

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشکده : معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه : معدن

تخمین میزان لرزشهای حاصل از آتشکاری در کارخانه سیمان شاهرود

دانشجو : مهدی کمالی

اساتید راهنما :

فرهنگ سرشکی

محمد عطایی

استاد یا اساتید مشاور:

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار : زمستان ۸۸

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه : معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد (رساله دکتری) آقای / خانممهدی کمالی
تحت عنوان: تخمین میزان لرزه‌های حاصل از آتشفشانی در کارخانه سیمان شاهرود

در تاریخ ۸۸/۱۱/۱۷ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : فرهنگ سرشکی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : محمد عطایی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر رضا قوامی ریایی		نام و نام خانوادگی : دکتر رضا خالو کاکایی
			نام و نام خانوادگی : دکتر محمد کنشلو
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تشکر و قدردانی

اینجانب بر خود لازم میدانم که در این چند خط محدود از تلاشها و کمکهای بی حد و حصر اساتید راهنمای خودم آقایان دکتر فرهنگ سرشکی و محمد عطایی کمال تشکر را داشته باشم، که در مسیر تهیه و ارائه این پروژه کمال همکاری را با اینجانب داشتهاند. در ادامه از جناب آقای مهندس زیاری کمال تشکر را داشته که در تمامی مراحل برداشت صحرایی اینجانب را از راهنماییهای کارشناسانه خود بهرهمند ساختند. همچنین نویسنده نهایت تشکر را از تمامی کارکنان کارخانه سیمان شاهرود علی الخصوص ریس بخش معدن مهندس شهری، مهندسان مسول معادن سنگ آهک آقایان مهندس میرزایی و مهندس مرتضایی، دارد.

دانشجو تأیید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه (رساله) نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نو آوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد .

ماه و سال: زمستان ۸۸

چکیده:

همانند تمام فعالیتهای معدنی، آتشکاری نیز دارای اثرهای جانبی ناخواسته‌های می‌باشد که بایستی کنترل شوند. این اثرها عمدتاً شامل لرزش زمین و هوا، پرتاب سنگ، گرد و خاک و گازهای حاصل می‌باشد. در کارخانه سیمان شاهرود به منظور تولید سنگ آهک به عنوان یکی از مواد اولیه سیمان، عملیات استخراج در معدن سنگ آهک انجام می‌شود. عملیات استخراج به وسیله چالزنی و آتشکاری اجراء می‌شود که عملیات آتشکاری منجر به تولید اثرهای جانبی ناخواسته‌های در این معدن و نواحی اطراف می‌شود. یکی از این اثرها، لرزش کنترل نشده زمین و هوا می‌باشد که تاثیرهای سوء بر محیط اطراف می‌گذارد. از این رو انجام یک پروژه به منظور ثبت و مطالعه لرزشهای حاصل از عملیات آتشکاری بسیار ضروری به نظر می‌رسید. به همین منظور برداشتهای صحرایی در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود انجام شد و با استفاده از لرزشسنج تمامی پارامترهای مورد نیاز برای ۷ عملیات آتشکاری برداشت و ثبت شد. در ادامه به منظور توسعه داده‌های برداشت شده، با مطالعه کارهای قبلی انجام شده در نقاط مختلف دنیا، سه مجموعه داده لرزشهای مربوط به سه کارخانه سیمان با شرایط مشابه از مقالات علمی استخراج شد و به مجموعه داده برداشت شده اضافه شد. برای ایجاد یک رابطه منطقی و قابل اطمینان بین پارامترهای تاثیرگذار بر لرزش و میزان لرزش ایجاد شده، ابتدا بایستی معیاری برای برآورد میزان لرزش ارائه شود و مهمترین پارامترهای تاثیرگذار انتخاب شوند. باتوجه به مطالعات قبلی انجام شده، حداکثر سرعت ذرات ایجاد شده در ذرات محیط به عنوان شاخص لرزش زمین و میزان اندازه‌گیری شده لرزش هوا بر حسب دسی بل به وسیله میکروفون لرزشسنج به عنوان شاخص برای لرزش هوا در نظر گرفته شد. از میان پارامترهای موثر بر میزان لرزش، دو پارامتر حداکثر میزان خرج در هر تاخیر و فاصله محل اندازه‌گیری تا مکان انفجار، مد نظر قرار گرفته شد. برای تخمین میزان لرزش زمین و هوا بر اساس این دو پارامتر سه روش شامل: روش تجربی، شبکه عصبی و شبکه عصبی-فازی استفاده شد. با استفاده از روش تجربی

بهترین رابطه برازش شده به مجموعه داده لرزهای با دقت مناسب حاصل شد. با استفاده از این روش دو معادله به منظور تخمین لرزش زمین و لرزش هوا به دست آمد. در ادامه یک شبکه عصبی و یک شبکه عصبی-فازی برای تخمین میزان لرزش زمین استفاده شد. در این شبکه‌ها حداکثر میزان خرج در هر تاخیر و فاصله محل اندازگیری تا مکان آشکارسازی به عنوان پارامترهای ورودی و حداکثر سرعت ذره‌ای به عنوان پارامتر خروجی در نظر گرفته شدند. نتایج حاصل از این دو روش بسیار رضایت بخش بوده و از دقت بالایی برخوردار بودند. به منظور ارزیابی لرزشهای ایجاد شده در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود و مقایسه این لرزشها با استانداردهای مورد استفاده در این منطقه، با استفاده از روابط تجربی به دست آمده برای تخمین لرزش زمین و هوا و همچنین استانداردهای مورد استفاده در این منطقه، نمودارهایی ترسیم شد. به وسیله این نمودارها میزان مجاز حداکثر خرج در هر تاخیر با توجه به میزان مجاز لرزش زمین یا هوا برای فاصله‌های مشخص به دست آورده میشود و همچنین لرزشهای ایجاد شده در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود با استانداردها مقایسه میشود. در نهایت نتایج حاصله از این پروژه به طور خلاصه بیان شده است و پیشنهاداتی به منظور بهبود عملیات آشکارسازی ارائه شده است.

کلمات کلیدی: آشکارسازی، لرزش، حداکثر سرعت ذره‌ای، تخمین لرزش

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. Improved prediction of blast-induced vibrations in limestone mines by using genetic algorithm (GA)
۲. Environmental concerns of blasting projects in limestone mines

فصل ۱- مقدمه و کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- مروری بر کارهای انجام شده.....	۴
۳-۱- ضرورت انجام پروژه.....	۷
۴-۱- اهداف پایاننامه	۸
۵-۱- سازماندهی پایاننامه	۹
فصل ۲- لرزش و استانداردهای لرزش	۱۲
۱-۲- مقدمه	۱۳
۲-۲- عوامل موثر بر لرزش در اثر آشکارسازی	۱۳
۳-۲- انواع امواج ایجاد شده در آشکارسازی	۱۶
۴-۲- مشخصه‌های لرزش	۱۷
۱-۴-۲- لرزش	۱۷
۲-۴-۲- سیکل	۱۷
۳-۴-۲- دامنه نوسان	۱۷
۴-۴-۲- سرعت ذرات	۱۷
۵-۴-۲- سرعت حداکثر ذره‌ای	۱۷
۶-۴-۲- شتاب ذرات	۱۸
۷-۴-۲- فرکانس	۱۸
۸-۴-۲- طول موج	۱۸
۵-۲- ارزیابی لرزش زمین	۱۸
۱-۵-۲- حداکثر سرعت ذره‌ای (PPV).....	۲۰
۲-۵-۲- حداکثر شتاب ذره‌ای (PPA).....	۳۴
۳-۵-۲- حداکثر جابجایی ذره‌ای (PPD).....	۳۴
۴-۵-۲- نسبت انرژی (ER).....	۳۵
۵-۵-۲- فاصله مقیاس شده (SD).....	۳۵
۶-۲- لرزش هوا.....	۳۶

فصل ۳- برداشت و جمعآوری دادههای لرزه‌ای ۳۷

- ۳-۱- مقدمه ۳۸
- ۳-۲- برداشت دادههای لرزه‌ای در کارخانه سیمان شاهرود ۳۹
- ۳-۳- جمعآوری دادههای لرزه‌ای از سایر معادن سنگ آهک ۴۵
- ۳-۴- استانداردهای مورد استفاده در کارخانه سیمان شاهرود ۴۷

فصل ۴- ارزیابی لرزه‌های حاصل از آتشکاری در معادن سنگ آهک ۵۱

- ۴-۱- مقدمه ۵۲
- ۴-۲- ارائه روابط تجربی به منظور ارزیابی لرزه‌های حاصل از آتشکاری در معادن سنگ آهک ۵۲
- ۴-۲-۱- تخمین حداکثر سرعت ذره‌ای ۵۲
- ۴-۲-۲- تخمین حداکثر لرزش هوا (AOP) ۶۰
- ۴-۳- استفاده از شبکه عصبی برای پیشبینی حداکثر سرعت ذره‌ای ۶۲
- ۴-۳-۱- انتخاب مشخصات مناسب برای معماری شبکه ۶۳
- ۴-۳-۲- آموزش و اعتبارسنجی شبکه عصبی ۷۰
- ۴-۴- کاربرد شبکه عصبی-فازی برای پیشبینی حداکثر سرعت ذره‌ای ۷۵
- ۴-۴-۱- ایجاد معماری شبکه ۷۸
- ۴-۴-۲- آموزش و اعتبارسنجی شبکه عصبی-فازی ۸۳

فصل ۵- ارزیابی لرزه‌های آتشکاری در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود ۸۵

- ۵-۱- مقدمه ۸۶
- ۵-۲- لرزه‌های مجاز زمین و هوا ۸۶
- ۵-۲-۱- لرزش مجاز زمین برای سازه‌ها ۸۶
- ۵-۲-۲- لرزش مجاز زمین برای کارکنان و پرسنل ۶۰
- ۵-۲-۳- لرزش مجاز هوا ۸۹
- ۵-۲-۴- آتشکاری ایمن و ارزیابی آتشکاریهای برداشت شده در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود ۹۰

فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۳

- ۶-۱- نتیجه‌گیری ۹۴
- ۶-۲- پیشنهادات ۹۵

فهرست مراجع ۹۷

شکل ۱-۱: اثرهای جانبی آتشکاری.....	۲
شکل ۲-۱: طراحی بهینه آتشکاری با در نظر گرفتن همه اثرهای جانبی آن.....	۳
شکل ۳-۱: اهداف کلی پایان نامه.....	۸
شکل ۴-۱: فلوچارت سازماندهی پایاننامه	۱۱
شکل ۱-۲: عوامل موثر بر لرزش زمین.....	۱۴
شکل ۲-۲: تاثیر زمینشناسی و فاصله از محل آتشکاری بر روی میزان لرزش	۱۴
شکل ۳-۲: تاثیر خرج ویژه بر میزان لرزش در اثر آتشکاری.....	۱۵
شکل ۴-۲: امواج طولی.....	۱۶
شکل ۵-۲: امواج عرضی.....	۱۷
شکل ۶-۲: تعریف پارمترهای استفاده شده در فرمول هولمبرگ و پرسون.....	۲۴
شکل ۷-۲: تعریف پارمترهای استفاده شده در فرمولهای کوپتا وهمکاران	۲۴
شکل ۸-۲: انتگرالگیری در طول خرج به منظور تخمین PPV در یک نقطه خاص.....	۲۵
شکل ۹-۲: برداشت نمونههای لرزه‌ای برای یک انفجار.....	۳۰
شکل ۱۰-۲: محدوده فرکانس برای برداشت نمونههای شکل (۲-۹).....	۳۱
شکل ۱۱-۲: نمودار استاندارد اداره معادن امریکا.....	۳۱
شکل ۱-۳: لرزشسنج سه جهته Minimate Plus.....	۳۸
شکل ۲-۳: موقعیت جغرافیایی کارخانه سیمان شاهرود.....	۳۹
شکل ۳-۳: موقعیت کارخانه سیمان شاهرود و مناطق اطراف آن.....	۴۰
شکل ۴-۳: بخشهای مختلف دستگاه لرزش سنج Minimate Plus.....	۴۱
شکل ۵-۳: موقعیت تقریبی مکانهای نصب لرزش سنج	۴۲
شکل ۶-۳: فرکانسهای مشاهده شده برای لرزش زمین در کارخانه سیمان شاهرود	۴۹
شکل ۷-۳: فرکانسهای مشاهده شده برای لرزش هوا در کارخانه سیمان شاهرود	۵۰
شکل ۱-۴: روشهای تخمین حداکثر سرعت ذرات	۵۲
شکل ۲-۴: مقایسه دقت تخمین مدلهای تجربی	۵۷
شکل ۳-۴: نمودار برازش شده فرمول تجربی USBM.....	۵۷
شکل ۴-۴: نمودار برازش شده فرمول تجربی Ambrases & Hendron.....	۵۸
شکل ۵-۴: نمودار برازش شده فرمول تجربی Langfors & Kihlstrom	۵۸
شکل ۶-۴: نمودار برازش شده فرمول تجربی Indian standard predictor	۵۹

- شکل ۴-۷: نمودار برازش شده فرمول تجربی CMRI predictor..... ۵۹
- شکل ۴-۸: مقایسه مقادیر واقعی با مقادیر پیش بینی شده به وسیله مدل USBM..... ۶۰
- شکل ۴-۹: نمودارهای برازش شده به منظور تخمین حداکثر فشار هوا..... ۶۲
- شکل ۴-۱۰: نمودار شماتیک از یک نرون..... ۶۳
- شکل ۴-۱۱: توابع انتقال..... ۶۵
- شکل ۴-۱۲: آموزش شبکه با استفاده از تابع LOGSIG..... ۶۶
- شکل ۴-۱۳: آموزش شبکه با استفاده از تابع TANSIG..... ۶۷
- شکل ۴-۱۴: آموزش شبکه با استفاده از تابع PURELIN..... ۶۷
- شکل ۴-۱۵: آموزش شبکه با استفاده از توابع LOGSIG، TANSIG و PURELIN..... ۶۷
- شکل ۴-۱۶: آموزش شبکه با یک، دو و سه لایه مخفی..... ۶۸
- شکل ۴-۱۷: آموزش شبکه با تعداد نرونهای مختلف در لایه مخفی..... ۶۸
- شکل ۴-۱۸: معماری شبکه مورد استفاده..... ۷۰
- شکل ۴-۱۹: اعتبارسنجی شبکه عصبی به وسیله توقف زود هنگام..... ۷۱
- شکل ۴-۲۰: نمودار آموزش شبکه..... ۷۲
- شکل ۴-۲۱: نمودار آموزش و اعتبارسنجی شبکه..... ۷۲
- شکل ۴-۲۲: مقایسه داده‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی..... ۷۳
- شکل ۴-۲۳: مقایسه داده‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای مجموعه داده آموزش..... ۷۴
- شکل ۴-۲۴: مقایسه داده‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای مجموعه داده اعتبارسنجی..... ۷۴
- شکل ۴-۲۵: مقایسه داده‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای مجموعه داده آموزش و اعتبارسنجی..... ۷۵
- شکل ۴-۲۶: نمایی از الگوریتم روش ANFIS..... ۷۶
- شکل ۴-۲۷: نمایی از یک مدل فازی مرتبه یک سوگنو با دو متغیر ورودی و یک خروجی..... ۷۸
- شکل ۴-۲۸: انواع توابع عضویت ورودی..... ۷۹
- شکل ۴-۲۹: تابع عضویت حداکثر خرج در هر تاخیر..... ۸۱
- شکل ۴-۳۰: تابع عضویت فاصله ایستگاه اندازگیری تا محل آتشکاری..... ۸۱
- شکل ۴-۳۱: معماری شبکه ANFIS مورد استفاده..... ۸۲
- شکل ۴-۳۲: آموزش و اعتبارسنجی شبکه عصبی-فازی..... ۸۳
- شکل ۵-۱: تخمین میزان حداکثر خرج در هر تاخیر بر اساس فاصله و حداکثر سرعت ذره‌های مجاز..... ۸۸

- شکل ۵-۲: تخمین میزان حداکثر خرج در هر تاخیر بر اساس فاصله و حداکثر سرعت ذره‌های مجاز. ۸۸
- شکل ۵-۳: تخمین میزان حداکثر خرج در هر تاخیر بر اساس فاصله و حداکثر سرعت ذره‌های مجاز. ۸۹
- شکل ۵-۴: تخمین میزان حداکثر خرج در هر تاخیر بر اساس فاصله و حداکثر لرزش مجاز هوا. ۹۰
- شکل ۵-۵: حدود بحرانی و آستانه نمایش دهنده آشکارسازی ایمن. ۹۲

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۱-۱: مطالعات انجام شده برای تخمین لرزش حاصل از آتشکاری	۵
جدول ۱-۲: پارامترهای مختلف به منظور ارزیابی اثر و شدت لرزش حاصل از آتشکاری	۱۹
جدول ۲-۲: شرح پارامترهای استفاده شده در فرمولهای تجربی جدول ۳-۲	۲۱
جدول ۳-۲: روابط تجربی ارائه شده برای تخمین حداکثر سرعت ذره‌های	۲۲
جدول ۴-۲: میزان ثابت k_f برای زمینهای مختلف	۲۴
جدول ۵-۲: استانداردهای لرزش زمین بر اساس حداکثر سرعت ذره‌های	۲۶
جدول ۶-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط لانگفورس و همکاران	۲۶
جدول ۷-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط ادوارد و نورتوود	۲۶
جدول ۸-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط اداره معادن آمریکا	۲۷
جدول ۹-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط اداره استاندارد هند	۲۷
جدول ۱۰-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط کانمنت و بئور	۲۷
جدول ۱۱-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط سیسکیند و همکاران	۲۷
جدول ۱۲-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز توسط لانگفورس و کیل استروم	۲۸
جدول ۱۳-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط اداره معادن روباز آمریکا	۲۸
جدول ۱۴-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط اداره استاندارد سوئد	۲۸
جدول ۱۵-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط سیولی	۲۸
جدول ۱۶-۲: استاندارد حداکثر سرعت ذره‌های مجاز (mm/s) ارائه شده توسط اداره استاندارد آلمان	۳۲
جدول ۱۷-۲: استاندارد حداکثر سرعت ذره‌های مجاز (mm/s) ارائه شده توسط اداره استاندارد فرانسه	۳۲
جدول ۱۸-۲: استاندارد حداکثر سرعت ذره‌های مجاز (mm/s) ارائه شده توسط اداره استاندارد هند	۳۲
جدول ۱۹-۲: استاندارد ارائه شده توسط اداره استاندارد برزیل	۳۳
جدول ۲۰-۲: واکنش انسان به لرزش حاصله از انفجار در معادن	۳۳
جدول ۲۱-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده بر مبنای حداکثر شتاب ذره‌های	۳۴
جدول ۲۲-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط موریس بر مبنای حداکثر جابجایی	۳۴
جدول ۲۳-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده بر مبنای شاخص انرژی	۳۵
جدول ۲۴-۲: استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط اداره معادن سطحی آمریکا	۳۵
جدول ۲۵-۲: استاندارد حداکثر لرزش هوا ارائه شده توسط اداره معادن آمریکا	۳۶

جدول ۲-۲۶:	جدیدترین استاندارد حداکثر لرزش هوا ارائه شده توسط اداره معادن امریکا	۳۶
جدول ۳-۱:	خلاصه‌های از برداشتهای انجام شده در کارخانه سیمان شاهرود	۴۵
جدول ۳-۲:	دادههای لرزهای مربوط به کارخانه سیمان آکانسا	۴۶
جدول ۳-۳:	دادههای لرزهای مربوط به کارخانه سیمان اسویت	۴۶
جدول ۳-۴:	دادههای لرزهای مربوط به کارخانه سیمان مصری	۴۷
جدول ۴-۱:	فرمولهای تجربی پیشنهاد شده برای تحلیل دادهها	۵۴
جدول ۴-۲:	نتایج حاصل از برآزش فرمولهای تجربی ارائه شده در جدول (۴-۱)	۵۵
جدول ۴-۳:	نتایج حاصل از بکارگیری توابع آموزش مختلف	۶۵
جدول ۴-۴:	مشخصات مناسب شبکه عصبی	۶۹
جدول ۴-۵:	میزان خطای MSE حاصل برای انواع توابع عضویت ورودی	۸۰
جدول ۴-۶:	نتایج حاصل از توابع خروجی ثابت و خطی	۸۲

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان علامت اختصاری

PPV	حداکثر سرعت ذره‌های
PPA	حداکثر شتاب ذره‌های
PPD	حداکثر جابجایی ذره‌های
SD	فاصله مقیاس شده
ER	نسبت انرژی
AOP	لرزش هوا

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

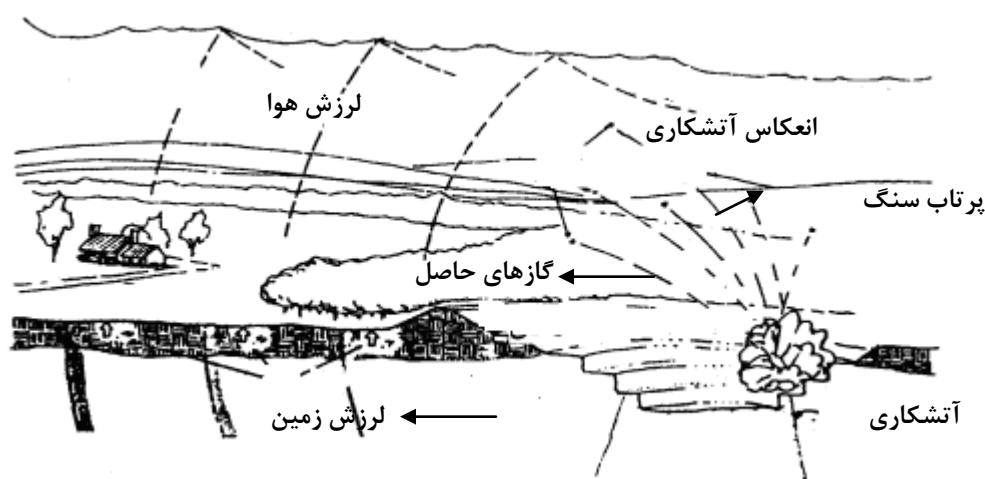
امروزه فعالیتهای معدنی به طور گستردهای در نقاط مختلف جهان در حال اجرا میباشند. برخی از این فعالیتهای معدنی دور از ساختارهای صنعتی و مناطق مسکونی میباشند در حالی که برخی دیگر در تعارض با محیط زیست، تاسیسات صنعتی و مناطق مسکونی میباشند. از این رو طی سالهای اخیر تلاشهای گستردهای به منظور رفع این مشکلات در حال انجام میباشند. شاید بتوان گفت که از میان فعالیتهای معدنی و استخراجی، آتشکاری در معادن نقش به سزایی در تولید و ایجاد تعارضات زیست محیطی و انسانی دارد. مهمترین اثرهای نامطلوب آتشکاری که عبارتند از:

۱. لرزش (لرزش زمین یا هوا)

۲. پرتاب سنگ

۳. گرد و خاک و گازهای سمی

که در واقع، مهمترین عوامل مخرب ایجاد شده در عملیات آتشکاری میباشند. شکل (۱-۱) نمای کلی این اثرها را نشان میدهد (Jimeno et al. 1995).

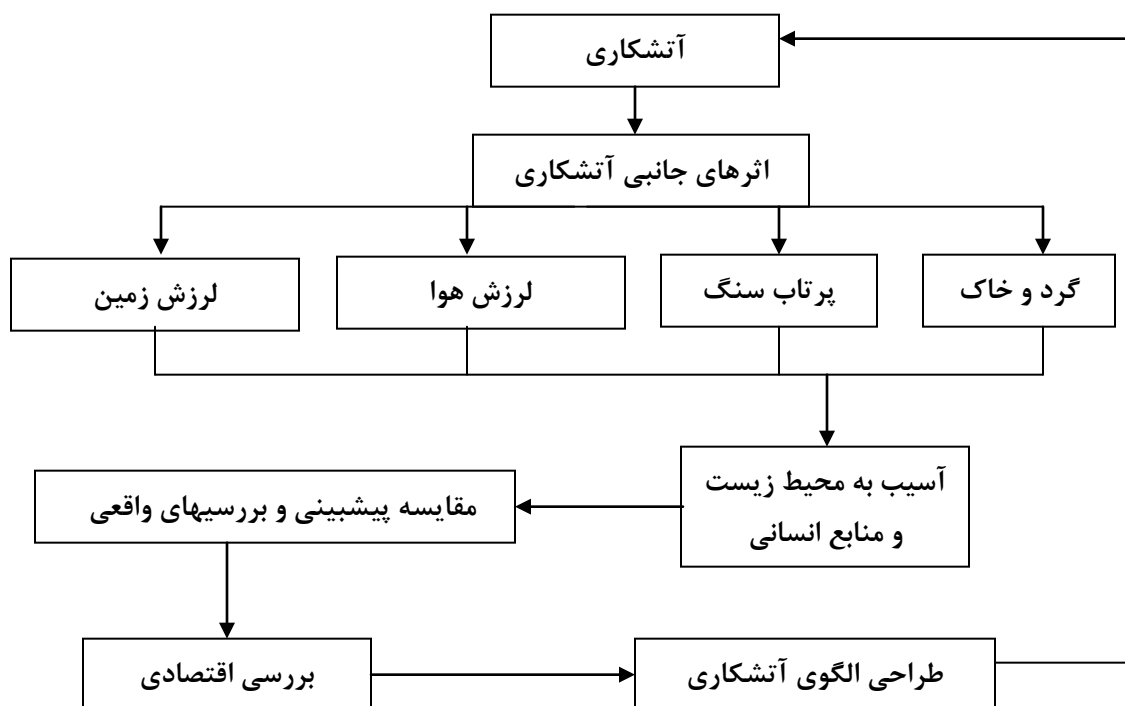


شکل ۱-۱- اثرهای جانبی آتشکاری (Jimeno et al. 1995)

لرزش زمین ایجاد شده در اثر آتشکاری یکی از مشکلات اساسی در صنعت معدنکاری محسوب میشود و ممکن است صدمات جدی به سازههای نزدیک معدن وارد کند، بنابراین انجام یک برنامه ارزیابی شدت لرزش و کنترل آن به منظور به حداقل رساندن اثرهای نامطلوب محیطی حاصل از آتشکاری امری ضروری به نظر میرسد (AK et al., 2009).

لرزش هوا نیز همانند لرزش زمین یکی از اثرهای ناخواسته آتشکاری میباشد. اما برخلاف لرزش زمین، لرزش هوا از طریق سقف و دیوارها و پنجره باعث صدمه به ساختمانها و تاسیسات مسکونی میشود (Kuzu et al., 2009a).

اثرهای نامطلوب آتشکاری تنها به موارد گفته شده محدود نمیشود، در واقع به منظور طراحی یک الگوی بهینه آتشکاری و همچنین به منظور جلوگیری از اثرهای جانبی آن، طراحان الگوهای آتشکاری باید فلوچارتی همانند نمونه ارائه شده در شکل (۲-۱) را دنبال کنند.



شکل ۲-۱- طراحی مناسب آتشکاری با در نظر گرفتن همه اثرهای جانبی آن (Kahrman, 2004)

در کارخانه‌های سیمان قسمت عمده مواد اولیه شامل رس، مارل و آهک می‌باشد. در کارخانه سیمان شاهرود این مواد از معادن اطراف کارخانه تامین می‌شود و سنگ‌گچ نیز از معدنی در ۲۰ کیلومتری کارخانه و سنگ آهن از معادن دامغان و سمنان به کارخانه حمل می‌شود. استخراج رس و مارن توسط بیل مکانیکی و لودر انجام می‌شود و نیازی به آتشکاری ندارد.

معدن سنگ آهک نزدیکترین معدن به کارخانه می‌باشد که در فاصله کمتر از یک کیلومتری کارخانه قرار گرفته است. در این کارخانه به منظور تولید سنگ آهک به عنوان یکی از مواد اولیه سیمان، عملیات استخراج در معدن سنگ آهک انجام می‌شود. عملیات استخراج به وسیله چالزنی و آتشکاری اجراء می‌شود که عملیات آتشکاری منجر به تولید اثرهای جانبی ناخواسته‌ای در این معدن و نواحی اطراف می‌شود. یکی از این اثرها، لرزش کنترل نشده زمین و هوا می‌باشد که تاثیرهای سوء بر محیط اطراف و تاسیسات حساس موجود در داخل کارخانه شامل سنگ شکنها، فنهای خنک کننده و ... می‌گذارد. از این رو انجام یک پروژه به منظور ثبت و مطالعه لرزشهای حاصل از عملیات آتشکاری بسیار ضروری به نظر می‌رسید.

۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده

پدیده لرزش زمین و هوا در عملیات استخراج معادن، یک امر معمول می‌باشد. از این رو طی سالهای متمادی محققان زیادی در نقاط مختلف دنیا مطالعاتی را به منظور بررسی و کنترل لرزشهای حاصل از آتشکاری در معادن مختلف انجام داده‌اند. به طور کلی میتوان تمام روشهای استفاده شده برای تخمین، ارزیابی و کنترل لرزشهای حاصل از آتشکاری را به چهار گروه شامل: استفاده از فرمولهای تجربی، شبکههای عصبی، شبکههای عصبی-فازی و روشهای عددی تقسیمبندی کرد. خلاصهای از این مطالعات در جدول (۱-۱) آورده شده است.

جدول ۱-۱- مطالعات انجام شده برای تخمین لرزش حاصل از آتشکاری

محققان	سال	فرمولهای تجربی	شبکه عصبی	شبکه عصبی-فازی	روشهای عددی
برینک مان ^۱	۱۹۸۷	•			
والیاپن ^۲ و انگ ^۳	۱۹۸۸				•
بلیر ^۴ و جیانگ ^۵	۱۹۹۵				•
پال روی ^۶	۱۹۹۸	•			
چن ^۷ و ژاوو ^۸	۱۹۹۸				•
ما ^۹ و همکاران	۲۰۰۰				•
بالیکتیس ^{۱۰}	۲۰۰۱	•			
کهریمان ^{۱۱}	۲۰۰۱	•			
کهریمان	۲۰۰۲	•			
سینک ^{۱۲}	۲۰۰۲	•			
تریپسی ^{۱۳} و گوپتا ^{۱۴}	۲۰۰۲	•			
رینا ^{۱۵} و همکاران	۲۰۰۲	•			
کهریمان	۲۰۰۴	•			
سینک	۲۰۰۴		•		
رینا و همکاران	۲۰۰۴	•			
چکراپورتی ^{۱۶} و همکاران	۲۰۰۴		•		
انسل ^{۱۷}	۲۰۰۴	•			
کوزو ^{۱۸} و ارگین ^{۱۹}	۲۰۰۵	•			
سینک و همکاران	۲۰۰۵	•			
سینک و ویرندرا سینک	۲۰۰۵		•		

1 . Brinkmann
5. Jiang
9. Ma
13. Tripathy
17. Ansell

2. Valliappan
6 . Pal Roy
10. Baliktiss
14. Gupta
18. Kuzu

3 . Ang
7. Chen
11. Kahrman
15 . Raina
19. Ergin

4. Blair
8. Zhao
12. Singh
16. Chakraborty

ادامه جدول ۱-۱ - مطالعات انجام شده برای تخمین لرزش حاصل از آتشکاری

محققان	سال	فرمولهای تجربی	شبکه عصبی	شبکه عصبی-فازی	روشهای عددی
کهریمان و همکاران	۲۰۰۶	•			
میورات ^۱ و همکاران	۲۰۰۶	•			
کاندوال ^۲ و سینک	۲۰۰۶		•		
بگنویچ ^۳ و ککوویچ ^۴	۲۰۰۷		•		
کاندول و سینک	۲۰۰۷	•	•		
اوزر ^۵	۲۰۰۸	•			
اوزر و همکاران	۲۰۰۸	•			
اک ^۶ و کونیت ^۷	۲۰۰۸	•			
ایفار ^۸ و همکاران	۲۰۰۸			•	
کوزو	۲۰۰۸	•			
اک و همکاران	۲۰۰۹	•			
آلداس ^۹ و اکویتوگلیو ^{۱۰}	۲۰۰۸				•
یویسال ^{۱۱} و همکاران	۲۰۰۸	•			
تنتوی ^{۱۲}	۲۰۰۹		•		
رامیولا ^{۱۳} و همکاران	۲۰۰۹	•			
کوزو و همکاران	۲۰۰۹	•			
کوزو و گیكلو ^{۱۴}	۲۰۰۹	•			

1. Murat
5. Ozer
9. Aldas
13. Ramulu

2. Khandelwal
6. Ak
10. Ecevitoglu
14. Guclu

3. Bogunovic
7. Konut
11. Uysal

4. Kecojevic
8. Iphar
12. Tantawy

۱-۳- ضرورت انجام پروژه

سنگ آهک یکی از مهمترین مواد اولیه برای تولید سیمان میباشد و قسمت عمده سیمان از این ماده تشکیل میشود. کارخانه سیمان شاهرود به منظور تامین این ماده اولیه و نیز به منظور کاهش هزینههای حمل و نقل، معدن سنگ آهک را در نزدیکترین مکان به کارخانه جایی و طراحی کرده است. معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود در فاصله تقریبی کمتر از یک کیلومتری آن قرار دارد. عملیات استخراج در این معدن به وسیله چالزنی و آتشکاری انجام میشود. از آنجایی که انجام دادن عملیات آتشکاری در چند مرحله برای کارخانه هزینهبر است، بنابراین سعی بر این است که تا حد امکان تعداد عملیات آتشکاری در سال کاهش یابد و در صورت امکان چند آتشکاری با هم انجام شود. انجام چند آتشکاری با هم منجر به تولید اثرهای جانبی ناخواسته از جمله لرزش بیش از حد زمین و هوا میشود. بنابراین طراحیهای آتشکاری بایستی مطابق با استانداردهایی انجام شود تا منجر به تولید این اثرها نگردد. از این رو انجام یک مطالعه دقیق و کارشناسی به منظور تخمین و کنترل لرزشهای تولید شده در اثر آتشکاری در منطقه مورد نظر امری ضروری به نظر میرسد.

