مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
زمستان ۱۴۰۰، جلد چهاردهم، شماره ۴ صفحه ۵۹ تا ۷۳

# بررسی و ارزیابی چالش‌های ایمنی و اقتصادی پیش‌رو در معادن سنگ ساختمانی استان آذربایجان‌غربی با استفاده از روش FMEA

رضا میکائیل*[۱]، بهروز سلطانی[۲]، عارف علیپور[۳]، امیر جعفرپور[۴]

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۰۱ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

## چکیده

امروزه، بخش مهمی از معادن سنگ‌های ساختمانی کشور، علاوه بر خطرهای ایمنی، متاثر از خطرهای اقتصادی از قبیل: کاهش بازار تقاضا، کاهش کیفیت تولید، افزایش هزینه‌های تولید و به تناسب آن، افزایش قیمت تمام‌شده هستند که این امر منجر به کاهش ظرفیت تولید و یا متروکه شدن معادن شده است. بنا بر این، مطالعه و بررسی این مشکلات به موازات ارزیابی مسائل ایمنی، به منظور بهبود وضعیت معادن سنگ ساختمانی و افزایش صادرات محصولات معدنی، امری لازم و ضروری محسوب می‌شود. پژوهش حاضر، با رویکرد نوینی در معرفی مسائل و مشکلات اقتصادی در کنار چالش‌های ایمنی برای معادن سنگ ساختمانی استان آذربایجان‌غربی پرداخته و راهکارهایی برای خروج از آن‌ها ارائه کرده است. برای انجام این پژوهش، پس از شناسایی چالش‌های ایمنی و اقتصادی، میزان شدت خطر، احتمال وقوع و احتمال کشف خطر در ۱۰ معدن سنگ ساختمانی استان آذربایجان‌غربی با تکمیل پرسش‌نامه مورد ارزیابی قرار گرفت و عدد ریسک هر یک از خطرهای با استفاده از روش ارزیابی ریسک FMEA تعیین شد. بررسی‌ها نشان داد که بی‌ثباتی در قوانین و مقررات معدنی، قیمت تمام‌شده ماده معدنی، بازار مسکن، تأمین سرمایه‌های ثابت و در گردش، تأمین منابع مالی، کرایه حمل فرآورده‌های استخراجی به کارخانه‌های فرآوری و تأثیر سیاست بر اقتصاد معدنی از جمله مخاطراتی با ریسک بالای ۸۰ (دارای ریسک ریسک) هستند که با تدوین و اجرای سیاست‌های صحیح می‌توان صنعت سنگ ساختمانی را به حاشیه ایمن از دیدگاه اقتصادی هدایت کرد. در میان خطرهای ایمنی، پارگی سیم برش بیش‌ترین میزان ریسک بحرانی را داشت (در حدود ۷۲ درصد از معادن). پس از آن، ریزش و پرتاب قطعه سنگ در رتبه دوم قرار داشت. کم‌ترین میزان ریسک نیز به ترتیب مربوط به پارگی شیلنگ هوای فشرده و دررفتگی جک در جرثقیل‌ها است.

**کلیدواژه‌ها:** *معادن سنگ ساختمانی، روش سیم برش الماسه، ریسک اقتصادی، مخاطرات ایمنی، FMEA.*

۱. عضو هیئت علمی گروه مهدسی معدن، دانشکده محیط زیست، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه reza.mikaeil@gmail.com
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهدسی معدن، دانشکده محیط زیست، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه.
۳. عضو هیئت علمی گروه مهدسی معدن، دانشکده محیط زیست، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه.
۴. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، یزد.
* **مسئول مکاتبات**

**۱. مقدمه**

در حال حاضر، بخش قابل توجهی از معادن سنگ ساختمانی کشور به دلایل مختلفی نظیر: کاهش بازار تقاضا، کاهش کیفیت تولید، افزایش هزینه‌های تولید و افزایش حوادث معدن‌کاری، متروکه شده یا با حداقل ظرفیت ممکن در حال فعالیت هستند که باید در خصوص مشکلات مذکور در این معادن، بررسی‌ها و مطالعه‌های لازم صورت گیرد. برخی از مهم‌ترین دلایل بروز مشکلات پیش‌رو را می‌توان به دلیل عدم وجود فضای مساعد برای جذب سرمایه‌گذاران بین‌المللی برای سرمایه‌گذاری، بی‌توجهی نسبت به رعایت استانداردهای تولید سنگ، عدم وجود مدیریت در استفاده از نیروی انسانی متخصص، ناکافی بودن امکانات و تسهیلات ارزی-ریالی در تولید و صادرات صنعت سنگ، وجود ماشین‌آلات و تجهیزات فرسوده و مستهلک، عدم شناخت کافی از تجهیزات نوین برش، عدم انتخاب مناسب این ابزارها برای کاهش هزینه‌ها و نبود برنامه‌ریزی علمی و راهبردهای مناسب در این صنعت نام برد.

صنعت معدن‌کاری با توجه به تولید مواد اولیه مورد نیاز سایر صنایع بزرگ‌مقیاس، یکی از بخش‌های اقتصادی مهم و تأثیرگذار در بسیاری از کشورها محسوب می‌شود. این صنعت در طول بهره‌برداری با عوامل غیرقابل کنترل زیادی مواجه است و همین امر موجب شده است تا معدن‌کاری به یکی از خطرناک‌ترین و پرحادثه‌ترین صنایع تولیدی تبدیل شود (www.iribnews.ir). استخراج سنگ‌های ابعادی، یکی از شاخه‌های خطرناک در فعالیت‌های معدنی است؛ به‌گونه‌ای که معادن این سنگ‌ها (در کنار معادن زغال‌سنگ) در مقایسه با دیگر معادن، بالاترین میزان حوادث را دارند (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۴). در تمامی مراحل استخراج این سنگ‌ها شامل: برش از سنگ بستر، حمل‌ونقل، بارگیری و تخلیه، خطرها و اتفاق‌های جدی معدنی وجود دارد (Yenchek & Sammarco, 2010). گزارش سالانه مرکز آمار ایران شان می‌دهد در معادن سنگ‌های ابعادی ایران، ۱۸۹ حادثه رخ داده است که منجر به آسیب‌دیدگی و مرگ ۱۸۶ نفر شده است (Ataei et al., 2012). همچنین در خصوص حادثه‌های گذشته در معادن سنگ‌های ابعادی می‌توان به مطالعات جوی (۲۰۰۴)، رابسون و بایگلاو (۲۰۱۰) و نیز پژوهش اوندر و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد. گاماس و آکیون نیز بر روی حوادث شغلی معادن سنگ مرمر در استان دیاربکر ترکیه مطالعاتی انجام داده‌اند (Gumus & Akkyun, 2006). بر اساس نتایج این پژوهش، ۴۲/۹ درصد این حوادث به پارگی سیم برش، ۱۷/۸ درصد حوادث به آتشکاری و ۳/۶ درصد آنها به سقوط از سکو مربوط بوده است. ۱۰/۷ درصد از این حادثه‌ها به مرگ منجر شده است. طبق این گزارش، میزان صدمات در کارگران بی‌سواد، بسیار بالاتر از مهندسان بوده است. همچنین ارسوی در مورد ارزیابی ایمنی شغلی در معادن سنگ مرمر ترکیه، پژوهش دیگری را انجام داده است (Ersoy, 2013). مختاری و همکاران (۱۳۸۵) نیز به بررسی و تحلیل احتمال وقوع خطرهای مرتبط با مباحث ایمنی در استخراج سنگ ساختمانی (با استفاده از روش‌های سیم برش الماسه) پرداختند. در این مطالعه، تحلیل ریسک ایمنی در معادن سنگ ساختمانی با توجه به تشخیص پرخطرترین حادثه‌ها و کاهش میزان احتمال وقوع آنها تا حد قابل قبول صورت گرفت. در نهایت، به ارائه راهکارهایی به منظور کاهش میزان احتمال و خسارت تعیین‌شده پرداخته‌اند. لطفی و همکاران (۱۳۹۰)، به بررسی و ارزیابی و مدیریت ریسک‌های اقتصادی ناشی از جایگزینی روش‌های مکانیزه به جای روش های سنتی در معادن سنگ‌های ساختمانی پرداختند. آنها در پژوهش خود، ارزیابی خطرهای ناشی از تغییر روش استخراج ذخایر سنگ ساختمانی (در گذر از شیوه‌های سنتی به مکانیزه) را با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان داد که در هر دو دوره بهره‌برداری از معدن، استفاده از روش نعل-پارس، انتخاب مناسبی نبوده و با افزایش ظرفیت تولید، از میزان ریسک هر دو روش کاسته شده است؛ ولی همچنان میزان ریسک روش سیم برش نسبت به نعل-پارس کم‌تر بوده است. یاراحمدی و همکاران (۲۰۱۴) نیز با بررسی ریسک

ایمنی از طریق ارزیابی ریسک به جای ارزیابی عملکرد ایمنی، رویکردی متفاوت ارائه کرده‌اند. میکائیل و همکاران (۱۳۹۶)، به تحلیل ریسک ایمنی معادن سنگ‌های ابعادی در استخراج با سیم برش الماسه به روش FMEA پرداختند که پس از شناسایی و بررسی حادثه‌های رخ داده در معادن مرمریت بادکی قره‌ضیاءالدین، مدیریت ریسک ایمنی با به‌کارگیری روش FMEA مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل و رتبه‌بندی ریسک حادثه‌های نشان داد که پارگی سیم برش و سقوط سنگ، بزرگ‌ترین منابع خطر در این نوع معادن است. در پژوهشی دیگر، دهقان و ستاری (۱۳۹۶)، به بررسی و مدیریت ریسک ایمنی در معادن سنگ ساختمانی در شهرستان محلات پرداختند. در این مطالعه، به منظور تعدیل ریسک‌های غیرقابل قبول شناسایی‌شده اقدامات اصلاحی مناسب به همراه چگونگی و مدت پایش آن تعیین و ارائه شد. همچنین نخعی و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی و ارزیابی ریسک خطرهای دستگاه سیم برش در معادن سنگ‌های ساختمانی اصفهان پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بیش‌ترین احتمال وقوع در بین رویدادهای میانی به ترتیب برای خطرهای ناشی از تعمیر و نگهداری، خطرهای ناشی از مسائل زمین‌شناسی و خطرهای ناشی از طراحی نادرست بوده و بیش ترین احتمال وقوع در بین رویدادهای اساسی به ترتیب برای خطرهای ناشی از حرکت و ضربه شلاقی سیم ناشی از گسیختگی، خطرهای ناشی از انحراف داشتن سیم برش و خطرهای ناشی از وجود گل‌ولای در داخل بلوک سنگ است. در نهایت، با توجه به روش‌های کنترلی پاسخ مناسبی برای کنترل این ریسک‌ها ارائه شده است.

در این پژوهش، با به‌کارگیری روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن (FMEA) به ارزیابی ریسک‌های ایمنی و اقتصادی معادن سنگ ساختمانی پرداخته می‌شود. بدین منظور، پس از معرفی اجمالی روش مذکور و معرفی معادن سنگ واقع در استان آذربایجان‌شرقی در قالب مطالعه موردی، به شناسایی ریسک‌ها پرداخته شده است. سپس رتبه بندی خطرها و چالش‌های احتمالی معادن سنگ ساختمانی انجام شده و در نهایت، راهکارهایی به منظور کاهش خطرهای احتمالی و چالش‌های موجود، ارائه شده است.

## ۲. روش FMEA

یکی از روش‌های معمول و کارآمد برای شناسایی، دسته‌بندی، تحلیل و بررسی و ارزیابی چالش‌ها، خطرها و ریسک‌ها، روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن (FMEA) است. با استفاده از این روش، علاوه بر شناسایی خطرها و خطاها می‌توان از بروز سانحه‌ها مختلف نیز جلوگیری کرد. روش FMEA، ابتدا برای تحلیل مسائل مختلف مرتبط با خطاها و حالت‌های مختلف آنها در صنایعی مانند صنعت خودرو مورد استفاده قرار گرفت و پس از اثبات قابلیت‌ها و کارکردهای مختلف آن برای پژوهشگران، در صنایع نرم‌افزاری نیز به کار گرفته شد (Kangari & Riggs, 1989 و Nggada, 2012). از دیگر زمینه‌های کاربرد روش FMEA می‌توان به صنایع غذایی (Trafialek & Kolanowski, 2014)، سامانه‌های تولید برق (Arabian-Hoseynabadi et al., 2010)، بررسی دستگاه‌های تولید کیسه خون (Rakesh et al., 2013)، ارزیابی ریسک سامانه‌های مهندسی دریایی (Yang & Wang, 2015) و بهداشت و درمان برای ایمنی بیماران در مراکز درمانی (Chiozza & Ponzetti, 2009) اشاره کرد. کاربردی از روش FMEA فازی برای رفتار با عدم قطعیت‌های فرآیند خرید در یک بیمارستان دولتی و بهبود این فرآیندها با نتایج مطلوب به ثبت رسیده است (Kumru & Kumru, 2013). تجزیه و تحلیل ریسک و کاهش اثرات آن در اثر افزایش سیستم‌های ایمنی نیز از دیگر زمینه‌های کاربرد روش FMEA است (Papadopoulos et al., 2004). همچنین ارزیابی ریسک و اولویت‌بندی فرآیندهای تولید قطعه‌های خودرو بر اساس روش FMEA، تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای و تحلیل روابط خاکستری انجام گرفته است (Baghery et al., 2018). در پژوهشی دیگر، شناسایی و مدیریت خطاها در صنعت سنگ با به‌کارگیری روش FMEA مبتنی بر هزینه انجام گرفته

و نتایج قابل توجهی را در پی داشته است (Rezaee et al., 2017).

مرحله‌های اجرایی روش FMEA شامل: جمع‌آوری اطلاعات مربوط به فرآیند، تعیین خطرات بالقوه، بررسی اثرهای هر خطر، تعیین علل خطر، چک کردن فرآیندهای کنترل، تعیین نرخ وخامت، احتمال وقوع (احتمال رخداد بر مبنای ۱ تا ۱۰ سنجیده می‌شود)، نرخ احتمال کشف خطر و در نهایت، محاسبه عدد اولویت ریسک است. جدول (۱) به منظور تعیین شدت خطر و احتمال وقوع حادثه به کار گرفته می‌شود. جدول (۲) نیز نرخ احتمال کشف خطر را نشان می‌دهد.

جدول ۱- جدول تعیین شدت خطر و احتمال وقوع حادثه (Ersoy, 2013)

| | | | Intensity of impact | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Hazardous** | **High** | **Moderate** | **Low** | **Negligible** |
| | | | 10 | 5 | 3 | 1 | 0.5 |
| **Probability of occurrence** | Frequently | 10 | 100 | 50 | 30 | 10 | 5 |
| | Occasionally | 5 | 50 | 25 | 15 | 5 | 2.5 |
| | Accidentally | 2 | 20 | 10 | 6 | 2 | 1 |
| | Rarely | 1 | 10 | 5 | 3 | 1 | 0.5 |
| | Unlikely | 0.5 | 5 | 2.5 | 1.5 | 0.5 | 0.25 |

جدول ۲- نرخ احتمال کشف خطر (Ersoy, 2013)

| Discovery probability rate | Description | considerations |
|---|---|---|
| 4 | Dindiscoverable | It is not detectable by scientific methods and occurs suddenly |
| 3 | Moderate | It cannot be identified by scientific methods, but it does not occur suddenly. |
| 2 | High | It can be identified by scientific methods and occurs suddenly. |
| 1 | Very high | It can be identified by scientific methods and does not occur suddenly. |

عدد اولویت ریسک، حاصلضرب سه عدد وخامت خطر، احتمال رخداد و احتمال کشف خطر است. عددهای ریسک به‌دست آمده با توجه به جدول (۳) که مربوط به دسته‌بندی اعداد ریسک هستند، رتبه‌بندی خواهند شد.

جدول ۳- دسته‌بندی اعداد ریسک روش FMEA

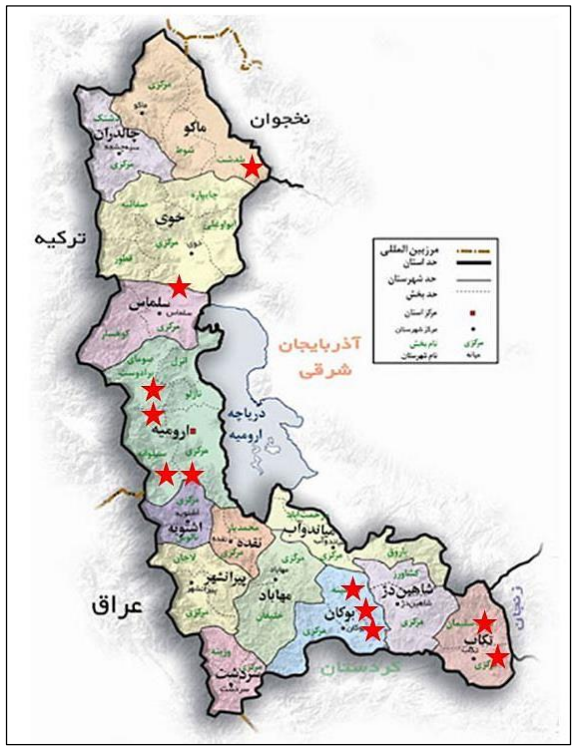
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **20** | **40** | **120** | **200** | **400** |
| **10** | **20** | **75** | **100** | **200** |
| **4** | **8** | **24** | **40** | **80** |
| **2** | **4** | **12** | **20** | **40** |
| **0.25** | **2** | **6** | **10** | **20** |

در جدول (۳)، اعداد خانه‌های قرمز، نشان‌دهنده اعداد ریسک بحرانی، خانه‌های نارنجی‌رنگ مربوط به خطرهای با ریسک بالا، خانه‌های زردرنگ، به خطرهای با ریسک متوسط و در نهایت، خانه‌های سبزرنگ، به خطرهایی با درصد ریسک کم اشاره دارند. در ادامه، به بررسی اعداد و درصد ریسک مخاطرات ایمنی و اقتصادی به‌صورت جداگانه پرداخته می‌شود.

## ۳. معادن سنگ ساختمانی (مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی)

استان آذربایجان‌غربی با برخورداری از منابع عظیم و متنوع سنگ‌های ساختمانی، به‌عنوان یکی از غنی‌ترین منابع سنگ در ایران به‌شمار می‌آید. مطابق گزارش سازمان صنعت، معدن و تجارت استان آذربایجان‌غربی، معادن سنگ ساختمانی شهرستان تکاب (تراورتن‌های کرم و سیلور)، تراورتن‌ها و گرانیت‌های شاهین‌دژ، گرانیت‌ها و مرمریت‌های میاندوآب، سنگ آهک و تراورتن‌های بوکان، تراورتن‌ها و مرمرهای مهاباد، سینیت‌ها و گابرو-دیوریت‌های پیرانشهر، مرمرهای نقده، مرمریت‌های اورمیه، تروارتن‌ها و مرمرهای سلماس، مرمریت‌های رنگارنگ خوی و تراورتن، مرمریت و بازالت

ماکو، نمونه‌های از سنگ‌های این استان است که در کشور برای خود جایگاه خاصی یافته است (agh.mimt.gov.ir). علاوه بر این، نگاه بسیاری از صنایع سنگی دنیا از جمله ایتالیا، ترکیه و چین به این معادن است. از این‌رو، در بخش معادن سنگ ساختمانی استان آذربایجان‌غربی در طول سالیان گذشته صادرات قابل توجهی وجود داشته است. در حقیقت، استان آذربایجان‌غربی مجموعه‌ای از سنگ‌های ساختمانی مطرح در کشور است که سالانه بخشی از آن به خارج از کشور (ایتالیا، ترکیه، چین، جمهوری آذربایجان و عراق) صادر می‌شود. ولی متأسفانه علی‌رغم ظرفیت بالا در بخش سنگ‌های ساختمانی، کاهش تقاضای داخلی برای سنگ‌های ساختمانی، فراهم نبودن زیرساخت‌ها و غیره، موجب تعطیلی برخی از معادن سنگ ساختمانی استان شده است. در شکل (۱)، موقعیت معادن مورد بررسی در این پژوهش، نشان داده شده است.




شکل ۱- موقعیت معادن مورد مطالعه

در این بخش از پژوهش، سعی می‌شود تا پس از بررسی و شناسایی دقیق مشکلات و معضل‌های این صنعت در دو بخش چالش‌های ایمنی و اقتصادی، راهکارهایی به منظور خروج از رکود این صنعت پیشنهاد شود. با توجه به ذخیره های فراوان و تنوع منحصربه‌فرد سنگ‌های ساختمانی استان، می‌توان با رفع این موانع و با ایجاد ارتباط مؤثر با بازارهای جهانی و ارتقای کیفیت فرآوری محصول، زمینه توسعه صادرات این محصولات معدنی را فراهم کرد. در جدول (۴)، فهرستی از معادن سنگ ساختمانی مورد مطالعه در این پژوهش ارائه شده است.

جدول ۴- معادن مورد مطالعه استان آذربایجان‌غربی

| ID | Mine | ID | Mine |
|---|---|---|---|
| $A_1$ | Qare qeshlaq (Marble) | $A_7$ | Dash Aghul (Marble) |
| $A_2$ | Dash Aghul 3 (Marble) | $A_8$ | Gonbad Tekab (Travertine) |
| $A_3$ | Kamane Urmia (Marble) | $A_9$ | Berenjeh Tekab (Travertine) |
| $A_4$ | Poldasht (Travertine) | $A_{10}$ | Dash Aghul 2 (Marble) |
| $A_5$ | Nari (Marble) | $A_{11}$ | Dizaj doul (Marble) |
| $A_6$ | Hosseinzadeh (Marble) | | |

## ۴. خطرهای ایمنی و چالش‌های اقتصادی

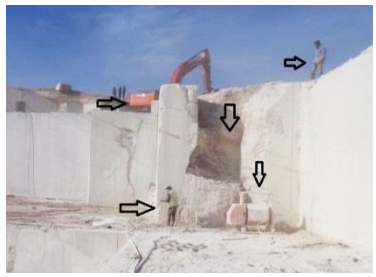
چالش‌های ایمنی و ریسک‌های اقتصادی همواره از عوامل مهم و تأثیرگذار در فرآیند استخراج و تولید سنگ‌های ساختمانی بوده‌اند. البته لازم به ذکر است که تا کنون در مطالعه‌های انجام‌شده به مسأله چالش‌های اقتصادی توجه چندانی نشده و دسته‌بندی کلی از دیدگاه میزان تأثیرگذاری هر کدام از مشکلات اقتصادی در عملیات استخراج سنگ‌های ساختمانی ارائه نشده است.

بدین منظور، سعی شد تا علاوه بر خطرهای ایمنی در معادن مورد مطالعه، با نظرات و راهنمایی‌های کارشناسان، چالش های مطرح در حوزه اقتصاد استخراج سنگ‌های ساختمانی نیز گردآوری شده و رتبه‌بندی ریسک‌های اقتصادی نیز جزو هدف‌های ثانویه این پژوهش باشد. جدول‌های (۵) و (۶)، به ترتیب چالش‌های ایمنی و اقتصادی شناسایی‌شده برای معادن سنگ ساختمانی استان آذربایجان‌غربی را نشان می‌دهد. این خطرها به‌صورت جامع و کامل بوده و با همکاری خبره‌ها و

فعال‌های حوزه معدن و سنگ ساختمانی تهیه شده است. شکل (۲) نشان داده شده است.

برخی از مهم‌ترین خطرهای محتمل در معادن مورد مطالعه در

الف- پارگی سیم برش الماسه
(معدن داش‌آغول ۳)



ب- سهل‌انگاری پرسنل در نزدیکی پله
(معدن داش‌آغول شماره ۲)

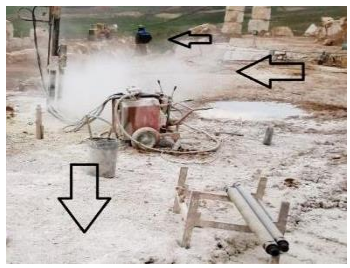
ج- احتمال برخورد با ماشین‌آلات و خواباندن بلوک
(معدن داش‌آغول ۳)

د- لغزش پرسنل در سطوح لغزنده
(معدن مرمریت ناری ارومیه)

و- حوادث جاده‌ای واژگونی تریلی در مسیر
(معدن مرمریت داش‌آغول شماره ۳ ارومیه)

هـ- ریزش قطعه سنگ و قرارگیری نامناسب پرسنل
(معدن دیزج ارومیه)

ز- احتمال واژگونی کوپ
(معدن مرمریت ناری ارومیه)



ح- گرد و غبار
(معدن مرمریت داش‌آغول شماره ۲)

ط- قواره کردن بلوک
(معدن مرمریت داش‌آغول ۳)

شکل ۲- برخی مخاطرات محتمل معمول در معادن مورد مطالعه

۵- رتبه‌بندی چالش‌ها و خطرها

با ارسال پرسش‌نامه‌هایی به خبره‌ها و فعالان حوزه استخراج، فرآوری و فروش سنگ‌های ساختمانی، مقدار شدت، احتمال و نرخ احتمال کشف خطر برای خطرهای ایمنی و اقتصادی دسته‌بندی شده و عدد ریسک هر کدام از این چالش‌ها به دست آمد.

در جدول (۷) مقادیر عدد ریسک برای خطرهای ایمنی دسته‌بندی‌شده برای معادن استان آذربایجان‌غربی ارائه شده است. همچنین با توجه به گزینه‌ها و معادن مورد مطالعه، درصد معادنی که در آنها مخاطره مورد نظر در ناحیه بحرانی یا دیگر نواحی از لحاظ عدد ریسک قرار می‌گیرند، آورده شده و به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت. همچنین راهکارهایی برای تعدیل ریسک خطرها نیز ارائه خواهد شد.

جدول ۵- چالش‌های ایمنی دسته‌بندی‌شده برای معادن استان آذربایجان‌غربی

| Title of incident | Code | Description |
|---|---|---|
| Tear the cutting wire and deal with it | 1 | Occurs due to wire abrasion and dealing with it is always accompanied by death and severe injuries. |
| Workers falls from the edge of the stairs to lower levels | 2 | The carelessness of people in the mine during mining operations due to various factors such as economic concerns or unsuitable work environment due to factors such as wet soil, etc. can lead to many accidents and cause a lot of damage to operators and personnel. |
| Deal with moving and stationary objects | 3 | |
| Slipping and falling on the ground floor | 4 | |
| Machinery falls from the edge of the stairs to lower levels | 5 | |
| Falling and throwing pieces of rock | 6 | Rock fall along discontinuities in mines |
| Overturning machines during loading | 7 | Failure to comply with issues regarding the bearing capacity of the machines and loss of control |
| Machine fire | 8 | Technical defects, car fuel leaks and collisions with objects to the operator and employees |
| Unexpected overturning of coupes and blocks due to lack of balance | 9 | Unexpected release of the coupe in the direction of layering in the stairwell |
| Electric shock due to erosion of cable wear | 10 | Cable rupture and exposure to conductive materials |
| Impacts from the impact of a perforator and a hammer on a mineral | 11 | Leads to upper body muscle damage and heart problems |
| Jack dislocation in cranes | 12 | Sliding crane jacks when lifting minerals |
| Rupture of tow wire in cranes | 13 | Crane tow wire rupture during loading and unloading |
| escape of rock | 14 | Rock dislocation under the tires of vehicles |
| Inhalation of dust and chemicals | 15 | Dust from rock extraction, especially silica dispersion |
| Excessive noise exposure | 16 | Noise to the activity of cutting and transporting tools |
| Transportation of heavy tools and equipment by operators | 17 | Movement of tools and equipment by operators and manual transport |
| Rupture of the tow wire of the peak device | 18 | Rupture of the tow wire of the peak device during the transportation and movement of the peaks |
| Slate the block | 19 | Slate block cutting operation |
| Compressed air hose rupture | 20 | 2, 3 or 4 inch compressed air hose ruptures and inability to restrain it |

جدول ۶- مخاطرات اقتصادی دسته‌بندی‌شده برای معادن آذربایجان‌غربی

| Title of incident | Code | Description |
|---|---|---|
| Housing market | 1 | Reducing the supply and demand of processed stone directly affects the reduction of mine production |
| Repair and maintenance | 2 | Damage to extraction machinery and annual maintenance costs |
| Suppliers | 3 | Delays in the supply of spare parts, mechanical parts and equipment for mining machinery due to factors such as sanctions, etc. |
| Mining design issues | 4 | Opening the mine, determining the direction of extraction and determining the appropriate method for extraction |
| Energy carriers | 5 | Increasing the cost of energy carriers as well as reducing the quota of mines from fossil fuels |
| Providing fixed and working capital | 6 | Lack of fixed and annual working capital and their non-supply |
| climate conditions | 7 | Increased holidays in the mine due to bad climate conditions and reduced production |
| The cost price of the mineral | 8 | Increase in the cost of purchasing devices and running costs |
| Access to the sales market | 9 | Lagging behind the top countries in the production and cutting of building stones |
| Instability in laws and regulations | 10 | Instability in mining laws and regulations in recent years due to |

| | | |
|---|---|---|
| | | changing governments |
| Distance of mines from stone cutting factories | 11 | Avoiding stone processing plants to mines and imposing transportation costs |
| Lack of cooperation of government agencies | 12 | Lack of cooperation of bodies such as electricity, water, oil company and natural resources |
| financing | 13 | Check expenses, banking system, bank interest |
| The impact of politics on the mining economy | 14 | Foreign and domestic policy, government |
| Machinery efficiency | 15 | Renovation of equipment and machinery and second-hand equipment purchased |
| Impact of security on mine production | 16 | Indigenous security, border security and economic security |
| Production efficiency of parts and tools | 17 | Low quality diamond cutting wire, coupe series, core wire, Foley rubber, loader rubber etc. |
| Low quality of inside fuel | 18 | Reduction of diesel quality and rapid erosion of related parts |
| Counterfeit oils on the market | 19 | Low quality of oils on the market |
| Not using modern technologies | 20 | No use of cranes and up-to-date equipment such as waterjets, air conditioners and complementary industries in mines |
| No use of surveying equipment and design engineers in mines | 21 | Failure to use surveying equipment in mines to determine the location of pits, etc., which leads to unprincipled extraction and financial losses. |
| Lack of unit prices in mines | 22 | This multiplies the selling price of the mineral and reduces prices. |
| Freight cost | 23 | Transportation of stone and coupe to the processing plant in the city |

با مشاهده جدول (۷)، مشخص می‌شود که در معادن مورد بررسی، بیش از ۷۰ درصد حادثه‌های رخ‌داده مربوط به پارگی سیم برش بوده و این امر یک خطر بحرانی معرفی شد. در رتبه بعدی، ریزش و پرتاب قطعه سنگ قرار دارد که در بیش از ۵۰ درصد معادن، از آن به‌عنوان یک چالش بحرانی نام برده شد. همچنین در رتبه‌های بعدی از لحاظ درصد خطرناک بودن بر حسب معادن مورد مطالعه، خطرهایی نظیر: استنشاق گرد و غبار و مواد شیمیایی، سقوط نیروی انسانی از لبه پله به سطوح پایین‌تر، واژگونی ماشین‌آلات در هنگام بارگیری، شوک الکتریکی به علت فرسوده بودن کابل و باقی خطرها در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. پارگی شیلنگ هوای فشرده نیز به‌عنوان کم‌خطرترین سانحه در بین خطرهای مدّ نظر رتبه‌بندی شد. در میان معادن مورد مطالعه، مورد شماره ۵ که مربوط به معدن تراورتن پلدشت است، اکثر خطرها مدّ نظر به‌صورت بحرانی در نظر گرفته شدند که نشان‌دهنده حائز اهمیت بودن تمام چالش‌ها در نزد کارفرمایان این معدن است.

خطرهایی مانند پارگی سیم بکسل قله‌کش، پارگی سیم بکسل در جرثقیل‌ها، برخورد با اجسام و وسایل در حال حرکت و ثابت و لیز خوردن و زمین خوردن در سطح همکف نیز در حدود ۳۰ درصد از معادن مورد مطالعه به‌عنوان خطرهایی با ریسک بالا قرار گرفتند. بیشینه مقدار میانگین ریسک برای مخاطرات مورد مطالعه در معادن مربوط به پارگی سیم برش بود و پس از آن، قرار گرفتن در معرض صدای زیاد در رتبه بعدی قرار گرفت. پارگی شیلنگ هوای فشرده و آتش‌سوزی ماشین‌آلات نیز به ترتیب کم‌ترین مقدار میانگین ریسک را به خود اختصاص دادند. در بین معادن مورد مطالعه نیز معدن تراورتن پلدشت دارای بیش‌ترین مقدار میانگین ریسک و معدن مرمر قره‌قشلاق مهاباد نیز دارای کم‌ترین میزان میانگین ریسک برای خطرهای مورد مطالعه است.

از سوی دیگر، مخاطرات، ریسک‌ها و حوادث اقتصادی از عوامل مهم و تأثیر گذار در فرآیند تولید و استخراج سنگ‌های ساختمانی هستند. چه بسا یکی از حوادث اقتصادی گردآوری‌شده به‌تنهایی بیش از تمامی ریسک‌های ایمنی بر روی روند استخراج و فرآوری سنگ‌های ساختمانی در کوتاه-مدت و بلندمدت تأثیرگذار باشد. از این‌رو، عددهای ریسک

مربوط به هر کدام از این خاطرات و نیز درصد ریسک بحرانی برای هر مخاطره با توجه به معادن مورد مطالعه محاسبه و در جدول (۸) ارائه شده است.

در میان مخاطرات و ریسک‌های اقتصادی، با توجه به نظر خبره‌های حوزه استخراج سنگ‌های ساختمانی به ترتیب، قوانین و مقررات معدنی، قیمت فروش ماده معدنی، بازار مسکن، تأمین سرمایه‌های ثابت و در گردش، تأمین منابع مالی، کرایه حمل فرآورده‌های استخراجی به کارخانه‌های فرآوری و تأثیر سیاست بر اقتصاد معدنی به‌عنوان چالش‌هایی با بیش‌ترین میزان ریسک مشخص شدند. در حدود ۷۳ درصد معادن مورد مطالعه، تأمین سرمایه‌های ثابت و در گردش به‌عنوان بحرانی‌ترین ریسک انتخاب شدند. با توجه به نتایج به دست‌آمده، مشخص می‌شود که خبره‌ها و فعال‌های حوزه استخراج سنگ‌های ساختمانی به ریسک‌ها و چالش‌های اقتصادی بیش‌تر از ریسک‌ها و خطرهای ایمنی بها می‌دهند که می‌تواند ناشی از نوسانات ارزی و مشکلات اقتصادی کشور باشد. در میان ریسک‌ها و چالش‌های اقتصادی، حادثه‌های جاده‌ای، شرایط آب‌وهوایی، عدم استفاده از تجهیزات نقشه برداری و مهندسان طراح در معادن و عدم استفاده از فناوری های روز در معادن به ترتیب به‌عنوان چالش‌هایی با کم‌ترین ریسک رتبه‌بندی شدند.

جدول ۷- جدول میانگین ریسک مخاطرات ایمنی در معادن استان آذربایجان‌غربی

| Title of incident | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ | $A_9$ | $A_{10}$ | $A_{11}$ | Average risk of incident |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tear the cutting wire and deal with it | 126 | 200 | 28 | 100 | 200 | 200 | 10 | 20 | 150 | 100 | 100 | **112.18** |
| Falling and throwing pieces of rock | 8 | 10 | 100 | 96 | 80 | 50 | 5 | 40 | 100 | 100 | 100 | **62.64** |
| Inhalation of dust and chemicals | 6 | 10 | 18 | 80 | 300 | 2 | 30 | 5 | 120 | 25 | 0.5 | **59.60** |
| Workers falls from the edge of the stairs to lower levels | 20 | 40 | 3 | 5 | 120 | 30 | 80 | 40 | 60 | 40 | 6 | **40.36** |
| Rupture of the tow wire of the peak device | 1 | 12 | 24 | 60 | 240 | 80 | 30 | 40 | 40 | 40 | 5 | **52.00** |
| Excessive noise exposure | 4 | 10 | 2 | 70 | 256 | 1 | 50 | 50 | 400 | 30 | 30 | **82.91** |
| Electric shock due to erosion of cable wear | 108 | 10 | 12 | 5 | 180 | 20 | 10 | 20 | 20 | 50 | 10 | **40.45** |
| Transportation of heavy tools and equipment by operators | 4 | 5 | 1 | 16 | 168 | 25 | 50 | 100 | 6 | 6 | 1 | **34.73** |
| Slate the block | 9 | 4 | 40 | 50 | 240 | 200 | 3 | 10 | 10 | 1 | 15 | **52.91** |
| Escape of rock | 1 | 25 | 12 | 20 | 180 | 6 | 30 | 100 | 12 | 20 | 15 | **38.27** |
| Overturning machines during loading | 0.5 | 5 | 3 | 6 | 84 | 1 | 10 | 4 | 300 | 20 | 6 | **43.90** |
| Rupture of tow wire in cranes | 9 | 12 | 50 | 64 | 75 | 12 | 10 | 40 | 200 | 20 | 24 | **46.91** |
| Deal with moving and stationary objects | 8 | 5 | 1 | 36 | 64 | 40 | 200 | 2 | 10 | 10 | 5 | **34.64** |
| Slipping and falling on the ground floor | 8 | 1 | 6 | 72 | 50 | 4 | 60 | 100 | 10 | 10 | 10 | **30.09** |
| Machinery falls from the edge of the stairs to lower levels | 20 | 5 | 50 | 40 | 240 | 30 | 30 | 12 | 30 | 20 | 10 | **44.27** |
| Unexpected overturning of blocks due to lack of balance | 1 | 30 | 1 | 4 | 240 | 2 | 10 | 20 | 50 | 50 | 10 | **38.00** |
| Impacts from the impact of a perforator on a mineral | 4 | 5 | 25 | 40 | 100 | 0.25 | 50 | 0.5 | 0.5 | 6 | 3 | **29.13** |
| Machine fire | 3 | 40 | 2 | 0.25 | 80 | 4 | 10 | 2 | 60 | 20 | 1 | **22.20** |
| Jack dislocation in cranes | 4 | 5 | 0.25 | 0.75 | 75 | 20 | 10 | 4 | 150 | 20 | 3 | **32.33** |
| Compressed air hose rupture | 4 | 3 | 12 | 32 | 27 | 2 | 6 | 5 | 40 | 12 | 60 | **18.45** |
| **Average risk for the studied mines** | **18.32** | **21.85** | **20.53** | **44.22** | **149.9** | **38.84** | **34.70** | **32.32** | **93.05** | **30.00** | **21.75** | |

علت اکثر چالش‌های اقتصادی در ایران را می‌توان به علت تحریم‌ها و فشارهای سیاسی موجود دانست. در ادامه، به بررسی راهکارها و روش‌های تعدیل ریسک‌های ایمنی و اقتصادی پرداخته خواهد شد. بی‌ثباتی در قوانین و مقررات معدنی و قیمت فروش ماده معدنی در میان چالش‌های اقتصادی به ترتیب بیش‌ترین میزان میانگین ریسک را ثبت کردند. کم‌ترین مقدار میانگین ریسک به‌دست‌آمده نیز به ترتیب مربوط به حادثه‌های جاده‌ای و شرایط آب‌وهوایی است. در میان معادن مورد مطالعه نیز همانند ریسک‌های ایمنی معدن تراورتن پلدشت دارای بیش‌ترین مقدار میانگین ریسک اقتصادی بود.

## ۶- تحلیل نتایج و تعدیل ریسک‌ها

پس از محاسبه عدد اولویت ریسک، برای اعداد ریسک بالا، به منظور پایین آوردن این عدد، باید کارگروهی از طریق اقدام اصلاحی تشکیل شد. در این مرحله، به‌منظور تعدیل ریسک‌های غیرقابل قبول اقدامات اصلاحی و علاج‌بخش

متناسب با سطح ریسک به‌دست‌آمده در دستور کار قرار گرفت. بدین منظور، با مشورت مسئولان معادن مورد مطالعه، راهکارهای اصلاحی برای تعدیل خطرهای ایمنی تدوین شد که نتایج آن در ادامه برای ریسک‌های ایمنی و اقتصادی ارائه شده است. در این بخش، به ارائه راهکارهای تعدیل ریسک‌های ایمنی و اقتصادی در معادن مورد مطالعه پرداخته خواهد شد.

پارگی سیم برش یکی از خطرهای با ریسک بالا در معادن مورد مطالعه است. به منظور تعدیل و کاهش ریسک این مخاطره، راهکارهایی از قبیل چکاپ منظم دانه‌های الماسه سیم برش و اتصال‌های سیم توسط اپراتور، افزایش کیفیت سیم برش الماسه‌های تولید داخل، تعویض به‌موقع سیم‌های نو به جای کهنه توسط اپراتورها، عدم استفاده از سیم‌هایی با مارک‌های متفاوت در یک برش، چکاپ مسیر برش و جلوگیری از مسدود شدن مسیر برش، استفاده از اپراتورهای ماهر برای برش (افزایش و کاهش سرعت برش توسط اپراتور آماتور بسیار خطرناک است)، استفاده از سیم مناسب متناسب با جنس سنگ، جلوگیری از یخ زدن سیم، از ایستادن در پشت سیم‌بری که در حال برش است، به شدت پرهیز شود. در نهایت، استفاده منظم از محافظ سیم‌بر و کنترل آن توسط مسئول ایمنی یا مسئول فنی قابل اجرا است.

جدول ۸- میانگین ریسک مخاطرات اقتصادی برای معادن استان آذربایجان غربی

| Title of incident | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ | $A_9$ | $A_{10}$ | $A_{11}$ | Average risk of incident |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Providing fixed and working capital | 90 | 100 | 8 | 270 | 144 | 200 | 35 | 100 | 100 | 100 | 50 | **107.91** |
| financing | 98 | 50 | 100 | 120 | 128 | 70 | 25 | 100 | 200 | 20 | 100 | **91.91** |
| Freight cost | 128 | 100 | 100 | 48 | 242 | 100 | 24 | 50 | 100 | 10 | 100 | **91.18** |
| Unit prices of mineral | 128 | 100 | 32 | 200 | 200 | 280 | 40 | 200 | 100 | 20 | 25 | **138.64** |
| The impact of politics on the mining economics | 112 | 100 | 100 | 8 | 98 | 100 | 60 | 100 | 100 | 12 | 3 | **72.09** |
| Housing market | 200 | 100 | 20 | 400 | 100 | 50 | 100 | 50 | 50 | 100 | 45 | **110.45** |
| Instability in laws and regulations | 160 | 100 | 240 | 6 | 400 | 400 | 50 | 50 | 100 | 50 | 3 | **141.73** |
| Lack of cooperation of government with mining companies | 49 | 100 | 100 | 20 | 400 | 100 | 100 | 100 | 25 | 20 | 5 | **92.64** |
| Counterfeit oils on the market | 32 | 100 | 100 | 60 | 162 | 100 | 8 | 100 | 100 | 1 | 25 | **71.64** |
| Energy carriers | 96 | 100 | 100 | 6 | 147 | 140 | 18 | 100 | 150 | 20 | 50 | **84.27** |
| Access to the sales market | 112 | 50 | 10 | 72 | 400 | 100 | 5 | 100 | 100 | 50 | 50 | **95.36** |
| Low quality of inside-producted fuel | 48 | 10 | 100 | 4 | 162 | 100 | 8 | 100 | 100 | 40 | 6 | **61.64** |
| Machinery efficiency in production year | 144 | 100 | 50 | 30 | 75 | 100 | 10 | 50 | 100 | 25 | 50 | **66.73** |
| Repair and maintenance | 49 | 100 | 50 | 30 | 64 | 50 | 10 | 150 | 300 | 40 | 30 | **79.36** |
| Suppliers | 60 | 50 | 30 | 50 | 49 | 100 | 60 | 400 | 100 | 10 | 25 | **84.91** |
| Impact of security on mine production | 128 | 50 | 10 | 20 | 162 | 100 | 40 | 50 | 6 | 30 | 50 | **58.73** |
| Production efficiency of parts and tools | 72 | 30 | 15 | 64 | 128 | 100 | 5 | 100 | 15 | 6 | 50 | **53.18** |
| Mining design issues | 160 | 25 | 50 | 9 | 300 | 3 | 6 | 100 | 40 | 10 | 25 | **66.18** |
| Distance of mines from stone cutting factories | 24 | 50 | 50 | 6 | 324 | 70 | 10 | 100 | 50 | 6 | 30 | **65.45** |
| The cost price of the mineral | 60 | 10 | 30 | 35 | 400 | 50 | 8 | 100 | 50 | 40 | 15 | **72.55** |
| Not using modern technologies | 25 | 50 | 20 | 36 | 400 | 30 | 6 | 100 | 50 | 20 | 50 | **71.55** |
| No use of surveying equipment and designers in mines | 18 | 3 | 20 | 12 | 400 | 15 | 1 | 3 | 6 | 100 | 9 | **53.36** |
| climate conditions | 63 | 25 | 70 | 90 | 50 | 20 | 2 | 50 | 20 | 20 | 15 | **38.64** |
| Road accidents | 12 | 18 | 12 | 40 | 18 | 10 | 4 | 10 | 12 | 10 | 6 | **13.82** |
| **Average risk for the studied mines** | **86.17** | **63.38** | **59.04** | **68.17** | **210.5** | **99.50** | **26.04** | **102.6** | **82.25** | **31.67** | **34.04** | |

یکی از چالش‌های اقتصادی شناسایی‌شده در معادن مورد مطالعه، بی‌ثباتی قانون‌ها و مقررات معدنی است. از جمله راهکارهای قابل اجرا برای کاهش اثرات این خطر، تصویب قانون‌های ثابت در کشور به‌منظور حذف تصمیم‌های سلیقه‌ای مدیران در دوره‌های مختلف، سوق و جهت‌دهی به قانون‌ها و مقررات به سوی حمایت از معدن‌کاران، تسریع در تغییراتی که گریبانگیر معدن‌کاران هستند (حقوق دولتی بر پایه فروش واقعی) و در نهایت، اصلاح قانون‌های دست‌وپاگیر و صدور دستورالعمل‌ها است. با فرض اجرای تمامی اقدامات کاهنده، می‌توان احتمال وقوع و کشف مخاطرات موجود را به حداقل رساند. جدول-های (۹) و (۱۰) به ترتیب ریسک

مخاطرات ایمنی و اقتصادی معادن مورد مطالعه را بعد از انجام اقدامات کاهنده نشان می‌دهد.

با توجه به جدول (۹) مشخص می‌شود که تمامی مخاطرات با ریسک بالا تعدیل شده‌اند و ریسک دیگر در قسمت بحرانی قرار ندارد. البته کاهش ریسک برای مخاطرات یکسان در معادن مختلف به دلیل مشخصات و کیفیت مدیریتی متفاوت، تأثیر وجود یا عدم وجود امکانات و شرایط کاری متفاوت، یکسان نیست. کنترل مخاطراتی نظیر: پارگی سیم برش الماسه، شوک الکتریکی به علت فرسوده بودن کابل‌ها و مخاطراتی از این نوع، به شدت به میزان امکانات معدن وابسته بوده و معادنی با امکانات بالا در کنترل این مخاطرات موفق‌تر هستند. در طرف دیگر، کنترل مخاطراتی که با سهل‌انگاری و عدم دقت پرسنل و کارکنان شکل می‌گیرند، به مسائل مدیریتی و هشدارهای مسئولین معدن مربوط بوده و نیازمند توجه مدیران معدن هستند. تعدیل برخی مخاطرات ایمنی نظیر در رفتن سنگ و قواره‌سازی بلوک نیز البته به مسائل مربوط به سینه‌کار و خود ماده معدنی استخراجی بستگی دارد. پس از تعدیل ریسک‌ها نیز بیش‌ترین میزان میانگین ریسک حاصل، مربوط به پارگی سیم بکسل‌ها در جرثقیل‌ها بود. قبل از تعدیل ریسک، این عنوان به سیم برش الماسه رسیده بود که بعد از تعدیل ریسک، میزان میانگین ریسک پارگی سیم برش به میزان تقریبی ۲۴ کاهش پیدا کرد که مقدار قابل قبولی است. میانگین ریسک همه مخاطرات بعد از تعدیل در ناحیه ریسک متعادل قرار گرفتند.

**جدول ۹- میانگین ریسک تعدیل‌شده برای مخاطرات ایمنی برای معادن استان آذربایجان‌غربی**

| Title of incident | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ | $A_9$ | $A_{10}$ | $A_{11}$ | Average risk of incident |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tear the cutting wire and deal with it | 24 | 20 | 28 | 20 | 20 | 40 | 10 | 20 | 30 | 20 | 30 | **23.82** |
| Workers falls from the edge of the stairs to lower levels | 20 | 40 | 3 | 5 | 10 | 30 | 20 | 40 | 60 | 40 | 6 | **24.91** |
| Deal with moving and stationary objects | 8 | 5 | 1 | 36 | 64 | 40 | 24 | 2 | 10 | 10 | 5 | **18.64** |
| Slipping and falling on the ground floor | 8 | 1 | 6 | 72 | 50 | 4 | 60 | 24 | 10 | 10 | 10 | **23.18** |
| Machinery falls from the edge of the stairs to lower levels | 20 | 5 | 50 | 40 | 40 | 30 | 30 | 12 | 30 | 20 | 10 | **26.09** |
| Falling and throwing pieces of rock | 8 | 10 | 28 | 40 | 10 | 50 | 5 | 40 | 20 | 30 | 25 | **24.18** |
| Overturning machines during loading | 0.5 | 5 | 3 | 6 | 12 | 1 | 10 | 4 | 45 | 20 | 6 | **11.20** |
| Machine fire | 3 | 40 | 2 | 0.25 | 30 | 4 | 10 | 2 | 60 | 20 | 1 | **17.20** |
| Unexpected overturning of blocks due to lack of balance | 1 | 30 | 1 | 4 | 45 | 2 | 10 | 20 | 50 | 50 | 10 | **20.27** |
| Electric shock due to erosion of cable wear | 10 | 10 | 12 | 5 | 30 | 20 | 10 | 20 | 20 | 50 | 10 | **17.91** |
| Impacts from the impact of a perforator on a mineral | 4 | 5 | 25 | 40 | 12 | 0.25 | 50 | 0.5 | 0.5 | 6 | 3 | **18.13** |
| Jack dislocation in cranes | 4 | 5 | 0.25 | 0.75 | 75 | 20 | 10 | 4 | 30 | 20 | 3 | **19.00** |
| Rupture of tow wire in cranes | 9 | 12 | 50 | 64 | 75 | 12 | 10 | 40 | 40 | 20 | 24 | **32.36** |
| Compressed air hose rupture | 4 | 3 | 12 | 32 | 27 | 2 | 6 | 5 | 40 | 12 | 60 | **18.45** |
| Inhalation of dust and chemicals | 6 | 10 | 18 | 25 | 30 | 2 | 30 | 5 | 36 | 25 | 0.5 | **18.70** |
| Excessive noise exposure | 4 | 10 | 2 | 70 | 40 | 10 | 50 | 50 | 40 | 30 | 30 | **30.55** |
| Transportation of heavy tools and equipment by operators | 4 | 5 | 1 | 16 | 36 | 25 | 50 | 24 | 6 | 6 | 1 | **15.82** |
| Rupture of the tow wire of the peak device | 1 | 12 | 24 | 60 | 45 | 20 | 30 | 40 | 40 | 40 | 5 | **28.82** |
| Slating the block | 9 | 4 | 40 | 50 | 18 | 40 | 3 | 10 | 10 | 1 | 15 | **18.18** |
| escape of rock | 1 | 25 | 12 | 20 | 20 | 6 | 30 | 24 | 12 | 20 | 15 | **16.82** |
| **Average risk for the studied mines** | **7.79** | **12.85** | **16.74** | **33.61** | **34.45** | **18.84** | **22.90** | **20.32** | **31.00** | **22.50** | **14.16** | |

**جدول ۱۰- میانگین ریسک تعدیل‌شده برای مخاطرات اقتصادی برای معادن استان آذربایجان‌غربی**

| Title of incident | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ | $A_9$ | $A_{10}$ | $A_{11}$ | Average risk of incident |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Housing market | 50 | 24 | 20 | 40 | 25 | 50 | 20 | 50 | 50 | 10 | 45 | 34.91 |
| Repair and maintenance | 49 | 25 | 50 | 30 | 64 | 50 | 10 | 27 | 30 | 50 | 30 | 37.73 |
| Suppliers | 60 | 50 | 30 | 50 | 49 | 25 | 60 | 40 | 20 | 20 | 25 | 39.00 |
| Mining design issues | 40 | 25 | 50 | 9 | 30 | 3 | 6 | 25 | 40 | 10 | 25 | 23.91 |
| Energy carriers | 24 | 15 | 24 | 6 | 45 | 24 | 18 | 25 | 30 | 20 | 50 | 25.55 |
| Providing fixed and working capital | 18 | 25 | 8 | 15 | 40 | 30 | 25 | 25 | 30 | 10 | 50 | 25.09 |
| Climate conditions | 63 | 25 | 70 | 18 | 50 | 20 | 2 | 50 | 20 | 25 | 15 | 32.55 |
| Unit prices of mineral | 40 | 25 | 32 | 20 | 30 | 32 | 40 | 30 | 30 | 25 | 25 | 29.91 |
| Access to the sales market | 30 | 50 | 10 | 72 | 40 | 10 | 5 | 25 | 30 | 50 | 50 | 33.82 |
| Instability in laws and regulations | 40 | 25 | 60 | 6 | 40 | 40 | 50 | 50 | 30 | 50 | 3 | 35.82 |
| Distance of mines from stone cutting factories | 24 | 50 | 50 | 6 | 20 | 70 | 10 | 25 | 50 | 50 | 30 | 35.00 |
| Lack of cooperation of government with mining companies | 49 | 25 | 20 | 20 | 40 | 25 | 24 | 25 | 25 | 20 | 5 | 25.27 |
| Financing | 18 | 50 | 24 | 20 | 20 | 70 | 25 | 10 | 60 | 10 | 10 | 28.82 |
| The impact of politics on the mining economics' | 40 | 25 | 30 | 8 | 12 | 25 | 60 | 25 | 18 | 50 | 3 | 26.91 |
| Machinery efficiency in production year | 36 | 25 | 50 | 30 | 75 | 15 | 10 | 50 | 24 | 50 | 50 | 37.73 |
| Impact of security on mine production | 30 | 50 | 10 | 20 | 30 | 10 | 40 | 10 | 6 | 50 | 50 | 27.82 |
| Production efficiency of parts and tools | 72 | 30 | 15 | 64 | 20 | 25 | 5 | 15 | 15 | 50 | 50 | 32.82 |
| Low quality of inside-producted fuel | 48 | 10 | 24 | 4 | 30 | 10 | 8 | 20 | 25 | 20 | 6 | 18.64 |
| Counterfeit oils on the market | 32 | 15 | 24 | 60 | 30 | 25 | 8 | 25 | 40 | 25 | 25 | 28.09 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Not using modern technologies | 25 | 50 | 20 | 36 | 40 | 30 | 6 | 10 | 50 | 10 | 50 | 29.73 |
| No use of surveying equipment and designers in mines | 18 | 3 | 20 | 12 | 40 | 15 | 1 | 3 | 6 | 50 | 9 | 16.09 |
| Lack of uniqe price of mineral | 60 | 10 | 30 | 35 | 20 | 50 | 8 | 10 | 50 | 50 | 15 | 30.73 |
| Freight cost | 30 | 25 | 30 | 48 | 30 | 10 | 24 | 50 | 30 | 30 | 30 | 30.64 |
| Road accidents | 12 | 18 | 12 | 40 | 18 | 10 | 4 | 10 | 12 | 24 | 6 | 15.06 |
| Average risk for the studied mines | 37.83 | 28.13 | 29.71 | 27.88 | 34.92 | 28.08 | 19.54 | 26.46 | 30.04 | 31.63 | 27.38 | |

با توجه به جدول (۱۰) مشخص است که پس از اعمال تعدیل‌ها برای ریسک‌های اقتصادی، تمامی مخاطرات اقتصادی که میزان ریسک آنها در حد بحرانی بود، کاهش پیدا کرده و هیچ مخاطره‌ای دیگر دارای ریسک بحرانی نیست. در رابطه ریسک‌های اقتصادی بیان این نکته ضروری است که فرآیند کنترل این ریسک‌ها گسترده‌تر بوده و تنها به مسائل مدیریتی داخل معدن و پرسنل مربوط نمی‌شود. کنترل این ریسک‌ها از زیرساخت‌های مدیریتی خود معدن شروع شده و برای اکثر مخاطرات تا زیرساخت‌ها و مسائل مدیریتی و مسئولین استانی و کشوری نیز گسترش می‌یابد. برای مخاطراتی نظیر تأثیر سیاست بر اقتصاد معدنی و مسائل مربوط به واردات ماشین‌آلات و صادرات سنگ، باید توجه و اصلاحات از سازمان‌های معدنی و سازمان‌های تأثیرگذار در فرآیند آغاز شود. البته کنترل مخاطراتی نظیر قیمت خرید و فروش، تعمیر و نگهداری، تأمین سرمایه‌های ثابت و در گردش و مسائل مالی مربوط به معدن، به دقت و توجه مسئولین معادن بستگی دارد.

بیش‌ترین میزان میانگین ریسک، مربوط به مخاطرات اقتصادی مربوط به بی‌ثباتی در قوانین و مقررات معدنی بود که پس از تعدیل ریسک، میزان آن به ۳۵/۸۲ کاهش یافت که در ناحیه ریسک متعادل قرار می‌گیرد. بعد از تعدیل نیز بیش ترین میزان میانگین ریسک در بین مخاطرات، به تأمین کنندگان قطعات یدکی و ابزارآلات رسید. برای مخاطرات اقتصادی نیز ریسک‌های به‌دست‌آمده پس از تعدیل در ناحیه ریسک متعادل قرار گرفتند.

از آنجایی که بخش قابل توجهی از ذخایر احتمالی سنگ ساختمانی کشور هنوز به‌طور دقیق مورد شناسایی و اکتشاف قرار نگرفته‌اند، ضرورت دارد که مطالعات جامع بیش‌تری در این خصوص انجام پذیرد. در همین راستا، بخش مهمی از معادن سنگ به دلایل مختلفی (از قبیل کاهش بازار تقاضا، کاهش کیفیت تولید، افزایش هزینه های تولید و افزایش حوادث معدن‌کاری) در حال حاضر یا تعطیل شده‌اند و یا با حداقل میزان ظرفیت ممکن در حال فعالیت هستند که باید در خصوص این مشکلات در این معادن بررسی‌ها و مطالعات لازم صورت گیرد.

در این راستا، در گام نخست با بررسی موردی در معادن سنگ ساختمانی استان آذربایجان‌غربی و جمع‌بندی مشکلات این معادن به‌صورت آماری و با تهیه پرسش‌نامه‌های مربوطه، سعی بر آن شد که مسائل مدّنظر دسته‌بندی شوند. در ادامه، با توجه به آمار حوادث و مشکلات مربوط به مسائل ایمنی و ریسک‌های اقتصادی در این معادن مورد ارزیابی قرار گیرند و در راستای افزایش ایمنی و تحلیل ریسک به همراه روش‌های تعدیل و تنظیم، سعی شد تا پس از شناسایی و بررسی حوادث رخ‌داده در معادن مورد مطالعه، مدیریت ریسک ایمنی با استفاده از روش FMEA مورد بررسی قرار گیرد.

تحلیل و رتبه‌بندی ریسک حوادث از قبیل پارگی سیم برش و سقوط سنگ و غیره می‌توانند بزرگ‌ترین منابع خطر در این معادن باشند. بدین ترتیب با بررسی میانگین ریسک ایمنی در استخراج سنگ‌های ساختمانی در معادن مورد مطالعه، پیش و پس از تعدیل، می‌توان علاوه بر کاهش حوادث به بررسی راهکارهای ممکن نیز پرداخت.

از سوی دیگر، اهمیت صنعت معدن‌کاری که وظیفه تولید مواد اولیه مورد نیاز دیگر صنایع را بر عهده دارد و یکی از بخش‌های اقتصادی تأثیرگذار است، امری غیرقابل انکار است. این صنعت در طول فرآیند استخراج و بهره‌برداری، با پارامترهای غیرقابل کنترل زیادی مواجه است که موجب شده تا معدنکاری به یکی از خطرناک‌ترین، غیرقابل پیش‌بینی‌ترین و پرحادثه‌ترین صنایع بزرگ‌مقیاس تبدیل شود. حوزه

استخراج سنگ‌های ساختمانی نیز یکی از حوزه‌های پرخطر در فعالیت‌های معدنی است.

## ۷- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، پس از بررسی و شناسایی مخاطرات ایمنی و اقتصادی در ۱۰ معدن از معادن سنگ ساختمانی استان آذربایجان غربی با استفاده از روش FMEA میزان ریسک این مخاطرات پیش و پس از اعمال اقدامات کاهنده مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که:

– در میان مخاطرات ایمنی، پارگی سیم برش بیش‌ترین میزان ریسک بحرانی را داشت (در حدود ۷۲ درصد از معادن). پس از آن، ریزش و پرتاب قطعه سنگ در رتبه دوم قرار داشت. کم‌ترین میزان ریسک نیز به ترتیب مربوط به پارگی شیلنگ هوای فشرده و دررفتگی جک در جرثقیل‌ها بود.

