

بررسی روابط تجربی پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات در انفجارهای معدن سنگ آهن گل‌گهر

عبدالرحیم جواهریان* و حسن بخشنده‌امینه**

*موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵.

**دانشجوی دکتری استخراج معدن - دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

چکیده

مقادیر لرزش مجاز بر اساس شاخص‌ها و روابط تجربی مختلف برای پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات توسط محققین ارائه شده است. هر کدام از این روابط با توجه به شرایط و خصوصیات زمین‌شناسی برای همان منطقه کاربرد دارد. در این مقاله مهم‌ترین روابط تجربی پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات ناشی از انفجار بر روی سازه‌های اطراف در معدن سنگ آهن گل‌گهر بررسی شده است. در این تحقیق ۱۱ نگاشت سه مؤلفه‌ای از ۲ انفجار توسط لرزه‌نگارهای PDAS-100 ثبت شده‌اند. پس از پردازش و تحلیل اطلاعات ثبت شده رابطه مناسب برای پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات به دست آمد. رابطه ارائه شده از نوع توانی و بر اساس ریشه دوم فاصله مقیاس شده است.

کلیدواژه: حداکثر سرعت ذرات، معدن سنگ آهن گل‌گهر، لرزش مجاز

۱ مقدمه

انفجار از مراحل اصلی عملیات معدنکاری است و در بسیاری از فعالیت‌های مهندسی معدن به دلیل اقتصادی بودن، هزینه‌های سرمایه‌گذاری پایین و سهولت کاربرد آن به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مواد منفجره به دلیل آزاد کردن سریع انرژی دارای راندمان بسیار بالا در خرد نمودن و جابه‌جایی توده سنگ دارند. اما بخش زیادی از انرژی مفید آنها به شکل لرزش زمین در ناحیه کنشسان که بلافاصله بعد از منطقه خرد شده قرار دارد از بین می‌رود. این لرزش‌ها می‌توانند منبع اصلی نگرانی‌های زیست محیطی باشند و در صورتی که بیشتر از حد استاندارد باشند عامل ایجاد خسارت به ساختمان‌های اطراف معدن خواهند بود (جیمینو و همکاران، ۱۹۹۵).

مهم‌ترین معیار برای ارزیابی و پیش‌بینی میزان خسارت ناشی از لرزش حاصل از انفجار زمین، حداکثر سرعت ذرات است. مقادیر لرزش و روابط تجربی مختلف برای پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات توسط محققین ارائه شده است که هر کدام با توجه به شرایط و خصوصیات زمین‌شناسی برای همان منطقه خاص کاربرد

دارد. تحقیقات جدی در این زمینه در سال ۱۹۳۰ توسط اداره معادن امریکا شروع شد که نتیجه اولین تحقیقات آنها در سال ۱۹۴۲ منتشر شد (کنیا و والتر، ۱۹۸۵). محققینی مانند بلیر و دووال (۱۹۵۴)، دووال و پتکف (۱۹۵۹)، کیلستروم، لانگ فورس و وستبرگ (۱۹۵۸) روی سرعت ذرات حاصل از انفجار تحقیق نموده‌اند (جیمینو و همکاران، ۱۹۹۵). این محققین شدت ارتعاشات را به فاصله محل اندازه‌گیری تا محل انفجار و مقدار ماده منفجره مصرفی در هر تأخیر که از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر حداکثر سرعت ذرات است، ارتباط دادند. معیار عملی برای پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات، فاصله مقیاس شده است و آن عبارت از نسبت فاصله محل اندازه‌گیری از مرکز بلوک انفجار به ریشه‌های دوم و سوم حداکثر وزن ماده منفجره مصرفی به ازای هر تأخیر است. روی (۱۹۹۸) روابطی را با توجه به نوع فعالیت معدنی روباز و زیرزمینی و تأثیرات آنها روی سازه‌های سطحی ارائه نمود. در این مقاله، بر اساس لرزش‌های ثبت شده از ۲ انفجار در معدن سنگ آهن گل‌گهر، مهم‌ترین روابط تجربی پیش‌بینی

حداکثر سرعت ذرات بر اساس شرایط این معدن بررسی شدند.

۲ عوامل مؤثر بر فرایند لرزش زمین

عامل‌هایی که بر نتایج یک انفجار تأثیر می‌گذارند بر فرایند لرزش زمین در یک منطقه نیز تأثیر می‌گذارند. این عامل‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند: گروه اول عامل‌هایی مانند فاصله ردیف چال‌ها، فاصله چال‌ها در یک ردیف، اضافه حفاری، انسداد، زمان تأخیر، وزن ماده منفجره مصرفی به ازای هر تأخیر و جهت انفجار است که فاکتورهایی قابل کنترل هستند. گروه دوم عامل‌هایی مانند خصوصیات زمین‌شناسی، موقعیت سازه از محل انفجار است که فاکتورهای غیر قابل کنترل هستند (وگت و ابراک، ۱۹۹۳).

