بررسی امکان استفاده از روغن منداب شتری به عنوان سوخت جایگزین (بیودیزل)

حسین باخدا[1]- مرتضی الماسی[2]- سعید مینایی[3]- حمید مشهدی میغانی[4]

چکیده

با توجه به تجدیدناپذیری منابع انرژی فسیلی و با رویکرد به چالشهای زیست محیطی، تهدید آینده صادرات مواد نفتی ضرورت استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر به شدت احساس می شود.سوختهای بیودیزل به دلایلی از جمله شباهت به سوخت رایج، می توان آنها را بعنوان سوخت جایگزین در موتورهای دیزلی مطرحند.

در این تحقیق ،گیاه منداب شتری بدلیل مزیت کاهش هزینه های تولید نسبت به سایر گیاهان روغنی، بعنوان منبع تولید بیودیزل انتخاب گردید. استخراج روغن از دانه آن به روشی ابداعی (تلفیقی از روش مکانیکی و شیمیایی) صورت پذیرفت. روغن پالایش نشده استخراجی، طی فرایندهای شیمیایی به بیودیزل تبدیل گردید. بیودیزل تولیدی با درصدهای حجمی صفر تا صددرصد با سوخت دیزل مخلوط و به عنوان نمونه های *B00* تا *B100* نام گذاری شد.

آزمونهای سوخت نشان دهنده افزایش دانسیته، وزن مخصوص، گرانروی، نقطه اشتعال و شاخص ستان از *B00* تا *B100* به ترتیب به میزان۴/۳، ۴/۳، ۱۴/۷، ۳۶/۵، ۲۹، ۱۲/۲۸ درصد و افزایش محدوده تقطیر می باشند. 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، ۵۷/۱۴ درصد است. میزان گوگرد 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 موجبات افزایش کارایی مناسب سوخت، کیفیت احتراق و همچنین کاهش آلاینده ها به ویژه ترکیبات گوگرد را فراهم کرد. اما محدودیت هایی نظیر افزایش وزن مخصوص ، گرانروی ، کاهش ارزش حرارتی و قیمت تمام شده، مانع استفاده از درصدهای بالای بیودیزل در سوخت تولیدی میگردد. با توجه به جمیع جهات، ترکیب ۲۰ درصدی بیودیزل با دیزل مرسوم از مطلوبیت بیشتری برخوردار است و پیشنهاد می گردد.

۱- کارشناس ارشد مکانیزاسیون کشاورزی
۲- استاد بخش ماشینهای کشاورزی ومکانیزاسیون دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
۴- عضو هیئت علمی ورئیس بخش ماشینهای کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

۲- واژه های کلیدی

منابع انرژی تجدیدپذیر، بیوانرژی، بیودیزل، استخراج روغن منداب، آزمونهای سوخت

۳- پیشگفتار

رشد اقتصادی هنگامی میسر می گردد که تولید ملی افزایش یابد. برای تولید نیز عوامل اصلی سیستم تولید، یعنی کار و سرمایه، در سخت افزار و نرم افزاری به نام فناوری بهم می آمیزند و با تغییر در داده ها، محصول یا خدمتی را به صورت ستاده ، با ارزشی بالاتر بوجود می آورند. بنابراین برای افزایش توان فناوری بنابر اصل انرژی خواه بودن و نیل به توسعه یافتگی کامل و همچنین با توجه به افزایش روز افزون جمعیت، خواه ناخواه مصرف انرژی رشدی فزاینده خواهد داشت؛ به گونه ای که به روشنی نیاز به تولید انرژی بیشتر، کاملاً احساس می شود.

برای تولید انرژی در کشورها راههای زیادی وجود دارد، اما استفاده از هر کدام دارای محدودیتها، فرصتها، قوتها و ضعف هایی است که می بایست مورد تحقیق، بررسی و نهایتاً مورد تصمیم گیری و انتخاب قرار گیرند. یکی از گزینه های مناسب در تولید انرژی با توجه به رویکردهای زیست محیطی و تشابه به منابع موجود ، بیو انرژی است . با توجه به مصرف زیاد سوختهای دیزل در کشاورزی مکانیزه و نیاز به جستجو در تعدیل مصرف سوختهای فسیلی از یک طرف و توجه به فناوریهای موجود که بر مبنای سوخت دیزل فسیلی طراحی شدند، نیاز است در برنامه های میان مدت و حتی بلند مدت به دنبال فناوری تولید سوختی باشیم که تا حد ممکن نیاز به مقابله تکنولوژیک در تجهیزات موجود را نداشته و همانند منابع سوختی موجود باشد ، بیودیزل را می توان مناسب در این انتخاب دانست.

