**

چکیده

در این بررسی سنتز زیست‌دیزل از روغن سویا با استفاده از امواج فراصوت مورد بررسی قرار گرفت و به بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر پرداخته شد. نتایج با سنتز زیست‌دیزل به طریق سنتی، مقایسه شد. نتایج این بررسی نشان داد با استفاده از امواج فراصوت می‌توان زیست‌دیزل ۹۸ درصد را در نسبت مولی متانول به روغن ۶:۱، درصد وزنی کاتالیزور ۰/۵، دمای ۲۵ درجه سلسیوس و زمان ۱۰ دقیقه سنتز کرد. نتایج در مقایسه با سنتز به شیوه معمولی کاهش قابل ملاحظه ای را در زمان و دمای مورد نیاز برای واکنش نشان دادند. بر اساس نتایج کسب شده یک سیستم تولید پیوسته زیست‌دیزل در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از تکنیک فراصوت طراحی و ساخته شد. آزمایش‌های بررسی پارامترهای فیزیکی و آزمون موتور برای زیست‌دیزل تولید شده به‌طور کامل انجام شد و نتایج مناسب بودن زیست‌دیزل تولید شده را به‌عنوان سوخت تایید کردند.

کلمات کلیدی: زیست‌دیزل، استری‌شدن ترانس، فنّ فراصوت

۱- مقدمه

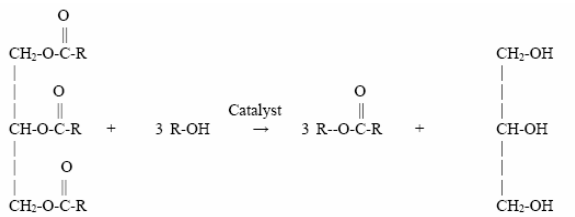
امروزه بیش از ۸۰ درصد کل انرژی جهان را سوخت‌های فسیلی تأمین می‌کنند. سوخت‌های فسیلی از منابع تجدیدناپذیر انرژی محسوب می‌شوند. با توجه به اینکه در نهایت روزی سوخت‌های فسیلی به اتمام خواهند رسید، انرژی‌های تجدیدپذیر مانند سوخت‌هایی با پایهٔ زیستی حاصل از زیست توده‌ها، انرژی آب، باد، خورشید، حرارت زمین، انرژی دریا و هیدروژن، در آینده در جهت تأمین انرژی، بسیار حائز اهمیت خواهند شد. تخمین‌زده شده که تا سال ۲۰۴۰ میلادی تقریباً نیمی از انرژی جهان و بیشتر از ۸۰ درصد از انرژی برق در جهان از منابع تجدیدپذیر تولید شود. توزیع منابع انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهان، یکنواخت‌تر از سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای است و سرعت جایگزینی این سوخت‌ها حدودا سه برابر سرعت مصرف آنها در جهان می‌باشد[۱]. زیست‌سوخت‌ها نیز به‌عنوان منابع انرژی تجدیدپذیر در پیشرفت تکنولوژی کشورهای پیشرفته صنعتی و کشورهای در حال توسعه بسیار مؤثر می‌باشند، نه تنها به‌عنوان منابع انرژی ایمن، آلودگی زیست محیطی به همراه ندارند بلکه استفاده از آنها به حفظ منابع ارزی قابل توجهی منجر خواهد شد. با توجه به پاک بودن زیست‌سوخت‌ها و نداشتن آلودگی‌های زیست محیطی به همراه احتراق، به نظر می‌رسد این سوخت‌ها در چند دهه آینده رشد سریعی را در بازار فروش سوخت‌های وسایل نقلیه پیدا کنند. زیست‌سوخت‌ها به‌راحتی از منابع معمول زیستی قابل تهیه هستند و

Archive of SID
www.SID.ir

با توجه به طبیعی بودن مواد پایه به کار رفته در تهیه آنها، چرخهٔ تولید و مصرف دی اکسید کربن دارند و همین طور تجدیدپذیر و تجزیه‌پذیر هستند[۴-۲]. زیست‌دیزل به‌عنوان یک زیست‌سوخت با منشأ گیاهی امروزه در سطح جهان بسیار مورد توجه قرار گرفته است. زیست‌دیزل از واکنش استری‌شدن ترانس (تبادل استری) روغن‌های گیاهی در حضور الکل و کاتالیزگر تهیه می‌شود. از مهم‌ترین امتیازات زیست‌دیزل‌ها به‌عنوان سوخت‌های دیزلی می‌توان به قابلیت حمل آنها، در دسترس بودن، تجدیدپذیری، بازدهی احتراق بالا، محتوای کمتر گوگرد و ترکیبات آروماتیکی، عدد ستان بالا و قابلیت تجزیه پذیری زیستی اشاره کرد[۵]. واکنش استری‌شدن ترانس برای تهیه زیست‌دیزل عموماً به‌صورت سنتی و غیر پیوسته در بچ با استفاده از همزن مکانیکی و حرارت دهی صورت می‌گیرد که در این روش برای سنتز زیست‌دیزل، به ۱ تا ۸ ساعت زمان واکنش در دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس نیاز است[۶] و بازدهی واکنش از ۸۵ تا ۹۸ درصد خواهد بود[۱]. در سال‌های اخیر بررسی‌هایی در زمینه استفاده از فنّ فراصوت برای سنتز زیست‌دیزل صورت گرفته است[۸،۷]. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر استفاده از امواج فراصوت در کاهش مصرف انرژی، افزایش بازدهی و افزایش سرعت واکنش استری‌شدن ترانس در سنتز زیست‌دیزل صورت گرفت.

