دانشگاه آزاد اسلامی
واحد ابهر

گواهینامه

پذیرش و ارائه مقاله در کنفرانس

تاریخ: ۹۶/۰۸/۰۴

ISC code: ۹۶۱۷۰-۷۱۰۰۱

بدین‌وسیله گواهی می‌شود مقاله پژوهشگران محترم:

مجید رجبی وندچالی، محمدحسین عباسپورفرد، عباس روحانی

با نظر هیات داوران، تحت عنوان:

توسعه مدلهای رگرسیون خطی چندمتغیره مصرف سوخت و دمای گازهای خروجی یک موتور دیزل متداول

در همایش ملی مدل‌سازی ریاضی در علوم مهندسی که در تاریخ ٤ آبان ماه ۱۳۹٦ در د انشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر برگزار شد مورد پذیرش جهت ارائه به صورت سخنرانی و درج در مجموعه مقالات همایش قرارگرفت. با تقدیم این گواهی نامه، ضمن اعلام پذیرش مقاله مذکور، از درگاه خالق یکتا موفقیت روز افزون شما را در عرصه های دانش و پژوهش مسئلت می‌نماییم

دکتر علی خوئینی
دبیر اجرایی همایش

دکتر نوید سیدکاظم ویلیانی
دبیر علمی همایش

دکتر کیان پهلوان افشاری
رئیس همایش

وب سایت همایش: www.abhariau.cnf.ir

کیان فولاد ابهر
Abhar Wire & Cable
سیم و کابل ابهر
نخ تایر صبا
دانشگاه آزاد اسلامی واحد هیدج
دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب

توسعه مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره مصرف سوخت و دمای گازهای خروجی یک موتور دیزل متداول

مجید رجبی وندچالی[1*]، محمدحسین عباسپورفرد[2]، عباس روحانی[3]

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
2- استاد، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
3- استادیار، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
* مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، کد پستی 9177948978، m_rajabivandechali@stu.um.ac.ir

چکیده

در حال حاضر، جهان با کاهش روزافزون منابع فسیلی و بحران انرژی مواجه است. از طرفی، موتورهای دیزل به دلیل کاربرد گسترده در بخش‌های مختلف نظیر حمل و نقل، کشاورزی، صنعت و غیره، از منابع اصلی مصرف سوخت هستند. اندازه‌گیری دقیق مصرف سوخت موتورها مستلزم صرف وقت و هزینه‌ی گزاف برای محققین است. از این رو، هدف اصلی این تحقیق ارائه‌ی مدل‌های رگرسیون خطی مناسب برای برخی پارامترهای عملکردی مهم موتور تراکتور ITM285 بر حسب گشتاور و دور موتور بود. آزمایش در 11 سطح دور موتور (از دور آرام تا دور حداکثر) با اعمال گشتاور از صفر تا بار کامل، با گام‌های 10 N.m انجام شد. دبی جرمی مصرف سوخت و دمای اگزوز، به عنوان دو پارامتر مهم موتور، مورد اندازه‌گیری و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تأثیر گشتاور بر دمای اگزوز (β=0.852) در مقایسه با دبی جرمی مصرف سوخت، بیش‌تر بود. نتایج ارزیابی مدل‌های رگرسیونی نشان داد که تطابق بالایی بین خروجی مدل‌ها با خروجی مطلوب وجود داشت. هم‌چنین، هم‌بستگی بین دبی جرمی سوخت و دمای اگزوز با ضریب هم‌بستگی 0.957 در سطح بسیار بالایی قرار داشت.

کلیدواژگان

دمای اگزوز، رگرسیون خطی چندمتغیره، گشتاور، مصرف سوخت، موتور دیزل.

Developing multiple linear regression models of fuel consumption and exhaust gas temperature in a conventional diesel engine

Majid Rajabi Vandechali[1*], Mohammad Hossein Abbaspour-Fard[1], Abbas Rohani[1]

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
* P.C. 9177948978 Department of biosystem engineering, Ferdowsi university of Mashhad, Azadi Square, Mashhad, Iran, m_rajabivandechali@stu.um.ac.ir

Abstract

Nowadays, the world is facing to increasing loss of fossil resources and energy crisis. On the other hand, diesel engines due to wide application in various sectors such as transport, agriculture, industry, etc., are the main sources of fuel consumption. Accurate measurement of fuel consumption of engines is time-consuming and costly. Hence, the main objective of this study was to develop proper linear regression models of some important performance parameters of ITM285 tractor engine based on engine torque and RPM. Experiments were carried out in 11 levels of RPM (from idle to maximum RPM) by 10 N.m steps of torque from zero (no load) to full load. Fuel consumption mass flow and exhaust temperature, as two important parameters of engine, were measured and analyzed. The results showed that the impact of torque on exhaust temperature (β=0.852) was higher than fuel consumption mass flow. The results of regression models evaluation showed a high adaptation between the output of each model and the desired output. Also, the fuel mass flow was highly correlated to the exhaust temperature with correlation coefficient of 0.957.

