ساخت راکتور STR آزمایشگاهی تولید بیودیزل از روغن‌های پسماند گیاهی

علی زنوزی[۱*]، مجید جوانمرد داخلی[۲]، روزبه عباس زاده[۳]، شهریار صرامی[٤]

۱و۳و٤ استادیار و ۲ دانشیار سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

ایمیل مکاتبه کننده: zenozi@irost.ir، a_zenouzi@yahoo.com

چکیده

بیودیزل سوخت پاک و تجدیدپذیری است که در بسیاری از کشورها از روغن‌های گیاهی یا پسماند تولید شده، به عنوان مکمل یا جایگزین سوخت دیزل در موتورهای درونسوز بکار برده می‌شود. روش‌های زیادی برای تولید بیودیزل وجود دارد که هر یک دارای مزایا و معایبی می‌باشند. در این تحقیق انواع روش‌های تولید بیودیزل مورد بررسی قرار گرفته و دستگاهی آزمایشگاهی ساخته شد که قابلیت اجرای روش ترانس استریفیکاسیون را برای تولید بیودیزل داشته باشد. در این دستگاه شدت همزنی، دمای واکنش و خالص‌سازی، زمان‌های واکنش، ته‌نشین سازی و خالص سازی قابل برنامه‌دهی می‌باشد. دستگاه به گونه‌ای طراحی گردید که ظرفیت تولید ۱ تا ۳ لیتر در روز بیودیزل با کنترل دمایی از ۲۰ تا ۸۰ $^{\circ}C$ را دارا می‌باشد. کلیه فرآیندها از طریق کلیدهای الکتریکی و حسگرهای الکترونیکی و تایمرهای دیجیتالی کنترل می‌شود. راکتور از جنس استیل ضد زنگ با ساید گلاس ساخته شد تا کلیه واکنش‌ها و فرآیندها قابل مشاهده باشند. در این حالت، علاوه بر اینکه کاربری دستگاه بسیار ساده می‌شود، می‌توان از این دستگاه به عنوان یک وسیله کمک آموزشی برای آموزش دانشجویان با نحوه تولید بیودیزل نیز استفاده نمود. دستگاه ساخته شده به عنوان جزء ضروری آزمایشگاه‌های بیودیزل محسوب می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بیودیزل، راکتور آزمایشگاهی، ساید گلاس، روغن پسماند

۱- مقدمه

اثرات زیانبار آلودگی هوا باعث تشویق بسیاری از محققان برای بررسی راه‌های ممکن در استفاده از سوخت‌های جایگزین به جای نفت و مشتقات آن شده است. در بین سوخت‌های تجدیدپذیر، سوخت‌های بدست آمده از پسماند مواد کشاورزی مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته است زیرا باعث کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ی هوا می‌شوند. همچنین باعث کاهش وابستگی به واردات سوخت و کاهش هزینه‌ی انرژی بوده، بخشی از تقاضای انرژی جهانی را جوابگو می‌باشند (Carraretto *et al.*, 2004).

بیوسوخت‌ها از مواد بیولوژیکی مانند روغن‌های گیاهی، روغن‌های پسماند حاصل از رستوران‌ها و غذاخوری‌ها، چربی‌های حیوانی و محصولات پسماند حاصل از گیاهان و جنگل‌ها بدست می‌آیند و می‌توانند به صورت خالص یا مخلوط با سوخت‌های فسیلی در سامانه‌های حمل و نقل، گرمایش منازل، ساختمان‌ها و کارخانجات و همچنین در فرآیندهای صنعتی به‌کار روند. در بین این سوخت‌ها، بیودیزل که از روغن‌های مختلف گیاهی (سویا، آفتابگردان، ذرت، کلزا، پنبه‌دانه، نارگیل، نخل، کرچک، برزک و ...) تولید می‌شود به چند دلیل مناسب به نظر می‌رسد (Nurun Nabi *et al.*, 2006).

بیودیزل یکی از انواع سوخت‌های زیستی می‌باشد و خواصی بسیار شبیه به سوخت دیزل دارد با این تفاوت که دارای مواد ناخوشایندی از قبیل گوگرد، نیتروژن و آروماتیک‌های پلی سایکلیک نمی‌باشد (Lee *et al.*, 2004). بیودیزل به طور کلی از متیل استر یا اتیل استر تشکیل شده است و دارای چندین گروه آلکیلی با زنجیره‌های هیدروکربن C15 تا C17 می‌باشد که به عنوان اسیدهای چرب شناخته می‌شوند. این سوخت می‌تواند بدون ایجاد تغییر در بویلرها و موتورهای درونسوز به جای سوخت دیزل به‌کار رود (Lee *et al.*, 2004).

