

## مدیریت خطر و اثر بخشی اقدامات پیشگیرانه در ایمنی ناوگان ریلی تونل البرز

محمد جواد جعفری<sup>۱\*</sup>، نورالدین قراری<sup>۲</sup>، غلامرضا قربانی<sup>۳</sup>

۱. عضو هیئت علمی، دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران

۲. عضو هیئت علمی، مربی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل

۳. کارشناس ارشد، گروه مهندسی ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران

\* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۲۱۲۲۴۳۲۰۴۰ - فکس: ۰۲۱۲۲۴۳۲۰۳۶ - ایمیل: Jafari1952@yahoo.com

### چکیده

**زمینه و هدف:** این مقاله مدیریت خطر فرآیند حمل و نقل ریلی یک تونل بلند را حین پیشروی بررسی می‌کند. **روش کار:** آنالیز خطر با استفاده از روش تحلیل حالات شکست و پیامدها و براساس توصیه‌های QS9000 و SAE J1739 انجام شد. حالات بالقوه ۸ شکست تعیین و اثرات هر شکست مشخص گردید. با استفاده از شدت پیامد هر شکست، علل بالقوه و احتمال وقوع آن، عدد اولویت خطر هر شکست محاسبه و با استفاده از اعداد خطر بدست آمده، کلیه مخاطرات رتبه‌بندی شدند. اثر بخشی اقدامات پیشگیرانه توصیه شده نیز محاسبه و تعیین گردید. **یافته‌ها:** نتایج بدست آمده نشان داد که کلیه شکست‌های مطالعه شده دارای بالاترین شدت پیامد یعنی ۱۰ می‌باشند، لذا در گروه شکست‌های بحرانی دسته‌بندی شدند. سایش چرخ لکوموتیو و واگن‌ها، دارای بیشترین احتمال وقوع یعنی ۶ و شکستگی طولی ریل دارای رتبه تشخیص ۶ یعنی کمترین احتمال تشخیص در میان کلیه شکست‌های مطالعه شده هستند. در شرایط موجود، برهم خوردن تراز عرضی تراورس و خرابی ریل با عدد اولویت خطر ۲۰۰ بالاترین خطر را دارند. **نتیجه گیری:** اعمال کنترل‌های توصیه شده بطور قابل توجهی بر کاهش حوادث و توقف کار تأثیر دارد. **واژه های کلیدی:** تونل کاری، خطر، ناوگان ریلی

پذیرش: ۹۰/۱۰/۱۲

دریافت: ۹۰/۸/۹

### مقدمه

گرمای بیش از حد، طوفان‌های کویری، یخبندان، دید کم، رعد و برق و غیره عملیاتی نگهدارنده در معادن و تونل‌های در حال حفاری نیز ترابری با ناوگان ریلی در شرایط بسیار دشواری صورت می‌گیرد. شرکت‌های حمل و نقل ریلی فعال در معادن و تونل‌های در حین حفاری نیز ممکن است مجبور شوند در مکان‌هایی با تراکم گازهای خورنده و گشوده نظیر سولفید هیدروژن و یا گازهای قابل انفجار نظیر متان و همچنین در حالی که ریل‌های آن‌ها کاملاً در زیر آب قرار گرفته است و در شیب‌های تند و دید کم فعالیت نمایند [۲،۳]. در

میزان حوادث ناشی از حمل و نقل ریلی، نشانگر معیار ایمنی ناوگان ریلی است. در حمل و نقل ریلی مواد، بویژه مواد خطرناک، ایمنی ناوگان ریلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱]. شرکت‌های حمل و نقل ریلی شرایط کاری دشواری را تجربه می‌کنند که در طی آن ممکن است خطوط، قطارها، تجهیزات و افراد در مواجهه با شرایط کاری و محیطی سختی قرار گیرند. آن‌ها ممکن است مجبور شوند ناوگان ریلی را در شرایط سختی نظیر طغیان رودخانه‌ها، سیلاب، برف، باران، طوفان، ریزش کوه، رانش زمین،

مطالعه حاضر در حین حفاری تونل پیشگام البرز آزادراه تهران- شمال انجام شده است. تونل‌های البرز، به طول ۶۳۵۰ متر، در ارتفاع ۲۴۰۰ متری از تراز دریا و با حداکثر سرباره ۸۵۰ متری، بلندترین تونل‌های راه کشور در آزادراه تهران- شمال قرار دارند. این مجموعه شامل سه تونل موازی است (دو تونل اصلی برای مسیر حرکت خودروها و تونل پیشگام در میان آن‌ها). از طریق حفاری تونل پیشگام، اطلاعات زمین‌شناسی لازم برای طراحی تونل‌های اصلی گردآوری شد. در زمان بهره‌برداری پروژه، از این تونل برای تجهیزات برق و مکانیک تونل‌های اصلی استفاده خواهد شد.

به منظور مدیریت مناسب ایمنی در حین حفاری تونل پیشگام البرز، خطر حفاری این تونل با استفاده از روش تحلیل حالات شکست و پیامدها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این ارزیابی به‌طور موفقیت‌آمیزی در طول حفاری آن مورد استفاده قرار گرفت. در این مقاله، ارزیابی اثر بخشی مدیریت خطر در ایمنی ناوگان ریلی تونل البرز ارائه شده است.