Keywords

Exhaust temperature, Multiple linear regression, Torque, Fuel consumption, Diesel engine.

۱- مقدمه

در حال حاضر با توجه به کاهش روزافزون منابع فسیلی و مسئله‌ی بحران انرژی، توجه و تمرکز محققین بر روی مصرف سوخت بسیار حائز اهمیت می‌نماید. در این میان، موتورهای دیزل به دلیل کاربردهای گسترده در صنایع مختلف، بیش‌تر مورد توجه هستند.

تاکنون محققین زیادی عوامل مختلف نظیر نوع سوخت، دور موتور، بار موتور، فشار پاشش سوخت، زمان‌بندی پاشش و غیره بر روی پارامترهای عملکردی موتور دیزل نظیر مصرف سوخت، دمای اگزوز، آلاینده‌ها، توان ترمزی، فشار محفظه‌ی احتراق و غیره را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیقی تأثیر بازخورانی دود اگزوز بر دمای اگزوز، مصرف سوخت ویژه ترمزی و میزان کدری دود اگزوز در یک موتور دیزل دوسیلندر هوا خنک با پاشش سوخت مستقیم بررسی شد. آزمایشات در یک دور موتور ثابت و با اعمال بارهای مختلف انجام شد. بنابراین، نتایج به دست آمده تنها برای این دور موتور معتبرند و قابل

تعمیم به دورهای دیگر نیستند. [1]. پاشایی هولاسو و همکاران [2] دبی حجمی مصرف سوخت را اندازه گرفتند که با ضرب آن در چگالی سوخت، مقدار دبی جرمی مصرف سوخت محاسبه شد. در تحقیق حاضر، مستقیماً دبی جرمی مصرف سوخت اندازه‌گیری شد تا با مشکل تغییر چگالی سوخت با دما مواجه نشود.

یکی از روش‌ها برای پیش‌بینی رفتار یک متغیر وابسته نسبت به متغیرهای مستقل، مدل رگرسیون خطی چندمتغیره است. رگرسیون خطی نه تنها یکی از قدیمی‌ترین روش‌های پیش‌بینی است بلکه ساده‌ترین روش تشریح شده برای برازش تابع نیز می‌باشد [3]. در رگرسیون خطی، تابع نهایی یک معادله‌ی خطی به فرم $Y=B_0+B_1X_1+B_2X_2+ \cdots +B_nX_n$ است که در آن Y متغیر وابسته، B_0 تا B_n ضرائب معادله و X_0 تا X_n متغیرهای مستقل هستند [4]. در صورتی پژوهش‌گر می‌تواند از رگرسیون خطی استفاده کند که شرایط زیر برقرار باشد [5]: 1- میانگین (امید ریاضی) خطاها صفر باشد. 2- واریانس خطاها ثابت باشد. 3- بین خطاهای مدل، هم‌بستگی وجود نداشته باشد. 4- متغیر وابسته دارای توزیع نرمال باشد. 5- بین متغیرهای مستقل، هم‌خطی وجود نداشته باشد. مفروضات 1 و 2 بدین معنی است که توزیع خطاها باید دارای توزیع نرمال باشد.

