

## یادداشت تحقیقاتی»

### تأثیر متیل استر روغن پسماند بر عملکرد موتور تراکتور

علی زنوزی<sup>۱</sup>، برات قبادیان<sup>۲\*</sup>، تیمور توکلی هاشجین<sup>۳</sup>، مهدی فیض‌اله نژاد<sup>۴</sup>، حسین باقرپور<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استاد، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۴- کارشناسی ارشد، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۵- دانشجوی دکتری، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

\*تهران، صندوق پستی ۱۱۱-۱۴۱۱۵

ghobadib@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: آذر ۱۳۸۶، پذیرش مقاله: شهریور ۱۳۸۷)

**چکیده-** در این تحقیق سوخت بیودیزل از روغن پسماند رستوران و با استفاده از واکنش ترانس‌استریفیکاسیون تولید و سپس ویژگی‌های مهم آن با استاندارد ASTM D-6751 مطابقت داده شد. پس از اطمینان از کیفیت بالای سوخت تولید شده، عملکرد موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات ۵ تا ۲۵ درصد از سوخت بیودیزل و دیزل، آزمایش و ارزیابی شد. گرفت. آزمایشها نشان داد که با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل، توان و گشتاور موتور تراکتور MF-399 افزایش می‌یابد. علت این امر، بهسوزی بیودیزل به دلیل اکسیژن دار بودن آن تعبیر شد. مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه‌ی تراکتور نیز به دلیل ارزش حرارتی پایین بیودیزل، اندکی افزایش یافت. نتایج تحقیق نشان داد که ترکیب B<sub>5</sub>D<sub>95</sub> دارای بهترین عملکرد و کمترین افزایش مصرف سوخت ویژه است. میزان مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه‌ی ترکیب B<sub>25</sub>D<sub>75</sub> بسیار کمتر از ترکیب B<sub>20</sub>D<sub>80</sub> به دست آمد. بنابراین در صورت استفاده از مقادیر بیشتر بیودیزل، ترکیب B<sub>25</sub>D<sub>75</sub> به دلیل مصرف سوخت کمتر بسیار مناسبتر از ترکیب B<sub>20</sub>D<sub>80</sub> است. لذا ترکیب B<sub>25</sub>D<sub>75</sub> برای استفاده در موتور تراکتور MF-399 توصیه می‌شود.

**کلیدواژگان:** موتور تراکتور، سوخت دیزل، متیل استر، ترانس‌استریفیکاسیون، استاندارد ASTM D-6751.

## «Research Note»

### Effect of Waste Oil Methyl Ester on Tractor Engine Performance

A. Zenouzi<sup>1</sup>, B. Ghobadian<sup>2\*</sup>, T. Tvakoli Hashjin<sup>3</sup>, M. Feyzolahnejad<sup>4</sup>, H. Bagherpour<sup>5</sup>

1- Ph.D. Student, Tarbiat Modares University

2- Associate Professor, Tarbiat Modares University

3- Professor, Tarbiat Modares University

4- M.Sc., Tarbiat Modares University

5- Ph. D., Student, Tarbiat Modares University

\*P.O. Box: 14115-111 Tehran, Iran

ghobadib@modares.ac.ir

## Abstract

In this research, biodiesel was initially produced from waste vegetable oil by transesterification reaction. The main properties of this fuel were compared with the ASTM D-6751 standard. then, performance of MF-399 tractor engine was tested and evaluated by using 5 to 25 percent biodiesel and diesel blends. Test results showed that, the power and torque of MF-399 tractor engine were increased, using biodiesel and diesel blends. This is because of good combustion of biodiesel due to high oxygen content of this fuel. There was also a slight increase in the fuel consumption and specific fuel consumption of biodiesel and diesel blends due to low calorific value of biodiesel. Results show that the B<sub>5</sub>D<sub>95</sub> blend has the best performance and the lowest increase in specific fuel consumption among the other blends. The fuel consumption and specific fuel consumption of B<sub>25</sub>D<sub>75</sub> was lower than the B<sub>20</sub>D<sub>80</sub> blend. Therefore, if the goal is using high amount of biodiesel, B<sub>25</sub>D<sub>75</sub> blend is recommended for use in MF-399 tractor engine.

**Keywords:** Tractor Engine, Diesel Fuel, Methyl Ester, Transesterification, ASTM-D 6751 Standard.

## ۱- مقدمه

اختراع موتورهای درونسوز و پیشرفت‌های بعدی در فناوری ساخت موتور، منجر به استفاده‌ی بسیار وسیع از منابع نفتی و تخلیه‌ی بسیار سریع این منابع شده است. اکنون به‌خوبی روشن شده‌است که به‌دلیل استخراج بیش از ۸۰ میلیون بشکه نفت در روز و محدود بودن منابع نفتی، در آینده‌ای نه‌چندان دور، جهان با بحران کاهش یا حتی اتمام منابع سوخت‌های فسیلی به‌ویژه نفت روبه‌رو خواهد شد. از سوی دیگر احتراق این سوخت‌ها باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه‌ی ازن و آلودگی محیط زیست و اختلالات تنفسی در شهرهای بزرگ شده است. علاوه بر این مشکلات، وابستگی کشورهای مصرف‌کننده به کشورهای تولیدکننده و صادرکننده‌ی محصولات نفتی بیشتر شده و در نتیجه قیمت فراورده‌های نفتی بسیار افزایش یافته است به‌گونه‌ای که امنیت انرژی این کشورها به خطر افتاده است. با ظهور این مسائل و مشکلات، تحقیقات بسیار وسیعی برای یافتن سوخت‌های جایگزین مناسب در جهان انجام شده‌است. سوخت‌های گیاهی تجدیدپذیر و پاک به‌عنوان مناسبترین جایگزین سوخت‌های فسیلی شناخته شده‌اند. این سوخت‌ها پایه‌ی گیاهی یا حیوانی داشته [۱، ۲] و در حین سوختن آلودگی، بسیار کمتری را نسبت به سوخت‌های فسیلی تولید می‌کنند [۳-۶]. این سوخت‌ها را می‌توان از مواد بیولوژیکی مانند روغن‌های گیاهی، روغن‌های پسماند حاصل از رستوران‌ها و غذاخوری‌ها، چربی‌های حیوانی و محصولات پسماند حاصل از گیاهان و جنگل‌ها به‌دست‌آورد. این سوخت‌ها می‌توانند به‌صورت خالص یا مخلوط با سوخت‌های فسیلی در سامانه‌های حمل و نقل، گرمایش منازل، ساختمان‌ها و کارخانجات و همچنین در فرایندهای صنعتی به‌کار روند [۶-۱۰]. مهمترین خاصیت سوخت‌های گیاهی تجدیدپذیری و زیست‌دوستی آنها است که در نتیجه، نگرانی ناشی از اتمام

