

## پیش بینی سرعت ذره‌ای حداکثر لرزش زمین ناشی از انفجار با استفاده تحلیل نتایج حاصل از شرایط متعدد ژئومکانیکی

حسن مومیوند

ارومیه بلوار دانشگاه کیلومتر ۱۱ جاده سرو دانشگاه ارومیه، دانشکده فنی، گروه مهندسی معدن  
h.moomivand@urmia.ac.ir

### چکیده

تأثیر لرزش زمین ناشی از انفجار معادن در صدمه به سازه‌های اطراف یکی از معضلات حاد است. مهندس طراح آتشیاری در ابتدا نیاز است به عواقب لرزش زمین ناشی از انفجار آگاهی و اشراف داشته و تا حد امکان میزان سرعت ذره‌ای حداکثر لرزش زمین ناشی از انفجار با استفاده از راه کاری شفاف به صورت تقریبی پیش بینی نماید. سرعت ذره‌ای حد اکثر (PPV) در هر نقطه تابعی از فاصله تا محل انفجار (R) و مقدار خرج ماده منفجره مصرفی (W) است و ترکیب این دو پارامتر فاصله مقیاس شده  $(R/W^{0.5})$  نامیده می‌شود. پژوهش‌های متعددی در مورد رابطه بین سرعت ذره‌ای حداکثر و فاصله مقیاس شده (SD) به صورت رابطه  $PPV = K(SD)^{-b}$  در محل‌های دارای شرایط مختلف ژئومکانیکی انجام شده است. رابطه بین سرعت ذره‌ای حداکثر و فاصله مقیاس شده برای نتایج حاصل از تعداد ۴۴ محل و معدن دارای سنگ‌های مختلف همچون آهک، گرانیت، کوارتزیت، ماسه سنگ، لیگنیت و سایر شرایط به صورت کلی مورد (یک جا) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در محل‌های مختلف مقدار پارامتر K از ۸۷/۱۱ تا ۴۷۵۲۳ و مقدار پارامتر b از ۰/۴۷ تا ۳/۳۴ تغییرات نشان می‌دهند. چون توده‌های سنگ و خاک اطراف محل انفجار ناهمگن و ناهمسانگرد بوده و ویژگی‌های ژئومکانیکی محیطی که امواج از آنها عبور می‌نمایند متغیر هستند، حتی برای یک نوع سنگ همچون آهک این تغییرات دارای بازه قابل توجهی است. به رغم این که پیش‌بینی لرزش زمین ناشی از انفجار در اغلب پروژه‌ها موضوعی اجتناب ناپذیر است، انجام آزمایش‌های گران قیمت برجا به منظور تعیین رابطه بین سرعت ذره‌ای حداکثر به عنوان تابعی از فاصله مقیاس شده تا کنون در ایران به ندرت انجام شده است. بنابر این نتایج تحلیل به عمل آمده که طیف وسیعی از شرایط مختلف را در بر می‌گیرد می‌تواند راهنمای مفیدی به منظور آگاهی و پیش‌بینی صدمات ناشی از انفجار برای مهندس طراح باشد.

**کلمات کلیدی: لرزش زمین، انفجار، سرعت ذره‌ای، فاصله مقیاس شده**

### ۱- مقدمه

در کشور ما هر سال تعدادی معادن از جمله سنگ آهک کارخانه‌های سیمان با استخراج سالیانه چند میلیون تن در نزدیک راه‌های آسفالتی و اماکن مسکونی بخش‌ها و شهرها به علت توجیه اقتصادی در رابطه با باربری و غیره طراحی شده و مورد بهره برداری قرار می‌گیرند. پس از طراحی معادن و ساخت کارخانه‌ها گاه‌گاه کارشناسان متوجه شده‌اند که سازه‌های اطراف صدمه دیده و ساکنان محل معترض شده‌اند. در زمان مطالعه امکان‌پذیری و طراحی احداث چنین واحدهای صنعتی یا پس از راه‌اندازی، پیش‌بینی صدمات ناشی از لرزش زمین یکی از ضروریات است. حدود ۴۰ درصد انرژی ماده منفجره منتقل شده به سنگ صرف لرزش زمین می‌شود (برتا، ۱۹۹۰). تأثیر لرزش زمین ناشی از انفجار به صورت سرعت ذره‌ای حداکثر<sup>۱</sup> (PPV) زمین‌ساختگاه سازه اطراف محل آتشیاری در نظر گرفته می‌شود و آستانه ایمنی سازه‌ها با سرعت ذره‌ای حداکثر سنجیده می‌شود. در این زمینه پژوهش‌های پراکنده‌ای در سطح جهان به عمل آمده است (گاش و دامن، ۱۹۸۳، سینگ، ۱۹۹۸، کریمان و همکاران، ۲۰۰۱،

