

علمی- تخصصی

طراحی و ساخت سیکل تولید بیودیزل با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی

امیرحسین وزیری^{۱*}، مهدی احمدلو^۲

۱- کارشناس نت، موسسه ریل گستر ۲- دانشکده مکانیک و هوافضا، دانشگاه مالک اشتر اصفهان

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۷، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۹)

چکیده

با توجه به کمبود انرژی‌های تجدیدناپذیر و مشکلاتی که برای محیط‌زیست دارند استفاده از انرژی‌های پاک از قبیل انرژی خورشیدی، بالاخص سوخت‌های پاک و سبز مانند بیودیزل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این پژوهش آزمایشگاهی به طراحی و ساخت سیستم بیودیزل خورشیدی پرداخته شده است، که از دو کلکتور صفحه تخت خورشیدی برای گرمایش مواد اولیه بیودیزل، همزن، کوئل مسی، پمپ و محفظه‌استوانه‌ای استفاده شد. برای اندازه‌گیری دما از ۴ حسگر دما مربوط به دستگاه دیتالاگر ۱۶ کاناله که نیاز به نرم‌افزار آردوینو نسخه ۱.۸.۵ دارد، به کار گرفته شد. یکی از عوامل مؤثر در افزایش راندمان سیکل آزمایشگاهی و تولید بیودیزل، تابش خورشید است، در طی این آزمایش دما با عبور از دو کلکتور به ۷۵.۱۲ درجه سانتی‌گراد رسید، که در این دما مواد بیودیزل سریع‌تر واکنش داده و منجر به تولید سوخت می‌شود. عایق‌بندی درست و کامل سیکل سبب عدم تبادل حرارت با محیط بیرون شده و باعث افزایش راندمان و محصول تولیدی می‌گردد.

کلیدواژه: بیودیزل خورشیدی، کلکتور، دیتالاگر، نرم‌افزار آردوینو

۱. مقدمه

انتشار روزافزون سوخت‌های فسیلی، سبب تغییرات آب و هوایی شدیدی در اکوسیستم شده است. لذا نیاز استفاده از انرژی‌های پاک به شدت حس می‌شود [۱]، انرژی‌های تجدید پذیر همانند خورشید برای تولید سوخت پاک جایگزین مناسبی است [۲]. در این خصوص بیوسوخت‌ها مخصوصاً بیودیزل توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرد. بیوسوخت‌ها نسبت به سوخت‌های پایه فسیلی، دارای مزایای تکنیکی و محیط زیستی هستند [۳].

بیودیزل یک سوخت تجدید پذیر، غیرسمی و بدون آروماتیک است که از منابع طبیعی و قابل تجدید مانند، روغن‌های گیاهی تولید می‌شود. از این رو در سال‌ها اخیر، به دلیل مسائل زیست‌محیطی و قابلیت تجدید پذیری سوخت‌های زیستی، تحقیقات وسیعی در راستای امکان جایگزینی بیودیزل به جای

سوخت دیزل انجام گرفته است [۴]. قابلیت و محدوده عملکرد یکسان بیودیزل با دیزل امکان استفاده از آن را در موتورهای احتراق داخلی بدون هیچ‌گونه تغییری در این موتورها فراهم می‌کند. بیودیزل از نظر ساختار شیمیایی جز استرها محسوب می‌شود. بیودیزل متیل استر یا اتیل استر روغن‌های گیاهی است که در اثر واکنش بین روغن با الکل در حضور یک کاتالیزور حاصل می‌شود [۵]. گرچه بیودیزل حاوی هیچ محصول نفتی نیست اما با پترودیزل کاملاً سازگار بوده و می‌تواند با هر نسبتی با آن مخلوط گردد. تا یک مخلوط پایدار بیوسوختی تشکیل دهد این سازگاری باعث شده که بیودیزل به عنوان یکی از خوش آتیه‌ترین جایگزین‌های سوخت اتومبیل‌ها مطرح شود و همین امر سبب گردیده تا در سال‌های اخیر صنعت بیودیزل به سرعت

