



پیش بینی میزان بولدر تولید شده حاصل از انفجار با استفاده از رگرسیون چند متغیره - مطالعه موردی: معدن سنگ آهن گل گهر

مجید غیائی^۱، ممسن طاهری مقدر^۲، مامد شمس الدینی^۱، اسحاق پورزمانی^۳

(۱) شرکت مهندسین مشاور کوشا معدن، سیرجان

(۲) گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

(۳) دفتر نظارت طراحی معدن سنگ آهن گل گهر.

(* عهده دار مکاتبات Taheri@uk.ac.ir

دریافت: ۹۲/۹/۱۳؛ دریافت اصلاح شده: ۹۳/۵/۱۵؛ پذیرش: ۹۷/۶/۱۰؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۴/۸/۳۰

چکیده

تولید بولدر یکی از عواقب انفجار نامناسب در معادن روباز است. وجود بولدرها ضرورت انجام انفجار ثانویه، کاهش بازدهی سیستم بارگیری-باربری، کاهش کیفیت محصول تولیدی و به طور کلی افزایش هزینه های تولید را به همراه دارد. از این رو شناسایی پارامترهای مؤثر بر خردایش و در نظر داشتن آنها در مرحله طراحی الگوی انفجاری اهمیت ویژه ای دارد. در این تحقیق ارتباط بین حجم بولدر تولید شده به حجم پترن انفجار شده (VB/Vp) و پارامترهای طراحی، زمین شناسی و ژئومکانیکی با استفاده از تحلیل رگرسیون مشخص شده است. در این راستا یک پایگاه داده بر اساس ۳۳ انفجار انجام شده در معدن شماره یک گل گهر، ایجاد شد. در این پایگاه داده، بارسنگ، فاصله داری چالها، ضریب سفتی، گل گذاری، خرج ویژه، مقاومت فشاری تک محوره سنگ بکر، چگالی سنگ و فاصله داری درزه ها به عنوان پارامترهای تأثیرگذار و مقدار VB/Vp به عنوان پارامتر تأثیرپذیر وارد شد و براساس آن انواع مدل های رگرسیون خطی و غیر خطی بین پارامترهای ورودی و خروجی ساخته شد. ارزیابی عملکرد مدل های مختلف نشان داد که مدل خطی بهترین عملکرد را برای پیش بینی VB/Vp دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز حساسیت، پارامترهای ژئومکانیکی و زمین شناسی (فاصله داری درزه ها، مقاومت فشاری تک محوره سنگ بکر) بیشترین تأثیر را بر VB/Vp دارند.

واژه های کلیدی: بولدر، انفجار، پیش بینی، رگرسیون، آنالیز حساسیت، معدن سنگ آهن گل گهر.

۱- مقدمه

نهایی معدن به صورت یک بیضی با ابعاد تقریبی ۳۰۰۰×۸۰۰ متر شامل ۲۶ پله با ارتفاع ۱۵ متر و شیب کلی دیواره های معدن بین ۳۰ تا ۴۰ درجه است. در معدن سنگ آهن گل گهر به علت شرایط خاص زمین شناسی از جمله گسل های متعدد، تعداد چند دسته

مجموعه معدن گل گهر در استان کرمان در مرکز مثلثی به رئوس کرمان، شیراز و بندر عباس واقع شده اند. نزدیک ترین شهر به این معدن سیرجان واقع در ۵۵ کیلومتری شمال شرقی آن است. بیت

جدول ۱: توصیف آماری ۳۳ انفجار برداشت شده در معدن شماره یک گل گهر

ردیف	پارامتر	نماد	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
۱	بارسنگ (m)	B	۳/۸۳	۵/۸۸	۴/۸۱	۰/۸۶
۲	فاصله ردیفی چال ها	S	۴/۳۷	۷/۱۱	۶/۱۴	۰/۱۹
۳	ضریب سفتی	H/B	۲/۰۴	۴/۲۴	۳/۴۰	۰/۲۶
۴	گل گذاری (m)	S _T	۳/۸۶	۷/۹۵	۵/۱۹	۰/۹۷
۵	خرج ویژه (kg/ton)	PF	۰/۲۱	۰/۴۷	۰/۳۱۶	۰/۶۶۰
۶	مقاومت فشاری تک محوره (mpa)	UC	۳۵	۱۳۰	۸۶/۸	۹۲/۷۷
۷	چگالی سنگ (ton/m ³)	Den	۲/۷۰	۴/۵۰	۳/۷۴	۰/۷۶
۸	فاصله داری درزه ها (cm)	SJ	۵	۷۵/۰	۳۳	۸۱/۶۳
۹	حجم بولدر به حجم پترن (درصد)	VB/vp	۱/۲۴	۳/۴۱	۲/۱۳	۰/۲۶