– در میان مخاطرات و ریسک‌های اقتصادی در حوزه استخراج سنگ‌های ساختمانی استان آذربایجان‌غربی به ترتیب، بی‌ثباتی در قوانین و مقررات معدنی، قیمت فروش ماده معدنی، بازار مسکن، تأمین سرمایه‌های ثابت و در گردش، تأمین منابع مالی، کرایه حمل فرآورده‌های استخراجی به کارخانه‌های فرآوری و تأثیر سیاست بر اقتصاد معدنی به‌عنوان مخاطراتی با بیش‌ترین میزان ریسک مشخص شدند (مخاطراتی با اعداد ریسک بالای ۸۰).

– بیش‌ترین میانگین ریسک به‌دست‌آمده برای مخاطرات ایمنی در معادن مورد مطالعه، مربوط پارگی سیم برش و پس از آن، قرار گرفتن در معرض صدای زیاد بود. در میان معادن مورد مطالعه نیز معدن تراورتن پلدشت بیش‌ترین میانگین ریسک را به خود اختصاص داد.

– در میان مخاطرات اقتصادی بررسی‌شده، بی‌ثباتی در قوانین و مقررات معدنی دارای بیش‌ترین میانگین ریسک برای معادن A5 و A6 ثبت و اندازه‌گیری شد. پس از آن، قیمت فروش ماده معدنی به‌عنوان دومین مخاطره اقتصادی با بیش ترین میانگین ریسک برای معادن A5 و A8 به ثبت رسید و در نهایت، مخاطره رکود در بازار مسکن با بیش‌ترین میانگین ریسک برای معدن A4 به‌عنوان سومین مخاطره اقتصادی معرفی شد. در مجموع پس از بررسی‌های انجام‌شده، معدن A5 به‌عنوان پرمخاطره‌ترین معدن از میان معادن سنگ ساختمانی استان آذربایجان‌غربی از دیدگاه مخاطرات اقتصادی انتخاب شد.

– پس از اعمال اقدامات کاهنده برای هر دو دسته از مخاطرات بررسی‌شده (مخاطراتی از قبیل پارگی سیم برش و ریزش و پرتاب قطعه سنگ، بی‌ثباتی در قوانین و مقررات معدنی، قیمت فروش ماده معدنی، بازار مسکن، تأمین سرمایه‌های ثابت و در گردش) در معادنی که داری ریسک بالایی بودند، تعدیل ریسک انجام شد و میزان عدد ریسک آنها مجدداً مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی ها نشان داد که با اقدامات کاهنده‌ای از قبیل: تأمین سرمایه‌های ثابت و در گردش، مسائل مربوط به طراحی معدن، نزدیکی کارخانه‌های سنگ‌بری به معادن، قیمت فروش ماده معدنی، تأثیر سیاست بر اقتصاد معدنی، بازار مسکن، بی ثباتی در قوانین و مقررات، عدم همکاری ارگان‌های دولتی، دسترسی به بازارهای فروش داخلی و خارجی، روغن‌های تقلبی موجود در بازار، راندمان تولید قطعات و ابزارآلات تولید داخل، دسترسی به بازارهای فروش داخلی و خارجی، راندمان ماشین‌آلات نسبت به سال تولید، پایین بودن کیفیت سوخت داخل، تعمیر و نگهداری، تأمین‌کنندگان، تأثیر امنیت در معدن، کرایه حمل، شرایط آب‌وهوایی، حامل‌های انرژی و تأمین منابع مالی می‌توان ریسک مخاطرات و مشکلات اقتصادی معادن مورد مطالعه را از مقادیر بحرانی خارج کرد.

## منابع

دهقان س، ستاری ق. ۱۳۹۶. مدیریت و تحلیل ریسک ایمنی در معادن سنگ ساختمانی (مطالعه موردی: معادن سنگ محلات). ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها. ۵(۱): ۳۳-۴۲.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۹۴. راهنمای ارزیابی سیستم ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) در معادن، ضابطه شماره ۶۶۹، نشر سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران.

لطفی ا، عبدالهی‌شریف ج، بخت‌آور، ع. ۱۳۹۰. ارزیابی و مدیریت ریسک‌های اقتصادی ناشی از جایگزینی روش‌های مکانیزه به جای سنتی در معادن سنگ‌های ابعادی. (پایاننامه مقطع کارشناسی ارشد). وزارت علوم، تحقیقات و فناوری. دانشگاه ارومیه. دانشکده فنی و مهندسی.

مختاری م، خسروی م.ح، کاظمیان‌فر م. ۱۳۸۵. تحلیل ریسک ایمنی در استخراج سنگ تزئینی به روش سیم برش الماسه. پنجمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.

میکائیل ر، جعفرپور، ا، حبوبه، ع. ۱۳۹۶. تحلیل ریسک ایمنی معادن سنگ‌های ابعادی در استخراج با سیم برش الماسه به روش FMEA (مطالعه موردی: معادن مرمریت بادکی قره‌ضیاءالدین). نشریه مهندسی منابع معدنی، ۲ (۱): ۷۵-۸۴

نخعی خلیل‌آباد ز، عطایی م، خالوکاکایی ر، بصیرنژاد، م.ر. ۱۳۹۷. کاربرد تحلیل درخت خطای فازی در ارزیابی ریسک خطرات دستگاه سیم برش در معادن سنگ ساختمانی کوثر اصفهان. ۱۳(۳۹): ۴۳-۵۳.

agh.mimt.gov.ir

Arabian-Hoseynabadi, H., Oraee, H. and Tavner, P.J., 2010. Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 32(7), pp.817-824.

Ataei, M., Mikaiel, R., Sereshki, F. and Ghaysari, N., 2012. Predicting the production rate of diamond wire saw using statistical analysis. Arabian Journal of Geosciences, 5(6), pp.1289-1295.

Baghery, M., Yousefi, S. and Rezaee, M.J., 2018. Risk measurement and prioritization of auto parts manufacturing processes based on process failure analysis, interval data envelopment analysis and grey relational analysis. Journal of Intelligent Manufacturing, 29(8), pp.1803-1825.

Chiozza, M.L., and Ponzetti, C., 2009. FMEA: a model for reducing medical errors. Clinica chimica acta. 6;404(1):75-8.

Ersoy, M., 2013. The role of occupational safety measures on reducing accidents in marble quarries of Iscehisar region. Safety science, 57, pp.293-302.

Gumus, A. and Akkyun, O., 2006. An investigation on industrial accidents in marble quarrying. In Mersem 2006 The 5th Marble and Natural Stone Symposium of Turkey, May (pp. 2-3).

http://www.iribnews.ir/007qyb

Joy, J., 2004. Occupational safety risk management in Australian mining. Occupational medicine, 54(5), pp.311-315.

Kangari, R. and Riggs, L.S., 1989. Construction risk assessment by linguistics. IEEE transactions on engineering management, 36(2), pp.126-131.

Kumru, M. and Kumru, P.Y., 2013. Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. Applied Soft Computing, 13(1), pp.721-733.

Nggada, S.H., 2012. Software failure analysis at architecture level using FMEA. International Journal of Software Engineering and Its Applications, 6(1), pp.61-74.

Önder, S., Suner, N. and Önder, M., 2011. Investigation of occupational accident occurred at mining sector by using risk assessment decision matrix. In Turkey 22th International Mining Congress and Exhibition, Ankara, Turkey (pp. 399-406).

Papadopoulos, Y., Parker, D. and Grante, C., 2004, March. Automating the failure modes and effects analysis of safety critical systems. In Eighth IEEE International Symposium on High Assurance Systems Engineering, 2004. Proceedings. (pp. 310-311). IEEE.

Rakesh, R. and Jos, B.C., 2013. FMEA analysis for reducing breakdowns of a subsystem in the life care product manufacturing industry.

Rezaee, M.J., Salimi, A. and Yousefi, S., 2017. Identifying and managing failures in stone processing industry using cost-based FMEA. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 88(9-12), pp.3329-3342.

Robson, L.S. and Bigelow, P.L., 2010. Measurement properties of occupational health and safety management audits: a systematic literature search and traditional literature synthesis. Canadian journal of public health, 101(1), pp.S34-S40.

Trafialek, J. and Kolanowski, W., 2014. Application of failure mode and effect analysis (FMEA) for audit of HACCP system. Food Control, 44, pp.35-44.

Yang, Z. and Wang, J., 2015. Use of fuzzy risk assessment in FMEA of offshore engineering systems. Ocean Engineering, 95, pp.195-204.

Yarahmadi, R., Bagherpour, R. and Khademian, A., 2014. Safety risk assessment of Iran's dimension stone quarries (Exploited by diamond wire cutting method). Safety Science, 63, pp.146-150.

Yenchek, M.R. and Sammarco, J.J., 2010. The potential impact of light emitting diode lighting on reducing mining injuries during operation and maintenance of lighting systems. Safety science, 48(10), pp.1380-1386.