۳ معدن سنگ آهن گل‌گهر

مجموعه معادن گل‌گهر در استان کرمان و در ۵۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان سیرجان واقع شده است. منطقه یاد شده با ارتفاع متوسط ۱۷۵۰ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی سالانه ۱۲۰ میلی‌متر دارای آب و هوای نسبتاً کویری است. معادن ششگانه سنگ آهن گل‌گهر که با شماره‌های یک تا شش نامگذاری شده‌اند مطابق برآوردهای ژئوفیزیکی، جمعاً ۱۱۳۵ میلیون تن ذخیره سنگ آهن دارند که از این شش توده، معادن یک و دو مورد اکتشافات تفصیلی قرار گرفته و ذخیره آنها به ترتیب ۱۸۵ و ۴۰ میلیون تن محاسبه شده است. بر اساس مطالعات زمین‌شناسی و استفاده از توده سنگ آهن شماره یک و با در نظر گرفتن نتایج کانه‌آرایی، معدن مذکور به طریقه روباز و با روش معدن‌کاری انتخابی طراحی شده که بر طبق آن می‌توان ۱۴۵ میلیون تن سنگ آهن برای تهیه کنسانتره مناسب به روش احیای مستقیم (دارای آهن بیش از ۶۸٪، گوگرد کمتر از ۰/۴٪ و فسفر کمتر از ۰/۰۴٪) استخراج نمود. منطقه کانی‌سازی شده سنگ آهن در کانسارهای گل‌گهر در امتداد جنوب شرقی فرورفتگی گاوخونی واقع شده است. به‌طور کلی منطقه معرف منطقه‌ای دگرگونی، حاوی فیلیت، شیست، آمفیبولیت، گنایس، مرمر و

دیگر سنگ‌های مخصوص مناطق دگرگونی است.

بر اساس طرح زمان‌بندی، در حال حاضر محصول این مجتمع سالانه معادل ۲/۵ میلیون تن کنسانتره سنگ آهن با عیار ۶۸٪ است. به این منظور حفاری چال‌های انفجاری در این معدن با دستگاه‌های حفاری JINGERSOLL-RAND DMH XL 1800 صورت می‌گیرد. به‌وسیله این دستگاه‌ها چال‌های انفجار با قطر ۲۵۰ میلی‌متر و به عمق ۱۷/۵ متر زده می‌شود. فواصل چال‌ها بر حسب جنس سنگ ۵/۵×۵/۵ متر، ۶×۶ متر و ۹×۹ متر زده می‌شود. اضافه حفاری برابر ۲/۵ متر و طول انسداد، بسته به جنس سنگ از ۵/۵ تا ۸ متر و با استفاده از خرده‌های حفاری صورت می‌گیرد. نوع ماده منفجره مصرفی آنفو و دینامیت است. پرایمر همان دینامیت است و از بوسترهای یک پوندی نیز استفاده می‌کنند که بسته به نوع و روش انفجار، میزان مصرف هر کدام تغییر می‌کند. روش بهره‌برداری در این معدن به گونه‌ای است که پس از هر انفجار کامیون‌های ۷۷ تنی با شاول‌های ۷/۶ متر مکعب و ۹/۲ متر مکعب بارگیری می‌شوند و بر حسب نوع سنگ به دمپ‌های مورد نظر فرستاده می‌شود.

۴ روش انجام کار

برای تعیین رابطه کلی پیش‌بینی برآیند حداکثر سرعت ذرات در معدن سنگ آهن گل‌گهر، انجام مراحل مختلف مندرج در شکل ۱ ضروری است.

۱-۴ ثبت، پردازش و اصلاح داده‌های لرزه‌ای

به‌منظور بررسی تأثیر انفجارهای معدن سنگ آهن گل‌گهر روی سازه‌های اطراف، به‌ویژه روی ساختمان ۳۰، عملیات ثبت داده‌های لرزه‌ای دو انفجار در تاریخ‌های ۱۳۷۶/۷/۱۵ و ۱۳۷۶/۷/۱۶ به کمک شش دستگاه لرزه‌نگار رقمی PDAS-100 و لرزه‌سنج‌های سه‌مؤلفه‌ای L-4C صورت پذیرفت. اطلاعات حاصل از کلیه لرزه‌سنج‌ها آنالوگ بود که در دستگاه لرزه‌نگار تبدیل به رقمی شده و در حافظه رایانه آنها ثبت شدند. طول زمانی

۱۲ و ۸ و ۵ و ۳) میلی ثانیه بین ردیف چال‌های انفجار با قطر چال ۲۵۰ میلی‌متر بوده و در انفجار روز دوم وزن کل ماده منفجره مصرفی ۲۶۰۰۰ کیلوگرم، حداکثر وزن ماده منفجره مصرفی به ازای هر تأخیر ۵۵۰۰ کیلوگرم و تعداد ۵۲ چال با زمان‌های تأخیر ۲۵×(۱۸ و ۱۵ و ۱۲ و ۹ و ۶ و ۳) میلی ثانیه بین ردیف چال‌های انفجار با قطر چال ۲۵۰ میلی‌متر بود و مواد منفجره مصرفی نیز از نوع آنفو و دینامیت بودند.

