Journal of Safety Promotion and Injury Prevention, Case Study
Vol.5, No.1, Spring 2017

Safety Risk Analysis of Teravertine Mines in the Mahallat's Region:Case Study

Dehghan S[*1], Sattari Gh[2]

Abstract

Background and Objectives: Safety consideration in mines is regarded as the most important issue focused not only in safeguarding the health of miners, but, its contribution to efficiency and economical aspects of mine operations. Therefore, the objective of this study was to assess and analysis the risk of Teravertine miners in the Mahallat's region.

Material and Method: The main accidents of the Travertine mines was identified in 15 categories according to the local safety authorities. And, subsequently FMEA (Fault Modes and Effects Analysis) technique was used for the risk assessment.

Result: The risk priority number (RPN) for the mining operations was calculated in the range of 105 to 320. According to the acceptable criteria, 7 cases of operations were identified as "not acceptable" in this study.

Conclusion: Many risks could be traced in the Mahallat's mining operations. From the practical point of view, few risks were identified in this study and appropriate corrective actions were introduced.

Keywords: Risk, Mahallat Travertine Stone Mines, FMEA

How to cite this article:
Dehghan S, Sattari Gh. Safety Risk Analysis of Teravertine Mines in the Mahallat's Region:Case Study. J Saf Promot Inj Prev. 2017;5(1):33-42.

1. Department of mining engineering, Mahallat branch, Islamic Azad University, Mahallat, Iran.
2. Mining Exploitation Engineering, Ghaem group, Tehran, Iran.
***Corresponding author:** sa_dehghan@yahoo.com

مطالعه موردی

مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت ها
دوره ۵. شماره ۱. بهار ۱۳۹۶، صفحات ۳۳ تا ۴۲

مدیریت و تحلیل ریسک ایمنی در معادن سنگ ساختمانی (مطالعه موردی؛ معادن سنگ محلات)

سعید دهقان [۱*]، قاسم ستاری [۲]

۱. گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات، محلات، ایران.
۲. مهندسی استخراج معدن،گروه تخصصی قائم، مدیر فنی، تهران، ایران.

چکیده

سابقه و هدف: توجه به مسائل ایمنی در معادن یکی از مهم‌ترین مباحث درزمینه استخراج فنی و مهندسی معادن محسوب می‌شود. تمرکز به این مقوله نه‌تنها از بعد مسائل بهداشتی بلکه ازلحاظ راندمان تولیدی و به‌تبع آن شرایط اقتصادی نیز دارای اهمیت است، در این راستا ارزیابی و تحلیل ریسک موجود در معادن و ایجاد یک سیستم مدیریت برای آن می‌تواند نقش مؤثری در کاهش آمار حوادث در معادن ایفا کند.

روش بررسی: در این مقاله، به تحلیل و مدیریت ریسک ایمنی در سطح معادن شهرستان محلات با استفاده از تکنیک حالات خطا و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن پرداخته‌شده است. برای این منظور پس از بررسی‌های صورت گرفته، حوادث موجود در این معادن در ۱۵ دسته شناسایی و طبقه‌بندی گردیدند، به‌منظور تجزیه‌وتحلیل آن‌ها یک سری جدول‌های استاندارد در ارتباط با شدت و احتمال وقوع حوادث تنظیم و پایه‌گذاری شد.

یافته‌ها: در ارزیابی ۱۵ ریسک شناسایی‌شده در این معادن با استفاده از جدول‌های طرح‌ریزی‌شده، اعداد ریسک در بازه ۱۰۵ تا ۳۲۰ قرار گرفت که با توجه به حد ریسک موردقبول معادل ۲۲۴، از این میان ۷ ریسک در بازه غیرقابل‌قبول و با درجه ریسک بالا شناخته شد.

نتیجه‌گیری: وجود ریسک در پروژه‌های معدنی امری اجتناب‌ناپذیر است (به دلیل وجود شرایط کاری و متغیرهای زیاد) و نمی‌توان آن را به‌طور کامل حذف نمود ولی می‌توان سیاست مناسبی، به‌کارگیری فرآیند مدیریت و ارزیابی ریسک، برای کنترل و تعدیل ریسک در مقابل آن اتخاذ نمود. در این مطالعه نیز به‌منظور تعدیل ریسک‌های غیرقابل‌قبول شناسایی‌شده اقدامات اصلاحی مناسب به همراه چگونگی و مدت پایش آن تعیین و ارائه گردیده است.

واژگان کلیدی: ریسک، مدیریت ریسک، ایمنی، معادن سنگ شهرستان محلات، روش حالات خطا و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن

مقدمه

کارهای معدنی ازجمله فعالیت‌هایی است که به دلیل داشتن شرایط خاص، رعایت اصول ایمنی در آن‌ها تأثیر قابل‌توجهی بر بازدهی و اقتصاد سازمان یا شرکت دارد. چراکه پروژه‌های زیرساختی مانند عملیات معدنکاری معمولاً پروژه‌های پیچیده با متغیرهای زیاد ازجمله شرایط متغیر و نامطمئن (عدم قطعیت) هستند، حضور عدم قطعیت در پروژه به معنای تحمیل ریسک در انجام آن عملیات است. ازجمله دلایل ریسک بالا در این صنعت را می‌توان به ناشناخته بودن زمین، وجود یا عدم وجود آب‌های زیرزمینی، محدود بودن فضای کاری، آلودگی ناشی از کار ماشین‌آلات و تجهیزات، تهویه و روشنایی محیط کار، سقوط از ارتفاع، قرار گرفتن در معرض حرارت، استفاده از ماشین‌آلات سنگین، سقوط و یا ریزش مصالح سنگی و مواردی از این قبیل اشاره کرد (۱). از سوی دیگر هر عملیات مهندسی ازجمله یک پروژه‌ی معدنی می‌بایست در وهله اول پاسخگوی اهداف تعیین‌شده برای آن باشد و در مرحله بعد در دوره طراحی و بهره‌برداری دارای شرایط ایمن و اقتصادی باشد. در این حالت ممکن است اجتناب از هرگونه ریسک به‌عنوان مهندسی خوب و تأمین‌کننده شرایط مطلوب ارزیابی شود اما در این میان توجه به میزان هزینه موردنیاز یک پروژه بدون ریسک نیز ضروری است. از طرفی اجتناب از ریسک عمدتاً با نوآوری در تضاد است؛ بنابراین بخش مهندسی مقداری از ریسک را پذیرفته و با توجه به آن‌ها طراحی و اجرای پروژه را دنبال می‌کند

* آدرس مسئول مکاتبات: sa_dehghan@yahoo.com

(۲).

