

## بررسی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی متیل استر منداب به عنوان سوخت بیودیزل

حسین باخدا\*، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

مرتضی الماسی، عضو هیات علمی دانشگاه شهید چمران اهواز

سعید مینایی، عضو هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس

حمید مشهدی میقانی، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی اراک

### چکیده

با توجه به محدودیت منابع انرژی فسیلی، اثرات نامطلوب مصرف آنها بر محیط زیست و تهدید آینده صادرات مواد نفتی استفاده از انرژی های تجدیدپذیر اهمیت دارد. سوخت های با منشأ مواد آلی از جمله بیودیزل به دلایلی از جمله شباهت به سوخت رایج، به عنوان سوخت جایگزین در موتورهای دیزلی مطرح می باشند. در این تحقیق، گیاه منداب شتری با هزینه های تولید کمتر نسبت به سایر گیاهان روغنی به عنوان منبع تولید بیودیزل انتخاب گردید. استخراج روغن از دانه آن به روشی ابداعی (تلفیقی از روش مکانیکی و شیمیایی) صورت پذیرفت. روغن پالایش نشده استخراج و طی فرایندهای شیمیایی به بیودیزل تبدیل گردید. بیودیزل تولیدی با درصدهای حجمی صفر تا صد در صد با سوخت دیزل مخلوط و به عنوان نمونه های B00 تا B100 نام گذاری شد. آزمون های سوخت نشان داد که دانسیته، وزن مخصوص، گرانروی، نقطه اشتعال و شاخص ستان از B00 تا B100 به ترتیب به میزان ۴/۳، ۴/۳، ۱۴/۷، ۳۶/۵، ۲۹، ۱۲/۲۸ درصد و محدوده تقطیر، افزایش می یابند. همچنین آزمون اندازه گیری نقطه ابری شدن و نقطه ریزش، نشان دهنده کاهش این مقادیر از B00 تا B100 به ترتیب به میزان ۶۶/۶ و ۵۷/۱۴ درصد است. آزمایش ها نشان دهنده کاهش گوگرد از B00 تا B100 به نسبت ۱ به ۲۰ است. ارزش حرارتی در B100 به مقدار ۱۱/۵۵ درصد کمتر از B00 اندازه گیری شد. به طور کلی می توان با افزایش سهم بیودیزل در سوخت ترکیبی موجبات افزایش کارایی سوخت، کیفیت احتراق و کاهش آلاینده ها به ویژه ترکیبات گوگرد را فراهم کرد. اما افزایش وزن مخصوص، گرانروی، کاهش ارزش حرارتی و قیمت تمام شده، محدودیت هایی در استفاده از درصد های بالای بیودیزل در سوخت تولیدی هستند که با در نظر گرفتن آنها ترکیب ۲۰ درصد بیودیزل با ۸۰ درصد سوخت دیزل پیشنهاد می گردد.

واژه های کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، بیوانرژی، بیودیزل، منداب

## مقدمه

برای تولید انرژی راه های زیادی وجود دارد، اما استفاده از هر کدام دارای محدودیت ها، فرصت ها، نقاط قوت و ضعف هایی است که می بایست مورد تحقیق، بررسی و در نهایت تصمیم گیری و انتخاب قرار گیرد. یکی از گزینه های مناسب در تولید انرژی با توجه به رویکردهای زیست محیطی و تشابه به منابع موجود، انرژی سوخت های غیر فسیلی است. با توجه به مصرف زیاد سوخت های دیزل در کشاورزی و نیاز به جستجو در تعدیل مصرف سوخت های فسیلی از یک طرف و توجه به فناوری های موجود که بر مبنای سوخت دیزل فسیلی طراحی شدند، نیاز است در برنامه های میان مدت و بلند مدت به دنبال فناوری تولید سوختی بود که تا حد ممکن نیاز به تغییرات بنیادی در تجهیزات موجود را نداشته و مشابه سوخت های موجود باشد.

