

## پیش‌بینی مقدار بهینه عقب‌زدگی در مواد معدنی در معدن سادات سیریز زرنند

مرضیه اسدی خانوکی<sup>۱</sup>، سید محمد مهدی موسوی نسب<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی زرنند

<sup>۲</sup>استادیار، گروه مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی زرنند

نام نویسنده مسئول:

سید محمد مهدی موسوی نسب

### چکیده

عملیات انفجار از مهم‌ترین پروسه استخراجی معادن روباز است که سایر مراحل به گونه‌ای در ارتباط مستقیم و یا غیر مستقیم با آن می‌باشند. به طور کلی حد شکستگی در توده سنگ بعد از انفجار باید آخرین ردیف چال‌ها باشد ولی در اغلب موارد توده سنگ پشت آخرین ردیف چال‌های انفجار، شکسته شده یا ترک بر می‌دارد و ایجاد عقب‌زدگی می‌کند. یکی از مشکلات ناشی از انفجار در معادن روباز پدیده عقب‌زدگی می‌باشد. در این مطالعه ۳۵ داده نرمال شده توسط نرم‌افزار آماری Spss از انفجارات معدن سادات سیریز زرنند، مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله به بررسی توابع رگرسیون‌های خطی و غیر خطی چند متغیره پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد تابع چندجمله‌ای با توان غیر صحیح با ضریب تعیین  $R^2=0/655$  و جذر میانگین مربع خطاها  $RMSE=0/47$  و شاخص عملکرد  $VAF=99/92$  و میانگین خطای مطلق  $MAPE=0/001$  بدست آمد که نمایانگر توانایی بالاتری از سایر توابع رگرسیونی است. **کلمات کلیدی:** انفجار، عقب‌زدگی، معدن سادات سیریز زرنند، نرم‌افزار آماری Spss، رگرسیون.

## ۱- مقدمه

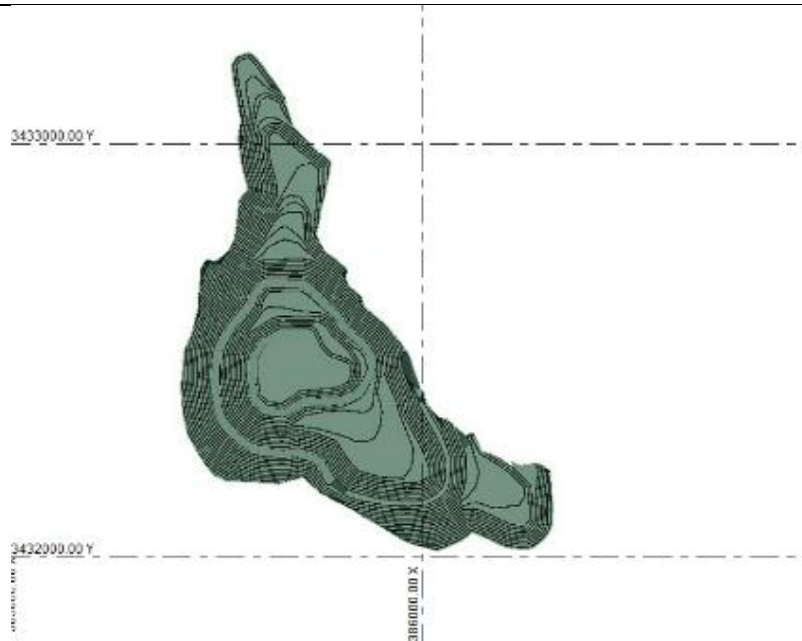
یکی از اتفاقات بعد از انفجار که همراه با افزایش هزینه‌ها و کاهش ایمنی و راندمان می‌باشد عقب‌زدگی است. عقب‌زدگی از مهمترین نوع شکستگی در معادن روباز می‌باشد. این پدیده سبب ناپایداری دیواره‌های معدن، سقوط ماشین‌آلات، ترقیق بالا و ایجاد اشکال در عملیات چال‌زنی و خرج‌گذاری مرحله بعدی در معادن روباز شده است. مدل‌های پیش‌بینی شده برپایه تئوری سیستم فازی و رگرسیون چند متغیره برای پیش‌بینی عقب‌زدگی در معدن آهن گل‌گهر ایران نحوه‌ای اجرا این نتیجه را داده بود که مدل فازی بهتر از مدل رگرسیون است. برای مدل‌های فازی و رگرسیون،  $R^2$  و RMSE به ترتیب مساوی با ۹۵/۴۳٪ و ۰/۴۴ و ۳۴/۰۸٪ و ۱/۶۳. مدل فازی در آنالیز حساسیت نشان داده که بیشتر پارامترهای تاثیر در پدیده عقب‌زدگی طول گل‌گذاری، عمق چال، بردن و فاصله چال است (۱). مطالعه مقایسه‌ای کاربرد گوناگون شبکه عصبی مصنوعی (شبکه عصبی توسعه یافته قبل (BPNN) و شبکه عصبی توابع پایه (RBFNN) به طور هم زمان پذیرفته شده‌اند (۲). شمس‌الدینی پیش‌بینی عقب‌زدگی ناشی از انفجار با استفاده از روش‌های رگرسیون-PSO و شبکه عصبی مصنوعی در معدن شماره یک مجتمع سنگ‌آهن گل‌گهر مورد بررسی قرار داده است (۳). جهت مقایسه مدل از رگرسیون MLR و دقت مدل‌ها از ضریب همبستگی استفاده شد که در نهایت مدل ترکیبی PSO-ANFIS با ضریب همبستگی ۰.۹۲۲ و نسبت به مدل رگرسیون ۰.۸۵۷ برتری بالاتری داشت (۴).

