

## تأثیر بیودیزل حاصل از روغن چربی طیور بر عملکرد موتور تراکتور

مالک باوفا<sup>۱</sup> - محمد طبسی زاده<sup>۲\*</sup> - عبدالعلی فرزاد<sup>۳</sup> - برات قبادیان<sup>۴</sup> - حسین عشقی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

### چکیده

در تحقیق حاضر سوخت بیودیزل از روغن چربی طیور به روش ترانس استریفیکاسیون تولید شده و سپس خصوصیات مهم آن با استاندارد ASTM D-6751 مقایسه شد. پس از اطمینان از کیفیت بالای سوخت تولید شده، عملکرد موتور تراکتور MF-399 با استفاده از مخلوط‌های ۵ تا ۲۰ درصد بیودیزل و دیزل مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌ها نشان می‌دهد گشتاور و توان موتور مذکور توسط این ترکیبات افزایش می‌یابد. دلیل این موضوع به خاطر به‌سوزی بیودیزل در اثر اکسیژن‌دار بودن آن می‌باشد. همچنین مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه به دلیل ارزش حرارتی و چگالی نزدیک بیودیزل به دیزل به میزان حداقل افزایش یافت. نتایج آزمایش‌ها در این پژوهش نشان می‌دهد مخلوط B<sub>20</sub> بهترین عملکرد و کمترین افزایش مصرف سوخت ویژه را داراست. بنابراین ترکیب B<sub>20</sub> برای استفاده در موتور تراکتور MF-399 پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** بیودیزل، ترانس استریفیکاسیون، چربی طیور، عملکرد، موتور

### مقدمه

است، که اکسیژن‌دار، غیر سمی، زیست دوست و تجزیه‌پذیر است (Qi *et al.*, 2010) بیودیزل متیل یا اتیل استر روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی و یا روغن‌های پسماند است، که در اثر واکنش بین روغن با الکل در حضور کاتالیزور حاصل می‌شود و تشابه زیادی با دیزل شماره ۲ دارد. بیودیزل می‌تواند در موتورهای دیزل به‌صورت خالص و یا مخلوط با دیزل مورد استفاده قرار گیرد. به‌منظور استفاده از بیودیزل به‌صورت خالص ممکن است نیاز به تغییرات قابل ملاحظه‌ای در سیستم سوخت‌رسانی موتور باشد اما استفاده از آن به‌صورت مخلوط با دیزل به تغییرات اساسی در موتور نیاز ندارد. لذا فقط می‌توان برای جلوگیری از اشتعال سریع، زمان پاشش را به تأخیر انداخت (Gomes *et al.*, 2011) با این توصیف امروزه در کشورهای پیشرفته استفاده از بیودیزل به‌عنوان یک سوخت پاک در بخش حمل و نقل روز به روز زیاد شده است.

یکی از منابع تولید بیودیزل چربی‌های حیوانی و طیور بوده که دارای کم‌ترین فرآیند برای تبدیل به سوخت مناسب است (Qi *et al.*, 2010) بنابراین هزینه تولید سوخت بیودیزل حاصل از چربی طیور در مقایسه با دیزل پایین است. همچنین برتری دیگر چربی طیور نسبت به روغن‌های گیاهی ارزش تجاری کمتر آن است. لذا به تشدید تورم در بخش غذا دامن نمی‌زند.

تحقیقات مختلفی در زمینه بررسی توان، گشتاور و مصرف سوخت با استفاده از بیودیزل و ترکیب آن با دیزل انجام شده است. لین و همکاران با استفاده از بیودیزل حاصل از روغن سویا، افزایش در

در دهه‌های اخیر، جهان وضعیت پرمخاطره‌ای را از لحاظ مصرف سوخت‌های فسیلی نظیر ذغال سنگ، روغن، گاز طبیعی و غیره تجربه کرده است به‌طوری‌که ۸۰ درصد نیاز انرژی جهان از طریق همین منابع فسیلی تأمین می‌شود که ۵۸ درصد آن به‌تنهایی در بخش حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mrad *et al.*, 2012a) بنابراین با افزایش تعداد موتورهای درون سوز، منابع فسیلی به سرعت رو به اتمام بوده و همچنین احتراق منابع فسیلی باعث آلودگی بیش از حد محیط زیست می‌گردد. از این‌رو محققان زیادی در پی حل این مشکل قدم‌هایی برداشته‌اند. از جمله‌ی این راه‌کارها استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، شامل انرژی‌های خورشید، آب، باد، زمین گرمایی و زیست توده می‌باشد. یکی از منابع زیست توده بیودیزل

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(\*) نویسنده مسئول: (Email: Tabasizadeh@um.ac.ir)

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۵- استاد گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

مخلوط‌های مختلف آن با گازوئیل، مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش و توان ترمزی کاهش و در دور ۲۰۰۰ rpm، مصرف سوخت ویژه ترمزی و توان ترمزی افزایش می‌یابد (Najafi et al., 2011). سروسستانی و همکاران با بررسی عملکرد موتور دیزل تک سیلندر آب خنک در بارهای مختلف کاری با استفاده از مخلوط‌های متفاوت بیودیزل حاصل از روغن پسماند و دیزل (B<sub>0</sub>, B<sub>20</sub>, B<sub>35</sub>, B<sub>50</sub> و B<sub>100</sub>) به این نتیجه رسیدند که مخلوط B<sub>20</sub> نسبت به سایر ترکیب‌ها و دیزل خالص کمترین مصرف سوخت ویژه ترمزی و بیشترین مقدار توان موتور مشاهده شده است (Sabet-Sarvestani et al., 2012) در هر حال، همانطور که اشاره شد در سال‌های اخیر در ایران نیز تحقیقاتی پیرامون تولید و کاربرد سوخت بیودیزل آغاز گردیده است لیکن تاکنون به استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل تولیدی از روغن طیور در موتورهای دیزل مبادرت نشده است. از این رو مقاله حاضر به این موضوع اختصاص یافته است.