### روش کار

در این مطالعه که از نوع توصیفی می‌باشد، برای شناسایی و ارزیابی خطر از روش MFMEA استفاده شد. به همین‌منظور پس از گردآوری اطلاعات موردنیاز، هدف، گستره، عمق مطالعه و تجربیات قبلی، هزینه‌های مربوطه و تیم متخصص تعیین شدند. ماتریس خطر با استفاده از پارامترهای شدت پیامد، احتمال وقوع شکست و تشخیص هر شکست تعیین شد. با تشکیل ماتریس خطر، عدد اولویت خطر بدست آمد. در این مطالعه پارامتر شدت پیامد براساس توصیه استانداردهای QS9000 و SAEJ1739 رتبه‌بندی شد (جدول ۱). همچنین طبق توصیه‌های استاندارد کیفیت QS9000 این اطلاعات از منابع موجود در کارگاه از جمله حوادث قبلی، دوره‌های تعمیر و نگهداری، تجربه کاربران و غیره

چنین شرایطی خرابی و حوادث ناشی از ناوگان ریلی و توقف عملیات حفاری ممکن است منجر به خسارات جانی و مالی گردد. لذا ضروری است مخاطرات عملیات ناوگان ریلی مدیریت شود. اقدامات لازم جهت مدیریت خطر سیستم‌های ریلی معمولاً شامل سه مرحله یعنی: شناخت خطرات، ارزیابی سطح خطرات و حذف یا کنترل خطرات می‌باشد [۴-۲]. مرحله نخست شامل شناسایی ویژگی‌های خطرات یک سیستم ریلی و تهدیدات پنهان ناشی از حوادث آن است. رویکردهای متداول در این مرحله استفاده از روش‌های سنتی تجزیه و تحلیل خطر می‌باشد [۵]. روش تحلیل حالات شکست و پیامدها<sup>۱</sup> ابزاری است که بطور وسیعی در شناسایی، ارزیابی و حذف خطرات بالقوه شناخته شده، مشکلات، و خطاهای ناشی از سیستم در دست طراحی قبل از تولید آن بکار می‌رود [۶]. روش سنتی تحلیل حالات شکست و پیامدها، شکست‌های معدودی از کل زنجیره شکست‌ها را تحلیل می‌کند و نمی‌توانست علل واقعی شکست‌ها را تشخیص دهد [۷]. در نتیجه برای پی‌بردن به تمام آثار میانی بین علت شکست تا آثار نهایی، نیاز به یک روش تحلیل کامل مانند روش تحلیل حالات شکست و پیامدها براساس سناریوها بود [۸]. برای ارزیابی شکست تجهیزات، نظیر مطالعه حاضر، روش تحلیل حالات شکست و پیامدهای ویژه ماشین‌آلات (MFMEA)<sup>۲</sup> یک روش استاندارد به شمار می‌رود. این روش بطور اختصاصی برای شناسایی خطر ماشین‌آلات ابداع شده است. برخلاف سایر روش‌ها در این روش برای برآورد عدد خطر از سه متغیر شدت پیامد، عدد تشخیص و احتمال وقوع شکست استفاده می‌شود که از مزایای اصلی آن نسبت به سایر روش‌های تشخیص خطر به شمار می‌رود. این روش برای اهداف مطالعه حاضر به منظور ارزیابی قابلیت اعتماد ناوگان ریلی تونل در حین حفاری مناسب است [۳،۲].

1. Failure mode & effect analysis(FMEA)

2. Machinery Failure Mode & Effect Analysis (MFMEA)

جمع‌آوری شد [۹]. برای رتبه‌بندی احتمال وقوع از فاصله زمانی بین حوادث استفاده شد. جدول ۲ می‌دهد.

جدول ۱. معیار رتبه‌بندی‌های شدت پیامد در مطالعه حاضر (SAE، J1739 و QS9000)

رتبه	شدت پیامد	معیار: اثر شدت
۱۰	حداکثر	جراحت یا آسیب به کاربر؛ وقوع شکست منجر به آثار خطرناک تقریباً قطعی است
۹	فوق العاده	وقوع شکست منجر به آثار خطرناک تقریباً قطعی است. رعایت مقررات و ایمنی باید در نظر گرفته شود
۸	خیلی زیاد	قطع حمل و نقل ریلی قابل توجه و خسارت‌های مالی عمده؛ حمل و نقل ناممکن اما ایمن. استفاده‌کننده بسیار ناراضی، مثلاً توقف سیستم ریلی برای بیش از ۳۰ روز کاری
۷	زیاد	قطع حمل و نقل قابل توجه. حمل و نقل شدیداً تحت تأثیر قرار گرفته، استفاده‌کننده شدیداً ناراضی، مثلاً توقف سیستم ریلی بین ۱۰ الی ۳۰ روز کاری
۶	شدید	قطع خطوط پائین دست فرآیند، فرآیند حمل و نقل ریلی عملیاتی و ایمن اما عملکرد کاهش یافته، استفاده‌کننده ناراضی. مثلاً توقف سیستم ریلی بین یک الی ۱۰ روز
۵	متوسط	پیامد شکست بر فرآیند محسوس است. کاهش عملکرد به‌همراه کاهش تدریجی آن. استفاده‌کننده ناراضی مثلاً توقف سیستم ریلی برای ۱۰ الی ۲۴ ساعت
۴	کم	فرآیندهای موضعی و یا پائین‌دستی ممکن است تحت تأثیر قرار گیرند. استفاده‌کننده آثار منفی جزئی را تجربه خواهد کرد. مثلاً توقف سیستم ریلی برای ۱ الی ۱۰ ساعت
۳	ناچیز	استفاده‌کننده احتمالاً اثر را متوجه خواهد شد اما اثر جزئی خواهد بود. مثلاً توقف سیستم ریلی برای کمتر از ۱ ساعت
۲	خیلی ناچیز	بدون اثر بر پائین دست. اثر ناچیز و قابل چشم‌پوشی. مثلاً تغییرات پارامتر در محدوده قابل کنترل است. تنظیم و کنترل ضروری است
۱	بدون پیامد	ممکن است برای کاربر قابل تشخیص باشد. برای استفاده‌کننده غیر قابل تشخیص و یا غیر محتمل. مثلاً تغییرات پارامتر در محدوده قابل کنترل است. تنظیم و کنترل ضروری نیست و یا در حین شیفت تعمیر و نگهداری قابل بررسی است.

