



Imam Khomeini International University

Vol. 7, No. 4, Winter 2022



نشریه مهندسی منابع معدنی

Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

Research Paper

Determination of the Appropriate Speed for Drum Shearers Considering Coal Strength and Gas Content in Tabas Mechanized Mine

Eslamzadeh M.¹, Ataei M.^{2*}, Sereshki F.², Najafi M.³

1- Ph.D Student, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

2- Professor, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

3- Associate Professor, Dept. of Mining and Metallurgical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

Received: 09 Sep. 2021

Accepted: 05 Mar. 2022

Abstract: To increase and Join production in coal mining panels, predicting and determining the appropriate speed of these devices can greatly help the project implementation time and economics of designs. For this purpose, 1260 types of coal, cut by the coal mining machine were carried out in the E3 extraction panel of the Tabas mechanized mine. First, after recording the shearer speed of each cut, the information about gas flow was collected at three points along the total length of the panel. These three points include emitted methane gases as a percentage on sensor 88, the tailgate input sensor (TG), and the sensor embedded on the Armored face conveyor (AFC). Shearer speed was predicted with three models of linear and nonlinear multivariate regression (exponential and logarithmic). The results show that the multivariate linear regression model with a coefficient of determination $R^2=0.90$ has a more accurate prediction than the other two methods using the linear multivariate regression model, the amount of shearer speed can be predicted with good accuracy. For this purpose, the genetic algorithm in MATLAB software has been used to optimize the speed of the shearer device. Determining the appropriate speed results show that cross diagrams based on coefficient of determination (R^2), according to Equations (logarithmic, exponential and linear), linear type has a higher coefficient of determination than other equations. Therefore, the best model is selected to determine the appropriate speed. Using the linear equation in the genetic algorithm, the extraction speed of the shearer machine was estimated to be 4.79 m/min.

Keywords: Determining the appropriate speed, shearer, statistical analysis, genetic algorithm, Tabas mechanized mine.

How to cite this article

Eslamzadeh1, M., Ataei, M., Sereshki, F., and Najafi, M. (2022). "Determination of the appropriate speed for drum shearers considering coal strength and gas content in Tabas Mechanized Mine". Journal of Mineral Resources Engineering, 7(4): 103-121.

DOI: 10.30479/JMRE.2022.16169.1544

*Corresponding Author Email: ataei@shahroodut.ac.ir

COPYRIGHTS



©2022 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

INTRODUCTION

The purpose of this study is to investigate how the loader shearer machine works based on the parameters affecting it and finally to optimize and evaluate loader shearer speed according to the gasification of the layers and the properties of rock resistance in Parvadeh Tabas coal mine number one. Among the innovations that can be mentioned in this research includes reviewing and studying the progress rate of the loader shearer regarding the strength properties of coal in Tabas mechanized mining number A and examining the relationship between loader shearer performance with operational parameters in the coal cutting process and also comparing the relationship between operational and non-operational parameters and coal strength characteristics and gasification of the layers [1].

METHOD

Case study area, extraction panel E3

To extract this extraction panel, it is necessary to have two upper and lower corridors named E3 main gate and E3 tailgate. As in Figure 1, the corridors are rectangular and 3*5 meters. The extraction in the E3 extraction panel is done by the loader shearer. The loader shearer is relatively narrow moves on a wall chain conveyor and usually creates a cut with a depth of 60 to 90 cm. Generally, the loader shearer is a machine with a lot of flexibility and almost cuts any type of layer and passes through faults well [2].

In Parvadeh Tabas mine No. 1, for the extraction of the Coal layer, the shearer machine puts the extracted material on the adjacent conveyor and transfers it to the main conveyor in the tunnel. In mechanized systems, transportation inside the extraction panel is done by a chain conveyor or AFC conveyor. Hydraulic jacks are used in the roof of the wall that can withstand a lot of loads. With the advance of the wall, the special conveyor of the wall and maintenance equipment move forward with a specific schedule and the roof part behind the maintenance equipment will be destroyed. The destruction decreases the pressure of layers on the equipment; so it can avoid damaging the equipment. Figure 2 shows the shearer used in Tabas mine number 1 [2].



Figure 1. The shearer used in Parvadeh Tabas mine

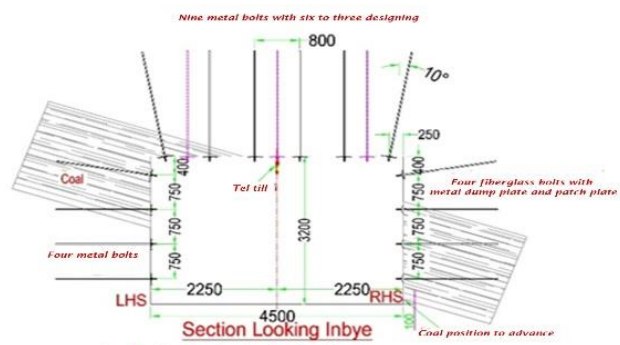


Figure 2. A view of main corridors for extraction in extraction panel E3 [3]

Investigating the performance of shearer machine speed in extraction panel E3

In order to investigate the shearer speed the first step is to establish a data bank including the properties of mass rock, machine, and emitted methane in extraction panel E3. To do so, researchers and field studies are precisely and carefully done by site visiting and controlling the shearer operation in extraction panel E3 for 1260 cuts along the whole extraction panel E3. Table 1 shows the brief results of 10 extractions. Actually, the extraction of methane gas has been conducted through sensors inside the extraction panel and the main routes. These extractions involve Coal toughness (Mpa), emitted methane in terms of percentage on sensor number 88, input tailgate (TG), sensor installed on the chain conveyor (AFC), methane gasification system, and shearer speed during extraction [2].

A speed prediction of shearer machine

The proper and successful use of shearer technology in any mining operation depicts the fact that precise estimations and evaluations should be done over the shearer speed. In order to develop the predicted models including the linear and nonlinear regression models, 70 percent of data (882) is used which is called

training data. To do so, defining the measured speed of shearer as a dependent parameter and different types of linear and nonlinear multivariate regression models will be studied. To evaluate the developed models, we have used 30 percent of data (378) which is called test data. The prediction of shearer Speed is based on the training data and test data by three models linear multivariate regression, exponential multivariate regression, and logarithmic multivariate regression which will be explained next. Like the Figures 3 and 4, SPSS software is used for predicting the shearer speed by regression methods. In order to make a comparison between the three predicted models and the real average speed of the shearer (Table 2), we have used 1260 cuts of the shearer in extraction panel E3. The more the speed is, the more the power of this model will be. The real is the speed of shearer in extraction panel E3 is estimated as 3.79 m/s. The results show that the linear multivariate regression model has more precise predictions than the other two methods in a way that the training data for predicting the shearer speed in the linear multivariate regression model with a determination coefficient of 0.90, a correlation coefficient of 0.95, and root mean square error has the least number of errors. In the linear multivariate regression model, all independent variables except the methane gasification system can directly affect the shearer speed. The root mean square error (RMSE) of training data in the linear multivariate regression model with the least number of errors will be 0.29. Therefore, the linear multivariate regression model can precisely predict the shearer speed in Parvadeh Tabas coal mine number 1 [2].

Table 1. Summary of 10 extractions of shearer in extraction panel E3

Shearer speed (m/min)	Meethane gasification	Ssensor gas TG	Sensor gas AFC	Sensor gas 88%	Toughness	N umber of extraction
3.5	12	0.59	0.65	0.35	14	1
2	12	0.78	0.73	0.59	15	76
4	12	1.29	0.94	0.53	17	179
4	13	0.84	0.73	0.67	32	457
3.6	21	0.41	0.84	0.9	13.31	564
3.8	18	0.29	0.78	0.29	8.95	622
3.8	26	0.39	0.93	0.9	6.98	882
4.8	32	0.25	0.98	0.35	6.34	955
4	13	0.37	0.59	0.86	6.34	1122
3.7	18	0.47	0.73	0.63	9.35	1260

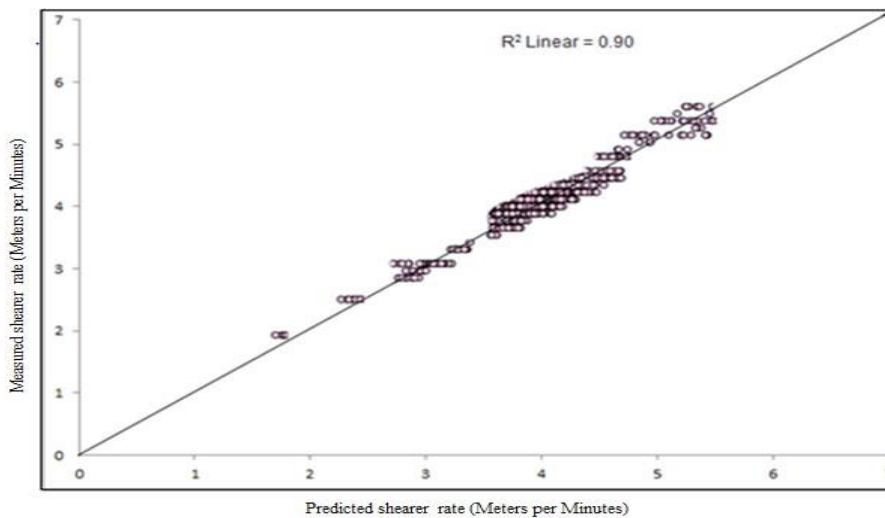


Figure 3. The relationship between the measured and predicted shearer speed in linear multivariate regression model using training data

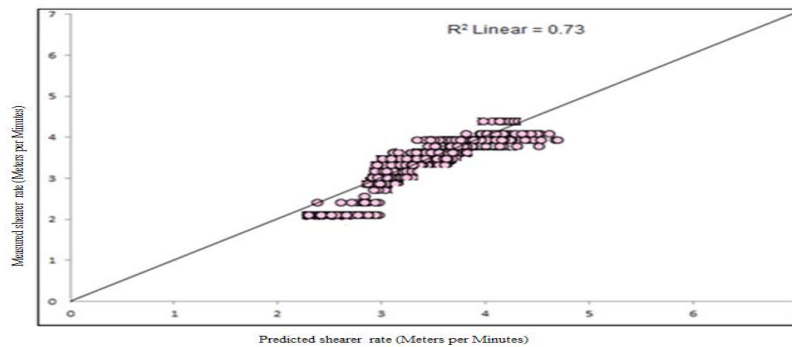


Figure 4. The relationship between the measured and predicted shearer speed in linear multivariate regression model using test data

Table 2. Comparing the predicted shearer speed using the three conducted models

Average speed (m/m)	Number	Model
3.81	1260	Linear multivariate regression
3.78	1260	Non-linear exponential multivariate regression
3.32	1260	Non-linear logarithmic multivariate regression
3.79	1260	Real shearer speed

Problem statement

In order to study the optimal performance of shearer speed, controlling the extraction operation of shearer in extraction panel E3 1260 cuts along the whole extraction panel will be accepted.

