

## بررسی ارتعاشات موتور تراکتور MF285 بر اثر ترکیبات مختلف سوخت بیودیزل به کمک سطح پاسخ

حسین جوادی کیا<sup>۱\*</sup>، لیلا ندرلو<sup>۲</sup>، علی سفرنگیان<sup>۳</sup>، مصطفی مصطفایی<sup>۴</sup>، سید سعید محتسبی<sup>۵</sup>

۱. استادیار، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

۲. استادیار، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

۳. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

۴. استادیار، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

۵. استاد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۱/۱۱)

### چکیده

در این تحقیق ارتعاشات حاصل از مصرف ترکیبات مختلف سوخت های بیودیزل، بیواتانول و دیزل در موتور تراکتور MF285 بررسی گردید. شتاب RMS ارتعاشات موتور در سه جهت و سه دور موتور ۱۰۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۰۰۰ rpm و ده ترکیب مختلف سوخت اندازه گیری شد. برای بررسی ارتعاش موتور تحت تأثیر پارامترهای اندازه گیری شده از طرح آماری فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی و روش سطح پاسخ استفاده شد. نتایج نشان داد که ارتعاش حاصل از مصرف ترکیبات مختلف سوختی کمتر از ارتعاش در اثر مصرف سوخت دیزل خالص می باشد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش بیودیزل در ترکیب سوخت ها میزان ارتعاش به طور معنی داری کاهش و با افزایش دور موتور میزان ارتعاش افزایش یافت. همچنین با افزایش بیواتانول تا ۴ درصد مقدار ارتعاش کمی افزایش و سپس اندکی کاهش یافت. پس از بهینه سازی، بهترین سوخت از لحاظ داشتن کمترین ارتعاش موتور به روش سطح پاسخ سوخت B<sub>25</sub>E<sub>6</sub>D<sub>69</sub> بدست آمد. در صورتی که تجزیه و تحلیل آماری سوخت B<sub>25</sub>E<sub>4</sub>D<sub>71</sub> را بهترین سوخت معرفی نمود. در هر حال استفاده از بیودیزل با درصد حجمی ۲۵ درصد سبب کاهش ارتعاشات موتور گشت.

واژه های کلیدی: بیواتانول، دیزل، ارتعاش موتور، سوخت زیستی، تراکتور

### مقدمه

از زمانی که انسان ماشین را برای استفاده در صنعت و کشاورزی به کار گرفت و به ویژه هنگامی که موتورها به عنوان منابع قدرت استفاده شدند کاهش ارتعاش آنها نظر مهندسان را به خود جلب کرده است. عامل تولید ارتعاش، احتراق و ساختار خود موتور می باشد. از طرفی احتراق به نوع سوخت و طراحی محفظه احتراق بستگی دارد. دو سوخت زیستی بیودیزل و بیواتانول به دلیل ویژگی های مشابه با سوخت های دیزلی و بنزینی بصورت خالص یا ترکیبی قابلیت استفاده در موتورهای دیزلی را دارند (Shabani et al., 1391). یکی از پیش شرط های استفاده از این سوخت های زیستی بررسی رفتار ارتعاشی این موتورها در اثر تغییر سوخت است که موضوع اصلی این تحقیق می باشد. بررسی صدا و ارتعاش حاصل از فرایند احتراق در موتورهای احتراق داخلی همواره مورد توجه محققان بوده است. ارتعاش به

طور مستقیم اثر مخرب بر روی قطعات موتور و کاربر دارد. موتورهای دیزل در مقایسه با موتورهای بنزینی ارتعاش و صدای بیشتری تولید می کنند بنابراین می توانند اثرات مخرب بیشتری بر روی موتور و کاربر داشته باشد (Andrew et al., 2007; Hashemifard-Dehkordi et al., 1393). با توجه به مشکلات سوخت های دارای پایه نفتی تغییر نوع سوخت سبب تغییر فرایند احتراق موتورهای احتراقی می شود. از آنجایی که بخش عمده ارتعاشات تراکتور ناشی از موتور دیزل آن است، لذا استفاده از سوخت بیودیزل سبب تغییر رفتار ناشی از ارتعاش این تراکتورها می شود (Sam & Kathirvel, 2006). نتایج آزمایش محققان نشان می دهد که شتاب ارتعاش وابسته به جهت مختصات و سرعت موتور و تغییر نوع سوخت می باشد. بطوریکه میزان ارتعاش در راستای عمودی بیشترین مقدار را دارد و با افزایش سرعت موتور به دلیل افزایش تعداد کورس و ضربه در واحد زمان، بیشتر می شود و نیز میزان ارتعاش با استفاده از بیودیزل خالص نسبت به دیزل خالص کاهش می یابد (Heidari et al., 1391; Zoldy, M. 2011). افزایش میزان

و دیزل تهیه و به عنوان سوخت به کار گرفته شد و ارتعاش موتور تراکتور بر اثر استفاده از هر یک از ترکیب‌های سوختی اندازه گیری گردید. سپس به کمک روش های آماری و سطح پاسخ، نتایج تجزیه و تحلیل شد تا میزان اثر استفاده از هر ترکیب مشخص گردد و بر اساس مشاهدات و نتایج تجزیه و تحلیل ها بتوان بهترین ترکیب سوختی را که کمترین ارتعاش را دارد، شناسایی و پیشنهاد داد. در روش سطح پاسخ با ارائه یک مدل ریاضی به راحتی می توان تغییرات هریک از پارامترهای مورد نظر را به صورت نمودارهای سه بعدی مشاهده نمود.

