بررسی پدیده های لرزش زمین و پرتاب سنگ در عملیات انفجار معادن روباز با نگرش ویژه به معدن سنگ آهن سه چاهون

علیرضا شیوایی[۱] ، روانبخش امیری[۲*] ، علی اکبر قشمی پور[۳]

۱- فوق لیسانس مهندسی معدن – اکتشاف معدن، شرکت مهندسین مشاور کاوشگران

۲- فوق لیسانس مهندسی معدن – استخراج معدن، طرح تجهیز معادن سنگ آهن سنگان

۳- فوق لیسانس مهندسی معدن – مکانیک سنگ، شرکت مهندسین مشاور کاوشگران

چکیده

با توجه به توسعه شهرها و افزایش نیاز بشر به استفاده از منابع معدنی، فاصله بین تأسیسات، ساختمانهای مسکونی و معادن کمتر و احتمال بروز حوادث بیشتر شده است. عملیات حفاری و آتشکاری، از جمله مهمترین فرآیندهای استخراج معادن روباز هستند که گاهی اوقات توأم با پیامدهای نامطلوب بوده و باعث بوجود آمدن خطرات و مشکلاتی می شوند. از جمله پیامدهای خطرناک و نامطلوب عملیات انفجار معادن روباز، پدیده های *لرزش زمین* و *پرتاب سنگ* می باشند که باید به دقت مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد تا از خسارتهای جانی و مالی ناشی از آن جلوگیری بعمل آید.

در این مقاله ابتدا پیامدهای نامطلوب ناشی از انفجار ذکر شده و سپس پدیده های لرزش زمین و پرتاب سنگ و نیز عوامل مؤثر بر آنها مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه مدلهای تئوری و تجربی تحلیل و محاسبه این پدیده ها برای حالت ها و شرایط مختلف عملیات انفجار ارائه می گردد. با استفاده از این مدلها، اطلاعات مربوط به طراحی الگوی حفاری و آتشکاری معدن سنگ آهن سه چاهون و شرایط موجود، اثرات لرزش زمین و پرتاب سنگ در این معدن برای حالت های متفاوت محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در خاتمه پیشنهاداتی در جهت کاهش تأثیر پیامدهای نامطلوب ناشی از عملیات انفجار بطور عام و برای معدن سنگ آهن سه چاهون بطور خاص ارائه خواهد شد.

واژه های کلیدی : پیامدهای نامطلوب انفجار، لرزش زمین، پرتاب سنگ، فاصله ایمن انفجار، اقدامات احتیاطی، معدن سنگ آهن سه چاهون

* تهران، خیابان سهروردی شمالی، هویزه شرقی، پلاک ۴۳، طرح تجهیز معادن سنگ آهن سنگان

الف)مقدمه

عملیات آتشکاری از جمله مهمترین فرآیندهای استخراج معادن روباز می باشد که گاهی اوقات باعث بوجود آمدن پیامدهای نامطلوبی نظیر پرتاب سنگ (Fly Rock)، لرزش زمین (Ground Vibration) انفجار یا لرزش هوا (Air Blast)، شکست بیش از حد یا عقب زدگی (Back Break) ، ایجاد سر و صدا و تولید گرد و غبار می شوند. چنانچه اصول ایمنی و فنی در عملیات انفجار مورد توجه قرار نگیرند، پدیده های ذکر شده می توانند سبب ایجاد خسارت جانی و مالی گردند. در این زمینه تحقیقات زیادی صورت گرفته که نتایج آنها در غالب " تعیین فاصله ایمن انفجار (محدوده انفجار) " ارائه شده است.

در این مقاله پدیده های پرتاب سنگ و لرزش زمین مورد بررسی قرار می گیرد. سپس براساس اطلاعات جمع آوری شده، نتایج محاسبات مربوط به این پدیده و تعیین فاصله ایمن انفجار برای معدن سنگ آهن سه چاهون برای حالت های متفاوت ارائه خواهد شد.