تاکنون هیچ مدل رگرسیونی خطی برای پارامترهای مهمی نظیر مصرف سوخت و دمای اگزوز بر حسب گشتاور و سرعت دورانی موتور توسط محققین ارائه نشده است. از این رو، با توجه به بررسی منابع و بیان مسئله ذکر شده و نیز اهمیت موضوع بحران انرژی، هدف اصلی این تحقیق ارائه‌ی مدل‌های رگرسیونی خطی مناسب و قابل اعتماد برای این پارامترها بر حسب گشتاور و دور موتور بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات آزمایش

آزمایش در دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی بیوسیستم، بر روی موتور تراکتور ITM285 (چهارسیلندر، چهارزمانه، تزریق مستقیم) انجام شد. آزمایش در 11 سطح دور اولیه موتور (N_p) شامل: 779، 921، 1063، 1204، 1346، 1488، 1629، 1771، 1818 (دور مشخصه‌ی موتور)، 1913 و 2054 rpm انجام شد. وضعیت استقرار دریچه‌ی گاز موتور در تمام مدت اعمال بار در دور موردنظر، بدون تغییر بود. در هر سطح دور اولیه موتور، اعمال گشتاور (T) از صفر (حالت بدون بار) شروع و با گام‌های 10 N.m تا بار کامل ادامه یافت پارامترهای اندازه‌گیری شامل دبی جرمی مصرف سوخت و دمای گازهای خروجی موتور بود.

۲-۲- اندازه‌گیری پارامترها

برای اعمال بار دورانی به موتور از یک دینامومتر اصطکاکی- هیدرولیکی با گردش آب، مدل PLINT ساخت کشور انگلستان با حداکثر ظرفیت بارگذاری 325 N.m استفاده شد. شکل شماتیکی بستر آزمون در شکل ۱ نشان داده شد.

برای اندازه‌گیری دبی جرمی مصرف سوخت تراکتور از یک ترازوی دیجیتالی ساخت شرکت A&D ژاپن با دقت 0.01± گرم و ظرفیت 6 کیلوگرم استفاده شد. باک سوخت از مدار سوخت‌رسانی خارج و یک ظرف سوخت بر روی ترازو قرار داده شد. (شکل ۱).

برای اندازه‌گیری دمای اگزوز از یک حسگر دمای سری K [6] با قابلیت اندازه‌گیری دما تا 700 ^{o}C و یک نمایش‌گر دما ساخت شرکت Lutron مدل TM-902C با قابلیت نمایش دما از 50- تا 1300 ^{o}C و تفکیک‌پذیری 1 ^{o}C استفاده شد.

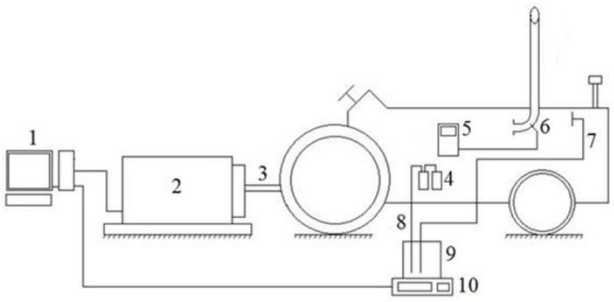

Fig. 1 Schematic of the test bed: 1- Data acquisition system, 2- Dynamometer, 3- Transmission shaft, 4- Primary fuel filters, 5- Temperature monitor, 6- Temperature sensor, 7- Fuel return pipe, 8- Fuel inlet pipe, 9- Fuel container and 10- Digital scale.

شکل ۱ طرحواره‌ی بستر آزمون و تجهیزات مورد استفاده: 1- سامانه‌ی جمع-آوری داده‌ها، 2- دینامومتر، 3- میل گردان، 4- فیلترهای اولیه‌ی سوخت، 5- نمایش‌گر دما، 6- حسگر دما، 7- لوله‌ی برگشت سوخت، 8- لوله‌ی ورودی سوخت، 9- ظرف سوخت و 10- ترازوی دیجیتالی.

۲-۳- تحلیل داده‌ها و استخراج مدل‌ها

تحلیل داده‌ها و استخراج مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره توسط نرم‌افزار SPSS 20 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2010 انجام شد [7]. در مجموع 202 آزمایش انجام شد و داده‌های به دست آمده به دو دسته تقسیم شد. 10 درصد داده‌ها (تعداد 20 داده) برای ارزیابی مدل‌ها و بقیه‌ی داده‌ها (تعداد 182 داده) برای استخراج مدل‌ها استفاده شد. ابتدا شرایط رگرسیون خطی برای هر پارامتر مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی عدم وجود هم‌بستگی بین خطاها از آزمون دوربین- واتسون استفاده شد [5]. در صورتی که این آماره در سطح نامناسبی قرار داشت (وجود خودهم‌بستگی) تابع LAG بر روی متغیر وابسته اعمال گردید [8].

