

ملاحظات ایمنی خطوط لوله گاز در برابر لرزش حاصل از آتش‌باری، بررسی موردی گودبرداری در مسیر آزادراه اراک خرم‌آباد

عبداله سهرابی بیدار^{۱*} و علی مرادی^۲

۱. استادیار، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، ایران

۲. استادیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۴/۱۲/۱۶، پذیرش نهایی: ۹۵/۷/۲۷)

چکیده

عملیات آتش‌باری دارای اثرات نامطلوبی بر محیط زیست، از جمله لرزه‌های زیان‌بار است که در صورت عبور از حدود مجاز، می‌تواند سبب آسیب به سازه‌های گوناگون شود. شریان‌های حیاتی و از جمله خطوط لوله انتقال گاز از مهم‌ترین سازه‌هایی هستند که سلامت آنها در دوره بهره‌برداری دارای اهمیت ویژه‌ای است و از همین رو دستورالعمل‌ها و راهنماهایی برای آتش‌باری در مجاورت خطوط لوله گاز عرضه شده است. در این مقاله براساس روش‌های تجربی مقدار لرزش حاصل از آتش‌باری در مسیر آزادراه اراک - خرم‌آباد و در مجاورت یک خط لوله انتقال گاز محاسبه و با سطح جنبش حاصل از داده‌برداری‌های لرزه‌ای محلی طی چند انفجار آزمایشی کنترل شده، مقایسه شده است. نتایج، بیانگر محافظه‌کارانه بودن مقادیر لرزش حاصل از محاسبات مبتنی بر روابط تجربی در محل این ساخت‌گاه بود و ضرورت داده‌برداری‌های لرزه‌ای محلی به‌منظور تدقیق و بهینه‌سازی عملیات آتش‌باری در طرح‌های عمرانی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آتش‌باری، لرزش زمین، خط لوله گاز، پایش لرزه‌ای.

۱. مقدمه

عامل‌های متعددی بر لرزش زمین تاثیر دارد که در دو گروه دسته‌بندی شده‌اند: عامل‌های قابل تنظیم نظیر ارتفاع پله، خرج ویژه، آرایش چال‌ها و دیگر عامل‌های هندسی انفجار و عامل‌های غیرقابل تنظیم مانند شرایط زمین‌شناسی و ویژگی‌های ژئومکانیکی. لرزش زمین در نقاط نزدیک به انفجار، تحت تاثیر مشخصات طراحی و هندسه انفجار قرار می‌گیرد. درحالی‌که در فاصله‌های دور از انفجار، مشخصات طراحی، تاثیر کمتری دارد. دیک و فورنی (۱۹۹۲) با توجه به مشاهده تفاوت در دامنه‌های پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده ناشی از انفجار، اثر پارامترهای زمین‌شناسی نظیر ناپیوستگی‌ها بر دامنه امواج ثبت شده حاصل از انفجار را مورد بررسی قرار دادند. شرایط زمین‌شناسی و ویژگی‌های توده‌سنگ نظیر وجود ناپیوستگی‌ها، چگالی، شرایط آب زیرزمینی و سایر مشخصات فیزیکی و مکانیکی توده‌سنگ بر سطح لرزش موثر خواهد بود (لوپز و همکاران، ۱۹۹۵). تاثیر این عامل‌ها روی لرزش را می‌توان به تنهایی و یا ترکیبی مورد بررسی قرار داد. به‌منظور بررسی تاثیر عامل‌های متعدد می‌توان از کمیت‌های حاصل از طبقه‌بندی‌های گوناگون استفاده کرد.

توسعه عمرانی و احداث سازه‌های بزرگ نظیر سد، تونل، راه و مانند آن، عموماً مستلزم عملیات گودبرداری و حفاری‌های گسترده است. در مصالح سست عملیات گودبرداری با استفاده از تجهیزات مکانیکی صورت می‌پذیرد، اما در مصالح سخت که قابلیت گودبرداری با تجهیزات مکانیکی را ندارند، استفاده از آتش‌باری و انفجار اجتناب‌ناپذیر است. در بین پیامدهای نامطلوب انفجار، لرزش زمین، لرزش هوا و پرتاب سنگ بیشترین سهم را دارد و توجه به این اثرات نامطلوب، اتخاذ تمهیدات مناسب برای کاهش آنها در موقعیت‌های گوناگون مورد نیاز است.

موضوع لرزش حاصل از انفجار و آتش‌باری به‌منزله اثرات جنبی فعالیت‌های عمرانی مورد توجه بوده است. به نظر می‌رسد اولین بار دووال و فوگلسون (۱۹۶۲) به بررسی اثرات انفجار و خرابی‌های ناشی از لرزش زمین پرداختند. پس از آنها دیگر محققان روابطی برای محاسبه دامنه امواج لرزه‌ای ناشی از انفجار و معیارهایی برای آسیب سازه‌ها عرضه کردند. روابط طرح شده از سوی محققان گوناگون را سینگ و همکاران (۱۹۹۳) گردآوری و منتشر کرده‌اند.

به جای اندازه گیری‌ها و محاسبات لرزش و گرنش، از مقادیر استاندارد لرزش که براساس تجربیات گوناگون به دست آمده است استفاده کرد. استانداردها و معیارهای موجود برپایه پارامترهای متفاوت منفرد و یا ترکیبی از لرزش زمین استوار است که در این بین بیش از همه از پارامتر بیشینه سرعت ذره‌ای استفاده شده است.

معیارهای گوناگونی در دو گروه معیارهای زیست‌محیطی و معیارهای سازه‌ای عرضه شده است. معیارهای زیست‌محیطی نظیر راهنمای زیست‌محیطی کاهش اثرات سوء لرزش زمین نیوزیلند (AS2670، ۱۹۹۰)، اثرات نامطلوب لرزش بر آسایش انسان را مدنظر قرار می‌دهد. در معیارهای سازه‌ای اثرات نامطلوب لرزش بر پایداری سازه‌های گوناگون و ایجاد آسیب سازه‌ای مورد توجه است، بخشی از معیارهای سازه‌ای، معیارهای ساختمانی است که در آنها عموماً حد بالای مجاز لرزش حاصل از انفجار برای گروه‌های متفاوت سازه‌ها یا تأسیسات عرضه شده است. معیارهای متعددی در این خصوص وجود دارد که استاندارد بریتانیا (BS5228، ۲۰۰۹) و آلمان (DIN4150، ۱۹۹۹) از جمله مهم‌ترین آنها هستند. در استاندارد بریتانیا محدوده مجاز لرزش برای سازه‌های مهندسی و صنعتی در بسامدهای بیش از ۴ هرتز ۵۰ میلی‌متر بر ثانیه تعریف شده است.