تشخیص وقوع شکست‌ها با استفاده از عددی که از میزان تشخیص خرابی و سطح کنترل در دسترس در هر سیستم یا زیرسیستم به‌دست می‌آید، رتبه‌بندی می‌گردد. در مطالعه حاضر، رتبه‌بندی تشخیص شکست‌ها طبق توصیه‌های MIL-STD-1629A 1998 و SAE J1739 انجام گردید. جدول ۳ رتبه‌بندی تشخیص شکست‌هایی را که در این مطالعه بکار رفته است را نشان می‌دهد. خطرها با استفاده از عدد اولویت خطر<sup>۱</sup> دسته‌بندی شدند. عدد خطر طبق رابطه ۱ از حاصلضرب عددهای شدت پیامد، احتمال وقوع و تشخیص شکست محاسبه شد [۱۰].

رابطه (۱) = عدد اولویت خطر  
**عدد تشخیص × عدد احتمال وقوع × عدد شدت پیامد**  
 با استفاده از متغیرهای احتمال وقوع و شدت پیامد ماتریس خطر تهیه می‌شود. رتبه‌بندی براساس عدد

اولویت خطر محاسبه شده برای هر شکست انجام می‌گیرد. برای تصمیم‌گیری در خصوص مداخله به‌منظور اصلاح یا پیشگیری از وقوع شکست، معیارهای متفاوتی منظور می‌گردد. بررسی ویژگی‌های شکست از جمله شرایط بحرانی، احتمال کنترل شکست، ایمنی یا شدت پیامد یک عدد اولویت خطر را می‌توان بعنوان معیار تصمیم‌گیری برای اصلاح یا پیشگیری از وقوع خرابی در نظر گرفت. عدد اولویت خطر قابل پذیرش، از یک مجتمع تا مجتمع دیگر تغییر می‌کند. نادری در مطالعه خود در سال ۲۰۰۵ آن را برای آنالیز خطر یک بالابر مساوی ۱۰۰ در نظر گرفت [۱۱]. او عدد شدت پیامد را مساوی ۵، احتمال وقوع شکست را مساوی ۵ و عدد تشخیص شکست را نیز مساوی ۵ فرض کرده و از حاصل ضرب آن‌ها عدد اولویت خطر  $5 \times 5 \times 5 = 125$  بدست آمد. اولریخ هاسلز در آنالیز سیستم

1. Risk Priority Number: RPN

است [۱۱]. عدد اولویت خطر قابل قبول، با توجه به تصمیمات مهندسی، محدودیت‌های مقررات، استانداردهای ایمنی، وضعیت مالی سازمان و غیره تعیین می‌شود. در مطالعه حاضر با در نظر گرفتن عوامل یادشده، عدد اولویت خطر قابل قبول مساوی ۸۰ در نظر گرفته شد. این عدد از حاصل ضرب اعداد شدت پیامد ۵، احتمال وقوع ۴ و عدد تشخیص ۴ (۸۰) بدست آمد. بدین ترتیب شکست‌هایی با عدد اولویت خطر بالاتر از ۸۰ بعنوان شکست‌های بحرانی دسته‌بندی شد.

خنک‌کننده یک ماشین از عدد اولویت خطر ۱۰۸ بعنوان معیار قابل قبول استفاده کرد. این عدد از حاصل ضرب عدد شدت پیامد ۳، عدد احتمال وقوع ۴ و عدد تشخیص شکست ۹ بدست آمد [۱۱]. بسیاری بر این باورند که چنانچه پارامترهای تشکیل‌دهنده عدد اولویت خطر بین ۱ تا ۱۰ رتبه‌بندی شوند، در آن صورت شکست‌های با عدد اولویت خطر بزرگتر یا مساوی ۱۰۰، شکست‌های با خطر بالا تلقی می‌شوند و اگر عدد شدت پیامد بزرگتر از ۵ باشد، در آن صورت اصلاح طرح ضروری

جدول ۲. رتبه‌بندی احتمال وقوع شکست در مطالعه حاضر (QS9000)