بیودیزل جایگزین سوخت‌های با پایه‌ی نفتی می‌باشد که باعث کاهش وابستگی به واردات سوخت و مشتقات نفتی می‌شود. این سوخت تجدیدپذیر بوده و دارای تراز انرژی مناسبی می‌باشد. کاربرد بیودیزل باعث کاهش مقدار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (Usta,2005; Nurun Nabi *et al.*, 2006) که منطبق بر توافق‌نامه‌ی قرارداد کیوتو می‌باشد. زیرا دارای انتشارات مضر بسیار کمی در مقایسه با سوخت های فسیلی می‌باشد و این یک مزیت بسیار مهم برای این سوخت بویژه در مناطق حساس به آلودگی‌های محیط از قبیل شهرهای بزرگ و معادن می‌باشد (Dorado *et al.*, 2003). همچنین بیودیزل تجزیه‌پذیر و غیر سمی می‌باشد و این یک مزیت در نشتی‌های مخازن و زیست دریایی و سایر محیط‌های حساس به سوخت‌های فسیلی محسوب می‌شود. استفاده از ضایعات، پسماندها و فرآورده های جنبی موادکشاورزی برای تولید بیودیزل، می‌تواند به اقتصاد روستاها کمک نماید (Gavett *et al.*, 1992). با توجه به مزایای ذکر شده بیودیزل به عنوان بهترین جایگزین سوخت دیزل شناخته می‌شود (Jose *et al.*, 1999; Raneses *et al.*, 1999;).

اگر چه در حال حاضر کشورهای اروپایی و آمریکایی مهمترین مراکز تولید بیودیزل بشمار می‌روند اما به دلیل اینکه کشورهای آسیایی و آفریقایی عمدتاً در نواحی مجاور استوایی هستند، بنابراین علاوه بر اینکه بهترین مناطق برای تولید دانه‌های روغنی می‌باشند، دارای دشت‌های وسیعی از کرچک و جاتروفا هستند که دو گیاه عمده برای تولید بیودیزل بوده و مصارف حیوانی و انسانی ندارند و بطور وسیع برای تولید بیودیزل بکار می روند. از این‌رو، آسیا و آفریقا دارای بیشترین پتانسیل برای تولید بیودیزل می‌باشند. هفت کشور اول مصرف کننده بیودیزل در جهان به ترتیب کشورهای آلمان، برزیل، فرانسه، ایتالیا، اسپانیا، آمریکا و تایلند می‌باشند. کشور آمریکا در منطقه امریکای شمالی بیشترین سهم در بازار تولید بیودیزل را از آن خود کرده است. در سال ۲۰۱۱ صنایع بیودیزل در کشور آمریکا با تولید ۱/۱ میلیارد گالن بیودیزل علاوه بر تولید بیشتر از تخمین آژانس آمریکایی حفاظت از محیط زیست

(UEPA)[1]، رکورد تولید این کشور در سال ۲۰۰۸ که برابر با مقدار ٦۹۰ میلیون گالن بوده است را نیز پشت سر گذاشته است که نقطه عطفی در تولید بیودیزل این کشور به حساب می‌آید. در کشور آمریکا عمده خوراک اولیه مورد استفاده در تولید بیودیزل، دانه روغنی سویا می‌باشد. مطالعات اقتصادی انجام شده توسط شورای ملی بیودیزل (NBB)[2] نشان داده است که این مقدار بیودیزل تولیدی در کشور آمریکا، ۳۹۰۲۷ فرصت شغلی ایجاد نموده است و منجر به ایجاد ۲/۱ میلیارد دلار درآمد، برای خانوارهای آمریکایی شده است. با توجه به تخمین‌های سازمان UEPA و با توجه به مشوق‌های مالیاتی تصویب شده در آمریکا، علاوه بر این میزان فرصت شغلی، ۱۱٦۹۸ فرصت شغلی جدید نیز در طی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۳ به این مقدار افزوده خواهد شد. به دلیل کنترل افزایش آلودگی و کاهش مالیات، آمریکا در نظر دارد تولید بیودیزل خود را در سال ۲۰۱٦ به ۲۳ میلیون تن در سال برساند (Matallana, 2005).

بنابراین با توجه به آمارهای موجود در بخش‌های بازار، ظرفیت، تولید و مصرف بیودیزل، به منظور تحقق چشم‌اندازهای تعیین شده حرکت به سوی تکامل فن‌آوری‌های موجود تولید و فرآوری سوخت بیودیزل و استفاده از روش‌های تولید پیشرفته و همچنین استفاده از منابع اولیه‌ی غیر خوراکی بایستی مورد توجه و اهمیت محققان و سرمایه‌گذاران این بخش قرار گیرد.