آنها نیز وجود ندارد. هر کشوری با توجه به فراوانی محصول گیاهی در آن کشور می‌تواند به تولید سوخت از آن محصول پرداخته بدین ترتیب، بخشی از نیاز سوختی خود یا کل آن را برطرف نماید.

بیودیزل یکی از بیوسوخت‌ها است و خواصی بسیار شبیه به سوخت دیزل دارد با این تفاوت که مواد ناخوشایندی مانند گوگرد، نیتروژن و آروماتیک‌های پلی سایکلیک ندارد. این سوخت می‌تواند بدون ایجاد تغییر در بویلرها و موتورهای درونسوز، به‌جای سوخت دیزل به‌کار رود [۱۱-۱۳]. بیودیزل به‌علت داشتن مزایای زیر به‌عنوان بهترین جایگزین سوخت دیزل شناخته می‌شود [۴، ۶، ۱۴-۱۷]:

۱- بیودیزل جایگزین سوخت‌های با پایه‌ی نفتی است و باعث کاهش وابستگی به واردات سوخت و مشتقات نفتی می‌شود.

۲- بیودیزل تجدیدپذیر بوده و برای رسیدن به هدف جایگزینی در کشورهایی مانند اتحادیه‌ی اروپا، استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر به مقدار ۱۲٪ از کل انرژی خروجی تا سال ۲۰۱۰ هدف‌گذاری شده است.

۳- بیودیزل دارای تراز انرژی مناسبی است.

۴- بیودیزل باعث کاهش مقدار گازهای گلخانه‌ای می‌شود که منطبق بر توافق‌نامه‌ی قرارداد کیوتو است.

۵- بیودیزل دارای انتشارهای مضر بسیار کمی است. و این مزیت بسیار مهمی برای این سوخت به‌ویژه در مناطق حساس به آلودگی‌های محیط مانند شهرهای بزرگ و معادن محسوب می‌شود.

۶- بیودیزل سوختی تجزیه‌پذیر و غیر سمی بوده و این مزیت مهمی در نشتی‌های مخازن برای زیست دریایی و سایر محیط‌های حساس به سوخت‌های فسیلی محسوب می‌شود.

۷- استفاده از مازاد مواد کشاورزی برای تولید بیودیزل، می‌تواند به اقتصاد روستاها کمک می‌کند.

طول سال، تراکتورها بیشترین مصرف کننده سوخت در بخش کشاورزی هستند. در سال ۱۳۸۳، تعداد ۱۲۳,۴۳۹ دستگاه تراکتور با عمر کمتر از ۱۳ سال که در فاصله زمانی بین سالهای ۱۳۷۰ و ۱۳۷۳ تولید شده‌اند، در کشور وجود داشته‌اند [۲۱]. با توجه به مزایای ذکر شده در مورد بیودیزل، استفاده از این سوخت در بخش کشاورزی و به‌ویژه در موتور تراکتورها، به جای سوخت دیزل ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به خلاء اطلاعات علمی و فنی در زمینه عملکرد تراکتور با سوخت بیودیزل در داخل کشور، استفاده از این سوخت در موتور تراکتور و بررسی دقیق عملکرد آن ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین در این تحقیق ابتدا سوخت بیودیزل از روغن پسماند تولید شد و پس از مطابقت دادن خواص بیودیزل تولید شده با استانداردهای ASTM D-6751 و اطمینان از کیفیت بالای آن، عملکرد موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات این سوخت با سوخت دیزل مورد بررسی شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

روش‌هایی که برای تولید بیودیزل در جهان به کار می‌روند عبارتند از: پیرولیز، میکروامولسیون و ترانس‌استریفیکاسیون از میان این روش‌ها، روش ترانس‌استریفیکاسیون با توجه به دلایلی که در ادامه ذکر شده به عنوان مناسبترین و معمول‌ترین روش تولید بیودیزل انتخاب شده. لذا در این تحقیق از این روش برای تولید بیودیزل استفاده شد.

روش ترانس‌استریفیکاسیون نسبت به روش‌های دیگر مزایای بیشتری دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۲۲]:

۱- در واکنش ترانس‌استریفیکاسیون اتم‌های اکسیژن در زنجیره‌های استر باقی می‌ماند که خاصیت بهسوزی به سوخت داده و مقدار انتشار CO را کاهش می‌دهند. این

با در نظر گرفتن مزایای فوق برای بیودیزل علاقه‌ی بسیار زیادی برای بسط و توسعه‌ی کارخانه‌های تولید بیودیزل به وجود آمده است.

