

کمینه سازی لرزش زمین در انفجارهای معدن مس سرچشمه کرمان

مهدی پورقاسمی ساغند*، محمد فاروق حسینی** و عبدالرحیم جواهریان***

چکیده

ایمن سازی سازه‌ها و دیواره‌های سنگی در مقابل لرزش زمین ناشی از انفجار معادن روباز از جمله مسایل مهم در بحث انفجار و لرزش زمین ناشی از انفجار می‌باشد. راستای محل دریافت لرزه نسبت به محل انفجار و جهت انفجار از جمله عامل‌هایی هستند که تاثیر زیادی در لرزه دریافت شده در محل دارند. برای کمینه سازی لرزش زمین در محل‌های مورد نظر باید اثرات این عامل‌ها را بررسی کرد و بهترین حالت را بدست آورد. این کار برای انفجارهای معدن مس سرچشمه کرمان انجام شده است، بدین صورت که تعداد ۱۴ انفجار در این معدن اجرا و لرزش‌های حاصل از آنها توسط ۶ تا ۸ دستگاه لرزه‌نگار ثبت شده است.

در این مطالعه، در ابتدا بر اساس ۱۱ انفجار انجام شده در این معدن که به صورت انفجارهای چند چالی بوده است وضعیت لرزش در نقاط مختلف بررسی شده است. در همین راستا وضعیت توزیع بیشینه سرعت جابجایی ذرات در اطراف هر بلوک انفجاری ترسیم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بر اساس انفجار تک چال و دو انفجار دو چال در این معدن، کار شبیه‌سازی لرزش بر اساس سه الگوی انفجار برای نقاط مختلف اطراف یک بلوک انفجاری انجام شده است و اثر جهت انفجار و راستای محل ثبت لرزش به صورت زمان‌های تاخیر در شبیه‌سازی‌ها لحاظ شده است. در این بررسی، ملاحظه شد که کمترین لرزش مربوط به محلی است که زاویه‌ای در حدود ۱۸۰ تا ۲۲۵ درجه نسبت به سطح آزاد بلوک انفجاری و در جهت خلاف حرکت انفجار دارد.

کلید واژه‌ها: کمینه سازی لرزش انفجار، شبیه سازی لرزش انفجار، جهت حرکت انفجار، راستای ثبت لرزش، بیشینه سرعت ذرات، معدن مس سرچشمه

۱ مقدمه

محل انفجار ممکن است تا اندازه‌ای باشد که به آنها خسارت وارد کند. از طرف دیگر شیب‌های دیواره‌های سنگی اطراف معدن نیز تحت تاثیر این پدیده قرار می‌گیرند که ریزش این شیبها از لحاظ

لرزش زمین ناشی از انفجار به عنوان یکی از اثرهای نامطلوب انفجار که درصد بالایی از انرژی مواد منفجره را به خود اختصاص می‌دهد مطرح است. اثر لرزش بر سازه‌ها و ساختمان‌های اطراف

* دانشکده معدن، مجتمع فنی مهندسی دانشگاه بزد، بزد.
** دانشکده فنی دانشگاه تهران، گروه مهندسی معدن، صندوق پستی ۶۴۵۷-۱۴۱۵۵، تهران.
*** موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵، تهران.

محل ثبت لرزش می باشد که در این مطالعه در مورد معدن مس سرچشمه کرمان انجام شده است. در این مطالعه، این عامل ها به صورت عوامل تاخیری کمی شده اند.

۲ معدن مورد تحقیق

معدن مس سرچشمه بزرگترین معدن مس ایران است که در ۱۶۰ کیلومتری غرب کرمان، ۵۰ کیلومتری جنوب رفسنجان در عرض جغرافیایی 30° شمالی و طول جغرافیایی $56/1^{\circ}$ شرقی قرار دارد. کانسنگ این معدن به صورت مس و مولیبدن پرفیری است که مس بصورت پراکنده و رگه ای یافت می شود. قدیمی ترین سنگ درونگیر این کانسار آندزیت های ائوسن بوده و سنگ معدنی دیگر استوک گرانودیوریتی سرچشمه است. سنگ های باطله، دایک های گرانودیوریتی شامل هورنبلند پرفیری، فلدسپار پرفیری و بیوتیت پرفیری است. سنگ های این معدن به شدت دگرسان شده اند و به طور کلی کانسار مس سرچشمه به سه منطقه اکسید، سوپرژن و هیپوژن تقسیم می شود (مختاری فرد و عرب شاهی، ۱۳۶۴).

این معدن به صورت بیضی با قطر بزرگ حدود ۲۳۰۰ متر و قطر کوچک حدود ۱۲۰۰ متر می باشد. میزان ذخیره این معدن ۱/۲ میلیارد تن می باشد که در روی آن حدود ۳۹ میلیون تن باطله قرار دارد. روش استخراج به صورت پله ای و روباز است که پس از انفجار، مواد و سنگ تولید شده توسط شاول ها و کامیون ها بارگیری و باربری شده و بر حسب نوع سنگ به دمپ باطله، دمپ اکسید یا به سنگ شکن اولیه ریخته می شود. بر اساس طرح

تاخیر در عملیات معدن کاری و نیز هزینه های ثانویه قابل ملاحظه می باشد. این مسایل محققان زیادی را بر آن داشته است تا عوامل موثر بر این پدیده را بررسی کنند و در جهت کمینه کردن آن تحقیقاتی را انجام دهند. به طور نمونه لوپز جیمنو^۱ و همکاران (۱۹۹۵) میزان خرج در هر تاخیر، فاصله از محل انفجار و خرج ویژه، شرایط زمین شناسی و کمیت های هندسی انفجار، جیانگ^۲ و همکاران (۱۹۹۳) و بلیر و جیانگ^۳ (۱۹۹۵) وضعیت و طول خرج و سرعت انفجار، بلیر (۱۹۹۳) و ویلر^۴ (۱۹۸۹) فاصله و ترکیب تاخیر را مورد بررسی قرار داده اند. سینگ و رودنی^۵ (۱۹۹۳) و روی^۶ (۱۹۹۸) تاثیر برخی از این عوامل را به صورت مستقیم یا غیر مستقیم در مدل های ریاضی مورد بررسی قرار داده اند.

