

بررسی اثرات انفجار بر پرده آب‌بند سد مخزنی سرابی تویسرکان

فریدون رضایی^۱، احمد سدیدخوی^۲ و علی حسن شریفی^۳

^۱استادیار، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پژوهشکده علوم زمین، تهران، ایران.

^۲استادیار، دانشگاه تهران، مؤسسه ژئوفیزیک، تهران، ایران.

^۳کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده علوم پایه، گروه زمین‌شناسی مهندسی، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۳/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۳/۱۶

چکیده

عملیات انفجار در استخراج معادن و کارهای عمرانی به عنوان یکی از مراحل اصلی در چرخه عملیاتی مطرح است. انرژی آزاد شده در یک انفجار معدن افزون بر خرد و گرم کردن سنگ‌های اطراف محل انفجار، باعث انتشار انرژی لرزه‌ای در محیط اطراف معدن می‌شود. به منظور بررسی تأثیر انفجارهای حاصل در معادن سد سرابی تویسرکان (واقع در فاصله ده کیلومتری خاور شهر تویسرکان) و ایمن بودن پرده آب‌بند از نظر همزمانی عملیات تزریق و انفجار، به کمک چند دستگاه لرزه‌نگار رقمی PDAS با لرزه‌سنج‌های سه مؤلفه کوتاه، دوره L-4C ثبت شد. با پردازش لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده در ناحیه معدنی سد سرابی تویسرکان، پربندهای بیشینه هم‌سرعت جابه‌جایی ذرات برای انفجارها تهیه شد و الگوی تابش لرزه‌ای حاصل از انفجارها برای تحلیل ایمنی پرده آب‌بند تجزیه و تحلیل شد. نتایج این پژوهش و استانداردهای موجود در معادن روباز نشان داد که از دیدگاه لرزه‌ای آب‌بند در منطقه‌ای کاملاً امن از انفجارهای حاصل در معادن سد سرابی تویسرکان قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: لرزه‌نگار، سرعت جابه‌جایی ذرات، پرده آب‌بند، معدن، انفجار

*نویسنده مسئول: فریدون رضایی

E-mail: rezaie8@yahoo.fr

۱- مقدمه

سد سرابی تویسرکان در فاصله ده کیلومتری خاور تویسرکان قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی این سد در شکل ۱ نشان داده شده است. سد مخزنی سرابی با بدنه سنگریزه‌ای، هسته رسی و تأسیسات هیدرولیکی بر روی رودخانه گزندر واقع در حدود ۱۰ کیلومتری خاور تویسرکان احداث می‌شود. حوضه آبریز سد در محدوده آبریز رودخانه قلقل رود قرار دارد و ارتفاع ساختگاه سد حدود ۲۱۴۵ متر از سطح تراز دریا است. از اهداف مهم احداث این سد می‌توان به کنترل سیلاب حوضه، تأمین آب موردنیاز باغداری، آشامیدن، پرورش ماهی و گسترش زراعت و باغبانی و مکان‌های تفریحی و سیاحتی اشاره کرد.

در مرحله مطالعات انجام شده یک گالری تزریق برای انجام آب‌بندی و تزریق پیش‌بینی شده بود و در مطالعات انجام شده توسط مشاور پروژه، بافت معادن منطقه تا ژرفای ۱۵ متری از نوع هوازده تشخیص داده شده است، از طرفی بیشتر مصالح مورد نظر نیز برای احداث بدنه از معدن شماره ۱ که در فاصله دورتری از معدن شماره ۲ به تاج و بدنه سد است (شکل ۲)، در نظر گرفته شده بود، اما در حین اجرا مشخص شد که بافت معدن شماره ۱ دارای هوازدگی بیشتری نسبت به معدن شماره ۲ است و به همین دلیل برای صرفه‌جویی در هزینه‌ها و برداشت روباره کمتر، به‌دست آوردن مصالح به‌طور عمده بر روی معدن شماره ۲ که فاصله آن تا محل احداث بدنه، یک سوم فاصله تا معدن شماره ۱ است، متمرکز شد. از سوی دیگر در حین اجرا و بر اساس صلاح‌دید مشاور و کارفرما، گالری تزریق حذف و عملیات تزریق همزمان با بدست آوردن مصالح از معادن انجام شد. با وجود مطالعات صورت گرفته، به‌دست آوردن مصالح در معدن شماره ۲ پس از روباره‌برداری اولیه، فقط با انجام انفجار میسر بود که این امر نیز با انجام تزریق‌های پرده آب‌بند، که حساسیت بالایی دارد، همراه شد. به‌همین دلیل به منظور بررسی تأثیر انفجارهای حاصل در معادن سد سرابی تویسرکان (واقع در فاصله ده کیلومتری خاور تویسرکان) بر روی پرده آب‌بند سد، به کمک چند دستگاه لرزه‌نگار رقمی PDAS با لرزه‌سنج‌های سه مؤلفه کوتاه دوره L-4C به مدت سه روز، ارتعاشات لرزه‌ای حاصل از انفجارها در معادن ثبت شد تا نتایج حاصل معیار تصمیم‌گیری در انجام انفجارهای معادن باشد.

۲- روش‌شناسی

۲-۱. ویژگی‌های انفجار در معادن روباز

مهم‌ترین اثرات ناشی از انفجار معادن روباز جدا شدن و خرد شدن ماده معدنی از کانسار، ارتعاش زمین، ایجاد امواج صوتی، پرتاب سنگ و ایجاد گرد و غبار ناشی از انفجار است. افزون‌بر جدا و خرد شدن ماده معدنی که هدف اصلی در انفجارهای معادن روباز است، هر یک از اثرات دیگر می‌تواند در شرایط معین موجب خسارت بر انسان و سازه‌های اطراف محل انفجار شود. لرزش زمین بر روی پایداری توده‌های سنگی اطراف و تأسیسات موجود در منطقه اثر می‌گذارد. برای کاستن اثرات ناشی از لرزش زمین و برای محافظت از سازه‌های مختلف تانکون پژوهش‌های گسترده‌ای انجام شده است که می‌توان آنها را در دو زمینه زیر خلاصه کرد.

الف) پیش‌بینی میزان لرزش و به‌دست آوردن یک محدوده خطر در اطراف محل انفجار

ب) کاهش میزان لرزش ناشی از انفجار

مهم‌ترین معیار برای ارزیابی و پیش‌بینی میزان خسارت ناشی از لرزش زمین در اثر انفجار، بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات است. استانداردهای لرزش مجاز بر اساس شاخص‌ها و مدل‌های ریاضی مختلف برای پیش‌بینی بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است که هر کدام با توجه به شرایط و ویژگی‌های زمین‌شناسی برای همان منطقه کاربرد دارد. تحقیقات جدی در این زمینه در سال ۱۹۳۰ توسط اداره معادن آمریکا شروع و نتیجه اولین تحقیقات آنها در سال ۱۹۴۲ منتشر شد (Konya & Walter, 1985).

انرژی آزاد شده در یک انفجار معدن روباز باعث خرد کردن، گرم کردن سنگ‌های اطراف محل انفجار و انتشار انرژی صوتی لرزه‌ای در محیط اطراف معدن می‌شود. با ثبت ارتعاشات لرزه‌ای توسط لرزه‌نگارها می‌توان بررسی‌های لازم برای تعیین اثرات انفجار بر روی سازه‌های موجود در حوالی یک معدن روباز را انجام داد. متغیرهای اصلی در این مورد، ویژگی‌های انفجار و امواج الاستیک، زمین‌شناسی منطقه و محیط انتشار، فاصله از محل انفجار، ویژگی‌های ساختگاه و سازه هستند.

مهم‌ترین عواملی که در انفجار معادن روباز بر ایجاد ارتعاش زمین نقش دارند،

مختلف صورت می‌پذیرد که بیشتر این عوامل عبارتند از پراکندگی هندسی، جذب و پراکندگی انرژی در مرز مشترک بین لایه‌ها.

در یک محیط همگن همسانگرد، هنگامی که چشمه لرزه‌ها به صورت نقطه فرض شود جبهه‌های موج به صورت کرات هم‌مرکز خواهند بود و در این صورت در اثر پراکندگی انرژی لرزه‌ای روی سطوح کرات بزرگ‌تر چگالی انرژی لرزه‌ای در واحد سطح با افزایش فاصله از محل انفجار کاهش می‌یابد. دامنه جابه‌جایی ذرات در این حالت با توان دوم فاصله کاهش می‌یابد. در صورتی که چشمه لرزه‌ها را به صورت خط بتوان تقریب زد، جبهه‌های موج سطوح استوانه به محوریت خط چشمه خواهند بود و دامنه جابه‌جایی ذرات با توان اول فاصله کاهش می‌یابد. اگر چشمه لرزه‌ها بتواند به صورت یک سطح افقی درآید، در اثر پراکندگی هندسی انرژی لرزه‌ای با افزایش فاصله یا به عبارت دیگر در اثر طی مسیر، کاهش نخواهد یافت.

میزان کاهش دامنه امواج لرزه‌ای در اثر جذب، بستگی به عوامل مختلف از جمله درصد اشباع، نوع سیمان ذرات سنگ‌ها، اجزای تشکیل‌دهنده سنگ‌ها، میزان تخلخل، درز، شکاف، حفره‌ها و متغیرهای دیگر دارد. این کاهش دامنه امواج لرزه‌ای انتخابی است و معمولاً بسامدهای بالاتر نسبت به بسامدهای پایین‌تر بیشتر جذب محیط می‌شوند. به عبارت دیگر انرژی لرزه‌ای به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. به‌طور کلی زمین محیط انتشار را از این دیدگاه می‌توان یک فیلتر پایین‌گذر فرض کرد.

کاهش دامنه انرژی لرزه‌ای در مرز مشترک بین دو محیط، بستگی به اختلاف مقاومت صوتی آنها دارد. در مرز مشترک دو محیط با مقاومت صوتی مختلف، درصدی از امواج لرزه‌ای بدون تغییر عبور می‌کنند، بخشی تبدیل به موج دیگر و برخی بازتاب و یا در مرز مشترک بین دو لایه ادامه مسیر می‌دهند. قانون اسنل بر امتداد انتشار امواج مختلف در مرز مشترک بین دو لایه حاکم است.