## ۲- نرم‌افزار آماری Spss

spss مخفف Statistical package for social sciences (بسته آماری برای علوم اجتماعی) است که در عین سهولت و سادگی، یکی از قدرتمندترین ابزارها برای تحلیل داده‌های اجتماعی و رفتاری و ... به شمار می‌آید. یادگیری آسان، سادگی استفاده و قدرت بالا در انجام محاسبات پیچیده، spss را به یکی از رایجترین بسته‌های نرم‌افزاری مورد استفاده در تجزیه و تحلیل آماری مبدل نموده است. پس از خریداری شدن شرکت سازنده این نرم‌افزار توسط IBM در ۲۸ جولای ۲۰۰۹ با نام PASW که مخفف Predictive Analytics Software می‌باشد، منتشر شد (۵).

## ۳- آشنایی با معدن سنگ آهن سادات سیریز زرنند

معدن آهن سادات در بخش شرقی ایران مرکزی در استان کرمان در ۴۲ کیلومتری شمال غرب شهرستان زرنند بخش سیریز واقع گردیده. شامل دو معدن است شماره ۱ با عیار ۵۲٪، با ذخیره قطعی ۱۲ میلیون تن در محدوده‌ایی با مساحت تقریبی ۴ کیلومترمربع، میزان استخراج سالیانه ۶۰۰،۰۰۰ تن، مدت زمان بهره برداری ۲۰ سال است و معدن شماره ۲ با عیار ۳۷٪، با ذخیره قطعی ۹۰۰ هزار تن در محدوده‌ایی به مساحت تقریبی ۱۳/۶۳ کیلومترمربع، میزان استخراج سالیانه ۱۳۵،۰۰۰ تن، مدت زمان بهره برداری ۶ سال می‌باشد (شکل ۱) (۶).



شکل ۱- پیت نهایی معدن سادات سیریز (۶)

توسط دستگاه حفاری دریل واگن چال‌های با قطر تقریبی ۹۰ میلی‌متر تقریباً در ۱۱ ردیف و ارتفاع ۱۱ متر که ۱ متر اضافه حفاری است انجام می‌گیرد. خرج اصلی آنفو، امولایت و چاشنی مورد استفاده نانل و معمولی می‌باشد.

#### ۴- داده‌ها و روش تحقیق

پارامترهای تأثیر گذار بر عقب‌زدگی که از ۳۵ انفجار نرمال شده در معدن سنگ آهن سادات سیریز با استفاده از روش‌های میدانی جمع-آوری شده‌اند و در جدول (۱) آورده شده‌اند.