۲- واکنش استری‌شدن ترانس

استفاده مستقیم از روغن‌های گیاهی به‌عنوان سوخت در موتورهای دیزل به‌علت بالا بودن گرانروی این روغن‌ها و همین طور پایین تر بودن فراریت آنها در مقایسه با سوخت‌های دیزلی معمولی می‌تواند مشکلاتی را برای موتورهای دیزل ایجاد کند. گرانروی روغن‌های گیاهی ۱۰ تا ۱۷ برابر بیشتر از سوخت‌های دیزلی معمولی است. مقدار چگالی روغن‌های گیاهی بین ۹۱۲ و ۹۲۱ کیلو گرم بر متر مکعب می‌باشد، در حالی‌که در مورد سوخت D2 این مقدار ۸۱۵ کیلو گرم بر متر مکعب است. گرانروی سینماتیک روغن‌های گیاهی بین ۳۹/۲ و ۶۵/۴ میلی‌متر مربع بر ثانیه در ۲۷ درجه سلسیوس است[۹]. روش‌های به‌کار رفته جهت کاهش گرانروی روغن‌های گیاهی عبارتند از: ریز امولسیون شدن، استری‌شدن ترانس و تفکافت که از این میان، استری‌شدن ترانس به لحاظ سهولت و ارزان تر بودن مورد توجه قرار گرفته است. در این فرایند، تری گلیسرید موجود در روغن‌های گیاهی طی واکنش استری‌شدن ترانس توسط یک الکل و کاتالیزگر به آلکیل استر اسیدهای چرب موجود در تری گلیسرید تبدیل می‌شود که در این حالت به آنها زیست‌دیزل اطلاق می‌گردد. ویژگی‌های فیزیکی زیست‌دیزل به دیزل معمولی بسیار نزدیک است[۱۰]. واکنش استری‌شدن ترانس برای تهیه زیست‌دیزل از تری گلیسرید در شکل (۱) نشان داده شده است. از عوامل مهم در میزان بازدهی این واکنش می‌توان به نسبت الکل به روغن، دما، زمان و مقدار کاتالیزگر اشاره کرد.



شکل ۱- واکنش تهیه الکیل استر از تری گلیسرید و الکل [۳]

۳- استفاده از فنّ فراصوت در سنتز زیست‌دیزل

همان‌طور که بیان شد سنتز زیست‌دیزل شامل واکنش الکل و روغن در حضور یک کاتالیزگر اسیدی و یا بازی است. الکل و روغن دو ماده غیر قابل امتزاج هستند، بنابراین در صورتی که بتوان یک امولسیون بسیار مؤثر از این دو ماده تهیه کرد، به گونه ای که تماس بسیار مؤثر میان آنها ایجاد شود سرعت واکنش افزایش می‌یابد. در فرایند متداول تولید زیست‌دیزل در بچ، از یک همزن مکانیکی برای مخلوط کردن و سرعت بخشیدن به واکنش استفاده می‌شود، در حالی که در فنّ فراصوت، فرایند همزدن در اثر انتشار امواج فراصوت صورت می‌گیرد. انتشار این امواج در مخلوط واکنش، ایجاد ارتعاشات بسیار ریز و شدیدی می‌کند که سبب ایجاد آشفتگی در مخلوط واکنش می‌شود و نیرو و جریان قوی ایجاد می‌کند که باعث بر خورد مؤثر مولکول‌ها با یکدیگر می‌شود. ایجاد کاواک‌زایی ناشی از امواج فراصوت نیز از عوامل دیگری است که در این روش سبب افزایش سرعت واکنش می‌شود[۱۳-۱۱]. کاواک‌زایی به معنی رشد و ترکیدن حباب‌ها در محلول است. نیروی حاصل از ترکیدن حباب‌های ایجاد شده در اثر کاواک‌زایی خود منشاء انرژی است که می‌تواند سبب راندن مولکول‌ها در جهت بر خورد به یکدیگر با

Archive of SID
www.SID.ir

سرعتی در حدود ۴۰۰ کیلومتر در ساعت شود. علاوه بـراین، پدیـده کاواک‌زایی باعث گرم شدن مخلوط واکنش نیز می‌شود.

۴- سنتز زیست‌دیزل به روش استفاده از امواج فراصوت

در این مطالعه از یک دسـتگاه فراصـوت مـدل UP 200H، بـا تـوان ۲۰۰ وات و فرکانس ۲۴ کیلوهرتز برای سنتز زیست‌دیـزل از روغـن سویا و متانول (مرک) در حضور هیدروکسید سدیم (مرک) به‌عنـوان کاتالیزگر استفاده شـد. در ایـن روش، محلـول متوکـسید سـدیم از طریق حل کردن مقدار معینی سود در حجم معینی از متانول توسط اندکی حرارت‌دهی تهیه می‌شود و سپس به ۵۰ گرم روغن در راکتور افزوده می‌شود. سلول جریان یا به‌عبارتی راکتور واکـنش، دو جـداره است و برای تنظیم و ثابت بـودن دمـا در طـی آزمـایش، آب از بـن ماری در دمای مورد نظـر توسـط پمـپ در آن جریـان دارد. جهـت جلوگیری از تبخیر حلال، سلول جریان به چگالنده مجهز شده است. با انتشار امواج فراصوت در مخلوط دو فازی متانول و روغـن، میکـرو امولسیونی ایجاد می‌شود کـه ایجـاد آن بـا اسـتفاده از همـزن‌هـای مکانیکی غیر ممکن است، ضمن اینکه این امولـسیون بعـد از اتمـام واکنش و توقف کار دستگاه، به سرعت قابـل برگـشت اسـت. بعـد از اتمام زمان در نظر گرفته شـده بـرای واکـنش، بـرای توقـف سـریع واکنش از افزایش اسید کلرهیدریک به مقـدار محاسـبه شـده بـرای خنثی‌سازی تمام کاتالیزگر (سود) استفاده می‌شود. به این ترتیب بـا توقف سریع واکنش از طریق خنثی‌سـازی کـل کاتـالیزگر مـی‌تـوان میزان بازدهی واکنش را در زمان معین و کنترل شده به‌دسـت آورد.

