

طراحی الگوی انفجار با رویکرد کاهش لرزش زمین با استفاده از الگوریتم ژنتیک

حسام دهقانی^{۱*}، حلما بیروموند^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان، همدان
۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان، همدان

(دریافت ۱۳۹۷/۱۱/۰۱، پذیرش ۱۳۹۸/۰۱/۱۷)

چکیده

لرزش زمین یکی از آثار ناخوشایند حاصل از عملیات آتشباری در معادن روباز است که در حدود ۴۰ درصد انرژی انفجار را به خود اختصاص می‌دهد. لرزش زمین ممکن است منجر به بروز آثار نامطلوبی مانند تخریب سازه‌های سطحی، از بین رفتن سطح آزاد در پله‌های بعدی انفجار به دلیل عقب‌زدگی، به هدر رفتن انرژی و ایجاد قطعات بزرگ بعد از انفجار و در نهایت تحمیل هزینه‌های پیش‌بینی نشده برای انجام آتشباری ثانویه شود. طراحی بهینه الگوی انفجار می‌تواند در کاهش اثرات نامطلوب حاصل از این پدیده نقش بسزایی ایفا کند. با توجه به تعدد پارامترهای تاثیرگذار بر لرزش زمین و پیچیدگی روابط میان آن‌ها، روش‌های کلاسیک طراحی الگوی انفجار در کاهش این پدیده ناتوان‌اند. بر این اساس در تحقیق حاضر، با استفاده از یک روش تلفیقی از آنالیز خاکستری و الگوریتم ژنتیک، ضمن ارائه یک رابطه ریاضیاتی برای تخمین لرزش زمین در معدن مس سرچشمه، الگوی پیشنهادی حفاری نیز ارائه شده است. نتایج حاصل از این مقاله نشان می‌دهد که با به کارگیری الگوی پیشنهادی انفجار، لرزش زمین به طور میانگین تا ۵۵ درصد کاهش خواهد یافت.

کلمات کلیدی

لرزش زمین، آنالیز خاکستری، الگوریتم ژنتیک، عملیات آتشباری.

۱- مقدمه

بررسی نقش خرج ویژه بر لرزش زمین پرداختند [۹]. ارمغانی و همکاران از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای کمینه کردن اثرات لرزش زمین در یک معدن گرانتیت بهره جستند [۱۰]. غربا و همکاران به بررسی اثرات لرزش زمین در معدن سنگ آهن گل‌گهر با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی پرداختند [۱۱]. عطایی و سرشکی در مطالعه‌ای در سنگ‌های آهکی لرزش زمین را با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. حسنی پناه و همکاران با استفاده از یک مدل تلفیقی فازی- رقابت استعماری اثرات زیست‌محیطی لرزش زمین ناشی از انفجار را در معدن مس میدوک مورد مطالعه قرار دادند [۱۳]. رگم و نیماجه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی لرزش زمین را در یک معدن سنگ آهن در هند مورد مطالعه قرار دادند [۱۴].

در تحقیق حاضر با استفاده از یک روش تلفیقی از آنالیز خاکستری و الگوریتم ژنتیک، ضمن ارایه یک رابطه ریاضیاتی برای تخمین لرزش زمین در معدن مس سرچشمه، الگوی پیشنهادی آتشیاری نیز در راستای کاهش این پدیده ارایه شده است.

۲- روش‌شناسی

۲-۱- تئوری خاکستری

تئوری خاکستری برای نخستین بار در سال ۱۹۸۲ توسط دنگ مطرح شد [۱۵، ۱۶]. تمرکز این تئوری بر روی مطالعه مسایل درگیر با اطلاعات ناقص و تعداد نمونه‌های اندک با استفاده از جستجوی اطلاعات از داده‌های موجود در سیستم‌های مواجه با پدیده عدم قطعیت است.

این آنالیز ابزاری قدرتمند برای مواجهه با نمونه‌های کوچک و گسسته بر اساس میزان ارتباط میان دنباله هدف مورد نظر و دنباله عوامل موثر نسبی بر آن است [۱۶]. اگر x^0 دنباله مشخصه لرزش زمین که از انجام عملیات انفجار به دست آمده و x^k دنباله عوامل تاثیرگذار بر آن باشد نتیجه طبق روابط ۱ و ۲ است.

$$\hat{X}^{(0)} = \{\hat{X}^{(0)}(1), \hat{X}^{(0)}(2), \dots, \hat{X}^{(0)}(k), \dots, \hat{X}^{(0)}(n)\} \quad (1)$$

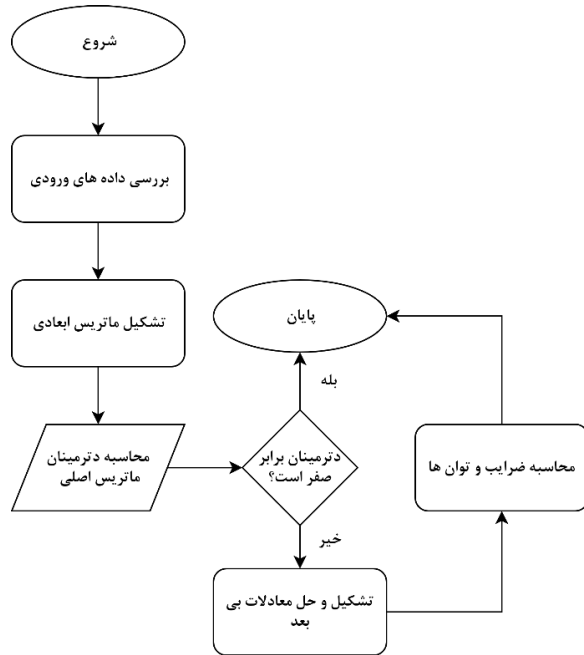
که در آن: $k = 1, 2, \dots, n$

$$X^{(k)} = \{X^{(k)}(1), X^{(k)}(2), \dots, X^{(k)}(m), \dots, X^{(k)}(n)\} \quad (2)$$

یکی از نتایج ناخوشایند ناشی از انجام عملیات آتشیاری در معادن روباز، لرزش زمین است. بر اساس تحقیقات انجام شده ۴۰ درصد از انرژی انفجار به جای آن که صرف انجام فرایندهای مفید مانند خردایش سنگ شود، به صورت لرزش زمین به هدر می‌رود [۱]. لرزش زمین نه تنها می‌تواند آسیب‌های جدی به تاسیسات موجود در معدن وارد کند، بلکه ممکن است خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به مناطق مسکونی نزدیک به معدن نیز تحمیل کند. این پدیده ممکن است منجر به بروز ریزش‌های بزرگ مقیاس در معادن سطحی نیز شود. همچنین لرزش زمین ممکن است بر پایداری ساختمان‌ها، جاده‌ها، سد‌ها و شیروانی‌های طبیعی اثرات ناخوشایندی داشته باشد. لرزش زمین ناشی از انفجار می‌تواند بر روی سطح آب‌های زیرزمینی نیز تاثیر گذارد و منجر به خشک شدن چشمه‌ها و در مقیاس بزرگتر، جنگل‌زدایی شود [۲]. بر این اساس پدیده لرزش زمین هزینه‌های جبران‌ناپذیری را ممکن است به پروژه‌های معدنی و زیست‌محیطی تحمیل کند، بنابراین تخمین و کنترل این پدیده ناخوشایند بسیار ضروری است.

