



تأثیر ارتعاشات حاصل از انفجار پله‌های معدن روباز بر سازه‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: معدن انگوران)

ارشیا یکرنگ^۱، فرهنگ سرشکی^۲، محمد عطائی^۳

- 1- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، arshia.yek@gmail.com
 2- استاد مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، f.sereshki@gmail.com
 3- استاد مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، ataei@shahroodut.ac.ir

چکیده

امروزه از عملیات انفجار برای توسعه فضاهای زیرزمینی و استخراج سنگ در معادن استفاده می‌شود. در معادنی که عملیات معدن‌کاری همزمان در دو بخش روباز و زیرزمینی فعالیت دارند، لرزش‌های شدید زمین حاصل از انفجار باعث افزایش احتمال ناپایداری در فضاهای زیرزمینی مجاور خود می‌شود. هرگونه ناپایداری در فضاهای زیرزمینی می‌تواند صدمات جانی و مالی را به دنبال داشته باشد. از این رو محاسبه حداکثر سرعت ذرات مجاز در یک انفجار می‌تواند کمک شایانی به افزایش ایمنی کارگاه‌های زیرزمینی داشته باشد. به منظور بررسی تأثیر لرزش‌های انفجارهای روباز بر کارگاه‌های زیرزمینی، معدن سرب و روی انگوران به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شده است. در این پژوهش سعی بر آن شده است تا با برداشت‌های لرزه‌نگاری درون رمپ اصلی معدن انگوران در هنگام انفجارهای روباز، رابطه‌ای تجربی برای محاسبه مقدار حداکثر سرعت ذرات و تعیین مقدار مجاز برای این پارامتر ارائه شود و همچنین در صورت نیاز الگوی آتشکاری معدن نیز اصلاح شود. با توجه به مشاهدات انجام شده هیچ‌گونه ریزشی در فضای زیرزمینی این معدن در هنگام انفجارهای روباز صورت نگرفته است. این نشان دهنده طراحی مناسب الگوی آتشکاری روباز برای جلوگیری از ریزش فضاهای زیرزمینی مجاور است. در نهایت رابطه‌های تجربی برای محاسبه حداکثر سرعت ذرات با استفاده از برآزش تک متغیره با پارامتر فاصله مقیاس شده، ارائه شده است. ضرایب همبستگی رابطه‌ها برای ناحیه‌های شرقی و غربی به ترتیب، 9544/0 و 7357/0 است. با مقایسه رابطه‌های بدست آمده با رابطه‌ها ارائه شده پیشین، این نتیجه حاصل می‌شود که رابطه‌های مذکور دارای ضرایب همبستگی بالاتری نسبت به رابطه‌های پیشین بوده است.

کلمات کلیدی

- انفجار
- لرزش زمین
- حداکثر سرعت ذرات
- معدن سرب و روی
- انگوران



1 مقدمه

امروزه عملیات انفجار در توده سنگ‌های سخت امری اجتناب‌ناپذیر است. خردایش مناسب سنگ در نتیجه آتشباری موجب کاهش هزینه‌های معدن می‌شود، برای رسیدن به میزان مناسب خردایش، مقدار ماده منفجره مصرفی افزایش یافته. این امر ممکن است سبب ایجاد صدماتی در سیستم‌های نگهداری، دیواره‌ها و سق سازه‌های زیرزمینی مجاور آن شود [1].

در سال‌های گذشته مطالعات بسیاری در مورد کنترل لرزش زمین در عملیات استخراج معادن زیرزمینی و روباز انجام شده است. پایداری دیواره‌ها در معادن روباز و همچنین پایداری بخش زیرزمینی، نوار نقاله، خطوط لوله و ... تا حد زیادی بستگی به طراحی درست الگو انفجار دارد، زیرا لرزش بیش‌ازحد می‌تواند باعث ایجاد خسارت‌های جزئی و کلی شود [2].