تأثیر فاصله بر روی دامنه، سرعت و شتاب جابه‌جایی ذرات توسط پژوهشگران مختلف بررسی شده است که در اینجا به دلیل آن‌که کمیت مورد اندازه‌گیری در انفجارهای معادن روباز سرعت جابه‌جایی ذرات است، به برخی از روابطی که پژوهشگران در این مورد به‌دست آورده‌اند اشاره می‌شود. اولین رابطه تجربی در زیر ارائه شده است. (Lopez Jimeno et al., 1995)

$$V = K \frac{\sqrt{Q}}{D} \quad (1)$$

که در آن V سرعت جابه‌جایی ذرات بر حسب میلی‌متر بر ثانیه، K مقدار ثابت تجربی، Q جرم کل ماده منفجره در هر تأخیر بر حسب کیلوگرم و D فاصله از محل انفجار بر حسب متر است. برخی از پژوهشگران رابطه (۲) را ارائه کرده‌اند (Lopez Jimeno et al., 1995).

$$V = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{D} \right)^n \quad (2)$$

عده‌ای نیز مواد انفجاری را به صورت استوانه‌هایی در نظر گرفته‌اند و رابطه (۳) را ارائه کرده‌اند. این رابطه به‌طور گسترده توسط خیلی از پژوهشگران و مجریان طرح‌های انفجاری استفاده می‌شود (Lopez Jimeno et al., 1995). در این نوشتار از روابط (۱) و (۲) نیز استفاده می‌شود.

$$V = K \left(\frac{\sqrt{Q}}{D} \right)^n \quad (3)$$

در مدل سوم که مورد استفاده قرار گرفته است، سرعت جابه‌جایی ذرات بر حسب فاصله مقیاس شده از ریشه $\frac{3}{4}$ مقدار ماده انفجاری به‌ازای هر تأخیر، مطابق رابطه زیر استفاده می‌شود (Lopez Jimeno et al., 1995):

$$V = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q^2}}{D} \right)^n \quad (4)$$

۴- ثبت داده‌های لرزه‌ای در محدوده معدن سد سرایی تویسرکان

به منظور بررسی تأثیر انفجارهای معدن روباز سد سرایی تویسرکان بر روی پرده آببند، عملیات ثبت لرزه‌نگاشت‌ها با دستگاه‌های لرزه‌نگاری رقمی PDAS و

مقدار و نوع ماده منفجره، آرایه هندسی انفجار و زمان تأخیر بین انفجار چاله‌ها هستند. این عوامل باید طوری انتخاب شوند که بیشترین درصد انرژی حاصل از انفجار صرف جدا کردن ماده معدنی از کانسار شود و تا حد امکان کمترین مقدار به انرژی لرزه‌ای تبدیل شود. مقدار و نوع ماده منفجره بستگی مستقیم به میزان انرژی لرزه‌ای حاصل از انفجار دارد. آرایه هندسی و زمان تأخیر مناسب بین انفجار چاله‌ها می‌تواند نقش زیادی در کاهش تبدیل انرژی حاصل از انفجار به انرژی لرزه‌ای داشته باشند. آرایه هندسی و زمان تأخیر باید آن‌گونه انتخاب شوند تا بیشترین تداخل مخرب امواج لرزه‌ای به وقوع بپیوندد و ارتعاش حاصل دارای کمترین انرژی لرزه‌ای باشد. فاصله بین چاله‌ها و زمان تأخیر بستگی به چیرگی بسامد امواج حاصل از انفجارها در چاله‌ها و همچنین سرعت انتشار امواج در محیط ماده معدنی دارد. روشن است که سرعت انتشار امواج در محیط ماده معدنی و محدوده بسامدی امواج، عوامل تأثیرگذاری بر طول موج آنها، هستند که میزان طول موج‌ها می‌تواند نقش به‌سزایی در انتخاب فاصله بین چاله‌ها و زمان‌های تأخیر داشته باشد. البته فاصله مناسب بین چاله‌ها از دیواره‌های اطراف محیط انفجار هم نقش مهمی در تداخل مخرب امواج لرزه‌ای دارند.

۲-۲. ویژگی‌های امواج لرزه‌ای انفجار در معادن روباز

انفجار در یک محیط صلب همگن همسانگرد تنها باعث ایجاد امواج تراکمی می‌شود. در هنگام انتشار این امواج، امتداد ارتعاش و جابه‌جایی ذرات در امتداد مسیر انتشار است. به این دلیل این امواج را طولی نیز می‌نامند. از آنجا که محدوده آرایه چاله‌های انفجار یک معدن، ناهمگن و ناهمسانگرد است. طبیعی است که انتظار برود افزون‌بر امواج تراکمی، درصدی از انرژی لرزه‌ای در هنگام انفجار به صورت امواج برشی انتشار یابند. در انتشار امواج برشی امتداد جابه‌جایی یا ارتعاش ذرات عمود بر امتداد انتشار است، از این رو این امواج را عرضی نیز می‌نامند. سرعت انتشار امواج برشی کمتر از سرعت انتشار امواج تراکمی است. گفتنی است در انفجارها درصد انرژی لرزه‌ای که به صورت امواج تراکمی در می‌آید، بیشتر از امواج برشی است.

از آنجا که عموماً محیط انتشار امواج لرزه‌ای دارای لایه‌بندی است، معادلات ریاضی حاکم بر انتشار امواج لرزه‌ای نشان می‌دهند که در اثر انتشار امواج تراکمی و برشی در شرایط ویژه‌ای امواج مرزی یا سطحی ایجاد می‌شوند که بیشتر انواع آنها امواج ریلی و لائو هستند. ویژگی مهم این امواج کاهش دامنه جابه‌جایی ارتعاش آنها به صورت نمایی با ژرفا است. در مورد امواج ریلی امتداد ارتعاش ذرات در صفحه قائم و در سطح زمین به صورت بیضی و از نوع retrograde است، در صورتی که در مورد امواج لائو امتداد ارتعاش ذرات در صفحه افق و عمود بر امتداد انتشار آنها است. شکل ۳ ارتباط بین امتداد ارتعاش ذرات و امتداد انتشار چهار نوع موج بالا را نشان می‌دهد.

افزون‌بر موارد یاد شده ویژگی‌های مشترک اصلی این امواج عبارتند از دامنه، سرعت و شتاب جابه‌جایی ذرات، محتوای بسامد ارتعاش ذرات، مدت دوام لرزش، طول موج و سرعت انتشار آنها. با توجه به محتوای بسامد امواج لرزه‌ای که توسط چشمه لرزه‌ها ایجاد می‌شود نوع دستگاه لرزه‌نگار را از بابت این‌که کدام یک از کمیت‌های موج (دامنه جابه‌جایی ذرات، سرعت جابه‌جایی ذرات و شتاب جابه‌جایی ذرات) را ثبت کند انتخاب می‌کنند. تجربه نشان داده است با توجه به محدوده بسامدی امواج لرزه‌ای حاصل از انفجار در معادن روباز، مناسب‌تر است از دستگاه‌های لرزه‌نگاری که سرعت جابه‌جایی ذرات را ثبت می‌کنند، استفاده شود.

۳- روش پژوهش

در فواصل نزدیک به محل انفجار ویژگی ارتعاش زمین بیشتر تحت تأثیر عواملی مانند قدرت انفجار، آرایه هندسی انفجار و دیگر عوامل مربوط به انفجار است اما در فواصل دورتر از محل انفجار، محیط انتشار و فاصله تا محل انفجار تأثیر بیشتری بر روی ویژگی ارتعاش زمین دارد. میرایی و تضعیف امواج لرزه‌ای با فاصله به صورت

لرزه‌سنج‌های سه مؤلفه L-4C به مدت سه روز از تاریخ ۱۳۸۷/۴/۷ در محوطه سد و معدن یادشده صورت پذیرفت.

در بعد از ظهر روز ۸۷/۴/۷ ارتعاشات حاصل از سه انفجار عادی در بخش جنوب باختری معدن ثبت شد. در روز ۸۷/۴/۸ ارتعاشات حاصل از سه انفجار دیگر در بخش جنوب باختری معدن برداشت شد. موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در این شش انفجار در شکل ۴ نشان داده شده است.

در روز سوم ۸۷/۴/۹ دو انفجار دیگر انجام و ارتعاشات مربوط به آن ثبت شد. موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در انفجار هفتم و هشتم به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

در آخرین روز و به‌منظور جلوگیری از تأثیر لایه‌های هوازد به روی داده‌های انفجار، ایستگاه‌های لرزه‌نگاری، درون چاله‌ای در بدنه سنگ یکپارچه قرار گرفت. همچنین به منظور تعیین رابطه میان سرعت جابه‌جایی ذرات و فاصله مقیاس شده برای ارزیابی اثر تخریبی انفجار، از سه مدل متفاوت اشاره شده در بخش روش پژوهش (فرمول‌های ۲ تا ۴) استفاده شد. در فواصل نزدیک به محل انفجار ویژگی ارتعاش زمین بیشتر تحت تأثیر عواملی مانند قدرت انفجار، آرایه هندسی انفجار و دیگر عوامل مربوط به انفجار است اما در فواصل دورتر از محل انفجار، محیط انتشار و فاصله تا محل انفجار تأثیر بیشتری بر روی ویژگی ارتعاش زمین دارد. میرایی و تضعیف امواج لرزه‌ای با فاصله به صورت مختلف صورت می‌پذیرد که بیشتر این عوامل عبارتند از پراکندگی هندسی، جذب و پراکندگی انرژی در مرز مشترک بین لایه‌ها.

هدف از این آرایه لرزه‌نگارها تعیین الگوی تابش انفجار و تأثیر آن روی پرده آب‌بند بوده است. این آرایه طوری انتخاب شده است تا راستای میان محل آب‌بند و موقعیت انفجار را دربرگیرد. لرزه‌سنج‌های سه مؤلفه در هر ایستگاه به گونه‌ای نصب شدند که یک مؤلفه افقی آن (مؤلفه شعاعی) به طرف محل انفجار و مؤلفه افقی دیگر (مؤلفه مماسی) در امتداد عمود بر راستای یاد شده و مؤلفه سوم قائم بر سطح زمین بوده است.