تحقیقات مختلفی در زمینه اصلاح توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه‌ی موتورهای اشتعال تراکمی با استفاده از بیودیزل و ترکیبات آن با سوخت دیزل انجام شده است. کلارک و همکاران (۱۹۹۷) با استفاده از بیودیزل حاصل از روغن سویا ۷/۸٪ کاهش توان و ۱۰٪ افزایش مصرف سوخت ویژه را گزارش کرده‌اند [۱۸]. محقق دیگری از ترکیب با استفاده از بیودیزل حاصل از روغن توباکو (که نوعی دانه روغنی بومی ترکیه است) تا ترکیب B20 به میزان ۲٪ افزایش توان و گشتاور و در نسبت‌های بالاتر از این ترکیب کاهش توان و گشتاور را اعلام کرده است [۱۷]. راهمن و فاداتاره (۲۰۰۴) با استفاده از بیودیزل حاصل از روغن کارانجا (که نوعی دانه روغنی بومی هندوستان است) در ترکیب B20 به مقدار ۱۳٪ افزایش گشتاور و ۷/۴٪ افزایش مصرف سوخت ویژه و در B100 به میزان ۲۳٪ کاهش گشتاور و ۱۱٪ افزایش مصرف سوخت ویژه را به دست آورده‌اند [۱۹].

بر طبق ترازنامه انرژی کشور ایران در سال ۱۳۸۴، مصرف سوخت دیزل با ۴/۹ درصد رشد نسبت به سال ۸۳ به ۲۸,۶۹۵,۰۰۰,۰۰۰ لیتر در سال رسید. از این مقدار در حدود ۱۳ درصد از مصرف گازوییل (سوخت دیزل) کشور در بخش کشاورزی بوده است (۳,۷۲۹,۹۹۱,۰۰۰ لیتر در سال). به بیان دیگر در آن سال، روزانه بیش از ۱۰ میلیون لیتر گازوییل در بخش کشاورزی مصرف شده است [۲۰]. مهم‌ترین مصرف کنندگان سوخت در بخش کشاورزی، موتورهای دیزل ماشین‌های کشاورزی می‌باشند. در میان ماشین‌های کشاورزی، تراکتور و کمباین بیشترین مصرف کننده‌ی سوخت دیزل را دارند و با توجه به تعداد عملیات متنوع و ساعات کاری در

و گلیسرین تولید شده از ۱۰۰۰ میلی لیتر روغن نشان داده شده است [۲۲]:

متانول اضافی + گلیسرین + بیودیزل → متانول + روغن  
 ۱۰۰۰ ml ۲۱۷ ml ۱۰۰۴ ml ۱۰۴ ml ۱۰۸/۳ ml

برای واکنش ترانس استریفیکاسیون، علاوه بر روغن و الکل، به مقدار تقریباً ۱٪ وزن روغن واکنشگر نیز به واکنش اضافه شد [۲۵]. واکنشگرها به سه دسته اسیدی، بازی و آنزیمی تقسیم می‌شوند [۲۶]. از بین این واکنشگرها، بهترین واکنشگر، نوع بازی است زیرا سرعت بسیار بالا و بازدهی ۱۰۰٪ دارد. لذا، در این تحقیق واکنشگر بازی KOH استفاده شد. در واکنش ترانس استریفیکاسیون، گلیسرین به عنوان محصول جانبی تولید می‌شود که بسیار با ارزش بوده و در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود.

بیودیزل تولید شده توسط آبشویی خالص سازی و با حرارت، شفاف سازی شد. برای استفاده از سوخت بیودیزل در موتور تراکتور MF-399 خواص بیودیزل تولید شده مطابق استانداردهای مورد نظر تعیین شد. لذا، پس از تولید بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون، برخی از خواص مهم آن مانند گرانیروی سینماتیک، نقطه‌ی اشتعال، نقطه‌ی ابری شدن، نقطه‌ی ریزش، مقدار آب و رسوب، مقدار گلیسرین آزاد، رنگ و خوردگی مس اندازه گیری شده و نتایج آن با استاندارد بین‌المللی ASTM D-6751 مطابقت داده شد. در جدول ۱ خواص بیودیزل تولید شده از روغن همراه با استانداردهای مربوط و بازه‌ی قابل قبول ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول، مشاهده می‌شود که خصوصیات اصلی بیودیزل تولید شده از روغن پسماند، مطابق استانداردهای ASTM است. بنابراین با اطمینان از این سوخت در موتور دیزل تحت آزمایش استفاده شد.

خاصیت باعث شده که به استرهای تولید شده از این روش، سوخت‌های اکسیژن دار بگویند. در روش پیرولیز اتم اکسیژن بر اثر حرارت از سوخت حذف می‌شود.

۲- در بین روش‌های ذکر شده، روش ترانس استریفیکاسیون بالاترین بازدهی را دارد.

۳- تولید سوخت بیودیزل به وسیله‌ی واکنش ترانس استریفیکاسیون بسیار آسان بوده و به تجهیزات ساده‌ای نیاز دارد.

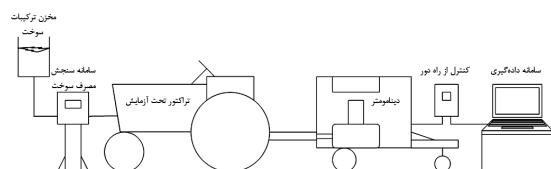
در واکنش ترانس استریفیکاسیون روغن با استفاده از یک الکل در حضور واکنشگر مناسب به بیودیزل تبدیل شد [۲۳]. برای انجام واکنش ترانس استریفیکاسیون ابتدا روغن پسماند آماده سازی و آب و مواد زائد موجود در آن جدا شد. پس از آماده سازی روغن، مخلوط الکل و واکنشگر به آن اضافه گردید. در مرحله‌ی بعدی، واکنش ترانس استریفیکاسیون انجام شد. در اثر این واکنش گلیسرین از استر جدا شده و استر باقی مانده به وسیله‌ی آبشویی، خالص شد و در نهایت استر خالص که به آن بیودیزل گفته می‌شود به دست آمد. الکل‌های مناسب برای انجام واکنش ترانس استریفیکاسیون متانل، اتانل، پروپانل و بوتانل است [۲۴]. متانول و اتانول پرکاربردترین الکل‌ها در واکنش ترانس استریفیکاسیون می‌باشند. در این تحقیق، با توجه به ارزانی و خواص فیزیکی و شیمیایی بهتر متانل نسبت به اتانل به عنوان بهترین الکل برای واکنش ترانس استریفیکاسیون انتخاب شد. مناسبترین مقدار متانول مورد نیاز برای انجام واکنش ترانس استریفیکاسیون، نسبت مولی ۳:۱ است، یعنی به ازای یک مول روغن، ۳ مول متانول لازم است. تحقیقات نشان می‌دهد که به ازای ۱۰۰۰ ml روغن با احتساب ۵۰ درصد متانول اضافه، ۲۱۷ ml متانول لازم می‌باشد. در رابطه‌ی زیر، مقادیر بیودیزل