معدن انگوران جز معدود معادنی در ایران است که در آن چرخه تولید کارگاه زیرزمینی و روباز در حال حاضر به صورت همزمان انجام می‌شود، از این رو بررسی پدیده لرزش زمین حاصل از انفجار برای حفظ پایداری و ایمنی فضاهای زیرزمینی اهمیت بالایی دارد. برای افزایش تولید سینه‌کارهای روباز باید مقدار ماده منفجره در عملیات آتشباری افزایش یابد. این امر موجب ایجاد لرزش‌هایی در فضاهای زیرزمینی مجاور می‌شود. لرزش‌های شدید عواقبی همچون ناپایداری‌های موضعی در فضای زیرزمینی، اختلال در چرخه تولید و کاهش ایمنی را به همراه دارد. محاسبه حداکثر سرعت ذرات مجاز در این معدن کمک شایانی به جلوگیری از اختلال در سیکل کاری مجموعه، افزایش ایمنی و سلامت نیروی انسانی و تجهیزات درون فضای زیرزمینی کند.

در این پژوهش، تأثیر ارتعاشات حاصل از انفجار پله‌های معدن روباز بر سازه‌های زیرزمینی مجاور بررسی شده است. به منظور این کار برداشت‌های لرزه نگاری در معدن انگوران انجام شده است [3]. اهداف این تحقیق به صورت خلاصه به شرح زیر است:

- 1) برداشت حداکثر سرعت ذرات با استفاده از دستگاه لرزه نگار در انفجارهای متعدد
- 2) انتخاب پارامترهای موثر بر میزان سرعت ذرات به هنگام انفجار و ارائه رابطه‌ها تجربی
- 3) محاسبه حداکثر سرعت مجاز ذرات در هنگام انفجار در معدن انگوران
- 4) ارائه یک الگوی مناسب آتشباری برای معدن روباز انگوران

2 مرور ادبیات

جهت بررسی بیشتر تأثیر ارتعاشات حاصل از انفجار پله‌های معدن روباز بر سازه‌های زیرزمینی به مطالعه دیگر تحقیقات پرداخته شد.

همانند مطالعات گذشته، بیشتر مطالعات به صورت میدانی و برخی از آن‌ها با مدل‌سازی عددی و روش‌های فرا ابتکاری انجام شده است. در بیشتر این مطالعات نیز با استفاده از روش‌های تحلیلی و آماری، رابطه‌ها تجربی برای محاسبه حداکثر سرعت ذرات ارائه شده است. در جدول (1)، به برخی از مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته بعد از سال 2018 در مورد تأثیر انفجارهای سطحی بر سازه‌های زیرزمینی، اشاره شده است.

جدول (1): مطالعات محققین پیشین بعد از سال 2018

هدف	سال	نام پژوهشگران
بررسی تأثیرات انفجارهای سطحی بر مقاومت توده‌سنگ در برگریخته سازه زیرزمینی	2018	دوان و همکاران [4]
ارائه شاخص صدمه در تونل‌های زیرزمینی	2018	موسی و همکاران [5]
بررسی تأثیر امواج P بر روی سرعت ذرات پیرامون تونل‌های دایره‌ای	2019	لو و همکاران [6]
بررسی تأثیر ارتعاشات انفجار بر سازه‌های زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی عددی	2020	لیو و همکاران

	20	[7]
ارائه یک مدل عددی برای بررسی تأثیر تنش‌های القایی ایجاد شده در یک انفجار بر فضاهای زیرزمینی	20 21	ژانگ و همکاران [8]
بررسی صدمات ناشی از انفجارهای همزمان روباز و زیرزمینی بر فضاهای ذخیره‌سازی زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی عددی	20 21	وانگ و همکاران [9]

دوانⁱ و همکاران (2018)، با انجام مطالعات میدانی و مدل‌سازی‌های عددی تأثیرات انفجارهای سطحی را بر توده سنگ‌های دربرگیرنده راه‌های زیرزمینی را قبل و بعد از انجام آتشباری مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که سرعت لرزش در هر ایستگاه اندازه‌گیری کمتر از 15 سانتی‌متر بر ثانیه بوده و حداکثر لرزش در هر ایستگاه اندازه‌گیری با توجه به فاصله محل سنجش تا نقطه انفجار دچار تضعیف می‌شود [4].