<sup>1</sup> - Peak particle velocity

کریمان، ۲۰۰۲، آدهیکاری و همکاران، ۲۰۰۲، کاکمک<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷، بخشنده امنیه، مزدیانفرد و سیامکی، ۲۰۱۰، سینگ و روی، ۲۰۱۰، بخشنده امنیه و سیامکی، ۱۳۹۱). پژوهش‌های انجام شده دلالت بر این دارند که سرعت ذره ای حداکثر تابعی از مقدار خرج مصرفی در هر انفجار و فاصله از محل انفجار است. هر یک از اندازه‌گیری‌های انجام شده مربوط به محل (شرایط) ویژه‌ای هستند که نتایج آنها با محل دیگر دارای تفاوت قابل توجهی است. اندازه‌گیری‌های بر جا بسیار گران قیمت بوده و در کشور ایران به ندرت آزمون‌هایی انجام شده است (پورقاسمی، ۱۳۷۹). از طرفی پیش بینی صدمات ناشی از لرزش زمین موضوع حادی شده است. تحلیل داده‌های سرعت ذره ای حداکثر به عنوان تابعی از فاصله مقیاس شده حاصل از شرایط مختلف نه تنها به شناخت هر چه بیشتر موضوع بلکه به پیش بینی صدمات ناشی از انفجار به مهندس طراح می‌تواند کمک نماید. در این تحقیق نتایج پژوهش‌های انجام شده در شرایط مختلف در مورد رابطه بین سرعت ذره ای حداکثر و فاصله مقیاس شده<sup>۲</sup> (SD) در راستای حل مشکلات مربوط به صدمات ناشی از انفجار به صورت کلی (یک جا) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته.

## ۲- لرزش زمین بر اثر انفجار

تمامی فرآیند انفجار در چند میلی ثانیه پس از انفجار اتفاق می‌افتد. در انفجار سنگ، منبع انرژی مواد منفجره و محیط حرکت، سنگ است. حرکت امواج لرزه‌ای طبیعی است و از طریق بسیاری از موارد مثل راه رفتن، صدای بسته شدن در و وقایع طبیعی زمین لرزه‌ای و انفجار به وجود می‌آید. فاصله ای که ذرات در یک ثانیه سیر می‌کنند سرعت نامیده می‌شود که با واحد میلی‌متر بر ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. سرعت ذره‌ای حداکثر، بیشترین میزان حرکت ذره است. گذشته از سرعت ذره‌ای حداکثر، فرکانس یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که عکس‌العمل‌های سازه‌ها را کنترل می‌نماید. فرکانس به ویژگی‌های محل، فاصله از محل انفجار و تأخیر ردیف چال‌های انفجار بستگی دارد. در انفجارهای سخت در فاصله ۱ تا ۲ متر فرکانس‌های انفجار می‌تواند تا هزاران هرتز برسد. اگر چه این مقدار در فواصل دورتر کاملاً کاهش می‌یابد اما در یک فاصله کمتر از ۶ متر همچنان خیلی بالا است. این فرکانس‌های بالا به گونه‌ای هستند که تجهیزات معمولی نمی‌توانند میزان آنها را اندازه‌گیری نمایند. تحقیقات دینامیک سازه‌ها اهمیت فرکانس امواج لرزه‌ای را در شرایط انفجارهای سخت نشان می‌دهد که در انفجارهای نزدیک یا سخت باید احتمال خطا را پایین آورد. قوانین موجود برای نوع انفجار و اثرات ناشی از انفجارهای سخت<sup>۳</sup> جوابگو نیست، چون در این زمینه مطالعه زیادی صورت نگرفته است و اکثر مهندسان از تجربیات خود در این زمینه استفاده می‌کنند. در انفجارهای سخت، تعیین شتاب‌های بالای ناشی از لرزش خیلی مشکل است این باعث غیر معتبر شدن داده‌های لرزه‌ای می‌شود.