گشتاور را به صورت خودکار اندازه گیری کرده و نتیجه را به صورت نمودار یا داده ارائه می کند. داده ها قابل انتقال به نرم افزار اکسل (EXCEL) است.



شکل ۱ دینامومتر Σ5 NJ- FROMENT برای اندازه گیری پارامترهای تراکتور

دینامومتر به وسیله ی محور توان دهی به تراکتور متصل می شود و با افزایش بار، توان و گشتاور موتور را در هر دور نمایش می دهد. طر حواره، ارتباط دینامومتر، تراکتور و سامانه داده گیری در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ طر حواره ارتباط دینامومتر، تراکتور، سامانه سنجش مصرف سوخت و سامانه ی داده گیری

اعمال بار را می توان به صورت دستی یا خودکار انجام داد. برای اندازه گیری مصرف سوخت تراکتور، از جریان سنج FTO استفاده شد. این جریان سنج برای روغن

جدول ۱ خواص بیودیزل تولید شده به همراه با استانداردهای ASTM امریکا

خصوصیت	روش استاندارد آزمون	حدود مجاز	بیودیزل	واحد
نقطه اشتعال	ASTM D-92	کمترین ۱۳۰	۱۷۶	°C
گرانروی سینماتیک	ASTM D-445	۶۰-۱/۹	۴/۷۳	mm <sup>2</sup> /s
نقطه ابری شدن	ASTM D-2500	-	-۱	°C
نقطه ریزش	ASTM D-97	-	-۴	°C
رنگ	ASTM D-1500	-	L۱/۵	-
خوردگی مس	ASTM D-130	بیشترین شماره ۳	1a	-
گلیسرین آزاد	ASTM D-6584	بیشترین ۰/۰۲	۰/۰۱۶	% mass
آب و رسوبها	ASTM D-2709	بیشترین ۰/۰۵	۰/۰۵	% vol.
چگالی	-----	-----	۰/۸۸۰	g/cm <sup>3</sup>
عدد ستان	ASTM D-613	کمترین ۴۰	۶۱	--

پس از تولید بیودیزل، ترکیبهای سوخت دیزل با بیودیزل به صورت حجمی و با نسبت های ارائه شده در جدول ۲ تهیه شد. سوخت دیزل مورد نیاز از ایستگاه سوخت تهیه شد تا به شرایط واقعی مورد مصرف نزدیک باشد.

جدول ۲ ترکیبهای سوخت بیودیزل و دیزل

B <sub>0</sub> D <sub>100</sub>	B <sub>5</sub> D <sub>95</sub>	B <sub>10</sub> D <sub>90</sub>	B <sub>15</sub> D <sub>85</sub>	B <sub>20</sub> D <sub>80</sub>	B <sub>25</sub> D <sub>75</sub>
---------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

در این جدول، B بیانگر بیودیزل و D بیانگر سوخت دیزل بوده و اعداد کنار هر حرف، سهم درصدی آن سوخت در ترکیب را مشخص می کند. از هر ترکیب ۶ لیتر سوخت تهیه شد تا برای انجام آزمایش ها کافی باشد. از دینامومتر مدل Σ5 ساخت شرکت NJ-FROMENT برای اندازه گیری گشتاور و توان تراکتور MF-399 استفاده شد. شکل ۱ دینامومتر را نشان می دهد. این دینامومتر از طریق اعمال میدان مغناطیسی، میزان توان و

به وجود نمی آید اما برای اینکه داده‌های واقعی برای توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه به دست آید، توان اندازه‌گیری شده توسط دینامومتر، بر ضریب افت توان تقسیم شد. همچنین گشتاور به دست آمده بر نسبت تغییر دور موتور در محور توان‌دهی تقسیم شد. به این ترتیب، توان و گشتاور موجود در چرخ لنگر محاسبه می شود. مشخصات موتور تراکتور MF-399 در جدول ۳ ارائه شده است. سرعت استاندارد محور توان‌دهی این تراکتور ۱۰۰۰ rpm در دور موتور ۱۹۰۰ rpm است. به بیان دیگر نسبت دور موتور به دور محور توان‌دهی، ۱/۹ به ۱ است. حداکثر توان موتور ۱۱۰ اسب بخار (۸۲ کیلو وات) و حداکثر توان محور توان‌دهی نیز برار ۹۵ اسب بخار (۶۹/۹ کیلووات) است که ۱۴/۷۵٪ افت توان را در سیستم انتقال توان نشان می دهد.