به منظور استفاده صحیح از هر فناوری می بایست آن را شناخت و روش دست یافتن به آن را آموخت. به محدودیت ها، فرصت ها، ضعف ها و نقاط قوت آن توجه داشت و در نهایت با توجه به وضعیت موجود و اهداف آینده آن را توصیه کرد. بنابراین با بررسی اجمالی وضعیت موجود و آینده انرژی، لزوم تحقیق در مورد شناخت بیودیزل، چگونگی تولید آن روشن می شود. رادولف دیزل مخترع موتور دیزلی برای اولین بار در موتور تراکمی خود روغن گیاهی را به صورت سوخت جایگزین استفاده کرد (۷). ما و هانا (۱۹۹۹) در تحقیقات خود متذکر شده اند که در استفاده کوتاه مدت، نسبت ۱:۱۰ تا ۲:۱۰ روغن به دیزل موفقیت آمیز بوده است و استفاده مستقیم از روغن های گیاهی در موتور دیزل در طولانی مدت مشکلاتی را نظیر تشکیل رسوب های کربنی، افزایش غلظت روغن روانکاری و اختلالات در سیستم پاشش انرژیکنورها را حادث می شود.

تحقیقات نشان داده است که تری گلیسرید تشکیل دهنده روغن های گیاهی می تواند به استر اسیدهای چرب آلکیل (بیودیزل) تبدیل شود. که خواص مشابه دیزل دارند. اولین محصول مستند تجاری، متیل استر دانه کلزا است که در سال ۱۹۸۸ تولید آن گزارش شده است. ما و هانا (۱۹۹۹) به بررسی فواید بیودیزل ها پرداخته که از آن جمله به قابلیت تجزیه بیولوژیکی، غیر سمی بودن و تجدید پذیری آنها اشاره کرده اند. والش و همکاران (۱۹۹۸) در بررسی موانع توسعه صنعت بیودیزل به این نتیجه دست یافتند که مانع اصلی، هزینه بالای دانه های روغنی است که می توان از آن ها به عنوان سوخت جایگزین بیودیزل استفاده نمود.

وی انواع دانه های روغنی را کشت و مورد بررسی قرار داد؛ و به این نتیجه رسید که یکی از کم هزینه ترین این دانه ها که می توان از آن به عنوان سوخت جایگزین بیودیزل استفاده نمود، دانه منداب شتری است.

## مواد و روش ها

این تحقیق در دو مرحله تولید بیودیزل و آزمون های سوخت در دو مرکز مجتمع آزمایشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و واحد ارزیابی نفت خام پژوهشگاه صنعت نفت تهران اجرا گردید.

مواد و دستگاه های مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از: آسیاب برای خرد کردن دانه، سوکسله برای استخراج روغن به منظور تعیین درصد روغن دانه، واحد استخراج مایع از جامد برای استخراج روغن، دستگاه روتاری مدل Heidolph برای جدا سازی روغن از حلال، دانه منداب شتری به مقدار ۳۰ کیلوگرم برای تهیه روغن، هگزان به عنوان حلال، متوکسید سدیم به عنوان کاتالیزور و الکل متیلیک.

به جهت ارزیابی خواص فیزیکی و شیمیایی بیودیزل تولیدی دستگاه چگالی سنج مدل DMA48 (ساخت اتریش) برای سنجش چگالی و محاسبه وزن مخصوص، دستگاه گرانیوی سنج استوالد برای آزمون گرانیوی، دستگاه پنسکی - مارتنز برای اندازه گیری نقطه اشتعال، دماسنج و سردخانه برای اندازه گیری نقطه ابری شدن و ریزش، دستگاه اتوماتیک سنجش درصد گوگرد به روش اشعه ایکس، کالریمتر برای تعیین ارزش حرارتی، دستگاه تقطیر D86 برای تعیین محدوده تقطیر و محاسبه عدد ستان، دستگاه تیتراسیون مدل DL40GP برای اندازه گیری میزان عدد اسیدی نمونه، کوره ۸۰۰ درجه سانتی گراد برای تعیین میزان خاکستر، بوته برای تعیین میزان کربن و دستگاه تیتراسیون پتانسیومتری برای اندازه گیری میزان آب موجود در نمونه مورد استفاده قرار گرفتند.