### مواد و روش ها

سوخت بیودیزل توسط رآکتور حفره زای هیدرودینامیکی نشان داده شده در شکل ۱ تولید شد. در این تحقیق از روغن مایع کلزا ۱۰۰٪ گیاهی و الکل متانول با درجه خلوص ۹۹/۵ درصد حجمی و نسبت مولی ۶ به ۱ نسبت به روغن و هیدروکسید سدیم به مقدار ۱ درصد وزنی روغن به عنوان کاتالیزور استفاده شد. تنظیمات رآکتور عبارت بود از: حفظ دما در ۵۰ درجه سلسیوس، مدت زمان واکنش ۵ دقیقه و سرعت رآکتور، ۸۰۰۰ دور در دقیقه، دبی پمپ، ۸۳٪ لیتر در دقیقه. جهت افزایش کیفیت بیودیزل تولید شده مراحل مختلفی شامل جداسازی گلیسرین، آبشویی محلول سوخت و تبخیر آب باقی مانده در محلول، انجام شد. پس از تولید بیودیزل، ویژگی های آن مورد بررسی قرار گرفت. نقطه اشتعال، گرانی در دمای  $40^{\circ}\text{C}$ ، چگالی در دمای  $15^{\circ}\text{C}$  و درصد متیل استر بیودیزل تولید شده به ترتیب برابر  $174^{\circ}\text{C}$ ،  $4/3\text{ mm}^2\text{ s}^{-1}$ ،  $879\text{ Kg m}^{-3}$  و  $97/43$  درصد بود که با نتایج استانداردهای EN 14214-08 و ASTM D6751-9 مطابقت داشت. بعد از تولید بیودیزل، ۱۰ ترکیب مختلف سوخت بیودیزل، بیواتانول ۹۹/۷ درصد (حجمی) و دیزل، آماده گردید. ترکیبات این سوخت‌ها عبارتند از بیودیزل  $(B_i)$ ، بیواتانول  $(E_j)$ ، و دیزل  $(D_k)$  به طوری که اندیس هر کدام بیانگر مقدار درصد حجمی آن‌ها در ترکیب سوختی می‌باشد. این مخلوط‌های سوختی عبارتند از:  $B_5E_6D_{89}$ ،  $B_5E_4D_{91}$ ،  $B_5E_2D_{93}$ ،  $B_0E_0D_{100}$ ،  $B_{25}E_6D_{69}$ ،  $B_{25}E_4D_{71}$ ،  $B_{25}E_2D_{73}$ ،  $B_{15}E_6D_{79}$ ،  $B_{15}E_4D_{81}$ ،  $B_{15}E_2D_{83}$ ، و بیودیزل باید طوری انتخاب می شد که سطح میانی، میانگین دو سطح دیگر باشد تا بتوان از روش سطح پاسخ نیز استفاده نمود. برای انجام آزمایش‌ها از تراکتور MF 285 تک دیفرانسیل ساخت سال ۱۳۹۱ کارخانه تراکتور سازی ایران استفاده شد. برای اندازه گیری شتاب RMS سیگنال‌های ارتعاش موتور از ارتعاش سنج مدل VM120 ساخت شرکت MONITRAN انگلیس استفاده