فشار انفجار ماده منفجره در پله ماده معدنی یا سنگ به صورت موج ضربه در تمام جهات وارد محیط می‌شود. حدود ۴۰ درصد انرژی منتقل شده به سنگ صرف لرزش زمین، حدود ۳۸.۵ درصد صرف لرزش هوا و حدود ۱۵ درصد صرف خردایش سنگ در پله ماده معدنی بقیه صرف تولید شکاف، جابجائی سنگ‌های خرد شده، پرتاب سنگ و غیره می‌شود (پرتا، ۱۹۹۰). نواحی متأثر از موج ضربه را می‌توان به سه ناحیه تقسیم نمود. این سه ناحیه شامل ناحیه خرد شده، ناحیه تغییر شکل یافته و ناحیه لرزش هستند. در ناحیه خرد شده (پله ماده معدنی) تنش‌های دینامیکی ناشی از موج ضربه همچنین انعکاس آنها از سطح آزاد به صورت کششی بیشتر از مقاومت کششی سنگ بوده که باعث خرد شدن آن می‌شود. ناحیه تغییر شکل یافته در اطراف ناحیه خرد شده واقع می‌شود که در آن تنش دینامیکی ناشی از موج ضربه کمتر از حدی است که باعث خرد شدن سنگ شود. در این ناحیه

<sup>۱</sup>-Çakmak, Bezm- Baris

<sup>۲</sup>-Scaled distance

<sup>۳</sup>-Tight blast

سنگ ها در اثر موج ضربه تغییر شکل پلاستیک (دائمی) می یابند. چنانچه صفحات ضعیف (ناپوستگی ها) در این ناحیه در امتداد طول پله قرار داشته باشند، پدیده عقب زدگی باعث جدا شدن دهانه آنها می شود. ناحیه لرزش در اطراف ناحیه تغییر شکل یافته واقع می شود. در این ناحیه موج ضربه در حدی نیست که باعث تغییر شکل پلاستیک (دائمی) در سنگ ها شود. سنگ در این ناحیه تغییر شکل الاستیک یافته و پس از لرزش تغییر شکل بازگشت پذیر است و سنگ دارای رفتار الاستیک است. توده های سنگ و خاک در محل های مختلف دارای شرایط ژئومکانیکی مختلفی در ناحیه لرزش هستند، حتی در یک محل بخش های مختلفی از توده های سنگ ها و خاک می تواند وجود داشته باشد. سازه های ساخته شده در این ناحیه بر اثر لرزش زمین می توانند آسیب ببینند.

### ۳- سرعت ذره ای حداکثر به عنوان تابعی از مقدار خرج ماده منفجره و فاصله از محل انفجار

دو عامل وزن ماده منفجره در هر تأخیر و فاصله از محل انفجار تأثیر قابل توجهی بر لرزش زمین دارند. به این علت سرعت ذره حداکثر بیشتر بر مبنای دو عامل وزن ماده منفجره در هر تأخیر و فاصله از محل انفجار توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است. تأثیر ترکیب دو عامل وزن ماده منفجره در هر تأخیر و فاصله از محل انفجار به صورت فاصله مقیاس شده ارائه شده است. فاصله مقیاس شده از تقسیم فاصله به وزن ماده منفجره به دست می آید. دو نوع فاصله مقیاس شده یکی به صورت ریشه دوم مقیاس شده و دیگری به صورت ریشه سوم مقیاس شده به کار می رود. ریشه دوم فاصله مقیاس شده به شرح زیر است:

$$SD = \frac{R}{\sqrt{W}} \quad (1)$$

که در آن SD = فاصله مقیاس شده،

R = فاصله از محل انفجار به متر،

W = وزن ماده منفجره در هر تأخیر به کیلوگرم.

در بسیاری از موارد وقتی که ویژگی های ساختار انفجار مشخص شد، طراحی حد اکثر سرعت جابجائی ذرات به عنوان تابعی از ریشه دوم فاصله مقیاس شده (SD) تعیین می شود. ریشه دوم فاصله مقیاس شده مرسوم ترین رابطه در وضعیت های انفجار عمومی است که خرج به طور خطی (استوانه ای در داخل چال) قرار می گیرد. ریشه سوم فاصله مقیاس شده به شرح زیر است.

$$SD = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \quad (2)$$

ریشه سوم مقیاس شده برای انفجار در خیلی نزدیک (کمتر از ۶ متر) به کار می رود که خرج به صورت نقطه ای (متمرکز) یا حاوی مقادیر زیاد مواد منفجره مورد توجه قرار می گیرد.

روابط مختلفی برای پیش بینی سرعت ذره ای حد اکثر ناشی از لرزش زمین به عنوان تابعی از فاصله و وزن ماده منفجره ارائه شده است (امبرسی<sup>۱</sup> و هندرون<sup>۲</sup>، ۱۹۶۸، قاش و دامن<sup>۳</sup>، ۱۹۸۳، لویز و همکاران، ۱۹۹۵). معادله ای که برای پیش بینی سرعت ذره ای حداکثر در حالتی که مواد منفجره به شکل استوانه ای به کار رود، به صورت یک تابع توانی منفی است به شرح زیر است.

$$PPV = K(SD)^{-b} \quad (3)$$

که در آن PPV = سرعت ذره ای حداکثر بر حسب متر بر ثانیه،

<sup>۱</sup>-Ambraseys.  
<sup>۲</sup>- Hendron  
<sup>۳</sup>- Ghosh and Daemen

$SD =$  فاصله مقیاس شده ریشه دوم (معادله، ۱)،

$K =$  ضریب ثابت و

$b =$  توان ثابت است.