توسعه پیدا کند [۶]. ایورا و همکاران^۱ پنج نمونه بیودیزل از روغن پالم با روش

ترانس استریفیکاسیون در شرایط دمایی مختلف محیط به کمک کلکتور خورشیدی تولید شده‌اند. بیودیزل پالم به علت ویژگی‌های منحصربه‌فرد روغن پالم، از کیفیت بهتری برخوردار است. به همین دلیل، از روغن پالم با HHV^2 و مقدار $38/11 \text{ MJ/Kg}$ با ترکیب اسیدهای چرب به‌دست‌آمده از آزمون کروماتوگرافی گازی، استفاده شد. فاکتورهای بهینه‌شده در تولید صنعتی بیودیزل پالم، شامل نسبت روغن به الکل $9/5$ ، $3/9$ درصد وزنی کاتالیزور، و دور همزن 411 دور بر دقیقه، با دمای 55 درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت و نیم، که برای تولید بیودیزل مبنا برای کالیره کردن سیستم دیالکتریک مورد استفاده قرار گرفت [۷].

با افزایش قیمت روغن گیاهی در سال‌های اخیر، هزینه تولید بیودیزل بالاتر خواهد رفت و بیودیزل مزایای رقابتی خود را به علت قیمت بالا از دست خواهد داد. از طرفی دیگر مشکلات مرتبط با امنیت خوراک و تغییرات زمین نیز افزایش یافته‌اند. بنابراین یک راه‌حل بالقوه برای مقابله با این مشکل استفاده از مواد خام جایگزین مانند: مایه‌های صابون، روغن‌های اسیدی، روغن‌های استفاده‌شده در آشپزی، چربی‌های ضایعات رستوران‌ها، چربی‌های گوناگون حیوانی، روغن‌های گیاهی غیرخوراکی و روغن‌های حاصل از درختان و میکروارگانیسم‌هایی مانند جلبک‌ها است. همچنین از اصطلاحات ژنتیکی برای بهبود ویژگی‌های مطلوب بیودیزل استفاده می‌شود [۹، ۸]. برای افزایش تولید بیودیزل برخی فناوری‌های جدید از قبیل:

(۱) فرآیند ترانس استریت فوق بحرانی حتی بدون هرگونه کاتالیزور اما در دمای بسیار بالا مؤثر است.

(۲) استفاده از انرژی خورشیدی در فرآیند گرمایش شیمیایی استری، که رایج‌ترین فرآیند برای تولید بیودیزل خورشیدی می‌باشد.

موتور دیزل برای استفاده مستقیم از روغن‌های گیاهی دارای ویسکوزیته بالا و فراریت پایین و حلقه‌های اشباع‌نشده، مناسب نیست [۱۰].

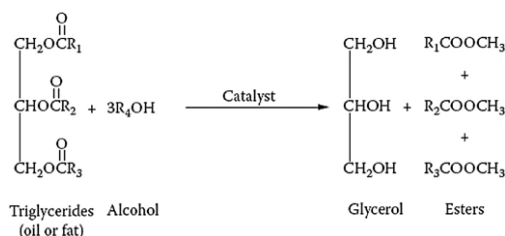
محققان در سال ۲۰۱۴ برای تولید بیودیزل به 450 تا 400 وات بر مترمربع تابش خورشیدی که توسط یک ظرف بزرگ جذب می‌شد نیاز داشتند، همچنین برای بهبود کیفیت سوخت تولیدی، از ضایعات بیودیزل استفاده کردند. آن‌ها توانستند در

کمتر از 1 ساعت 2.5 لیتر بیودیزل را سنتز کنند [۱۱]. در همین راستا خوزه آ. لئون و همکاران^۳ در سال ۲۰۱۸ به شبیه‌سازی تولید بیودیزل با 13 کلکتور سهموی خورشیدی که به‌صورت موازی، و 6 کلکتور به‌صورت سری وصل شده بود پرداختند، که 82 درصد انرژی موردنیاز را تأمین می‌کرد. در طرح پیشنهادی آن‌ها هزینه تولید، به‌شدت کاهش یافته و در مقایسه با سوخت فسیلی نشان‌دهنده یک رقابت است [۱۲].