به منظور استفاده صحیح از هر فناوری جدید می بایست آنرا شناخت، روش دست یافتن به آنرا آموخت، به محدودیت ها، فرصتها، ضعف ها و نقاط قوت آن پی برد و در نهایت آنرا با توجه به وضعیت موجود و اهداف آینده توصیه کرد. بنابراین با توجه به این رویکرد و بررسی اجمالی وضعیت موجود و آینده انرژی، لزوم تحقیق در مورد شناخت بیودیزل، چگونگی تولید و ... به روشنی احساس می شود که تحقیق حاضر پاسخی به این احساس است.

رادولف دیزل مخترع موتور دیزلی برای اولین بار در موتور تراکمی خود، روغن گیاهی را به منزله سوخت جایگزین استفاده کرد *(Foglia, 2000)*. همرلین *(Hemmerlein, 1991)* در تحقیقات خود و همکاران

پی برد که مصرف انرژی با استفاده از روغن گیاهی خالص، مشابه مصرف سوخت دیزل است. ما *(Ma, 1999)* در تحقیقات خود متذکر شده است که در استفاده کوتاه مدت، نسبت ۱:۱۰ تا ۲:۱۰ روغن به دیزل موفقیت آمیز بوده است و استفاده مستقیم از روغنهای گیاهی در موتور دیزل در طولانی مدت مشکلاتی را نظیر تشکیل رسوبهای کربنی، افزایش غلظت روغن روانکاری، اختلالات در سیستم پاشش انرژکتورها را حادث می شود.

تحقیقات نشان داده است که تری گلیسرید تشکیل دهنده روغنهای 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 گزاش شده است *(Korbitz,2001)*. ما *(Ma, 1999)* دریافت بیودیزل فواید بسیاری دارد؛ از آن جمله می توان قابلیت تجزیه بیولوژیکی، غیر سمی بودن و تجدیدپذیری آن را نام برد.

والش *(Walsh,etal,1998)* در بررسی موانع توسعه صنعت بیودیزل به این نتیجه دست یافت که مانع اصلی، هزینه بالای دانه های روغنی است که می توان از آنها به عنوان سوخت جایگزین بیودیزل استفاده نمود. وی انواع دانه های روغنی را کشت نمود و مورد بررسی قرار داد؛ بدین ترتیب 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.

۴- مواد و روشها

این تحقیق در دو مرحله تولید بیودیزل و آزمونهای 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.

۴-۱ مواد

۴-۱-۱ مرحله استخراج روغن

مواد و دستگاههای مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از : آسیاب برای خرد کردن دانه، سوکسله برای استخراج روغن بمنظور 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.

۴-۱-۲ مرحله ارزیابی خواص فیزیکی و شیمیایی بیودیزل تولیدی

دستگاه چگالی سنج مدل *DMA48*(ساخت اتریش) برای سنجش چگالی و محاسبه وزن مخصوص، دستگاه گرانروی سنج استوالد برای آزمون گرانروی، 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 سانتیگراد برای تعیین میزان خاکستر، بوته برای تعیین میزان کربن و دستگاه تیتراسیون پتانسیومتری برای اندازه گیری میزان آب موجود در نمونه سوخت.

۴-۲ روشها

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 تولید تصمیم گرفته شد از روغن آماده، تهیه شده استفاده نگردد و از دانه منداب تحت شرایط کنترل شده روغن استخراج گردد و سپس روغن استخراجی در فرآیند تولید بیودیزل قرار گرفت. در نهایت آزمونهای 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.

تهیه بیودیزل

در انتخاب اولیه روش استخراج روغن از دانه گیاه منداب شتری دو گزینه مطرح بود: 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 زیر مناسب تشخیص داده نشد: 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.

روش دوم به دلیل کاهش قابل توجه اسیدهای چرب آزاد در روغن استحصالی و همچنین راندمان بالای استحصال 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 سانتیگراد در مجاورت یکدیگر قرار می دهند تا انتقال جرم از جامد به حلال انجام گیرد.