خطوط لوله به منزله یکی از شریان‌های حیاتی دارای اهمیتی فراوان است و اطمینان از ایمنی آن طی دوران بهره‌برداری ضرورت دارد. خطوط لوله انتقال کربوهیدرات‌ها و از جمله گاز با توجه به عواقب شدید آسیب آنها درای اهمیت دو چندان هستند. توسعه فعالیت‌های عمرانی در کنار تأسیسات ایجاد شده قبلی و ضرورت استفاده از انفجار در چنین طرح‌هایی، سبب توسعه تحقیق در اثرات انفجار بر سازه‌های جنبی از جمله خطوط لوله و ایجاد معیارهایی در این زمینه شده است. به نظر می‌رسد اولین بار اشلی و پارکر (۱۹۷۶) طی رده‌بندی حدود مجاز لرزش برای سازه‌های گوناگون، به خطوط لوله گاز نیز اشاره کرده و حدود مجاز برای سازه‌های مهندسی و شریان‌های حیاتی از جمله لوله‌های گاز را ۵۰ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته‌اند. طی سال‌های

هرچه توده سنگ دارای کیفیت بهتری باشد، میرایی امواج و جذب انرژی در آن کمتر است و امواج با کمترین آفت از داخل آن عبور می‌کنند. در ساختارهای زمین‌شناسی پیچیده، انتشار امواج در جهت‌های گوناگون تغییر می‌کند. در مواردی که لایه‌های سخت با روبراه‌ای از خاک پوشیده شده‌اند این مسئله در میزان شدت و بسامد نوسان‌ها موثر است. با ضخیم‌تر شدن روبراه خاکی، جابه‌جایی می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. از سوی دیگر در صورت وجود روبراه خاکی، با افزایش فاصله، دامنه نوسان‌ها به سرعت کاهش می‌یابد. علت آن است که در چنین وضعیتی بیشینه انرژی صرف غلبه بر اصطکاک میان ذرات و جابه‌جا کردن آنها می‌شود. این موضوع در سال‌های اخیر نیز مورد توجه قرار گرفته و چا و همکاران (۲۰۰۹) اثرات ناپیوستگی‌ها بر سرعت انتشار امواج لرزه‌ای و همچنین پارامتر کاهش دگی دامنه را بررسی کرده‌اند.

هدف از این پژوهش بررسی وضعیت دامنه امواج حاصل از لرزش زمین در اثر انفجار و بررسی ایمنی خط لوله گاز در حاشیه بخشی از مسیر آزادراه اراک - خرم‌آباد است. بدین منظور ابتدا معیارهای لرزش مجاز زمین در کنار خطوط لوله گاز بررسی و سپس با استفاده از روابط تجربی مقادیر لرزش در محل خط لوله گاز مورد بررسی، برای شرایط گوناگون آتش‌باری محاسبه شد. در نهایت با داده‌برداری لرزه‌ای طی چند انفجار آزمایشی نتایج حاصل از برآوردهای تجربی، ارزیابی شده است.

۲. معیارهای لرزش زمین

ارتباط بین تنش‌ها و گرنش‌های وارده به یک سازه و مقاومت آن، شرایط پایدار ماندن سازه را تعیین می‌کند. اگر تنش القایی لرزش، بیشتر از مقاومت نهایی سازه موردنظر شود به آن خسارت وارد خواهد شد. به‌منظور بررسی خسارت‌های وارده به سازه‌ها و همچنین طراحی مناسب برای جلوگیری از ایجاد این خسارت‌ها باید تنش‌ها محاسبه شوند که در این صورت نیاز به اندازه‌گیری لرزش و گرنش حاصل از آن است. این اندازه‌گیری‌ها تا حدودی پیچیده و پرهزینه‌اند و در اکثر موارد، می‌توان

حدود ۲ کیلومتری آن قرار دارد. در این محدوده حفاری و سنگ برداری یک ترانشه به ارتفاع تقریبی ۲۰ متر پیش‌بینی شده است. سازندهای زمین‌شناسی در محل پیش‌بینی شده سنگ برداری شامل، سنگ‌های آتشفشانی دوره ژوراسیک هستند که به شدت دگرسان شده‌اند. این سنگ‌ها عموماً شامل آندزیت هستند که با دگرسانی و خردشدگی شدید به سرپانتینیت تبدیل شده‌اند (حاج ملا علی و همکاران، ۱۳۷۰).

شکل ۱ موقعیت خط لوله گاز به قطر ۱۲ اینچ و فشار متوسط (۲۵۰ پوند بر اینچ مربع) را در کنار مسیر آزادراه در کیلومتر ۱۰۴ و موقعیت آن نسبت به ترانشه پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. خط انتقال پیش‌گفته مدفون و عمق قرارگیری لوله در داخل زمین ۱/۵ متر است. نزدیک‌ترین فاصله خط لوله از محور آزادراه در محل ترانشه ۸۳/۷ متر و نزدیک‌ترین فاصله افقی خط لوله تا محل ترانشه ۲۵ متر است.

طرح آتش‌باری اولیه مورد استفاده برای ترانشه‌های مسیر آزادراه شامل حفاری چال‌های انفجاری به قطر ۶۴ میلی‌متر و عمق ۳ متر با استفاده از دریل واگن است. فاصله افقی چال‌ها ۳ متر است و آرایش لوزی شکل دارند. تعداد معمول چال‌های انفجاری حدود ۶۰ چال در هر انفجار است. ماده انفجاری مورد استفاده آنفو و مقدار آن در هر چال ۴ کیلوگرم با ارتفاع حدود ۶۰٪ چال است. مقدار خرج در هر انفجار به‌طور متوسط ۲۴۰ کیلوگرم است.

جدول ۱. حدهای مجاز لرزش برای انواع گوناگون لوله گاز

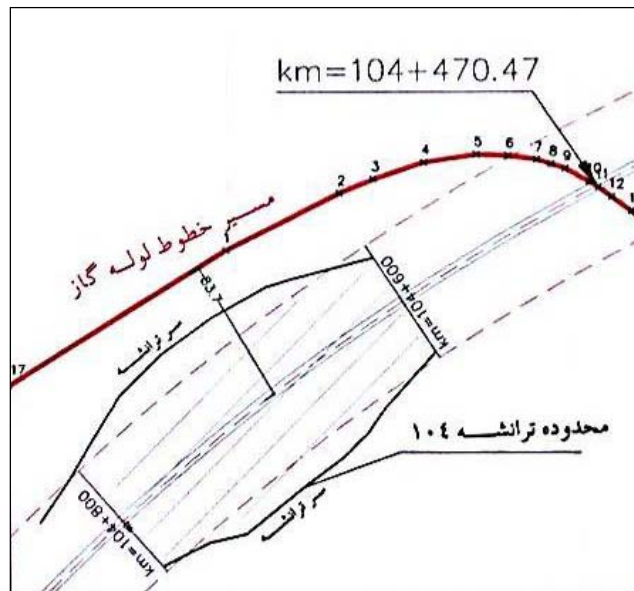
نوع لوله	حد مجاز (میلی‌متر بر ثانیه)	
	لرزش قائم	لرزش شعاعی
Grade B	۱۲۷	۱۵۵
X-42	۱۵۰	۱۸۰
X-56	۲۰۰	۲۵۰