موسیⁱⁱ و همکاران (2018)، به منظور سنجش قابلیت اطمینان شاخص صدمه در یک تونل زیرزمینی جعبه‌ای شکل، مطالعاتی را انجام داده‌اند. در این مطالعه، از روش‌های عددی به منظور محاسبه حداکثر سرعت ذره ایجاد شده توسط انفجارهای سطحی استفاده شده است. در این مدل با توجه به تغییرات ضخامت لاینینگ تونل میزان صدمه بر سقف و دیواره‌های تونل بررسی شده است. در نهایت، رابطه‌ی (1) برای محاسبه حداکثر سرعت ذرات ارائه شده است [5].

$$D \times W - 1.66866 \times 10^{-6} \times T \times W + 0.019156 D^2 - 6.48 \times 10^{-7} \times T^2 + 1.0058 \times 10^{-7} \times W^2 \quad (1)$$

در این رابطه D عمق تونل میان 4 تا 8 متر، T ضخامت لاینینگ میان 250 تا 750 میلی‌متر و W وزن خرج میان 227 تا 4536 کیلوگرم است.

لوⁱⁱⁱ و همکاران (2019)، به بررسی تأثیر امواج P بر روی سرعت ذرات سنگ دربرگیرنده یک تونل با مقطع دایره‌ای شکل پرداخته‌اند. در این مطالعه از روش‌های ریاضی برای محاسبه و ارزیابی فاکتور مقیاس شده سرعت شعاعی و فاکتور مقیاس شده سرعت هوپ استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش میزان فاصله مقیاس شده، میزان دو فاکتور ذکر شده، کاهش می‌یابد [6].

لیو^{iv} و همکاران (2020)، به منظور ارزیابی تأثیر ارتعاشات ناشی از انفجارهای زیرزمینی بر تونل‌های ترابری، مدل عددی ارائه کردند. این مدل عددی با استفاده از برداشت حداکثر سرعت ذرات ایجاد شده در انفجار مجاور یک تونل ترابری در منطقه ووهان چین، اعتبارسنجی شده است. در این پژوهش، با استفاده از تحلیل پارامتری در مدل عددی، سه رابطه (2)، (3) و (4) میان حداکثر سرعت ذرات و تنش کششی وارد بر لاینینگ تونل، ارائه شده است [7].

$$V_{x_{max}} = 6.175 \sigma_t + 0.8505 \quad (2)$$

$$V_{x_{max}} = 201.89 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.422} \quad (3)$$

$$\sigma_t = 32.69 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.422} - 0.8505 \quad (4)$$

در این رابطه‌ها $V_{x_{max}}$ حداکثر سرعت ذرات (mm/s)، σ_t تنش کششی حداکثر (MPa)، Q میزان خرج مصرفی (Kg) و R فاصله تا محل انفجار (m) است.

ژانگ^v و همکاران (2021)، به منظور محاسبه تنش القایی ایجاد شده توسط رویدادهای لرزه‌ای در معادن زغال سنگ مطالعه‌ای را انجام دادند. در این مطالعه با استفاده از برداشت حداکثر سرعت ذرات به نحوه تأثیر تنش و احتمال انفجار سنگ^{vi} پرداخته شده است [8]. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با عبور از میزان مجاز حداکثر سرعت ذرات در یک رویداد دینامیکی، احتمال افزایش تنش و رویداد انفجار سنگ بیشتر می‌شود. از دیگر نتایج مهم می‌توان به این اشاره کرد که آن‌ها بر این اعتقاد هستند که می‌توان از پارامتر حداکثر سرعت ذرات به عنوان یک شاخص قابل اطمینان برای رفتارسنجی تنش و انفجار، استفاده کرد.