در این تحقیق به علت اینکه دانه ها دارای پوسته نسبتاً سفتی 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 فائق آید. لذا با اعمال روشهای 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 بود؛ به طوری که دانه وحلال به طور همزمان و به نسبت وزنی ۴ به ۱ در آسیاب ریخته شد. با استفاده از این روش، به دلیل وجود مایع در میان دانه های روغنی، چسبندگی و در نتیجه افزایش بار در آسیاب مشاهده نشد. همچنین وجود حلال در سیستم باعث خنک شدن دستگاه و گرم شدن حلال می شد که از جنبه های زیر مفید بود: یکی سرد شدن سیستم و افزایش راندمان آسیاب و کاهش استهلاک آسیاب؛ دوم به خاطر کاهش حرارت سیستم از فساد پروتئین قابل حصول کاسته می شود و مانع افت ارزش کنجاله به عنوان ماده غذایی برای دام می گردد.

سپس دانه های آسیاب شده با حلال مجاورت داده شد تا مابقی روغن موجود در دانه ها نیز استخراج گردد. سپس بوسیله دستگاه روتاری در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد و در سرعت *۲۷۰rpm* روغن از حلال تفکیک شده و برای تولید متیل استر آماده گردیده است.

تهیه سوخت

برای تهیه بیودیزل می بایست روغن گیاهی را در فرآیند" ترنس استریفیکاسیون "به متیل استر تبدیل کرد. در نتیجه در این تحقیق در راستای تهیه سوخت گیاهی، روغن استخراج شده در مجاورت کاتالیزور متوکسید سدیم و الکل متیلیک قرار داده شد و به مدت ۶۰ دقیقه در دمـــای۷۰-۶۵ درجه سانتیگراد با سرعت ۲۷۰ *rpm* 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 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 ختم واکنش، جلوگیری از ایجاد واکنش های ثانویه و سهولت کار تفکیک، می بایست کاتالیزور باقیمانده 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 که 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.

۴-۲-۳ اندازه گیری مشخصه های سوخت

چگالی

در این تحقیق برای اندازه گیری چگالی، از دستگاه چگالی متر دیجیتالی تحت استاندارد *D4052* متعلق به استانداردهای *ASTM* استفاده شده است، بدین صورت که حجم کوچکی از نمونه به دستگاه تزریق گردیده و پس از کالیبره شدن دستگاه بطور اتوماتیک دانسیته محاسبه می شود.

گرانروی سینماتیکی

برای اندازه گیری گرانروی سینماتیکی از دستگاه گرانروی سنج استوالد تحت استاندارد *D-446* از استانداردهای *ASTM* استفاده شده است. گرانروی سینماتیکی بر اساس زمان جریان و ثابت دستگاه گرانروی سنج که بسته به نوع لوله مویین، متغیر و مشخص است محاسبه می گردد.

نقطه اشتعال

این آزمایش تحت استاندارد *D93* از استانداردهای *ASTM* به وسیله دستگاه پنسکی-مارتنز به روش بسته انجام پذیرفت، بدین 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 تصحیح شود.

نقطه ابری شدن و ریزش

این آزمایش ها به ترتیب تحت استاندارد *D2500* و *D97* از استانداردهای *ASTM* انجام پذیرفت، بدین صورت که نمونه را در استوانه ای شیشه استاندارد قرار داده و پس از همگن سازی در دستگاه سردکن قرار می دهیم. به محض رؤیت اولین ذرات کریستال و مومی شکل، دمای نمونه به عنوان نقطه ابری شدن اعلام می گردد. با ادامه کاهش دمای نمونه، ظهور حالت مومی مولکولهای سنگین ادامه می یابد تا تمام نمونه به حالت مومی و متبلور درآید و دیگر سوخت جریان نیابد. دمای آستانه توقف جریان به عنوان نقطه ریزش درج می شود.

میزان گوگرد

اندازه گیری میزان گوگرد تحت استاندارد *D2622* از استانداردهای *ASTM* و به روش اشعه ایکس انجام شد. با قرار دادن نمونه در ظرف مخصوص ، دستگاه بطور اتوماتیک در سه تکرار میزان گوگرد را سنجش می کند، به طوریکه سرعت آنالیز ۱ تا ۲۰ دقیقه بر نمونه می باشد.