قرن بیستم، حد مجاز ۵۰ میلی‌متر بر ثانیه را بسیاری از شرکت‌های فعال گازرسانی مورد استفاده قرار دادند (ریگاس و سیبوس، ۱۹۹۸؛ ریگاس، ۲۰۰۹). در اواخر قرن بیستم، سیسکیند و همکاران (۱۹۹۴) طی یک بررسی جامع، اثرات انفجار بر خطوط لوله گاز تحت فشار را مورد بررسی قرار دادند. آنها در تحقیق خود از پایش ۳۱ انفجار در فاصله‌های متفاوت از خطوط لوله گاز استفاده و روابطی را برای پیش‌بینی مقادیر تنش و کرنش حاصل از انفجار در خطوط لوله عرضه کردند. در تحقیق صورت گرفته، در نهایت برای بیان معیار لرزش قابل قبول، رابطه بین کرنش ایجاد شده در خطوط لوله با مقادیر سرعت ذره‌ای بررسی و مقادیر لرزش قابل قبول برای لوله‌های با مشخصات گوناگون به شرح جدول ۱ عرضه شد. چنان‌که دیده می‌شود، برای کمترین کیفیت لوله‌ها حداقل لرزش قابل قبول تا ۱۲۷ میلی‌متر بر ثانیه افزایش یافته و تا حدود ۲۰۰ میلی‌متر بر ثانیه برای لوله فولادی X-56 می‌رسد.

طی سال‌های اخیر با گسترش عملیات ساختمانی در کنار خطوط لوله گاز، برخی بررسی‌های موردی از امکان انفجار در کنار خطوط لوله و محدودیت‌های آن به ثبت رسیده است. باین‌حال حد مجاز ۵۰ میلی‌متر بر ثانیه در بسیاری از طرح‌ها همچنان مورد استفاده و مبنای تعیین مشخصات انفجار در مناطق نزدیک به این تأسیسات است (انبریج، ۲۰۰۷؛ انکانا، ۲۰۰۸؛ فورتیس، ۲۰۱۴).

۳. مشخصات ساخت گاه و طرح آتش‌باری اولیه

آزادراه اراک - خرم‌آباد یکی از بخش‌های مهم‌ترین گذرگاه‌های حمل و نقل کشور برای اتصال نواحی شمالی کشور به بندر امام خمینی است. با تکمیل آزادراه اراک - خرم‌آباد به طول ۱۳۴ کیلومتر، مسیر فعلی اراک تا خرم‌آباد ۳۲ کیلومتر کوتاه‌تر می‌شود. ساخت‌گاه مورد تحقیق در کیلومتر ۱۰۴ مسیر آزادراه در نزدیکی روستای رستم‌خانی کاسیان و به فاصله



شکل ۱. موقعیت ترانشه کیلومتر ۱۰۴ نسبت به مسیر خط لوله.

۴. پیش‌بینی لرزش زمین

حداکثر سرعت ذره طی انفجار، متأثر از عامل‌های متعددی است و در نظر گرفتن همه این عوامل باعث پیچیدگی روابط عرضه شده برای پیش‌بینی لرزش زمین خواهد شد، برای مثال برخی در روابط اخیر (ارشد نژاد و همکاران، ۲۰۱۳)، اثرات ویژگی‌های مهندسی توده‌سنگ را نیز در نظر گرفته‌اند. استفاده از روابط پیش‌گفته مستلزم تطبیق دقیق شرایط ساخت‌گاه با اختصاصات روابط یادشده بوده و در بسیاری از حالت‌ها، تطبیق این شرایط به سادگی میسر نیست. از این رو استفاده از روابط دارای جامعیت و گستردگی بیشتر برای یک برآورد اولیه مناسب‌تر خواهد بود. در این پژوهش از روابطی استفاده شده است که براساس داده‌های بسیار وسیع و متعدد انفجار در شرایط متفاوت زمین‌شناسی به‌دست آمده‌اند و امکان استفاده از آنها برای شرایط گوناگون وجود دارد. دو عامل اصلی مورد استفاده در اکثر روابط مربوط به حداکثر سرعت ذره‌ای، وزن خرج انفجاری و فاصله از محل انفجار است. با توجه به رابطه مستقیم بین سرعت ذره‌ای و مقدار خرج انفجار و رابطه عکس آن با فاصله از محل انفجار، روابط داده شده تجربی برای برآورد حداکثر سرعت ذره‌ای دارای شکل کلی رابطه (۱) است:

$$PPV = K \frac{Q^a}{D^b} \quad (1)$$

که در آن، PPV بیشینه سرعت ذره‌ای، K ضریب تناسب وابسته به محیط، Q خرج انفجار و D فاصله از محل انفجار است. a و b نیز عموماً وابسته به شرایط محیط هستند. لاندبرگ و همکاران (۱۹۷۸) با بررسی آماری مجموعه وسیعی از داده‌های انفجار، مقادیر ضرایب K، a و b را به ترتیب ۰/۷، ۱/۵ و ۱/۵ عرضه کرده‌اند. در رابطه آنها مقدار خرج انفجار برحسب کیلوگرم، فاصله برحسب متر و بیشینه سرعت ذره‌ای برحسب میلی‌متر بر ثانیه است. برخی محققان بیشینه سرعت ذره‌ای را برحسب فاصله مقیاس شده (نسبت فاصله به مجذور خرج انفجار) مطرح کرده‌اند:

$$PPV = K \left[\frac{D}{\sqrt{Q}} \right]^a \quad (2)$$

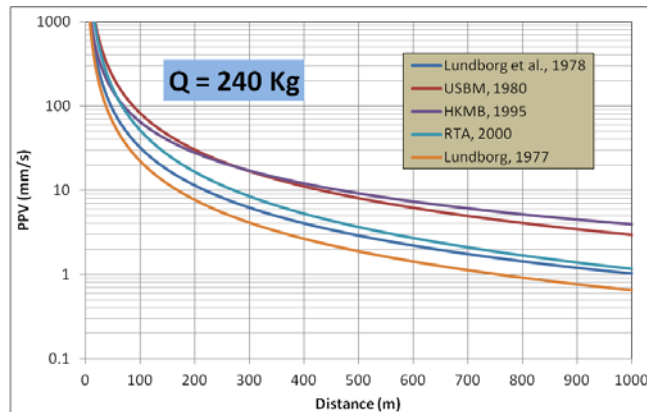
در این رابطه نیز تعاریف رابطه (۱) مورد استفاده است. سیسکیند و همکاران (۱۹۸۰) در تحقیق خود برای امور معادن ایالات متحده با استفاده از تحلیل‌های آماری ضریب و نمای رابطه داده شده را ۱۲۴۴ و ۱/۴۵- پیشنهاد کرده‌اند. برخی دیگر از سازمان‌ها ضرایبی عمومی برای برآورد بیشینه سرعت ذره‌ای عرضه کرده‌اند؛ امور معادن هنگ‌کنگ (۱۹۹۵) ضریب و نمای، ۶۴۴ و ۱/۲۲- و امور حمل و نقل و راه‌های استرالیا (۲۰۰۰) ضریب و نمای ۱۱۴۳ و ۱/۶۵- را پیشنهاد کرده‌اند. نوع دیگری از روابط تجربی بدون اتکا