درزه و ماهیت خود ماده معدنی مانند جنس، مقاومت، چگالی و ... باعث شده که از لحاظ خردایش حاصل از انفجار مشکلات متعددی حاصل شود. از جمله این مشکلات پتانسیل بالای ایجاد بولدر و نیاز به انفجار ثانویه است. از این رو، تحقیق در زمینه پیش بینی و در نهایت کاهش بولدر تولید شده در معدن سنگ آهن گل گهر می تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش هزینه های تولید داشته باشد. اهمیت درزه ها و شکستگی های برجا بر مقدار خردشدگی توسط (Ghosh et al. 1990); (Mojtabai et al. 1990) تشریح شده است. (Latham & Lu 1999) ویژگی های سنگ بکر و ساختار ناپیوستگی های توده سنگ را به عنوان مهم ترین عوامل مؤثر بر خردایش حاصل از انفجار معرفی کردند. (Osanloo & Hekmat 2005) تأثیر خردایش سنگ معدن را بر تولید شاول های معدن سنگ آهن گل گهر بررسی کردند. (Morin & Ficarazzo 2006) شبیه سازی مونت کارلو بر پایه مدل کاز-رام برای پیش بینی خردایش استفاده کردند. (Saavedra et al. 2006) و (Monjezi et al. 2010) شبکه های عصبی را برای پیش بینی خردایش انتخاب کردند. (Gheibie et al. 2009) خردشدگی سنگ های حاصل از انفجار معدن مس سونگون را با توجه به خصوصیات ژئومکانیکی پیش بینی نمودند. (Chakraborty et al. 2004) و (Hudavard et al. 2011) پیش بینی خردایش را توسط تحلیل های چند متغیره انجام دادند. (Faramarzi et al. 2013) نیز سیستم های مهندسی سنگ را برای پیش بینی خردایش به کار گرفتند.

۲- جمع آوری داده ها

بر اساس ۳۳ انفجار انجام شده در معدن شماره یک گل گهر، یک پایگاه داده تهیه شد. در این پایگاه داده، بارسنگ، فاصله داری چال ها، ضریب سفتی، گل گذاری، خرج ویژه، مقاومت فشاری تک محوره، چگالی سنگ و فاصله داری درزه ها به عنوان پارامترهای تأثیرگذار و VB/vp به عنوان پارامتر تأثیرپذیر وارد شده اند. پارامترهای جمع آوری شده به همراه توصیف آماری آن ها در جدول ۱ آورده شده است.

۱- مدل رگرسیون قطعی

رگرسیون خطی، ممکن است ساده یا چندگانه باشد. رگرسیون

چندگانه، بر خلاف رگرسیون ساده که تنها با توجه به یک متغیر مستقل، تغییرات متغیر وابسته را پیش بینی می کند و با استفاده از ترکیب خطی چند متغیر مستقل به پیش بینی متغیر وابسته می پردازد. به منظور انجام رگرسیون از ۳۳ انفجار ثبت شده در معدن شماره یک گل گهر، تعداد ۲۵ داده برای مدل سازی و ۸ داده نیز به صورت تصادفی برای آزمایش مدل انتخاب شدند. برای پیش بینی VB/vp، با استفاده از نرم افزار آماری SPSS18، مدل رگرسیون خطی چندگانه با استفاده از روش ورود توأم که در آن کلیه متغیرهای مستقل همزمان وارد تحلیل می شوند، به صورت رابطه ۱ ساخته شد.