به طور کلی و خلاصه میتوان دلایل زیر را از ضرورتهای انجام این پروژه دانست:

۱. نزدیکی کارخانه و تاسیسات حساس به معدن سنگ آهک و سایتهای آتشکاری که در برخی موارد این فاصله به حدود ۱۰۰ متر نیز میرسد.
۲. وجود برخی شکایتها از سوی تاسیسات و واحدهای صنعتی و همچنین روستاهای مجاور از جمله روستای امیریه و تاسیسات شن و ماسه مجاور
۳. نیاز به یک مطالعه دقیق و کارشناسی به منظور تخمین اثرهای جانبی آتشکاری و تعدیل طراحی بر اساس آنها به منظور ادغام چند آتشکاری با هم
۴. کاربرد مطالعه در کارخانجات مشابه

۱-۴- اهداف پایاننامه

در این پروژه سعی بر این است تا با استفاده از روشهای تخمین لرزش تولید شده به وسیله آتشکاری، میزان لرزش تولید شده در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود با سه روش تجربی، شبکه عصبی و شبکه عصبی-فازی تخمین زده شود و همچنین نتایج حاصل با استانداردهای موجود تطبیق داده شده و میزان مجاز پارامترهای آتشکاری پیشنهاد شود.

به طور کلی میتوان اهداف پایان نامه را در فلوچارت ارائه شده در شکل (۱-۳) خلاصه کرد.



شکل ۱-۳- اهداف کلی پایان نامه

۱-۵- سازماندهی پایاننامه

پایاننامه در شش فصل تدوین و نگارش شده است و در هر بخش اهداف خاصی دنبال میشود که در ادامه به آنها اشاره میشود .

در فصل اول پایاننامه مقدمه‌های درباره اثرهای جانبی آشکاری به طور خلاصه بیان شده است. در ادامه کارهای قبلی انجام شده به طور کلی ارائه شده است. یکی از بخشهای مهم این فصل ضرورت انجام پروژه میباشد که به طور واضح و خلاصه اهمیت و ضرورت انجام پروژه بیان شده است. در نهایت اهداف و سازماندهی پایاننامه آورده شده است.

به طور کلی به دو موضوع لرزش و استانداردهای لرزش در فصل دوم پرداخته شده است. در این فصل مهمترین عوامل موثر در ایجاد لرزش تولید شده به وسیله آشکاری، انواع امواج لرزشی و مشخصه‌های لرزش مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته شده‌اند. در ادامه لرزش زمین به طور دقیقتری مورد مطالعه قرار گرفته شده است و بر اساس معیارهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و مهمترین فرمولها و استانداردهای تجربی موجود در این زمینه بیان شده است. در نهایت لرزش هوا در بخش جداگانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته و مهمترین استانداردهای آن بیان شده است.

چگونگی و فرآیند برداشت داده‌های لرزهای در کارخانه سیمان شاهرود و همچنین استانداردهای مورد استفاده در این کارخانه در فصل سوم شرح داده شده است. همچنین در این فصل توضیح مختصری درباره داده‌های لرزهای جمع‌آوری شده از سای معادن سنگ آهک آورده شده است.

در فصل چهارم داده‌های برداشت شده و جمع‌آوری شده با استفاده از فرمولهای تجربی مورد تحلیل و آنالیز قرار گرفته‌اند. در این بخش ابتدا داده‌ها با استفاده از مهمترین فرمولهای تجربی موجود به منظور تخمین لرزش تولید شده، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و بهترین فرمول برازش شده انتخاب شده است. در بخش دوم این فصل

شبکه عصبی به منظور تخمین لرزش زمین مورد استفاده قرار گرفته شده است. و در نهایت یک شبکه

عصبی-فازی برای تخمین لرزش زمین مورد استفاده واقع شده است.

در فصل پنجم به منظور ارزیابی لرزشهای تولید شده در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود و

مقایسه این لرزشها با استانداردهای مورد استفاده در این منطقه، نمودارهای استانداردی ترسیم شد که این

نمودارها با استفاده از فرمولهای تجربی به دست آمده در فصل چهار و استانداردهای موجود ترسیم شدهاند.

نتایج و پیشنهادهای حاصل از پایاننامه به طور واضح و خلاصه در فصل ششم بیان شده است.

فلوچارتی از نحوه سازماندهی پایاننامه در فصول مختلف در شکل (۱-۴) نشان داده شده است.

از آن جایی که از کلمه لرزش عمدتاً به لرزش زمین تعبیر میشود و کلمه لرزش زمین به دفعات در این

تحقیق استفاده میشود، به جای استفاده از کلمه لرزش زمین از لرزش استفاده میشود و برای لرزش هوا از خود

کلمه لرزش هوا یا فشار هوا استفاده میشود.



شکل ۱-۴- فلوچارت سازماندهی پایاننامه

فصل دوم

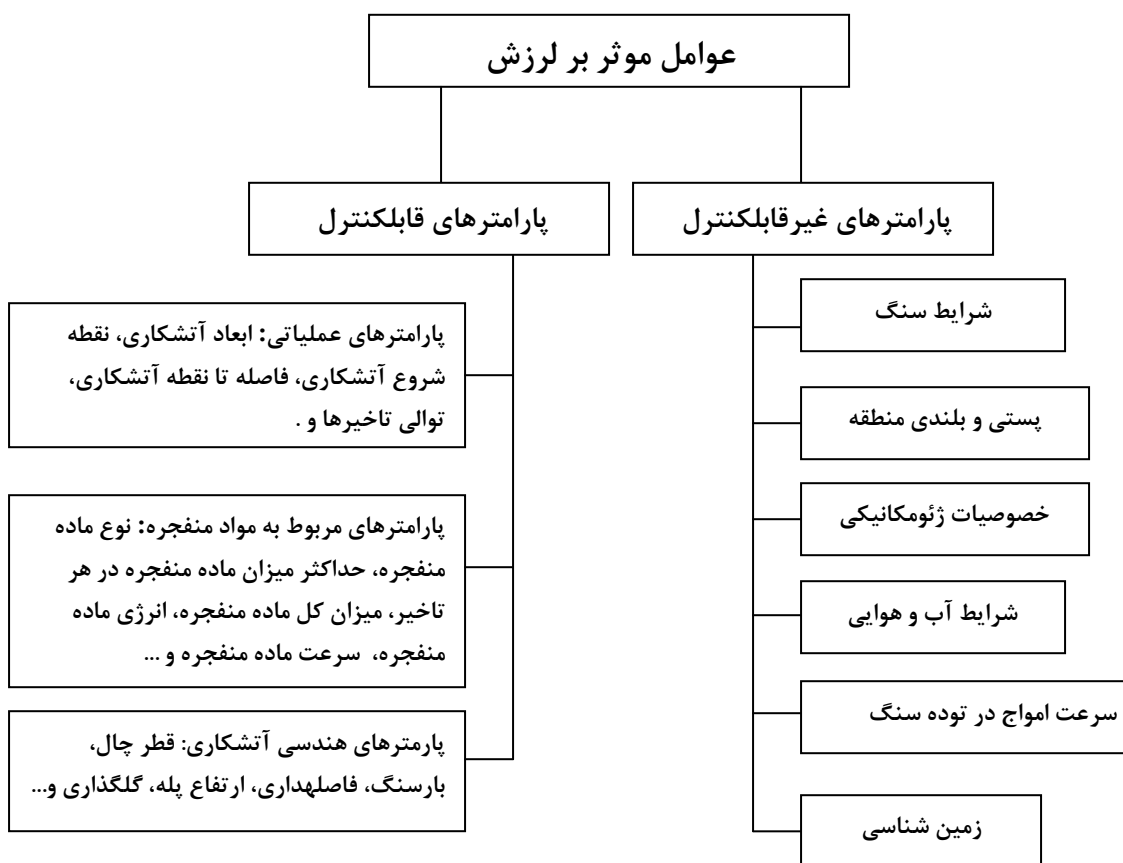
لرزش و استانداردهای لرزش

۲-۱- مقدمه

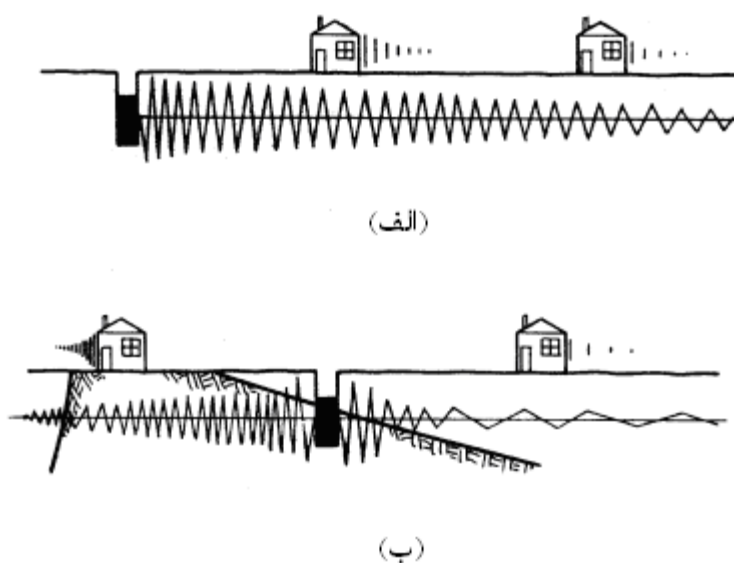
لرزش یکی از پدیده‌های معمول در آتشکاری معادن می‌باشد، اما اگر کنترل نشود ممکن است صدمات جدی به محیط اطراف وارد کند. به منظور کنترل و ارزیابی لرزش زمین نخست بایستی ماهیت لرزش زمین مشخص شده و مشخصه‌های آن شرح داده شود. پارامترهای متعددی بر روی لرزش زمین تاثیرگذار هستند اما از میان این پارامترها، برخی از پارامترها در میزان لرزش ایجاد شده بسیار موثر هستند که بایستی در ارزیابی این پدیده در نظر گرفته شوند. برای برآورد میزان و همچنین به منظور اندازه‌گیری لرزش بایستی معیاری ارائه گردد که این معیار تا حد امکان ساده بوده و قابل اندازه‌گیری باشد. در نهایت میزان لرزش حاصله بایستی با استانداردها و مقادیر مجاز مقایسه شود تا از بیخطر بودن آن اطمینان حاصل گردد. در این فصل موارد گفته شده مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۲- عوامل موثر بر لرزش در اثر آتشکاری

شدت لرزشهای زمین در اثر آتشکاری به عوامل مختلفی بستگی دارد. این عوامل را به طور کلی میتوان به دو گروه کلی که عبارتند از: پارامترهای قابلکنترل و غیرقابلکنترل تقسیمبندی کرد. پارامترهای قابلکنترل، پارامترهای هستند که مهندسطراح میتواند آنها را تغییر دهد و پارامترهای غیرقابلکنترل، پارامترهایی هستند که ذاتی و طبیعی هستند و نمیتوان آنها را تغییر داد (شکل ۲-۱). زمینشناسی منطقه و خواص ژئومکانیکی سنگها تاثیر زیادی بر روی لرزش دارند. در توده‌سنگهای همگن و یکپارچه لرزش زمین به طور یکنواخت در تمام جهات منتشر میشود ولی در ساختارهای زمینشناسی پیچیده، انتشار امواج در جهات مختلف متفاوت بوده و در نتیجه اندیس میرایی و قانون انتشار در جهات مختلف متغیر خواهد بود. پوشیده شدن لایه‌های سنگی زیرین توسط روباره خاکی نیز روی شدت و فرکانس لرزش زمین تاثیر میگذارد (Jimeno et al. 1995). در شکل (۲-۲) تاثیر فاصله از محل آتشکاری و زمینشناسی، بر روی لرزش حاصل از آتشکاری را نشان داده شده است.

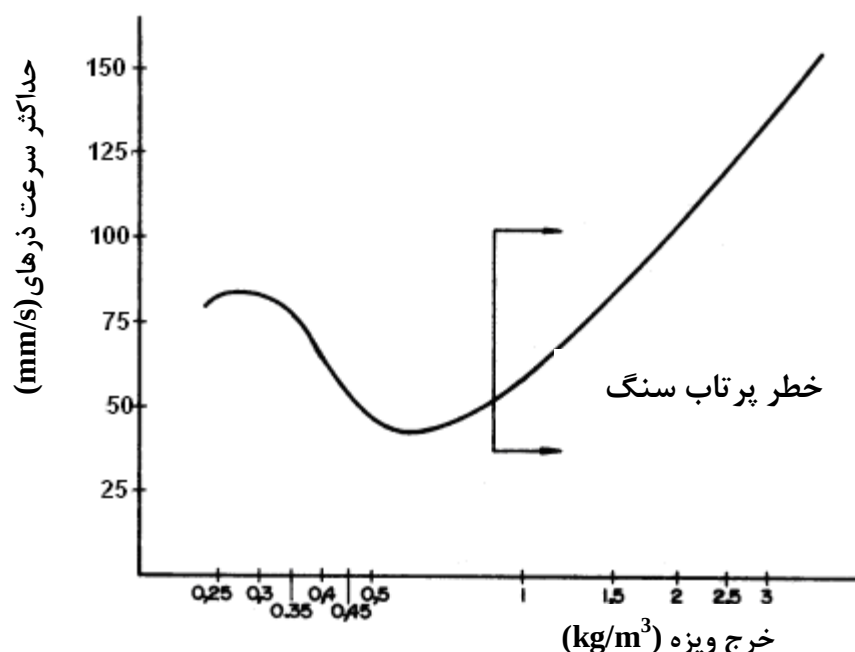


شکل ۲-۱- عوامل موثر بر لرزش زمین (Tantawy, 2009)



شکل ۲-۲- تاثیر زمینشناسی و فاصله از محل آتشکاری بر روی میزان لرزش (الف) تاثیر فاصله (ب) تاثیر زمینشناسی (Jimeno et al. 1995)

زمانی که مشکل لرزش زمین در یک عملیات آتشکاری پدید می‌آید، اکثر مهندسان به دنبال کم کردن خرج ویژه می‌باشند ولی واقعیت این است که بعد از یک میزان خاص، کم کردن خرج ویژه نتیجه عکس می‌دهد. در برخی آزمایشها که خرج ویژه حدود ۲۰ درصد کمتر از این میزان حداقل در نظر گرفته شده بود، مشاهده شد که میزان لرزش دو تا سه برابر می‌شود. علت این امر در محصورشدگی و توزیع نقطه‌های مواد منفجره و کمبود انرژی برای جابجایی و تورم است (Jimeno et al. 1995). در شکل (۲-۳) تاثیر خرج ویژه در میزان لرزش در اثر آتشکاری نشان داده شده است.



شکل ۲-۳- تاثیر خرج ویژه بر میزان لرزش در اثر آتشکاری (Jimeno et al., 1995)

در واقع اکثر پارامترهای قابلکنترل آتشکاری مستقل از هم نیستند و به هم مربوط می‌باشند و با تغییر یکی از آنها، پارامترهای دیگر نیز تغییر می‌کنند. بنابراین بایستی تاثیر متقابل این پارامترها بر روی یکدیگر نیز مد نظر قرار گیرد و اثر یک پارامتر به طور مستقل بررسی نشود. از این رو، بایستی لرزش زمین به طور همه‌جانبه ارزیابی شود.

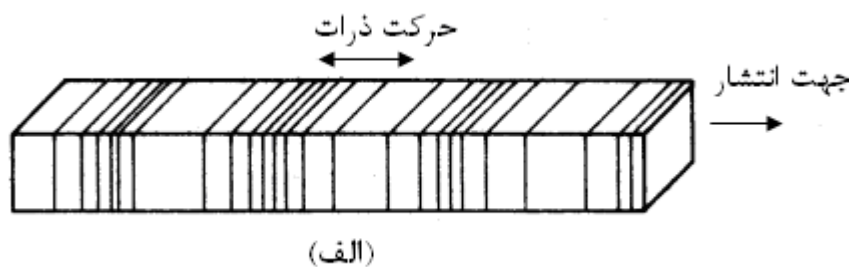
۳-۲- انواع امواج ایجاد شده در اثر آتشکاری

لرزش تولید شده در اکثر عملیات آتشکاری به صورت امواج لرزشی از میان سنگها عبور میکند. این امواج به صورت شعاعی از نقطه آتشکاری دور میشوند. امواج لرزشی مختلف به دو دسته امواج توده‌ای^۱ و امواج سطحی^۲ تقسیمبندی میشوند.

امواج توده‌ای که امواج اولیه^۳، فشاری^۴ و یا طولی^۵ نیز نامیده میشوند، ذرات را در راستای حرکت موج جابجا میکنند و در سر راه خود مواد را تحت فشار قرار میدهند. این امواج سریعترین نوع امواج بوده و باعث تغییر در حجم مواد و نه شکل آنها، میشوند (شکل ۲-۴).

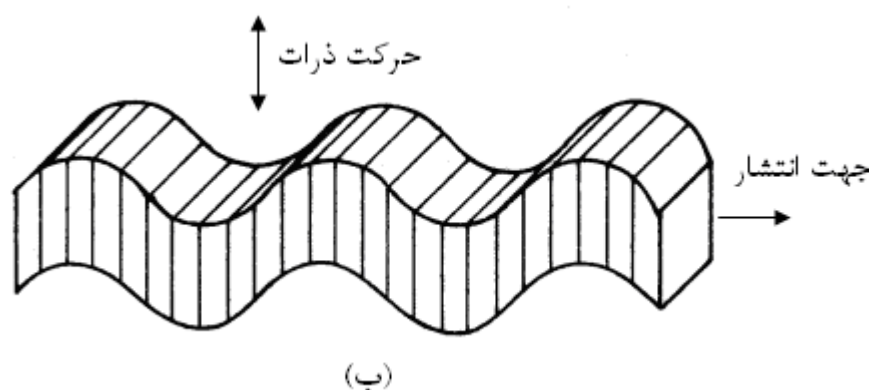
امواج سطحی که امواج عرضی^۶ یا برشی^۷ نیز نامیده میشوند، ذرات را در جهت عمود بر راستای حرکت موج جابجا میکنند (شکل ۲-۵).

سرعت انتشار امواج عرضی کمتر از سرعت امواج طولی است. امواج عرضی باعث تغییر شکل مواد و نه تغییر حجم آنها میشوند. امواج سطحی که به طور معمول در آتشکاری تولید میشوند، عبارتند از: امواج ری لایت^۸ و امواج لاو^۹. انواع دیگر امواج سطحی عبارتند از: کانال^{۱۰} و استونلی^{۱۱} که از اهمیت پایینی برخوردار هستند (Jimeno et al., 1995).



شکل ۲-۴- امواج طولی (Jimeno et al., 1995)

1. Mass	2. Surface	3. Primary	4. Pressure
5. Longitude	6. Transverse	7. Shear	8. Raylight
9. Love	10. Channel	11. Stonelly	



شکل ۲-۵- امواج عرضی (Jimeno et al., 1995)

۲-۴- مشخصه‌های لرزش

در این بخش لرزش از لحاظ فیزیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حرکت ارتعاشی و سینوسی ذرات، اصطلاحات کلی به صورت زیر تعریف میشوند.

۲-۴-۱- لرزش^۱: جابجایی مکرر ذرات از محل قرارگیری خود را لرزش مینامند.

۲-۴-۲- سیکل: یک بخش کامل از جابجایی ذرات را گویند.

۲-۴-۳- دامنه نوسان: بیشترین مقدار جابجایی از موقعیت سکون را گویند و واحد رایج آن میلی متر میباشد.

۲-۴-۴- سرعت ذرات: نرخ تغییر جابجایی و سرعت تحریک ذرات در زمین توسط حرکت ارتعاشی را گویند. باید توجه داشت که این سرعت، سرعت انتشار امواج در توده سنگ نمیباشد و واحد آن میلی متر بر ثانیه میباشد.

۲-۴-۵- حداکثر سرعت ذره‌های^۲: سرعت حداکثری که ذرات در جهت جابجایی سیر میکنند را

گویند و نماد آن PPV میباشد.

1. Vibration

2. Peak Particle velocity (PPV)

۲-۴-۶- شتاب ذرات: نرخ تغییر سرعت ذرات را گویند و واحد آن سانتی متر بر مجذور ثانیه میباشد.

۲-۴-۷- فرکانس: تعداد سیکل ارتعاشی که در واحد زمان انجام میشود را گویند و واحد آن هرتز

میباشد.

۲-۴-۸- طول موج: طول یک سیکل کامل لرزش را گویند و از روابط (۲-۱) و (۲-۲) محاسبه میشود:

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (1-2)$$

$$\lambda = V \times T \quad (2-2)$$

که در این روابط V سرعت (m/s)، f فرکانس (Hz)، λ طول موج (m) و T (1/s) پریود میباشد.

مشخصه‌های یک موج ساده با گذشت زمان ثابت میباشد، ولی موج لرزش حاصل از آشکاری متشکل

از انواع موجها میباشد و در واقع یک موج فوقالعاده پیچیده است و علاوه بر این که در یک زمان ثابت

نمیتوان یک مشخصه‌ی خاصی برای آن در نظر گرفت، با گذشت زمان نیز مشخصه‌ها و مولفه‌های آن

تغییر میکند، که این موضوع بررسی آن را مشکل میکند. برای حل این مشکل در طول زمان جریان موج

آشکاری در داخل سازه‌ها و زمین، بحرانیترین میزان مربوط به مشخصه‌های آن از جمله: سرعت ذره‌ای

حداکثر (PPV)، شتاب ذره‌ای حداکثر^۱ (PPA)، جابجایی ذره‌ای حداکثر^۲ (PPD)، فاصله مقیاس شده^۳

(SD)، نسبت انرژی^۴ (ER).... توسط لرزشسنجها برداشت شده و یا از طریق روابط ریاضی محاسبه

میشود.

۲-۵- ارزیابی لرزش زمین

به منظور ارزیابی شدت و اثر لرزش زمین معیارها و شاخصهای متفاوتی ارائه و مورد استفاده واقع شده

است که در جدول (۲-۱) این موضوع نشان داده شده است. اطلاعات این جدول نشان میدهد که از

1. Peak Particle Acceleration

2. Peak Particle Displacement

3. Scaled Distance

4. Energy Ratio

دیدگاه تقریباً تمام محققان حداکثر سرعت ذره‌های به عنوان بهترین شاخص برای ارزیابی اثرهای حاصل از لرزش زمین ناشی از عملیات آتشکاری می‌باشد. از این رو در این پروژه نیز حداکثر سرعت ذره‌های به عنوان شاخص ارزیابی کننده اثر لرزش زمین حاصل از آتشکاری مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

جدول ۲-۱- پارامترهای مختلف به منظور ارزیابی اثر و شدت لرزش حاصل از آتشکاری

پارامترها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
سرعت ذره‌های				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
فرکانس	•	•					•		•		•	•	•	
نوع خسارت			•	•	•					•	•			
نوع ساختار و سازه										•	•	•	•	
نوع سنگ							•							
شتاب ذره‌های			•				•							
بزرگی لرزش	•	•												
فاصله		•												
سرعت موج لرزه							•							
جابجایی ذره-ای							•							
۱. Thoenen and Windes, 1942 ۲. Crandell, 1949 ۳. Langefors, et al., 1957 ۴. Edwards and Northwood, 1959 ۵. Nicholls et al., 1971 ۶. Indian Standard Institute, 1973 ۷. Medearis, 1976 ۸. Canmet and Calder, 1977 ۹. Langefors and Kihlstrom, 1978 ۱۰. Siskind et al., 1980 ۱۱. New BM Standard 4150, 1986 ۱۲. Rosenthal and Morlock, 1987 ۱۳. CMRI standards, 1993 ۱۴. Kahrman, 2001														

برای آنکه مقدار و یا سطح مشخصی از لرزش زمین که مجاز است، تعیین شود باید مهندسان با تجربه در امر آتشکاری سنگ و اندازه‌گیری لرزش زمین مورد مشورت قرار گیرند. هر محدودیتی در اندازه مقدار لرزش، هزینه چالزنی و آتشکاری را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد چون بایستی عملیات آتشکاری در چند مرحله انجام شود و این نکته بسیار مهمی است که باید مورد توجه قرار گیرد. به همین دلیل، همه عملیات آتشکاری در مناطق مسکونی با بررسی روی ساختمانهای اطراف انجام می‌گیرد و خطرها با توجه به حساسیت ساختمانها به لرزش زمین بررسی میشوند.

۲-۵-۱- حداکثر سرعت ذره‌های (PPV)

همانطور که گفته شد، عوامل مختلفی بر روی شدت و میزان لرزش حاصل از عملیات آتشکاری تاثیر می‌گذارند، اما در عمل ارائه یک رابطه ریاضی به منظور تخمین حداکثر سرعت ذره‌های بر اساس تمامی این پارامترها مشکل است و چنین رابطهای در عمل غیرکاربردی می‌باشد. بنابراین از میان تمامی این پارامترها دو پارامتر مهم که شامل فاصله ایستگاه اندازه‌گیری تا محل آتشکاری و حداکثر مقدار ماده منفجره مصرفی در هر تاخیر می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر چند که در برخی روابط مولفه‌های دیگری نیز لحاظ شده‌اند.

طی سالیان محققان زیادی روابط تجربی را به منظور تخمین حداکثر سرعت ذره‌های ارائه کرده‌اند. در اکثر این روابط پیشبینی سرعت ذره‌ای صرفاً براساس فاصله تا محل آتشکاری و مقدار ماده منفجره مصرفی در هر تاخیر انجام شده است. شکل کلی این روابط به صورت زیر است:

$$PPV = K_1 W^{K_2} D^{K_3} \quad (۳-۲)$$

که در این رابطه:

PPV - حداکثر سرعت ذره‌ای (mm/s)

W - حداکثر مقدار ماده منفجره مصرفی در هر تاخیر (kg)

D - فاصله محل اندازه‌گیری تا محل آتشکاری

K_1, K_2 و K_3 ثابت توصیف کننده شرایط در هر منطقه مورد مطالعه

ثابت‌های K_1, K_2 و K_3 برای هر منطقه خاص با برازش کردن رابطه (۳-۲) به داده‌های برداشت شده و

استفاده از تحلیل رگرسیون، بایستی محاسبه شوند تا فرمول (۳-۲) برای آن منطقه قابل استفاده باشد.

هر چند که شکل کلی روابط تخمین‌زننده PPV (حداکثر سرعت ذره‌ای) بر اساس W (حداکثر مقدار

ماده منفجره مصرفی در هر تاخیر) و D (فاصله محل اندازه‌گیری تا محل آتشکاری) به صورت فرمول (۲-۲)

(۳) میباشد، ولی در روابط کاربردی به منظور ساده‌تر کردن رابطه بین PPV و W و D ، دو پارامتر W و D با هم ترکیب شده و یک متغیر جدید به نام فاصله مقیاس شده ایجاد میشود که رابطه کلی آن به صورت زیر میباشد:

$$SD = \frac{W^{\beta_1}}{D^{\beta_2}} \quad (۴-۲)$$

β_1 و β_2 ثابت‌هایی هستند که در هر فرمول خاص مقادیر از پیش تعیین شده‌ای دارند و به طور معمول برابر با $1/2$ ، $1/3$ و $2/3$ میباشد. در این صورت رابطه کلی ارائه شده در فرمول (۳-۲) به صورت زیر خواهد شد:

$$PPV = K_1 (SD)^{K_2} \quad (۵-۲)$$

تا به امروز روابط تجربی متعددی ارائه شده است اما قبل از بیان این روابط برخی پارامترهای استفاده شده در این روابط تجربی در جدول (۲-۲) معرفی و شرح داده شده است و در ادامه روابط تجربی در جدول (۳-۲) آورده شده است.

جدول ۲-۲- شرح پارامترهای استفاده شده در فرمولهای تجربی جدول ۳-۲

پارامتر	توضیحات	پارامتر	توضیحات
PPV	حداکثر سرعت ذره‌ای (mm/s)	Q	مقدار ماده منفجره (kg)
W	حداکثر ماده منفجره مصرفی در هر تاخیر (kg)	n_t	فاکتور شکنندگی
D	فاصله محل اندازه گیری تا محل آتشکاری	n₁	ضریب امپدانس
K_i	پارامتر ثابت	n₂	ضریب جفتشدگی
E	انرژی ماده منفجره بر حسب m.ton/kg/day	ρ	چگالی سنگ (kg/m ³)
I	چگالی خطی خرج (kg/m)	VC	سرعت امواج لرزشی (m/s)
E_T	انرژی بر واحد جرم (MJ / kg)	D_p	فشار آتشکاری (Pa)
k_f	ثابت مشخه سنگ ارائه شده در جدول (۳-۲)	A	نسبت سرعت موج طولی به سرعت موج برشی
f_c	فاکتور جفت شدگی است.	R_c	قطر خرج
R_h	قطر چال		

جدول ۲-۳- روابط تجربی ارائه شده برای تخمین حداکثر سرعت ذره‌ای

نام	رابطه	توضیحات
کراندل ^۱ (۱۹۴۹)	$PPV = K \left(\frac{E^{1/2}}{D} \right)$	
لاندبورگ ^۲ و همکاران (۱۹۵۷)	$\log PPV = K_1 + K_2 \log W - K_3 \log D + K_4 \log W \times \log D$	سه بعدی
	$PPV = K_1 + K_2 \log W - K_3 \log D$	دو بعدی
ادوارد ^۳ و نورثوود ^۴ (۱۹۵۹)	$PPV = K_1 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{K_2}$	
دوال ^۵ و فلوکسن ^۶ (۱۹۶۲)	$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-K}$	
داویس ^۷ ، فارمر ^۸ و اتول ^۹ (۱۹۶۴)	$PPV = K_1 W^{K_2} D^{K_3}$	برای فواصل دور
دویان ^{۱۰} (۱۹۶۶)	$PPV = K_1 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^{K_2}$	این رابطه برای خرج های کروی که l/d بزرگتر از ۶ است، می باشد
امبرس ^{۱۱} و هندرون ^{۱۲} (۱۹۶۸)	$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-B}$	
لانگفورد ^{۱۳} و کیل استروم ^{۱۴} (۱۹۷۸)	$PPV = K_1 \left(\sqrt{\frac{W}{\sqrt[3]{D^2}}} \right)^{K_2}$	این رابطه برای فواصل بیشتر از ۱۰۰ متر است
هولمبرگ ^{۱۳} و پرسون ^{۱۲} (۱۹۷۹)	$PPV = K_1 \left[\frac{l}{R_0} \right]^{K_2/2} \left[\phi - \arctan \left(\frac{R_0 \tan \phi - H}{R_0} \right) \right]^{K_2/2}$	برای فواصل مساوی و یا کمتر از عمق چال. پارامترهای R_0 ، ϕ و H در شکل (۲-۶) نمایش داده شده‌اند
گوش ^{۱۳} و دامن ^{۱۴} (۱۹۸۳)	$PPV = K_0 \times \left[\frac{D}{\sqrt{W}} \right]^2 \times e^{-K_1 D}$	اگر امواج حجمی غالب باشند (مثلا در نزدیکی آتشکاری) و اندازگیری روی سطح انجام شده باشد
	$PPV = K_0 \times \left[\frac{D}{\sqrt{W}} \right]^{-1} \times e^{-K_1 D}$	اگر امواج حجمی غالب باشند (مثلا در نزدیکی آتشکاری) و اندازگیری زیر سطح زمین انجام شده باشد
	$PPV = K_0 \times \left[\frac{D}{\sqrt{W}} \right]^{-1/2} \times e^{-K_1 D}$	اگر امواج ری لایت غالب باشند (مثلا در فاصله دوری از آتشکاری)

1. Crandell

5. Davies

9. langeforse

13. Ghosh

2. Lundborg

6. Farmer

10. Kilhstrom

14. Daemen

3. Edward

7. Attewell

11. Holmberg

4. Northwood

8. Devine

12. Persson

ادامه جدول ۲-۳- روابط تجربی ارائه شده برای تخمین حداکثر سرعت ذره‌های

نام	رابطه	توضیحات
برت ^۱ (۱۹۸۵)	$PPV(m/s) = \frac{\sqrt{Q}}{D} \times \sqrt{\frac{n_t \times n_1 \times n_2 \times E_T \times 10^6}{5 \times k_f \times \log D \times \pi \times \rho \times VC}}$	در این رابطه بایستی D بزرگتر از یک متر باشد. مقادیر k_f نشان داده در جدول (۲-۴)
گوپتا ^۲ و همکاران (۱۹۸۸)	$PPV = \frac{4\pi D_p Dr_0^3 A^2 l}{\rho V_p X^2 \left[\frac{4D\sqrt{A^2-1}}{A^2-2} + (A^2-2) \right]}$	$X > D$ پارامترهای دیگر استفاده شده
	$PPV = \frac{\sqrt{2\pi D_p Dr_0^3 A^2 l}}{\rho V_p D^2 \left[\frac{\sqrt{2A^2-1}}{A^2-1} + (A^2-1) \right]}$	$X = D$ در این روابط در شکل (۲-۷) نشان داده شده است.
	$PPV = \frac{4\pi D_p r_0^3 l}{\rho V_p D^2}$	$X < D$
گوپتا و همکاران (۱۹۸۸)	$PPV = (any predictor equation) \times \left(\frac{R_c}{R_h} \right)^{k \frac{R_c}{R_h}}$	a بین ۱ و ۲ متغیر میباشد و به طور متوسط آن را برابر با ۱/۵۸۹ میگیرند.
پال روی ^۳ (۱۹۹۳)	$PPV = K_1 + K_2 \left(\frac{D}{\sqrt{W_{max}}} \right)^{-1}$	برای طبقه همکف سازه‌های اطراف عملیات معدنکاری
	$PPV = K_1 + K_2 \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W_{max}}} \right)^{-1}$	برای طبقه اول سازه‌های اطراف عملیات معدنکاری
اسمیت ^۴ و هتترینگتن ^۵ (۱۹۹۴)	$PPV = 48.8 f_c \left(\frac{2.52D}{W^{1/3}} \right)$	
جیمینو ^۶ و همکاران (۱۹۹۵)	$PPV = k \times q_i^a \times \left[\int_0^l \frac{dx}{DS_0^2 + (DS_0 \times \tan \theta - x)^{2b/2a}} \right]^K$	این رابطه برای فواصل نزدیک میباشد و پارامترهای آن در شکل (۲-۸) نشان داده شده است.

