شناسایی و ارزیابی ریسک‌های شغلی در حفاری مکانیزه تونل مترو با استفاده از تکنیک حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن FMEA

کامران نجفی[۱]، جهانشاه کاظمی راد[۲]، مسعود قنبری[۳]، رخشاد حجازی[۴]، مرتضی کاشفی الاصل[۵*]

مقاله پژوهشی

CC BY

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۰۲

ارجاع:
نجفی کامران، کاظمی راد جهانشاه، قنبری مسعود، حجازی رخشاد، کاشفی الاصل مرتضی. شناسایی و ارزیابی ریسک‌های شغلی در حفاری مکانیزه تونل مترو با استفاده از تکنیک حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن FMEA. بهداشت کار و ارتقاء سلامت ۱۳۹۶؛۱(۲):۴۲-۱۲۹.

چکیده

مقدمه: خطرناکترین صنعت از نظر تلفات مربوط به کار، نرخ آسیب دیدگی و پرداخت غرامت به کارگران صنعت ساخت و ساز می باشد. از این رو ارزیابی ریسک‌های ایمنی، یک گام کلیدی و اساسی در مدیریت پروژه‌های ساخت و ساز می باشد. در این مطالعه ریسک‌های شغلی در پروژه حفاری خط A مترو قم شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش بررسی: در این مطالعه موردی توصیفی، از تکنیک حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن استفاده گردید. جهت جمع‌آوری اطلاعات از روش‌های مشاهده، تجربه، چک لیست، آئین نامه‌ها و استانداردهای مرتبط و سوابق حوادث ثبت شده استفاده گردید؛ قابلیت کشف خطرات، شدت، احتمال و پیامدهای مخاطرات با حضور کارشناسان با تجربه تعیین شد. ریسک-های شناسایی شده الویت بندی شده و اقدامات اصلاحی توصیه شد.

یافته‌ها: طی مطالعه حاضر پروژه به ۱۲واحد کاری مختلف تفکیک شد. در مجموع ۴۹ عنوان فعالیت مرتبط با این ۱۲ واحد مشخص گردید و در نهایت ۲۹۳ خطر مرتبط با این تعداد فعالیت‌ها مورد شناسایی قرار گرفت. سطوح ریسک ۲۶ مورد در سطح ریسک پایین، ۲۰۲ مورد در سطح ریسک متوسط و ۶۵ مورد در سطح ریسک بالا قرار داشت. بعد از پیاده سازی اقدامات اصلاحی به جز ۳ خطری که در سطح ریسک متوسط قرار گرفتند باقی به سطح ریسک پائین تقلیل یافتند.

نتیجه گیری: نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد که استفاده از تکنیک FMEA برای ارزیابی ریسک‌های شغلی پروژه‌های حفاری مکانیزه تونل بسیار مناسب بوده و در صورت تشکیل تیم FMEA قوی در نهایت منجر به کاهش سطح ریسک در پروژه خواهد شد.

کلید واژه‌ها: حفاری مکانیزه، FMEA، ارزیابی ریسک، TBM

[۱] کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علـوم پزشکی تهران، تهران، ایران
[۲] کارشناسی ارشد مدیریت محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، تهران، ایران
[۳] دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
[۴] استادیار، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، تهران، ایران
[۵] *دانشیار، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، تهران، ایران
(نویسنده مسئول: m_kashefiolasl@iau-tnb.ac.ir)

مقدمه

ساخت و ساز تونل‌های مترو به دلیل طبیعت منحصر به فرد آن یکی از خطرناکترین صنایع در سراسر جهان شناخته شده است (۱). از جمله ویژگی‌های منحصر به فرد صنایع ساخت و ساز تغییرات مداوم، استفاده از منابع بسیار گوناگون، شرایط کاری ضعیف، اشتغال ناپایدار و محیط خشن (مانند سروصدا، ارتعاش، گردوغبار، حمل دستی بار و تماس مستقیم با شرایط جوی) می‌باشد. در میان پروژه‌های ساخت و ساز، پروژه مترو شامل ساخت و سازهای پیچیده و با ریسک بالا است. همچنین ساخت و ساز تونل در مناطق شهری بسیار پیچیده تر از مناطق غیر مسکونی است. ساخت و ساز تونل مترو در مناطق متراکم و شلوغ شهری با ریسک‌ها و موانع بسیاری مانند فرو نشست رو به رو است. این پدیده ممکن است خسارات مالی جدی ایجاد کند و همچنین تهدیدی برای زندگی انسان باشد (۲). علاوه براین فراوانی حوادث در ساخت و سازهای زیر زمینی و مترو رو به افزایش است و حوادث منجر به صدمات کشنده و جرحی به وفور درصنعت ساخت و ساز رخ می‌دهد (۳-۴). این چنین نرخ بالای خسارات و صدمات ممکن است به ویژگی‌های خاص کار ساخت و ساز نسبت داده شود، مانند لزوم استفاده از ماشین آلات سنگین و کار کردن در شرایط سخت (۵). صدمات و بیماری‌های شغلی نه تنها روی ایمنی و بهداشت بلکه روی اقتصاد نیز به دلیل هزینه‌های بالای مرتبط با صدمات شغلی تاثیر گذار است. مطالعات صورت گرفته در صنایع مختلف تایید کننده این مطلب است که میزان صدمات و هزینه‌های مربوط به آن‌ها در صنعت ساخت و ساز از میزان متوسط آن بالاتر است (۵-۶). در یکی از این مطالعات با استفاده از اطلاعات مربوط به غرامت دریافتی کارگران تخمین زده شد که هزینه‌های غرامت کارگران برای درمان و جبران زیان در صنعت ساخت و ساز چهار برابر بیشتر از دیگر صنایع می‌باشد (۷).