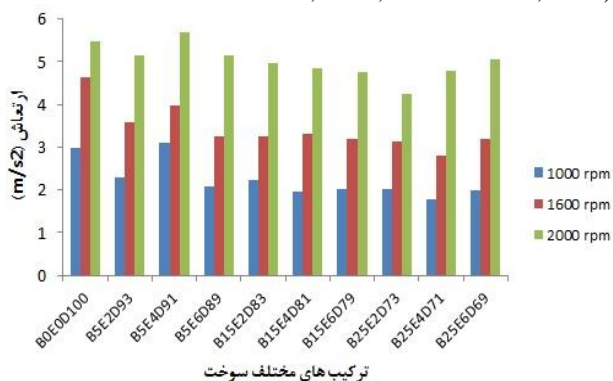
بیودیزل در مخلوط‌های سوخت، کوبش را تا حدودی کاهش می‌دهد (Taghi zadeh-ali saraei, 1390). بر اساس نتایج تحقیقی دیگر با افزایش دورموتور، شتاب rms در همه دورهای موتور از ۱۰۰۰ تا ۲۲۰۰rpm برای تمامی مخلوط‌های سوخت در سه راستای عمودی، افقی و جانبی بطور معنی داری افزایش می‌یابد. افزایش سرعت موتور از ۱۴۰۰ تا ۲۲۰۰ دور در دقیقه مقدار شتاب rms ارتعاشی موتور تراکتور را افزایش می‌دهد که علت آن افزایش تعداد کورس‌های احتراق و ضربات پیستون در واحد زمان است (Hasan-Beigi et al., 1391). تأثیر مخلوط‌های سوخت بنزین و اتانول بر روی ارتعاش بلوک سیلندر و سروصدای موتور اشتعال جرقه ایی توسط محققان بررسی شد. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش اتانول در مخلوط، ارتعاش و سرو صدای موتور به خصوص در محدوده دور موتور ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ دور در دقیقه افزایش می‌یابد (Keskin, 2010). ارتعاشات مخلوط‌های سوخت بیودیزل و دیزل بر روی موتور اشتعال تراکمی شش سیلندر پُرکینز قبل و بعد از تعمیر موتور بررسی شده، نتایج نشان داد که مخلوط سوخت به طور معنی داری بر مقدار ارتعاش تأثیر گذار است، به گونه ایی که مخلوط‌های B20 (بیودیزل ۲۰درصد) و B40 (بیودیزل ۴۰درصد) کمترین مقدار ارتعاش و مخلوط‌های B15 و B30 بیشترین مقدار ارتعاش را داشتند. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که ارتعاش به مقدار چشمگیری بعد از تعمیر موتور کاهش یافته است (Taghi zadeh-ali saraei et al., 2012). با توجه به اینکه تحقیقات مختلفی در زمینه ارتعاش موتور صورت گرفته است (Ettfagh et al. 2008 ; Subbaiah et al. 2010 ; Geng & Chen, 2005 ; Hostens & Ramon, 2003 ; Mc-Cormick et al. 2006). این وجود تحقیقات کمی در زمینه به کارگیری سه ترکیب مختلف سوختی بیودیزل، بیواتانول و دیزل و تأثیر استفاده از آنها در ارتعاشات (شتاب) موتور انجام گرفته است. به عبارت دیگر تحقیقات انجام شده بیشتر به بررسی اثر استفاده از سوخت بیودیزل خالص یا در ترکیب با دیزل بر روی ارتعاشات موتور پرداخته اند که به چند مورد اشاره شد و برخی دیگر نیز به بررسی اثر استفاده از بیواتانول به عنوان سوخت بر روی ارتعاشات موتور متمرکز شده اند (Hashemifard-Dehkordi et al., 1393). به نظر می رسد تا کنون محققان اثر استفاده از سوخت ترکیبی از بیودیزل، بیواتانول و دیزل را بر روی ارتعاشات موتور بررسی نکرده است. لذا در این تحقیق اثرات استفاده از ترکیبات مختلف سوخت‌های بیودیزل، بیواتانول و دیزل، بر ارتعاش موتور بررسی شد. به عبارت دیگر ۱۰ ترکیب مختلف سوختی بر اساس درصد حجمی های مختلف از بیودیزل، بیواتانول

### آنالیز به کمک روش سطح پاسخ

جهت بررسی اثر پارامترهای مورد نظر بر روی ارتعاشات موتور از روش سطح پاسخ استفاده شد. برای این منظور نرم افزار Design Expert version 7.0.0 مورد استفاده قرار گرفت. در مدل سطح پاسخ، سه پارامتر درصد تغییرات بیودیزل، درصد تغییرات بیواتانول و سرعت موتور بر حسب دور بر دقیقه به عنوان ورودی و میانگین ارتعاشات موتور بر حسب متر بر مجذور ثانیه به عنوان خروجی در نظر گرفته شد.

### نتایج و بحث

مقادیر ارتعاش کل یا ارتعاش برآیند برای سوخت‌های مختلف تحت دوره‌های متفاوت در شکل ۲ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که در تمام ترکیب‌های سوختی با افزایش دور موتور قدرت ضربه پیستون در واحد زمان افزایش می‌یابد. در نتیجه میزان ارتعاش بدنه موتور افزایش می‌یابد. نتیجه حاصل شده، با نتایج بدست آمده از تحقیقات محققان دیگر (Hasan-Beigi *et al.*, 1391; Heidari *et al.*, 1391; Hashemifard-Dehkordi *et al.*, 1393; Taghi zadeh-ali saraei *et al.*, 2012; Salokhe *et al.*, 1995).



شکل ۲. مقادیر ارتعاش کل (ارتعاش برآیند) برای سوخت‌های مختلف تحت دوره‌های متفاوت

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس ارتعاش موتور را نشان می‌دهد. چنانکه این نتایج نشان می‌دهند اثر بلوک در سطح یک درصد معنی دار شد. اثرات سوخت، دور و جهت و اثرات متقابل دوگانه و سه گانه آنها بر ارتعاش موتور نیز در سطح ۱٪ معنی دار شد.

جدول ۲ نتیجه مقایسه میانگین ارتعاش در ۱۰ ترکیب مختلف سوخت را با آزمون دانکن در سطح احتمال ۱٪ نشان می‌دهد. کمترین ارتعاش برای سوخت  $B_{25}E_4D_{71}$  (۱۰) به دست آمد و این در حالی است که دیزل خالص  $B_0E_0D_{100}$  از بین تمام سوخت‌ها بیشترین ارتعاش را داشته است. از طرف دیگر در بین ترکیب‌های مختلف سوختی نیز در یک بررسی

شد. این ارتعاش سنج بسیار دقیق بوده و قادر به اندازه‌گیری شتاب ارتعاشی در محدوده  $\pm 200 \text{ g}$  با حساسیت بالای  $1 \text{ mV g}^{-1}$  ۱۰ توانایی اندازه‌گیری بسامدهای بین ۵ تا ۲۰۰۰۰ هرتز را دارد.