لرزش برای انفجارهای خیلی سخت می تواند با همان شکل با به کار بردن رابطه (۳) با جایگذاری فاکتور ریشه سوم مقیاس شده به جای فاکتور ریشه دوم مقیاس شده پیش بینی نمود. برای پیش بینی لرزش و کنترل اطلاعات خروجی ثبت شده لرزه نگارها در یک آرایش لرزه نگارها هر دو فرمول برای تعیین صحت داده ها می تواند به کار برده شود. اندازه گیری ها در شرایط انفجارهای سخت می تواند به سمت ایجاد داده های غیر صحیح منتهی شود.

#### ۴- تحلیل رابطه سرعت ذره ای حداکثر و فاصله مقیاس شده با استفاده از نتایج حاصل از شرایط مختلف

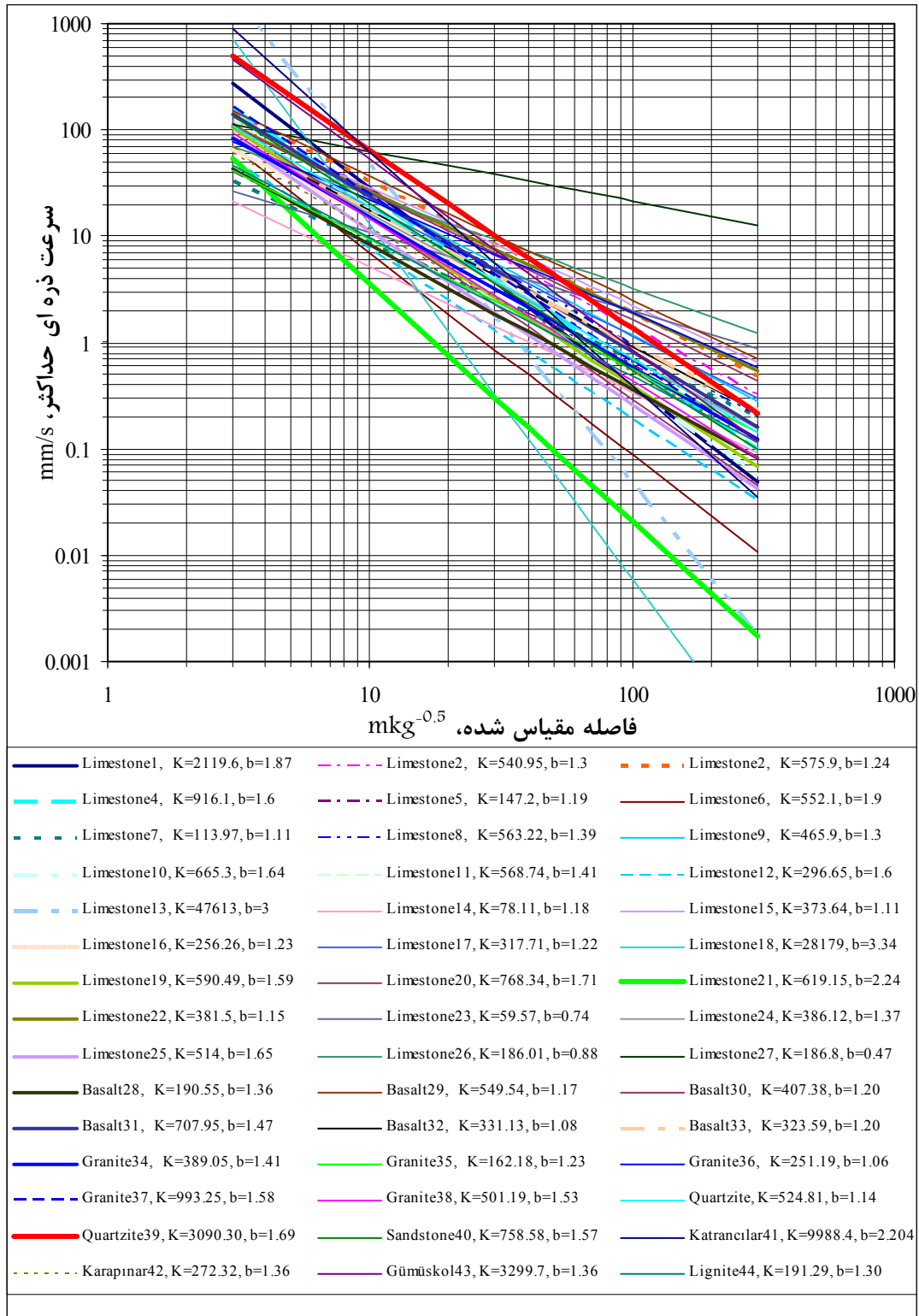
برای تعیین سرعت ذره ای حداکثر به عنوان تابعی از فاصله مقیاس شده از رابطه (۳) استفاده می شود. چنانچه از طرفین رابطه (۳) لگاریتم گرفته شود، رابطه جدید به صورت خطی حاصل می گردد.