پردازش داده‌های لرزه‌ای ثبت شده، توسط نرم افزار DADISP صورت پذیرفت. از آنجایی که دستگاه لرزه‌نگار PDAS-100 به گونه‌ای طراحی شده است که خروجی مؤلفه قائم آن بر حسب شمارش است و ضرورت دارد مقیاس آن به واحد سرعت تغییر یابد. برای این منظور مطابق راهنمای دستگاه لرزه‌نگار ابتدا خروجی مؤلفه قائم بر ۲^{۳۱} تقسیم شد تا واحد شمارش به ولت تبدیل شود. سپس با ضرب آنها در مقدار 25.4/4 اثر کلی دستگاه لرزه‌نگار حذف و خروجی مؤلفه قائم به میلی‌متر بر ثانیه تبدیل شد (تله داین ژنوتک، ۱۹۸۹). شکل ۳ مؤلفه قائم لرزه‌نگاشت ثبت شده با دستگاه لرزه‌نگار PDAS-100 شماره ۱۹۷ در انفجار روز ۱۳۷۶/۷/۱۵ معدن سنگ آهن گل‌گهر را نشان می‌دهد. اثر دستگاه اندازه‌گیری از روی این لرزه‌نگاشت حذف شده و خروجی مؤلفه قائم از شمارش به میلی‌متر بر ثانیه تغییر یافته است. در هنگام بررسی لرزه‌نگاشت‌ها مشخص شد که مؤلفه مماسی لرزه‌نگاشت شماره ۱۹۲ مربوط به انفجار بلوک شماره ۵۴-۱۲ سرچین شده است. این لرزه‌نگاشت با نرم‌افزاری که تدوین شد از طریق روش درون‌یابی اصلاح شد و مقدار صحیح حداکثر سرعت آن را تعیین کردند.

۲-۴ تحلیل داده‌های لرزه‌ای

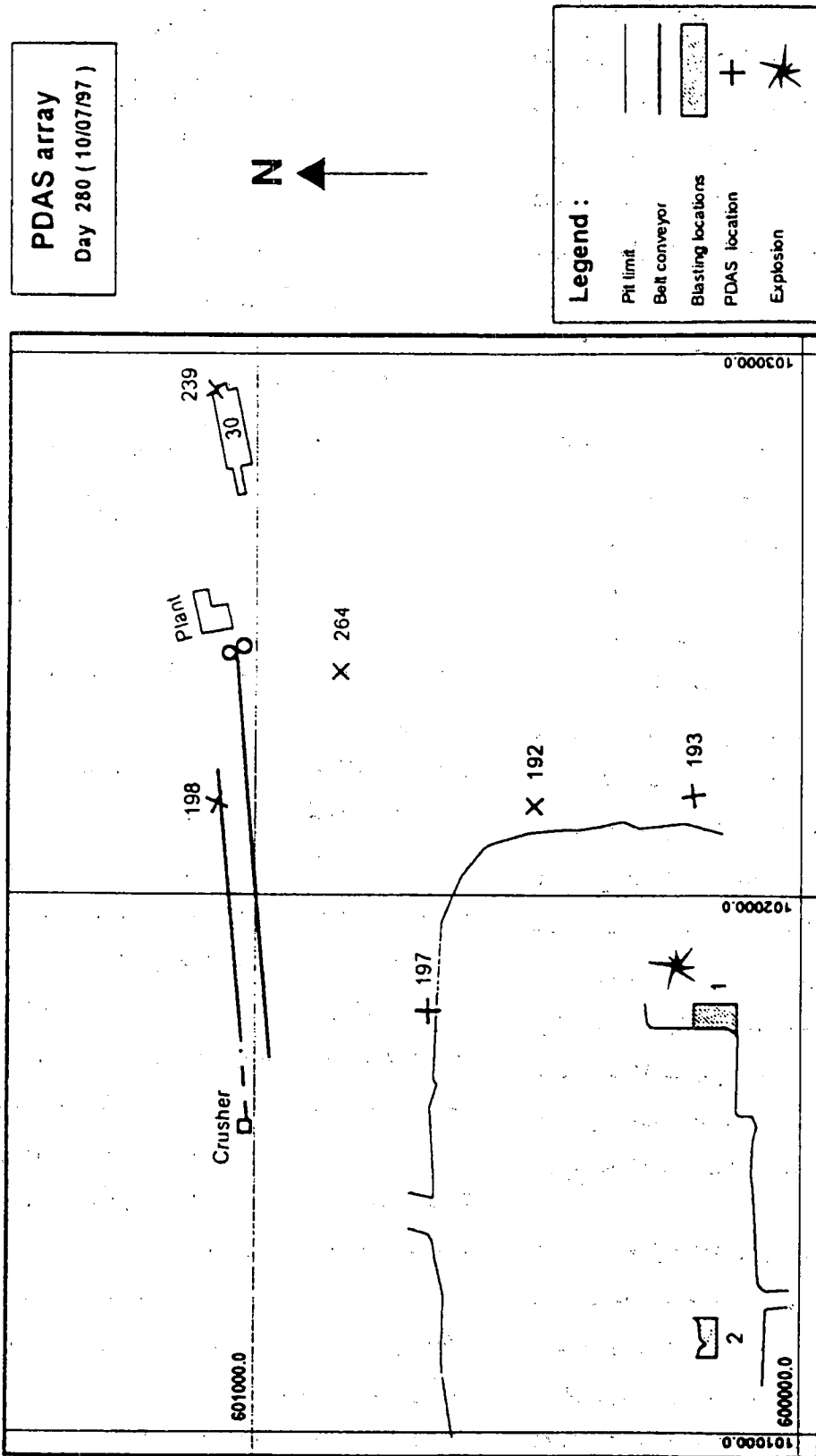
تجربیات به‌دست آمده از بررسی روابط تجربی پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات ناشی از تاثیر انفجارهای معدن مس سرچشمه کرمان روی سازه‌های سطحی مجاور آن که در تاریخ‌های ۱۳۷۸/۹/۲۵ تا ۱۳۷۸/۱۰/۷ انجام شده بود در تحلیل داده‌های