وانگ و همکاران (2021)، با استفاده از مدل عددی، ارزیابی صدمات ناشی از انفجارهای همزمان از موقعیت‌های متفاوت، بر فضاهای زیرزمینی ذخیره‌سازی مواد انجام داده‌اند [9]. این مدل با فرض

ⁱ Duan

ⁱⁱ Mussa

ⁱⁱⁱ Lu

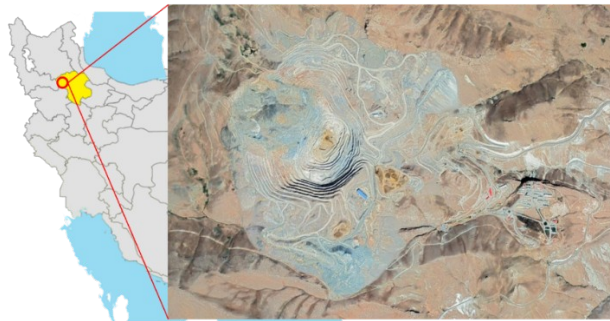
^{iv} Liu

^v Zhang

^{vi} Rock burst

اینکه نرم افزار LS-DYNA، یک نرم افزار صحت‌سنجی شده برای مدل‌سازی دقیق رفتار انفجار است، اعتبارسنجی شده است. حداکثر سرعت ذرات بدست آمده از رابطه‌ها تجربی و مدل عددی، تطابق خوبی با یکدیگر دارند.

با توجه به مطالعات بررسی شده می‌توان اظهار نمود که تاکنون مطالعات بسیاری بر روی اثرات ناشی از لرزش انفجار بر روی سازه‌های مجاور انجام شده است. همچنین رابطه‌ها بسیاری برای محاسبه لرزش‌های ناشی از انفجار ارائه شده است. بیشتر این رابطه‌ها بر اساس پارامترهای فاصله از انفجار و میزان خرج مصرفی است. نکته قابل توجه در این رابطه‌ها این است که تمامی رابطه‌ها دارای ضرایب ثابتی هستند. این ضرایب در هر معدن با توجه به خواص سنگ و ساختارهای زمین شناسی منطقه متفاوت است و باید با استفاده از مطالعات میدانی، برداشت‌های لرزه نگاری و تحلیل‌های آماری محاسبه شود. از این بحث می‌توان نتیجه گرفت که مطالعات میدانی و برداشت‌های لرزه نگاری از ملزومات محاسبه و پیش‌بینی مقدار حداکثر سرعت ذرات ناشی از انفجار در معادن روباز و زیرزمینی است.



شکل 1: موقعیت معدن انگوران در نقشه ایران

با بررسی داده‌های حاصل شده از برداشت‌های لرزه نگاری این نکته حاصل شد که داده‌ها را باید بر اساس موقعیت انفجار به دو دسته داده‌های قسمت شرقی و قسمت غربی تقسیم کرد. دلیل این دسته‌بندی، وجود گسلی در نزدیکی محل برداشت که تاثیر به سزایی بر دامنه سرعت امواج لرزه‌ای منتشر شده در محیط در قسمت غربی این گسل، را دارد. محققین پیشین به اثر گذاری شیب گسل‌ها و خاصیت‌های فیزیکی و مکانیکی موادپرکننده درون آن، بر کاهش دامنه و انرژی موج اشاره کرده‌اند [10].

$$SD = \frac{R}{\sqrt{Q_d}} \quad (5)$$

در این رابطه SD فاصله مقیاس شده $(m/Kg^{0.5})$ ، R فاصله از انفجار (m) و Q_d مقدار خرج بر تاخیر (Kg) است.

پارامترهای دیگر که مربوط به هندسه آتشکاری است، تقریباً در هر انفجار ثابت بوده و در آزمون همبستگی استفاده نشده است. در جدول (1) ضرایب همبستگی میان پارامترها و حداکثر سرعت ذرات حاصل ارائه شده است. همان‌طور که در جدول (5) مشاهده می‌شود، فاصله مقیاس شده را به عنوان یک پارامتر با ضریب همبستگی بالا معرفی کرد. همان‌طور گفته شد، این پارامتر از تلفیق شدن دو پارامتر دیگر حاصل می‌شود که این نشانگر کاربردی بودن این پارامتر است و می‌توان از آن برای ارائه یک رابطه تجربی استفاده کرد.