از جمله عواملی که به شرایط محل انفجار و موقعیت دریافت لرزش بستگی دارند، جهت انفجار و راستای سازه دریافت کننده لرزش نسبت به محل انفجار می باشند. سینگ و فوکت^۷ (۱۹۹۸) بر روی اثر این دو عامل تحقیقاتی را در معادن سنگ آهک انجام داده اند. بحث روی این عوامل و بررسی تاثیر آنها بر لرزش زمین به ایمن سازی سازه ها و همچنین پایداری شیب های دیواره های سنگی کمک زیادی می کند. بهترین راه برای انجام این بررسی، ثبت لرزش حاصل از انفجارهای مختلف در راستاهای گوناگون می باشد. از طرف دیگر از شبیه سازی لرزش نیز می توان برای انجام این بررسی استفاده نمود.

نکته اصلی در شبیه سازی لرزش برای نقاط مختلف، کمی کردن عوامل جهت انفجار و راستای

1. Lopez Jimeno
3. Blair & Jiang
5. Singh & Rodney
7. Singh and Vogt

2. Jiang
4. Wheeler
6. Roy

L-4C در فواصل مختلف از ۲۳۰ تا ۳۸۶۰ متر از موقعیت انفجارها در جهت‌های مختلف ثبت گردیدند. لرزه‌سنج‌ها در سه جهت قائم، شعاعی و مماسی نصب شده بودند. موقعیت کلیه ایستگاههای لرزه‌نگاری نسبت به بلوک‌های انفجاری و مشخصات انفجارها توسط بخشنده (۱۳۷۸) و پورقاسمی (۱۳۷۹) ارایه شده است. مولفه شعاعی در امتداد موقعیت انفجار به موقعیت لرزه‌سنج و مولفه مماسی عمود بر این امتداد قرار داشت. چند دقیقه قبل و چند دقیقه بعد از هر انفجار لرزه‌نگارها مشغول به ثبت بودند. بسامد نمونه برداری ۱۰۰ نمونه در ثانیه بود که در این مطالعه بعداً با درون‌یابی به ۱۰۰۰ نمونه در ثانیه تبدیل شد.

پردازش لرزه‌نگاشتها توسط نرم‌افزار DADISP در دو مرحله صورت پذیرفت. در مرحله اول محور قائم لرزه‌نگاشتها از شمارش به ولت و سپس به سرعت ذرات بر حسب میلی متر بر ثانیه تبدیل گردید و اثر دستگاه اندازه‌گیری نیز حذف شد. رابطه ۱ ارتباط بین لرزه‌نگاشت قائم و لرزه‌نگاشت اصلاح شده پس از تغییر محور قائم و حذف اثر دستگاه را نشان می‌دهد.

$$y(t) = \frac{25.4}{4 \times 2^{31}} x(t) \quad (1)$$

که در آن $x(t)$ لرزه‌نگاشت خام ثبت شده با محور قائم بر حسب شمارش و $y(t)$ لرزه‌نگاشت پردازش شده با محور قائم بر حسب سرعت (میلی متر بر ثانیه) پس از حذف اثر دستگاه اندازه‌گیری می‌باشد. در مرحله دوم، تحلیل فوریه کلیه لرزه‌نگاشتها به منظور بررسی طیف دامنه آنها در حیطه بسامد صورت پذیرفت. برای این منظور ابتدا

فعلی معدن روزانه حدود ۴۰ هزار تن سنگ معدن با عیار ۱/۱٪ به سنگ شکن اولیه حمل می‌گردد. ارتفاع پله‌ها ۱۲/۵ متر، اضافه حفاری ۲/۵ متر و طول چالها ۱۵ متر می‌باشد. آرایش چالها اکثراً به صورت لوزی است و شبکه‌هایی که به کار می‌رود با توجه به جنس سنگ متفاوت است. عموماً شبکه ۶/۵ متر در ۸/۵ متر برای سنگ‌های سخت (اکثراً باطله)، شبکه ۷ متر در ۹ متر برای سنگ‌های متوسط و شبکه ۷/۵ متر در ۹/۵ متر برای سنگ‌های نرم بکار برده می‌شوند. تعداد چالها در یک انفجار بین ۳۰ تا ۸۰ عدد می‌باشد. قطر چالها اکثراً ۲۲۹ میلی‌متر و ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشند. مواد منفجره مصرفی آنفو، اسولان و دینامیت و فتیله انفجاری می‌باشد. تاخیرهای مصرفی عموماً ۹، ۱۷، ۲۵، ۳۵ و ۶۵ میلی‌ثانیه است. سیستم آتشکاری غیر برقی بوده و برای انفجار از کرتکس استفاده می‌شود. طول اتسداد هر چال حدود ۷ تا ۷/۵ متر و میزان خرج هر چال ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم است (پورقاسمی، ۱۳۷۹).

۳ ثبت و پردازش داده‌های لرزه‌ای

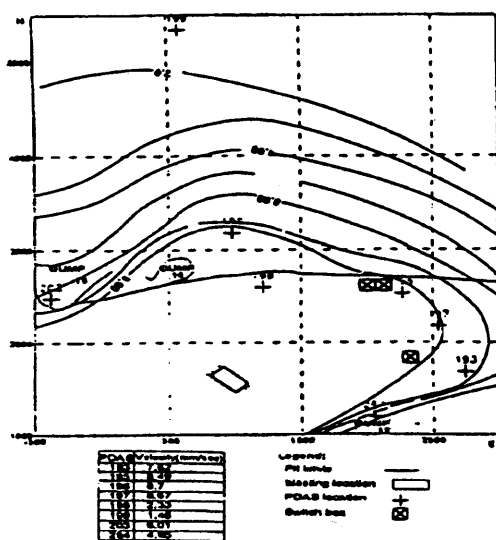
به منظور بررسی لرزش ناشی از انفجارها در معدن مس سرچشمه کرمان، داده‌های حاصل از ۱۴ انفجار در بلوک‌های انفجاری مختلف توسط ۶ تا ۸ دستگاه لرزه‌نگار رقمی سه مولفه از ۷۷/۹/۲۵ لغایت ۷۷/۱۰/۷ توسط موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران ثبت شدند. از ۱۴ انفجار، ۱۱ انفجار با تعداد چالهای زیاد و به صورت چند ردیفی و سه انفجار به صورت تک چال و دو چال بودند (جواهریان و همکاران، ۱۳۷۹).