برای بررسی نرمال بودن توزیع متغیرهای وابسته از آماره‌های خطای استاندارد ضریب کشیدگی و چولگی استفاده شد. برای بررسی عدم وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل از آزمون شاخص وضعیت استفاده شد [8]. برای بررسی میزان کارآیی هر مدل از ضریب تبیین و ضریب تبیین تعدیل شده استفاده شد [5].

۲-۴- ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی مدل‌های رگرسیونی به دست آمده ابتدا مقادیر دور اولیه و گشتاور موتور مربوط به هر یک از 20 داده‌ی ارزیابی به هر مدل وارد گردید و مقادیر پیش‌بینی شده‌ی هر پارامتر توسط مدل مربوطه به دست آمد. سپس با استفاده از آزمون t جفت شده، میزان هم‌بستگی نمونه‌های جفت شده (مقادیر پیش‌بینی شده توسط هر مدل و مقادیر واقعی متناظر) تعیین گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- شرایط رگرسیون خطی

نتایج بررسی مفروضات رگرسیون خطی نشان داد که برای تمامی پارامترها شرایط رگرسیون خطی به جز شرط استقلال خطاهای مدل (آزمون دوربین– واتسون) برقرار بود. آماره‌ی دوربین- واتسون با اعمال تابع LAG اصلاح گردید و خودهم‌بستگی بین خطاها از بین رفت اما مقدار ضریب تبیین تعدیل شده‌ی رگرسیون کاهش یافت. از این رو، با حذف برخی از داده‌های پرت، مقدار این ضریب بهبود داده شد.

۳-۲- تجزیه واریانس مدل‌ها

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی مربوط به هر یک از متغیرهای وابسته در جدول ۱ آمده است. تمامی مدل‌های رگرسیونی، در سطح معنی‌داری یک درصد معنی‌دار شدند (p-value<0.01). بنابراین می‌توان گفت که به احتمال 99 درصد دست‌کم یکی از متغیرهای مستقل دارای رابطه‌ی خطی با متغیر وابسته می‌باشد. ضرائب مربوط به مدل خطی هر پارامتر وابسته به همراه سطح معنی‌داری هر ضریب در جدول ۲ نشان داده شد.

جدول ۱ تجزیه واریانس مدل رگرسیونی پارامترها

Table 1 ANOVA of regression model of each parameter

پارامتر	مدل	مجموع مربعات	df	آماره F
دبی جرمی سوخت	رگرسیون	184912.205	2	741.491**
	مانده	21197.218	170	
	کل	206109.424	172	
دمای اگزوز	رگرسیون	2262994.457	2	943.430**
	مانده	202689.235	169	
	کل	2465683.692	171	

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح پنج درصد و معنی‌دار در سطح یک درصد

مقدار ثابت مدل خطی دمای اگزوز در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود و از این رو مقدار آن برابر صفر در نظر گرفته شد [8] و از مدل حذف گردید. در تحقیق ابراهیم‌زاده و همکاران [7]، نتیجه‌ی مشابه برای مقدار ثابت مدل رگرسیون خطی برخی پارامترها به دست آمد.

بر اساس ضرائب استاندارد نشده (مقادیر ستون B) نمی‌توان نتیجه گرفت متغیری که ضریب بیش‌تری (بدون توجه به علامت آن) دارد تأثیر بیش‌تری بر متغیر وابسته دارد زیرا واحدهای اندازه‌گیری متغیرها متفاوت است. بنابراین، برای مقایسه‌ی تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته، ضرائب استاندارد شده (ستون Beta) بدون توجه به علامت آن به کار برده می‌شود [8].

جدول ۲ ضرائب مدل رگرسیون خطی پارامترها

Table 2 Coefficients of linear regression model of each parameter

پارامتر	مدل	ضرائب استاندارد نشده (B)	ضرائب استاندارد شده (Beta)	آماره t
دبی جرمی سوخت	ثابت	-47.252		-12.886**
	N_p	0.048	0.511	20.320**
	T	0.438	0.699	27.810**
دمای اگزوز	ثابت	-21.213		-1.860ns
	N_p	0.096	0.297	13.190**
	T	1.865	0.852	37.830**

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح پنج درصد و معنی‌دار در سطح یک درصد

با توجه به جدول ۲، مدل‌های رگرسیون خطی پارامترها به صورت روابط 1 و 2 می‌باشد.