$$\text{رابطه ۱} \quad \frac{VB}{VP} = -0.829 + 0.226(B) + 0.066(S) - 0.149(H/B) + 0.002(S_p) + 0.244(PF) + 0.011(SJ) + 0.103(Den) + 0.014(UCS)$$

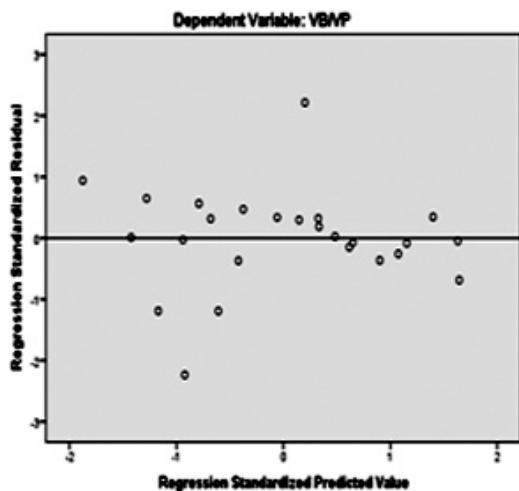
برای تأمین اعتبار رگرسیون خطی، فرض استقلال خطاها، نرمال بودن خطاها و هم خطی متغیرهای مستقل باید آزمون شود. برای بررسی استقلال خطاها از آزمون دوربین واتسون استفاده شد. اگر هم خطی در یک معادله رگرسیون بالا باشد، بدین معنی است که بین متغیرهای مستقل همبستگی بالایی وجود دارد. البته ممکن است با وجود بالا بودن ضریب تعیین، مدل دارای اعتبار بالایی نباشد. وجود این پدیده را می توان با کنترل کردن مقادیر ضریب تورم واریانس

استاندارد شده است، حالت مطلوب را نشان می دهد، زیرا مانده ها به شکل تصادفی در یک نوار افقی پیرامون یک مقدار مانده صفر پراکنده شده اند. مشخصه های آماری رگرسیون و تحلیل واریانس در جدول ۳ آورده شده اند.

همان طور که در جدول ملاحظه می شود، نسبت F برابر با ۱۷/۳۰۲ است که در سطح $P < 0/0001$ معنی دار می باشد.

۳- مدل رگرسیون غیر خطی

اگرچه در بسیاری از موارد، مدل خطی تقریب خوبی به حساب می آید. اما در عمل روابط بین متغیرها به ندرت خطی است و ممکن است حتی غیر خطی باشد. از این رو، علاوه بر مدل خطی، مدل های مختلف غیر خطی با همان داده های مورد استفاده برای مدل خطی برازش شدند. ارزیابی عملکرد مدل های مختلف ساخته شده با معیارهای ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا



تصویر ۲- نمودار همگنی واریانس ها

جدول ۳- مشخصه های آماری رگرسیون و تحلیل واریانس

تعداد	آمار دوربین و اتسون	خطای استاندارد برآورد	R2 تعدیل شده	R 2	R
۲۵	۱/۸۰۶	۰/۲۴۴	۰/۸۴۵	۰/۸۹۶	۰/۹۴۷
تحلیل واریانس (ANOVA)					
سطح معنی داری	میزان F	میانگین مجذورات	درجه آزادی مجذورات	مجموع مجذورات	منبع تغییرات
۰/۰۰۰۰۰۲	۱۷/۳۰۲	۱/۰۳۷	۸	۸/۲۹۴	رگرسیون
		۰/۰۶۰	۱۶	۰/۹۵۹	باقیمانده
			۲۴	۹/۲۵۳	کل

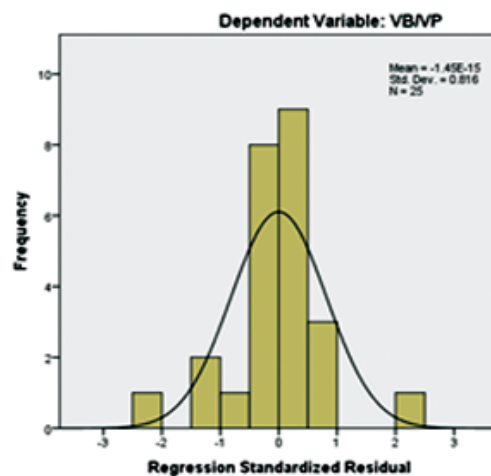
(VIF) و تولرانس مورد بررسی قرار داد. ضرایب مدل رگرسیون برای متغیرهای پژوهش و آماره های کنترل هم خطی متغیرها در جدول های ۲ آورده شده است.