لرزش حاصل از انفجارها با لرزه‌نگارهای رقمی PDAS-100 و لرزه‌سنج‌های سه مولفه

می دهد. فاصله محل اندازه گیری از مرکز بلوک انفجاری حدود ۱۸۰۰ متر بوده است. این انفجار دارای ۵۳ چال در ۵ ردیف با وزن کل خرج ۲۱۲۰۰ کیلوگرم بوده است (پورقاسمی، ۱۳۷۹).

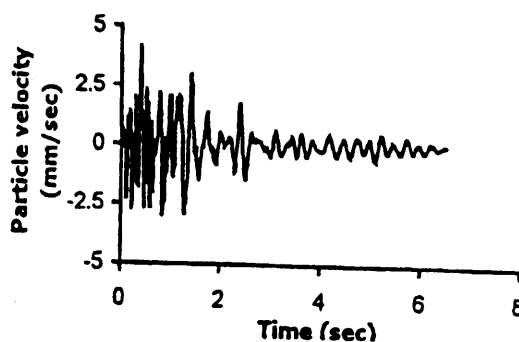
۴ پر بندهای بیشینه سرعت ذرات

به منظور بررسی میزان لرزش انفجارهای معدن مس سرچشمه کرمان در تاسیسات مهم معدن، لرزشهای ثبت شده از ۱۱ انفجار عادی توسط ۸ دستگاه لرزه نگار سه مولفه ای رقمی پس از پردازش مورد تحلیل قرار گرفتند. در مورد هر بلوک انفجار، میزان لرزش بوسیله نقشه هایی که بیانگر بیشینه سرعت ذرات (برآیند مولفه های قائم، شعاعی و مماسی بیشینه سرعت ذرات) رسم گردید. شکل ۲ پر بندهای برآیند بیشینه سرعت ذرات ثبت شده از انفجار شماره ۲۰۰ معدن مس سرچشمه را نشان می دهد (بخشنده، ۱۳۷۸).

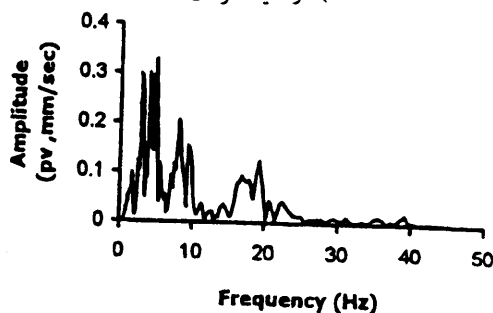


شکل ۲. پر بندهای برآیند بیشینه سرعت ذرات حاصل از انفجار شماره ۲۰۰ معدن مس سرچشمه کرمان، این انفجار دارای ۵۳ چال در ۵ ردیف با تاخیر ۶۵ میلی ثانیه بین هر ردیف با وزن کل خرج ۲۱۲۰۰ کیلوگرم بوده است.

قسمت مربوط به هر انفجار را از لرزه نگاشت پردازش شده مربوطه جدا نموده سپس طیف دامنه آن محاسبه گردید. از آنجا که لرزش انفجار دارای بسامدهای مختلف است و نمی توان تمام آنها را به عنوان معیار و شاخص یک لرزش معرفی کرد، بنابراین محققین در زمینه بررسی لرزش انفجارها سعی می نمایند تا بسامدی که بیشترین دامنه را دارد به عنوان شاخص و بسامد غالب در نظر گیرند که در این مطالعه هم بدین صورت عمل شده است. به عنوان نمونه، شکل ۱ مولفه شعاعی قسمت انفجار لرزه نگاشت ثبت شده توسط دستگاه PDAS-100 به شماره ۱۹۳ مربوط به انفجار شماره ۲۰۰ معدن مس سرچشمه کرمان به همراه طیف دامنه آنرا نشان



الف) در حیطه زمان



ب) در حیطه بسامد

شکل ۱. مولفه شعاعی قسمت انفجار لرزه نگاشت ثبت شده توسط دستگاه PDAS-100 به شماره ۱۹۳ در انفجار شماره ۲۰۰ معدن مس سرچشمه کرمان.

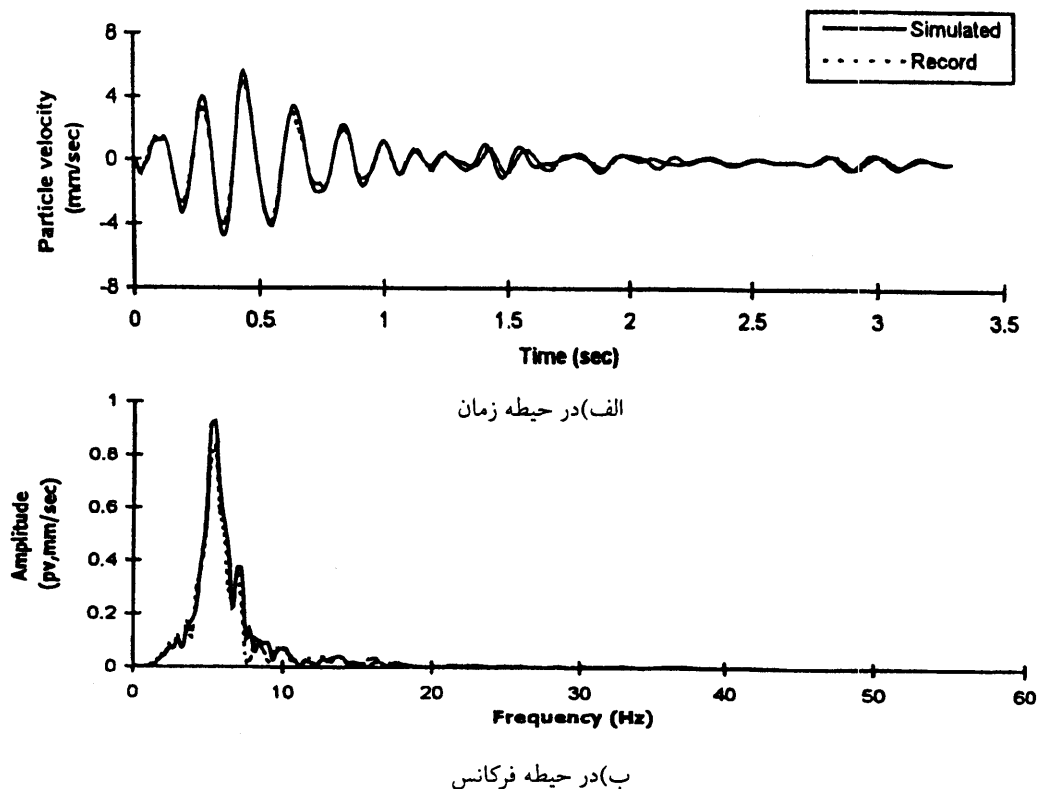
۵ شبیه سازی لرزش ناشی از انفجار

یکی از روشهای بررسی و تحلیل لرزش زمین ناشی از انفجار، شبیه سازی لرزش می باشد که این روش توسط محققین مختلف از جمله فلیس^۱ (۱۹۹۳) و هایزن^۲ (۱۹۸۸) مورد بررسی قرار گرفته است. البته اصول شبیه سازی در اکثر بررسیها یکسان می باشد و بر اساس همامیخت نمودن لرزه نگاشت تک چال با سری زمانی معادل الگوی انفجاری انجام می شود.