شکل ۱. رآکتور حفزه زای هیدرودینامیکی

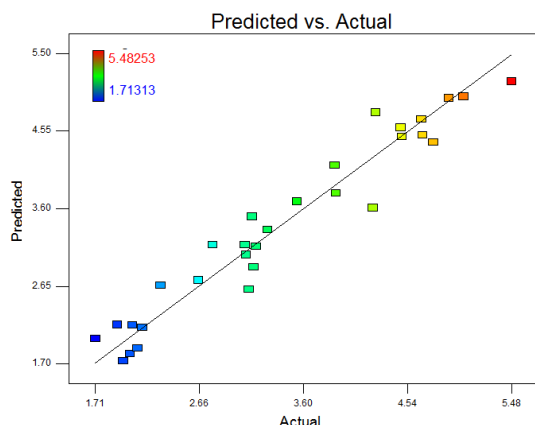
برای تزریق سوخت در موتور تراکتور، لوله‌های مدار سوخت رسانی از محل ورودی و خروجی فیلتر ثانویه سوخت جدا شده و با ایجاد یک مدار فرعی سوخت‌های مورد آزمایش از مخزن فرعی وارد پمپ انژکتور دوار تراکتور شد. مخزن سوخت در نقطه بالاتری نسبت به پمپ انژکتور قرار داده شد تا سوخت به لحاظ ثقلی در مدار سوخت رسانی قرار گیرد. لوله برگشت سوخت از انژکتورها نیز به سمت بالای مخزن فرعی هدایت شد تا سوخت‌های برگشتی را به مخزن انتقال دهد. برای شروع هر آزمایش مدت زمان لازم در نظر گرفته شد تا سوخت قبلی توسط تراکتور مصرف گردد. برای هر مخلوط سوخت، داده‌های مربوط به شتاب برای تمام دوره‌های مورد نظر موتور (1000, 1600, 2000 rpm) در سه جهت روی بدنه تراکتور (راستای حرکت تراکتور (طولی یا X)، راستای عمود بر سطح موتور (Y یا جانبی) و راستای ارتفاع موتور (Z یا قائم) ثبت گردید. علت اندازه‌گیری این سه جهت بدست آوردن یک برآیند از ارتعاش طبق استانداردهای ISO است. زیرا پاسخ بدن به ارتعاش به هر سه جهت بستگی دارد. داده برداری برای آزمایش هر سوخت به ازاء یک دور معین و در هر جهت، طی سه تکرار انجام شد. طرح آماری به کار برده شده از نوع فاکتوریل  $3 \times 3 \times 10$  در قالب طرح بلوک کامل تصادفی بود. در طرح آزمایشی انجام شده جهت افزایش دقت، تکرارها به عنوان بلوک در نظر گرفته شد. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مقایسه میانگین ارتعاش در سطوح مختلف دور با آزمون دانکن در سطح ۱٪ نشان داد که کمترین ارتعاش در ۱۰۰۰ دور در دقیقه موتور و بیشترین آن در ۲۰۰۰ دور در دقیقه بود. همچنین ارتعاش موتور در جهت X کمترین و در جهت Z بیشترین بود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل به روش سطح پاسخ در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. نتایج سطح پاسخ

عامل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات
Model	۳۳/۴۱۸۳۵	۹	۳/۷۱۳۱۵
A-Biodiesel	۱/۸۳۰۴۳۷	۱	۱/۸۳۰۴۳۷
B-Bioethanol	۰/۰۲۲۳۳۸	۱	۰/۰۲۲۳۳۸
C-Engine speed	۳۰/۰۹۳۹۶	۱	۳۰/۰۹۳۹۶
AB	۰/۱۰۵۲۲۹	۱	۰/۱۰۵۲۲۹
AC	۰/۰۰۲۶۶۸	۱	۰/۰۰۲۶۶۸
BC	۰/۲۸۱۵۲	۱	۰/۲۸۱۵۲
A <sup>2</sup>	۰/۱۱۷۸۴۵	۱	۰/۱۱۷۸۴۵
B <sup>2</sup>	۰/۴۴۶۴۹۲	۱	۰/۴۴۶۴۹۲
C <sup>2</sup>	۰/۷۹۵۰۴۳	۱	۰/۷۹۵۰۴۳
Residual	۲/۰۹۵۵۹۶	۲۰	۰/۱۰۴۷۸

مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) مدل برابر ۰/۹۴۱۰ حاصل شد. نمودار مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودار مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده میانگین ارتعاشات موتور

نمودار آشفتگی سه پارامتر ورودی نسبت به میانگین ارتعاشات در شکل ۴ نشان داده شده است. در این نمودار اثر

اولیه مشاهده می‌شود که سه ترکیب سوخت  $B_{25}E_2D_{73}$ ،  $B_{25}E_4D_{71}$ ،  $B_{25}E_6D_{69}$  که کمترین ارتعاش را داشته اند (سوخت‌های شماره ۱۰، ۹ و ۸)، بیشترین درصد بیودیزل (۲۵٪) را داشته اند. بعد از آنها سه ترکیب  $B_{15}E_2D_{83}$ ،  $B_{15}E_4D_{81}$ ،  $B_{15}E_6D_{79}$  (سوخت‌های شماره ۷، ۶ و ۵) که ارتعاش بیشتری را ایجاد کرده اند، دارای مقدار بیودیزل کمتری نسبت به سه سوخت گروه قبل می‌باشند (۱۵٪) و در گروه سوم (سوخت‌های شماره ۲، ۳ و ۴). بنابراین طبق این نتایج می‌توان گفت که هر چه درصد بیودیزل در ترکیب افزایش یافته است، ارتعاش موتور کاهش یافته است.