پارامترهای گوناگونی مانند ویژگی‌های ماده منفجره، ویژگی‌های ژئومکانیکی توده سنگ، الگوی حفاری و نحوه اعمال تاخیرها در بروز و کنترل لرزش زمین موثرند. با توجه به تعدد پارامترها و پیچیدگی روابط میان آن‌ها، روابط تجربی کلاسیک موجود توانایی پیش‌بینی دقیق لرزش زمین را ندارند و در نتیجه برای کنترل این پدیده ناخوشایند باید از روش‌های هوشمند مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، آنالیز خاکستری، الگوریتم ژنتیک و نظایر آن بهره جست [۳-۵]. با توجه به اهمیت لرزش زمین ناشی از انفجار، تاکنون محققان فراوانی سعی در تعیین میزان تاثیر پارامترهای مختلف الگوی آتشیاری بر این پدیده کرده‌اند. محمد با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی، لرزش زمین را در یک معدن سنگ آهک مورد پیش‌بینی قرار داد [۶]. خاندلوال و سینگ نیز با استفاده از روش شبکه عصبی، اثر دو پارامتر فاصله از محل انفجار و میزان خرج مورد استفاده در چال‌ها را بر لرزش زمین مورد مطالعه قرار دادند [۷]. دهقانی و عطایی‌پور با استفاده از روش آنالیز ابعادی یک رابطه ریاضیاتی برای محاسبه میزان لرزش زمین در معدن مس سرچشمه ارایه کردند [۲]. سینگ و روی تاثیرات لرزش زمین را بر روی ساختمان‌ها و سازه‌های موجود در محدوده انفجار مورد مطالعه قرار دادند [۸]. موهان و دی به

این تابع می‌توان برهم‌کنش هر یک از پارامترهای موثر را بر پارامتر خارجی تعیین کرد. الگوریتم تشکیل رابطه ریاضیاتی با استفاده از روش آنالیز ابعادی در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱: روند تعیین رابطه ریاضیاتی لرزش زمین

۲-۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجو محور برای یافتن راه حل تقریبی برای بهینه‌سازی و مسایل جستجو است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم‌های تکامل است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند. این الگوریتم برای نخستین بار توسط جان هالند در سال ۱۹۶۷ ابداع شد، سپس این روش با تلاش‌های گلدبرگ در سال ۱۹۸۹ گسترش یافت و امروزه نیز جایگاه مناسبی در میان دیگر روش‌های بهینه‌سازی دارد [۱۷].

الگوریتم‌های ژنتیک معمولاً به عنوان یک شبیه‌ساز کامپیوتری که در آن جمعیت یک نمونه انتزاعی (کروموزوم‌ها) از نامزدهای راه حل یک مساله بهینه‌سازی به راه حل بهتری منجر شود، پیاده‌سازی می‌شوند. راه‌حل‌ها معمولاً به شکل رشته‌هایی از صفر و یک‌اند. فرضیه با جمعیتی کاملاً تصادفی منحصر بفرد آغاز می‌شود و در نسل‌ها ادامه می‌یابد. در هر نسل

که در آن: $k = 1, 2, \dots, n$

برای نرمال‌سازی ابعاد پارامترهای موجود در دنباله $X^{(k)}$ از عملگر D استفاده می‌شود که با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ قابل محاسبه است.

$$X^{(k)}D = \{X^{(k)}(1)d, X^{(k)}(2)d, \dots, X^{(k)}(m)d, \dots, X^{(k)}(n)d\} \quad (3)$$

$$X^{(k)}(m)d = \frac{X^{(k)}(m) - \min_k X^{(k)}(m)}{\max_k X^{(k)}(m) - \min_k X^{(k)}(m)} \quad (4)$$

پس از نرمال‌سازی داده‌های ورودی، ضریب همبستگی میان داده‌های ورودی هندسه انفجار و لرزش زمین با استفاده از رابطه‌های ۵ تا ۸ محاسبه می‌شود.

$$V_{km} = \frac{(1 + |\hat{S}| + |S_m|)}{(1 + |\hat{S}| + |S_m| + |S_m - \hat{S}|)} \quad (5)$$

$$|\hat{S}| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} X^{(0)}(k) + 0.5 X^{(0)}(n) \right| \quad (6)$$

$$|S_m| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} X^{(0)}(m) + 0.5 X^{(0)}(n) \right| \quad (7)$$

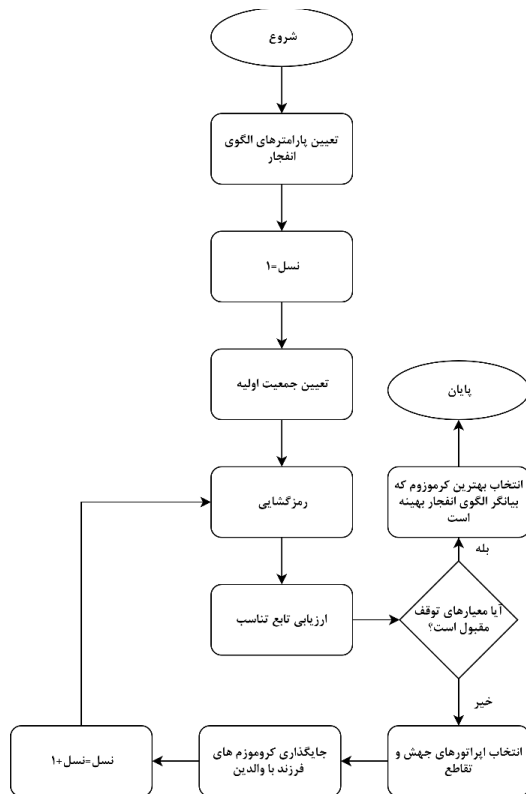
$$|S_m - \hat{S}| = \left| \sum_{k=2, m=2}^{n-1} [X^{(0)}(m) - X^{(0)}(k)] + 0.5 [X^{(0)}(n) - X^{(0)}(n)] \right| \quad (8)$$

بدین ترتیب نتایج آنالیز خاکستری به صورت بردار رابطه ۹ زیر بیان می‌شود.

$$[V_{km}] = [V_{11}, V_{12}, \dots, V_{1s}] \quad (9)$$

۲-۲- آنالیز ابعادی

آنالیز ابعادی یک روش مهندسی برای تشکیل معادلاتی است که آنالیز سیستم‌های متغیر و پیچیده را آسان می‌کند. یکی از بهترین تکنیک‌ها برای انجام آنالیز ابعادی نظریه π باکینگهام است. بر اساس این نظریه، با داشتن n متغیر، می‌توان رابطه‌ای به شکل تابع کامل $\varphi(\alpha, \beta, \gamma, \dots) = 0$ تشکیل داد. برای حل رابطه یاد شده باید تابعی متناظر به شکل $f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots) = 0$ ایجاد شود. در نهایت با حل



شکل ۲: روند بهینه‌سازی در الگوریتم ژنتیک

پیدا می‌کند. معمولاً عملگر جهش بعد از انجام تقاطع اعمال می‌شود [۱۸].

۳- مطالعه موردی: معدن مس سرچشمه

معدن مس سرچشمه یکی از بزرگترین ذخایر مس پورفیری است که در ۱۶۰ کیلومتری جنوب‌غربی کرمان قرار دارد (شکل ۳). از نظر زمین‌شناسی کانسار مس سرچشمه متعلق به دوران ترشیری و دارای پیچیدگی‌های فراوانی است. به طور کلی کانسار مس سرچشمه به سه منطقه اکسید، سوپرژن و هیپوژن تقسیم می‌شود. کانی‌های اصلی موجود در این ذخیره کالکوسیت، مالاکیت، برنیت، آزوریت و نظایر آن است. ذخیره قطعی این معدن ۸۲۶ میلیون تن با عیار متوسط ۰٫۷ درصد تخمین زده شده است. شکل ۲ نمایشی از معدن مس سرچشمه را نشان می‌دهد. بهره‌برداری از این معدن به صورت روباز انجام می‌شود. شیب نهایی معدن بین ۳۲ تا ۳۴ درجه و شیب پله‌ها ۶۲٫۵ درجه است. عرض و ارتفاع پله‌های معدن به ترتیب ۸٫۷۵ و ۱۲٫۵ متر است. قطر چال‌های انفجاری ۹ اینچ و عمق آن‌ها در حدود ۱۵ متر است. اغلب از آنفو به عنوان ماده

گنجایش تمام جمعیت ارزیابی می‌شود، چندین فرد منحصر در فرآیند تصادفی از نسل جاری بر اساس شایستگی‌ها انتخاب می‌شوند و برای شکل دادن نسل جدید، اصلاح می‌شوند و در تکرار بعدی الگوریتم به نسل جاری تبدیل می‌شود. گام‌های بهینه‌سازی در الگوریتم ژنتیک به شرح زیر است [۱۸]:

۱- تولید راه‌حل‌های مناسب به طور تصادفی (کروموزوم)، برای حل مشکل (تولید جمعیت اولیه)

۲- ارزیابی تابع تناسب هر کروموزوم

۳- در هر بار تکرار تمامی فرضیه‌ها با استفاده از تابع تناسب مورد ارزیابی قرار داده می‌شوند. آنگاه تعدادی از بهترین فرضیه‌ها با استفاده از یک تابع احتمال انتخاب شده و جمعیت جدید را تشکیل می‌دهند. تعدادی از این فرضیه‌های انتخاب شده به همان صورت مورد استفاده قرار می‌گیرند و مابقی با استفاده از عملگرهای ژنتیکی مانند تقاطع و جهش برای تولید فرزندان به کار گرفته می‌شوند.

