



ارتقای استاندارد آلایندگی موتور OM355 با استفاده از سوخت زیست‌دیزل حاصل از روغن ضایعات مرغ

بهمن نجفی^{*۱}

^۱ دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، najafib@uma.ac.ir

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۵ آذر ۱۳۹۵

پذیرش: ۵ آذر ۱۳۹۶

کلیدواژه‌ها:

زیست‌دیزل

اتیل استر

روغن ضایعات مرغ

استاندارد آلایندگی موتور

چکیده

روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی مهم‌ترین منابع تولید سوخت زیست‌دیزل می‌باشند. در این تحقیق، سوخت زیست‌دیزل (اتیل استر) از چربی ضایعات مرغ تولید شد. و مهم‌ترین خواص ترموفیزیکی آن بر اساس استاندارد ASTM اندازه‌گیری شد. سوخت زیست‌دیزل با نسبت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد با گازوئیل مخلوط شد. آزمون‌های تجربی بر اساس استاندارد ۱۳ مود ECR-49 بر روی موتور دیزل OM355 EU2 انجام گرفت. نتایج نشان داد که خواص زیست‌دیزل حاصل از روغن ضایعات مرغ مطابق با استاندارد ASTM می‌باشد. ارزش حرارتی سوخت زیست‌دیزل حاصل از روغن مرغ، کمتر از گازوئیل است ولی چگالی، عدد ستان، دمای نقطه ابری شدن و دمای نقطه اشتعال آن بیشتر از گازوئیل است. اتیل استر چربی مرغ حاوی اولئات (C18=1)، لینولئات (C18=2)، استئارات (C16=0)، پالمیتات (C18=0)، لینولئات (C18=3) به ترتیب با ۳۸/۶، ۳۳/۸، ۱۹/۳، ۶/۱ و ۲/۲ درصد می‌باشد. مصرف سوخت ویژه نسبت به گازوئیل (در تمامی بارها) در دور ۱۵۰۰ بر دقیقه افزایش ولی در دور ۲۰۰۰ د.د. کاهش پیدا می‌کند. بطور کلی با استفاده از سوخت زیست‌دیزل در موتور دیزل OM355 EU2 انتشار آلایندگی UHC، CO و PM کاهش می‌یابد تا جایی که استفاده از سوخت B20 استاندارد آلایندگی HC، CO و PM موتور OM355 را از EU2 به EU3 ارتقا می‌دهد با استفاده از سوخت زیست‌دیزل انتشار آلایندگی NOx در مقایسه با گازوئیل افزایش می‌یابد ولی استفاده از سوخت B5 استاندارد آلایندگی NOx را بهبود می‌دهد.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

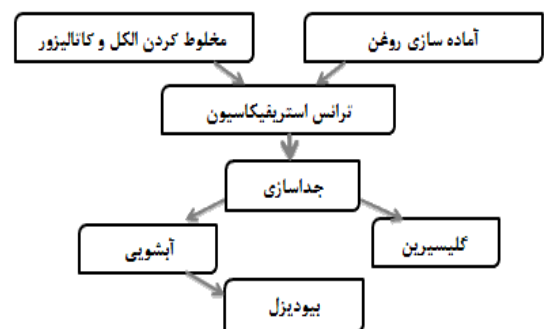


۱- مقدمه

سوخت بیودیزل را می‌توان از منابع زیستی مانند روغن‌ها و چربی‌های خوراکی یا غیرخوراکی مانند چربی ضایعات مرغ تولید کرد [۱]. تولید بیودیزل از چربی حاصل از ضایعات مرغ، کم هزینه می‌باشد و می‌تواند از آلودگی طبیعت جلوگیری نماید [۲]. اسیدهای چرب موجود در داخل روغن حاصل از ضایعات مرغ، نسبتاً بالا بوده و در حدود ۹،۱۰ درصد وزنی می‌باشد و لذا در تولید سوخت بیودیزل، مرحله‌ی استریفیکاسیون لازم نیست [۳،۴]. به علاوه، استفاده از روغن خوراکی برای تولید سوخت بیودیزل موجب افزایش قیمت آن شده و امنیت غذایی را تهدید می‌کند لذا تحقیقات بر روی استفاده از روغن‌های غیرخوراکی برای تولید بیودیزل انگیزه‌ی بیشتری پیدا کرده است [۵].

سوخت بیودیزل، سوختی تجدید شونده و زیست تخریب پذیر است و استفاده از آن موجب کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای (دی‌اکسید کربن، مونوکسید کربن، ذرات معلق، پلی‌آروماتیک‌ها، اکسیدهای گوگرد، هیدروکربن‌های نسوخته، دوده) و سر و صدا می‌شود [۴،۶]. مشکل اصلی در تولید و استفاده از بیودیزل در دسترس بودن مواد اولیه، فراوانی و قیمت آن است. تولید بیودیزل از روغن‌های خوراکی، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست [۷].

متداول‌ترین روش تولید بیودیزل، روش ترانس استریفیکاسیون می‌باشد. در این روش، یک الکل (متانول یا اتانول) در حضور یک کاتالیزور اسیدی یا بازی (هیدروکسید سدیم یا هیدروکسید پتاسیم) با مولکول‌های روغن واکنش داده، OH الکل جایگزین زنجیره‌ی هیدروکربنی موجود در مولکول‌های روغن می‌شود و در نتیجه استرهای با ساختمان مولکولی جدید به نام استرهای متیل یا اتیل اسید چرب ساخته می‌شود که بیودیزل نامیده می‌شود. گلیسرین نیز به عنوان محصول فرعی تولید می‌گردد. شکل ۱ فرآیند تولید سوخت بیودیزل را به روش ترانس استریفیکاسیون در نشان می‌دهد [۸].



شکل ۱: فرآیند تولید بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون

روغن کلزا در اروپا و روغن سویا در ایالات متحده آمریکا رایج‌ترین مواد اولیه برای تولید بیودیزل هستند. هزینه‌ی بالای تولید بیودیزل، عمده‌ترین نقص آن برای تجاری‌سازی است [۹]. روغن حاصل از چربی مرغ در مقایسه با روغن‌های گیاهی، ماده‌ی اولیه‌ی کم هزینه‌ای برای تولید بیودیزل است [۱۰،۱۱].

روغن حاصل از چربی مرغ حاوی مقدار قابل توجهی اسید چرب آزاد (FFA) می‌باشد. چربی با اسیدهای چرب آزاد بالا را نمی‌توان با استفاده از کاتالیزور قلیایی تبدیل به بیودیزل کرد زیرا اسیدهای چرب آزاد با کاتالیزور قلیایی واکنش داده و صابون تولید می‌شود و در نتیجه، صابون تولید شده از جدایی استر از گلیسرین و آب در مرحله‌ی آب‌شویی جلوگیری می‌کند [۱۲]. ولی استفاده از کاتالیزور اسیدی در تبدیل اسیدهای چرب آزاد به استر کاملاً موثر است [۷]. ایراد عمده‌ی استفاده از کاتالیزور اسیدی، تولید آب است [۱۳]. بعد از استفاده از کاتالیزور اسیدی می‌توان با یک کاتالیزور قلیایی، تری‌گلیسریدهای روغن را تبدیل به بیودیزل کرد [۱۴،۱۵].

برخی از محققان [۱۶،۱۷] اظهار داشتند که برای استفاده از کاتالیزور قلیایی در واکنش ترانس استریفیکاسیون، مواد اولیه نباید بیش از ۱ درصد اسیدهای چرب آزاد داشته باشد. با این حال، محققان دیگری تولید سوخت بیودیزل از چربی مرغ را که دارای اسیدهای چرب آزاد بالایی است، مورد مطالعه قرار دادند.