جدول ۱ تجزیه واریانس اثر نوع سوخت، دور موتور و جهت بر ارتعاش موتور

تراکتور MF285		
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۰/۱۸۳**
سوخت	۹	۱/۶۵۰**
دور	۲	۵۱/۳۶۰**
جهت	۲	۲۲/۰۳۰**
سوخت×دور	۱۸	۰/۱۷۹**
سوخت×جهت	۱۸	۰/۲۹۹**
دور×جهت	۴	۳/۳۵۱**
سوخت×دور×جهت	۳۶	۰/۰۹۲**
خطا	۱۷۸	۰/۰۱۴
کل	۲۶۹	

\*\* تفاوت معنی دار در سطح ۱٪

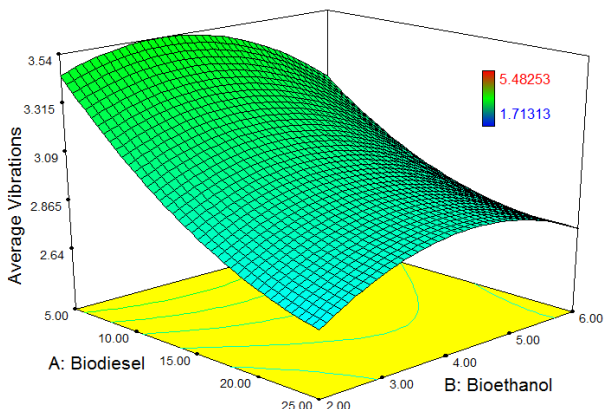
جدول ۲ مقایسه میانگین های ارتعاش در سطوح مختلف سوخت

شماره سوخت	سوخت	ارتعاش ( $m s^{-2}$ )
۱۰	$B_{25}E_4D_{71}$	۱/۷۵۳ a
۹	$B_{25}E_2D_{73}$	۱/۷۵۴ a
۸	$B_{25}E_6D_{69}$	۱/۸۲۳ b
۷	$B_{15}E_6D_{79}$	۱/۸۶۰ bc
۶	$B_{15}E_4D_{81}$	۱/۹۰۴ c
۵	$B_{15}E_2D_{83}$	۱/۹۷۲ d
۴	$B_5E_6D_{89}$	۲/۰۱۴ de
۳	$B_5E_2D_{93}$	۲/۰۶۵ e
۲	$B_5E_4D_{91}$	۲/۴۱۳ f
۱	$B_0E_0D_{100}$	۲/۴۴۳ f

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار و حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی داری بین میانگین ها می باشد.

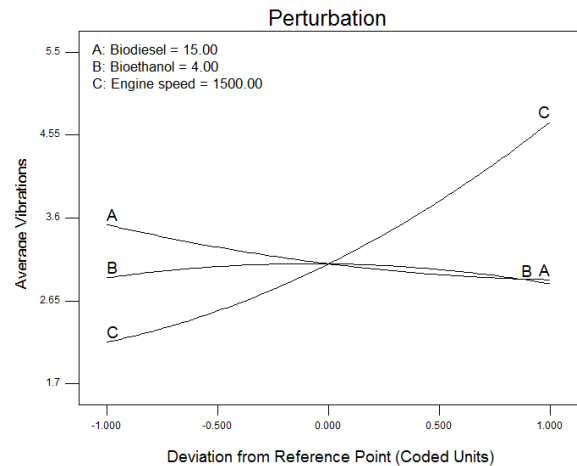
یا شاید چون اتانول در ترکیب با بنزین و در موتورهای بنزینی آزمایش شده است (Keskin, 2010). نکته دیگر اینکه شیب نمودار دور موتور نسبت به شیب دو عامل بیودیزل و بیواتانول خیلی تندتر است یعنی افزایش ارتعاش در اثر افزایش دور موتور خیلی بیشتر از کاهش ارتعاش در اثر افزایش مقدار بیودیزل و بیواتانول است. نمودارهای سه بعدی رنگی تغییرات پارامترهای مختلف بر روی میانگین ارتعاشات موتور در شکل های ۵ تا ۷ نشان داده شده است. در شکل ۵ با افزایش درصد بیودیزل میانگین ارتعاشات کاهش چشمگیری دارد اگرچه به طور مطلق نمی توان این برداشت را در مورد بیواتانول داشت چراکه با افزایش درصد بیواتانول میانگین ارتعاشات به تدریج افزایش یافته و سپس به تدریج کاهش می یابد. افزایش اتانول به سوخت دیزل باعث کاهش عدد ستان و همچنین افزایش تأخیر احتراق می شود که نهایتاً می تواند منجر به افزایش فشار سیلندر شود (Li *et al.*, 2007). از آنجایی که مقدار فشار سیلندر و توزیع امواج فشار اثر مستقیم بر روی ارتعاش بلوک موتور دارد (Rakopoloulos *et al.*, 2008) لذا افزایش مقدار اتانول از ۲ درصد به ۴ درصد باعث افزایش ارتعاش موتور شده است. در صورتی که افزایش اتانول از ۴ درصد به ۶ درصد مطابق شکل ۴ کاهش بسیار ناچیزی دارد که به نظر ناشی از اثر برهمکنش بیودیزل ترکیب شده است. محققان دیگری نشان دادند که افزایش اتانول به دیزل باعث کاهش سر و صدای موتور در سرعت های پایین موتور می شود در حالی که برای سرعت های بالای موتور، با افزایش درصد اتانول مخلوط سوخت، سر و صدای موتور افزایش می یابد (Salles, *et al.*, 2008). که این موضوع در شکل ۷ تا حدودی قابل مشاهده می باشد.