Based on Table 2, methane extraction using gas sensors inside the extraction panel and the main routes are conducted. These extractions are similar to those of previous steps for predicting the shearer speed. Objective functions are used to optimize the shearer speed. In these functions we have [4]:

ST: coal toughness in terms of mega Pascal

CH488: sensor 88 methane in terms of percentage

DRG: gasification system

The objective functions of this problem which are obtained by SPSS software are as follows:

A: objective function number one multivariate regression model

B: objective function number two non-linear multivariate regression model

C: objective function number three logarithmic nonlinear multivariate regression model [5]

Results obtained by genetic algorithm based on various equations

Table 3 represents the result of the genetic algorithm output. Besides, Figure 5 shows the Convergence graph for the linear equation. Figure 6 indicate the Convergence graph of equations used for optimizing the shearer speed. As it can be seen from the tables, convergence graphs, and optimal speed, the exponential method gives the best response comparing the other two functions. However, the optimal response time is related to the linear equation which is quite natural. Also, the rate of speed is related to the linear equation. Thus, linear equation presents the best performance with an optimal speed of 4.79 m per minute comparing the other two optimized equations [6].

The results of correlation coefficient of equations in optimizing genetic algorithm

Correlation coefficient is a statistical tool for determining the type and the relation degree of a quantitative variable with another quantitative variable. Using this coefficient, we can also draw a cross graph based on different limitations. The limitations of Table 1 are used for determining the correlation coefficient of shearer Speed. The second limitation involves 384 limitation data. That is, the answer set in the second limitation will be 384. The results obtained from the simulations of cross graphs based on the correlation are presented in Table 3. Regarding the fact that the linear equation has more regression than the other equations; therefore, it is the best model for optimization [6].

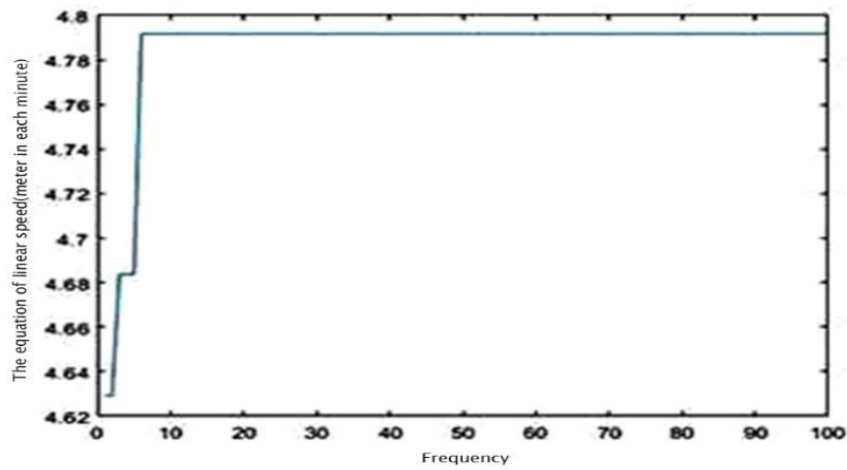


Figure 5. Convergence graph of linear equation

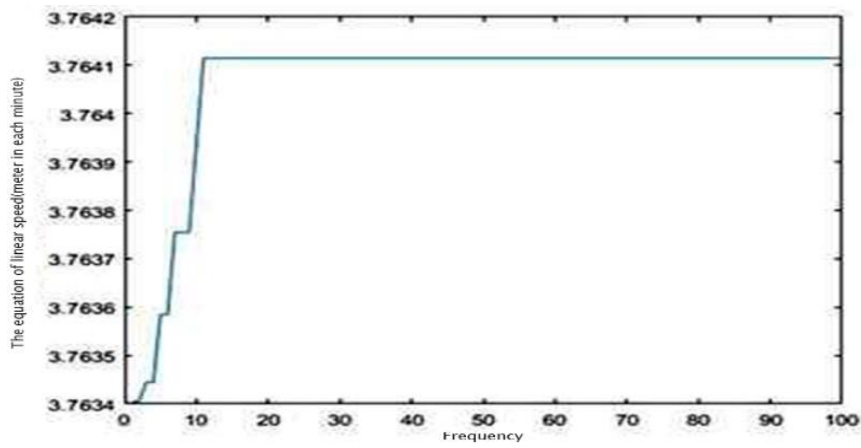


Figure 6. Convergence graph of exponential equation

Table 3. Results obtained from the simulation of cross graphs based on the correlation coefficient

Type of equation	Correlation coefficient R
linear	0.93
logarithmic	0.69
exponential	0.73

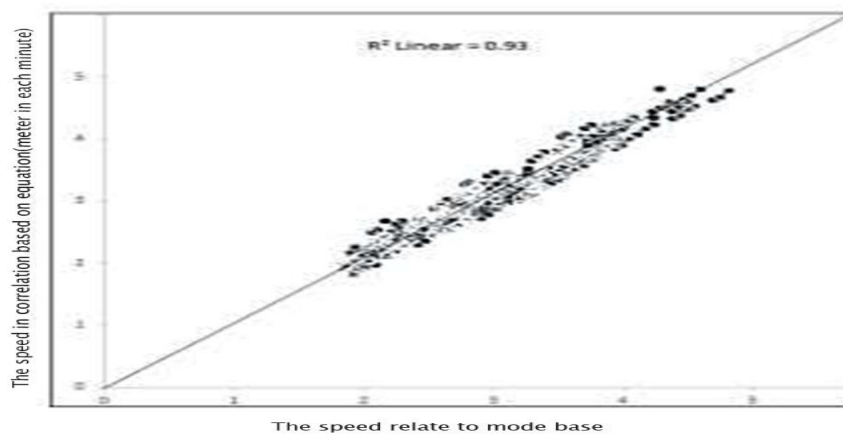


Figure 7. Cross graph in correlation mode based on the linear equation

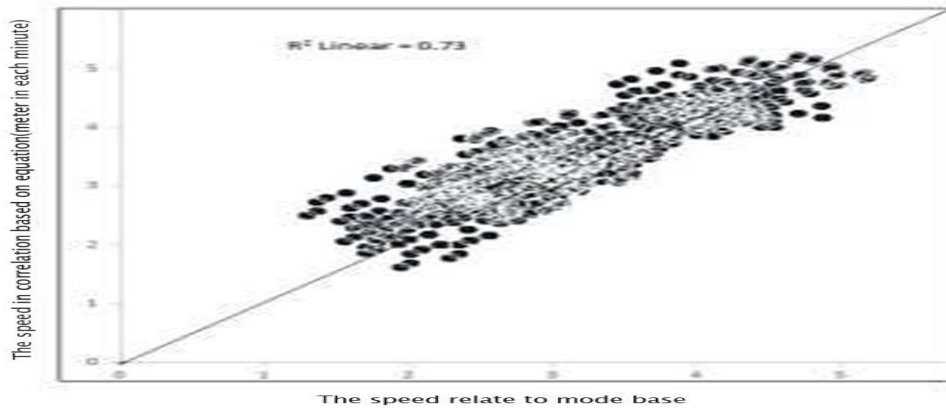


Figure 8. Cross graph in correlation mode based on the exponential equation

CONCLUSION

In this research, the relationship between shearer speed with resistance properties and coal gasification in Parvadeh Tabas mine number one is investigated by statistical studies and multivariate regression in SPSS software. To do so, 1260 types of coal cut by Shearer in extraction panel E3 in this mine are studied. The extraction operation of this mine is done using the backward long-wall method. Due to mechanization in the Parvadeh mine, the shearer is used for cutting or coal extraction in the extraction panel. The first step for investigating the shearer's performance is to establish a data bank including the properties of rock mass, machine and emitted methane. The data relating to methane is obtained using sensors installed inside the extraction panel and the main routes [7]. These extractions include coal toughness (Mpa), emitted methane in terms of percentage on sensor number 88 and tailgate sensor (TG) and the sensor installed on the chain conveyor (AFC), methane gasification system and shearer speed. Linear multivariate regression, exponential multivariate regression and logarithmic multivariate regression models are used for predicting the shearer speed based on the training and test data. In order to develop the predicted models, we have used 70 percent of data as training data (882) and 30 percent of data as test data (378). The results show that the linear multivariate regression model has more precise predictions comparing the other models in a way that training data for predicting the shearer speed in linear multivariate regression model with determination coefficient of 0.90 and correlation coefficient of 0.95 and root mean Square error has the least number of errors. In a linear multivariate regression model, all independent variables except the methane gasification system can directly affect shearer speed [8].

The first Society is all input and output files. Shearer speed is related to input and the rest of the variables include problem inputs. In order to be done better and regarding the dependency of all parameters (input variables) on output (shearer speed) in cases where one of the inputs equals 0, it will be removed from the first Society (16 societies are removed from 1260 societies); therefore the first Society will be 1244. Objective functions including linear, exponential, and logarithmic are used for optimizing the shearer speed. The results of objective functions show that the exponential method gives the best response comparing to the other two functions. However, the optimal response time is related to the linear equation which is quite natural. Also, the rate of speed is related to the linear equation. Thus, the linear equation presents the best performance with an optimal speed of 4.79 m per minute comparing the other two optimized equations.

