تجزیه و تحلیل ریسک عملیات حفاری مکانیزه با استفاده از روش ردیابی انرژی و آنالیز مانع

جواد ملکوتی[۱]، وحید غریبی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۳/۲۱ تاریخ ویرایش: ۹۱/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۲۶

چکیده

زمینه و هدف: امروزه استفاده از دستگاه تی‌بی‌ام در عملیات حفاری مکانیزه، به ویژه حفاری تونل‌های عظیم و با سرعت عملیاتی بالا، رایج شده است. در سال‌های اخیر در پروژه‌های تونل‌سازی خصوصاً در عملیات حفاری با ماشین‌های تی‌بی‌ام حوادث زیادی به وقوع پیوسته است. کنترل مخاطرات می‌بایست از طریق فرایند مدیریت ریسک صورت پذیرد. این مطالعه با هدف بررسی ریسک عملیات حفاری مکانیزه با استفاده از دستگاه تی‌بی‌ام، در یکی از پروژه‌های تونل‌سازی مکانیزه کشور انجام پذیرفت.

روش بررسی: در این مطالعه موردی توصیفی، به منظور تجزیه و تحلیل ریسک، از تکنیک ردیابی انرژی و آنالیز مانع استفاده شد. در فرایند جمع‌آوری اطلاعات از روش‌های مشاهده، تجربه و قضاوت کارکنان، چک‌لیست، آئین‌نامه‌ها و استانداردهای مرتبط و همچنین سوابق حوادث و شبه‌حوادث ثبت شده در واحد ایمنی استفاده گردید؛ شناسایی منابع انرژی، اهداف، احتمال و پیامدهای مخاطرات در کارگروه‌های متعدد و با حضور کارشناسان باتجربه انجام شد. ریسک‌های شناسایی شده الویت‌بندی شده و اقدامات کنترلی توصیه شد.

یافته‌ها: در این مطالعه ۵۱ منبع انرژی خطرناک در گروه‌های شش گانه‌ی انرژی شناسایی شد. ۲۹/۴٪ از این منابع انرژی شناسایی شده مربوط به انرژی‌های فیزیکی،۱۹/۶٪ مربوط به انرژی‌های شیمیایی، ۴۱٪ مربوط به انرژی‌های مکانیکی، ۸٪ مربوط به انرژی الکتریکی و تنها ۲٪ مربوط به عوامل طبیعی بود. قسمت کرین با ۱۹/۵٪ و هریک از قسمتهای کارترهد و شیلد با اختصاص ۱۰٪ از مجموع منابع انرژی خطرناک به ترتیب خطرناک‌ترین و کم‌خطرترین نقاط در فرایند حفاری تونل با دستگاه تی‌بی‌ام بودند.

نتیجه گیری: براساس نتایج مطالعه، عملیات دستگاه تی‌بی‌ام دربردارنده‌ی منابع خطر متنوع و متعددی است. می‌توان از روش ردیابی انرژی و آنالیز مانع به عنوان یک روش مؤثر در تجزیه و تحلیل ریسک عملیات دستگاه تی‌بی‌ام استفاده نمود.

کلید واژه ها: آنالیز ریسک، حفاری، تی‌بی‌ام، روش ETBA.

مقدمه

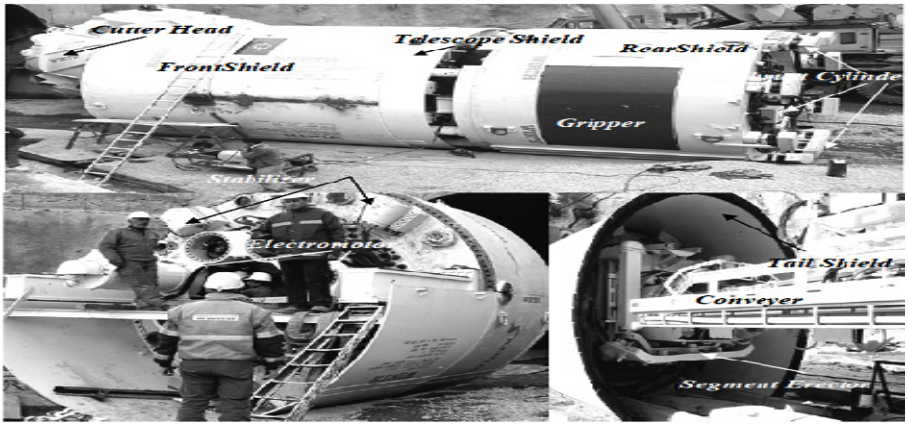
عملیات تونل‌سازی در سراسر دنیا در حال افزایش یافتن است. در سال‌های اخیر در عملیات تونل‌سازی، به ویژه حفاری تونل‌های عظیم و با سرعت عملیاتی بالا، ماشین حفار تمام مقطع تونل (Tunnel boring machine (TBM) مورد استفاده قرار گرفته است[۱]. به دلیل پیچیدگی عملیات حفاری با ماشین‌های حفار تی‌بی‌ام احتمال وقوع حوادث در هنگام حفاری این تونل‌ها بالاست [۲]. کارکردن در محیط‌های فاقد روشنایی طبیعی، با احتمال ریزش دیواره‌های تونل، مواجهه با انواع آلاینده‌های هوا، خطرات ناشی از انفجار و آتش‌سوزی همگی از جمله ع واملی هستند که باعث می‌شوند تا کارگران شاغل در چنین محیط‌هایی در معرض مخاطرات متعددی قرار گیرند [۳]. چنانچه مخاطرات در تونل‌ها به درستی شناسایی و کنترل نگردند می‌توانند به فجایع جبران ناپذیری مبدل گردند. در سال ۲۰۰۶ در حفاری تونلی در غرب ایران ۴ نفر به دلیل نقص در سیستم تهویه و انتشار گاز سولفید هیدروژن جان خود را از دست دادند [۲]. وقوع حوادث متعدد و گاهی منجر به مرگ در سال‌های گذشته در پروژه‌های تونل‌سازی سطح کشور دلیلی بر مخاطره‌آمیز بودن بسیاری از این پروژه‌ها است [۲]. به منظور کنترل

۱- مربی، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران.
۲- (نویسنده مسئول)، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.gharibi_88@yahoo.com