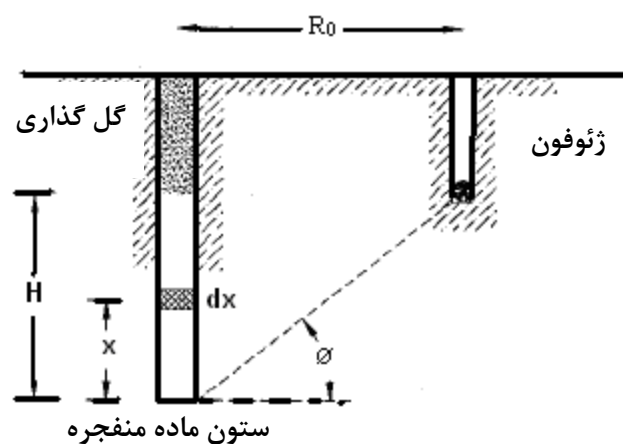
1. Berta
5. Heteterington2. Gupta
6. Jimeno

3. Pal Roy

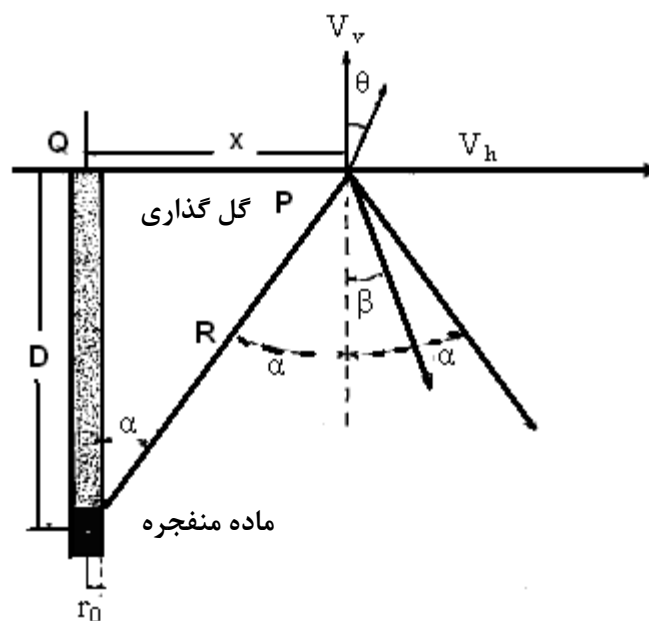
4. Smith

جدول ۴-۲- میزان ثابت k_f برای زمینهای مختلف (Berta, 1985)

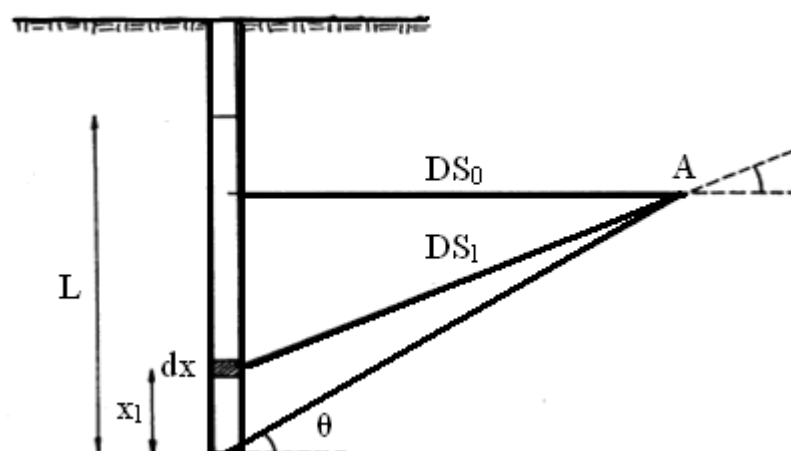
نوع زمین	مقدار k_f
ماسه‌های آبدار و گراول	۰/۱۱-۰/۱۳
آبرفت‌های فشرده	۰/۶-۰/۹
سنگ‌های سخت و فشرده	۰/۱-۰/۳



شکل ۴-۲- تعریف پارمترهای استفاده شده در فرمول هولمبرگ و پرسون (Holmberg and Persson 1979)



شکل ۷-۲- تعریف پارمترهای استفاده شده در فرمولهای کوپتا و همکاران (Gupta et al., 1998)



شکل ۸-۲- انتگرالگیری در طول خرج به منظور تخمین PPV در یک نقطه خاص (Jimeno et al., 1995)

همراه با ارائه روابطی به منظور تخمین حداکثر سرعت ذره‌های در نقاط مختلف دنیا، استانداردهایی نیز برای کنترل لرزش زمین بر اساس حداکثر سرعت ذره‌های ارائه شده است. استانداردهای ارائه شده بر اساس حداکثر سرعت ذره‌های را میتوان به دو دسته کلی طبقه بندی کرد. دسته اول استانداردهایی که تنها بر اساس حداکثر سرعت ذره‌های هستند و دسته دوم استانداردهایی که بر اساس حداکثر سرعت ذره‌های و فرکانس لرزش میباشند. در جدول (۵-۲) خلاصه‌ای از استانداردهای نوع اول (فقط بر اساس حداکثر سرعت ذره‌های) آورده شده است.

استانداردهای ذکر شده در جدول (۵-۲) به طور کامل در جدولهای (۶-۲) تا (۱۵-۲) آورده شده است.

جدول ۵-۲- استانداردهای لرزش زمین بر اساس حداکثر سرعت ذره‌های

نام	سال	مرجع	جدول
لانگفورس و همکاران	۱۹۵۷	Langefors et al. 1957	(۶-۲)
ادوارد و نورتوود	۱۹۵۹	Edwards and Northwood, 1959	(۷-۲)
اداره معادن آمریکا ^۱	۱۹۷۱	Nicholls et al., 1971	(۸-۲)
اداره استاندارد هند	۱۹۷۳	Basu and Sen, 2005	(۹-۲)
کانمت ^۲ و بثور ^۳	۱۹۷۷	Canmet and Bauer, 1977	(۱۰-۲)
سیسکیند و همکاران	۱۹۸۰	Siskind et al. 1980	(۱۱-۲)
لانگفورس و کیل استروم	۱۹۸۷	Langefors and Kihlstrom, 1987	(۱۲-۲)
اداره معادن روباز آمریکا ^۴	۱۹۸۷	Basu and Sen, 2005	(۱۳-۲)
اداره استاندارد سوئد	۱۹۸۸	Basu and Sen, 2005	(۱۴-۲)
سیولی ^۵	۱۹۸۹	Savely, 1989	(۱۵-۲)

جدول ۶-۲- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط لانگفورس و همکاران (Langefors et al. 1957)

نوع خسارت	حداکثر سرعت ذره‌های (PPV)
ایمن	۲/۸ in/ sec (۷۱/۱۲ mm/s)
خسارتهای سطحی	۴/۳ in/sec (۱۰۹/۲۲ mm/s)
خرد شدن دیوارهای آجری	۶/۳ in/sec (۱۶۰/۰۲ mm/s)
آسیبهای جدی	۹/۱ in/sec (۲۳۱/۱۴ mm/s)

جدول ۷-۲- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط ادوارد و نورتوود (Edwards and Northwood, 1959)

نوع خسارت	حداکثر سرعت ذره‌های (PPV)
ایمن	< ۲ in/sec (۵۰/۸ mm/s)
احتیاط	۲-۴ in/sec (۵۰/۸-۱۰۱/۶ mm/s)
تخریب	> ۴ in/sec (> ۱۰۱/۶ mm/s)

1. USBM
5. Savely

2. Canmet

3. Bauer

4. OSMRE

جدول ۲-۸- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط اداره معادن امریکا (Nicholls et al., 1971)

نوع خسارت	حداکثر سرعت ذره‌ای (PPV)
ایمن	$<2 \text{ in/sec (50/8 mm/s)}$
ترکهای سطحی	$2-4 \text{ in/sec (50/8-101/6 mm/s)}$
خسارت کوچک	$4-7 \text{ in/sec (101/6-177/8 mm/s)}$
خسارت عمده به ساختمان	$>7 \text{ in/sec (> 177/8 mm/s)}$

جدول ۲-۹- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط اداره استاندارد هند (Basu and Sen, 2005)

ماهیت زمین	سرعت اندازه‌گیری شده	سرعت به دست آمده
	بوسیله ابزار مناسب (mm/s)	از روابط تجربی (mm/s)
خاک، سنگ و خاک هوازده	۷۰	۵۰
سنگ سخت	۱۰۰	۷۰

جدول ۲-۱۰- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط کانمنت و بثور (Canmet and Bauer, 1977)

نوع سازه	نوع آسیب	حداکثر سرعت ذره‌ای (PPV)
اجسام در معرض لغزش	لغزش	$1/5 \text{ in/sec (12/7 mm/s)}$
خانه‌ها	ترک در گچ ساختمان	$2 \text{ in/sec (50/8 mm/s)}$
بلوکهای بتن در خانه‌های نوساز	شکاف در بلوک	$8 \text{ in/sec (202/2 mm/s)}$
چالهای چالزنی	خمیدگیهای افقی	$15 \text{ in/s (381 mm/s)}$
کمپرسورها، پمپها و تجهیزات مکانیکی	آسیب در چاهها	$40 \text{ in/sec (1016 mm/s)}$
مواد پیش ساخته ساختمانیها	پیچش در ساختمانیها	$60 \text{ in/sec (1524 mm/s)}$

جدول ۲-۱۱- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط سیسکیند و همکاران (Siskind et al. 1980)

فاصله محل انفجار از محل اندازه‌گیری	حداکثر سرعت ذره‌ای (PPV)
تا ۳۰۰ فوت (۹۱/۴۴ متر)	$1/25 \text{ in/sc (31/75 mm/s)}$
۳۰۱ تا ۵۰۰۰ فوت (۹۱/۷۴-۱۵۲۴ متر)	$1 \text{ in/sec (25/4 mm/s)}$
بیش از ۵۰۰۰ فوت (بیش از ۱۵۲۴ متر)	$0/75 \text{ in/sec (19/05 mm/s)}$

جدول ۲-۱۲- استاندارد حداکثر لرزش مجاز توسط لانگفورس و کیل استروم (Langefors and Kihlstrom, 1987)

سرعت انفجار			نوع خسارت
۱۰۰۰-۱۵۰۰ (m/s)	۲۰۰۰-۳۰۰۰ (m/s)	۴۵۰۰-۶۰۰۰ (m/s)	
PPV = ۱۸ mm/s	PPV = ۳۵ mm/s	PPV = ۷۰ mm/s	ترکهای قابل توجهی بوجود نمیآید
PPV = ۳۰ mm/s	PPV = ۵۵ mm/s	PPV = ۱۱۰ mm/s	شروع ترکبرداری
PPV = ۴۰ mm/s	PPV = ۸۰ mm/s	PPV = ۱۶۰ mm/s	ترکبرداری
PPV = ۶۰ mm/s	PPV = ۱۱۵ mm/s	PPV = ۲۳۰ mm/s	ترکهای بزرگ

جدول ۲-۱۳- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط اداره معادن روباز آمریکا (Basu and Sen, 2005)

فاصله از محل انفجار (m)	حداکثر سرعت ذرات (mm/s)
۰-۹۰	۳۱/۲۵
۹۰-۱۵۰۰	۲۵/۰۰
1500 <	۱۸/۷۵

جدول ۲-۱۴- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط اداره استاندارد سوئد (Basu and Sen, 2005)

شرایط زمین	PPV (mm/s)
لایه‌های محکم نشده از رس، شن و ماسه	۱۸
لایه‌های محکم شده از سنگ آهک و اسلیت	۳۵
گرانیت، گنیس، سنگ آهک سخت، ماسه سنگ کوارتزی، دیاباز	۷۰

جدول ۲-۱۵- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط سیولی (Savely, 1989)

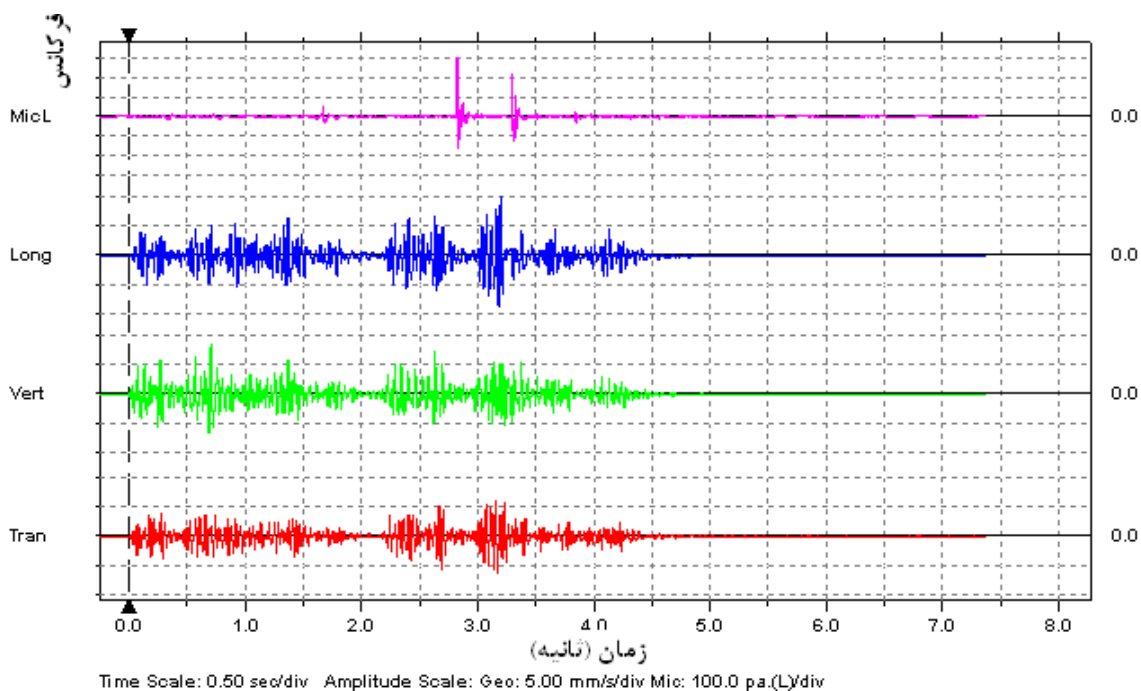
ملاحظات	نتیجه	حداکثر سرعت ذرات (PPV) بر حسب		
		پورفیری	شیست	داکیت
بسته به موقعیت، سنگهای خرد شده و ضعیف از سینه کارهای پلهای سقوط میکند	بدون آسیب	۰-۱۲۷	۰-۵۱	۰-۶۳۵
بعضا سنگهای ضعیف که در اثر انفجار در سینه کار باقیماندهاند، ریزش میکنند	احتمال تخریب ولی قابل قبول	۱۲۷-۳۸۱	۵۱-۲۵۴	۶۳۵-۱۲۷۰
بخشی از سینه کار ریزش میکند، سنگهای ضعیف ریزش میکنند، در سطح پله ترکهایی ایجاد میشود	تخریبهای کم	۳۸۱-۶۳۵	۲۵۴-۳۸۱	۱۲۷۰-۱۹۰۵
گسترش عقبزدگی به سمت پای پله در پلههای بعدی شکافهای بزرگ ایجاد میشود. افزایش قابل توجه شکاف - ها در سینه کار و پای پله، ضعیف شدن بلوکهای سنگ در سینه کار، مخروطی شدن در پای پله، متورم شدن سطح زمین و تاثیر آن بر روی سازهها	تخریبهای انفجار	>635	>381	>1905

در سالهای اخیر به دلیل اهمیت داشتن محدوده فرکانس لرزش، برخی از معیارهای ارائه شده اصلاح گردیده و فاکتور فرکانس در آنها گنجانده شده است. اهمیت فرکانس لرزش از آنجایی نمود پیدا میکند که این فرکانس به فرکانس طبیعی^۱ سازه نزدیک باشد. در واقع تمامی سازهها با یک فرکانس خاص در هر حال ارتعاش میباشند که این فرکانس به اصطلاح فرکانس طبیعی سازه نامیده میشود و قابل تخمین است. هرگاه فرکانس لرزش به فرکانس طبیعی سازه نزدیک باشد، این لرزش باعث ایجاد فرآیند تشدید^۲ در سازه میگردد و مخربتر از لرزشهایی خواهد بود که فرکانس آنها دورتر از فرکانس طبیعی سازه است. در عمل هرگز یک انفجار در یک منطقه خاص دارای یک فرکانس ثابت و خاص نیست و بیشتر بسته به مشخصات ژئومکانیکی منطقه، فرکانسهای مختلفی خواهد داشت. در تحلیلها ملاک محدوده فرکانسی است که بیشترین احتمال وقوع یا بیشترین درصد حضور را دارد. به عنوان مثال در شکل (۲-۹) یک نمونه از برداشت لرزهای برای یک آشکاری نمایش داده شده است، شکل (۲-۱۰) محدوده فرکانس را برای این برداشت لرزهای نشان میدهد. از شکل (۲-۱۰) مشخص است که فرکانس غالب^۳ برای مولفه لرزش در راستای طولی برابر با $25/3$ هرتز، برای مولفه لرزش در راستای عمودی برابر $16/4$ هرتز و در راستای عرضی برابر است با $26/8$ هرتز است. این اطلاعات نشان میدهد که به طور کلی فرکانس غالب این لرزش حاصل از انفجار در بازه $16/4-26/8$ هرتز میباشد. در نتیجه سازههای که فرکانس طبیعی آنها در این بازه قرار میگیرد، بیشتر در معرض خطر میباشند، زیرا اگر این موج با فرکانس نزدیک به فرکانس طبیعی سازه از آن عبور کند، باعث ایجاد تشدید در سازه میگردد و در نهایت باعث تخریب سازه میشود. در واقع لرزشهایی با فرکانس پایین (>40 هرتز) بیشتر از لرزشهایی با فرکانس بالا (بالتر از 40 هرتز) خطر دارند.

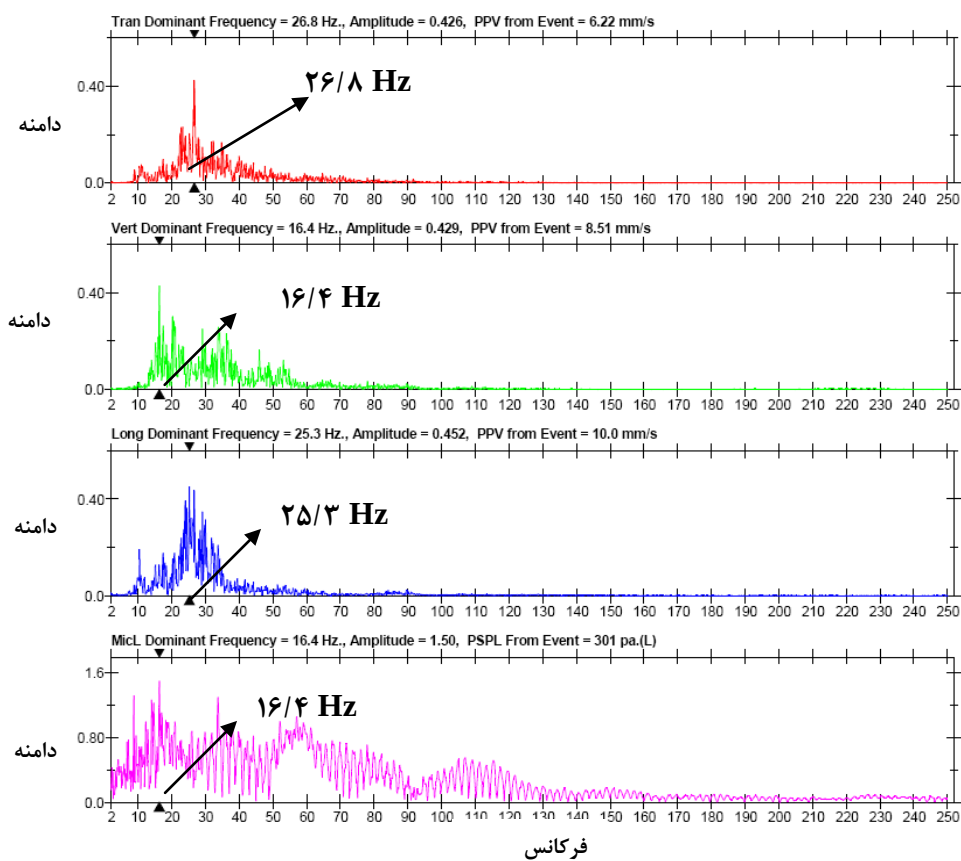
1. Natural Frequency

2. Resonance

3. Dominant frequency



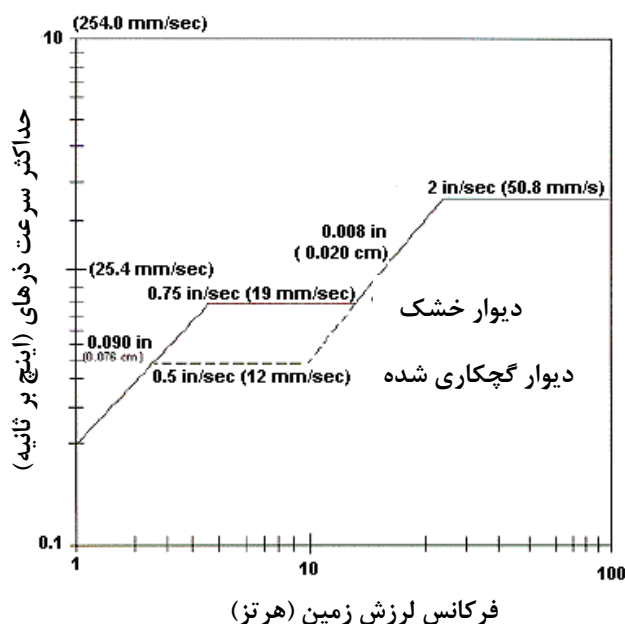
شکل ۹-۲- برداشت نمونه‌های لرزه‌ای برای یک انفجار



شکل ۱۰-۲- محدوده فرکانس برای برداشت نمونه‌های شکل (۹-۲)

خطر لرزشهای با فرکانس پایین به دو دلیل عمده است:

- اکثر سازههای معمول دارای فرکانس طبیعی زیر ۴۰ Hz هستند.
 - این گونه لرزشها مسافت زیادی را طی میکنند و دیرتر افت میگردند، بنابراین زمان بیشتری سازه را تحت تاثیر قرار میدهند (Kuzmenko et al., 1993 and Singh et al. 1997).
- تخمین فرکانس به مراتب سختتر از تخمین حداکثر سرعت ذرهای است و نمیتوان به طور قطع گفت که در یک انفجار با مشخصات معین چه فرکانسی ایجاد میشود. فرکانس بیشتر به زمین شناسی و خصوصیات ژئومکانیکی منطقه بستگی دارد. از این رو طی سالهای اخیر موسسات و کشورهای مختلف استانداردهای لرزش مجاز را بر اساس دو فاکتور مهم یعنی حداکثر سرعت ذرهای و فرکانس لرزش ارائه کردهاند. از این میان استاندارد مربوط به اداره معادن امریکا در شکل (۲-۱۱) و استانداردهای متعلق به اداره استاندارد آلمان، اداره استاندارد فرانسه، اداره استاندارد هند و اداره استاندارد برزیل به ترتیب در جدولهای (۲-۱۶)، (۲-۱۷)، (۲-۱۸) و (۲-۱۹) آورده شده است.



شکل ۲-۱۱- نمودار استاندارد اداره معادن امریکا (Siskind et al. 1980)

جدول ۲-۱۶- استاندارد حداکثر سرعت ذره‌های مجاز (mm/s) ارائه شده توسط اداره استاندارد آلمان (Basu and Sen, 2005)

محدوده فرکانس (Hz)			نوع سازه
<۱۰	۱۰-۵۰	۵۰-۱۰۰	
۲۰	۲۰-۴۰	۴۰-۵۰	تجاری
۵	۵-۱۵	۱۵-۲۰	مسکونی
۳	۳-۸	۸-۱۰	حساس

جدول ۲-۱۷- استاندارد حداکثر سرعت ذره‌های مجاز (mm/s) ارائه شده توسط اداره استاندارد فرانسه (Basu and Sen, 2005)

محدوده فرکانس (Hz)			نوع سازه
۴-۸Hz	۸-۳۰Hz	۳۰-۱۰۰Hz	
۸	۱۲	۱۵	مسکونی
۶	۹	۱۲	حساس
۴	۶	۹	خیلی حساس

جدول ۲-۱۸- استاندارد حداکثر سرعت ذره‌های مجاز (mm/s) ارائه شده توسط اداره استاندارد هند (Basu and Sen, 2005)

فرکانس غالب لرزش (Hz)			نوع سازه
<۸	۸-۲۵	>۲۵	
A: ساختمانها/ سازهایی که متعلق به مالک نیستند			
۵	۱۰	۱۵	۱. سازه‌ها و ساختمانهای معمولی
۱۰	۲۰	۲۵	۲. ساختمانهای صنعتی
۲	۵	۱۰	۳. سازه‌های تاریخی و حساس
B: ساختمانهای متعلق به مالک با عمر محدود			
۱۰	۱۵	۲۵	۱. سازه‌ها و ساختمانهای معمولی
۱۵	۲۵	۵۰	۲. ساختمانهای صنعتی

جدول ۲-۱۹- استاندارد ارائه شده توسط اداره استاندارد برزیل (Basu and Sen, 2005)

حداکثر سرعت ذره‌ای (mm/s)	فرکانس (Hz)
۱۵-۲۰	15>
۲۰-۵۰	۱۵-۴۰
>50	>40

برای فرکانسهای کمتر از ۴ هرتز حداکثر جابجایی ۰/۶ میلیمتر به عنوان معیار مدنظر قرار میگیرد.

هنگامی که آتشکاری انجام میشود، لرزش ایجاد شده نه تنها ساختمانهای اطراف را تحت تاثیر قرار میدهد بلکه کارکنان و پرسنل حاضر در منطقه را نیز تحت تاثیر خود قرار میدهد. مطالعات بسیار محدودی درباره اثر لرزش آتشکاری بر روی انسان انجام شده است زیرا تعیین میزان واکنش انسان به لرزشهای آتشکاری در مقایسه با واکنش ساختمانها به لرزش کاری دشوار میباشد، چون اثرات لرزش در افراد مختلف متفاوت بوده و فاکتورهای زیادی در این امر دخیل میباشد.

هندرون^۱ و اوریارد^۲ در سال ۱۹۷۲ تحقیق جامعی درباره واکنش انسان به لرزشهای آتشکاری، انجام داده‌اند. هندرون و اوریارد یافته‌های خود را به صورت معیاری برای لرزش ارائه کردند که در جدول (۲-۲۰) آورده شده است.

جدول ۲-۲۰- واکنش انسان به لرزش حاصله از انفجار در معادن (Hendron and Oriard, 1972)

حداکثر سرعت ذره‌ای (mm/s)	حالت پایدار	لرزش (آنی، بدون صدا)	لرزش (آنی، همراه با صدا)
<۰/۵	غیرقابل شناسایی	غیرقابل شناسایی	قابل دریافت
۰/۸	قابل دریافت	غیرقابل شناسایی	شکایتهای قابل ملاحظه
۱/۵	قابل دریافت	قابل دریافت	شکایتهای قابل ملاحظه و محتمل
۵/۰	آزار دهنده	قابل دریافت	احتمال شکایتهای شدید
۱۰/۰	خیلی آزار دهنده	آزار دهنده	شکایتهای شدید بسیار محتمل
>15	شدید	خیلی آزار دهنده	شکایتهای شدید

1. Hendron

2. Oriard

3. Raina

۲-۵-۲- حداکثر شتاب ذره‌های (PPA)

اولین تحقیق در این رابطه در سال ۱۹۴۲ در بولتین ۴۱۴ اداره معادن امریکا منتشر شد که در این تحقیق حداکثر شتاب ذره‌های (PPA) مبنای کار قرار گرفت، این مطالعه توسط اینز^۱ و تونن^۲ انجام پذیرفت و در نتیجه این مطالعه استandarی بر اساس حداکثر شتاب ذره‌های ارائه شده است (جدول ۲-۲۱).

جدول ۲-۲۱- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده بر مبنای حداکثر شتاب ذره‌های (Enase and Tonen, 1942)

حداکثر شتاب ذره‌های (PPA)	درجه خسارت
کمتر از ۰/۱ g	ایمن
۰/۱ g - ۱ g	احتیاط
بیشتر از ۱ g	خسارت

۲-۵-۳- حداکثر جابجایی ذره‌های (PPD)

موریس^۳ بر اساس مشاهدات خود در سال ۱۹۵۰ معیاری بر مبنای حداکثر جابجایی ذره‌های ارائه کرده است که در جدول (۲-۲۲) ارائه شده است:

جدول ۲-۲۲- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط موریس بر مبنای حداکثر جابجایی (Morris, 1950)

نوع سازه	حداکثر جابجایی ذره‌های (mm)
سازه‌های ضعیف با ابعاد بزرگ، چاه‌های معدنی، خانه‌های قدیمی و آثار باستانی	۰/۱
مجتمع‌های مسکونی خاص	۰/۲
وسایل ایزوله شده	۰/۴
سازه‌های عمرانی مهندسی	۰/۷۶

1. Enase

2. Tonen

3. Morris

۲-۵-۴- نسبت انرژی (ER)

در سال ۱۹۴۹ کراندل شاخص نسبت انرژی را به صورت زیر بیان کرد (Crandle, ۱۹۴۹):

$$ER = \left(\frac{a}{f} \right)^2 \quad (۶-۲)$$

که در این رابطه a شتاب لرزش بر حسب فوت بر ثانیه و f فرکانس بر حسب هرتز میباشند.

و بر اساس یافته‌های کراندل استاندارد جدول (۲-۲۳) ارائه شده است.

جدول ۲-۲۳- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده بر مبنای شاخص انرژی (Crandle, ۱۹۴۹)

نوع خسارت	شاخص نسبت انرژی (ER)
ایمن	کوچکتر از ۳
احتیاط	۳-۶
خسارت	بزرگتر از ۶

۲-۵-۵- فاصله مقیاس شده (SD)

استانداردی توسط اداره معادن روباز آمریکا مطابق با جدول (۲-۲۴) ارائه شده است، که هم بر اساس

حداکثر سرعت ذره‌ای و هم فاصله مقیاس شده می‌باشد (Nicholson, 2005).

جدول ۲-۲۴- استاندارد حداکثر لرزش مجاز ارائه شده توسط اداره معادن سطحی آمریکا

(Nicholson, 2005)		
فاصله (ft)	مقیاس فاصله	حداکثر سرعت ذره‌ای (mm/s)
۰-۳۰۰	۵۰	۳۱/۷۵
۳۰۱-۵۰۰۰	۵۵	۲۵/۴
بیش از ۵۰۰۰	۶۵	۱۹/۰۵

۲-۶- لرزش هوا^۱

لویس اوریارد لرزش هوا یا فشار هوا را فشار هوایی تعریف میکند که بیش از فشار هوای اتمسفر باشد (Oriard, 1999). لرزش یا فشار هوا بوسیله یک میکروفن خاص متصل به دستگاه لرزش سنج در دو واحد پاسگال (Pa) و دسی بل (dB) اندازهگیری میشود. مهمترین استانداردهای موجود برای حداکثر لرزش مجاز هوا دو استاندارد است که توسط اداره معادن امریکا منتشر شده است (جدول ۲-۲۵) و (۲-۲۶).

جدول ۲-۲۵- استاندارد حداکثر لرزش هوا ارائه شده توسط اداره معادن امریکا (Kuzu et al. 2009a)

لرزش هوا (فشار هوا)	نوع خسارت		
Pa	Psi	db	
۲۰۶۸۴/۲۷	۳	۱۸۰	احتمال خسارت به سازهها
۶۸۹۴/۷۵	۱	۱۷۱	شکستن پنجرهها
۱۹۹/۹۴	۰/۰۲۹	۱۴۰	سالها به عنوان معیار ایمن به کار برده شده است
۹۹/۹۷	۰/۰۱۴۵	۱۳۴	پیشنهاد اداره معادن امریکا بعد از مطالعه آتشکاریهای گسترده معادن روباز

جدول ۲-۲۶- جدیدترین استاندارد حداکثر لرزش هوا ارائه شده توسط اداره معادن امریکا (Kuzu et al. 2009a)

فرکانس لرزش هوا	حداکثر لرزش مجاز هوا (dB)
۰/۱ Hz	۱۳۴
۲/۰ Hz	۱۳۳
۵/۰ یا ۶/۰ Hz	۱۲۹
وقایعی با مدت زمان مساوی و کمتر از ۲ ثانیه	۱۰۵

فصل سوم

برداشت و جمعآوری داده‌های لرزه‌ای

۳-۱- مقدمه

همه ما لرزه‌های زمین در اثر فعالیت‌های مختلف را در زیر پای خودمان احساس کرده‌ایم و با آن ناآشنا نیستیم. اما احساس کردن و اندازه‌گیری دو مفهوم جداگانه هستند زیرا برای تخمین شدت لرزش زمین تنها برداشت و احساس خود شخص نمیتواند ملاک مناسبی باشد. اندازه‌گیری لرزش زمین به طور معمول در یک یا چند نقطه از سطح زمین انجام میشود. برای آنالیز نهایی، آزمایش اندازه‌گیری در سه جهت عمودی، طولی و عرضی (مماسی) انجام میپذیرد. امروزه تقریباً میتوان گفت که دو نوع از لرزشسنجها وجود دارد. نوع اول لرزشسنجهایی هستند که عمدتاً در کارهای ژئوفیزیکی مورد استفاده قرار میگیرند و تنها لرزش را در یک جهت برداشت میکنند. نوع دوم لرزشسنجهایی که به طور معمول در کارهای معدنی مورد استفاده قرار میگیرند و مشخصات لرزش را در سه جهت ذکر شده برداشت میکنند. یک نمونه از لرزشسنجهای مورد استفاده در کارهای معدنی در شکل (۳-۱) نمایش داده شده است.