### مواد و روش‌ها

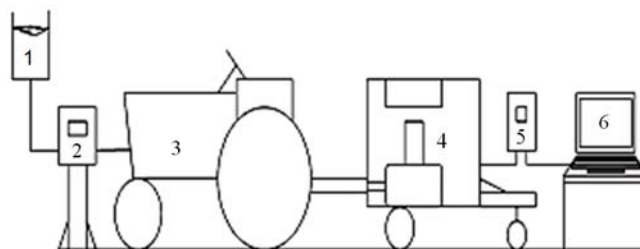
از جمله روش‌هایی که برای تولید بیودیزل به کار می‌رود شامل پیرولیز، میکروامولسیون و ترانس‌استریفیکاسیون می‌باشد. که از میان این‌ها روش ترانس‌استریفیکاسیون به دلیل ساده بودن فرآیند تولید بیودیزل، اکسیژن‌دار بودن سوخت و همچنین به خاطر داشتن بالاترین بازده تبدیل، بیشترین کاربرد را دارد (Ghobadian and Khatamifar, 2006) به منظور تولید بیودیزل با استفاده از روغن ترانس‌استریفیکاسیون، ابتدا روغن چربی طیور از آب و مواد زائد خالص‌سازی شد و سپس با استفاده از روش تیتراسیون اسید چرب آزاد آن اندازه‌گیری گردید. مقدار اسید چرب آزاد روغن به ۳۵/۸۲ mgKOH/g رسید. با توجه به اینکه اسید چرب آزاد بالا باعث کند شدن واکنش شیمیایی بین روغن و الکل شده و همچنین جداسازی متیل استر و گلیسرین را با مشکل مواجه می‌سازد، لذا با استفاده از سولفات آهن<sup>۲</sup> که یک واکنش‌گر اسیدی است، میزان اسید چرب آزاد روغن به کمتر از ۱ درصد تقلیل یافت. سپس مخلوط الکل و واکنش‌گر به روغن اضافه شده و مخلوط جدید در دمای ۶۰ °C به مدت ۹۰ دقیقه و با سرعت هم زنی ۳۰۰ دور بر دقیقه به انجام واکنش ادامه داد. بعد از اتمام واکنش ترانس‌استریفیکاسیون، ۹۶ ساعت به مخلوط فرصت داده شد تا استر اسید چرب از گلیسرین جدا شود. بیودیزل به دست آمده ابتدا به وسیله آبشویی خالص‌سازی شد. سپس با استفاده از حرارت، آب اضافی از آن خارج گردید. از گلیسرین حاصل نیز می‌توان به عنوان مواد اولیه در مصارف آرایشی و بهداشتی استفاده نمود.

مصرف سوخت ویژه و کاهش اندک بازده حرارتی ترمزی موتور را گزارش کرده‌اند. آن‌ها افزایش مصرف سوخت ویژه را به ارزش حرارتی پایین بیودیزل نسبت دادند (Lin et al., 2012) محققان از ترکیه با تولید بیودیزل از روغن پسماند ماهی کولی<sup>۱</sup> و آزمایش دیزل-بیودیزل با ترکیب‌های B<sub>0</sub>, B<sub>25</sub>, B<sub>50</sub>, B<sub>75</sub> و B<sub>100</sub> بر روی یک نوع موتور تک سیلندر نشان داد که در تمامی دوره‌ها به‌طور متوسط گشتاور موتور ۴/۱۴ درصد افزایش و توان آن به میزان ۵/۱۶ درصد کاهش یافته است. در حالی که افزایش مصرف سوخت ویژه به‌طور متوسط به میزان ۴/۹۶ درصد در استفاده از این مخلوط‌ها نسبت به دیزل خالص مشاهده شده است (Behçet, 2011). قودیگانور و همکاران عملکرد موتور دیزلی سه سیلندر Kirloskar HA394 را با استفاده از مخلوط‌های متیل استر روغن ماهی و دیزل (B<sub>0</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>20</sub>, B<sub>40</sub>, B<sub>60</sub>, B<sub>80</sub> و B<sub>100</sub>) در دوره‌ها و بارهای مختلف مورد آزمون و ارزیابی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط، افزایش یافته که دلیل آن ارزش حرارتی پایین و چگالی بالای بیودیزل نسبت به دیزل می‌باشد. افزایش مصرف سوخت B<sub>20</sub> نسبت به سایر مخلوط‌ها کمینه بود. همچنین بازده حرارت ترمزی در مخلوط B<sub>20</sub> بیشتر از B<sub>0</sub> به دست آمد. اما میزان آن برای سایر مخلوط‌ها کمتر از B<sub>0</sub> مشاهده گردید. دلیل این امر ارزش حرارتی پایین و مصرف سوخت ویژه سایر ترکیب‌ها نسبت به دیزل خالص می‌باشد (Godiganur et al., 2010a). قورو و همکاران با انجام آزمایش بر روی یک موتور تک سیلندر با استفاده از مخلوط ۱۰ درصد بیودیزل روغن چربی مرغ و ۹۰ درصد دیزل به این نتیجه دست یافتند که گشتاور موتور تغییرات معنی‌داری نداشته ولی مصرف ویژه سوخت مخلوط به اندازه ۵/۲ درصد نسبت به دیزل خالص افزایش یافته است (Guru et al., 2010). در پژوهشی عملکرد موتور تراکتور MF-399 با استفاده از مخلوط‌های ۵ تا ۲۵ درصد از سوخت بیودیزل و دیزل مورد بررسی قرار گرفت؛ آزمایش‌ها نشان داد که با استفاده از ترکیب‌های سوخت بیودیزل و دیزل، توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه موتور افزایش می‌یابد. علت افزایش توان و گشتاور به خاطر به‌سوزی بیودیزل به دلیل اکسیژن‌دار بودن آن می‌باشد. در بین این ترکیب‌ها، B<sub>5</sub> دارای بهترین عملکرد و کمترین افزایش مصرف سوخت ویژه را نسبت به دیزل خالص را دارا بود (Zenouzi et al., 2008a). نجفی و همکاران در تحقیقی که عملکرد یک موتور دیزل پاشش مستقیم مجهز به پرخوران را در حالت تمام بار و در دوره‌های ۱۴۰۰ و ۲۰۰۰ دور بر دقیقه با استفاده از مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل و دیزل (B<sub>0</sub>, B<sub>20</sub>, B<sub>40</sub>, B<sub>60</sub>, B<sub>80</sub> و B<sub>100</sub>) مورد آزمون و ارزیابی قرار دادند، مشاهده کردند که در دور ۱۴۰۰ rpm با استفاده از بیودیزل و