در شکل ۶ و ۷ با افزایش دور موتور، برعکس بیودیزل و بیواتانول، میانگین ارتعاشات، افزایش می یابد. اثر تغییرات دور موتور بسیار بیشتر از اثر تغییرات بیودیزل و بیواتانول بر روی میانگین ارتعاشات می باشد.



شکل ۵. نمودار سه بعدی رنگی بین تغییرات بیودیزل و بیواتانول بر روی

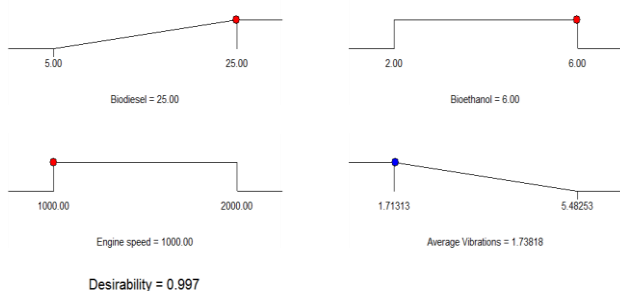
میزان تغییرات پارامترهای ورودی بر روی ارتعاشات کل موتور قابل مشاهده و بررسی است. محل تقاطع این نمودارها نقطه مرکزی و میانگین محدوده تغییرات هر یک از پارامترهای ورودی است و روند افزایش و کاهش آنها نسبت به هم و اثری که بر روی میانگین ارتعاشات کل دارند، قابل مشاهده است.



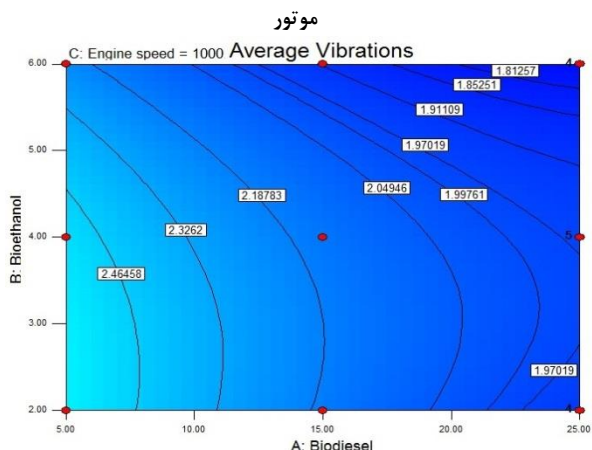
شکل ۴. نمودار آشفتنگی پارامترهای ورودی بر روی میانگین ارتعاشات موتور

بر اساس شکل ۴ با افزایش دور موتور، میانگین ارتعاشات موتور افزایش می یابد و این با نتیجه تمامی محققان دیگر مطابقت دارد. با افزایش درصد بیودیزل، میانگین ارتعاش موتور کاهش می یابد که نتیجه کاملاً مشابه نتایج دیگر محققان می باشد (Heidari *et al.*, 1391; Taghi zadeh-ali saraei, 2011; Zoldy, M. 2011). علت افزایش ارتعاش، در اثر افزایش دور، این است که در دور بالا، تعداد حرکات رفت و برگشتی قطعات متحرک موتور و ضربات پیستون در واحد زمان بیشتر می شود و نهایتاً تعداد سیکل کاری موتور در واحد زمان افزایش می یابد. از طرفی چون هر سیکل کاری موتور توأم با عمل احتراق است، لذا تعداد احتراق افزایش می یابد. از طرف دیگر چون عمل احتراق همراه با مصرف سوخت می باشد، لذا مقدار مصرف سوخت در واحد زمان افزایش می یابد. بنابراین افزایش تعداد سیکل کاری موتور و افزایش مصرف سوخت و ضربات پیستون در واحد زمان باعث افزایش ارتعاش در واحد زمان می گردد.