در این مقاله از دو کلکتور تخت خورشیدی به طول 2 متر و عرض 1 متر، برای تأمین انرژی موردنیاز برای تولید بیودیزل استفاده شده است. مواد اولیه سوخت بیودیزل نیز به‌منظور کاهش در هزینه‌های تولید از روغن سوخته تصفیه‌شده طبخ غذا استفاده شد.

۲. تولید و مصرف بیودیزل

مهم‌ترین بخش در تولید بیودیزل انجام واکنش ترانس استریفیکاسیون است که در شکل ۱ قابل مشاهده است. در این واکنش روغن با الکل همراه می‌شود، و برای تسریع در واکنش از یک کاتالیزور کمک گرفته و تولید گلیسرین و استری می‌کند [۱۳].



شکل (۱). واکنش ترکیبی استریفیکاسیون روغن [۱۳]

کشور ایران حدود 9.5 درصد از کل ذخایر نفت جهان را در اختیار دارد، اما با توجه به آسیب‌های زیست‌محیطی که سوخت‌های فسیلی به وجود آورده است، اهمیت استفاده از سوخت‌های پاک همچون بیودیزل دوچندان شده است [۱۴].

مساحت کل اراضی جنگلی ایران 16415000 هکتار و آب‌های داخلی ایران حدود 1200000 هکتار است، که وجود چنین منابعی فرصت را برای تولید خوراک اولیه بیودیزل از جمله روغن کلزا، روغن پالم، روغن ماهی، روغن پسماند، جلبک، روغن جاتروفا، روغن زیتون و چربی حیوانی فراهم می‌کند. با توجه به شرایط خوب آب و هوایی به طور نمونه پرورش کلزا طی 10 سال از سال 2010 با تولید 145900 تن به 400000 تن در سال

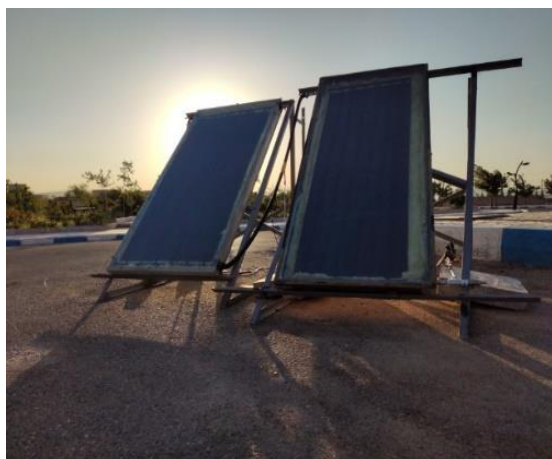
۲۰۲۰ رسیده است [۱۴].

چسب مزدا بزرگ	۲ عدد
چسب آکوارיום	۴ عدد

با توجه به کوچک بودن مجموعه آزمایش صورت گرفته بخش عمده هزینه‌ها صرف تهیه دیتالاگر گردید. در صورت تهیه سوخت در سیکل صنعتی بخش عمده هزینه‌ها صرف جمع‌آوری و تهیه مواد اولیه می‌شود.

۳-۱. کلکتورهای صفحه تخت

کلکتورها شامل قسمت‌هایی چون، قاب کلکتور با ابعاد ۲ متر طول و عرض آن‌ها ۱ متر، پشم‌شیشه، صفحه جاذب، شیشه‌ای ساده به ضخامت ۰/۶ میلی‌متر ولوله‌های فلزی به قطر ۲/۵ سانتی‌متر، که در شکل ۲، نمایی از این دو کلکتور که به صورت سری به هم متصل‌اند، قابل مشاهده است. قسمت زیرین کلکتور از دو قاب چوبی و فلزی استفاده شده است. داخل این قاب ابتدا پشم‌شیشه قرار گرفته است، که برای جذب گرما و حرارت به کار می‌رود، سپس بر روی پشم‌شیشه هم صفحه جاذب قرار دارد، که آب ورودی، درون این صفحه جاذب جریان دارد، و بعد از آن با شیشه‌ای به ضخامت ۰/۶ میلی‌متر روی هر کدام از این کلکتورها پوشانده می‌شود، که باعث عبور نور خورشید و جذب حرارت شده است، در ورودی و خروجی کلکتورها دو لوله فلزی به قطر ۲/۵ سانتی‌متر قرار دارد.