ب) پرتاب سنگ

این پدیده حرکت کنترل نشده قطعات خرد شده سنگ می باشد که در عملیات انفجار تولید می شوند و یکی از منابع اصلی آسیب دیدن سازه ها و تجهیزات و صدمه دیدن افراد را تشکیل می دهد. پارامترها و شرایط خاصی در بوجود آمدن این پدیده موثر می باشند. برای مثال و در ارتباط با شرایط توده سنگ باید توجه شود که در سنگهای بشدت درزه و شکاف دار، احتمال بروز پرتاب سنگ نسبت به سنگهای هموژن و توده ای بیشتر است. از طرف دیگر هنگامی که عملیات انفجار در مناطق کارستی با سوراخ ها و حفره های فراوان انجام می شود، کنترل خیلی دقیقی باید جهت جلوگیری از ظهور این پدیده اعمال گردد. هم چنین نوع ماده منفجره و پارامترهای هندسی و وزنی الگوی حفاری و انفجار نیز در این زمینه موثر می باشند که در خاتمه به بعضی از این موارد اشاره خواهد شد.

در ادامه دو روش محاسبه پرتاب سنگ در عملیات انفجار معادن روباز و نتایج محاسبات مربوط به معدن سنگ آهن سه چاهون ارائه می گردد.

- روش سوئدی

این مدل تجربی توسط دو لانسبرگ (Lunsborg) و پرسن (Persson) در سال ۱۹۷۵ پیشنهاد شد که نتیجه آن تعیین بیشترین فاصله مربوط به پرتاب سنگ می باشد[۱]. در این روش ابتدا سرعت اولیه پرتاب سنگ با استفاده از رابطه (۱) بدست می آید :

$$V_O = \frac{10D \times 2600}{T_b \times \rho_r} \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱) پارامترها بصورت زیر تعریف می گردند :

V_O = سرعت اولیه پرتاب سنگ بر حسب m/s

D = قطر چال بر حسب $inch$

T_b = اندازه قطعات سنگ بر حسب m

ρ_r = دانستیه سنگ بر حسب kg/m^3

پس از محاسبه سرعت اولیه پرتاب با استفاده از رابطه (۱) و براساس قوانین دینامیک پرتاب ، حداکثر فاصله پرتاب سنگ براحتی قابل محاسبه می باشد. از طرف دیگر در این روش براساس تجربیات متعدد و آزمایشهای مختلف در زمینه پرتاب سنگ، روابط تجربی زیر نیز پیشنهاد شده است :

$$L_{\max} = 260 \times D^{\frac{2}{3}} \qquad (۲)$$

$$T_b = 0.1 \times D^{\frac{2}{3}} \qquad (۳)$$

توجه به این نکته ضروری است که در روابط (۲) و (۳)، ماده منفجره اولاً بصورت نقطه ای و ثانیاً نزدیک به سطح فرض شده است، لذا تأثیر آن در سطـــح زمین بیشتر بصورت اثر دهانه مخروطی (Crater Effect) است. بنابراین در حالت خرج گذاری معمولی، میزان پرتاب سنگ کمتر شده و برای خرج ویژه معادل kg/m^3 ۰/۵ حداکثر فاصله پرتاب از رابطه زیر بدست می آید :

$$L_{\max} = 40 \times D \qquad (۴)$$

که در روابط (۲)، (۳) و (۴) داریم:

L_{max} = حداکثر پرتاب سنگ بر حسب متر

D = قطر چال بر حسب اینچ

T_b = اندازه قطعات سنگ بر حسب متر

با توجه به رابطه (۱)، قوانین پرتابی دینامیک و اطلاعات مربوط به معدن سنگ آهن سه چاهون، محاسبات پرتاب سنگ با استفاده از این روش انجام شده است که نتایج آن در جدول (۱) مشاهده می شود.