$$\text{Log}(PPV) = K - b\text{Log}(SD) \quad (۴)$$

در معادله (۴) رابطه بین  $\text{Log}(SD)$  و  $\text{Log}(PPV)$  به صورت خطی است که  $K$  مقدار ثابت خط و  $b$  ضریب زاویه خط است. رابطه بین سرعت ذره ای حداکثر ( $PPV$ ) و فاصله مقیاس شده  $\left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)$  آنالیز رگرسیون می شود.

پژوهش های مختلفی در مورد رابطه بین سرعت ذره ای حداکثر و فاصله مقیاس شده در شرایط مختلف ژئومکانیکی انجام شده است. در روابط ارائه شده مقادیر پارامترهای  $K$  و  $b$  از یک محل به محل دیگر توسط پژوهشگران متعدد یکسان نیست. پژوهش انجام شده در یک معدن یا محل خاص برای نشان دادن رابطه بین سرعت ذره ای حداکثر و فاصله مقیاس شده در آن شرایط بخصوص است.

آنالیز رگرسیون مقادیر پارامترهای  $K$  و  $b$  در رابطه سرعت ذره ای حداکثر با ریشه دوم فاصله مقیاس شده برای نتایج حاصل از تعداد ۴۴ محل مختلف حاصل از منابع متعدد (ساستری و سینگ، ۱۹۹۶، سینگ، ۱۹۹۸، لاکسینارایم و همکاران، ۲۰۰۰، کریمان، ۲۰۰۲، تریپاتی و گوپتا، ۲۰۰۲، ساستری و همکاران، ۲۰۰۳، آدهیکاری و همکاران، ۲۰۰۴، کاکمک، ۲۰۰۷) به صورت کلی مورد بررسی قرار گرفت. رابطه بین سرعت ذره ای حداکثر ( $PPV$ ) و فاصله مقیاس شده  $\left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)$  برای تعداد ۴۴ محل و معدن دارای سنگ های مختلف همچون آهک، گرانیت، کوارتزیت، ماسه سنگ، لیگنیت و سایر شرایط در شکل (۱) نشان داده شده است. در محل های مختلف مقدار  $K$  از ۸۷/۱۱ تا ۴۷۵۲۳ و مقدار  $b$  از ۰/۴۷ تا ۳/۳۴ تغییرات نشان می دهند. حتی برای محیط دارای یک نوع سنگ همچون آهک این تغییرات دارای بازه قابل توجهی است. برای مثال اگر فاصله مقیاس شده که یک عامل خارجی و قابل کنترل است برابر ۱۰ باشد، سرعت ذره ای حداکثر در شکل (۱) از ۳/۵ تا ۶۰ میلیمتر بر ثانیه در تغییر است. چون توده های سنگ و خاک اطراف محل انفجار ناهمگن و ناهمسانگرد بوده و ویژگی های ژئودینامیکی محیطی که امواج از آنها عبور

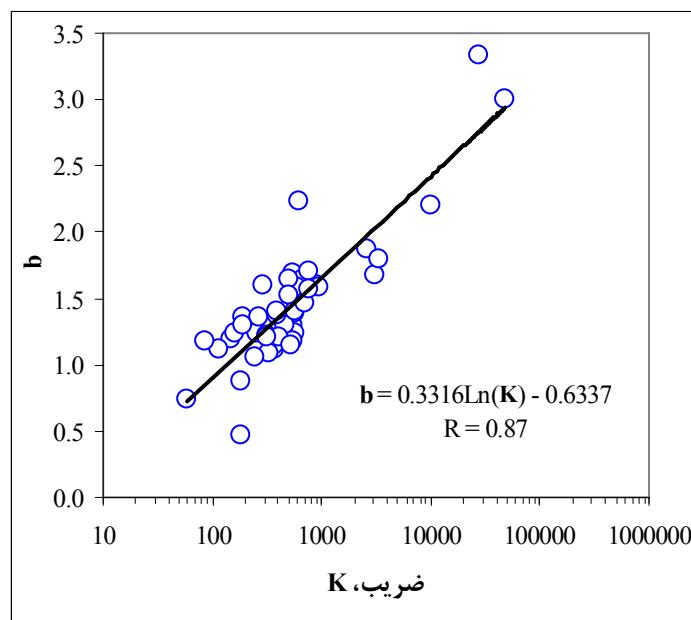


شکل ۱- رابطه بین سرعت ذره ای حداکثر (PPV) با ریشه دوم فاصله مقیاس شده  $\left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)$  حاصل از تعداد ۴۴ شرایط ژئومکانیکی