با توجه به مطالبی که تاکنون بیان شد، واضح است که سطوح بالای عدم قطعیت و ریسک در صنایع ساخت و ساز معمول است و به طور معنی‌داری با اندازه پروژه و میزان پیچیدگی آن رابطه مستقیم دارد (۸). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شناسایی ریسک در طول دوره انجام فرآیندهای ساخت و ساز برای بررسی خطرات موجود از جنبه ایمنی، تدوین طرح کنترل ایمنی و کاهش تلفات ضروری است. انجام یک شناسایی ریسک موفق بستگی به: ۱) بازبینی و بررسی تجربیات پروژه‌های مشابهی که در سطح جهان اجرا شده با استفاده مستندات موجود؛ ۲) آشنایی با خطرات مرتبط با نوع کاری که در جریان است؛ ۳) بحث و مشورت با کارکنان با تجربه و خبره تیم پروژه و دیگر سازمان‌ها در سرتاسر جهان؛ دارد. دانش شناسایی ریسک در متون و مستندات تکنیکی به طور سیستماتیک سازماندهی نشده و به طور عمده در شرایط تکراری و پراکنده است. فرآیند شناسایی ریسک بسیار زمان بر است و با فعالیت‌های مستعد خطایی مانند بررسی متون و خواندن نقشه‌های مهندسی درگیر است. بنابراین شناسایی موثر و دقیق ریسک‌های موجود در پروژه ساخت و ساز مترو کار دشواری است (۳).

انجمن بین المللی حفر تونل (ITA) در سال ۲۰۰۴ راهنماهایی را برای مدیریت ریسک در حفاری منتشر کرده است. این انجمن ریسک را به عنوان «ترکیبی از تکرر وقوع یک خطر تعریف شده و پیامدهای وقوع آن تعریف می کند». همچنین بیان می‌کند که ریسک ساخت و ساز مترو پتانسیل عدم قطعیتی است که باعث خسارات اقتصادی، صدمه به انسان، آسیب به محیط زیست، تاخیر در تکمیل پروژه یا کاهش دوام در فرآیند ساخت و ساز مترو می‌شود. مدیریت کردن ریسک برای موفقیت مدیریت پروژه اصلی اساسی شده است، با این وجود تکنیک‌ها و ابزارهای مدیریت ریسک که برای افزایش شانس موفقیت پروژه توسعه پیدا کرده و استفاده می‌شوند هنوز فراگیر نیستند و به طور معمول کاربرد ندارند. این سازمان و سازمان‌های مشابه دیگر روش‌های شناسایی ریسک متداول در ساخت و ساز مترو را معرفی می‌کنند. روش‌های موجود ارزیابی ریسک برای ارزیابی خطرات و نتایج آن‌ها بسیار مناسب هستند و می‌توان آن‌ها را برای مدیریت و تصمیم‌گیری بدون نگرانی در رابطه با کنترل و

کاهش پیامدهای آن به کار برد. از سوی دیگر، با توجه به اینکه پروژه‌های ساخت و ساز بسیار گران هستند، بنابراین استفاده از این روش‌ها نقش مهمی را در اجرای بهتر پروژه بازی می‌کند. از جمله این روش‌ها می‌توان به تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA)، مطالعه عملکرد و خطر (HAZOP)، تجزیه و تحلیل چه می‌شود اگر (what if) و حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA) اشاره کرد. تکنیک FMEA به طور گسترده‌ای در صنایع تولیدی در فازهای مختلف چرخه تولید مورد استفاده قرار می‌گیرد و امروزه به طور فزاینده‌ای استفاده از آن در صنایع خدماتی نیز دیده می‌شود. تکنیک FMEA به طور سیستماتیک فعالیت‌هایی که می‌توانند شانس وقوع خطای بالقوه را کاهش دهند یا حذف کنند شناسایی، اجرا و مستندسازی این فعالیت‌ها را مدیریت می‌کند (۳-۹-۱۰). در مطالعه حاضر از تکنیک FMEA برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌های شغلی در یک کارگاه حفاری تونل مترو استفاده شده است.

روش بررسی

۱: حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن FMEA

ابزاری است که اولین بار از طرف سازمان ناسا در سال ۱۹۶۳ برای الزامات واضح قابلیت اطمینان پیشنهاد شد. از آن به بعد، FMEA به عنوان یک تکنیک قدرتمند به طور گسترده‌ای برای ایمنی سیستم و آنالیز قابلیت اطمینان تولیدات و فرآیندها در طیف وسیعی از صنایع به خصوص هوا فضا، هسته ای، خودرو و پزشکی مورد استفاده قرار گرفت. تکنیک FMEA در سال ۱۹۷۰ در تاسیسات هسته‌ای مورد استفاده قرار گرفت و از سال ۱۹۷۷ در صنعت خودروسازی اجرا شد. شرکت‌های خودروسازی معروفی مانند سیتروئن و پژو نیز از ۱۹۸۰ شروع به استفاده از این تکنیک کردند. امروزه این تکنیک برای تمام سازمان‌ها مفید است. استفاده از این تکنیک ساده است و هنوز روش قدرتمندی برای مهندسی کیفیت فعال است که به شناسایی و شمارش نقاط ضعف در فاز اولیه مفهومی تولید و فرآیند می‌پردازد (۸-۱۱).

۲: توابع و اهداف FMEA

یکی از بهترین ویژگی‌های FMEA شیوه کنشی آن به جای برخورد واکنشی با خطا است. به عبارت دیگر، FMEA کنشی قبل از بروز خطا است نه بعد از آن، بنابراین به منظور افزایش کارایی FMEA بهتر است در مرحله طراحی پردازش خطاهای احتمالی ورودی به سیستم را انجام داد. صرف هر مقدار زمان و هزینه برای اجرای جامع و دقیق FMEA در مرحله طراحی، امکان اعمال هرگونه تغییرات و اصلاحات را در مراحل بعد ساده و با هزینه کمی میسر می سازد. تکنیک FMEA مجموعه فعالیت‌های سازماندهی شده ای است که برای دنبال کردن اهداف زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۱-۱۲).

- شناسایی و تخمین خطاهای بالقوه در فرآیند کار و نتایج حاصل شده از این خطاها
- تعیین فعالیت‌هایی که می‌توانند احتمال وقوع خطاهای بالقوه را کاهش دهند و یا اینکه حذف کنند.