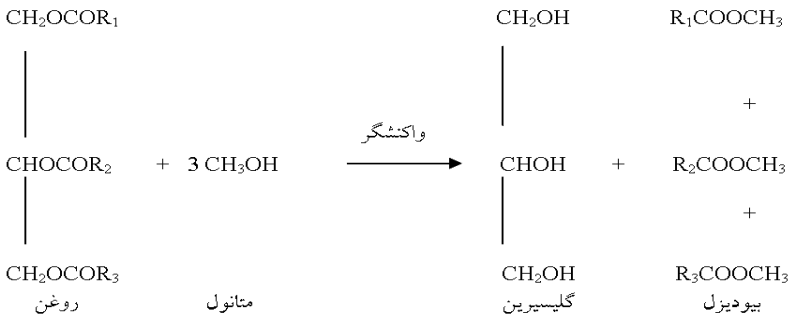
امروزه بیشتر بیودیزل تجاری تولید شده در جهان از طریق واکنش ترانس‌استریفیکاسیون تری‌گلیسیریدها (روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی) با الکل (متانول و اتانول) در رآکتورهای مخزنی همزن دار[3] (STR) در حضور کاتالیزورهای همگن اسیدی و بازی تولید می‌شود (Zenouzi *et al.*, 2009; Zenouzi and Ghobadian, 2007; Zenouzi and Ghobadian, 2007b; Abbaszadeh *et al.*,*2013*). واکنش ترانس‌استریفیکاسیون در یک سیستم دو فازی مایع-مایع انجام می‌شود (Ghobadian and Khatamifar, 2005). جهت انجام تحقیقات بر روی بهینه سازی پارامترهای موثر در واکنش تولید بیودیزل از انواع روغن‌ها، حلال‌ها و کاتالیست‌های مختلف، نیاز به وجود دستگاهی آزمایشگاهی و انعطاف پذیر می‌باشد که بتوان بوسیله آن در مقیاس کوچک انواع ایده ها و روش های مختلف را اجرا نموده، نتایج حاصله را در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار داد.

۲- مواد و روش‌ها

سه روش مهم که برای تولید بیودیزل از روغن‌های گیاهی یا پسماند توسعه پیدا کرده‌اند عبارت از پیرولیزیز[4]، میکروامولسیون[5] و ترانس‌استریفیکاسیون[6] می باشند (Fukuda et al., 2001).

[1] - United State Environmental Protection Agency
[2] - esel BoardNational Biodi
[3] - Stirred Tank Reactor
[4] -Pyrolysis
[5] -Micro-emulsification
[6] -Transesterification

از بین روش های ذکر شده برای تولید بیودیزل روش ترانس‌استریفیکاسیون معمولتر و اقتصادی‌تر می‌باشد (Gerpen,2005) و در آزمایشگاه به سادگی قابل اجرا است. با ترانس‌استریفیکاسیون روغن‌ها، اتمهای اکسیژن در مولکول بیودیزل حفظ می‌شوند و از آن جدا نمی‌گردند. وجود اکسیژن در مولکول بیودیزل یکی از مزایای این سوخت است به طوری که به این سوخت‌ها، سوخت‌های اکسیژن‌دار نیز می‌گویند (Felizardo et al., 2005). در ترانس‌استریفیکاسیون که به آن الکلیزیز[7] هم گفته می‌شود، الکل استر با یک الکل دیگر در طی یک فرآیند جایگزین می‌گردد. این فرآیند شبیه فرآیند هیدرولیز است با این تفاوت که به جای آب الکل جایگزین می‌شود. الکل‌های مناسب این روش عباتند از: متانول، اتانول، پروپانول و بوتانول (Patzer and Norris, 2002 ; Vicente et al., 2004). از بین این الکلها اتانول و متانول معمول‌ترند و از بین این دو، متانول ارزان‌تر و دارای مزایای فیزیکی و شیمیایی بیشتری نسبت به اتانول است. در شکل(۱) فرمول این واکنش نشان داده شده است (Felizardo et al., 2005; Karmee and Chadha, 2005).

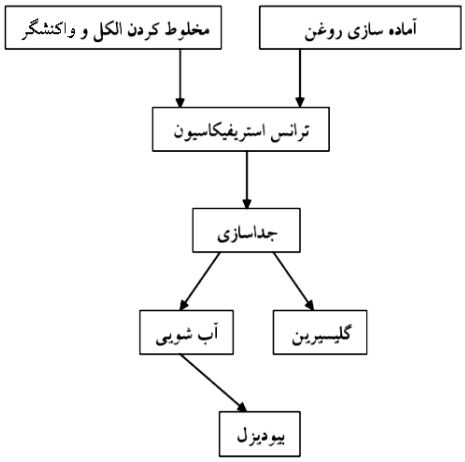


شکل ۱- واکنش ترانس‌استریفیکاسیون (Gerpen, 2005)

گروههای R اسیدهای چرب ۱٦ تا ۲۲ کربنه هستند و در این زنجیره ممکن است پیوندهای یگانه یا دوگانه نیز وجود داشته باشد. اسیدهای چرب غیر اشباع می‌توانند باعث پلیمری شدن و تولید صمغ در موتور، روغن روانکاری و انژکتورها گردند (Demirbas, 2003, Anonymous, 2003).