متنوع دارای مقادیر K و b مختلف (ساستری و سینگ، ۱۹۹۶، سینگ، ۱۹۹۸، لاکسینارایم و همکاران، ۲۰۰۰، کریمان، ۲۰۰۲، تریاتی و گوپتا، ۲۰۰۲، ساستری و همکاران، ۲۰۰۳، آدهیکاری و همکاران، ۲۰۰۴، کاکمک، ۲۰۰۷).

می نمایند، متغیر هستند. اگر چه مشخص است که سرعت ذره ای حداکثر با افزایش فاصله مقیاس کاهش می یابد و در برخی پژوهش های انجام شده رابطه ای جهت برآورد مقادیر  $K$  و  $b$  ارائه شده، مقایسه طیف وسیعی از نتایج در شکل (۱) نشان می دهد که نه تنها فاصله مقیاس شده به عنوان یک عامل خارجی و قابل کنترل، بلکه شرایط محیط لرزش به صورت ذاتی و غیر قابل کنترل تأثیر بسیار مهمی در سرعت ذره ای حداکثر دارا است. تغییرات مقادیر پارامترهای  $K$  و  $b$  را می توان به عنوان تغییر در شرایط ژئومکانیکی محل جستجو نمود که تاکنون پژوهشی در این مورد انجام نشده است و موضوعی سخت به نظر می رسد. این باعث پیچیده شدن یک راه کار برای برآورد رابطه سرعت ذره ای حداکثر (PPV) به عنوان تابعی از فاصله مقیاس شده  $\left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)$  شده است. طیف وسیعی از مقادیر پارامترهای  $K$  و  $b$  مربوط مجموعه روابط مختلف بین سرعت ذره ای حداکثر و فاصله مقیاس شده حاصل از شرایط مختلف در شکل (۱) نشان داده شده است. سرعت ذره ای حداکثر برای مقدار ثابت فاصله مقیاس شده دارای حداقل تا حداکثر مقدار است. همچنین رابطه بین پارامترهای  $K$  و  $b$  در شکل (۲) نشان داده شده است که  $b$  با افزایش  $K$  افزایش می یابد.

انجام آزمایش های برجا به منظور تعیین رابطه بین سرعت ذره ای حداکثر به عنوان تابعی از فاصله مقیاس شده بسیار گران قیمت است تا کنون در ایران به ندرت انجام شده است (پورقاسمی، ۱۳۷۹). مهندس طراح آتشیاری در ابتدا نیاز است به عواقب لرزش زمین ناشی از انفجار آگاهی و اشراف داشته و تا حد امکان میزان سرعت ذره ای حداکثر ناشی از انفجار هر چند به صورت تقریبی پیش بینی نماید تا بتواند در مورد پایداری سازه های اطراف در مقابل صدمات ناشی از انفجار قضاوت نماید که چنین صدماتی باعث رکود و ممانعت از اجرای پروژه و در نتیجه به هدر دادن سرمایه گذاری نشود. نتیجه تحلیل رابطه بین سرعت ذره ای حداکثر و فاصله مقیاس شده حاصل محل های متعدد می تواند برای پیش بینی سرعت ذره ای حداکثر ناشی از انفجار مفید باشد.



شکل ۲- رابطه بین ضریب  $K$  و توان  $b$  مربوط به نتایج حاصل از شرایط مختلف

ویژگی های توده های سنگ و خاک ناشی از زمین شناسی اطراف محل انفجار معدن می تواند تأثیر زیادی بر ویژگی های ژئودینامیکی داشته باشند. در زمین همگن و همسانگرد، ارتعاش در همه جهات به طور یکسان منتشر می شود اما در محیط با

