

مدل‌سازی وضعیت ایمنی گذرگاه همسطح به کمک مهندسی ریسک

محسن پور سید آقایی، استادیار، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

ایرج مهدوی، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

میرنصر عدالت حقی، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

E-mail: aghaee_m@mapna.com

چکیده

ایمنی یکی از اصلی‌ترین وجوه عملکرد در کلیه صنایع و بخش‌های خدماتی است که به رغم اولویت بسیار بالا تا کنون یک الگوی جامع برای ارزیابی، برنامه‌ریزی، اجرا و نظارت بر آن در داخل کشور مورد قبول و اجرا قرار نگرفته است. در این مقاله، با توجه به این مهم ابتدا یک مدل سیستماتیک ارزیابی ریسک با نام «مهندسی ایمنی» ارائه و تشریح شده است و سپس در یک گذرگاه همسطح راه‌آهن به شکل عملیاتی مورد استفاده قرار گرفته است تا اولویت و اهمیت کار به شکل عینی و عملیاتی قابل لمس شده و مورد مقایسه قرار گیرد. پیاده‌سازی مدل بیانگر وجود ریشه‌های گوناگون برای مشکلات ایمنی و تنوع ماهیت و جنس آنها بوده و الزام همسان‌سازی این متغیرها با جنس‌های متفاوت، از جمله موارد فنی، مسایل ارگونومیک، خط‌های انسانی و... به کمک شاخص ریسک را به عنوان مبنای عملکرد در مهندسی ایمنی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده محاسبات ریسک به خوبی توانسته است پوشش مناسبی را برای همسان‌سازی آثار هر یک از مولفه‌ها در یک قالب منسجم فراهم آورد و همچنین به کمک آن امکان ارزیابی اثر هر یک از مولفه‌ها بر ریسک کل و سنجش تغییر در میزان آن بر کاهش ریسک نیز فراهم شود. در پایان به کمک این الگو ایده‌ها و پیشنهاداتی برای رفع معایب پیشنهاد شده و بر اساس سنجش و تحلیل‌های اقتصادی گزینه بهینه پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: خطر، مخاطره، رویدادهای پایه‌ای، پیامد، گذرگاه‌های همسطح

۱. مقدمه

در واقع با وجود مجموعه زیادی از تحقیقات صورت گرفته در زمینه ایمنی هنوز یک مدل و جریان رسمی و مورد توافق عمومی برای آن انتخاب نشده است و "زمینه تحقیقات ایمنی هنوز طفل نوپایی است" [۴] و "به طور ویژه نیازمند شواهدی است که میان سازماندهی و عملکرد ایمنی رابطه مناسبی ایجاد کند" [۵]. صنعت ریلی در کشور در طول سالهای اخیر در قبال موضوع ایمنی دچار حساسیت‌های فراوانی شده است و تا حدود زیادی حاشیه امن و ایمن آن از بین رفته است. از این رو مجموعه‌ای از تلاش‌ها در قالب پروژه‌های اجرایی و مطالعات علمی و دانشگاهی در این خصوص انجام پذیرفته است. از آنجا که گذرگاه‌های همسطح یکی از اصلی‌ترین عوامل بروز سوانح منجر

دانش و فناوری سیستم‌ها به سرعت در حال توسعه است و اهمیت مدیریت سیستماتیک وجوه عملکردی نوین در سال‌های اخیر افزایش یافته است. طراحی محصولات و ارائه خدمات، پیچیده‌تر از گذشته شده‌اند و شاخصه‌های عملکرد به شدت افزایش یافته‌اند. در این راستا، نیاز به توسعه یک مدل فراگیر برای تضمین ایمنی در سیستم‌ها به شدت مورد توجه قرار گرفته و نیاز به مدیریت ایمنی سیستماتیک در تمامی صنایع احساس می‌شود. تضمین ایمنی در صنایع غذایی، مدل پویای مخاطره ایمنی در نیروگاه اتمی [۲]، و چارچوب ارزیابی مخاطره در صنعت کشتیرانی [۳] سه نمونه از تجارب بین‌المللی اخیر در زمینه ارزیابی و مدیریت ایمنی است.

شاخصی که مهندسی ایمنی به عنوان سطح ایمنی سیستم ارایه می‌دهد «مخاطره»^۱ است و تجربه بین‌المللی مؤید این موضوع است که مخاطره به خوبی می‌تواند سطح ایمنی سیستم را ارزیابی کند. در این راستا می‌توان به نظام فراگیر «بخش اجرایی سلامت و ایمنی»^۲ انگلستان در قالب «الزام حداقل سطح قابل قبول و منطقی»^۳ یا «حداقل نرخ طبیعی مرگ»^۴ در کشور آلمان و یا «نظام مدیریت تغییر فرانسه»^۵ اشاره کرد [۸].