ارزش حرارتی

این آزمایش تحت استاندارد *D240* از استانداردهای *ASTM* 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.

محدوده تقطیر

برای تعیین محدوده تقطیر از استاندارد *D86* از استانداردهای *ASTM* 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 میگیرد و محدوده تقطیر محاسبه می گردد.

شاخص ستان

این شاخص تحت استاندارد *D976* از استانداردهای *ASTM* بوسیله یکی از روابط زیر محاسبه می گردد :

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

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

که در این رابطه ها:

G = گرانروی API $\qquad$ D = چگالی

M = متوسط نقطه جوش* $\qquad$ B = متوسط نقطه جوش*

عدد اسیدی

عدد اسیدی به وسیله دستگاه تیتراسیون مدل *DL40GP* به روش تیتراسیون تحت استاندارد *D664* از استانداردهای *ASTM* تعیین شد. بدین صورت که وزن مشخصی از نمونه در مخلوطی از تولوئن و پروپانول و مقدار اندکی آب بوسیله هیدروکسید پتاسیم تیتر می گردد.

میزان خاکستر

این آزمون تحت استاندارد *D482* از استانداردهای *ASTM* انجام شد.

میزان کربن

برای تعیین مقدار کربن باقیمانده در اثر تبخیر و سوختن نمونه، سوخت این آزمون تحت استاندارد *D189* از استانداردهای *ASTM* انجام پذیرفت. آزمایشها برای ۶ نمونه حاصل از اختلاط درصدهای متفاوت صفر تا صد درصد به تناوب ۲۰٪ بیودیزل با سوخت دیزل مرسوم در کشور انجام پذیرفت.

۵- یافته ها

با توجه به کاهش عدد اسیدی به میزان ۵۲٪ در روش استخراج به کمک حلال – روش شیمیایی- نسبت به استخراج به روش مکانیکی و همچنین راندمان بالای استخراج در روش شیمیایی(در حدود ۱۰ تا ۱۵درصد نسبت به روش مکانیکی)، نتیجه گرفته شد که از روش استخراج به کمک حلال استفاده شود.

مقادیر خصوصیات متیل استر روغن منداب شتری در جدول ۵-۱در 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.

---

* اگر عدد ستان بین ۳۰ تا ۶۰ باشد، رابطه شاخص ستان با عدد ستان طبق استاندارد *ASTM* کوچکتر از ۲± عدد ستان می باشد. این رابطه برای ۷۵٪ سوختهای تقطیری صادق است.

جدول ۵-۱ مقایسه ویژگیهای فیزیکی متیل استر روغن دانه های مختلف

دانه	شاخص ستان	ارزش حرارتی *kJ/kg*	گرانروی *Cst*	نقطه شدن	ابری	نقطه ریزش	نقطه اشتعال	مرجع
منداب	۵۶/۹	۴۰۶۳۰	۵/۳ *(40°C)*	-۶		-۱۲	۸۶	آزمایش
کلزا	۵۴	۴۰۴۹۹	۶/۷ *(40°C)*	-۲		-۹	۸۴	*[۶]*
کتان	۵۱/۲	-	۶/۸ *(21°C)*	-		-۴	۱۱۰	*[۶]*
سویا	۴۶/۲	۳۹۸۰۰	۴/۰۸ *(40°C)*	۲		-۱	۱۷۱	*[۶]*
آفتابگردان	۴۶/۶	۳۹۸۰۰	۴/۲۲ *(40°C)*	۰		-۴	-	*[۶]*
گلرنگ	۴۹/۸	۴۰۰۶۰	-	-		-۶	۱۸۰	*[۶]*

جدول ۵-۲ مقایسه خصوصیات متیل استر منداب شتری و ترکیبات مختلف آن با سوخت دیزل مرسوم در ایران