جدول ۱- ویژگی‌های بیودیزل تولید شده به همراه استانداردهای ASTM

Table 1- Fuel properties of diesel and poultry fat oil biodiesel

خصوصیات Properties	روش استاندارد آزمون (ASTM) Standard Test Method	حدود مجاز Allowable limit	بیودیزل Biodiesel	دیزل Diesel	واحد Unit
ارزش حرارتی Heating value	D-240	-	40.5	42.2	MJ kg <sup>-1</sup>
نقطه اشتعال Flash point	D-92	Min 130	153.2	62.7	°C
گرانروی سینماتیک در 40°C Kinematic viscosity at 40°C	D-445	1.9-6	4.74	2.52	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
نقطه ابری شدن Cloud point	D-2500	Min -7	-1	-3	°C
نقطه ریزش Pour point	D-97	Min -10	-5	-21	°C
چگالی Density	D-4052	Max 0.9	0.861	0.820	g cm <sup>-3</sup>



شکل ۱- طرح‌واره سامانه آزمون موتور: ۱- مخزن سوخت، ۲- دستگاه اندازه‌گیری مصرف سوخت، ۳- تراکتور، ۴- دستگاه دینامومتر، ۵- سیستم کنترل از راه دور و ۶- سامانه داده‌برداری

Fig.1. Schematic diagram of the engine test stand: 1. Fuel tank, 2. Fuel measurement system, 3. Tractor, 4. Dynamometer, 5. Remote control system and 6. Data acquisition unit

مخلوط‌های حجمی دیزل- بیودیزل با ترکیب‌های B<sub>15</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>0</sub> و B<sub>20</sub> تهیه گردید. دلیل انتخاب محدوده‌ی تا ۲۰ درصد بیودیزل، شرایط ویژه کشور ایران و نیز موتور تحت آزمایش بوده است. بنابراین از هر نمونه به اندازه ۶ لیتر انتخاب شد تا آزمایش‌ها با دقت کافی و در سه تکرار انجام شوند.

بعد از آماده‌سازی ترکیبات سوخت، تراکتور و وسایل اندازه‌گیری توان، گشتاور و مصرف سوخت برای شروع داده‌برداری در وضعیت مناسب قرار گرفتند. شماتیک روابط سامانه سنجش سوخت، تراکتور، دینامومتر و سیستم داده‌گیری در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری توان و گشتاور موتور تراکتور MF-399 از دینامومتر Σ5 ساخت شرکت NJ-FROMENT انگلستان موجود در آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس در تهران استفاده شد که به‌صورت مغناطیسی به موتور، بار اعمال کرده و توان و گشتاور آن را اندازه‌می‌گیرد (شکل ۲).

الکل مورد استفاده در این واکنش متانول بوده زیرا الکل متانول دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بهتری نسبت به سایر الکل‌ها داشته و نیز به نسبت ارزان است (Zenouzi *et al.*, 2008b). همچنین واکنش‌گری که در این واکنش مورد استفاده قرار گرفت واکنش گر بازی به نام پتاسیم هیدروکسید<sup>۱</sup> بود. زیرا واکنش‌گرهای بازی نسبت به واکنش‌گرهای اسیدی و آنزیمی فعال‌تر بوده و بازدهی بالایی دارند.

ویژگی‌های مهم سوخت بیودیزل از جمله گرانروی سینماتیک، چگالی، نقطه اشتعال، نقطه ریزش، نقطه ابری شدن پس از اندازه‌گیری در آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس با استاندارد آمریکایی ASTM D-6751-09 مقایسه شد که با آن مطابقت داشت. در جدول ۱ ویژگی‌های بیودیزل تولید شده همراه با استاندارد مربوط مشاهده می‌شود.

پس از اطمینان از ویژگی‌های کیفی سوخت بیودیزل تولید شده،



شکل ۲- دینامومتر Σ5 ساخت شرکت NJ-FROMENT  
 Fig.2. Σ5 dynamometer manufactured by NJ-FROMENT

در جدول ۲ محدوده سرعت و ظرفیت این دستگاه ارائه شده است.

جدول ۲- محدوده سرعت و ظرفیت دستگاه دینامومتر

Table 2- Revolution range and capacities of dynamometer

نحوه اتصال Contact mode	محدوده سرعت Revolution range	بیشترین توان Maximum power	بیشترین گشتاور Maximum torque
محور تواندهی PTO	270-1250rpm	335kW (450hp) at 900rpm	3250Nm (2400lb-ft) at 600rpm
موتور Engine	770-2600rpm	335kW (450hp) at 2600rpm	1050Nm (775lb- ft) at 1450rpm

جریان یافتن مخلوط از داخل جریان سنج، مصرف سوخت بر حسب میلی لیتر بر دقیقه محاسبه می شود.