در ۲۰ سال گذشته، پیشرفت و توسعه ایمنی وسیعی در صنعت معدنکاری به وجود آمده است. بخشی از این تغییرات در اثر استفاده و توسعه روش‌های ارزیابی ریسک و سنجش خطرات احتمالی می‌باشد. این اصول و روش‌های سیستماتیک، خطرات بالقوه و غیرمترقبه‌ای که می‌تواند متوجه نیروی کار، اموال، تأسیسات، محیط‌زیست و روند تولید شود را ارزیابی و کنترل می‌کند و درنتیجه منجر به بهبود سیستم‌های مدیریت ایمنی در معادن می‌شود به‌طور که به‌راحتی می‌توان ادعا نمود که امروزه قوانین مختلفی در زمینه‌های سلامت و ایمنی کارگران و محیط کاری تدوین و تنظیم‌شده است که جهت اجرا نیازمند مدیریت و ارزیابی ریسک می‌باشند، به‌طورکلی امروزه از روش‌های مختلف ارزیابی ریسک به‌صورت گسترده در صنعت معدنکاری استفاده می‌شود که از این میان می‌توان به روش‌های آنالیز درختی، مونت‌کارلو، آنالیز حساسیت، تکنیک تحلیل سلسله مراتبی، روش حالات خطا و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن اشاره کرد (۳). از این میان روش حالات خطا و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن[۱] که یکی از بهترین روش‌ها برای ارزیابی اثرات پتانسیل خطر در زیرسیستم‌ها، گروه‌ها، اجزا و یا توابع می‌باشد نقش پررنگی در فرآیند مدیریت ریسک معادن ایفا می‌نماید. این ابزار درواقع به‌عنوان روشی کارآمد برای شناسایی و پیشگیری از وقوع مشکلات می‌باشد که در بسیاری از حوزه‌های مهندسی دارای عدم قطعیت بالا (نظیر معدنکاری) قابلیت کاربرد دارد (۴ و ۵). به‌عنوان نمونه، در سال ۲۰۱۴ کومار به بررسی فرآیند ارزیابی ریسک با استفاده از روش حالات خطا و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن برای انجام معدنکاری ایمن پرداخت (۶). در سال ۲۰۱۴، صفاری و همکاران مدیریت ریسک شغل کارکنان استخراج معادن زغال‌سنگ البرز شرقی با استفاده از تکنیک FMEA را بررسی نمودند (۷). در سال ۲۰۱۴، شریعتی ارزیابی ریسک معادن زیرزمینی در شرایط عدم قطعیت را با این روش موردبررسی قرار داد (۸). کومار در سال ۲۰۱۶ روشی را برای مدیریت ریسک ماشین‌آلات حفاری معدن با این روش معرفی نمود (۹). بائو و همکاران در سال ۲۰۱۷ با استفاده از FMEA به ارزیابی بیماری شغلی در سیستم مدیریت و ایمنی صنعت معدنکاری چین پرداختند (۱۰).

۱- روند مدیریت و ارزیابی ریسک در فعالیت‌های معدنی

عملیات معدنکاری به دلیل داشتن شرایط خاص ازجمله فعالیت‌هایی می‌باشد که در مقایسه با سایر صنایع با خطرات زیادی همراه است که این امر توجه هر چه بیشتر به مقوله ایمنی و بهداشت‌کار را در این صنعت بااهمیت می‌سازد. حوادث ناخواسته همواره تهدیدکننده جان و مال معدن کاران بوده است و انسان تلاش کرده است تا با شناسایی مکانیزم‌های مؤثر در وقوع حوادث از بروز آن‌ها و افزایش میزان خسارات وارده جلوگیری کند (۱).

وجود ریسک در پروژه‌های معدنی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد و نمی‌توان آن‌ها به طول کامل حذف نمود ولی می‌توان سیاست مناسبی را برای کنترل و تعدیل ریسک موجود به کار برد. این سیاست، همان به‌کارگیری فرآیند مدیریت و ارزیابی ریسک می‌باشد. در بحث مدیریت و تحلیل ریسک نکته حائز اهمیت در ابتدا تعریف ریسک و طبقه‌بندی آن می‌باشد. با این کار است که حوزه ارزیابی و مدیریت آن‌ها نیز مشخص می‌شود. به‌طورکلی ریسک در سیستم‌های مدیریت ایمنی به‌صورت حاصل‌ضرب تواتر در پیامد یک رخداد به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود (۷):

$$\text{ریسک} = \text{پیامد} \times \text{تواتر} \quad (۱)$$

به‌عبارت‌دیگر ریسک به‌عنوان تابعی از تواتر رخداد یک واقعه مورد انتظار و پیامدهای خروجی آن واقعه تعریف می‌شود (۱۱).

نقش ارزیابی ریسک در مدیریت فعالیت‌ها در بسیاری از صنایع ازجمله معدن به‌خوبی پذیرفته‌شده است، این نقش به‌وسیله ۴ مرحله در مدیریت ریسک (فرآیند سیستماتیک در شناسایی، تجزیه‌وتحلیل و واکنش به ریسک پروژه به‌منظور بیشینه نمودن نتایج وقایع مثبت و کمینه نمودن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای ناگوار بر اهداف پروژه) توصیف می‌شود. مراحل مدیریت ریسک به‌صورت زیر می‌باشد (۳):

۱. شناخت ریسک (شناختن خطرات و موقعیت آن‌ها و پتانسیل ایجاد صدمات و تلفات)
۲. تجزیه‌وتحلیل ریسک (تحلیل شدت خطر و امکان وقوع ناخواسته آن)
۳. برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری بر روی روش پیشگیری مناسب به‌منظور کاهش یا کنترل خطرات غیرقابل‌پیش‌بینی
۴. کنترل ریسک و پیاده‌سازی آن (انجام اقدامات کنترل مؤثر)

در سیستم‌های مدیریت ریسک تدوین‌شده برای محیط‌های دارای عدم قطعیت زیاد، بالأخص در ارتباط با زمین و فعالیت‌های معدنی تأکید عمده به مراحل شناسایی و کنترل ریسک می‌باشد (۲).