در تحقیقی ماتنگلی، از چربی مرغ با ۳،۲ درصد اسیدهای چرب آزاد بیودیزل، تولید کرد و نتیجه گرفت که برای تولید بیودیزل از چربی مرغ، نیاز به یک مرحله پیش‌واکنش است [۱۸]. باتی و همکاران [۱۹] عملکرد تولید بیودیزل از چربی مرغ را با استفاده از کاتالیزور اسیدسولفوریک به دست آوردند. در تحقیقی کندامودی و همکارانش [۱۰] از چربی مرغ و با استفاده از هیدروکسیدپتاسیم، بیودیزل تولید کردند که خواص آن متناسب با استاندارد ASTM بود.

سوخت‌های بیودیزل عمدتاً حاوی پنج نوع اتیل استر اسید چرب (پالمیتات، استئارات، اولئات، لینولات و لینولات) می‌باشند. مقدار هر یک از این اسیدهای چرب بر خواص ترموفیزیکی آن تاثیر می‌گذارد. جدول ۱ درصد اسیدهای چرب تشکیل دهنده‌ی انواع سوخت‌های بیودیزل را نشان می‌دهد. که بیشترین آن، مربوط به اولئات (C18=1) با ۶،۳۸ درصد و کمترین آن، مربوط به لینولات (C18=3) با ۲،۲ درصد است. وجود اسیدهای چرب اشباع استئارات (C16=0) و پالمیتات (C18=0)، تاثیر بیشتری بر تولید توان موتور دارند، ولی اسیدهای چرب غیراشباع اولئات (C18=1)، لینولات (C18=2) و لینولات (C18=3) تاثیر کمتری دارند. تولید سوخت بیودیزل از روغن‌هایی که اسیدهای چرب اشباع بیشتر و اسیدهای چرب غیراشباع کمتری دارند، می‌تواند موجب افزایش توان ترمزی تولیدشده موتور شود [۲۰،۲۱].

تحقیقات زیادی در خصوص تاثیر استفاده از سوخت بیودیزل و مخلوط آن با برعملکرد و آلاینده‌ی موتور دیزل انجام شده است. تحقیقات نشان می‌دهد که توان و گشتاور موتور با استفاده از سوخت بیودیزل خالص، کاهش می‌یابد ولی مصرف ویژه‌ی سوخت افزایش می‌یابد دلیل آن را ویسکوزیته‌ی بالا و ارزش حرارتی کمتر سوخت بیودیزل ذکر کرده‌اند. بیودیزل ارزش حرارتی کمتری نسبت به گازوئیل دارد و لذا برای جبران آن، سوخت بیودیزل بیشتری مصرف می‌شود البته بعضی از

بیودیزل نسبت به سوخت دیزل، موجب احتراق کاملتری می‌شود و در نتیجه آلایندگی CO کمتری در مقایسه با سوخت دیزل خالص تولید می‌شود [۳۰-۳۲، ۲۷، ۲۸، ۲۳]. کرال، کاهشی حدود ۵۰ درصد در آلایندگی CO بیودیزل حاصل از کلزا، به دست آورد [۴۸]. رحمان و فدرتری، در تحقیقی دریافتند که محدوده کاهش آلایندگی CO برای متیل استر کارانجا تا ۹۴ درصد می‌باشد [۲۵]. اوزسزن کاهش آلایندگی CO را با استفاده از بیودیزل از ۸۹،۸۶ درصد تا ۶۸،۷۲ درصد به دست آورد [۳۲]. نتایج تحقیقات محققین نشان می‌دهد که با استفاده از بیودیزل خالص به جای سوخت دیزل، آلایندگی UHC کاهش قابل توجهی می‌یابد [۳۴-۳۶، ۲۹، ۲۷، ۲۶]. به عنوان مثال؛ وو، با بررسی پنج نوع بیودیزل مختلف اعلام کرد که آلایندگی UHC را حدود ۴۵ تا ۶۷ درصد در مقایسه با سوخت دیزل کاهش داد [۵۱]. پوهن گزارش داد که آلایندگی UHC بیودیزل، حدود ۶۳ درصد در مقایسه با دیزل کاهش می‌یابد [۳۱]. لین دریافت که برای هشت نوع سوخت بیودیزل، آلایندگی UHC در محدوده ۴۷،۲۲ درصد تا ۱۵،۳۳ درصد کاهش می‌یابد [۳۵] و ساهو، روی تراکتور سه سیلندر طی آزمون‌های هشت مود، بیودیزل‌های جاتروفا، کارانجا و پولنگا و مخلوط‌های آنها را با سوخت دیزل مقایسه کرد و گزارش داد که آلایندگی UHC برای بیودیزل‌های خالص جاتروفا، کارانجا و پولنگا نسبت به سوخت دیزل، به ترتیب ۷۳،۲۰ درصد، ۶۴،۲۰ درصد و ۷۵،۶ درصد کاهش می‌یابد [۴۹].

تعدادی از محققان بر روی آلایندگی CO₂ ناشی از استفاده بیودیزل مطالعه کردند و گزارش دادند که انتشار آلایندگی CO₂ در حدود 23 درصد افزایش می‌یابد [۳۱، ۳۹، ۴۶، ۵]. این رفتار به دلیل احتراق کاملتر سوخت بیودیزل است. البته در مقاله‌ی [۵۲] اشاره شده که در مورد بیودیزل، آلایندگی دی‌اکسیدکربن بالاتر است، ولی به دلیل اینکه میزان دی‌اکسیدکربن تولید شده می‌تواند در طبیعت صرف تولید دانه‌های روغنی برای تولید بیودیزل شود لذا انتشار دی‌اکسیدکربن نسبت به منوکسیدکربن کمتر موجب نگرانی است. درحالی‌که در یکی از مراجع [۳۸] تأثیر بیودیزل را با توجه به چرخه طبیعی دی‌اکسیدکربن ارزیابی کرده و گزارش داد که بیودیزل ۵۰ تا ۸۰ درصد آلایندگی‌های CO₂ را در مقایسه با سوخت دیزل کاهش می‌دهد.

با توجه به اینکه قیمت ضایعات مرغ نسبت به روغن‌های گیاهی در ایران کمتر است، فلذا یکی از مواد اولیه و بالقوه‌ای برای تولید سوخت بیودیزل می‌باشد. در این تحقیق سوخت بیودیزل (اتیل استر) از چربی ضایعات مرغ تولید شده و تأثیر آن بر عملکرد و آلایندگی موتور OM355 بررسی شد و با استاندارد آلایندگی EUROII مقایسه گردید.

۲- مواد و روش‌ها

تولید سوخت بیودیزل

ابتدا با حرارت دادن غیر مستقیم به ضایعات مرغ، چربی آن استخراج شد. روغن‌گیری در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد انجام گرفت، تقریباً ۴۲

نویسندگان [۲۶-۲۲] دلیل افزایش مصرف سوخت را، فقط به چگالی بیشتر سوخت بیودیزل که باعث پاشش مقدار جرمی بیشتری برای همان حجم در همان فشار پاشش می‌شود، ربط داده‌اند [۳۱-۲۷]. این موضوع می‌تواند به نسبت هم‌ارزی سوخت بیودیزل نیز مرتبط باشد. همچنین تحقیقات زیادی در مورد انتشار آلایندگی‌های ناشی از مصرف سوخت بیودیزل، انجام شده است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که با مصرف سوخت بیودیزل انتشار آلایندگی PM در مقایسه با دیزل به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. علت کاهش آلایندگی PM سوخت بیودیزل، محتوای اکسیژن سوخت بیودیزل است [۲۵، ۲۷، ۲۸، ۴۶-۳۲]. همچنین، نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از بیودیزل خالص موجب افزایش آلایندگی‌های NOx می‌شود [۲۷، ۳۲، ۳۴، ۴۷-۴۵]. به عنوان مثال، اوزسزن، در تحقیقی دریافت که آلایندگی NOx با استفاده از سوخت بیودیزل ۶،۴۸ درصد تا ۱۳،۲۲ درصد افزایش می‌یابد [۳۲]. در تحقیقی توسط نابی، مشخص شد که با استفاده از سوخت بیودیزل در بار کامل آلایندگی NOx تا ۱۵ درصد افزایش می‌یابد [۴۷]. لین، هشت نوع بیودیزل متیل استر روغن گیاهی را با هم مقایسه کرد و مشاهده کرد که با استفاده از سوخت بیودیزل، آلایندگی NOx، در مقایسه با سوخت دیزل به اندازه‌ی ۵۸،۵ درصد تا ۹۷،۲۵ افزایش می‌یابد [۳۵].