شکل ۱. مراحل مختلف تعیین رابطه کلی پیش‌بینی برآیند حداکثر سرعت ذرات (اصائلو و همکاران، ۲۰۰۰).

هر اندازه‌گیری حدود ۱۰ دقیقه (چند دقیقه قبل از انفجار و چند دقیقه بعد از انفجار ثبت شدند) و گام زمانی برای رقمی کردن داده‌ها ۱۰ میلی ثانیه بود. آرایه لرزه‌نگارها برای ثبت انفجار روز ۱۳۷۶/۷/۱۵ طوری انتخاب شد که بتوان الگوی تابش انرژی لرزه‌ای این انفجار را در جهتی که ساختمان ۳۰ را در بر می‌گیرد تعیین نمود. بدین منظور لرزه‌نگارها در یک ربع دایره نسبت به مرکز انفجار نصب گردیدند. شکل ۲ موقعیت لرزه‌نگارها، ساختمان ۳۰ و بلوک انفجار شماره ۵۴-۱۲ را که در تاریخ ۱۳۷۶/۷/۱۵ انجام شده است نشان می‌دهد. آرایه لرزه‌نگارها برای ثبت انفجار روز دوم طوری انتخاب شد که بتوان تغییرات لرزش حاصل از انفجار با فاصله از محل انفجار را مورد ارزیابی قرارداد. به این منظور لرزه‌نگارها در امتداد محل انفجار تا ساختمان ۳۰ قرار داده شدند. لرزه‌سنج‌ها در هر دو انفجار در سه جهت قائم، شعاعی و مماسی نصب شده بودند.

در انفجار روز اول وزن کل ماده منفجره مصرفی ۱۷۸۰۰ کیلوگرم، حداکثر وزن ماده منفجره مصرفی به ازای هر تأخیر ۳۲۲۰ کیلوگرم و تعداد ۳۹ چال با زمان‌های تأخیر ۲۵×(۱۷ و ۱۴ و



شکل ۲. موقعیت بلوک انفجار شماره ۰۴-۱۲، لوزه‌نگار جا و سازه‌های اطراف معدن سنگ آهن گل‌کهر که عملیات لوزه‌نگاری در تاریخ ۱۳۷۷/۱۰ انجام شده است.