جدول ۳ مشخصات موتور تراکتور MF-399 تحت آزمایش

مدل	A63544 پرکینز
کارخانه سازنده	شرکت موتور سازان
تعداد سیلندر	۶
کورس سیلندر	۱۲۷ میلی‌متر
قطر سیلندر	۹۸/۶ میلی‌متر
حجم سیلندر	۵/۸ لیتر
ترتیب احتراق	۴،۲،۶،۳،۵،۱
حداکثر توان در rpm ۲۳۰۰	۱۱۰ اسب بخار (۸۲ کیلووات)
حداکثر گشتاور در rpm ۱۳۰۰	۳۷۶ نیوتن متر

### ۳- نتایج و بحث

داده‌های حاصل از آزمون موتور تراکتور نشان داد که در تمامی ترکیب‌های، توان و گشتاور نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش می‌یابد. در شکل ۳ مقادیر افزایش توان و در شکل ۴ مقادیر افزایش گشتاور حاصل از ترکیب‌های بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص به صورت هیستوگرام نشان

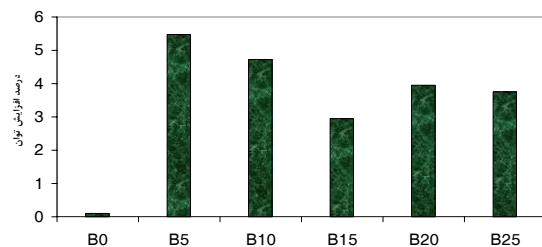
و سوخت دیزل و مواد خورنده مناسب است و دارای محدوده‌ی اندازه‌گیری ۳۷ ml/min تا ۱۵۱۴ ml/min مناسب برای تراکتورهای ۴، ۶ و ۸ سیلندر است. خروجی جریان‌سنج دیجیتالی بوده و مقدار جریان سوخت را بر حسب واحد ml/min نمایش می‌دهد. برای اندازه‌گیری مصرف سوخت، جریان‌سنج باید در مسیر ورودی سامانه‌ی سوخت‌رسانی نصب شود. با توجه به اینکه ترکیب‌های سوخت بیودیزل و دیزل در آزمون موتور مورد آزمایش قرار گرفت، لذا از یک مخزن فرعی به عنوان باک برای نگهداری ترکیب‌های سوخت استفاده شد. ترکیب سوخت بیودیزل و دیزل پس از تصفیه توسط فیلتر ۱۰ میکرونی در داخل این مخزن فرعی ریخته شده و خروجی این مخزن به جریان‌سنج متصل شد. خروجی جریان‌سنج نیز به پمپ دیافراگمی تراکتور متصل شد. بقیه‌ی مسیر سوخت‌رسانی بدون تغییر باقی ماند به جز مسیر سوخت برگشتی که به جای باک به ظرف دیگری هدایت شد تا در محاسبات مصرف سوخت خطایی ایجاد نکند. مقدار سوخت برگشتی از عدد خوانده شده توسط جریان سنج کم می‌شود تا مصرف سوخت واقعی تراکتور بدست آید. ترکیب‌های سوخت و گرانیروی آن در حین آزمایش‌ها با اضافه کردن مقادیر بیودیزل تغییر می‌کند، لذا جریان‌سنج برای هر ترکیب کالیبره شد. با توجه به اینکه دینامومتر NJ-FROMENT Σ5 از طریق محور توان‌دهی (PTO) به تراکتور متصل می‌شود و گشتاور و توان موتور را از طریق این محور اندازه‌گیری می‌کند، لذا اندکی افت توان در سامانه‌ی انتقال توان، قابل انتظار است. همچنین گشتاور خروجی موتور با نسبت چرخ‌دنده‌های سامانه‌ی انتقال توان تغییر می‌کند. از آنجا که در این تحقیق، هدف مقایسه‌ی توان و گشتاور حاصل از ترکیب‌های مختلف سوخت بیودیزل و دیزل است لذا، خللی در نتایج حاصل

در جدول ۴ و شکل ۵ مشاهده می‌شود که در تمامی ترکیبها، با افزایش بار موتور و کاهش دور آن، افزایش گشتاور ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش می‌یابد. برای مثال در دور ۱۰۰۰ rpm، اختلاف بین گشتاور حاصل از ترکیب B5D95 و سوخت دیزل خالص برابر ۶۱ نیوتن متر است اما در دور ۷۰۰ rpm، گشتاور حاصل از ترکیب B5D95 به میزان ۴۳ نیوتن متر بیشتر از گشتاور حاصل از سوخت دیزل خالص است. علت این پدیده، بیشتر بودن چگالی سوخت بیودیزل نسبت به دیزل خالص است بدین معنا که در بار زیاد و دور پایین، ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل در واحد حجم، مقدار سوخت بیشتری را به محفظه احتراق وارد می‌کنند و با توجه به اینکه بیودیزل اکسیژن بیشتری دارد، لذا احتراق کامل حاصل شده و به این ترتیب توان و گشتاور موتور بیشتر می‌شود. در صورتی که در دوره زیاد و بار کم، با توجه به اینکه مخلوط فقیر بوده و اکسیژن کافی وجود دارد، لذا وجود بیودیزل تأثیر چندانی بر افزایش توان و گشتاور ندارد.

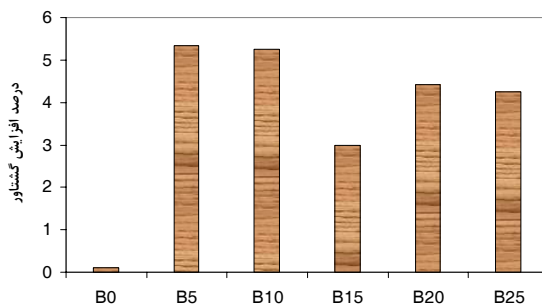
جدول ۴ گشتاور حاصل از ترکیبای سوخت بیودیزل و دیزل