جدول ۱: اسیدهای چرب موجود در سوخت‌های بیودیزل [۲۳]

روغن پایه	درصد جرمی اسیدهای چرب				
	C18=3	C18=2	C18=1	C18=0	C16=0
آفتاب گردان	3/0≥	75-55	35-14	10-1	14-7
کلزا	23-5	23-11	66-50	1/2-9/0	6-5/2
سویا	10-5/5	57-50	26-18	5/5-3	14-7
ذرت	2≥	62-32	42-44	4-5/0	14-9
زیتون	5/1-0	20-5/3	83-56	5/3-5/0	20-5/7
هسته انگور	1≥	78-58	28-12	6-3	11-5/5
بادام زمینی	3/0≥	45-13	72-36	5/6-3/1	16-6
گلرنگ	1≥	81-55	42-7	10-1	10-2
کنجد	1≥	50-35	50-35	6-5/3	12-7
پالم	5/1≥	14-5	52-27	8-5/1	59-32
گرچک	2/0	7/3-4/3	33-2/3	2/1-7/0	10-3
کتان	1/2-1/0	59-33	44-13	4-1	31-17

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که با استفاده از بیودیزل، انتشار آلایندگی CO در مقایسه با سوخت دیزل کاهش می‌یابد، زیرا اکسیژن موجود در ساختار سوخت بیودیزل و همچنین نسبت کربن به هیدروژن کمتر در

استفاده از دستگاه چگالی سنج دیجیتال مدل DA-130N طبق استاندارد ASTM D4052، در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد. دقت اندازه‌گیری دستگاه $0.001 \text{ g/cm}^3 \pm$ و محدوده‌ی اندازه‌گیری آن ۱ تا ۲۰۰۰ g/cm^3 بود. اندازه‌گیری ویسکوزیته سوخت بیودیزل بر اساس استاندارد ASTM D445 در 40°C و با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد مدل DV-II Prime انجام گرفت. ارزش حرارتی سوخت، مطابق استاندارد ASTM D240، به وسیله بمب کالریمتر ساخت شرکت Par آمریکا اندازه‌گیری شد. عدد ستان بر اساس استاندارد ASTM D 613 با استفاده از موتور ستان سنج CFR اندازه‌گیری شد. درصد وزنی هر یک از اتیل استر اسیدهای چرب سوخت بیودیزل به روش کروماتوگرافی گازی (Gas Chromatography) با استفاده از دستگاه GC-Mass بر اساس استاندارد ASTM D6584 اندازه‌گیری شد. نقطه ابری شدن مطابق استاندارد ASTM D5773 و نقطه اشتعال به روش فنجان باز و مطابق با استاندارد ASTM D93 انجام شد [۵۳].



شکل ۲: مراحل تولید بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون

روش و استاندارد آزمون موتور

آزمون‌های موتور بر اساس استاندارد ۱۳ مد ECE R-49 انجام گرفت [۵۴]. آزمون‌ها در پنج حالت بارگذاری جزئی ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ درصد و یک حالت تمام بار، در دو دور موتور ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ د.د.د. متناظر با دور حداکثر گشتاور و حداکثر توان انجام گرفت. مطابق استاندارد جدول ۲، سه حالت بدون بار نیز مورد آزمون قرار گرفتند.

جدول ۲: ضرایب وزنی استاندارد ECE R-49 [۵۵]

مود آزمون (i)	بار (%)	سرعت موتور	ضریب وزنی (w)
1	-	بدون بار	یک سوم 25/0
2	10	سرعت متناسب با حداکثر گشتاور (۱۵۰۰ د.د.د.)	08/0
3	25		08/0
4	50		08/0
5	75		08/0
6	100		25/0
7	-	بدون بار	یک سوم 25/0
8	100	سرعت متناسب با حداکثر توان (۲۰۰۰ د.د.د.)	10/0
9	75		02/0
10	50		02/0
11	25		02/0
12	10		02/0
13	-		بدون بار

درصد ضایعات مرغ را آب و ۱۴ درصد آن را تفاله و مواد جامد تشکیل می‌دهد. ابتدا مقدار اسید چرب آزاد روغن مرغ به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. برای این کار ۱ سی سی روغن مرغ را در ۱۰ سی سی سالکل دو پروپانول ۹۹ درصد و یک گرم سود در یک لیتر آب مقطر حل گردید. در داخل محلول الکل با روغن، یک یا دو قطره شناساگر فنل فتالین اضافه شد. به آرامی محلول قلیایی هیدروکسید سدیم (سود) توسط بورت به محلول روغن، اضافه شده و با هر قطره، محلول روغن به آرامی به هم زده می‌شد. این کار تا زمانی که رنگ شناساگر به رنگ نشان دهنده وضعیت خنثی (ارغوانی) برسد، ادامه یافت. در نهایت تعداد میلی لیترهای محلول هیدروکسید سدیم استفاده شده، نشان دهنده مقدار گرم کاتالیزور (هیدروکسید سدیم) برای هر لیتر روغن مرغ می‌باشد. پس از انجام تیتراسیون، برای خنثی سازی روغن مقدار مورد نیاز هیدروکسید سدیم، به آن افزوده شد.

سپس سوخت بیودیزل از روغن ضایعات مرغ، به روش ترانس استریفیکاسیون و با استفاده از الکل اتانول مطلق ۹۹.۷ درصد و کاتالیزور هیدروکسید سدیم تولید شد. در واکنش ترانس استریفیکاسیون، ابتدا روغن تا دمای ۶۰ درجه حرارت داده شد و در ظرفی جداگانه الکل اتانول به نسبت مولی ۶ به ۱ با روغن به همراه کاتالیزور هیدروکسید سدیم ۱ درصد وزن روغن اولیه، نیز تا دمای ۶۰ درجه حرارت داده شد. زمانی که دمای روغن و اتوکسید سدیم (الکل اتانول و هیدروکسید سدیم) به ۶۰ درجه رسیدند، اتوکسید به روغن افزوده شد. محلول اتوکسید و روغن به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۶۰ درجه نگه داشته شد. محلول با استفاده از یک همزن مکانیکی با سرعت ۶۰۰ د.د.د. به هم زده شد. پس از تکمیل مرحله واکنش، محلول به مدت ۲۴ ساعت رها شد تا به آرامی به دمای محیط رسید. برای خنثی سازی محلول، از اسید کلریک ۴۶ درصد به نسبت حجمی ۱۲ درصد حجم روغن اولیه استفاده شد. پس از گذشت چهار تا پنج ساعت، محلول به صورت دو فاز مجزا تفکیک شدند. فاز بالایی اتیل استر ناخالص و در فاز پایینی رسوبات نمک قرار گرفتند. برای حذف ناخالصی‌ها، ابتدا محلول از کاغذ صافی عبور داده شد و سپس برای جداسازی الکل و گلیسرین، آب شویی شدند. فرآیند آب شویی به آرامی و با آب مقطر گرم با دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و هم حجم با محلول انجام شد. نتیجه این کار، حل شدن الکل و گلیسرین در آب مقطر بود. برای رسیدن به اتیل استر خالص تر، سه بار آب شویی انجام شد. بعد از هر مرحله آب شویی، محلول به مدت زمان ۲۴ ساعت رها می‌شد تا به صورت ثقیلی، دو فاز اتیل استریودیزل و محلول آب شستشو (آب مقطر، الکل اضافی، گلیسرین، مواد صابونی و نمک) از هم جدا شوند (شکل ۲).

اندازه‌گیری خواص ترموفیزیکی سوخت بیودیزل

برای اطمینان از کیفیت بیودیزل تولید شده از روغن ضایعات مرغ، دانسیته، ویسکوزیته، ارزش حرارتی، نقطه‌ی اشتعال و نقطه‌ی ابری شدن آن بر مبنای استانداردهای ASTM اندازه‌گیری شد. چگالی با

از آگروز دی اکسید کربن (CO₂)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، هیدروکربن های نسوخته (UHC) و دوده^۱ اندازه گیری و یادداشت شدند.