ویژگی‌های انفجارهای ۳ روز اول در جدول ۱ و اطلاعات انفجارهای روز آخر نیز در جدول ۲ آمده است.

طول زمانی هر اندازه‌گیری حدود ۲۰ ثانیه و فاصله بین دو نمونه متوالی در هنگام رقصی کردن ۲۰ میلی‌ثانیه یعنی ۵۰ نمونه در ثانیه برداشت شده است.

نمونه‌ای از لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده در شکل ۷ نشان داده شده است. این دامنه جابه‌جایی زمین برحسب شمارش و محور افقی زمان برحسب ثانیه است. محل استقرار ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در پنج انفجار مرحله دوم در امتداد یک نیم‌رخ است که از مجاورت معدن ۲ شروع و در کنار بدنه سد تمام می‌شود.

X و Y موقعیت مکانی انفجار و Q مقدار کل شارژ انجام شده در هر انفجار است. نمونه‌ای از لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده در شکل ۸ نشان داده شده است. این لرزه‌نگاشت مربوط به مؤلفه قائم لرزه‌نگاشت ثبت شده در ایستگاه ۳ (مجاورت بدنه سد) که در اثر انفجار ایجاد شده در معدن شماره یک است. مقدار ماده انفجاری استفاده شده در این انفجار ۱۰۰۰ کیلوگرم و بیشینه سرعت جابه‌جایی به‌دست آمده در این ایستگاه برابر ۰/۱۷ میلی‌متر بر ثانیه بوده است.

۵- پردازش داده‌های لرزه‌ای ثبت شده در معدن سد سرابی تویسرکان

به منظور تعیین بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات و بررسی تأثیر انفجارها بر روی پرده آب‌بند سد سرابی تویسرکان، داده‌های لرزه‌ای ثبت شده در این محدوده مطابق مراحل زیر پردازش شدند.

مرحله اول: بررسی کل لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده در تعیین محدوده مورد نظر به‌منظور جدا کردن انفجار از کل لرزه‌نگاشت‌ها

مرحله دوم: تغییر کمیت محور قائم از شمارش به میلی‌متر بر ثانیه

مرحله سوم: حذف اثر دستگاه ثابت

مرحله چهارم: تعیین بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات و رسم نمودارهای مختلف

مرحله پنجم: تهیه طیف دامنه لرزه‌نگاشت

نتیجه این پردازش تهیه پریندهای هم‌سرعت جابه‌جایی ذرات، تعیین نمودار سرعت جابه‌جایی ذرات بر حسب فاصله و فاصله مقیاس شده است. به منظور تشریح مراحل پردازش، مؤلفه شعاعی لرزه‌نگاشت حاصل از انفجار هفتم در ایستگاه لرزه‌نگاری یک (ایستگاه لرزه‌نگاری واقع در محدوده پرده آب‌بند) به عنوان نمونه انتخاب و تمام مراحل بر روی آن اعمال می‌شود. این لرزه‌نگاشت در شکل ۹ نشان داده شده است.

مرحله اول- در این مرحله نگاشت‌های ثبت شده توسط هر دستگاه لرزه‌نگار سه مؤلفه PDAS بررسی و برای جدا کردن محدوده انفجار از کل نگاشت به کار برده می‌شود. شکل ۱۰ مؤلفه قائم لرزه‌نگاشت ثبت شده توسط دستگاه لرزه‌نگار PDAS شماره ۲۰۰ مندرج در شکل ۹ مربوط به انفجار روز سوم (۸۷/۴/۹) که از کل نگاشت جدا شده است.

مرحله دوم- از آنجا که دستگاه لرزه‌نگار PDAS به گونه‌ای طراحی شده است که محور قائم نگاشت‌ها بر اساس شمارش است، ضرورت دارد به مقیاس کمیت مورد اندازه‌گیری که سرعت جابه‌جایی ذرات است تبدیل شود. بنابراین محور قائم ابتدا از شمارش به میلی‌ولت سپس به میلی‌متر بر ثانیه تبدیل می‌شود. این امر با استفاده از راهنمای استفاده و به کارگیری دستگاه PDAS و آزمایش‌های مختلف در آزمایشگاه صورت پذیرفته است (PDAS user's guide, 1989).

شکل ۱۱ لرزه‌نگاشت مربوط به شکل ۱۰ با مقیاس قائم سرعت جابه‌جایی ذرات به جای شمارش را نشان می‌دهد.

مرحله سوم - از روی لرزه‌نگاشت‌های تصحیح شده برای تمام انفجارها، بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات استخراج و سپس پریندهای هم‌سرعت جابه‌جایی ذرات رسم شد. در مورد انفجار هفتم پریندهای هم‌سرعت بیشینه جابه‌جایی ذرات به عنوان نمونه در شکل ۱۲ رسم شده است. همچنین تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات بر حسب فاصله از محل انفجار و نمودار تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات بر حسب فاصله مقیاس شده از محل انفجار برای هر انفجار و تمام انفجارها با هم رسم شدند. شکل ۱۳ نمودار تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات بر حسب فاصله از محل انفجار و شکل ۱۴ تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب فاصله مقیاس شده را برای انفجار هفتم نشان می‌دهند.

شکل‌های ۱۵-الف و ب تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات کل، مؤلفه قائم، شعاعی و مماسی را بر حسب فاصله مقیاس شده برای تمام انفجارها نشان می‌دهد.

تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات بر حسب فاصله مقیاس شده از محل انفجار برای تمام انفجارها و به کارگیری سه مدل متفاوت که جزئیات آنها در بخش ۳ (فرمول‌های ۲، ۳ و ۴) بیان شد، رسم شد. نمودار تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب فاصله مقیاس شده و با به کارگیری مدل‌های مختلف در شکل‌های ۱۶ تا ۱۹ رسم شده است. روابط به‌دست آمده در گوشه بالای سمت راست شکل‌ها نشان داده شده است.

شکل ۱۹ تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات کل، مؤلفه قائم، شعاعی و مماسی را برحسب فاصله مقیاس شده برای تمام انفجارها (تلفیقی از ۸ انفجار اول و ۵ انفجار دوم) و همچنین به کارگیری از مدل $(\frac{D}{\sqrt{Q}})$ را نشان می‌دهد.

مرحله چهارم - طیف دامنه تبدیل فوریه لرزه‌نگاشت‌های سرعت جابه‌جایی ذرات مربوط به انفجار، که تمامی تصحیحات روی آنها انجام شده بود با توجه به نرم‌افزارهای موجود برای تمام مؤلفه‌ها تعیین شد. گفتنی است که محور قائم طیف دامنه دوباره سرعت جابه‌جایی ذرات است. شکل ۲۰ طیف دامنه لرزه‌نگاشت مؤلفه شعاعی انفجار ثبت شده در ایستگاه یک واقع در محدوده پرده آب‌بند برای انفجار هفتم را نشان می‌دهد.

۶- حد سلامتی

از انفجارها بر پرده آببند تجزیه و تحلیل شدند. با رسم تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات بر حسب فاصله مقیاس شده، محتوای بسامدی و با توجه به حد سلامتی در انفجار معادن روباز، بررسی شد که آیا پرده آببند از دیدگاه انرژی لرزه‌ای در منطقه امن قرار دارد یا خیر که به شرح آنها پرداخته می‌شود. پس از پردازش لرزه‌نگاشت‌هایی که در موقعیت لرزه‌نگارهای تحت عنوان ایستگاه‌های لرزه‌نگاری ۱ تا ۳ در موقعیت معدن ۲ و سد نامگذاری شده بودند، سه مؤلفه بیشینه سرعت جابه‌جایی در حیطه زمان خوانش و بنابراین بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات تعیین شد. نتایج تعیین بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات در جدول‌های ۴ و ۵ آمده است. به منظور تعیین بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات و بررسی تأثیر انفجارات بر روی پرده آببند سد سرابی توپسرکان، داده‌های لرزه‌ای ثبت شده در این محدوده پردازش شدند. نتایج این تحلیل که در جدول‌های ۴ و ۵ آمده است، نشان می‌دهد که بیشینه سرعت به‌دست‌آمده برابر $4/214$ میلی‌متر بر ثانیه است که در اثر انفجار دوم (جدول ۲) بوده و در ایستگاه لرزه‌نگاری یک (معدن ۲- فاصله $67/22$ متری) ثبت شده است.

با توجه به ضریب همبستگی به‌دست آمده (شکل ۱۹) برای مدل‌های به‌کار گرفته شده، بهترین مدل که بیشترین تطبیق را با ساختار زمین‌شناسی منطقه سد سرابی توپسرکان دارد مدل شماره سه $(\frac{D}{\sqrt{Q}})$ است (فرمول ۴- بخش ۳). بنابراین این مدل را به عنوان مدل مرجع برای بررسی اثرات تخریبی انفجارات انتخاب می‌کنیم.

طیف دامنه تبدیل فوریه لرزه‌نگاشت‌های سرعت جابه‌جایی ذرات مربوط به انفجار که تمامی تصحیحات روی آنها انجام شده بود با توجه به نرم‌افزارهای موجود برای تمام مؤلفه‌ها تعیین شد. گفتنی است که محور قائم طیف همان‌گونه که در این جدول دیده می‌شود، بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات به‌دست آمده حداکثر $4/214$ میلی‌متر بر ثانیه است که در ایستگاه یک در فاصله $67/22$ متری به‌دست آمده است. بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات به‌دست آمده برای همین انفجار در ایستگاه سه یعنی در مجاورت پرده آببند سد (در فاصله $626/87$ متری) برابر $0/054$ میلی‌متر بر ثانیه به‌دست آمده است. با توجه به این‌که بیشینه سرعت مجاز برای پرده آببند برابر 14 میلی‌متر بر ثانیه است، بنابراین برای انفجار $61/586$ کیلوگرم به‌ازای یک تأخیر، پرده آببند در منطقه به‌طور کامل امن قرار دارد. تأخیرهای hs باعث تخریب دامنه موج و کاهش اثرات مخربی انفجار می‌شود که در اینجا نیز آشکارا مشخص شده است. به عنوان نمونه در انفجار چهارم (جدول ۲) در معدن ۲ که مقدار قدرت انفجار $184/757$ کیلوگرم است اما در سه تأخیر انجام شده بود، به‌ترتیب سرعت جابه‌جایی ذرات $0/404$ در ایستگاه یک و $0/049$ در ایستگاه شماره ۳ به‌دست آمده است. این به روشنی نشان می‌دهد که اعمال سه تأخیر با وجود سه برابر شدن مقدار ناریه، سرعت جابه‌جایی ذرات را 10 برابر کاهش می‌دهد. البته این تمایز در فاصله‌های نزدیک به‌گونه آشکارتری اثر خود را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان با اطمینان کامل گفت که انفجارهای معمولی انجام شده در معدن اثر تخریبی بر پرده آببند نخواهد داشت. براساس روابط ریاضی میان مقادیر بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات و فاصله مقیاس شده و به‌کارگیری مدل‌های مختلف در معدن سد سرابی توپسرکان، جدول ۶ برای کنترل انفجارها و نبود اثرات مخرب بر پرده آببند ارائه می‌شود.