جدول 1: ضرایب همبستگی میان پارامترها و حداکثر سرعت ذرات حاصل

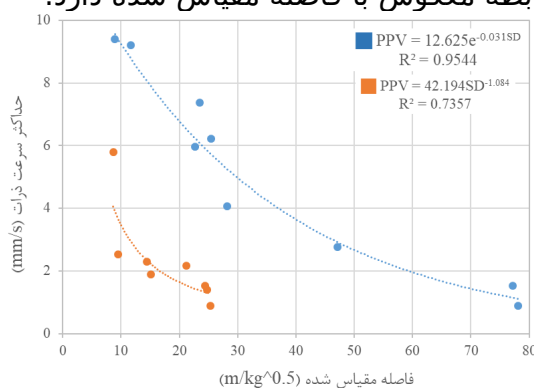
ضریب همبستگی		پارامتر
غربی	شرقی	
699/0	937/0	فاصله از محل انفجار (m)
179/0	624/0	مقدار خرج بر تاخیر (Kg)
765/0	931/0	فاصله مقیاس شده $(m/Kg^{0.5})$

با استفاده از برازش‌های تک متغیره مختلف، رابطه‌های میان پارامتر فاصله مقیاس شده و مقدار حداکثر سرعت ذرات برداشت شده ارائه شده است. در جدول (2)، برازش‌های تک متغیره میان حداکثر سرعت ذرات و فاصله مقیاس شده ارائه شده است.

جدول 2: نتیجه برازش‌های متفاوت بر داده‌ها PPV نسبت به فاصله مقیاس شده در دو قسمت شرقی و غربی

ضریب همبستگی	فرمول	روش برازش	ناحیه انفجار
8661/0	$PV = -0.1126 \times SD + 9.3058$	خطی	قسمت شرقی
9442/0	$PV = -4.078 \times \ln(SD) + 18.8$	لگاریتمی	
8783/0	$PPV = 130.84 \times SD^{-1.034}$	نمایی با پایه ثابت	
9544/0	$PPV = 12.625 \times e^{-0.031 \times SD}$	نمایی	
5855/0	$PV = -0.1682 \times SD + 5.3271$	خطی	قسمت غربی
6477/0	$V = -2.813 \times \ln(SD) + 10.219$	لگاریتمی	
7357/0	$PPV = 42.194 \times SD^{-1.084}$	نمایی با پایه ثابت	
7168/0	$PPV = 6.6989 \times e^{-0.067 \times SD}$	نمایی	
PPV: حداکثر سرعت ذرات (mm/s) و SD: فاصله مقیاس شده ($m/(kg^{0.5})$)			

همان‌طور که در جدول (2) مشاهده می‌شود، بهترین برازش برای ناحیه شرقی، تابع نمایی است که دارای ضریب همبستگی 9544/0 است. همچنین برای ناحیه غربی بهترین برازش، تابع نمایی با پایه ثابت انتخاب شده که دارای ضریب همبستگی 7357/0 است. در شکل (2)، نمودارهای برازش شده بر هر دسته داده نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل مشاهده می‌شود، نسبت حداکثر سرعت ذرات در دو ناحیه، رابطه معکوس با فاصله مقیاس شده دارد.