سپس موتور تحت بار قرار گرفت تا جایی که در دور ثابت ۱۵۰۰ د.د.د، بار اعمال شده به موتور برابر ۱۰ درصد بار نهایی شد. در این حالت نیز تمامی داده های مربوط یادداشت شد. این کار برای بارهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ عیناً تکرار شد. در پایان آزمون دور ثابت ۱۵۰۰ د.د.د، دوباره موتور در شرایط بدون بار قرار گرفت. در ادامه آزمون ها در دور ثابت ۲۰۰۰ د.د.د و بارهای مختلف تکرار شدند و در نهایت دوباره موتور در شرایط بدون بار قرار گرفت. شکل ۳ موتور و تجهیزات استفاده شده در آزمایش ها را نشان می دهد.



شکل ۳: موتور و تجهیزات استفاده شده در آزمایش ها

با توجه به اینکه گازهای آلاینده ای آگروز بر حسب (ppm) یا درصد حجمی اندازه گیری می شوند ولی استانداردهای آلاینده ای، آن ها را بر حسب آلاینده ای مخصوص (g/kWh) بیان می کنند لذا لازم است تا غلظت گازهای خروجی از آگروز بر حسب واحد استاندارد تبدیل شوند. در این تحقیق برای تبدیل واحد NO_x و UHC از ppm به g/kWh، رابطه زیر استفاده شد [۵۶].

$$[NOx]_{(g/kWh)} = [NOx]_{(ppm)} \times \frac{\dot{m}_{EX}}{P_b \times 10^6} \quad (۱)$$

که در آن توان ترمزی موتور (kW) می باشد \dot{m}_{EX} دبی جرمی گازهای خروجی آگروز (g/h) برابر با مجموع دبی جرمی هوای و سوخت ورودی است ($\dot{m}_{EX} = \dot{m}_A + \dot{m}_F$). از نشتی گازها^۲ صرف نظر شده است. در هر آزمون، نسبت هوای اضافی λ به طور مستقیم با استفاده از آلاینده سنج AVL مدل Ditest4000 با دقت ۰،۰۰۱ اندازه گیری شد. دبی جرمی سوخت \dot{m}_F بر حسب (g/h) نیز به طور تجربی اندازه گیری شد، در نتیجه دبی جرمی هوای ورودی \dot{m}_A از رابطه $\dot{m}_A = \dot{m}_F \times AFR_{st} \times \lambda$ محاسبه شد و دبی جرمی گازهای خروجی (g/h) از رابطه $\dot{m}_{EX} = \dot{m}_F (1 + AFR_{st} \times \lambda)$ به دست آمد. نسبت هوا به سوخت استوکیومتریک (AFR_{st}) نیز از یک رابطه احتراق عمومی به دست آمد:

سوخت بیودیزل تولید شده از روغن ضایعات مرغ با نسبت های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی با گازوئیل مخلوط شدند (B5، B10، B15 و B20) و از سوخت گازوئیل خالص به عنوان شاهد استفاده گردید (B0). نمونه های سوخت، بر روی موتور دیزل شش سیلندر مدل OM355-EU2، شرکت موتورسازان ایدم مورد آزمایش قرار گرفتند. جدول ۳ مشخصات موتور مورد آزمایش را نشان می دهد.

جدول ۳: مشخصات موتور مورد آزمایش (OM-355)

کارخانه سازنده	ایدم تبریز-ایران
نوع موتور	دیزل، شش سیلندر، خطی
حجم جابجایی	۱۱،۵۸ لیتر
نسبت تراکم	۱ : ۱۶،۸۲
قطر سیلندر	۱۲۸ میلی متر
کورس پیستون	۱۵۰ میلی متر
بیشینه توان	۲۴۰ اسب بخار در ۲۲۰۰ د.د.د
بیشینه گشتاور	۸۲۰ نیوتن متر در ۱۵۰۰ د.د.د
استاندارد آلاینده ای	یورو ۲

برای اندازه گیری گشتاور از دینامومتر الکترومغناطیسی ادی کارنت مدل E400 با دقت اندازه گیری گشتاور ۲N.m و ثابت نگه داشتن دور موتور با دقت ۵ د.د.د استفاده شد و برای اندازه گیری میزان گازهای خروجی موتور از آلاینده سنج AVL مدل Ditest 4000 استفاده شد. برای اندازه گیری دمای گازهای خروجی موتور نیز از دماسنج PT-100 استفاده شد. مصرف سوخت نیز با استفاده از دبی سنج دیجیتالی با دقت ۰،۱kg/h، اندازه گیری شد. جدول ۴ دقت و محدوده ای اندازه گیری تجهیزات استفاده شده را نشان می دهد.

جدول ۴: دقت و محدوده اندازه گیری تجهیزات مورد استفاده

محدوده اندازه گیری	دقت اندازه گیری	
۱-۱۰ درصد حجمی	۰،۰۱ درصد حجمی	CO
۰-۲۰ درصد حجمی	۰،۱ درصد حجمی	CO ₂
۰-۲۰۰۰ ppm	۱ ppm	HC
۱-۵۰۰۰ ppm	۱ ppm	NO _x
۰-۱۰۰ درصد حجمی	۰،۱ درصد حجمی	soot

در آزمون های تجربی، ابتدا موتور با سوخت گازوئیل روشن شده و در شرایط تمام بار قرار داده شد تا کاملاً گرم شود. سپس گازوئیل مخزن خالی شد و نمونه ای سوخت B5 به مخزن ریخته شد و آزمون در شرایط بدون بار شروع شد. در این حالت تمامی داده های مربوط به توان ترمزی، گشتاور، دمای گازهای خروجی، مصرف ویژه سوخت، گازهای خروجی

² Blowby

¹ Soot

۳- بحث و نتیجه گیری

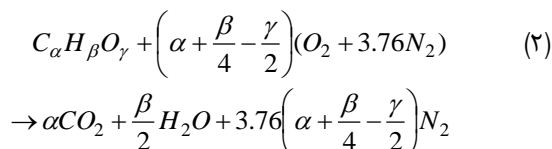
خواص ترموفیزیکی بیودیزل حاصل از روغن مرغ

خواص سوخت بیودیزل حاصل از روغن ضایعات مرغ و مخلوط‌های آن با گازوئیل در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیودیزل حاصل از روغن ضایعات مرغ مطابق با استاندارد ASTM می‌باشد. بنابراین، به طور اطمینان بخش می‌توان از این سوخت در موتور دیزل استفاده نمود. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان بیودیزل در مخلوط سوخت، دانسیته و ویسکوزیته مخلوط افزایش می‌یابد؛ که علت آن وجود زنجیره‌های هیدروکربنی طولی در ساختار بیودیزل می‌باشد. دانسیته و ویسکوزیته بالای سوخت، امکان اتمیزه شدن کامل سوخت را کاهش می‌دهد. ارزش حرارتی سوخت بیودیزل خالص حاصل از روغن مرغ، کمتر از گازوئیل است لذا با افزایش میزان سهم بیودیزل در مخلوط سوخت بیودیزل و گازوئیل، ارزش حرارتی مخلوط نیز کاهش می‌یابد. ارزش حرارتی پایین موجب کاهش توان موتور شود و عدد ستان بالای سوخت بیودیزل باعث کاهش تاخیر در اشتعال و بهبود کیفیت احتراق می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که عدد ستان مخلوط سوخت بیودیزل و گازوئیل با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط سوخت، افزایش می‌یابد. با افزایش سهم بیودیزل مخلوط سوخت، دمای نقطه ابری شدن و دمای نقطه اشتعال افزایش پیدا می‌کند. نقطه ابری شدن سوخت بیودیزل حاصل از روغن ضایعات مرغ، به دلیل داشتن اسیدهای چرب اشباع، مقدار بالایی دارد که باعث محدودیت در استفاده از این سوخت در مناطق سردسیر نسبت به سوخت گازوئیل می‌شود. بالا بودن دمای نقطه اشتعال، موجب افزایش ایمنی در ذخیره‌سازی و حمل و نقل سوخت می‌شود.