مقادیر ضریب تورم واریانس و تولرانس نشان می دهد که بین متغیرهای لحاظ شده مشکل هم خطی وجود ندارد. توزیع فراوانی خطاها در تصویر ۱ و نمودار همگنی واریانس ها در تصویر ۲ نشان داده شده است.

با مقایسه نمودار توزیع فراوانی خطاها و نمودار توزیع نرمال، مشاهده می شود که توزیع خطاها تقریباً نرمال است، زیرا مقدار میانگین ارائه شده در سمت راست نمودار بسیار کوچک (نزدیک به صفر) و انحراف معیار نزدیک به یک است. نمودار همگنی واریانس ها که یک نمودار پراکنش از مانده های استاندارد شده در مقابل مقادیر برازشی

جدول ۲- ضرایب رگرسیون و هم خطی متغیرها

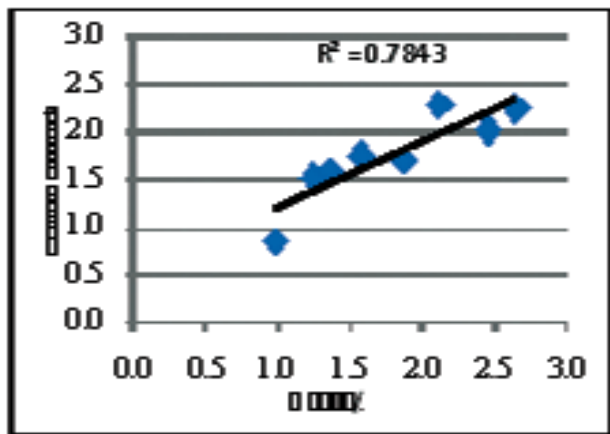
متغیرهای مستقل	ضرایب غیر استاندارد شده		ضرایب استاندارد شده		t values	آماره هم خطی تولرانس VIF
	B	خطای استاندارد	Beta	استاندارد شده		
ثابت	۰/۸۲۹	۱/۵۶۹	-۰/۵۲۹	-		
B	۰/۲۲۶	۰/۱۵۲	۰/۲۱۹	۱/۴۸۷	۰/۲۹۸	۳/۳۵۴
S	۰/۰۶۶	۰/۱۶۰	۰/۰۹۷	۰/۴۱۵	۰/۱۱۸	۸/۴۶۷
H/B	۰/۱۴۹	۰/۱۶۱	-۰/۱۴۹	۰/۹۲۶	۰/۲۵۰	۴/۰۰۴
ST	۰/۰۰۲	۰/۱۲۹	۰/۰۰۵	۰/۰۱۹	۰/۱۲۰	۸/۳۳۸
PF	۰/۲۴۴	۰/۹۷۲	۰/۰۲۶	۰/۲۵۱	۰/۶۰۳	۱/۶۵۸
SJ	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴	۰/۳۲۷	۲/۶۶۱	۰/۴۲۹	۲/۳۳۱
Den	۰/۱۰۳	۰/۱۱۲	۰/۱۱۲	۰/۹۱۵	۰/۴۳۱	۲/۳۲۱
UCS	۰/۰۱۴	۰/۰۰۳	۰/۶۷۲	۴/۲۴۶	۰/۲۵۹	۳/۸۶۵



تصویر ۱- توزیع فراوانی خطاها

جدول ۴- مقادیر بدست آمده ی شاخص های ارزیابی مدل های مختلف

MAPE	VAF	RMSE	R2	مدل
۰/۷۲	۸۹/۶۳	۰/۱۹	۰/۸۹	خطی
۰/۵۷	۸۶/۳۶	۰/۲۲	۰/۸۶	چند جمله ای
۰/۹۲	۸۸/۴۹	۰/۲۰	۰/۸۸	توانی
۰/۸۶	۸۸/۲۱	۰/۲۰	۰/۸۸	نمایی
۰/۷۶	۸۸/۲۸	۰/۲۱	۰/۸۷	لگاریتمی
۰/۸۳	۸۷/۶۱	۰/۲۱	۰/۸۷	چند جمله ای با ضرایب غیر صحیح