۳: چگونگی اجرای FMEA

در این مطالعه یک الگوی پنج مرحله-ای تدوین گردید و براساس آن و طبق اهداف ازپیش تعیین شده مطالعه حاضر به صورت زیرانجام شد (۱۱-۱۳-۱۴):

۳-۱: مرحله اول - تعیین تیم بررسی کننده ریسک‌های ایمنی بهداشتی

برای اجرای این روش باید تیم FMEA شامل مهندسین متخصص و آشنا با فرآیند پروژه و همچنین متخصصینی که بیشترین آگاهی را در رابطه با فرآیند دارند، شکل بگیرد. یکی از مزایای کار تیمی این است که هر فعالیتی که تعریف می‌شود همیشه با موافقت همه واحدهای سازمان خواهد بود. این تیم مسئول همه فعالیت‌های مرتبط با ارزیابی از اولین مراحل تا اجرای اقدامات پیشنهادی و بررسی نتایج آن‌ها می‌باشد. در این مرحله موارد زیر نیز طی می‌شود.

- جمع آوری اطلاعات مربوط به فرآیند: سایت یا مکانی که در آن ارزیابی ریسک انجام می‌شود باید کاملا شناسایی و نحوه فعالیت‌ها و فرآیندها به دقت بررسی شود.

- تقسیم واحد به زیر واحدهای تشکیل دهنده آن در صورت نیاز

در همین راستا واحدهای مختلف موجود در پروژه شناسایی و اطلاعات مربوط به فرآیندهای صورت گرفته در هر واحد جمع آوری گردید. سپس هرکدام به زیر واحدها یا همان فعالیت‌های زیرمجموعه آن واحد تفکیک شد. جدول شماره ۱ واحدهای موجود در پروژه و تعداد زیر واحدهای آن‌ها را نشان میدهد.

۳-۲: مرحله دوم - شناسایی و ثبت خطرات بالقوه

در این مرحله اعضای منتخب تیم FMEA با استفاده از تکنیک‌های جاری بازرسی ایمنی و بهداشتی اقدام به شناسایی تمامی تجهیزات و ماشین آلات، مراحل انجام کار مشاغل فعال و همچنین فرآیندهای اجرایی و ارزیابی شرایط محیط کار می-نمایند، و تمام خطرات محیطی، تجهیزاتی، انسانی، خطرات مرتبط با مواد و ... که ایمنی را تهدید می‌کند و می‌تواند مخاطرات بهداشتی به وجود آورد را در نظر گرفته و حالات مختلف هر خطر نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این مطالعه جهت جمع آوری اطلاعات مرتبط با عوامل زیان آور ایمنی و بهداشتی محیط ها و موقعیت‌های کاری از کاربرگ‌هایی که برای این منظور طراحی شد، استفاده گردید. این کاربرگ‌ها در واقع همان فرم‌های تجزیه و تحلیل ایمنی شغلی می‌باشند. این کاربرگ‌ها به طور نظام‌مند و سیستماتیک اطلاعات مرتبط با عوامل زیان آور محیط کار در رابطه با هر واحد را مورد بررسی قرار می دهند. شایان ذکر است که فعالیت‌ها و وظایف غیر روتین نیز می‌بایستی در شناسایی خطرات مد نظر اعضاء تیم قرار گیرد. در این مطالعه به تعداد فعالیت‌های زیر مجموعه هرکدام از واحدها (زیر واحدهای موجود) خطر شناسایی شد. به عنوان مثال هر ۶۱ فعالیت شناسایی شده در واحد سگمنت سازی خطرناک و دارای عوامل زیان آور مختلفی تشخیص داده شد.

۳-۳: مرحله سوم - تجزیه و تحلیل ریسک

اعضاء تیم FMEA بعد از شناسایی و ثبت تمامی خطرات مشاغل فعال طبق فرم JSA اقدام به تجزیه و تحلیل ریسک مطابق با کاربرگ ارزیابی ریسک تکنیک حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن می‌کنند، که در واقع بخش کلیدی فرآیند ارزیابی و آنالیز خطرات ایمنی و بهداشتی است و به تیم اجازه می‌دهد که مهم‌ترین ریسک‌های موجود در سیستم را درک کنند تا در مرحله بعد اقدامات کنترلی برای انواع خطر را ارائه دهند. ارزیابی ریسک فرآیند برآورد احتمال وقوع یک رویداد و بزرگی یا شدت اثرات زیان آور آن است. در این مطالعه احتمال وقوع یک رویداد توسط یک ماتریس در ۶ حالت تعریف شده که حالت یک آن نشان دهنده این است که وقوع خطر یا رخداد شکست حتمی است (سابقه نشان داده که خطر معمولا یک یا چند بار در هفته به وقوع می‌پیوندد) و رتبه ۶ یعنی وقوع خطر بعید به نظر می‌رسد. برای رتبه بندی شدت خطر نیز از یک ماتریس شش حالت‌ها استفاده شده که حالت اول آن یعنی هیچگونه اثر سوء شناخته شده‌ای برای کارکنان، محیط زیست و دارایی‌های سازمان ندارد و حالت ۶ نشان دهنده این است که خطر باعث از کارافتادگی دائم و یا فوت حداقل یک نفر از کارکنان می‌گردد و خسارات مالی بیش از یک میلیارد ریال به بار می‌آورد. قابلیت کشف (کشف عیب یا خطر) نیز در شش حالت تعریف شده که حالت اول آن گویای این است که با کنترل‌های موجود در سیستم خطرهای بالقوه به طور صد در صد ردیابی و آشکار می گردد (احتمال کشف خطر وجود دارد و اقدامات فعلی کافی است) و حالت ۶ یعنی مطلقاً امکان تشخیص موجود نیست و هیچگونه کنترلی وجود ندارد یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه و شکست های احتمالی نیست (نیاز به تجهیزات فوق تخصصی می‌باشد). شدت باید برای بدترین حالت ممکن وقوع یک رویداد در نظر گرفته شود. اگر تیم تأثیرات چندگانه خطر را شناسایی کرد بایستی همه آن‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد و شدیدترین پیامد بالقوه را انتخاب کند.