۴- آزمودن شروط نهایی و انتخاب بهترین راه حل

۵- بررسی تناسب و بازگشت به مرحله ۲

با انجام گام‌های فوق الگوریتم ژنتیک توانایی دستیابی به راه حل بهینه را در مسایل گوناگون خواهد داشت [۱۸]. روند بهینه‌سازی الگوی انفجار با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شکل ۲ نشان داده شده است.

انتخاب، تقاطع و جهش از جمله مهم‌ترین عملگرهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک‌اند که در ادامه هر یک از آن‌ها تشریح شده‌اند.

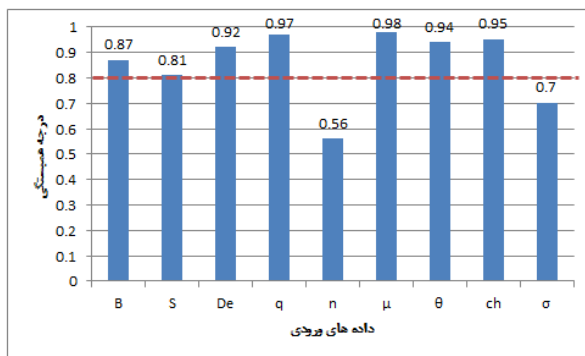
۲-۳-۱- عملگر انتخاب

این عملگر از بین کروموزوم‌های موجود در یک جمعیت، تعدادی کروموزوم را برای تولیدمثل انتخاب می‌کند. کروموزوم‌های برانزده‌تر شانس بیشتری دارند تا برای تولیدمثل انتخاب شوند. گام اول در این راه تخصیص شایستگی به افراد حاضر در جمعیت است که به دو روش تخصیص شایستگی با رتبه‌بندی و رتبه‌بندی دارای چند هدف انجام می‌شود [۱۸].

۲-۳-۲- عملگر جهش

عملگر جهش برای به وجود آوردن فرزند فقط از یک والد استفاده می‌کند. اینکار با انجام تغییرات کوچکی در رشته اولیه به وقوع می‌پیوندد. با استفاده از یک توزیع یکنواخت یک بیت به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و مقدار آن تغییر

تاثیرگذار بر لرزش زمین و بر اساس نظر خبرگان، درجه همبستگی ۸۰ درصد برای تفکیک پارامترها تعیین شده است. به این معنی که عوامل با درجه همبستگی بالاتر از ۸۰ درصد به عنوان عوامل موثر و عوامل با درجه همبستگی پایین تر از این مقدار به عنوان عوامل ثانویه با درجه اهمیت کمتر طبقه بندی شده اند.



شکل ۴: نتیجه حاصل از آنالیز خاکستری بر روی داده های معدن مس سرچشمه

از نتیجه آنالیز انجام شده بر روی داده های معدن مس سرچشمه می توان دریافت که فاصله نقطه نظارت از انفجار، میزان خرج مصرفی، فاصله ردیفی چال ها، بارسنگ، تاخیر میان ردیف ها، خرج ویژه و بیشترین تعداد چال در هر تاخیر مهم ترین عوامل موثر بر پدیده لرزش زمین اند. نتایج حاصل از آنالیز خاکستری به عنوان ورودی آنالیز ابعادی در نظر گرفته شده است.

منفجره اصلی استفاده می شود. داده های مربوط به لرزش زمین در ۱۵۰ بلوک انفجاری جمع آوری شده است. سایر اطلاعات مربوط به الگوی آتشیاری در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۳: نمایی از معدن روباز مس سرچشمه کرمان

۴- مدلسازی عددی

۴-۱- آنالیز خاکستری

برای بررسی اثرات پارامترهای الگوی انفجار بر لرزش زمین، پارامترهای یاد شده به عنوان ورودی آنالیز خاکستری مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۴ مقدار عددی حاصل از آنالیز خاکستری برای دست یافتن به درجه همبستگی میان لرزش زمین ناشی از انفجار و سایر پارامترهای موثر بر آن نشان داده شده است. برای تعیین اهمیت پارامترهای

جدول ۱: پارامترهای ورودی و خروجی استفاده شده برای مدلسازی

پارامتر	بازه	واحد	نشانه
ضخامت بارسنگ	۲-۷٫۵	m	B
فاصله ردیفی چال ها	۲-۱۱	m	S
تاخیر بین ردیف ها	۱۵-۷۰	ms	De
خرج ویژه	۰٫۱-۰٫۲۴	Kg/m ³	q
تعداد ردیف در هر انفجار	۲-۷	-	n
فاصله نقطه نظارت از انفجار	۱۳۳۲-۲۸۴۵٫۰۵	m	μ
حداکثر چال در تاخیر	۶-۳۲	-	θ
خرج هر تاخیر	۱۳۳۲-۱۰۹۸۵	kg	ch
شاخص بار نقطه ای	۶٫۵۱-۸٫۹	Mpa	σ
حداکثر سرعت ذره	۰٫۴۹-۷۷٫۳	mm/s	ppv

۴-۲- آنالیز ابعادی

$$\pi_5 = (T)^{k_4} (FL^{-4}T^2)^{k_5} (FL^{-1}T^2)^{k_6} (LT^{-1}) \quad (12)$$

با تفکیک رابطه ۱۰ بر حسب ابعاد اصلی، معادلات زیر حاصل می‌شود:

$$K_2 + K_3 = 0 \quad \text{برای } F$$

$$-4K_2 - K_3 + 1 = 0 \quad \text{برای } L$$

$$K_1 + 2K_2 + 2K_3 = 0 \quad \text{برای } T$$

ضرایب K_1 تا K_3 با حل معادله‌های بالا محاسبه می‌شود.

$$K_1 = 0 \quad K_2 = 1/3 \quad K_3 = -1/3$$

به صورت مشابه با حل رابطه ۱۲ توان‌های K_4 تا K_6 برابر خواهند بود با:

$$K_4 = 1 \quad K_5 = 1/3 \quad K_6 = -1/3$$

با اعمال ضرایب توانی به دست آمده، روابط ۱۰ تا ۱۲ به شکل روابط ۱۳ تا ۱۵ بازنویسی می‌شود.

$$\pi_1 = \pi_2 = \pi_3 = (FL^{-4}T^2)^{1/3} (FL^{-1}T^2)^{-1/3} (L) \quad (13)$$

$$\pi_4 = \theta \quad (14)$$

$$\pi_5 = (T) (FL^{-4}T^2)^{1/3} (FL^{-1}T^2)^{-1/3} (LT^{-1}) \quad (15)$$

حال با برابر قراردادن دو سمت رابطه، رابطه شماره ۱۶ حاصل می‌شود.

$$\ln[PPV \times De \times (q/ch)^{1/3}] = k + a \ln[B \times (q/ch)^{1/3}] + b \ln[S \times (q/ch)^{1/3}] + c \ln[\mu \times (q/ch)^{1/3}] + d \ln \theta \quad (16)$$

برای تعیین ضرایب رابطه ۱۶، ابتدا ۸۰ درصد داده‌ها با عنوان داده‌های آموزش به صورت تصادفی انتخاب و وارد نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ شد. مابقی داده‌ها برای آزمون و اعتبارسنجی رابطه به دست آمده مورد استفاده قرار گرفت. با انجام آنالیز رگرسیون چند متغیره از پایگاه داده‌های مورد مطالعه و مقایسه ضریب همبستگی به دست آمده در نرم‌افزار SPSS برای روابط خطی و غیرخطی، مشخص شد که معادله غیرخطی به دلیل ضریب همبستگی بالاتر، مناسب‌تر است. ارتباط میان پارامترهای ورودی و لرزش زمین با استفاده از آنالیز ابعادی در رابطه ۱۷ آورده شده است.

برای ارایه رابطه ریاضی محاسبه لرزش زمین ناشی از انفجار با استفاده از روش آنالیز ابعادی، تمامی پارامترهای موثر جمع‌آوری شده و در جدول ۲ آورده شده است.