است. با توجه به نزدیک‌ترین فاصله خط انتقال گاز از ترانسه مورد بررسی، میزان بیشینه سرعت ذره‌ای با فرض فاصله ۲۵ متر و به‌ازای مقادیر متفاوت ماده انفجاری محاسبه شده است. در این محاسبات نیز از روابط تجربی لاندبرگ و همکاران (۱۹۷۸)، سیسکیند و همکاران (۱۹۸۰)، امور معادن هنگ‌کنگ (۱۹۹۵)، امور حمل و نقل و راه‌های استرالیا (۲۰۰۰) و لاندبرگ (۱۹۷۷) استفاده شده است. شکل ۳ نتایج به‌دست آمده بیشینه سرعت ذره‌ای برای روابط گوناگون را نشان می‌دهد. چنان‌که دیده می‌شود، بیشترین مقادیر بیشینه سرعت ذره‌ای به رابطه سیسکیند و همکاران (۱۹۸۰) و کمترین آن به لاندبرگ (۱۹۷۷) مربوط است. براساس مقادیر متوسط بیشینه سرعت ذره‌ای در فاصله ۲۵ متری از محل انفجار، استفاده از مواد منفجره تا حداکثر ۱۳ کیلوگرم، بیشینه سرعت کمتر از ۵۰ میلی‌متر بر ثانیه را ایجاد خواهد کرد.

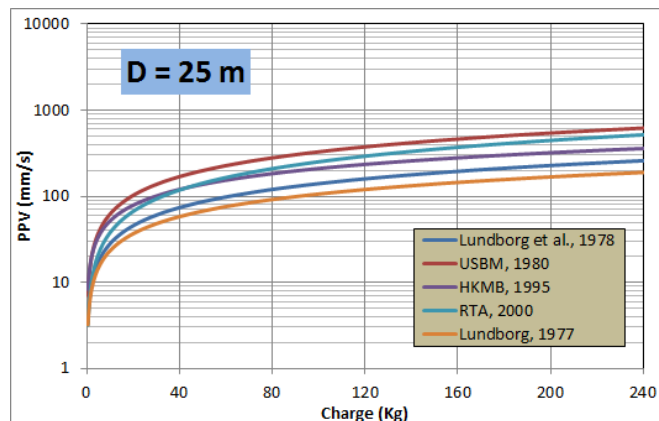
به یک صورت خاص توسعه داده شده است. لاندبرگ (۱۹۷۷) برای برآورد بیشینه سرعت ذره‌ای رابطه لگاریتمی (۳) را پیشنهاد کرده است:

$$\log(PPV) = 2.86 + 0.66 \log Q - 1.54 \log D \quad (3)$$

شکل ۲ پیش‌بینی بیشینه سرعت ذره‌ای به‌ازای فاصله‌های متفاوت از محل انفجار برای طرح انفجار مرسوم در ترانسه‌های مسیر آزادراه (خرج انفجار ۲۴۰ کیلوگرم) را برای روابط لاندبرگ و همکاران (۱۹۷۸)، سیسکیند و همکاران (۱۹۸۰)، امور معادن هنگ‌کنگ (۱۹۹۵)، امور حمل و نقل و راه‌های استرالیا (۲۰۰۰) و لاندبرگ (۱۹۷۷) نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود، در موارد گفته‌شده اگرچه دامنه بیشینه سرعت ذره‌ای با استفاده از روابط گوناگون، دارای تفاوت‌هایی است ولی روند کلی و مقادیر آنها قابل مقایسه با یکدیگر است. براساس میانگین سرعت ذره‌ای پیش‌بینی شده با روابط گوناگون، در فاصله ۲۵ متری از محل انفجار بیشینه سرعت ذره‌ای ۳۹۰ میلی‌متر بر ثانیه به‌دست آمده است که بسیار بیشتر از مقدار مجاز ۵۰ میلی‌متر بر ثانیه



شکل ۲. مقایسه بیشینه سرعت ذره‌ای برای ۲۴۰ کیلوگرم ماده انفجاری با استفاده از روابط تجربی.



شکل ۳. مقایسه بیشینه سرعت ذره‌ای در فاصله ۲۵ متری براساس روابط تجربی.

۵. اندازه گیری لرزش‌های حاصل از انفجار

ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه اثر قابل توجهی بر دامنه لرزش‌های حاصل از انفجار دارد. بخش مهمی از تفاوت ضریب‌ها در روابط تجربی و نتایج حاصل از آنها نیز به این مسئله مربوط است. به‌منظور بررسی تجربی دامنه امواج حاصل از انفجار از ثبت و پردازش داده‌های مربوط به انفجار در منطقه مورد تحقیق استفاده شده است. محل آزمون‌های انفجار تا حد امکان می‌باید در نزدیک ساخت‌گاه مورد بررسی و یا حداقل در محلی با شرایط و ویژگی‌های زمین‌شناسی مشابه انتخاب شود. طی داده‌برداری سه انفجار با میزان مواد منفجره گوناگون صورت گرفت و نگاشت‌های لرزه‌ای حاصل از آنها در دو فاصله متفاوت ثبت شد.

به‌منظور داده‌برداری لرزه‌ای از دو دستگاه لرزه‌نگار تناوب کوتاه با حس‌گر ۲ هرتز شرکت Geospace استفاده شده است. حس‌گرهای مورد استفاده دارای میرایی ۰/۶۷ و ضریب ثابت ۶۰ ولت بر متر بر ثانیه هستند. خروجی حس‌گر با یک رقمی‌ساز ۲۴ بیتی ۳ کاناله رقمی و ثبت می‌شود. رقمی‌ساز مورد استفاده در ایستگاه اول با محدوده ورودی ± 5 ولت دارای ثابت ۱۶۷۷۷۲۱ کانت بر ولت و رقمی‌ساز مورد استفاده در ایستگاه دوم با محدوده ورودی ± 1 ولت دارای ثابت رقمی‌ساز ۸۳۸۸۶۰۸ کانت بر ولت است. رقمی‌ساز ایستگاه اول فاقد فیلتر و رقمی‌ساز ایستگاه دوم دارای یک فیلتر یک قطبی آنالوگ پایین‌گذر با بسامد ۸/۸

هرتز است. شکل ۴ پاسخ دستگاهی مجموعه حس‌گر و رقمی‌ساز ایستگاه‌های لرزه‌نگاری را در قالب طیف دامنه و فاز پاسخ، نمایش داده است. ایستگاه‌های لرزه‌نگاری با یک باتری ۱۲ ولت خارجی تغذیه می‌شوند و دستگاه‌ها به‌گونه‌ای نصب شده‌اند که در هنگام داده‌برداری، مولفه‌های افقی دستگاه، جنبش‌های شعاعی و مماسی را ثبت کنند.