رتبه	احتمال وقوع شکست	میانگین زمان بین دو شکست
۱۰	خیلی بالا، وقوع شکست حتمی	$MTBF \leq 1$ hr
۹	وقوع تعداد خیلی زیاد شکست‌ها محتمل است	$2 \text{ hr} < MTBF \leq 10$ hr
۸	وقوع تعداد زیاد شکست‌ها محتمل است	$11 \text{ hr} < MTBF \leq 100$ hr
۷	وقوع تعداد نسبتاً زیاد شکست‌ها محتمل است	$101 \text{ hr} < MTBF \leq 400$ hr
۶	وقوع تعداد متوسط شکست‌ها محتمل است	$401 \text{ hr} < MTBF \leq 1000$ hr
۵	وقوع گه‌گاه شکست محتمل است	$1001 \text{ hr} < MTBF \leq 2000$ hr
۴	وقوع تعداد کمی از شکست‌ها محتمل است	$2001 \text{ hr} < MTBF \leq 3000$ hr
۳	وقوع تعداد خیلی کمی از شکست‌ها محتمل است	$3001 \text{ hr} < MTBF \leq 6000$ hr
۲	وقوع شکست‌ها بعید است	$6001 \text{ hr} < MTBF \leq 10000$ hr
۱	وقوع شکست‌ها خیلی بعید است	$MTBF > 10000$ hr

\*  $MTBF = \text{Mean Time Between Failures}$

جدول ۳. رتبه تشخیص مورد استفاده در مطالعه حاضر (QS9000, MIL-STD-1629A 1998 & SAE.J1739)

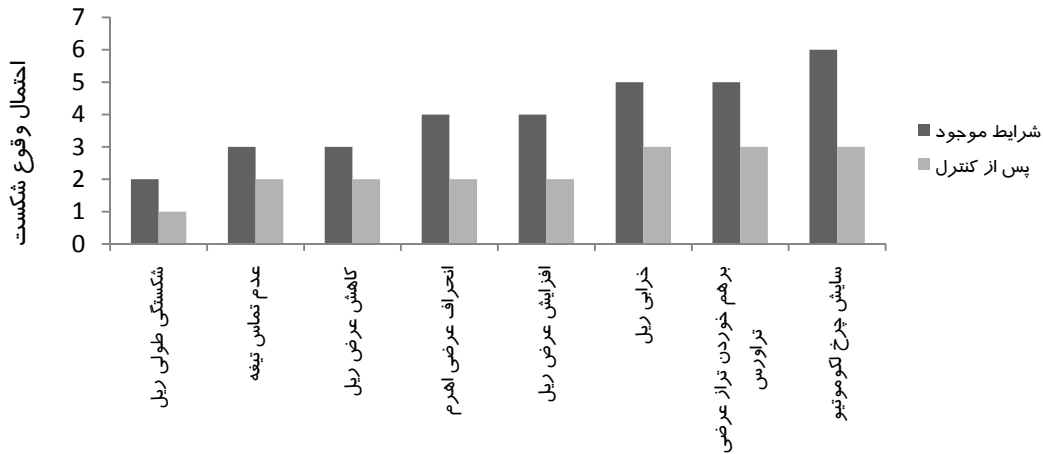
رتبه	اثر	معیار: شدت اثر
۱۰	شدیداً ناخواسته	دستگاه فاقد وسیله کنترلی است و یا کنترلها مطمئناً وجود خرابی را تشخیص نخواهند داد.
۹	احتمال ناچیز	تشخیص خرابی موجود توسط کنترلها بعید است.
۸	احتمال خیلی کم	احتمال تشخیص خرابی خیلی کم است
۷	احتمال کم	احتمال تشخیص خرابی کم است
۶	احتمال نسبتاً کم	احتمال تشخیص خرابی نسبتاً کم است
۵	احتمال متوسط	احتمال تشخیص خرابی متوسط است
۴	احتمال بیش از متوسط	احتمال تشخیص خرابی بیش از متوسط است
۳	احتمال زیاد	احتمال تشخیص زیاد است
۲	احتمال خیلی زیاد	تشخیص خرابی توسط کنترلها بسیار محتمل است
۱	احتمال فوق العاده زیاد	تشخیص خرابی توسط کنترلها حتمی است

### یافته‌ها

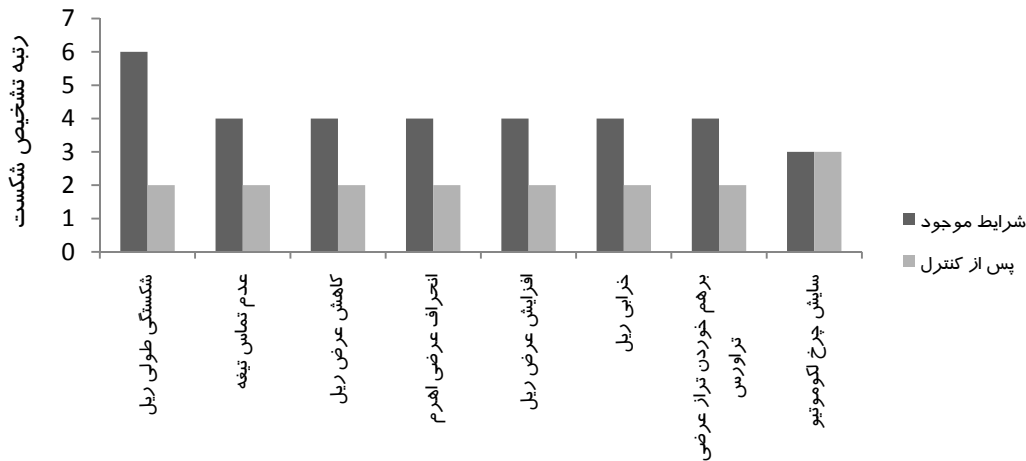
دارای بیشترین احتمال وقوع یعنی ۶ و شکستگی طولی ریل دارای رتبه تشخیص ۶ یعنی کمترین احتمال تشخیص در میان کلیه شکست‌های مطالعه‌شده می‌باشد (نمودار ۲ و ۱). در شرایط موجود، برهم

نتایج بدست آمده نشان داد که کلیه شکست‌های مطالعه‌شده دارای بالاترین شدت پیامد یعنی ۱۰ می‌باشند، لذا در گروه شکست‌های بحرانی دسته‌بندی شدند. سایش چرخ لکوموتیو و واگن‌ها،

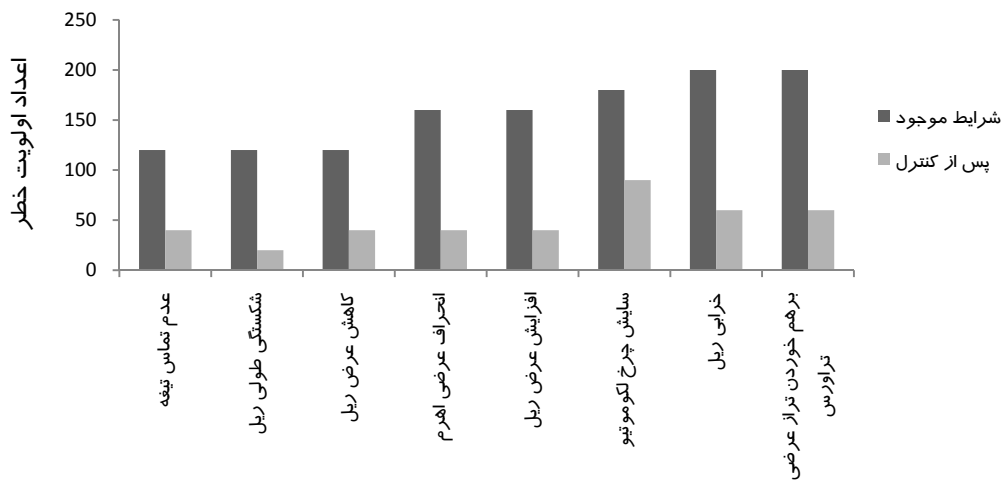
خوردن تراز عرضی تراورس و خرابی ریل با عدد اولویت خطر ۲۰۰ بالاترین خطر را دارند (نمودار ۳).



نمودار ۱. احتمال وقوع شکست‌های مورد مطالعه در شرایط موجود و پس از کنترل



نمودار ۲. رتبه تشخیص شکست‌های مورد مطالعه در شرایط موجود و پس از کنترل



نمودار ۳. اعداد اولویت خطر شکست‌های مطالعه شده در شرایط موجود و پس از کنترل‌های توصیه شده

## بحث

پیامدهای کلیه شکست‌های مورد مطالعه در شرایط موجود دارای بیشترین شدت یعنی ۱۰ می‌باشد. به عبارت دیگر، در صورت وقوع هر یک از شکست‌های بررسی‌شده، به استفاده‌کنندگان از سیستم ریلی جراحات یا آسیب وارد شده و منجر به آثار خطرناک تقریباً قطعی است [۹،۱۲]. نتایج نشان می‌دهد که اجرای طرح‌های کنترلی توصیه‌شده توسط تیم بررسی‌کننده نیز شدت پیامد شکست‌های مطالعه‌شده را کاهش نخواهد داد. طراحی آن‌دسته از سیستم‌های مورد مطالعه که انتظار می‌رود این حالت‌های شکست در آن‌ها به وقوع بپیوندد نیاز به اصلاح دارند [۳،۱۱]. سایش چرخ لکوموتیو دارای بیشترین احتمال وقوع یعنی ۶ می‌باشد (نمودار ۱). این شدت نشان می‌دهد که طبق جدول ۲، پس از حدود ۴۰۱ الی ۱۰۰۰ ساعت کاری، وقوع این شکست حتمی است [۱۲]. انجام اقدامات کنترلی توصیه‌شده احتمال وقوع کلیه شکست‌ها را به کمتر از ۳ کاهش خواهد داد. در این صورت طبق جدول ۲، احتمال دارد در هر ۳۰۰۱ الی ۶۰۰۰ ساعت کاری این شکست رخ دهد (نمودار ۲). شکستگی طولی ریل رتبه تشخیص ۶ یعنی کمترین احتمال تشخیص را در میان کلیه شکست‌های مطالعه‌شده دارد (نمودار ۲). احتمال تشخیص این شکست نسبتاً کم می‌باشد. در صورت اعمال اصلاحات توصیه‌شده، رتبه تشخیص این شکست به ۲ تغییر خواهد کرد. در این صورت تشخیص شکستگی طولی ریل توسط کنترل‌ها بسیار محتمل خواهد بود [۱۲]. اعداد اولویت خطر شکست‌های مطالعه‌شده در نمودار ۳ نشان داده شده است. در شرایط موجود، خطر کلیه شکست‌های مطالعه‌شده بالاتر از ۸۰ بوده و بحرانی است. برهم‌خوردن تراز عرضی تراورس و خرابی ریل با عدد اولویت خطر ۲۰۰ بالاترین خطر را دارند. در صورت اعمال کنترل‌های توصیه‌شده، خطر کلیه شکست‌ها بطور قابل توجهی کاهش خواهند یافت. پس از اجرای کنترل‌های توصیه‌شده توسط تیم

بررسی‌کننده، سایش چرخ لکوموتیو کماکان با عدد خطر ۹۰ دارای بالاترین خطر و بحرانی باقی خواهد ماند. بر هم خوردن تراز عرضی تراورس با عدد اولویت خطر ۲۰۰ از بالاترین درجه خطر برخوردار است (نمودار ۳). ساختار و نگهداری نادرست، فونداسیون ناهموار، تورم ناشی از یخ‌زدن آب، ریل‌های خمیده، تراورس‌های کهنه و خاک ناپایدار علل اصلی بوجود آمدن این شکست به‌شمار می‌روند. این شکست سبب ناراحتی افرادی که سوار بر قطار هستند شده و ممکن است منجر به خروج قطار از ریل گردد. این حادثه به نوبه خود بر ایمنی افراد اثر نامطلوب داشته، ممکن است مسیر آمد و شد را بسته و نهایتاً سبب توقف حفاری گردد. تیم بررسی‌کننده آنالیز خطر برنامه مناسب تعمیرات پیشگیرانه، بازرسی‌های نوبه‌ای هفتگی، تقویت فونداسیون ریل با خاک مناسب، نصب مکانیزم بازدارنده خروج قطار از ریل برای پیشگیری از حرکت تراورس و استفاده از تراورس‌های استاندارد را توصیه نمود. انتظار می‌رود با اجرای این توصیه‌ها عدد اولویت خطر این شکست از عدد ۲۰۰ به ۶۰ کاهش یابد. این اقدامات، عدد احتمال وقوع این شکست را از ۵ به ۳ و عدد تشخیص را از ۴ به ۲ کاهش خواهد داد. توصیه‌های فوق عدد شدت پیامد را کاهش خواهند داد. خرابی ریل با عدد اولویت ۲۰۰ نیز یکی دیگر از حالت‌های شکست با خطر بالا می‌باشد. این حالت در اثر ساختار و نگهداری نادرست ریل، فونداسیون ناهموار، تورم ناشی از یخ‌زدن آب، خمیدگی ریل، خرابی تراورس‌ها و بالاست کثیف بوجود می‌آید. خرابی ریل می‌تواند یکی از ریل‌ها را نسبت به ریل دیگر حرکت دهد، یک ریل را در هر جهتی حرکت دهد و قطار را از ریل خارج کند. پیامد این خرابی می‌تواند ایمنی افراد را به‌خطر انداخته، مسیر تونل را بسته و حفاری را متوقف سازد. در حال حاضر بازرسی‌های نوبه‌ای ماهیانه و شابلون‌گذاری، روش‌های تشخیص این خرابی می‌باشند. تیم متخصص، اصلاح چرخش

در حال حاضر بازرسی‌های نوبه‌ای ماهیانه و اندازه‌گیری عرض ریل (شابلون‌گذاری) روش‌های جاری تشخیص و پیگیری از این شکست به شمار می‌روند. تیم متخصص بررسی‌کننده، تعمیرات پیشگیرانه مناسب، بازدیدهای نوبه‌ای هفتگی عرض ریل، تقویت تراورس‌ها بر اساس بار تحمیل‌شده بر آن‌ها، انتخاب سطح مقطع بهینه طولی چرخ و نصب مکانیزم بازدارنده خروج قطار از ریل برای جلوگیری از حرکت تراورس را توصیه نمود. این اقدامات پیشگیرانه، عدد اولویت خطر را از ۱۶۰ به ۴۰ کاهش خواهند داد. این اقدامات پیشگیرانه، شدت پیامد را کاهش نخواهند داد، اما اعداد احتمال وقوع و تشخیص از ۴ به ۲ کاهش خواهند یافت.

انحراف عرضی اهرم با عدد اولویت خطر ۱۶۰ نیز حالت دیگری از شکست‌های سیستم ریلی است که از خطر بالایی برخوردار می‌باشد. این شکست در اثر تغییرات حرارتی ریل‌ها، اتصالات و پیچ و مهره‌های نامناسب یا بالاست کم مقاومت بوجود می‌آید. این شکست ممکن است قطار را از ریل خارج ساخته و در نتیجه ضمن به خطر انداختن جان افراد، نهایتاً مسیر خط را بسته و منجر به توقف حفاری گردد. در حال حاضر برای تشخیص این خرابی، از بازرسی‌های نوبه‌ای ماهیانه و شابلون‌گذاری ریل استفاده می‌شود. تیم متخصص بررسی‌کننده، برنامه تنظیم مناسب اهرم‌ها<sup>۴</sup>، بازرسی‌های نوبه‌ای هفتگی و تنظیم اهرم‌ها براساس دستورالعمل‌ها را توصیه نمود. انتظار می‌رود این اقدامات عدد اولویت خطر را از ۱۶۰ به ۴۰ کاهش دهند (نمودار ۳).

کاهش عرض ریل دارای عدد اولویت خطر ۱۲۰ می‌باشد. به عقیده تیم متخصص بررسی‌کننده، این شکست با افزایش شیب مسیر، عبور قطارهای سنگین همانند خاکبر از روی ریل و نامناسب بودن بالاست بین تراورس‌ها به وقوع می‌پیوندد. کاهش عرض ریل بصورت موضعی سبب سایش بانداژ چرخ‌شده و نهایتاً باعث خارج‌شدن قطار از ریل می‌گردد. این

نادرست ریل در پیچ‌های مسیر، بازرسی‌های نوبه‌ای هفتگی، تنظیم چرخش ریل‌ها با ابزار مناسب، نصب مکانیزم بازدارنده خروج قطار از ریل برای پیشگیری از حرکت تراورس، استفاده از تراورس‌های استاندارد و قراردادن تویی با تغییر فصل را توصیه نمود. انتظار می‌رود اعمال این توصیه‌ها عدد اولویت خطر را از ۲۰۰ به ۶۰ کاهش دهد. این کاهش عمدتاً به دلیل کاهش عددهای احتمال وقوع و تشخیص خواهد بود (نمودار ۳).