جدول ۱- نتایج محاسبات روش سوئدی تعیین پرتاب سنگ برای معدن سنگ آهن سه چاهون

نوع سنگ	دانسیته (kg/m^3)	قطر چال (inch)	سرعت اولیه پرتاب (m/s)	حداکثر فاصله پرتاب سنگ (m)
باطله	۲۷۷۴	۸	**۱۸۷/۴**	۳۵۱۲
ماده معدنی کم عیار	۳۲۰۰	۸	۱۶۲/۵	۲۴۶۱
ماده معدنی پر عیار	۴۲۰۰	۸	۱۲۳/۸	۱۵۳۳

از آنجا که مقادیر حداکثر فاصله پرتاب در جدول (۱) مربوط به اثر دهانه مخروطی بوده و مقاومت هوا در آنها در نظر گرفته نشده است، نمی توانند مورد قبول واقع شوند. از طرف دیگر برای قطر چال ۸ اینچ و با استفاده از رابطه (۲)،مقدار Lmax معادل ۱۰۴۰ متر بدست می آید که در این مقدار نیز اثر مقاومت هوا و فاصله چال از سطح آزاد در نظر گرفته نشده و از طرفی مربوط به حالت اثر دهانه مخروطی است. همچنین با استفاده از رابطه (۴) برای قطر چال معادل ۸ اینچ، حداکثر فاصله پرتاب معادل ۳۲۰ متر محاسبه می شود. هر چند که این مقدار منطقی تر از مقادیر قبلی است ولی در این عدد نیز فاصله تا سطح آزاد در نظر گرفته نمی شود.

- روش پروفسورپکروفسکی

در روش دیگری که توسط پروفسور پکروفسکی و فیودورف (Prof. G.I. Pokrovsky & I.S. Fyodorov) ارائه شد، سرعت اولیه پرتاب با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می شود[۱] :

$$V_O = \frac{72000 \times C_{ex}}{\gamma \times R_1^3} \qquad (۵)$$

که در رابطه (۵) داریم :

V_O = سرعت اولیه پرتاب بر حسب m/s

γ = وزن مخصوص سنگ بر حسب kg/m^3

C_{ex} = وزن ماده منفجره در یک چال بر حسب kg

R_l = فاصله ماده منفجره تا سطح آزاد یا فاصله چال تا سینه کار بر حسب متر

برای بدست آوردن حداکثر فاصله پرتاب نیز از روابط دینامیک پرتابی استفاده می شود. نتایج محاسبات تعیین پرتاب سنگ با استفاده از این روش برای معدن سنگ آهن سه چاهون در جدول (۲) مشاهده می گردد.

جدول ۲- نتایج محاسبات روش پروفسور پکروفسکی برای تعیین پرتاب سنگ برای معدن سنگ آهن سه چاهون

نوع سنگ	دانسیته (kg/m^3)	قطر چال (inch)	C_{ex} (kg)	R_l (m)	سرعت اولیه پرتاب (m/s)	حداکثر فاصله پرتاب سنگ (m)
باطله	۲۷۷۴	۸	۱۹۸	۴/۸	۴۶/۵	۲۱۶
ماده معدنی کم عیار	۳۲۰۰	۸	۱۹۸	۴/۸	۴۰/۳	۱۶۲
ماده معدنی پر عیار	۴۲۰۰	۸	۱۹۸	۴/۸	۳۰/۷	۹۴

پروفسور پکروفسکی و فیودروف به اهمیت پارامتر مقاومت هوا در هنگام پرتاب توجه کرده و بنابراین برای سرعت پرتاب ۲۰۰ m/s فاکتور اصلاح ۱۰ تا ۱۲ و برای سرعت پرتاب ۸۰ m/s- ۷۵ فاکتور اصلاح ۲/۵ تا ۳ را معرفی نموده اند. براین اساس، حداکثر فاصله پرتاب سنگ در باطله کمتر از ۲۱۶ متر و در ماده معدنی کمتر از ۱۶۲متر خواهد بود. لذا این محدوده می تواند به عنوان حریم ایمن انفجار از نقطه نظر پرتاب سنگ در نظر گرفته شود.