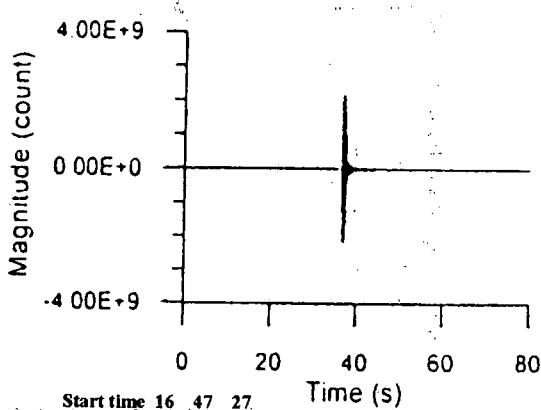
حاصل از دو انفجار معدن سنگ آهن گل‌گهر برای بررسی روابط تجربی پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات استفاده شد (اصانلو و همکاران، ۲۰۰۰). به این ترتیب بایستی پربندهای هم‌سرعت جابه‌جایی ذرات و فواصل مقیاس شده تعیین شوند.

۴-۲-۱ رسم پربندهای حداکثر سرعت ذرات

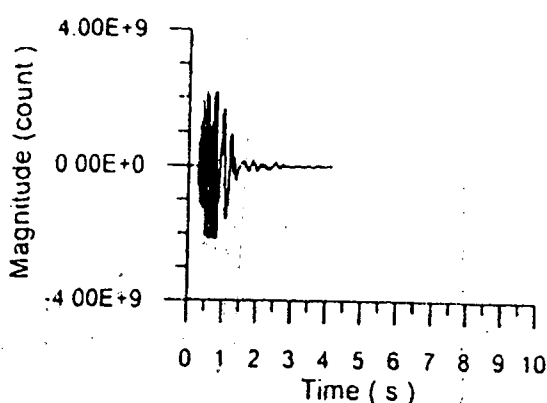
برای بررسی تأثیر ارتعاشات لرزه‌ای حاصل از انفجار روی سازه‌های اطراف، پلان‌های هر دو انفجار رسم شد. در این شکل‌ها قسمتی از محدوده معدن همراه با سازه‌ها و تأسیسات در ارتباط با این انفجارها آورده شد و تغییرات حداکثر سرعت ذرات بر حسب فاصله از مرکز انفجار بررسی شد. شکل ۴ پربندهای مؤلفه قائم حداکثر سرعت ذرات در انفجار بلوک شماره ۵۴-۱۲ معدن سنگ آهن گل‌گهر را که در تاریخ ۱۳۷۶/۷/۱۵ انجام شد نشان می‌دهد. این مطالعه نشان داد که حداکثر سرعت ذرات در مؤلفه شعاعی بیش از دو مؤلفه دیگر است.

۴-۲-۲ فاصله مقیاس شده

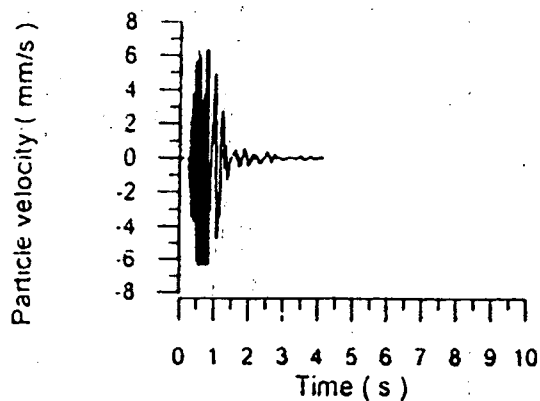
عوامل مؤثر بر حداکثر سرعت ذرات به فاصله نقطه اندازه‌گیری تا مرکز هر بلوک انفجار، حداکثر ماده منفجره مصرفی در هر تأخیر، جهت شروع انفجار، فاصله تأخیر و عوامل دیگر از قبیل ویژگی‌های زمین‌شناسی، وضعیت ژئومکانیکی و ژئوتکنیکی بستگی دارد. از نسبت فاصله نقطه اندازه‌گیری تا مرکز بلوک انفجار به ریشه‌های دوم و سوم وزن ماده منفجره به ازای هر تأخیر، فاصله مقیاس شده به دست می‌آید. دامنه تغییرات حداقل و حداکثر وزن ماده منفجره مصرفی به ازای هر تأخیر در انفجارهای معدن سنگ آهن گل‌گهر از ۳۲۲۰ کیلوگرم تا ۵۵۰۰ کیلوگرم و فواصل نقاط اندازه‌گیری تا مرکز هر بلوک انفجار از ۴۱۰ متر تا ۱۸۲۰ متر بود. برخی از محققین معتقدند که ریشه دوم فاصله مقیاس شده برای خرج‌های استوانه‌ای و ریشه سوم فاصله مقیاس شده برای خرج‌های کروی مناسب است. لذا با توجه به مشخص شدن هریک از عوامل‌های فوق در مراحل قبلی، فواصل مقیاس



(الف)