برای انجام این تحقیق، روغن دانه منداب شتری استخراج شده به روش مکانیکی و همچنین دانه منداب از نجف آباد اصفهان تهیه شد. برای تعیین بهترین روش تولید بیودیزل، کل فرآیند به صورت آزمایش مقدماتی صورت پذیرفت. با توجه به نتایج بدست آمده و با هدف کاهش هزینه، کاهش مصرف انرژی در فرآیند تولید و افزایش راندمان از دانه منداب تحت شرایط کنترل شده روغن استخراج گردید و سپس روغن استخراجی در فرآیند تولید بیودیزل مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت آزمون های سوخت در جهت ارزیابی خواص فیزیکی و شیمیایی بیودیزل تولیدی در مقایسه با سوخت دیزل رایج طبق استانداردهای ASTM انجام و مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

در انتخاب روش استخراج روغن از دانه گیاه منداب شتری دو روش مورد بررسی قرار گرفت: یکی استفاده از روغن استحصالی به روش مکانیکی (پرس) و دیگری استفاده از روغن استحصالی به روش شیمیایی که با توجه به هدف افزایش راندمان فرآیند تولید روغن و نهایتاً بیودیزل روش اول به دلایل راندمان کم استحصال و همچنین افزایش درصد اسیدهای چرب به علت نحوه و شرایط استحصال که نتیجه آن کاهش راندمان تولید بیودیزل از روغن بود مورد استفاده قرار نگرفت و روش دوم انتخاب گردید.

در روش معمول استخراج به کمک حلال به علت افزایش راندمان استخراج در ابتدا دانه ها را آسیاب کرده، سپس حلال و دانه های آسیاب شده را در دمای ۵۵-۶۰ درجه سانتی گراد در مجاورت یکدیگر قرار می دهند تا انتقال جرم از جامد به حلال انجام گیرد.

در این تحقیق به علت این که دانه ها دارای پوسته نسبتاً محکمی می باشند، آسیاب کردن آنها مشکلاتی نظیر گرفتگی غربال، کاهش راندمان فرآیند، گرم شدن دستگاه و کاهش درصد پروتئین کنجاله را در بر دارد. لذا تصمیم گرفته شد روشی برای استخراج روغن طراحی گردد که بتواند بر این مشکل فایز آید. لذا با اعمال روش های مختلف نظیر تغییر فاصله تیغه های آسیاب تا دیواره، استفاده از غربال هایی با مش های متفاوت و روغن با راندمان بالا استحصال شد. همچنین با مقایسه نتایج مشاهده شده بهترین روش استفاده از حلال در مرحله آسیاب مورد تایید قرار گرفت. در این روش دانه و حلال به طور همزمان و به نسبت وزنی ۴ به ۱ در آسیاب ریخته می شوند. با استفاده از این روش، به دلیل وجود مایع در میان دانه های روغنی، چسبندگی و در نتیجه افزایش بار در آسیاب مشاهده نگردید و وجود حلال در سیستم باعث خنک شدن دستگاه و گرم شدن حلال می گردد. از مزیت های استفاده از این روش می توان به خشک شدن سیستم و افزایش راندمان آسیاب و کاهش استهلاک آسیاب و کاهش حرارت سیستم که باعث کاهش فساد پروتئین قابل حصول گشته و مانع افت ارزش کنجاله به عنوان ماده غذایی برای دام می گردد، اشاره کرد. سپس دانه های آسیاب شده با حلال مجاورت داده شد تا مابقی روغن موجود در دانه ها نیز استخراج گردد. سپس به وسیله دستگاه روتاری در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد و در سرعت ۲۷۰rpm روغن از حلال تفکیک و برای تولید متیل استر آماده گردید.

برای تهیه بیودیزل روغن گیاهی یک در فرآیند ترنس استریفیکاسیون به متیل استر تبدیل می گردد. در نتیجه در این تحقیق برای تهیه سوخت گیاهی، روغن استخراج شده در مجاورت کاتالیزور متوکسید سدیم و الکل متیلیک قرار داده شد و به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۷۰-۶۵ درجه سانتی گراد با سرعت ۲۷۰rpm برای تکمیل فرآیند استری کردن بهم زده شد. در این مرحله اسیدهای چرب متصل به اسکلت گلیسرولی با متانول در حضور کاتالیزور متوکسید سدیم تبدیل به متیل استر می شوند. در این واکنش به غیر از مخلوط متیل استر اسیدهای چرب مختلف که نوع آنها بستگی به نوع اسیدهای چرب موجود در روغن دارد گلیسرین به عنوان محصول فرعی واکنش نیز تولید می شود. گلیسرین ماده ای با ارزش است و بدلیل تفاوت جرم حجمی آن با محلول متیل استرها در متانول، در محیط حالت دو فازی تشکیل می گردد. در جهت پایان یافتن واکنش و جلوگیری از ایجاد واکنش های ثانویه و سهولت کار تفکیک، لازم است تا کاتالیزور باقی مانده در محیط خنثی گردد.