The results obtained from the simulations of cross graphs based on the correlation show that the linear equation has more regression than the other equations; therefore, it is the best model for optimization (Table 3). It's worth mentioning that the linear equation with a correlation coefficient of .93 has had the best performance comparing the other equations.

REFERENCES

- [1] Liu, C. Z., Qin, D. T., and Liao, Y. H. (2016). "Dynamic analysis for the cutting electromechanical transmission system in the long-wall shearer". *Journal of Mechanical Engineerin*, 52(7): 14-22.
- [2] Report of Technical Office of Mine no one Mechanized Parvadeh Tabas, (2017). Tabas Mine Design Office, 25-30. (In

Persian).

- [3] Shu, R. Z., Liu, Z. J., Liu, C. Z., and Ma, Z. L. (2015). "*Load sharing characteristic analysis of short driving system in the long-wall shearer*". *Journal of Vibroengineering*, 17(7): 3572-3585.
- [4] Qin, D. T., Wang, Z., Hu, M. H., and Liu, Ch. (2015). "*Dynamic matching of optimal drum movement parameters of shearer based on multiobjective optimization*". *Journal of China Coal Society*, 40(2): 532-539.
- [5] Jaszczuk, M. (2007). "*Longwall Machinery*". Publishing house S'la, sk: Katowice, Poland, 40(3): 24-28.
- [6] Ma, Z. L. (2009). "*Study on key technology of shearer with variable speed cutting*". Ph.D. Dissertation, China University of Mining and Technology.
- [7] Sahoo, R., and Mazid, A. M. (2009). "*Application of opto-tactile sensor in shearer machine design to recognise rock surfaces in underground coal mining*". In: *IEEE International Conference on Industrial Technology Victoria*, 1-6.
- [8] Ma, Z. L. (2012). "*Modelling and simulation on shearer self-adaptive memory cutting*". *Procedia Engineering*, 37(4): 37-41.



تعیین سرعت مناسب استخراج زغال تراش با توجه به خواص مقاومتی و گازخیزی زغالسنگ در معدن مکانیزه پروده طبس

مهدی اسلام زاده^۱، محمد عطائی^{۲*}، فرهنگ سرشکی^۲، مهدی نجفی^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

۲- استاد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، یزد

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۸

چکیده

برای بالا بردن میزان تولید و ایجاد تولید پیوسته در کارگاه‌های استخراج معدنکاری زغالسنگ، در کنار سایر تجهیزات مورد استفاده، به کار بردن ماشین‌های زغال‌کن شیرر لودر بسیار مفید است. از این رو پیش‌بینی و تعیین سرعت مناسب این دستگاه‌ها کمک زیادی به زمان اجرای پروژه‌ها و اقتصاد طرح‌ها می‌کند. برای تعیین سرعت مناسب استخراج شیرر لودر، تعداد ۱۲۶۰ نوع برش زغالسنگ به وسیله شیرر، در کارگاه استخراج E3 معدن زغالسنگ مکانیزه طبس بررسی شد. ابتدا پس از برداشت و ثبت سرعت شیرر در هر برش، اطلاعات مربوط به گازخیزی در سه نقطه از طول کارگاه، شامل گاز متان منتشر شده بر حسب درصد بر روی سنسور ۸۸ و سنسور ورودی تونل (TG) و سنسور تعبیه شده بر روی دستگاه ناو زنجیری (AFC)، و سپس مطالعات آماری، پیش‌بینی سرعت شیرر با سه مدل رگرسیون چند متغیره خطی و غیرخطی (نمایی و لگاریتمی) انجام پذیرفت. نتایج نشان می‌دهد، مدل رگرسیون چند متغیره خطی ضریب تعیین $R^2=0.90$ پیش‌بینی دقیق تری نسبت به دو روش دیگر دارد. با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره خطی می‌توان مقدار سرعت شیرر را با دقت خوبی پیش‌بینی کرد. برای تعیین سرعت مناسب دستگاه شیرر لودر از الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد نمودارهای متقاطع بر اساس ضریب تعیین (R^2)، با توجه به معادلات (لگاریتمی، نمایی و خطی)، نوع خطی، ضریب تعیین بالاتری نسبت به سایر معادلات دارد، بنابراین بهترین مدل برای تعیین سرعت مناسب انتخاب شد. با استفاده از معادله خطی در الگوریتم ژنتیک، سرعت مناسب استخراج دستگاه شیرر لودر برابر با ۴/۷۹ متر بر دقیقه برآورد شد.

کلمات کلیدی

سرعت مناسب استخراج، شیرر لودر، تحلیل‌های آماری، الگوریتم ژنتیک، معدن شماره یک پروده طبس.

استناد به این مقاله

اسلام زاده، م.، عطائی، م.، سرشکی، ف.، نجفی، م.؛ ۱۴۰۱؛ "تعیین سرعت مناسب استخراج زغال تراش با توجه به خواص مقاومتی و گازخیزی زغالسنگ در معدن مکانیزه پروده طبس". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره هفتم، شماره ۴، ص ۱۲۱-۱۰۳.

DOI: 10.30479/JMRE.2022.16169.1544



۱- مقدمه

زغال سنگ یکی از منابع مهم تولید انرژی در دو قرن گذشته بوده و برای تامین انرژی در آینده نیز بر روی زغال سنگ حساب ویژه‌ای باز شده است. در حال حاضر برای استخراج زغال سنگ در معادن زیرزمینی، استفاده از روش جبهه کار طولانی یکی از روش‌های عمده و پرکاربرد است. برای بالا بردن میزان تولید و ایجاد تولید پیوسته در کارگاه‌های استخراج معدنکاری زغال سنگ، در کنار سایر تجهیزات مورد استفاده، به کار بردن ماشین‌های زغال کن شیرر لودر بسیار مفید است.

از جمله مهم‌ترین عواملی که برای انتخاب سیستم استخراج مورد توجه قرار می‌گیرد، عواملی همچون ضخامت لایه، قابلیت زغال کنی، هزینه عملیاتی، تولید گرد و غبار، تعداد نیروی انسانی مورد نیاز، هزینه تعمیر و نگهداری، میزان تولید، شرایط زمین‌شناسی، شیب لایه‌ها، مقاومت سنگ در برگیرنده، استحکام کمرها و میزان گازخیزی لایه‌ها است. یکی از مهم‌ترین معیارهای انتخاب نوع ماشین زغال کنی، ضخامت لایه است. به طوری که در لایه‌های نازک زیر ۱٫۳ متر کاربرد دستگاه شیرر محدود می‌شود [۱].

روش استخراج جبهه کار طولانی، روش قدیمی است که از اوایل قرن هفدهم میلادی در معادن زغال سنگ اروپا رواج پیدا کرده و به سرعت در تمام کشورهای تولیدکننده زغال سنگ به استثنای ایالات متحده به کار گرفته شده است. از اوایل دهه ۱۹۶۰ به بعد در ایالات متحده وسایل نگهداری خود پیشرو^۱ هیدرولیک به کار گرفته شد. در سال ۱۹۷۹ در حدود ۲۶۰ جبهه کار طولانی فعال در انگلستان وجود داشت. به طوری که در سال ۱۹۸۳ بیش از ۱۰۰ کارگاه به روش استخراج جبهه کار طولانی در ایالات متحده مشغول به کار بوده‌اند [۲].

تعداد فعالیت‌های پژوهشی انجام شده در خصوص بهینه‌سازی سرعت استخراج ماشین شیرر لودر در جهان محدود است. وانگ و همکارانش^۲ با استفاده از بهینه‌سازی به روش شبکه عصبی و برای پیش‌بینی میزان تناژ استخراج زغال سنگ، روشی جدید برای تعیین میزان سرعت شیرر لودر با در نظر گرفتن رابطه بین سرعت حرکت و میزان برش ارایه دادند. تحقیقات وانگ و همکارانش بر روی دلایل کاهش میزان استخراج زغال سنگ، مکانیزم ایمنی در روش پیشنهادی و کاهش میزان حوادث نیروی انسانی مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)^۳ بر اساس مطالعات انجام شده، راه‌حلی برای تنوع و بهبود

کیفیت روش‌های استخراج ارایه شد. علاوه بر این، یک شبیه‌سازی نمونه‌ای انجام شد و نتایج مقایسه نشان داد که روش پیشنهادی امکان‌پذیر، کارآمد و پیشرفته‌تر از روش‌های قبلی است [۲].

ژیا هو لی و همکارانش^۴ برای "بررسی تاثیرات پارامترهای قابل اندازه‌گیری شیرر لودرها بر میزان تولید گرد و غبار و تاثیرات آن بر روی سرعت شیرر لودر بر اساس نظریه جریان تعلیق دو فازی گاز-جامد و نظریه تشکیل گرد و غبار ناشی از پیشروی و برش زغال سنگ"، یک مدل ریاضی برای محاسبه میزان غلظت گرد و غبار ارایه کردند. در این مدل روش تعیین پارامترهایی مثل، خروج گرد و غبار با استفاده از مدل فازی دقیق (DPM) در نرم‌افزار فلوئنت^۵ شبیه‌سازی کردند و بر اساس آن چگونگی توزیع گرد و غبار را مشخص کردند. با توجه به محاسبه مقدار گرد و غبار ناشی از برش زغال سنگ هنگامی که سرعت کشش شیرر لودر کاهش و یا سرعت چرخش درام شیرر افزایش می‌یابد، میزان گرد و غبار هر نقطه بر روی زغال سنگ افزایش یافته و بنابراین همین موضوع باعث افت سرعت شیرر لودر می‌شود. علاوه بر این، با افزایش سرعت چرخش، میزان غلظت به حداکثر مقدار خود خواهد رسید که با کمک تهویه اصلی معدن باید آن را خارج کرد [۳].