در مرحله بعد باید تمامی پارامترهای بعددار به پارامترهای مرجع شامل طول (L)، جرم (m) و زمان (T) تبدیل شود. از آنجایی که پارامتر حداکثر تعداد چال در هر تاخیر بدون واحد است، اصطلاحاً به آن پارامتر بی‌بعد گفته می‌شود و در فرآیند محاسبات به آن مقدار ۱ اختصاص داده می‌شود. بنابراین ابعاد متغیرهای ورودی و خروجی به شکل $[B]=L$ ، $[De]=T$ ، $[\mu]=L$ ، $[ch]=FL^{-1}T^2$ ، $[q]=FL^{-4}T^2$ ، $[S]=L$ و $[PPV]=LT^{-1}$ تعریف می‌شوند. جدول ۲ ماتریس ابعادی پارامترهای ورودی و خروجی را نشان می‌دهد.

جدول ۲: ماتریس ابعادی پارامترهای ورودی و خروجی

	PPV	B	S	θ	μ	D_e	Q	ch
F	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱
L	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۴	-۱
T	-۱	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۲

برای بررسی کارآمدی یا ناکارآمدی روش آنالیز ابعادی، باید دترمینان بزرگترین ماتریس 3×3 موجود در جدول ۲ مخالف صفر شود. برای نیل به این هدف، ماتریسی با انتخاب پارامترهای ch و Q و D_e تشکیل شده و دترمینال آن محاسبه شد.

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & -4 & -1 \\ 1 & 2 & 2 \end{vmatrix} = 3$$

از آنجایی که دترمینال ماتریس یاد شده مخالف صفر است، بنابراین می‌توان با استفاده از پارامترهای موجود یک رابطه ریاضیاتی منحصر به فرد ایجاد کرد. حال باید تمامی پارامترهای موجود در ماتریس ابعادی را به صورت تابعی از اجزای دترمینان بالا تبدیل کرد. با توجه به اینکه ماتریس ابعادی اصلی شامل هفت پارامتر است، برای تعیین رابطه ریاضیاتی نیاز به چهار π می‌باشد ($7-3=4$) (روابط ۱۰ تا ۱۲).

$$\pi_1 = \pi_2 = \pi_3 = (T)^{k_1} (FL^{-4}T^2)^{k_2} (FL^{-1}T^2)^{k_3} (L) \quad (10)$$

$$\pi_4 = 1 \quad (11)$$

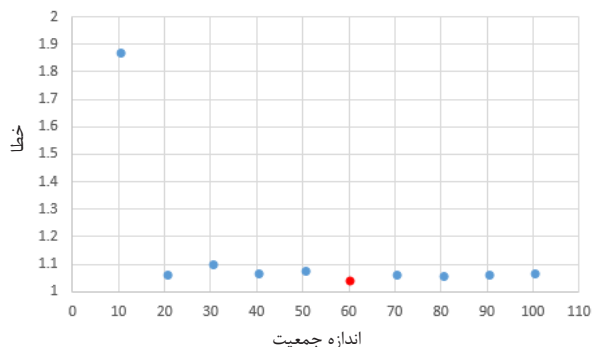
معدن (۰٫۲۴ - ۰٫۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب)، اثر این پارامتر بر لرزش زمین، مانند آنچه رابطه ۱۷ نیز نشان می‌دهد، معکوس است [۱].

۳-۴- الگوریتم ژنتیک

برای بهبود الگوی آنتشاری با الگوریتم ژنتیک (GA) از نرم‌افزار متلب استفاده شد. فرآیند بهینه‌سازی در شکل ۲ نشان داده شده است. فرآیند با فراخوانی تابع هدف شروع شده و سپس پارامترهای ورودی با کران پایین و بالای مربوط خود به الگوریتم داده می‌شوند. برای دسترسی به بهترین نتایج با الگوریتم ژنتیک، لازم است تا تنظیمات مربوط به الگوریتم شامل اندازه جمعیت، توابع انتخاب، تنظیمات مربوط به تولیدمثل و تعیین حداکثر تعداد نسل‌ها با دقت تعیین شود. برای انتخاب بهترین تنظیمات در یک مساله خاص، روش آزمایش و خطا مناسب‌ترین راهکار است [۱۸]. برای این منظور تمامی پارامترها ثابت در نظر گرفته می‌شود و با تغییر یک پارامتر میزان خطا محاسبه می‌شود. در ادامه نحوه تعیین تنظیمات یاد شده آورده شده است.

الف- اندازه جمعیت

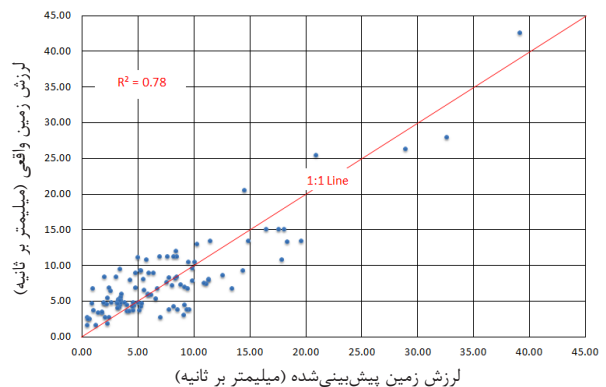
این پارامتر اندازه جمعیت را در هر نسل مشخص می‌کند. افزایش اندازه جمعیت، GA را قادر می‌سازد تا نقاط بیشتری را مورد جستجو قرار دهد و نتیجه بهتری حاصل شود. اندازه جمعیت باید حداقل به اندازه تعداد متغیرها (در این مقاله ۷ متغیر) انتخاب شود. همان‌گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است، مقادیر مختلف اندازه جمعیت برای حصول بهترین نتیجه مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت مشخص شد که تعداد جمعیت ۶۰ علاوه بر حصول نتایج مناسب از نظر زمانی نیز به صرفه است.



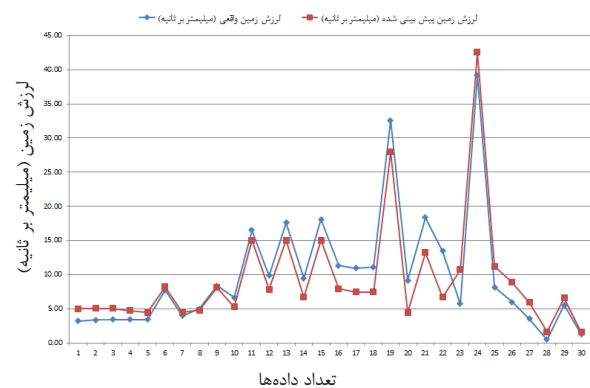
شکل ۷: تعیین مناسب‌ترین اندازه جمعیت

$$PPV = \frac{168.85}{De} (q/ch)^{-1.48} B^{-5.64} S^{3.43} \mu^{-1.22} \theta^{-1.18} \quad (17)$$

جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) رابطه ریاضیاتی ارایه شده برای تخمین لرزش زمین در حدود ۳/۴۹ محاسبه شد. همچنین ضریب همبستگی به دست آمده برای این معادله برابر ۷۸ درصد است. شکل ۵ مقایسه میان داده‌های آموزش مربوط به لرزش زمین واقعی و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. شکل ۶ نیز میزان اختلاف داده‌های مربوط به لرزش زمین واقعی و پیش‌بینی شده را با استفاده از رابطه ارایه شده در داده‌های آزمون نشان می‌دهد.



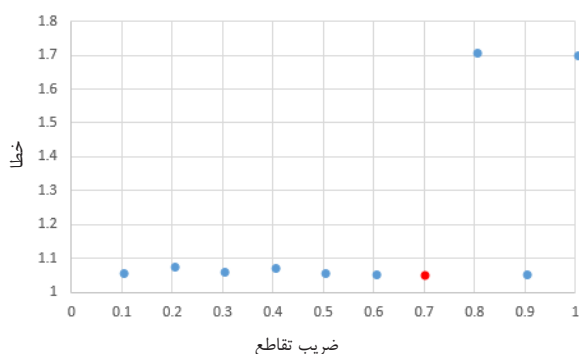
شکل ۵: ضریب همبستگی رابطه ارایه شده



شکل ۶: مقایسه لرزش زمین پیش‌بینی شده با لرزش زمین واقعی

بر اساس تحقیقات انجام شده توسط لویز و همکارانش، تغییرات لرزش زمین برای مقادیر خرج‌ویژه کمتر از ۰٫۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب به صورت نزولی و برای بیش از آن به صورت صعودی است. با توجه به بازه تغییرات خرج‌ویژه در این

می‌شود [۱۸]. در این مقاله کسرهای تلفیق ۰/۱ تا ۰/۹ مورد بررسی قرار گرفت که طبق شکل ۹ بهترین نتیجه در مقدار ۰/۷ حاصل می‌شود.