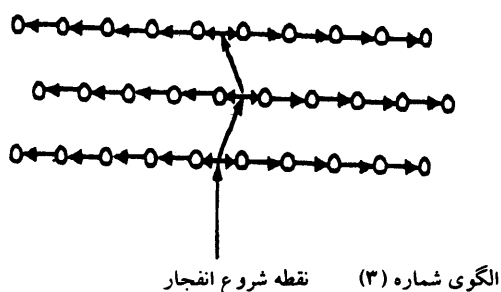
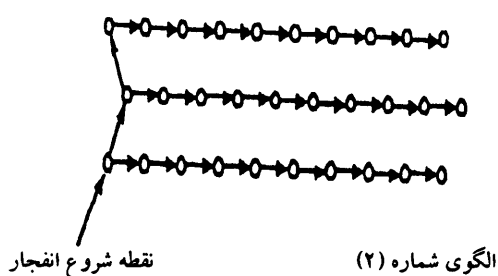
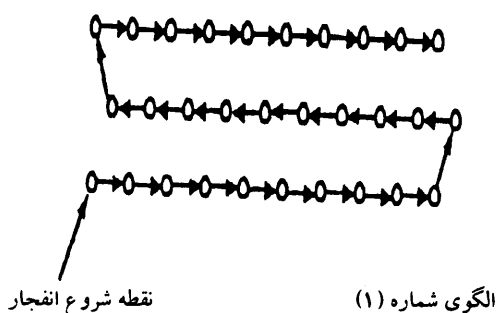
بر اساس لرزه نگاشتهای ثبت شده از انفجار تک چال در معدن مس سرچشمه کرمان کار شبیه سازی لرزش انجام شد. در ابتدا برای بررسی صحت و دقت شبیه سازی بر اساس لرزه نگاشتهای

تک چال، دو انفجار دو چالی با تاخیر ۲۵ و ۶۵ میلی ثانیه با استفاده از روش همامیخت نمودن لرزه نگاشت تک چال با سری زمانی معادل دو چال شبیه سازی شد. نتایج این شبیه سازی با نتایج واقعی ثبت شده برای انفجارهای دو چال مقابله شد که از این مقایسه صحت و دقت شبیه سازی تایید شد. در شکل ۳ یک نمونه از این مقایسه ها که در دو حیطه زمان و بسامد بر اساس مولفه قائم لرزه نگاشت تک چال ثبت شده توسط لرزه نگار شماره ۱۹۳ نشان داده شده است.

پس از تایید صحت شبیه سازی، لرزش حاصل از انفجارهای دو چالی برای تاخیرهای مختلف شبیه سازی شد که از جمله نتایج مهم این بررسی



شکل ۳. مقایسه مولفه قائم لرزه نگاشت شبیه سازی شده انفجار ۲ چال با تاخیر ۲۵ میلی ثانیه با مولفه قائم لرزه نگاشت حاصل از انفجار ۲ چال با تاخیر ۲۵ میلی ثانیه در بلوک انفجاری شماره ۸۱ معدن مس سرچشمه کرمان ثبت شده توسط دستگاه لرزه نگار شماره



○ چال انفجاری
 → جهت حرکت انفجار

شکل ۴. سه الگوی انفجاری مختلف که شبیه‌سازی لرزه‌نگاشت‌های حاصل از انفجارهای چند ردیفی با تاخیرهای مختلف روی آنها انجام شده است. در این الگوها فرض شده است که فاصله بین چالها در هر ردیف ۹/۵ متر و فاصله دو ردیف ۷/۵ متر و میزان خرج در هر چال ۳۵۰ کیلوگرم، طول چال ۱۵ متر و قطر چال ۲۲۹ میلی متر (شرایط مربوط انفجار تک چال) بوده است.

تعیین تاخیر بهینه در انفجارهای دو چالی بود که این تاخیر بین ۷۰ تا ۹۰ میلی ثانیه مشخص شد. در ادامه کار، شبیه‌سازی برای انفجارهای تک ردیفی با تعداد ۵، ۱۰ و ۵۰ چال انجام شد که در نتیجه مشخص شد که تاخیر بهینه در انفجارهای تک ردیفی بین ۳۰ تا ۵۰ میلی ثانیه قرار دارد. همچنین ملاحظه شد که تاخیر بهینه با افزایش تعداد چال کاهش می‌یابد و بعد از یک تاخیر معین که در این مطالعه حدود ۴۰ میلی ثانیه بود نوسانات برآیند بیشینه سرعت ذرات مربوط به انفجارهای ۵، ۱۰ و ۵۰ چال به صورت هماهنگ تغییر می‌کند. در پایان بر اساس سه الگوی انفجاری مختلف در شکل ۴ کار شبیه‌سازی برای انفجارهای چند ردیفی انجام شد. با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازیهای چند ردیفی ملاحظه شد که در الگوی شماره یک مساوی شدن تاخیرهای بین چالی و بین ردیفی باعث کاهش لرزش و در الگوهای دو و سه باعث افزایش لرزش می‌شود. همچنین ملاحظه شد که تاخیر بهینه در این انفجارها بین ۳۰ تا ۴۰ میلی ثانیه قرار دارد.