مهم‌ترین دلایل عمومیت پیدا کردن شیررها، سادگی، راندمان بالا، ایمنی بالا (در نزد کارگران اعتماد بالایی دارد)، انعطاف‌پذیری بالا و تولید بالا (نسبت به ماشین‌های دیگر کار بیشتری انجام می‌دهد) را می‌توان نام برد.

هدف از این تحقیق بررسی نحوه عملکرد ماشین شیرر لودر بر اساس پارامترهای موثر بر آن و در نهایت بهینه‌سازی و ارزیابی سرعت شیرر لودر با توجه به گازخیزی لایه‌ها و خواص مقاومت سنگ در برگیرنده در معدن شماره یک زغال سنگ پروده طبس است.

از جمله نوآوری‌هایی که در این تحقیق می‌توان به آن اشاره کرد شامل بررسی و مطالعه میزان نرخ پیشروی شیرر لودر با توجه به خواص مقاومتی زغال سنگ در معدن مکانیزه شماره یک پروده طبس و بررسی ارتباط میان عملکرد ماشین‌های شیرر لودر با پارامترهای عملیاتی در فرآیند برش زغال سنگ و همچنین مقایسه بین پارامترهای عملیاتی و غیرعملیاتی و مشخصات مقاومتی زغال سنگ و میزان گازخیزی لایه‌های زغالی در عملکرد شیرر لودرها باشد.

۲- خلاصه‌ای از منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ناحیه مرکزی شرق کشور در محدوده جنوب شرقی شهرستان طبس واقع شده است. این منطقه از شمال به دشت کاملاً هموار کویری و از جنوب به ارتفاعات تریاس- ژوراسیک محصور شده است. شرق منطقه را رشته کوه شتری و غرب آن را ارتفاعات ناحیه کلمرد (کمر مهدی) محدود می‌کند [۴].

از نظر چینه‌شناسی، سازند در برگیرنده زغال معدن طبس مربوط به دوره تریاس است. سنگ‌های تشکیل دهنده این سازند عمدتاً گل سنگ با تناوبی از لای سنگ و ماسه سنگ است. لایه‌های اصلی زغال B_1 , B_2 , C_1 هستند که در محدوده‌ای ۵۰ متری از سازند قرار دارند.

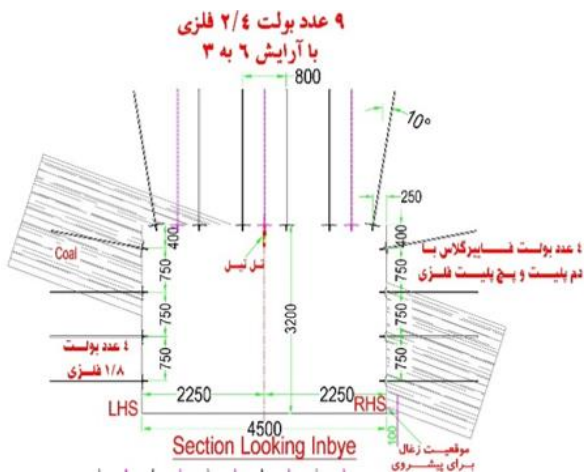
معدن شماره یک پروده طبس، اولین و تنها معدن تمام مکانیزه زغال سنگ کشور با ظرفیت تولید سالانه ۱٫۲ الی ۱٫۵ میلیون تن زغال کک‌شو است. از بین لایه‌های زغالی این منطقه، تنها لایه C_1 در حال استخراج است. عملیات استخراج در این معدن به روش جبهه کار طولانی پسرو انجام می‌شود. ضخامت لایه C_1 از ۲٫۲ متر در بخش شمال شرقی محدوده معدن تا ۱٫۴۵ متر در جنوب غربی آن متغیر و عمدتاً در محدوده ۱٫۸-۲ متر است [۳].

برای باز کردن معدن از سه تونل شیب‌دار استفاده و تونل شیب‌دار چهارم نیز از تونل شماره ۳ منشعب شده است. شیب این تونل‌ها حداکثر ۱۴ درجه است. محدوده کارگاه‌های استخراج با انشعاب تونل‌های فرعی از تونل‌های اصلی آماده‌سازی شده‌اند. مجموع طول تونل‌های اصلی ۱۳۵۰۰ متر است که ۵۰۰ هزار تن زغال سنگ حین حفاری این تونل‌ها به دست می‌آید. تونل شماره ۱ وظیفه خروج هوای کثیف از کارگاه‌های غربی معدن را بر عهده دارد. از تونل شماره ۲ و ۳ برای ورود هوای تمیز استفاده می‌شود. برای انتقال تجهیزات و ورود و خروج کارگران نیز از تونل شماره ۲ استفاده می‌شود. برای انتقال زغال سنگ به بیرون از تونل شماره ۳ استفاده می‌شود. تونل شماره ۴ وظیفه خروج هوای کثیف از کارگاه‌های شرقی معدن را بر عهده دارد. تهویه معدن به روش مکشی است. در مجموع، برای استخراج این معدن ۲۷ کارگاه طراحی شده است [۳].

۲-۱- کارگاه استخراج E3

برای استخراج این کارگاه ابتدا باید دو راهرو بالایی و پایینی آماده‌سازی شوند. این دو راهرو به نام‌های E3 منگیت^۶ و E3

تلگیت^۷ هستند. همانند شکل ۱ راهروها مستطیلی شکل بوده و ابعاد $۴٫۵ \times ۳٫۲$ متر در راهرو اصلی دارند.



شکل ۱: نمایی از راهروهای اصلی برای استخراج کارگاه استخراج E3 [۳]

عملیات استخراج در کارگاه استخراج E3 به وسیله دستگاه شیر لودر انجام می‌شود. شیر لودر ماشین نسبتاً باریکی است که روی ناو زنجیری جبهه کار حرکت کرده و معمولاً یک برش با عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر ایجاد می‌کند. به طور کلی، شیر لودر، دستگاهی است که تقریباً می‌تواند هر نوع لایه‌ای را برش دهد. تغییرات لایه و جنس زغال سنگ را به خوبی می‌پذیرد و زمان تلف شده ناشی از مشکلات تکنیکی و زمین‌شناسی در آن‌ها بسیار کم است. در معدن شماره ۱ پروده طبس، برای استخراج لایه زغال، دستگاه شیر مواد استخراج شده را بر روی ناو مجاور جبهه کار ریخته و به وسیله آن به نوار نقاله اصلی در تونل حمل و نقل منتقل می‌کند. در سیستم‌های مکانیزه، حمل و نقل در داخل کارگاه استخراج، به وسیله ناو زنجیری و یا ناوهای AFC^۸ انجام می‌شود. سقف جبهه کار، با توجه به استفاده دستگاه شیر از جک‌های هیدرولیکی که توان تحمل بار زیادی دارند، استفاده می‌شود. با پیشروی جبهه کار، ناو مخصوص جبهه کار و تجهیزات نگهداری، با یک برنامه معین به سمت جلو حرکت کرده و به قسمت سقف در پشت تجهیزات نگهداری، امکان تخریب داده می‌شود. تخریب باعث می‌شود که از فشار زیاد ناشی از وزن طبقات بر روی وسایل نگهداری کاسته شود، بنابراین از انهدام وسایل نگهداری جلوگیری خواهد شد. شکل ۲ شیر مورد استفاده در معدن شماره یک

مربوط به گاز متان، با استفاده از سنسورهای گاز متان که در داخل کارگاه و مسیرهای اصلی وجود دارد انجام شده است. برداشت‌های انجام شده شامل سختی زغال سنگ (Mpa) (اندازه‌گیری سختی (مقاومت تراکمی تک محوری) زغال سنگ با استفاده از چکش اشمیت انجام شده است)، گازهای متان منتشر شده بر حسب درصد بر روی سنسور شماره ۸۸ و سنسور ورودی تلگیت (TG) و سنسور تعبیه شده بر روی دستگاه ناو زنجیری (AFC)، سیستم گاززدایی متان و سرعت شیرر در حال استخراج است [۳].

جدول ۱: خصوصیات دستگاه شیرر در معدن زغال سنگ پروده یک طبس [۳]

مشخصه	مقدار	واحد
عرض دستگاه	۲٫۳	متر
ارتفاع دستگاه	۱٫۳	متر
زاویه چرخش دستگاه	۴۵	درجه
قطر طبلک	۱٫۶	متر
عمق برش	۰٫۸ - ۰٫۹	متر
سرعت حرکت دستگاه در حالت واقعی	۳	متر در دقیقه
سرعت حرکت دستگاه در حالت برش	۹	متر در دقیقه
طول بازوی متحرک	۲ - ۱٫۷۰	متر
ضخامت بدنه	۰٫۸	متر
حداکثر سرعت حرکت زنجیر	۱٫۳	متر بر ثانیه
ضریب بهره‌وری زمان ماشین	۱٫۱ - ۱٫۴	-----
ضریب بارگیری ماشین	۰٫۹ - ۰٫۹۵	-----

طبس را نشان می‌دهد. جدول ۱ ویژگی‌های اصلی دستگاه شیرر را در معدن شماره یک طبس نشان می‌دهد [۴].