ب- لرزشسنج سه جهته



الف- لرزشسنج یک جهته و سه جهته

شکل ۳-۱- لرزشسنج یک جهته و سه جهته

۳-۲- برداشت دادههای لرزه‌ای در کارخانه سیمان شاهرود

تولید سیمان در ایران دارای قدمت ۷۰ ساله می‌باشد. صنعت سیمان جزء اولین صنایع وارده به ایران است و هم اکنون با تولید ۶۴ میلیون تن کلینکر و وجود ۴۸ کارخانه، بخش مهمی از صنایع ایران را تشکیل داده است.

شرکت سیمان شاهرود در ۱۲ کیلومتری شهرستان شاهرود و در جاده مجن واقع می‌شود. موقعیت جغرافیایی این کارخانه نسبت به شهرستان شاهرود و مناطق اطراف در شکل‌های (۳-۲) و (۳-۳) نشان داده شده است. این کارخانه در تاریخ ۱۳۷۷/۷/۲۱ با ظرفیت تولیدی ۲۳۰۰ تن کلینکر در روز به بهره‌برداری رسید. امروزه ظرفیت سالانه کارخانه ۹۹۰ هزار تن کلینکر و تولید ۳۳۰۰ تن سیمان در روز می‌باشد و در حال حاضر قادر به تولید سیمان پرتلند تیپ ۱ و ۵ است.



شکل ۳-۲- موقعیت جغرافیایی کارخانه سیمان شاهرود



شکل ۳-۳- موقعیت کارخانه سیمان شاهرود و مناطق اطراف آن

عملیات برداشت در کارخانه سیمان شاهرود به کمک دستگاه لرزش سنج Minimate BE 12334

Plus انجام شد (شکل ۳-۴). این دستگاه ساخت شرکت Instantel کشور کانادا میباشد. این لرزش سنج

یک لرزش سنج سه جهته میباشد که تقریباً میتوان گفت که توسط این لرزشسنج تمامی پارامترهای

لرزش برداشت میشود. از جمله پارامترهای برداشت شده به وسیله این لرزش سنج میتوان به موارد زیر

اشاره کرد:

- حداکثر سرعت ذرهای در سه جهت طولی، قائم و عرضی (مماسی)
- حداکثر شتاب ذرهای در سه جهت طولی، قائم و عرضی (مماسی)
- حداکثر جابجایی ذرهای در سه جهت طولی، قائم و عرضی (مماسی)
- فرکانسهای مربوطه

- لرزش هوا در دو واحد پاسکال و دسی بل



شکل ۳-۴- بخشهای مختلف دستگاه لرزش سنج Minimate Plus

لرزش سنج Minimate Plus BE 12334 متشکل از چهار بخش اصلی ذیل است:

- بخش ذخیره‌سازی و پردازش اطلاعات

- ژئوفون

- میکروفون

- سیمهای رابط

قبل از شروع آتشکاری، مختصات محل نصب لرزش سنج یا به عبارتی محل برداشت، مختصات سایت

آتشکاری و همچنین فاصله محل برداشت تا مکان آتشکاری به وسیله یک دستگاه موقعیتیاب GPS

دستی به دقت اندازه‌گیری شد.

در هر مرحله از عملیات آتشکاری، قبل از شروع آتشکاری تمامی مشخصات لازم مربوط به آتشکاری از جمله: حداکثر میزان خرج در هر تاخیر، کل ماده منفجره، تعداد چالها، تاخیرها، عمق چالها، ... در سر زمین برداشت شده است.

برای برداشت دادههای لرزه‌ای دستگاه لرزشسنج در موقعیتهای مناسب نصب شد که موقعیت تقریبی ایستگاههایی که لرزش سنج در آن نصب شده است در شکل (۳-۵) نمایش داده شده است. برای نصب لرزشسنج بایستی ابتدا دو چال به اندازه ژئوفون و بخش ذخیره کننده در زمین حفر شود به گونهای که این بخشها به طور کامل در آن قرار گرفته و متعادل گردد.



شکل ۳-۵- موقعیت تقریبی مکانهای نصب لرزش سنج

دو نقطه ۳ و ۴ به دلیل نزدیکی به سنگ شکن سنگ آهک انتخاب شده‌اند و نقاط ۱، ۲ و ۶ در راستای خط تولید سیمان در نظر گرفته شده‌اند. نقطه ۵ برای تخمین لرزش در سنگ شکن شماره ۲ انتخاب شده است و در نهایت نقطه ۷ به منظور تخمین لرزش در محل بارگیری در نظر گرفته شده است. در نصب لرزش سنج بایستی نکات مهم زیر مورد توجه قرار گیرد:

- موقعیتی که ژئوفون یا به طور کلی دستگاه لرزشسنج در آن نصب میشود باید به خوبی معرف منطقه باشد، به این معنی که نباید بسیار نرم باشد و یا بسیار سخت باشد.
- ژئوفون بایستی به طور کامل در زمین مدفون گردد به طوری که سطح فوقانی آن تا سطح زمین سه تا چهار سانتی متر فاصله داشته باشد. در غیر این صورت نمیتواند امواج لرزشی را برداشت کند. در صورتی که منطقه دارای میزانی خاک سطحی است، آن خاک بایستی کنار زده شود و چال مناسبی حفر شده و ژئوفون در آن قرار داده شود.
- بعد از قرار دادن ژئوفون در داخل چال بایستی اطراف آن با خاک نرم کاملاً پر شود تا ژئوفون در تماس کامل با زمین اطراف قرار گیرد.
- در روی ژئوفون یک علامت → وجود دارد این علامت بایستی در راستای ژئوفون نسبت به محل آتشکاری باشد.

هنگامی که آتشکاری شروع میشود، دستگاه به صورت دستی □ یا ماشهای □ به کار انداخته و عملیات برداشت لرزه‌ای را شروع میشود.

- **شروع به کار دستی:** در این روش دستگاه به طور دستی و توسط کاربر به راه انداخته میشود. اما برای برداشتهای لرزه‌ای عملیات آتشکاری نمیتوان از این روش استفاده کرد زیرا نمیتوان زمان شروع آتشکاری را با شروع دستگاه هماهنگ کرد.

- شروع به کار ماشه ای: در این روش یک حد آستانه [□] برای ژئوفون یا میکروفون (یا هر دو)

تنظیم میشود و زمانی که لرزش زمین یا هوا از یکی از این مقادیر بحرانی تجاوز کند، دستگاه

شروع به کار خواهد کرد و عملیات برداشت شروع میشود. در برداشتهای لرزه‌ای کارخانه

سیمان شاهرود آستانه شروع برداشت برای ژئوفون بر روی 0.510 mm/s و برای میکروفون بر

روی 2 Pa تنظیم شده بود. میزان مقادیر آستانه باید نه آن قدر پایین باشد که دستگاه قبل از

شروع آشکاری به طور خودکار شروع به کار کند و نه آن قدر زیاد که با عبور امواج لرزشی

آشکاری شروع به کار نکند.

دستگاه قبل از شروع بهکار بایستی چک شود تا اطمینان حاصل گردد که سنسورها بهدرستی کار

میکنند. این کار بهوسیله کلید Test که برروی دستگاه تعبیه شده است، انجام میگردد. زمانی که پیغام

”All channels working“ مشاهده شد، به معنی این است که همه سنسورها به طور صحیح کار

میکنند. دستگاه ممکن است به صورت خودکار [□] و یا بعد از زمان ثابت ^۳ متوقف شود. در حالت خودکار

زمانی که لرزش زمین یا هوا از مقادیر آستانه تنظیم شده برای شروع به کار دستگاه کم میشود، دستگاه

به طور خودکار خاموش میشود. در حالت دیگر دستگاه بعد از طی زمان ثابتی از لحظه شروع بهکار

خاموش میشود. اطلاعات ثبت شده توسط دستگاه را میتوان با اتصال آن به کامپیوتر و استفاده از

نرمافزار مربوطه استخراج کرد. نرمافزار مورد استفاده BlastWare میباشد که توسط شرکت سازنده

دستگاه ارائه شده است. در نهایت هفت عملیات برداشت انجام شد که موقعیتهای تقریبی برداشتها در

شکل (۳-۵) مشخص شده بود. دادههای برداشت شده در کارخانه سیمان شاهرود به طور خلاصه در

جدول (۳-۱) آورده شده است. لازم به ذکر است که قطر چالها 64 mm ، طول متوسط چال 6 m ، متوسط

بارسنگ و فاصله‌داری به ترتیب $2/5$ و 3 متر بوده است.

جدول ۳-۱ - خلاصه‌های از برداشتهای انجام شده در کارخانه سیمان شاهرود

شماره برداشت	فاصله محل اندازه‌گیری تا سایت آتشکاری (m)	حداکثر خرج در هر تاخیر (kg)	حداکثر سرعت ذره‌های (mm/s)	حداکثر لرزش هوا (db)	تعداد تاخیرها
۱	۶۶۷/۴۱	۹۴۵	۲/۰۹	۱۴۳/۵	۶
۲	۷۷۱/۹۴	۶۶۵	۱/۶	۱۲۸/۳	۶
۳	۷۸۵/۴۵	۸۱۰	۱/۴	۱۲۸	۹
۴	۳۳۴/۷۵	۸۱۰	۴/۱۹	۱۴۷/۳	۹
۵	۴۵۱/۵۶	۲۷۰	۱/۸۱	۱۲۵/۹	۷
۶	۱۱۳/۹۳	۶۳	۴/۵۳	۱۱۶/۱	۸
۷	۷۲۵	۴۸۵/۵	۵/۳۱	۱۴۳/۵	۱۰

۳-۳- جمعآوری دادههای لرزهای از سایر معادن سنگ آهک

به منظور توسعه و تعمیم نتایج به دست آمده برای کاربردهای مشابه در کارخانههای سیمان و شرایط مشابه، مجموعه داده^۱ برداشت شده در کارخانه سیمان شاهرود با دادههای لرزهای برداشت شده در سه کارخانه سیمان دیگر ادغام و یک پایگاه اطلاعاتی مربوط به اطلاعات لرزهای کارخانههای سیمان فراهم شد. دادههای لرزهای اضافه شده مربوط به کارخانه سیمان آکانشا^۲ در ترکیه (۱۶ نمونه داده)، کارخانه سیمان اسویت^۳ در مصر (۱۰ نمونه داده) و کارخانه سیمان مصری^۴ در مصر (۱۰ نمونه داده) میباشد که به ترتیب در جدولهای (۲-۳)، (۳-۳) و (۴-۳) آورده شده است. دادههای لرزهای جمعآوری شده از سه کارخانه مذکور در معادن سنگ آهک برداشت شده است که در تمامی این معادن ماده منفجره آنفو میباشد و دینامیت به عنوان پرایمر استفاده میشود.

1. Database 2. Akcansa Cement Company 3. Assiut Cement Company 4. Egyptian Cement Company

جدول ۳-۲- داده‌های لرزه‌ای مربوط به کارخانه سیمان مصری (Elseman and Rasoul, 2000)

شماره	فاصله محل اندازه‌گیری تا سایت آتشکاری (m)	حداکثر خرج در هر تاخیر (kg)	مولفه طولی حداکثر سرعت (mm/s)	مولفه عرضی حداکثر سرعت (mm/s)	مولفه قائم حداکثر سرعت (mm/s)	حداکثر سرعت ذره‌ای (mm/s)
۱	۵۴۴	۶۶۱/۵	۱/۴	۲/۲۳	۰/۹	۲/۷۸
۲	۷۷۰	۹۷۵	۰/۹۳	۱/۲۳	۰/۷	۱/۷۷
۳	۷۷۸	۸۷۴	۱/۷۳	۲/۲۹	۱/۵	۲/۲۴
۴	۵۳۸	۴۰۰	۱/۵۱	۱/۷۱	۱/۴۴	۲/۷۰
۵	۸۶۴	۵۳۵	۱	۱	۱	۱/۷۳
۶	۵۳۶	۱۶۴	۱/۱۸	۱/۲۲	۱/۱۲	۲/۰۳
۷	۷۳۲	۳۳۰	۱	۱	۱	۱/۷۳
۸	۶۰۸	۳۷۸	۱/۳۴	۱/۹۸	۱/۵	۲/۸۲
۹	۸۲۴	۳۶۷	۱	۱	۱	۱/۷۳
۱۰	۴۹۴	۲۲۸	۱/۲	۱/۵	۱	۲/۱۷

جدول ۳-۳- داده‌های لرزه‌ای مربوط به کارخانه سیمان آکانسا (Kahrman, 2004)

شماره	حداکثر سرعت ذره‌ای (mm/s)	فرکانس (Hz)	کل خرج (kg)	حداکثر خرج در هر تاخیر (kg)	فاصله مکان برداشت تا محل آتشکاری (m)
۱	۲/۳۵	۱۰	۲۱۰۲	۵۳۸	۲۵۷
۲	۱/۲	۱۰	۱۳۰۰	۶۹	۱۵۰
۳	۰/۸۵	۱۱	۴۳۹۰	۸۱	۲۵۵
۴	۰/۹۵	۵/۶	۳۱۰۰	۲۰۶	۲۸۳
۵	۰/۶۵	۶۷	۴۱۶۵	۹۳	۲۹۵
۶	۰/۷۰	۹۱	۳۸۵۸	۹۷	۲۷۵
۷	۰/۹۰	۹/۴	۲۲۲۵	۱۷۵	۲۵۴
۸	۱۴۴	۲۰	۱۸۰	۱۸۰	۲۳
۹	۰/۲۵	۹	۴۲۵۰	۱۷۰	۵۲۰
۱۰	۲۵۰	۴۵	۲۴۲	۲۴۲	۲۵۶
۱۱	۱/۵۵	۱۷	۱۶۵	۱۶۵	۳۴۰
۱۲	۰/۹۵	۱۶	۸۳	۸۳	۳۶۸
۱۳	۱/۱۵	۹/۱	۲۴۲	۲۴۲	۳۷۶
۱۴	۰/۸۵	۹/۶	۳۲۴	۳۵۴	۴۰۰
۱۵	۰/۳۵	۴۱	۱۸۰	۱۰۸	۴۰۳
۱۶	۰/۴۰	۲۰	۱۸۰	۱۸۰	۴۱۸

جدول ۳-۴- دادههای لرزه‌ای مربوط به کارخانه‌سیمان اسویت (Tantawy, 2009)

شماره	فاصله محل اندازه-گیری تا سایت آتشکاری (m)	حداکثر خرج در هر تاخیر (kg)	مولفه طولی حداکثر سرعت (mm/s)	مولفه عرضی حداکثر سرعت (mm/s)	مولفه قائم حداکثر سرعت (mm/s)	حداکثر سرعت ذره‌ای (mm/s)
۱	۵۹۵	۸۲۰	۱/۵	۱/۲	۱/۲	۲/۲۶
۲	۷۲۹	۸۲۰	۱/۲	۱/۷	۱/۲	۲/۴۰
۳	۸۷۵	۸۲۰	۱/۵	۲/۰	۲/۰	۳/۲۰
۴	۹۰۱	۸۳۰	۰/۷	۰/۷	۱	۱/۴۱
۵	۸۷۶	۸۳۰	۱/۰	۱/۲	۲/۷	۳/۱۲
۶	۵۸۷	۱۵۲۵	۱/۷	۱/۷	۳	۳/۸۴
۷	۷۶۷	۱۵۲۵	۲/۲	۱/۷	۱/۲	۳/۰۳
۸	۸۲۳	۱۵۲۵	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۳/۴۶
۹	۵۸۵	۱۱۱۵	۱/۵	۱/۷	۳/۳	۴/۰۰
۱۰	۵۶۵	۱۱۱۵	۲/۲	۱/۷	۳/۰	۴/۰۹

۳-۴- استانداردهای مورد استفاده در کارخانه سیمان شاهرود

استانداردهای مربوط به لرزش مجاز حاصل نیم قرن تجربه و تحقیق محققان زیادی در اکثر نقاط دنیا

بوده است. این استانداردها بر اساس مولفه‌ها و پارامترهای مختلف لرزش حاصل از آتشکاری

پایه‌گذاری شده‌اند. در کاربرد استانداردهای لرزش بایستی به چند نکته مهم توجه شود:

- نمیتوان برای هر منطقه با تجهیزات و ساختمانهای خاص یک استاندارد ارائه کرد. در واقع

استانداردها یک نگاه کلی به میزان مجاز لرزش دارند و بایستی آنها را مطلق فرض کرد.

- هر فرمول یا استاندارد مهندسی در شرایط خاصی از منطقه توسعه پیدا کرده است، بنابراین در زمان

کاربرد، آنها را بایستی با توجه به شرایط موجود در منطقه تعدیل کرد تا با شرایط منطقه مورد مطالعه

هماهنگ شوند.

- در نهایت این برداشت و قضاوت مهندسی است که جوابهای به دست آمده از فرمولها و

استانداردها را با هم مقایسه و بسته به شرایط موجود تعدیل کرده و مورد استفاده قرار میدهد.

برای انتخاب استاندارد مناسب برای ارزیابی عملیات آتشکاری در معادن سنگ آهک کارخانه سیمان

شاهرود نکات زیر مورد توجه قرار گرفت:

- مطابق بودن با استاندارد حداکثر لرزش مجاز برای سازهها و ساختمانها

- مطابق بودن با استاندارد حداکثر لرزش مجاز برای کارکنان

- مطابق بودن با استاندارد حداکثر لرزش هوا برای سازه و انسان

همانطور که در بخش (۲-۵) و جدول (۲-۱) بحث شد، معیار حداکثر سرعت ذرهای بهترین و

کاملترین معیار برای برآورد میزان خسارت ناشی از لرزش زمین حاصل از آتشکاری میباشد، این معیار

برای ارزیابی لرزش زمین انتخاب شده است. با نگاهی کوتاه به همه استانداردهای موجود در این زمینه

مشخص میشود که تقریباً همه استانداردها مرز لرزش ایمن را برای سازه، ۲ اینچ بر ثانیه معادل با ۵۰/۸

میلیمتر بر ثانیه ذکر کردهاند. با توجه به اینکه جدیدترین استاندارد اداره معادن امریکا ارائه شده در شکل

(۲-۱۱) معروفترین و پرکاربردترین استاندارد است و همچنین مولفه فرکانس نیز در آن در نظر گرفته

شده است، لذا استاندارد فوق در این پروژه مورد استفاده خواهد گرفت.

همانطور که در شکل (۲-۱۱) مشخص است، حداکثر لرزش مجاز ایمن بستگی به فرکانس لرزش دارد.

در فرکانسهای پایینتر میزان لرزش ایمن نیز کم میباشد زیرا این فرکانسها مدت زمان طولانیتری

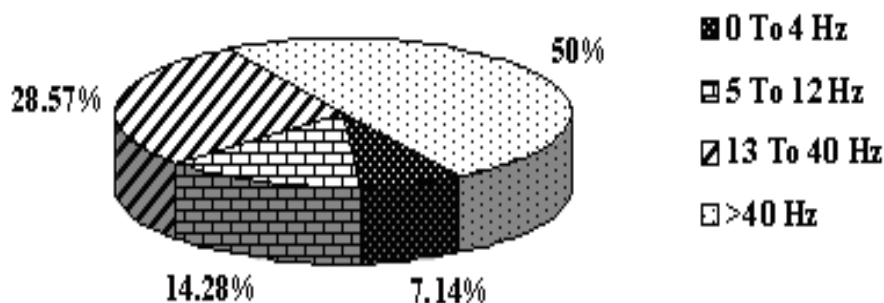
طول میکشد تا میرا شوند و همچنین فرکانس طبیعی اکثر سازهها در حوزه فرکانس پایین قرار دارد. این

نمودار از کمترین میزان برابر با ۰/۱۵ اینچ بر ثانیه (معادل با ۳/۸۱ میلیمتر بر ثانیه) در فرکانسهای

بسیار پایین شروع میشود و تا ۲ اینچ بر ثانیه در فرکانسهای بالا ادامه دارد.

پس از انجام اندازهگیریهای لرزهای در کارخانه سیمان شاهرود مشاهده میشود که حوزه فرکانسهای

برداشت شده به صورت شکل (۳-۶) میباشد.



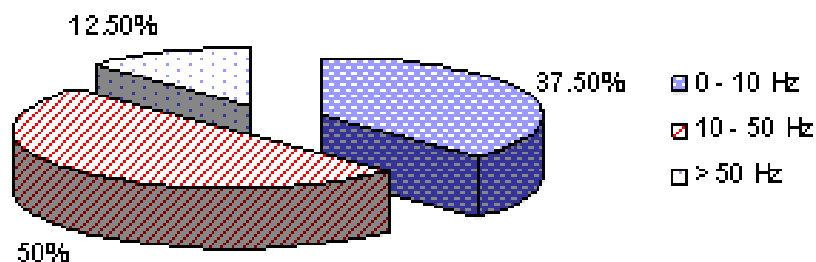
شکل ۳-۶- فرکانسهای مشاهده شده برای لرزش زمین در کارخانه سیمان شاهرود

با توجه به شکل (۳-۶) مشخص میشود که بخش عمده فرکانسهای مشاهده شده در کارخانه سیمان شاهرود فرکانسهای بالا و کم خطر میباشد ولی نمیتوان به طور قطع اطمینان داد که همواره فرکانسهای لرزش زمین همواره مطابق با این الگو باشد و جانب احتیاط این است که بحرانیترین حالت در نظر گرفته شود. با حاشیه اطمینان مناسب میتوان گفت که فرکانسهای مشاهده شده از ۴ هرتز بالاتر میباشد، بنابراین بحرانیترین حالت برابر با حداکثر سرعت ذرهای معادل با ۱۲ میلیمتر بر ثانیه خواهد بود و این مرز به عنوان مرز ایمن با اطمینان کافی برای سازهها در نظر گرفته میشود.

استاندارد حداکثر لرزش مجاز زمین برای کارکنان و پرسنل زمانی اتخاذ می شود که سایت آتشکاری به محل عبور و مرور و کار پرسنل نزدیک باشد. در این صورت عملیات آتشکاری ممکن است برای پرسنل خطرآفرین باشد. از آن جایی که معادن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود بسیار نزدیک به کارخانه میباشد (کمتر ۱ کیلومتر)، بنابراین این استاندارد نیز بایستی اتخاذ گردد. همانطور که مشخص است یک لرزش خاص ممکن است برای یک سازه صنعتی خطرآفرین نباشد اما برای کارکنان بسیار خطرآفرین و مشکلزا باشد، بنابراین اگر یک عملیات آتشکاری مطابق با استاندارد حداکثر لرزش مجاز برای پرسنل و کارکنان باشد، در نتیجه مطابق با استاندارد حداکثر لرزش مجاز برای سازهها هم خواهد بود. استاندارد ارائه شده توسط هندرون و اوریارد (۱۹۷۲) به عنوان استاندارد حداکثر لرزش مجاز برای کارکنان در نظر

گرفته شد (جدول ۲-۲۰). با توجه به شکل (۲-۱۱) و جدول (۲-۲۰)، مقادیر بحرانی و آستانه برای استاندارد حداکثر لرزش مجاز برای سازه ۰/۵ اینچ بر ثانیه (معادل ۱۲ میلیمتر بر ثانیه) و برای استاندارد حداکثر لرزش مجاز برای کارکنان ۱/۵ میلیمتر بر ثانیه در نظر گرفته شد.

از میان دو استاندارد لرزش هوا ارائه شده در جدولهای (۲-۲۵) و (۲-۲۶)، جدیدترین استاندارد اداره معادن امریکا که در جدول (۲-۲۶) نمایش داده شده است، به عنوان استاندارد لرزش هوا در نظر گرفته میشود. این استاندارد بر اساس فرکانس لرزش هوا میباشد. به این معنی که بسته به میزان فرکانس لرزش هوا میزان ایمن و استاندارد برای آن لحاظ میشود. فرکانسهای اندازهگیری شده برای لرزش هوا در کارخانه سیمان شاهرود به صورت شکل (۳-۷) میباشد



شکل ۳-۷- فرکانسهای مشاهده شده برای لرزش هوا در کارخانه سیمان شاهرود

با توجه به شکل (۳-۷) مشخص می شود که فرکانسهای مشاهده شده اکثراً فرکانسهای بالا هستند و از آنجایی که در استاندارد ارائه شده در جدول (۲-۲۶) برای فرکانسهای بالا میزان ۱۲۹ دسی بل به عنوان معیار در نظر گرفته میشود، بنابراین میزان ۱۲۹ دسی بل به عنوان مقدار بحرانی برای لرزش هوا در نظر گرفته خواهد شد.

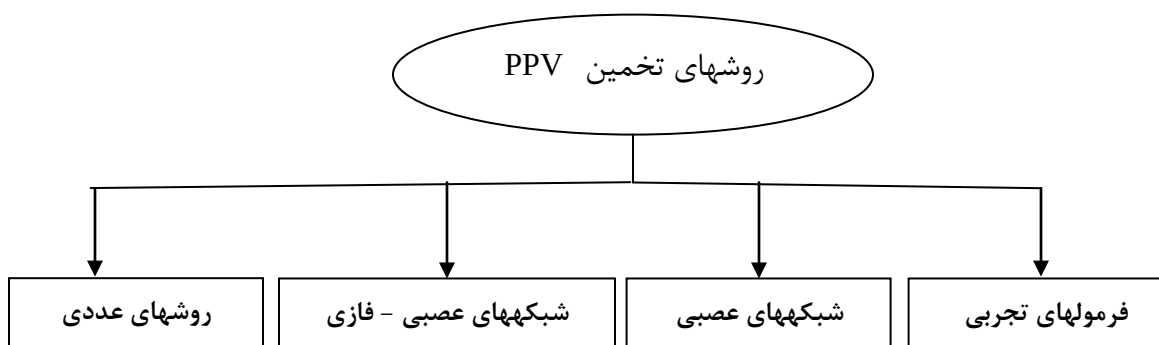
فصل چهارم

ارزیابی لرزشهای حاصل

از آتشکاری در معادن سنگ آهک

۴-۱- مقدمه

برای پیشبینی حداکثر سرعت ذرهای روشهای مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفته است. کارهایی که در گذشته به منظور تخمین حداکثر سرعت ذرهای (PPV) انجام شده، در جدول (۱-۱) درج شده است. ملاحظه میشود که روشهای تخمین PPV به چهار دسته تقسیم میشوند که در شکل (۱-۴) نشان داده شده است.



شکل ۱-۴- روشهای تخمین حداکثر سرعت ذرهای

به منظور تخمین حداکثر سرعت ذرهای در معادن سنگ آهک، روشهای تجربی، شبکه عصبی و شبکه عصبی-فازی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۴-۲- ارائه روابط تجربی به منظور ارزیابی لرزشهای حاصل از آتشکاری

در معادن سنگ آهک

۴-۲-۱- تخمین حداکثر سرعت ذرهای

طی سالیان متمادی محققان زیادی درباره تخمین و پیشبینی حداکثر سرعت ذرهای (PPV) حاصل از لرزشهای آتشکاری، مطالعه و تحقیق کردهاند و فرمولهای تجربی متعددی را ارائه نمودهاند. هر کدام از

این فرمولهای تجربی در منطقه خاصی به دست آمدهاند و ممکن است یک فرمول تجربی برای دادههای یک منطقه برآزش مناسبی داشته باشد، درحالی که برای مناطق دیگر کارآمد نباشد. تقریباً میتوان گفت که در همه فرمولهای تجربی حداکثر سرعت ذرهای (PPV) به عنوان تابعی از حداکثر میزان خرج در هر تاخیر (W) و فاصله مکان نصب لرزش سنج تا محل آتشکاری (D) میباشد. عملاً نمیتوان تمام فرمولهای تجربی ارائه شده را برای یک مجموعه داده امتحان کرد تا مشخص شود کدامیک بهترین برآزش را دارد. در این بخش معروفترین فرمولهای تجربی استفاده شده در متونهای تخصصی برای تحلیل دادههای موجود مورد استفاده قرار میگیرد (جدول ۴-۱). در روابط این جدول، D و W_{max} به ترتیب فاصله مکان نصب لرزش سنج تا محل آتشکاری و حداکثر میزان خرج در هر تاخیر میباشند. پارامترهای K ، B ، A و α پارامترهای ثابتی هستند که با استفاده از تحلیل رگرسیون به دست میآیند.

به منظور تحلیل رگرسیون و به دست آوردن پارامترهای ثابت در فرمولهای تجربی (۴-۵)، (۴-۶) و (۴-۷) با گرفتن لگاریتم از طرفین روابط بایستی آنها را خطی کرد. به عنوان مثال برای رابطه (۴-۵) داریم:

$$PPV = K.D^{-B}.W_{max}^A$$

$$\ln(PPV) = \ln(K.D^{-B}.W_{max}^A)$$

$$\ln(PPV) = \ln K - B \ln D + A \ln W$$

خطیسازی فرمولهای (۴-۶) و (۴-۷) به صورت مشابه میباشد. در فرمولهای جدول (۴-۱)

عبارتهای $\left(\frac{D}{\sqrt{W_{max}}}\right)$ و $\left(\frac{D}{\sqrt[3]{W_{max}}}\right)$ به عنوان یک متغیر به نام فاصله مقیاس شده (SD) در نظر

گرفته میشوند. پارامترهای ثابت در این فرمولها با استفاده از تحلیل رگرسیون در نرمافزار SPSS (15.0) به دست می‌آیند.

جدول ۴-۱- فرمولهای تجربی پیشنهاد شده برای تحلیل دادهها (Rai et al, 2005)

فرمول تجربی	سال	معادله	شماره
USBM (Duvall, Fogelson, 1962)	۱۹۶۲	$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt{W_{\max}}} \right)^{-B}$	(۱-۴)
Ambrases & Hendron	۱۹۶۸	$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W_{\max}}} \right)^{-B}$	(۲-۴)
Langfors & Kihlstrom	۱۹۷۸	$PPV = K \left(\sqrt{\frac{W_{\max}}{D^{2/3}}} \right)^B$	(۳-۴)
Indian standard predictor	۱۹۷۳	$PPV = K \left(\frac{W_{\max}}{D^{2/3}} \right)^B$	(۴-۴)
General type empirical (Davies et al. 1964)	۱۹۶۴	$PPV = K.D^{-B}.W_{\max}^A$	(۵-۴)
Ghosh & Daemen I	۱۹۸۳	$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt{W_{\max}}} \right)^{-B} . e^{-\alpha D}$	(۶-۴)
Ghosh & Daemen II	۱۹۸۳	$PPV = K \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W_{\max}}} \right)^{-B} . e^{-\alpha D}$	(۷-۴)
CMRI predictor for D > 0	۱۹۹۳	$PPV = B + K \left(\frac{D}{\sqrt{W_{\max}}} \right)^{-1}$	(۸-۴)

فرمولهای تجربی ارائه شده در جدول (۴-۱) برای دادههای برداشت شده و جمعآوری شده مورد استفاده قرار گرفت و نتایج حاصل از برازش فرمولهای تجربی به صورت جدول (۴-۲) میباشد. در این جدول علاوه بر شاخص R^2 برای هر مدل تجربی، میزان میانگین مجموع مجذورات خطاها^۱ (MSE) نیز

1. Mean squared error

برای هر مدل محاسبه شده است و بهترین مدل بر اساس این دو شاخص انتخاب میگردد. در واقع

MSE میانگین مجموع مجذورات خطاها میباشد که به صورت زیر محاسبه میشود:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} \quad (9-4)$$

که در آن MSE بر حسب میلیمتر بر ثانیه است و e_i خطای شماره i میباشد و n تعداد نمونهها است.