با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود که برای فاصله 500 متری از محل انفجار یعنی برای بررسی نبود تأثیرپذیری پرده آببند از انفجار مطابق با مدل اول (فرمول ۲- بخش ۳) 736 کیلوگرم، برای مدل دوم (فرمول ۳- بخش ۳) 2333 کیلوگرم و برای مدل سوم (فرمول ۴- بخش ۳) 321 کیلوگرم ماده انفجاری به‌ازای هر تأخیر می‌توان به‌کار برد. با توجه به این‌که مدل سوم بیشترین تطابق را با محیط سد سرابی توپسرکان دارد (به‌دلیل ضریب همبستگی بالا)، ستون چهارم جدول ۶ را به عنوان مبنا برای ارائه مقادیر مجاز مقدار ناریه مورد استفاده پیشنهاد می‌کنیم. بنابراین برای

پژوهشگران زیادی در زمینه بررسی اثرات انفجارهای روباز بر روی سازه‌ها مطالعه کرده‌اند. از جمله (Arandelovic (1969 این مطالعه را برای معدنی در یوگسلاوی پیشین انجام داده است. کل جرم ماده ناریه در یک انفجار در مطالعه ایشان 1000 کیلوگرم بود. سرعت جابه‌جایی ذرات در شش محل اندازه‌گیری شد. با توجه به این‌که مؤلفه‌های شعاعی بیشترین مقدار را نسبت به مؤلفه‌های دیگر داشتند پربندهای هم‌سرعت برای این انفجار و برای مؤلفه شعاعی رسم شد که در شکل ۲۱ آورده شده است. ایشان در مطالعه خود سرعت جابه‌جایی ذرات کمتر از $1/5$ cm/s را در منطقه به‌طور کامل امن و سرعت جابه‌جایی ذرات بیشتر از 6 cm/s را در منطقه کاملاً ناامن در نظر گرفت. همچنین با اندازه‌گیری بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات در 10 نقطه، رابطه سرعت جابه‌جایی بر حسب فاصله مقیاس شده را برای معدن مس به‌دست آورد. این ارتباط در شکل ۲۲ نشان داده شده است. در این شکل حد بالایی سرعت‌های جابه‌جایی اندازه‌گیری شده که قابل انتظار هستند، به صورت خط‌چین رسم شده‌اند. در گوشه بخش راست بالایی این شکل، نمودار سرعت جابه‌جایی بر حسب فاصله مقیاس یافته برای محدوده وسیع‌تری از سرعت جابه‌جایی ذرات رسم شده است (بیش از 2 سانتی‌متر بر ثانیه).

(Arandelovic (1969 تأثیر کارکرد ماشین سنگ‌شکن IMPA را نیز بررسی کرد و سرعت جابه‌جایی ذرات زمین را در اثر کارکرد ماشین سنگ‌شکن به‌دست آورد. اندازه‌گیری در 8 محل در هنگام کار ماشین سنگ‌شکن صورت گرفت (شش محل روی زمین و دو محل بر روی ساختمان). بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات برابر $0/833$ cm/s در نقطه ۱ به‌دست آمد. ارتباط این سرعت جابه‌جایی ذرات با فاصله در شکل ۲۳ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد در فاصله‌های بیش از 27 متر مقدار سرعت جابه‌جایی ذرات محدود و کمتر از $0/2$ cm/s شده است.

۶-۱. محل اندازه‌گیری

(Lopez Jimeno et al. (1995 در پژوهش‌هایی مشابه رابطه سرعت جابه‌جایی ذرات بر حسب فاصله مقیاس شده را به‌دست آوردند که در شکل ۲۴ آورده شده است. این پژوهشگران جدول ۳ را برای حد سلامتی (بیشینه سرعت قابل تحمل جابه‌جایی ذرات) و فاصله مقیاس شده پیشنهادی اداره معادن روباز آمریکا در 1983 به عنوان یک مرجع ارائه کردند.

به منظور بررسی حد سلامتی تنها در نظر گرفتن بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات کفایت نمی‌کند بلکه باید محدوده چیره بسامدی ارتعاشات ایجاد شده را نیز در نظر گرفت. یا به عبارت دیگر تلفیق دو کمیت فیزیکی بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات و محدوده چیره بسامدی ارتعاشات می‌تواند به عنوان کمیت‌های اصلی در بررسی حد سلامتی یک سازه در نظر گرفته شوند. شکل ۲۵ این دو کمیت را برای حد سلامتی سازه‌های مختلف تشریح کرده است. در این شکل محدوده بسامدی 10 تا 80 هرتز در نظر گرفته شده است در حالی که شکل ۱۹ برای حد سلامتی در محدوده وسیع‌تری از بسامدها (صفر تا 100 هرتز) ارائه شده است (Lopez Jimeno et al., 1995). در میان متغیرهای مختلف مؤثر بر لرزش زمین، زمان تأخیر اهمیت قابل توجهی دارد. (Blair (1993 مطالعاتی در زمینه اثر تأخیرهای مختلف بر لرزش انجام داد. همچنین (Wheeler (1988 و (Djordjevic (1997 پژوهش‌هایی در زمینه کمینه‌سازی لرزش به وسیله تعیین تأخیر مناسب داشته‌اند. پژوهش‌های همه پژوهشگران نشان داده است با افزایش زمان تأخیر، بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات همان‌گونه که در شکل ۲۷ نشان داده شده است، به‌طور نمایی کاهش می‌یابد (Lopez Jimeno et al., 1995).

۷- تفسیر داده‌های لرزه‌ای معدن سد سرابی توپسرکان

داده‌های لرزه‌ای پردازش شده مربوط به پنج انفجار ۳ روز اول و ۵ انفجار روز آخر در معدن سد سرابی توپسرکان برای بررسی تکمیلی تأثیر ارتعاشات لرزه‌ای حاصل

- مؤلفه شعاعی بیشینه سرعت جابه‌جایی انرژی لرزه‌ای حاصل از انفجارها بیش از مؤلفه‌های قائم و مماسی است.
- بررسی پربندهای بیشینه هم‌سرعت جابه‌جایی ذرات در مورد هر سه مؤلفه قائم، شعاعی و مماسی نشان می‌دهد که پرده آب‌بند در منطقه امن ارتعاشات لرزه‌ای حاصل از انفجارهای عادی معدن قرار دارد.
- بررسی تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات با فاصله مقیاس شده از محل انفجار و گذر نکردن از حد سلامتی نشان داد که پرده آب‌بند در منطقه امن نسبت به محل انفجارها قرار دارد.
- بررسی پربندهای بیشینه هم‌سرعت جابه‌جایی ذرات الگوی تابش لرزه‌ای مربوط به انفجار عادی معدن نشان می‌دهد در محل پرده آب‌بند، بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات از مقادیر مجاز بسیار کمتر است.
- بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات مربوط به انفجارها در محدوده بسامدی ۳ تا ۲۳ هرتز قرار دارند.
- پرده آب‌بند از دیدگاه لرزه‌ای در منطقه امن انفجارهای عادی معدن قرار دارد.
- فاصله بین چاله‌ها، سرعت انتشار انرژی لرزه‌ای در محیط بین چاله‌ها، جرم ماده منفجره در هر چاله، چیرگی بسامدی چشمه و زمان تأخیر انفجار بین چاله‌ها نقش مهمی در تداخل مخرب انرژی لرزه‌ای آزاد شده دارند. وجود چاشنی‌های انفجاری دارای تأخیر زمانی HS باعث تداخل مخرب امواج لرزه‌ای می‌شود و دامنه سرعت جابه‌جایی ذرات را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد که این امر یکی از عوامل بسیار مهم در کاهش سرعت جابه‌جایی ذرات ثبت شده در اثر انفجار در معدن سد سرابی است.