توجه به این نکته ضروری است که مقادیر فوق به ازای انفجار کامل تعیین گردیده اند. به عبارت دیگر مقدار ۱۹۸ kg خرج مربوط به یک چال و فاصله یک چال از سطح آزاد (Burden) برابر با ۴/۸ m است و تنها در صورتی می توان این مقادیر را در رابطه (۵) جایگزین نمود که انفجار در هر چال بطور مستقل عمل نموده و

بر روی چال مجاور و محدوده آتشباری آن تأثیر نگذارد. این فرض در حالی صادق است که چالها براساس الگوی بهینه آتشباری منفجر شوند.

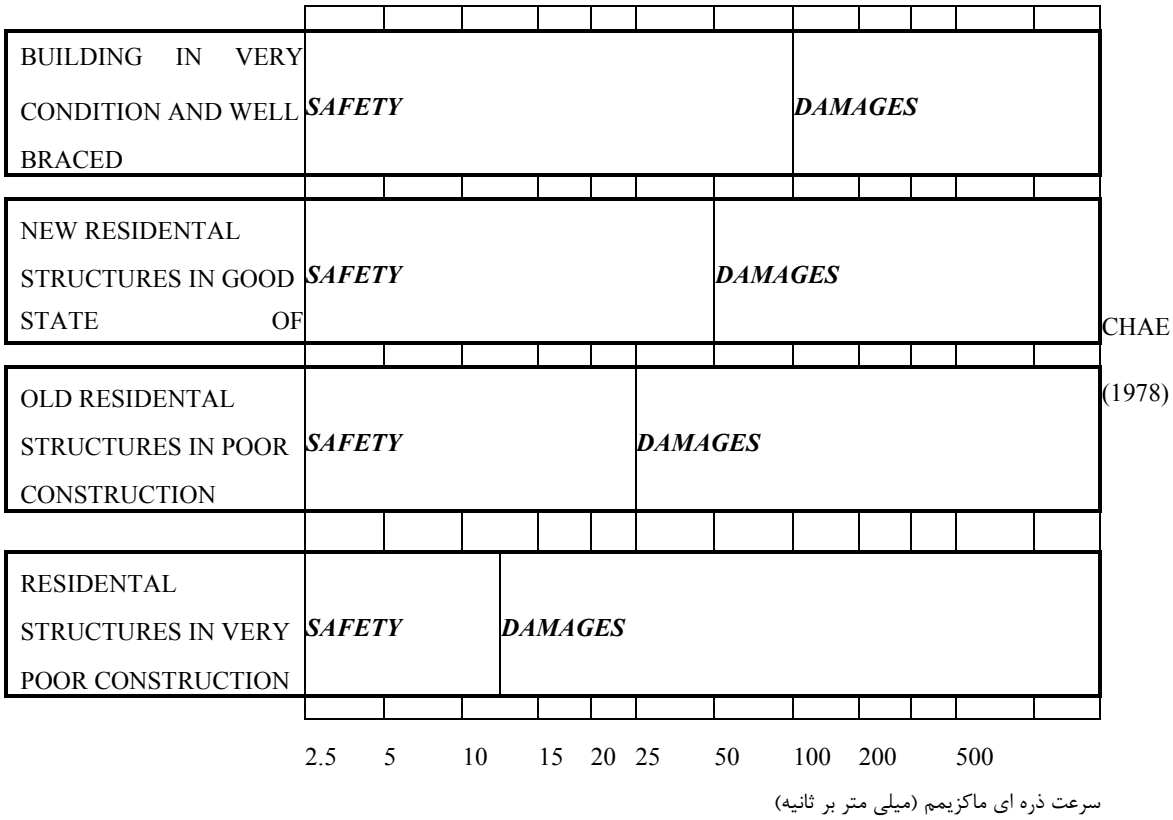
ج) لرزش زمین

در اثر انفجار ماده منفجره گازهای پر فشار در داخل چال بوجود آمده و در نتیجه فشار انفجار به توده سنگ وارد می شود که باعث خرد شدن سنگهای اطراف چال می گردد. پس از فرو نشستن فشار، انرژی باقی مانده بصورت امواج سطحی و حجمی به محیط اطراف چال منتقل می شود که در این بین امواج سطحی (Surface waves) حاوی انرژی زیادی بوده و موجب بوجود آمدن لرزش زمین می گردند. این لرزش باعث ارتعاش ساختمانها و سازه ها و در شرایط خاص تخریب آنها می