شکل ۹: تعیین مناسب‌ترین ضریب تقاطع

- عملگر جهش^۷: با استفاده از تنظیمات جهش نوع تغییرات تصادفی که الگوریتم ژنتیک بر روی یک فرد از جمعیت برای تولید فرزند جهشی اعمال می‌کند، تعیین می‌شود. جهش باعث ایجاد گوناگونی بیشتر در جمعیت می‌شود و محدوده جستجوی الگوریتم را برای یافتن راه حل گسترش می‌دهد [۱۸]. در این راستا توابع گوناگون مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت عملگر جهش سازگاری قابل اجرا^۸ با ضریب احتمال ۰/۲ به عنوان مناسب‌ترین تابع جهش انتخاب شد.

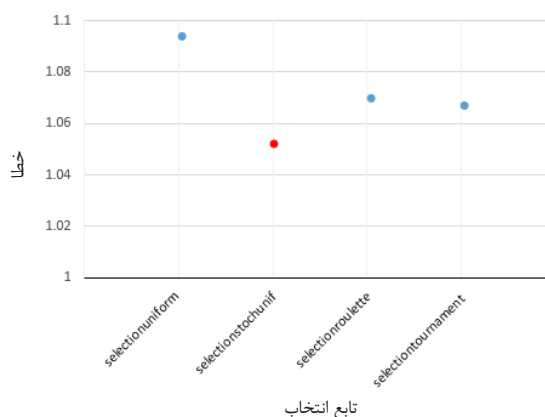
ت- تعیین حداکثر تعداد نسل‌ها

افزایش تعداد نسل‌ها در برخی از موارد باعث بهبود نتایج می‌شود [۱۸]. همان‌گونه که از شکل ۱۰ نیز مشخص است، مناسب‌ترین نتیجه در تعداد نسل ۱۰۰ حاصل شد و نتایج از نسل ۱۰۰ به بعد تقریباً ثابت شده و پیشرفتی در نتایج حاصل نشد.

ارزش اولیه ژن‌ها به صورت تصادفی و بر اساس بازه آرایه شده در جدول ۱ تعیین می‌شود. بر اساس تنظیمات انجام شده و تابع تناسب آرایه شده در رابطه ۱۷، کروموزوم‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. همگرایی مدل در شکل ۱۱ نشان داده شده است. بعد از اجرای برنامه کروموزوم با کمترین خطا به عنوان راه حل نهایی به عنوان الگوی آتشیاری پیشنهادی انتخاب شد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در شکل ۱۲ نشان داده شده است. برای تعیین اثر هر یک از پارامترهای ورودی بر میزان لرزش زمین ناشی از انفجار و انتخاب الگوی آتشیاری بهینه، جدول ۳ تهیه شد. با توجه به نقش موثر پارامتر "فاصله

ب- توابع انتخاب

تابع انتخاب، والدین را برای تولید نسل بعدی بر اساس مقادیر تعیین شده با تابع مقیاس‌بندی انتخاب می‌کند. هر فرد می‌تواند بیشتر از یک بار به عنوان والدین انتخاب شود و به این ترتیب ژن‌های آن در تولید بیشتر از یک فرزند دخالت خواهند داشت. در مقاله حاضر چهار تابع انتخاب یکنواخت^۱، تصادفی یکنواخت^۲، رولت^۳ و مسابقه‌ای^۴ مورد بررسی قرار گرفت. همان‌گونه که در شکل ۸ نیز نشان داده شده است، تابع انتخاب تصادفی یکنواخت که والدین را روی یک خط پخش کرده و بر اساس مقادیر مقیاس شده روی خط با گام‌های مساوی جلو رفته است و والدین را انتخاب می‌کند به عنوان مناسب‌ترین تابع انتخاب برگزیده شد.



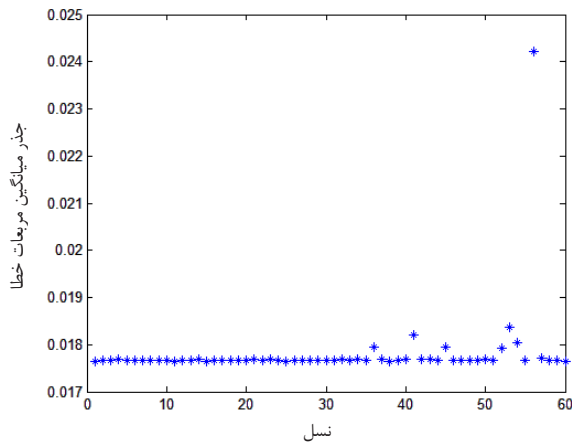
شکل ۸: تعیین مناسب‌ترین تابع انتخاب

پ- تولیدمثل

با استفاده از این تنظیمات می‌توان نحوه تولید نسل بعدی را کنترل کرد. برای این منظور می‌توان از عملگرهای زیر بهره جست:

- تعداد نخبه‌ها^۵: این پارامتر بیانگر تعداد افراد با بهترین مقدار شایستگی در نسل حاضر است که بدون تغییر به نسل بعدی منتقل می‌شود. زمانی که این مقدار برابر ۱ تعیین شود فقط بهترین فرد از جمعیت حاضر به نسل بعدی منتقل می‌شود. انتخاب مقادیر بالا برای این فیلد باعث کاهش کارایی GA می‌شود [۱۸]. مقدار پیش‌فرض برای این مقاله ۲ انتخاب شده است.

- عملگر تقاطع^۶: تعیین‌کننده کسری از افراد نسل بعدی (به جز نخبگان) است که با توجه به عملیات تلفیق، تولید می‌شود. مقدار این فیلد برابر با کسری بین ۰ تا ۱ قرار داده



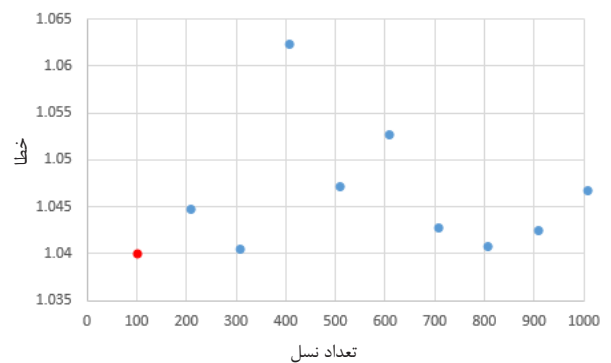
شکل ۱۲: بهبود تابع هدف در الگوریتم ژنتیک

۵- نتیجه گیری

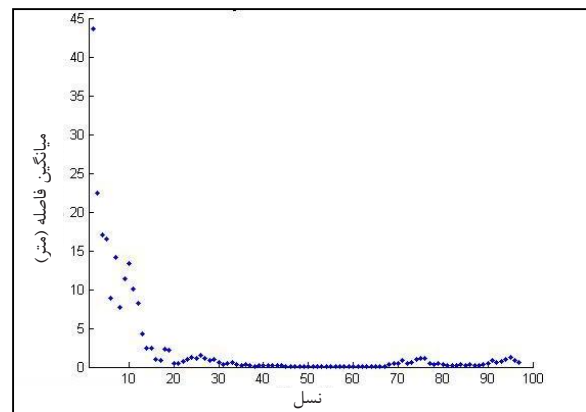
در این مقاله، داده‌های مربوط به لرزش زمین معدن مس سرچشمه مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. برای تخمین لرزش زمین و بهبود الگوی انفجار در این معدن برای نخستین مرتبه از روش تلفیقی آنالیز خاکستری-الگوریتم ژنتیک استفاده شد و نتایج زیر به دست آمد:

- یک رابطه ریاضیاتی با استفاده از روش آنالیز ابعادی برای محاسبه شاخص حداکثر سرعت ذرات و بر اساس پارامترهای آتشیاری ارائه شد. رابطه یاد شده توانایی تخمین PPV را با ضریب همبستگی ۰٫۷۸ و شاخص RMSE ۳٫۴۹ دارد.
- روش تلفیقی ارائه شده یک ابزار توانمند برای بهینه‌سازی الگوی آتشیاری است.
- برای کمینه کردن شاخص PPV، سه الگوی آتشیاری متناسب با فواصل مختلف اندازه‌گیری تا جبهه کار ارائه شد.
- بر اساس نتایج حاصل از آنالیز خاکستری، فاصله از جبهه کار و خرج ویژه اصلی‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر شاخص PPV است.