خصوصیت	واحد	استاندارد ASTM	B_{00}	B_{20}	B_{40}	B_{60}	B_{80}	B_{100}
			ترکیبات مختلف سوخت					
چگالی	g/cm^3	D۴۰۵۲	۰/۸۳۹۳	۰/۸۴۶۸	۰/۸۵۴۹	۰/۸۶۲۷	۰/۸۷۰۸	۰/۸۷۷۵
وزن مخصوص	-	D۴۰۵۲	۰/۸۴۰۱	۰/۸۴۷۶	۰/۸۵۵۷	۰/۸۶۳۶	۰/۸۷۱۷	۰/۸۷۸۴
گرانروی سینماتیک (۴۰ درجه سانتیگراد)	Cst	D۴۴۶	۳/۰۹	۳/۴۷	۳/۹۰	۴/۲۴	۴/۸۱	۵/۳۰
گرانروی سینماتیک (۱۰۰ درجه سانتیگراد)	Cst	D۴۴۶	۱/۲۷	۱/۳۸	۱/۵۳	۱/۶۷	۱/۹	۲
نقطه اشتعال	°C	D۹۳	۶۱	۶۲	۶۴	۶۷	۷۵	۸۶
نقطه ابری شدن	°C	D۲۵۰۰	-۲	-۳	-۳	-۴	-۵	-۶
نقطه ریزش	°C	D۹۷	-۶	-۸	-۱۰	-۱۰	-۱۲	-۱۴
میزان گوگرد	%	D۲۶۲۲	۰/۷۰۹۶	۰/۵۴۷۶	۰/۴۱۹۱	۰/۲۳۶۱	۰/۱۶۳۱	۰/۰۳۵
ارزش حرارتی	KJ/Kg	D۲۴۰	۴۵۹۳۸	۴۴۷۰۶	۴۳۴۱۶	۴۲۵۶۱	۴۱۵۸۹	۴۰۶۳۰
محدوده تقطیر	°C	D۸۶	۱۶۴-۳۸۰	۱۵۶/۱-۳۸۰/۵	۱۶۱-۳۸۵	۱۶۲/۵-۳۸۲/۷	۱۶۲/۵-۳۷۸	۱۷۰/۸-۳۹۰
نقطه پایان تقطیر	%	D۸۶	۹۵/۵	۹۵/۴	۹۴/۳	۹۳	۹۰	۹۵
شاخص ستان	-	D۹۷۶	۵۰	۵۲	۵۴	۵۶	۵۶	۵۷
عدد اسیدی	MgKOH/gr	D۱۶۴						۰/۰۳۷
خاکستر	%	D۴۸۲						۰/۰۰۴
میزان کربن	%	D۱۸۹						۰/۰۱۹
میزان آب	PPM	کارل-فیشر						۷۱۵

جدول ۵-۲ مقادیر خصوصیات ترکیبات مختلف متیل استر منداب شتری در مقایسه با سوخت دیزل رایج در کشور را نشان میدهد.وزن مخصوص و چگالی با افزایش درصد سوخت گیاهی در سوخت ترکیبی، افزایش یافته است و این افزایش یک عامل محدود کننده در استفاده از سوختهای گیاهی است؛ به علت اینکه در درصدهای بالا این افزایش در نحوه پاشش اثر نامطلوب ایجاد می کند.

گرانروی سینماتیک با افزایش سهم بیودیزل، افزایش یافته است که این افزایش نیز عامل محدود کننده ای در کارکرد مناسب پمپ انژکتور می باشد و ممکن است در سیستم سوخت رسانی فشارهای فوق العاده زیادی را بوجود

آورد. تاثیر دیگر گرانروی زیاد، بر کیفیت پودر کردن سوخت در هنگام پاشش انژکتور است؛ به طوریکه انژکتورها دیگر قادر نخواهند بود عمل پودر شدن سوخت برای تبخیر و احتراق مناسب را فراهم آورند. بر طبق تحقیقات انجام

شده گرانروی مطلوب بین ۲ تا ۴ استوک مناسب می باشد؛ در نتیجه بدون استفاده از افزودنیها تا ۶۰درصد متیل استر روغن منداب می توان به سوخت ترکیبی اضافه کرد.

افزایش سهم متیل استر روغن منداب موجب افزایش نقطه اشتعال سوخت گردید که باعث بهبود ایمنی در حمل و نقل و نگهداری سوخت مورد بررسی می گردد.

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 ۱۳۰درصد دمای نقطه ریزش کاهش یافته است که تا حدی بهبود کیفیت سوخت را نشان میدهد. اما این کاهش تا حدی مطلوب است که مصرف عدد ستان پایین تر و یا فراریت بالاتر را موجب نشود.

