



گواهینامه

تاریخ: ۹۷/۰۸/۰۴

ISC code: ۹۶۱۷۰-۷۱۰۰۱

پذیرش و ارائه مقاله در کنفرانس



بدین وسیله گواهی می شود مقاله پژوهشگران محترم:

مجید رجبی و نذرجالی، محمدحسین عباسپور فرد، عباس روحانی

با نظر هیات داوران، تحت عنوان:

مدل سازی آلاینده ها و دور لحظه ای یک موتور اشتعال تراکمی با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه

در همایش ملی مدل سازی ریاضی در علوم مهندسی که در تاریخ ۴ آبان ماه ۱۳۹۶ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر برگزار شد مورد پذیرش جهت ارائه به صورت سخنرانی و درج در مجموعه مقالات همایش قرار گرفت. 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 مستلزم می نمایم



وب سایت همایش: www.abhariau.cnf.ir

دکتر علی خونی

دبیر اجرایی همایش

دکتر نوید سید کاظم ویلی

دبیر علمی همایش

دکتر کیان پهلوان افشاری

رئیس همایش



کیان فولاد ابهر



سیم و کابل ابهر



نیچ تاپر صبا



دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان



دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان



دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب

مدل سازی آلاینده ها و دور لحظه ای یک موتور اشتعال تراکمی با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه

مجید رجبی وندچالی^{1*}، محمدحسین عباسپورفرد²، عباس روحانی³

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

امروزه، موتورهای دیزل به طور وسیع در بخش های مختلف به کار می روند و از منابع اصلی آلودگی هوا در جهان به شمار می روند. محققین برای اندازه گیری دقیق آلودگی موتورهای متحمل صرف وقت و هزینه های بالایی می شوند. از این رو، هدف اصلی تحقیق حاضر ارائه مدل های رگرسیون خطی مناسب برای برخی پارامترهای عملکردی مهم موتور تراکتور ITM285 بر حسب گشتاور و دور موتور بود. آزمایش در 11 سطح دور اولیه موتور (779، 921، 1063، 1204، 1346، 1488، 1629، 1771، 1818، 1913 و 2054 rpm) با اعمال گشتاور از صفر تا بار کامل، با گام های 10 N.m انجام شد. پارامترهای اندازه گیری شامل دور لحظه ای موتور، حداکثر و میانگین کدوری دود اگزوز بود. نتایج نشان داد که بیشترین ضریب تبیین مدل مربوط به دور لحظه ای موتور ($R^2=0.955$) و کمترین آن مربوط به میانگین کدوری دود اگزوز ($R^2=0.732$) بود که حاکی از مناسب بودن مدل های به دست آمده داشت. نتایج ارزیابی مدل های رگرسیونی نشان داد که تطابق بالایی بین خروجی مدل ها با خروجی مطلوب وجود داشت.

کلیدواژگان

دور موتور، رگرسیون خطی چندمتغیره، کدوری دود اگزوز، گشتاور، موتور دیزل.

Modeling pollutant emissions and instantaneous RPM of a compression ignition engine using multiple linear regression method

Majid Rajabi Vandechali¹, Mohammad Hossein Abbaspour-Fard^{1*}, Abbas Rohani¹

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, abaspour@um.ac.ir

Abstract

Nowadays, diesel engines are widely used in various sectors and are considered as the main sources of air pollution in the world. Accurate measurement of fuel consumption and engine pollution 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 primary RPM (1063, 1204, 1346, 1488, 1629, 1771, 1818, 1913 and 2054 rpm) by 10 N.m steps of torque from zero (no load) to full load. The measured parameters include instantaneous RPM, maximum and mean exhaust opacities. The results showed that the highest coefficient of determination of the models obtained for instantaneous RPM ($R^2=0.955$) and the lowest for the mean exhaust opacity ($R^2=0.732$), implying appropriateness of the regression models. The results of regression models evaluation showed a high adaptation between the output of each model and the desired output.

Keywords

RPM, Multiple linear regression, Exhaust opacity, Torque, Diesel engine.