مراحل تهیه‌ی بیودیزل از روغن تازه در شکل (۲) نشان داده شده است. در حالت کلی روغن آماده‌سازی شده وارد رآکتور دستگاه می‌شود. مخلوط الکل و واکنش‌گر به نسبت لازم به آن اضافه می‌شود و بعد از انجام واکنش ترانس‌استریفیکاسیون، مخلوط حاصل به مخزن جداسازی دوفاز انتقال داده می‌شود. بعد از گذشت چند ساعت مخلوط کاملا دوفاز شده، بیودیزل در بالا و گلیسیرین در کف مخزن ته‌نشین شده و خارج می‌گردد. پس از آن، بیودیزل بدست آمده آبشویی می‌شود که در اینجا اغلب از روش شستشو با آب و حباب هوا[8] استفاده می‌گردد. پس از چند مرحله آبشویی، بیودیزل خالص شده و به کوره[9] انتقال داده می‌شود تا آب موجود در آن کاملا جدا گردد.

[7] -Alcoholysis
[8] -Bubble washing
[9] -Oven



شکل۲- مراحل تهیه بیودیزل از روغن تازه

با توجه به مراحل ذکر شده، راکتور تولید بیودیزل به گونه‌ای طراحی و ساخته شد که مراحل واکنش، جداسازی گلیسیرین، آبشویی و خشک نمودن در یک راکتور انجام شود. کنترل شرایط و فرآیندها به صورت کاملا دقیق صورت گرفته و قابلیت اجرای انواع روش‌های آبشویی و همزنی را چه به طور مجزا و چه به طور ترکیبی داشته باشد. همچنین کنترل کلیه فرآیندها نیز بوسیله‌ی کلید الکتریکی، حسگرهای الکترونیکی و تایمرهای دیجیتالی به راحتی و بدون نیاز به باز کردن درب راکتور انجام گیرد.

۳- طراحی و ساخت

۳-۱ راکتور

در دستگاه‌های فرآوری بیودیزل، راکتور مخزنی است که واکنش ترانس‌استریفیکاسیون درون آن صورت می‌گیرد. این مخزن باید قابلیت تحمل بیش از ۸۰ درجه سانتی‌گراد را دارا باشد. کف مخزن باید اندکی شیب داشته باشد تا تخلیه‌ی مواد به طور کامل صورت گیرد. بدنه‌ی راکتور باید قابلیت نصب قطعاتی از قبیل گرمکن و حسگر دما را داشته باشد. راکتور باید حتما دارای درب باشد تا هم از تبخیر زیاد متانول جلوگیری شود و هم از پاشیده شدن مواد درون راکتور به بیرون در اثر همزنی جلوگیری شود. همچنین باید روزنه‌ای بر روی درب راکتور وجود داشته باشد تا فشار هوای بوجود آمده در اثر تبخیر حلال، باعث متلاشی شدن راکتور نگردد.

برای ساخت دستگاه خودکار و برنامه پذیر تولید بیودیزل، یک راکتور استنلس استیل با کف مخروطی طراحی و ساخته شد. این راکتور قابلیت تولید ۱ تا ۳ لیتر سوخت بیودیزل را در هر چرخه دارد. با توجه به اینکه این دستگاه آزمایشگاهی می‌باشد لذا کمیت تولید مهم نیست بلکه کیفیت تولید و اقتصادی بودن هر آزمایش مد نظر است و می توان بعدا حسب نیاز دستگاه با ظرفیت‌های مختلف را طراحی نموده و ساخت. بنابراین، در حد امکان سعی گردید تا از مقدار مصرف مواد اولیه برای تولید بیودیزل کاسته شود. به این منظور، اندازه‌ی راکتور کوچک در

نظر گرفته شد تا هم سرعت کارکردن با آن افزایش یابد و هم هزینه هر آزمایش بواسطه‌ی کاهش نیاز به مواد اولیه، کاهش یابد. بر روی دیواره راکتور یک ساید گلاس نصب گردید تا کلیه فرآیندهای درون راکتور قابل مشاهده باشد (شکل۳). کف راکتور به صورت مخروطی ساخته شده، در ته آن یک لوله‌ی تخلیه تعبیه شده است تا نقش ظرف جداسازی دوفاز را داشته باشد و جداسازی گلیسیرین و آب از بیودیزل به راحتی صورت پذیرد.

شکل ۳- راکتور دستگاه

۳-۲ واحد شاسی

شاسی راکتور از جنس پروفیل آهن با پایه‌ی عریض ساخته شد تا توانایی نگهداری راکتور و الکتروموتور را داشته باشد و از واژگونی راکتور در اثر ضربات حاصل از همزنی جلوگیری کند. بر روی شاسی محل نصب راکتور، الکتروموتور و تابلو برق تعبیه گردید (شکل ٤).