سپس مخلوط واکنش جهـت دو فـازی شـدن بـه ظـرف سـرریزکن منتقـل مـی‌شـود کـه در ایـن حالـت جـدا شـدن فـاز گلیـسرین و زیست‌دیزل بعد از چنـد دقیقـه قابـل رویـت اسـت. بعـد از مراحـل خالص‌سازی زیست‌دیزل، شـامل جداسـازی گلیـسرین، شستـشوی ملایم زیست‌دیـزل بـا آب ولـرم جهـت جداسـازی نمـک‌هـا، بـاقی کاتالیزگر، متانول، مونو، دی، تری گلیـسرید و گلیـسرین باقیمانـده، درصد تبدیل واکنش به‌دست مـی‌آیـد. خـالص‌سـازی زیـست‌دیـزل مرحله بسیار مهمی در سـنتز زیـست‌دیـزل اسـت، زیـرا مطـابق بـا استانداردهای تعریف شده، برای هر یک از ناخالـصی‌هـای نـام بـرده شده در زیست‌دیزل، مقادیر مجازی تعریف شده است.

۵- نتایج و نمودارها

در مطالعه حاضر به بررسی و بهینه‌سازی تأثیر چهار پارامتر در سنتز زیست‌دیزل از روغن سویا با استفاده از فنّ فراصوت پرداخته شد. این چهار پارامتر عبارت بودند از درصـد وزنـی کاتـالیزگر، نـسبت مـولی متانول به روغن، زمان و دما. نتایج این بررسی‌ها در جدول‌هـای (۱) تا (۴) آورده شده است. با توجه به آزمایش‌های صورت گرفته شرایط بهینه برای تولید زیست‌دیزل به کمک امواج فراصوت، نـسبت مـولی متانول به روغن ۶:۱، درصد وزنی کاتـالیزگر ۰/۵، دمـای ۲۵ درجـه سلسیوس و زمان ۱۰ دقیقه به‌دست آمد (جدول (۵))، که نتـایج در مقایسه با سنتز زیست‌دیزل به شیوه معمـولی (جـدول (۶)) کـاهش قابل ملاحظه ای را در دما و زمان مـورد نیـاز بـرای واکـنش نـشان می‌دهند.

جدول ۱- آزمایش‌های بهینه‌سازی درصد وزنی کاتالیزگر در تولید زیست‌دیزل به کمک امواج فراصوت

نسبت مولی متانول به روغن	درصد وزنی کاتالیزگر	دما (درجه سلسیوس)	زمان (دقیقه)	چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب)	درصد زیست‌دیزل
۶:۱	۰/۵	۲۵	۸	۰/۸۷۸۹	۹۵
۶:۱	۰/۷	۲۵	۸	۰/۸۷۸۱	۹۷
۶:۱	۱/۰	۲۵	۸	۰/۸۷۸۱	۹۷

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- آزمایش‌های بهینه‌سازی نسبت مولی متانول به روغن در تولید زیست‌دیزل به کمک امواج فراصوت

نسبت مولی متانول به روغن	درصد وزنی کاتالیزگر	دما (درجه سلسیوس)	زمان (دقیقه)	چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب)	درصد زیست‌دیزل
۳:۱	۰/۵	۲۵	۸	۰/۸۸۱۳	۸۹
۶:۱	۰/۵	۲۵	۸	۰/۸۷۸۹	۹۵
۹:۱	۰/۵	۲۵	۸	۰/۸۷۷۷	۹۸
۱۲:۱	۰/۵	۲۵	۸	۰/۸۷۷۷	۹۸

جدول ۳- آزمایش‌های بهینه‌سازی زمان در تولید زیست‌دیزل به کمک امواج فراصوت

نسبت مولی متانول به روغن	درصد وزنی کاتالیزگر	دما (درجه سلسیوس)	زمان (دقیقه)	چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب)	درصد زیست‌دیزل
۶:۱	۰/۵	۲۵	۳	۰/۸۹۵۱	۵۴
۶:۱	۰/۵	۲۵	۵	۰/۸۸۳۶	۸۳
۶:۱	۰/۵	۲۵	۸	۰/۸۷۸۹	۹۵
۶:۱	۰/۵	۲۵	۱۰	۰/۸۷۷۷	۹۸
۶:۱	۰/۵	۲۵	۱۵	۰/۸۷۷۷	۹۸
۶:۱	۰/۵	۲۵	۲۰	۰/۸۷۷۷	۹۸
۶:۱	۰/۵	۲۵	۲۵	۰/۸۷۷۷	۹۸
۶:۱	۰/۵	۲۵	۳۰	۰/۸۷۷۷	۹۸

جدول ۴- آزمایش‌های بهینه‌سازی دما در تولید زیست‌دیزل به کمک امواج فراصوت

نسبت مولی متانول به روغن	درصد وزنی کاتالیزگر	دما (درجه سلسیوس)	زمان (دقیقه)	چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب)	درصد زیست‌دیزل
۶:۱	۰/۵	۲۵	۱۰	۰/۸۷۷۷	۹۸
۶:۱	۰/۵	۳۵	۱۰	۰/۸۷۷۷	۹۸
۶:۱	۰/۵	۴۵	۱۰	۰/۸۷۷۷	۹۸
۶:۱	۰/۵	۵۵	۱۰	۰/۸۷۷۷	۹۸
۶:۱	۰/۵	۶۵	۱۰	۰/۸۷۷۷	۹۸

جدول ۵- شرایط بهینه در تولید زیست‌دیزل به کمک امواج فراصوت

نسبت مولی متانول به روغن	درصد وزنی کاتالیزگر	زمان (دقیقه)	دما (درجه سلسیوس)
۶:۱	۰/۵	۱۰	۲۵