۶ کمینه سازی لرزش انفجار

یکی از عواملی که تاثیر زیادی بر میزان لرزش در یک نقطه در اطراف بلوک انفجار دارد زاویه محل ثبت لرزش نسبت به محل انفجار است. هر چند تاثیر این کمیت زیاد است ولی نمی‌توان آنرا به صورت مستقیم در نتایج لرزش تاثیر داد. به عبارتی نمی‌توان مستقیماً آنرا به صورت یک مقدار کمی در روابط پیش‌بینی لرزش استفاده کرد. بدین علت برای بررسی اثر این عامل باید آنرا به عاملهای کمی دیگر تبدیل کرد. یکی از عوامل کمی که تاثیر پذیری زیادی در این مورد دارد زمان تاخیر موثر یا واقعی

چال به چال دیگر استفاده می‌شود. فتیله انفجاری دارای سرعتی بین ۶۵۰۰ تا ۷۰۰۰ متر بر ثانیه است. با توجه به فاصله بین چالها در یک ردیف و فاصله بین ردیفها در یک بلوک انفجار ملاحظه می‌شود که انتقال انفجار بوسیله فتیله انفجاری باعث ایجاد تاخیر انفجار بین دو چال می‌شود که در صورت زیاد شدن تعداد چالها مقدار تاخیر بین چالهای مختلف افزایش می‌یابد و به مقادیری می‌رسد که بطور موثر بر نتایج انفجار تاثیر می‌گذارد. مقادیر تاخیر حاصل از سرعت انتقال انفجار مربوط به هر چال به ترتیب توالی انفجار بستگی دارد.

بر اساس سه الگوی انفجار شکل ۴ و با در نظر گرفتن سرعت انفجار فتیله انفجاری برابر ۶۵۰۰ متر بر ثانیه میزان تاخیر ناشی از سرعت انتقال انفجار برای انفجاری با ۵۰ چال در ۵ ردیف ۱۰ چالی محاسبه شد که در شکل ۵ آورده شده است. در این شکل ملاحظه می‌شود که در انفجار الگوی شماره ۱ مقدار تاخیر ناشی از انتقال انفجار بین اولین چال و آخرین چال حدود ۶۰ میلی ثانیه است که رقم قابل توجهی است.

۲.۱.۶ تاخیر ناشی از سرعت انتشار امواج لرزه‌ای عامل دیگری که در میزان تاخیر انفجار بین چالها تاثیر دارد تاخیر ناشی از سرعت انتشار امواج لرزه‌ای است. این تاخیر بر اساس اختلاف فاصله دو چال از نقطه ثبت لرزش می‌باشد که این اختلاف فاصله در اثر تغییر در زاویه قرارگیری محل ثبت لرزش نسبت به بلوک انفجاری تغییر می‌کند. به دلیل پایین‌تر بودن سرعت انتشار امواج لرزه‌ای نسبت به سرعت انتقال انفجار در فتیله‌های

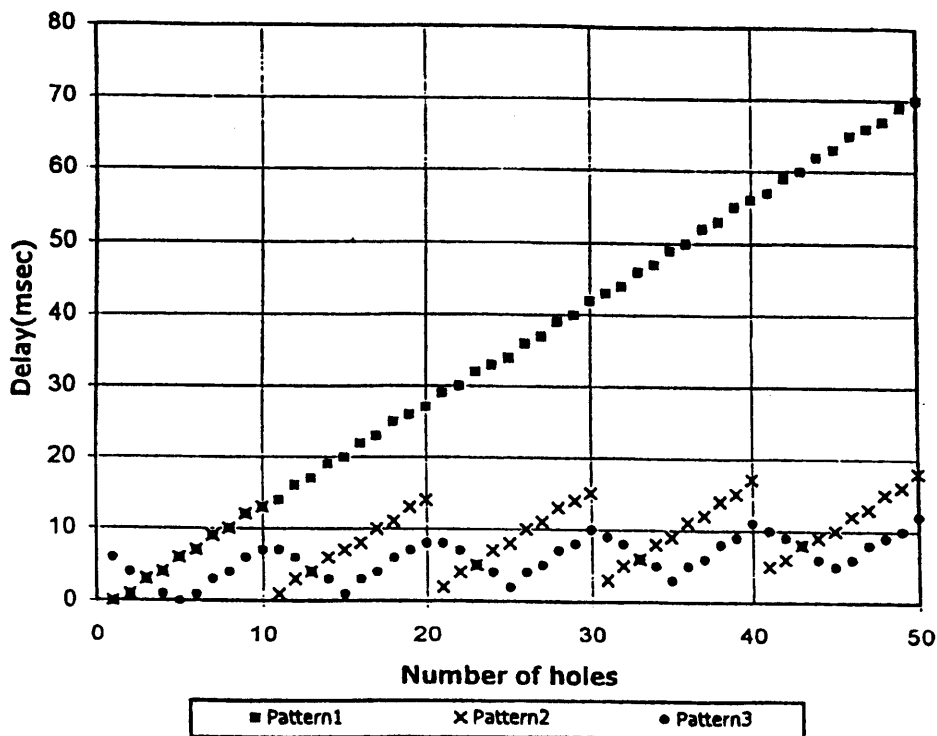
در امتداد محل ثبت لرزش و محل انفجار است. بنابراین می‌توان اثر زاویه سمت ثبت لرزش را بصورت تغییرات در تاخیر بین چالها نشان داد و با استفاده از این روش تغییر در لرزش را با توجه به تغییر زاویه سمت ثبت لرزش محاسبه کرد. به طور کلی با تغییر زاویه سمت ثبت لرزش دو نوع تاخیر مطرح می‌شود که این دو تاخیر به مقدار اسمی تاخیر اضافه می‌شوند. البته در بعضی حالات این دو نوع تاخیر ایجاد شده از تغییر زاویه سمت ثبت لرزش به صورت یک عدد منفی ظاهر می‌شوند که باعث کاهش تاخیر اسمی می‌شوند. این دو نوع تاخیر عبارتند از تاخیر ناشی از انتقال انفجار از یک چال به چال دیگر بوسیله فتیله انفجاری و تاخیر ناشی از زمان انتشار امواج لرزه‌ای از یک چال به چال دیگر که به اختصار درباره آنها بحث می‌شود.

۱.۶ تاثیر تاخیر

از آنجاییکه لرزش ناشی از انفجار چند چال بر اساس تداخل و ترکیب امواج حاصله از انفجار هر کدام از چالها ایجاد می‌شود و این تداخل و ترکیب تحت تاثیر کمیت‌های سوثری چون زمان تاخیر قرار دارد یکی از راههای کمینه‌سازی لرزش بررسی اثر تاخیر در ایجاد تداخل‌های مخرب بین امواج حاصل از هر چال می‌باشد. در این زمینه جرجویک^۱ (۱۹۹۷) تحقیقاتی را انجام داده است.