۳-۴: مرحله چهارم - محاسبه عدد اولویت ریسک (Risk Priority Number)

برای محاسبه RPN، تیم FMEA باید مقادیر سه فاکتوری که در مرحله قبل به دست آمده، یعنی شدت (Severity)،

احتمال وقوع (Occurrence) و قابلیت کشف (Detect) را در یکدیگر ضرب کند. معادله زیر چگونگی محاسبه RPN را نشان می دهد.

$$RPN= (S) \times (O) \times (D)$$

مقادیر RPN می‌تواند بین ۱ تا ۲۱۶ متفاوت باشد و خطاها یا نقص‌ها با توجه به مقدار محاسبه شده RPN برای آن‌ها اولویت بندی می شوند. خطاهایی که مقادیر RPN بالاتری دارند دارای برتری اولویتی بالاتری از لحاظ تجزیه و تحلیلی و تخصیص منابع می باشند، بنابراین تیم FMEA باید روی این خطاها تمرکز کند. عدد اولویت ریسک در واقع نقش یک جدا کننده خطرات قابل قبول و غیر قابل قبول در سیستم مورد نظر را دارد. در این مطالعه با توجه به بررسی‌های انجام شده توسط تیم FMEA در رابطه با ریسک‌های قابل قبول و غیر قابل قبول و حساسیت و شرایط پروژه، مقادیر RPN در سه سطح (کم = ۱-۲۵، متوسط = ۲۵-۵۰، زیاد = ۵۱-۲۱۶) اولویت بندی شد.

لازم به ذکر است خطاهایی که حداکثر مقدار شدت را دارند (یعنی خطر مرگ وجود دارد) بدون توجه به مقدار RPN آن‌ها، سطح ریسک آن‌ها High در نظر گرفته شده است.

۳-۵: مرحله پنجم - اقدامات کنترلی و ارائه پیشنهادات

بعد از ارزیابی ریسک تیم باید اقدامات کنترلی که به کاهش یا به حداقل رسانیدن ریسک‌های غیر قابل قبول کمک می‌کند را ارائه نمایند. برای مثال حذف یک ماده شیمیایی یا جانشینی آن با یک ماده بی‌خطر باعث حذف خطر خواهد شد. اگر نتوان ریسک را حذف کرد و یا انجام آن غیرممکن باشد باید اقدامات کنترلی مناسب دیگری برای کارکنان در فرآیندها توصیه کرد (مانند استفاده از لوازم حفاظت فردی).

یافته‌ها

جدول شماره ۱ اطلاعات مربوط به فراوانی سطوح ریسک با توجه به عدد RPN به دست آمده برای هر فعالیت و درصد سطوح ریسک ثانویه یعنی بعد از پیاده سازی اقدامات کنترلی را در واحدهای مختلف ارائه می‌کند. نکته قابل توجه بعد از پیاده سازی اقدامات کنترلی به صفر رسیدن درصد سطوح ریسک بالا می‌باشد.

همچنین یکی از ستون‌های این جدول مربوط به درصد سطوح ریسک بالا در هر واحد می‌باشد. واحد TBM با ۱۷= RPN، در سطح ریسک بالا دارای بیشترین فراوانی از این لحاظ است و بعد از آن به ترتیب واحدهای سگمنت سازی و ماشین آلات قرار دارند. اما از لحاظ درصد سطح ریسک بالا به ترتیب واحدهای اجرائیات، TBM و خدمات فنی و HSE (هردو با درصد ۲۸/۵۷) رتبه‌های اول تا سوم را دارند.

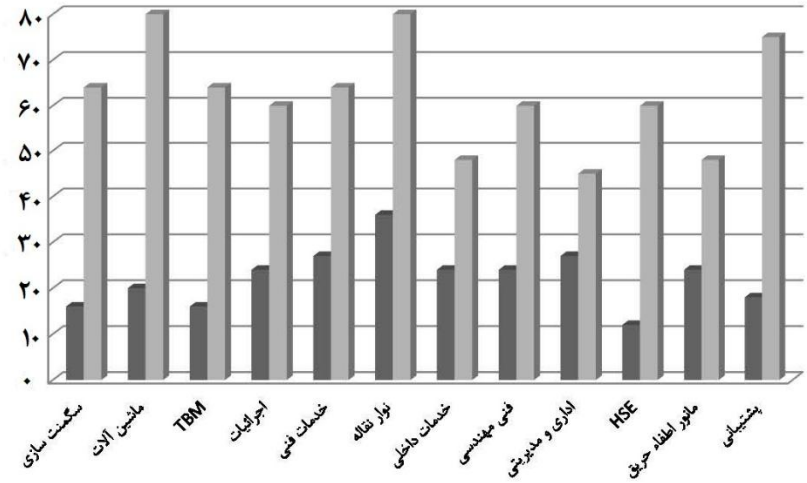
جدول ۱: سطوح ریسک اولیه، درصد ریسک محاسبه شده و سطح ریسک کنترل شده فعالیت‌هایی که خطرات بالقوه آن‌ها شناسایی شده است

نام واحد	تعداد فعالیت های خطرناک	سطوح ریسک	درصد سطوح ریسک بالا و متوسط	سطح ریسک کنترل شده (درصد)
اجرائیات	۱۱	کم = ۱ متوسط = ۶ زیاد = ۴	زیاد = ۳۶/۳۶ متوسط = ۵۴/۵۴	کم = ۱۰۰
TBM	۵۵	کم = ۲ متوسط = ۳۶ زیاد = ۱۷	زیاد = ۳۱ متوسط = ۶۵/۴۵	کم = ۱۰۰
خدمات فنی	۱۴	کم = ۰ متوسط = ۱۰ زیاد = ۴	زیاد = ۲۸/۵۷ متوسط = ۷۱ /۴۳	کم = ۸۵/۷۱ متوسط = ۱۴/۲۵

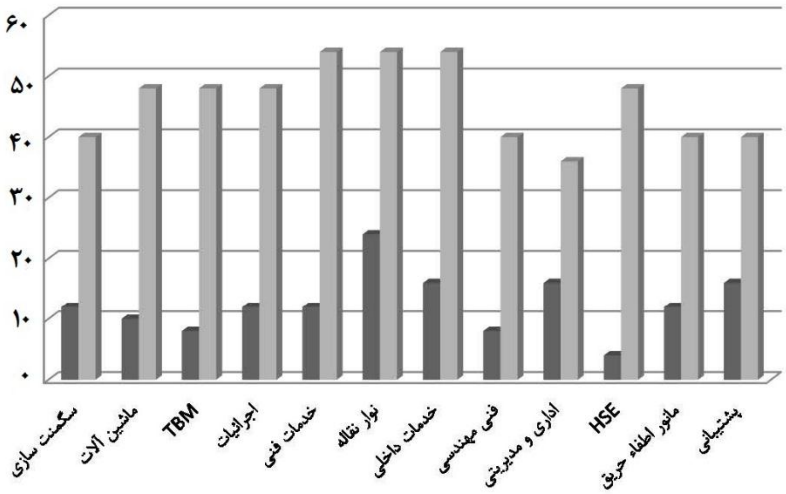
واحد HSE	۱۴	کم = ۴ متوسط = ۶ زیاد = ۴	زیاد = ۲۸/۵۷ متوسط = ۴۲/۸۶	کم = ۱۰۰
سگمنت سازی	۶۱	کم = ۷ متوسط = ۳۸ زیاد = ۱۶	زیاد = ۲۶/۲۲ متوسط = ۶۲/۳۰	کم = ۱۰۰
فنی مهندسی	۹	کم= ۰ متوسط= ۷ زیاد=۲	زیاد = ۲۲/۲۲ متوسط = ۷۷/۷۷	کم = ۱۰۰
نوار نقاله	۱۴	کم= ۰ متوسط=۱۱ زیاد=۳	زیاد = ۲۱/۴۳ متوسط = ۷۸/۵۷	کم = ۹۲/۸۶ متوسط = ۱۴/۰۷
ماشین آلات	۶۷	کم=۸ متوسط =۴۶ زیاد=۱۳	زیاد = ۱۹/۴۰ متوسط = ۶۸/۶۵	کم = ۱۰۰
مانور اطفاء حریق	۸	کم=۰ متوسط=۷ زیاد = ۱	زیاد = ۱۲/۵۰ متوسط = ۸۷/۵۰	کم = ۱۰۰
خدمات داخلی	۲۱	کم =۱ متوسط =۱۹ زیاد = ۱۷	زیاد = ۴/۷۶ متوسط = ۹۰/۴۷	کم = ۱۰۰
پشتیبانی	۱۳	کم =۳ متوسط =۱۹ زیاد = ۰	زیاد = ۰ متوسط = ۷۶/۹۲	کم = ۱۰۰
واحد های اداری و مدیریتی	۶	کم =۰ متوسط =۶ زیاد = ۰	زیاد= ۰ متوسط= ۱۰۰	کم = ۱۰۰

نمودار شماره ۱ نشان دهنده بیشترین وکمترین عدد RPN قبل از ارائه و پیاده سازی اقدامات کنترلی در واحدهای موجود در پروژه است. همانطور که از این نمودار پیداست بیشترین عدد RPN به طور مشترک مربوط به واحدهای ماشین آلات و نوار نقاله با RPN=۸۰ و همچنین واحد پشتیبانی با RPN = ۷۵ و کمترین عدد مربوط به واحدهای HSEبا عدد RPN = ۱۲ و سگمنت سازی و TBM با عدد RPN = ۱۶ می باشد.

نمودار شماره ۲ بیشترین و کمترین عدد RPN بعد از پیاده سازی اقدامات کنترلی و اصلاحی را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار می‌توان دریافت که بیشترین عدد RPN در این مرحله مربوط به واحدهای خدمات فنی، نوار نقاله و خدمات داخلی با عددRPN برابر با ۲۷ می‌باشد. کمترین RPN نیز بعد از پیاده سازی اقدامات اصلاحی متعلق به واحد HSE با RPN = ۲ و پس از آن واحدهای فنی مهندسی و TBMبا عدد RPN برابر با ۴ می‌باشد.



نمودار۱: کمترین و بیشترین میزان RPN قبل از پیاده سازی اقدامات اصلاحی به تفکیک واحدها



نمودار۲: کمترین و بیشترین میزان RPN بعد از پیاده سازی اقدامات اصلاحی به تفکیک واحدها

جدول شماره ۲: نمونه ای از کاربرگ‌های تکنیک FMEA در واحد TBM

عنوان فعالیت یا زیر واحد	خطر بالقوه	اثرات/ آسیب وارده	علل وقوع	وضعیت		احتمال وقوع	شدت	قابلیت کشف	R.P.N	سطح ریسک	اقدامات کنترلی		نتایج ارزیابی مجدد پس از انجام اقدامات اصلاحی و کنترلی				
				غیر روتین	روتین						نوع اقدام	شرح	احتمال وقوع	شدت	قابلیت کشف	R.P.N	سطح ریسک
تعمیراتTBM	ترکیدن شیلنگ های هیدرولیک	مرگ، نقص عضو، بیماری های پوستی	فشار زیاد روغن، فرسودگی لوله ها و شیلنگ ها		✓	۲	۴	۲	۱۶	L	• کنترل های مهندسی • علائم، هشدار یا کنترل اداری • وسایل حفاظت فردی o جایگزینی o حذف o سایر	استفاده از شیلنگ های با کیفیت بالا و استاندارد، کنترل کیفی کالا قبل از خرید، تعمیر و نگهداری صحیح	۱	۴	۱	۴	L
اپراتوری TBM	مشکلات ارگونومی	آسیب های اسکلتی-عضلانی (MSDs)	پوسچر نامناسب بدن، استفاده از میز و صندلی های نامناسب و غیر ارگونومیک		✓	۵	۳	۳	۴۵	M	o کنترل های مهندسی o علائم، هشدار یا کنترل اداری o وسایل ذد حفاظت فردی o جایگزینی o حذف • سایر	آموزش و آگاهسازی	۳	۳	۲	۱۸	L
انجام فعالیتهای برقی TBM	سر و صدا	افت شنوایی، اختلالات روانی	عدم استفاده از گوشی مناسب در زمان مواجهه با صدای بالا، عدم آموزش و آگاهی		✓	۵	۴	۳	۶۰	H	• کنترل های مهندسی •علائم، هشدار یا کنترل اداری • وسایل حفاظت فردی o جایگزینی o حذف • سایر	تهیه و الزام استفاده از گوشی حفاظتی، اندازه گیری عوامل زیان آور، انجام معاینات دوره ایی، آموزش، نصب عایق	۳	۲	۳	۱۸	L