جدول ۴: خواص سوخت بیودیزل و گازوئیل و مخلوط‌های آنها

مخلوط سوخت	ویسکوزیته (mm ² /s)	ارزش حرارتی (MJ/kg)	عدد ستان	نقطه ابری (°C)	نقطه اشتعال (°C)
گازوئیل	81/2	57/42	3/57	2	5/81
B5	89/2	4/42	5/57	2/1	84
B10	44/3	2/42	8/57	4/0	2/88
B15	55/3	1/42	58	8/0	5/91
B20	55/3	9/41	3/58	8/0	5/91
بیودیزل	85/5	32/39	1/62	4	130

نتایج آزمون کروماتوگرافی گازی نشان می‌دهد که در ساختار سوخت بیودیزل حاصل از روغن ضایعات مرغ، بیشترین اسیدهای چرب مربوط به اولئات (C18=1)، لینولئات (C18=2)، استئارات (C16=0)، پالمیتات (C18=0)، لینولئات (C18=3) به ترتیب با ۳۸،۳۳، ۱۹،۳، ۶،۱ و ۲،۲ درصد جرمی می‌باشد. با مقایسه اسیدهای چرب تشکیل دهنده روغن حاصل از ضایعات مرغ با دیگر انواع روغن



$$\alpha = 17.614B + 14.4(1-B), \beta = 39.972B + 24.9(1-B), \gamma = 2B \text{ می‌باشند.}$$

با توجه به نتایج آزمون کروماتوگرافی سوخت بیودیزل مقدار کربن، هیدروژن و اکسیژن موجود در سوخت بیودیزل به ترتیب برابر ۱۷،۶۱۴، ۳۲،۲۷۹ و ۲ به دست آمد در نتیجه فرمول شیمیایی کلی سوخت بیودیزل به صورت $C_{17.614}H_{32.972}O_2$ بیان می‌شود. فرمول شیمیایی سوخت گازوئیل نیز $C_{14.4}H_{24.9}$ می‌باشد. لذا با توجه به درصد سوخت بیودیزل موجود در مخلوط (B)، فرمول مخلوط سوخت بیودیزل و گازوئیل موجود در مخلوط (B)، $C_{17.614B+14.4(1-B)}H_{32.972B+24.9(1-B)}O_{2B}$ به دست آمد. در نتیجه مقادیر AFR_{sr} برای سوخت‌های، B0، B5، B10، B15 و B20 به ترتیب برابر ۱۴،۳۲۱، ۱۴،۲۲۱، ۱۴،۰۸۲ و ۱۳،۹۴۴ محاسبه شدند. همچنین برای تبدیل واحد آلاینده‌های CO، CO₂ و Soot از %Vol به (g/kWh)، از رابطه زیر استفاده شد [۵۷]:

$$[CO_2]_{(g/kWh)} = [CO_2]_{(\%Vol)} \times \frac{\dot{V}_{EX}}{P_b} \times \frac{M_{CO_2}}{V_m \times 10^3} \quad (3)$$

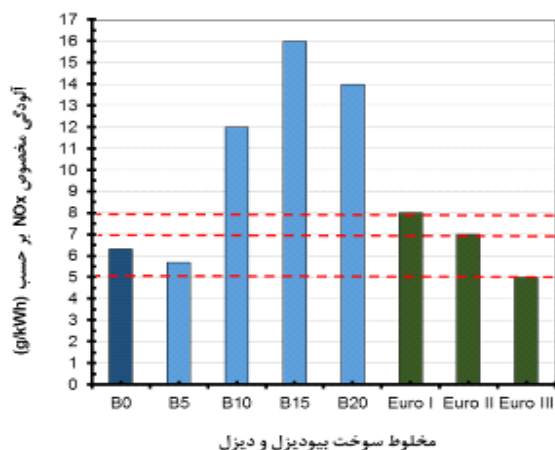
که P_b توان ترمزی موتور (kW) است و $M_{CO_2} = 48 \text{ g/mol}$ ، $V_m = 22.4 \text{ l/mol}$ در شرایط دما و فشار استاندارد می‌باشد، و \dot{V}_{EX} دبی حجمی گازهای خروجی از آگروز برحسب m^3/h است که از رابطه ۴ محاسبه می‌شود [۵۷].

$$\dot{V}_{EX} = \dot{m}_F \left(\frac{1 + AFR_{sr}}{\rho_{burned_gas}} + \frac{(\lambda - 1)AFR_{sr}}{\rho_{air}} \right) \quad (4)$$

که ρ_{burned_gas} دانسیته گازهای سوخته شده می‌باشد. هر چند چگالی گازهای خروجی از آگروز تابعی از دما و فشار در خروجی آگروز است ولی در شرایط مخلوط استوکیومتری، تقریباً برابر 1.23 kg/m^3 فرض می‌شود [۵۷] و ρ_{air} دانسیته هوا در شرایط استاندارد می‌باشد که با استفاده از رابطه گاز ایده‌ال برابر 1.193 kg/m^3 محاسبه شد. میزان انتشار آلاینده‌ی مخصوص هر یک از گازها، مطابق استاندارد ECE R-49 به صورت رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$total[NOx]_{(g/kWh)} = \sum_{i=1}^{13} [NOx]_{(g/kWh)i} \times w_i \quad (5)$$

که $total[NOx]_{(g/kWh)}$ کل آلاینده مخصوص، $[NOx]_{(g/kWh)i}$ آلاینده مخصوص در مود i ام و w_i ضریب وزنی مود i ام مطابق استاندارد ECE R-49 می‌باشد.



شکل ۴: تاثیر بیودیزل بر آلاینده‌های مخصوص اکسیدهای نیتروژن

انتشار BSUHC (g/kW.h)

با توجه به اینکه فرآیند احتراق در موتورها با سرعت بالایی انجام می‌شود لذا امکان احتراق کامل سوخت وجود نداشته و مقدار کمی از سوخت در احتراق شرکت نمی‌کند و به صورت هیدروکربن‌های نسوخته‌ی گازی شکل در آگروز ظاهر می‌شود. در موتورهای دیزل، احتراق با تزریق سوخت به داخل هوای فشرده صورت می‌گیرد که اگر فشار تزریق در حدی نباشد که مولکول‌های سوخت را در داخل هوای فشرده اتمیزه سازد، مقداری از سوخت در فرآیند احتراق شرکت نکرده و به صورت دست نخورده باقی می‌ماند که این عمل علاوه بر ایجاد آلودگی، بازده حرارتی موتور را نیز کاهش می‌دهد.

همچنین مقدار UHC موتورهای دیزل، علاوه بر به خواص ترموفیزیکی سوخت مانند ویسکوزیته، دانسیته و عددستان، به ساختار شیمیایی آن نیز بستگی دارد. وجود اکسیژن در ساختار شیمیایی سوخت بیودیزل، موجب احتراق کامل‌تر سوخت می‌شود و در نتیجه میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته کاهش می‌یابد. همچنین عدد ستان سوخت بیودیزل بیشتر از گازوئیل است و موجب کاهش تاخیر در اشتعال و کاهش انتشار آلاینده‌ی UHC می‌شود [۳۸،۳۶،۲۷،۲۲]. نتایج این تحقیق نشان داد که آلاینده UHC با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط، کاهش می‌یابد، که با نتایج تحقیق [۳۱] کاملاً مطابقت دارد. تمامی سوخت‌های حاوی بیودیزل استاندارد آلاینده‌ی EUROII را پوشش می‌دهند و سوخت B20 استاندارد آلاینده‌ی UHC موتور OM355 را از EUROII به EUROIII ارتقا می‌دهد (شکل ۵).