Archive of SID

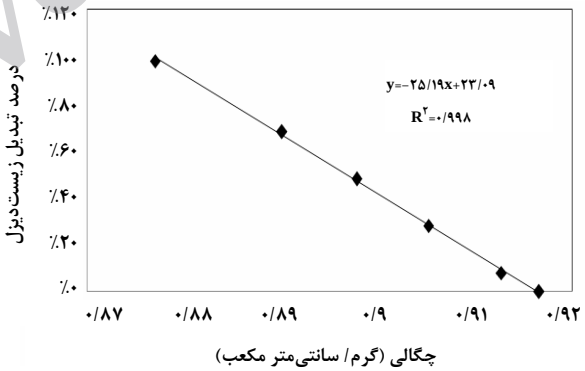
www.SID.ir

جدول ۶- شرایط بهینه در تولید زیست‌دیزل به روش معمولی

نسبت مولی متانول به روغن	درصد وزنی کاتالیزگر	زمان (دقیقه)	دما (درجه سلسیوس)
۶:۱	۰/۵	۴۰	۵۵

۶- آنالیز

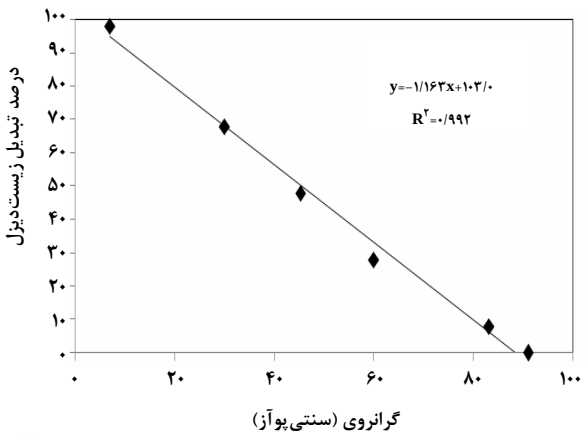
در مطالعه حاضر برای به‌دست آوردن درصد تبدیل زیست‌دیزل، دو نمودار درجه‌بندی با استفاده از نمونه‌های استاندارد زیست‌دیزل رسم شد، یکی از نمودارها با استفاده از طیف‌بینی رزونانس مغناطیسی پروتون و چگالی زیست‌دیزل به‌دست آمد و دیگری با استفاده از طیف‌بینی رزونانس مغناطیسی پروتون و گرانروی زیست‌دیزل رسم شد که نتایج به‌دست آمده از آنها برای محاسبه درصد تبدیل زیست‌دیزل سنتز شده، از تطابق خوبی با یکدیگر برخوردار بودند (شکل (۲) و (۳)). با کمک این نمودارهای درجه‌بندی می‌توان تنها با اندازه‌گیری چگالی و یا گرانروی زیست‌دیزل سنتز شده، درصد تبدیل آن را به‌دست آورد.



شکل ۲- نمودار درصد تبدیل زیست‌دیزل بر حسب چگالی

۷- آزمون موتور

در این بخش طبق استاندارد (ISO3046-I-V) به بررسی و مقایسه پارامترهای فنی سوخت زیست‌دیزل سنتز شده و مقایسه آن با سوخت گازوئیل در یک موتور دیزلی پاشش مستقیم چهار سیلندر پرداخته شد. موارد مورد بررسی عبارت بودند از مصرف ویژهٔ سوخت، مصرف سوخت، گشتاور خروجی، توان خروجی، درصد حجمی مونوکسید کربن، هیدروکربن‌های نسوخته، اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد.



شکل ۳- نمودار درصد تبدیل زیست‌دیزل بر حسب گرانروی

مشخصات موتور دیزلی پاششی مستقیم مورد آزمایش با دو سوخت گازوئیل و سوخت زیست‌دیزل

بررسی بسته آزمون موتوری ۴۰۰ وات طبق استاندارد ISO3046

الف: مشخصات موتور مورد آزمایش:

تعداد سیلندر: ۴

قطر سیلندر: ۹۷ میلی متر

مسیر رفت‌وآمد پیستون: ۱۲۸ میلی متر

حجم جابه‌جایی: ۳۷۸۰ سانتی متر مکعب

نسبت تراکم: ۱۷:۱

ترتیب احتراق: ۲-۴-۳-۱

حداکثر قدرت: (۲۸۰۰rpm) ۶۳ کیلو وات

حداکثر گشتاور: (۱۸۰۰rpm) ۲۳۵ نیوتن متر

ظرفیت کارتر روغن روانکار: ۹ لیتر

ظرفیت آب خنک کننده: ۷/۷ لیتر

Archive of SID

www.SID.ir

ب: استاندارد مورد هدف:

استاندارد آزمایش طبق استاندارد (ISO3046-I-V)

پ: ویژگی‌های بسته آزمون:

مجهز به دینامومتر اری کارنت با توان ترمزی ۴۰۰ وات

سنجش مصرف هوا: Hot wire

سنجش مصرف سوخت: جرمی

سنجش گشتاور: Load cell

کنترل دمای موتور: تبادلگر حرارتی مواد آب و روغن

سنجش آلاینده‌ها: CO, NOX, HC, SOX بر حسب درصد حجمی

۷-۱ تحلیل نتایج آزمایش و ارزیابی عملکرد موتور دیزل پاشش مستقیم

در این بخش به تحلیل مقایسه‌ای منحنی تغییرات توان، گشتاور، مصرف ویژهٔ سوخت و آلودگی خروجی از اگزوز در حالت تمام بار طبق استاندارد ISO3046 برای دو سوخت گازوئیل و زیست‌دیزل پرداخته شد.

توان ماکزیمم حاصل از عملکرد موتور با سوخت گازوئیل معادل ۵۳/۴ کیلو وات در دور ۲۸۰۰ به‌دست آمد که در مقایسه با سوخت زیست‌دیزل که معادل ۵۰/۲ کیلو وات در دور ۲۸۰۰ به‌دست آمد، افت توانی حدود شش یا هفت درصد را نشان می‌دهد. به‌طور کلی در کلیه دورها میزان افت توان مشاهده می‌شود. مقایسه توان خروجی موتور در مورد زیست‌دیزل و گازوئیل در شکل (۴) نمایش داده شده است.