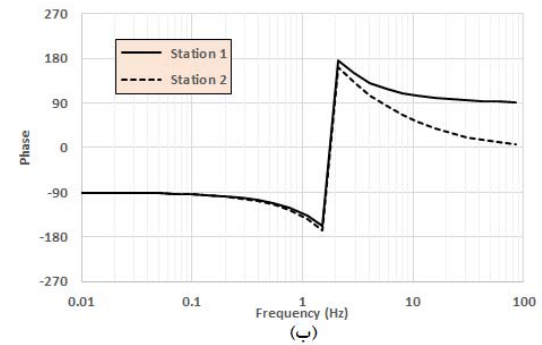
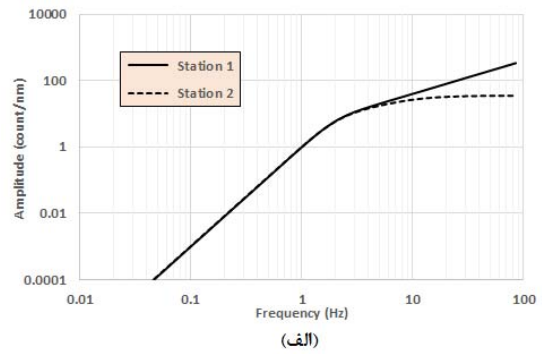
انفجار شماره ۱ مربوط به سنگ‌برداری از ترانشه ۱ کیلومتر ۱۰۲ مسیر آزادراه است که دارای مشخصات زمین‌شناسی مشابهی با ترانشه ۱۰۴ کیلومتر و شامل برون‌زد سنگ‌های آتشفشانی دگرسان شده و سرپانتینی است. در این انفجار از ۹۰ کیلوگرم ماده انفجاری آنفو استفاده شده است. دستگاه‌های لرزه‌نگار شماره ۱ و ۲ به ترتیب در فاصله‌های ۶۶۰ و ۱۲۶۰ متری از محل انفجار نصب شده‌اند. انفجارهای شماره ۲ و ۳ در نزدیکی ترانشه ۱۰۴ کیلومتر و با استفاده از میزان ماده منفجره کم، به‌صورت آزمایشی صورت گرفته است. در انفجار شماره ۲ از یک چال انفجاری به عمق سه متر و ماده انفجاری به وزن ۴ کیلوگرم و در انفجار شماره ۳ از دو چال انفجاری به عمق سه متر و وزن مجموع ماده منفجره ۸ کیلوگرم استفاده شده است. دستگاه‌های لرزه‌نگار شماره ۱ و ۲ به ترتیب در فاصله‌های ۱۵ و ۷۲ متری از محل انفجارها نصب شده‌اند. جدول ۲ خلاصه مشخصات انفجارهای صورت گرفته، فاصله از محل انفجار و سایر پارامترهای مربوط را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات انفجارهای آزمایشی و ایستگاه‌های ثبت.

شماره انفجار	میزان ماده انفجاری (کیلوگرم)	شماره دستگاه	فاصله از محل انفجار (متر)	تعداد مولفه‌ها	شناسه نگاشت‌ها	فاصله مقیاس شده
E1	۹۰	S1	۶۶۰	۳	E1S1	۹۶/۶
		S2	۱۲۶۰	۳	E1S2	۱۳۲/۸
E2	۴	S1	۱۵	۳	E2S1	۷/۵
		S2	۷۲	۳	E2S2	۳۶/۰
E3	۸	S1	۱۵	۳	E3S1	۵/۳
		S2	۷۲	۳	E3S2	۲۵/۵

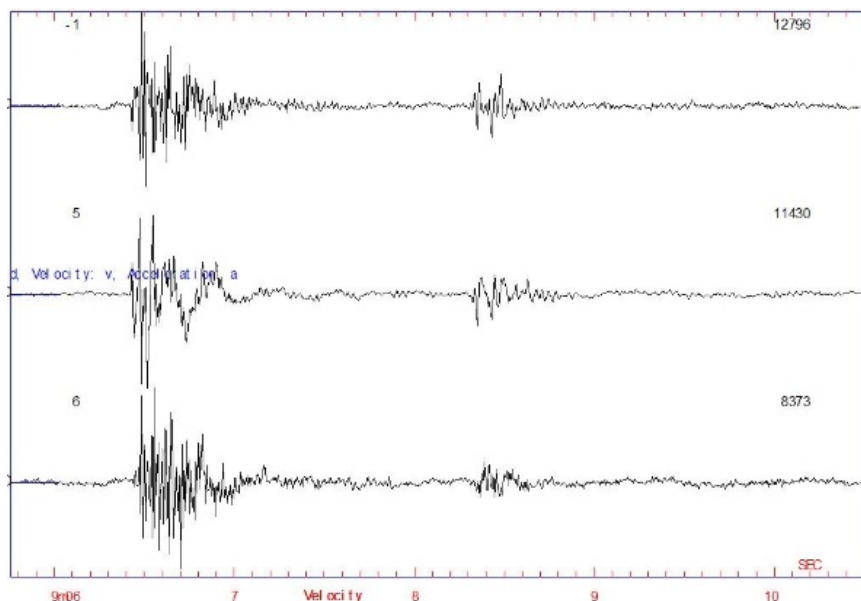
مربوط به انفجار اول با توجه به فاصله قابل توجه محل ثبت تا محل انفجار در مقایسه با نگاشت‌های انفجار دوم و سوم بسیار بیشتر است. طول زمان لرزش و نوسان در فاصله ۱۵ متری حدود ۰/۱ ثانیه و در فاصله ۷۲ متری حدود ۰/۳ ثانیه است. در نگاشت انفجار اول یک تپ (پالس) قوی بعد از تپ اولیه انفجار دریافت شده است که مربوط به امواج فشاری منتشر شده در هوا است.

شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ به ترتیب طیف دامنه فوریه سرعت ذره‌های مولفه‌های قائم، شعاعی و مماسی را نشان داده است. در هر شکل طیف دامنه فوریه ۶ نگاشت رسم شده است. چنان‌که دیده می‌شود، نگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه اول با توجه به فاصله کمتر تا محل انفجار، دارای دامنه‌های طیفی بیشتری هستند. همچنین چنان‌که انتظار می‌رود، بسامد غالب حرکات لرزه‌ای برای انفجار با خرج کم و در فاصله‌های نزدیک (انفجارهای آزمایشی دوم و سوم) به نسبت زیاد و در محدوده ۲۰ هرتز و برای انفجار با خرج زیاد و فاصله دورتر (انفجار آزمایشی اول) در بسامدهای کمتر و حدود ۴ تا ۵ هرتز رخ داده است. این مسئله از یک سو وابستگی محتوای بسامدی به مقدار خرج انفجار و همچنین کاهش محتوای بسامدهای زیاد در فاصله‌های دورتر را نشان می‌دهد.