انتشار BSCO (g/kW.h)

وجود اکسیژن در سوخت بیودیزل، موجب احتراق کامل‌تر آن می‌شود و علاوه بر آن، سوخت بیودیزل دارای عدد ستان بیشتری نسبت به گازوئیل است، بالا بودن عدد ستان منجر به کاهش تشکیل منطقه غنی سوخت شده و آلاینده CO کاهش می‌یابد [۵۱،۴۰]. همچنین محتوای

(جدول ۱)، مشاهده می‌شود که در ترکیبات روغن ضایعات مرغ، در محدوده‌ی هیچ یک از روغن‌های دیگر قرار ندارد [۵۸].

با توجه به درصد استرهای موجود در سوخت بیودیزل، فرمول هر یک از اسیدهای چرب، یک فرمول کلی به صورت $C_{17.614}H_{32.972}O_2$ برای بیودیزل حاصل از روغن ضایعات مرغ محاسبه شد. ولی هیدروکربن‌های موجود در سوخت گازوئیل متداول در محدوده $C_{10}H_{20}$ به $C_{15}H_{28}$ قرار دارد که متوسط فرمول شیمیایی آن می‌باشد [۵۹].

مصرف سوخت ویژه BSFC (g/kW.h)

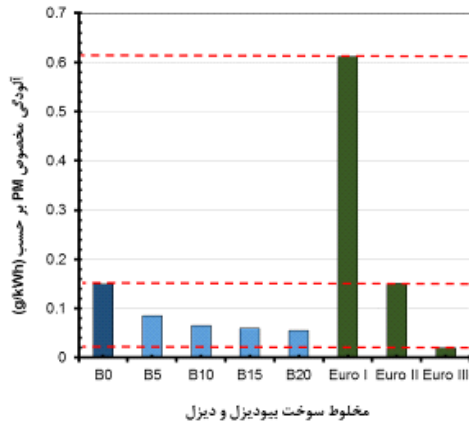
در دور ۱۵۰۰ د.د.د با افزایش سهم سوخت بیودیزل در مخلوط سوخت‌ها، مقدار مصرف سوخت ویژه در تمامی بارها، نسبت به گازوئیل افزایش پیدا می‌کند. با استناد به ادبیات حاکم بر فن، دلیل آن را می‌توان در ارزش حرارتی پایین، ویسکوزیته‌ی بالا و اتمیزه نشدن کامل سوخت بیودیزل نسبت به گازوئیل، دانست [۲۶-۲۲].

در دور ۲۰۰۰ د.د.د با افزایش سهم سوخت بیودیزل، مقدار مصرف سوخت ویژه در تمامی بارها، نسبت به گازوئیل کاهش پیدا می‌کند. در شرایط استفاده از سوخت گازوئیل، وقتی سرعت دورانی موتور بیشتر است، بازده حجمی موتور کاهش می‌یابد فلذا هوای کافی در برای احتراق کامل وجود نداشته و احتراق ناقص صورت می‌گیرد و در نتیجه مصرف سوخت ویژه افزایش می‌یابد. ولی وقتی از سوخت بیودیزل استفاده می‌شود، به دلیل اینکه بیودیزل حاوی ۱۲ درصد اکسیژن در ساختار خود است، لذا همواره اکسیژن بیشتری نسبت به استفاده از سوخت گازوئیل و در شرایط یکسان، در محفظه‌ی احتراق وجود داشته و احتراق کامل‌تری صورت می‌گیرد و در نتیجه مصرف سوخت ویژه، کاهش می‌یابد.

انتشار BSNOx (g/kW.h)

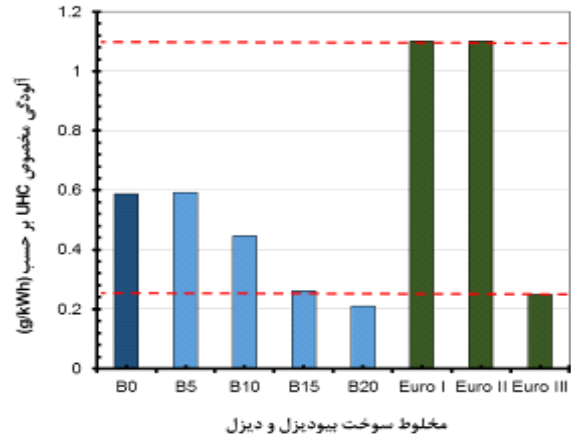
مطالعات نشان می‌دهد که تشکیل آلاینده‌ی NOx در موتور، در دماهای بالا و در صورت وجود اکسیژن کافی در محیط، تولید می‌شود. همان طوری که قبلاً اشاره شد، سوخت بیودیزل در ساختار شیمیایی خود حاوی اکسیژن است، فلذا موقع احتراق اکسیژن بیشتری نسبت به احتراق سوخت گازوئیل در محیط وجود خواهد داشت که این امر موجب می‌شود تا میزان اکسیدهای نیتروژن زیادتری تولید شود. نتایج این تحقیق نشان داد با استفاده از سوخت بیودیزل در درصدهای بالا، میزان اکسیدهای نیتروژن بیشتری تولید می‌شود و موتور استاندارد آلاینده‌ی EURO را پوشش نمی‌دهد. ولی با استفاده از سوخت بیودیزل در درصدهای پایین مانند سوخت B5، میزان انتشار NOx در مقایسه با گازوئیل کاهش می‌یابد و نه تنها استاندارد آلاینده‌ی EUROII را پوشش می‌دهد بلکه در جهت ارتقای آن تا EUROIII نیز پیش می‌رود (شکل ۴).

از سوخت گازوئیل می‌باشد. از طرف دیگر، با توجه به اینکه برای تشکیل دوده و ذرات معلق، مدت زمان بیشتری لازم است [۳۲] لذا تولید ذرات معلق در نمونه سوخته‌های حاوی سوخت بیودیزل، نسبت به سوخت گازوئیل خالص، کاهش می‌یابد. همچنین به دلیل وجود اکسیژن در ترکیب شیمیایی سوخت بیودیزل، موجب احتراق کاملتر آن شده و آلاینده PM کمتری تولید می‌شود [۶۰].



شکل ۷: تاثیر بیودیزل بر آلاینده‌ی مخصوص ذرات معلق

کربن کمتر سوخت بیودیزل نسبت به گازوئیل، نیز می‌تواند موجب کاهش آلاینده CO نسبت به دیزل شود [۳۲]. نتایج تحقیق نشان داد که با استفاده از سوخت بیودیزل، آلاینده‌ی CO کاهش می‌یابد که با نتایج منبع [۲۴] کاملاً مطابقت دارد. با استفاده از سوخت بیودیزل، مقدار انتشار آلاینده‌ی CO در تمامی حالات در محدوده‌ی استاندارد آلاینده‌ی EUROII قرار دارد (شکل ۶).



شکل ۵: تاثیر بیودیزل بر آلاینده‌ی مخصوص هیدروکربن‌های نسخته

نتیجه‌گیری

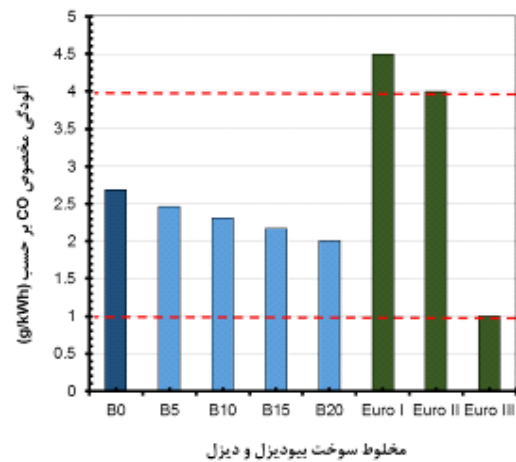
۱- بیودیزل حاصل از روغن ضایعات مرغ مطابق با استاندارد ASTM می‌باشد. ارزش حرارتی سوخت بیودیزل حاصل از روغن ضایعات مرغ، کمتر از گازوئیل است ولی دانسیته، عدد ستان، دمای نقطه ابری شدن و دمای نقطه اشتعال، بیشتر از گازوئیل است.