میزان گشتاور ماکزیمم در حالت گازوئیل سوز ۲۱۴/۶ نیوتون متر در دور ۱۸۰۰ به‌دست آمد که در مقایسه با حالت زیست‌دیزل که ۲۰۰ نیوتون متر در دور ۱۸۰۰ حاصل شد، افتی در حدود ۷ درصد را نشان می‌دهد. به‌طور کلی میزان افت گشتاور در حالت زیست‌دیزل نسبت به گازوئیل مشاهده می‌شود. مقایسه گشتاور خروجی موتور در مورد زیست‌دیزل و گازوئیل در شکل (۵) نمایش داده شده است.

مصرف ویژه مینیمم در حالت گازوئیل سوز ۲۴۶ گرم بر کیلو وات ساعت در دور ۲۲۰۰ به‌دست آمد که در مقایسه با حالت زیست‌دیزل که معادل ۲۵۱ گرم بر کیلو وات ساعت حاصل گردید افزایشی حدود دو تا سه درصد را نشان می‌دهد، ولی میزان افزایش در دورهای پایین‌تر و بالاتر بالغ بر ۱۰ تا ۱۵ درصد است. به‌طور کلی، افزایش میزان مصرف ویژهٔ سوخت در حالت زیست‌دیزل در مقایسه با گازوئیل مشاهده شد. مقایسه مصرف ویژه سوخت و مصرف سوخت در مورد زیست‌دیزل و گازوئیل در شکل‌های (۶) و (۷) نمایش داده شده است.

مقایسه میزان آلاینده‌های اگزوز موتور در مورد زیست‌دیزل و گازوئیل در شکل‌های (۸) تا (۱۱) نمایش داده شده است میزان آلاینده‌های اگزوز موتور برای دو سوخت گازوئیل و زیست‌دیزل بر حسب درصد حجمی به شرح زیر است:

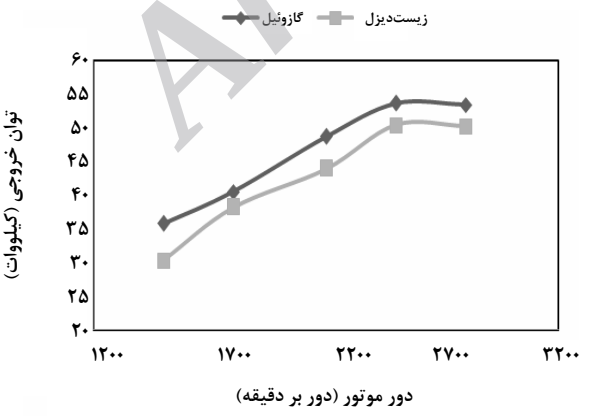
۱- میزان مونو اکسید کربن در حالت زیست‌دیزل افت ۵۰ درصد را در مقایسه با گازوئیل نشان می‌دهد.

۲- میزان هیدروکربورهای نسوخته در حالت زیست‌دیزل حدود ۱۰ درصد افزایش را نشان می‌دهد.

۳- میزان اکسیدهای ازت در حالت زیست‌دیزل حدود هفت درصد افزایش را نشان می‌دهد.

۴- میزان اکسیدهای گوگرد در حالت زیست‌دیزل نسبت به گازوئیل، صد در صد کاهش را نشان می‌دهد به‌عبارتی زیست‌دیزل عاری از مشتقات گوگرد است.

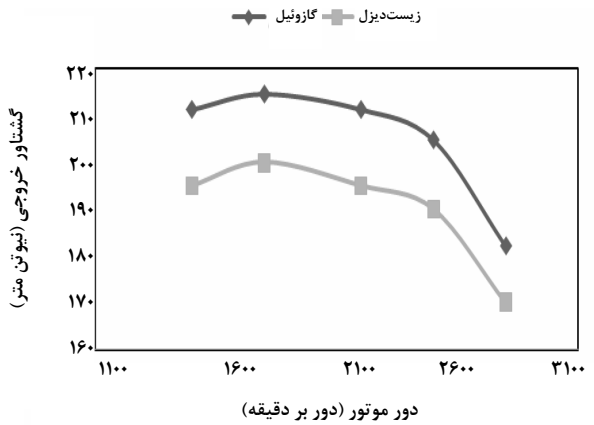
۵- میزان دوده در حالت سوخت گازوئیل طبق عدد بوشی بین (۸-۴) به‌دست آمد که این میزان در حالت زیست‌دیزل حدود (۳-۲) اندازه‌گیری شد که بنابراین کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد.



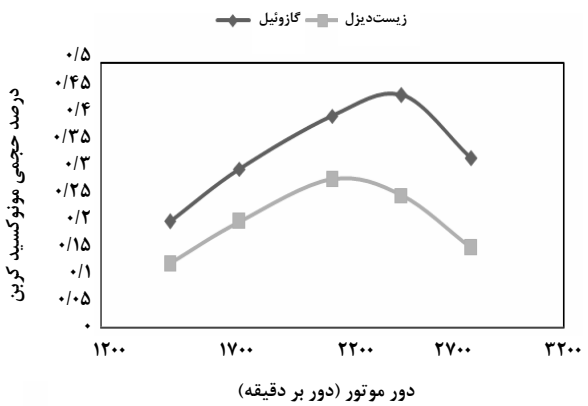
شکل ۴- مقایسه توان خروجی موتور برای گازوئیل و زیست‌دیزل در شرایط تمام بار