در این تحقیق از اسید استیک گلاسیال و به روش تیتراسیون تا حصول رنگ شفاف محلول برای خنثی سازی استفاده شد. سپس گلیسرین تولیدی واکنش با قیف جداکننده از محیط نمونه خارج گردید. پس از

جداسازی اولیه، محیط عمل شامل متیل استرهای اسیدهای چرب، الکل، اسید استیک، مقداری مواد صابونی و ناخالص می باشد این مورد باعث بروز کیفیت نامطلوب در سوخت می شوند. لذا لازم است آنها را از محصول اصلی که متیل استر اسیدهای چرب هستند، تفکیک کرد. برای این کار از دستگاه تقطیر جزء به جزء پژوهشگاه صنعت نفت تهران استفاده گردید. به جهت تعیین خصوصیات متیل استر روغن منداب به عنوان بیودیزل و مقایسه آن با سوخت دیزل مرسوم، مشخصه های سوخت و ترکیبات مختلف آن به روش های زیر محاسبه گردیدند. برای اندازه گیری چگالی، از دستگاه چگالی متر دیجیتالی تحت استاندارد D4052 استفاده شده است، بدین صورت که حجم کوچکی از نمونه به دستگاه تزریق گردیده و پس از کالیبره شدن دستگاه به طور اتوماتیک دانسیته محاسبه می شود (۴). برای اندازه گیری گرانی سینه‌ماتیکی از دستگاه گرانی سنج استوالد تحت استاندارد D-446 استفاده شده است. گرانی سینه‌ماتیکی بر اساس زمان جریان و ثابت دستگاه گرانی سنج که بسته به نوع لوله موین، متغیر و مشخص است محاسبه می گردد (۴). اندازه گیری تعیین نقطه اشتعال بر اساس این آزمایش تحت استاندارد D93 به وسیله دستگاه پنسکی - مارتنز به روش بسته انجام پذیرفت. به این صورت که در ظرف نمونه تا قسمت مشخص شده نمونه پر می شود و نمونه به تدریج درون دستگاه مذکور گرم می شود. اولین دمایی که در آن بخارات حاصل از نمونه مشتعل و سپس خاموش می گردند، نقطه اشتعال تصحیح نشده است که می بایست به واسطه فشار محیط آزمایش و بر اساس جداول استاندارد تصحیح شود (۴). نقطه ابری شدن و ریزشبه ترتیب تحت استاندارد D2500 و D97 انجام پذیرفت. در این روش نمونه را در استوانه ای شیشه استاندارد قرار داده و پس از همگن سازی در دستگاه سردکن قرار می دهیم. به محض رویت اولین ذرات کریستال و مومی شکل، دمای نمونه به عنوان نقطه ابری شدن اعلام می گردد. با ادامه کاهش دمای نمونه، ظهور حالت مومی مولکول های سنگین ادامه می یابد تا تمام نمونه به حالت مومی و متبلور در آید و سوخت جریان نیابد. دمای آستانه توقف جریان به عنوان نقطه ریزش درج می شود (۴). اندازه گیری میزان گوگرد تحت استاندارد D2622 و به روش اشعه ایکس انجام شد. با قرار دادن نمونه در ظرف مخصوص، دستگاه به طور اتوماتیک در سه تکرار میزان گوگرد در سرعت های مختلف مورد سنجش می کند (۴). ارزش حرارتی نمونه ها تحت استاندارد D240 و به وسیله دستگاه بمب کالریمتر آدیاباتیک مدل C4000 (ساخت آلمان) انجام شد. در این روش ارزش حرارتی با سوختن حدود یک گرم از نمونه در بمب کالریمتر اکسیژنی تحت شرایط کنترل شده تعیین گردید (۴). برای تعیین محدوده تقطیر از استاندارد D86 در فشار اتمسفر استفاده شده است. در این روش ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه در شرایط استاندارد تقطیر شده و مشاهده منظم دما و حجم میعان، بسته به اطلاعات مورد نیاز انجام گرفته و محدوده تقطیر محاسبه می گردد (۴).