شکل (۲). نمایی از کلکتورهای چوبی و فلزی

۳-۲. کویل مسی

کویل مسی، دارای قطر خارجی ۱ سانتی‌متر و قطر داخلی ۰/۷۵ سانتی‌متر می‌باشد، که در شکل ۳ قابل مشاهده است. این کویل ۱۳ دور پیچیده شده است و آب خروجی از کلکتور دومی از طریق یک شیلنگ ۱ سانتی‌متری وارد می‌شود. علت استفاده از

۳. روش و تجهیزات استفاده شده

برای تولید بیودیزل، بایستی مواد اولیه آن تا حد مطلوبی گرم شود، به منظور این کار از انرژی خورشیدی استفاده شده است. حال در این مطالعه آزمایشگاهی، برای گرمایش از دو عدد کلکتور صفحه تخت خورشیدی کمک گرفته شده که روشی برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی، جهت گرمایش مواد اولیه بیودیزل می‌باشد. در این آزمایش تجهیزات آزمایشگاهی به نحوی نصب شده‌اند که یک سیکل بسته را تشکیل می‌دهند. با توجه به جدول ۱، تجهیزات لازم و استفاده شده در این مطالعه آزمایشگاهی قابل مشاهده است.

جدول (۱). تجهیزات لازم در این مطالعه آزمایشگاهی

کلکتور صفحه تخت	دو عدد
کویل مسی	قطر خارجی ۱ سانتی‌متر قطر داخلی ۰/۷۵ سانتی‌متر تعداد حلقه کویل مسی: ۱۳ حلقه
محفظه استوانه‌ای	قطر خارجی ۱۲/۳ سانتی‌متر قطر داخلی ۱۲ سانتی‌متر طول محفظه: ۴۷ سانتی‌متر
همزن مکانیکی	۱ عدد
پمپ	۱ عدد
رایانه	۱ دستگاه
دیتالاگر ۱۶ کاناله	۱ دستگاه
حسگر دما	۴ عدد
شیلنگ پلاستیکی به قطر ۱ سانتی‌متر	۷ متر
شیلنگ پلاستیکی به قطر ۲/۸ سانتی‌متر	۵ متر
سهرای ۲/۵ و مغزی	۱ عدد
سرشیر ۱/۵ و مغزی	۲ عدد
سرشیر ۱ و مغزی	۲ عدد



شکل (۵). نمایی از همزن مکانیکی

۳-۵. پمپ

پمپ استفاده شده در این آزمایش یک پمپ ساده ماشین لباسشویی است. با توجه به شکل ۶، مشاهده شده است که ورودی پمپ از خروجی آن کوچک تر می باشد.

علت استفاده از پمپ در این سیکل افت فشار و افزایش جریان آب خروجی از کویل در طول مسیر، بین دو کلکتورها و داخل صفحات جاذب آن ها می باشد.