Archive of SID

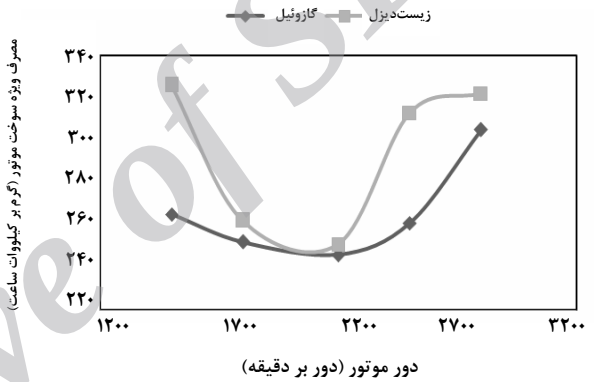
www.SID.ir



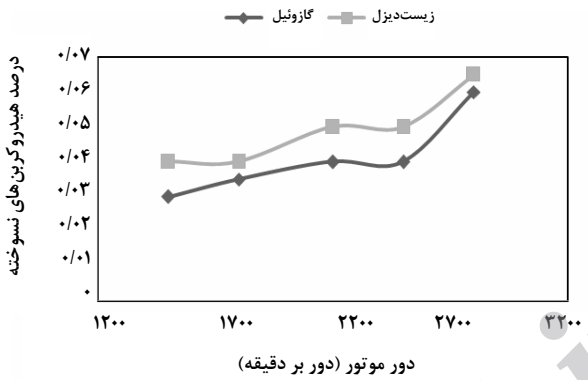
شکل ۵- مقایسه گشتاور خروجی موتور برای گازوئیل و زیست‌دیزل در شرایط تمام بار



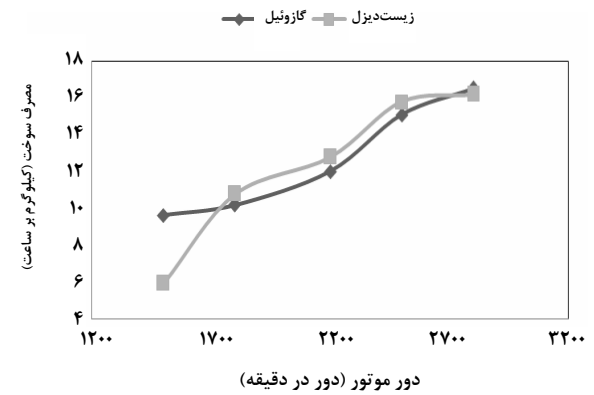
شکل ۸- مقایسه درصد حجمی مونوکسید کربن خروجی از موتور برای گازوئیل و زیست‌دیزل در شرایط تمام بار



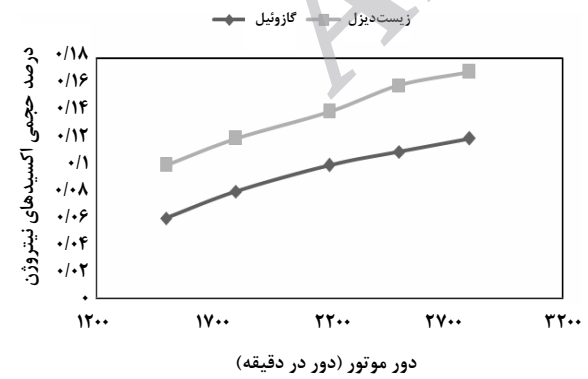
شکل ۶- مقایسه مصرف ویژه سوخت برای گازوئیل و زیست‌دیزل در شرایط تمام بار



شکل ۹- مقایسه درصد حجمی هیدروکربن‌های نسوخته برای گازوئیل و زیست‌دیزل در شرایط تمام بار



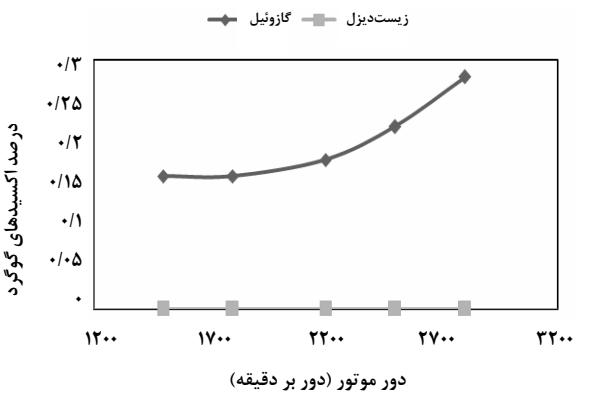
شکل ۷- مقایسه مصرف سوخت برای گازوئیل و زیست‌دیزل در شرایط تمام بار



شکل ۱۰- مقایسه درصد حجمی اکسیدهای نیتروژن خروجی از موتور برای گازوئیل و زیست‌دیزل در شرایط تمام بار

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۱- مقایسه درصد حجمی اکسیدهای گوگرد خروجی از موتور برای گازوئیل و زیست‌دیزل در شرایط تمام بار

بنابراین، مطابق با نتایج این بخش، بهره‌گیری از سوخت زیست‌دیزل به جای گازوئیل در موتور دیزلی پاشش مستقیم با دور متوسط از دیدگاه توان و گشتاور، به‌طور میانگین، افتی در حدود هفت درصد، و میزان مصرف ویژهٔ سوخت نیز افزایشی در حدود ۱۰ درصد را نشان می‌دهد. میزان آلاینده‌های خروجی از اگزوز موتور بدون عملیات پاکسازی اگزوز در مجموع کاهش چشمگیری داشت، به‌خصوص میزان دوده تقریباً به نصف رسید و نکته بسیار پر اهمیت حذف کامل اکسیدهای گوگرد در حالت زیست‌دیزل نسبت به گازوئیل سوز می‌باشد. تنها میزان اکسیدهای ازت به‌طور میانگین، افزایشی حدود ۱۰ درصد را نشان داد.

۸- بررسی عوامل استاندارد تعریف شده برای زیست‌دیزل

کیفیت زیست‌دیزل به‌عنوان سوخت موتورهای دیزل، توسط برخی عوامل در نظر گرفته شده برای آن بررسی و بیان می‌شود. این فاکتورها عبارتند از: نقطه اشتعال، درصد آب، گرانروی، خاکستر، مقدار گوگرد، میزان خوردگی نوار مسی، باقی‌ماندهٔ کربن، عدد ستان، اسیدیته، نقطه ابری شدن و میزان فسفر. در این بخش به بررسی هر یک از این فاکتورها در زیست‌دیزل سنتز شده پرداخته شد. نتایج این بررسی در مورد زیست‌دیزل سنتز شده در این طرح و مقایسه با مقادیر ذکر شده در استانداردهای تعریف شده برای زیست‌دیزل در جدول (۷) آورده شده است. همان‌طور که این نتایج نشان می‌دهد، زیست‌دیزل سنتز شده به لحاظ پارامترهای فیزیکی از تطابق خوبی با استانداردها برخوردار است و به لحاظ کیفیت قابل تایید می‌باشد.