شاخص ستان سوخت با استفاده از فرمول ارائه شده در استاندارد D976 بوسیله یکی از روابط زیر محاسبه می گردد (۴):

$$\text{ستان شاخص} = -420.34 + 0.016 G^2 + 0.192 G \text{ LogM} + 65.01(\text{LogM})^2 - 0.000109M^2$$

$$\text{ستان شاخص} = 454.74 - 1641.416 D + 774.74 D^2 - 0.554 B + 97.803 (\text{LogM})^2$$

که در این رابطه ها:

$$D = \text{چگالی}$$

$$G = \text{API گرانروی}$$

$$B = \text{متوسط نقطه جوش}$$

$$M = \text{متوسط نقطه جوش}$$

اسیدیته سوخت ها با نام عدد اسیدی به وسیله دستگاه تیتراسیون مدل DL40GP به روش تیتراسیون تحت استاندارد D664 تعیین شد. به این صورت که وزن مشخصی از نمونه در مخلوطی از تولوئن و پروپانول و مقدار اندکی آب به وسیله هیدروکسید پتاسیم تیترا می گردد (۴). برای اندازه گیری میزان خاکستر استاندارد D482 پیروی گردید (۴). برای تعیین مقدار کربن باقیمانده در اثر تبخیر و سوختن نمونه، سوخت این آزمون تحت استاندارد D189 انجام پذیرفت. آزمایش ها برای ۶ نمونه حاصل از اختلاط درصد های متفاوت صفر تا صد درصد به تناوب ۲۰ درصد بیودیزل با سوخت دیزل مرسوم در کشور انجام پذیرفت (۴).

## نتایج و بحث

با توجه به کاهش عدد اسیدی روغن استحصال شده به میزان ۵۲ درصد در روش استخراج به کمک و بالا بودن راندمان استخراج به روش شیمیایی به میزان ۱۰ تا ۱۵ درصد در مقایسه با روش مکانیکی از روش استخراج به کمک حلال استفاده شد.

ویژگی های متیل استر روغن منداب شتری در جدول ۱-۵ در مقایسه با سایر متیل استرهای دانه های روغنی نشان داده شده است. نتایج محاسبه شاخص ستان و آزمون ارزش حرارتی نشان دهنده بالا بودن این مشخصه در متیل استر روغن منداب نسبت به سایر متیل استرهای مورد مقایسه است. گرانروی سینماتیکی متیل استر روغن منداب از متیل استر روغن کلزا و متان، کمتر و از متیل استر روغن آفتابگردان و سویا بیشتر است. دمای نقطه ابری شدن و ریزش متیل استر منداب از سایر متیل استرها پایین تر است که موجب افزایش کارایی این سوخت در دماهای پایین تر می گردد. دمای نقطه اشتعال آن در مقایسه با سایر متیل استرها، از متیل استر روغن کلزا بیشتر و از سایر متیل استرها کمتر است.

جدول ۱: مقایسه ویژگی های فیزیکی متیل استر روغن دانه های مختلف

مرجع	نقطه اشتعال	نقطه ریزش	نقطه ابری شدن	گرانروی Cst در ۴۰°C	ارزش حرارتی kJ/kg	شاخص ستان	دانه
آزمایش	۸۶	-۱۲	-۶	۵/۳	۴۰۶۳۰	۵۶/۹	منداب
[۶]	۸۴	-۹	-۲	۶/۷	۴۰۴۹۹	۵۴	کلزا
[۶]	۱۱۰	-۴	-	۶/۸	-	۵۱/۲	کتان
[۶]	۱۷۱	-۱	۲	۴/۰۸	۳۹۸۰۰	۴۶/۲	سویا
[۶]	-	-۴	۰	۴/۲۲	۳۹۸۰۰	۴۶/۶	آفتابگردان
[۶]	۱۸۰	-۶	-	-	۴۰۰۶۰	۴۹/۸	گلرنگ

جدول ۲: مقایسه خصوصیات متیل استر منداب شتری و ترکیبات مختلف آن با سوخت دیزل مرسوم در ایران