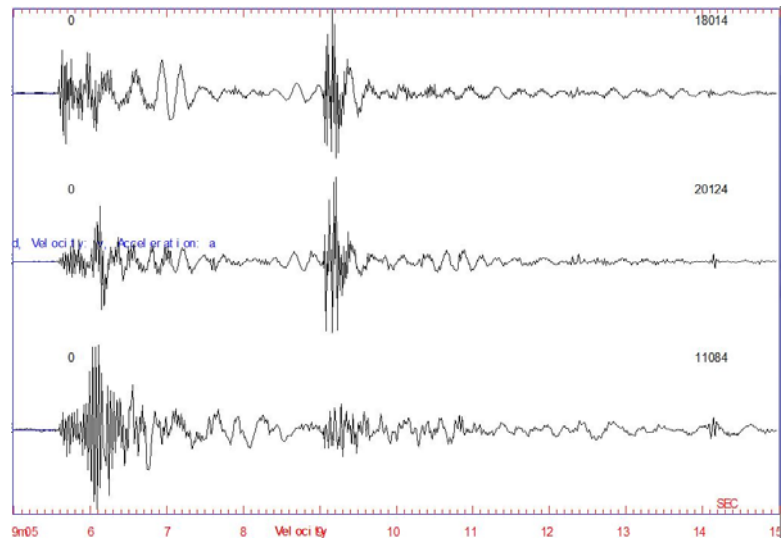


شکل ۴. پاسخ دستگامی (الف) دامنه و (ب) فاز ایستگاه‌های لرزه‌نگاری.

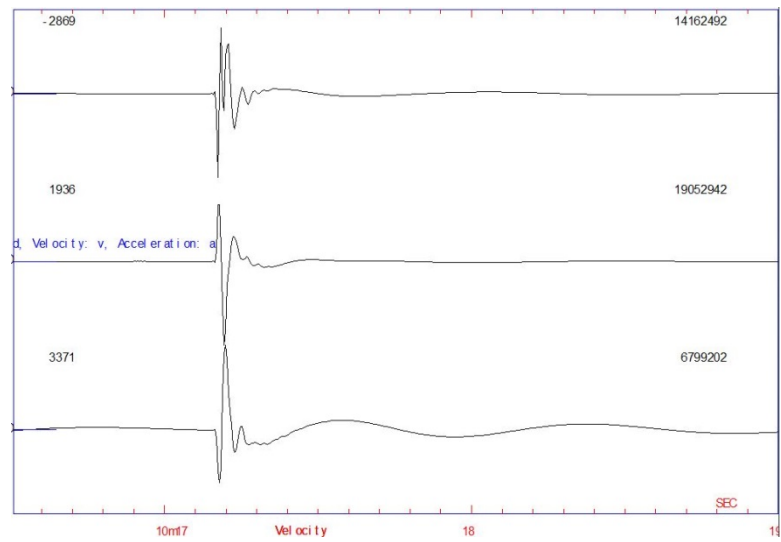
طی داده‌برداری لرزه‌ای در مجموع ۱۸ نگاشت لرزه‌ای (۶ نگاشت سه‌مولفه‌ای) حاصل شده و داده‌های ثبت شده پس از پیاده‌سازی، با استفاده از نرم‌افزار Seisan مورد پردازش قرار گرفته است. شکل‌های ۵ تا ۱۰ نگاشت‌های پردازش شده سرعت ذره‌ای برای شرایط گوناگون آزمایش انفجار را نشان می‌دهند. دامنه پیشینه سرعت ذره‌ای در شکل‌های پیش گفته برحسب نانومتر بر ثانیه است. چنان‌که دیده می‌شود طول نگاشت‌های



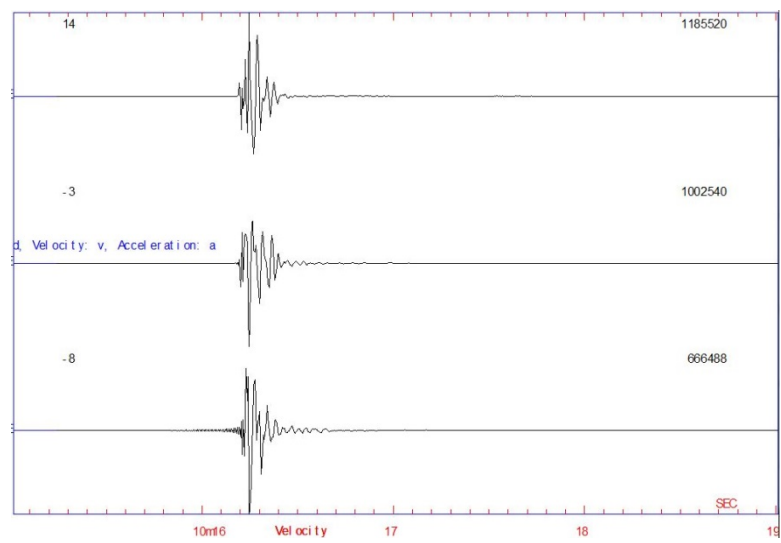
شکل ۵. نگاشت‌های لرزه‌ای پردازش شده E1S1.



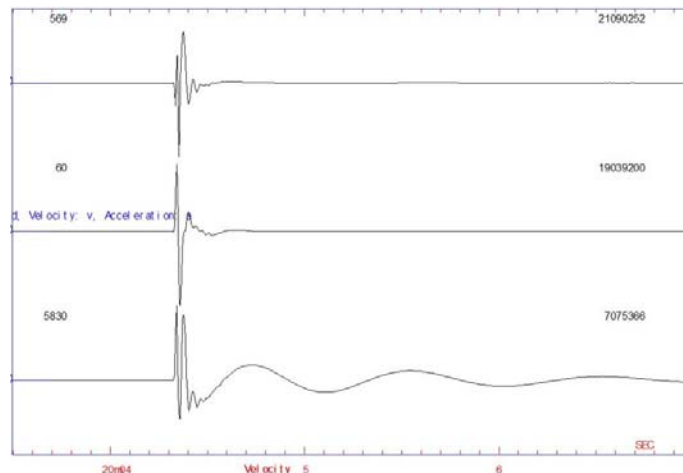
شکل ۶. نگاشت‌های لرزه‌ای پردازش شده E1S2.



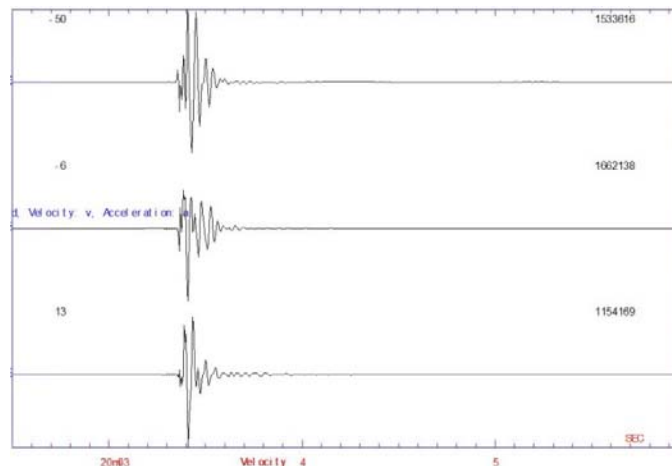
شکل ۷. نگاشت‌های لرزه‌ای پردازش شده E2S1.