سپاسگزاری

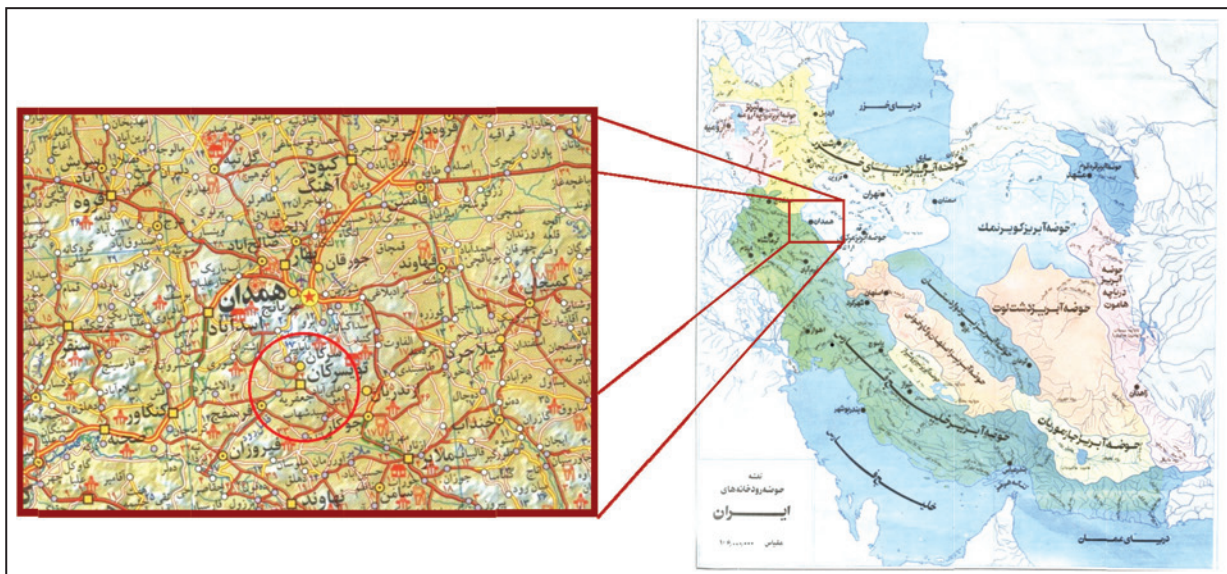
از مدیریت محترم پروژه سد مخزنی سرابی جناب آقای مهندس بنیادی و ریاست محترم کارگاه سد مخزنی سرابی جناب آقای مهندس فانیده برای فراهم کردن شرایط انجام این پژوهش و آقای مهندس عظیمی مسئول اجرایی کارگاه برای مهیا نمودن و همکاری در انجام عملیات اجرایی این پروژه تحقیقاتی تشکر و قدردانی می‌شود.

۱۰ تأخیر ms می‌توان کل ماده ناریه ۳۲۱۰ کیلوگرم را استفاده کرد (فاصله لبه انتهایی معدن شماره ۲ تا محور سد، تقریباً ۵۰۰ متر است)، ملاحظه می‌شود برای انفجارهای انجام گرفته در معدن هیچ‌گونه تهدیدی متوجه پرده آب‌بند نیست و این سازه کاملاً در منطقه امن است. این جدول نشان می‌دهد که بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات در محدوده پرده آب‌بند با توجه به مقادیر کل ماده ناریه استفاده شده، نمی‌تواند اثر نامطلوب روی پرده آب‌بند بگذارد.

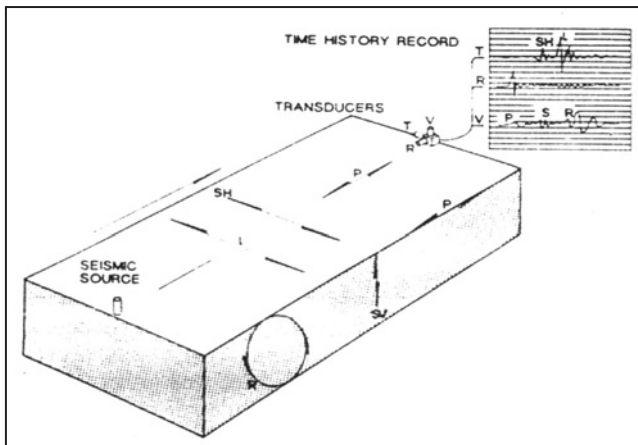
با بررسی لرزه‌نگاشت‌های به‌دست آمده در حوزه بسامد، محدوده بسامدی چیره در ارتعاشات حاصل از انفجارهای معدن در ایستگاه‌های مختلف متفاوت است که این تفاوت می‌تواند به دلیل مقادیر شارژ متفاوت، فاصله‌های متفاوت چاله‌ها، فاصله متفاوت دستگاه‌های لرزه‌نگاری از محل انفجار، موقعیت قرارگیری دستگاه لرزه‌نگار و عوامل دیگر بوده باشد. همان‌گونه که در شکل ۲۰ نشان داده شده است محدوده چیره بسامدی برای این مؤلفه و انفجار مربوطه ۴ تا ۸ هرتز است اما به‌طور کلی با بررسی صورت گرفته و تهیه طیف دامنه تمام لرزه‌نگاشت‌ها می‌توان محدوده بسامدی ۳ تا ۲۳ هرتز را به عنوان محدود بسامدی انفجارهای معدن لحاظ کرد. با بررسی دوباره شکل‌های ۲۵ و ۲۶ که تأثیرپذیری سازه‌های مختلف با در نظر گرفتن دو عامل بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات و محدوده بسامدی انفجارهای انجام شده را نشان می‌دهند، به نتایج زیر می‌رسیم. با توجه به این که آب‌بند از نوع سازه کلاس II است، بنابراین تحمل بیشینه سرعت جابه‌جایی ۵ mm/s در محدوده بسامدی صفر تا ۱۰ هرتز و همچنین تحمل بیشینه سرعت جابه‌جایی ۱۵ mm/s در محدوده بسامدی ۱۰ تا ۵۰ هرتز را دارد. بنابراین با توجه به بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات و محدوده بسامدی به‌دست آمده پرده آب‌بند به‌طور کامل در منطقه امن وجود دارد.

۸- نتیجه‌گیری

- از دیدگاه تداخل مخرب در تشکیل امواج لرزه‌ای، آرایه‌های انفجار مناسب انتخاب شده است.

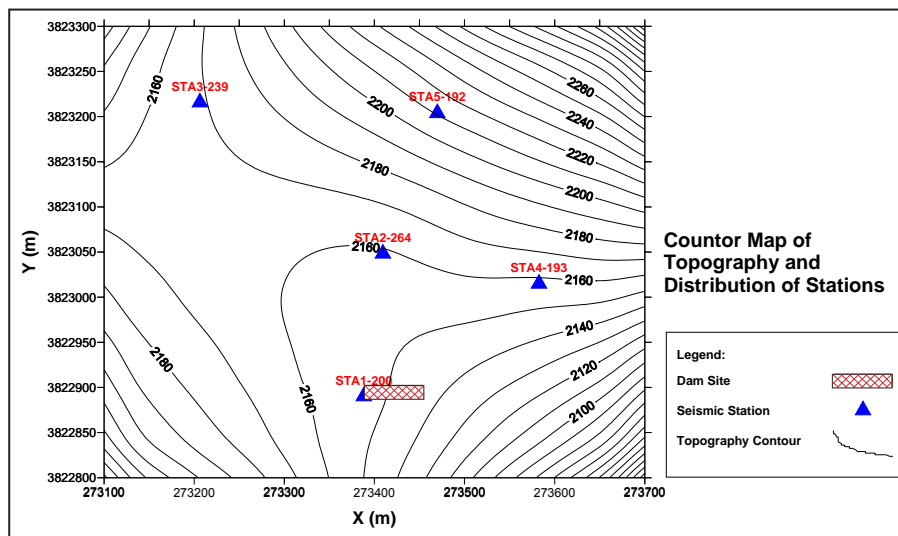


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی سد سرابی در استان همدان و در فاصله ده کیلومتری خاور تویسرکان (اسناد و نقشه‌های شرکت راه‌سازی و عمران ایران)

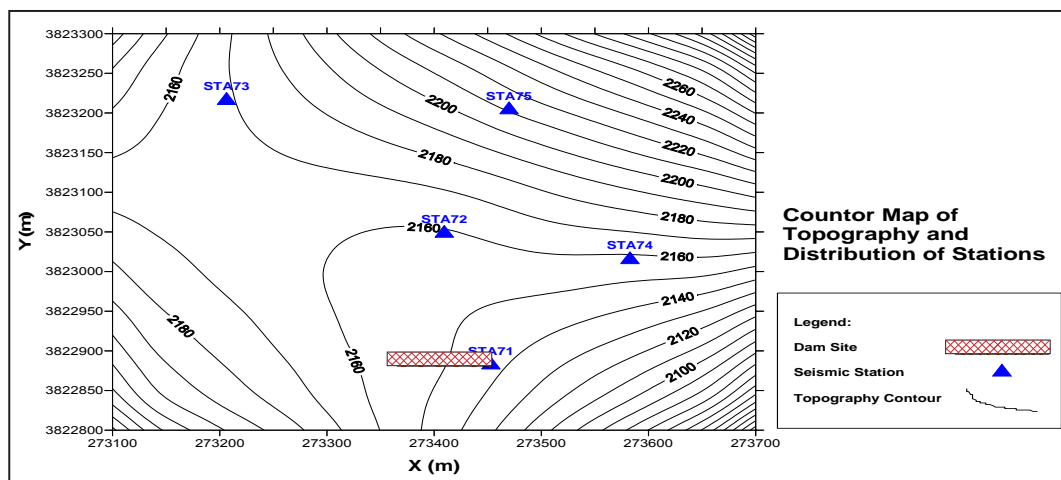


شکل ۳- نمایش چهار نوع موج مختلف که در اثر انفجار در معادن به وجود می‌آید (Lopez Jimeno et al., 1995).