ترکیبات مختلف سوخت						استاندارد	واحد	خصوصیات
B100	B80	B60	B40	B20	B00			
۰/۸۷۷۵	۰/۸۷۰۸	۰/۸۶۲۷	۰/۸۵۴۹	۰/۸۴۶۸	۰/۸۳۹۳	D۴۰۵۲	g/cm <sup>3</sup>	چگالی
۰/۸۷۸۴	۰/۸۷۱۷	۰/۸۶۳۶	۰/۸۵۵۷	۰/۸۴۷۶	۰/۸۴۰۱	D۴۰۵۲		وزن مخصوص گرانری
۵/۳	۴/۸۱	۴/۲۴	۳/۹	۳/۴۷	۳/۰۹	D۴۴۶	Cst	سیستماتیک (درجه سانتی گراد ۴۰) گرانوری
۲	۱/۹	۱/۶۷	۱/۵۳	۱/۳۸	۱/۲۷	D۴۴۶	Cst	سیستماتیک (درجه سانتی گراد ۱۰۰)
۸۶	۷۵	۶۷	۶۴	۶۲	۶۱	D۹۳	C°	نقطه اشتعال
-۶	-۵	-۴	-۳	-۳	-۲	D۲۵۰۰	C°	نقطه ابری شدن
-۱۴	-۱۲	-۱۰	-۱۰	-۸	-۶	D۹۷	C°	نقطه ریزش
۰/۰۳۵	۰/۱۶۳۱	۰/۲۳۶۱	۰/۴۱۹۱	۰/۵۴۷۶	۰/۷۰۹۶	D۲۶۲۲	%	میزان گوگرد
۴۰۶۳۰	۴۱۵۸۹	۴۲۵۶۱	۴۳۴۱۶	۴۴۷۰۶	۴۵۹۳۸	D۲۴۰	Kj/kg	ارزش حرارتی
۲۹۰-۱۷۰/۸	۳۷۸-۱۶۲/۵	۳۸۲/۷-۱۶۲/۵	۳۸۵-۱۶۱	۳۸۰/۵-۱۵۶/۱	۳۸۰-۱۶۴	D۸۶	C°	محدوده تقطیر
۹۵	۹۰	۹۳	۹۴/۳	۹۵/۴	۹۵/۵	D۸۶	%	نقطه پایان تقطیر
۵۷	۵۶	۵۶	۵۴	۵۲	۵۰	D۹۷۶		شاخص ستان
۰/۰۳۷						D۶۶۴	Mgkoh/gr	عدد اسیدی
۰/۰۰۴						D۴۸۲	%	خاکستر
۰/۰۱۹						D۱۸۹	%	میزان کربن
۷۱۵						کارل-فیشر	ppm	میزان آب

نقطه ابری شدن و ریزش با افزایش سهم درصد متیل استر منداب در سوخت ترکیبی و کاهش سهم سوخت دیزل رایج، کاهش پیدا کرده؛ به گونه ای که B100 نسبت به B00 در حدود ۲۰۰ درصد دمای نقطه ابری شدن و ۱۳۰ درصد دمای نقطه ریزش کاهش یافته است که تا حدی بهبود کیفیت سوخت را نشان می دهد. اما این کاهش تا حدی مطلوب است که مصرف عدد ستان پایین تر و یا فرارایت بالاتر را موجب نشود. مقدار گوگرد موجود در بیودیزل تولیدی به میزان قابل توجهی نسبت به سوخت دیزل رایج کم است و این موضوع اهمیت استفاده از سوخت های گیاهی را دو چندان می کند. به طوری که میزان گوگرد در سوخت دیزل رایج ۲۰ برابر میزان گوگرد موجود در سوخت بیودیزل خالص است. گوگرد باعث فرسایش شدید موتور و افزایش آلاینده های زیست محیطی می شود. با افزایش سهم بیودیزل در سوخت ترکیبی، ارزش حرارتی کمتر شده اما این میزان در بیشترین اختلاف خود که مابین B00 و B100 است، در حدود ۱۱ درصد می باشد و در ترکیبات B20 فقط ۱/۸ درصد ارزش حرارتی نسبت به B00 کاهش یافته است.

با افزایش درصد بیودیزل، دمای شروع و انتهایی تقطیر افزایش یافته است. این افزایش باعث بهبود شاخص ستان در سوخت ترکیبی می شود و به این ترتیب می توان انتظار شاخص ستان بالاتری از B100 در مقایسه با B00 را داشت که محاسبه عدد ستان نیز این افزایش را تایید می کند، شاخص ستان در B100 در حدود ۱۲ درصد بیشتر از سوخت دیزل رایج است و می توان نتیجه گرفت که کیفیت سوختن ترکیبات حاوی متیل استر منداب بهتر است.