سایش چرخ لکوموتیو دارای عدد اولویت خطر ۱۸۰ می‌باشد. ناهمسانی سختی چرخ و ریل، استاندارد نبودن پروفیل، استاندارد نبودن مشخصات هندسی ریل و کاهش شعاع چرخش پیچ مسیر منجر به سایش چرخ لکوموتیو می‌شود. این شکست قطار را از ریل خارج کرده، ایمنی پرسنل را به خطر انداخته و با بستن مسیر حمل و نقل می‌تواند منجر به توقف حفاری گردد. بازرسی‌های روزانه تنها روش تشخیص سائیدگی چرخ به شمار می‌رود.

تیم متخصص بررسی‌کننده، تعمیرات پیشگیرانه مناسب، انتخاب سطح مقطع بهینه و مواد استاندارد برای چرخ‌ها، روغن‌کاری ریل‌ها در پیچ‌های مسیر، عدم اعمال عرض زیادی در پیچ و استفاده از ابزار خودکار گخطراری را به منظور تشخیص بهتر و کاهش احتمال وقوع این حالت شکست توصیه نمود. انتظار می‌رود اجرای این اقدامات عدد اولویت خطر را از ۱۸۰ به ۹۰ کاهش دهد.

افزایش عرض ریل دارای عدد اولویت ۱۶۰ می‌باشد. این حالت شکست در اثر حرکت قطار بر روی ریل معیوب، تراورس‌های معیوب، ریلی با جنس نامناسب، ساخت، تعمیر و نگهداری نادرست ریل اتفاق می‌افتد. این شکست می‌تواند منجر به سایش بیشتر ریل، سایش بیشتر چرخ و یا خارج شدن قطار از ریل گردد، که نهایتاً جان شاغلین در تونل را به خطر انداخته، ممکن است منجر به بسته‌شدن خط ریل گردیده و نهایتاً حفاری را متوقف سازد.

اطراف تیغه یا خمیدگی سوزن منجر به این شکست می‌گردد. این حالت شکست ممکن است سبب خارج شدن قطار از ریل شود که در آن صورت، ایمنی پرسنل را تحت تأثیر قرار داده، مسیر خط را بسته و نهایتاً حفاری را متوقف می‌سازد. بازرسی‌های نوبه‌ای ماهیانه تنها روش بررسی این حالت شکست به شمار می‌رود. تیم متخصص بررسی‌کننده، تعمیرات پیشگیرانه روزانه را به منظور کاهش اعداد احتمال وقوع و تشخیص این شکست توصیه نمود (نمودار ۳). انتظار می‌رود انجام این اقدام عدد اولویت خطر را از ۱۲۰ به ۴۰ کاهش دهد.

همان‌گونه که قبلاً بیان شد عدد اولویت خطر ۸۰ بعنوان معیار خطر قابل پذیرش انتخاب گردید. بر اساس این معیار، اعداد اولویت خطر کلیه حالت‌های شکست مطالعه‌شده بالاتر از معیار پذیرفته شده بوده و لذا بعنوان شکست‌های غیر قابل پذیرش دسته‌بندی شدند. حتی پس از اصلاح و اعمال معیارهای کنترلی نیز سایش چرخ دارای عدد اولویت خطر بالاتر از معیار قابل پذیرش باقی خواهد ماند. لذا این شکست در گروه حالات شکست بحرانی دسته‌بندی شد.

### نتیجه گیری

اعمال کنترل‌های توصیه‌شده بطور قابل توجهی بر کاهش حوادث و توقف کار تأثیر دارد.

### تشکر و قدردانی

مؤلفین از شرکت آزاد راه تهران- شمال، شرکت تالون، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و دانشکده بهداشت جهت همکاری در انجام مطالعه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

شکست بر ایمنی افراد تأثیر گذاشته و ممکن است منجر به بسته‌شدن مسیر و توقف حفاری گردد. در حال حاضر برای تشخیص این شکست از بازرسی و اندازه‌گیری عرض ریل بصورت ماهیانه استفاده می‌شود. تعمیرات پیشگیرانه مناسب، اندازه‌گیری هفتگی عرض ریل، تقویت فونداسیون ریل در حدفاصل تراورس‌ها و نصب مکانیزم بازدارنده خروج قطار از ریل برای پیشگیری از حرکت تراورس از توصیه‌های تیم متخصص بررسی‌کننده می‌باشد. انتظار می‌رود انجام این اقدامات پیشگیرانه، عدد اولویت خطر را از ۱۲۰ به ۴۰ کاهش دهند. اقدامات فوق عدد احتمال وقوع را از ۳ به ۲ و عدد تشخیص را از ۴ به ۲ کاهش خواهند داد. این اقدامات عدد شدت پیامد را از ۱۰ کاهش نخواهند داد.