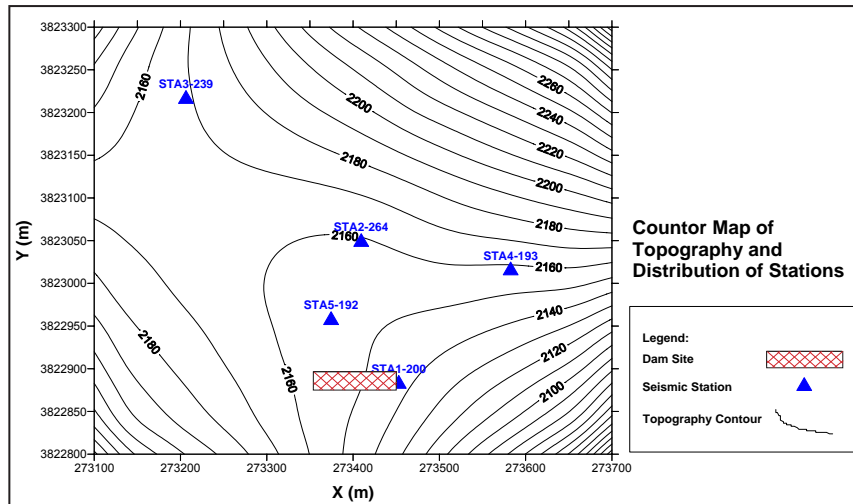
شکل ۲- موقعیت معادن سد مخزنی سرابی نسبت به محل احداث سد (عکس هوایی از Google earth)



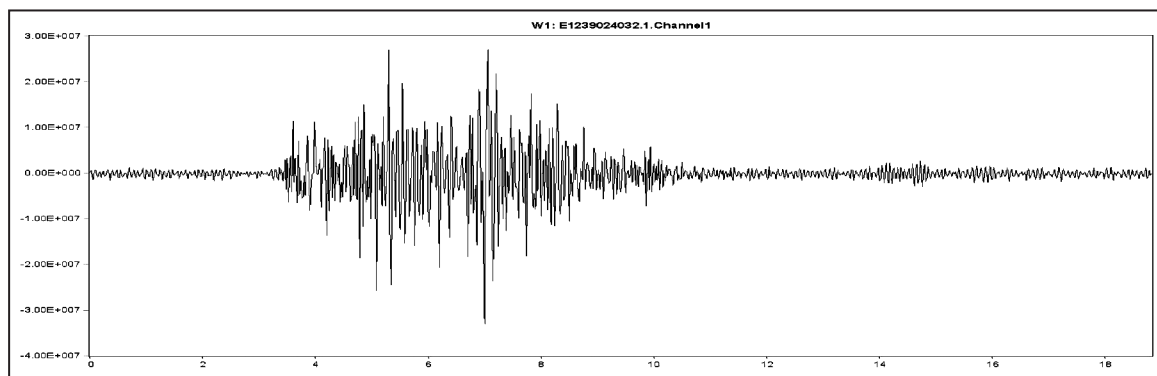
شکل ۴- موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در ثبت انفجارهای ۱ تا ۶ در محدوده سد سرابی توپسرکان



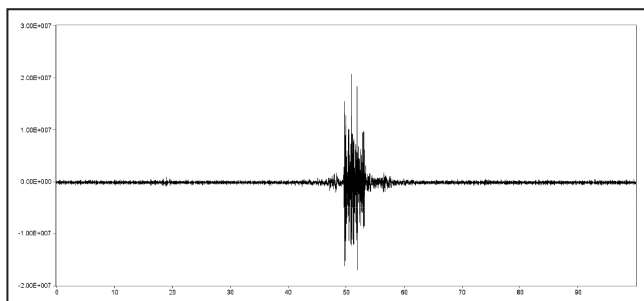
شکل ۵- موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در ثبت انفجار ۷ در محدوده سد سرابی توپسرکان



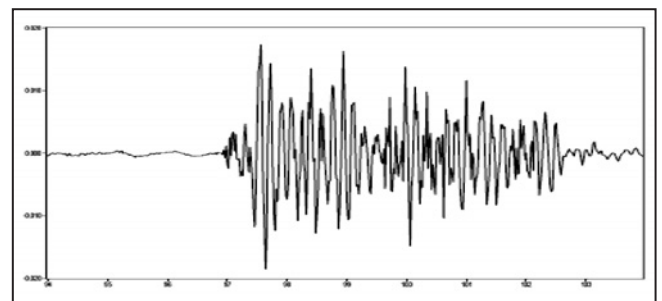
شکل ۶- موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در ثبت انفجار ۸ در محدوده سد سرایی تویسرکان



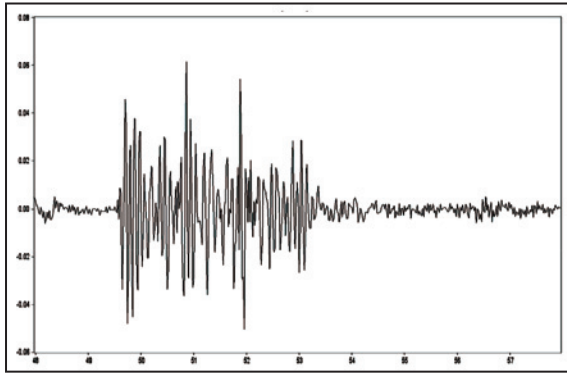
شکل ۷- لرزه‌نگاشت مؤلفه قائم لرزه‌نگاشت ثبت شده در ایستگاه شماره ۳ (دستگاه شماره ۲۳۹) که در اثر انفجار شماره دوم ایجاد شده است، محور قائم دامنه جابه‌جایی زمین برحسب شمارش و محور افقی زمان برحسب ثانیه است.



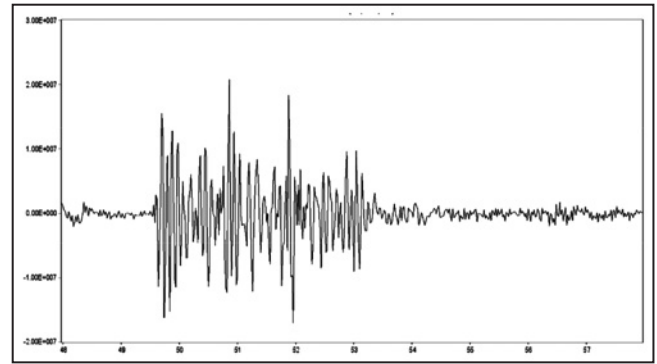
شکل ۹- مؤلفه شعاعی (مؤلفه افقی در راستای محل انفجار) لرزه‌نگاشت حاصل از انفجار هفتم ثبت شده در ایستگاه لرزه‌نگاری واقع در محدوده آب‌بند (ایستگاه لرزه‌نگاری شماره ۱)، محور افقی زمان برحسب ثانیه و محور قائم دامنه جابه‌جایی زمین برحسب شمارش پیش از هر گونه تصحیح است.



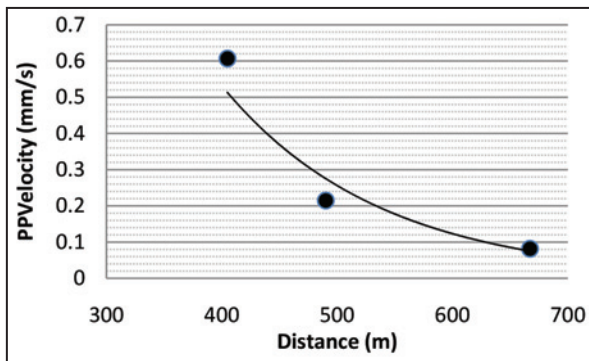
شکل ۸- لرزه‌نگاشت مؤلفه قائم لرزه‌نگاشت ثبت شده در ایستگاه شماره ۳ (دستگاه شماره ۲۳۹) در مجاورت بدنه سد) که در اثر انفجار ایجاد شده در معدن یک است، محور قائم دامنه جابه‌جایی زمین برحسب شمارش و محور افقی زمان برحسب ثانیه است.



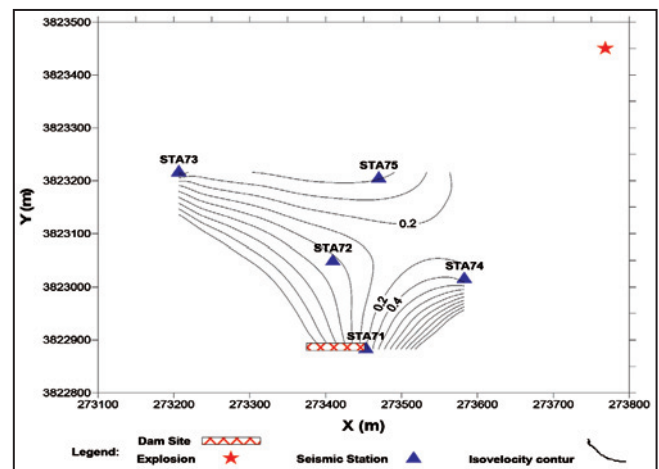
شکل ۱۱- تصحیح مؤلفه شعاعی (مؤلفه افقی در راستای محل انفجار) لرزه‌نگاشت حاصل از انفجار هفتم ثبت شده در ایستگاه لرزه‌نگاری واقع در محدوده پرده آببند (ایستگاه لرزه‌نگاری شماره ۱)، محور افقی زمان برحسب ثانیه و محور قائم سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب میلی‌متر بر ثانیه است.



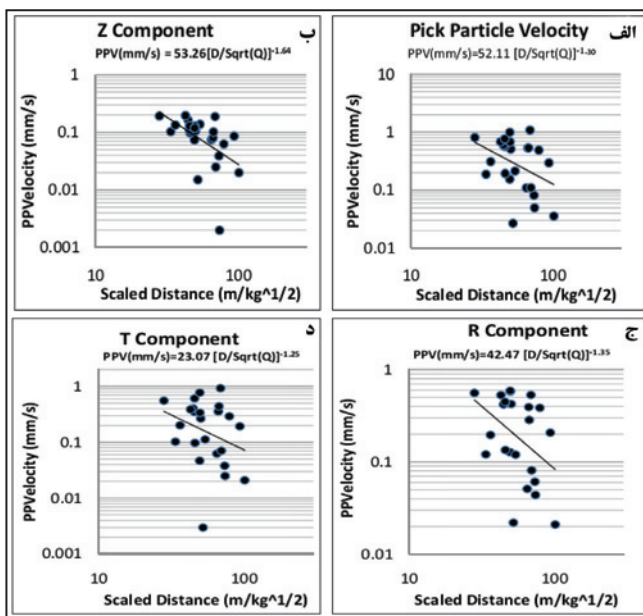
شکل ۱۰- بخش جدا شده انفجار از مؤلفه شعاعی (مؤلفه افقی در راستای محل انفجار) لرزه‌نگاشت حاصل از انفجار هفتم ثبت شده در ایستگاه لرزه‌نگاری واقع در محدوده آببند (ایستگاه لرزه‌نگاری شماره ۱)، محور افقی زمان برحسب ثانیه و محور قائم دامنه جابه‌جایی زمین برحسب شمارش، پیش از هرگونه تصحیح است.



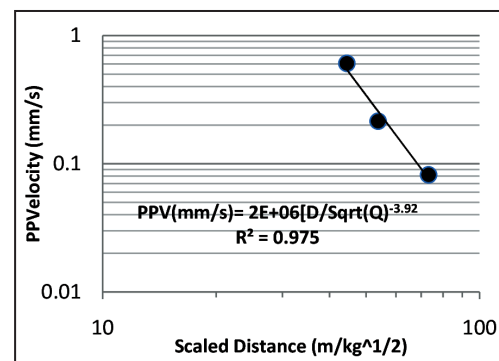
شکل ۱۳- نمودار تغییرات بیشینه سرعت برحسب فاصله از محل انفجار برای انفجار هفتم، بیشینه سرعت به صورت نمایی با فاصله کم می‌شود.