۳- بررسی عملکرد سرعت دستگاه شیرر در کارگاه استخراج E3

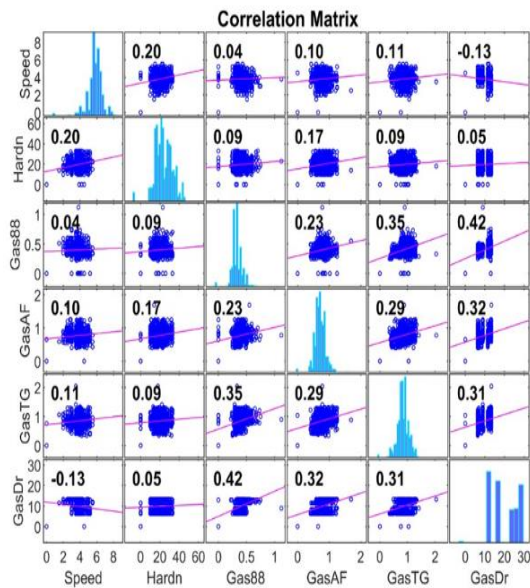
برای بررسی عملکرد سرعت دستگاه شیرر، اولین گام باید نسبت به تاسیس یک بانک اطلاعاتی از خصوصیات توده سنگ و ماشین و مقدار گاز متان منتشر شده در کارگاه استخراج E3 اقدام کرد. در این راستا، مطالعات و برداشت‌های میدانی با دقت و قابلیت اطمینان بالا انجام شد که این کار با حضور در محل سایت و دنبال کردن و کنترل عملیات استخراج دستگاه شیرر در کارگاه استخراج E3 برای ۱۲۶۰ مورد برش در تمام طول کارگاه انجام پذیرفت. جدول ۲ خلاصه نتایج ۱۰ مورد از برداشت‌های انجام شده را نشان می‌دهد. برداشت‌های



شکل ۲: شیرر مورد استفاده در معدن زغال سنگ پروده یک طبس

جدول ۲: خلاصه ۱۰ مورد از برداشت‌های انجام شده حین کار دستگاه شیرر در داخل کارگاه استخراج E3

شماره برداشت	سختی (مقاومت تراکمی)	گاز سنسور (۸۸) (%)	گاز سنسور (AFC) (%)	گاز سنسور (سرمیله، TG) (%)	گاززدایی متان	سرعت شیرر (m/min)
۱	۱۴	۰٫۳۵	۰٫۶۵	۰٫۵۹	۱۲	۳٫۵
۷۶	۱۵	۰٫۵۹	۰٫۷۳	۰٫۷۸	۱۲	۲
۱۷۹	۱۷	۰٫۵۳	۰٫۹۴	۱٫۲۹	۱۲	۴
۴۵۷	۳۲	۰٫۶۷	۰٫۷۳	۰٫۸۴	۱۳	۴
۵۶۴	۱۳٫۳۱	۰٫۹	۰٫۸۴	۰٫۴۱	۲۱	۳٫۶
۶۲۲	۸٫۹۵	۰٫۲۹	۰٫۷۸	۰٫۲۹	۱۸	۳٫۸
۸۸۲	۶٫۹۸	۰٫۹	۰٫۹۳	۰٫۳۹	۲۶	۳٫۸
۹۵۵	۶٫۳۴	۰٫۳۵	۰٫۹۸	۰٫۲۵	۳۲	۴٫۸
۱۱۲۲	۶٫۳۴	۰٫۸۶	۰٫۵۹	۰٫۳۷	۱۳	۴
۱۲۶۰	۹٫۳۵	۰٫۶۳	۰٫۷۳	۰٫۴۷	۱۸	۳٫۷



شکل ۳: ماتریس همبستگی

مستقل به جز سیستم گازکشی و سختی زغال سنگ تاثیر مستقیمی بر سرعت شیرر پیش‌بینی شده دارد. نتایج تخمین مدل با روش رگرسیون چند متغیره غیرخطی لگاریتمی نشان می‌دهد که داده‌های آموزش برای پیش‌بینی سرعت شیرر با ضریب تعیین 0.63 ، ضریب همبستگی 0.79 و جذر میانگین مربع خطاها دارای کمترین خطا بوده است. در رگرسیون چند متغیره غیرخطی لگاریتمی تمامی متغیره‌های مستقل به جز سیستم گاززدایی متان و گاز سنسور TG تاثیر مستقیمی بر سرعت شیرر پیش‌بینی شده دارد.

۴- پیش‌بینی سرعت دستگاه شیرر

پیش‌بینی عملکرد سرعت شیرر، عامل بسیار مهمی در ارزیابی کاربرد موفق شیررها است. این امر، به طور کلی با انتخاب نوع ماشین، نرخ تولید و میزان گاز متان منتشر شده ناشی از استخراج زغال سنگ سر و کار دارد. استفاده صحیح و موفقیت‌آمیز از تکنولوژی استخراج شیرر در هر عملیات معدنی این موضوع را در اذهان تداعی می‌کند که باید برآورد و ارزیابی‌های دقیقی از سرعت شیرر بررسی شود [۲].

برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی شده که شامل مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی‌اند، از 70% درصد داده‌ها (۸۸۲ داده) استفاده شده است که به آن داده‌های آموزش می‌گویند. برای این منظور با تعریف سرعت شیرر اندازه‌گیری شده به عنوان پارامتر وابسته و انواع مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی

برای به دست آوردن سختی یا مقاومت تراکمی زغال، به ازای هر 30 متر در طول کارگاه استخراج، با استفاده از چکش اشمیت اندازه‌گیری شده است و با توجه به گزارش‌های دفتر فنی معدن میزان مقاومت زغال در این معدن با توجه به وجود لیچه در بعضی قسمت‌ها بازه متغیری دارد که در جدول یاد شده نیز مشخص است. لازم به ذکر است علت انتخاب مقاومت زغال سنگ به این دلیل بوده است که در طول یک پهنه استخراج که به بیش از 1200 متر می‌رسد، لیچه‌ها و ناخالصی‌هایی در معدن طبس وجود دارد که در بعضی مناطق ضخامتی حدود 15 تا 20 سانتی‌متر، طولی حدود 50 سانتی‌متر و پراکندگی نامنظمی دارند.

گاز سنسور 88 که بر روی شیلد شماره 88 و در مرکز کارگاه استخراج قرار گرفته، اندازه‌گیری شده است.

اندازه‌گیری گازها به وسیله سنسورها به صورت هوشمند و اتوماتیک و به صورت لحظه به لحظه در سامانه کنترل گاز زغال ثبت شده و گاز عبور کرده روی سنسورها به صورت هوشمند اندازه‌گیری و ثبت می‌شود.

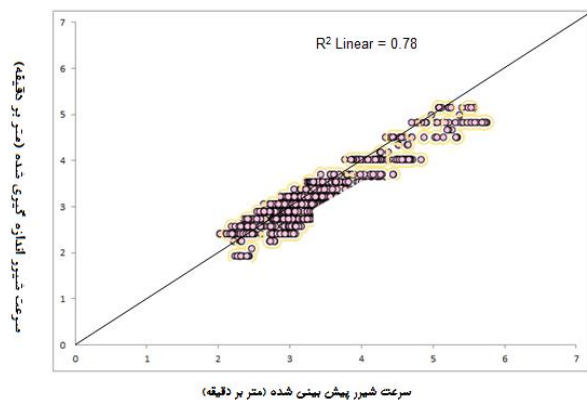
نحوه اندازه‌گیری سختی زغال با استفاده از چکش اشمیت است [۳].

برای پیش‌بینی سرعت شیرر بر اساس داده‌های آموزش و آزمون به وسیله هر سه مدل رگرسیون چند متغیره خطی، رگرسیون چند متغیره نمایی و رگرسیون چند متغیره لگاریتمی استفاده شده است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

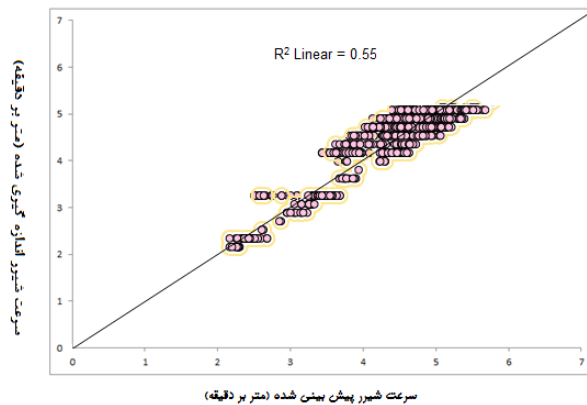
برای انجام رگرسیون در ابتدا ماتریس همبستگی بین متغیره‌های مستقل مشخص شد که در شکل ۳ نشان داده شده است.

در رگرسیون چند متغیره خطی تمامی متغیره‌های مستقل به جز سیستم گاززدایی متان تاثیر مستقیمی بر سرعت شیرر پیش‌بینی شده دارد. جذر میانگین مربع خطاها مربوط به داده‌های آموزش در مدل رگرسیون چند متغیره خطی کمترین خطا را دارد و این مقدار برابر با مقدار 0.29 است، بنابراین با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره خطی می‌توان مقدار سرعت شیرر را در معدن زغال سنگ شماره یک پروده طبس، با دقت خوبی پیش‌بینی کرد.