از محل انفجار"، متناسب با فواصل مختلف سه الگوی انفجار با هدف کمینه کردن لرزش زمین پیشنهاد شده است. با اعمال پارامترهای به دست آمده به وسیله الگوریتم ژنتیک در تابع تناسب (رابطه ۱۷)، مقادیر PPV محاسبه می‌شود. شکل ۱۳ میزان میانگین PPV واقعی را در فواصل مختلف نشان می‌دهد. مقایسه این مقادیر میانگین با PPV بهینه نشان‌دهنده میزان بهبود انجام شده با الگوریتم ژنتیک است.



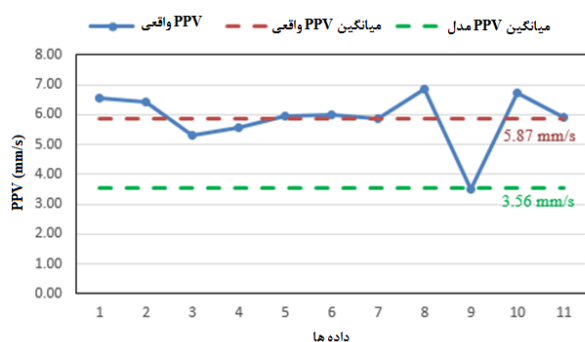
شکل ۱۰: تعیین مناسب‌ترین تعداد نسل



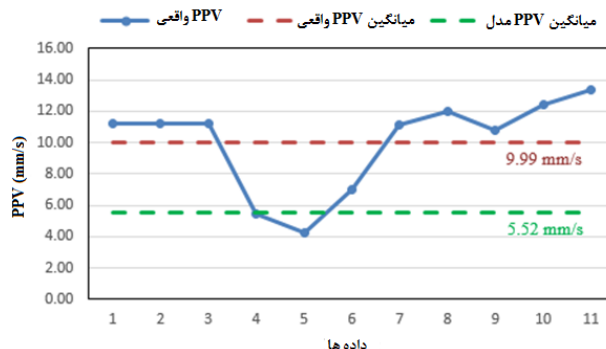
شکل ۱۱: همگرایی مدل یا میانگین سرعت کروموزوم‌ها

جدول ۳: نتایج الگوی آتشیاری پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

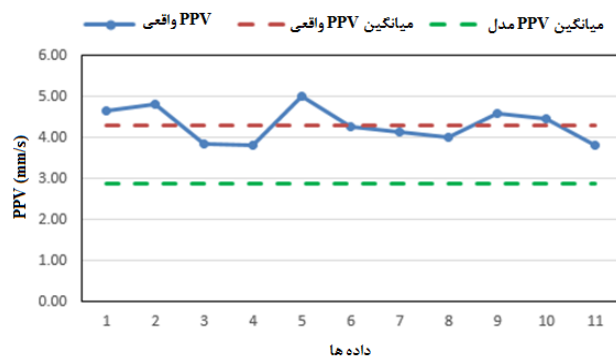
شماره الگوی انفجار	فاصله از محل انفجار (متر)	بارسنگ (متر)	فاصله ردیفی چال‌ها (متر)	تاخیر بین ردیف‌ها (میلی ثانیه)	میزان آنفو معادل در تاخیر مربوطه (کیلوگرم)	خرج ویژه (کیلوگرم بر مترمکعب)	شاخص PPV (میلی متر بر ثانیه)
۱	۶۰۸	۷٫۵	۱۰	۱۵	۴۵۲۲	۰٫۱۳۲	۵٫۵۲
۲	۱۰۴۵	۷٫۵	۱۰	۵۰	۶۰۶۷	۰٫۱۷۹	۳٫۵۶
۵	۱۳۳۰	۷٫۵	۱۰	۷۰	۷۲۴۶	۰٫۱۸۱	۲٫۸۹



ب) میانگین فاصله از محل انفجار ۱۰۴۵ متر



الف) میانگین فاصله از محل انفجار ۶۰۸ متر



پ) میانگین فاصله از محل انفجار ۱۳۳۰ متر

شکل ۱۳: مقایسه لرزش زمین واقعی و نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک

(2011). "Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural networks". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 26(1): 46-50.

- [5] Saadat, M., Khandelwal, M., and Monjezi, M. (2014). "An ANN-based approach to predict blast-induced ground vibration of Gol-E-Gohar iron ore mine, Iran". *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(1): 67-76.
- [6] Mohammad, M. T. (2009). "Artificial neural network for prediction and control of blasting vibration in Assiut (Egypt) limestone quarry". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(2): 426-431.
- [7] Khandelwal, M., and Singh, T. N. (2009). "Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46: 1214-1222.
- [8] Singh, P. K., and Roy, M. P. (2010). "Damage to surface structures due to blast vibration". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(6): 949-961.
- [9] Mohan, V., and Dey, N. C. (2014). "Assessment of Ground Vibration and Plotting of Contour Map of Surface Mine Blasting". *Journal of the Institution of Engineers (India): Series D*, 95(1): 1-6.

- نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک نشان داد که با تغییر در پارامترهای ورودی می توان لرزش زمین میانگین را تا ۵۵ درصد مقدار فعلی کاهش داد.

- اگرچه روش شناسی معرفی شده در این مقاله قابل تعمیم به سایر معادن نیز است اما رابطه ریاضیاتی توسعه داده شده صرفاً مخصوص معدن مورد مطالعه است.

۶- مراجع

- [1] Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., and Carcedo, F. J. A. (1995). "Drilling and blasting of rocks". Rotterdam: Balkema, pp. 340.
- [2] Dehghani, H., and Ataee-pour, M. (2011). "Development of a model to predict peak particle velocity in a blasting operation". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 48: 51-58.
- [3] Hajihassani, M., Armaghani, D. J., Marto, A., and Mohamad, E. T. (2015). "Ground vibration prediction in quarry blasting through an artificial neural network optimized by imperialist competitive algorithm". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(3): 873-886.
- [4] Monjezi, M., Ghafurikalajahi, M., and Bahrami, A.

- Vibration Worldwide, 43(3): 111-119.
- [15] Andrew, A. M. (2011). "Why the world is grey?". Grey Systems: Theory and Application, 1(2): 112-116.
- [16] Deng, J. L. (1982). "Control problems of grey systems". Systems & Control Letters, 1(5): 288-294.
- [17] Haupt, R. L., and Haupt, S. E. (2004). "Practical Genetic Algorithms". 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, pp. 272.
- [۱۸] کیا، م؛ ۱۳۹۱؛ "الگوریتم‌های ژنتیک در متلب". انتشارات دانشگاهی کیان، ۱۹۲ صفحه.
- [10] Armaghani, D. J., Hajihassani, M., Mohamad, E. T., Marto, A., and Noorani, S. A. (2014). "Blasting-induced flyrock and ground vibration prediction through an expert artificial neural network based on particle swarm optimization". Arabian Journal of Geosciences, 7(12): 5383-5396.
- [11] Ghoraba, S., Monjezi, M., Talebi, N., Moghadam, M. R., and Jahed Armaghani, D. (2015). "Prediction of ground vibration caused by blasting operations through a neural network approach: a case study of Gol-E-Gohar Iron Mine Iran". Journal of Zhejiang University Science A, 10: 1631. DOI: 10.1631/jzus.A1400252.
- [12] Ataei, M., and Sereshki, F. (2017). "Improved prediction of blast-induced vibrations in limestone mines using Genetic Algorithm". Journal of Mining and Environment, 8(2): 291-304.
- [13] Hasanupanah, M., Bakhshandeh Amnieh, H., Khamesi, H., Jahed Armaghani, D., Bagheri Golzar, S., and Shahnazar, A. (2018). "Prediction of an environmental issue of mine blasting: an imperialistic competitive algorithm-based fuzzy system". International Journal of Environmental Science and Technology, 15(3): 551-560.
- [14] Ragam, P., and Nimaje, D. S. (2018). "Evaluation and prediction of blast-induced peak particle velocity using artificial neural network: A case study". Noise and