شکل٤- شاسی دستگاه

۳-۳ الکتروموتور و پایه آن

الکتروموتور مورد نیاز برای همزنی مخلوط داخل راکتور باید از نوع سه فاز باشد تا کنترل دور آن به طور دقیق توسط اینورتر امکان‌پذیر باشد. کوچکترین الکتروموتور سه فاز موجود در بازار ۱۸۰ وات می باشد که در این دستگاه مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۵). جهت نصب الکتروموتور بر روی شاسی و انعطاف پذیری محل قرارگیری آن در بالای راکتور، یک پایه رابط ساخته شد که هم در جهت عرضی و هم در جهت ارتفاع قابل تنظیم می‌باشد (شکل ۵).

٤-۳ نصب راکتور و الکتروموتور بر روی شاسی

جهت قرار گیری راکتور بر روی شاسی، دو نبشی به طرفین راکتور جوش زده شد و راکتور از طریق این نبشی ها بر روی بازوهای شاسی قرار گرفت و توسط دو پیچ و مهره بر روی شاسی ثابت گردید (شکل ۵). الکتروموتور نیز توسط پایه موتور بر روی بازوی عمودی شاسی قرار گرفته و محور آن با شفت همزن راکتور هم مرکز گردید.

شکل ۵- نحوه قرارگیری الکتروموتور و راکتور بر روی شاسی

۵-۳ کوپلینگ موتور و محور همزن

برای اتصال محور الکتروموتور به همزن راکتور از یک کوپلینگ استنلس استیل استفاده گردید. این کوپلینگ که سوراخ‌های دو انتهای آن منطبق بر اندازه محور موتور و محور همزن و کاملا در یک راستا تراشیده شده بود، از یک سمت بر روی شفت موتور و از سمت دیگر به محور همزن متصل گردیدو توسط دو پیچ آلن مغزی دو محور به هم کوپل شد. برای همزن راکتور از یک محور استنلس استیل و یک پره با جریان محوری استفاده شد. پره های محوری دارای خاصیت همزنی عمودی نیز بوده، از رسوب گلیسیرین در حین واکنش جلوگیری می کنند و بنابراین همزنی یکنواختی را در داخل راکتور بوجود می آورند. با توجه به اینکه راکتور طراحی شده به شکل مکعب می باشد، لذا

نیازی به استفاده از بفل بر روی جداره راکتور نمی باشد زیرا گوشه های مکعب جریان گردابی را در گوشه ها می نمایند که به همزنی بهتر کمک می نماید. برای آب‌بندی محور راکتور از یک کاسه نمد مقاوم به خوردگی و برای ارتعاش گیری آن از یک بلبرینگ شعاعی استفاده گردید. هر دو قطعه بر روی درب راکتور سوار شده، با خار حلقوی در جای خود ثابت گردیدند.

۳-٦ کنترل شدت همزنی

برای کنترل شدت همزنی از یک اینورتر متناسب با توان الکتروموتور استفاده گردید. با استفاده از این اینورتر کنترل دور الکتروموتور از صفر تا ۱٤۰۰ دور در دقیقه قابل تنظیم می‌باشد.

۳-۷پمپ هوادهی

برای انجام مرحله آب‌شویی نیاز به هوادهی از زیر راکتور می‌باشد لذا برای این منظور از یک پمپ نئوماتیک آکواریومی استفاده شد. خروجی این پمپ توسط شیلنگ ٦ به یک شیر که در پایین مخزن توسط سه راهی به لوله تخلیه متصل است، وصل شد و به این ترتیب حباب های هوا را به درون راکتور هدایت گردید.

۳-۸ کنترل دما

از یک گرمکن استیل، یک سنسور دما و کنترلر آن که قابلیت کنترل دما از $^{\circ}C$ ۱۱۰-۲۰ را دارا می‌باشد برای تنظیم دمای راکتور استفاده شد.

با توجه به اینکه دمای مطلوب برای تولید بیودیزل، ٦۰- ۵۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Gerpen, 2005) برای اینکه زمان لازم برای گرم کردن ۳ لیتر روغن از ٦۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یابد و حدود ۱۵ دقیقه طول بکشد، با استفاده از محاسبات انجام شده مقدار توان هیتر ۳۰۰ وات انتخاب گردید (رابطه۱).

$$Q_h = m.c_{oil}.\Delta T \qquad (۱)$$

که در آن، c_{oil} گرمای ویژه (kJ/kg.°c)، m وزن ماده (kg)، Q_h انرژی (kJ) و ΔT تغییر دما (°c) است.