۱-مقدمه

نیز استفاده از این موتورها به صورت موتور پمپ آب و دیزل ژنراتور در فضاهای بسته، از اهمیت بالایی برخوردار است [1]. یکی از راه های بیان آلودگی دود اگزوز بیان سطح کدوری دود است. شاخص کدوری دود در واقع مشخص کننده میزان غلظت دود می باشد. کدوری دود ترکیبی از دود سیاه (ذرات دوده)، دود آبی (بخار هیدروکربن) و دود سفید (بخار آب) می باشد [2]. کدوری دود اگزوز

اخیراً بیش تر تلاش ها برای کاهش آلودگی در جهان بر روی موتورهای دیزل متمرکز شده است. بحث آلودگی موتورهای دیزل به دلیل کاربرد گسترده تراکتورها در بخش کشاورزی و در شهرها در وسایل حمل و نقل عمومی و ماشین های سنگین در کارهای عمرانی و ساختمانی و

بار صفر، دور اولیه و در طی آزمایش (تا بار کامل) دور لحظه ای نامیده شد. پارامترهای اندازه گیری شامل دور لحظه ای موتور، حداکثر و میانگین کدري دود اگزوز بود.



Fig. 1 The instrumentations for parameters measurements: 1- Load cell and 2- Diesel emission tester.

شکل ۱ تجهیزات اندازه گیری پارامترها: ۱- لودسل و ۲- دستگاه تست آلاینده ی دیزل.

۲-۲- اندازه گیری پارامترها

تجهیزات اندازه گیری پارامترها در شکل ۱ نشان داده شد. برای اعمال بار دورانی به موتور از یک دینامومتر اصطکاکی- هیدرولیکی با گردش آب، مدل PLINT ساخت کشور انگلستان مجهز به یک لودسل با حداکثر ظرفیت ۱۰۰ کیلوگرم (شکل ۱) استفاده شد.

برای اندازه گیری کدري دود اگزوز از دستگاه تست آلاینده ی دیزل MAHA مدل MDO2-LON ساخت کشور آلمان [7] استفاده شد (شکل ۱). قبل از انجام آزمایش، دستگاه توسط شرکت توان سازان ایران برای مدت ۱۸۰ روز کالیبره شد. این دستگاه، کدري دود اگزوز را بر حسب m^{-1} اندازه گیری و ثبت می نمود.

۲-۳- استخراج مدل های رگرسیون

تحلیل داده ها و استخراج مدل های رگرسیون خطی چندمتغیره توسط نرم افزار SPSS 20 و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel 2010 انجام شد [8]. در مجموع ۲۰۲ آزمایش انجام شد و داده ها به دو دسته تقسیم شد. ۱۰ درصد داده ها (تعداد ۲۰ داده) برای ارزیابی مدل ها و بقیه ی داده ها (تعداد ۱۸۲ داده) برای استخراج مدل ها استفاده شد. ابتدا شرایط رگرسیون خطی برای هر پارامتر مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی عدم وجود هم بستگی بین خطاها از آزمون دوربین- واتسون استفاده شد [6]. در صورتی که این آماره در سطح نامناسبی قرار داشت (وجود خودهم بستگی) تابع LAG بر روی متغیر وابسته اعمال شد [9]. برای بررسی نرمال بودن توزیع متغیرهای وابسته از آماره های خطای استاندارد ضریب کشیدگی و چولگی استفاده شد. بررسی عدم وجود هم خطی بین متغیرهای مستقل با آزمون شاخص وضعیت انجام شد [9]. برای بررسی میزان کارایی هر مدل از ضریب تبیین و ضریب تبیین تعدیل شده استفاده شد [6].

۲-۴- ارزیابی مدل ها

برای ارزیابی مدل های رگرسیونی به دست آمده ابتدا مقادیر دور اولیه و گشتاور موتور مربوط به هر یک از ۲۰ داده ی ارزیابی به هر مدل وارد گردید و مقادیر پیش بینی شده ی هر پارامتر توسط مدل مربوطه به

برحسب m^{-1} بیان می شود. از واحدهای دیگر آن، FSN، BSU، HSU و غیره می باشد [3].

تاکنون تحقیقات زیادی به منظور بررسی آلودگی موتورهای دیزل به ویژه کدري دود اگزوز انجام شد. به عنوان مثال، برخی محققین تأثیر برخی پارامترهای کاری یک موتور دیزل تک سیلندر آب خنک با پاشش مستقیم شامل سرعت دورانی، بار موتور و زاویه پاشش سوخت را بر میزان کدري دود اگزوز بررسی کردند. نتایج نشان داد که بار موتور و زاویه ی پاشش سوخت، بیشترین تأثیر را بر روی کدري دود اگزوز داشتند. با توجه به سطوح بار موتور، این نتایج برای بارهای پایین (کمتر از ۵۵ درصد بار کامل) معتبر نیست. [1].