۱.۱.۶ تاخیر ناشی از انتقال انفجار

آتشکاری در معادن فلزی روباز مانند مس سرچشمه اکثرا بطریق غیر برقی انجام می‌شود. در انفجارهای معدن مس سرچشمه از فتیله انفجاری به عنوان عامل انتقال دهنده انفجار از یک



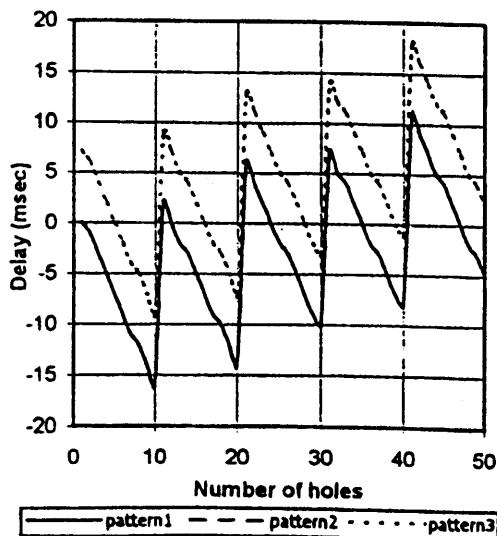
شکل ۵. تاخیر ناشی از سرعت انتقال انفجار توسط فیتله انفجاری از یک چال به چال دیگر برای سه الگوی انفجاری شکل ۴ که شبیه‌سازی در مورد آنها انجام شده است.

جدول ۱. نتایج اندازه‌گیری سرعت انتشار امواج لرزه‌ای و چگالی نمونه‌های سنگ معدن مس سرچشمه.

چگالی (t/m^3)	سرعت موج برشی (m/sec)	سرعت موج فشاری (m/sec)	جنس سنگ
۲/۶۷	۲۴۳۰	۵۳۰۰	آندزیت
۲/۷۴	۲۰۸۰	۴۰۴۰	دایک
۲/۲۶	۱۳۶۰	۲۴۴۰	سرچشمه پرفیری-۱
۲/۱۵	۷۷۰	۱۵۶۰	سرچشمه پرفیری-۲

حالتها به صورت منفی ظاهر می‌شود. برای محاسبه تاخیر ناشی از سرعت انتشار امواج ۴ نمونه سنگ از جنسهای سنگ باطله و کانسنگ معدن مس سرچشمه کرمان در آزمایشگاه فیزیک سنگ موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران مورد آزمایش قرار گرفت و سرعت امواج تراکمی و

انفجاری، مقدار تاخیر ناشی از سرعت انتشار امواج لرزه‌ای از مقدار تاخیر ناشی از سرعت انفجار بیشتر است. یکی دیگر از تفاوت‌های عمده این دو نوع تاخیر این است که تاخیر ناشی از سرعت انفجار در هر حالتی مثبت است ولی تاخیر ناشی از سرعت انتشار امواج لرزه‌ای در برخی



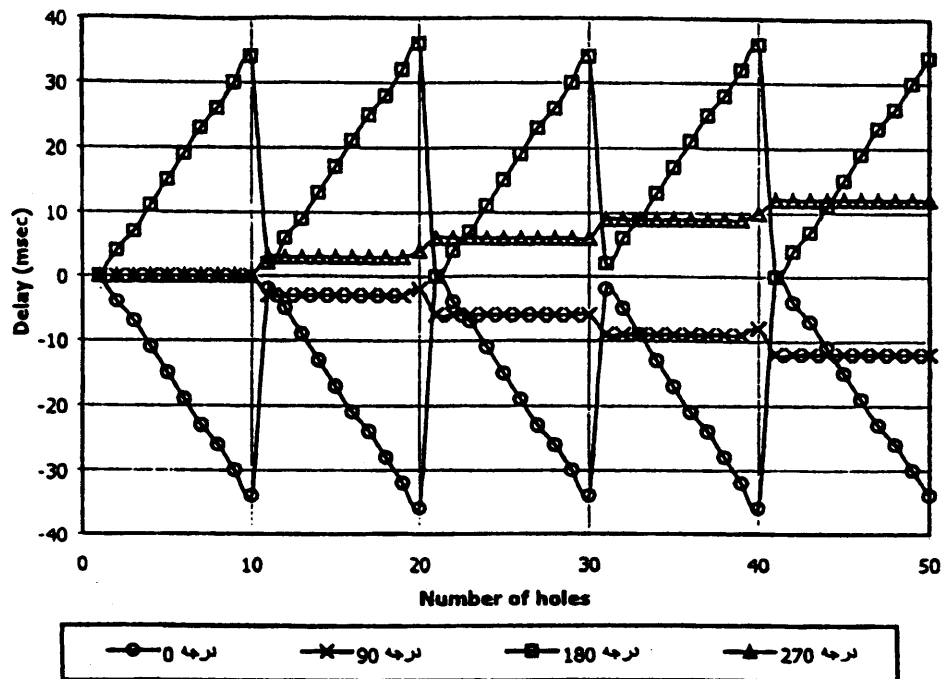
شکل ۶. تاخیر ناشی از سرعت انتشار امواج لرزه‌ای در رسیدن آنها به محل ثبت لرزه برای سه الگوی انفجاری شکل ۴ که شبیه‌سازی در مورد آنها انجام شده است (نتایج مربوط به دو الگوی ۱ و ۲ با هم برابرند). محل ثبت لرزش در فاصله ۱۲۰۰ متری جلوی سطح آزاد بلوک انفجاری قرار دارد.