تصویر ۳- ارتباط بین پیش بینی و اندازه گیری شده

ورودی مدل را بر خروجی (تابع هدف) تعیین نمود. به طور معمول به منظور تعیین مقدار تأثیر پارامترهای ورودی بر روی هدف، با حذف یکی از پارامترهای ورودی، تغییرات مقدار خطا و همبستگی نتایج حاصل از مدل با داده های واقعی مورد بررسی قرار می گیرد. وجود اختلاف چشمگیر بین مقادیر تخمین زده شده توسط مدل و مقادیر واقعی یا به عبارتی بیش تر بودن خطا و کم تر بودن همبستگی بین نتایج مدل و مقادیر واقعی، نشان از تأثیر بیش تر پارامتر حذف شده بر نتایج حاصله دارد. یکی از روش های جدید جهت تعیین حساسیت جواب نسبت به پارامترهای ورودی، روش میدان کسینوسی (CAM)، است. در این روش یک فضای m بعدی که m تعداد پارامترهای ورودی است، مفروض است (روابط ۶ و ۷):

$$X_i = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_m\} \quad (6)$$

هر عضو از این پارامتر ورودی مانند X به وسیله یک بردار طول به تابع هدف متصل می شود:

$$X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \dots, X_{im}\} \quad (7)$$

(RMSE)، شاخص عملکرد (VAF) و میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) انجام شد. این چهار معیار با استفاده از روابط ۲ تا ۵ بیان می شوند:

$$R^2 = 100 \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^N (y_{meas} - y_{pred}) (y_{pred} - y_{pred}) \right)^2}{\sum_{i=1}^N (y_{meas} - y_{meas}) \sum_{i=1}^N (y_{pred} - y_{pred})} \right] \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_{meas} - y_{pred})^2} \quad (3)$$

$$VAF = 100 \left[1 - \frac{\text{var}(y_{meas} - y_{pred})}{\text{var}(y_{meas})} \right] \quad (4)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_{meas} - y_{pred}}{y_{meas}} \right| \times 100 \quad (5)$$

در این روابط y_{meas} و y_{pred} به ترتیب مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده هستند. y_{meas} و y_{pred} نیز به ترتیب میانگین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده هستند. همچنین به معنی واریانس مقادیر است. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، نشان دهنده متوسط خطای بین نتایج به دست آمده از خروجی مدل است. هر چه مقدار این شاخص کاهش پیدا کند، ضریب تعیین افزایش می یابد و میزان بالاتر ضریب تعیین به معنی برازندگی بهتر مدل است. همچنین هر چه مقدار شاخص عملکرد (VAF)، بزرگ تر و میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) کوچک تر (نزدیک به صفر) باشد، بیانگر کارایی بهتر مدل است. مقادیر محاسبه شده ی این شاخص ها برای مدل های مختلف ساخته شده در جدول ۴ آورده شده است.

همان طور که از جدول های ارزیابی عملکرد مدل های مختلف مشاهده می شود مدل خطی بهترین عملکرد را دارد. همچنین ارتباط بین VB/Vp پیش بینی شده و اندازه گیری شده در تصویر ۳ آورده شده است. با توجه به اطلاعات جمع آوری شده از پترن های انفجار شده و انجام تحلیل رگرسیون یک معادله تجربی بین VB/Vp و پارامترهای طراحی، زمین شناسی و ژئومکانیکی بدست آمد که می تواند در طراحی الگوی انفجار جهت کاهش بولدر تولید شده مؤثر باشد.