شکل (۶). نمایی از پمپ

۴. نحوه کار سیکل آزمایشگاهی

ابتدا آب شهری با یک شیلنگ که متصل به شیر ورودی کلکتور اول می باشد، وارد کلکتور می شود، با جریان یافتن آب داخل صفحه جاذب این کلکتور، و نیز افزایش دمای آب از طریق یک شیلنگ پلاستیکی به قطر $2/8$ سانتی متر آب خروجی از کلکتور اولی وارد کلکتور صفحه تخت دومی می شود. با ورود آب داغ به کلکتور دومی دمای آب خروجی از کلکتور دوم نیز بالاتر می رود. آب خروجی از کلکتور دومی از طریق شیلنگی به قطر ۱ سانتی متر وارد کویل مسی داخل یک محفظه استوانه ای که داخل همین محفظه استوانه ای مواد اولیه لازم برای تولید بیودیزل است می شود، و باعث گرم شدن مواد اولیه بیودیزل خواهد شد، که در همین حین همزن مکانیکی هم در حال هم زدن مواد داخل محفظه است. بعد از آن در نهایت آب خروجی از کویل که دچار افت

کویل مسی، رسانش و انتقال حرارت بالای آن است، که باعث انتقال سریع تر حرارت به مواد اولیه بیودیزل داخل محفظه استوانه ای می شود.



شکل (۳). نمایی از کویل مسی

۳-۳. محفظه استوانه ای فلزی

نمایی از محفظه استوانه ای در شکل ۴، قابل مشاهده است، که دارای قطر خارجی $12/3$ سانتی متر، قطر داخلی ۱۲ سانتی متر و به طول ۴۷ سانتی متر می باشد. که همزن مکانیکی و کویل مسی برای تولید بیودیزل، درون آن قرار دارند.



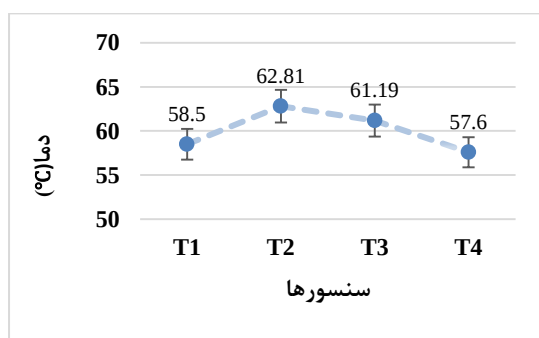
شکل (۴). نمایی از محفظه استوانه ای

۳-۴. همزن مکانیکی

همزن مکانیکی دارای یک آرمیچر و یک میله آهنی است، که پره به انتهای میله آن متصل شده است. همزن قابلیت تنظیم سرعت هم زدن دلخواه را دارد. همان طور که در شکل ۵ قابل مشاهده است، این همزن به صورت عمودی قرار دارد، و پره متصل به میله آن داخل محفظه، مواد بیودیزل را هم می زند.

در این مطالعه آزمایشگاهی، از چهار حس‌گر تشخیص دما که متصل به دستگاه دیتالاگر بودند، دماها اندازه‌گیری شد. این داده‌گیری از ساعت ۸:۱۵ دقیقه شروع و تا ساعت ۱۰:۱۵ به مدت دو ساعت به طول انجامید. مواد اولیه بیودیزل داخل محفظه استوانه‌ای ریخته می‌شود، و همزن مکانیکی را داخل محفظه گذاشته تا این مواد را هم بزند، در آخر پمپ را روشن کرده تا سیال کم‌فشار را پمپاژ کند. حال نرم‌افزار آماده داده‌برداری می‌باشد.

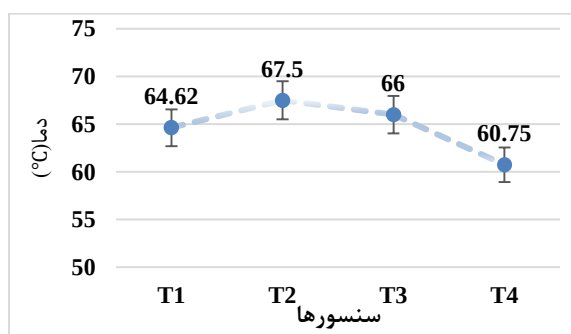
در شکل ۸، دماهای حس‌گرها در ساعت ۸:۳۰ دقیقه نشان داده شده است، در این ساعت هنوز حرارت و گرمای خورشید کم می‌باشد.