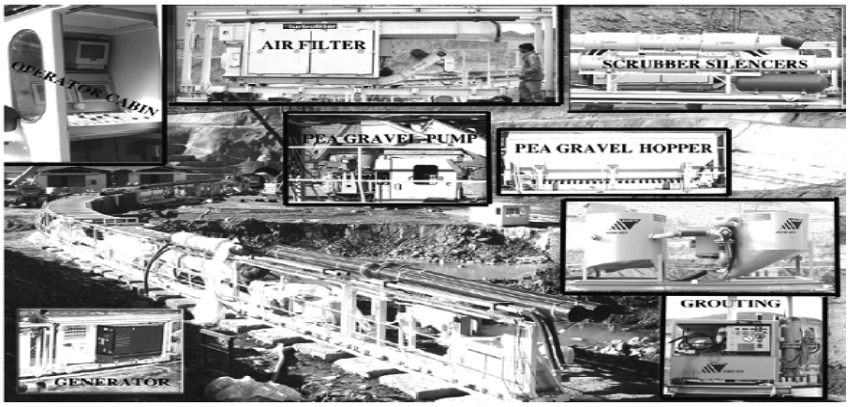
[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

مخاطرات بایستی در مراحل مختلف پروژه ارزیابی ریسک سیستماتیکی از تمامی فعالیت‌ها انجام پذیرد [۴-۵]. فقدان مطالعات جامع و مدون در ارتباط با تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی و بهداشت شغلی در عملیات حفاری مکانیزه از یک سو و گسترش عملیات تونل‌سازی مکانیزه در پروژه‌هایی نظیر مترو، تونل‌های انتقال آب و راه سازی در سطح کشور از سویی دیگر ضرورت انجام این مطالعه را تبیین نمود تا از این طریق بتوان مخاطرات ایمنی و بهداشت شغلی این عملیات را به درستی شناسایی و کنترل کرد.

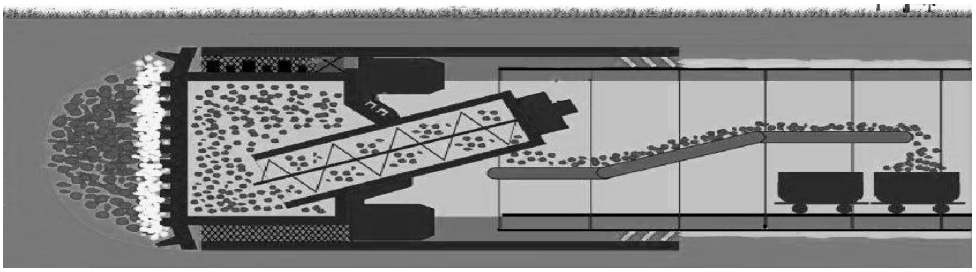
این بررسی در یکی از پروژه‌های عظیم تونل‌سازی مکانیزه کشور صورت گرفت. تکنیک ردیابی انرژی و



تصویر ۱- قسمت‌های مختلف بدنه‌ی اصلی دستگاه تی بی ام



تصویر ۲- قسمت‌های پشتیبانی دستگاه تی بی ام



تصویر ۳- عملیات حفاری مکانیزه توسط دستگاه تی بی ام

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

آنالیز مانع (Energy Trace & Barrier Analysis (ETBA)) که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، تاکنون در مطالعات متعددی استفاده شده است [۶-۱۲]. ساختار پی در پی این تکنیک باعث می‌شود تا در مقایسه با بسیاری از روش‌های آنالیز دیگر از رویکرد منطقی در خصوص شناسایی خطرات و کنترل‌ها برخوردار باشد [۱۳]. روش ETBA، روشی فرآیندی در شناسایی مخاطرات حاصله از تمامی منابع انرژی خطرناک است. این تکنیک با ارزیابی اقدامات کنترلی، ابزاری را برای ارزیابی جریانات ناخواسته انرژی به سمت اهداف (افراد، تجهیزات و یا محیط زیست) فراهم می آورد. در واقع این تکنیک با هدف شناسایی و ارزیابی مخاطرات، تمامی منابع انرژی که پتانسیل ایجاد آسیب دارند را مورد بررسی قرار می دهد [۱۳].

- اجزای اصلی ماشین حفار تمام مقطع

ماشین حفار تی‌بی‌ام از دو قسمت بدنه اصلی و تجهیزات پشتیبانی تشکیل شده است. بدنه‌ی اصلی دستگاه تی‌بی‌ام متشکل از قسمت‌های است که از جمله اجزای اصلی آن می‌توان به پیشانی حفاری (head Cutter) و دیسک‌های حفاری (Disk Cutter) اشاره نمود. کاترهد شامل یکسری دیسک کاتر می‌باشد که بر روی آن نصب شده است. این دیسک‌ها شامل تیغه‌هایی هستند که براساس نوع سنگ و قابلیت حفاری به صورت چرخشی در فشار زیاد، طراحی و ساخته شده‌اند. نخاله‌های حاصل از عملیات کاترهد توسط نوار نقاله‌ها به واگن‌ها جهت خروج از تونل منتقل می شود. تصویر ۱ قسمتهای مختلف بدنه‌ی اصلی دستگاه تی‌بی‌ام را نشان می‌دهد.

قسمت‌های پشتیبانی (Back up)، تدارکات فعالیت‌های بدنه‌ی اصلی دستگاه را برعهده دارند؛ تخلیه و حمل نخاله حاصل از حفاری و نشتاب جداره تونل، پایدارسازی جداره‌ی تونل (با استفاده از تجهیزات حمل سگمنت، تزریق شن نخودی (PeaGravel) و تزریق دوغاب سیمان (Grouting) از فعالیت‌های بخش‌های مختلف قسمت پشتیبانی می‌باشند. این قسمت‌ها برروی واگن‌های متوالی نصب شده و همگام با پیشروی عملیات حفاری، برروی ریل مخصوصی توسط دستگاه تی‌بی‌ام کشیده می‌شود. تصویر ۲ قسمت‌های مختلف سیستم‌های پشتیبانی دستگاه تی‌بی‌ام را نشان می‌دهد.

روش بررسی

مطالعه حاضر یک مطالعه موردی توصیفی است که در طی سال‌های ۸۹-۹۰ در پروژه‌ی حفاری تونل انتقال آب کرج با طول بیش از ۲۰ کیلومتر انجام شد. حفاری این تونل با استفاده از دستگاه ماشین حفار سپری تمام مقطع مکانیزه (Double Shield TBM) از نوع سنگ سخت (Hard Rock) و با قطر حفاری ۴/۶۶ متر انجام پذیرفت. از آنجاییکه در فرایند حفاری مکانیزه، مهم‌ترین و اصلی‌ترین فعالیت، عملیات دستگاه تی‌بی‌ام می‌باشد، در این بررسی مخاطرات این عملیات مورد آنالیز قرار گرفت.