۹- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمایش‌های بهینه‌سازی برای سنتز زیست‌دیزل در این مطالعه نشان داد شرایط بهینه برای سنتز زیست‌دیزل به روش معمولی عبارت است از نسبت مولی متانول به روغن ۶:۱، درصد وزنی کاتالیزگر ۰/۵، زمان واکنش ۴۰ دقیقه و دمای ۵۵ درجه سلسیوس و در روش سنتز به کمک امواج فراصوت شرایط بهینه به‌دست آمده عبارت بودند از نسبت مولی متانول به روغن ۶:۱، درصد وزنی کاتالیزگر ۰/۵، مدت واکنش ۱۰ دقیقه و دمای ۲۵ درجه سلسیوس. مطابق با نتایج آزمایش‌ها، در هر دو روش مقدار بهینه نسبت مولی متانول به روغن و درصد وزنی کاتالیزگر مورد نیاز یکسان بود. مهم‌ترین عامل در تبدیل مؤثر روغن به زیست‌دیزل در روش استفاده از امواج فراصوت زمان است، با در نظر گرفتن زمان ۱۰ دقیقه برای واکنش با استفاده از امواج فراصوت حتی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نیز می‌توان به زیست‌دیزل ۹۸ درصد رسید. بنابراین مهم‌ترین عامل در سنتز زیست‌دیزل از روغن سویا با استفاده از امواج فراصوت، زمان است زیرا دما خود به خود و به‌صورت بسیار مؤثر در اثر کاواکزایی در نقطه نقطه مخلوط واکنش ایجاد می‌شود.

سنتز زیست‌دیزل ۹۸ درصد از روغن سویا با استفاده از فنّ فراصوت در دمای محیط و زمان واکنش ۱۰ دقیقه بسیار ایده‌آل است. همان‌طور که آزمایش‌های صورت گرفته در این مطالعه نشان می‌دهد سنتز زیست‌دیزل ۹۸ درصد با روش معمولی در حالت بهینه، تنها در دمای ۵۵ درجه سلسیوس و در مدت ۴۰ دقیقه امکان پذیر است. در روش معمولی سنتز زیست‌دیزل، برای به هم خوردن مخلوط دو فازی (روغن- متانول) از همزن مکانیکی استفاده می‌شود که حتی در دورهای چرخش بالا نمی‌تواند به‌طور مؤثر باعث تماس دو فاز شود و بنابراین سرعت واکنش بسیار پایین است.

در سنتز زیست‌دیزل به کمک فنّ فراصوت، انتشار امواج فراصوت در مخلوط واکنش ایجاد ارتعاشات بسیار قوی و ریز می‌کند. این ارتعاشات سبب مخلوط شدن بسیار مؤثر دو فاز می‌شود به گونه ای که گاهی در پنج دقیقه آخر واکنش مخلوط واکنش یک فاز به نظر

Archive of SID

www.SID.ir

می‌رسد که این به علت امولسیون بسیار ریز تشکیل شده مـی‌باشـد که تماس بسیار مؤثر واکنش دهنده‌ها را افـزایش مـی‌دهـد، ضـمن اینکه نیروی برشی قوی حاصل از انتشار امـواج فراصـوت همـراه بـا دمای تولید شده در مخلوط واکـنش ناشـی از فراینـد کـاواک‌زایـی، انرژی فعالسازی واکنش را به‌طور کاملاً مؤثر فراهم می‌کند.

جدول ۷- مقایسه پارامترهای فیزیکی برای زیست‌دیزل سنز شده و مقادیر بیان شده در استانداردها

خواص فیزیکی	شماره استاندارد روش اندازه‌گیری	مقدار مجاز مطابق با استاندارد ASTM	مقدار اندازه گیری شده برای زیست‌دیزل سنتز شده
نقطه اشتعال	روش دستگاهی گلین[1] طبق استاندارد ASTM	حداقل ۱۰۲ درجه سلسیوس مطابق با استاندارد D 93	۱۰۵ در جه سلسیوس
نقطه ابری شدن	AOCS-CO-6-25(97)	۲- تا ۶- درجه سلسیوس مطابق با استاندارد D 2500	۳-
باقی‌مانده کربن	D 4530	حداکثر ۰/۰۵ درصد وزنی مطابق با استاندارد D 4530	۰/۰۴ درصد وزنی
عدد ستان	D 613	۴۷ دقیقه مطابق با استاندارد D 613	۴۸ دقیقه
گرانروی حرکتی	روش بروک اسپین[2] طبق استاندارد ASTM	۱/۹ تا ۶/۰ میلی متر مربع بر ثانیه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس مطابق با استاندارد D 445	۴/۱ میلی متر مربع بر ثانیه
خاکستر سولفاته	D 874	حداکثر ۰/۰۲ درصد وزنی مطابق با استاندارد D 874	ناچیز
گوگرد	CHN	حداکثر ۰/۰۵ درصد وزنی مطابق با استاندارد D 5453	ناچیز
خوردگی نوار مسی	D130	حداکثر No.3 مطابق با استاندارد D 130	No.1
اسیدیته	D 664	حداکثر ۰/۸۰ میلی گرم سود بر گرم زیست‌دیزل مطابق با استاندارد D 664	۰/۲ میلی گرم سود بر گرم زیست‌دیزل
درصد آب	کارل فیشر[3]	حداکثر ۰/۰۵ درصد حجمی مطابق با استاندارد D 2709	۰/۰۲ درصد حجمی
فسفر	ICP	حداکثر ۰/۰۰۱ درصد وزنی مطابق با استاندارد D 4951	ناچیز