شکل (۸). دماهای نقاط مختلف در ساعت ۸:۳۰ دقیقه

ملاحظه می‌شود دمای حس‌گر ۲ به دلیل آن‌که بعد از دو کلکتور، سری شده بالاترین دما را دارد، دمای حس‌گر ۴ هم به دلیل عبور از لوله، کوئل حرارت خود را منتقل کرده و در نهایت به پمپ می‌رسد، و پمپ مقداری از دمای آن را کاهش می‌دهد، کمترین دما را دارد.

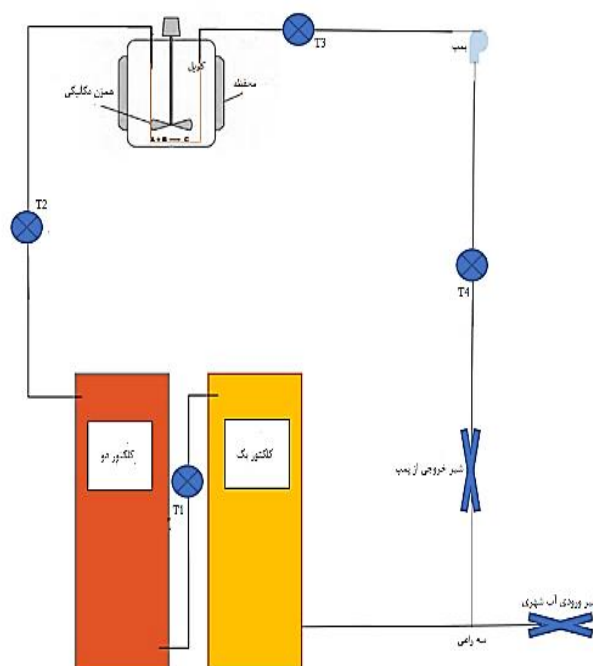
در شکل ۹، دماهای این حس‌گرها را در ساعت ۹:۳۰ دقیقه نشان می‌دهد. با افزایش حرارت و تابش خورشید دمای نقاط مختلف افزایش یافته است.



شکل (۹). دماهای نقاط مختلف در ساعت ۹:۳۰ دقیقه

جریان شده است، از طریق یک پمپ، پمپاژ شده و دوباره وارد کلکتور اولی می‌شود. و سیکل بسته می‌شود.

در این سیکل دمای ۴ نقطه مهم است. که به وسیله‌ای دستگاه دیتالاگر ۱۶ کاناله دمای این نقاط اندازه‌گیری شد. نرم‌افزار استفاده شده جهت داده‌برداری از حس‌گرها در این آزمایش، نرم‌افزار Arduino نسخه ۱.۸.۵ می‌باشد. برای اندازه‌گیری دماها از ۴ حس‌گر دما استفاده شده است. حس‌گر شماره ۱ بین دو کلکتور، حس‌گر شماره ۲ بعد از کلکتور دومی، حس‌گر شماره ۳ بعد از کوئل مسی و حس‌گر شماره ۴ بعد از پمپ نصب شده‌اند (شکل ۷).



شکل (۷). شماتیک سیکل آزمایش

۵. مواد اولیه لازم برای تولید بیودیزل

برای تولید بیودیزل، در این آزمایش از روغن آفتابگردان خوراکی، متانول و سدیم هیدروکسید استفاده شده است. که در جدول ۲-۳، مقادیر جرمی هرکدام از این مواد آورده شده است.

جدول (۲). مقادیر جرمی مواد اولیه لازم برای تولید بیودیزل

ماده	جرم (gr)
روغن آفتابگردان خوراکی	۴۲۵
متانول	۱۲۶
سدیم هیدروکسید	۶/۲۵

۶. نتایج و بحث

بیودیزل در بالای آن می‌باشد.