جدول ۳- مشخصات موتور تراکتور MF-399  
 Table 3- MF-399 tractor motor specifications

مدل Model	Perkins A63544
کارخانه سازنده Manufacturer factory	شرکت موتور سازان Motor Sazan Company
تعداد سیلندر Cylinder No.	6
کورس پیستون Stroke	127mm
قطر پیستون Bore	98.6mm
حجم سیلندر Cylinder volume	5.8L
ترتیب احتراق Ignition arrangement	1,5,3,6,2,4

با توجه به اینکه مسیر برگشت سوخت به داخل مخزن در اندازه گیری مصرف سوخت اختلال ایجاد می نماید، مسیر برگشت به

دینامومتر از طریق محور تواندهی به تراکتور وصل و گشتاور و توان آن اندازه گیری شد. با توجه به اینکه مقداری افت توان در مسیر انتقال توان از موتور به محور تواندهی وجود دارد و همچنین تغییر گشتاور خروجی محور تواندهی در اثر تغییرات نسبت چرخندهای در مسیر انتقال توان، می توان با تقسیم کردن توان اندازه گیری شده به ضریب افت توان در مسیر انتقال نیرو، توان سر میل لنگ موتور را محاسبه نمود. در مورد گشتاور نیز می توان گشتاور به دست آمده را به نسبت تغییرات دور موتور در محور تواندهی تقسیم کرده و در نهایت گشتاور موتور تعیین می شود. با توجه به دفترچه راهنمای تراکتور تحت آزمایش، نسبت دور موتور به دور محور تواندهی، ۱/۹ به ۱ بوده و ضریب افت توان نیز ۱۴/۷۵٪ می باشد. در جدول ۳ مشخصات موتور تراکتور MF-399 ارائه شده است.

برای اندازه گیری مصرف سوخت از جریان سنج FTO ساخت شرکت FLOWTECH آمریکا استفاده شده که محدوده اندازه گیری آن تا  $1513 \text{ ml min}^{-1}$  - ۳۷ می باشد (شکل ۳).

روش استفاده از جریان سنج FTO بدین صورت است که در مسیر خروجی مخزن سوخت و در ورودی پمپ اولیه قرار می گیرد و با

در جدول ۴ تجزیه واریانس دو فاکتور دور موتور و درصد بیودیزل در مخلوط نشان داده شده است. نتایج جدول نشان می‌دهد، متغیرهای دور موتور و درصد بیودیزل در مخلوط و همچنین تأثیر متقابل دو فاکتور در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد موتور تأثیرگذار می‌باشند.

با توجه به اینکه تأثیر متقابل دو متغیر اصلی بر عملکرد موتور معنی‌دار می‌باشد، با استفاده از روش دانکن، میانگین نتایج مربوط به توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه در دورها و ترکیب‌های مختلف بیودیزل و دیزل در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تغییرات گشتاور موتور نسبت به دور در مخلوط‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده می‌شود. با مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن، بیشترین مقدار گشتاور موتور در ۱۷۱۰ rpm (دومین مرحله بارگذاری) و در مخلوط B<sub>10</sub> حاصل شده است.

با توجه به اینکه در اثر احتراق بهتر مخلوط‌های بیودیزل (به دلیل اکسیژن‌دار بودن آن) نسبت به دیزل خالص، فشار متوسط محفظه احتراق با استفاده از این مخلوط‌ها افزایش یافته و در نتیجه همانطور که در رابطه‌های (۱ تا ۳) مشاهده می‌شود، با افزایش فشار متوسط محفظه احتراق، نیروی متوسط احتراق بالا رفته و گشتاور تولیدی موتور به مراتب زیاد می‌شود. در این آزمایش میزان افزایش متوسط گشتاور موتور با استفاده از مخلوط‌های B<sub>5</sub>، B<sub>10</sub>، B<sub>15</sub> و B<sub>20</sub> نسبت به B<sub>0</sub> به ترتیب ۲/۵ درصد، ۲/۸ درصد، ۳ درصد و ۳/۵ درصد به دست آمد.

داخل یک مخزن فرعی هدایت شد. با اندازه‌گیری مقدار سوخت برگشتی در زمان مشخص و کم کردن آن از مقدار خوانده شده مصرف سوخت واقعی به دست می‌آید. همچنین با افزودن بیودیزل به سوخت دیزل چگالی ترکیب تغییر می‌کند، بنابراین در هر دوره کاری، جریان سنج کالیبره گردید.



شکل ۳- جریان سنج FTO ساخت شرکت FLOWTECH آمریکا

Fig.3. FTO flow meter manufactured by American FLOWTECH Company

### نتایج و بحث

آزمایش با مخلوط‌های صفر تا ۲۰ درصد بیودیزل بر روی موتور تراکتور MF-399 انجام شد. همچنین بار در چهار مرحله بر روی موتور اعمال شده که در آن دور موتور از ۱۹۰۰ دور بر دقیقه به ترتیب به ۱۸۰۵، ۱۷۱۰، ۱۶۱۵ و ۱۵۲۰ دور بر دقیقه کاهش یافت.

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر دو فاکتور دور موتور و درصد بیودیزل در مخلوط بر پارامترهای عملکردی موتور

Table 4- Variance analysis of engine speed and biodiesel percentage on engine performance parameters

منبع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات توان موتور Mean squares of engine power	میانگین مربعات گشتاور موتور Mean squares of engine torque	میانگین مربعات مصرف سوخت ویژه موتور Mean squares of engine specific fuel consumption
درصد بیودیزل Biodiesel percentage (A)	4	11.798**	217.862**	1081.848**
دور موتور Engine speed (B)	3	307.293**	95.751**	977.635**
تأثیر متقابل Interaction (AB)	12	1.165**	12.563**	1034.222**
اشتباه آزمایش Error (E)	40	0.026	0.047	11.417

\*\* Significant at 1% level.

\*\* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱٪ می‌باشد.

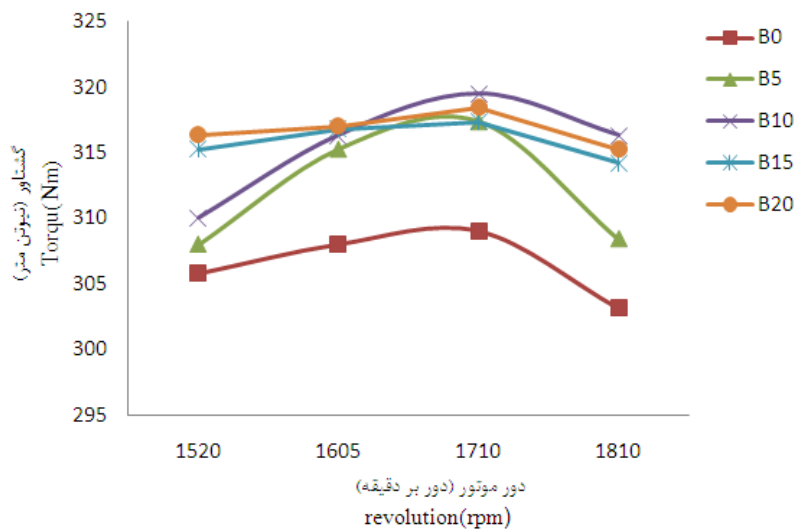
قطعات متحرک موتور بر حسب Nm می‌باشد. همچنین  $F_1$ ،  $b_{imep}$ ،  $A$  و  $R$  به ترتیب نیروی متوسط حاصل از احتراق (N)، فشار متوسط حاصل از احتراق (Pa)، سطح پیستون ( $m^2$ ) و کورس پیستون (m) می‌باشد.

$$T = T_1 + T_2 \quad (۱)$$

$$F_1 = b_{imep} \cdot A \quad (۲)$$

$$T_1 = F_1 \cdot R \quad (۳)$$

در روابط (۱ تا ۳)  $T$  و  $T_1$  و  $T_2$  به ترتیب گشتاور مؤثر متوسط موتور، گشتاور حاصل از فرآیند احتراق و گشتاور نیروهای اینرسی



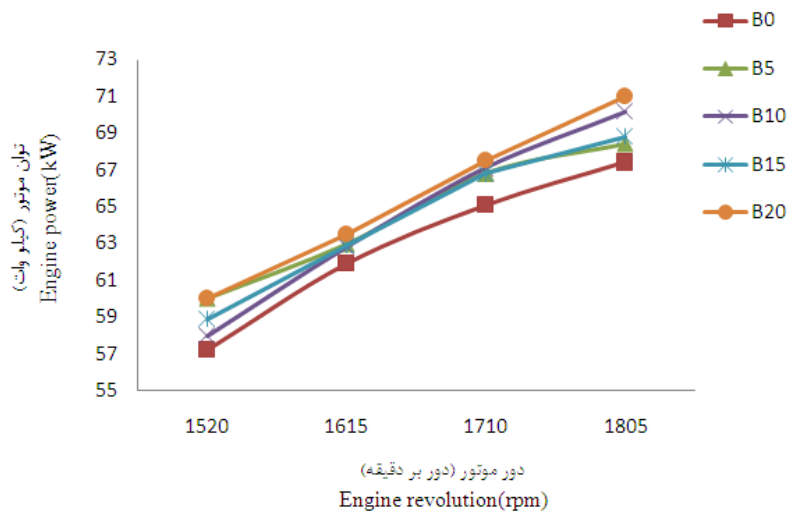
شکل ۴- رابطه دورهای مختلف کاری و گشتاور موتور در ترکیبات مختلف سوخت بیودیزل و دیزل

Fig.4. The revolution vs. torque of engine for different combinations of biodiesel and diesel

پایین‌تر از دیزل است، لذا امکان دارد برای مخلوط‌های با بیودیزل بالا در حدود ۵۰ درصد بیودیزل نیز این روند افزایش توان و گشتاور صادق باشد. محققان دیگری نیز نتایج مشابهی را در رابطه با افزایش توان و گشتاور موتور با استفاده از مخلوط‌های مختلف بیودیزل و دیزل گزارش داده‌اند (Mrad *et al.*, 2012b; Saeidi-Nichran *et al.*, 2010b; Zenouzi *et al.*, 2008a) با توجه به اینکه چگالی بیودیزل در مقایسه با دیزل بیشتر بوده و با ارسال سوخت از طریق پمپ انژکتور در هر وعده کاری مقداری بیشتری از مخلوط بیودیزل نسبت به دیزل خالص به محفظه احتراق وارد می‌شود، لذا مصرف سوخت افزایش می‌یابد. همچنین از آنجا که ارزش حرارتی بیودیزل نسبت به دیزل کم‌تر است، بنابراین در صورت استفاده از مخلوط‌های بیودیزل، جرم بیشتری از مخلوط‌ها باید نسبت به دیزل استفاده شود تا همان انرژی تولید گردد. شکل ۸ رابطه بین دور و مصرف سوخت موتور در مخلوط‌های مختلف بیودیزل و دیزل را نشان می‌دهد. برای تمامی مخلوط‌ها تحت بارهای مختلف با افزایش دور مصرف سوخت نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط‌ها، مصرف سوخت افزایش و سپس در  $B_{20}$  کاهش یافته است. علت این امر می‌تواند وجود حالت مطلوب از نظر گرانی و چگالی مخلوط بین سوخت بیودیزل و دیزل و بهبود شرایط احتراق