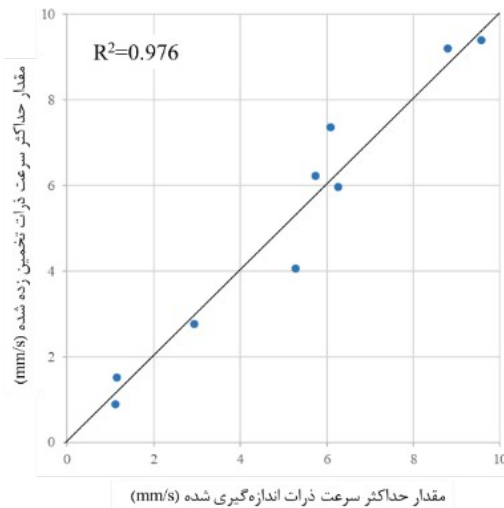


■ قسمت شرقی معدن

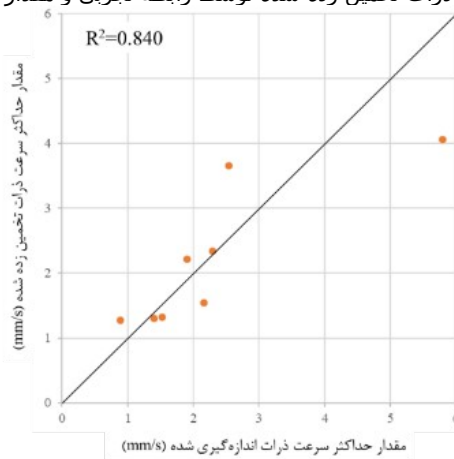
■ قسمت غربی معدن

شکل 2: نتیجه برازش داده‌های PPV نسبت به فاصله مقیاس شده برای دو قسمت شرقی و غربی

برای ارزیابی رابطه‌ها ارائه شده، مقایسه‌ای میان حداکثر سرعت ذرات تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده به صورت جداگانه برای هر دو ناحیه شرقی و غربی انجام شده است. ضرایب همبستگی بدست آمده از این مقایسه‌ها نشان می‌دهد که رابطه‌ها ارائه شده، برای محاسبه حداکثر سرعت ذرات دو بخش شرقی و غربی گسل دارای ضریب اطمینان خوبی هستند. شکل (3) و (4) به ترتیب مقایسه میان حداکثر سرعت ذرات تخمین زده شده توسط رابطه تجربی و مقدار اندازه‌گیری شده آن در بخش شرقی و غربی را نشان می‌دهند.



شکل 3: مقایسه میان حداکثر سرعت ذرات تخمین زده شده توسط رابطه تجربی و مقدار اندازه‌گیری شده آن در بخش شرقی



شکل 4: مقایسه میان حداکثر سرعت ذرات تخمین زده شده توسط رابطه تجربی و مقدار اندازه‌گیری شده آن در بخش غربی

به منظور بالا بردن اطمینان از رابطه‌های تجربی حاصل شده، این رابطه‌ها با برخی از رابطه‌های تجربی ارائه شده توسط محققین پیشین مقایسه شده است. در این مقایسه مقدار حداکثر سرعت ذرات با استفاده از پایگاه داده‌های این پژوهش و رابطه‌های پیشین، محاسبه شده است، سپس آزمون همبستگی پیرسون^۱ بین مقادیر محاسبه شده از رابطه‌های پیشین و ارائه شده در این پژوهش و مقادیر اندازه‌گیری شده، گرفته شده است. در جدول (3)، رابطه‌های پیشین و ضرایب همبستگی آن‌ها را با رابطه‌های ارائه شده و مقدار حداکثر سرعت ذرات اندازه‌گیری شده در دو ناحیه شرقی و غربی معدن ارائه شده است. با بررسی جدول (3)، می‌توان گفت که نزدیک‌ترین رابطه برای محاسبه حداکثر سرعت ذرات در ناحیه شرقی معدن انگوران، رابطه ارائه شده توسط لیو و همکاران [7] و رابطه ارائه شده توسط کهریمان (2004) برای ناحیه غربی است.

جدول 3: مقایسه رابطه‌ها پیشین با رابطه‌های ارائه شده و مقدار حداکثر سرعت ذرات اندازه‌گیری شده

ضریب همبستگی				رابطه تجربی	محققین
ناحیه غربی		ناحیه شرقی			
P	M	P	M		
998/0	854/0	862/0	830/0	$PPV = 0.36 SD^{-1.63}$	نیکولاس (1971)