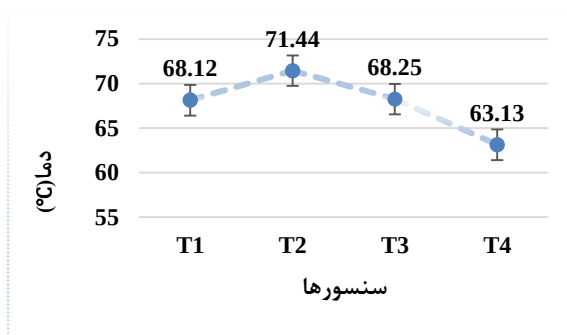
شکل (۱۲). بیودیزل تولیدشده طی این فرآیند

۷. نتیجه‌گیری

- بیودیزل سوختی تقریباً ناشناخته است و برای رسیدن به استفاده تجاری گسترده باید بر موانع نظارتی و قیمت رقابتی فائق آید، سپس در ابتدا به صورت ترکیب با گازوئیل فسیلی در ناوگان اتوبوس و کامیون سنگین لحاظ شود. از آنجاکه برای تولید بیودیزل باید مجتمع عظیم در حد یک پالایشگاه ساخته شود، حمایت دستگاه‌های دولتی ذی ربط از اجزای این طرح که منافع متعددی برای کشور دارد، بسیار راهگشا است.
- طبق مشاهدات و آزمایش‌ها صورت گرفته بر اساس چهار زمان مختلف و دمای بعد از دو کلکتور در این چهار زمان، در داخل محفظه مواد اولیه بیودیزل در دمای ۶۷ درجه شروع به واکنش کرده و بیودیزل شروع به تولید می‌کند.
- به علت نوسانات دمای محیط و افت دما، امکان تثبیت دما وجود ندارد.
- یکی از عوامل تعیین‌کننده در افزایش راندمان سیکل آزمایشگاهی و تولید بیودیزل، تابش روزانه خورشید است که سبب افزایش دمای آب خروجی از کلکتورها و به سبب آن باعث می‌شود که محصول سریع‌تر به دمای لازم خود برای واکنش برسد.
- عایق‌بندی درست و کامل سبب عدم تبادل حرارت با محیط بیرون شده و باعث افزایش راندمان و محصول تولیدی می‌گردد. زیرا عدم عایق‌بندی درست، موجب تبادل حرارت بین سیستم و محیط شده که کاهش راندمان و از طرفی نفوذ آلودگی و ناخالصی به سیستم موجب کاهش کیفیت محصول تولیدی می‌شود.

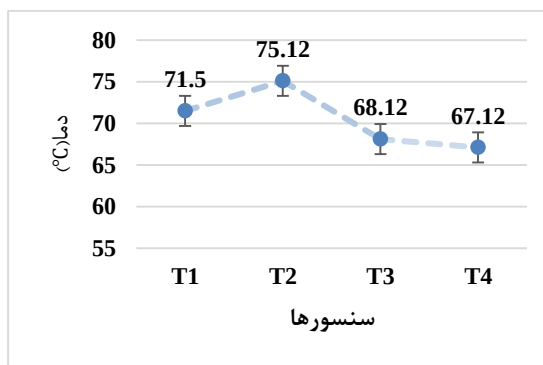
۸. مراجع

در شکل ۱۰، دماهای این حس‌گرها را در ساعت ۹:۵۰ دقیقه نشان می‌دهد.



شکل (۱۰). دماهای نقاط مختلف در ساعت ۹:۵۰ دقیقه

شکل ۱۱، دماهای این حس‌گرها را در ساعت ۱۰:۱۵ دقیقه نشان می‌دهد. که در این ساعت مقدار حرارت و تابش خورشید برای این بازه داده گیری به بیشترین مقدار خود رسیده است، مشاهده می‌شود که دمای بعد از دو کلکتور به ۷۵/۱۲ درجه سانتی‌گراد هم رسیده است.