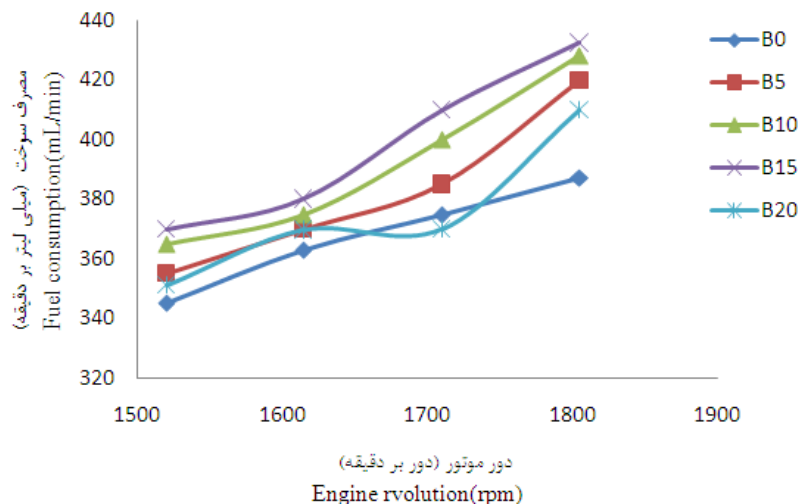
در شکل ۵ تغییرات توان موتور در ترکیب‌های مختلف بیودیزل-دیزل نسبت دور نشان داده شده است. بیشترین مقدار توان موتور برای تمامی مخلوط‌ها در دور  $1805 \text{ rpm}$  (اولین مرحله بارگذاری) تولید شده است. در دورهای پایین که بیشترین بار بر موتور اعمال می‌شود، تفاوت مقادیر توان‌های تمام مخلوط‌های بیودیزل نسبت به دیزل خالص در مقایسه با مقادیر آن در بی باری قابل محسوس است. علت امر این است که در بارهای بالا مصرف سوخت افزایش یافته و مخلوط سوخت و هوا غنی‌تر می‌شود. با غنی‌تر شدن مخلوط، درصد بیودیزل بالا رفته و این اتفاق با افزایش اکسیژن در مخلوط رابطه مستقیم داشته و ویژگی به‌سوزی را به مخلوط می‌بخشد. در نتیجه، توان تولیدی زیاد می‌شود. میزان افزایش متوسط توان موتور با استفاده از مخلوط‌های  $B_5$ ،  $B_{10}$ ،  $B_{15}$  و  $B_{20}$  نسبت به  $B_0$  به ترتیب ۲/۵ درصد، ۳ درصد، ۳/۵ درصد و ۴ درصد حاصل شد. عامل اصلی این روند افزایشی این است که با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط، میزان اکسیژن موجود در مخلوط نیز افزایش یافته و ویژگی به‌سوزی مخلوط بالا می‌رود. در نتیجه توان تولیدی توسط موتور افزایش می‌یابد. اما از طرف دیگر باید ارزش حرارتی بیودیزل و دیزل را نیز در نظر گرفت. از آنجا که ارزش حرارتی سوخت‌های با پایه چربی طیور به مقدار اندکی

در B<sub>20</sub> باشد (Saeidi-Nichran *et al.*, 2010a)



شکل ۵- رابطه دورهای مختلف کاری و توان موتور در مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل و دیزل

Fig.5. The revolution vs. power of engine for different combinations of biodiesel and diesel



شکل ۶- رابطه مصرف سوخت موتور تراکتور با دورهای مختلف کاری در مخلوط‌های سوخت بیودیزل و دیزل

Fig.6. The revolution vs. fuel consumption of engine for different combinations of biodiesel and diesel

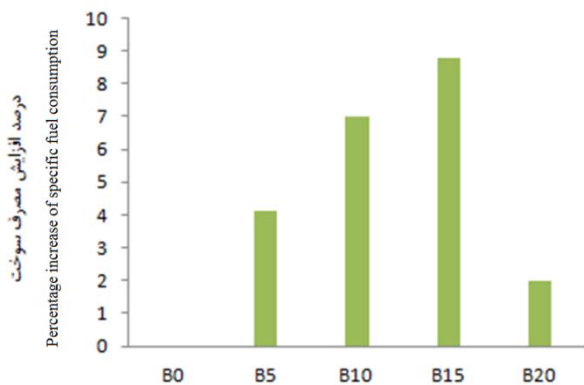
چگالی و توان تولیدی توسط موتور بیشترین تأثیر را دارند به طوری که با چگالی رابطه مستقیم و با توان رابطه معکوس دارد. بنابراین برای کاهش مصرف ویژه سوخت باید مخلوطی انتخاب گردد که توان تولیدی به واسطه به سوزی بهتر سوخت بیشتر بوده و همچنین چگالی مناسبی داشته باشد. لذا مخلوط بیودیزل و دیزل به خاطر به سوزی بهتر بیودیزل و چگالی پایین دیزل می‌تواند گزینه مناسبی برای استفاده در موتورهای دیزل باشد (رابطه ۴).

$$SFC = \frac{FC \cdot \rho \cdot 60}{P} \quad (4)$$

شکل ۹ درصد افزایش مصرف سوخت موتور تراکتور را در مخلوط‌های مختلف بیودیزل و دیزل را نسبت به دیزل خالص نشان می‌دهد. در تمامی مخلوط‌ها درصد مصرف سوخت نسبت به دیزل خالص افزایش یافته است. مخلوط B<sub>20</sub> کم‌ترین افزایش مصرف سوخت را نسبت به سایر مخلوط‌ها دارا است. بنابراین مخلوط B<sub>20</sub> به لحاظ کمینه مصرف سوخت به عنوان مخلوط بهینه برای استفاده در موتور تراکتور MF-399 پیشنهاد می‌شود.