۱۴- آنالیز حساسیت

آخرین مرحله در مدل سازی، تعیین میزان حساسیت هدف مدل سازی شده (خروجی) نسبت به پارامترهای ورودی است. با استفاده از آنالیز حساسیت می توان روند کلی تأثیر نسبی پارامترهای

میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای ورودی X بر روی تابع هدف از رابطه ۸ تعیین می شود:

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m X_{ik} X_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m X_{ik}^2 \sum_{k=1}^m X_{jk}^2}} \quad (8)$$

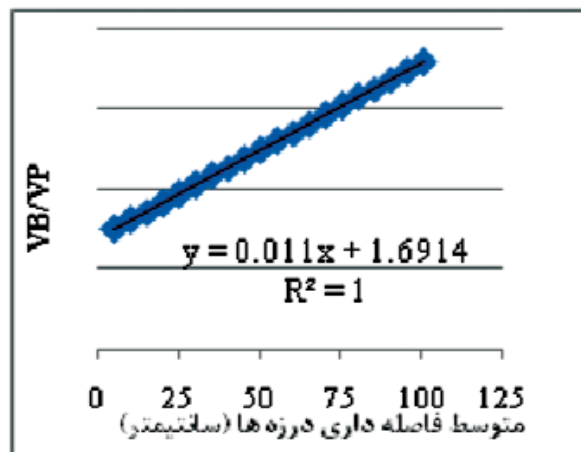
هر چه میزان تأثیر پارامتر ورودی بر هدف مورد نظر (خروجی) بیشتر تر باشد، R_{ij} به یک نزدیک تر می شود. در صورت عدم تأثیر پارامتر ورودی بر خروجی مورد نظر، مقدار R_{ij} صفر است. به طور معمول، میزان R_{ij} بالای ۰/۹ نشان از تأثیر قابل توجه پارامتر بر خروجی دارد و مقادیر زیر ۰/۸ بیانگر تأثیر ضعیف آن بر خروجی است. آنالیز حساسیت برای مدل خطی ارائه شده برای پیش بینی

میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای ورودی بر VB/Vp در اکثر موارد، تفاوت های عمده ای بین مقادیر عملی پارامترهای بارسنگ، فاصله ردیفی چال ها، خرج ویژه مصرفی و ارتفاع پله با مقادیر محاسباتی وجود دارد. اگرچه قطر چال پارامتر مؤثر مهمی در خردایش است، اما در این مورد مطالعاتی به علت داشتن مقدار ثابت، تأثیر آن نادیده گرفته شده است. ارزیابی عملکرد مدل های مختلف نشان داد که مدل خطی بهترین عملکرد را دارند. با توجه به اطلاعات جمع آوری شده از پترن های انفجار شده و انجام تحلیل رگرسیون یک معادله تجربی بین VB/Vp و پارامترهای طراحی، زمین شناسی و ژئومکانیکی بدست آمد که می تواند در طراحی الگوی انفجار جهت کاهش بولدر تولید شده مؤثر باشد. ارتباط بین مقادیر خردایش پیش بینی و اندازه گیری شده نشان داد که مدل های بدست آمده از اعتبار قابل قبولی برخوردار هستند. با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز حساسیت، در بین پارامترهای ورودی، پارامترهای ژئومکانیکی و زمین شناسی (فاصله داری درزه ها و مقاومت فشاری تک محوره سنگ بکر) بیشترین تأثیر را بر میزان بولدر تولید شده دارند.

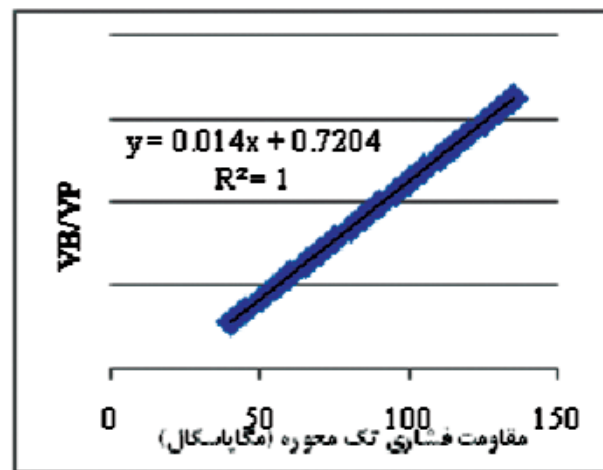
۵- نتیجه گیری

جدول ۵- میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای ورودی بر VB/Vp

پارامتر	B	S	H/B	ST	PF	SJ	Den	UCS
R_{ij}	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۷



تصویر ۴- ارتباط بین VB/Vp و متوسط فاصله داری درزه ها



تصویر ۵- ارتباط بین VB/Vp و مقاومت فشاری تک محوره

مراجع

- بشلیده، کیومرث، ۱۳۹۱. روش های پژوهش و تحلیل آماری. اهواز: انتشارات دانشگاه شهید چمران.
- چترجی، سمپریت و دیگران، ۱۳۸۴. تحلیل رگرسیون با مثال، ترجمه: حسینعلی نیرومند. مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی.