بعد از شناسایی انواع ریسک‌ها نوبت به ارزیابی آن‌ها می‌رسد. در مبحث ارزیابی ریسک روش‌های بسیار متنوعی وجود دارد که هرکدام هدف و خروجی خاص خود را دارند (۱۱).

به‌طورکلی تحلیل ریسک به‌منظور شناخت اهمیت نسبی و اولویت رخدادهای ناخواسته ضروری است. همچنین رخدادها باید برای به دست آوردن اطلاعات و مشخص شدن طبیعتشان به‌خوبی شرح داده

۱. Failure mode and effect analysis (FMEA)

شوند. تعیین اولویت نسبی هر یک از ریسک‌ها شامل تصمیم‌گیری در مورد پیامد و تواتر رخداد ناخواسته می‌باشد. وجود اطلاعات دقیق برای این دو متغیر نوع آنالیز ریسک را تعیین می‌کند، در کل ما دو راه برای به دست آوردن اطلاعات داریم (۳):

۱. زمانی که شدت خسارات و احتمال رخداد می‌تواند به‌طور نسبی با استفاده از اطلاعات قبلی اندازه‌گیری شده و شناخته شوند؛ یعنی احتمال آینده را بر مبنای اطلاعات گذشته تخمین بزنیم (روش عینی یا واقعی)، در این حالت روش ارزیابی ریسک به‌صورت کمی به کار می‌رود.

۲. زمانی که شدت و احتمال وقوع را نتوان به‌صورت دقیق به علت عدم وجود آمار و اطلاعات گذشته مشخص نمود ولی می‌تواند بر مبنای تجربه و حدس‌های عالمانه تخمین زده شود (روش ذهنی)، در این حالت روش ارزیابی ریسک به‌صورت کیفی و نیمه کمی به کار می‌رود.

در تحلیل ریسک عملیات معدنی از هر دو روش استفاده می‌شود. ولی به دلایل زیر بیشتر از روش‌های کیفی استفاده می‌گردد (۳):

۱. فقدان اطلاعات دقیق و معتبر درباره احتمال رخداد

۲. وجود تجربه زیاد در سطح عملیات و مدیریت که می‌تواند احتمال رخدادها را به‌صورت ذهنی و یا غیر عینی پیشنهاد کند.

۳. در بیشتر وقت‌ها هدف از ارزیابی ریسک، مدیریت ریسک‌های اولویت‌دار می‌باشد، این هدفی است که نیاز به رسیدگی و ارزیابی کمی برای یک خروجی مؤثر ندارد.

بعد از شناسایی و ارزیابی انواع ریسک‌ها و مشخص شدن قابل‌قبول و یا غیرقابل‌قبول بودن ریسک مربوطه به پروژه، باید اقدامات کنترلی به‌منظور کاهش و تعدیل ریسک‌های غیرقابل‌قبول پروژه انجام گردد. تا در تمامی نقاط معدن میزان ریسک به‌اندازه زیادی کاهش‌یافته و از ریسک تقریباً یکنواختی برخوردار باشند (۱).

به‌طورکلی همه تصمیم‌های نهایی درباره اقدامات کنترلی باید نیازهای مناسب را که حداقل سطح پیشگیری از حوادث را فراهم می‌کند، محاسبه نماید.

فعالیت‌های کنترل ریسک در موارد زیر خلاصه و طبقه‌بندی می‌شوند (۳):

- از بین بردن مخاطرات به‌وسیله برطرف کردن، کاهش و جانشینی کارکنان یا تجهیزات
- کناره‌گیری از ریسک به‌وسیله فعالیت‌های از راه دور محافظتی
- تعیین شیوه‌ها و روش‌های استاندارد کاری
- حفاظت نیروی انسانی با استفاده از تجهیزات حفاظتی
- دایر کردن سیستم‌های احیای اضطراری به‌منظور کاهش شدت خسارات

به‌طورکلی ارائه روش‌های گوناگون، مقابله و سنجش اینکه کدام‌یک از روش‌های کنترل، برای هر یک از خطرات احتمالی مناسب است، کاری است که باید با دقت و سرعت و فارغ از هرگونه اشتباه صورت پذیرد و این سرعت و دقت در مواجهه با حوادث غیرمترقبه بسیار حائز اهمیت‌تر جلوه می‌نماید، زیرا با یک اشتباه و یا حتی تأخیر در تصمیم‌گیری در مواقع ضروری، خسارات جبران‌ناپذیری به تأسیسات و کارکنان وارد خواهد آمد (۱۲).

۲- معادن سنگ محلات

یکی از بزرگ‌ترین ذخایر تراورتن کشور در محدوده شهرستان محلات واقع‌شده است. تراورتن این منطقه آوازه جهانی دارد و به کشورهای ایتالیا، چین، آلمان، استرالیا، کانادا، آمریکا و ... صادر می‌شود. منطقه محلات با تولید سالیانه یک‌میلیون تن ماده معدنی، بزرگ‌ترین و مرغوب‌ترین سنگ تراورتن کشور را در اختیار دارد. بیشترین طیف رنگی سنگ‌های این معادن از سفید تا کرم تیره می‌باشند که حاصل فعالیت چشمه‌های آهک سازی است که به‌صورت لایه‌ای و بر روی تپه‌های ماهوری قرار دارند. این تراورتن‌ها ازنظر سنی جوان بوده و مربوط به فعالیت چشمه‌های تراورتن ساز عهد حاضر می‌باشند. هم‌اکنون بیش از ۳۵ میلیون تن سنگ تراورتن در معادن سنگ محلات موجود است. در این راستا ۳۰ معدن با ذخیره‌ای بالغبر ۱۵ میلیون تن فعال هستند، بزرگ‌ترین معادن تراورتن ایران حاجی‌آباد، آتشکوه و عباس‌آباد (به لحاظ مرغوبیت و ذخیره) نیز در این منطقه واقع‌شده‌اند. وجود ۷۰ کارخانه سنگ‌بری منطبق با فنّاوری روز دنیا این منطقه را به یکی از شاخص‌ترین نقاط صنعت سنگ ایران تبدیل کرده است.

۳- روش حالات خطا و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن (FMEA)

این تکنیک یک روش سیستماتیک و منظم برای نشان دادن خرابی‌های احتمالی برنامه‌ها و پروژه‌ها در مراحل انجام و جزئیات آن است و می‌کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود در محدوده‌ای که در آن ارزیابی ریسک انجام می‌شود و همچنین علل و اثرات مرتبط با آن را شناسایی و رتبه‌بندی کند. همچنین این روش به آنالیز و امتیازدهی ریسک‌ها با حالات شکست مختلف، اولویت‌بندی اقدامات کنترلی و کاهش ریسک، ارزیابی دوباره ریسک‌ها و بازگشت به گام اولویت‌بندی اقدامات کنترلی و کاهشی ریسک تا جایی که عدد ریسک‌ها کاهش پیدا کند، اقدام می‌کند (۱۳).

روش حالات خطا و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن در ابتدا برای تحلیل سیستماتیکی حالات شکست و تأثیرات آن در بخش صنایع دفاعی به‌خصوص صنعت هواپیمایی مورداستفاده قرار گرفت و در ادامه نیز

استفاده از آن در صنایع هسته‌ای، ماشین‌سازی، شیمیایی، مکانیکی و در صنایع دیگر به‌سرعت رشد پیدا کرد (۱۴-۱۸).

مراحل انجام تحلیل ریسک با استفاده از روش حالات خطا و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن عبارت است از (۸ و ۱۳)؛

۱. تعیین خطرات بالقوه و ریسک‌های مرتبط و نیز تعیین علل آن

۲. تعیین احتمال وقوع؛ جهت تعیین احتمال وقوع، نسبت تعداد حوادث پیش‌آمده به تعداد دفعات انجام کار تعیین می‌شود.

۳. تعیین پیامد؛ ارزیابی میزان پیامدها و اثرات پتانسیل یک خطر

۴. تعیین احتمال کشف یا تشخیص؛ احتمال تشخیص یک خطر قبل از آن‌که اثر وقوع آن مشخص شود

۵. محاسبه عدد اولویت ریسک[۲] (RPN) به‌صورت حاصل‌ضرب ردیف‌های ۲ تا ۴

۶. تعیین حد مناسب RPN برای پروژه و رتبه‌بندی ریسک‌ها بر اساس عدد اولویت ریسک تعیین‌شده

۷. انجام اقدامات اصلاحی و تعیین مسئولیت‌ها و وظایف، این اقدامات باید در جهت حذف علل ریشه‌ای و کاهش وخامت اثر، وضع و اجرا گردد. همچنین باید مسئول هر یک از اقدامات اصلاحی به‌طور واضح مشخص و تعیین گردد.

۸. بعد از انجام اقدامات اصلاحی باید دوباره عدد RPN محاسبه شود.

هدف اصلی این مقاله تجزیه‌وتحلیل و مدیریت ریسک ایمنی حوادث در معادن سنگ با نگرشی بر معادن سنگ شهرستان محلات می‌باشد، برای این منظور اولویت‌بندی حوادث به‌عنوان ابزاری برای شناسایی، ریشه‌یابی، رده‌بندی و چاره‌جویی آن‌ها در دستور کار قرارگرفته است. بر این اساس و با توجه به حوادث رخداده در این معادن و ویژگی‌های مختلف روش‌های ارزیابی ریسک، از روش حالات خطا و تجزیه‌وتحلیل اثرات آن (FMEA) استفاده شد.

مواد روش‌ها

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل و ارزیابی حوادث عملیات استخراج در معادن سنگ شهرستان محلات به کمک روش FMEA، با توجه به نبود اطلاعات آماری در این معادن و در سطح سازمان معادن استان از روش ارزیابی کیفی و کمی کردن اطلاعات استفاده شد.

برای این امر در وهله اول و به‌عنوان مهم‌ترین گام مخاطرات ایمنی عملیات استخراجی در معادن سنگ مورد شناسایی و تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. بر این اساس و با توجه به تحقیقات صورت گرفته، ممیزی معادن، بررسی اسناد و سوابق، تهیه پرسشنامه از مسئولین معادن و مشاهدات محلی، مخاطرات این معادن در ۱۵ دسته مختلف شناسایی و دسته‌بندی گردید.

در مرحله بعد و به‌منظور تجزیه‌وتحلیل ریسک‌های شناسایی‌شده با استفاده از روش FMEA تعیین پارامترهای این روش (احتمال وقوع، پیامد و کشف یا تشخیص) به‌منظور محاسبه عدد اولویت ریسک در دستور کار قرار گرفت. در این مرحله با توجه به اطلاعاتی که از فرآیند و یا محصول وجود دارد، خطر بر اساس سه عامل مذکور درجه‌بندی می‌شود. این طبقه‌بندی از ۱ تا ۱۰ (پایین به بالا) می‌باشد. اگر درجات این سه عامل را در یکدیگر ضرب کنیم عدد اولویت ریسک برای هر الگوی شکست بالقوه و آثار آن به دست می‌آید.

برای تعیین پارامترهای اشاره‌شده در مطالعات مختلف از روش‌های مختلفی استفاده‌شده است (۶-۱۰). لیکن همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، ازآنجایی‌که در فعالیت‌های معدنی موجود در کشور به دلایلی نظیر ماهیت این صنعت (بخش ۲-۱) و عدم وجود اطلاعات دقیق از شدت و احتمال رخدادها به‌صورت کمی نظر به علمی نبودن فعالیت‌ها، ارزیابی کیفی با توجه به مزایای آن مورداستفاده قرار گرفت. در این روش استفاده از روش اختیاری درجه‌بندی به‌منظور ارزیابی ریسک حوادث با توجه به ماهیت فعالیت مربوطه در دستور کار قرار می‌گیرد. در این روش، احتمال خطرهای مختلف درجه‌بندی می‌شود. بدین منظور، خطرهای مختلف را از ۱ (کمترین احتمال) تا ۱۰ (بیشترین احتمال)، درجه‌بندی می‌کنند.