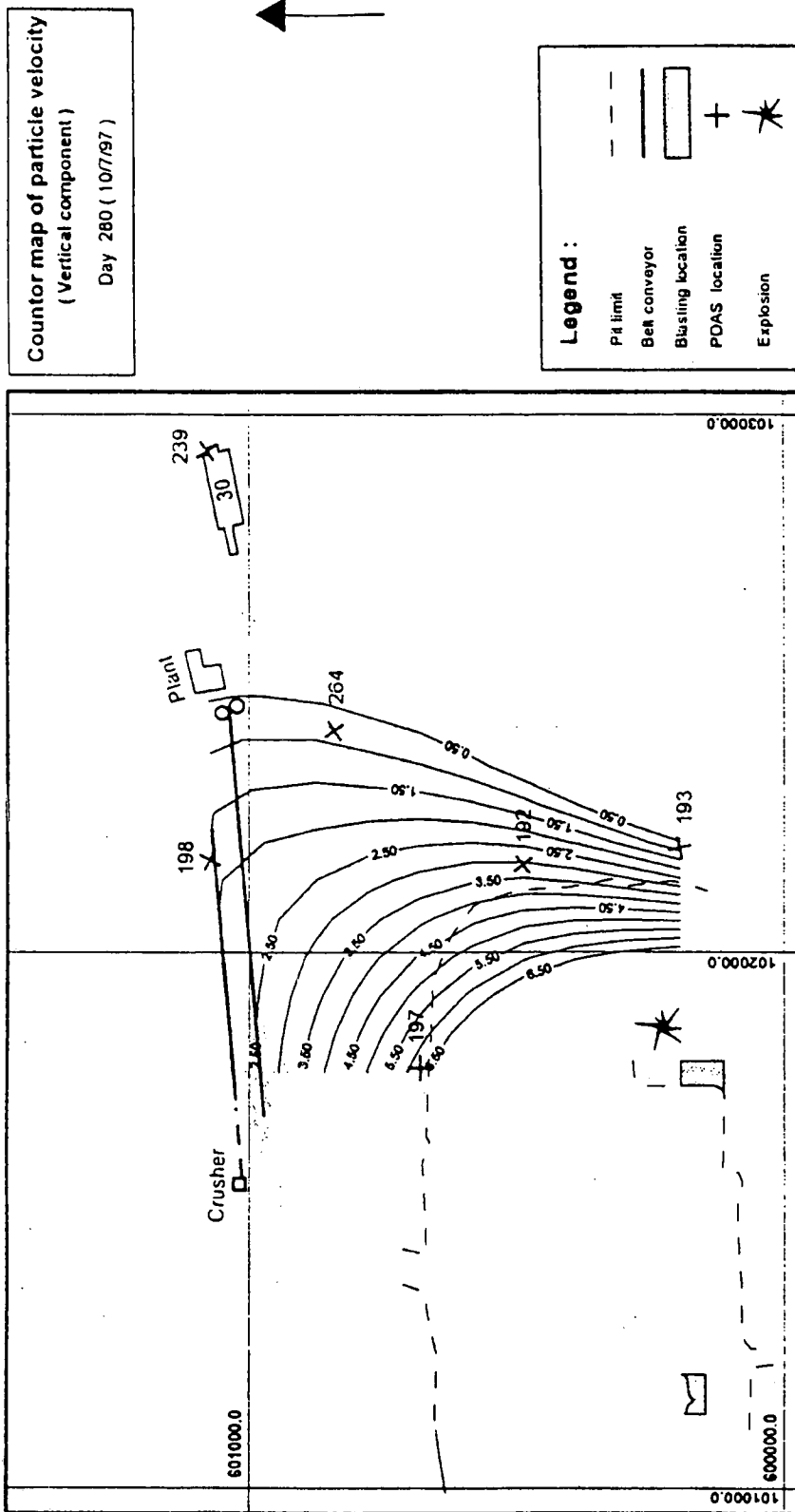


(ب)



(ج)

شکل ۳. مراحل مختلف پردازش لرزه‌نگاشت ثبت شده با دستگاه PDAS-100 شماره ۱۹۷ در انفجار بلوک ۵۴-۱۲ را نشان می‌دهد. (الف) مؤلفه قائم بخشی از لرزه‌نگاشت ثبت شده، (ب) محدوده انفجار لرزه‌نگاشت، (ج) تغییر مقیاس قائم لرزه‌نگاشت از شمارش به واحد سرعت و حذف اثر دستگاه.



شکل ۴. پرتدمای مولفه قائم حداکثر سرعت ذرات حاصل از انفجار بلوک شماره ۰۴-۱۲ در معدن سنگ آهن گل‌کهر.

سازه تا محل انفجار توسط محققین مختلف ارائه شده است. مهم‌ترین این روابط به صورت زیر است (شارما و همکاران، ۱۹۹۲).