نمونه‌ای از این تغییرات را برای نقطه‌ای که در فاصله ۶۴۰ متری از بلوک انفجاری مربوط به الگوی شماره ۲ شکل ۴ قرار دارد نشان می‌دهد. در این شکل مجموع تغییرات تاخیر برای زوایای صفر تا 360° با اختلاف 90° نشان داده شده است. به وسیله شبیه‌سازی لرزش می‌توان اثر تغییرات زاویه را بر روی بیشینه سرعت ذرات نیز بدست آورد و بدین ترتیب اثر موقعیت محل ثبت لرزش را روی لرزش بررسی کرد. بدین منظور مقادیر برآیند بیشینه سرعت ذرات بر اساس تغییرات زاویه محل ثبت نسبت به محل انفجار به وسیله شبیه‌سازی بدست آمد. شکل ۸ نمونه‌ای از تغییرات برآیند بیشینه سرعت ذرات مربوط به محل ثبتی در فاصله ۶۴۰ متری از محل انفجار را برای زوایای صفر تا 360° با اختلاف 45° نشان

برشی و چگالی آنها اندازه‌گیری شد. جدول ۱ این نتایج را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۱ ملاحظه می‌شود که سرعت امواج لرزه‌ای در کانسنگهای معدن پایین است که دلیل آن آلتراسیون بالای این نوع سنگها است. با توجه به اینکه در بلوکهای انفجاری مورد مطالعه از این نوع سنگها وجود دارد همچنین به دلیل اینکه در محاسبه این نوع تاخیر باید از یک سرعت انتشار موج استفاده شود مقدار میانگین سرعتهای تراکمی اندازه‌گیری شده برابر 2500 متر بر ثانیه می‌باشد. بر اساس این سرعت مقدار تاخیر ناشی از سرعت انتشار امواج لرزه‌ای برای سه الگوی شکل ۴ محاسبه گردید که نمونه‌ای از این نتایج که برای یک نقطه ثبت در جلوی بلوک انفجاری در فاصله 1200 متری از محل انفجار می‌باشد در شکل ۶ ارایه شده است. همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود نتایج مربوط به دو الگوی شماره ۱ و ۲ با هم برابرند که دلیل آن یکسان بودن نقطه شروع انفجار و موقعیت چالها در این دو الگو می‌باشد.

۲.۶ تاثیر راستای محل ثبت لرزش

با توجه به مسایل و مباحثی که پیرامون تاخیرهای ناشی از سرعت انتقال انفجار در فاصله انفجاری و سرعت انتشار امواج لرزه‌ای عنوان شد ملاحظه گردید که تغییرات موقعیت محل ثبت لرزش از نظر زاویه محل ثبت نسبت به سطح آزاد بلوک انفجاری، تغییراتی را در تاخیر موثر ایجاد می‌کند. حال اگر یک محل ثبت لرزش با فاصله ثابت از محل انفجار در زوایای مختلف نسبت به بلوک انفجاری قرار گیرد می‌توان نتایج حاصل از این تغییر زاویه را به صورت تغییر در تاخیرهای هر چال موجود در بلوک انفجاری نمایش داد. شکل ۷

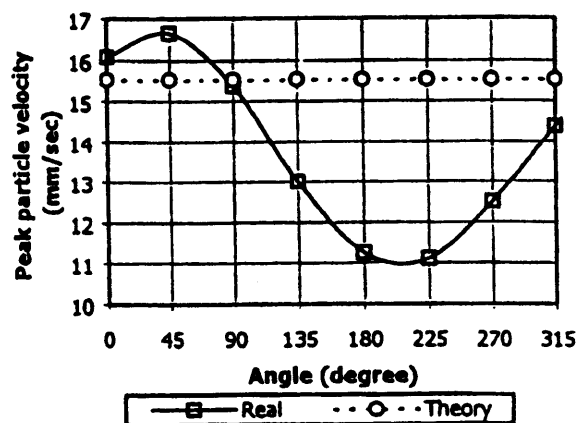


شکل ۷. تاخیر ناشی از زاویه قرارگیری محل ثبت لرزش نسبت به بلوک انفجاری برای الگوهای شماره یک و دو شکل ۴. زاویه محل ثبت نسبت به راستای سطح آزاد و در جهت پادساعتگرد در نظر گرفته شده است.

می‌دهد. این شکل مربوط به الگوی شماره ۲ شکل ۴ است. همچنین مقدار برآیند بیشینه سرعت ذرات برای حالتی که اثر زاویه محل ثبت نسبت به محل انفجار در نظر گرفته نشده است نیز برای مقایسه آورده شده است. با ملاحظه شکل ۸ نتیجه‌گیری می‌شود که بیشترین لرزش در زاویه 45° اتفاق افتاده است که مربوط به نقاط پشت بلوک انفجار است. از طرفی کمترین مقدار لرزش مربوط بین 180° تا 225° می‌باشد که در قسمت جلوی بلوک انفجار و در جهت خلاف حرکت انفجار می‌باشد.

۳.۶ تاثیر جهت انفجار

اثر جهت انفجار که خود بستگی به نقطه شروع انفجار نیز دارد به صورت کاهش یا افزایش تاخیر



شکل ۸. نتایج حاصل از تاثیر زاویه قرارگیری محل ثبت لرزش نسبت به محل انفجار بر روی برآیند بیشینه سرعت ذرات ناشی از انفجار طبق الگوی شماره ۲ شکل ۴. فاصله محل ثبت از محل انفجار ۶۴۰ متر و زاویه قرارگیری محل ثبت نسبت به راستای سطح آزاد بلوک انفجاری و در جهت پادساعتگرد در نظر گرفته شده است.

بین چالها ظاهر می شود. به عبارت دیگر با در نظر گرفتن یک ردیف چال انفجاری اگر نقطه ثبت در طرف مقابل نقطه شروع و در جهت انفجار قرار گرفته باشد با شروع انفجار یک فاصله تاخیری منفی بین چالها ایجاد می شود. این فاصله تاخیر منفی را بدینصورت می توان بیان کرد که در اثر تاخیر ناشی از انتقال انفجار از یک چال به چال دیگر و همچنین اثر تاخیر ناشی از انتشار امواج لرزه‌ای، رسیدن انفجار از یک چال به چال بعدی و رسیدن امواج لرزه‌ای حاصل از آنها به محل ثبت باعث می شود تا تاخیر موثر بین چال اول و دوم کاهش یابد و این کاهش تاخیر باعث تداخل سازنده امواج می شود. در اثر این پدیده لرزش ایجاد شده در محل ثبت زیاد می شود. ولی اگر نقطه ثبت لرزش در طرف نقطه شروع و در خلاف جهت حرکت انفجار باشد تاخیر ناشی از انتقال انفجار و انتشار امواج لرزه‌ای باعث می شود تا بین امواج دریافت شده از چال اول و دوم یک فاصله تاخیری مثبت ایجاد شود و به مقدار اسمی تاخیر بین آنها اضافه شود. این افزایش تاخیر باعث می شود تا تداخل مخرب بین امواج ایجاد شود و لرزش در نقطه ثبت کاهش یابد.