جدول ۴-۲- نتایج حاصل از برازش فرمولهای تجربی ارائه شده در جدول (۴-۱)

فرمول تجربی	K	B	A	α	R^2	MSE
USBM	۲۳۷/۵۴	-۱/۵۳۶۷	-	-	۰/۸۴۵۶	۵۰۳/۱۹
Ambrases & Hendron	۶۱۶/۹۵	-۱/۳۹۹۵	-	-	۰/۷۶۲۳	۷۱۵/۶۲
Langfors & Kihlstrom	۰/۳۲۷	۱/۹۵۴	-	-	۰/۳۴۵۳	۱۸۴۴/۵۴
Indian standard predictor	۰/۳۲۷	۰/۹۷۷	-	-	۰/۳۴۳۵	۱۸۴۶/۷۵
General type empirical	۷۳/۸۴۷	-۱/۵۳۴	۰/۹۶۴	-	۰/۸۴۹	۶۰۸/۹۳
Ghosh & Daemen I	۵۲۶۴/۱۲۵	-۱/۹۳۷	-	-۰/۰۳۸	۰/۲۹۸	۲۶۲۳/۲۵
Ghosh & Daemen II	۶۳۲۵/۰۲۶۸	-۱/۰۵۴	-	۰/۰۰۹	۰/۲۸۵	۳۱۰۲/۵۴
CMRI predictor for D > 0	۳۴۹/۳۳	-۱۲/۴۸۲	-	-	۰/۹۲۶۳	۱۳۷/۰۸

نتایج جدول (۴-۲) نشانگر این مطلب است که فرمول (۴-۸) (CMRI predictor) بالاترین

همبستگی (R^2) با مقدار ۰/۹۲ و کمترین خطای تخمین معادل ۱۳۷/۰۸ دارد و این رابطه بایستی به

عنوان بهترین رابطه برازش شده انتخاب گردد، در حالیکه این رابطه بدترین جواب را ممکن است در

عمل ارائه کند، زیرا این رابطه یک رابطه خطی است و میتواند جوابهای منفی نیز داشته باشد، در

حالی که جواب معادله فقط بایستی مثبت باشد ($PPV \geq 0$). در شکل (۴-۲) نتایج حاصل از چهار مدل

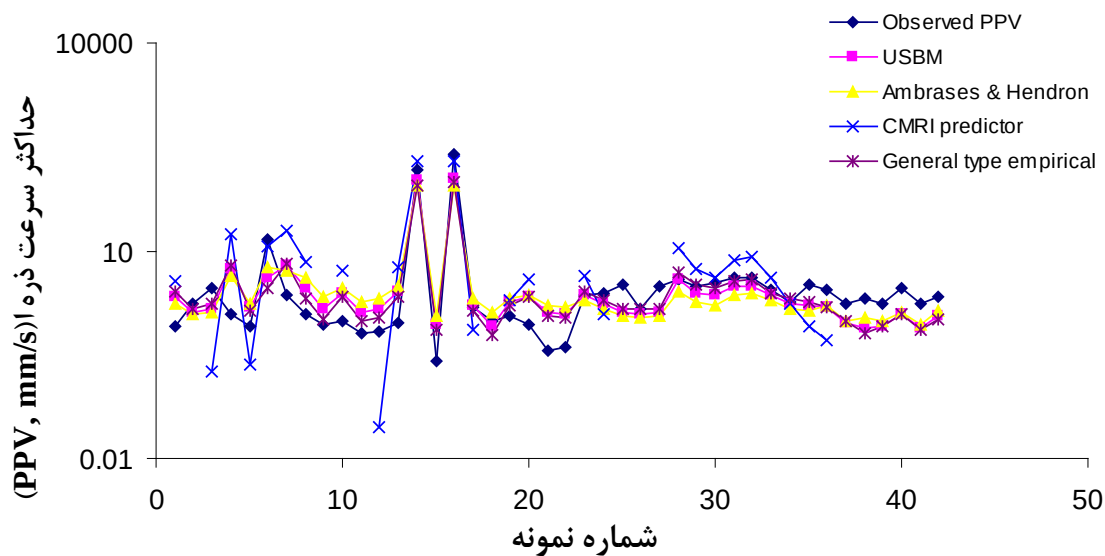
برتر با دادههای واقعی مقایسه شده است. همانطور که از شکل پیداست چون فرمول تجربی (۴-۸)

(CMRI predictor) جوابهای منفی نیز دارد، در برخی نقاط از جواب اصلی بسیار منحرف شده است

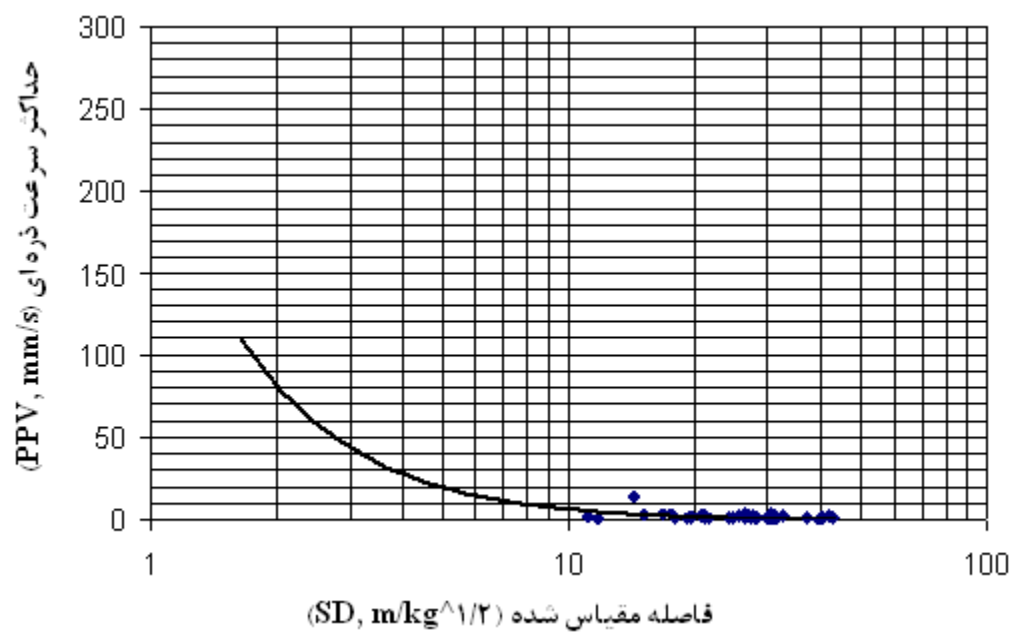
و در برخی نقاط بسیار نزدیک است، به عنوان مثال برای داده نمونه‌های که میزان واقعی حداکثر سرعت ذره‌ای برابر با ۰/۹۵ میلیمتر بر ثانیه است، مدل‌های USBM، Ambrases & Hendron، و CMRI predictor و General type empirical به ترتیب مقادیری معادل ۰/۸۲۸، ۲/۲۹۶، ۳/۸۳۳- و ۰/۶۰۹ پیش‌بینی کرده‌اند. در واقع یک مدل نهایی مناسب، مدلی است که به طور عملی نیز جواب‌های معقول و منطقی ارائه کند. شکل (۲-۴) نشان می‌دهد که مدل‌های USBM، General type و Ambrases & Hendron مدل‌های مناسبی هستند، زیرا میزانی که برای حداکثر سرعت ذره‌ای تخمین می‌زنند، مثبت می‌باشد و مقادیر تخمین زده شده حداکثر سرعت ذره‌ای به طور یکنواخت در اطراف داده‌های واقعی قرار دارد. از میان این مدل‌ها، مدل USBM به عنوان بهترین مدل انتخاب می‌گردد، زیرا این مدل جواب‌های منطقی داشته و در مقایسه با مدل General type empirical خطای تخمین کمتری دارد. در واقع مدل General type empirical نیز مدل مناسبی می‌باشد، ولی از آن جایی که مدل اداره معادن امریکا (مدل USBM) ساده‌تر است به عنوان بهترین مدل تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه نهایی این مدل به صورت زیر می‌باشد :

$$PPV = 237.54 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.5367} \quad (۱۰-۴)$$

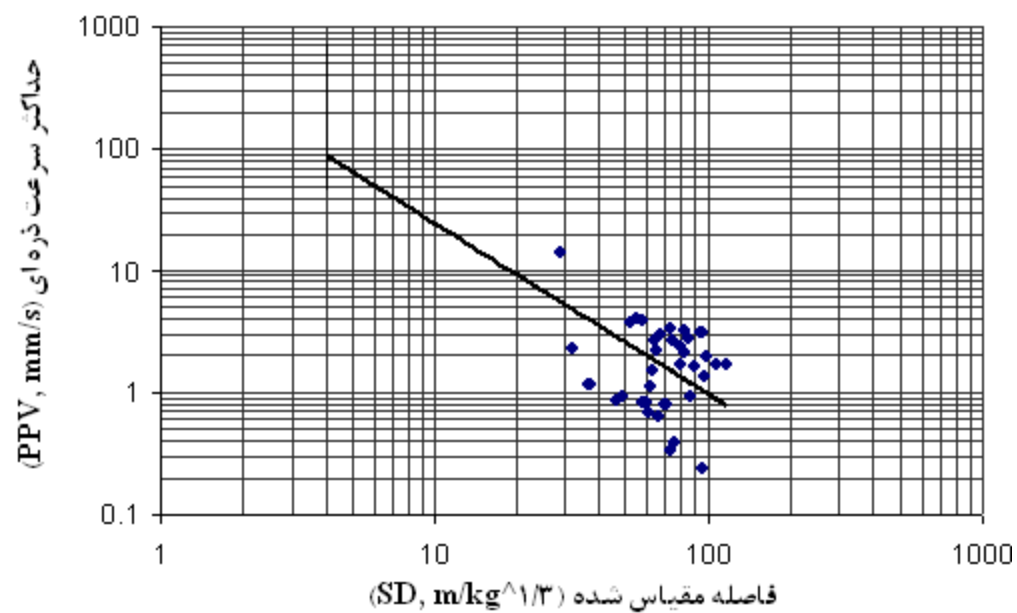
این رابطه به عنوان بهترین رابطه تجربی برازش شده به مجموعه داده موجود در نظر گرفته می‌شود. نمودارهای مربوط به روابط دو بعدی فرمول‌های تجربی در شکل‌های (۳-۴) الی (۷-۴) آورده شده است. در شکل (۸-۴) مقادیر واقعی حداکثر سرعت ذره‌ای با مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله مدل USBM، مقایسه شده است.



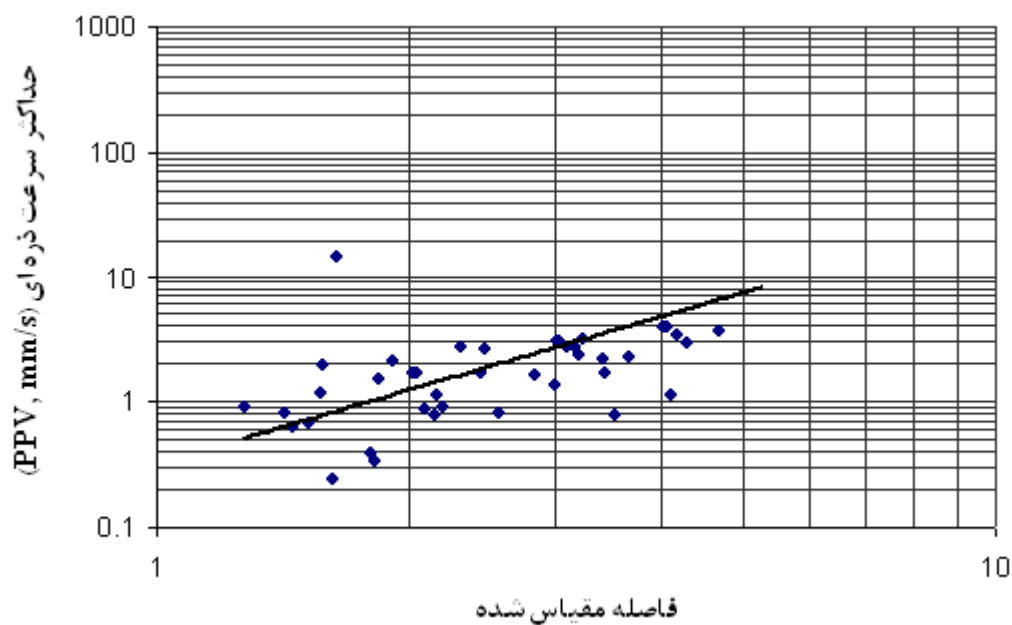
شکل ۴-۲- مقایسه دقت تخمین مدل‌های تجربی



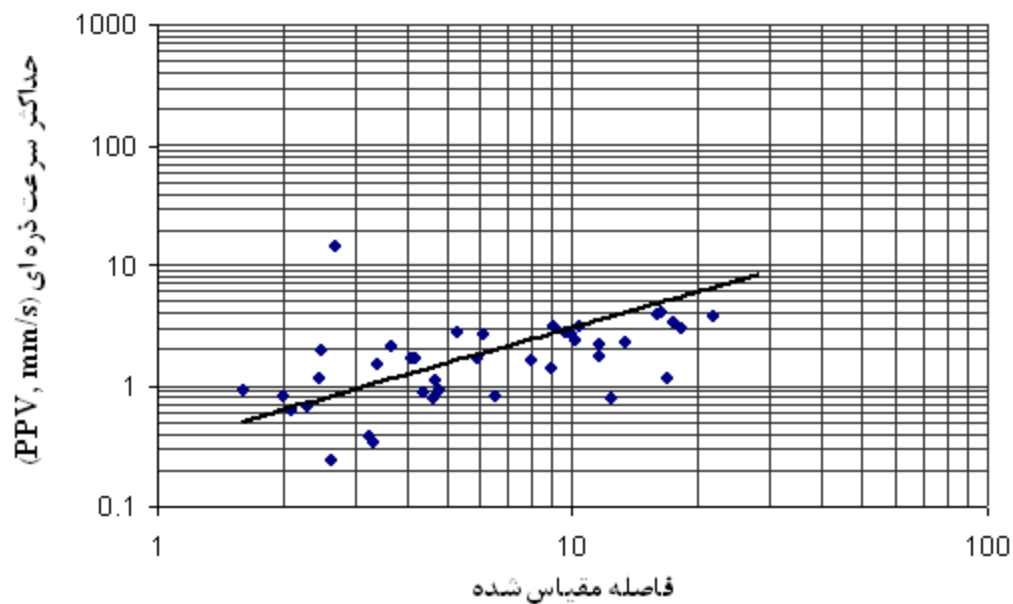
شکل ۴-۳- نمودار برازش شده فرمول تجربی USBM



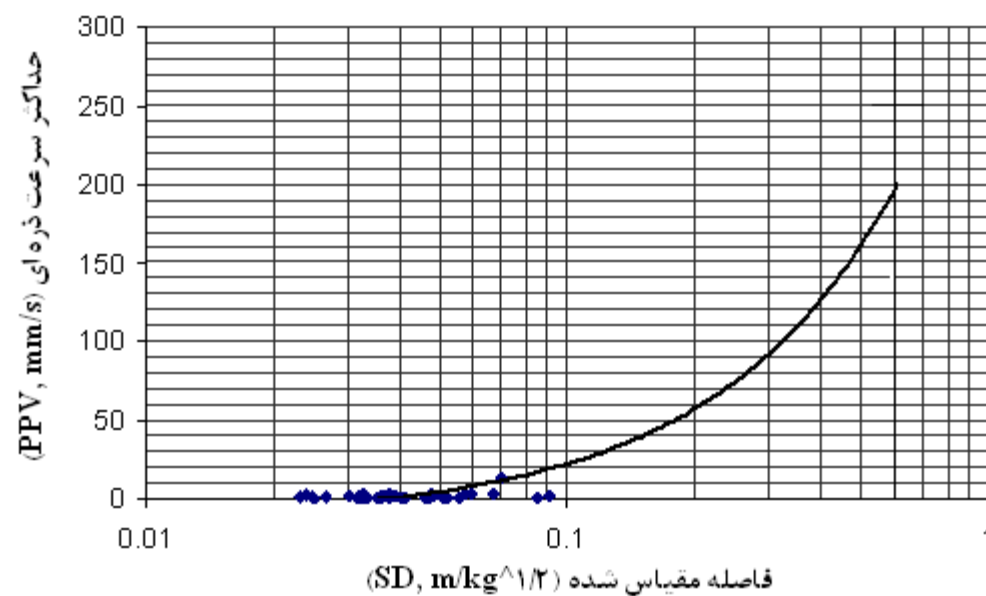
شکل ۴-۴- نمودار برازش شده فرمول تجربی Ambrases & Hendron



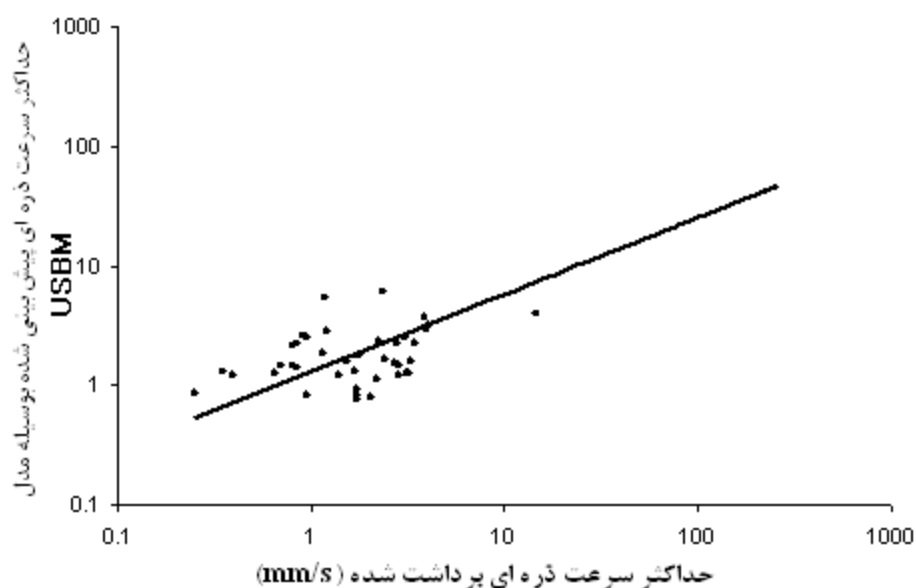
شکل ۴-۵- نمودار برازش شده فرمول تجربی Langfors & Kihlstrom



شکل ۴-۶- نمودار برازش شده فرمول تجربی Indian standard predictor



شکل ۴-۷- نمودار برازش شده فرمول تجربی CMRI predictor



شکل ۴-۸- مقایسه مقادیر واقعی با مقادیر پیش بینی شده به وسیله مدل USBM

۴-۲-۲- تخمین حداکثر لرزش هوا (AOP)

در بخش قبل بهترین فرمول تجربی برای تخمین PPV حاصل از لرزشهای زمین به دست آمد. علاوه بر این فرمول در این بخش رابطهای مشابه برای تخمین لرزش هوا بر حسب دسی بل (dB) به دست خواهد آمد. در واقع لرزش زمین و هوا دو موضوع جدا نشدنی هستند و بررسی یکی از آنها به طور مجزا کافی نیست و بایستی این دو پدیده با هم مدنظر قرار گرفته و مطابق با استانداردهای خاص خود شوند. همانند روابط موجود برای تخمین حداکثر سرعت ذره‌ای (PPV) روابطی که برای تخمین حداکثر لرزش هوا مورد استفاده قرار گرفته شده نیز بر اساس فاصله مقیاس شده میباشند و دارای رابطه کلی زیر هستند (Raina et al. 2004):

$$AOP = k_1 (SD)^{k_2} \quad (11-4)$$

که در آن AOP حداکثر لرزش هوا بر حسب دسی بل، SD فاصله مقیاس شده است و تابعی از حداکثر خرج در هر تاخیر (W) و فاصله ایستگاه اندازه‌گیری تا محل آتشکاری (D) میباشد و k_1 و k_2

پارامترهای ثابت هستند. تا به امروز رابطه خاصی برای فاصله مقیاس شده در نظر گرفته نشده است. برای پیدا کردن رابطه مناسب چهار رابطه معروف برای فاصله مقیاس شده در نظر گرفته میشود، که به صورت زیر میباشند:

$$SD_1 = \left(\frac{D}{\sqrt{W_{\max}}} \right) \quad (12-4)$$

$$SD_2 = \left(\sqrt{\frac{W_{\max}}{D^{2/3}}} \right) \quad (13-4)$$

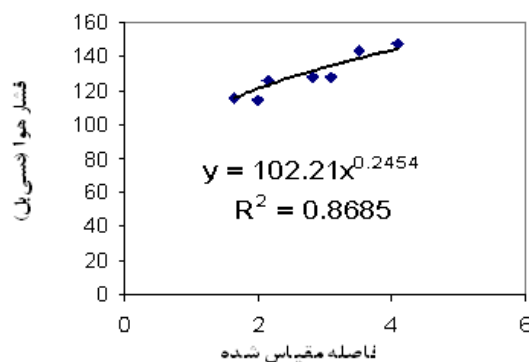
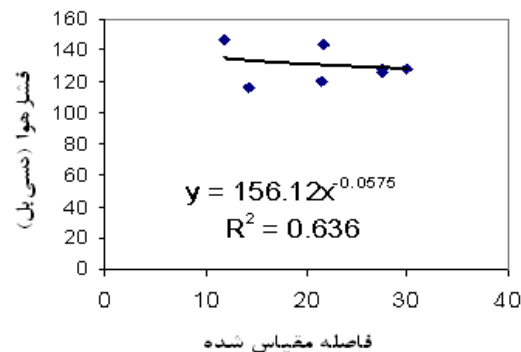
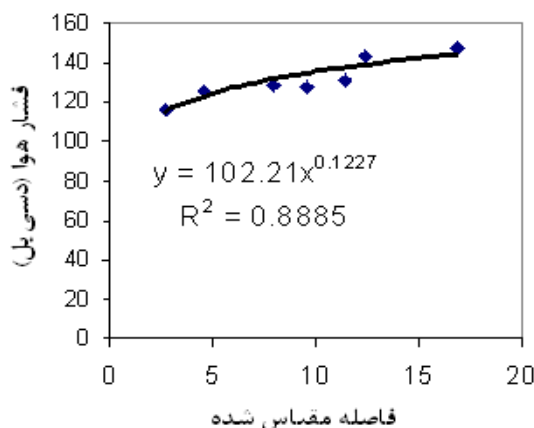
$$SD_3 = \left(\frac{D}{\sqrt[3]{W_{\max}}} \right) \quad (14-4)$$

$$SD_4 = \left(\frac{W_{\max}}{D^{2/3}} \right) \quad (15-4)$$

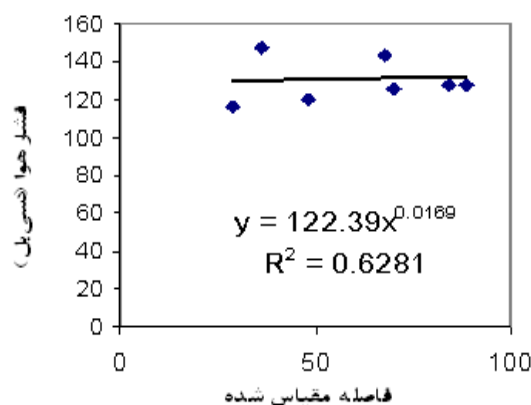
که در این روابط SD فاصله مقیاس شده، D فاصله مکان برداشت تا محل آتشکاری و $W_{\max}$ حداکثر میزان خرج در هر تاخیر میباشد. چهار رابطه ارائه شده برای فاصله مقیاس شده، در رابطه (۴-۱۱) قرار داده شد و با استفاده از دادههای برداشت شده تحلیل رگرسیون انجام شد و برای هر کدام بهترین رابطه برازش شده پیدا شد که در شکل (۴-۹) نمایش داده شده است. از میان این نمودارها بهترین مدل انتخاب شد که به صورت زیر میباشد:

$$AOP = 102.21 \left(\frac{W}{D^{2/3}} \right)^{0.1227} \quad (16-4)$$

با استفاده از این رابطه میتوان میزان لرزش هوا را بر اساس حداکثر خرج در هر تاخیر (W) و فاصله ایستگاه اندازهگیری تا محل آتشکاری (D) تخمین زد.

(ب) بهترین رابطه برازش شده برای SD_2 (الف) بهترین رابطه برازش شده برای SD_1 

(د)

(د) بهترین رابطه برازش شده برای SD_4 (ج) بهترین رابطه برازش شده برای SD_3

شکل ۴-۹- نمودارهای برازش شده به منظور تخمین حداکثر فشار هوا

۴-۳- استفاده از شبکه عصبی برای پیش‌بینی حداکثر سرعت ذرات

اولین موج از گرایش به سمت استفاده از شبکه‌های عصبی در کاربردهای عملی زمانی آغاز شد که مک

کولچ^۱ و پیترس^۲ به طور ساده نرونها^۳ عصبی^۳ را در سال ۱۹۴۳ معرفی کردند و شبکه‌های عصبی را به

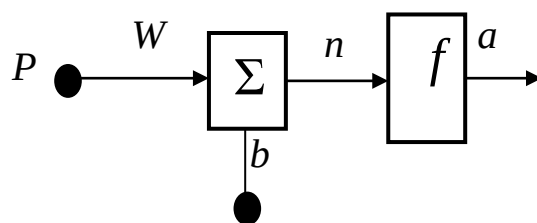
طور عملی استفاده کردند (McCulloch and Pitts, 1943).

1. McCulloch

2. Pitts

3. Neural neuron

شبکه‌های عصبی مجموعه‌ای از گره‌ها می‌باشند که به وسیله این گره‌ها سیستم به هم متصل می‌شود. در واقع شبکه انبوهی از گره‌های موازی می‌باشد که مسیرهای اتصال گره‌ها به هم توسط یک وزن مشخص می‌شود. طریقه اتصال گره‌ها به هم معماری شبکه را تشکیل می‌دهد (MATLAB, 2007). ساده‌ترین جزء هر شبکه عصبی نرون نامیده می‌شود. نمودار یک نرون ساده در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰- نمودار شماتیک از یک نرون (MATLAB, 2007)

پارامترهای موجود در شکل (۴-۱۰) به صورت روابط زیر با هم ارتباط دارند:

$$n = p.w + b \quad (۴-۱۷)$$

$$a = f(p.w + b) \quad (۴-۱۸)$$

که در این روابط P, W, b, f و a به ترتیب متغیر ورودی به نرون، وزن نرون، بایس^۱، تابع انتقال^۲ و

خروجی نرون می‌باشند (MATLAB, 2007).

۴-۳-۱- انتخاب مشخصات مناسب برای معماری شبکه

به منظور تخمین حداکثر سرعت ذره‌ای با استفاده از شبکه عصبی، حداکثر میزان خرج در هر تاخیر و فاصله ایستگاه اندازه‌گیری تا محل آتشکاری به عنوان متغیرهای ورودی انتخاب شدند و حداکثر سرعت ذره‌ای به عنوان متغیر خروجی در نظر گرفته شد.

در یک شبکه عصبی نحوه اتصال بخشهای مختلف آن به هم معماری شبکه را تشکیل می‌دهد.

اولین قدم در استفاده از شبکه‌های عصبی انتخاب نوع شبکه می‌باشد. انواع مختلفی از شبکه‌های عصبی

1. Bais

2. Transfer function

همراه با الگوریتمهای مختلف آموزش وجود دارد. از جمله مهمترین شبکههای عصبی که برای تخمین حداکثر سرعت ذره‌های به کار رفته است، شبکههای پیشخوراند^۱ میباشد که همراه با اما الگوریتم پس انتشار^۲ به کار میروند. این نوع شبکهها پرکاربردترین و قدرتمندترین شبکههای عصبی میباشد و بیشترین کاربرد را در متون تخصصی بویژه برای تخمین حداکثر سرعت ذره‌های دارد، به عنوان مثال در تمام موارد ذکر شده برای کاربرد شبکههای عصبی به منظور تخمین حداکثر سرعت ذره‌های در جدول (۱-۱) از این نوع شبکه ها استفاده شده است. در این پروژه یک شبکه عصبی پیشخوراند با الگوریتم پس انتشار استفاده شده است. این نوع شبکههای عصبی همواره سه لایه دارند: لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی. این شبکهها دارای مشخصات مختلفی هستند که در ابتدا بایستی معین شوند از جمله این مشخصات: تعداد لایه مخفی، تعداد نرونها در هر لایه مخفی، تعداد مراحل آموزش شبکه، نوع توابع انتقال، نوع تابع آموزش میباشد. تا به امروز قواعد جامع و کاملی درباره نحوه انتخاب مشخصات شبکههای عصبی ارائه نشده است. در اینجا به منظور انتخاب مشخصات مناسب یک تحلیل حساسیت انجام شده است. برای انتخاب میزان مناسب از هر مشخصه شبکه عصبی، در این تحلیل تنها همان مشخصه تغییر داده میشود و بقیه پارامترها ثابت در نظر گرفته میشوند. ملاک برتری یک حالت بر حالت دیگر در این تحلیل حساسیت میزان تابع خطا در شبکه عصبی میباشد که تابع خطا برابر با خطای MSE میباشد. در ابتدا به منظور مشخص کردن نوع تابع آموزش مناسب، انواع مختلف تابع آموزش مورد استفاده قرار گرفت و شبکه عصبی با استفاده از آنها آموزش داده شد که نتایج حاصل از آموزش بر هر تابع آموزش در جدول (۳-۴) نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان میدهد که تابع آموزش نوع $TRAINLM^3$ مناسبترین تابع بین توابع استفاده شده میباشد زیرا کمترین خطا را دارد. از این رو این تابع به عنوان تابع آموزش انتخاب میشود.

1 . Feedforward

2. Back-propagation

3. Levenberg-Marquardt back-propagation

جدول ۴-۳- نتایج حاصل از بکارگیری توابع آموزش مختلف

میزان خطای MSE	تابع آموزش	میزان خطای MSE	تابع آموزش
۰/۰۲۱۹۸۵۴	TRAINOSS	۰/۰۲۱۸۵۴۱	TRAINLM
۰/۰۲۳۵۸۸۹	TRAINGDX	۰/۰۲۵۱۴۸۵	TRAINBFG
۰/۰۳۳۲۰۲۱	TRAINGDA	۰/۰۲۴۸۵۶۷	TRAINRP
۰/۰۲۲۵۴۱۰	TRAINGDM	۰/۰۲۵۸۹۶۳	TRAINCGP
۰/۰۴۴۰۱۵۲	TRAINGD	۰/۰۸۲۵۴۷۳	TRAINCGF
۰/۰۴۵۲۸۵۱	TRAINCGB	۰/۰۳۲۶۳۳۱	TRAINSCG

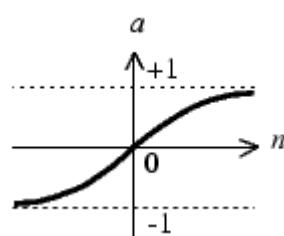
همانطور که در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است، یکی از مولفه‌های نرون، تابع انتقال میباشد.

چندین تابع انتقال در شبکه‌های عصبی مورد استفاده قرار میگیرد. از میان این توابع، سه تابع

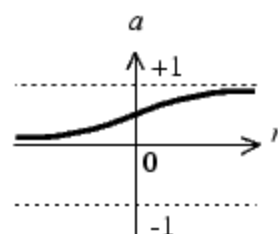
LOGSIG^1 ، TANSIG^2 و PURELIN^3 در نظر گرفته شده است. در شکل (۴-۱۱) نمودار مربوط به

توابع انتقال مورد استفاده نمایش داده شده است. معادلات تابعهای انتقال در روابط (۴-۱۹) تا (۴-۲۱)

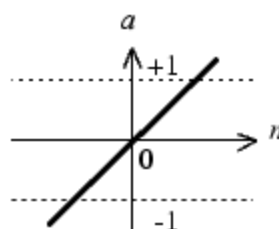
ارائه شده است.



(ب) تابع TANSIG



(الف) تابع LOGSIG



(ج) تابع PURELIN

شکل ۴-۱۱- توابع انتقال (MATLAB, 2007)

1. Log-sigmoid transfer function
3. Linear transfer function

2. Hyperbolic tangent sigmoid transfer function

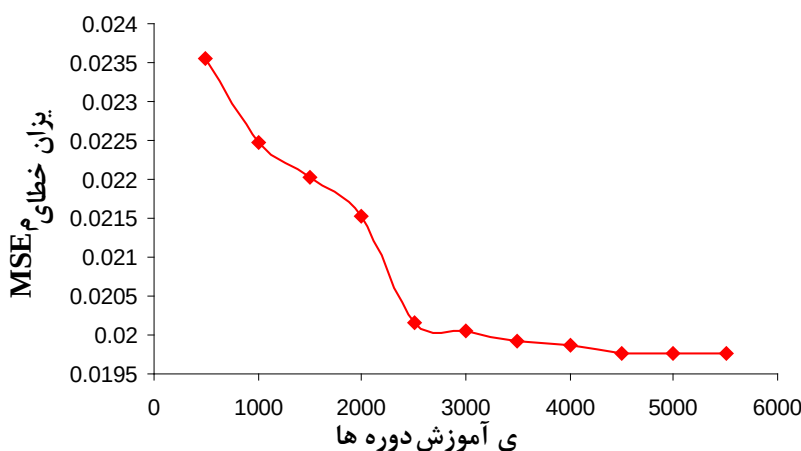
$$LOGSIG(n) = 1/(1 + \exp(-n)) \quad (۱۹-۴)$$

$$TANSIG(n) = 2/(1 + \exp(-2n)) - 1 \quad (۲۰-۴)$$

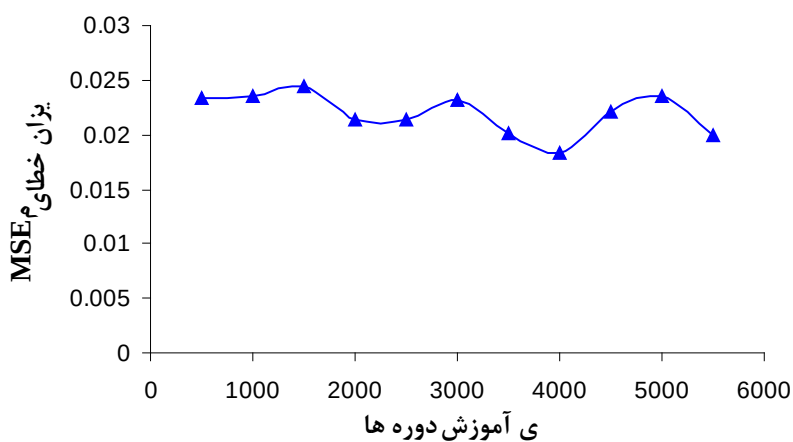
$$PURELIN(n) = n \quad (۲۱-۴)$$

شبکه عصبی با استفاده از سه تابع انتقال نشان داده شده در شکل (۱۱-۴) برای ۵۵۰۰ دوره آموزش داده شد. نتایج حاصل از آموزش شبکه (میزان خطای MSE) در هر ۵۰۰ دوره برای توابع انتقال LOGSIG، TANSIG و PURELIN به ترتیب در شکل‌های (۱۲-۴)، (۱۳-۴) و (۱۴-۴) نشان داده شده است. به منظور مقایسه نتایج حاصل از بکارگیری این سه تابع انتقال، نتایج سه تابع مورد نظر در شکل (۱۵-۴) نشان داده شده است.