¹ Selectionstochunif

² Stochasticuniform

³ Selectionroulette

⁴ Selectiontournament

⁵ Elite count

⁶ Crossover fraction

⁷ Mutation function

⁸ Mutationadaptfeasible



DOI: 10.30479/jmre.2019.9986.1220

Blasting Pattern Design for Decreasing the Ground Vibration Using Genetic Algorithm

Dehghani H.^{1*}, Beiromvand H.²

1- Assistant Professor, Dept. of Mining Engineering, Hamedan University of Technology, Hamedan, Iran
dehghani@hut.ac.ir

2- M.Sc, Dept. of Mining Engineering, Hamedan University of Technology, Hamedan, Iran
hesam_iut@yahoo.com

(Received: 21 Jan. 2019, Accepted: 06 Apr. 2019)

Abstract: Ground vibration is one of the most unfavorable consequences of the blasting operation in open pit mines, which assign about 40 percent of explosive energy. Ground vibration may cause some unsuitable effects such as destroying the surface structures, damaging the free face and generate back breaks, generating the over-size boulders and imposing additional costs to the mine because of the secondary blasting. Optimum blasting pattern design can help to reduce the above mentioned problems. Due to multiplicity of effective parameters and complexity of interactions among these parameters, empirical methods may not be fully appropriate for blasting pattern design. In this paper, using a combination of the Grey analysis and Genetic algorithm, addition to developing a new equation for estimating the ground vibration in Sarcheshmeh Copper Mine, blasting pattern is presented. The results show that with applying the proposed blasting pattern the average ground vibration will be decreased about 55 percent.

Keywords: Ground vibration, Grey analysis, Genetic algorithm, Blasting.

INTRODUCTION

Ground vibration is one of the unpleasant results of blasting in open-pit mines. According to the studies, 40% of the explosive energy is wasted as ground vibration rather than being used for useful processes such as rock fragmentation [1]. Ground vibration can not only impose serious damages to existing facilities in the mine, but may also impose irreparable damages to the residential areas close to the mine. This can also lead to large-scale rock fall in the surface mines. Also, ground vibration may have adverse effects on the stability of buildings, roads, dams and natural slopes. The blast-induced ground vibration can also affect the groundwater level and lead to the dried springs and, on a larger scale, to deforestation [2]. Accordingly, the ground vibration phenomenon may impose irreparable costs on mine and environmental projects. Therefore, it is very necessary to estimate and control this unpleasant phenomenon. In the present study, using a combination of grey analysis and genetic algorithm, in addition to presenting a mathematical relation for estimating the ground vibration in the Sarcheshmeh copper mine, the proposed blasting pattern is presented to reduce the vibration.

METHODS

1. GRET THEORY

Grey theory was first introduced by Deng in 1982 [3,4]. This theory is mainly focused on the study of the problems involved with incomplete information and small number of samples by searching for information from data in the systems that deal with the uncertainty. This analysis is a powerful tool for dealing with small and discrete samples based on the relationship between the desired target sequence and the sequence of effective relative factors [4].

2. DIMENSIONAL ANALYSIS

Dimensional analysis is an engineering method for deriving the equations that make it easy to analyze variable and complex systems. One of the best techniques for dimensional analysis is the Buckingham's π theory. According to this theory, having n variables, a relation in the form of the complete function $\varphi(\alpha, \beta, \gamma, \dots) = 0$ can be constructed. To solve this relation, the corresponding function $f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots) = 0$ should be defined. Finally, by solving this function, the interaction of each of the effective parameters on the external parameter can be determined.

3. GENETIC ALGORITHM

Genetic algorithm is a search-based technique for finding an approximate solution for the optimization and search problems. Genetic algorithm is a particular type of evolution algorithm that uses biology techniques such as inheritance and mutation. This algorithm was originally developed by John Holland in 1967. This method then extended with the efforts of Goldberg in 1989, and nowadays, it is well-positioned among other optimization methods due to its capabilities. The optimization steps in the genetic algorithm are as follows [5]:

1. Produce appropriate solutions in a random manner (chromosome) to solve the problem (production of primary population);
2. Evaluate the fitness function of each chromosome;
3. Each hypothesis is evaluated using the fitness function at each iteration. Then, some of the best hypotheses are selected using a probability function and the new population is formed. Some of these hypotheses are used in the same way, and the rest are used by genetic operators such as crossing and mutation to produce children.
4. Test the final conditions and choose the best solution;
5. Check the fitness and return to step 2.

By performing the above steps, the genetic algorithm will be able to achieve the optimal solution in various problems [5].

CASE STUDY

Sarcheshmeh copper mine is one of the largest reserves of porphyry copper located 160 km southwest of Kerman. From the geological point of view, Sarcheshmeh copper deposits belong to the Tertiary era and have many complications. The exploitation of the mine is done using the open-pit mining. The final slope of the mine is 32-34° and the bench slope is 62.5°. The width and height of the benches are 8.75 and 12.5 m, respectively. The diameter of the blast holes is 9 in and the depth of the holes is about 15 m. The ANFO is often used as the main explosive. Data on ground vibration in 150 explosive blocks was collected. Other information on the explosion pattern is provided in Table 1.

NUMERICAL ANALYSIS

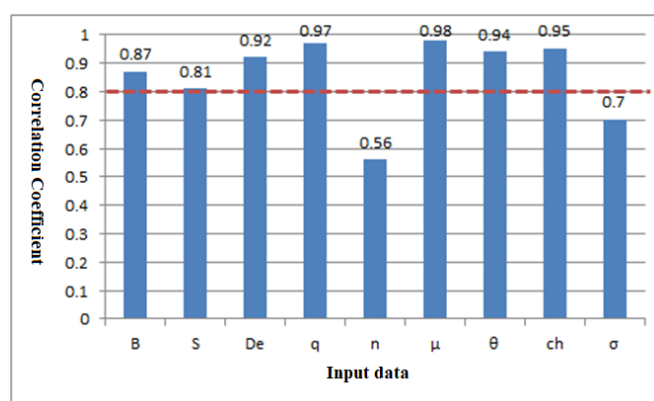
1. GREY ANALYSIS

In order to investigate the effects of blasting pattern parameters on the ground vibration, these parameters were used as grey analysis inputs. Fig. 1 shows the numerical value obtained from the grey analysis to achieve the correlation between the ground vibration caused by the explosion and other effective parameters. In order to determine the importance of the parameters affecting the ground vibration according to the experts, the 80% correlation is determined for the separation of the parameters. This means that the

Table 1. Input and output parameters used for modeling

	Parameter	Range	Unit	Symbol
Input	Burden	2-7.5	m	B
	Spacing	2-11	m	S
	Delay between rows	15-70	ms	D_e
	Specific charge	0.1-0.24	Kg/m^3	q
	Number of rows in each blasting	2-7	-	n
	Distance to monitoring point	600-2845.05	m	μ
	Maximum hole in dealy	6-32	-	θ
	Charge per dealy	1332-10985	Kg	ch
	Point load index	6.51-8.9	MPa	σ
Output	Peak particle velocity	0.49-77.3	mm/s	ppv

factors with the correlation above 80% are classified as effective factors and the factors with the correlation lower than 80% are classified as secondary factors with lower importance.

**Figure 1.** Result of gray analysis on Sarcheshmeh copper mine data

From the analysis of the data on the Sarcheshmeh copper mine, it can be seen that the distance of the monitoring point from the blasting, total charge, spacing, burden, delay between the rows, specific charge and maximum number of holes in each delay are the most important factors affecting the ground vibration. The results of grey analysis are considered as inputs of dimensional analysis.

2. Dimensional analysis

In the next step, all dimensioned parameters should be converted to the reference parameters including length (L), mass (m), and time (T). Since the parameter of the maximum number of holes in each delay is unit less, it is referred to as the dimensionless parameter and is assigned the unity value in the calculation process. Therefore, the dimensions of the input and output variables are defined as $[B] = L$, $[S] = L$, $[q] = \text{FL}^{-4}\text{T}^2$, $[ch] = \text{FL}^{-1}\text{T}^2$, $[\mu] = L$, $[De] = T$, and $[PPV] = \text{LT}^{-1}$. Table 2 shows the dimensional matrix of input and output parameters.