شود. باید اشاره شود که مدت زمان لرزش زمین بسیار طولانی تر از سایر عوارض انفجار بوده و بیشترین مقدار انرژی ناشی از انفجار (در حدود ۴۰٪) را به خود اختصاص می دهد[۲].

مهمترین پارامترهایی که در ایجاد لرزش زمین دخالت دارند شامل مقدار خرج مصرف شده در هر پریود زمانی تأخیر اعمال شده، جنس و ساختار توده سنگ و فاصله نسبت به مرکز انفجار می باشد. بطور کلی هر چه فاصله از مرکز انفجار بیشتر باشد شدت لرزش (دامنه لرزش) کاهش می یابد اما زمان لرزش (زمان تناوب) بیشتر می شود.

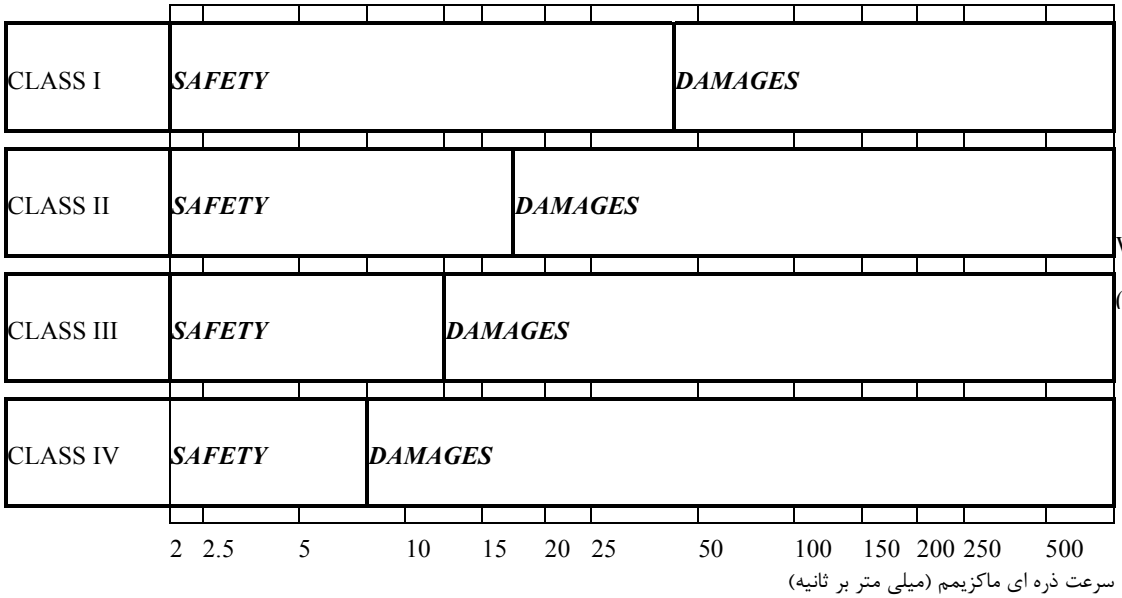
د) تعیین فاصله ایمن برای لرزش زمین

با توجه به مطالب فوق هنگامی که در یک معدن روباز عملیات آتشباری انجام می گیرد، فاصله ایمن برای لرزش زمین در نظر گرفته می شود. در این زمینه Chae در سال ۱۹۷۸ و Wiss در سال ۱۹۸۱ نمودارهایی را در ارتباط با تخریب ناشی از لرزش زمین و رابطه آن با سرعت ذره ای ماکزیمم (Maximum particle velocity) ارائه نمودند که به ترتیب در شکل های (۱) و (۲) مشاده می شوند.