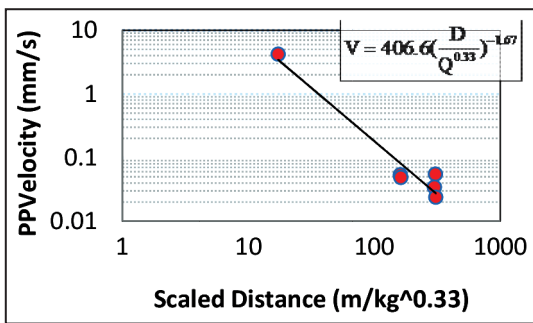
شکل ۱۲- پربندهای هم‌سرعت بیشینه جابه‌جایی ذرات مربوط به ارتعاشات ایجاد شده از انفجار هفتم، موقعیت انفجار با علامت ستاره، ایستگاه‌های لرزه‌نگاری با مثلث و موقعیت سد با مستطیل هاشورخورده در این شکل مشخص شده‌اند.



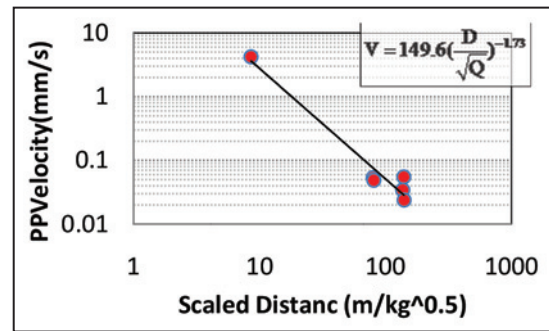
شکل ۱۵- نمودار تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب فاصله مقیاس شده برای ۸ انفجار اول، الف) کل انفجارها، ب) مؤلفه قائم، ج) مؤلفه شعاعی و د) مؤلفه مماسی.



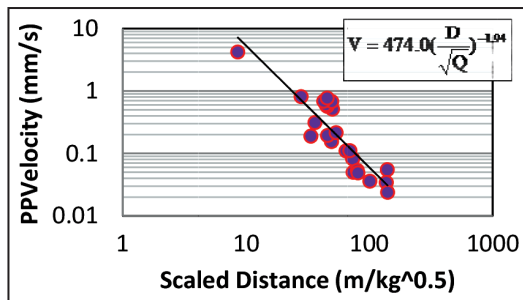
شکل ۱۴- نمودار تغییرات بیشینه سرعت برحسب فاصله مقیاس شده برای انفجار هفتم



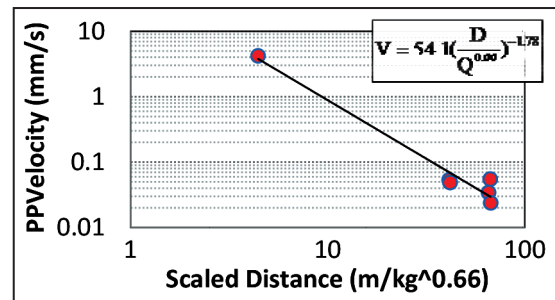
شکل ۱۷- نمودار تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب فاصله مقیاس شده با به کارگیری مدل $(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}})$ برای فاصله مقیاس شده.



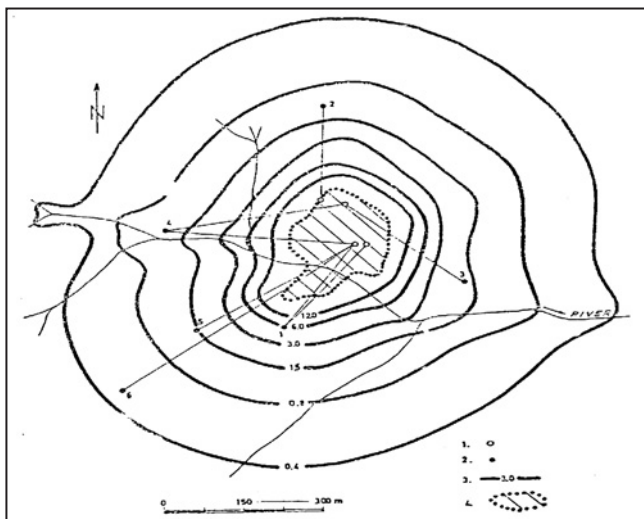
شکل ۱۶- نمودار تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب فاصله مقیاس شده با به کارگیری مدل $(\frac{D}{\sqrt{Q}})$ برای فاصله مقیاس شده.



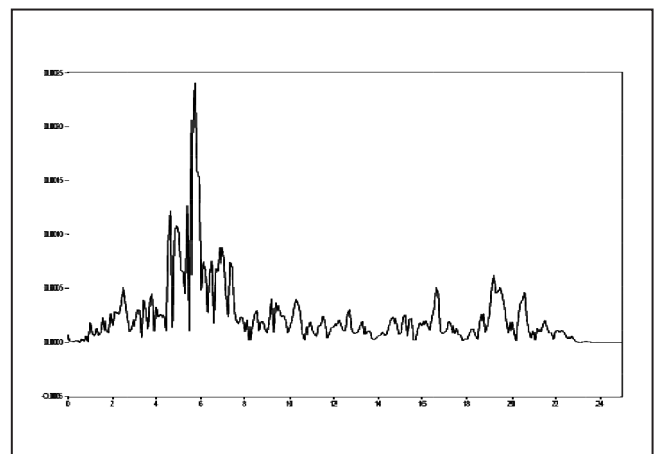
شکل ۱۹- نمودار تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب فاصله مقیاس شده برای تمام انفجارها و با به کارگیری مدل $(\frac{D}{\sqrt{Q}})$.



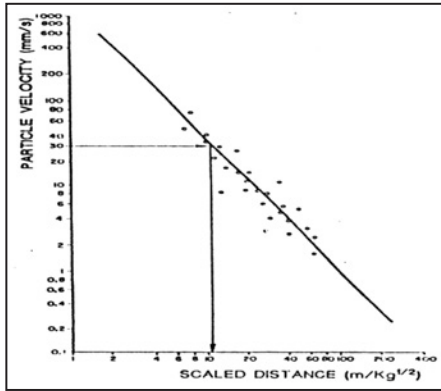
شکل ۱۸- نمودار تغییرات بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب فاصله مقیاس شده با به کارگیری مدل $(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}})$ برای فاصله مقیاس شده.



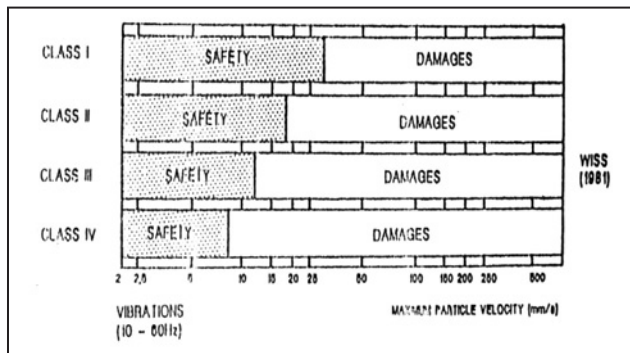
شکل ۲۱- پرندهای هم‌سرعت برای بیشینه سرعت جابه‌جایی مؤلفه شعاعی ذرات برای یک انفجار ۱۰۰۰ کیلوگرمی در معدن بلا استامگانیت یوگسلاوی پیشین (Arandelovic, 1969). ○ محل انفجار، ● محل اندازه‌گیری



شکل ۲۰- طیف دامنه لرزه‌نگاشت مؤلفه شعاعی انفجار ثبت شده در ایستگاه شماره یک واقع در محدوده پرده آب‌بند برای انفجار هفتم، محور افقی بسامد بر حسب هرتز و محور قائم سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب میلی‌متر بر ثانیه، بسامد چیره در محدوده ۱۰-۱۲ هرتز است.

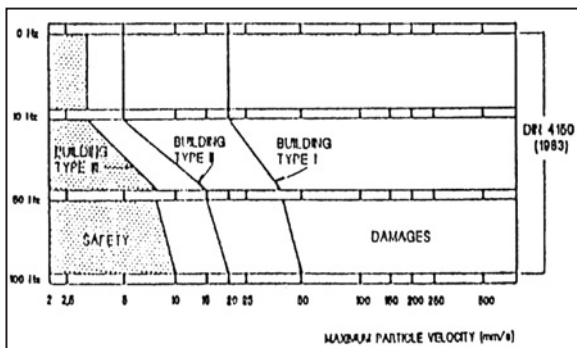


شکل ۲۴- رابطه سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب فاصله مقیاس شده $(DC = \frac{D}{\sqrt{Q}})$ ؛ D فاصله از محل انفجار و Q مقدار ماده منفجره را نشان می‌دهند.