یکی از روش ها برای پیش بینی رفتار یک متغیر وابسته نسبت به متغیرهای مستقل، مدل رگرسیون خطی چندمتغیره است. رگرسیون خطی نه تنها یکی از قدیمی ترین روش های پیش بینی است بلکه ساده ترین روش تشریح شده برای برازش تابع نیز می باشد [4]. در رگرسیون خطی، تابع نهایی یک معادله ی خطی به فرم $Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n$ است که در آن Y متغیر وابسته، B_0 تا B_n ضرائب معادله و X_0 تا X_n متغیرهای مستقل هستند [5]. در صورتی پژوهشگر می تواند از رگرسیون خطی استفاده کند که شرایط زیر برقرار باشد [6]: ۱- میانگین (امید ریاضی) خطاها صفر باشد. ۲- واریانس خطاها ثابت باشد. ۳- بین خطاهای مدل، هم بستگی وجود نداشته باشد. ۴- متغیر وابسته دارای توزیع نرمال باشد. ۵- بین متغیرهای مستقل، هم خطی وجود نداشته باشد. مفروضات ۱ و ۲ بدین معنی است که توزیع خطاها باید دارای توزیع نرمال باشد.

تاکنون هیچ مدل رگرسیونی خطی برای پارامترهای مهمی نظیر دور لحظه ای موتور و کدري دود اگزوز بر حسب گشتاور و سرعت دورانی موتور توسط محققین ارائه نشده است. از این رو، با توجه به بیان مسئله ذکر شده و نیز اهمیت مسائل زیست محیطی، تحقیق حاضر به ارائه ی مدل های رگرسیونی خطی مناسب و قابل اعتماد برای این پارامترها در دامنه ی وسیعی از شرایط کاری موتور پرداخت.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- آزمون های تجربی

آزمون ها در دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی بیوسیستم، بر روی موتور تراکتور ITM285 (چهار سیلندر، چهارزمانه، تزریق مستقیم) انجام شد. آزمایش در ۱۱ سطح دور اولیه موتور (N_p) شامل: ۷۷۹، ۹۲۱، ۱۰۶۳، ۱۲۰۴، ۱۳۴۶، ۱۴۸۸، ۱۶۲۹، ۱۷۷۱، ۱۸۱۸ (دور مشخصه ی موتور)، ۱۹۱۳ و ۲۰۵۴ rpm انجام شد. وضعیت استقرار درپچه ی 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 گام های ۱۰ N.m تا بار کامل ادامه یافت. با افزایش گشتاور، دور موتور مدام کم می شد. از این رو دور موتور در

$$IRPM = -97.769 + 1.017N_p - 0.592T \quad (1)$$

$$MEO = 0.125 + 4.634 \times 10^{-8}N_p^2 + 6.919 \times 10^{-5}T^2 - 5.414 \times 10^{-6}N_p.T \quad (2)$$

$$ME.EO = 0.096 + 4.465 \times 10^{-8}N_p^2 + 6.324 \times 10^{-5}T^2 - 4.962 \times 10^{-6}N_p.T \quad (3)$$

که در آن ها؛ N_p دور اولیه موتور؛ T ، گشتاور موتور؛ $IRPM$ دور لحظه ای موتور؛ MEO حداکثر کدري اگزوز و $ME.EO$ میانگین کدري دود اگزوز؛ به ترتیب بر حسب $N.p.m$ ، $r.p.m$ و m^{-1} می باشند.

جدول ۲ ضرایب مدل رگرسیون خطی پارامترها

Table 2 Coefficients of linear regression model of each parameter

پارامتر	مدل	ضرایب استاندارد نشده (B)	ضرایب استاندارد شده (Beta)	آماره t
دور لحظه ای	ثابت	-97.769		-3.770**
	N_p	1.017	0.990	61.340**
	T	-0.592	-0.089	-5.511**
حداکثر کدري دود	ثابت	0.125		3.391**
	N_p^2	4.634E-8	0.135	2.376*
	T^2	6.919E-5	2.047	15.085**
	$N_p \times T$	-5.414E-6	-1.453	-9.776**
میانگین کدري دود	ثابت	0.096		2.818**
	N_p^2	4.465E-8	0.142	2.476*
	T^2	6.324E-5	2.047	14.912**
	$N_p \times T$	-4.962E-6	-1.457	-9.691**

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

۳-۳-۳ ارزیابی مدل ها

برای تمامی پارامترها ضریب همبستگی پیرسون برای 20 داده ی زوجی در سطح یک درصد معنی دار بوده که حاکی از همبستگی معنی دار بین مقادیر پیش بینی شده توسط هر مدل با مقادیر واقعی است. شکل ۲ نمودار پراکندگی مقادیر واقعی هر پارامتر را در برابر مقادیر پیش بینی شده توسط مدل رگرسیون خطی مربوطه نشان می دهد. در معادلات سیر روند پارامترها در شکل ۲ هرچه شیب خط به یک نزدیک تر باشد حاکی از تطابق بیشتر مقادیر پیش بینی شده با مقادیر واقعی پارامتر است. نجفی [10] نیز در تحقیقی به منظور ارزیابی مدل های تخمین عملکرد و آلایندگی موتور دیزل، نمودارهای مقادیر پیش بینی شده ی 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 هیدروکربن های نسوخته برابر 0.960 و 0.988 به دست آمد که حاکی از کارایی مناسب مدل های به دست آمده داشت.