Table 2. Dimensional matrix

	PPV	B	S	θ	μ	D_e	Q	ch
F	0	0	0	0	0	0	1	1
L	1	1	1	0	1	0	4	-1
T	-1	0	0	0	0	1	2	2

By analyzing the multivariate regression from the study databases and comparing the correlation coefficient obtained in SPSS software for the linear and nonlinear relationships, it was found that the nonlinear equation is more suitable due to the higher correlation coefficient. The relationship between the input parameters and the ground vibration using dimensional analysis is presented in equation (1).

$$PPV = \frac{168.85}{De} (q/ch)^{-1.48} B^{-5.64} S^{3.43} \mu^{-1.22} \theta^{-1.18} \quad (1)$$

Root mean square error (RMSE) of the mathematical relation presented for the estimation of ground vibration was calculated to be 3.49. The correlation coefficient obtained for this equation is 78%. Figure 2 shows the comparison between the actual and predicted ground vibration training data. Figure 3 also shows the difference between the actual and predicted ground vibration data using the relation presented in the test data.

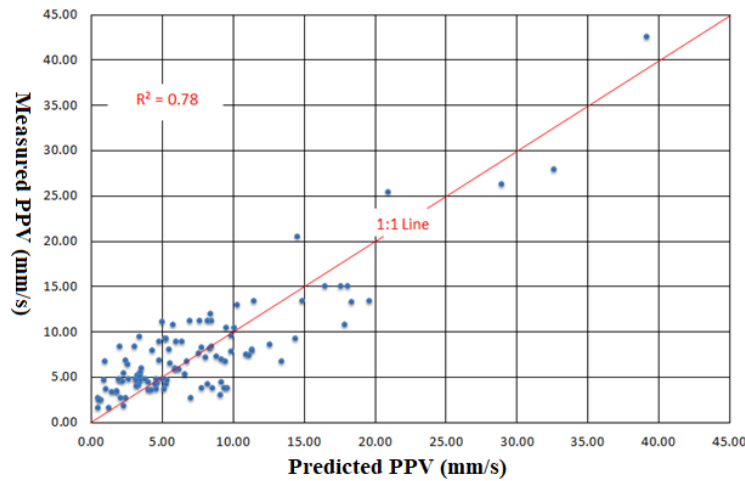


Figure 2. Correlation coefficient of proposed relation

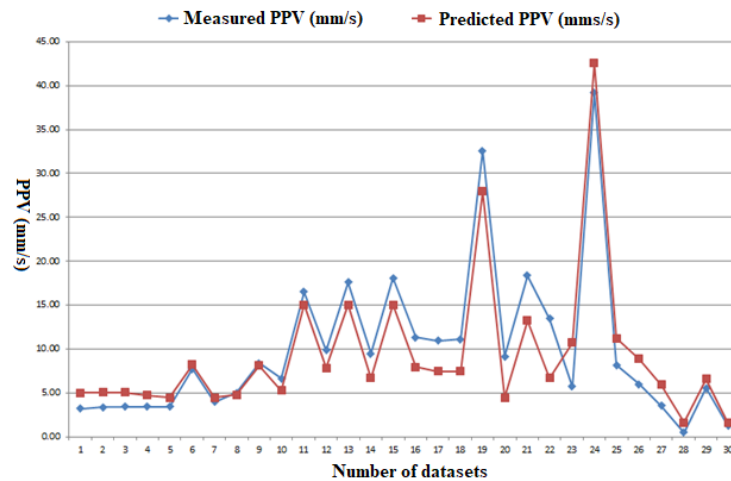


Figure 3. Comparison of predicted and actual ground vibration

3. Genetic algorithm

MATLAB software was used to improve the explosion pattern by genetic algorithm (GA). The process is started by recalling the objective function, and then, the input parameters with the related lower and upper bounds are given to the algorithm. In order to access the best results by genetic algorithm, it is necessary to

accurately determine the options related to the algorithm including the population size, selection functions, reproduction, and determination of the maximum number of generations. To select the best options in a particular problem, the trial-and-error method is the best solution [5].

The initial value of the genes is determined randomly based on the interval presented in Table 1. The chromosomes are examined based on the options and the fitness function presented in equation 1. The convergence of the model is shown in Figure 4. After running the program, the chromosome with the least error as the final solution was selected as the proposed explosion pattern. The results of optimizing the genetic algorithm are shown in Figure 5. Table 3 was prepared in order to determine the effect of each input parameter on the amount of the explosion-induced ground vibration and to select the optimal explosion pattern. Considering the effective role of the “distance from the explosion” parameter, three explosion patterns were proposed to minimize the ground vibration proportional to different distances.

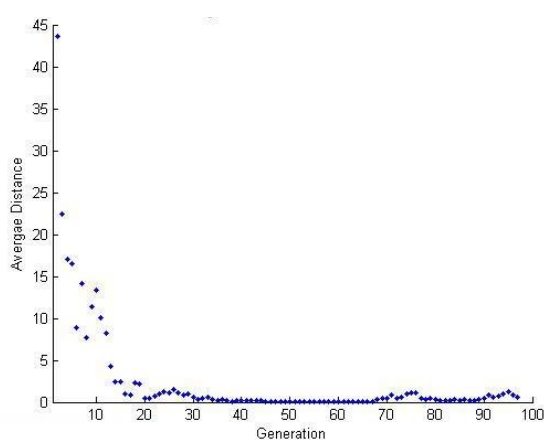


Figure 4. Model convergence or average speed of chromosomes

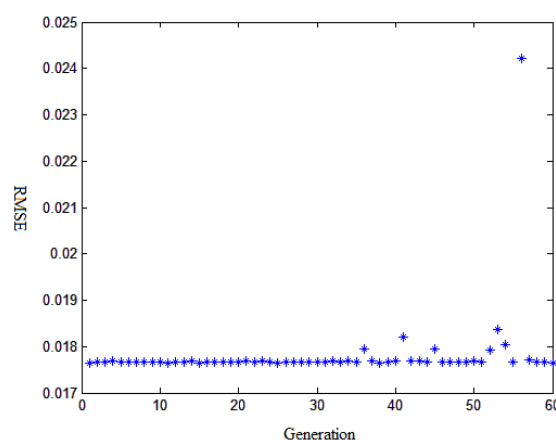


Figure 5. Improvement of objective function in genetic algorithm

By applying the parameters obtained by the genetic algorithm in the fitness function (equation 1), the PPV values are calculated.

Table 3. Results of proposed explosion pattern using genetic algorithm

Blasting pattern number	Distance to monitoring point (m)	Burden (m)	Spacing (m)	Dealy between rows (ms)	Charge per dealy (Kg)	Specific charge (Kg/m ³)	PPV (mm/s)
1	608	7.5	10	15	4522	0.132	5.52
2	1045	7.5	10	50	6067	0.179	3.56
3	1330	7.5	10	70	7246	0.181	2.89

CONCLUSIONS

In this paper, the data on ground vibration in Sarcheshmeh copper mine were evaluated and analyzed. In order to estimate the ground vibration and improve the blasting pattern in this mine, the combined grey analysis and genetic algorithm methods were used for the first time and the following results were obtained:

- A mathematical relation was proposed using dimensional analysis method to calculate the Peak particle velocity (PPV) based on the blasting parameters. This relation can estimate the PPV with the correlation coefficient of 0.78 and the RMSE of 3.49.

- The presented combined method is a powerful tool for optimizing the blasting pattern.

- In order to minimize the PPV, three blasting patterns were presented proportional to different

measurement distances to the face.

- Based on the results of grey analysis, the distance from the face and the specific charge are the most important parameters affecting the PPV.

- The results obtained from the genetic algorithm showed that the change in input parameters could reduce the average ground vibration to 55% of the current value.

- Although the methodology introduced here can be extended to other mines, the mathematical relation is merely developed for the study mine.

REFERENCES

- [1] Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., and Carcedo, F. J. A. (1995). *“Drilling and blasting of rocks”*. Rotterdam: Balkema.
- [2] Dehghani, H., and Ataee-pour, M. (2011). *“Development of a model to predict peak particle velocity in a blasting operation”*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 48: 51–58.
- [3] Andrew, A. M. (2011). *“Why the world is grey”*. Grey Systems: Theory and Application, 112-116.
- [4] Deng, J. L. (1982). *“Control problems of grey systems”*. Systems & Control Letters, 1(5): 288-294.
- [5] Haupt, R. L., and Haupt, S. E. (2004). *“Practical Genetic Algorithms”*. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley;