

# مدیریت، ارزیابی و سنجش خطر ناشی از لرزش زمین بر اثر انفجار در پروژه‌های معدنی: مطالعه موردی سد رودخانه‌ای شور

مهدی حسنی پناه - باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران.  
هادی مختاری\* - استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.  
حسن بخشنده امنیه - دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۱

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۵

## چکیده

در سال‌های اخیر، مهندسی معدن به عنوان یکی از حوزه‌های حساس ارزیابی و سنجش خطر مورد توجه قرار گرفته است. عملیات آتش‌کاری یکی از روش‌های متداول برای خردایش سنگ در پروژه‌های معدنی به حساب می‌آید. لرزش زمین مهم‌ترین اثر نامطلوب عملیات آتش‌کاری است که در صورت نبود واپایش، موجب افزایش احتمال خسارت بر محیط اطراف از جمله ساختمان‌های مجاور و نیز انسان می‌شود. در این مقاله از نظام مهندسی سنگ به منظور ارزیابی خطر لرزش زمین ناشی از عملیات انفجار در ناحیه سد رودخانه‌ای شور استفاده شده است. این مدل مبتنی بر ماتریس اندرکنش و ضریب آسیب‌پذیری و بر اساس ۸ پارامتر مؤثر بر شدت لرزش زمین، به ارزیابی خطر تولید شده می‌پردازد. سد رودخانه‌ای شور مجاور معدن مس سرچشمه و در استان کرمان است که هسته‌ی این سد تحت تأثیر لرزش‌های تولیدشده از انفجار قرار دارد. بنابراین، ارزیابی خطر ناشی از لرزش‌های زمین امری مهم تلقی می‌شود. به منظور ارزیابی خطر ناشی از انفجارهای ناحیه مورد بررسی، از اطلاعات ۲۰ انفجار استفاده شده است. در نهایت بر اساس تحلیل ماتریس اندرکنش و نیز ضرایب آسیب‌پذیری به دست آمده، خطر ناشی از انفجارهای بررسی شده در این مطالعه موردی در حد متوسط قرار می‌گیرد.

کلیدواژه: عملیات آتش‌کاری، لرزش زمین، ارزیابی خطر، نظام مهندسی سنگ، ماتریس اندرکنش.

## A Methodology for Risk Evaluation and Assessment due to Ground Vibration in the Mining Operations: Shur River Dam Case Study

Mahdi Hasani Panah<sup>1</sup> Hadi Mokhtari<sup>\*2</sup> Hasan Bakhshande Amnieh<sup>3</sup>

### Abstract

During recent years, mining engineering is considered as one of the crucial fields of risk evaluation and assessment. Blasting is a common technique for rock excavation in mining projects. However, blasting has several undesirable effects on surrounding area. Ground vibration is one of the most important undesirable effects of blasting operation and may cause substantial damage to nearby structures as well as human beings. The Shur river dam is in the vicinity of Sar-cheshmeh copper mine, in Kerman province, Iran. The core of this dam is affected by ground vibrations resulting from blasting operations in this area and therefore, the risk evaluation in this dam is necessary. In this paper, based on the basic concepts of rock engineering systems (RES) approach, a new model for the risk evaluation of ground vibrations at the Shur river dam area is developed. The evaluation risk on the proposed model is based on interaction matrix, vulnerability index and effective parameters on the level of ground vibrations. For the risk evaluation of ground vibration in this area, a database comprising of 20 blast events were prepared and utilized. The obtained results showed that overall risk of ground vibrations for the studied blasting operations is at the medium level. The developed model in this study may be useful for a preliminary stage of blasting design.

**Keywords:** Blasting operation, Ground vibration, Risk assessment, Rock engineering system, Interaction Matrix

1 Researcher, Young Researchers and Elite Club, Qom, Iran.

2 Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran; mokhtari\_ie@kashanu.ac.ir

3 Associate Professor, School of Mining, College of Engineering, University of Tehran, Tehran 11155-4563-Iran.

## ۱. مقدمه

انجام شده است [۹ و ۱۰]. این روش در مهندسی سنگ نیز بسیار کاربردی است. به طور مثال، می‌توان به تحقیقات آقای شانگ<sup>۳</sup> و همکاران در استفاده از این نظام در تحلیل پایداری شیب‌ها، طراحی تونل‌ها و سازه‌های زیرزمینی اشاره کرد [۱۱]. تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌ی ارزیابی ناپایداری تونل‌ها با استفاده از نظام مهندسی سنگ توسط آقای شین<sup>۴</sup> و همکاران صورت گرفته است [۱۲]. همچنین استفاده از این نظام در ارزیابی پایداری شیب در معادن توسط محققان مختلف انجام شده است [۱۳ و ۱۴]. در مقاله حاضر، ارزیابی خطر ناشی از لرزش‌های زمین در پی عملیات آتش‌کاری با استفاده از نظام مهندسی سنگ انجام شده است.

## ۲. مطالعه موردی

سد رودخانه‌ای شور در جنوب استان کرمان و به منظور انباشت باطله برای طرح‌های توسعه‌ای و مطابق با استانداردهای بین‌المللی زیست‌محیطی در مجتمع مس سرچشمه با هزینه‌ای بالغ بر ۳۳۵ میلیارد ریال و در مدت ۴۲ ماه احداث شده است. این سد با ارتفاع ۸۵ متر و طول تاج ۶۷۵ متر، بلندترین سد هسته آسفالتی ایران محسوب می‌شود که ظرفیت نگهداری ۳۴ میلیون مترمکعب آب را دارد (شکل ۱). از لحاظ لرزه‌خیز بودن، این سد در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی بسیار بالا قرار گرفته است به طوری که ضریب آن برابر با ۰٫۸g است. به منظور تأمین مصالح مورد نیاز برای احداث دیواره سد، انفجارهای متعددی در نزدیکی سازه سد انجام شده است. در این ناحیه با توجه به انفجارهای انجام‌شده و نیز حساسیت سازه هسته‌ی آسفالتی سد شور، تحقیقاتی برای ارزیابی خطر ناشی از تولید لرزش زمین صورت گرفته است. به این منظور، مقادیر ۸ نوع پارامتر مؤثر بر شدت لرزش زمین برای ۲۰ عملیات انفجار اندازه‌گیری شده‌اند. بازه‌ی تغییرات این پارامترها در جدول ۱ بیان شده است.

## ۳. نظام مهندسی سنگ

برای اولین بار نظام‌های مهندسی سنگ در سال ۱۹۹۲ توسط هادسون ارائه و به طور فزاینده در حل مسائل پیچیده‌ی مهندسی استفاده شده است. به طور مثال، می‌توان به کاربردهای این نظام در مدیریت زباله‌ها و پسماندها، مدیریت زباله‌های هسته‌ای، مطالعات زیست‌محیطی، میزان آلودگی رودخانه‌ها، پایداری شیب و طراحی سازه‌های زیرزمینی و ارزیابی خطر ناشی از اثرات نامطلوب عملیات آتش‌کاری اشاره کرد [۱۵ و ۱۶]. در نظام‌های مهندسی سنگ، تأثیر متقابل پارامترهای مؤثر بر یکدیگر از طریق ماتریس اندرکنش صورت می‌گیرد. در این ماتریس، پارامترهای مؤثر روی قطر اصلی ماتریس قرار می‌گیرند و اندرکنش آنها با یکدیگر برحسب میزان آن با کدگذاری در عناصر غیر قطری ماتریس مشخص می‌شود. اندرکنش دو پارامتر A و B در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۷]. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تأثیر پارامتر A بر B، به صورت ساعت‌گرد و در سمت راست پارامتر A قرار می‌گیرد.

چال‌زنی و آتش‌کاری یکی از روش‌های متداول و اقتصادی برای حفر سنگ‌ها در معدن‌کاری و نیز پروژه‌های تونل‌زنی و عمرانی است. حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد انرژی آزاد شده از مواد منفجره صرف خرد شدن سنگ می‌شود و باقی‌تبدیل به اثرات نامطلوبی از جمله لرزش زمین، لرزش هوا، پرتاب سنگ و عقب‌زدگی خواهد شد [۱]. از میان اثرات مذکور، لرزش زمین به عنوان مهم‌ترین اثر نامطلوب عملیات آتش‌کاری در نظر گرفته می‌شود. این پدیده حدود ۴۰ درصد انرژی آزادشده از مواد منفجره را به خود اختصاص می‌دهد و در صورت نبود واپایش و پیشگیری، خسارت‌های جبران‌ناپذیری به محیط اطراف و مخصوصاً سازه‌های حساس مجاور وارد خواهد کرد [۲ و ۳]. ذکر این نکته ضروری است که لرزش زمین بر اثر عملیات آتش‌کاری اجتناب‌ناپذیر است، اما با اجرای الگوی مناسب حفاری و انفجار و در نظر گرفتن شرایط مهندسی و ایمنی می‌توان تا حد مناسبی در راستای کاهش اثرات نامطلوب این لرزش‌ها قدم برداشت. به این منظور، ارزیابی خطر ناشی از عملیات انفجار، امری مهم و ضروری است. عوامل مؤثر بر شدت لرزش زمین به دو دسته کلی تقسیم می‌شود که عبارتند از: عوامل واپایش‌پذیر و عوامل واپایش‌ناپذیر. عوامل واپایش‌پذیر به پارامترهایی اطلاق می‌شود که در اختیار مهندسان آتش‌کاری است و می‌توانند با در نظر گرفتن شرایط مختلف و بر اساس الگوهای حفاری و انفجاری تغییر کنند. از جمله این پارامترها می‌توان به بار سنگ، فاصله ردیفی چال‌ها، طول گل‌گذاری، میزان خرج ویژه، میزان حداکثر خرج مصرفی در هر تأخیر، میزان خرج کل استفاده‌شده، تأخیرهای ایجادشده میان ردیف‌های آتش‌کاری و نوع مواد منفجره اشاره کرد در حالی که عوامل واپایش‌ناپذیر به پارامترهایی گفته می‌شود که تحت اختیار مهندسان نیست و بستگی به شرایط منطقه و توده سنگ تغییر می‌کنند از جمله: مشخصات مکانیکی توده سنگ و تعداد درزه و شکاف موجود در آن [۴ و ۵]. سابقه‌ی تحقیقات در زمینه پیش‌بینی، واپایش و ارزیابی خطر ناشی از ایجاد لرزش زمین بسیار گسترده است. در اینجا به ذکر چند نمونه می‌پردازیم.

اُزرا<sup>۱</sup> و همکاران [۶] و نیز کریمان<sup>۲</sup> [۷] با توجه به اهمیت کمینه کردن اثرات زیست‌محیطی عملیات انفجار به پیش‌بینی لرزش‌های تولیدشده از انفجار پرداخته‌اند. در این تحقیقات، پیش‌بینی لرزش زمین با استفاده از فرمول‌های تجربی انجام و در نهایت، فرمولی برای تخمین لرزش در منطقه مورد نظر بیان شده است. بخشنده امنیه و همکاران [۸] کاربرد روش شبکه عصبی در پیش‌بینی لرزش‌های ایجادشده در معدن مس سرچشمه را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان‌دهنده‌ی دقت بالای این روش با کمترین مقدار خطاست. نظام مهندسی سنگ یکی از روش‌های کاربردی و مفید به منظور ارزیابی خطر و نیز پیش‌بینی عوامل نامطلوب آتش‌کاری به حساب می‌آید. به طور مثال، تحقیقات گسترده‌ای توسط فرامرزی و همکاران برای ارزیابی خطر ناشی از اثرات عقب‌زدگی و پرتاب سنگ در عملیات آتش‌کاری در معدن مس سونگون

۳۰

شماره هفتم  
بهار و تابستان  
۱۳۹۴

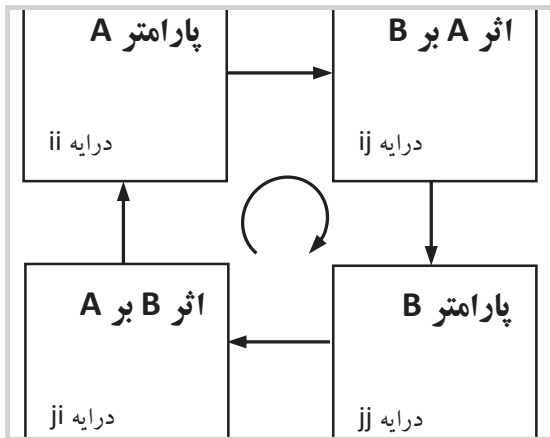
دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی

بهرین

مدیریت، ارزیابی و سنجش خطر ناشی از لرزش زمین  
بر اثر انفجار در پروژه‌های معدنی: مطالعه موردی سد رودخانه‌ای شور

3 .Shang  
4 .Shin

1 .Ozer  
2 .Kahrirman



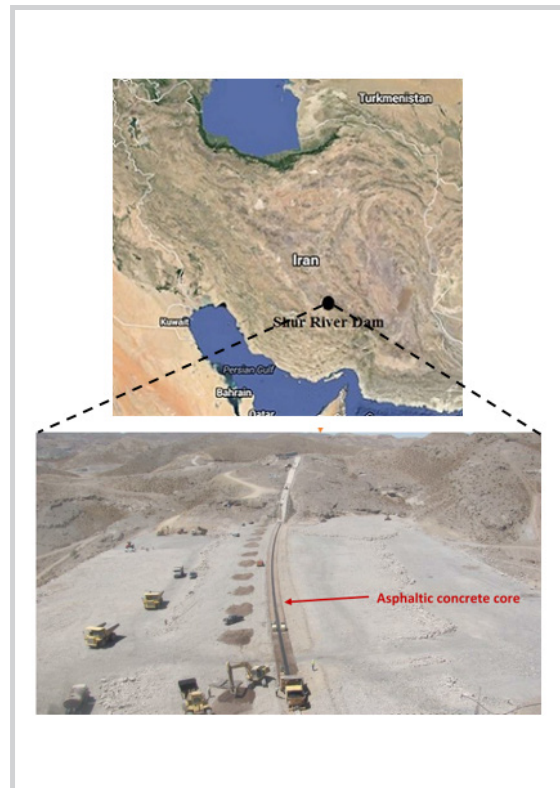
شکل ۲: ماتریس اندرکنش برای پارامترهای A و B

پارامتر	بازه تغییرات
(بار سنگ (متر	۲/۳-۴/۵
(ماکزیمم خرج آبی (کیلوگرم	۶۸۰-۳۸۵۰
(خرج ویژه (گرم بر تن	۱۳۷-۸۷۰
تعداد ردیف	۱-۵
(تأخیر زمانی (میلی ثانیه	۱۵-۳۰
(شیب چال (درجه	۹۰
(قطر چال (میلی متر	۱۲۵-۱۵۰-۱۶۲
(سرعت انفجار (متر بر ثانیه	۴۰۰

جدول ۱: بازه‌ی تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده با هدف ارزیابی خطر ناشی از لرزش زمین

پارامتر	مقدار
نبود وجود اندرکنش	۰
اندرکنش ضعیف	۱
اندرکنش متوسط	۲
اندرکنش قوی	۳
اندرکنش بحرانی	۴

جدول ۲: توصیف مقادیر قراردادی در ماتریس اندرکنش به روش نیمه عددی خبره



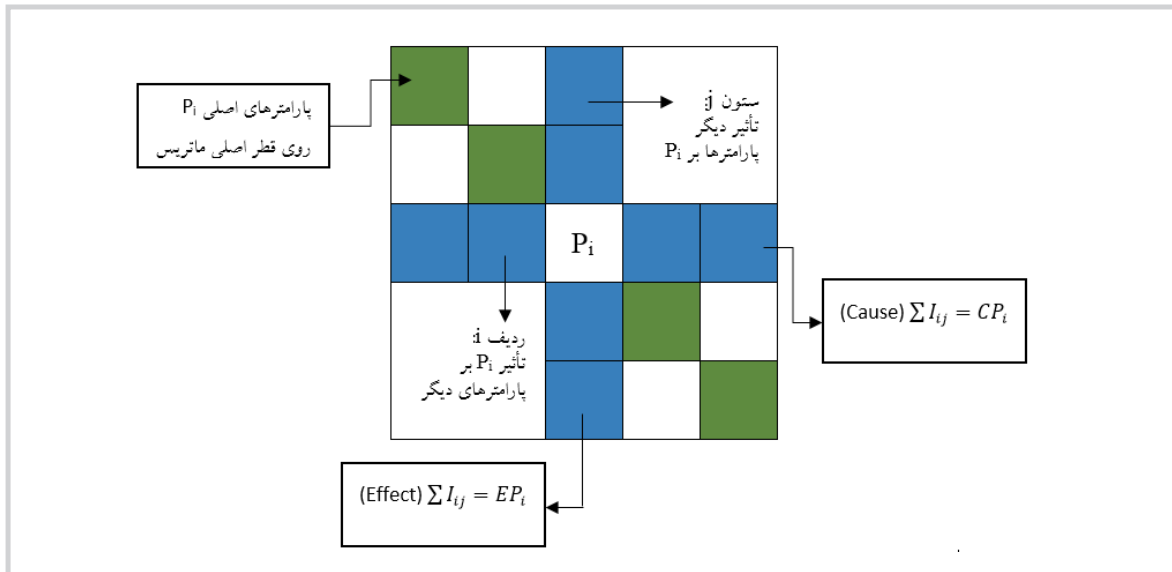
شکل ۱: موقعیت سد رودخانه‌ای شور

همین‌طور تأثیر پارامتر B بر A، به صورت ساعت‌گرد و در سمت چپ پارامتر B قرار می‌گیرد.

همچنین بر اساس نظریه هادسون، ۵ روش اساسی برای کدگذاری ماتریس اندرکنش وجود دارد که عبارتند از: روش استفاده از شیب نمودار پارامترها، روش صریح، روش دوتایی، روش تطبیقی و روش کدگذاری دوم به روش نیمه عددی خبره<sup>۱</sup>. از میان روش‌های مذکور، روش نیمه عددی خبره از مقبولیت بیشتری برخوردار است و به‌طور گسترده در ماتریس اندرکنش استفاده می‌شود. در حقیقت، این روش تعمیم‌یافته و اصلاح‌شده روش دوتایی است که دارای ۵ دسته کدگذاری به شرح جدول ۲ است [۱۸]. با توجه به نظریه هادسون، دید کلی از کدگذاری انجام‌شده در ماتریس اندرکنش در شکل ۳ قابل مشاهده است. در این شکل، ردیف مربوط به پارامتر  $P_1$  نشان‌دهنده‌ی تأثیر این پارامتر بر پارامترهای دیگر است در حالی که ستون مربوط به آن، نشان‌دهنده‌ی تأثیر پارامترهای دیگر بر  $P_1$  است [۱۷].

در ماتریس اندرکنش، مجموع کدهای ماتریس در یک ردیف به «مقدار اثرگذاری<sup>۲</sup>» و مجموع کدهای ماتریس در یک ستون به «مقدار تأثیرپذیری<sup>۳</sup>» تعبیر می‌شود. این مقادیر در شکل ۳ مشخص شده است. همچنین مقادیر «شدت اندرکنش<sup>۴</sup>»، «شدت غلبه<sup>۵</sup>» و «وزن پارامترها<sup>۶</sup>» بر اساس مقادیر اثرگذاری و تأثیرپذیری قابل محاسبه‌اند. فرمول‌های مربوط به مقادیر فوق عبارتند از [۱۹]:

- 1 .Expert Semi-Quantitative
- 2 .Cause
- 3 .Effect
- 4 .Interactive Intensity (Cause + Effect)
- 5 .Dominance (Cause - Effect)



شکل ۳: دید کلی از کدگذاری در ماتریس اندرکنش

طوره که در این جدول مشخص است، در صورتی که مقدار ضریب آسیب پذیری بین ۶۶ تا ۱۰۰ محاسبه شود، بیانگر این است که خطر ناشی از لرزش زمین در حد بالا تا خیلی بالا قرار دارد و می تواند منجر به تولید خسارت های جانی یا آسیب به سازه های اطراف شود. در این حالت، باید با انجام آتش کاری و واپایش شده و اتخاذ تدابیری به کاهش خطر پرداخت.

در سومین مرحله، رابطه ای بین مقادیر اندازه گیری شده ی لرزش زمین و مقادیر ضریب آسیب پذیری محاسبه شده تعیین خواهد شد. همچنین رابطه ای بین مقادیر اندازه گیری شده ی لرزش زمین و مقادیر ضریب لرزش زمین<sup>۲</sup> ارزیابی خواهد شد. برای محاسبه مقادیر ضریب لرزش زمین از رابطه ۵ استفاده می شود:

$$(۵) \quad GVI = \sum_{i=1} a_i \frac{Q_i}{Q_{max}}$$

در رابطه ۵، وزن مربوط به پارامتر، مقدار (درجه) پارامتر و ماکزیم مقدار اختصاص داده شده به پارامتر است. مقادیر بالای ضریب آسیب پذیری نشان دهنده ی این است که خطر ناشی از تولید لرزش زمین در حد بالایی قرار می گیرد و به عکس. همان طور که از رابطه ۴ و ۵ برداشت می شود با افزایش مقادیر ضریب آسیب پذیری، مقادیر ضریب لرزش زمین کم خواهند شد [۹].

#### ۴-۱. پارامترهای مؤثر بر میزان لرزش زمین

بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیقات گذشته، پارامترهای قابل واپایش و مؤثر بر شدت لرزش زمین در جدول ۴ ارائه شده است [۲۰-۲۲]. تأثیر هر یک از پارامترهای جدول ۴ بر شدت لرزش زمین متفاوت است. با افزایش بار سنگ بر میزان لرزش زمین افزوده می شود. این افزایش در مورد پارامترهای ماکزیم خرج

$$(۱) \quad C_{pi} = \sum_{j=1}^n I_{ij}$$

$$(۲) \quad E_{pj} = \sum_{i=1}^n I_{ij}$$

$$(۳) \quad a_i = \frac{(C_i + E_i)}{(\sum_i C_i + \sum_i E_i)} \times 100$$

#### ۴. به کارگیری نظام مهندسی سنگ در ارزیابی خطر ناشی از لرزش زمین

ضریب آسیب پذیری به عنوان مؤلفه اساسی نشست گرفته از نظام مهندسی سنگ در تحقیقات گسترده ای توسط بناردس و کلیمپاکس<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۴ ارائه شد. در آنجا از ضریب آسیب پذیری به منظور تعیین نواحی آسیب پذیر در عملیات تونل زنی تمام مقطع استفاده شد [۱۹]. در مطالعه حاضر، از ضریب آسیب پذیری به منظور ارزیابی خطر لرزش زمین ناشی از عملیات آتش کاری، استفاده خواهد شد. برای به کارگیری مدل مذکور، باید سه مرحله طی شود. در مرحله اول، پارامترهای مؤثر بر میزان خطر لرزش زمین مشخص و مقادیر مربوط به وزن دهی هر یک از آنها ارزیابی خواهند شد. در این مرحله می توان از اصول نظام مهندسی سنگ به منظور تعیین وزن پارامترهای مؤثر استفاده کرد. در مرحله دوم، ضریب آسیب پذیری<sup>۲</sup> بر اساس معادله ۴ ارزیابی می شود.

$$(۴) \quad VI = 100 - \sum_{i=1} a_i \frac{Q_i}{Q_{max}}$$

در رابطه ۴، وزن مربوط به پارامتر، مقدار (درجه) پارامتر و ماکزیم مقدار اختصاص داده شده به پارامتر است. بر اساس مقادیر به دست آمده از رابطه ۴، میزان ضریب آسیب پذیری به سه دسته تقسیم می شوند که در جدول ۳ ذکر شده اند [۱۹]. همان

حد خطر	ضریب آسیب پذیری
حد پایین تا متوسط	۰ تا ۳۳
حد متوسط تا بالا	۳۳ تا ۶۶
حد بالا تا خیلی بالا	۶۶ تا ۱۰۰

جدول ۳: تقسیم بندی حد خطر بر اساس ضریب آسیب پذیری

پارامتر	
$P_1$ بار سنگ	$P_8$ تأخیر زمانی
$P_2$ ماکزیمم خرج مصرفی در هر تأخیر	$P_6$ شیب چال
$P_3$ خرج ویژه	$P_7$ قطر چال
$P_4$ تعداد ردیف	$P_8$ سرعت انفجار

جدول ۴: پارامترهای مؤثر بر شدت لرزش زمین

حالت (بیشترین لرزش زمین) و امتیاز ۴ به منزله ی بهترین حالت (کمترین لرزش زمین) تعبیر می شوند. این امتیازبندی با توجه به نتایج تجربی و نظرات ارائه شده ی محققان مختلف [۲۳] و توسط متخصصان خبره انجام شده است. این امتیازبندی در جدول ۷ دیده می شود.

#### ۴-۲-۳. آنالیز خطر مربوط به لرزش زمین

به منظور ارزیابی خطر مربوط به لرزش زمین، ۸ پارامتر مؤثر در جدول ۴، برای ۲۰ عملیات آتش کاری به دقت اندازه گیری و ثبت شدند و طبق آنها، مقادیر ضریب آسیب پذیری و ضریب لرزش زمین برای هر عملیات آتش کاری محاسبه و در شکل شماره ۶ رسم شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می کنیم، بیشترین ضریب آسیب پذیری و در واقع، بیشترین خطر مربوط به عملیات آتش کاری شماره ۱۳ و کمترین میزان خطر مربوط به عملیات آتش کاری شماره ۳ است. همچنین بر اساس این شکل، خطرهای مربوط در حد پایین تا متوسط یا متوسط تا بالا قرار می گیرند.

#### ۵. جمع بندی و نتیجه گیری

در مقاله حاضر با هدف ارزیابی خطر ناشی از تولید لرزش زمین در عملیات های آتش کاری در سد رودخانه ای شور، از نظام مهندسی سنگ استفاده شده است. به این منظور، ۸ پارامتر مؤثر بر شدت لرزش زمین شامل بار سنگ، ماکزیمم خرج مصرفی لحظه ای، خرج ویژه، تعداد ردیف، تأخیر زمانی، شیب چال، قطر چال و سرعت ماده ی منفجره، برای ۲۰ عملیات آتش کاری به دقت اندازه گیری و ثبت شدند. این پارامترهای مؤثر بر قطر اصلی ماتریس اندرکنش که از ابزارهای نظام مهندسی سنگ است، قرار می گیرند. بر اساس نتایج به دست آمده از ارزیابی خطر مربوط به ۲۰ انفجار مورد بررسی در ناحیه سد رودخانه ای شور، انفجار شماره ۱۳ دارای بیشترین خطر و در حد متوسط (ضریب آسیب پذیری برابر ۴۸/۶۲۵) و انفجار شماره ۳ دارای کمترین خطر و در حد پایین (ضریب آسیب پذیری برابر ۲۴/۵۵) هستند. در نهایت، خطر کلی ناشی از لرزش زمین در ناحیه سد رودخانه ای شور، بر اساس میانگین ضرایب آسیب پذیری محاسبه شده، در حد متوسط قرار می گیرد. با توجه به فاصله زیاد بین نقاط انفجاری و سازه ی سد رودخانه ای شور، لرزش های ایجاد شده در این فاصله میرا شده و اثری بر سازه ی سد نخواهند داشت.

مصرفی در هر تأخیر، خرج ویژه، قطر چال و سرعت انفجار نیز صادق است. بر عکس پارامترهای فوق، با افزایش تعداد ردیف ها، تأخیرهای زمانی و شیب چال تا حد ۹۰ درجه، از میزان لرزش زمین کاسته می شود.

#### ۴-۲-۴. ماتریس اندرکنش و امتیاز بندی پارامترها

##### ۱-۲-۴. ماتریس اندرکنش

۸ پارامتر مؤثر در جدول ۴، روی قطر اصلی ماتریس اندرکنش قرار می گیرد و میزان مقادیر اثرگذاری و تأثیرپذیری مربوط به هر پارامتر در عناصر دیگر ماتریس بر اساس کدگذاری های انجام شده توسط متخصصان خبره با استفاده از روش نیمه عددی خبره، محاسبه می شوند. با توجه به مطالب ذکر شده، ماتریس اندرکنش برای پارامترهای تأثیرگذار بر شدت لرزش زمین، مطابق با جدول ۵ خواهد بود [۲۳]. با توجه به ماتریس اندرکنش در جدول ۵، مقادیر اثرگذاری، تأثیرگذاری، شدت اندرکنش، شدت غلبه و وزن پارامترهای مؤثر بر شدت لرزش زمین  $a_i$  محاسبه خواهند شد که در جدول ۶ بیان شده است. با استفاده از مقادیر ارائه شده در جدول ۶، بیشترین و کمترین مقادیر شدت اندرکنش به ترتیب برای پارامترهای  $P_1$  (بار سنگ) و  $P_8$  (سرعت انفجار) است. در مقایسه ای دیگر، بیشترین مقدار شدت غلبه مربوط به پارامتر  $P_7$  و کمترین آن مربوط به پارامترهای  $P_2$  (ماکزیمم خرج مصرفی در هر تأخیر) و  $P_8$  (تأخیر زمانی) است. روابط ذکر شده در شکل شماره ۴ قابل مشاهده است.

همچنین نموداری بر اساس علت-اثر<sup>۱</sup> در شکل ۵ ترسیم شده است. طبق این نمودار و با توجه به خط چین رسم شده در آن ( $E=C$ )، پارامترهایی که نقاط آن در زیر خط چین قرار گرفته اند به عنوان پارامترهای اثرگذار<sup>۲</sup> و پارامترهایی که نقاط آن در بالای خط چین قرار گرفته اند، به عنوان پارامترهای وابسته و اثرپذیر<sup>۳</sup> نامیده می شوند.

#### ۴-۲-۴. امتیاز بندی بندی پارامترها

برای محاسبه، لازم است مقادیر امتیازبندی هر پارامتر مشخص شود. این امتیازبندی بر اساس تأثیر این پارامترها بر لرزش زمین تعیین می شود. در کل، پنج دسته مختلف که با امتیازهای صفر تا ۴ مشخص شده اند، در امتیازبندی مورد استفاده قرار می گیرند به طوری که امتیاز صفر به منزله ی بدترین

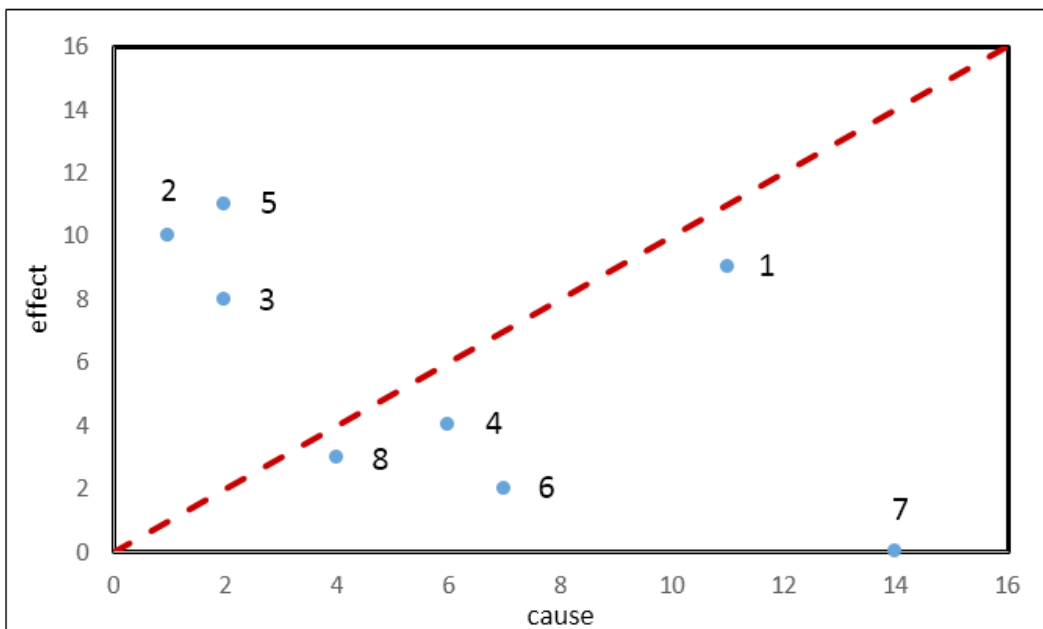
1 .Cause-Effect  
2 .Dominate  
3 .Subordinate

$P_1$	۲	۲	۲	۳	۲	۰	۰
۰	$P_2$	۰	۰	۱	۰	۰	۰
۲	۰	$P_3$	۰	۰	۰	۰	۰
۱	۱	۱	$P_4$	۳	۰	۰	۰
۰	۱	۰	۱	$P_5$	۰	۰	۰
۲	۲	۲	۰	۱	$P_6$	۰	۰
۳	۳	۲	۱	۲	۰	$P_7$	۳
۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	$P_8$