جدول ۱- برداشت داده‌های انفجاری از منطقه انفجار معدن سادات

پارمتر	برداشت ۱	برداشت ۲	برداشت ۳	برداشت ۴
ارتفاع پله (m)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
تعداد چال	۱۸۰	۱۴۲	۲۶۵	۱۸۶
قطر چال (mm)	۹۰	۷۶	۱۰۰	۹۰
فاصله داری (m)	۲.۵	۲	۳.۵	۲.۵
بارسنگ (m)	۲	۱.۸	۳	۲
طول متوسط چال (m)	۹.۷	۷.۸	۶.۵	۱۴.۲۶
گل‌گذاری (m)	۱.۵	۱.۵	۱.۵	۱.۵
تعداد ردیف	۷	۷	۱۵	۱۰
شیب پله (درجه)	۷۲	۷۲	۷۰	۷۲
خرج ویژه (کیلوگرم بر متر مکعب)	۰.۹۴۲	۰.۹۲۲	۰.۵۸۹	۰.۸۲۸
حفاری ویژه (متر بر مترمکعب)	۰.۱۷۰	۰.۲۷۰	۰.۱۲۰	۰.۲۰۰
وزن خرج ردیف آخر (kg)	۱۱۱۴	۴۹۱	۶۵۶	۱۰۵۹
ماکزیمم طول عقب‌زدگی (m)	۴	۳.۵	۵	۴

## ۵- تحلیل داده‌ها

در ابتدا متغیرهای ورودی که شامل طول چال، بارسنگ، فاصله‌داری گل‌گذاری، تعداد چال، خرج ویژه ردیف آخر و حفاری ویژه و متغیر خروجی که عقب‌زدگی می‌باشد در نرم‌افزار Spss مشخص شده است. توابع ۱ تا ۶ نتایج بدست آمده از نرم‌افزار می‌باشد.

تابع خطی:

$$BB_0 = -1.472 + (0.268 \times L) + (0.874 \times B) + (-0.342 \times S) + (0.449 \times ST) + (0 \times N) + (0 \times PF) + (3.395 \times Sd) \quad (1)$$

تابع توانی:

$$BB_0 = 10^{(0.047 + (0.027 \times L) + (0.101 \times B) + (-0.043 \times S) + (0.040 \times ST) + (4.981E-5 \times N) + (4.998E-5 \times PF) + (0.339 \times Sd))} \quad (2)$$

تابع لگاریتمی:

$$BB_0 = \left( \begin{array}{l} -2.207 + (2.169 \times \ln(L)) + (2.049 \times \ln(B)) + (-0.897 \times \ln(S)) + \\ (1.261 \times \ln(ST)) + (-0.088 \times \ln(N)) + (0.166 \times \ln(PF)) + (0.439 \times \ln(Sd)) \end{array} \right) \quad (3)$$

تابع چند جمله‌ای با ضرایب صحیح:

$$BB_0 = 0.001 + (0.272 \times L^1) + (0.214 \times B^2) + (-0.019 \times S^3) + (0.004 \times ST^4) + (5.006E - 13 \times N^5) + (1.037E - 18 \times PF^6) + (3167.263 \times Sd^7) \quad (4)$$

تابع نمایی:

$$BB_0 = EXP(-0.728 + (1.342 \times L^{0.222}) + (0.002 \times B^{4.120}) + (-0.004 \times S^{3.449}) + (-0.562 \times ST^{-2.616}) + (0.452 \times N^{-0.507}) + (0.928 \times PF^{-919}) + (-2.417E - 5 \times Sd^{-1.876})) \quad (5)$$

تابع چند جمله‌ای با ضرایب غیر صحیح:

$$BB_0 = [-169.436 + (230.214 \times L^{0.010}) + (0.007 \times B^{4.411}) + (-0.009 \times S^{3.844}) + (103.067 \times ST^{0.008}) + (-83.523 \times N^{0.002}) + (3.775E - 27 \times PF^{8.759}) + (-80.911 \times Sd^{-0.002})] \quad (6)$$

با توجه به جدول (۲) تابع چندجمله‌ای با ضرایب غیر صحیح با داشتن بیشترین ضریب تعیین (۰/۶۵۵) و با کمترین مقدار  $RMSE=0/47$  و بیشترین مقدار  $MAPE=0/001$  و  $VAF=99/92$  به عنوان بهترین تابع در مواد معدنی انتخاب شده است.