در اندازه گیری عدد اسیدی برای B100، ۰/۰۵ میلی گرم هیدروکسید پتاسیم برای هر گرم نمونه اندازه گیری شد که مقدار آن تقریباً در حدود عدد اسیدی سوخت دیزل رایج است. بنابراین در مقایسه با سوخت رایج از لحاظ عدد اسیدی می توان آنها را در یک سطح قرار داد.

میزان کربن اندازه گیری شده در حدود ۰/۰۱۹ درصد وزنی در B100 است که نسبت به B00 در حدود ۲۴ درصد کاهش داشته است و همچنین مقدار خاکستر نیز در حدود ۶۰ درصد کاهش داشته است. این کاهش در افزایش طول عمر سیستم احتراق نقش به سزایی دارد، زیرا خاکستر حاوی رسوبات معدنی و اکسیدهای فلزی حل شده در سوخت است که مقدار زیاد آن در سوخت های مایع موجبات فرسودگی قسمت های متحرک سیستم احتراق را فراهم می سازد.

به طور کلی با مقایسه بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ترکیبات مختلف سوخت های مورد مطالعه می توان نتیجه گرفت که با افزایش سهم متیل استر منداب، خاصیت های نقطه اشتعال، ارزش حرارتی، شاخص ستان، نقطه ابری شدن، نقطه ریزش و میزان گوگرد در جهت کارایی مناسب سوخت، کیفیت احتراق و همچنین پخش آلاینده ها بالاخص ترکیبات گوگرد بهبود پیدا می کند. بروز محدودیت هایی از نظر دیگرخواص فیزیکی سوخت از جمله افزایش وزن مخصوص، افزایش گرانیروی و کاهش ارزش



حرارتی که در نتیجه افزایش نسبت استر در نسبت سوخته است که مانع استفاده از درصدهای بالای متیل استر منداب در ترکیب سوخت تولیدی می شود و هزینه های بالای سوخت های گیاهی به این موضوع اهمیت بیشتری می دهد. در جهت کاهش هزینه، طبیعتاً مصرف کنندگان تمایل به استفاده از درصد های ترکیبی کمتر این گونه سوخت ها دارند. با توجه به آزمون های انجام شده، ترکیب ۲۰ درصدی از متیل استر منداب با ۸۰ درصد سوخت دیزل، شباهت بیشتری به سوخت دیزل رایج از لحاظ عوامل محدود کننده دارد. در این ترکیب میزان گوگرد موجود در سوخت به مقدار ۲۲ درصد نسبت به سوخت دیزل رایج کاهش می دهد.

## منابع

- ۱- حشمت زاده، محمد باقر. ۱۳۷۹. ایران و نفت، جامعه شناسی سیاسی نفت در ایران. انتشارات مرکز بازشناسی اسلام و ایران.
- ۲- صادقی، شهناز و مهرداد طباطبائی و داریوش ساعدی داریان. ۱۳۷۶. اصول مدیریت انرژی. انتشارات نشر دانشگاه.
- ۳- مشهدی میقانی، حمید. ۱۳۸۱. تحقیق درباره بکارگیری متیل استر روغن کلزا به عنوان سوخت در موتور اشتعال تراکمی کم دور- رساله دکتری. واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی تهران.

4- Anonymous. 2001. Annual Book of ASTM Standards, Vol.05.01.

5- Anonymous. 2001. Annual Book of ASTM Standards, Vol.05.02.

6- Badal, C. Saha and J. Woodward. 1997. Fuels and Chemicals from Biomass. American Chemical Society, Washington DC.

7- Foglia, T. A., Jones, K. C., Haas, M. J., & Scott, K. M. 2000. Technologies Supporting the Adoption of Biodiesel as an Alternative Fuel. The Cotton Gin and Oil Mill Press.

8- Linden, H. R. 1999. Conversion of Solid Fossil Fuels of High Heating- Value Pipeline Gas. Chemical Engineering Progress Symposium Series Hydrocarbons from Oil Shale, Oil Sands, and Coal.

9-Ma, F. & Hanna, M. A. 1999. Biodiesel Production: a Review. Bio Resource Technology 70, 1-15.

10-Walsh, Mary, and Hyperion. 1998. Use of Alternative Oil Seed Crops!to Reduce Biodiesel Production Costs. European Energy Crops.