RPM	B0	B5	B10	B15	B20	B25
۷۰۰	۳۱۷/۹	۳۴۱/۵	۳۴۱/۶	۳۳۱/۶	۳۳۷/۸	۳۴۰/۰
۷۲۰	۳۱۹/۳	۳۴۱/۳	۳۴۳/۰	۳۳۲/۶	۳۳۷/۹	۳۴۰/۴
۷۴۰	۳۱۹/۵	۳۴۱/۶	۳۴۱/۸	۳۳۴/۲	۳۳۹/۱	۳۴۱/۶
۷۶۰	۳۱۹/۷	۳۴۱/۷	۳۴۱/۷	۳۳۴/۸	۳۳۸/۳	۳۴۱/۵
۷۸۰	۳۲۰/۲	۳۴۰/۸	۳۴۰/۸	۳۳۴/۰	۳۳۸/۳	۳۴۱/۳
۸۰۰	۳۲۱/۰	۳۴۰/۰	۳۳۹/۸	۳۳۲/۹	۳۳۸/۲	۳۴۰/۰
۸۲۰	۳۲۱/۶	۳۴۹/۶	۳۳۹/۴	۳۳۱/۸	۳۳۷/۶	۳۳۹/۸
۸۴۰	۳۲۱/۸	۳۳۹/۰	۳۳۸/۶	۳۳۱/۶	۳۳۶/۳	۳۳۸/۷
۸۶۰	۳۲۱/۹	۳۳۷/۹	۳۳۷/۹	۳۳۰/۲	۳۳۶/۱	۳۳۷/۶
۸۸۰	۳۲۲/۷	۳۳۷/۰	۳۳۵/۵	۳۲۸/۸	۳۳۵/۳	۳۳۵/۵
۹۰۰	۳۲۱/۹	۳۳۵/۶	۳۳۴/۵	۳۲۸/۱	۳۳۳/۹	۳۳۳/۷
۹۲۰	۳۱۹/۲	۳۳۴/۰	۳۳۲/۶	۳۲۶/۱	۳۳۱/۶	۳۳۲/۱
۹۴۰	۳۱۶/۷	۳۳۱/۵	۳۳۰/۶	۳۲۵/۱	۳۲۹/۹	۳۳۰/۵
۹۶۰	۳۱۴/۱	۳۲۸/۷	۳۲۶/۳	۳۲۱/۱	۳۲۷/۳	۳۲۶/۳
۹۸۰	۲۹۰/۵	۳۰۴/۹	۳۰۳/۱	۳۰۰/۳	۲۹۵/۸	۲۹۷/۵
۱۰۰۰	۱۹۲/۴	۱۹۵/۶	۱۹۷/۶	۱۹۰/۸	۱۹۲/۹	۱۷۴/۸

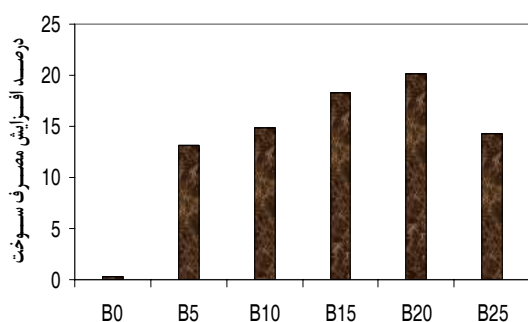
داده شده است. در این نمودارها مشاهده می‌شود که ترکیب B5D95 با ۵/۴۷٪ افزایش توان و ۵/۳۳٪ درصد افزایش گشتاور، بیشترین افزایش توان و گشتاور را داشته و به تدریج میزان افزایش توان و گشتاور در دیگر ترکیبها کمتر می‌شود. با توجه به اینکه ارزش حرارتی بیودیزل کمتر از سوخت دیزل است، لذا مشاهده می‌شود که میانگین درصد افزایش توان و گشتاور به تدریج با افزایش مقدار بیودیزل در ترکیبها مقدار افزایش گشتاور و توان کمتری را نشان می‌دهد. در این بین فقط ترکیب B15D85 استثنا بوده و کمترین درصد افزایش توان و گشتاور را دارد، اما با این حال نسبت به سوخت دیزل خالص، ۲/۹۶٪ درصد افزایش توان و ۳٪ درصد افزایش گشتاور دارد. علت رفتار غیر عادی ترکیب B15D85 نامشخص است و شاید به دلیل به وجود آمدن ترکیب شیمیایی خاصی در این ترکیب باشد که به تحقیق و بررسی نیاز دارد.



شکل ۳ رابطه‌ی ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل و توان موتور تراکتور



شکل ۴ رابطه‌ی ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل و گشتاور موتور تراکتور

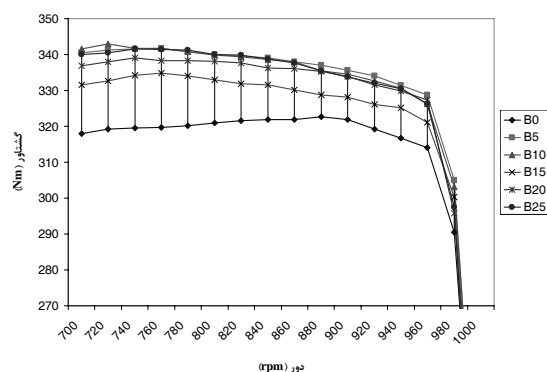


شکل ۶ رابطه‌ی ترکیبهای سوخت بیودیزل و دیزل و مصرف سوخت موتور تراکتور

شکل ۷ درصد افزایش مصرف سوخت ویژه‌ی موتور تراکتور MF-399 را با استفاده از ترکیبهای سوخت بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که ترکیب B<sub>5</sub>D<sub>95</sub> کمترین مصرف سوخت ویژه را در بین سایر ترکیبها دارد. با افزایش درصد بیودیزل در ترکیبات، مقدار میانگین مصرف سوخت ویژه نیز افزایش می‌یابد. ترکیب B<sub>25</sub>D<sub>75</sub> از قاعده‌ی تدریجی افزایش مصرف سوخت پیروی نمی‌کند و مقدار افزایش مصرف سوخت ویژه‌ی کمتری را نسبت به ترکیبات B<sub>15</sub>D<sub>85</sub> و B<sub>20</sub>D<sub>80</sub> نشان می‌دهد. علت این امر، پایین بودن مصرف سوخت ترکیب B<sub>25</sub>D<sub>75</sub> و بالا بودن توان آن است، زیرا مصرف سوخت ویژه از رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود و لذا، مصرف سوخت پایین و توان بالا باعث کاهش میزان مصرف سوخت ویژه می‌شود.