الف) رابطه اداره معادن امریکا (۱۹۷۱)

$$PPV_{tot} = k \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^b \quad (2)$$

ب) رابطه لانگفورس - کیلستروم (۱۹۷۳)

$$PPV_{tot} = k \left(\left(\frac{W}{D^{1.5}} \right)^{0.5} \right)^b \quad (3)$$

ج) رابطه گوش - دیمن (۱۹۸۳)

$$PPV_{tot} = k \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^b \cdot \exp(-c \cdot D) \quad (4)$$

د) مؤسسه تحقیقات مرکزی هند (۱۹۹۱)

$$PPV_{tot} = k \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^b \cdot \exp\left(-c \cdot \frac{D}{\sqrt{W}}\right) \quad (5)$$

که در آن PPV_{tot} برآیند حداکثر سرعت ذرات (mm/sec) حاصل از انفجار، k ثابت مکان، W حداکثر وزن ماده (kg) منفجره مصرفی به ازای هر تأخیر، D فاصله سازه (m) یا نقطه اندازه‌گیری تا محل انفجار و b و c مقادیر ثابت‌اند.

آنالیز نتایج داده‌های لرزه‌ای حاصل از انفجار معدن سنگ آهن گل‌گهر کرمان با استفاده از رایج‌ترین روابط پیش‌بینی برآیند حداکثر سرعت ذرات انجام شد. ثابت‌های مکان، انحراف معیار و ضریب همبستگی این روابط با توجه به داده‌های ناشی از دو انفجار این معدن محاسبه و در جدول ۳ آورده شده است. بامقایسه انحراف معیار و ضرایب همبستگی روابط تجربی مختلف مشخص شد که شکل کلی رابطه پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات معدن سنگ آهن گل‌گهر کرمان به شکل توانی با انحراف معیار $1/58$ و ضریب همبستگی $0/895$ و مطابق رابطه کلی اداره معادن امریکا و منطبق با رابطه ۶ است.

شده بر اساس ریشه دوم روابط ارائه شده توسط اداره معادن امریکا، گوش - دیمن، مؤسسه تحقیقات مرکزی هند و همچنین فاصله مقیاس شده لانگ فورس - کیلستروم که از رایج‌ترین روابط پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات هستند به دست آمد. نتایج کلی داده‌های حاصل از تحلیل نگاشت‌های معدن سنگ آهن گل‌گهر در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

۴-۲-۳ برآیند حداکثر سرعت ذرات

پس از محاسبه و تحلیل حداکثر سرعت ذرات هر یک از مؤلفه‌ها و انتخاب داده‌ها، تحلیل نهایی بر روی برآیند حداکثر سرعت ذرات صورت گرفت. برآیند حداکثر سرعت ذرات از رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$PPV_{tot} = \sqrt{ppv_v^2 + ppv_r^2 + ppv_t^2} \quad (1)$$

که در آن PPV_{tot} ، ppv_v ، ppv_r ، ppv_t به ترتیب برآیند حداکثر سرعت ذرات و مؤلفه‌های قائم، شعاعی و مماسی حداکثر سرعت ذرات است (راتور و جوشی، ۱۹۸۸).

جدول ۱. نتایج داده‌های حاصل از تحلیل نگاشت‌ها توسط لرزه‌نگار PDAS-100 در انفجار شماره ۵۴-۱۲ معدن سنگ آهن گل‌گهر.

شماره لرزه‌نگار	فاصله از محل انفجار (m)	فاصله مقیاس شده بر اساس			برآیند حداکثر سرعت ذرات (mm/sec)
		$\left(\frac{W}{D^{1.5}}\right)^{0.5}$	$\frac{W^{0.666}}{D}$	$\frac{D}{\sqrt{W}}$	
۱۹۲	۵۰۰	۰/۵۳۷	۰/۴۳۴	۸/۸۱	۱۰/۵۲
۱۹۳	۴۱۰	۰/۶۲۳	۰/۵۲۹	۷/۲۲	۱/۶۵
۱۹۸	۹۸۰	۰/۳۲۴	۰/۲۲۱	۱۷/۲۷	۳/۷۶
۲۶۴	۹۳۰	۰/۳۳۷	۰/۲۲۳	۱۶/۳۹	۲/۲۲

۵ انتخاب شکل کلی رابطه پیش‌بینی برآیند حداکثر سرعت ذرات

روابط مختلفی برای محاسبه و پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات بر اساس حداکثر وزن ماده منفجره مصرفی به ازای هر تأخیر و فاصله

جدول ۲. نتایج داده‌های حاصل از پردازش نگاشتها توسط لرزه نگار PDAS-100 در انفجار شماره ۵۱-۱۲ معدن سنگ آهن گل‌گهر.