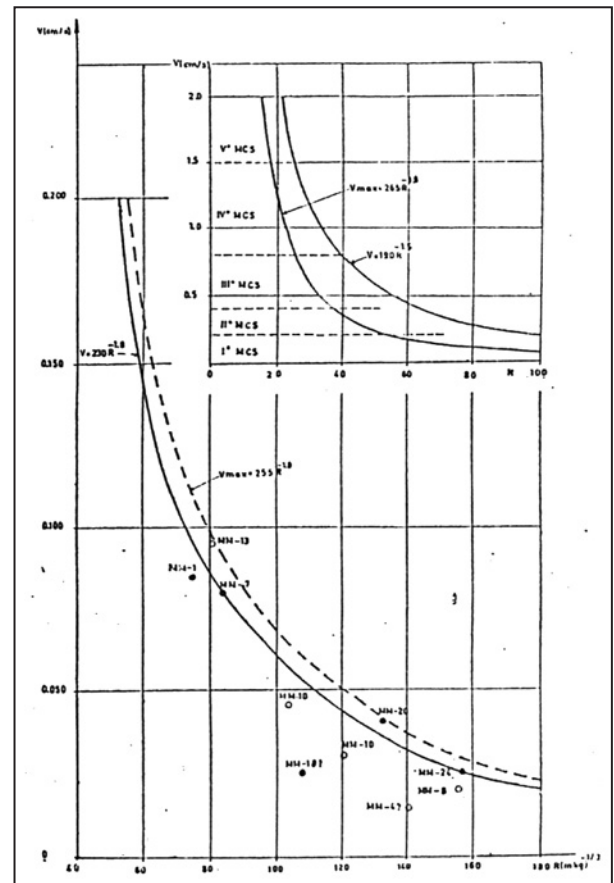
شکل ۲۵- حد سلامتی و حد تخریب برای سازه‌های مختلف در برابر ارتعاشات لرزه‌ای در محدوده بسامدی ۱۰ تا ۸۰ هرتز (Lopez Jimeno et al., 1995)

کلاس I- سازه‌های فلزی یا بتون مسلح،
 کلاس II- سازه‌های بتونی یا بتایی شده،
 کلاس III- سازه‌هایی که در ساختن آنها چوب یا دیوارهای پیش ساخته استفاده شده است،
 کلاس IV- سازه‌های خیلی حساس به ارتعاشات مانند سازه‌های تاریخی.

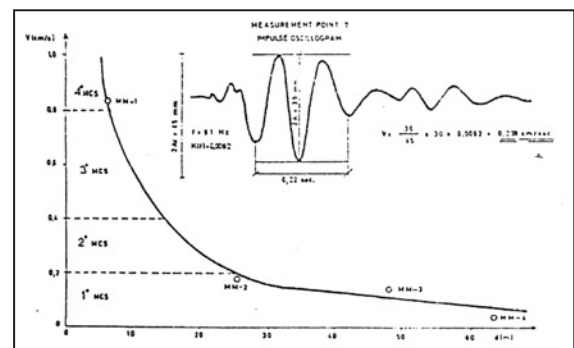


شکل ۲۶- حد سلامتی و حد تخریب برای سازه‌های مختلف در برابر ارتعاشات لرزه‌ای در محدوده بسامدی صفر تا ۱۰۰ هرتز (Lopez Jimeno et al., 1995).

کلاس I- سازه‌های صنعتی و عمومی
 کلاس II- سازه‌های آجری،
 کلاس III- سازه‌های خیلی حساس به ارتعاشات مانند سازه‌های تاریخی



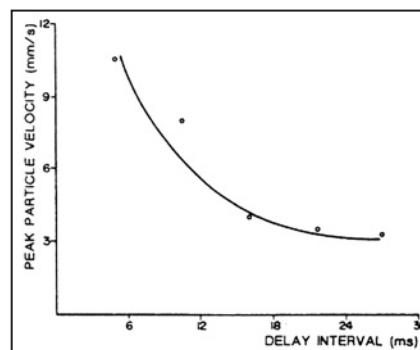
شکل ۲۲- سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب فاصله مقیاس شده برای انفجار در معدن مس در یوگسلاوی پیشین (Arandelovic, 1969). مقدار ناریه در هر انفجار بیش از ۱۰۰۰ کیلوگرم \circ مقدار ناریه در هر انفجار کمتر از ۱۰۰۰ کیلوگرم \bullet



شکل ۲۳- رابطه سرعت جابه‌جایی ذرات برحسب فاصله در اثر کارکرد دستگاه سنگ شکن IMPA در یوگسلاوی پیشین (Arandelovic, 1969).

جدول ۱- ویژگی‌های انفجارهای انجام شده در معدن سد سرایی تویسرکان به منظور بررسی اثرات آنها بر آب‌بند (۳ روز اول).

No.	X(m)	Y(m)	Q(kg)
EXP1	273913.976	3823282.912	807.180
EXP2	273895.713	3823352.425	1128.069
EXP3	273838.264	3823382.082	822.650
EXP4	273844.079	3823435.743	1864.655
EXP5	273784.361	3823371.319	823.450
EXP6	273772.503	3823413.834	1740.476
EXP7	273780.734	3823461.727	830.385
EXP8	272705.224	3824074.227	1937.565



شکل ۲۷- تأثیر زمان تأخیر بر روی بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات (Lopez Jimeno et al., ۱۹۹۵)

جدول ۲- ویژگی‌های انفجارهای انجام شده و فاصله ایستگاه‌های لرزه‌نگاری از محل انفجار در معدن سد سرایی تویسرکان به منظور بررسی اثرات انفجار بر روی پرده آب‌بند (روز آخر).

No.	Distance from the blast			Q(kg)	No. of delay	No. of hole
	Staion1	Staion2	Staion3			
EXP1	1404.43	1377.96	1411.57	1000	10	45
EXP2	67.22	461.62	626.87	60	1	7
EXP3	72.42	457.39	621.72	120	2	14
EXP4	73.06	467.82	633.4	180	3	21
EXP5	199.14	253.65	406.47	10	1	1

جدول ۳- حد سلامتی پیشنهادی توسط اداره معادن روباز آمریکا در سال ۱۹۸۳ برای فواصل مختلف از محل انفجار (Lopez Jimeno et al., 1995)

Distance to blast area (m)	Max. Particle Velocity (mm/s)	Recommended scaled distance When instrumentation is not available (m/kg ^{1/2})
0 to 90 m	32	22.30
90 to 1500 m	25	24.50
> 1500m	19	29.00

جدول ۴- بیشینه سرعت جابه‌جایی ذرات متأثر از انفجارهای انجام شده در معدن سد سرایی تویسرکان، ثبت شده در ایستگاه‌های لرزه‌نگاری مستقر در محدوده معدن و پرده آب‌بند سد سرایی تویسرکان در ۸ انفجار ۳ روز اول

Station ¹	Distance ² (m)	Charge ³ (kg)	PPVelocity ⁴ (mm/s)	DS ⁵ (m/kg ^{1/2})
STA13	710.7	807.180	0.490	79.10
STA15	450.9	807.180	0.513	50.19
STA21	687.9	1128.069	0.110	64.77
STA23	704.6	1128.069	0.538	66.34
STA25	452.8	1128.069	0.687	42.63
STA31	668.9	822.650	0.050	73.75
STA34	449.3	822.650	0.680	49.54
STA35	412.1	822.650	0.570	45.43
STA41	709.7	1864.655	0.027	51.97
STA43	674.5	1864.655	1.000	49.40
STA44	494.0	1864.655	0.312	36.17
STA51	630.6	823.450	0.111	69.49
STA53	607.6	823.450	0.538	66.96
STA54	415.9	823.450	0.194	45.84
STA61	650.4	1740.476	0.155	49.30
STA63	600.4	1740.476	0.772	45.51
STA64	442.8	1740.476	0.189	33.56
STA65	369.1	1740.476	0.814	27.98
STA71	667.1	830.385	0.082	73.21
STA73	625.4	830.385	1.089	68.63
STA74	490.1	830.385	0.215	53.78
STA75	404.8	830.385	0.607	44.43
STA81	1403.7	1937.565	0.036	100.84
STA85	1299.1	1937.565	0.297	93.33

جدول ۵- نتایج سرعت جابه‌جایی ذرات و باند بسامدی به‌دست آمده از تحلیل انفجارات روز آخر (۵ انفجار دوم)

Station	Distance(m)	Q(kg)	Q/delay	PPVelocity(mm/s)				
				V	Z Comp.	R Comp.	T Comp.	Freq. Band
STA011	1404.43	1010.193	101.019	0.055	0.023	0.027	0.042	4-8
STA012	1377.96	1010.193	101.019	0.034	0.024	0.017	0.018	4-6
STA013	1411.57	1010.193	101.019	0.024	0.017	0.013	0.010	3-7
STA021	67.22	61.586	61.586	4.214	3.078	1.339	2.548	18-22
STA023	626.87	61.586	61.586	0.054	0.037	0.022	0.032	7-14
STA041	73.06	184.757	61.586	0.404	0.050	0.091	0.390	17-23
STA043	633.4	184.757	61.586	0.049	0.033	0.028	0.023	7-12

جدول ۶- مقادیر مجاز ناریه به‌ازای هر تأخیر که می‌توان در منطقه معدن سد سرابی تویسرکان استفاده کرد، بدون آن‌که اثر تخریبی بر پرده آببند به وجود آید.

Distance from Blast (m)	Max. Charge per Delay (kg)		
	D/Q ^{0.5}	D/Q ^{0.33}	D/Q ^{0.66}
100	29	19	29
200	118	149	81
300	265	504	149
400	471	1194	229
500	736	2333	321
600	1060	4031	421
700	1443	6401	531
800	1884	9554	649
900	2385	13604	774
1000	2944	18661	907
1100	3562	24837	1046
1200	4240	32246	1192
1300	4976	40998	1344
1400	5771	51205	1502
1500	6624	62980	1666

کتابنگاری

اسناد و نقشه‌های شرکت راه‌سازی و عمران ایران، ۱۳۸۳- کارگاه سد مخزنی سرابی، ۱۵۰ صفحه

References

- Arandelovic, D., 1969- Geophysical in civil engineering, Institute for geological and geophysical Research, Belgrade.
- Blair, D. P., 1993- Blast vibration control in the presence of delay scatter and random fluctuations between balstholes, Int. Num. Anal. Meth. Geomech., 17,95-118.
- Dowding, C. H., 1995- Blast vibration monitoring and control, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, Nj.
- Djordjevic, N., 1997- Minimizing the environmental impact of blast vibration, Mining Engineering, 49, 57-61.
- Google earth, 2012
- Konya, C. J. & Walter, E. J., 1985- Rock blasting, National Technical Information Service, Springfield, Virginia.
- L-4C Seismometer specification, 1993- Springnether, U.S.A.
- Lopez Jimeno, C., Lopez Jimeno, E., Caredo, F. J. A., 1995- Drilling and blasting of Rocks, A. A. Balkema, Rotterdam .
- PDAS user's guide, 1989- Teledyne Geotech, U.S.A .
- Wheeler, R. M., 1988- How millisecond delay period may enhance or reduce blast vibration effects, Mining Engineering, 40, 969-973.