$$SFC = \frac{\dot{M}_f}{kW} \quad (1)$$

$$SFC (g/kW.h) = \frac{60 \times \text{چگالی} (g/cm^3) \times \text{مصرف سوخت} (ml/min)}{\text{توان} (kW)}$$



شکل ۵ رابطه‌ی دور و گشتاور موتور برای ترکیبهای مختلف سوخت بیودیزل و دیزل

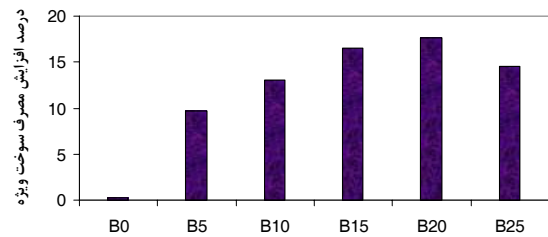
با توجه به اینکه سوخت بیودیزل پایه‌ی گیاهی دارد لذا ارزش حرارتی آن بسته به نوع روغن مورد استفاده برای تولید بیودیزل، در حدود ۱۰ درصد کمتر از سوخت دیزل است. بنابراین به مقدار بیشتری سوخت با استفاده از ترکیبهای بیودیزل و دیزل نیاز است تا همان توان تولید شود. همچنین با توجه به این‌که چگالی بیودیزل بیشتر از سوخت دیزل است، لذا با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل، پمپ انژکتور در هر وعده، مقدار سوخت بیشتری را نسبت به سوخت دیزل خالص به محفظه‌ی احتراق وارد می‌کند. شکل ۶ افزایش درصد مصرف سوخت ترکیبهای سوخت بیودیزل و دیزل را نسبت به سوخت دیزل خالص نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که ترکیب B<sub>5</sub>D<sub>95</sub> کمترین افزایش مصرف سوخت را نسبت به سایر ترکیبها داشته و مصرف سوخت با استفاده از نسبت‌های دیگر، به تدریج افزایش می‌یابد. ترکیب B<sub>25</sub>D<sub>75</sub> از قاعده‌ی تدریجی افزایش مصرف سوخت پیروی نمی‌کند و مقدار افزایش مصرف سوخت کمتری را نسبت به ترکیبهای B<sub>15</sub>D<sub>85</sub> و B<sub>20</sub>D<sub>80</sub> نشان می‌دهد که این به بررسی نیاز دارد.



B<sub>25</sub>D<sub>75</sub> به دلیل دارا بودن مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه‌ی پایین، مناسبتر از ترکیب B<sub>20</sub>D<sub>80</sub> شناخته شد. نکته‌ی دیگر این است که با تعمیم داده‌های به دست آمده برای تراکتور به سایر ماشین‌های سنگین، نتیجه‌گیری می‌شود که با تولید بیودیزل از روغن پسماند به صورت انبوه و با استفاده از این سوخت به صورت ترکیب B<sub>25</sub>D<sub>75</sub> با سوخت دیزل، می‌توان به کاهش نیاز به واردات سوخت کمک کرد و نیز با استفاده از این سوخت پاک، از آلودگی هوا کاست.

#### ۵- منابع

- [1] Ghobadian, B and Rahimi, H. (2004). Biofuels-Past, Present and Future Perspective. the 4<sup>th</sup> International Iran and Russia Conference. September 8- 10, 2004. Shahre kord, Iran.
- [2] Carraretto, C, Macor, A, Mirandola, A, Stoppato, A and Tonon, S. (2004). Biodiesel as Alternative Fuel: Experimental Analysis and Energetic Evaluation. Journal of Energy, 29: 2195-2211.
- [3] نجفی، ب، پیروز پناه، و قبادیان، ب. (۱۳۸۴). تاثیر استفاده از بیودیزل در کاهش آلاینده‌ی موتور دیزل. مجموعه مقالات اولین کنفرانس احتراق ایران. دانشگاه تربیت مدرس. ۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۸۴. تهران، ایران.
- [4] Ghobadian, B, Rahimi, H and Khatamifar, M. (2006). Evaluation of Engine Performance Using Net diesel Fuel and Biofuel Blends. The First Combustion Conference of Iran (CCT1). Tarbiat Modares University. February 15-16<sup>th</sup> 2006. Tehran, Iran.
- [5] Nurun Nabi, Md, Shamim Akhter, Md and Zaglul Shahadat, Mhia Md. (2006). Improvement of Engine Emissions with Conventional Diesel Feul and Diesel-



شکل ۷ رابطه‌ی ترکیبهای سوخت بیودیزل و دیزل و مصرف سوخت ویژه موتور تراکتور

مشاهدات عینی نشان داد که غلظت دود خروجی تراکتور و تیرگی رنگ آن با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل کاهش پیدا می‌کند. همچنین بوی دود خروجی نیز تغییر یافت به طوری که تغییر بو در نسبت B<sub>25</sub>D<sub>75</sub> کاملاً آشکار بود. اندازه‌گیری مقادیر عددی کاهش آلاینده‌ی موتور با استفاده از ترکیبهای سوخت بیودیزل و دیزل، به دستگاه‌های سنجش آلاینده‌ی نیاز دارد در این تحقیق به علت عدم دسترسی به این دستگاه‌ها، تعیین میزان آلاینده‌ی مقدور نبود. پس از پایان آزمایش‌ها، مشاهدات عینی هیچگونه مشکلی را در موتور تراکتور بر اثر استفاده از ترکیبهای سوخت بیودیزل و دیزل نشان نداد. اندازه‌گیری دوباره‌ی توان و گشتاور با استفاده از سوخت دیزل خالص، همان مقادیر توان و گشتاور را که قبل از استفاده از ترکیبها به دست آمده بود نشان داد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق عملکرد موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات متیل استر روغن پسماند و سوخت دیزل ارزیابی شد. نتایج تحقیق در مجموع نشان داد که ترکیب B<sub>5</sub>D<sub>95</sub> بیشترین افزایش توان و گشتاور و کمترین افزایش مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه را در بین سایر ترکیبها دارد. در درصدهای بالاتر بیودیزل، ترکیب