پیامدهای حاصله از بروز حوادث نیز در جداولی دیگر با تقسیم‌بندی دلخواه درجه‌بندی می‌شوند. این درجه‌بندی، ضروری است چون در غیر این صورت، ممکن است میزان ریسک حادثه‌ای که احتمال بروز و پیامد حاصل از آن متوسط است، با میزان ریسک حادثه‌ای که احتمال وقوع آن کم و پیامدهای آن زیاد است، اشتباه شود. بدین ترتیب، این روش درجه‌بندی، بر اساس پیامدهای حاصل از حوادث، وزن گذاری آماری می‌شود. بر این اساس، میزان ریسک را می‌توان به‌صورت حاصل‌ضرب احتمال بروز یک حادثه در پیامد حاصل از بروز آن، تعریف کرد. این روش بر مبنای عقیده و تجربه استوار است و نباید با روش‌های آماری اشتباه شود و هدف آن، آسان‌تر کردن شرایط تخمین است.

از سوی دیگر در میان پارامترهای اشاره‌شده، با توجه به مخاطرات شناسایی‌شده در معادن سنگ و نظرسنجی صورت گرفته در میان معدنچیان امکان رتبه‌بندی به‌منظور تعیین احتمال کشف یا تشخیص مخاطرات وجود نداشته و تقریباً تمامی مطالعات و نظرات بر این مبنا استوار بود که در این نوع فعالیت‌ها عملاً هیچ‌یک از مخاطرات امکان تشخیص ندارند و تمامی مخاطرات دارای رتبه یکسان ۱۰ (عدم امکان تشخیص به‌صورت مطلق) می‌باشند. لذا در محاسبات عدد

۲ . Risk Priority Number

اولویت ریسک به‌منظور رتبه‌بندی آن‌ها این آیتم با توجه به یکسان بودن در تمامی مخاطرات در نظر گرفته نشده است.

بر این اساس و به‌منظور کمی نمودن میزان ریسک‌های شناسایی‌شده، رتبه‌بندی احتمال وقوع حوادث بر اساس جدول (۱) و پیامد حاصل از آن‌ها بر مبنای حاصل‌ضرب شدت صدمات جانی (جدول ۲) در نرخ روزهای ازکارافتادگی (جدول ۳) در دستور کار قرار گرفت. این جدول‌ها با توجه به انواع حوادث رخداده در معادن سنگ تراورتن شهرستان محلات و قضاوت‌های گروه تحقیق به همراه مسئولین ایمنی و مدیریتی معادن تنظیم‌شده‌اند. در این جدول‌ها احتمال وقوع، شدت صدمات جانی و تعداد روزهای ازکارافتادگی، از ۱ تا ۱۰ درجه‌بندی‌شده‌اند.

جدول ۱- رتبه‌بندی احتمال وقوع

تواتر وقوع	درجه
بیش از یک وقوع در یک روز	۱۰
بی‌ش از یک وقوع در یک هفته	۹
یک وقوع در یک هفته	۸
بیش از یک وقوع در هرماه	۷
یک وقوع در هرماه	۶
بیش از یک وقوع در هر ۶ ماه	۵
بیش از یک وقوع در هرسال	۴
بیش از یک وقوع در هر دو سال	۳
یک وقوع در هر ۲ تا ۵ سال	۲
یک وقوع در بیش از ۵ سال	۱

جدول ۲- رتبه‌بندی شدت صدمات جانی

نوع صدمه	درجه
مرگ	۱۰
قطع عضو	۹
شکستگی و دررفتگی	۸
پارگی، خونریزی و صدمه داخلی	۷
برق‌گرفتگی و شوک الکتریکی	۶
ضرب‌دیدگی، کوفتگی و پیچ‌خوردگی	۵
مسمومیت	۴
بریدگی و جراحت	۳
صدمات حاصل از حمل بار سنگین	۲
سایر	۱

جدول ۳- رتبه‌بندی روزهای ازکارافتادگی

میزان ازکارافتادگی	درجه
دائمی	۱۰
۲ تا ۳ سال	۹
۱ تا ۲ سال	۸
۶ ماه تا ۱ سال	۷
۳ تا ۶ ماه	۶
۱ تا ۳ ماه	۵
۱ هفته تا ۱ ماه	۴
۱ روز تا ۱ هفته	۲
۱ شیفت تا ۱ روز	۲
بدون ازکارافتادگی	۱

با ضرب کردن درجات داده‌شده، عدد اولویت ریسک (که از ۱ تا ۱۰۰۰ متغیر است) برای تشخیص میزان نیاز به اقدامات اصلاحی برای حذف یا کاهش حالات بالقوه خطا تعیین می‌شود. در این مرحله پس از شناسایی مخاطرات و پیامدهای آن‌ها، نسبت به ارزیابی هر خطر مطابق با جدول رتبه‌بندی و امتیازات ریسک اقدام گردید. قابل‌ذکر است بر اساس تجارب قبلی و با عنایت به رایزنی‌ها و قضاوت‌های صورت گرفته حد RPN برابر ۲۲۴ در نظر گرفته‌شده است (جدول‌های ۴ و ۵).