ساختار پیچیده زمین شناسی انتشار امواج در جهات مختلف، متفاوت بوده و بنابراین تضعیف آنها در جهات مختلف نیز متفاوت است. وجود لایه های سست در مسیر انتشار باعث جذب سریعتر و بیشتر امواج لرزه ای می شود. از آنجا که ضرایب کشسان لایه های سست کمتر از لایه های سخت است، ارتعاشات لرزه ای در لایه های سست نسبت به لایه های سخت بیشتر مستهلک می شوند. نتیجه این رفتار باعث خواهد شد که انرژی لرزه ای در هنگام عبور از یک محیط سخت (مانند سنگ های آذرین یا متراکم) و ورود به یک محیط نرم (مانند شیل یا خاک) دامنه سرعت و شتاب ارتعاش جابجایی ذرات به میزان قابل توجه افزایش یابد. اگر سازه ای روی چنین ساختگاهی بنا شده باشد، طبیعتاً انتظار می رود انرژی لرزه ای بتواند روی آن سازه اثر نامطلوب تری نسبت به سازه ای که روی یک ساختگاه سخت بنا نهاده شده داشته باشد. پراکنندگی وسیع مقادیر پارامترهای  $K$  و  $b$  در رابطه سرعت ذره ای حداکثر مربوط به ویژگی های توده های سنگ و خاک محل اطراف انفجار می تواند باشد.

### ۵- پیش بینی فاصله ایمن برای لرزش زمین

هنگامی که در یک معدن روباز عملیات آتشفاری انجام می گیرد، فاصله ایمن برای لرزش زمین در نظر گرفته می شود. در این زمینه ویس<sup>۱</sup> (۱۹۸۱) نموداری را در ارتباط با تخریب ناشی از لرزش زمین در رابطه با سرعت ذره ای حداکثر ارائه نمودند که در شکل (۳) نشان داده شده است. در روش ارائه شده توسط این محقق، شرایط ساختمانها و سازه ها بطور جداگانه به چهار دسته تقسیم بندی شده است. نکته قابل توجه این است که نمودار فاصله مقیاس شده بر اساس سرعت ذره ای حداکثر برای هر معدنی (محلی) با توجه تغییرات ویژگی های ژئودینامیکی توده های سنگ و خاک ناهمگن و ناهمسانگرد می تواند تغییر نماید. یعنی این که برای هر محلی یک نمودار ویژه ای حاصل می شود (شکل، ۱). با توجه به نوع سازه ها از روی شکل (۳) سرعت ذره ای حداکثر که منجر به تخریب آن سازه خواهد شد، بدست می آید. سپس در هر معدن با اندازه گیری سرعت ذره ای حداکثر و فاصله مقیاس شده، می توان مقادیر  $b$  و  $K$  با استفاده آنالیز رگرسیون خطی در رابطه (۴) تعیین نمود که در ادامه با استفاده از رابطه (۱) فاصله ایمن سازه های مختلف برای خرج ویژه ثابت از محل انفجار قابل محاسبه خواهد شد.

سرعت ذره ای حداکثر و فاصله مقیاس شده به ندرت در ایرن اندازه گیری می شود. بنابر این تحلیل کلی نتایج که در شکل (۱) نشان داده شده است به عنوان راه کاری می تواند جهت آگاهی مهندس طراح و پیش بینی فاصله ایمن برای پایداری سازه های اطراف محل انفجار بسیار مفید واقع شود. شکل (۱) نشان می دهد اگر فاصله مقیاس شده خیلی زیاد باشد سرعت ذره ای حداکثر خیلی کم خواهد بود. در چنین شرایطی در هنگام طراحی با استفاده از شکل (۳) در خصوص آستانه پایداری، ممکن است چنین نتیجه گیری شود که سازه های اطراف در مقابل صدمات ناشی از لرزش زمین پایدار هستند و حتی نیازی به انجام آزمایش های سخت و پرهزینه برجا نباشد. چنانچه فاصله مقیاس شده خیلی کم و سرعت ذره ای حداکثر خیلی زیاد باشد (شکل، ۱) با استفاده از شکل (۳) می توان میزان پایداری سازه را به صورت تقریبی پیش بینی نمود و بعد از چنین بررسی، چنانچه لازم باشد آزمون های گران قیمت برجا را انجام داد.

### ۵- نتیجه گیری

۱- در پیش بینی سرعت ذره ای حداکثر ناشی از انفجار راه کارهای متعددی ارائه شد. در شرایط معمولی برآورد سرعت ذره ای حداکثر به عنوان تابعی از ریشه دوم فاصله مقیاس شده  $\left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)$  مناسب تر است.

<sup>۱</sup> - Wiss

۲- سرعت ذره‌ای حداکثر با افزایش فاصله مقیاس به عنوان عامل خارجی قابل کنترل کاهش می‌یابد. اما رابطه بین سرعت ذره‌ای حداکثر و فاصله مقیاس شده با توجه به شرایط ژئومکانیکی متغیر در محیط معادن مختلف یکسان نبوده و دارای فرمول واحدی نمی‌باشد. مقدار K از ۸۷/۱۱ تا ۴۷۵۲۳ و مقدار b از ۰/۴۷ تا ۳/۳۴ برای محل‌ها و معادن مختلف تغییرات نشان می‌دهند. چنین تغییراتی گویای این واقعیت است که محیط حامل امواج بر سرعت ذره‌ای حداکثر دارای تأثیر قابل توجهی است.