شماره لرزه‌نگار	فاصله لرزه‌نگار از محل انفجار (m)	فاصله مقیاس شده بر اساس			برایند حداکثر سرعت ذرات (mm/sec)
		$\left(\frac{W}{D^{1.5}}\right)^{0.5}$	$\frac{W^{0.666}}{D}$	$\frac{D}{\sqrt{W}}$	
۱۹۲	۵۶۰	۰/۶۴۴	۰/۵۵۳	۷/۵۵	۸/۰۲
۱۹۷	۱۱۷۰	۰/۳۷۱	۰/۲۶۵	۱۵/۷۸	۱/۸
۱۹۸	۱۴۸۰	۰/۳۱۱	۰/۲۰۹	۱۹/۹۵	۱/۶۴
۲۳۹	۱۸۲۰	۰/۲۶۶	۰/۱۷۰	۲۴/۵۴	۲/۱۶

جدول ۳. ثابت‌های مکان، انحراف‌معیار و ضریب همبستگی رابطه‌های مختلف پیش‌بینی برایند حداکثر سرعت ذرات با توجه به داده‌های لرزه‌ای ناشی از انفجار در بلوک‌های ۵۴-۱۲ و ۵۱-۱۲ در معدن سنگ آهن گل‌گهر.

رادیف	رابطه	k	b	c	انحراف‌معیار	ضریب همبستگی
۱	اداره معادن آمریکا	۲۰۵/۶۱	-۱/۵۰۸	—	۱/۵۸	۰/۸۹۵
۲	لانگ‌فورد - کیلستروم	۲۱/۷۵	۱/۸۲۵	—	۱/۸۷	۰/۸۴۹
۳	گوش - دیمین	۱/۳۴	-۰/۵۶۵	-۰/۰۰۱۵	۵/۰۵	۰/۵۹
۴	موسسه تحقیقات مرکزی هند	۰/۱۲۶۸	۳/۸۳	۰/۴۶۲	۱/۳۸	۰/۹۲۷

از بخش زلزله‌شناسی موسسه ژئوفیزیک به لحاظ در اختیار قرار دادن دستگاه‌های لرزه‌نگاری برای ثبت انفجارهای معدن گل‌گهر و از آقایان دکتر محمدکاظم حقیقی، مهندس ناصر نوروزیان، داریوش ندیری و سلیمان سلطانیان که در عملیات ثبت داده‌های لرزه‌ای در معدن گل‌گهر همکاری داشتند و از آقای مهندس حمید جهانی سوباشی و گروه نقشه‌برداری امور صنعتی و معدنی گل‌گهر که همکاری مبذول در امکان عملیات لرزه‌نگاری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع

- Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., and Carredo, A. J. F., translated by de Ramiro, Y. V., 1995, Drilling and blasting of rocks: A. A. Balkema, Rotterdam.
- Konya, C. J., and Walter, E. J., 1985, Rock blasting: National Technical Information Service, Springfield, Virginia.
- Roy, P. P., 1998, Characteristics of ground vibration and structure response to surface and underground blasting: Geotechnical and Geological Engineering, 16, 151-166.

$$PPV_{tot} = 205.6 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.508} \quad (۶)$$

۶ نتیجه‌گیری

از پردازش و تحلیل ۱۱ نگاشت که هر کدام از سه مؤلفه قائم، شعاعی و مماسی حاصل از ۲ انفجار در منطقه معدنی سنگ آهن گل‌گهر به دست آمد، شکل کلی رابطه تجربی پیش‌بینی برایند حداکثر سرعت ذرات به صورت $PPV_{tot} = k \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^b$ حاصل شد. این رابطه به صورت توانی و بر اساس ریشه دوم فاصله مقیاس شده است و ضرایب k و b به نام ثابت‌های مکان به ترتیب برابر ۲۰۵/۶ و -۱/۵۰۸ هستند.

تشکر و قدردانی

از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران به خاطر حمایت از اجرای این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۶۵۱/۱/۳۶۵،

- Vogt W., and Abbrock O., 1993, Digital image processing as an instrument to evaluate rock fragmentation by blasting in open pit mines: Proceeding of the Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, A. A. Balkema, Rotterdam, 317-324.
- Osanloo M., Javahrian A., and Bakhshandeh H., 2000, Prediction and evaluation of Sarcheshmeh Copper Mine blasting operation effects on near by structures: Proceedings of the 9th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, A.A. Balkema, Rotterdam, 6-9 November, Greece.
- Teledyne Geotech, 1989, PDAS users guide: U.S.A.
- Rathore S. S., and Joshi A., 1988, Successful firing of complex 1,300,000 tonnes pillar blast at Mochia Mine: Journal of Mines, Metals & Fuels, 7, 381-387.
- Sharma D. K., Chaulya S. K., and Jain S. C., 1992, Ground vibration from blasting- prediction and remedies: Regional Symposium on Rock Slopes, India.