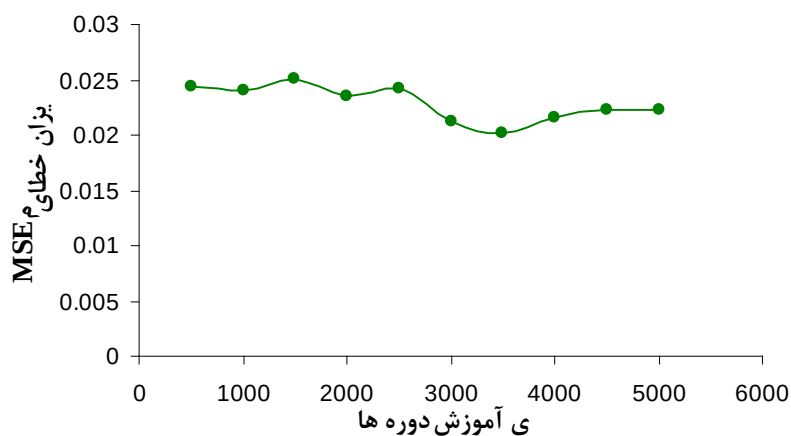
با توجه به اشکال (۱۲-۴) الی (۱۵-۴) مشخص میشود که تابع انتقال LOGSIG مناسبتر از توابع TANSIG و PURELIN میباشد. زیرا میزان خطای این تابع کمتر از توابع دیگر بوده و نتایج آن یکنواختتر است. بنابراین این تابع به عنوان تابع انتقال در نظر گرفته میشود.



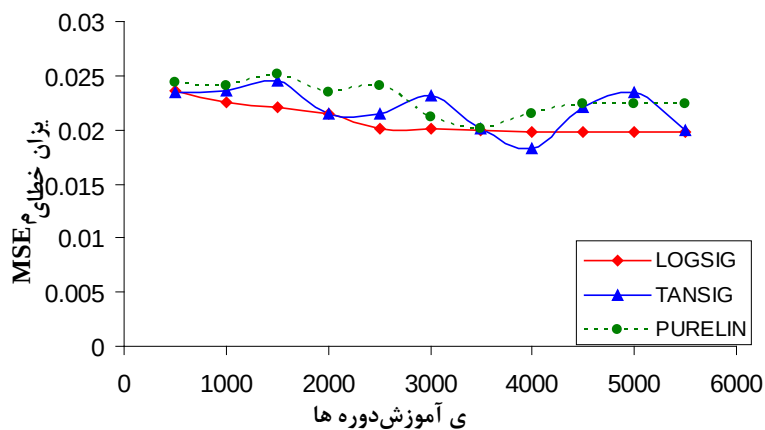
شکل ۱۲-۴- آموزش شبکه با استفاده از تابع LOGSIG



شکل ۴-۱۳- آموزش شبکه با استفاده از تابع TANSIG

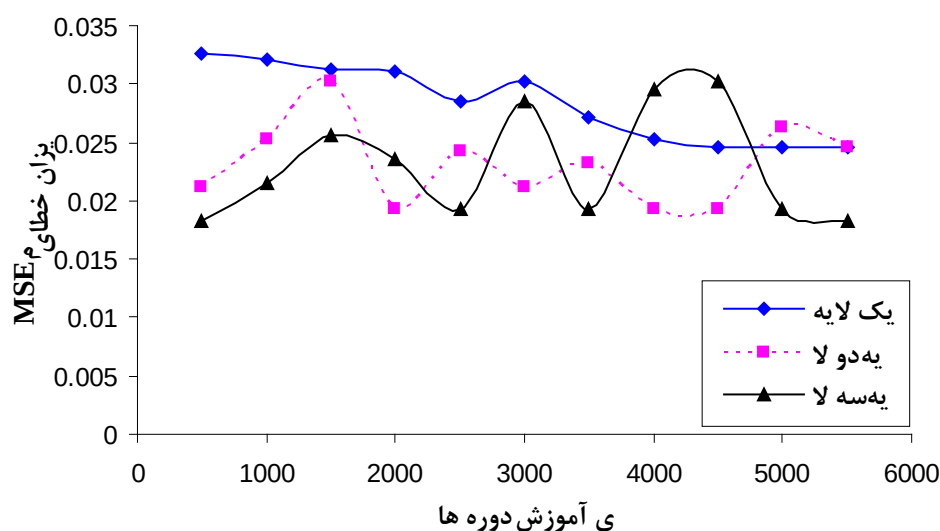


شکل ۴-۱۴- آموزش شبکه با استفاده از تابع PURELIN



شکل ۴-۱۵- آموزش شبکه با استفاده از توابع LOGSIG، TANSIG و PURELIN

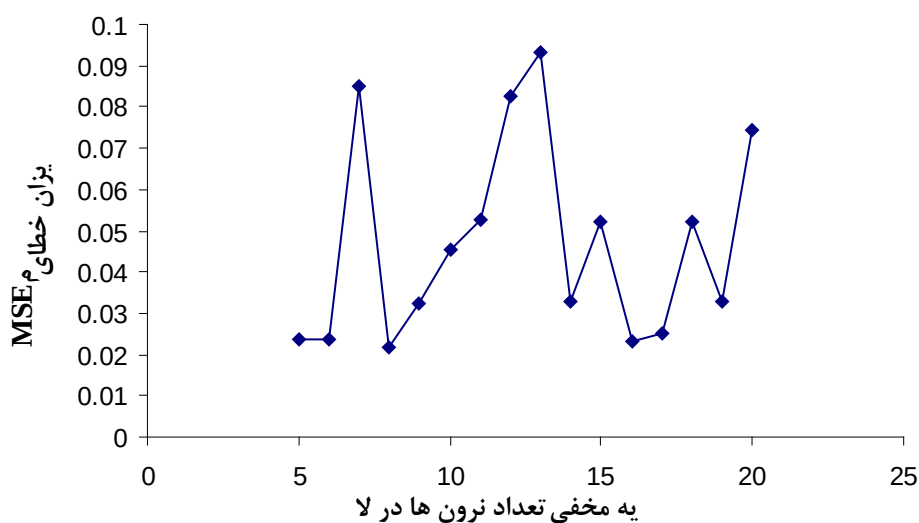
به منظور انتخاب تعداد مناسب لایه مخفی در شبکه عصبی، سه حالت شامل: شبکه عصبی با یک لایه مخفی، شبکه عصبی با دو لایه مخفی و شبکه عصبی با سه لایه مخفی در نظر گرفته شده و برای هر حالت، شبکه عصبی ۵۵۰۰ دوره آموزش داده شده است. نتایج حاصل از آموزش هر حالت در شکل (۴-۱۶) نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۶- آموزش شبکه با یک، دو و سه لایه مخفی

شکل (۴-۱۶) نشان می‌دهد که هر چند میزان خطای آموزش شبکه در دو حالت آموزش شبکه با دو و سه لایه مخفی کمتر از حالتی است که شبکه با یک لایه مخفی آموزش داده می‌شود اما چون نتایج آموزش شبکه با یک لایه مخفی یکنواختتر است، بنابراین این حالت مناسبتر می‌باشد و برای آموزش شبکه تنها یک لایه مخفی در نظر گرفته می‌شود.

یکی دیگر از مشخصات شبکه عصبی، تعداد نرون‌ها در لایه مخفی می‌باشد. برای انتخاب تعداد مناسب نرون‌ها در لایه مخفی، شبکه‌های عصبی با تعداد نرون‌های مختلفی از ۵ عدد تا ۱۵ عدد آموزش داده شد که نتایج حاصل در شکل (۴-۱۷) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۷- آموزش شبکه با تعداد نرونهای مختلف در لایه مخفی

شکل (۴-۱۷) نشان میدهد که کمترین میزان خطا مربوط به آموزش شبکه با ۸ نرون در لایه مخفی،

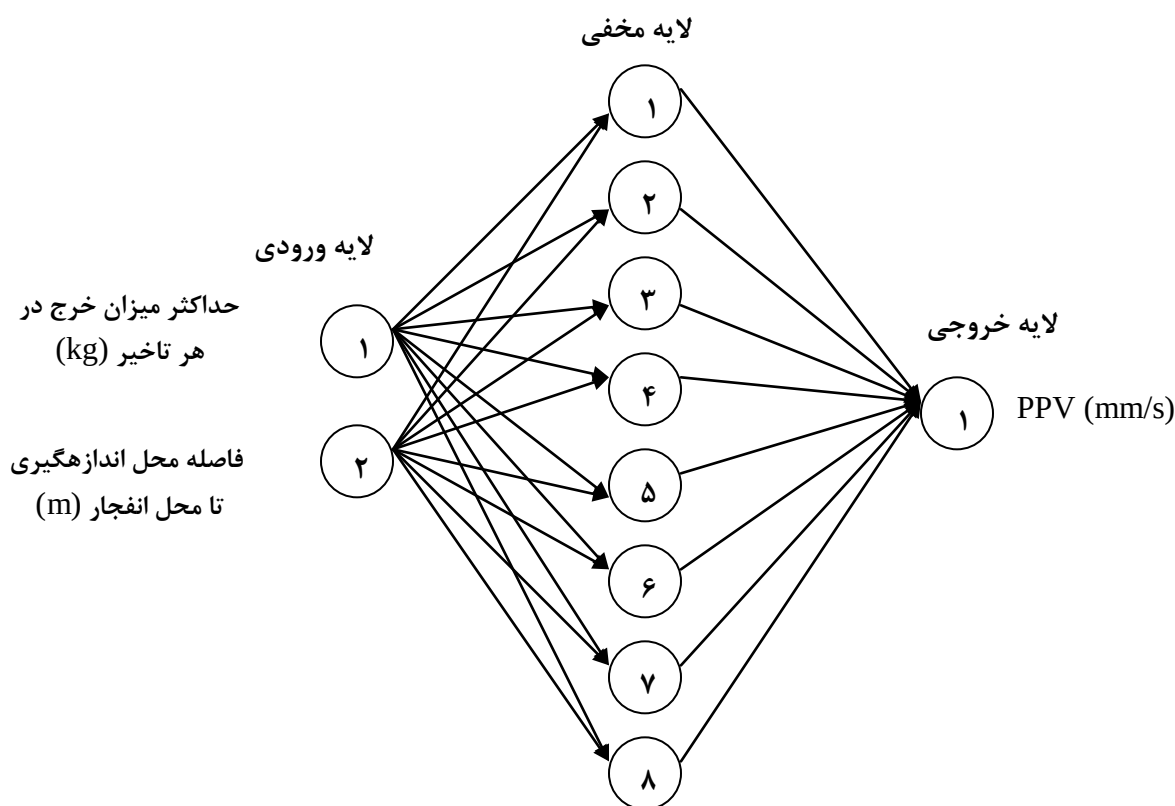
است. بنابراین تعداد نرونها در لایه مخفی برابر با هشت نرون در نظر گرفته خواهد شد.

در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده مشخصات شبکه عصبی به صورت جدول (۴-۴) خواهد بود

که معماری آن در شکل (۴-۱۸) نشان داده شده است.

جدول ۴-۴- مشخصات مناسب شبکه عصبی

نوع شبکه	Feed Forward-Back Propagation
تعداد متغیرهای ورودی	۲
تعداد متغیر خروجی	۱
نوع تابع آموزش	TRAINLM
نوع تابع انتقال	LOGSIG
تعداد لایه مخفی	۱
تعداد نرونها در لایه مخفی	۸
تعداد لایهها	۳



شکل ۴-۱۸- معماری شبکه مورد استفاده

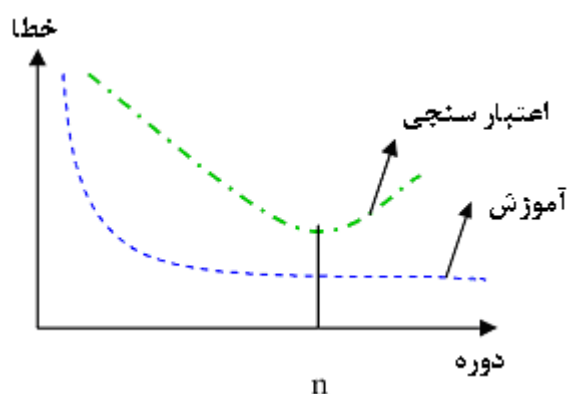
۴-۳-۲- آموزش و اعتبارسنجی شبکه عصبی

یک شبکه در ابتدا بایستی به وسیله یک مجموعه داده، آموزش داده شود که این مجموعه داده، داده‌های آموزش نامیده میشوند و در اکثر مواقع برابر با ۸۰ درصد کل داده‌ها (در این پروژه ۳۴ نمونه داده) در نظر گرفته میشود. یکی از مشکلاتی که شبکه‌های عصبی حین آموزش با آن مواجه میشوند، یادگیری بیش از حد^۱ است، برای برطرف کردن این مشکل، راه‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این راه‌ها متوقف کردن زود هنگام^۲ میباشد. معمولاً در این روش ۲۰ درصد از کل داده‌ها (در این پروژه ۹ نمونه داده) که برای آموزش استفاده نشده را برای اعتبارسنجی شبکه همراه با داده‌های آموزش در حین آموزش شبکه مورد استفاده قرار میدهند، شبکه در حین آموزش خطای تخمین را هم برای

1. Over-Fitting

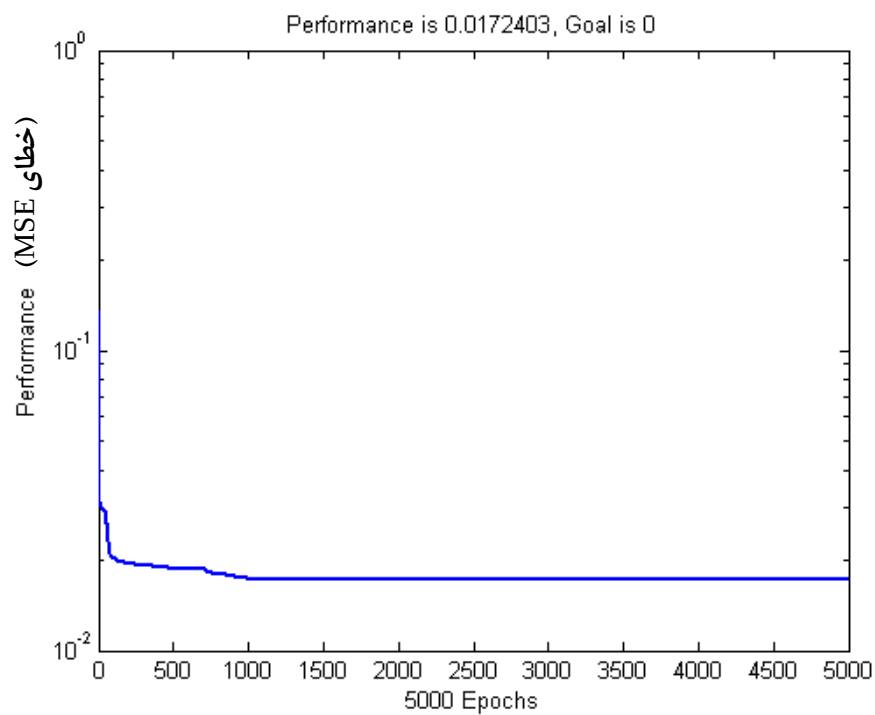
2. Early-stopping

مجموع داده آموزش و هم مجموعه داده اعتبارسنجی محاسبه میکند. هنگامی که خطای مجموعه داده اعتبارسنجی شروع به افزایش میکند، شبکه متوقف میگردد و این امر از یادگیری بیش از حد شبکه جلوگیری میکند، شکل (۴-۱۹) این موضوع را نشان میدهد. بعد از این که شبکه آموزش دیده شد و اعتبار آن به وسیله مجموعه داده اعتبارسنجی سنجیده شد، میتوان آن را برای شبیهسازی دادهها در کاربردهای بعدی استفاده کرد.

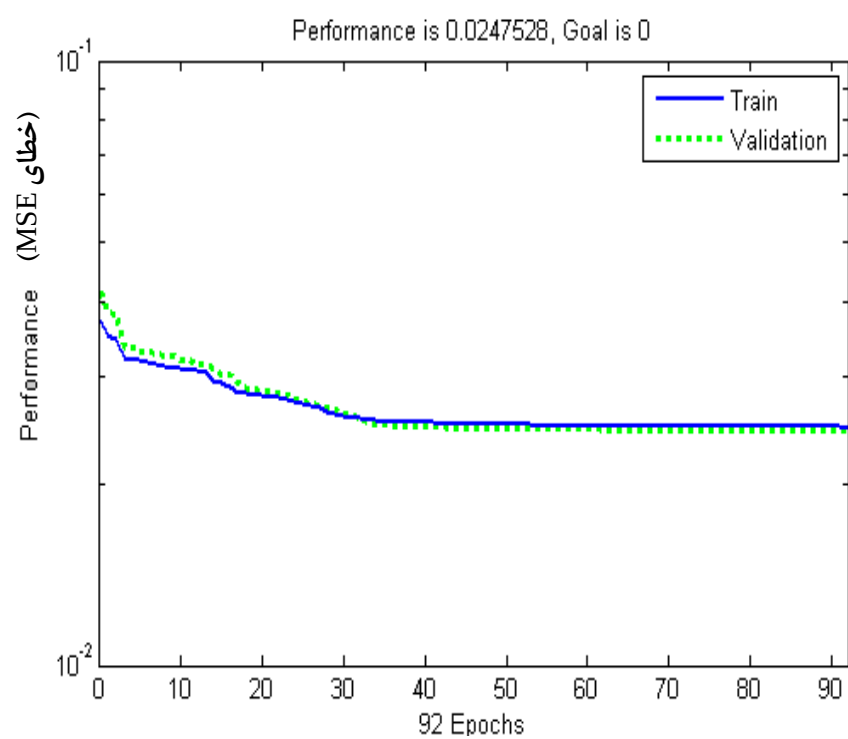


شکل ۴-۱۹- اعتبارسنجی شبکه عصبی به وسیله توقف زود هنگام

برای آموزش و اعتبارسنجی شبکه ارائه شده در شکل (۴-۱۸) جعبه ابزار `nnTool` در نرم افزار MATLAB (2006) استفاده شد. شبکه طراحی شده در بخش قبل، برای ۴۳ نمونه داده مورد استفاده قرار گرفت که ۳۴ داده برای آموزش شبکه و ۹ داده برای اعتبارسنجی شبکه استفاده شد. در ابتدا شبکه تنها با استفاده از ۳۴ داده برای ۵۰۰۰ دوره آموزش داده شد که نمودار آن در شکل (۴-۲۰) نشان داده شده است. سپس شبکه با استفاده از ۳۴ نمونه داده آموزش داده شد و همزمان با آموزش شبکه، ۹ داده باقی مانده برای اعتبارسنجی شبکه استفاده شد. نتیجه آموزش و اعتبارسنجی شبکه در شکل (۴-۲۱) نشان داده شده است. شکل (۴-۲۱) نشان میدهد که اگر شبکه بیش از ۹۲ دوره آموزش ببیند، بیش از حد بر دادههای آموزش منطبق میگردد.



شکل ۴-۲۰- نمودار آموزش شبکه



شکل ۴-۲۱- نمودار آموزش و اعتبارسنجی شبکه

نتایج حاصل از آموزش و اعتبارسنجی شبکه عصبی در شکل‌های (۲۲-۴) تا (۲۵-۴) با مقادیر واقعی مقایسه شده است. در شکل (۲۲-۴) داده‌های واقعی (مقادیر واقعی حداکثر سرعت ذره‌ای) با مقادیر

پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی در حالتی که شبکه تنها با استفاده از مجموعه داده آموزش

(۳۴ داده)، آموزش دیده است، مقایسه شده است. میزان همبستگی در این حالت معادل با ۰/۹۸

میباشد. در شکل‌های (۲۳-۴) و (۲۴-۴) مقادیر واقعی حداکثر سرعت ذره‌ای با مقادیر پیش‌بینی شده

توسط شبکه عصبی به ترتیب برای مجموعه داده آموزش و مجموعه داده اعتبارسنجی مقایسه شده

است و این مقایسه برای حالتی است که شبکه همزمان با آموزش، اعتبارسنجی نیز شده است. میزان

همبستگی مقادیر واقعی برای حالت آموزش برابر با ۰/۹۵ و برای اعتبارسنجی برابر با ۰/۸۵ میباشد. در

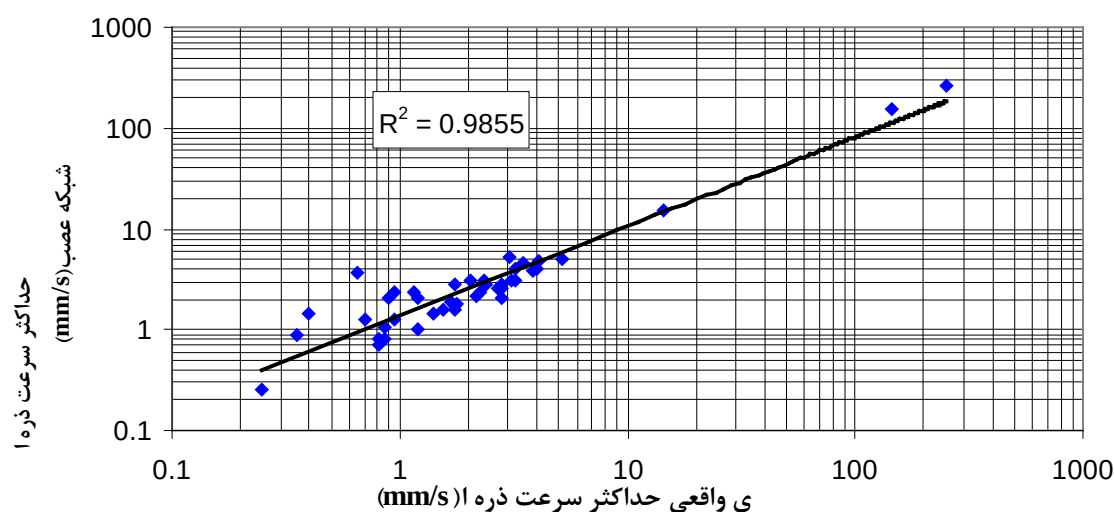
شکل

(۲۵-۴) نتایج دو شکل (۲۳-۴) و (۲۴-۴) نشان داده شده است. در واقع ملاک قضاوت درباره کارآمدی

شبکه عصبی بر مبنای شکل (۲۵-۴) میباشد. همبستگی مقادیر واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده

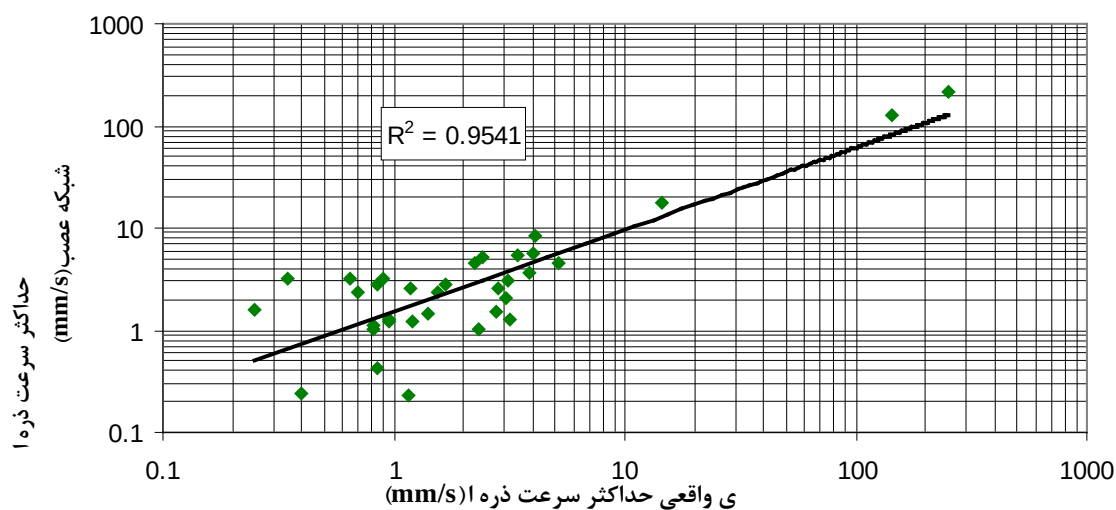
توسط شبکه عصبی در شکل (۲۵-۴) معادل با ۰/۹۲ میباشد که این میزان همبستگی به عنوان معیار

در نظر گرفته میشود.

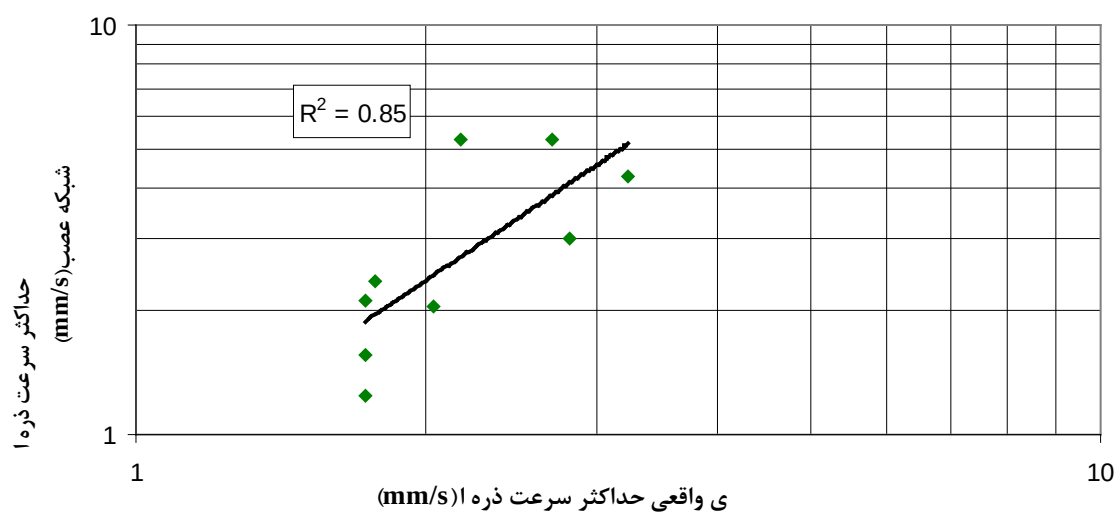


شکل ۲۲-۴- مقایسه داده‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی

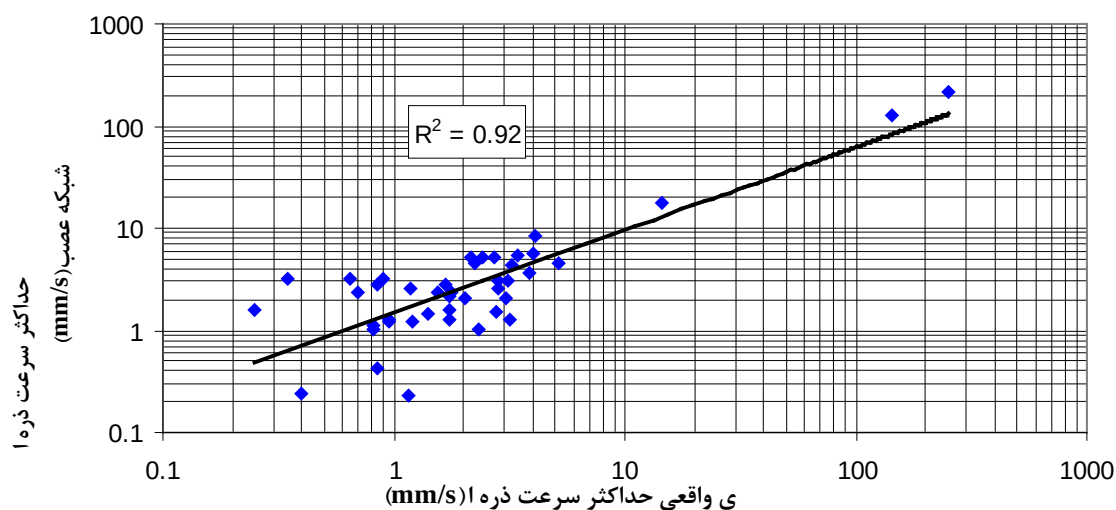
(آموزش شبکه تنها با مجموعه داده آموزش)



شکل ۴-۲۳- مقایسه داده‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای مجموعه داده آموزش (آموزش شبکه با مجموعه داده آموزش همراه با اعتبارسنجی با مجموعه داده اعتبارسنجی)



شکل ۴-۲۴- مقایسه داده‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای مجموعه داده اعتبارسنجی (آموزش شبکه با مجموعه داده آموزش همراه با اعتبارسنجی با مجموعه داده اعتبارسنجی)



شکل ۴-۲۵- مقایسه داده‌های واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای مجموعه داده آموزش و اعتبارسنجی
(آموزش شبکه با مجموعه داده آموزش همراه با اعتبارسنجی با مجموعه داده اعتبارسنجی)

۴-۴- کاربرد شبکه عصبی-فازی برای پیش‌بینی حداکثر سرعت ذره‌ای

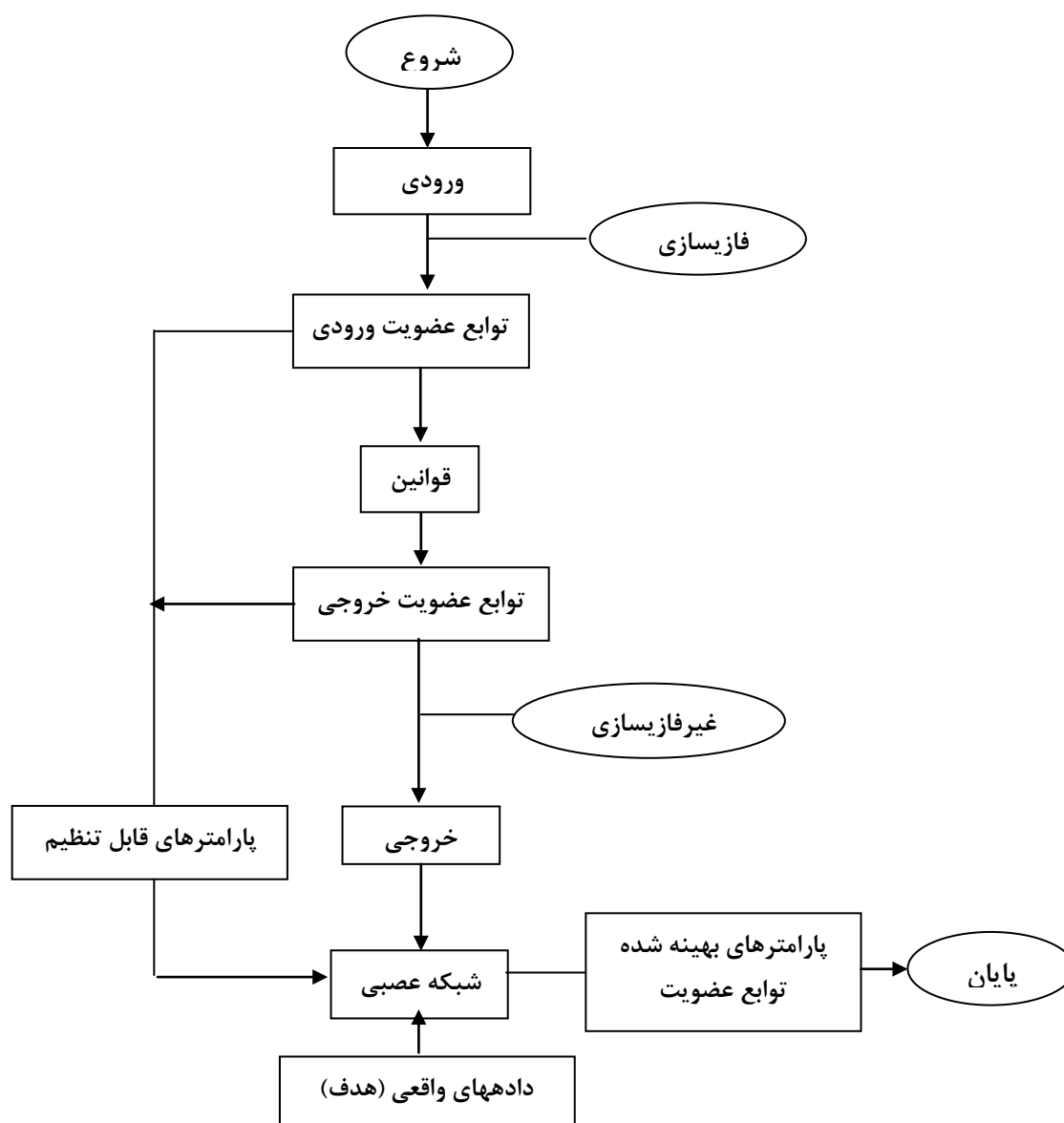
در این بخش سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی^۱ (ANFIS) به منظور تخمین حداکثر سرعت ذره‌ای به کار برده می‌شود. این تکنیک یک روش عصبی-فازی است که در بسیاری از کاربردهای مهندسی از جمله برای تخمین حداکثر سرعت ذره‌ای به کار رفته است. به منظور استفاده از این روش، جعبه ابزار anfisedit از نرم‌افزار MATLAB (2006)، مورد استفاده قرار گرفت.