دست آمد. سپس با استفاده از آزمون t جفت شده، میزان همبستگی نمونه های جفت شده (مقادیر پیش بینی 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. آماره ی دوربین- واتسون با اعمال تابع LAG اصلاح گردید و خودهمبستگی بین خطاها از بین رفت اما مقدار ضریب تبیین تعدیل شده ی رگرسیون کاهش یافت. از این رو، با حذف برخی از داده های پرت، مقدار این ضریب بهبود داده شد.

۳-۲- تجزیه واریانس مدل ها

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی مربوط به هر یک از متغیرهای وابسته در جدول ۱ آمده است. تمامی مدل های رگرسیونی، در سطح معنی داری یک درصد معنی دار شدند ($p\text{-value} < 0.01$). بنابراین می توان گفت که به احتمال 99 درصد دست کم یکی از متغیرهای مستقل دارای رابطه ی خطی با متغیر وابسته می باشد. ضرایب مربوط به مدل خطی هر پارامتر وابسته به همراه سطح معنی داری 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
دور لحظه ای موتور	رگرسیون	25019334.22	2	1898.898**
	مانده	1172638.586	178	
	کل	26191972.81	180	
حداکثر کدري دود	رگرسیون	18.743	3	165.995**
اگزوز	مانده	6.662	177	
	کل	25.404	180	
میانگین کدري دود اگزوز	رگرسیون	15.537	3	160.946**
	مانده	5.695	177	
	کل	21.232	180	

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

بر اساس ضرایب استاندارد نشده (مقادیر ستون B) نمی توان نتیجه گرفت متغیری که ضریب بیش تری (بدون توجه به علامت آن) دارد تأثیر بیش تری بر متغیر وابسته دارد زیرا واحدهای اندازه گیری متغیرها متفاوت است. بنابراین، برای مقایسه ی تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته، ضرایب استاندارد شده (ستون Beta) بدون توجه به علامت آن به کار برده می شود [9].

با توجه به جدول ۲، مدل های رگرسیون خطی پارامترها به صورت روابط 1 تا 3 می باشد.

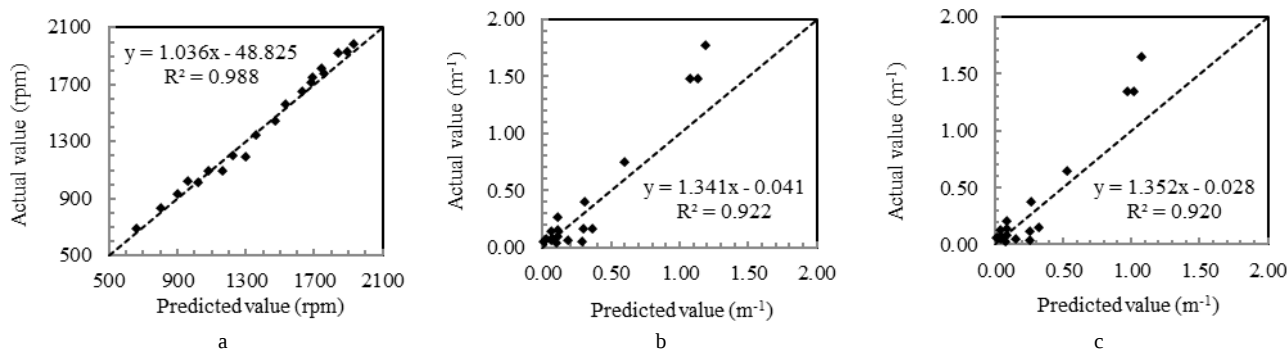


Fig. 2 Plot of actual values versus predicted values of a) Instantaneous RPM, b) Maximum exhaust opacity and c) Mean exhaust opacity

شکل ۲ نمودار مقادیر واقعی در برابر مقادیر پیش بینی شده برای (a) دور لحظه ای موتور، (b) حداکثر کدري دود و (c) میانگین کدري دود