۳- به علت این که سرعت ذره‌ای حداکثر به ندرت در کشور اندازه‌گیری می‌شود و تأثیر لرزش زمین ناشی از انفجار معادن در صدمه به سازه‌های اطراف یکی از معضلات حاد است، نتایج این تحقیق می‌تواند نسبت به اشراف مهندس طراح و پیش‌بینی سرعت ذره‌ای حداکثر تا حد امکان مفید باشد.



شکل ۳ - حد تخریب ساختمانها بر اساس سرعت ذره‌ای حداکثر (ویس، ۱۹۸۱).

## ۶- مراجع

- بخشنده امینیه، ح. و سیامکی، ع. (۱۹۹۱). "طراحی الگوی انفجار با استفاده از بسامد غالب و بیشینه مجاز سرعت ذرات"، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۶، شماره ۲۰، صفحه ۲۰-۲۹.
- پور قاسمی، م. (۱۳۷۹). "شبیه‌سازی لرزش زمین ناشی از انفجار و بررسی اثرات تأخیر بر لرزش در معدن مس سرچشمه کرمان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

- Adhikari, G.R, Thereseraj, A.I., VenKatesh, H.S., Balachander, R. and Gupta, R.N. (2004). "Ground Vibration due to the Blasting in Limestone Quarries". Frblast, Vol. 8, No. 2, pp85-94.
- Ambrasey, N. R., Hendron, A. J. (1968). "Dynamic behavior of rock masses", In: Stagg, K. G., Zienkiewicz, O. C. (eds.) Rock mechanics in Engineering Practice. Wiley, London, pp. 203-227.
- Bakhshandeh Amnieh, H., Mozdianfard, M. R. and Siamaki, A. (2010), "Predicting of blasting vibrations in Sarcheshme Copper Mine by neural network", Safety Science, Vol. 48, pp. 319-325.
- Berta, G. (1990). "Explosives: an Engineering Tool", Italesplosivi, Milano, Italy.
- Çakmak, Bezm-Baris (2007). "Investigation of ground vibrations induced by production blasting at Usak Kisladag Gold Mine", MS. Thesis, Middle East Technical University
- Gosh, A. and Daemen, J.K. (1983). "A simple new blast vibration predictor based on wave propagation laws", 24<sup>th</sup>, U.S. Symposium on Rock Mechanics.
- Kahriman, A. (2002). "Analysis of ground vibrations caused by bench blasting at Can open pit Lignite mine in TurKey". Environmental Geology.
- Kahriman A., Gorgun, S., Karadogan, A. (2001). "Measurement of environmental issues (ground vibration and air blast) arisen from rock blasting and investigations for establishing damage criterion", Istanbul University. Turkey Scientific and Technique Research Society (TUBITAK) Report of Investigation Project no YDABCAG-199Y027.





- Laxinarayan, V., Parihar, C.P. and Shah, O.P. (2000). "Control of Blast Induced Ground Vibration Near Surface Structures – A Case Study". In: Proceedings of the National Symposium on Drilling and Blasting for the Next Millennium, Bhubaneswar, January 17–18, pp. 154–158.
- Lopez Jimeno, C., Lopez Jimeno, F. and Ayala Carcedo, F.J. (1995). "Drilling and Blasting of Rock" Translated by Visser De Ramivo, Y., A.A. Balkema, p. 387.
- Sastry, V.R. and Singh, D.P. (1996). "Blasting in Surface Mines: Environmental Concerns and Control Measures", In: Proceedings of the National Seminar on Drilling and Blasting, Bhubaneswar, September 20–21, pp. 163–168. 9.
- Sastry, V.R., Teggi, V. and Chander, K.R. (2003). "ShocK Tube Initiation for Eco-Friendly Blasting: A Few Case Studies". J. Inst. Eng. (India) – Mining Div. 83, pp. 41–46.
- Singh, P.K. (1998). "A Study on Ground Vibrations due to Rock Blasting". Ph.D. Thesis, Technical University of Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, Germany.
- Singh, P. K. and Roy, M. P. (2010). "Damage to surface structures due to blast vibration", International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol. 47, pp. 949-961.
- Tripathy, G. R. and Gupta, I. D. (2002). "Prediction of ground vibrations due to construction blasts in different types of rock", Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 35, pp. 195–204.
- Wiss, J. F. (1981). "Construction vibrations: state of the art", Journal of the Geotechnical Division, ASCE, Vol. 94 No.9, pp. 167–181.