Alvarez Grima, M, Babuska R., 1999. Fuzzy Model for the Prediction of Unconfined Compressive Strength of

- Rock Samples. *Rock Mech Rock Eng.* pp. 36: 339-349.
- Chakraborty, A.K., Raina, A.K., Ramulu, M., Choudhury P.B., Haldar A., Sahu P., 2004.** Parametric Study to Develop Guidelines for Blast Fragmentation Improvement in Jointed & Massive Formations. *Eng Geol.*, pp. 73:105-16. [28]
- Faramarzi, F., Mansouri, H., Ebrahimi Farsangi, M.A., 2013.** A Rock Engineering Systems Based Model to Predict Rock Fragmentation by Blasting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* pp. 60 82-94.
- Gokceoglu, C. A., 2002.** fuzzy triangular chart to predict the uniaxial compressive strength of the Ankara agglomerates from their petrographic composition. *EngGeol.*, pp. 66: 39-51.
- Ghosh, A., Daemen, J.J.K., Vanzyl, D., 1990.** Fractal Based Approach to Determine the Effect of Discontinuities on Blast Fragmentation. *Proc. of the 31st U.S. Symp. on Rock Mechanics, Golden,* pp. 905-912.
- Gheibie, S., Aghababaei, H., Hoseinie, S.H., Pourrahimian, Y., 2009.** Modified Kuz-Ram Fragmentation Model and Its Use at the Sungun Copper Mine. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences.* pp. 46, 967-973.
- Hudaverdi, T, Kulatilake, P.H.S.W., Kuzu C., 2011.** Prediction of Blast Fragmentation Using Multivariate Analysis Procedures. *Int J Numer Anal Meth Geomech.*, pp. 35:1318-33
- Jong, Y.H., Lee, C.I., 2004.** Influence of Geological Conditions on the Powder Factor for Tunnel Blasting. *Rock Mech Rock Eng.*, pp. 41: 533-538.
- Khandelwal, M., Singh, T.N., 2007.** Evaluation of Blast-Induced Ground Vibration Predictors. *Soil Dynam Earthq Eng.*, pp. 27: 116-125.
- Latham, J.P., Lu, P., 1999.** Development of an Assessment System for the Blastability of Rock Masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts,* pp. 36, 41-55.
- Mojtabai, N., Farmer, I.W., Savely, J.P., 1990.** Optimisation of Rock Fragmentation in Bench Blasting. *Proc. 31 St US Symposium on Rock Mechanics. Balkema, Rotterdam,* pp. 897-901.
- Morin, M.A., Ficarazzo, F., 2006.** Monte Carlo Simulation as a Tool to Predict Blasting Fragmentation based on the Kuz-Ram Model. *Comput Geosci,* pp. 32:352-9.
- Monjezi, M., Bahrami, A., YazdianVarjani, A., 2010.** Simultaneous Prediction of Fragmentation & Flyrock in Blasting Operation Using Artificial Neural Networks. *Int J Rock Mech Min Sci.*, pp. 47:476-80.
- Osanloo, M., Hekmat, A., 2005.** Prediction of Shovel Productivity in the Gol-E- Gohar Iron Mine. *Journal Of Mining Science, Vol. 41, No. 2.*
- Saavedra, J.C., Katsabanis, P.D., Pelley, C.W., Kelebek, S., 2006.** A Neural Network Model for Fragmentation by Blasting. In: *Proceedings of the 8th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting. Santiago, Chile;* pp. 200-6.
- Yilmaz, I., Yuksek, A.G., 2008.** An Example of Artificial Neural Network Application for Indirect Estimation of Rock Parameters. *Rock Mech Rock Eng.*, pp. 41: 781-795.