c_{oil} = ۲ kJ/kg.°c

m ≈ ۳ kg

ΔT = ٤۰ °c

Q_h = ۳×۲×٤۰= ۲٤۰ Kj

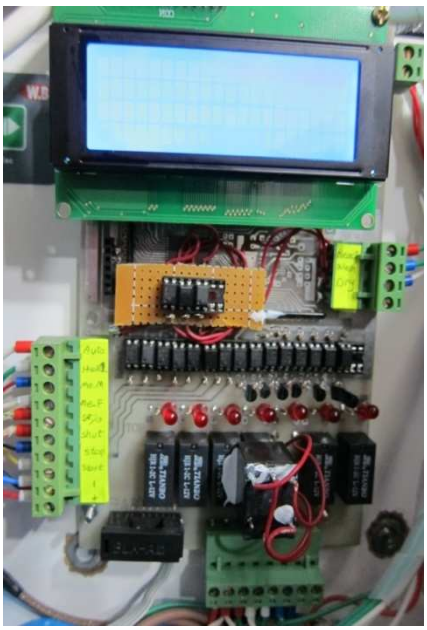
زمان لازم برای گرم کردن روغن از ۲۰-٦۰°C =۱۵min = ۹۰۰sec

توان گرمکن = ۲٤۰÷۹۰۰ = ۰/۲٦٦ KW

توان گرمکن ≈ ۳۰۰ W

۳-۹ تابلو کنترل دستگاه

جهت کنترل زمان روشن و خاموش شدن هر یک از بخش های ذکر شده، یک تابلو کنترل با قابلیت برنامه دهی زمانی طراحی و ساخته شد (شکل٦). در این بورد زمان‌های حرارت دهی، واکنش، جداسازی گلیسیرین، آبشویی، جداسازی آب و خشک نمودن نهایی سوخت قابل برنامه دهی توسط رایانه می باشد. از یک LCD نیز بر روی بورد استفاده گردید تا درصورت عدم دسترسی به رایانه اطلاعات از طریق این LCD قابل مشاهده و برنامه ریزی باشند. جهت کنترل هر یک از بخش ها از رله های جداگانه ای استفاده گردید تا انجام هر یک از مراحل به صورت جداگانه و یا ترکیبی امکانپذیر باشد. همچنین در کنار هر رله یک LED نصب شد تا عملکرد هر یک از رله ها قابل کنترل و مشاهده باشد. بر روی بورد نیز یک فیوز شیشه ای نصب گردید تا در صورت اتصالی در مدار از آسیب رسیدن به تابلو جلوگیری شود.



شکل٦- تابلو کنترل برنامه پذیر دستگاه

پس ازمونتاژ کلیه قطعات دستگاه آماده شد که نمای کلی آن در شکل (۷) قابل مشاهده است. این دستگاه به صورت کاملا آزمایشگاهی و رومیزی طراحی گردیده، راحتی کاربری قسمت های مختلف آن مورد لحاظ قرار گرفته است. به این ترتیب انجام آزمایش‌های مختلف بر روی این دستگاه به سادگی قابل اجرا می باشد. این دستگاه به عنوان جز ضروری آزمایشگاه‌های تحقیق و توسعه سوخت‌های زیستی محسوب می‌شود.

شکل ۷- نمای کلی از دستگاه آزمایشگاهی تولید بیودیزل

٤- نتایج و بحث

به منظور ارزیابی عملکرد سامانه، نمونه‌ای از سوخت بیودیزل تولیدی از روغن پسماند توسط سامانه مورد آزمایش قرار گرفت. فاکتورهای مورد آزمایش نمونه سوخت بیودیزل شامل ویسکوزیته سینماتیکی، نقطه اشتعال، عدد ستان، آب و رسوبات، خاکستر سولفاته، کوگرد، خوردگی مس، عدد اسیدی، گلیسیرین کل و خلوص (محتوی متیل استر) بودند. خلوص بیودیزل از مشخصه‌های اصلی بیان شده در استاندارد بیودیزل (EN-14103, 2011) می‌باشد که بیانگر محتوی متیل استر موجود در نمونه بیودیزل تولیدی است. به منظور خلوص بیودیزل در نمونه بیودیزل از روش گاز کروماتوگرافی و رابطه (۲) استفاده شده است.

$$\text{خلوص بیودیزل (٪)} = \frac{\sum A - A_{IS}}{A_{IS}} \times \frac{C_{IS} \times V_{IS}}{m} \qquad (۲)$$

که در آن:

$\sum A$ کل سطح زیر قله مربوط به نمودار کروماتوگرام $C_{24:0} - C_{14:0}$.

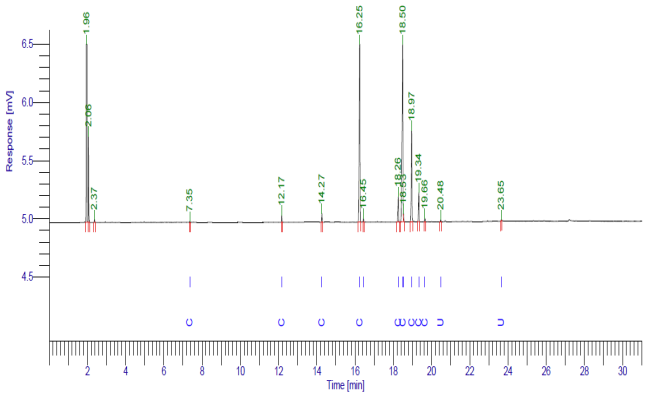
A_{IS} سطح زیر قله مربوط به استاندارد داخلی.