جدول ۲- نتایج حاصل از شاخص‌های ارزیابی برای مدل‌های مختلف (مواد معدنی)

مدل	$R^2$	RMSE	VAF	MAPE
خطی	۰.۴۶۵	۰.۶۰	۹۹.۹۰	۰.۰۰۰۲
چند جمله‌ای	۰.۵۰۲	۰.۵۸	۹۹.۸۷	۰.۰۰۰۲
توانی	۰.۳۹۶	۰.۶۵	۹۹.۶۶	۰.۰۰۰۲
نمایی	۰.۵۲۹	۰.۵۶	۹۸.۸۷	۰.۰۰۰۲
لگاریتمی	۰.۵۶۹	۰.۵۳	۹۹.۷۴	۰.۰۰۰۹
چند جمله‌ای با ضرایب غیر صحیح	۰.۶۵۵	۰.۴۷	۹۹.۹۲	۰.۰۰۰۱

با تحلیل حساسیت با روش میدان کسینوسی مؤثرترین پارامتر ورودی طول چال و و غیر حساس‌ترین متغیر خرج ویژه بر عقب‌زدگی در این معدن مطرح شده است (جدول ۳).

جدول ۳- میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای ورودی بر عقب‌زدگی در مواد معدنی

پارامترها	Rij
طول چال	۰/۹۸
بارسنگ	۰/۹۶
فاصله ردیفی بین چال‌ها	۰/۹۶
طول گل‌گذاری	۰/۹۷
تعداد چال	۰/۹۰
خرج ویژه	۰/۷۳
حفاری ویژه	۰/۸۷

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله مجموعه ۳۵ داده از انفجارات مواد معدنی مربوط به معدن آهن سادات سیریز زرنند توسط نرم‌افزار Spss مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد تابع چند جمله‌ای با ضرایب غیر صحیح با شاخص‌های معیار ضریب تعیین (۰/۶۵۵) و  $RMSE=0/47$ ،  $MAPE=0/001$  و  $VAF=99/92$  به عنوان بهترین تابع در مواد معدنی انتخاب شده است و همچنین مؤثرترین پارامتر ورودی بر عقب‌زدگی طول چال است. قابل ذکر است که بهینه‌سازی میزان عقب‌زدگی بدست آمده در این مقاله توسط الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (SA) در مقاله بعد با عنوان بهینه‌سازی عقب‌زدگی با الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (SA) در معدن سادات سیریز زرنند تهیه شده است.

- 1-M. Monjezi \*, M. Rezaei, A. Yazdian. Prediction of backbreak in open-pit blasting using fuzzy set theory. *Expert Systems with Applications* 37 (2010) 2637–2643.
- 2-A. Sayadia, M. Monjezib, N. Talebia, Manoj Khandelwal,\* A comparative study on the application of various artificial neural networks to simultaneous prediction of rock fragmentation and backbreak. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. (2013) 318–324.
- ۳- شمس‌الدینی، حامد، پیش‌بینی عقب‌زدگی ناشی از انفجار با استفاده از روش‌های رگرسیون- PSO و شبکه‌های عصبی مصنوعی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان. (۱۳۹۲).
- 4-Hasanipanah, M., shahnazar,A.,Arab,H.,BagheriGolzar,S.,Amiri,M. Developing a new hybrid-AI model to predict blast-inducedBackbreak. *Engineering with Computers*.DOI ( 2016) 10.1007/s00366-016-0477-7.
- 5-tahlileamari.ir
- ۶- طرح بهره‌برداری از معدن سادات سیریز. (۱۳۹۵).
- 7-Bauer A. Wall control blasting in open pits. *CIM Special Vol. 30, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, 14th Canadian rock mechanics symposium; 1982, p. 3–10.*
- 8-Jenkins SS. Adjusting blast design for best results. In: *Pit and quarry*. Rotterdam: Balkema; 1981.
- 9-Konya CJ, Walter EJ. *Rock blasting and overbreak control*. 1st ed. USA: National Highway Institute; 1991 p. 190–3.
- 10-Monjezi M, Dehghani H. Evaluation of effect of blasting pattern parameters on back break using neural networks. *Int J Rock Mech Min Sci* 2008;45:1446–53.
- 11-Scoble MJ, Lizotte YC, Paventi M, Mohanty BB. Measurement of blast damage. In: *Proceedings of the SME annual meeting; 1996, p. 96–103*