1. Instrumental Glain method ASTM method
2. Brook Spin DV ASTM method
3. Karl Fisher

Archive of SID
www.SID.ir

مزیت مهم دیگر استفاده از فنّ فراصوت در سنتز زیست‌دیزل، دو فازی شدن سریع گلیسرین و زیست‌دیزل بعد از اتمام واکنش است که تنها بعد از گذشت دو الی سه دقیقه از اتمام واکنش با خط مرز کاملا واضح قابل رویت است که حداکثر بعد از دو ساعت کامل می‌شود. ولی در روش معمولی سنتز زیست‌دیزل، دو فازی شدن مخلوط (گلیسرین- زیست‌دیزل) به آرامی صورت می‌گیرد و بعد از حدود ده دقیقه قابل رویت می‌باشد که برای کامل شدن آن به یک روز زمان نیاز است. بنابراین در سنتز زیست‌دیزل با استفاده از امواج فراصوت تنها بعد از گذشت دو ساعت از اتمام واکنش می‌توان گلیسرین را از زیست‌دیزل جدا کرد و سایر مراحل خالص‌سازی را بر روی آن انجام داد که این سبب سرعت هر چه بیشتر تولید می‌شود. در واقع در سنتز زیست‌دیزل با استفاده از امواج فراصوت خروج گلیسرین باقی‌مانده به حالت امولسیون در زیست‌دیزل بسیار سریع و راحت صورت می‌گیرد. در سنتز زیست‌دیزل با استفاده از امواج فراصوت با توجه به کاهش زمان مورد نیاز برای انجام واکنش، می‌توان سیستم تولید زیست‌دیزل را به حالت پیوسته در آورد. از دستاوردهای مهم این بررسی طراحی و ساخت یک سیستم پیوسته تولید زیست‌دیزل در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از فنّ فراصوت و با توجه به شرایط بهینه به‌دست آمده می‌باشد.

همین طور در این مطالعه موفق به استفاده از روشی مناسب، آسان و ارزان برای به‌دست آوردن درصد تبدیل زیست‌دیزل سنتز شده با استفاده از اندازه گیری چگالی و یا گرانروی زیست‌دیزل شدیم. در این بررسی موفق به تولید زیست‌دیزلی شدیم که تمام عوامل فیزیکی و کیفیتی آن با مقادیر ذکر شده در استانداردها مطابقت می‌کرد و نتایج آزمون موتور نیز در مورد آن کاملا مثبت بود که به‌طور خلاصه در زیر به آنها اشاره شده است.

الف: کاهش ۵۰ درصدی مونوکسید کربن حاصل از احتراق

ب: کاهش ۵۰ درصدی دوده

ج: کاهش صد در صدی اکسیدهای گوگرد

د: کارکرد خوب موتور با سوخت زیست‌دیزل تولید شده با تنها افت ناچیز در توان (پایین‌تر از ۱۰ درصد) و افزایش حدود پنج درصدی مصرف ویژه سوخت که در مقابل دستاوردهای زیست محیطی برتر، و توجیه اقتصادی بهینه این سوخت قابل چشم‌پوشی است.

بنابراین همان‌طور که نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد استفاده از امواج فراصوت در سنتز زیست‌دیزل از روغن سویا توسط واکنش استری‌شدن ترانس نسبت به استفاده از روش معمولی برای سنتز زیست‌دیزل مساوی با: کاهش زمان مورد نیاز برای انجام واکنش به ۱۰ دقیقه، انجام واکنش در دمای محیط، سرعت، سهولت و بهبود جداسازی گلیسرین از زیست‌دیزل در مدت حداکثر دو ساعت، امکان تولید زیست‌دیزل به حالت پیوسته به کمک فنّ فراصوت است.

مراجع

[1] Ayhan Demirbas, "Biodiesel A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines". Turkey, Springer-Verlag London Limited, first edition, page 2, (2008).

[2] Kim, S., Dale, B.E., "Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing: bioethanol and biodiesel". Biomass Bioenergy 29:426–439, (2005).

[3] Demirbas, M.F., Balat, M., "Recent advances on the production and utilization trends of biofuels: a global perspective". Energy Conversion Mgmt 47:2371–238, (2006).

[4] Puppan, D., "Environmental evaluation of biofuels". Periodica Polytechnica Ser Soc Man Sci 10:95–116, (2002).

[5] Goering, E., Schwab, W., Daugherty, J., Pryde, H., Heakin, J., "Fuel properties of eleven vegetable oils". Trans ASAE 25: 1472–1483, (1982).

[6] Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., Knothe, G., "Biodiesel production technology". National Renewable Energy Laboratory, page 62-63, (2004).

[7] Francisco F.P. Santos, Sueli Rodrigues, Fabiano A.N. Fernandes. "Optimization of the production of biodiesel from soybean oil by ultrasound assisted methanolysis". Fuel Processing Technology 90: 312–316, (2009).

[8] Priyanka Chand, Venkat Reddy Chintareddy, John G. Verkade, and David Grewell. "Enhancing Biodiesel Production from Soybean Oil Using Ultrasonics". Energy Fuels 24: 2010–2015, (2010).

[9] Ma, F., Hanna, M.A., "Biodiesel production: a review". Bioresour Technol 70: 1–15, (1999).

Archive of SID

www.SID.ir

[10] I.M. Atadashi, M.K. Aroua, A. Abdul Aziz., High quality biodiesel and its diesel engine application: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14: 1999–2008, (2010).

[11] Okitsu, K., Yue, A., "Sonolytic control of rate of gold reduction and sizes of formed nanoparticles". Bulletin of the Chemical Society of Japan 75: 2289-96, (2002).

[12] Stavarache, C., Vinatoru, M., "Fatty acids methyl esters from vegetable oil by means of ultrasonic energy". Ultrasonic Sonochemistry 12: 367-72, (2005).

[13] Duc Hanh, H., The Dong, N., Okitsu, K., "Biodiesel production through transestrification of triolein with various alcohols in an ultrasonic field". Renewable Energy 34: 766-768, (2009).

Archive of SID

www.SID.ir