$$FMF = -47.252 + 0.048N_p + 0.438T \quad (1)$$

$$ET = 0.096N_p + 1.865T \quad (2)$$

که در آن‌ها؛ N_p، دور اولیه موتور؛ T، گشتاور موتور؛ FMF، دبی جرمی مصرف سوخت و ET، دمای اگزوز؛ به ترتیب بر حسب rpm، N.m، $g.s^{-1}$ و ^oC می‌باشند. نقوی مرادخانلو و همکاران [9] دو مدل رگرسیون خطی سه‌متغیره برای مصرف سوخت موتور تراکتور ITM285 بر حسب بکسوات، نیروی مالبندی و میزان سنگین‌کننده‌ها با ضرائب تبیین 0.930 و 0.940 به دست آوردند.

۳-۳- ارزیابی مدل‌ها

برای تمامی پارامترها ضریب هم‌بستگی پیرسون برای 20 داده‌ی زوجی در سطح یک درصد معنی‌دار بوده که حاکی از هم‌بستگی معنی‌دار بین مقادیر پیش‌بینی شده هر مدل با مقادیر واقعی است.

شکل ۲ نمودار پراکندگی مقادیر واقعی هر پارامتر را در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل رگرسیون خطی مربوطه نشان می‌دهد. در معادلات سیر روند پارامترها در شکل ۲ هرچه شیب خط به یک نزدیک‌تر باشد حاکی از تطابق بیش‌تر مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی پارامتر است. نجفی [10] نیز در تحقیقی به منظور ارزیابی مدل‌های تخمین عملکرد و آلایندگی موتور دیزل، نمودار های مقادیر پیش‌بینی شده‌ی پارامترها در برابر مقادیر هدف (واقعی) را ارائه داد. شیب خط برازش شده و ضریب تبیین آن به ترتیب برای مصرف سوخت ویژه ترمزی برابر 0.990 و 0.998 و برای انتشار هیدروکربن‌های نسوخته برابر 0.960 و 0.988 به دست آمد که حاکی از کارآیی مناسب مدل‌های به دست آمده داشت.

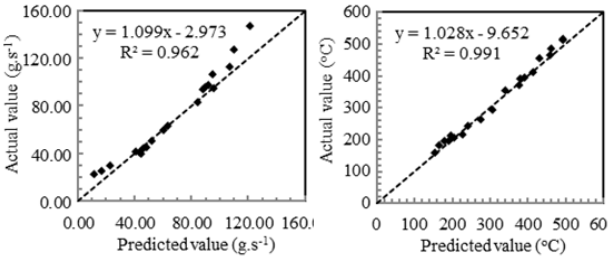

Fig. 2 Plot of actual values versus predicted values of a) Fuel mass flow and b) Exhaust temperature.

شکل ۲ نمودار مقادیر واقعی در برابر مقادیر پیش‌بینی شده برای a) دبی جرمی سوخت و b) دمای اگزوز.

۳-۴- رابطه‌ی بین متغیرهای وابسته

آزمون هم‌خطی بین متغیرهای وابسته بدون حذف هیچ‌یک از 182 داده انجام شد. بیلگیلی و ساهین [4] نیز از همین آزمون برای بررسی هم‌خطی متغیرهای وابسته‌ی پژوهش استفاده کردند. نتایج آزمون هم-خطی نشان داد که بین متغیرهای وابسته هم‌خطی معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. مقدار ضریب هم‌بستگی پیرسون بین دبی جرمی سوخت و دمای اگزوز برابر با 0.957 به دست آمد. نمودار پراکندگی دبی جرمی مصرف سوخت در برابر دمای اگزوز برای 182 زوج داده در شکل ۳ نشان داده شد.

برای ارزیابی رابطه خطی به دست آمده، مقادیر دمای اگزوز مربوط به داده‌های ارزیابی به عنوان ورودی (x) رابطه خطی شکل ۳ اعمال گردید و مقادیر دبی جرمی سوخت پیش‌بینی شد. شکل ۴ نمودار پراکندگی مقادیر واقعی دبی جرمی سوخت در برابر مقادیر پیش‌بینی شده از روی دمای اگزوز را نشان می‌دهد که حاکی از تطابق بسیار بالا می‌باشد.