CHAE (1978)

شکل ۱- حد تخریب ساختمانها بر حسب سرعت ذره ای ماکزیمم (Chae, 1978) [۱]



WISS (1981)

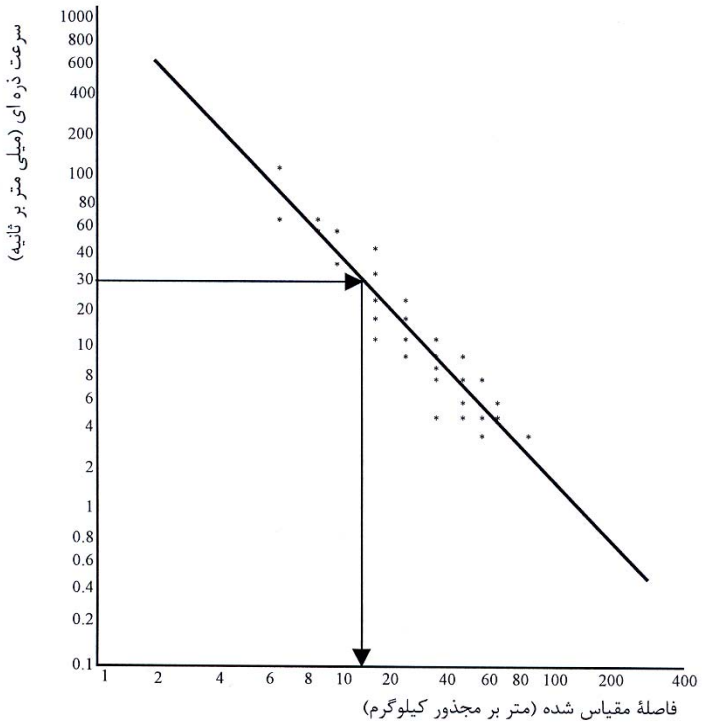
شکل ۲- حد تخریب ساختمانها بر حسب سرعت ذره ای ماکزیمم (Wiss, 1981) [۱]

در روشهای ارائه شده توسط این دو محقق، شرایط ساختمانها و سازه ها بطور جداگانه به چهار دسته تقسیم بندی شده است که در جدول (۳) مشاهده می شود.

جدول ۳- تقسیم بندی ساختمانها و سازه ها در ارتباط با شکل های ۱ و ۲ [۳]

روش	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴
Chae	ساختمانها در شرایط بسیار خوب و مقاوم	ساختمانهای مسکونی جدید در شرایط خوب از نظر ساختمانی	ساختمانهای مسکونی قدیمی در شرایط متوسط از نظر ساختمانی	ساختمانهای مسکونی در شرایط بد از نظر ساختمانی
Wiss	ساختمانهای فلزی یا ساختمانهای بتن مسلح با دیوارها و پایه های بتنی	ساختمانهای بتنی یا آجری	سازه شبیه حالت قبل با ساختـــار چوبی و دیواره های آجری	ساختمان بسیار حساس به ارتعاش و مهم از نظر تاریخی

با توجه به نوع سازه ها از روی شکل های (۱) و (۲)، سرعت ذره ای ماکزیمم که منجر به تخریب آن سازه خواهد شد بدست می آید. سپس با استفاده از نمودار شکل (۳)، فاصله مقیاس شده (Scaled distance) تعیین می گردد.