سیستم ANFIS که اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط جنگ^۲ معرفی شد (Jang, 1993)، مدلی است که ابتدا متغیرهای ورودی را به یک سری توابع عضویت فازی تصویر می‌کند که این توابع عضویت دارای پارامترهایی هستند که قابل تنظیم می‌باشند. برای شروع اگر کاربر از ماهیت داده‌های ورودی مطلع باشد، نوع و مشخصات توابع عضویت ورودی را به طور مناسب انتخاب می‌کند، در غیر این صورت آنها را به صورت پیش‌فرض قرار می‌دهد. انتخاب صحیح این مشخصات به حاصل شدن جوابهای بهتر

1. Adaptive neuro-fuzzy inference

2. Jang

کمک میکند. قانون و قاعده‌ی کلی به منظور انتخاب این پارامترها وجود ندارد. بعد از انتخاب توابع عضویت ورودی، شبکه این توابع را به قوانین ارتباط میدهد و قوانین را به یک سری توابع عضویت خروجی (خطی یا ثابت) و آنها را به متغیر خروجی متصل مینماید. در این سیستم از روشهای یادگیری و بهینه‌سازی شبکه‌های عصبی به منظور به دست آوردن پارامترهای قابل تعدیل و تنظیم توابع عضویت استفاده میشود. شکل (۴-۲۶) نمایی از الگوریتم این تکنیک را نشان میدهد.



شکل ۴-۲۶- نمایی از الگوریتم روش ANFIS

برای انتخاب توابع عضویت فازی و سیستم فازی، دو نوع مدل فازی وجود دارد که شامل: ممدانی^۱ و سوگنو^۲ است. مهمترین تفاوت این دو مدل فازی این است که در مدل فازی سوگنو توابع عضویت خروجی ثابت و یا خطی هستند. در این مطالعه یک مدل فازی سوگنو مورد استفاده قرار خواهد گرفت. یک قانون نمونه‌های در یک مدل مرتبه یک سوگنو با دو متغیر ورودی به صورت زیر می‌باشد:

اگر ورودی شماره ۱ برابر با x و ورودی شماره ۲ برابر با y باشد، سپس خروجی z ، برابر با $ax+by+c$ خواهد بود.

برای یک مدل مرتبه صفر، خروجی عددی ثابت مثل z است.

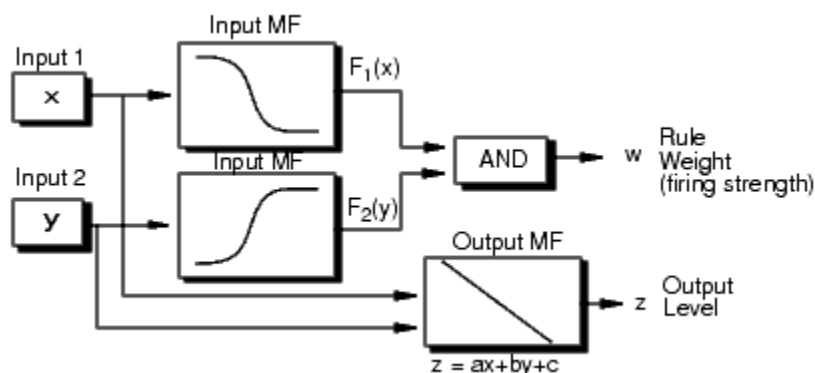
میزان خروجی هر قانون z_i ، به وسیله وزنی همانند w_i که به اصطلاح *firing strength* خوانده میشود، وزندهی میگردد. به عنوان مثال برای یک قانون و، AND، با دو متغیر ورودی x و y ، *firing strength* به صورت زیر است:

$$w_i = \text{And Method } (F_1(x), F_2(y)) \quad (۲۲-۴)$$

که در آن $F_1(x), F_2(y)$ توابع عضویت متغیرهای ورودی میباشد. خروجی نهایی سیستم متوسط وزنی خروجی تمام قوانین است که به صورت رابطه (۲۳-۴) محاسبه میشود:

$$\text{خروجی نهایی} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (۲۳-۴)$$

نمایی از یک مدل فازی مرتبه یک سوگنو با دو متغیر ورودی و یک خروجی در شکل (۲۷-۴) نشان داده شده است.

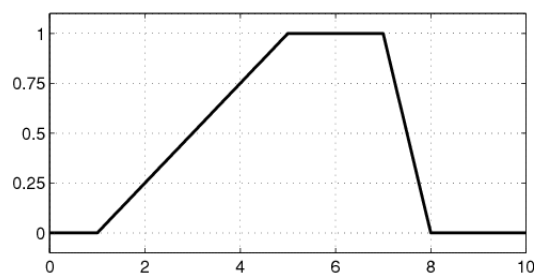
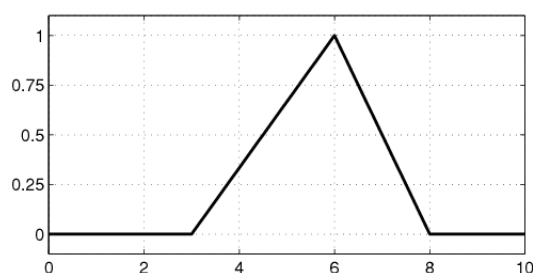
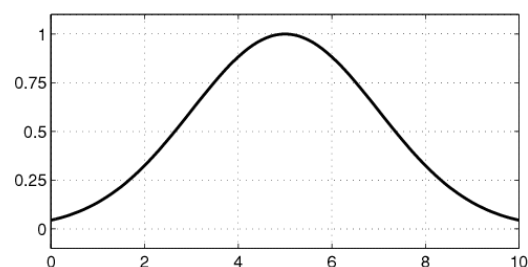
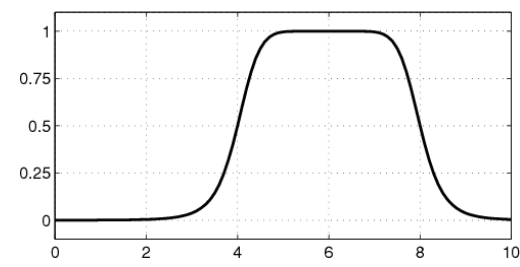
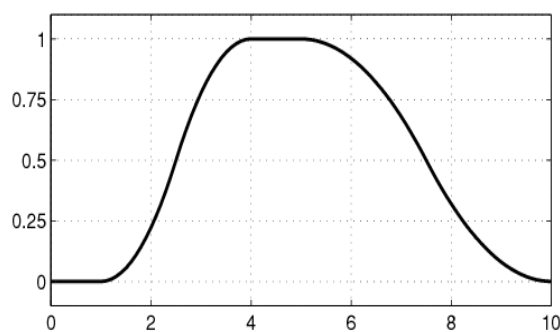
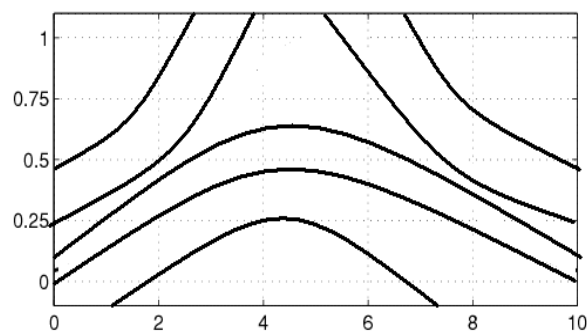
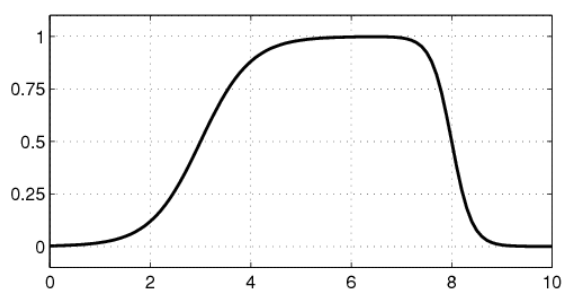
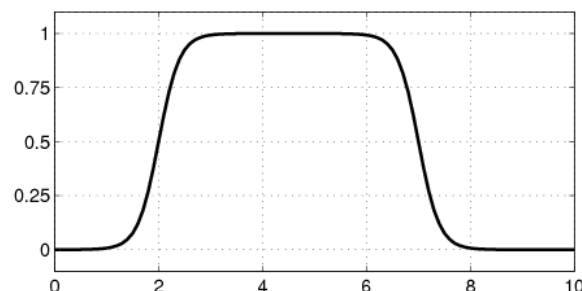


شکل ۴-۲۷- نمایی از یک مدل فازی مرتبه یک سوگنو با دو متغیر ورودی و یک خروجی (MATLAB, 2007)

به منظور تخمین حداکثر سرعت ذره‌های با استفاده از این روش، حداکثر میزان خرج در هر تاخیر و فاصله ایستگاه اندازه‌گیری تا محل آتشکاری به عنوان متغیرهای ورودی انتخاب شدند و حداکثر سرعت ذره‌های به عنوان متغیر خروجی در نظر گرفته شد.

۴-۴-۱- ایجاد معماری شبکه

در یک شبکه عصبی- فازی منظور از معماری شبکه، نحوه اتصال پارامترهای ورودی و خروجی توسط توابع عضویت ورودی و خروجی می‌باشد. از جمله مشخصات مهمی که بایستی در ابتدا برای یک شبکه عصبی-فازی مشخص شود شامل نوع توابع عضویت ورودی، تعداد توابع عضویت ورودی و نوع تابع عضویت خروجی می‌باشد. تا به امروز هیچ قانون و قاعده کلی به منظور انتخاب این مشخصات وجود ندارد. بنابراین مشابه تحلیل حساسیت انجام شده برای انتخاب مشخصات مناسب معماری شبکه عصبی، در اینجا نیز یک تحلیل حساسیت به منظور انتخاب مشخصات مناسب شبکه عصبی-فازی انجام خواهد شد. به منظور انتخاب نوع توابع عضویت ورودی، هشت نوع تابع عضویت در نظر گرفته شد (شکل (۴-۲۸)). برای هر تابع عضویت سه حالت شامل: یک تابع، دو تابع و سه تابع در نظر گرفته شد. شبکه برای هر کدام از این حالتها آموزش داده شد که نتایج آن در جدول (۴-۵) نشان داده شده است.

ب- تابع trapmf الف- تابع trimf د- تابع gaussmf ج- تابع gbellmf و- تابع pimf ه- تابع gauss2mf ح- تابع psigmf ز- تابع dsigmf

شکل ۴-۲۸- انواع توابع عضویت ورودی (MATLAB, 2007)

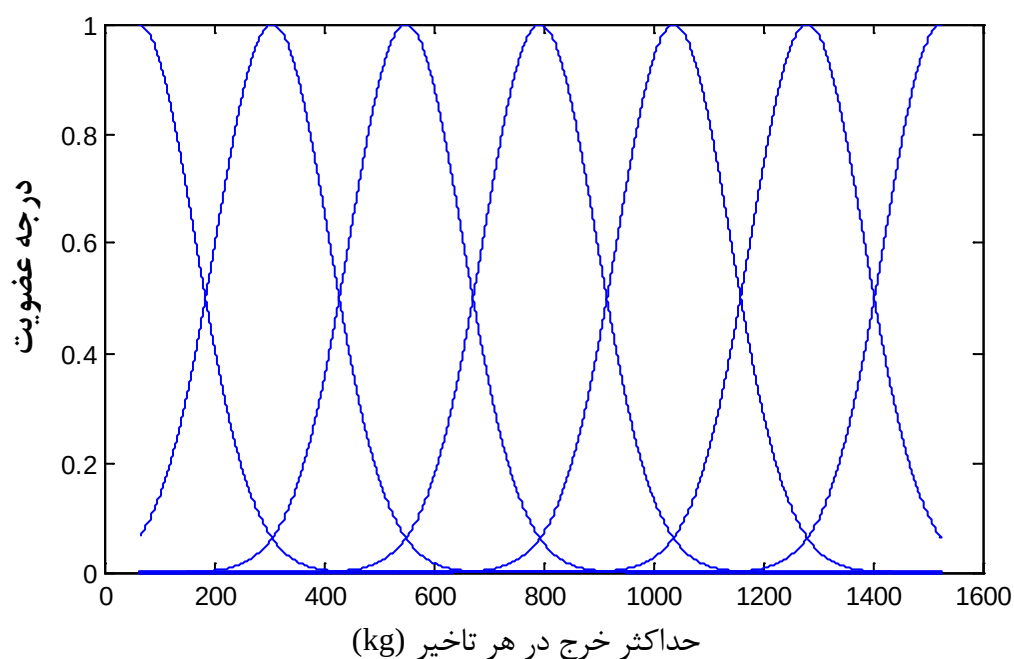
- | | | | |
|-------------------------|------------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Triangular | 2. Trapezoidal | 3. Generalized bell | 4. Gaussian curve |
| 5. Gaussian combination | 6. Π -shaped | 7. Two sigmoidal function | 8. Two sigmoidally functions |

جدول ۴-۵- میزان خطای MSE حاصل برای انواع توابع عضویت ورودی

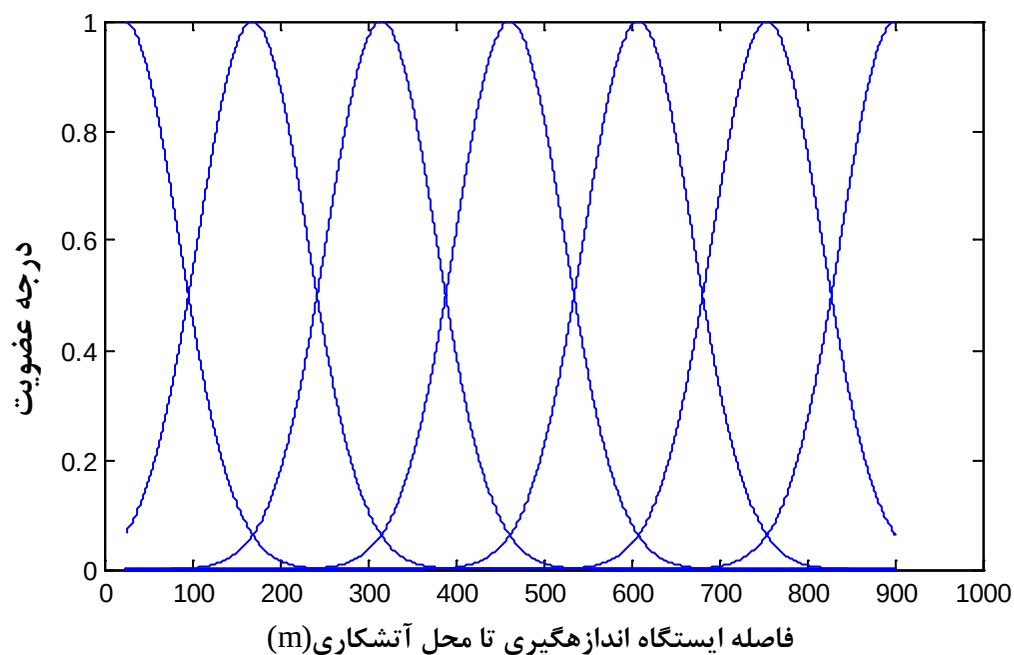
تعداد تابع			نوع تابع عضویت
۷	۵	۳	ورودی
۰/۰۰۱۰۶۱۶	۰/۱۷۰۶۲	۵/۴۲۱۸	trimf
۰/۰۰۰۹۹۵۱۱	۰/۱۸۶۴۶	۷/۳۵۰۵	trapmf
۰/۰۰۲۱۰۷	۰/۰۱۴۵۸۵	۱/۱۰۳۹	gbellmf
۰/۰۰۰۵۳۸۳۱	۰/۰۱۹۷۵۴	۱/۴۹۲۲	gaussmf
۰/۰۰۰۵۶۹۰۱	۰/۱۱۵۲	۳/۲۱۲۸	gauss2mf
۰/۰۰۱۲۶۶۸	۰/۲۱۴۹۸	۶/۴۸۳۳	pimf
۰/۰۰۱۲۹۹۷	۰/۰۸۸۰۷۵	۱/۹۴۷۷	dsigmf
۰/۰۰۱۱۸۶۳	۰/۰۸۱۲۵۲	۰/۳۱۱۲	psigmf

نتایج جدول (۴-۵) نشان میدهد که حداقل میزان خطا مربوط به تابع گوسی $\square$ (gaussmf) با هفت تابع میباشد. بنابراین برای متغیرهای ورودی، توابع عضویت گوسی در نظر گرفته شد که هر کدام شامل هفت تابع هستند. (شکلهای ۴-۲۹ و ۴-۳۰).

همانطور که گفته شد، تابع عضویت خروجی میتواند ثابت یا خطی باشد. به منظور انتخاب تابع خروجی مناسب، شبکه عصبی-فازی برای دو حالت (تابع عضویت خروجی ثابت و خطی) آموزش داده شد که نتایج آن در جدول (۴-۶) نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان میدهد که تابع خطی، تابعی مناسب برای تابع عضویت خروجی میباشد. همچنین بیانگر این مطلب است که بعد از ۱۰۰ دوره آموزش میزان خطا کم نمیشود. بنابراین برای متغیر خروجی یک تابع خطی در نظر گرفته شد. با استفاده از نتایج به دست آمده از تحلیل حساسیت، معماری شبکه ایجاد شد که نمودار معماری شبکه در شکل (۴-۳۱) نمایش داده شده است.



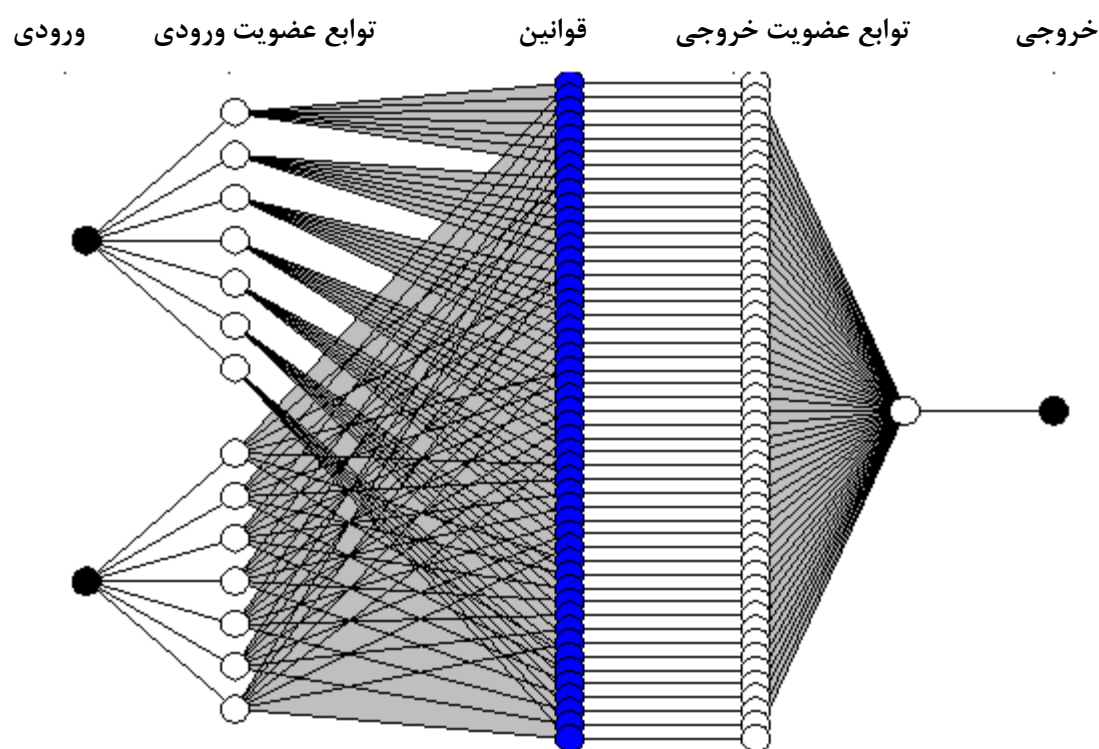
شکل ۴-۲۹- تابع عضویت حداکثر خرج در هر تاخیر



شکل ۴-۳۰- تابع عضویت فاصله ایستگاه اندازه‌گیری تا محل آتشکاری

جدول ۴-۶- نتایج حاصل از توابع خروجی ثابت و خطی

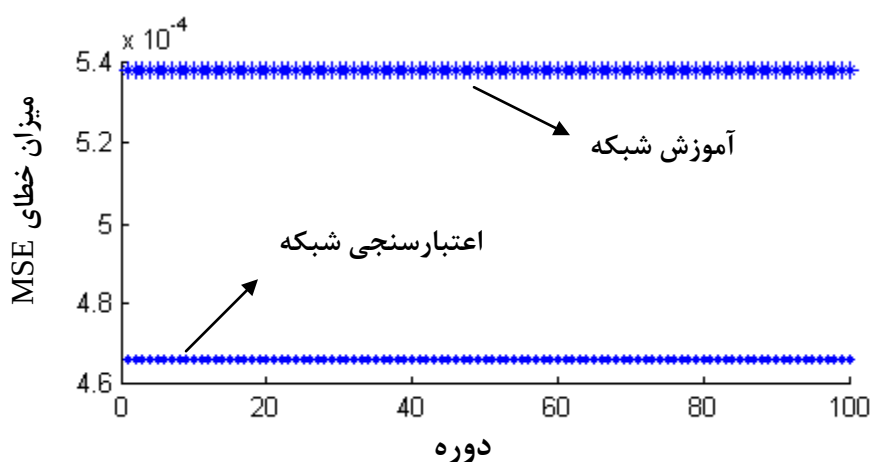
میزان خطای MSE		تعداد دوره ها
تابع خروجی ثابت	تابع خروجی خطی	
۰/۴۴۶۸۱	۰/۰۰۰۵۳۸۳۱	۱۰۰
۰/۴۱۷۰۴	۰/۰۰۰۵۳۸۳۱	۲۰۰
۰/۴۱۷۰۴	۰/۰۰۰۵۳۸۳۱	۳۰۰
۰/۴۰۶۲	۰/۰۰۰۵۳۸۳۱	۴۰۰
۰/۳۹۷۳۱	۰/۰۰۰۵۳۸۳۱	۵۰۰
۰/۳۸۹۸۹	۰/۰۰۰۵۳۸۳۱	۶۰۰
۰/۳۷۲۵۶	۰/۰۰۰۵۳۸۳۱	۷۰۰
۰/۳۷۱۲۵	۰/۰۰۰۵۳۸۳۱	۸۰۰
۰/۳۵۲۶۱	۰/۰۰۰۵۳۸۳۱	۹۰۰
۰/۳۱۰۲۴	۰/۰۰۰۵۳۸۳۱	۱۰۰۰



شکل ۴-۳۱- معماری شبکه ANFIS مورد استفاده

۴-۴-۲- آموزش و اعتبارسنجی شبکه عصبی-فازی

با استفاده از نتایج به دست آمده در بخش قبل معماری شبکه طراحی شد. به منظور آموزش و اعتبارسنجی شبکه، داده ها به دو مجموعه تقسیم شده و ۸۰ درصد دادهها (۳۴ داده) به منظور آموزش و ۲۰ درصد آنها (۹ داده) برای اعتبارسنجی به کار گرفته شد. شبکه برای ۱۰۰ دوره آموزش دیده شد. همزمان با آموزش، شبکه اعتبارسنجی نیز شد که نمودار آموزش و اعتبارسنجی در شکل (۴-۳۲) نمایش داده شده است.



شکل ۴-۳۲- آموزش و اعتبارسنجی شبکه عصبی-فازی

با توجه به شکل (۴-۳۲) مشخص می شود که میزان خطای MSE مربوط به آموزش شبکه عصبی-فازی برابر با 53831×10^{-4} می باشد که بسیار کمتر از میزان خطایی است که در آموزش شبکه عصبی مشاهده شده است (با توجه به شکل (۴-۲۱) خطای MSE حاصل از آموزش شبکه عصبی معادل با 247528×10^{-2} است). با توجه به شکل (۴-۳۲) میزان خطای MSE مربوط به مرحله اعتبارسنجی شبکه عصبی-فازی تقریباً برابر با $4/6 \times 10^{-4}$ است در حالیکه با توجه به شکل (۴-۲۱) خطای MSE مربوط به مرحله اعتبارسنجی شبکه عصبی تقریباً برابر با 247528×10^{-2} است. همچنین لازم به ذکر است که میزان خطای MSE حاصل از کاربرد بهترین فرمول تجربی (مدل USBM) برابر با ۵۰۳/۱۹

است که خیلی بیشتر از خطای مربوط به شبکه عصبی و شبکه عصبی-فازی است. مقایسه بین خطاهای حاصل از کاربرد این سه روش نشان میدهد که شبکه عصبی-فازی به مراتب دقیق تر از روشهای عصبی و تجربی است. و همچنین شبکه عصبی به مراتب دقیق تر از روش تجربی است. به طور خلاصه نتایج حاصل از مقایسه سه روش به صورت جدول (۴-۷) میباشد.

روش تخمین حداکثر سرعت ذره‌های	میزان خطای تخمین (MSE)
تجربی	۵۰۳/۱۹
شبکه عصبی	247528×10^{-2}
شبکه عصبی - فازی	$4/6 \times 10^{-4}$

در نهایت شبکه‌های عصبی و عصبی - فازی برای شبیه‌سازی داده‌ها در کاربردهای بعدی مورد استفاده قرار میگیرند.

فصل پنجم

ارزیابی لرزشهای آشکاری

در معدن سنگ آهک

کارخانه سیمان شاهرود

۵-۱- مقدمه

همانطور که در فصل سوم بیان شد، لرزشهای زمین و هوا بایستی از یک سری استانداردهای موجود تبعیت کنند. لرزشهای زمین بایستی با دو استاندارد لرزش مجاز برای سازه و لرزش مجاز برای پرسنل مطابقت داشته باشد و از حدود بحرانی و آستانه موجود در این استانداردها تجاوز نکند. حدود بحرانی و آستانه در هر استاندارد حدودی مرزی هستند که با توجه به شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه اتخاذ میشوند و لرزش نبایستی از این حدود در منطقه مورد مطالعه تجاوز کند. علاوه بر لرزش زمین، یکی دیگر از پدیدههای ناخواسته عملیات آتشکاری لرزش هوا میباشد که بایستی کنترل شده و مطابق با استانداردهای موجود باشد. در فصل قبل استانداردهای مورد استفاده برای هر یک از این تولیدات ناخواسته آتشکاری بیان شد، در اینجا نیز به طور اجمالی بیان خواهد شد و بر اساس حدود موجود در هر استاندارد و فرمول به دست آمده برای تخمین و پیشبینی هر پدیده، گرافها و نمودارهای استاندارد ترسیم میشوند، که در آنها حدود مشخص شده مجاز در هر استاندارد معین شده و همچنین حدود آستانه و بحرانی نیز ترسیم شده است.

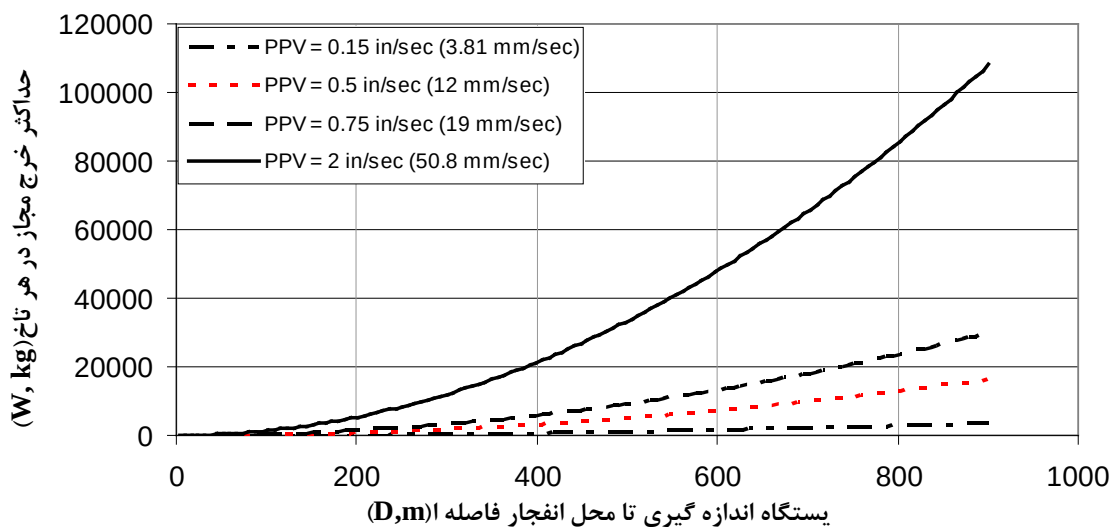
۵-۲- لرزشهای مجاز زمین و هوا

۵-۲-۱- لرزش مجاز زمین برای سازهها

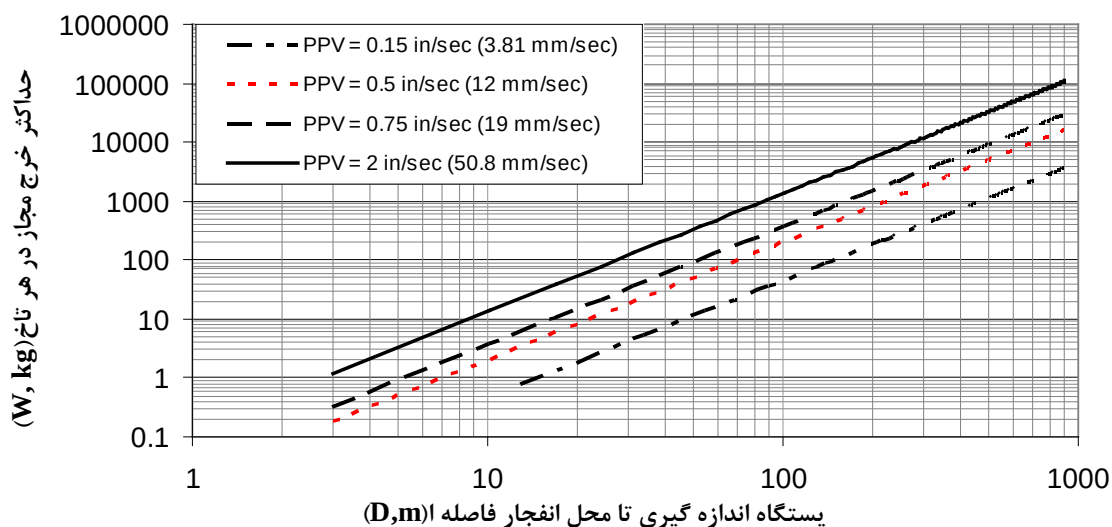
استاندارد لرزش مجاز زمین برای سازه در کارخانه سیمان شاهرود، جدیدترین استاندارد اداره معادن آمریکا (USBM) انتخاب شده است. حدود مجاز این استاندارد برای فرکانسهای مختلف و نمودار کلی آن در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده است. با توجه به فرکانسهای مشاهده شده در کارخانه سیمان شاهرود حد بحرانی و آستانه (حدی که لرزش نبایستی از آن در منطقه مورد مطالعه تجاوز کند) برابر با 0.5 اینچ بر ثانیه معادل با 12 میلیمتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. بر اساس حدود مجاز این استاندارد و معادله تجربی برازش شده (۴-۱۰)، نمودار

شکل (۵-۱) ترسیم شد. با استفاده از این نمودار میتوان میزان حداکثر خرج مصرفی در هر تاخیر را بر اساس فاصله ایستگاه اندازهگیری تا محل آتشکاری (D) و حداکثر سرعت ذره‌های مجاز (PPV) تخمین زد.

نکته مهمی که از این نمودار قابل استخراج است، این موضوع است که هر چه فاصله ایستگاه اندازهگیری تا محل آتشکاری کم میشود حساسیت حداکثر سرعت ذره‌های به میزان حداکثر خرج مصرفی در هر تاخیر زیاد میشود و بر عکس، که این نکته بایستی در عمل مد نظر قرار گیرد. به عنوان مثال اگر میزان خرج در هر تاخیر برابر با ۱۰۰ کیلوگرم باشد حداکثر سرعت ذره‌های ایجاد شده در فاصله ۱۵۰ متری از محل آتشکاری برابر با ۳/۸۱ میلیمتر بر ثانیه خواهد بود و با افزایش خرج به ۴۵۰ کیلوگرم در هر تاخیر حداکثر سرعت ذره‌های ایجاد شده معادل با ۱۲ میلیمتر بر ثانیه خواهد بود. حال در فاصله ۶۰۰ متری از محل آتشکاری، ۱۰۰ کیلوگرم خرج در هر تاخیر حداکثر سرعت ذره‌های معادل با ۰/۵ میلیمتر بر ثانیه تولید میکند و با افزایش خرج به ۴۵۰ کیلوگرم در هر تاخیر سرعت ذره‌های برابر با ۱/۵ میلیمتر بر ثانیه خواهد شد. یعنی کم و زیاد کردن خرج در فواصل دور (۵۰۰ متر به بالا) ممکن است تاثیر چندانی بر کاهش یا افزایش حداکثر سرعت ذره‌های حاصل از آتشکاری نداشته باشد ولی در فواصل نزدیک این امر منجر به کاهش یا افزایش شدید حداکثر سرعت ذره‌های حاصل خواهد شد. به منظور نمایش دامنه وسیعتری از پارامترها و تفکیک مناسب منحنیها نمودار شکل (۵-۱) به صورت لگاریتمی در شکل (۵-۲) ترسیم شده است.