جدول ۴- رتبه‌بندی و امتیاز ریسک؛ تعیین حد RPN

شدت صدمات											احتمال وقوع
۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱
۲	۴	۸	۱۲	۱۶	۲۰	۲۴	۲۸	۳۲	۳۶	۴۰	۲
۳	۹	۱۸	۲۷	۳۶	۴۵	۵۴	۶۳	۷۲	۸۱	۹۰	۳
۴	۱۶	۳۲	۴۸	۶۴	۸۰	۹۶	۱۱۲	۱۲۸	۱۴۴	۱۶۰	۴
۵	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵	۱۵۰	۱۷۵	۲۰۰	۲۲۵	۲۵۰	۵
۶	۳۶	۷۲	۱۰۸	۱۴۴	۱۸۰	۲۱۶	۲۵۲	۲۸۸	۳۲۴	۳۶۰	۶
۷	۴۹	۹۸	۱۴۷	۱۹۶	۲۴۵	۲۹۴	۳۴۳	۳۹۲	۴۴۱	۴۹۰	۷
۸	۶۴	۱۲۸	۱۹۲	۲۵۶	۳۲۰	۳۸۴	۴۴۸	۵۱۲	۵۷۶	۶۴۰	۸
۹	۸۱	۱۶۲	۲۴۳	۳۲۴	۴۰۵	۴۸۶	۵۶۷	۶۴۸	۷۲۹	۸۱۰	۹
۱۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۹۰۰	۱۰۰۰	۱۰
روزهای ازکارافتادگی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	روزهای ازکارافتادگی

جدول ۵) رتبه‌بندی و امتیاز ریسک؛ تعیین حد RPN

نمره ریسک	میزان ریسک
۱ – ۱۸	خیلی کم
۱۹ – ۷۵	کم
۷۶ - ۲۲۳	متوسط
۲۲۴ - ۳۸۴	زیاد
۳۸۵ - ۱۰۰۰	خیلی زیاد

بر اساس حد در نظر گرفته‌شده برای RPN، هر خطری که درجه ریسک زیاد و خیلی زیاد را کسب نماید غیرقابل‌قبول شناخته‌شده و می‌بایست اقدامات کنترلی مناسب برای اصلاح آن‌ها به‌منظور کاهش میزان ریسک و رسیدن به درجه قابل‌قبول صورت پذیرد.

برای مخاطراتی که رتبه آن‌ها خیلی کم، کم و متوسط هست، تنها نیاز است که اقدام متناسب با سطح ریسک اتخاذ شود. بدیهی است که با توجه به رتبه‌بندی ریسک‌ها، ریسک‌های با رتبه بالاتر در اولویت زمانی جهت رفع عدم انطباق پیش آماده قرار دارند.

یافته‌ها

با توجه به توضیحات ارائه‌شده و به کمک جدول‌های ۱ تا ۳ عدد اولویت ریسک برای انواع حوادث شناسایی‌شده و رخداده در معادن مختلف تراورتن شهرستان محلات توسط عوامل اجرایی معادن از طریق ارسال برگه‌های مربوطه تکمیل و میانگین نتایج جمع‌آوری‌شده در جدول (۶) ارائه‌شده است.

جدول ۶- عدد اولویت ریسک برای هر یک از انواع حوادث در معادن سنگ شهرستان محلات

ردیف	کد	عنوان یا نوع حادثه (ریسک موجود)	احتمال وقوع	شدت پیشامد		عدد اولویت ریسک (میزان ریسک)
				شدت صدمات جانی	نرخ ازکارافتادگی	
۱	A	برخورد باسیم برش الماسه پاره شده	۶	۸	۵	۲۴۰
۲	B	صدمه دیدن افراد و تأسیسات هنگام باز کردن سینه کار جدید	۴	۸	۷	۲۲۴
۳	C	ریزش قطعه‌سنگ‌ها در امتداد ناپیوستگی‌های طبیعی و آسیب دیدن افراد	۶	۵	۸	۲۴۰
۴	D	آسیب دیدن و واژگونی ماشین‌آلات حمل (کفی) بهنگام بارگیری	۵	۷	۶	۲۱۰
۵	E	آسیب ناشی از رها شدن غیرمنتظره کوپ سنگ در جهت لایه‌بندی در پله کاری	۴	۸	۷	۲۲۴
۶	F	برق‌گرفتگی ناشی از کابل‌های فرسوده	۷	۶	۴	۱۶۸
۷	G	سقوط از سطحی به سطح پایین‌تر (افتادن و سرخوردن از پله جبهه کار (ارتفاع‌های مختلف))	۹	۸	۴	۲۸۸
۸	H	برخورد و تصادف با اجسام و وسایل در حال حرکت	۹	۵	۴	۱۸۰

ادامه جدول ۶- عدد اولویت ریسک برای هر یک از انواع حوادث در معادن سنگ شهرستان محلات

ردیف	کد	عنوان یا نوع حادثه (ریسک موجود)	احتمال وقوع	شدت پیشامد		عدد اولویت ریسک (میزان ریسک)
				شدت صدمات جانی	نرخ ازکارافتادگی	
۹	I	گیرکردن بین دو جسم سخت	۶	۷	۴	۱۶۸
۱۰	J	تصادم با اجسام ثابت نظیر بونکر، لارده، آرک	۷	۵	۳	۱۰۵
۱۱	K	زمین خوردن هنگام تردد	۱۰	۸	۴	۳۲۰
۱۲	L	صدمات ناشی از کار با پیکور و پتک زدن	۹	۷	۴	۲۵۲
۱۳	M	هوای فشرده (پارگی ناگهانی شیلنگ ۲ یا ۳,۴ اینچ و عدم مهار آن)	۸	۵	۳	۱۲۰
۱۴	N	صدمات ناشی از حمل و تخلیه لوازم	۱۰	۶	۳	۱۸۰
۱۵	O	سایر حوادث	۸	۵	۱	۴۰

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، در بین حوادث و با توجه به حد RPN تعیین‌شده توسط گروه ارزیابی، ۷ مورد از ۱۵ حادثه در نظر گرفته‌شده شامل ریسک‌های زمین خوردن هنگام تردد، سقوط از سطحی به سطح پایین‌تر در کنار صدمات ناشی از کار با پیکور، برخورد باسیم برش پاره شده و ریزش قطعه‌سنگ‌ها در امتداد ناپیوستگی‌های طبیعی، عدد اولویت ریسک بالایی را دارند و جز ریسک‌های غیرقابل‌قبول به‌حساب آمده که می‌بایست اقدامات لازم و علاج بخش برای کاهش این ریسک‌ها انجام گیرد. البته همان‌گونه که از مقادیر RPN آن‌ها مشخص است، این ریسک‌ها نیز با حد تعیین‌شده اختلاف بسیار زیادی ندارند که می‌توان با انجام اقدامات اصلاحی مناسب به‌سرعت آن‌ها به درجه قابل‌قبول تعدیل نمود.