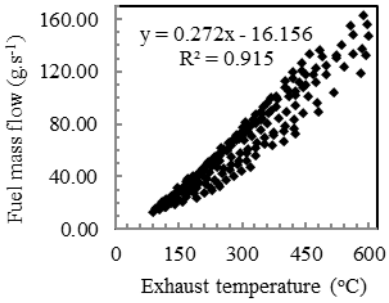

Fig. 3 Plot of Fuel mass flow versus exhaust temperature by regression data

شکل ۳ نمودار دبی جرمی سوخت در برابر دمای اگزوز با استفاده از داده‌های رگرسیون

۴- نتیجه‌گیری

دبی جرمی مصرف سوخت و دمای اگزوز موتور دیزل به خوبی توسط گشتاور و دور اولیه‌ی موتور تبیین و مدل‌سازی خطی شدند و مقادیر خروجی این مدل‌ها دارای تطابق بسیار بالایی با مقادیر واقعی بودند.

دبی جرمی مصرف سوخت رابطه‌ی خطی قوی با دمای اگزوز داشت و مدل خطی به دست آمده می‌تواند در تحقیقات آتی دیگر محققین بسیار راه‌گشا و موثر باشد چرا که اندازه‌گیری دمای اگزوز بسیار ساده است و مستلزم استفاده از ابزارهای پیچیده و گران‌قیمت نیست.

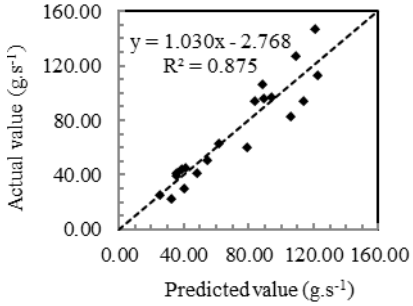

Fig. 4 Plot of actual values of fuel mass flow versus predicted values from exhaust temperature.

شکل ۴ نمودار مقادیر واقعی دبی جرمی سوخت در برابر مقادیر پیش‌بینی شده از روی دمای اگزوز.

۵- مراجع

[1] A. K. Agrawal, S. K. Singh, S. Sinha, M. K. Shukla, Effect of EGR on the exhaust gas temperature and exhaust Opacity in compression ignition engines, *Sadhana*, Vol. 29, No. 3, pp. 275-284, 2004.

[2] Kh. PashaiHulasu, B. Mohammadi-Alasti, M. A. Haddad Derafshi, M. Abbasgholipour, Effect of turbo charger system on engine fuel consumption and tractor power and traction (ITM475, ITM485 and ITM800), *Journal of Agricultural Machinery*, Vol. 5, No. 2, pp. 313-324, 2015. (in Persian).

[3] V. Kotu, B. Deshpande, *Predictive Analytics and Data Mining: Concepts and Practice with Rapidminer*, pp. 165-193, San Francisco: Morgan Kaufmann, 2015.

[4] M. Bilgili, B. Sahin, Comparative analysis of regression and artificial neural network models for wind speed prediction, *Meteorology and atmospheric physics*, Vol. 109, No.1, pp. 61-72, 2010.

[5] D. C. Montgomery, E. A. Peck, G. G. Vining, *Introduction to Linear Regression Analysis*, 5th Edition, pp. 15-321, New Jersey: Wiley, 2012.

[6] N. Sabet Sarvestani, A. Rohani, A. Farzad, M. H. Aghkhani, Modeling of specific fuel consumption and emission parameters of compression ignition engine using nanofluid combustion experimental data, *Fuel Processing Technology*, Vol. 154, pp. 37-43, 2016.

[7] M. R. Ebrahimzadeh, A. M. Borghei, A. H. Tabatabaeifar, A. R. Masoodi, Appropriate model for identification of mechanical faults of MF399 tractor engine by oil analysis according to working condition, *Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 11, No. 1, pp. 23-40, 2005. (in Persian).

[8] M. Momeni, A. F. Ghayoumi, *Statistical Analysis with SPSS*, 3rd Edition, pp. 26-135, Tehran: Ganj Shaygan, 2015. (in Persian).

[9] G. Naghavi Morad Khanlo, M. H. Khoshtaghaza, S. Minaie, Effect of Ballast and Speed on Slippage and Fuel Consumption of ITM285 Tractor, *Journal Of Agricultural Sciences*, Vol. 12, No. 3, pp. 693-702, 2006. (in Persian).

[10] B. Najafi, Artificial neural networks used for the prediction of the diesel engine performance and pollution of waste cooking oil biodiesel, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 11-20, 2011. (in Persian).