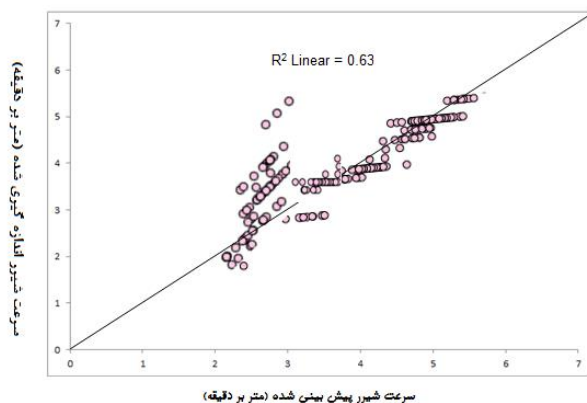
نتایج تخمین مدل با روش رگرسیون چند متغیره غیرخطی نمایی نشان می‌دهد که داده‌های آموزش برای پیش‌بینی سرعت شیرر با ضریب تعیین 0.78 ، ضریب همبستگی 0.88 و جذر میانگین مربع خطاها دارای کمترین خطا بوده است. در رگرسیون چند متغیره غیرخطی نمایی تمامی متغیره‌های



شکل ۶: ارتباط بین سرعت شیرر اندازه گیری و پیش بینی شده در رگرسیون چند متغیره غیرخطی نمایی با استفاده از داده های آموزش



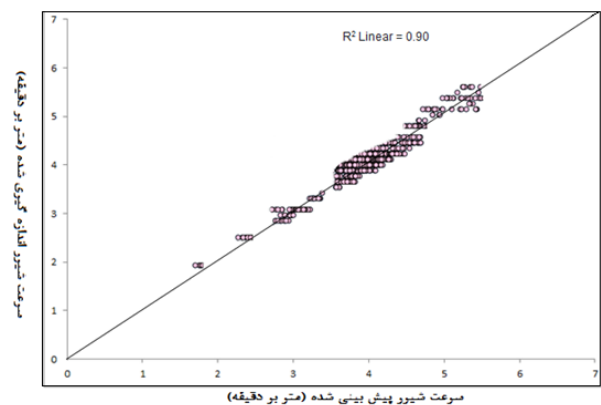
شکل ۷: ارتباط بین سرعت شیرر اندازه گیری و پیش بینی شده در رگرسیون چند متغیره غیرخطی نمایی با استفاده از داده های آموزش



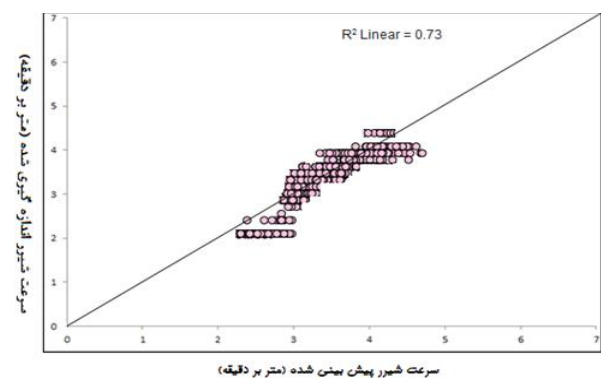
شکل ۸: ارتباط بین سرعت شیرر اندازه گیری و پیش بینی شده در رگرسیون چند متغیره غیرخطی لگاریتمی با استفاده از داده های آموزش

و غیرخطی بررسی خواهد شد. برای ارزیابی مدل های توسعه یافته از ۳۰ درصد داده ها به تعداد ۳۷۸ داده باقیمانده استفاده شده است که به آن داده های آزمون می گویند. برای پیش بینی سرعت شیرر بر اساس داده های آموزش و آزمون از هر سه مدل رگرسیون چند متغیره خطی، رگرسیون چند متغیره نمایی و رگرسیون چند متغیره لگاریتمی استفاده شده است که در ادامه به آن پرداخته می شود. به همین منظور همانند شکل های ۴ تا ۹ برای پیش بینی سرعت شیرر از روش های رگرسیون گیری با استفاده از نرم افزار SPSS^۱ استفاده شده است.

برای مقایسه بین سه مدل پیش بینی شده از تعداد ۱۲۶۰ برش با استفاده از دستگاه شیرر در داخل کارگاه استخراج E3 همانند جدول ۳ با میانگین سرعت شیرر واقعی مقایسه شد.



شکل ۴: ارتباط بین سرعت شیرر اندازه گیری و پیش بینی شده در رگرسیون خطی چند متغیره با استفاده از داده های آموزش



شکل ۵: ارتباط بین سرعت شیرر اندازه گیری و پیش بینی شده در رگرسیون خطی چند متغیره با استفاده از داده های آزمون

سرعت شیر را در معدن زغال سنگ شماره یک پروده طبس، با دقت خوبی پیش‌بینی کرد.

۵- بهینه‌سازی سرعت دستگاه شیر با استفاده از الگوریتم ژنتیک

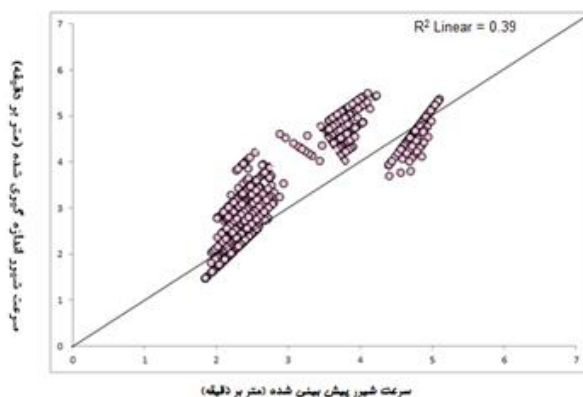
در دهه ۷۰ میلادی دانشمندی از دانشگاه میشیگان^{۱۰} به نام جان هلند^{۱۱} ایده استفاده از الگوریتم ژنتیک را در بهینه‌سازی‌های مهندسی مطرح کرد. ایده اساسی این الگوریتم انتقال خصوصیات موروثی به وسیله ژن‌هاست. ژن‌ها قطعاتی از یک کروموزوم‌اند که اطلاعات مورد نیاز برای یک مولکول DNA یا یک پلی پپتید را دارند. با استفاده از نرم‌افزار متلب^{۱۲} می‌توان الگوریتم ژنتیک را محاسبه کرد [۵].

۵-۱- مکانیزم الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم محاسباتی بهینه‌سازی با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب در هر تکرار محاسباتی به نحو موثری نواحی مختلف فضای جواب را جستجو می‌کند [۶]. در مکانیزم جستجو گرچه مقدار تابع هدف تمام فضای جواب محاسبه نمی‌شود ولی مقدار محاسبه شده تابع هدف برای هر نقطه، در متوسط‌گیری آماری تابع هدف برای هر نقطه، در متوسط‌گیری آماری تابع هدف در کلیه زیر فضاهایی که آن نقطه به آن‌ها وابسته بوده دخالت داده می‌شود و این زیر فضاها به طور موازی از نظر تابع هدف متوسط‌گیری آماری می‌شوند. این مکانیزم را توازی ضمنی می‌گویند. این روند باعث می‌شود که جستجوی فضا به نواحی از آن که متوسط آماری تابع هدف در آنها زیاد بوده و امکان وجود نقطه بهینه مطلق در آنها بیشتر است سوق پیدا کند. چون در این روش برخلاف روش‌های تک مسیری فضای جواب به طور همه جانبه جستجو می‌شود، امکان کمتری برای همگرایی به یک نقطه بهینه محلی وجود خواهد داشت. در شکل ۹ فلوجارت الگوریتم ژنتیک آورده شده است [۷].

۵-۲- بررسی مساله

برای بررسی عملکرد بهینه سرعت شیر، کنترل عملیات استخراج دستگاه شیر در کارگاه استخراج E3 برای ۱۲۶۰ مورد برش در تمام طول کارگاه انجام پذیرفته است. با توجه به جدول ۲ برداشت‌های مربوط به گاز متان، با استفاده از سنسورهای گاز متان که در داخل کارگاه و مسیرهای اصلی



شکل ۹: ارتباط بین سرعت شیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده در رگرسیون چند متغیره غیرخطی لگاریتمی با استفاده از داده‌های آزمون

جدول ۳: مقایسه سرعت شیر پیش‌بینی شده با استفاده از سه مدل انجام شده

مدل	تعداد	میانگین سرعت (متر بر دقیقه)
رگرسیون چند متغیره خطی	۱۲۶۰	۳٫۸۱
رگرسیون چند متغیره غیر خطی نمایی	۱۲۶۰	۳٫۷۸
رگرسیون چند متغیره غیر خطی لگاریتمی	۱۲۶۰	۳٫۳۲
سرعت شیر واقعی	۱۲۶۰	۳٫۷۹

هرچه این مقدار بیشتر باشد، قدرت مدل بالاتر می‌رود. مقدار واقعی سرعت شیر که در داخل کارگاه استخراج E3 مشغول به استخراج بوده برابر با ۳٫۷۹ متر بر دقیقه برآورد شده است. از بین سه مدل رگرسیون انجام شده، نتایج نشان می‌دهد که مدل رگرسیون چند متغیره خطی پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به دو روش دیگر دارد. به طوری که داده‌های آموزش برای پیش‌بینی سرعت شیر در مدل رگرسیون چند متغیره خطی با ضریب تعیین ۰٫۹۰، ضریب همبستگی ۰٫۹۵ و جذر میانگین مربع خطاها دارای کمترین خطا بوده است. در رگرسیون چند متغیره خطی تمامی متغیرهای مستقل به جز سیستم گاززدایی متان تاثیر مستقیمی بر سرعت شیر پیش‌بینی شده دارد. جذر میانگین مربع خطاها مربوط به داده‌های آموزش در مدل رگرسیون چند متغیره خطی کمترین خطا را دارد و این مقدار برابر با مقدار ۰٫۲۹ است، بنابراین با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره خطی می‌توان مقدار

ج) تابع هدف شماره ۳: مدل رگرسیون چند متغیره غیرخطی لگاریتمی

(۳)

$$s = 3.180 - 10.146 \ln(ST) - 0.007 \ln(CH488) + 3.898 \ln(CH4AFC) - 0.432 \ln(CH4TG) - 0.846 Drg$$

جمعیت اولیه این مساله، تمامی فایل‌های ورودی و خروجی‌اند. سرعت شیرر مربوط به خروجی است و مابقی متغیرها شامل ورودی‌های مساله‌اند.

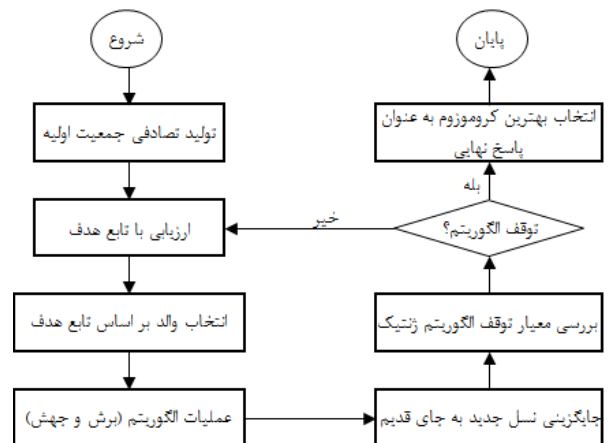
برای بهتر انجام شدن و وابستگی تمام پارامترها (متغیرهای ورودی) به خروجی (سرعت شیرر) در جاهایی که یکی از ورودی‌ها صفر باشد، آن را از جمعیت اولیه حذف کرده و از ۱۲۶۰ جمعیت اولیه ۱۶ جمعیت حذف شده است، در نتیجه جمعیت اولیه این مساله ۱۲۴۴ است.