در این مطالعه به منظور آنالیز مخاطرات از روش ردیابی انرژی و آنالیز مانع استفاده شد. از ویژگی‌های این روش این است که می‌توان از آن در آنالیز مخاطرات همه‌ی انواع سیستم‌های انرژی استفاده کرد [۱۳].

به منظور مطالعه دقیق‌تر فرایند حفاری مکانیزه توسط دستگاه تی‌بی‌ام، عملیات این دستگاه در ۷ بخش کاترهد، شیلد، ارکتور، کرین (Crane)، پی‌گراول (مخازن و تزریق)، تزریق دوغاب و مورتار و کارموور مورد مطالعه قرار گرفت. در این بررسی به منظور جمع‌آوری اطلاعات از روش‌های مشاهده، مصاحبه و تجربه و قضاوت کارکنان استفاده گردید؛ از طریق طراحی فرم‌هایی به نام فرم تجارب و قضاوت کارکنان از آنها خواسته شد تا ضمن درج نام و نوع فعالیت و سابقه‌ی کاری، سوابق حوادث و شبه‌حوادث خود و سایر همکارانشان را مستند نمایند. این فرم شامل بخش دیگری به نام شناسایی مخاطرات و ارائه‌ی پیشنهادات و راهکارهای کنترلی بود که در این قسمت از کارگر خواسته شد تا مخاطرات کار خود را نوشته و پیشنهادات خود را جهت کنترل مخاطره ذکر نماید. علاوه بر این،

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

جدول ۱- چک لیست مخاطرات شناسایی شده در هر یک از بخشهای مورد مطالعه در دستگاه تی بی ام

گروه	زیر گروه	کارموور	پی‌گراول/مخازن و تزریق	کرین	ارکتور	کاترهد	شیلد	تزریق دوغاب و مورتار
۱- فیزیکی	۱-۱- سروصدا	*	*	*	*			*
	۱-۲- ارتعاش		*	*	*			*
	۱-۳- میدان های الکتریکی و مغناطیسی	*	*	*				*
	۱-۴- پرتوهای یونساز							
	۱-۵- پرتوهای غیریونساز							
	۱-۶- روشنایی							
	۱-۷- شرایط جوی			*	*			
۲- شیمیایی	۲-۱- گازهای تحت فشار							
	۲-۲- مواد قابل اشتعال و احتراق	*		*		*	*	
	۲-۳- مواد اکسید کننده							
	۲-۴- مواد مضر	*	*		*	*	*	*
	۲-۵- مواد خورنده							
	۲-۶- مواد واکنش‌دهنده خطرناک							
۳-مکانیکی	۳-۱- پرتاب		*			*	*	*
	۳-۲- ظروف تحت فشار				*		*	
	۳-۳- سطوح داغ و سرد						*	
	۳-۴- سقوط	*	*	*	*	*	*	
	۳-۵- له شدگی							
	۳-۶- برش							
	۳-۷- لبه های تیز و برنده			*				
	۳-۸-گیرایش (گرفتن‌های ناگهانی)	*		*	*			
	۳-۹- به داخل کشیدن	*			*			
	۳-۱۰- برخورد (تصادف)	*		*	*			
۴-الکتریکی	۴-۱- جریان الکتریسیه	*	*	*				*
۵-بیولوژیکی	۵-۱- عوامل بیولوژیک							
۶- طبیعی	۶-۱- عوامل مربوط به زمین					*		
	۶-۲- عوامل مربوط به آب و هوا							

به منظور اطمینان از شناسایی تمامی مخاطرات محتمل، مشاهدات و مصاحبه های متعددی در شیفت‌های کاری مختلف و در طی ۶ ماه انجام پذیرفت. در طراحی چک‌لیست‌ها از آئین‌نامه‌ها و استانداردهای کاری [۱۴] استفاده شد.

در مواردی که جهت شناسایی عوامل زیان آور نیاز به داده‌های اندازه‌گیری برای مقایسه با حدود مجاز تماس شغلی [۱۵] بود از نتایج بررسی‌های انجام شده توسط مراکز دانشگاهی در محل مورد مطالعه، استفاده گردید؛ برخی از این داده‌ها مربوط به اندازه‌گیری عوامل زیان آور فیزیکی نظیر سروصدا، شرایط جوی، میدان‌های الکترو مغناطیسی، روشنایی و برخی مربوط به عوامل زیان‌آور شیمیایی در تونل بود.

مراحل اجرا شده در این مطالعه و در فرایند بکارگیری روش ETBA، عبارت است از:

۱- شناسایی منابع انرژی؛ این مرحله شامل بررسی

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

اجزای سیستم و شناسائی تمامی منابع انرژی بالقوه خطرناک می‌باشد. با تکمیل چک‌لیست‌ها، بررسی سوابق حوادث و شبه‌حوادث ثبت شده در واحد ایمنی، برگزاری جلسات کارشناسی با حضور مهندسین کارگاه، نماینده‌ی کارگران و کارشناسان واحد ایمنی، شناسایی منابع انرژی صورت پذیرفت [۳-۴, ۱۳-۱۴, ۱۶]. در جدول ۱ چک لیست مورد استفاده و تکمیل شده‌ی این مطالعه ارائه گردیده است.

۲- ردیابی انرژی؛ بعد از شناسایی منابع انرژی، بایستی مسیر هر انرژی در سیستم از ابتدا تا انتها ردیابی شود. این مرحله شامل شناسایی تمامی اهدافی است که ممکن است توسط منابع انرژی خطرناک، آسیب ببینند. بدین منظور از نمودارهای جریان انرژی استفاده گردید به نحوی که در یک طرف نمودار منبع انرژی و در طرف دیگر هدف انرژی ترسیم شده و در بین این دو، مسیر عبور انرژی و موانع (کنترل‌ها) مشخص شد[۹, ۱۳]. این بخش نیز با مشارکت مهندسین تی‌بی‌ام تکمیل و اجرا شد.

۳- شناسایی اقدامات کنترلی و ارزیابی سیستم؛ این مرحله با شناسایی تمامی کنترل‌های موجود در مسیر جریان انرژی و تعیین ریسک اولیه و همچنین توصیه‌ی کنترل‌های پیشنهادی جهت مهار جریان انرژی و تعیین ریسک ثانویه ناشی از انرژی های کنترل شده با مشارکت کارشناسان صورت پذیرفت [۹, ۱۳, ۱۷].

بمنظور پیاده سازی تکنیک ETBA از کاربرگ ویژه‌ای استفاده شد (جدول شماره ۶). در این کاربرگ ستون های مربوط به نوع و منبع انرژی، خطر، اهداف و کنترل های موجود با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده تکمیل گردید. ستون نوع انرژی بااستفاده از چک‌لیست جدول ۱ کامل شد.