در افزایش و یا کاهش مصرف ویژه سوخت موتور دو عامل

(*al.*, 2010b)

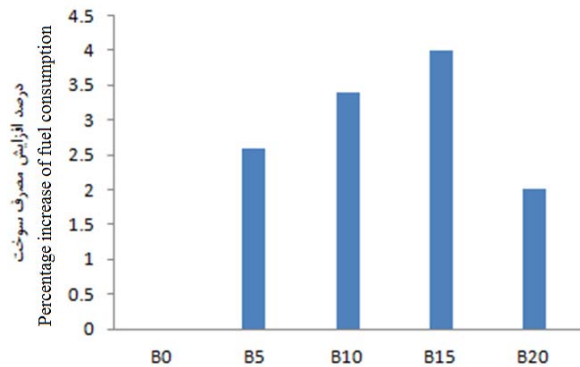


**شکل ۸-** درصد افزایش مصرف ویژه سوخت موتور تراکتور در ترکیب‌های سوخت بیودیزل و دیزل

**Fig.8.** Percentage increase of engine specific fuel consumption for different combinations of biodiesel and diesel

### نتیجه گیری

در این تحقیق عملکرد تراکتور MF-399 با استفاده از بیودیزل (متیل استر) روغن چربی طیور و دیزل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که مخلوط B<sub>20</sub> در مجموع بیشترین افزایش توان و گشتاور و کم‌ترین افزایش مصرف سوخت و مصرف ویژه سوخت را نسبت به سایر مخلوط‌ها دارد. بنابراین با تولید این نوع بیودیزل به صورت انبوه، می‌توان از مخلوط B<sub>20</sub> علاوه بر تراکتور در سایر ماشین‌های دیزلی سنگین نیز استفاده نمود.



**شکل ۷-** درصد افزایش مصرف سوخت موتور تراکتور در

مخلوط‌های سوخت بیودیزل و دیزل

**Fig.7.** Percentage increase of engine fuel consumption for different combinations of biodiesel and diesel

در رابطه (۴)، SFC مصرف سوخت ویژه بر حسب  $\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$ ، FC مصرف سوخت ( $\text{ml min}^{-1}$ )،  $\rho$  چگالی سوخت ( $\text{g cm}^{-3}$ )،  $p$  توان موتور (kW) می‌باشند.

در شکل ۱۰ درصد افزایش مصرف ویژه سوخت موتور در مخلوط‌های مختلف بیودیزل نشان داده شده است. با افزایش سهم بیودیزل در مخلوط تا B<sub>15</sub>، مصرف ویژه سوخت به خاطر افزایش چگالی و همچنین افزایش اندک توان تولیدی، روند صعودی داشته است اما با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط‌های تا B<sub>20</sub>، افزایش توان تولیدی بر افزایش چگالی سوخت غلبه کرده در نتیجه مصرف ویژه سوخت نسبت به سایر مخلوط‌ها کم شده است. لذا مخلوط B<sub>20</sub> از لحاظ کمینه بودن مصرف ویژه سوخت و به‌عنوان سوخت مصرفی در تراکتورها و سایر ماشین‌های دیزلی معرفی می‌شود. در رابطه با افزایش مصرف سوخت ویژه محققان دیگری نیز به این نتیجه دست یافته‌اند (Altun *et al.*, 2008; Behcet, 2011; Godiganur *et al.*).

### References

- Altun, S., H. Bulut, and C. Oner. 2008. The comparison of engine performance and exhaust emission characteristics of sesame oil–diesel fuel mixture with diesel fuel in a direct injection diesel engine. *Renewable Energy* 33: 1791-1795.
- Behcet, R. 2011. Performance and emission study of waste anchovy fish biodiesel in a diesel engine. *Fuel Processing Technology* 92: 1187-1194.
- Chen, L., T. Liu, W. Zhang, X. Chen, and J. Wang. 2012. Biodiesel production from algae oil high in free fatty acids by two-step catalytic conversion. *Bioresource Technology* 111: 208-214.
- Fazal, M. A., A. S. M. A. Haseeb, and H. H. Masjuki. 2011. Biodiesel feasibility study: An evaluation of material compatibility; performance; emission and engine durability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 1314-1324.
- Ghobadian, B., and M. Khatamifar. 2006. Biodiesel fuel production using transesterification of waste vegetable oils. *Engine Research* 8: 24-35.
- Godiganur, S., C. S. Murthy, and R. P. Reddy. 2010. Performance and emission characteristics of a Kirloskar HA394 diesel engine operated on fish oil methyl esters. *Renewable Energy* 35: 355-359.
- Gomes, M. C. S., P. A. Arroyo, and N. C. Pereira. 2011. Biodiesel production from degummed soybean



- oil and glycerol removal using ceramic membrane. *Journal of Membrane Science* 378: 453-461.
8. Guru, M., A. Koca, O. Can, C. Çınar, and F. S. Ahin. 2010. Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine. *Renewable Energy* 35: 637-643.
  9. Jorgensen, A., P. Bikker, and I. T. Herrman. 2012. Assessing the greenhouse gas emissions from poultry fat biodiesel. *Journal of Cleaner Production* 24: 85-91.
  10. Lin, C., L. Tianzhong, Z. Wei, C. Xiaolin, and W. Junfeng. 2012. Biodiesel production from algae oil high in free fatty acids by two-step catalytic conversion. *Bioresource Technology* 111: 208-214.
  11. Mrad, N., E. G. Varuvel, M. Tazerout, and F. Aloui. 2012. Effects of biofuel from fish oil industrial residue e Diesel blends in diesel engine. *Energy Conversion and Management* 44: 955-963.
  12. Najafi, B. 2011. Ethyl ester animal fat production process as biodiesel fuel. The 5<sup>th</sup> National Conference & Exhibition on Environmental Engineering, Tehran, Iran. (In Farsi).
  13. Najafi, B., M. Torkian, M. A. Hejazi, and A. A. Zamzamian. 2011. Effect of microalgae biodiesel on performance parameters and exhaust emissions from IDI diesel engine. *Fuel and Combustion Journal* 2: 1-14.
  14. Oner, C., and S. Altun. 2009. Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine. *Applied Energy* 86: 2114-2120.
  15. Qi, D. H., H. Chen, L. M. Geng, and Y. Z. Bian. 2010. Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends. *Energy Conversion and Management* 51: 2985-2992.
  16. Rostami, S., L. Savadkouhi, B. Ghobadian, and R. Ebrahimi. 2011. Experimental investigation the effect of injection pressure on a diesel engine performance usage blends of biodiesel and diesel. *Engine Research* 21: 73-82.
  17. Sabet-Sarvestani, N., A. Farzad, E. Ebrahimnia-Bajestan, M. Mir, and M. H. Aghkhani. 2012. Performance and Emission Analysis of waste cooking Oil Methyl Ester in a Diesel Engine. The 7<sup>th</sup> National National Congress on Agr. Machinery Eng. & Mechanization, Shiraz, Iran. (In Farsi).
  18. Saeidi-Nichran, M. R., B. Ghobadian, and G. Najafi. 2010. Experimental study of the performance parameters of a diesel engine using biodiesel fuel. *Engine Research* 16: 29-35.
  19. Ushakov, S., H. Valland, and V. Esoy. 2013. Combustion and emissions characteristics of fish oil fuel in a heavy-duty diesel engine. *Energy Conversion and Management* 65: 228-238.
  20. Yahyae, R., B. Ghobadian, and G. Najafi. 2013. Waste fish oil biodiesel as a source of renewable fuel in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 17: 312-319.
  21. Zenouzi, A., B. Ghobadian, T. T. Hashjin, M. Feyzolahnejad, and H. Bagherpour. 2008. The effect of waste oil methyl ester on tractor engine performance. *Modarres Mechanica Engineering* 10: 1-11.