شکل ۵-۱- تخمین میزان حداکثر خرج در هر تاخیر بر اساس فاصله و حداکثر سرعت ذره‌های مجاز



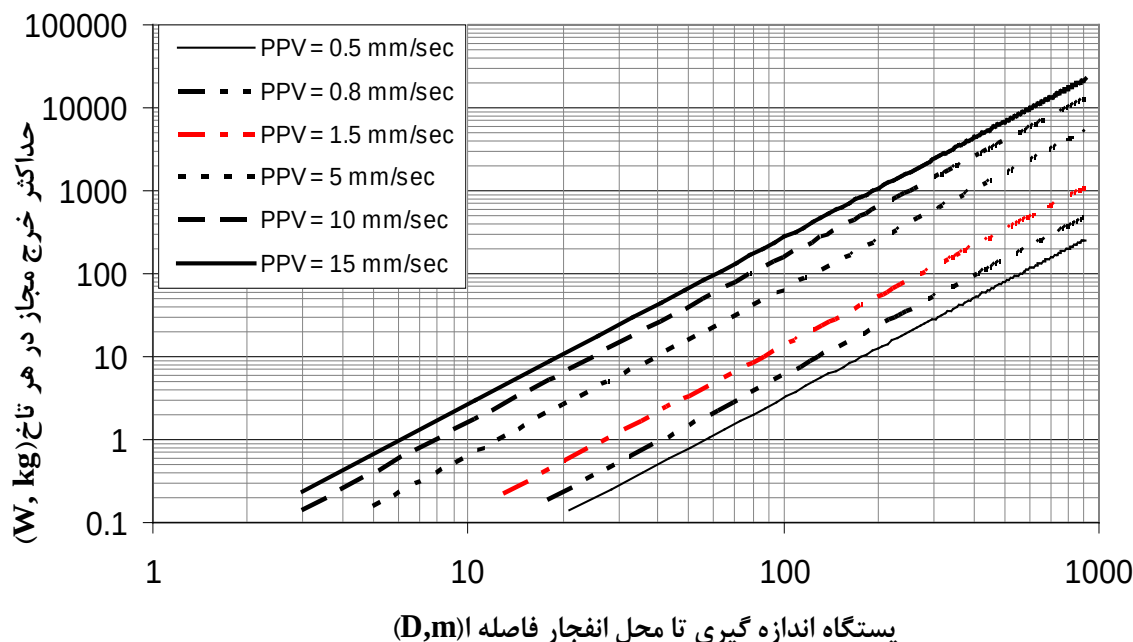
شکل ۵-۲- تخمین میزان حداکثر خرج در هر تاخیر بر اساس فاصله و حداکثر سرعت ذره‌های مجاز

۵-۲-۲- لرزش مجاز زمین برای کارکنان و پرسنل

همانند استاندارد موجود برای لرزش مجاز زمین برای سازه در معرض، استانداردهایی نیز برای لرزش مجاز زمین برای پرسنل و کارکنان در معرض لرزش، ارائه شده است. استاندارد مورد استفاده در جدول (۲-۲۰) نشان داده شده است. حد بحرانی و آستانه در این استاندارد برابر با ۱/۵ میلی‌متر بر ثانیه در نظر

فصل پنجم ارزیابی لرزشهای آتشکاری در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود

گرفته شده است. با استفاده از حدود مجاز ارائه شده در جدول (۲-۲۰) و معادله تجربی (۴-۱۰)، نمودار استاندارد ترسیم شد (شکل ۵-۳). با استفاده از این نمودار میتوان میزان حداکثر خرج مصرفی در هر تاخیر را بر اساس فاصله ایستگاه اندازه‌گیری تا محل آتشکاری (D) و حداکثر سرعت ذره‌های مجاز (PPV) تخمین زد.

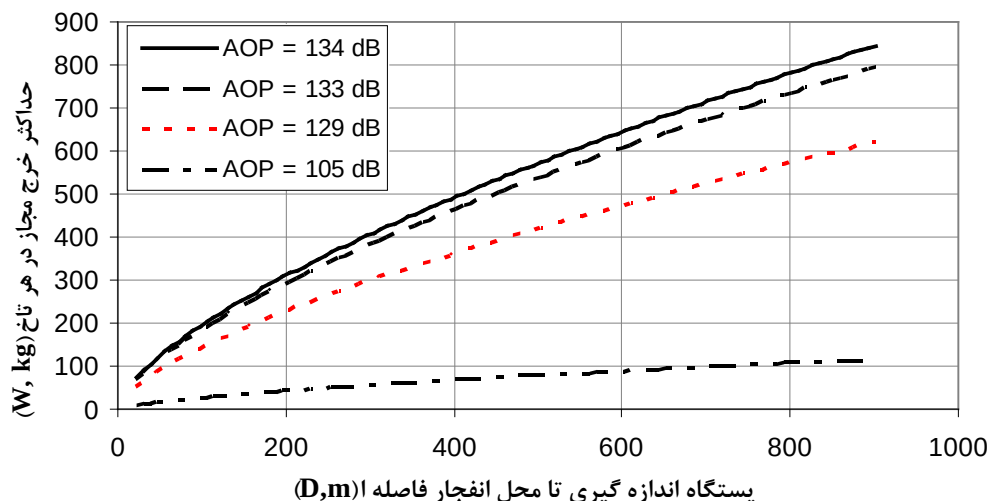


شکل ۵-۳- تخمین میزان حداکثر خرج در هر تاخیر بر اساس فاصله و حداکثر سرعت ذره‌های مجاز

۵-۲-۳- لرزش مجاز هوا

جدیدترین استاندارد اداره معادن آمریکا برای لرزش هوا به عنوان استاندارد حداکثر لرزش هوا در نظر گرفته شد (جدول ۲-۲۶). بر اساس فرکانسهای لرزش هوای ثبت شده در کارخانه سیمان شاهرود، حد بحرانی در این استاندارد برابر با ۱۲۹ دسیبل اتخاذ شد. با استفاده از استاندارد ارائه شده در جدول (۲-۲۶) و معادله برازش شده (۴-۱۶) نمودار استاندارد ترسیم شد (شکل ۵-۴). با استفاده از این نمودار

میتوان میزان حداکثر خرج مصرفی در هر تاخیر را بر اساس فاصله ایستگاه اندازه‌گیری تا محل آتشکاری (D) و حداکثر لرزش مجاز هوا (AOP) تخمین زد.



شکل ۵-۴- تخمین میزان حداکثر خرج در هر تاخیر بر اساس فاصله و حداکثر لرزش مجاز هوا

۵-۲-۴- آتشکاری ایمن و ارزیابی آتشکاریهای برداشت شده در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود

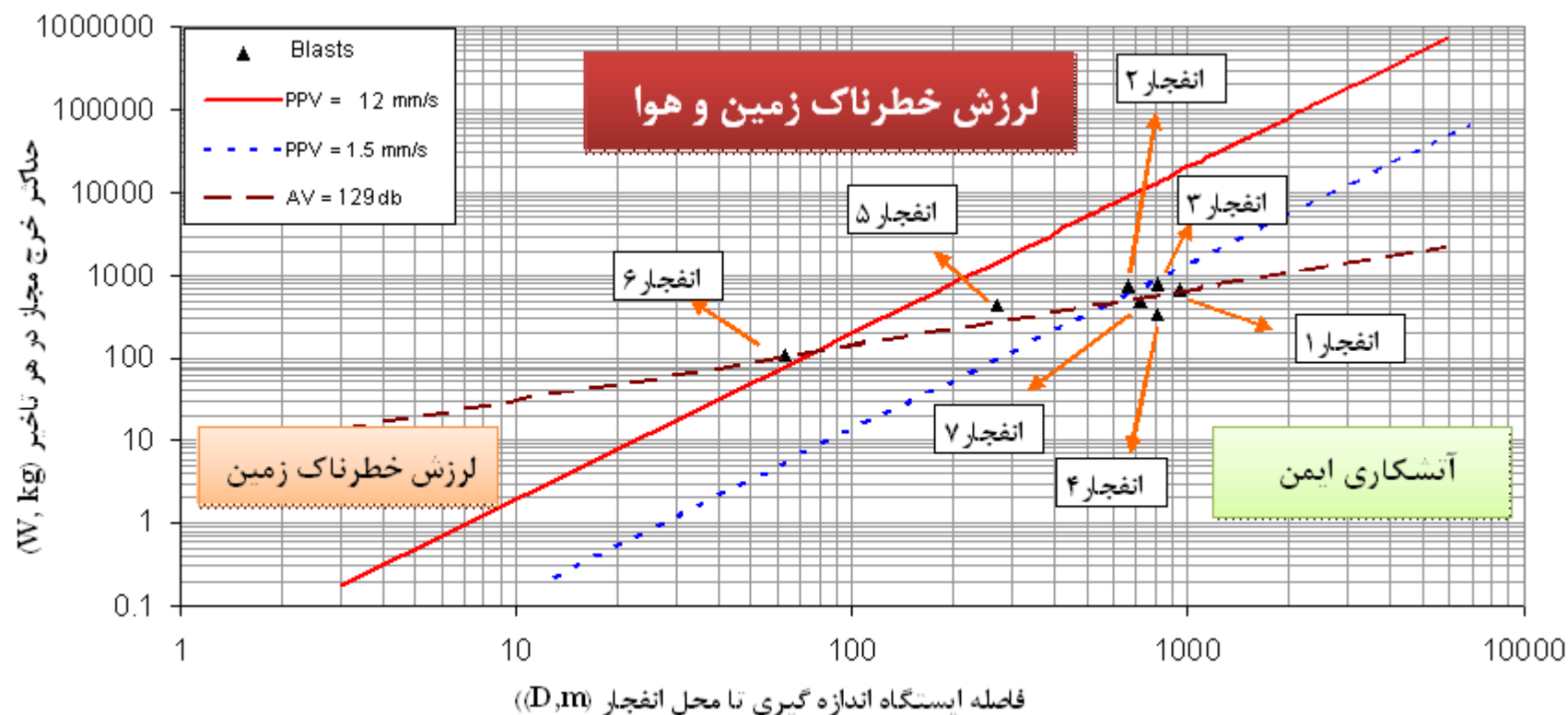
مفهوم آتشکاری ایمن در هر منطقه با توجه به شرایط آن منطقه بیان میگردد به این معنی که یک آتشکاری ممکن است در یک منطقه خاص ایمن بوده ولی در منطقه‌های دیگر بسیار خطرناک باشد. در واقع با استفاده از حدود آستانه و بحرانی استانداردها در هر منطقه است که ایمن بودن یک عملیات آتشکاری را تعیین میشود و این حدود بر اساس مقتضیات منطقه و استانداردهای موجود اتخاذ میشود. البته لازم به ذکر است که هیچ استاندارد و فرمولی مطلق نیست، بلکه تعیینکننده و نشان دهنده حدود کلی و خط مشیها هستند و در نهایت این مهندس آتشبار است که با توجه به تجربه، قضاوت مهندسی خود و نتایج به دست آمده از استانداردها و فرمولها تصمیم نهایی را اتخاذ میکند. همانطور که در بخشهای قبل بیان شد، حدود بحرانی و آستانه اتخاذ شده برای لرزشها به صورت زیر میباشد:

- حد بحرانی و آستانه لرزش مجاز زمین برای سازه در معرض: ۱۲ mm/sec

- حد بحرانی و آستانه لرزش مجاز زمین برای پرسنل در معرض: ۱/۵ mm/sec

- حد بحرانی و آستانه برای لرزش هوا ۱۲۹ dB

حال میتوان گفت که انفجاری ایمن است که لرزشهای ایجاد شده در اثر آن از حدود ذکر شده تجاوز نکند. از میان این حدود بایستی بحرانیترین به عنوان معیار طراحی در نظر گرفته شود. شکل (۵-۵) این سه حد آستانه را در یک شکل واحد نشان میدهد، همانطور که از شکل مشخص است از فاصله صفر تا حدوداً ۶۰۰ متری نمودار حداکثر لرزش مجاز زمین برای پرسنل بحرانیترین است، بعد از این فاصله نمودار حداکثر لرزش هوا بحرانیترین میباشد. در این شکل منطقیهای که در زیر تمام نمودارهای استاندارد قرار دارد به عنوان منطقه آتشکاری ایمن در نظر گرفته شده است. نقاط متناظر با آتشکاریهای انجام شده در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود در این نمودار نمایش داده شده است. همانطور که در شکل (۵-۵) مشخص است، آتشکاری شماره ۱ بر روی حد بحرانی استاندارد لرزش هوا قرار گرفته است و این آتشکاری از لحاظ دو استاندارد لرزش زمین برای ساختمانها و انسان در محدوده مجاز قرار دارد. آتشکاری شماره ۲ و ۳ تقریباً بر روی حد بحرانی استانداردهای لرزش هوا و لرزش زمین برای انسان قرار گرفتهاند و فقط از لحاظ استاندارد لرزش زمین برای سازه در منطقه ایمن قرار دارند. آتشکاریهای شماره ۴ و ۷ در منطقه آتشکاری ایمن قرار دارند و مطابق با هر سه استاندارد میباشند. آتشکاری شماره ۵ فقط از لحاظ استاندارد لرزش زمین برای سازه در منطقه ایمن قرار دارد و آتشکاری شماره ۶ خطرناکترین آتشکاری است و تقریباً مطابق با هیچکدام از سه استاندارد نیست. به طور کلی میتوان گفت که از میان هفت آتشکاری برداشت شده در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود دو انفجار را میتوان به عنوان آتشکاری ایمن در نظر گرفت.



شکل ۵-۵- حدود بحرانی و آستانه نمایش دهنده آتشکاری ایمن

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه‌گیری

در این پروژه به منظور تخمین لرزش زمین و هوای تولید شده در اثر آتشکاری معادن سنگ آهک، سه روش شامل: فرمول تجربی، شبکه عصبی و شبکه عصبی-فازی مورد استفاده قرار گرفته است و به طور کلی نتایج زیر از این پروژه حاصل شده است:

- کنترل اثرات نامطلوب آتشکاری به معنای حذف کامل آنها نیست بلکه به این معنی است که عملیات آتشکاری بایستی به‌گونه‌ای انجام شود که اثرات آن هیچ گونه خسارتی در پی نداشته باشند. زمانی میتوان اثرات نامطلوب آتشکاری را کنترل کرد که بتوان پارامترهای موثر بر آنها را شناسایی و بر اساس آنها اثرات نامطلوب را با خطای قابل قبول تخمین زد.
- آتشکاری پدیده‌ای تک بعدی نیست که تنها به بهینه کردن یک بخش از آن پرداخت. تقریباً تمام مولفه‌های آن با هم در یک جریان چرخه‌ای در ارتباط هستند، تغییر دادن یکی از مشخصات آن منجر به هم خوردن کل طراحی میشود. مثلاً ممکن است طراحی یک آتشکاری بر اساس ایمنی لرزش زمین باشد، اما همین آتشکاری ممکن است شدیدترین لرزش هوا را داشته باشد. نگاه به بهینه‌سازی آتشکاری باید چند جانبه باشد و بایستی خطرات آن با هم در نظر گرفته شود.
- هر چند روشهای عصبی و عصبی-فازی به جوابهای بهتری منجر میشوند، ولی فرمولهای تجربی در مقایسه با آنها در عمل و کارهای صحرایی از قابلیت کاربرد بهتری برخوردار هستند، زیرا این فرمولها ساده‌تر بوده و همچنین گرافهایی برای کاربردهای سریع در آینده، فراهم میکنند.
- روشهای هوش مصنوعی زمانی کاربرد دارند که روشهای قدیمی بکلی ناتوان از حل مسائل باشند یا به جوابهای غیر معقول منجر شوند.

- از میان هفت آتشکاری انجام شده در معدن سیمان شاهرود تنها دو آتشکاری در محدوده ایمن قرار داشتند که این نشانگر این مطلب است که کنترل آتشکاری در این معدن بایستی با توجه بیشتری بررسی شود.
- با استفاده از روابط و نمودارهای به دست آمده میتوان میزان مجاز حداکثر خرج در هر تاخیر را به دست آورد. نکته بسیار مهمی که در کاربرد این روابط و نمودارها بایستی توجه کرد، در فواصل کم است که ممکن است جواب مناسبی نداشته باشند، زیرا هر چه فاصله ایستگاه اندازه‌گیری تا محل آتشکاری کم میشود، حساسیت حداکثر سرعت ذره‌ای به میزان حداکثر خرج مصرفی در هر تاخیر زیاد میشود و بالعکس که این نکته بایستی در عمل مد نظر قرار گیرد. یعنی کم و زیاد کردن خرج در فواصل دور (۵۰۰ متر به بالا) ممکن است تاثیر چندانی بر کاهش یا افزایش حداکثر سرعت ذره‌ای حاصل از آتشکاری نداشته باشد ولی در فواصل نزدیک این امر منجر به کاهش یا افزایش شدید حداکثر سرعت ذره‌ای حاصل خواهد شد. به عنوان مثال اگر میزان خرج در هر تاخیر برابر با ۱۰۰ کیلوگرم باشد حداکثر سرعت ذره‌ای ایجاد شده در فاصله ۱۵۰ متری از محل آتشکاری برابر با $\frac{3}{81}$ میلیمتر بر ثانیه خواهد بود و با افزایش خرج به ۴۵۰ کیلوگرم در هر تاخیر حداکثر سرعت ذره‌ای ایجاد شده معادل با ۱۲ میلیمتر بر ثانیه خواهد بود. حال در فاصله ۶۰۰ متری از محل آتشکاری، ۱۰۰ کیلوگرم خرج در هر تاخیر حداکثر سرعت ذره‌ای معادل با $\frac{0}{5}$ میلیمتر بر ثانیه تولید میکند و با افزایش خرج به ۴۵۰ کیلوگرم در هر تاخیر سرعت ذره‌ای برابر با $\frac{1}{5}$ میلیمتر بر ثانیه خواهد شد.

۶-۲- پیشنهادات

- هیچ استاندارد و فرمولی مطلق نیست، بلکه تعیین کننده و نشان دهنده حدود کلی و خط مشیها هستند و در نهایت این مهندس آتشبار است که با توجه به تجربه، قضاوت مهندسی خود و

نتایج به دست آمده از استانداردها و فرمولها تصمیم نهایی را اتخاذ میکند. بایستی توجه شود که آتشکاری یکی از غیرقابل پیشبینیترین پدیدهها است و همواره باید چند آتشکاری آزمایشی انجام شود (به طور معمول پنج آتشکاری).

- در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود نمیتوان فاصله ساختمانها تا محل آتشکاری را تغییر داد و شاید بتوان گفت که تنها پارامتر قابل کنترل در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود حداکثر میزان خرج در هر تاخیر باشد. به منظور تغییر دادن حداکثر میزان خرج در هر تاخیر در صورت امکان میتوان تعداد چالها در هر تاخیر، عمق چال ها، تعداد تاخیرها را تغییر داد.

- در نهایت با استفاده از نتایج بدست آمده پیشنهاد میگردد که در کارخانه سیمان شاهرود از روش تجربی به منظور تخمین حداکثر سرعت ذرهای استفاده شود و از آن جایی نزدیکترین سازه به معدن سنگ آهک، سنگ شکن مربوط به سنگ آهک میباشد، فاصله سنگ شکن تا معدن سنگ آهک به عنوان فاصله بحرانی در نظر گرفته می شود.

- از آن جایی که نزدیکترین سازه به معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود سنگ شکن سنگ آهک میباشد و فاصله تقریبی آن تا معدن سنگ آهک ۶۰۰ متر میباشد بنابراین حداکثر خرج مورد استفاده در هر تاخیر ۴۵۰ کیلوگرم پیشنهاد میگردد.

- Ak H. Iphar M. Yavuz M. Konuk A. (2009) "Evaluation of ground vibration effect of blasting operations in a magnesite mine" J. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 29, pp 669–676.
- Ak H. and Konuk A. (2008) "The effect of discontinuity frequency on ground vibrations produced from bench blasting: A case study" J. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28, pp. 686–694
- Aldas G. G. U. and Ecevitoglu B. (2008) "Waveform analysis in mitigation of blast-induced vibrations" J. Applied Geophysics 66, pp.25–30
- Ambraseys N. R. and Hendron A. J. (1968) "Dynamic behaviour of rock mass" In: Proceedings of the rock mechanics in engineering practices, London, pp. 203–207.
- Ansell A. (2004) "In situ testing of young shotcrete subjected to vibrations from blasting" J. Tunnelling and Underground Space Technology 19, pp.587–596
- Baliktis E. K. (2001) "Blasting vibration limits to prevent human annoyance remarks from some case studies" J. Mineral Resources Engineering, 10, 1 pp. 71-82.
- Basu D. Sen M. (2005) "Blast induced ground vibration norms" – A critical review, National Seminar on Policies, Statutes & Legislation in Mines.
- Berta G. (1985) "Blasting-induced vibration in tunneling" J. Tunnelling and Underground Space Technology 9 (2), pp. 175-187
- Blair D. P. and Jiang J. J. (1995) "Surface vibrations due to a vertical column of explosive" J. Rock Mechanics & Mining Sciences & Geotech. Abstracts 32(2), pp. 149-154
- Bogunovic D. and Kecojevic V. (2007) "Artificial screen for reducing seismic vibration generated by blasting" J. Environ Geol 53, pp. 517–525
- Brinkmann J. R. (1987) "The control of ground vibration from colliery blasting during the undermining of residential areas" J. S. Afr. Inst. Min. Metal 87(2), pp. 53-61
- Canmet B. A. and Calder P. N. (1977) "Pit slope manual" chapter 7, Canmet report pp.77-14.
- Chakraborty A. K Guha P. Chattopadhyay B. Pal S. and Das J. (2004) "A Fusion Neural Network for Estimation of Blasting Vibration" N.R. Pal et al. (Eds.): ICONIP 2004, LNCS 3316, pp. 008.1013, 2004. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg . 2004
- Chen S. G. and Zhao J. (1998) "A study of UDEC modelling for blast wave propagation in jointed rockmasses" J. Rock Mech. Min. Sci. 35, pp. 93-99
- CMRI ."Vibration standards", Central Mining Research Institute, Dhanbad; 1993.
- Crandell F. J. (1949) "Ground vibration due to blasting and its effect upon structures" J. of Boston society of civil engineers.
- Davies B. Farmer I. W. Attewell P. B. (1964) "Ground vibrations from shallow sub-surface blasts" The Engineer, London, pp.553–9
- Devine J. F. (1966) "Avoiding damage to residences from blasting vibrations" Highway research record. 135, pp.35-42
- Edwards A. T. and Northwood T. D. (1959) "Experimental studies of the effects of blasting on structures" The Engineer 210, pp.538–46
- Elseman I. and Rasoul A. (2000) "Measurement and analysis of the effect of ground vibrations induced by blasting at the limestone quarries of the Egyptian Cement

- company" I.A. Elseman / ICEHM2000, Cairo University, Egypt, September, pp. 54-71
- Enase A. D. and Tonen P. (1942) "Evaluation of blast-induced ground vibration effects on structures" US Bureau of Mines report of investigation 123, Bulletin 414.
- Ghosh A. and Daemen J. K. (1983) "A simple new blast vibration predictor based on wave propagation laws" 24th, US Symposium on rock mechanics.
- Gupta R. N. Pal Roy P. Singh B. (1988) "Prediction peak particle velocity and air pressure generated by buried explosion" J. Mining and Geological Engineering6, pp.15-26
- Hendron A. J. and Oriard L. L. (1972) "Specifications for controlled blasting in civil engineering projects" Proc RETC 2, pp 1585–1609
- Holmberg R. and Persson P. A. (1979) "Design of tunnel perimeter blasthole patterns to prevent rock damage" Proc. IMM Tunnelling '79 Conference, London, pp.280-283.
- Indian Standard Institute. (1973) "Criteria for safety and design of structures subjected to underground blast", ISI Bull 1973; IS-6922
- Iphar M. Yavuz M. Ak H. (2008) "Prediction of ground vibrations resulting from the blasting operations in an open-pit mine by adaptive neuro-fuzzy inference system" J. Environ Geol 56, pp.97–107.
- Jang R. J. S. (1993) "Anfis: adaptive-network-based fuzzy inference system" IEEE Trans Syst Man Cybern 23: pp.665–685
- Jimeno L. C. Jimeno L. E. Carcedo A. J. F. (1995), "Drilling and Blasting of Rocks", A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 350–352, 366–370
- Kahriman A. (2001) "Prediction of particle velocity caused by blasting for an infrastructure excavation covering granite bedrock" J. Mineral Resources Engineering, 10(2), pp. 205-218
- Kahriman A. (2002) "Analysis of Ground Vibrations Caused by Bench Blasting at Can Open-pit Lignite Mine in Turkey" J. Environmental Geology 41, pp.653-661
- Kahriman A. (2004) "Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry". J. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 24, pp. 887–892
- Kahriman A. Ozer U. Aksoy M. Karadogan A. Tuncer G. (2006) "Environmental impacts of bench blasting at Hisarcik Boron open pit mine in Turkey" J. Environ Geol 50, pp. 1015–1023
- Khandelwal M. and Singh T. N. (2006) "Prediction of blast induced ground vibrations and frequency in opencast mine: A neural network approach" J. Sound and Vibration 289, pp. 711–725
- Khandelwal M. and Singh T. N. (2007) "Evaluation of blast-induced ground vibration predictors" J. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 27, pp. 116–125
- Kuzmenko A. A. Vorobey V. D., Denisyuk I. I. Dauetas A. A. (1993) 'Seismic Effects of Blasting in Rock' Balkema, Rotterdam, pp. 16–31.
- Kuzu C. and Ergin H. (2005) "An assessment of environmental impacts of quarry-blasting operation: a case study in Istanbul, Turkey" J. Environ Geol 48: pp. 211–217
- Kuzu C. (2008) "The importance of site-specific characters in prediction models for blast-induced ground vibrations" J. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28, pp. 405–414

- Kuzu C. Fisne A. and Ercelebi S. G. (2009a) "Operational and geological parameters in the assessing blast induced airblast-overpressure in quarries" *J. Applied Acoustics* 70, pp. 404–411
- Kuzu C. and Guclu E. (2009b) "The problem of human response to blast induced vibrations in tunnel construction and mitigation of vibration effects using cautious blasting in half-face blasting rounds" *J. Tunnelling and Underground Space Technology* 24, pp. 53–61
- Langefors U. and Kihlstrom B. (1978) 'The modern technique of rock blasting' New York: John Wiley.
- Langefors U. Kihlstrom B. and Westerberg H. (1957) "Ground vibration in blasting" Water power.
- Lundborg N. et al. (1957) "Keeping the lid on flyrock in open-pit blasting" *E/MJ*, May, 1957
- McCulloch W. S. and Pitts W. H. (1943) "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics*, Vol.5, pp.115–133
- Ma G. Hao H. Zhou Y. (2000) "Assessment of structure damage to blasting induced ground motions" *J. Engineering Structures* 22, pp. 1378–1389
- Matlab (2007) "Matlab software help".
- Medearis K. (1976) "The Development of Rational Damage Criteria for Low-Rise Structures Subjected to Blasting Vibrations" Report to the National Crushed Stone Association, Washington, D.C.
- Morris G. (1950) *Vibrations Due to Blasting and their Effects on Building Structure*, The Engineer, London. pp. 394-395
- Murat C. Ozkan C. Erhan T. (2006) "The effect of geotechnical factors on blasting induced ground vibration particle velocity" *J. Tunnelling and Underground Space Technology* 21, pp. 235
- New BM. (1986) "Ground vibration caused by civil engineering works" Transport and Road Research Laboratory, Research Report 53;1986;19 pp.
- Nicholls H. R. Johnson C.F. and Duvall W.I. (1971) "Blasting vibration effects on structures" US Bureau of Mines report of investigation 656.
- Nicholson R. (2005) "Determination of blast vibrations using peak particle velocity at Bengal Quarry, in St Ann, Jamaica" Lulea university of technology.
- Ozer U. (2008a) "Environmental impacts of ground vibration induced by blasting at different rock units on the Kadikoy–Kartal metro tunnel" *J. Engineering Geology* 100, pp. 82–90
- Ozer U. Kahrman A. Aksoy M. Adiguzel D. Karadogan A. (2008b) "The analysis of ground vibrations induced by bench blasting at Akyol quarry and practical blasting charts" *J. Environ Geol* 54, pp. 737–743
- Oriard, L. L. (1999) "The effects of Vibrations and Enviromental Forces" Cleveland: ISEE.
- Pal Roy P. (1993) "Putting ground vibration predictors into practice" *Colliery Guardian*, 241: pp.63–7.
- Pal Roy P. (1998) "Characteristics of ground vibrations and structural response to surface and underground blasting" *J. Geotechnical and Geological Engineering* 16, pp.151–166

- Rai R. Shrivastva B. K Singh T. N. (2005) "Prediction of maximum safe charge per delay in surface mining" J. Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A),114, pp.227-231
- Raina A. K. Chakraborty A. K. Haldar A. Ramulu M. Choudhury P. B. Pal Roy P. Jethwa J. L. (2002) "Awareness of blast induced ground vibration and air overpressure in opencast mines in India, to mitigate human annoyance and complaints" MEJ3(12): pp.14–21.
- Raina A. K. Haldar A. Chakraborty A. K. Choudhury P. B. Ramulu M. Bandyopadhyay C. (2004) "Human response to blast-induced vibration and air-overpressure:an Indian scenario" J. Bull Eng Geol Env 63, pp. 209–214
- Ramulu M. Chakraborty A. K. Sitharam T. G. (2009) "Damage assessment of basaltic rock mass due to repeated blasting in a railway tunnelling project – A case study" J. Tunnelling and Underground Space Technology 24, pp. 208–221
- Rosenthal M. F. and Morlock G. L. (1987) "Blasting guidance manual" U.S Office of surface mining reclamation and enforcement
- Savely J. P. (1989) "Designing a final wall blast to improve stability" Society of mining engineering
- Singh P. K. Vogt W. Singh R. B. Singh M. M. Singh D. P. (1997) "Response of surface structures to rock blasting" J. Mineral Resource Engineering 6 (4), pp.185–194
- Singh P. K. (2002) "Blast vibration damage to underground coal mines from adjacent open-pit blasting" J. Rock Mechanics & Mining Sciences 39, pp. 959–973
- Singh T. N. (2004) "Artificial neural network approach for prediction and control of ground vibrations in mines" J. Mining Technology, 113, p. 251
- Singh P. K. Roy M. P. Singh R. K. (2005) "Responses of roof and pillars of underground coal mines to vibration induced by adjacent open-pit blasting" J. Environmental Geology 47, pp. 205–214
- Singh T. N. and Singh V. (2005) "An intelligent approach to prediction and control ground vibration in mines" J. Geotechnical and Geological Engineering 23, pp. 249–262
- Siskind D. E. Stagg M. S. Kopp J. W. Dowding C. H. (1980) "Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting" US Bureau of Mines Report of Investigation 8507.
- Smith P. D. Hetherington J. G. (1994) "Blast and blasting loading of structure", 1994
- Tantawy M. M. (2009) "A neural network for prediction and control of blasting vibrations in Assiut (Egypt) limestone quarry" J. Rock Mechanics & Mining Sciences 46, pp. 426–431
- Thoenen J. R. and Windes S. L. (1942) "Seismic Effects of Quarry Blasting" U.S. Bureau of Mines Bulletin 442
- Tripathy G.R. and Gupta I. D. (2002) "Prediction of Ground Vibrations due to Construction Blasts in Different Types of Rock" J. Rock Mech. Rock Engng, 35 (3), pp. 195–204
- Uysal U. Erarslan K. Cebi M. K. Akcakoca H. (2008) "Effect of barrier holes on blast induced vibration" J. Rock Mechanics & Mining Sciences 45, pp.712–719
- Valliappan S. and Ang K. K. (1988) "Finite Element Analysis of Vibrations Induced by Propagating Waves Generated by Tunnel Blasting" J. Rock Mechanics and Rock Engineering 21, pp.53-78

Abstract:

Like all mining activities, the blasting projects have some undesirable environmental by-products which should be controlled. These undesirable products are mainly: the blast induced vibration (whether ground or air), fly rock, produced dust and fumes. In Shahrood Cement Company, to produce limestone as a raw material for cement production, the mining activities are being preformed using drilling and blasting. The blasting projects result in producing undesirable by-product in the limestone mine and surrounding areas. One of such by products is the uncontrolled air and ground vibration which effect harmfully on the environment. Therefore the necessity of a research to record and study the vibrations seemed to be critical. The filed observations were done in the study area and all needed parameters were measured using seismograph. Following, three datasets obtained from literature were employed to extend and generalize the measured database. To establish a reliable relationship between the effective factors on vibration and the produced vibration, a vibration index should be first introduced and the most effective parameters on vibration should be selected. Considering previous researches, the peak particle velocity was chosen as ground vibration index and the measured air pressure in db as air vibration index. The maximum charge per delay and distance from blast site were selected as most effective parameters on vibration. To estimate the air and ground vibration based on theses parameters three approaches were used including: empirical relations, neural network and neuro-fuzzy network. Using the empirical method the best fitted equation was achieved and some standard diagrams were obtained using the suitable standards. The allowable amount of maximum charge per delay can be predicted using such standard diagrams. As an alternative, a neural network

was employed to predict the peak particle velocity based on the maximum charge per delay and distance from blast site. Next, a neuro-fuzzy network was used to predict the peak particle velocity based on the maximum charge per delay and distance from blast site. The results of neural and neuro-fuzzy systems were satisfactory and reliable.

Key words: blasting; air vibration, ground vibration, peak particle velocity, vibration prediction



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

Prediction of blast induced vibrations in Shahrood Cement Company

Mehdi Kamali

Supervisor(s):

**Farhang Sereshki
Mohammad ataei**

Date: 88/11/17



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

تخمین میزان لرزه‌های حاصل از آتشکاری در کارخانه سیمان شاهرود

مهدی کمالی

اساتید راهنما :

فرهنگ سرشکی

محمد عطایی

ماه و سال انتشار : زمستان ۸۸