انجام فعالیت های مسئول شیفت TBM	سقوط از ارتفاع	مرگ، شکستگی، ضرب دیدگی، در رفتگی، کوفتگی	عدم استفاده از وسایل حفاظت فردی مناسب در حین کار، عدم آموزش و آگاهی	✓	۳	۵	۳	H	۴۵	o کنترل های مهندسی o علائم، هشدار یا کنترل اداری ●وسایل حفاظت فردی oجایگزینی o حذف ● سایر	آموزش و آگاهسازی، تهیه و الزام استفاده از یراق ایمنی	۲	۴	۳	۲۴	L
جوشکاری TBM	اشعه IR&UV	آسیب به چشم، کاتاراکت، فتوفوبیا، مشکلات پوستی، سرطان	عدم استفاده از وسایل حفاظت فردی مناسب، عدم آگاهی از خطرات، خطای انسانی، عدم استفاده از دستگاه جوش مناسب و استاندارد	✓	۴	۴	۴	H	۶۴	o کنترل های مهندسی علائم، هشدار یا کنترل ● اداری ● وسایل حفاظت فردی o جایگزینی o حذف ● سایر	تهیه و الزام استفاده از عینک و ماسک حفاظتی، اندازه گیری عوامل زیان آور، انجام معاینات دوره ایی، آموزش	۲	۳	۳	۱۸	L

● کنترل‌های پیشنهادی و انجام شده در واحد

o کنترل‌های پیشنهادی

بحث

اهدافی که در این مطالعه دنبال شده‌اند شامل مشخص کردن فعالیت‌های صورت گرفته در هر واحد، انجام تجزیه و تحلیل ایمنی برای هر یک از این فعالیت‌ها و شناسایی خطرات بالقوه، محاسبه عدد اولویت ریسک برای فعالیت‌های شناسایی شده، ارائه اقدامات کنترلی برای کاهش خطرات فعالیت، محاسبه RPN بعد از پیاده سازی این اقدامات و در نهایت مقایسه مقادیر RPN قبل و بعد از ارائه راهکارهای اصلاحی می‌باشد. با توجه به اطلاعات به دست آمده از جدول شماره ۱ مجموع فعالیت‌ها صورت گرفته در تمامی واحدهای پروژه ۲۹۳ عنوان فعالیت بوده است که واحدهای ماشین آلات، سگمنت سازی و TBM به ترتیب بیشترین تعداد فعالیت‌های صورت گرفته را به خود اختصاص دادند. تحلیل ایمنی اولیه فعالیت‌ها، رجوع به مخاطرات و حوادث مستند گذشته و گرفتن نظرات متخصصین حالات ممکن خطایی که در هر فعالیت پتانسیل بروز داشت را مشخص کرد. اثراتی که در صورت بروز خطاها روی خواهند داد لیست شده و علل بروز آن‌ها نیز ثبت شد. پارامترهای شدت، احتمال وقوع و قابلیت کشف با توجه به ماتریس‌های ریسک مربوط به هر پارامتر تعیین شد و مقادیر RPN از ضرب آن‌ها به دست آمد. نتایج موجود در جدول شماره ۳ نشان می‌دهد که واحد اجرائیات بیشترین درصد ریسک‌های بالا را به خود اختصاص داده است. این موضوع با توجه به تعداد کم فعالیت شناسایی شده در این واحد (۱۱ عنوان فعالیت) می‌باشد. واحد TBM با ۵۵ عنوان فعالیت که ۳۱ درصد از این فعالیت‌ها در سطح ریسک بالا می‌باشد در رتبه دوم قرارگرفته است. واحد TBM حساس‌ترین واحد موجود در پروژه بوده و توقف آن منجر به توقف پروژه خواهد شد. بنابراین فعالیت‌های مربوط به این واحد خود به ۴ دسته الکتریکی، هیدرولیکی، پنماتیکی و مکانیکی تقسیم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در بین این ۴ دسته، فعالیت‌های الکتریکی بیشترین سطح ریسک بالا را داشته است و بعد از آن فعالیت-های هیدرولیکی می‌باشند. شایان ذکر است اگر در محاسبه RPN پارامتر شدت معرف وقوع مرگ باشد (سطوح ۵ و ۶) بدون توجه به مقدار RPN به دست آمده، فعالیت مورد نظر در سطح ریسک بالا قرار می‌گیرد. ولتاژ بالای برق مصرفی در TBM باعث بالا رفتن مقدار پارامتر شدت در انجام فعالیت‌های الکتریکی این واحد شده که همین موضوع تعداد سطوح ریسک بالا را افزایش داده است. محمد جواد جعفری و همکارانش طی مطالعه‌ای با استفاده از تکنیک MFMEA به بررسی حالات خطای TBM پرداختند. آن‌ها سیستم TBM را به ۴ زیر سیستم اصلی مکانیکی، هیدرولیکی، الکتریکی و پنماتیکی تجزیه کرده و تمامی حالات محتمل خطا را برای هر کدام از این زیر سیستم‌ها شناسایی کردند. در مطالعه حاضر نیز همانطور که ذکر شد برای بررسی حالات خطای این واحد فعالیت‌های مربوط به آن به ۴ دسته تقسیم شد. همچنین در کل ۵۵ حالت خطا مربوط به زیر سیستم‌های واحد TBM شناسایی شد که از این حیث نیز یافته‌های این مطالعه با مطالعه آقای جعفری و همکارانش که در کل ۴۸ حالت خطا شناسایی کردند (۱۶ حالت مربوط به زیر سیستم الکتریکی، ۱۴ حالت مربوط به زیر سیستم پنماتیکی، ۱۰ حالت مربوط به زیرسیستم هیدرولیکی و ۸ حالت متعلق به زیر سیستم مکانیکی) تقریبا مشابه است. با توجه به مقادیر عدد اولویت ریسک به دست آمده برای این ۵۵ حالت خطای شناسایی شده ۱۱ حالت به عنوان خطاهای غیرقابل پذیرش شناسایی شد. که تمامی این ۱۱ حالت نیز پس از پیاده سازی اقدامات کنترلی به سطح ریسک قابل قبول (با توجه به جدول شماره ۲ یعنی سطح ریسک‌های متوسط و پائین) تقلیل یافتند. در مطالعه آقای جعفری و همکارانش از بین ۴۸ حالت خطای شناسایی شده در کل ۷ حالت خطا به عنوان خطاهای غیر قابل پذیرش شناسایی شد که تمامی آن‌ها بعد از پیاده سازی اقدامات اصلاحی به سطح ریسک قابل قبول تقلیل یافتند به غیر از حالت خطای توقف سر کاتر TBM که کماکان در حالت غیر قابل قبول باقی ماند (۱۵). در بین ۵۵ خطر شناسایی شده در

واحد TBM بیش از ۲۳ درصد خطرات مرتبط با خطر سقوط از ارتفاع و یا سقوط اجسام روی افراد می‌باشد که از این حیث با مطالعه‌ای که توسط آقای جواد ملکوتی و همکارانش انجام شد (۲۷ درصد خطرات مربوط به سقوط از ارتفاع در زیر گروه انرژی مکانیکی TBM) تقریبا مشابه است (۱۶). حوادث سقوط از ارتفاع جزء شایعترین حوادث در پروژه‌های ساختمانی هستند (۱۷-۱۸). در مطالعه‌ای که بهرام‌پور و همکارانش به منظور بررسی اپیدمیولوژی پنج ساله و برآورد حوادث در کارگران ساختمانی یزد انجام دادند نیز به این نتیجه رسیدند که بیشترین حادثه (۴۸/۵۸ درصد) از نوع سقوط بوده است (۱۹). مسئله‌ی سقوط نه تنها این صنعت و عملیات بلکه در بسیاری از صنایع به عنوان یک ریسک فاکتور عمده تعیین گردیده است. در مطالعه‌ای که گوران و همکارانش در کشور ترکیه انجام دادند نیز دریافتند که بیشترین فراوانی آسیب‌ها در این کشور به دلیل سقوط می‌باشد (۵). در مطالعه دیگری که توسط حلوانی و همکارانش در یزد طراحی و اجرا گردید نیز مشخص شد که بیشترین فراوانی حوادث شغلی سقوط از ارتفاع (۲۰/۸ درصد) بوده است (۲۰). در مطالعه دیگری که توسط حلوانی و همکارانش در یزد طراحی و اجرا گردید نیز مشخص شد که بیشترین فراوانی حوادث شغلی سقوط از ارتفاع (۲۰/۸ درصد) بوده است (۲۱). در قسمت اقدامات کنترلی این مطالعه بر آموزش ایمنی، بازرسی و نگهداری، استفاده از لوازم حفاظت فردی و تعمیرات تجهیزات به عنوان عناصر مؤثر در کاهش میزان مخاطرات توصیه شده است. تاکنون در مطالعات متعددی به تاثیر آموزش بر ارتقاء فرهنگ ایمنی و همچنین تدوین و اجرای برنامه‌های بازرسی و نگهداری و تعمیرات در کاهش مخاطرات اشاره شده است (۱۵-۲۲-۲۳).

نتیجه گیری

به کمک روش حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن با توجه به پارامترهای ریسک، وضعیت موجود ایمنی در پروژه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پس از ارزیابی ریسک‌ها و مطالعه در رابطه علل بروز آن‌ها در نهایت می‌توان استراتژی‌ها و تکنیک-هایی در جهت کاهش ریسک را ارائه نمود. تمامی این مراحل روش FMEA را به راهکاری مناسب جهت کاربرد در پروژه‌های بزرگ ساختمانی برای ارزیابی ریسک‌های ایمنی مبدل ساخته است. با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه و مطالعات مشابه دیگر، مسئولان ایمنی کارگاه‌های ساختمانی از جمله پروژه‌های حفر تونل مکانیزه برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها، اندازه گیری بزرگی و شدت هر ریسک برای در اولویت نهادن آن جهت ارائه اقدامات کنترلی و همچنین ارائه راهکارهای کنترلی مناسب می‌توانند از این روش با اطمینان بالا استفاده کنند. لازم به ذکر است استفاده از خرد جمعی و کارتیمی (که یکی از نقاط قوت این مطالعه نیز محسوب می‌شود) در کاربرد این روش برای پروژه‌های بزرگ ساختمانی امری ضروری تلقی می‌گردد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله بدینوسیله مراتب قدردانی و تشکر خود را از دست اندرکاران پروژه مترو قم که انجام این مطالعه بدون همکاری و حمایت ایشان ممکن نبود، اعلام می‌دارند.