۶- نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک بر اساس معادلات مختلف

با توجه به خروجی الگوریتم ژنتیک نتایج در جدول ۴ آورده شده است. همچنین در شکل ۱۱ نمودار همگرایی معادله خطی نشان داده شده است. در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ نمودار همگرایی معادلات به کار رفته برای بهینه‌سازی سرعت شیرر نشان داده شده است.

جدول ۴: نتایج به دست آمده از سه معادله به کار رفته در الگوریتم ژنتیک

واحد	مقدار			پارامتر
	معادله لگاریتمی	معادله نمایی	معادله خطی	
نرخ تبدیل	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۵	---
نرخ جهش	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۵	---
تعداد تکرار	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	مرتبه
زمان اجرا	۱٫۵۲	۱٫۳۲	۱٫۲۳	ثانیه
CH ₄ 88	۱٫۱۲	۱٫۱۲	۱٫۲	درصد
CH ₄ AFC	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	درصد
CH ₄ TG	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	درصد
DRG	۹٫۳۵	۹٫۳۵	۶٫۳۴	---
ST	۲۱	۲۱	۲۱	مگاپاسکال
S	۴٫۴	۳٫۷۶	۴٫۷۹	متر بر دقیقه



شکل ۱۰: فلوچارت الگوریتم ژنتیک

وجود دارد، انجام شده است. برداشت‌های انجام شده همانند برداشت‌های پیش‌بینی سرعت شیرر که در مراحل قبل به آن پرداخته شد، است.

برای بهینه‌سازی سرعت شیرر از توابع هدف استفاده شده است. در این توابع ST سختی زغال سنگ بر حسب مگاپاسکال، CH₄88 مقدار گاز متان سنسور ۸۸ بر روی بر حسب درصد، CH₄AFC مقدار گاز متان سنسور بر روی AFC بر حسب درصد، CH₄TG مقدار گاز متان سنسور TG بر حسب درصد، و DRG سیستم گازکشی است. توابع هدف این مساله که توسط نرم‌افزار SPSS به دست آمده است شامل موارد زیر است:

الف) تابع هدف شماره ۱: مدل رگرسیون چند متغیره خطی

(۱)

$$s = 3.31 + 0.021(ST) + 0.427(CH488) + 0.358(CH4AFC) + 0.396(CH4TG) - 0.054(Drg)$$

وجود علامت منفی در ضریب گازکشی (Drg)، نشان‌دهنده وجود رابطه عکس این پارامتر در معادله و علامت مثبت ضرایب ST، CH₄88، CH₄AFC و CH₄TG رابطه مستقیم این پارامترها در معادله مربوطه است.

ب) تابع هدف شماره ۲: مدل رگرسیون چند متغیره غیرخطی نمایی

(۲)

$$s = 4.73 \times \exp 0.135(ST) - 0.067(CH488) - 0.056(CH4AFC) + 0.073(CH4TG) - 0.613(Drg)$$

همان‌طور که در جداول و نمودارهای همگرایی و همچنین سرعت بهینه دیده می‌شود، نتایج حاصل از روش نمایی بهترین جواب را نسبت به دو تابع دیگر داده است. ولی زمان پاسخ بهینه، مربوط به معادله خطی است که امری طبیعی است و همچنین بیشترین سرعت هم مربوط به معادله خطی است، بنابراین بهترین عملکرد در بین سه معادله بهینه شده، معادله خطی بهترین عملکرد را با سرعت بهینه ۴٫۷۹ متر بر دقیقه، محاسبه کرده است.

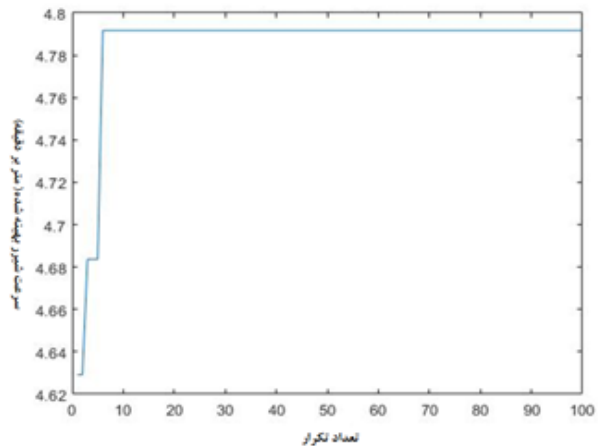
۷- نتایج ضریب همبستگی معادلات در بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک

ضریب همبستگی ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی، یکی از معیارهای مورد استفاده در تعیین همبستگی دو متغیر است. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد [۸]. این ضریب بین ۱ تا -۱ است و در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر، برابر صفر است. با استفاده از ضریب همبستگی می‌توان نمودار متقاطع بر اساس محدودیت‌های متفاوت را ترسیم کرد [۸]. برای تعیین ضریب همبستگی سرعت شیر، از محدودیت‌های جدول ۵ استفاده شده است.

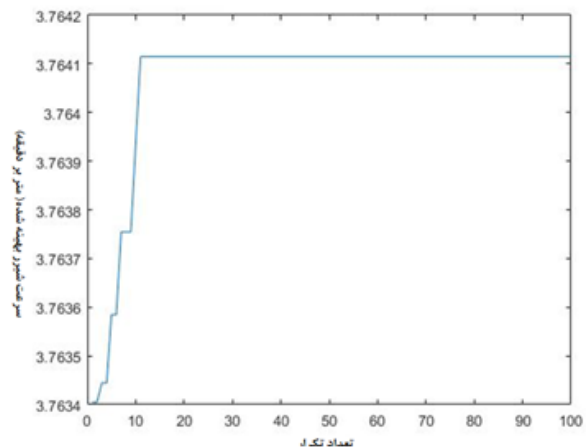
جدول ۵: نوع و بازه محدودیت جهت تعیین ضریب همبستگی

پارامتر	بازه محدودیت	محدودیت
سختی	$ST \leq 21$	۱
مقدار گاز متان سنسور ۸۸	$CH_488 \leq 1,25$	۲
مقدار گاز متان سنسور بروی AFC	$CH_4AFC \leq 1,25$	۳
مقدار گاز متان سنسور TG	$CH_4TG \leq 1,25$	۴
سیستم گاز کشی	$DRG \leq 10$	۵

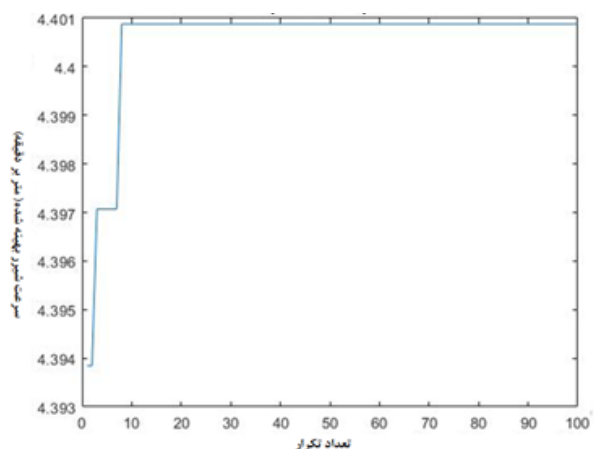
برای هر محدودیت همانند شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ نمودارهایی بر اساس بندهای زیر رسم شده است:
 (۱) اطلاعات خروجی سرعت بر اساس سرعت تجربی (از کوچک به بزرگ) مرتب شده‌اند.
 (۲) در این نمودارها محور طول‌ها (X) به سرعت تجربی اختصاص داده شده است.
 (۳) در این نمودارها محور عرض‌ها (Y) به سرعت معادلات