۲- در ساختار سوخت بیودیزل حاصل از روغن ضایعات مرغ، بیشترین اسیدهای چرب مربوط به اولئات (C18=1)، لینولات (C18=2)، استئارات (C16=0)، پالمیتات (C18=0)، لینولات (C18=3) به ترتیب با ۳۸٫۶، ۳۳٫۸، ۱۹٫۳، ۶٫۱ و ۲٫۲ درصد جرمی می‌باشد.

۳- میزان مصرف سوخت ویژه در دور ۱۵۰۰ د.د. و در تمامی بارها با افزایش سهم سوخت بیودیزل در مخلوط سوخت‌ها (به ترتیب از B5، B10، B15 تا B20)، نسبت به گازوئیل خالص افزایش پیدا می‌کند. ولی مقدار مصرف سوخت ویژه در دور ۲۰۰۰ د.د. و در تمامی بارها با افزایش سهم سوخت بیودیزل، نسبت به گازوئیل کاهش پیدا می‌کند.

۴- با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط سوخت‌ها، میزان اکسیدهای نیتروژن زیادتری تولید می‌شود و موتور استاندارد آلاینده‌ی EURO را پوشش نمی‌دهد. ولی در سوخت B5 میزان انتشار NOx در مقایسه با گازوئیل کاهش می‌یابد و استاندارد آلاینده‌ی EUROII را نه تنها پوشش می‌دهد بلکه در جهت ارتقای آن تا EUROIII نیز پیش می‌رود.

۵- آلاینده‌ی UHC با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط، کاهش می‌یابد. تمامی سوخته‌های حاوی بیودیزل، استاندارد آلاینده‌ی



شکل ۶: تاثیر بیودیزل بر آلاینده‌ی مخصوص مونواکسیدکربن

انتشار BSPM (g/kW.h)

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط سوخت بیودیزل و دیزل، آلاینده‌ی ذرات معلق کاهش می‌یابد و استاندارد آلاینده‌ی PM موتور OM355 را از EUROII به EUROIII نزدیک می‌کند. نتایج این تحقیق (شکل ۷) با نتایج تحقیق وو و همکارانش، که نشان داد آلاینده PM در تمام انواع بیودیزل، کاهش می‌یابد، کاملاً مطابقت دارد [۵۱]. عدد ستان بیودیزل بالاتر از سوخت دیزل است لذا زمان تاخیر در اشتعال سوخت بیودیزل نسبت به استفاده از سوخت گازوئیل بیشتر است. در نتیجه مدت زمان احتراق سوخت بیودیزل کمتر

[5] Montagne X, Porot P, Aymard C, Querleu C, Bouter A, Lorne D, et al. Algogroup: towards a shared vision of the possible deployment of algae to biofuels. *Oil & Gas Science and Technology-Revues d'IFP Energies nouvelles*. 2013; 68:875-98.

[6] Demirbas A. Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats. *Energy Conversion and Management*. 2008; 49:125-30.

[7] Canakci M, Van Gerpen J. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. *Transactions of the ASAE*. 2001; 44:1429.

[8] Banerjee A, Chakraborty R. Parametric sensitivity in transesterification of waste cooking oil for biodiesel production—a review. *Resources, Conservation and Recycling*. 2009; 53:490-7.

[9] Canakci M. Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. *Bioresource technology*. 2007;98: 1167-75.

[10] Kondamudi N, Strull J, Misra M, Mohapatra SK. A green process for producing biodiesel from feather meal. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2009; 57:6163-6.

[11] Dale N. True metabolizable energy of feather meal. *Journal of Applied Poultry Research*. 1992; 1:331-4.

[12] Canakci M, Van Gerpen J. Biodiesel production via acid catalysis. *Transactions of the ASAE*. 1999; 42:1203.

[13] Canakci M. Production of biodiesel from feedstocks with high free fatty acids and its effect on diesel engine performance and emissions. 2001.

[14] Ghadge SV, Raheman H. Biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil having high free fatty acids. *Biomass and Bioenergy*. 2005; 28:601-5.

[15] Tiwari AK, Kumar A, Raheman H. Biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: an optimized process. *Biomass and bioenergy*. 2007; 31:569-75.

[16] Freedman B, Pryde E, Mounts T. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1984; 61:1638-43.

[17] Liu K-S. Preparation of fatty acid methyl esters for gas-chromatographic analysis of lipids in biological materials. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1994; 71:1179-87.

[18] Mattingly BG. Production of biodiesel from chicken fat containing free fatty acids. *Masters Abstracts International* 2006.

[19] Bhatti HN, Hanif MA, Qasim M. Biodiesel production from waste tallow. *Fuel*. 2008; 87:2961-6.

[20] Najafi B. Effect of Fatty Acid Ethyl Esters in Biodiesel Fuel on Diesel Engine Performance. *Fuel and Combustion*. 2012; 2:25-34.

[21] Najafi B, Ebrahimzadeh R, Hajir A. Effect of Ethanol, Biodiesel and Diesel Blend Fuel on Performance and Pollutants Parameters of Diesel

EUROII را پوشش می دهند و سوخت B20 استاندارد آلایندگی UHC موتور OM355 را از EUROII به EUROIII ارتقا می دهد.

۶- با استفاده از سوخت بیودیزل، آلایندگی CO کاهش می یابد. مقدار انتشار آلایندگی CO در تمامی حالات در محدوده استاندارد آلایندگی EUROII قرار دارد.

۷- با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط سوخت بیودیزل و گازوئیل، آلایندگی ذرات معلق کاهش می یابد و استاندارد آلایندگی PM موتور OM355 را از EUROII به EUROIII نزدیک می کند.

فهرست علائم

نسبت هوای اضافی	λ
نسبت هوا به سوخت استوکیومتریکی	AFR_{sr}
دانسیته گازهای سوخته شده بر حسب (kg/m ³)	ρ_{burned_gas}
دانسیته هوا در شرایط استاندارد (kg/m ³)	ρ_{air}
American Society for Testing and Materials	ASTM
سوخت گازوئیل خالص	B0
نمونه سوخت حاوی 5 درصد بیودیزل	B5
نمونه سوخت حاوی 10 درصد بیودیزل	B10
نمونه سوخت حاوی 15 درصد بیودیزل	B15
نمونه سوخت حاوی 20 درصد بیودیزل	B20
مصرف سوخت ویژه ترمزی	BSFC
آلایندگی NOx ویژه ترمزی	BSNOx
آلایندگی UHC ویژه ترمزی	BSUHC
آلایندگی CO ویژه ترمزی	BSCO
آلایندگی PM ویژه ترمزی	BSPM

مراجع

[1] Jiang J-, Tan C-S. Biodiesel production from coconut oil in supercritical methanol in the presence of cosolvent. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2012; 43:102-7.

[2] Marnoto T, Efendi A. Biodiesel dari Lemak Hewani (Ayam Broiler) dengan Katalis Kapur Tohor. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"* 2011.

[3] Hermanto S, Muawanah A, Harahap R. Profil dan karakteristik lemak hewani (ayam, sapi dan babi) hasil analisa ftir dan gcms. *Jurnal Kimia VALENSI*. 2008;1.

[4] Panneerselvam SI, Parthiban R, Miranda LR. Poultry Fat: A Cheap and Viable Source for Biodiesel Production. *International Conference on Environmental Science and Technol IPCBEE Singapore* 2011. p. 371-4.