در ستون مربوط به اهداف، اهدافی که در صورت عدم وجود و یا عدم کفایت موانع کنترلی ممکن است تحت تأثیر انرژی رها شده قرار گرفته و آسیب ببینند درج شد. ستون هفتم این کاربرگ مربوط به ارزیابی ریسک است. این ستون از دو قسمت شدت خطر و احتمال وقوع خطر تشکیل شده است. شدت و احتمال وقوع خطر بترتیب با توجه به جداول ۲ و ۳ که برگرفته از استاندارد MIL-STD-882B [۱۸] می‌باشند، توسط جلسات متعدد تیم کارشناسی تعیین گردید. این جلسات با حضور مهندسین، سرپرستان کارگاه‌ها، نماینده کارگران و کارشناسان واحد ایمنی برگزار گردیده و رتبه‌های شدت و احتمال وقوع خطر با توجه به پیامدهای احتمالی مخاطرات و سوابق حوادث و شبه حوادث ثبت شده در پروژه و سایر پروژه های مشابه در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه سوابق و تجربیات تیم کارشناسی نقش مؤثری در براورد ریسک دارد در این مطالعه از افراد با تجربه‌ی کاری مرتبط و بالای پنج سال استفاده گردید. تعداد جلسات کارشناسی برگزار شده در مراحل مختلف این مطالعه بالغ بر ۱۷ جلسه بود.

در ستون تحلیل ریسک اولیه، یک مقیاس کیفی از ریسک وقوع رویداد برای مخاطرات شناسایی شده با وضعیت فعلی و بدون اجرای اقدامات کنترلی پیشنهادی تعیین شد. در این ستون با توجه به شاخص ریسک به دست آمده از تلفیق شدت و احتمال خطر در ماتریس ارزیابی و قضاوت ریسک (جدول ۴) [۹, ۱۳] یک کد دو بخشی به دست می‌آید؛ با مقایسه کد به دست آمده با معیارهای قضاوت ریسک، تحلیل اولیه‌ی ریسک به منظور تعیین ضرورت اجرای اقدامات کنترلی صورت پذیرفت. در ستون ۹ برگه‌ی کار ETBA، اقدامات کنترلی با مشورت کارکنان و مهندسین براساس یک روند نظام‌مند حذف، جانشینی، کنترل‌های فنی مهندسی، علائم، اخطارها و یا کنترل‌های مدیریتی و لوازم حفاظت فردی تعیین شد [۱۰, ۱۹]. در ستون دهم مشابه ستون هفتم با فرض اجرای راهکارهای کنترلی توصیه شده، مجدداً ریسک ارزیابی شده و در ستون یازدهم تحلیل ریسک ثانویه و میزان کفایت اقدامات کنترلی پیشنهادی، تعیین گردید.

یافته ها

از مجموع ۷ قسمت دستگاه تی‌بی‌ام، ۵۱ منبع انرژی خطرناک در گروه‌های شش گانه‌ی انرژی شناسایی شد.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

جدول ۲- شدت خطر

ردیف	توصیف	طبقه	تعریف
۱	فاجعه بار	۱	مرگ یا از کار افتادن سیستم
۲	بحرانی	۲	جراحت، بیماری شغلی یا صدمه ی شدید به سیستم
۳	مرزی	۳	جراحت، بیماری شغلی یا صدمه ی خفیف به سیستم
۴	جزئی	۴	جراحت، بیماری شغلی یا صدمه-ی کمتر از حد خفیف به سیستم

جدول ۳- احتمال وقوع خطر

ردیف	توصیف	طبقه	تعریف حادثه
۱	مکرر	A	وقوع مکرر آن محتمل است.
۲	محتمل	B	در طول عمر سیستم چندین بار رخ خواهد داد.
۳	گاه به گاه	C	گاهی اوقات وقوع آن در طول عمر سیستم محتمل است.
۴	بعید	D	وقوع آن غیر محتمل است ولی ممکن است در طول عمر سیستم رخ می دهد.
۵	غیر محتمل	E	بسیار غیر محتمل است، می‌توان فرض کرد که خطر رخ نخواهد داد.

جدول ۴ – ماتریس ارزیابی و قضاوت ریسک

شدت خطر / احتمال وقوع	فاجعه بار (۱)	بحرانی (۲)	مرزی (۳)	جزئی (۴)
مکرر(A)	1A[a]	2A[a]	3A[a]	4A[c]
محتمل(B)	1B[a]	2B[a]	3B[b]	4B[c]
گاه به گاه(C)	1C[a]	2C[b]	3C[b]	4C[d]
خیلی کم(D)	1D[b]	2D[b]	3D[c]	4D[d]
غیرمحتمل(E)	1E[c]	2E[c]	3E[c]	4E[d]

[a] غیرقابل قبول، [b] نامطلوب، [c] قابل قبول با تجدیدنظر، [d] قابل قبول بدون تجدیدنظر

۲۹/۴٪ از این منابع انرژی شناسایی شده مربوط به انرژی‌های فیزیکی،۱۹/۶٪ مربوط به انرژی‌های شیمیایی، ۴۱٪ مربوط به انرژی‌های مکانیکی، ۸٪ مربوط به انرژی الکتریکی و تنها ۲٪ مربوط به عوامل طبیعی بود.

کاربرگ‌های تکمیل شده در این مطالعه بالغ بر ۲۸ برگ شد که به دلیل حجم بالا و عدم امکان ارائه، در جدول ۵ بالاترین رتبه‌های ریسک ارزیابی شده در هریک از گروه‌های انرژی نشان داده شده است؛ ضمنا یک نمونه کاربرگ تکمیل شده مربوط به قسمت کارمورر در این مقاله ارائه گردیده است (جدول ۶).

از دیگر یافته‌های این پژوهش این بود که ۶۰٪ از انرژی‌های فیزیکی مربوط به عوامل سروصدا و ارتعاش، ۱۳٪ مربوط به شرایط جوی و ۲۷٪ درصد مربوط به میدان‌های الکترومغناطیسی بودند؛ در گروه انرژی‌های شیمیایی ۴۰٪ انرژی‌ها در زیرگروه مواد قابل اشتعال و ۶۰٪ در زیرگروه مواد مضر شناسایی شدند. در زیرگروه مکانیکی با بیشترین فراوانی منابع انرژی خطرناک، مخاطرات در قالب ۵ زیرگروه انرژی شناسایی شدند؛ زیرگروه سقوط با ۲۷٪، پرتاب با ۱۸٪، گیرایش و برخورد هرکدام با ۱۴٪، ظروف تحت فشار و بداخل کشیدن هرکدام با ۹٪ و لبه‌های تیزوبرنده و سطوح داغ و سرد هرکدام با ۴/۵٪ به ترتیب بیشترین و کمترین میزان فراوانی منابع انرژی را در برگرفتند.