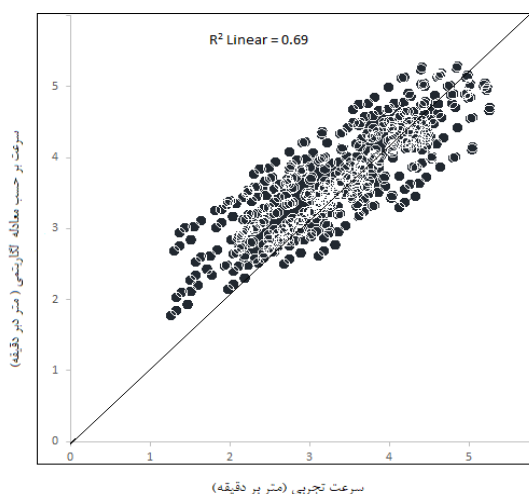
شکل ۱۱: نمودار همگرایی معادله خطی



شکل ۱۲: نمودار همگرایی معادله نمایی



شکل ۱۳: نمودار همگرایی معادله لگاریتمی

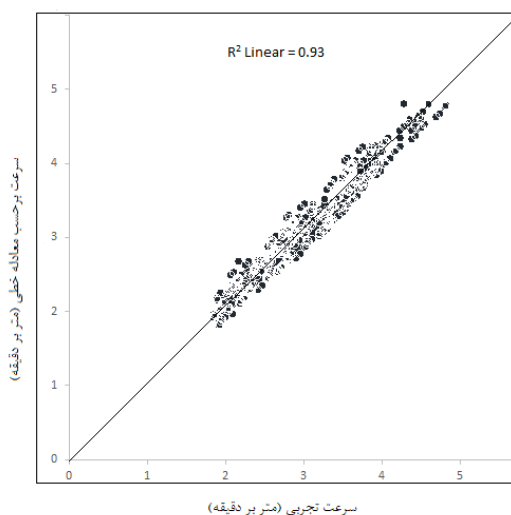


شکل ۱۶: نمودار متقاطع در حالت همبستگی بر اساس معادله لگاریتمی

جدول ۶: نتایج حاصل از شبیه‌سازی نمودارهای متقاطع بر اساس ضریب همبستگی

نوع معادله	ضریب همبستگی R
خطی	۰٫۹۳
لگاریتمی	۰٫۶۹
نمایی	۰٫۷۳

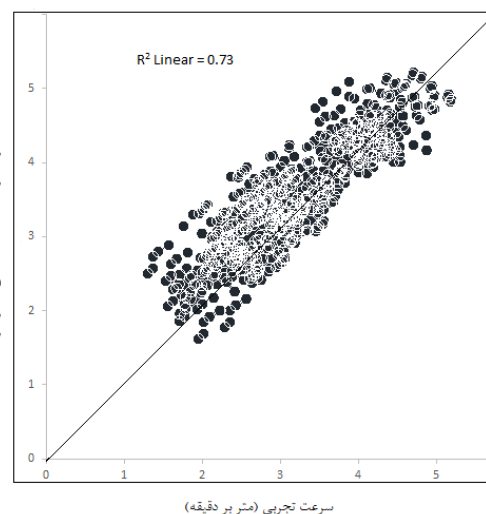
اختصاص داده شده است. در حالت محدودیت دوم ۳۸۴ داده محدودیت‌ها را شامل می‌شوند. یعنی مجموعه جواب در حالت محدودیت دوم ۳۸۴ است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نمودارهای متقاطع بر اساس همبستگی در جدول ۶ آورده شده است. با توجه به اینکه معادله نوع خطی از رگرسیون بالاتری نسبت به سایر معادلات بیشتر است، بنابراین بهترین مدل برای تعیین سرعت مناسب انتخاب می‌شود.



شکل ۱۴: نمودار متقاطع در حالت همبستگی بر اساس معادله خطی

۸- بحث

در این تحقیق با استفاده از مطالعات آماری و رگرسیون چند متغیره در نرم‌افزار SPSS ارتباط میان سرعت شیرر با خواص مقاومتی و گازخیزی زغال‌سنگ در معدن شماره یک پروده طبس بررسی شد. برای این منظور تعداد ۱۲۶۰ نوع برش زغال‌سنگ به وسیله دستگاه زغال‌کنی (شیرر)، در کارگاه استخراج E3 معدن شماره پروده طبس پرداخته شد. عملیات استخراج در این معدن به روش جبهه‌کار طولانی پسر و انجام می‌شود. استفاده از ماشین‌های زغال‌کنی (شیرر) در معدن زغال‌سنگ پروده طبس در نتیجه عملیات مکانیزاسیون معدن شماره یک است که در آن برای برش و یا استخراج زغال‌سنگ در داخل کارگاه استخراج استفاده می‌شود. برای بررسی عملکرد شیرر، اولین گام باید نسبت به تاسیس یک بانک اطلاعاتی از خصوصیات توده سنگ و ماشین و مقدار گاز متان منتشر شده اقدام کرد. اطلاعات مربوط به گاز متان، با استفاده از سنسورهای گاز متان که در داخل کارگاه و



شکل ۱۵: نمودار متقاطع در حالت همبستگی بر اساس معادله نمایی

خروجی و مابقی متغیرها شامل ورودی‌های مساله است. برای بهتر انجام شدن و وابستگی تمام پارامترها (متغیرهای ورودی) به خروجی (سرعت شیرر) در جاهایی که یکی از ورودی‌ها صفر باشد، آن را از جمعیت اولیه حذف کرده و از ۱۲۶۰ جمعیت اولیه ۱۶ جمعیت حذف شده است، در نتیجه جمعیت اولیه این مساله ۱۲۴۴ است.

برای تعیین سرعت مناسب شیرر از توابع هدف استفاده شده است. این توابع هدف شامل توابع خطی، نمایی و لگاریتمی است.

نتایج توابع هدف نشان می‌دهد که روش نمایی بهترین جواب را نسبت به دو تابع دیگر داده است، ولی زمان پاسخ بهینه، مربوط به معادله خطی است که امری طبیعی است و همچنین بیشترین سرعت هم مربوط به معادله خطی است، بنابراین در بین سه معادله بهینه شده، معادله خطی بهترین عملکرد را با سرعت مناسب ۴٫۷۹ متر بر دقیقه، محاسبه کرده است.

برای بررسی بهتر بین توابع از نمودار مقاطع در حالت همبستگی استفاده شد. ضریب همبستگی ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی نمودارهای مقاطع بر اساس همبستگی نشان می‌دهد که با توجه به اینکه معادله نوع خطی رگرسیون بالاتری نسبت به سایر معادلات دارد، بنابراین بهترین مدل برای بهینه‌سازی انتخاب می‌شود. شایان ذکر است که معادله نوع خطی با ضریب همبستگی ۰٫۹۳ بهترین عملکرد را نسبت به سایر معادله‌ها داشته است.

۱۰- مراجع

- [1] Liu, C. Z., Qin, D. T., and Liao, Y. H. (2016). "Dynamic analysis for the cutting electromechanical transmission system in the long-wall shearer". *Journal of Mechanical Engineerin*, 52(7): 14-22.
- [2] Shu, R. Z., Liu, Z. J., Liu, C. Z., and Ma, Z. L. (2015). "Load sharing characteristic analysis of short driving system in the long-wall shearer". *Journal of Vibroengineering*, 17(7): 3572-3585.
- [3] Qin, D. T., Wang, Z., Hu, M. H., and Liu, Ch. (2015). "Dynamic matching of optimal drum movement parameters of shearer based on multiobjective optimization". *Journal of China Coal Society*, 40(2): 532-539.

مسیرهای اصلی وجود دارد انجام شده است. برداشت‌های انجام شده شامل سختی زغال‌سنگ (Mpa)، گازهای متان منتشر شده بر حسب درصد بر روی سنسور شماره ۸۸ و سنسور ورودی تلگیت (TG) و سنسور تعبیه شده بر روی دستگاه ناوزنجیری (AFC)، سیستم گاززدایی متان و سرعت شیرر در حال استخراج است. برای پیش‌بینی سرعت شیرر بر اساس داده‌های آموزش و آزمون از هر سه مدل رگرسیون چند متغیره خطی، رگرسیون چند متغیره نمایی، رگرسیون چند متغیره لگاریتمی استفاده شده است.

برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی شده از ۷۰ درصد داده‌ها (۸۸۲ داده) به عنوان داده‌های آموزش و از ۳۰ درصد داده‌ها (۳۷۸ داده) به عنوان داده آزمون استفاده شده است. از بین سه مدل رگرسیون انجام شده، نتایج نشان می‌دهد که مدل رگرسیون چند متغیره خطی پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به دو روش دیگر دارد. به طوری که داده‌های آموزش برای پیش‌بینی سرعت شیرر در مدل رگرسیون چند متغیره خطی با ضریب تعیین ۰٫۹۰، ضریب همبستگی ۰٫۹۵ و جذر میانگین مربع خطاها کمترین خطا را دارد. در رگرسیون چند متغیره خطی تمامی متغیرهای مستقل به جز سیستم گاززدایی متان تاثیر مستقیم بر سرعت شیرر پیش‌بینی شده دارد. جذر میانگین مربع خطاها مربوط به داده‌های آموزش در مدل رگرسیون چند متغیره خطی دارای کمترین خطا بوده و این مقدار برابر با مقدار ۰٫۲۹ است، بنابراین با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره خطی می‌توان مقدار سرعت شیرر را در معدن زغال‌سنگ شماره یک پروده طبس، با دقت خوبی پیش‌بینی کرد.

۹- نتیجه‌گیری

در این مقاله تلاش شد تا با بهره‌گیری از قابلیت‌ها و مفاهیم الگوریتم ژنتیک، نسبت به تعیین پارامترهای سرعت مناسب دستگاه شیرر پرداخته شود. با اعتبارسنجی و اجرای یک کُد طراحی شده با الگوریتم ژنتیک در محیط متلب، موارد زیر را می‌توان به عنوان نتایج حاصل از این پژوهش بیان کرد.

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم محاسباتی بهینه‌سازی با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب در هر تکرار محاسباتی به نحو موثری نواحی مختلف فضای جواب را در بررسی سرعت شیرر جستجو می‌کند.

جمعیت اولیه این بررسی در الگوریتم ژنتیک، تمامی فایل‌های ورودی و خروجی‌اند. سرعت شیرر مربوط به داده

¹ Progressive

² Wang et al

³ Particle Swarm Optimization

⁴ Xiaohuo Li et al

⁵ FLUENT

⁶ E3 Main Gate

⁷ E3 TaiL Gate

⁸ Armored Face Conveyor

⁹ Statistical Package for the Social Science

¹⁰ University of Michigan

¹¹ John Holland

¹² Matlab

[4] Report of Technical Office of Mine no one Mechanized Parvadeh Tabas, (2017). Tabas Mine Design Office, 25-30. (In Persian).

[5] Ma, Z. L. (2012). "Modelling and simulation on shearer self-adaptive memory cutting". *Procedia Engineering*, 37(4): 37-41.

[6] Sahoo, R., and Mazid, A. M. (2009). "Application of opto-tactile sensor in shearer machine design to recognise rock surfaces in underground coal mining". In: IEEE International Conference on Industrial Technology Victoria, 1-6

[7] Ma, Z. L. (2009). "Study on key technology of shearer with variable speed cutting". Ph.D. Dissertation, China University of Mining and Technology.

[8] Ge, S. S., Qin, D. T., and Hu, M. H. (2015). "Research on drum shearer speed control strategies under impact conditions". *Journal of China Coal Society*, 40(11): 2569-2578.