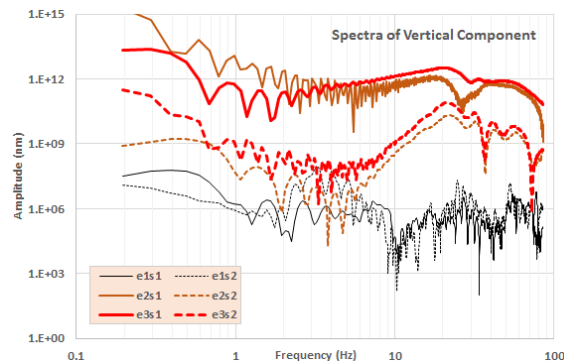
شکل ۸. نگاشت‌های لرزه‌ای پردازش شده E2S2.



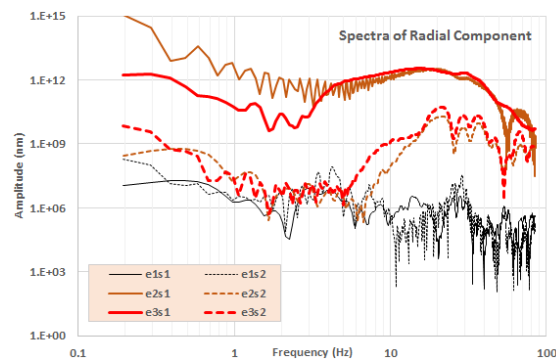
شکل ۹. نگاشت‌های لرزه‌ای پردازش شده E3S1.



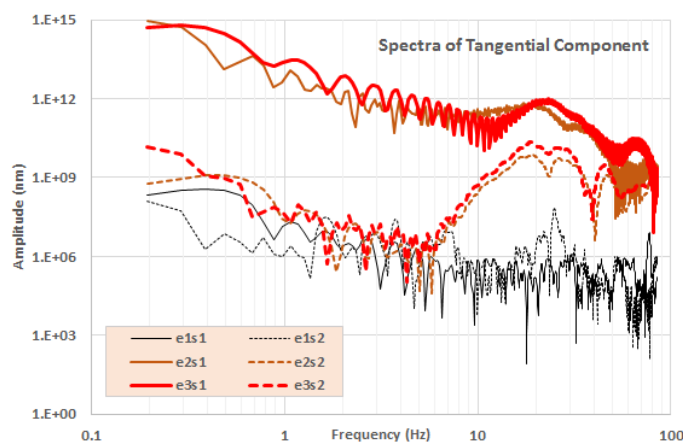
شکل ۱۰. نگاشت‌های لرزه‌ای پردازش شده E3S2.



شکل ۱۱. طیف دامنه فوریه نگاشت‌های سرعت ذره‌ای مولفه قائم.



شکل ۱۲. طیف دامنه فوریه نگاشت‌های سرعت ذره‌ای مولفه شعاعی.



شکل ۱۳. طیف دامنه فوریه نگاشت‌های سرعت ذره‌ای مولفه مماسی.

جدول ۳. بیشینه سرعت لرزه‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های ثبت انفجار.

Record Name	Exp. Mass (Kg)	Distance (m)	Scaled Distance	Comp.	PPV (mm/s)
E1S1	۹۰	۶۶۰	۶۹/۶	V	۰/۰۱
				R	۰/۰۱
				T	۰/۰۱
E1S2	۹۰	۱۲۶۰	۱۳۲/۸	V	۰/۰۲
				R	۰/۰۱
				T	۰/۰۱
E2S1	۴	۱۵	۷/۵	V	۱۴/۱۶
				R	۱۹/۰۵
				T	۶/۸۰
E2S2	۴	۷۲	۳۶/۰	V	۱/۱۹
				R	۱/۰۰
				T	۰/۶۷
E3S1	۸	۱۵	۵/۳	V	۲۱/۰۹
				R	۱۹/۰۴
				T	۷/۰۸
E3S2	۸	۷۲	۲۵/۵	V	۱/۵۳
				R	۱/۶۶
				T	۱/۱۵

انفجار، بیشترین دامنه‌های امواج حاصل شده است. در انفجار دوم با خرج انفجاری ۴ کیلوگرم، دامنه بیشینه سرعت ذره‌ای به حداکثر ۱۹/۰۵ میلی‌متر بر ثانیه و در انفجار سوم با خرج انفجاری ۸ کیلوگرم، دامنه بیشینه سرعت ذره‌ای تا ۲۱/۰۹ میلی‌متر بر ثانیه نیز رسیده است. باین حال دامنه مقادیر به دست آمده کمتر از مقادیر پیش‌بینی شده با کمک روابط تجربی است و به نظر می‌رسد، استفاده از روابط تجربی در این ساخت‌گاه محافظه‌کارانه خواهد بود.

جدول ۳ بیشینه دامنه سرعت ذره‌ای مولفه‌های متفاوت نگاشت‌های ثبت شده را نشان می‌دهد. چنان‌که انتظار می‌رود، در نگاشت‌های به دست آمده، دامنه بیشینه متعلق به مولفه‌های قائم و شعاعی است و مولفه مماسی کمترین دامنه را دارد. مولفه‌های قائم و شعاعی نیز عموماً دارای دامنه نزدیک به یکدیگر هستند. در انفجار شماره ۱ با توجه به فاصله قابل توجه ایستگاه‌های ثبت تا محل انفجار، دامنه بیشینه سرعت ذره‌ای بسیار کم و در حد ۰/۰۱ میلی‌متر بر ثانیه است. در انفجار دوم و سوم در فاصله ۱۵ متری تا محل

۶. نتیجه‌گیری

دامنه لرزش در فاصله ۱۵ متری از محل انفجار را برای خرج ۴ کیلوگرم، حدود ۱۹ میلی‌متر بر ثانیه و برای خرج ۸ کیلوگرم حدود ۲۱ میلی‌متر بر ثانیه نشان داده است. مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد، دامنه‌های لرزش ثبت شده، کمتر از مقادیر پیش‌بینی شده با روابط تجربی است و استفاده از این روابط محافظه‌کارانه خواهد بود. اگرچه روابط پیش‌گفته برآورد اولیه مناسبی از میزان لرزش زمین به‌دست خواهند داد، اما استفاده از داده‌برداری لرزه‌نگاری می‌تواند نتایج اعتمادپذیرتری به‌دست دهد.

مراجع

حاج ملا علی، ع.، حسینی، م.، فرهادیان، م. ب. و صداقت ا.، ۱۳۷۰، نقشه زمین‌شناسی بروجرد، برگه ۵۷۵۷، سازمان زمین‌شناسی کشور، وزارت معادن و فلزات.

- Arshadnejad, S., Yan, W. M., Tham, L. G. and Zhou, J., 2013, An empirical approach to introduce the relationship between blast-induced vibration and rock mass condition in tunneling, *Advances in Geotechnical Infrastructure*, Edited by C. F. Leung, S. H. Goh & R. F. Shen Geotechnical Society of Singapore (GeoSS). Published by Research Publishing.
- AS2670, 1990, Evaluation of human exposure to whole-body vibration Part 2: continuous and shock-induced vibration in building (1 to 80 Hz), Australian Standard.
- Ashley, C. and Parkes, D. B., 1976, Blasting in urban areas, *Tunnels and Tunnelling*, 6, 60-67.
- BS5228, 2009, Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites – Part 2: vibration, British Standards Institution, London-England.
- Cha, M., Cho, G. C. and Santamarina, J., 2009, Long-wavelength P-wave and S-wave propagation in jointed rock masses, *Geophysics*, 74, E205-E214.
- Dick, R. D. and Fourney, W. L., 1992, Technical report: effects of rock properties on explosive source modeling: preliminary results. Los Alamos Source Region Project, Department of Mechanical Engineering, University of Maryland, College Park, Maryland 20742.
- DIN4150, 1999, Germany norm, vibration in buildings—Part 3: effects on structures. Germany Standard Institute.
- Duvall, W. I. and Fogelson, D. E., 1962, Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations, U.S. Bureau of Mines, RI 5868.