شکل ۳- تعیین فاصله مقیاس شده براساس سرعت ذره ای ماکزیمم [۱]

فاصله مقیاس شده به وزن ماده منفجره مصرف شده به ازای هر تأخیر و فاصله سازه از محل انفجار بصورت زیر بستگی دارد[۳] :

$$S_d = \frac{d}{\sqrt{W_e}} \qquad (۶)$$

که در رابطه (۶) داریم :

S_d = فاصله مقیاس شده بر حسب $m / kg^{\frac{1}{2}}$

d = فاصله سازه از محل انفجار بر حسب m

W_e = وزن ماده منفجره مصرف شده به ازای هر تاخیر بر حسب kg

بنابراین براساس شکل های (۱) و (۲) سرعت ذره ای ماکزیمم تعیین شده و سپس با توجه به نمودار شکل(۳) فاصله مقیاس شده بدست می آید. در ادامه با استفاده از رابطه (۶) فاصله ایمن سازه های مختلف از محل انفجار محاسبه خواهد شد.

ه) تعیین فاصله ایمن برای معدن سه چاهون با توجه به لرزش زمین

با استفاده از روش های توضیح داده شده و براساس نتایج طراحی الگوی حفاری و آتشباری برای معدن سه چاهون، فاصله ایمن سازه ها و ساختمانهای اطراف این معدن از نقطه نظر لرزش زمین محاسبه گردیده که نتایج آن در جدول (۴) نشان داده شده است. در این مورد باید توجه شود که میزان مصرف مواد منفجره در هر پریود زمانی تأخیر در معدن سه چاهون برای عملیات انفجار در یک پله ۶۴۶۰ کیلوگرم، در دو پله ۳۲۳۰ کیلوگرم و در سه پله ۲۱۵۰ کیلوگرم منظور شده است.

جدول ۴- فاصله ایمن سازه ها نسبت به لرزش زمین در معدن سنگ آهن سه چاهون

کلاس ساختمان	فاصله ایمن بر حسب متر (روش Chae)			فاصله ایمن بر حسب متر (روش Wiss)		
	آتشباری در یک پله	آتشباری در دو پله	آتشباری در سه پله	آتشباری در یک پله	آتشباری در دو پله	آتشباری در سه پله
۱	۳۰۰	۲۳۰	۲۰۰	۸۸۰	۶۲۰	۵۰۰
۲	۶۴۰	۴۵۰	۳۷۰	۱۳۵۰	۹۷۰	۷۹۰
۳	۱۰۵۰	۷۴۰	۶۰۰	۱۶۰۰	۱۱۴۰	۹۳۰
۴	۱۶۰۰	۱۱۴۰	۹۳۰	۲۲۵۰	۱۶۰۰	۱۳۰۰

همانطور که ملاحظه می شود مقادیر بدست آمده از دو روش کاملاً با هم متفاوت هستند. برای مثال در کلاس ۱بازای آتشباری در یک پله، فاصله ایمن در روش Chae برابر ۳۰۰ متر و در روش Wiss برابر ۸۸۰ متر بدست آمده است. علت این اختلاف مربوط به تعریف های جداگانه از ساختمانها و در نظر گرفتن ضرایب ایمنی متفاوت می باشد.

با توجه به اینکه عموماً ساختمانهای مجاور معدن سه چاهون دارای فواندسیون بتنی محکم بوده و در خود سازه نیز از مصالح قوی استفاده می شود و از طرف دیگر نزدیکترین سازه به محل انفجار سنگ شکن است

که خود یک سازه دینامیک بوده و دائماً در حال تکان و لرزش های شدید است، در نتیجه می توان آن را در کلاس ۱، خصوصاً کلاس ۱ مربوط به روش Chae قرار داد.

و) نتیجه گیری

براساس محاسبات انجام شده جهت تعیین میزان پرتاب سنگ برای معدن سنگ آهن سه چاهون با استفاده از روش پروفسور پکروفسکی، حداکثر فاصله پرتاب سنگ معادل ۲۱۶ متر بوده و برای باطله سنگی با دانسیتهٔ متوسط kg/dm3 ۲/۷رخ خواهد داد. همچنین با در نظر گرفتن مسائل و مشکلات مربوط به لرزش زمین و براساس محاسبات انجام شده، به ازای عملیات آتشباری در یک، دو و سه پله به ترتیب مقادیر ۳۰۰، ۲۳۰ و ۲۰۰ متر از محدوده نهائی معدن بعنوان فاصله ایمن بدست آمده است.