شکل (۱۱). دماهای نقاط مختلف در ساعت ۱۰:۱۵ دقیقه

در طول همه این مراحل داده‌برداری به وسیله نرم‌افزار، انجام شد، و همزن مکانیکی در حال هم زدن مواد اولیه بیودیزل داخل محفظه استوانه‌ای بود. همچنین برای حرارت و گرمایش این مواد از کلکتورهای صفحه تخت استفاده شده است، که آب خروجی از این دو کلکتور وارد کویل مسی شده و باعث گرمایش این مواد می‌شود. کویل مسی که درون محفظه قرار دارد با انتقال حرارت، آب داغ درون لوله‌های خود را به درون محفظه انتقال می‌دهد، که باعث گرمایش این مواد می‌شود، و گرمای لازم برای تولید بیودیزل را فراهم می‌کند. در شکل ۱۲، بیودیزل تولیدشده طی این فرایند داده‌برداری، را که داخل یک قیف جداکننده ریخته شده است نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مواد بیودیزل اصطلاحاً صابونی نشده است، و تبدیل به بیودیزل شده است، زیرا که گلیسرین که یک محصول فرعی می‌باشد در پایین قرار گرفته و

- [1] V. Keshavarz, M. Nazari Sarm, "Nuclear power plants and small modular reactors (SMRs)," *New defense science and technologies*, vol. 2 pp. 35-51, 2020. (In Persian).
- [2] Zhang P.D, Yang Y.L, Shi J, Zheng Y.H, Wang L.S, Li X.R, "Opportunities and challenges for renewable energy policy in China," *Renew Sustain Energy Rev*, Vol.13 pp. 439-449, 2009.
- [3] Zhang P.D, Yang Y.L, Shi J, Zheng Y.H, Wang L.S, Li X.R, Lim S., Teong L.K., Recent trends, "opportunities and challenges of biodiesel in Malaysia an overview," *Renew Sustain Energy Rev*, Vol. 14 pp. 938-954, 2010.
- [4] A. Banerjee, R. Chakraborty, "Parametric sensitivity in transesterification of waste cooking oil for biodiesel production-a review," *Resources Conservation and Recycling*, 53, No. 9 pp. 490-497, 2009.
- [5] C. M. Caruana, "Pollution control drives new interest in biodiesel," *Chemical Engineering Process*, 84 pp. 14-18, 2000.
- [6] OECD-FAO, "Agriculture outlook," <https://www.oecd-ilibrary.org>, 2021.
- [7] T. Eevera, K. Rajendran, S. Saradha, "Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions," *Renewable Energy*, 34, No. 3 pp. 762-765, 2009.
- [8] Achten W.M.J, Verchot L, Franken Y.J, Mathijs E, Singh V.P, Aerts R, "Jatropha biodiesel production and use," *Biomass Bioenergy*, Vol. 32 pp. 1063-1084, 2008.
- [9] Li Y, Zhang X.D, Sun L, "Fatty acid methyl esters from soapstocks with potential use as biodiesel," *Energy Convers Manage*, Vol. 51 pp. 2307-2311, 2010.
- [10] A. Yazdani, M. Adibi, "Challenges of production and use of biodiesel as an alternative to fossil fuels," *New process*, Vol. 51pp. 5-24, 2016. (In Persian).
- [11] B. Agee, G. Mullins, D. Swartling, "Use of solar energy for biodiesel production and use of biodiesel waste as a green reaction solvent," *Sustainable Chemical Processes*, vol.44 pp. 94-103, 2014.
- [12] J. A. leon, G. Montero, M. A. Coronado, C. Garcia, H.E. Campbell, J. R. Ayala, D. Montes, C. A. Sagasta, "Renewable Energy Integration: Economic Assessment of Solar Energy to Produce Biodiesel at Supercritical Conditions," *International Journal of Photoenergy*, vol.2018, Article ID1048095, 7 pages, 2018.
- [13] A. Khaledi, A. Movafeghi, A. Dabbagh, A. Bahrami "Economic Production of Biodiesel as a renewable fuel," 1rd Iran's National Environment and Energy Conference, 2014. (In Persian).
- [14] B. Shadidi, G. Najafi, M. Zolfigol, "A Review of the Existing Potentials in Biodiesel Production in Iran," *International Journal of sustainability*, vol.2022, Article ID 14063284, 18 pages, 2022.