بر همین اساس در این مرحله به‌منظور تعدیل ریسک‌های غیرقابل‌قبول اقدامات اصلاحی و علاج بخش متناسب با سطح ریسک به‌دست‌آمده در دستور کار قرار گرفت، برای این منظور با مشورت مسئولین معادن مربوطه راهکارهای اصلاحی تدوین، چگونگی و دوره پایش به همراه مسئول مربوطه تعیین گردید که نتیجه آن در جدول (۷) ارائه‌شده است.

جدول ۷- اقدامات اصلاحی به‌منظور کاهش و تعدیل ریسک‌های غیرقابل‌قبول

ردیف ریسک (مطابق جدول ۶)	عنوان ریسک	نمره ریسک	اقدام اصلاحی و کنترلی	چگونگی پایش	دوره پایش	مسئول
۱	برخورد باسیم برش الماسه پاره شده	۲۴۰	آموزش اپراتور، انتخاب ارتفاع مناسب پله، کنترل مداوم مقاومت سیم برش	بازرسی	دائمی	مسئول آموزش، مسئول ایمنی و مسئول اجرا معدن
۲	صدمه دیدن افراد و تأسیسات هنگام باز کردن سینه کار جدید	۲۲۴	استفاده از الگوی مناسب انفجار، بررسی دقیق‌تر شرایط زمین‌شناسی، رعایت دستورالعمل انفجار در معادن	بازرسی	مداوم	سرپرست معدن، مسئول ایمنی
۳	ریزش قطعه‌سنگ‌ها در امتداد ناپیوستگی‌های طبیعی و آسیب دیدن افراد	۲۴۰	انجام مطالعات کامل ژئوتکنیکی، استفاده از تجهیزات نگه‌دارنده	بازرسی	به‌طور دائمی	مسئول اجرا و ایمنی معدن
۵	آسیب ناشی از رها شدن غیرمنتظره کوپ سنگ در جهت لایه‌بندی در پله کاری	۲۲۴	شناسایی کامل زمین، رعایت اصول مهندسی در زمان طراحی و بهره‌برداری	بازرسی و مهندسی	دائمی	مسئول فنی و مسئول ایمنی معدن
۷	سقوط از سطحی به سطح پایین‌تر (افتادن و سرخوردن از پله جبهه کار (ارتفاع‌های مختلف))	۲۸۸	نصب تجهیزات ایمنی، هموارسازی مسیرهای مرتفع، استفاده از تابلوهای راهنما	بازرسی	هفتگی	مسئول ایمنی معدن
۱۱	زمین خوردن هنگام تردد	۳۲۰	نظافت مسیر معدن، هموارسازی مسیر حرکت	بازرسی	هفتگی	مسئول ایمنی معدن
۱۲	صدمات ناشی کار با پیکور و پتک زدن	۲۵۲	انجام چرخش کار، کاهش ساعت کاری و استفاده از وسایل حفاظت فردی	بازرسی و انجام معاینات ادواری	دائمی	مسئولین اجرا و ایمنی معدن

بحث

وجود ریسک در پروژه‌های معدنی به دلیل وجود شرایط کاری و متغیرهای زیاد امری اجتناب‌ناپذیر است و نمی‌توان آن را به‌طور کامل حذف نمود ولی می‌توان سیاست مناسبی (به‌کارگیری فرآیند مدیریت و ارزیابی ریسک) شامل: مشخص کردن ریسک و عوامل آن، ارزیابی و تجزیه‌وتحلیل ریسک، تعیین حداقل ریسک قابل‌قبول، کاهش مقدار ریسک تا حد ممکن، اداره کردن و پذیرش میزان ریسک برای کنترل و تعدیل ریسک در مقابل آن اتخاذ نمود.

به‌طورکلی در برنامه‌ریزی برای ایجاد معدن، در ابتدا کار بایستی به فکر ایجاد سیستم مدیریت فنی، اجرایی و ایمنی مناسب برای آن بود، به‌طوری‌که مسئولیت‌ها در سیستم مشخص‌شده باشند. این کار نیازمند مدیریتی آگاه و هوشمند می‌باشد، تحلیل و مدیریت ریسک یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای چنین سیستم‌های مدیریتی می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر با دانستن میزان ریسک حوادث و نتایج گاهی اسفبار آن، می‌توان ایده‌های مناسبی در جهت کاهش خطرات در فعالیت‌های معدنی ارائه نمود. مواردی که متأسفانه در اکثر معادن کشور نادیده انگاشته می‌شود.

مطالعاتی که تاکنون درزمینهٔ مدیریت ریسک در صنعت معدنکاری در سطح کشور انجام‌گرفته عمدتاً به معادن زیرزمینی (به دلیل ماهیت مخاطره‌آمیز آن‌ها) و به‌ویژه معادن زغال‌سنگ محدودشده است. مطالعاتی که عمدتاً محدود به تحلیل و ارزیابی ریسک حوادث بر اساس آمار ارائه‌شده حوادث بوده و در آن‌ها اثری از مدیریت ریسک به‌منظور کاهش و یا کنترل حوادث مشاهده نشده است (۱۲، ۱۹-۲۴). این در حالی است که در سیستم‌های مدیریت ریسک تدوین‌شده برای محیط‌های دارای عدم قطعیت زیاد، بالأخص در ارتباط با زمین و فعالیت‌های معدنی تأکید عمده به مراحل شناسایی و کنترل ریسک می‌باشد (۲). تمرکز این تحقیق بر تحلیل و مدیریت ریسک ایمنی در سطح معادن سنگ (معادن روباز) شهرستان محلات بوده که با توجه به نحوه اداره سنتی این معادن نه‌تنها هیچ‌گونه تحلیلی از حوادث وجود نداشته، بلکه آماری از حوادث رخداده در آن‌ها نیز موجود نبوده است. به همین منظور در این مطالعه تلاش شده است تا با استفاده از نوع مخاطرات شناسایی‌شده، بهترین روش ارزیابی و مدیریت ریسک انتخاب و با توجه به محدودیت‌های اشاره‌شده، ارزیابی منطقی از مخاطرات صورت پذیرد تا بتوان با مدیریت آن‌ها آمار حوادث را در حد قابل‌قبول کنترل نمود. بر این اساس از تکنیک FMEA استفاده شد.