در این مطالعه در زیرگروه انرژی‌های مرتبط با عوامل فیزیکی عوامل سروصدا و ارتعاش در قسمت‌های ارکتور، کرین، پیگراول، تزریق دوغاب و عامل سروصدا در قسمت کارمورر در ارزیابی اولیه‌ی ریسک بالاترین رتبه‌ی ریسک را دارا بودند. ارزیابی ریسک ثانویه بافرض اجرای اقدامات کنترلی توصیه شده در هریک از

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

جدول ۵- بالاترین رتبه‌های ریسک تعیین شده در هریک از گروه‌های پنجگانه‌ی انرژی

قسمت‌های هدف‌گذاری دستگاه	انرژی‌های فیزیکی					انرژی-های شیمیایی					انرژی‌های مکانیکی					انرژی-های الکتریکی					انرژی‌های طبیعی				
	عامل فیزیکی (فعالیت)	بیشترین ریسک				عامل شیمیایی (فعالیت)	بیشترین ریسک				عامل مکانیکی (فعالیت)	بیشترین ریسک				عامل الکتریکی (فعالیت)	بیشترین ریسک				عامل طبیعی (فعالیت)	بیشترین ریسک			
		قبل		بعد			قبل		بعد			قبل		بعد			قبل		بعد			قبل		بعد	
		شدت	احتمال	شدت	احتمال		شدت	احتمال	شدت	احتمال		شدت	احتمال	شدت	احتمال		شدت	احتمال	شدت	احتمال		شدت	احتمال	شدت	احتمال
کاترهد	-					مواد مضر (آئروسل بعد از حفاری)	۱	B	۳	C	سقوط (سقوط ابزارآلات از هد دستگاه)	۲	B	۳	D	جریان برق (استفاده از تجهیزات برقی در لنت کاترهد)	۱	۴	B	C	ریزش زمین در هد دستگاه	۱	B	۳	D
شیلد	-					مواد مضر (آئروسل بعد از حفاری)	۱	B	۳	D	سقوط (افتادن مصالح حفاری از نوارنقاله)	۳	B	۴	C	جریان برق (استفاده از تجهیزات برقی)	۱	C	۳	D	-				
ارکتور	سروصدا (رینگ گذاری ارکتور)	۲	B	۳	D	مواد مضر(آئروسل ناشی از حفاری)	۲	C	۴	C	گیرایش و بداخل کشیدن (اعضای بدن در سگمنت قیدر)	۲	B	۳	C	-					-				
	ارتعاش(بکس بادی)	۲	B	۳	D						ظروف تحت فشار (ترکیدن لوله های تحت فشار هوایاروغن)	۲	B	۴	C										
کرین	سروصدا و ارتعاش(کرین و سگمنت قیدر)	۲	B	۴	D	موادقابل اشتعال(ناشی از روغن‌ها)	۲	C	۳	D	سقوط (سگمنت و ریل در کرین)	۱	B	۲	E	جریان برق (در نصب سایپورت ریل)	۲	B	۳	D	-				
پی‌گراول / مخازن و تزریق	سروصدا (تزریق پیگراول)	۲	B	۳	D	مواد مضر (گردوغبار ناشی از تزریق، پی‌گراول)	۳	C	۴	D	سقوط(رها شدن مخزن پیگراول از ارتفاع)	۱	A	۲	C	جریان برق (الکتروموتورهای پمپ تزریق)	۱	B	۳	D	-				
	ارتعاش (ناشی از پمپ و کمپرسور)	۲	B	۴	D																					
تزریق دوغاب و مورتار	سروصدا (تزریق دوغاب)	۲	B	۳	D	مواد مضر (گردوغبار ناشی از تزریق دوغاب)	۳	B	۴	D	پرتاب (ذرات دوغاب به سروصورت)	۳	B	۴	C	جریان برق (الکتروموتورهای پمپ تزریق)	۲	B	۳	D	-				
	ارتعاش (ناشی از پمپ و کمپرسور)	۲	B	۳	D																					
کارمورر	سروصدا(ناشی از ریزش مصالح)	۲	B	۴	D	مواد مضر(گازهای خروجی اگزوز)	۳	A	۳	D	برخورد (تصادف)	۱	B	۲	D	جریان برق(کابل برق ۲۰کیلوولت)	۳	C	۴	D	-				

قسمت‌ها، نشان داد که ریسک در محدوده‌ی قابل قبول واقع گردیده است.

در گروه انرژی‌های مرتبط با عوامل شیمیایی در زیرگروه مواد مضر قسمت‌های کاترهد، شیلد، ارکتور، پی گراول/مخازن و تزریق، تزریق دوغاب و مورتار و کارمور و همچنین در قسمت کرین ترکیبات قابل اشتعال در ارزیابی اولیه‌ی ریسک اولیه بالاترین رتبه‌ی ریسک را به خود اختصاص دادند. گردوغبارهای ناشی از عملیات حفاری و گازهای خروجی از اگزوز وسایل، از مهم‌ترین دلایل انتشار مواد شیمیایی در محیط شناسایی شدند. در ارزیابی ریسک ثانویه تمامی ریسک‌های مذکور با فرض اجرای تدابیر کنترلی توصیه شده نظیر نصب فیلترهای مناسب در خروجی اگزوزها و تعبیه‌ی سیستم آب‌پاش برروی واگن‌ها هنگام تخلیه‌ی مصالح، به محدوده‌ی ریسک قابل قبول تقلیل یافتند.

در تمامی قسمت‌های مورد بررسی از دستگاه تی‌بی‌ام مخاطرات مکانیکی شناسایی گردید. مخاطرات شناسایی شده شامل سقوط، گیرایش و بداخل کشیدن، ظروف تحت فشار، پرتاب، لبه‌های تیز و برنده و خطر تصادف بود. در بین قسمت‌های مختلف دستگاه تی‌بی‌ام خطر سقوط بیشترین فراوانی را نسبت به سایر مخاطرات داشت. قمست پیگراول/مخازن و تزریق با کسب رتبه ی ریسک 1A بیشترین رتبه‌ی ریسک را در این مطالعه به خود اختصاص داد.

در تمامی بخش‌ها به جز ارکتور، کاترهد و شیلد، جریان الکتریسیته شناسایی شد و رتبه‌ی ریسک اولیه بیشتر از حدود قابل قبول ارزیابی گردید. در ارزیابی‌های ثانویه با پیش‌فرض اجرای کنترل‌هایی نظیر استفاده از سیستم اتصال به زمین و نگهداری و تعمیرات صحیح تجهیزات، سطوح ریسک کاهش یافت.