مشارکت نویسندگان

طراحی‌پژوهش: ک.ن، ج.ک، م.ک

جمع آوری داده: ج.ک، ک.ن

تحلیل داده: ک.ن، م.ق، ر.ح

نگارش و اصلاح مقاله: ک.ن، ج.ک، م.ق، ر.ح، م.ک

تضاد منافع

هیچگونه تضاد منافعی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

1. Zeng SX, Tam CM, Tam VW. Integrating safety, environmental and quality risks for project management using a FMEA method. Engineering Economics. 2015;66(1).
2. Rafie M, Namin FS. Prediction of subsidence risk by FMEA using artificial neural network andfuzzy inference system. International Journal of Mining Science and Technology. 2015;25(4):655-63.
3. Ding L, Yu H, Li H, Zhou C, Wu X, Yu M. Safety risk identification system for metro construction on the basis of construction drawings. Automation in construction. 2012;27:120-37.
4. Pinto A, Nunes IL, Ribeiro RA. Occupational risk assessment in construction industry–Overview and reflection. Safety Science. 2011;49(5):616-24.
5. Amiri M, Ardeshir A, Zarandi MHF. Fuzzy probabilistic expert system for occupational hazard assessment in construction. Safety Science. 2017;93:16-28.
6. Dong X, Ringen K, Men Y, Fujimoto A. Medical costs and sources of payment for work-related injuries among Hispanic construction workers. Journal of Occupational and Environmental Medicine. 2007;49(12):1367-75.
7. Silverstein B, Welp E, Nelson N, Kalat J. Claims incidence of work-related disorders of the upper extremities: Washington state, 1987 through 1995. American Journal of Public Health. 1998;88(12):1827-33.
8. Wehbe F, Hamzeh F, editors. Failure mode and effect analysis as a tool for risk management in construction planning. Proceedings for the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction; 2009: Fortaleza, Brazil; 2013.
9. Eskesen SD, Tengborg P, Kampmann J, Veicherts TH. Guidelines for tunnelling risk management: international tunnelling association, working group No. 2. Tunnelling and Underground Space Technology. 2004;19(3):217-37.
10. Molag M, Trijssenaar-Buhre I. Risk Assessment Guidelinesfor Tunnels, Safe & Reliable Tunnels, Innovative European Achievements. Second International Symposium, Lausanne; 2006.
11. Bahrami M, Bazzaz DH, Sajjadi SM. Innovation and improvements in project implementation and management; using FMEA technique. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2012;41:418-25.
12. Ebeling CE. An introduction to reliability and maintainability engineering. Tata McGraw-Hill Education; 2004.
13. Khosravirad F, Zarei E, Mohammadfam I, Shoja E, Majidi Daryani M. Explosion risk analysis on Town Border Stations (TBS) of natural gas using Failure Mode & Effect

Analysis (FMEA) and Fault Tree Analyses (FTA) methods. Iran Occupational Health. 2016;12(6):16-27. [Persian]

14. Stamatis DH. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. 2en ed. U.S: ASQ Quality Press; 2003.
15. Jafari MJ, Gharari N-a, Sheikhi HR. The reliability of a tunnel boring machine. International Journal of Occupational Hygiene. 2009;1(1):20-5.
16. Malakouti J, Gharibi V. Risk Analysis of Automated Excavation Operations by Energy Trace & Barrier Analysis Method. Iran Occupational Health. 2013;10(2):87-98. [Persian]
17. Hu K, Rahmandad H, Smith-Jackson T, Winchester W. Factors influencing the risk of falls in the construction industry: a review of the evidence. Construction Management and Economics. 2011;29(4):397-416.
18. Latief Y, Suraji A, Nugroho YS, Arifuddin R. The nature of fall accidents in construction projects: a case of Indonesia. International Journal of Civil & Environmental Engineering. 2011;11(5):92-9.
19. Bahrampour A, Nodoushan RJ, Shoaa JV. Five-year epidemiological study and estimation of accidents distribution in construction industry workers in yazd city by the year 2011 by applying time series model. Journal of Kerman University of Medical Sciences. 2009;16(2):156-64.
20. Ünal HG, Gök A, Gök K. Occupational Accident Characteristics in Türkiye Between 1997-2005. Kastamonu Eğitim Dergisi. 2008;16(2):637-50.
21. Halvani G, Fallah H, Barkhordari A, Khoshk Daman R, Behjati M, Koohi F. ASurvey of causes of occupational accidents at working place under protection of Yazd Social Security Organization in 2005. Iran Occupational Health. 2010;7(3):22-9. [Persian]
22. Sanaenasab H, Ghofranipour F, Kazemnejad A, Khavanin A, Tavakoli R. The effect of composed precede-proceed model, social cognitive and adult learning theories to promote safety behaviors in employees. Journal of Kermanshah University of Medical Sciences. 2008;12(1).
23. Zaroushani V, Safari Varriani A, Ayati S, Nikpey A. Risk assessment in a foundry unit by energy trace and barrier analysis method (ETBA). Iran Occupational Health. 2010;6(4):7-14. [Persian]

Identification and Assessment of Occupational Risks in Mechanized Excavation of Metro Tunnel using the Failure Mode and Effects Analysis Technique (FMEA)

Kamran NAJAFI[1], Jahanshah KAZEMI RAD[2], Masoud GHANBARI[3], Rokhshad HEJAZI[4], Morteza KASHEFIASL[5*]

Original Article

Received: 2017/08/15

Accepted: 2017/09/24

Citation:

NAJAFI K, KAZEMI RAD J, GHANBARI M, HEJAZI R, KASHEFIASL M. Identification and Assessment of Occupational Risks in Mechanized Excavation of Metro Tunnel using the Failure Mode and Effects Analysis Technique (FMEA). Occupational Hygiene and Health Promotion Journal 2107; 1(2):129-42.

Abstract

Background: The construction industry is known as one of the most dangerous industries in terms of work-related mortalities, injury rates, and compensation payment to workers. Therefore, assessment of safety risks is a key step to be performed in management of major construction projects. In this study, the occupational risks of Qom metro line an excavation project were identified and assessment.

Methods: In this descriptive case study, the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) technique was used to analyze risks. In data collection process, observation, workers' experience and judgments, checklist, standards and regulations, as well as incident records were used. Risk detection capabilities, severity, probability, and consequences of hazards were determined by professional experts in various team works. The identified risks were prioritized and corrective actions were recommended.

Results: In the present study, the project was divided into 12 different working units. Generally, 49 activity titles associated with these 12 units were determined. Eventually, 293 risks associated with these activities were identified. Risk levels of the identified hazards included 26 cases at low risk level, 202 cases at moderate risk level, and 65 cases at high risk levels. After implementation of corrective actions, regardless of the three hazard cases at moderate risk level, the remaining identified hazards were reduced to a low risk level.

Conclusion: The results of this study indicate that using the FMEA technique to assess the occupational risks of mechanized tunnel excavation projects was very suitable. Furthermore, with a strong FMEA team a significant reduction in risk level of the project will be achieved.

Keywords: Mechanized excavation, FMEA, Risk Assessment, TBM

[1]MSc of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2]MSc of environmental management, Department of Technical Engineering, Islamic Azad University North, Tehran Branch, Tehran, Iran.
[3]PhD of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran
[4]PhD of Environmental Management, Department of Technical Engineering, Islamic Azad University North Tehran Branch, Tehran, Iran.
[5]PhD of Environmental Management, Department of Technical Engineering, Islamic Azad University North Tehran Branch, Tehran, Iran.
***(**Corresponding Author: m_kashefiolasl@iau-tnb.ac.ir)