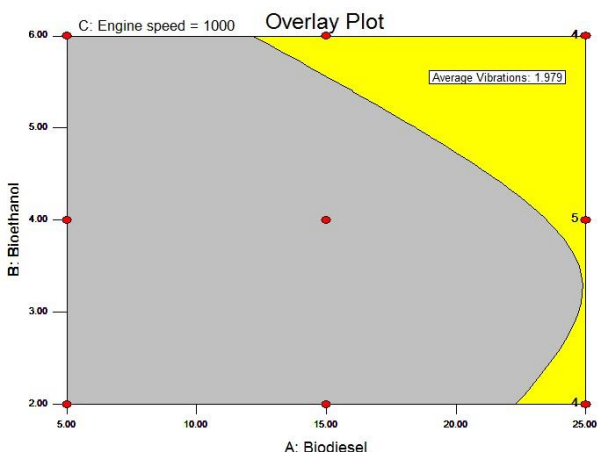
با افزایش درصد بیواتانول، از ۲ درصد به ۴ درصد میانگین ارتعاشات موتور کمی افزایش داشته و با افزایش درصد بیواتانول از ۴ به ۶ درصد میانگین ارتعاشات موتور کمی کاهش می یابد که این با نتیجه یکی از محققان مبنی بر افزایش دائم ارتعاشات با افزایش درصد اتانول اندکی مغایرت دارد. اگر چه شاید علت آن استفاده از اتانول صنعتی به جای بیواتانول باشد و



شکل ۸. شرایط بهینه سازی برای یافتن بهترین ترکیب با کمترین ارتعاشات



شکل ۹. کانتورهای ارتعاش میانگین در دور موتور ۱۰۰۰ rpm

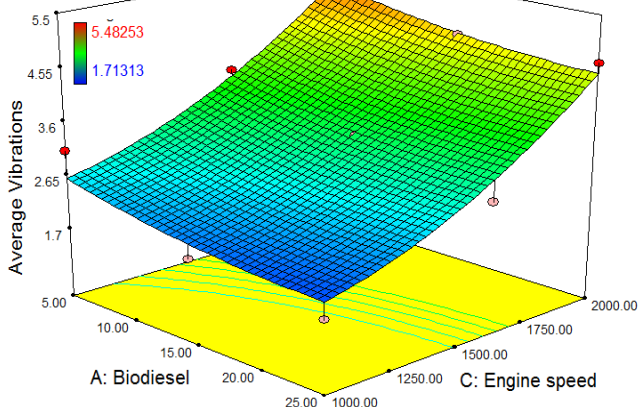


شکل ۱۰. محدوده دارای کمترین ارتعاش موتور نسبت به تغییرات درصد بیودیزل و بیواتانول

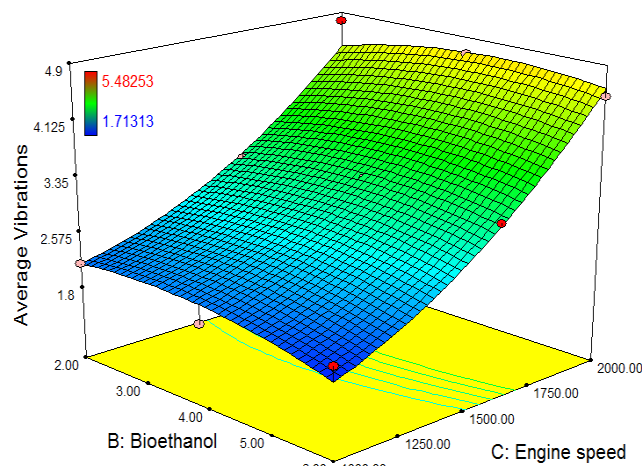
### نتیجه گیری کلی

در این تحقیق ابتدا سوخت بیودیزل در اثر واکنش ترانس استریفیکاسیون روغن کلزا با متانول در مجاورت کاتالیزور هیدروکسید سدیم تولید شد. برای سنجش کیفیت بیودیزل تولید شده برخی ویژگی های آن با استانداردهای لازم بررسی و تأیید شد. سپس اثر استفاده از درصدهای مختلف دیزل، بیودیزل و بیواتانول به عنوان سوخت ترکیبی در دورها و جهت های مختلف بر روی ارتعاش موتور تراکتور MF285 بر اساس طرح فاکتوریل و روش سطح پاسخ بررسی و تجزیه و

### میانگین ارتعاشات موتور



شکل ۶. نمودار سه بعدی بین تغییرات بیودیزل و سرعت موتور بر روی میانگین ارتعاشات موتور



شکل ۷. نمودار سه بعدی بین تغییرات بیواتانول و سرعت موتور بر روی میانگین ارتعاشات موتور

### بهینه سازی روش سطح پاسخ

در بهینه سازی روش سطح پاسخ برای یافتن بهترین ترکیب با کمترین ارتعاشات موتور از شرایط زیر مطابق شکل ۸ استفاده شد. به عبارت دیگر هدف از بهینه سازی یافتن ترکیب سوختی مناسبی است که کمترین ارتعاش را ایجاد نماید که ترکیب سوخت  $B_{25}E_6D_{69}$  به روش سطح پاسخ کمترین ارتعاش را ایجاد می کند به هر حال اگر چه نتیجه روش سطح پاسخ با روش آماری یکی نیست. ولی با توجه به کانتورهای شکل ۹ و شکل ۱۰ می توان این استنباط را کرد که سطح پاسخ نتیجه روش آماری را هم پوشش می دهد که سوخت  $B_{25}E_4D_{71}$  را دارای کمترین ارتعاش موتور معرفی کرده است به هر حال با توجه به مقدار ماکزیمم بیودیزل در این دو ترکیب پیشنهادی این نتیجه قابل استنباط می باشد که جایگزین کردن سوخت بیودیزل به جای دیزل به مقدار ۲۵ درصد نه تنها ممکن می باشد بلکه اثرات ارتعاشی کمتری خواهد داشت.