- براساس معیارهای موجود و به‌ویژه تجربیات انفجار در خطوط انتقال گاز، به نظر می‌رسد که حد لرزش ۵۰ میلی‌متر بر ثانیه، معیاری قابل‌قبول برای برنامه‌ریزی آتش‌باری و انفجار در کنار خطوط لوله گازرسانی خواهد بود. با در نظر گرفتن این معیار و براساس روابط تجربی، فاصله ایمن در طرح انفجار عادی در تحقیقات حاضر حدود ۱۰۰ متر است و با توجه به فاصله ۲۵ متری خط انتقال گاز از محل سر ترانشه، استفاده از طرح آتش‌باری عادی به هیچ وجه مجاز نخواهد بود. براساس روابط تجربی پیش‌گفته، استفاده از خرج انفجاری تا میزان ۱۳ کیلوگرم، دامنه‌های لرزش کمتر از ۵۰ میلی‌متر بر ثانیه در فاصله بحرانی ۲۵ متری ایجاد خواهد کرد. با این حال اندازه‌گیری‌های صورت گرفته، لرزش زمین در اثر انفجار Enbridge Gas Distribution, 2007, Third party requirements in the vicinity of natural gas facilities, North York, ON M2J 1P8.
- EnCana Corporation, 2008, Near shore 2008 activities impacting shale gas pipeline risk assessment, Deep Panuke Offshore Gas Development Project DMEN-P21-RP-PL-74-0003-02U.
- Fortis BC Energy Inc, 2014, Applications to blast in the vicinity of gas installations, Procedure for Construction, Excavation, Document No. CON 02-03.
- Hong Kong Mines Bureau, 1995, Assessment of stability of slopes subjected to blasting vibration, geotechnical engineering office, Civil Engineering Department, Hong Kong Government, GEO Report No. 15.
- Lopez, E. J., Lopez, C. J. and Carcedo, A., 1995, Drilling and blasting of rocks, Balkema, Rotterdam.
- Lundberg, N., 1977, Relation between vibration, distance and charge weight in rock blasting, Swedish Detonic Research Foundation, Sweden, Report No. DS 1977:3.
- Lundborg, N., Holmberg, R. and Persson, P. A., 1978, The dependence of ground vibrations on distance and charge size. Report R11: 78.
- Rigas, F. and Sebos, I., 1998, Shortcut estimation of safety distances of pipelines from Explosives, *J. Transp. Eng., ASCE*, 124, 200-204.
- Rigas, F., 2009, Safety of buried pressurized gas pipelines near explosion sources, Proceedings of the 1st Annual Gas Processing Symposium, 307-316.
- Roads and Traffic Authority, 2000, Environmental impact statement for the cross city tunnel, Roads Traffic Authority of

NSW, Sydney.
Singh, B., Roy, P. P. and Singh, R. B., 1993, Blasting in ground excavations and mines, Balkema/Rotterdam.
Siskind, D. E., Stagg, M. S., Wiegand, J. E. and Schulz, D. L., 1994, Surface mine blasting near transmission pipelines, Technical

Report, Unated State Department of the Interior, RI9523.
Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W. and Dowding, C. H., 1980, Structure response and damage produced by ground vibrations from surface blasting, RI 8507, U.S. Bureau of Mines, Washington, DC USA.

Consideration of gas pipeline safety against vibration of blasting; case study: excavation in Arak-Khorramabad freeway route

Sohrabi-Bidar, A.^{1*} and Moradi, A.²

1. Assistant Professor, School of Geology, University of Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Department of Earth Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 06 Mar 2016, Accepted: 18 Oct 2016)

Summary

The ground vibration is one of the blasting negative effects on the environment, which could cause damage to various structures in some cases. Allowable vibration criteria in both group of environmental criteria and structural criteria have been presented which are generally based on the peak particle velocity. Environmental criteria concern the adverse effects of vibration on the human comfort and in the structural criteria the vibration effects on the stability of different structures. Gas pipelines are lifeline structures and their safety is critically important during their operation. There are some instructions and guidelines for blasting and explosion in the vicinity of gas pipelines. In recent years with the development of construction along the existing gas pipelines, some case studies have explored the possibility of an explosion near the existing pipelines and relevant restrictions has been considered. Considering all these research works, the limit of 50 millimeters per second has been used in many pipeline projects. In the current research, vibration due to the explosion in the route of the Arak - Khorramabad freeway in the vicinity of a gas pipeline (minimum distance of 25m) is calculated by the use of empirical methods, and the calculated vibration values were compared to the local seismic recorded motions during a few controlled trial explosions. The site location geologically consists of andesitic rocks from Jurassic period which were strongly altered and converted to serpentinite. The initial blasting plan for excavation of trenches in freeway route consists of 64 mm diameter holes with average depth of 3 m and horizontal distance of 3 m. Usual number of explosive hole is about 60 holes per blast. ANFO explosive material is used and the amount of explosive material in each hole is about 4 kg, hence, the total average amount of explosive material in each blasting is about 240 kg. Based on five empirical relationships, peak particle velocities against the distance were calculated for the conventional blasting plan of the project (240 kg of explosive material). In the critical distance of 25 m, the average predicted peak particle velocity was about 390 millimeters per second which is much higher than the allowed amount of 50 millimeters per second. At the same distance and based on the empirical relationships, the maximum allowable explosive charges have to be up to 13 kg. The acquired data were controlled by the use of seismic data monitoring. In this way two short period seismographs with 3 components 2 Hz sensors and 24 bit digitizer are used during 3 trial blasts. The seismographs were mounted so that the two horizontal components of the seismograph records, namely, the radial and tangential vibrations of the blast were acquired. Totally 18 seismic records (6 three-component records) were obtained during data acquisition. The recorded data were processed using Seisan software after the prior implementations. As expected, the vertical and radial components had the maximum amplitudes and the tangential component had the lowest range. Also the general ranges of vertical and radial components were close to each other. Ground vibration measurements showed that vibration amplitude at a distance of 15 meters for the explosion with charge of 4 kg was about 19 millimeters per second and for the explosion with charge of 8 kg it was about 21 millimeters per second. Comparison generally showed that the measured values of amplitudes in recorded vibrations were lower than the predicted motions by the empirical relationships. It also showed that vibration values derived from calculations based on empirical relations were generally conservative at this site, and a local seismic data monitoring would be necessary to optimize the blasting program in civil engineering projects.

Keywords: Blasting, Ground vibration, Gas pipelines, Seismic monitoring.