در ارزیابی ۱۵ ریسک شناسایی‌شده در این معادن با استفاده از روش FMEA، اعداد ریسک در بازه ۱۰۵ تا ۳۲۰ قرار گرفت که با توجه به حد ریسک موردقبول معادل ۲۲۴، از این میان ۷ ریسک در بازه غیرقابل‌قبول و با درجه ریسک بالا شناخته شد. با توجه به اینکه عمده ریسک‌های غیرقابل‌قبول موجود دارای درجه ریسک زیاد بودند و نه خیلی زیاد، می‌توان انتظار داشت که با رعایت اقدامات اصلاحی، میزان ریسک‌های غیرقابل‌قبول کاهش یابد. برای این منظور، اقدامات اصلاحی مناسب به همراه چگونگی و مدت پایش آن تعیین و ارائه گردید. البته قابل‌ذکر است که این اقدامات اصلاحی می‌بایست همواره با شدت، دقت، نظارت و توام با بازنگری در طول عمر معادن صورت‌پذیرند تا عدد ریسک همواره در سطح قابل‌قبول باقی بماند.

محدودیت‌های عمده این مطالعه را می‌توان در مواردی نظیر سنتی بودن فرآیند عملیات معدنکاری در این منطقه، عدم ثبت دقیق آمار به‌منظور شناسایی مخاطرات، عدم آشنایی معدن کاران با فرآیند مدیریت ریسک و محدود بودن تعداد خبرگان با ویژگی‌های متفاوت دسته‌بندی نمود. از سوی دیگر ارائه روشی برای کمی کردن مخاطرات با پایه کیفی، ارائه روش علمی و سیستماتیک به معادن برای اولویت‌بندی مخاطرات در راستای ارتقاء سطح ایمنی و ارائه نظامنامه اقدامات کنترلی به معادن با مشخص بودن راهکارها، مسئولیت‌ها و مدت پایش، از ویژگی‌ها و نقاط قوت این مطالعه می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل نتایج طرح پژوهشی "تحلیل ریسک در مهندسی معدن با نگرشی ویژه بر کاربرد آن در معادن سنگ" است که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از مسئولین این دانشگاه و تمامی کارکنان معادن سنگ شهرستان محلات تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Sattari Gh. Risk Analysis in Mining Engineering, MSc Seminar, Islamic Azad University, South Tehran Branch; 2007.
2. Khatlan A. Provided a risk assessment system in Oil & Gas Drilling: Tehran University; 2006.
3. Joy J. Occupational safety risk management in Australian mining. Occupational medicine. 2004;54(5):311-5.
4. Ericson CA. Hazard analysis techniques for system safety: John Wiley & Sons; 2015.
5. Meng Tay K, Peng Lim C. Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. International Journal of Quality & Reliability Management. 2006;23(8):1047-66.
6. Kumar NP. Risk Analysis By Using Failure Mode And Effects Analysis For Safe Mining. system. 2014;1(11):2512-5.
7. Saffari A, Ataei M, Ghanbari K. Risk analysis of advance staff job in Eastern Alborz coal mines with using Fault Modes and Effects Analysis (FMEA) technique, 2th Iranian Coal national congress. 2014. Kerman, Iran.
8. Shariati S. Underground mine risk assessment by using FMEA in the presence of uncertainty. Decision Science Letters. 2014;3(3):295-304.
9. Kumar P, Kumar A. Methods for Risk Management of Mining Excavator through FMEA and FMECA. The International Journal Of Engineering And Science. 2016;5(6):57-63.
10. Bao J, Johansson J, Zhang J. An Occupational Disease Assessment of the Mining Industry's Occupational Health and Safety Management System Based on FMEA and an Improved AHP Model. Sustainability. 2017;9(1):94.
11. Gharachorlou N. Risk assessment and management, Olom & Phonon Pub; 2005.
12. Banar H, Taghipour S. Safety process in underground Uranium mines, 6th Congress on Safety, Health and Environment in Mines and Related Industries. 2006. Tehran, Iran.
13. Barends D, Oldenhof M, Vredenbregt M, Nauta M. Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA. Journal of pharmaceutical and biomedical analysis. 2012;64:82-6.
14. Bowles JB, Peláez CE. Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. Reliability Engineering & System Safety. 1995;50(2):203-13.
15. Kangari R, Riggs LS. Construction risk assessment by linguistics. IEEE transactions on engineering management. 1989;36(2):126-31.
16. Stamatis DH. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution: ASQ Quality Press; 2003.
17. Guimaraes AC, Lapa CMF. Hazard and operability study using approximate reasoning in light-water reactors passive systems. Nuclear Engineering and Design. 2006;236(12):1256-63.
18. Shawulu H. Software failure analysis at architecture level using FMEA. International Journal of Software Engineering and its Applications. 2012;6(1).
19. Moradzadeh A, Mortazavi J. The importance of risk assessment in underground mines based on safety management systems, 3th Congress on Safety, Health & Environment in Mines and Mining Industries, 2000, Tehran, Iran.
20. Bakhtavar E, Shahriar k. accident risk assessment with emphasis on The severity and probability of occurrence, 6th Congress on Safety, Health & Environment in Mines and Mining Industries, 2006, Tehran, Iran.

21. Arshadnejad Sh. Risk analysis to determine the location of the original mine tunnel due to the geomechanical properties and transport conditions, Case Study; Sultan Abad salt mine, 6th Congress on Safety, Health & Environment in Mines and Mining Industries, 2006, Tehran, Iran.

22. Saeeidi Gh, Najafi A, Ebrahimi M. Accidents Statistical Analysis and Risk Assessment in Kerman Coal mines, 4th Iranian mining conference, 2012, Tehran, Iran.

23. Massoudian M, Malmasi S, Nouri J. Environmental risk management of coal mines, Case Study; Takht MinooDasht Coal Mines, 11th National Conference on Environmental Impact Assessment, 2013, Tehran, Iran.

24. Behraftar S, Farogh Hoseini M, Bakhtavar E. Prioritizing accidents in coal mines in eastern Alborz using RPN. Iranian Journal of Mining Engineering. 2010;5(10):73-9.