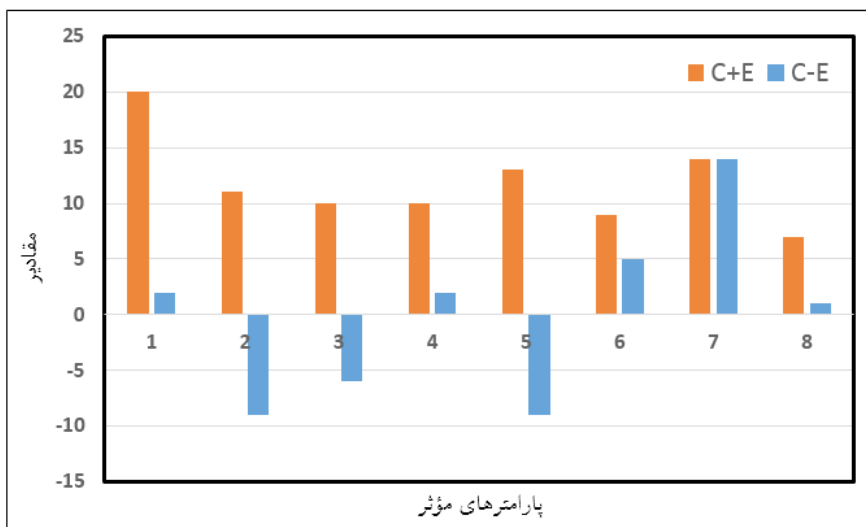
جدول ۵: ماتریس اندرکنش برای پارامترهای مؤثر بر شدت لرزش زمین

ردیف	پارامتر	C	E	C+E	C-E	$a_i$	$(\square) a_i$
۱	$P_1$	۱۱	۹	۲۰	۲	۰/۲۱	۲۱
۲	$P_2$	۱	۱۰	۱۱	-۹	۰/۱۲	۱۲
۳	$P_3$	۲	۸	۱۰	-۶	۰/۱۰.۵	۱۰/۵
۴	$P_4$	۶	۴	۱۰	۲	۰/۱۰.۵	۱۰/۵
۵	$P_5$	۲	۱۱	۱۳	-۹	۰/۱۴	۱۴
۶	$P_6$	۷	۲	۹	۵	۰/۰.۹۵	۹/۵
۷	$P_7$	۱۴	۰	۱۴	۱۴	۰/۱۵	۱۵
۸	$P_8$	۴	۳	۷	۱	۰/۰.۷۵	۷/۵
جمع		۴۷	۴۷	۹۴	۰	۱	۱۰۰

جدول ۶: مقادیر اثرگذاری، تأثیرپذیری، شدت اندرکنش، شدت غلبه و وزن پارامترهای مؤثر در شدت لرزش زمین



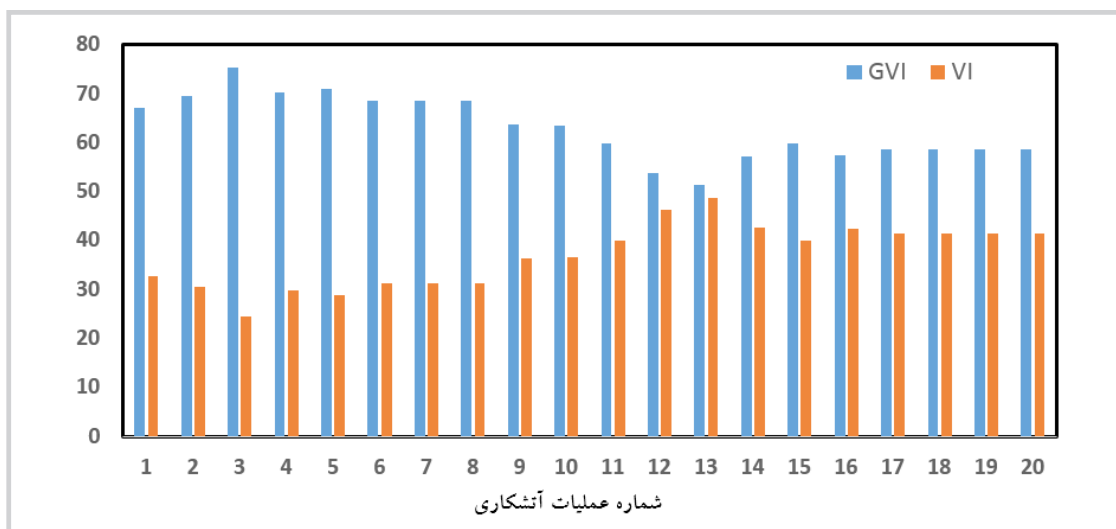
شکل ۵: پارامترهای اثرگذار و اثرپذیر



شکل ۴: مقادیر شدت اندرکنش (C+E) و غلبه (C-E) برای پارامترهای مؤثر بر شدت لرزش زمین

امتیازبندی						پارامتر	
۳>	۳-۵	۵-۷	۷-۹	>۹	محدوده	بار سنگ (متر)	
۴	۳	۲	۱	۰	امتیاز		
۸-۱۲	۱۲-۱۸	۱۸-۲۵	۲۵-۳۵	>۳۵	محدوده	تأخیر زمانی (میلی ثانیه)	
۰	۱	۲	۳	۴	امتیاز		
۹۰	۸۰-۹۰	۷۰-۸۰	۶۵-۷۰	۶۵>	محدوده	شیب چال (درجه)	
۰	۱	۲	۳	۴	امتیاز		
۳>	۳-۵	۵-۶	۶-۷	>۷	محدوده	تعداد ردیف	
۴	۳	۲	۱	۰	امتیاز		
۳۰۰>	۳۰۰-۴۰۰	۴۰۰-۵۰۰	۵۰۰-۶۰۰	>۶۰۰	محدوده	سرعت انفجار (متر بر ثانیه)	
۴	۳	۲	۱	۰	امتیاز		
۵۰۰>	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	-۴۵۰۰ ۳۰۰۰	>۴۵۰۰	محدوده	ماکزیمم خرج لحظه‌ای (کیلوگرم)
۵	۴	۳	۲	۱	۰	امتیاز	
۱۰۰>	۱۰۰-۱۵۰	۱۵۰-۲۰۰	۲۰۰-۲۵۰	-۳۰۰ ۲۵۰	>۳۰۰	محدوده	قطر چال (میلی متر)
۴	۳	۲	۱	۰	۰	امتیاز	
۱۲۵>	۱۲۵-۱۵۰	۱۵۰-۱۷۵	۱۷۵-۲۱۰	-۳۰۰ ۲۱۰	>۳۰۰	محدوده	خرج ویژه (گرم بر تن)
۰	۱	۳	۴	۳	۲	امتیاز	