C_{IS} غلظت محلول استاندارد داخلی (mg/ml).

V_{IS} حجم محلول استاندارد داخلی (ml).

m جرم نمونه متیل استر (mg).

نمودار کروماتوگرام سوخت بیودیزل تولیدی بوسیله سامانه و گرفته شده از دستگاه GC در شکل (۸) آورده شده است.



شکل۸- نمودار کروماتوگرام نمونه سوخت بیودیزل تولیدی از روغن پسماند توسط دستگاه.

کل سطح زیر قله مربوط به نمودار کروماتوگرام برابر با ۱۳۰٤٦/٤٦بدست آمد. سطح زیر قله مربوط به استاندارد داخلی نیز برابر با ۵۵۰ می‌باشد. بنابر این، با توجه به این اعداد و رابطه (۲) درصد خلوص بیودیزل تولیدی به شرح زیر محاسبه می شود:

$$\text{خلوص بیودیزل}(\%) = \frac{13046.46 - 550}{550} \times \frac{4.192}{104} \times 100 = 91.6$$

نتایج حاصل از بررسی نمونه سوخت بیودیزل تولیدی در دستگاه ساخته شده در جدول (۱) آورده شده است:

جدول۱- نتایج ارزیابی نمونه سوخت بیودیزل تولیدی در سامانه.

مشخصه	واحد	مقدار استاندارد	نتیجه آزمون
ویسکوزیته سینماتیکی	mm^2/s	۲-٦	۳/۹
نقطه اشتعال	°C	حداقل ۱۳۰	۱٦۰
خلوص	% (m/m)	حداقل ۹٦/۵	۹۱/٦*
آب و رسوبات	% Volume	حداکثر ۰/۰۵	۰/۰٤۵
خاکستر سولفاته	wt. %	حداکثر ۰/۰۲	۰/۰۱
گوگرد	wt. %	حداکثر ۰/۰۵	۰/۰۵
خوردگی مس	--	حداکثر۳	۲
عدد ستان	--	حداقل ٤۷	۵۲
عدد اسید	mg KOH/g	حداکثر۰/۸	۰/۵
گلیسیرین کل	wt. %	۰/۲٤ حداکثر	۰/۲

تمامی مشخصه‌های سوخت بیودیزل تولید شده بوسیله سامانه ساخته شده در محدوده بیان شده در استاندارد قرار دارند که این موضوع نشان دهنده عملکرد قابل قبول دستگاه است. البته باید توجه نمود که خلوص (محتوی متیل استر) بیان شده در استاندارد مربوط به بیودیزل پس از مرحله خالص‌سازی می باشد در حالیکه نمونه مورد آزمایش در این پژوهش قبل از مرحله خالص‌سازی است. لذا مجددا پس از خالص‌سازی و انجام کروماتوگرافی، میزان خلوص متیل استر نهایی حدود ۹۸/۳ ٪ بدست آمد که منطبق بر استاندارد مربوطه می‌باشد.

٥- نتیجه گیری

در این مقاله راکتور آزمایشگاهی تولید بیودیزل از روغن‌های گیاهی و روغن پسماند طراحی و ساخته شد. دستگاه به گونه‌ای طراحی گردید تا کاربری آن برای دانشجویان آسان بوده و مشکل شکستن راکتور که در نمونه های قبلی مشهود بود مرتفع گردد. سامانه کنترل دستگاه نیز به صورت برنامه پذیر ساخته شد تا دقت آزمایش‌ها را بالا ببرد. نتایج کیفیت سوخت تولیدی توسط دستگاه نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده گردید که بیودیزل تولید شده توسط این راکتور حائز شرایط مربوط به استاندارد سوخت بیودیزل می‌باشد.

٦- منابع و مآخذ

1. Abbaszaadeh, A. Ghobadian, B. Najafi, G. & Motevali, A. 2013. Design, Fabrication and Evaluation of a Novel Biodiesel Processor System.
2. Anonymous. 2003, Biodiesel production. Available on the http:\\www.nerl.gov.
3. Carraretto, C, Macor, A, Mirandola, A, Stoppato, A & Tonon, S. 2004. Biodiesel as Alternative Fuel: Experimental Analysis and Energetic Evaluation. Journal of Energy, 29: 2195-2211.
4. Demirbas, A. 2003. Biodiesel Fuels from Vegetable Oils via Catalytic and NonCatalytic Supercritical Alcohol Transesterification and other Methods: a Survey. Journal of Energy Conversion and Management, 44: 2093-2109.
5. Dorado, M.P, Ballesteros, E, Arnal, J.M & Lopez, F.J. 2003. Exhaust Emissions From a Diesel Engine Fueled with Transesterified Waste Olive Oil. Journal of Fuel, 82: 1311-1315.
6. Felizardo, P. Correia, M. J. N. Raposo, I. Mendes, J. F. Berkemeier, R. & Bordado, J. M. 2005. Production of biodiesel from waste frying oils. Journal of Waste Management, 2006; 26(5):487-94. Epub 2005 Jun 17.
7. Fukuda, H. Kondo, A. & Noda, H. 2001. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. Journal of Bioscience and bioengineering, 92: 405-416.
8. Gavett, E. E. Dyne, D. L. & Van Dyne, P. L. 1992. The economic feasibility of biodiesel. Paper of ASAE. No. 92-6027.
9. Gerpen, J. V. 2005. Biodiesel Processing and Production. Journal of Fuel Processing Technology, 86: 1097–1107.