انرژی‌های مربوط به گروه عوامل طبیعی کمترین فراوانی را در بین سایر گروه‌ها به خود اختصاص داد. کاترهد به دلیل احتمال ریزش زمین در هد دستگاه، تنها قسمتی از دستگاه تی‌بی‌ام بود که در این زیرگروه خطر قرار گرفت. به منظور جلوگیری از وقوع چنین حادثه‌یی می‌توان قبل از شروع عملیات اقداماتی نظیر بررسی ظاهری زمین، لق‌گیری زمین با استفاده از دیلم و انجام مطالعات Probe Drilling را قبل از هر دوره حفاری انجام داد که در این صورت، ریسک ناشی از این خطر به حدود قابل قبول تقلیل می‌یابد.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

جدول ۶- نمونه برگه کار تکمیل شده (قسمت کارمورور)

ردیف	نوع انرژی	منبع انرژی	خطر	اهداف: انسان	اهداف: محیط زیست	اهداف: تجهیزات	کنترل های موجود	ریسک اولیه: شدت	ریسک اولیه: احتمال	تحلیل ریسک اولیه	پیشنهادات	ریسک ثانویه: شدت	ریسک ثانویه: احتمال	تحلیل ریسک ثانویه
۱	مکانیکی	لوکوموتیو	گیر کردن اعضای بدن	√			ارتباط مداوم با اپراتور لوکو بااستفاده از بیسیم، نظارت، آموزش اپراتور، اطلاع رسانی به سایرین از طریق پیچ، اطلاع اپراتور کارمورور به اپراتور کابین و بالعکس، استفاده از P.P.E مناسب و لباسکار شبرنگدار	۲	B	غیرقابل قبول	استفاده از روشنایی مناسب در هنگام چک کردن مالبندها، اطمینان از سلامت بلندگوهای Back Up و بازرسی آنها، آموزش پرسنل از جمله اپراتورهای لوکو و کارمورور	۳	D	قابل قبول با تجدیدنظر
۲	مکانیکی	تجهیزات انتقال نیرو در چکهای کارمورور	گیرایش و به داخل کشیدن اعضای بدن	√			خاموش کردن جک های کارمورور در هنگام نگهداری و تعمیرات، سیستم مانیتور کارمورور	۳	B	نامطلوب	بازرسی و اطمینان از سلامت جک ها قبل از شروع حفاری، آموزش اپراتور	۳	D	قابل قبول با تجدید نظر
۳	مکانیکی	لوکوموتیو	تصادف	√	√	√	استفاده از چراغ‌های قرمز هشدار دهنده واعلام وضعیت خطر در هنگام حرکت لوکو، ارتباط مداوم با اپراتور لوکو بااستفاده از بیسیم، اطلاع بعموم از طریق پیجر، نظارت و آموزش اپراتور، اطلاع اپراتور کارمورور به اپراتور کابین و بالعکس- استفاده از P.P.E	۱	B	غیرقابل قبول	استفاده از روشنایی مناسب، بازرسی بلندگوهای Back Up ،تدوین دستورالعمل های ایمنی و نحوه ی انجام کار- آموزش پرسنل	۲	D	نامطلوب
۴	فیزیکی و جریان الکتریسیته	جریان‌های الکتریکی متناوب - کابل‌های برق ۲۰کیلوولت	برق گرفتگی - اختلالات عصبی	√			استفاده از کابل هایی با پوشش مناسب	۱	C	غیرقابل قبول	ایجاد فاصله، آموزش پرسنل در مورد مخاطرات محتمل ، معاینات ادواری پرسنل، چرخش شغلی	۴	D	قابل قبول بدون تجدیدنظر
۵	شیمیایی	جک های کارمورور و گیربکس هیدرومتور	ناراحتی های پوستی و تنفسی - آلودگی زیست محیطی	√	√		آموزش به اپراتور کارمورور ، چک کردن مداوم جک‌ها، نگهداری و تعمیر مداوم سیستم هیدرولیک دستگاه	۳	B	نامطلوب	-پاکسازی مناسب محل ریزش روغن و جدا کردن آن در ظروف مخصوص - استفاده از دستکش های حفاظتی مناسب	۳	D	قابل قبول با تجدیدنظر

در این مطالعه مشخص گردید قسمت کرین با ۱۹/۵٪ و قسمت‌های کاترهد و شیلد هرکدام با اختصاص ۱۰٪ از مجموع منابع انرژی خطرناک به ترتیب خطرناک‌ترین و کم خطرترین نقاط در فرایند حفاری با دستگاه تی‌بی‌ام می‌باشند. قسمت‌های کارمورور و ارکتور هرکدام ۱۷/۵٪، پیگراول/مخازن و تزریق ۱۳/۵٪ و قسمت تزریق دوغاب و مورتار ۱۲٪ از منابع انرژی خطرناک را به خود اختصاص دادند.

بحث و نتیجه گیری

همان‌طور که ذکر شد بیشترین منابع انرژی شناسایی شده مربوط به انرژی‌های مکانیکی بود. در زیرگروه انرژی مکانیکی بیشترین خطر مربوط به سقوط با ۲۷٪ فراوانی شناسایی شد زیرا در عملیات حفاری تونل فعالیت‌های مربوط به جابجایی و حمل بار بسیار زیاد می‌باشد. حوادث سقوط از ارتفاع جزء شایع‌ترین حوادث در پروژه‌های ساختمانی هستند[۲۰-۲۱]. در مطالعه‌ای که بهرامپور و همکارانش به منظور بررسی اپیدمیولوژی پنج ساله و برآورد حوادث در کارگران ساختمانی یزد انجام داد نیز به این نتیجه رسید که بیشترین حادثه (۴۸/۵۸٪) از نوع سقوط بوده است[۲۲]. مسئله‌ی سقوط نه تنها این صنعت و عملیات بلکه در بسیاری از صنایع به عنوان یک ریسک فاکتور عمده تعیین گردیده است. در مطالعه‌یی که گوران و همکارانش در کشور ترکیه انجام دادند نیز به این نتیجه رسیدند بیشترین فراوانی آسیب‌ها در این کشور به دلیل سقوط می‌باشد [۲۳]. در مطالعه‌ی دیگری که حلوانی و همکارانش در یزد انجام دادند نیز دریافتند که بیشترین علت حوادث شغلی سقوط (۲۰/۸٪) بوده است [۲۴].