شکستگی طولی ریل با عدد اولویت خطر ۱۲۰ نیز یکی دیگر از حالت‌های شکست با خطر نسبتاً بالا محسوب می‌شود. این خرابی در اثر تنظیم‌نبودن سوزن (طولی و عرضی)، وجود خرده‌های فلز در اطراف سوزن یا خمیدگی سوزن بوجود می‌آید. این حالت شکست ممکن است سبب خارج‌شدن قطار از ریل شود که در آن صورت، ایمنی پرسنل را تحت تأثیر قرار داده، مسیر خط را بسته و نهایتاً حفاری را متوقف می‌سازد. بازرسی‌های نوبه‌ای ماهیانه تنها روش بررسی این حالت شکست به شمار می‌رود. تیم متخصص بررسی‌کننده، تعمیرات پیشگیرانه روزانه را به منظور کاهش اعداد احتمال وقوع و تشخیص این شکست توصیه نمود (نمودار ۳). انتظار می‌رود انجام این اقدام عدد اولویت خطر را از ۱۲۰ به ۲۰ کاهش دهند.

عدم تماس تیغه، با عدد اولویت خطر ۱۲۰ یکی دیگر از حالات شکست با خطر بالا می‌باشد. تنظیم‌نبودن سوزن (طولی و عرضی)، وجود خرده فلزات در

### Reference

- 1-Federal Railroad Administration, Office of Safety, "Train Accident Trends, Department of Transportation: Safety data, 2007: 25-32.
- 2- Jafari MJ, Gharari N. TBM Risk Analysis using FMEA, Proceeding 8th Iranian Tunneling Conference, 18-20 May 2009, Tehran: 456-465.
- 3- Jafari MJ, Gharari N, Sheikhi HR. The Reliability of a Tunnel Boring Machine, IJOH, 2009; 1: 19-24.



- 4- Brauer RL. Safety and Health for engineers, 2nd ed, Hoboken, New Jersey, USA, John Wiley, 2006: 645-647.
- 5- Lee DH. A systematic approach to accident scenario analysis for designing safer products: child nursery equipment case studies, Thesis for degree of doctor of philosophy, Kyunghee University, Seoul Korea, 2000: 24-37.
- 6- Stamatis DH. Failure Mode and Effect Analysis, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press; 1995: 102-121.
- 7- Lee B. Using Bayes belief networks in industrial FMEA modeling and analysis, Proceedings of International Symposium on Product Quality and Integrity, Philadelphia, PA, 2000.
- 8- Palady P. Failure modes and effects analysis; predicting and preventing problems before they occur, Florida: PT Publications, 1995: 16-32.
- 9- SAE J1739, (Society of Automotive Engineers): Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), in Manufacturing and Assembly Process (Process FMEA), and for Machinery (MFMEA), 2009:15-120.
- 10- Hyatt N. Guidelines for Process Hazards Analysis, Hazards Identification & Risk Analysis, 3<sup>rd</sup> edition, Dyadem press, Ontario, Canada, 2003: chap. 4 and 5.
- 11- Gharari N. Risk Assessment in Tunnelling with TBM Using FMEA Method And Temporary Ventilation Design, MSc thesis, Shahid Beheshti University (MC), 2007: 10-100.
- 12- MIL-STD-1629A. Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, Department of Defense, USA, 1998: 20-98.
- 13- Federal Railroad Administration, Office of Safety, Railroad Safety Statistics: 2005 Annual Report, Prepared for U.S. Department of Transportation, Safety data, 2006: 30-35.
- 14- Anderson RT. Quantitative analysis of factors affecting railroad accident probability and severity, MSc Thesis, University of Illinois, 2003: 23-76.
- 15- Kementa S, Ishii K. Scenario-based FMEA: A life cycle cost perspective, Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conference, Baltimore, MD, 2000: 165-168.

### Appendix

Table A: Machinery Failure Mode and Effects Analysis Form

Prepared by: ----- System: -----  
 No of MFMEA: ----- Subsystem: -----  
 Page ---- of ----Pages Department: -----  
 Date: ----- FMEA Team: -----

Code	Perf	Failure	Failure Effects			SN	Failure Reason	LN	Existing DPC	DN	RPN	RAT	Results of Actions			
			Local Effects	Other Parts	SEP								SN	LN	DN	RPN

SEP: Subsystem, Environment and Personnel  
 DPC: Detecting, Preventing and Controls  
 RAT: Recommended Actions Take

## Risk Management and the Effectiveness of the Control Measures in Safety of Rolling Stock of Alborz Tunnel

Jafari M.J <sup>\*1</sup>, Gharari N <sup>2</sup>, Ghorbani G.R <sup>3</sup>

1. Associate Prof, Dept of Occupational Health Eng, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2. Lecturer, Dept of Environmental Health Eng, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran

3. MSc, Safety Eng Dept, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

\*Corresponding Author: Tel: 00982122432040 Fax: 00982122432036 E-mail: Jafari1952@yahoo.com

Received: 2011/10/31

Accepted: 2012/01/02

### ABSTRACT

**Background & Objectives:** This paper presents risk management of a rolling stock process during the excavation of a long tunnel.

**Methods:** Risk analysis with was conducted by MFMEA method using QS9000 and SAE.J1739 recommendations. Eight failure modes were postulated and the effects of each failure were determined. Potential reason and probability of failure and risk priority number of each failure were calculated using their severity rates. All the hazards were ranked based on their risk numbers. Effectiveness of recommended preventive measures was determined.

**Results:** The results revealed that all studied failures have the highest severity rate of 10, being ranked as critical. Wheel abrasion had the highest likelihood of 6, and the longitudinal breakage of rail had the lowest detection rate of 6. The lateral leveling held the highest risk priority number of 200.

**Conclusion:** It was concluded that the risk management has a significant influence on reducing accidents at workplaces such as tunneling.

**Keywords:** Tunneling, Risk, Rolling stock