۷ نتیجه گیری

باتوجه به نتایج لرزه‌ای ثبت شده از انفجارهای چند چالی و همچنین نتایج حاصل از شبیه سازی لرزش در اطراف بلوک انفجاری نتایج زیر بدست آمد.

(۱) بیشترین میزان لرزش مربوط به قسمت پشت بلوک انفجاری است. نقاط واقع شده در دو طرف بلوک انفجاری بسته به نقطه شروع و جهت انفجار، آنکه در طرف مقابل نقطه انفجار قرار دارد

بیشترین لرزش را متحمل می شود.

(۲) بهترین الگوی انفجار برای کنترل بیشتر لرزش در یک جهت خاص بصورتی است که در آن، انفجار در تمام ردیفها به یک جهت باشد و بصورت رفت و برگشت در ردیفهای متوالی نباشد. (۳) نتایج حاصل از شبیه سازی لرزه نگاشتها نشان می دهد، در اطراف بلوک انفجاری، منطقه‌ای که در زاویه ۱۸۰ تا ۲۲۵ درجه نسبت به سطح آزاد بلوک و در جهت خلاف حرکت انفجار قرار دارد ایمن ترین محل از نظر لرزش می باشد.

(۴) با توجه به این نکته که بسامد لرزش نیز یکی از عوامل موثر در لرزش یک سازه می باشد و از آنجاییکه زوایا و موقعیتهای مختلف در اطراف بلوک انفجاری اثر کمی بر مقدار بسامد یک لرزش دارد نتیجه می شود که باید بر روی تاثیر جهت انفجار و راستای محل انفجار بر حداکثر سرعت ذرات دقت کرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله در قالب طرح پژوهشی مصوب شماره ۶۵۱/۱/۳۶۵ تحت عنوان «بررسی اثرات انفجارهای معادن روباز بر سازه‌های اطراف با استفاده از روش لرزه‌ای و بهینه سازی الگوی آتشکاری» با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است. بدینوسیله از شورای پژوهشی دانشگاه تهران، موسسه ژئوفیزیک و گروه فیزیک زمین قدردانی می نماید. از بخش زلزله شناسی موسسه ژئوفیزیک به لحاظ در اختیار قرار دادن دستگاههای لرزه نگاری جهت ثبت انفجارهای معدن مس سرچشمه کرمان تشکر می نماید. از مدیریت محترم معدن مس سرچشمه کرمان، آقای مهندس شریفیان، به لحاظ همکاری

- Blair, D. P., 1993, Blast vibration control in the presence of delay scatter and random fluctuations between blast holes: *Int. J. Num. Anal. Math. in Geomech.*, **17**, 95-118.
- Blair, D. P., and Jiang, J. J., 1995, Surface vibration due to a vertical column of explosive: *Int. J. Rock Mech. Min. Sci and Geomech.*, **32**, 149-154.
- Djordjevic, N., 1997, Minimizing the environmental impact of blast vibration: *Mining Engineering*, **49**, 57-61.
- Felice, J.J., 1993, Application of modelling to reduce vibration and airblast levels: *Proc. 4th Int. Symp. Rock Fragmentation by Blasting*, Vienna, Austria, 5-8 July 1993, edited by Rossmanith, H. P., A. A. Balkema, Rooterdam Bookfield.
- Hinzen, K. G., 1998, Modelling of blast vibrations: *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.*, **25**, 439-445.
- Jiang, J., Baird, G. R., and Blair, D. P., 1993, Surface vibrations due to a buried explosive source: *Proc. 4th Int. Symp. Rock Fragmentation by Blasting*, Vienna, Austria, 5-8 July 1993, edited by Rossmanith, H.P., A.A. Balkema, Rooterdam Bookfield.
- Lopez Jimeno, C., Lopez Jimeno, E., and Carcedo, A.J.F., translated by de Ramiro, Y.V., 1995, *Drilling and*

صمیمانه در امکان ثبت انفجارها و در اختیار قرار دادن گزارشهای فنی و نمونه‌های سنگ تشکر می‌شود. از آقایان حمید منصوری، احمد سدیدخوی و بابک کردبچه که در ثبت لرزه‌نگاشتها شرکت داشته و از آقای دکتر مجید نبی‌بدهندی که در تعیین سرعت امواج تراکمی و برشی و چگالی نمونه‌های سنگ معدن مس سرچشمه کرمان در آزمایشگاه فیزیک سنگ موسسه ژئوفیزیک همکاری صمیمانه نموده‌اند قدردانی می‌نماید.

منابع

- بخشنده، ح.، ۱۳۷۸، پیش‌بینی اثرات ناشی از انفجار معادن روباز بر سازه‌های سطحی مجاور (بررسی موردی معدن مس سرچشمه کرمان): پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- پورقاسمی، م.، ۱۳۷۹، شبیه‌سازی لرزش زمین ناشی از انفجار و بررسی اثرات تاخیر بر لرزش در معدن مس سرچشمه کرمان: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- جواهریان، ع.، اصائلو، م.، حسینی، م.ف.، بخشنده، ح.، پورقاسمی‌ساغند، م.، سدیدخوی، ا. و جوادی، ف.، ۱۳۷۹، بررسی اثرات انفجارهای معادن روباز بر سازه‌های اطراف با استفاده از روش لرزه‌ای و بهینه‌سازی الگوی آتشکاری: گزارش‌نهایی طرح پژوهشی مصوب دانشگاه تهران به شماره ۶۵۱/۱/۳۶۵.
- مختاری‌فرد، ا.، و عرب‌شاهی، م.، ۱۳۶۴، فلز خون‌رنگ پربها در افق تمدن، تکنولوژی و علوم: گزارش فنی معدن مس سرچشمه کرمان.

- blasting of rocks, A.A. Balkema, Rooterdam Bookfield.
- Roy, P.P., 1998, Characteristics of ground vibrations and structural response to surface and underground blasting: Geotechnical and Geological Engineering, **16**, 151-166.
- Singh. S.P., and Rodney, D. L., 1993, Prediction and measurements of blast vibrations: Int. J. of Surface Mining Reclamation and Environment, **7**, 149-154.
- Singh, S.P., and Vogt, W., 1998, Effect of direction of initiation on ground vibration: Int. J. of Surface Mining Reclamation and Environment, **12**, 75-78.
- Wheeler, R.M., 1989, How millisecond delay periods may enhance or reduce blast vibration effects: Mining Engineering, **40**, 969-973.