خطر مکانیکی پرتاب نیز به عنوان دومین زیرگروه شایع از مخاطرات مکانیکی شایع تشخیص داده شد. در این مطالعه مشخص شد که فعالیت‌هایی نظیر تزریق پیگراول و دوغاب و همچنین عملیات حفاری دربردارنده‌ی این مخاطرات می‌باشند. پرتاب ذرات شن

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

و خاک می‌تواند سبب آسیب رساندن به چشم‌ها گردد. در مطالعه‌یی که استادی مقدم در بررسی شیوع و علل حوادث چشمی ناشی از کار در مشهد انجام داد دریافت که مجموع ۶/۰۵٪ از حوادث شغلی مربوط به چشم بوده که ۲۵/۷٪ از این موارد در ارتباط با ورود اجسام خارجی به چشم بوده است[۲۵].

از دیگر یافته‌های این مطالعه این بود که هر کدام از زیرگروه‌های برخورد و گیرایش ۱۴٪ از منابع انرژی خطرناک را به خود اختصاص داده‌اند. خارج شدن واگن خاک از ریل در طول مسیر تونل، گیر کردن اعضای بدن در سگمنت فیدر (ارکتور)، گیرکردن اعضای بدن در هنگام حرکت لوکوموتیو و واگن‌های خاک از جمله فعالیت‌هایی است که در آنها مخاطرات برخورد و گیرایش شناسایی شد. به منظور کنترل ریسک‌های مذکور اقداماتی نظیر بازرسی مداوم تجهیزات، اطمینان از سلامت بلندگوها، آموزش مداوم به پرسنل و تدوین دستورالعمل‌های کاری توصیه گردید.

بهرامپور نیز در بررسی اپیدمیولوژیک خود دریافت که ۲۷/۵۳٪ از حوادث در کارگران ساختمانی، به دلیل برخورد اشیا بوده است[۲۲]. همچنین حلوانی و همکارانش نیز در مطالعه‌ی بررسی علل حوادث در کارگاه‌های تحت پوشش تامین اجتماعی یزد دریافتند که برخورد با موانع ۳/۴٪ و برخورد با اشیا متحرک ۵/۱٪ از موارد حوادث را در سال ۸۴ به خود اختصاص داده بودند[۲۴]. همچنین وزیری‌نژاد و همکاران در مطالعه‌ی خود در صنعت تولید مس دریافتند که شایع‌ترین حادثه‌ی شغلی در سال‌های مطالعه برخورد با اشیا با فراوانی ۵۱/۴٪ بوده است [۲۶]. همچنین محمدفام در مطالعه‌ی خود در صنعت تولید آلومینیوم دریافت که شایع‌ترین حادثه ی شغلی به دلیل برخورد با اشیا و به میزان ۳۸/۳٪ بوده و گیرایش نیز ۱۰٪ از موارد حوادث را به خود اختصاص داده است [۲۷]. اختلاف بین اعداد در صنایع مختلف به دلیل تفاوت در نوع و ماهیت کار و همچنین میزان به کارگیری و رعایت اقدامات کنترلی در هر یک از صنایع مورد مطالعه می‌باشد.

کارگران در پروژه‌های ساختمانی علاوه بر حوادث ناشی از کار با عوامل بیماری‌زایی نظیر دود و فیوم‌ها، صدا و ارتعاش مواجهه دارند [۲۲]. نتایج این مطالعه نیز مؤید این مطلب بود. در این مطالعه عوامل زیان‌آور سروصدا و ارتعاش، ۶۰٪ از منابع انرژی فیزیکی شناسایی شده را به خود اختصاص دادند؛ وجود تجهیزاتی نظیر کمپرسورها و پمپ‌ها در عملیات حفاری و سروصدای بسیارزیاد این تجهیزات و همچنین محصور بودن محیط کار در تونل، از جمله دلایل وجود این عوامل زیان‌آور است. این مسئله نیز با ارائه راهکارهایی کنترلی در منبع تولید سروصدا و ارتعاش و همچنین برروی کارگر نظیر تعبیه سیستم صداگیر بر روی فن‌ها و کمپرسور پی گراول، ایزوله کردن مناسب کابین کارمور میزان ریسک ثانویه کاهش یافت. از دیگر انرژی‌های فیزیکی شناسایی شده شرایط نامساعد جوی و همچنین مواجهه با میدان‌های الکترومغناطیسی بود. کارکردن در اعماق تونل، بالابودن رطوبت و دمای هوا و همچنین کار کردن در مجاورت خطوط برق پرفشار از مهمترین منابع بوجود آورنده‌ی این انرژی‌های خطرناک بودند.

جریان الکتریسیته و خطر برق گرفتگی در ۵۷٪ از قسمتهای مورد مطالعه دستگاه تی‌بی‌ام شناسایی شد. فراوانی تجهیزاتی که با جریان برق کار می‌کنند و مرطوب بودن محیط کار از عواملی است که اهمیت خطر برق گرفتگی را دو چندان می‌نماید.

۶۰٪ از منابع انرژی خطرناک شناسایی شده در گروه شیمیایی مربوط به زیرگروه مواد مضر بودند. بالا بودن عدد این گروه به این دلیل است که حجم وسیعی از مواد شیمیایی در این زیرگروه قرار دارند. گازهای خروجی از اگزوز لوکومویتو، آئروسل و گردوغبار ناشی از عملیات حفاری و گازهای زیرزمینی نظیر هیدروژن سولفوره و متان همگی از موارد دربردارنده‌ی این عوامل خطرناک هستند. در مطالعه‌یی که بیک و همکارانش در ارتباط با مواجهه با گازها و گردوغبارها در مشاغل تونل‌سازی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که میانگین هندسی گردوغبار کل و گردوغبارقابل تنفس

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

در کارگران تی‌بی‌ام بیشترین مقدار را در مقایسه با سایر فعالیت‌های تونل‌سازی به خود اختصاص داده است [۲۸].

در ارتباط با عوامل طبیعی تنها منبع انرژی شناسایی شده عوامل مربوط به زمین بودند. با توجه به اینکه عملیات حفاری تونل توسط دستگاه تی‌بی‌ام همراه با قرار دادن سگمنت در دیواره‌ی تونل انجام می‌شود ریسک ریزش دیواره‌ها به حداقل مقدار ممکن کاهش یافته و تنها ممکن است هد دستگاه در هنگام حفاری در خاک گیر کند که این مسئله ریسک انسانی را به دنبال نخواهد داشت. جعفری و همکارانش نیز در آنالیز ریسک تی‌بی‌ام به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن به این نتیجه رسیدند که توقف کارترهد از بالاترین ریسک برخوردار است و این حالت منجر به توقف دستگاه تی‌بی‌ام می‌گردد [۲].