^۱ Pearson

996/ 0	857/ 0	846/ 0	813/ 0	$PPV = 0.34 S D^{-1.79}$	کهریمان (2004)
998/ 0	851/ 0	873/ 0	841/ 0	$PPV = 86(R/Q)^{1/2} - 1.53$	وبرجینا (2007)
956/ 0	693/ 0	809/ 0	818/ 0	$PPV = 0.29 R^{-1.296}$	بدال (2010)
998/ 0	853/ 0	865/ 0	833/ 0	$PPV = 842(R/Q)^{1/2} - 1.6$	لودانوسکی (2014)
994/ 0	8/0	887/ 0	871/ 0	$PPV = 842(\sqrt[3]{Q/R})^{1.422}$	لیو و همکاران (2020)
V: حداکثر دامنه ارتعاش ذرات (mm/s)، Q: وزن ماده منفجره در هر تاخیر (Kg)، R: فاصله از محل انفجار تا محل اندازه‌گیری (m)، SD: فاصله مقیاس شده $(m/(kg^{0.5}))$ ، M: مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ژئوفون و P: مقادیر پیش‌بینی شده توسط رابطه‌ها ارائه شده در این پژوهش					

3 نتیجه گیری و پیشنهادات

در این پژوهش تاثیر ارتعاشات ناشی از انفجارهای یک معدن روباز بر سازه های زیرزمینی مجاور آن بررسی شده است. بدین منظور برداشت‌های لرزه نگاری در یکی از تونل‌های اصلی معدن انگوران انجام شده است. در این برداشت‌ها سعی شده تا در هر انفجار، صدمات ناشی از آن انفجار نیز برداشت شود.

به عنوان ارائه الگو انفجار با توجه به حداکثر سرعت ذرات در معدن انگوران، یکی از روش‌هایی که بتوان الگوی آتشیاری را اصلاح کرد، استفاده از مقدار حداکثر سرعت ذرات مجاز است. در این روش ابتدا با استفاده از رابطه‌ها تجربی به دست آمده از مطالعات میدانی و ریزش‌های حاصل از انفجار، حداکثر سرعت ذرات مجاز تعیین می‌شود. سپس پارامترهای انفجار هم‌چون فاصله مقیاس شده حاصل می‌شود که با دانش این پارامتر می‌توان پارامترهای موثر بر لرزش زمین هم‌چون میزان خرج بر تاخیر مجاز و فاصله از محل انفجار مجاز را برای هر انفجار در یک معدن محاسبه کرد.

همان‌طور که گفته شد در معدن انگوران در ناحیه شرقی گسل، انفجاری با مشخصات فاصله تا ارائه شده برای ناحیه شرقی، به منظور محاسبه حداکثر سرعت ذرات و اطلاعات این ریزش، مقدار مجاز سرعت ذرات در رمپ اصلی 17/11 میلی‌متر بر ثانیه محاسبه شده است. از این مقدار می‌توان فاصله مقیاس شده مجاز 9/3 را برای این معدن توصیه کرد. این مقدار نشان می‌دهد که ترکیب دو پارامتر فاصله از محل انفجار و مقدار خرج بر تاخیر اگر از این حد مجاز عبور کند، خطر ریزش در رمپ اصلی وجود دارد.

با توجه به تصحیح‌های الگوهای انفجار بعد از ریزش مذکور، میزان لرزش‌های زمین در قسمت زیرزمینی کاهش یافته و دامنه لرزش‌ها در بازه 925/0 تا 6/9 میلی‌متر بر ثانیه قرار گرفته است. این کاهش دامنه باعث کم شدن تاثیر امواج بر روی پایداری سنگ‌های پردرزه و ترک است. فرکانس میانگین امواج انفجاری در این معدن با توجه به برداشت‌ها 11 هرتز بوده که میزان کمی است و تاثیری چندانی بر کاهش مقاومت توده سنگ ندارد. کاهش دامنه و فرکانس امواج لرزشی ناشی از انفجار باعث افزایش ایمنی کارگاه‌ها، کاهش ناپایداری موضعی و افزایش ایمنی پرسنل شده است. به منظور بهبود نتایج حاصل از برداشت‌ها در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود:

- برای بالا بردن دقت، استفاده هم زمان سه دستگاه لرزه نگار در سقف، دیواره و کف فضای زیرزمینی برای یک رویداد دینامیکی، می‌توان استفاده کرد.
- همچنین اختصاص تونل‌هایی (دستک‌های) تحقیقاتی در ترازهای مختلف معدن برای بررسی بهتر و جلوگیری از تداخل برداشت‌ها با عملیات معدنکاری نیز می‌تواند کمک شایانی به امر برداشت لرزه نگاری داشته باشد.