جدول ۷: امتیازبندی پیشنهادی برای پارامترهای لرزش زمین



شکل ۶: ضرایب آسیب پذیری برای عملیات‌های آتشکاری بررسی شده

۳۵

شماره هفتم

بهار و تابستان  
۱۳۹۴

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مدیریت، ارزیابی و سنجش خطر ناشی از لرزش زمین  
بر اثر انفجار در پروژه‌های معدنی: مطالعه موردی سدرود خاندانی شور

## منابع و مراجع

- Affecting the Stability of Rock Slopes. *Engineering Geology*, 118(3-4), 82-92.
15. Bahri Najafi A, Saeedi GR, Ebrahimi Farsangi MA (2014). Risk analysis and prediction of out-of-seam dilution in longwall mining. *Int J Rock Mech Min Sci* 70:115-122
  16. Frough O, Torabi S.R, Sereshki F, Jalali S.E, (2013). Prediction of TBM Advance Rate Using Rock Engineering Systems, *Tunneling & Underground Space Engineering* 1: 115-127.
  17. Hudson JA (1992). *Rock engineering systems: theory and practice*. Ellis Horwood, Chichester.
  18. Frough, O, Torabi, S.R. (2013). An Application of Rock Engineering Systems for Estimating TBM Downtimes. *Engineering Geology*, 157, 112-123.
  19. Benardos AG, Kaliampakos DC (2004). A methodology for assessing geotechnical hazards for TBM tunnelling—illustrated by the Athens Metro, Greece. *Int J Rock Mech Min Sci* 41:987-999.
  20. Davies B, Farmer IW, Attewell PB, (1964). Ground vibrations from shallow sub-surface blasts. *Engineer (London)*, 553-9.
  21. Wiss JF, (1981). Construction vibrations, state-of-the-art. *J Geotech Eng ASCE*, Vol 107:167-81.
  22. Blair DP (2014). Blast vibration dependence on charge length, velocity of detonation and layered media. *Int J Rock Mech Min Sci* 65:29-39.
  23. Faramarzi F, (2011). Risk evaluation for blasting operations at surface mines using Interaction Matrix-Vulnerability Index, M.Sc. Thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
  1. Berta G (1990). *Explosives: an engineering tool*. Italesplosivi, Milano.
  2. B.P.E, (1981). Hemphill Gary, *Blasting Operations*, McGraw-Hill Book Company.
  3. Bhandari S (1997). *Engineering rock blasting operations*. Balkema publisher, Rotterdam.
  4. 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. *Environ Geol* 56:97-107.
  5. Ghasemi E, Ataei M, Hashemolhosseini H (2013). Development of a fuzzy model for predicting ground vibration caused by rock blasting in surface mining. *J Vib Control* 19:755-770.
  6. Ozer, O., Kahrman, A., Aksoy, M., Adiguzel, D., Karadogan, A., (2008). The analysis of ground vibrations induced by bench blasting at Akyol quarry and practical blasting charts, *Environ Geol*, Vol. 54, PP:737-743.
  7. Kahrman, A., (2004). Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 24, PP:887-892.
  8. Bakhshandeh Amnieh, M., Mozdianfard, M.R., Siamak, A., (2010). Predicting of blasting vibrations in Sarcheshmeh copper mine by neural network, *Safety Science*, Vol. 48, PP:319-325.
  9. Faramarzi F, Ebrahimi Farsangi M.A, Mansouri H, (2013). A RES-Based Model for Risk Assessment and Prediction of Backbreak in Bench Blasting, *Rock Mech Rock Eng* 46:877-887.
  10. Faramarzi F, Mansouri H, Ebrahimi Farsangi M.A, (2014). Development of Rock Engineering Systems-Based Models for Flyrock Risk Analysis and Prediction of Flyrock Distance in Surface Blasting, *Rock Mech Rock Eng* 47:1291-1306.
  11. Shang, Y. J., Wang, S. J., Li, G. C., & Yang, Z. F. (2000). Retrospective Case Example Using a Comprehensive Suitability Index (CSI) for Siting the Shisan-Ling Power Station. China. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37(5), 839-853.
  12. Shin, H. S., Kwon, Y. C., Jung, Y. S., Bae, G. J., & Kim, Y. G. (2009). Methodology for Quantitative Hazard Assessment for Tunnel Collapses Based on Case Histories in Korea. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(6), 1072-1087.
  13. KhaloKakaie, R., & Zare Naghadehi, M. (2012). The Assessment of Rock Slope Instability along the Khosh-Yeylagh Main Road (Iran) Using A Systems Approach. *Environment Earth Science*, 67(3), 665-682.
  14. Zare Naghadehi, M., Jimenez, R., KhaloKakaie, R., & Jalali, S. M. E., (2011). A Probabilistic Systems Methodology to Analyze the Importance of Factors

۳۶

شماره هفتم  
بهار و تابستان  
۱۳۹۴

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مدیریت، ارزیابی و سنجش خطر ناشی از لرزش زمین  
بر اثر انفجار در پروژه‌های معدنی: مطالعه موردی سد رودخانه ای شور