- [13] Lee, S. W., Herage, T., and Young, B. (2004). Emission Reduction Potential from the Combustion of Soy Methyl Ester Fuel Blended with Petroleum Distillate Fuel. *Journal of Fuel*, 83: 1607-1613.
- [14] Ranases, A. R., Glaser, L. K., Price, J. M., and Duffield, J. A. (1999). Potential biodiesel markets and their economic effects on the agricultural sector of the United States. *Industrial Crop and Products*, 9: 151-162.
- [15] Gavett, E. E., Dyne, D. L. and Van Dyne, P. L. (1992). The economic feasibility of biodiesel. Paper of ASAE. No. 92-6027.
- [16] Jose, M. D., Jean, A. and Santiago, R. (1999). Characterization of the injection—combustion process in a DI Diesel engine running with Rape seed oil methyl ester. *SAE 1999-01-1497*, 1999.
- [17] Usta, N. (2005). An Experimental Study on Performance and Exhaust Emission of a Diesel Engine Fuelled with Tobacco Seed Oil Methyl Ester. *Journal of Energy Conversation and Management*, 46: 2373-2386.
- [18] Clark, S. L., Wagner, L. and Schrock, M. D. (1997). Methyl and ethyl soybean as renewable fuels for diesel engine. *JAOCS*, 10: 632-637.
- [19] Raheman, H., Phadatare, A. G. (2004). Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel. *Journal of Biomass and Bioenergy*, 27: 393-397.
- [۲۰] بی نام (۱۳۸۵). وزارت نیرو. ترازنامه انرژی جمهوری اسلامی ایران.
- [۲۱] بی نام (۱۳۸۳). مرکز توسعه مکانیزاسیون کشاورزی. گزارش عملکرد مرکز توسعه مکانیزاسیون کشاورزی.
- [۲۲] خاتمی فر، م. (۱۳۸۵). طراحی، ساخت، آزمایش و ارزیابی دستگاه فرآوری بیودیزل. پایان کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.
- Biodiesel Blends. *Journal of Biosource Tecnology*, 97: 372-378.
- [6] Dorado, M.P., Ballesteros, E, Arnal, J.M and Lopez, F.J. (2003). Exhaust Emissions From a Diesel Engine Fueled with Transesterified Waste Olive Oil. *Journal of Fuel*, 82: 1311-1315.
- [۷] قبادیان، ب. (۱۳۷۵). طراحی دستگاه بیوگاز گنبدی ثابت. اولین سمینار بیوگاز در ایران. بخش بیوگاز مرکز تحقیقات و انرژیهای نو. سازمان انرژی اتمی ایران.
- [۸] قبادیان، ب و خاتمی فر، م. (۱۳۸۴). تولید بیودیزل از روغن های پسماند خوراکی. مجموعه مقالات دومین همایش ملی بررسی ضایعات محصولات کشاورزی. قطب علمی مهندسی بازیافت و ضایعات محصولات استراتژیک کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس. آبان ماه ۱۳۸۴. تهران، ایران.
- [۹] زنوزی، ع. و قبادیان، ب. (۱۳۸۶). مقایسه بیودیزل تولیدی به عنوان انرژی تجدیدپذیر از چهار روغن خوراکی. ششمین همایش ملی انرژی ایران. ۲۲ و ۲۳ خرداد ماه ۱۳۸۶. تهران، ایران.
- [10] Usta, N, Ozturk, E, Can, O, Conkur, E.S, Nas, S, Con, A.H, Can, A.C and Topcu, M. (2005). Combustion of Biodiesel Fuel Produced from Hazelnut Soapstock/Waste Sunflower Oil mixture in a Diesel Engine. *Journal of Energy Conversation and Management*, 46: 741-755.
- [۱۱] زنوزی، ع. (۱۳۸۶). ارزیابی عملکرد تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.
- [12] Ghobadian, B and Khatamifar, M. (2005). Biodiesel Fuel Production Using Transesterification of Waste Vegetable Oils. The fourth International Conference on Internal Combustion Engines. November 16- 18<sup>th</sup> 2005 (4<sup>th</sup> ICICE ) Tehran-Iran.

- [25] Korus, R.A., D.S. Hoffman, N. Bam, C.L. Peterson, and D.C. Drown. (1993) Transesterification Process to Manufacture Ethyl Ester of Rape Oil. First Biomass Conference of the Americas: Energy, Environment, Agriculture, and Industry, Aug. 30-Sept. 2, Burlington, Vermont.
- [26] Leung, D. Y. C. and Koo, B. C. P. (2000). Biodiesel – Is It Feasible To Be Used In Hong Kong? Vehicle Exhaust Treatment Technology and Control, 133-138.
- [23] Zenouzi, A., and Ghobadian, B. (2007). Design and Fabrication of a Multifunction Biodiesel Processor. The International Congress on Biodiesel: The Science and the Technology. Nov. 5-8, 2007. Vienna, Austria.
- [24] Vicente, G., Matinez, M., and Aracil, J. (2004). Integrated Biodiesel Production: a Comparison of Different Homogeneous Catalysts Systems. Journal of Bioresource Technology, 92: 297-305.