کمترین و در جهت Z بیشترین بود. نتایج سطح پاسخ نیز نشان داد که با افزایش دور موتور، ارتعاش موتور به طور چشمگیری افزایش و با افزایش درصد بیودیزل، ارتعاش کاهش یافت. همچنین با افزایش درصد بیواتانول ارتعاشات تا حدودی افزایش و سپس کاهش یافت. بهترین سوخت در روش سطح پاسخ از لحاظ داشتن کمترین ارتعاش موتور، پس از بهینه سازی سوخت  $B_{25}E_6D_{69}$  بود که ۲۵ درصد بیودیزل و ۶ درصد بیواتانول و ۶۹ درصد دیزل داشت.

## REFERENCES

- Andrew, L. G., Dianne, C. H. & Brian j. s., (2007). The effect of piston friction on the torsional natural frequency of a reciprocating engine. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 21(7), 2833-2837.
- Ettefagh, M.M., Sadeghi, M.H, Pirouzpanah.V. & Arjmanditash H., (2008). Knock detection in spark ighition engines by vibration analysis of cylinder brock: A parametric modeling approach. *journal of mechanical systems and signal processing*. 22(6), 1495 -1514
- Geng Z. & Chen J., (2005). Investigation into piston-slap induced vibration for engine condition simulation and monitoring , *Journal of sound and vibration* , 282, 735-751.
- Hasan-Beigi, S.R., Johar, E., Ghobadian, B., Abonajmi, M., Astan, V., (1391). Measurement and analysis of vibration signals 6-cylinder diesel engine with diesel and bio fuel mixtures in the time domain. In: Proceedings of 7th International Congress on Mechanization and Machinery in Agriculture, (In Farsi)
- Hashemifard-Dehkordi, S.H., Almasi, M., Borgheai, A.M., Beheshti, B., (1393). The impact of bioethanol and diesel fuel blends on diesel engine vibration., *Journal of Agricultural Machinery*, 4(2), 243-236. (In Farsi)
- Heidari, B., Hasan-Beigi, S.R., Ghobadian, B., (1391). Checking tiller engine vibration in the time domain using a mixture of diesel fuel and bio-diesel In: Proceedings of 7th International Congress on Mechanization and Machinery in Agriculture, (In Farsi)
- Hostens, I. & Ramon , H., (2003) descriptive analysis of combine cabin vibrations and their effects on the human body. *Journal of sound and vibration*. 266, 453-464
- Keskin, A., (2010). The infloucnce of ethanol-gasoline blends on spark ignition engine vibration characteristics and noise emissions. *Energy sources* , 32, 1851-1860.
- Li, W., Ren, Y., Wang, X.B., Miao, H. & Huang, Z.H., (2007). Combustion characteristics of a compression ignition engine fuelled with diesel-ethanol blends, *Automobile Engineering*, 222, 265-274.
- Mc-cormick, A., Willims, J., Brimhall , I. & Hoyes , R.R, (2006). Effects of biodiesel blends on vehicle emissions. Fiscal year 2006 annual operating plan milestone 10.4. national renewable energy laboratory.
- Rakopoloulos, D.C., Kakaras, E.C., & Giakoumis, E.G., (2008). Effects of ethanol-diesel fuel blends on the performance and exhaust emissions of heavy duty DI diesel engine. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, Greece.
- Salles, E., Zambotti, A., Gouvea, A., & Agenor, A., (2008). An experimental study of diesel-ehanol combustion controlled electronically, Robert Bosch Research Manuscript.
- Salokhe, V.M., Majumder, B. & Islam, M.S., (1995). Vibration characteristics of power tiller. *Journal of Terramechanics*, 32, 181-196.
- Sam, B., kathirvel, k., (2006). Vibration characterisztics of walking and riding type power tillers. *Biosystems Engineering*, 95(4), 517-528.
- Shabani, Z., Rafiee, S., Ghobadian, B. & Ahmadi, H., (1391). Optimize engine performance Tractors with a mixture of biofuels, diesel, and ethanol by response surface methodology, *Journal of Engine Research*, 99. (In Farsi)
- Subbaiah, G., Raja-Gopal, K., Hussain, S.A., Durga Prasad, B. & Tirupathi Reddy, K., (2010). Rice bran oil biodiesel as an additive in diesel- ethanol blends for diesel engines. *International journal of research and reviews in Applied sciences*.3(3), 334-342.
- Taghi zadeh-ali saraei, A., (1390). Parametric search of Tractor vibration signal MF399 Using diesel fuel and bio-diesel. Ph. D. dissertation, Tarbiat Modares University. (In Farsi)
- Taghi zadeh-ali saraei, A., Ghobadian, B., Tavakoli – hashjin, T. & S. S., Mohtasebie, (2012). Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and pet diesel fuel blends. *Fuel*, 102, 414-422.
- Zoldy, M., (2011). Ethanol-biodiesel-diesel blends as a diesel extender option on compression ignition engines. *Transport journal*, 26, 303-309