10. Ghobadian, B & Khatamifar, M. 2005. Biodiesel Fuel Production Using Transesterification of Waste Vegetable Oils. The fourth InternationalConference on Internal Combustion Engines. November 16- 18th 2005 (4th ICICE) Tehran-Iran.
11. Jose, M. D. Jean, A. & Santiago, R. 1999. Characterization ofthe injection—combustion processin a DI Diesel engine running with Rape seed oil methyl ester. SAE 1999-01-1497, 1999.
12. Karmee, S. K. & Chadha, A. 2005. Preparation of Biodiesel from Crude Oil of Pongamia Pinnata. Journal of Bioresource Technology, 96 : 1425–1429.
13. Lee, S. W. Herage, T. & Young, B. 2004. Emission Reduction Potential from the Combustion of Soy Methyl Ester Fuel Blended with Petroleum Distillate Fuel. Journal of Fuel, 83: 1607-1613.
14. Matallana, L.G. Gutiérrez, L.F. & Cardona, C.A. 2005. Biodiesel production by reactive dis- tillation, in: Empromer 2005-2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering and 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering, Agosto.
15. Nurun Nabi, Md. Shamim Akhter, Md. & Zaglul Shahadat, Mhia Md. 2006. Improvement of Engine Emissions with Conventional Diesel Feul and Diesel-Biodiesel Blends. Journal of Biosource Tecnology, 97: 372-378.
16. Patzer, R. & Norris, M. 2002. Evaluate Biodiesel Made from Waste Fats and Oils. Agriculture Utilization Research Institute
17. Raneses, A. R. Glaser, L. K. Price, J. M. & Duffield, J. A. 1999. Potential biodiesel markets and their economic effects on the agricultural sector of the United States. Industrial Crop and Products, 9: 151-162.
18. Usta, N. 2005. An Experimental Study on Performance and Exhaust Emission of a Diesel Engine Fuelled with Tobacco Seed Oil Methyl Ester. Journal of Energy Conversation and Management, 46: 2373-2386.
19. Vicente, G. Matinez, M. & Aracil, J. 2004. Integrated Biodiesel Production: a Comparison of Different Homogeneous Catalysts Systems. Journal of Bioresource Technology, 92: 297-305.
20. Zenouzi, A. Mohamadi, A. Ghobadian, B. & Minae, S. 2009. Flexible Batch Pilot Plant for Glycerol Purification in the Biodiesel Production Process. The Science and Technologies 15-18 November 2009.
21. Zenouzi, A. & Ghobadian, B. 2007a. Design and Fabrication of a Multifunction Biodiesel processor. International Congress on Biodiesel. The Science and Technologies 5-7 November 2007. *Vienna, Austria.*
22. Zenouzi, A. & Ghobadian, B. 2007b. Design and Development of a Biodiesel Processor for Providing FFV's Reference Fuel. Fifth International Conference on Internal Combustion Engines. 20-21 November 2007 (5th ICICE) Tehran-Iran.

Fabrication of Laboratory STR Reactor for Processing Biodiesel from Waste Vegetable Oils

Abstract

Biodiesel is a clean and renewable fuel which can be produced from straight and waste vegetable oils. It is used as a complement or alternative for diesel fuels in internal combustion engines or. There are a lot of methods to produce biodiesel while each one has its own advantage and disadvantages from fuel quality point of view. In this project, various ways of biodiesel production have been investigated and a biodiesel processor was designed and developed as an innovation. The fuel processor is able to produce the high quality biodiesel by different methods. In this setup mixing intensity, reaction and purification temperature, reaction, separation and purification time are programmable. The capacity of this processor varies from 1 to 3 liter per batch with temperature controlling range from 20 to 80 $^{\circ}$C. The majority of processor functions are controlled by electric keys, electronic sensors and digital timers. Reactor was made from stainless steel with side glass in order to make all reactions and processes visible. In addition, it can be used as an educational /instructional setup to educate the methods of standard quality biodiesel production. This setup is a main part of biodiesel laboratories.

Keywords: Biodiesel, Laboratory Reactor, Side Glass, Waste Oil.