4 مراجع

- [1] Singh P, Roy M, Paswan RK, Dubey R, Drebenstedt C. Blast vibration effects in an underground mine caused by open-pit mining. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2015;80:79-88.
- [2] Afeni TB, Osasan SK. Assessment of noise and ground vibration induced during blasting operations in an open pit mine—a case study on Ewekoro limestone quarry, Nigeria. Mining Science and Technology (China). 2009;19(4):420-4.

[3] شرکت معدن زمین. (1399). گزارش معدن زیرزمینی سرب و روی انگوران.

- [4] Duan B, Xia H, Yang X. Impacts of bench blasting vibration on the stability of the surrounding rock masses of roadways. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2018;71:605-22.
- [5] Mussa MH, Mutalib AA, Hamid R, Raman SN. Blast damage assessment of symmetrical box-shaped underground tunnel according to peak particle velocity (PPV) and single degree of freedom (SDOF) criteria. *Symmetry*. 2018;10(5):158.
- [6] Lu S, Zhou C, Zhang Z, Jiang N. Particle velocity response of surrounding rock of a circular tunnel subjected to cylindrical P-waves. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2019;83:393-400.
- [7] Liu Z, Jiang N, Sun J, Xia Y, Lyu G. Influence of tunnel blasting construction on adjacent highway tunnel: A case study in Wuhan, China. *International Journal of Protective Structures*. 2020;11(3):283-303.
- [8] Zhang W, Ma N, Ren J, Li C. Peak particle velocity of vibration events in underground coal mine and their caused stress increment. *Measurement*. 2021;169:108520.
- [9] Wang G, Cao A, Wang X, Yu R, Huang X, Lin J. Numerical simulation of the dynamic responses and damage of underground cavern under multiple explosion sources. *Engineering Failure Analysis*. 2021;120:105085.
- [10] Mingyang W, Ting T, Zeping Z. Effects of geological structural faults on blasting seismic wave propagation. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2005;24(4):635-4.



Effect Of Blasting Vibrations From Open Pit Mine Bench on Underground Structures (case study: Angouran Mine)

Arshia Yekrang¹, Farhang Sereshki², Mohammad Ataei³

Master, Faculty of Mining, Oil and Geophysics of Shahrood University of Technology, Arshia.yek@gmail.com-1

Professor of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Oil and Geophysics of Shahrood University of Technology,-2
f.sereshki@gmail.com

3-Professor of Mining Engineering, Faculty of Mining, Oil and Geophysics of Shahrood University of Technology, Ataei@shahroodut.ac.ir

ABSTRACT

Today, explosion operations are used to develop underground spaces and rock extraction in mines. In mines where mining operations are active in two outer and underground parts, severe earth tremors from the explosion increase the likelihood of instability in its adjacent underground spaces. Any instability in underground spaces can follow Johnny and Financial injuries. Therefore, calculating maximum particle speed in a blast can be a great help to increase the safety of underground workshops. In order to investigate the effect of vibration of outdoor explosions on underground workshops, lead and zinc mine is selected as studies. In this research, it has been attempted to provide the experimental interfaces in the main ramp of the Angouran mine during open explosions, empirical interfaces to calculate the maximum particle rate and determine the permitted value for this parameter, and also if necessary, the mine recycle pattern is also corrected. According to observations, there is no bump in the underground space of this mine during open explosions. This represents the proper design of the open-air fire pattern to prevent the loss of adjacent underground spaces. Finally, empirical relationships for calculating maximum particle velocity are presented using single-variable fit with scaled distance parameters. The correlation coefficients of relationships for eastern and western areas are 0.9544 and 0.7357 respectively. By comparing the relationships obtained with previous relationships, this result is that the relationships have a higher correlation coefficients than previous relationships.

KEYWORDS

- Explosion
- Vibration of the ground
- maximum particle velocity
- Lead and zinc mine