مقدار گوگرد موجود در بیودیزل تولیدی به میزان قابل توجهی نسبت به سوخت دیزل رایج کم است و این موضوع یکی از مسائلی است که اهمیت استفاده از سوختهای گیاهی را دو چندان می کند. به طوریکه 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 ۱۱درصد 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 بدین ترتیب میتوان انتظار شاخص ستان بالاتری از *B100* در مقایسه با *B00* را داشت که محاسبه ستان نیز این افزایش را تائید میکند،به طوریکه شاخص ستان در *B100* در حدود ۱۲٪ بیشتر از سوخت دیزل رایج است و میتوان نتیجه گرفت که کیفیت سوختن در 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٪ کاهش داشته است و همچنین مقدار خاکستر نیز در حدود ۶۰٪ کاهش داشته است. این کاهش در افزایش طول عمر سیستم احتراق نقش بسزایی دارد، زیرا خاکستر حاوی رسوبات معدنی و اکسیدهای فلزی حل شده در سوخت است که مقدار زیاد آن در سوختهای مایع موجبات فرسودگی قسمتهای متحرک سیستم احتراق را فراهم می سازد.

۶- کاوش

بطور کلی با توجه به مقایسه بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ترکیبات مختلف متیل استر منداب شتری با سوخت دیزل مرسوم، 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. اما محدودیت هایی را نیز از نظر دیگرخواص فیزیکی سوخت از جمله افزایش وزن مخصوص، افزایش گرانروی و کاهش ارزش حرارتی ایجاد میکند که مانع استفاده از درصدهای بالای متیل استر منداب در ترکیب سوخت تولیدی می شود و هزینه های بالای سوختهای گیاهی به این موضوع اهمیت بیشتری می دهد. زیرا قیمت تمام شده برای مصرف کننده در استفاده از درصدهای بالای متیل استر منداب بیشتر است. در جهت کاهش هزینه، طبیعتا مصرف کنندگان تمایل به استفاده از درصد های ترکیبی کمتر اینگونه سوختها دارند . با توجه به این دو رویکرد متفاوت که یکی افزایش سهم متیل استر منداب و دیگری کاهش آنرا طلب می کند، راه حل منطقی استفاده از درصدهای پایین این سوخت در وضعیت موجود است که با توجه به آزمونهای انجام شده، ترکیب ۲۰ درصدی از متیل استر منداب با ۸۰ درصد سوخت گازوئیل، شباهت بیشتری به سوخت دیزل رایج

از لحاظ عوامل محدود کننده مطروحه دارد.همچنین استفاده از این ترکیب، میزان گوگرد موجود در سوخت را به مقدار ۲۲٪ نسبت به سوخت دیزل رایج کاهش می دهد و از لحاظ هزینه، فشار کمتری را به مصرف کننده وارد می کند بنابراین نسبت به سایر درصدهای ترکیبی ارجحیت دارد.

۷- توصیه و پیشنهادات

با توجه به نتایج این تحقیق، موارد زیر پیشنهاد میگردد:

- در جهت بالا بردن کیفیت سوخت بیو دیزل، از متیل استر اسیدهای چرب با توجه به خواص آنها، به صورت انتخابی و نه به صورت مخلوطی از تمامی آنها استفاده کرد.
- اثرات زیست محیطی آلاینده های ناشی از مصرف سوختهای گیاهی بررسی گردد.
- روشهای مختلف تولید استر از روغن های گیاهی و اثر هر کدام بر راندمان تولید و کیفیت سوخت بررسی گردد.

۸- منابع

۱- حشمت زاده، محمد باقر. ۱۳۷۹. ایران و نفت؛ جامعه شناسی سیاسی نفت در ایران(۷۵-۱۳۵۷). 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 میغانی، 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. Technologies Supporting the Adoption of Bio Diesel As an Alternative Fuel. The Cotton Gin and Oil Mill Press (2000).

8- Korbitz, W. In World Fuel Ethanol Congress (Beijing, China, 2001).

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

10- Ma, F. & Hanna, M. A. Bio Diesel Production: a Review. Bio Resource Technology 70, 1-15(1999).

11- Walsh, Mary and Hyperion. 1998. Use of Alternative Oil Seed Crops to Reduce Bio Diesel Production Costs. European Energy Crops.