## Effect of poultry fat oil biodiesel on tractor engine performance

M. Bavafa<sup>1</sup>- M. Tabasizadeh<sup>2\*</sup>- A. Farzad<sup>3</sup>- B. Ghobadian<sup>4</sup>- H. Eshghi<sup>5</sup>

Received: 22-11-2013

Accepted: 25-01-2014

**Introduction:** Depletion of fossil fuels and environmental degradation are two major problems faced by the world. Today fossil fuels take up to 80% of the primary energy consumed in the world, of which 58% is consumed by the transport sector alone (Mard *et al.*, 2012). The combustion products cause global warming, which is caused of emissions like carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>). Thus it is essential that low emission alternative fuels to be developed for using in diesel engines. Many researchers have concluded that biodiesel holds promise as an alternative fuel for diesel engines. Biodiesel is oxygenated, biodegradable, non-toxic, and environmentally friendly (Qi *et al.*, 2010).

**Materials and Methods:** In this study transesterification method was used to produce biodiesel, because of its simplicity in biodiesel production process and holding the highest conversion efficiency.

**Transesterification of poultry fat oil and the properties of the fuels:** Fatty acid methyl ester of poultry fat oil was prepared by transesterification of oil with methanol in the presence of KOH as catalyst. The fuel properties of poultry fat oil methyl ester and diesel fuel were determined. These properties are presented in Table 1.

**Tests of engine performance and emissions:** After securing the qualitative characteristics of produced biodiesel, different biodiesel fuels of 5%, 10%, 15%, and 20% blended with diesel fuel were prepared. A schematic diagram of the engine setup is shown in Fig.1. The MF-399 tractor engine was used in the tests. The basic specifications of the engine are shown in Table 3. The engine was loaded with an electromagnetic dynamometer. The Σ5 model dynamometer manufactured by NJ-FROMENT was used to measure the power and the torque of the tractor engine. The speed range and capacity of this device are shown in Table 2. A FTO Flow Meter, manufactured by American FLOWTECH Company, was used to measure the fuel consumption (Fig.3). Its measuring range is 37-1537 ml min<sup>-1</sup>.

**Results and Discussion:** The engine performance was evaluated in terms of engine power, engine torque and specific fuel consumption at different engine speeds. The variation of engine torques with B<sub>5</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>15</sub>, B<sub>20</sub> and diesel fuel are presented in Fig. 4. The engine torque for biodiesel blends was more than that by diesel fuel only. The mean engine torques for B<sub>5</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>15</sub> and B<sub>20</sub> were 2.5%, 2.8%, 3%, and 3.5% higher than that by only diesel, respectively. This is due to the better combustion of biodiesel compared to diesel fuel. The variation of engine powers with B<sub>5</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>15</sub>, B<sub>20</sub> and diesel fuel are presented in Fig. 5. The engine powers for biodiesel blends were more than that by diesel fuel. The mean engine powers for B<sub>5</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>15</sub> and B<sub>20</sub> were higher than that by diesel by 2.5%, 3%, 3.5%, and 4%, respectively. This is because of good combustion of biodiesel resulted from higher oxygen content. The mean specific fuel consumptions for B<sub>5</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>15</sub> and B<sub>20</sub> were higher than diesel fuel about 4.1%, 7%, 8.8%, and 2%, respectively (Fig. 8). The density of biodiesel was higher than that of diesel fuel, which means the same fuel consumption on volume basis results in higher specific fuel consumption in case of biodiesel.

**Conclusions:** The values of viscosity, density and flash point of poultry fat oil biodiesel were found to be closely matched with ASTM D-6751 standard specifications. Viscosity and density of biodiesel were found more than those for diesel. The calorific value of biodiesel was found to be lower than that of diesel. Poultry fat oil biodiesel cannot be used as a neat diesel fuel in cold weather conditions due to its relatively low cloud point.

1- Former MSc. Student of Mechanics of Agricultural Machinery Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Assistant Professor of Biosystems Engineering Department and Member of Research Center for Agricultural Machines, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Associate Professor of Biosystems Engineering Department and Member of Research Center for Agricultural Machines, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Associate Professor of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

5- Professor of Chemistry Department, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(\*- Corresponding Author Email: Tabasizadeh@um.ac.ir)

Preheating and lowering freezing point is required to eliminate this problem. The engine performance with poultry fat oil biodiesel and its blends are comparable with those of pure diesel fuel. Results indicated that B<sub>20</sub> blend had the best performance and the lowest specific fuel consumption.

**Keywords:** Biodiesel, Engine, Performance, Poultry fat, Transesterification