در توصیه‌های کنترلی بر آموزش ایمنی، بازرسی و نگهداری 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 [۸, ۲۹].

از نقاط قوت این مطالعه می‌توان به استفاده از خرد جمعی در تمامی مراحل اجرای پروژه اشاره کرد که این موضوع باعث شد تا داده‌ها با خطای کمتری جمع‌آوری و آنالیز گردد و امکان استفاده از نتایج در سایر پروژه‌های مشابه مهیا گردد. در استفاده از روش ETBA ممکن است خطاهای انسانی و نقص تجهیزاتی که مستقیما با منابع انرژی همراه نیستند در نظر گرفته نشود که این موضوع را می‌توان از معایب این تکنیک ذکر کرد؛ در این بررسی عدم وجود مطالعات مشابه قابلیت مقایسه را بین نتایج مطالعات محدود می‌ساخت. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که تکنیک ردیابی انرژی و آنالیز مانع با داشتن رویکردی منطقی می‌تواند به عنوان یک روش موثر آنالیز ریسک در عملیات حفاری مکانیزه تونل مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Shahriar K, Rostami J, KhademiHamidi J, editors. TBM tunneling and analysis of high gas emission accident in Zagros long tunnel2009.
2. Jafari MJ, Gharari N, Sheikhi HR. The Reliability of a Tunnel Boring Machine. International Journal of Occupational Hygiene. 2009;1(1).
3. OSHA OSHA. Underground Construction (Tunneling)-OSHA3115. 2003 ed: OSHA; 2003.
4. Aneziris O, Papazoglou I, Kallianiotis D. Occupational risk of tunneling construction. Safety Science. 2010;48(8):964-72.
5. Einstein HH, Veneziano D. Risk analysis for tunneling projects: Massachusetts Institute of Technology; 2010.
6. Booya Mostafa AS, Asilian Hossein MSB. Safety analysis of a corn processing industry by energy trace and barrier analysis method: a case study Iran Occupational Health Journal. 2007.
7. Nejadali H, Mortazavi SB, Khavanin A. LPG Storage Spheres Risk Assessment with FMEA and ETBA Methods. Journal of Kermanshah University of Medical Sciences. 2008;12(2).
8. 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.
9. Shirali GHA, Adl J. How to perform Energy Trace & Barrier Analysis (ETBA) in industries? A case study in Isomax Unit of Tehran refinery. Iran Occupational Health Journal. 2006.
10. Doshman FYFAS, Farshad A, Arghami shirazeh HMH. Use of ETBA method (Energy Trace and Barrier Analysis) for hazard identification in a paint shop of an automobile production factory. Iran Occupational Health Journal. 2006.
11. Rahimi M. Systems safety for robots: an energy barrier analysis. Journal of Occupational Accidents. 1986;8(1):127-38.
12. Hollnagel E. Accident analysis and barrier functions. Project TRAIN, IFE. 1999.
13. Ericson CA. Hazard analysis techniques for system safety: Wiley-Interscience; 2005.
14. ISO B. 17776, (2000). Petroleum and natural gas industries–offshore production installations–guidelines on tools and techniques for hazard

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

identification and risk assessment.1-45.
15. ACGIH TLV, editor. Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents and Biological Exposure Indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2009.
16. Safety IPoC, Organization WH. The International Programme on Chemical Safety (IPCS). WHO/IPCS; 1983.
17. Vincoli JW. Basic guide to system safety: Wiley-Interscience; 2006.
18. Standard M. System safety program requirements: MIL-STD-882B, Department of Defense, Washington DC 20301, USA, 30 March1984.
19. OHSAS B. 18001 (2007) Occupational Health and Safety Management Systems. Requirements. British Standards. 2007.
20. 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.
21. 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(05):92-9.
22. Bahrampour A, Jafari Nodoushan R, Vatani Shoaa J. 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;16:156-65.
23. Unal H, Gök A, Gök K. Occupational Accident Characteristics in Türkiye between 1997-2005. Kastamonu Eğitim Dergisi. 2008;16(2):637-50.
24. Halvani GH, 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.
25. Ostadi moghadam H, Yekta A, Heravian J, Fahoul M, AFSHARNIA M. Prevalence and etiology of occupational eye accidents in Mashad industrial's workshop. Journal of Rehabilitation. 2004.
26. Vazirinejad R, Esmaeili A, Kazemi M. Occupational Accidents in Construction Industry Among People Reffering to Lobor and Social Affairs Office Rafsanjan, During 2000-2002. Journal of Rafsenjan University of Medical Sciences. [Research]. 2005;4(4):326-31.
27. Mohamadfam I. Evaluation of Occupational Accidents and Their Related Factors in Iranian Aluminum Company in 1999. Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences. 2001;19(3):18-26.
28. Bakke B, Stewart P, Ulvestad B, Eduard W. Dust and gas exposure in tunnel construction work. AIHAJ-American Industrial Hygiene Association. 2001;62(4):457-65.
29. 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).

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]

Risk Analysis of Automated Excavation Operations By Energy Trace & Barrier Analysis Method

J. Malakouti[1], V. Gharibi[2]

Received: 2012/06/10 Revised: 2013/01/08 Accepted: 2013/01/15

Abstract

Background and aims: In automated excavation operations especially excavating big tunnels with high operation speed the application of Tunnel Boring Machine (TBM) has been prevalent. Tunneling construction projects especially TBM excavating operations have experienced some accidents in recent years. Hazard control must be done through the process of risk management. This study was done with goal of risk analysis of automated excavation operations in one of the water transfer tunnel projects.

Methods: In this study for risk analysis, energy trace and barrier analysis technique was used. In data gathering process were used observation method, worker experience and judgments, checklist, standards & regulations and incident records. Recognition of energy sources, targets, probability and severity of hazards were done by competence experts in various team works. The identified risks were prioritized and control measures were recommended.

Results: In this study 51 hazardous energy sources in 6 energy categories were recognized. These identified energy sources included physical energy 29.4%, chemical energy 19.6%, mechanical energy 41%, electrical energy 8% and natural energy 2%. The crane section by 19.5%, shield by 10% and cutter head by 10% were the most and the least dangerous part of tunnel boring machine in excavation process.

Conclusion: Based on the findings of the study, TBM operations include various energy sources. Energy trace and barrier analysis technique can be used effectively in risk analysis of TBM operations.

Keywords: Risk Analysis, excavation, TBM, ETBA method

1. Instructor, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran.
2. (**Corresponding author**), Student of MSc, Tarbiat modares university, Tehran, Iran.
gharibi_88@yahoo.com

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-14]