- [36] Song J, Zhang C. An experimental study on the performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with soybean oil methyl ester. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 2008; 222:2487-96.
- [37] Usta N. Use of tobacco seed oil methyl ester in a turbocharged indirect injection diesel engine. Biomass and bioenergy. 2005; 28:77-86.
- [38] Gumus M, Kasifoglu S. Performance and emission evaluation of a compression ignition engine using a biodiesel (apricot seed kernel oil methyl ester) and its blends with diesel fuel. Biomass and bioenergy. 2010; 34:134-9.
- [39] Ramadhas A, Muraleedharan C, Jayaraj S. Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil. Renewable energy. 2005; 30:1789-800.
- [40] Gürü M, Koca A, Can Ö, Çınar C, Şahin F. Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine. Renewable Energy. 2010; 35:637-43.
- [41] Zhu L, Zhang W, Liu W, Huang Z. Experimental study on particulate and NO_x emissions of a diesel engine fueled with ultra low sulfur diesel, RME-diesel blends and PME-diesel blends. Science of the Total Environment. 2010; 408:1050-8.
- [42] Ryu K. The characteristics of performance and exhaust emissions of a diesel engine using a biodiesel with antioxidants. Bioresource Technology. 2010; 101:S78-S82.
- [43] Cheung C, Zhu L, Huang Z. Regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with biodiesel and biodiesel blended with methanol. Atmospheric Environment. 2009; 43:4865-72.
- [44] Tsolakis A, Megaritis A, Wyszynski M, Theinnoi K. Engine performance and emissions of a diesel engine operating on diesel-RME (rapeseed methyl ester) blends with EGR (exhaust gas recirculation). Energy. 2007; 32:2072-80.
- [45] NAJAFI B. EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND MATHEMATICAL MODELING OF COMBUSTION USING BIODIESEL FROM RESTAURANT WASTE COOKING OIL. 2010.
- [46] Canakci M. Performance and emissions characteristics of biodiesel from soybean oil. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 2005; 219:915-22.
- [47] Nabi MN, Hoque SN, Akhter MS. Karanja (Pongamia Pinnata) biodiesel production in Bangladesh, characterization of karanja biodiesel and its effect on diesel emissions. Fuel processing technology. 2009; 90:1080-6.
- [48] Krahl J, Munack A, Schröder O, Stein H, Bünger J. Influence of biodiesel and different designed diesel fuels on the exhaust gas emissions and health effects. SAE Technical Paper; 2003.
- [49] Sahoo P, Das L, Babu M, Arora P, Singh V, Kumar Engine. Amirkabir Journal of Mechanical Engineering. 2011; 43:11-7.
- [22] Aydin H, Bayindir H. Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine. Renewable Energy. 2010; 35:588-92.
- [23] Murillo S, Miguez J, Porteiro J, Granada E, Moran J. Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines. Fuel. 2007; 86:1765-71.
- [24] Reyes JF, Sepulveda M. PM-10 emissions and power of a diesel engine fueled with crude and refined biodiesel from salmon oil. Fuel. 2006; 85:1714-9.
- [25] Raheman H, Phadatare A. Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel. Biomass and bioenergy. 2004; 27:393-7.
- [26] Najafi B, Khani M. Numerical simulation of combustion of biodiesel and diesel blending in a combustion ignition engine. The Journal of Engine Research. 2010; 5:19-28.
- [27] Buyukkaya E. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. Fuel. 2010; 89:3099-105.
- [28] Qi D, Geng L, Chen H, Bian YZ, Liu J, Ren XC. Combustion and performance evaluation of a diesel engine fueled with biodiesel produced from soybean crude oil. Renewable Energy. 2009; 34:2706-13.
- [29] Usta N, Öztürk E, Can Ö, Conkur E, Nas S, Con A, et al. Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a diesel engine. Energy conversion and management. 2005; 46:741-55.
- [30] Lujan J, Bermúdez V, Tormos B, Pla B. Comparative analysis of a DI diesel engine fuelled with biodiesel blends during the European MVEG-A cycle: Performance and emissions (II). Biomass and Bioenergy. 2009; 33:948-56.
- [31] Puhan S, Vedaraman N, Sankaranarayanan G, Ram BVB. Performance and emission study of Mahua oil (Madhuca indica oil) ethyl ester in a 4-stroke natural aspirated direct injection diesel engine. Renewable energy. 2005; 30:1269-78.
- [32] Ozsezen AN, Canakci M, Turkcan A, Sayin C. Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters. Fuel. 2009; 88:629-36.
- [33] Utlu Z, Koçak MS. The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. Renewable Energy. 2008; 33:1936-41.
- [34] Özgünay H, Çolak S, Zengin G, Sari Ö, Sarikahya H, Yüceer L. Performance and emission study of biodiesel from leather industry pre-fleshings. Waste Management. 2007; 27:1897-901.
- [35] Lin B-F, Huang J-H, Huang D-Y. Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions. Fuel. 2009; 88:1779-85.

Compression and Natural Gas Engines as Well as Positive-Ignition engines and Vehicles Equipped, with Regard to the Emissions of Pollutant by the Engine”, Rev. 3, Amend. 1, 2001. 2001.

[56] Heseding M, Daskalopoulos P. Exhaust Emission Legislation-Diesel-and Gas Engines. VDMA, Frankfurt am Main. 2006.

[57] Pilusa T, Mollagee M, Muzenda E. Reduction of vehicle exhaust emissions from diesel engines using the whale concept filter. *Aerosol Air Qual Res.* 2012;12:994-1006.

[58] List GR. Bleaching and purifying fats and oils: theory and practice: Elsevier; 2009.

[59] Najafi B. Artificial neural networks used for the prediction of the diesel engine performance and pollution of waste cooking oil biodiesel. 2012.

[60] Cardone M, Mazzoncini M, Menini S, Rocco V, Senatore A, Seggiani M, et al. Brassica carinata as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization. *Biomass and Bioenergy.* 2003;25:623-36

N, et al. Comparative evaluation of performance and emission characteristics of jatropha, karanja and polanga based biodiesel as fuel in a tractor engine. *Fuel.* 2009; 88:1698-707.

[50] Najafi B, PIROUZPANAH V, Ghobadian B, SADEGHPOUR RA. Experimental Investigation of Diesel Engine Performance Parameters and Pollution Using Biodiesel. 2007.

[51] Wu F, Wang J, Chen W, Shuai S. A study on emission performance of a diesel engine fueled with five typical methyl ester biodiesels. *Atmospheric Environment.* 2009; 43:1481-5.

[52] Labeckas G, Slavinskas S. The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Energy conversion and Management.* 2006; 47:1954-67.

[53] Van Gerpen J, Shanks B, Pruszko R, Clements D, Biodiesel analytical methods. National Renewable Energy Laboratory, Colorado. 2004:37-47.

[54] dieselnet.com/standards/cycles/ece_r49.php

[55] dieselnet.com/standards/eu/hd.php :Standard reference: 2001/27/EC, Regulation NO. 49 (ECE-R49), “Uniform Provision Concerning the Approval of



OM355 Diesel Engine Emission Standards Upgrading Use of Biodiesel from Waste Chicken Fat

B. Najafi^{1*}

¹ University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, najafib@uma.ac.ir

*Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 25 November 2016

Accepted: 26 November 2017

Keywords:

Biodiesel

Ethyl Ester

Waste Chicken Fat

OM355 Diesel Engine

Emission Standards

ABSTRACT

Vegetable oils or animal fats are the main sources for biodiesel fuel production. In this study, biodiesel (ethyl ester) was produced from chicken fat feedstock. The thermo-physical properties were measured according to ASTM standard. Biodiesel fuel blends (5, 10, 15 and 20) with different percentages of diesel were used. Experimental tests according to standard ECR-49 on the OM355 EU2 diesel engine were performed. The results showed that the properties of biodiesel from chicken fat are in accordance with ASTM standard. The heating value of biodiesel lower than diesel fuel, but the density, cetane number, cloud point and flash point is higher than diesel fuel. The Chicken Fat Methyl Ester contains Oleic (C18=1), Linoleic (C18=2), Stearic (C16=0), Palmitic (C18=0), Linolenic (C18=3) respectively 38.6, 33.8, 19.3, 6.1 and 2.2 percent. The brake specific fuel consumption (at all engine loads) increased at 1500 rpm engine speeds, but reduced at 2000rpm. Use of biodiesel in the OM355 EU2 diesel engine is generally found to reduce emissions of HC, CO and PM. So, the use of B20 is upgrading UHC emission standard engines from EU2 to EU3. Also, the use of biodiesel to increase emission of NO_x as compared to conventional diesel fuel but the use of B5 is reducing NO_x per 1kWh brake power produced.