بسیار بالایی با مقادیر واقعی بود؛ اما این امر در مورد حداکثر و میانگین کدري دود اگزوز با تعریف سه متغیر مستقل جدید از روی گشتاور و دور موتور، حاصل گردید. به عنوان یک نتیجه کلی می توان گفت رگرسیون خطی چندمتغیره ابزاری قوی و مناسب برای تحلیل پارامترهای عملکردی موتور بوده و مدل های خطی سودمند و کارآمدی را ارائه می دهد. این مدل ها اگر در دامنه ی وسیع تری طراحی و ارزیابی شوند می توانند موجب صرفه جویی در زمان و هزینه ی انجام بسیاری از آزمایش های تجربی (در دسترس نبودن و یا قیمت بالای ابزار اندازه گیری دقیق برخی پارامترها) شوند.

۵- مراجع

- [1] A. Abbaszadeh, B. Ghobadian, Investigation of effects of working parameters of a diesel engine on exhaust opacity, *The 5th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*, Mashhad, Iran, August 27-28, 2008. (in Persian).
- [2] J. Arregle, V. Bermudez, J. R. Serrano, E. Fuentes, Procedure for engine transient cycle emissions testing in real time, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 30, No. 5, pp. 458-496, 2006.
- [3] Anonymous, Smoke factor measurements with remote sensing device technology, Recommended practice, Publication series of *Environmental Systems Products*, pp. 1-52, 2010.
- [4] V. Kotu, B. Deshpande, *Predictive Analytics and Data Mining: Concepts and Practice with Rapidminer*, pp. 165-193, San Francisco: Morgan Kaufmann, 2015.
- [5] 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.
- [6] D. C. Montgomery, E. A. Peck, G. G. Vining, *Introduction to Linear Regression Analysis*, 5th Edition, pp. 15-321, New Jersey: Wiley, 2012.
- [7] 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.
- [8] 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).
- [9] M. Momeni, A. F. Ghayoumi, *Statistical Analysis with SPSS*, 3rd Edition, pp. 26-135, Tehran: Ganj Shaygan, 2015. (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).

۳-۴- معیار انتخاب متغیرهای مستقل جدید

پس از استخراج مدل های مربوط به پارامترهای کدري دود، نمودار پراکندگی مقادیر واقعی در برابر مقادیر پیش بینی شده توسط مدل برای داده های ارزیابی به دست آمد. شکل ۳ این نمودار را برای حداکثر کدري دود نشان می دهد. با توجه به پراکندگی نامناسب و تطابق ضعیف مقادیر پیش بینی شده و واقعی، برازش منحنی درجه ی دوم بر نمودار انجام شد که ضریب تبیین آن 0.764 بود (شکل ۳).

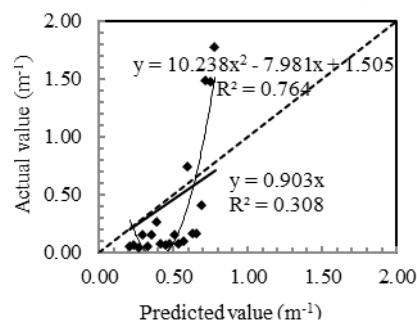


Fig. 3 Plot of actual values versus predicted values of maximum exhaust opacity (by independent variables of engine torque and RPM)

شکل ۳ نمودار مقادیر واقعی حداکثر کدري دود اگزوز در برابر مقادیر پیش-

بینی شده (با متغیرهای مستقل دور اولیه و گشتاور موتور)

در شکل ۳، متغیر x همان مقادیر پیش بینی شده ی مدل ها می باشد که خود تابعی خطی بر حسب دور اولیه و گشتاور است. بنابراین با جایگزینی تابعی به صورت $x = b_0 + b_1.N_p + b_2.T$ ، b_0 ، b_1 و b_2 ضرایب مدل رگرسیون خطی هستند) در تابع $y = a_0 + a_1.x + a_2.x^2$ و a_0 ، a_1 و a_2 ضرایب معادله درجه دوم در شکل ۳ هستند)، تابعی به صورت $y = c_0 + c_1.N_p^2 + c_2.N_p.T + c_3.T^2$ و c_0 ، c_1 ، c_2 و c_3 ضرایب مدل رگرسیون خطی هستند) به دست می آید. از این رو، متغیرهای مستقل جدید به صورت مربع دور اولیه، مربع گشتاور و حاصل ضرب دور اولیه در گشتاور تعریف شدند.

۴- نتیجه گیری

دور لحظه ای موتور دیزل به خوبی توسط گشتاور و دور اولیه ی موتور تبیین و مدل سازی خطی شد و مقادیر خروجی مدل دارای تطابق