بنابراین با لحاظ نمودن بعضی اقدامات احتیاطی مثلاً انجام عملیات آتشباری در دو پله، فاصله ایمن ۲۵۰ متر در ارتباط با پرتاب سنگ و لرزش زمین برای معدن سنگ آهن سه چاهون پیشنهاد می شود.

ز) پیشنهادات

در خاتمه پیشنهاداتی در قالب اقدامات احتیاطی جهت کاهش تأثیر پیامدهای نامطلوب ناشی از عملیات انفجار بخصوص پرتاب سنگ و لرزش زمین بشرح ذیل ارائه می شود :

- انتخاب دقیق و بهینهٔ پارامترهای طراحی الگوی حفاری و انفجار بویژه ضخامت بار سنگ و میزان گل گذاری
- حفر صحیح چالهای انفجاری از نظر شیب، امتداد و تناسب ضخامت بار سنگ و میزان گل گذاری
- قرار گرفتن چالها در یک امتداد در روی سطح زمین
- استفاده از مدارهای صحیح و زمان بندی مناسب (تأخیر) برای عملیات آتشباری
- پیاده کردن دقیق نقاط حفاری در روی سطح زمین بخصوص در مناطق ناهموار و نامنظم
- کنترل انحراف چال و توجه به عمق بهینه
- کنترل نمودن چالها از بابت وجود حفره ها، شکاف ها و ترک ها
- لق گیری و پاکسازی اطراف دهانه چال و دیواره جبهه های آزاد از سنگهای سست قبل از شروع عملیات چالزنی
- گل گذاری دقیق از نقطه نظر اندازه ارتفاع گل گذاری و استفاده از مواد مناسب

- کنترل خرج گذاری مواد منفجره و توزیع مناسب آن در طول چال انفجاری
- انتخاب ترتیب شروع انفجار مناسب که منجر به جهت شکست خوبی در انفجار گردد.
- قرار دادن چاشنی یا پرایمر در ته چال و در نتیجه شروع انفجار از ته چال
- صرفنظر نمودن از خرج گذاری چالی که شرایط نامناسب دارد.
- انتخاب مناسب جهت عمومی جبهه کارها و آرایش چالها بصورتی که پر تاب احتمالی سنگ به مکانهای بی خطر هدایت شود.
- استفاده از شبکه های سنگین (Blast Mats) و خاکریزهای تقویتی
- باقی گذاشتن مقداری سنگ در جلوی پله قبل از انفجار مرحله بعد می تواند مفید باشد. در این صورت ارتفاع تودهٔ مورد نظر باید به اندازهٔ ارتفاع خرج ته چال انفجار مرحله بعد بوده و شیب آن ۴۵° باشد.
- اگر چالهای یک ردیف به نوبت و با چاشنی های کم تاخیری منفجر شوند در نتیجه پیامدهای انفجار کاهش خواهد یافت.
- استفاده از رله های تأخیری در بین ردیف های متوالی
- و در نهایت رعایت نمودن تمامی قوانین ایمنی انفجار و خارج کردن افراد متفرقه از نقاط خطرناک

مراجع

[1] – Jimeno,C.L. & Jimeno,E.L. & Carcedo,F.J.A., (1995), "Drilling and Blasting of Rocks", Geomining Technological Institute of Spain, Balkema, Rotterdam .

[۲] - استوار، رحمت الله، (۱۳۷۳)، "آتش کاری در معادن" ، جلد دوم، جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[۳] – شرکت مهندسین مشاور کاوشگران، (۱۳۸۱)، "طرح ایمنی، نجات و بهداشت معدن سه چاهون".