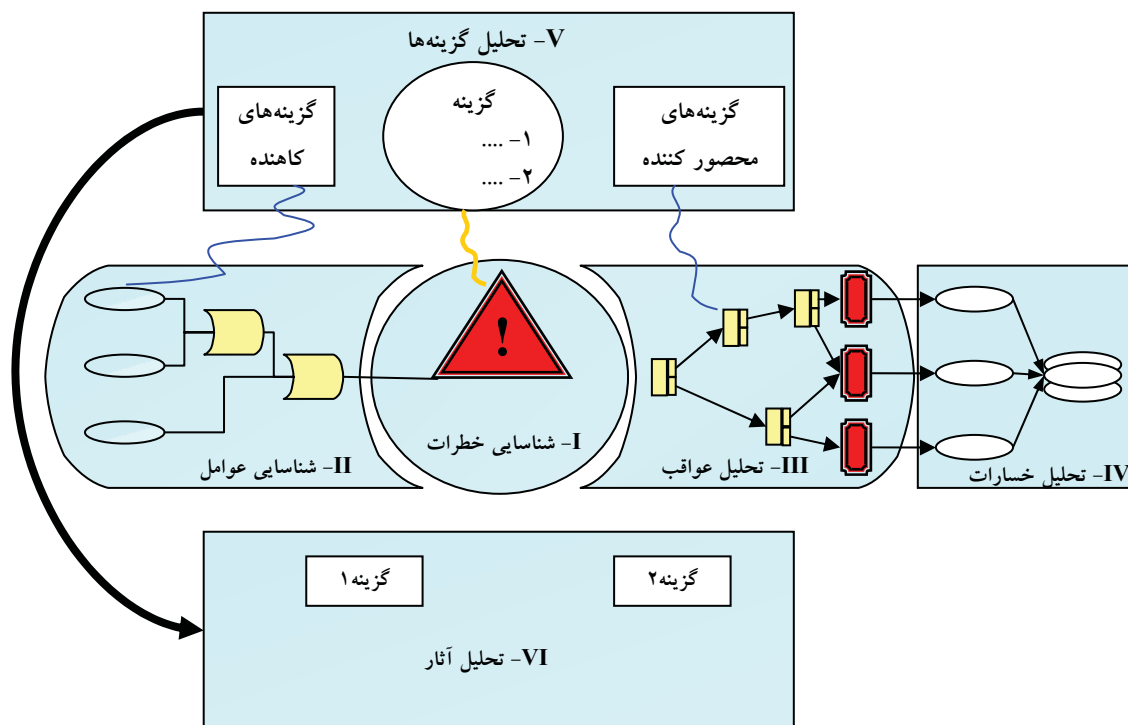
در این مقاله چگونگی و نتایج بکارگیری فرآیند مهندسی ایمنی در یک گذرگاه همسطح راه‌آهن آورده شده است. فرآیندی که از آن استفاده شده است، یک الگوی شش بخشی است که از روش ارزیابی مخاطره در راه‌آهن کشور انگلستان اقتباس شده است [۱۰].

در شکل ۱ شش مرحله ارزیابی ریسک و ارتباط این بخشها با یکدیگر نشان داده شده است.

این فرآیند در سطح عمومی تدوین شده و نیازمند بومی سازی و مدل‌سازی‌های جانبی برای بکارگیری در خصوص گذرگاه همسطح است.

به مرگ در راه‌آهن تشخیص داده شده‌اند [۶]، به عنوان یکی از نمونه‌های پیاده سازی انتخاب شده‌اند. در میان گذرگاه‌های همسطح موجود در سیستم، گذرگاه گرمدره به علت بروز دو سانحه منجر به فوت در بازه زمانی کوتاه و نرخ بالای آمد و شد، از سوی راه‌آهن ج.ا.ا. به عنوان محل مناسب برای پیاده سازی فرآیند مهندسی ایمنی پیشنهاد شد.

مهندسی ایمنی یک فرآیند پویا و سیستماتیک است که به ارزیابی سطح ایمنی در سطح زیر بخش‌ها و حوزه‌های مختلف و بررسی تطابق سطح ایمنی با یک چارچوب استاندارد می‌پردازد. مهندسی ایمنی در عین اینکه وابسته به مسایل تجربی و فنی حوزه پیاده‌سازی است، این قابلیت را دارد که سطح ایمنی را با زبانی همسان و فراگیر بیان کند، به گونه‌ای که در تمامی بخش‌های سیستم و زیر بخش‌های آن تنها و تنها یک شاخص برای ارزیابی و بررسی انطباق ایمنی سیستم با استانداردها وجود داشته باشد [۷]. این موضوع شاخص بسیار مهمی برای سنجش وضعیت سیستم است، چرا که ایمنی در نقاط مختلف با چارچوبی همسان ارزیابی و بررسی می‌شود.



نمودار ۱. گام‌های مهندسی ایمنی [۹]

۲-۲ تعریف پیامدها و حدود آنها

در این تحقیق پنج حالت کلی برای پیامدها تعریف و تصویب شد که این موارد مشتمل بر «ختم به خیر»، «شبه سانحه»، «حادثه»، «سانحه» و «فاجعه» هستند. در ذیل با توجه به حوزه پیاده‌سازی یعنی راه‌آهن ج.ا.ا. این موارد به دقت تعریف و مرزبندی شده‌اند:

الف. ختم به خیر

ختم به خیر اصطلاحاً به حالتی گفته می‌شود، که در آن خطر روی داده است ولیکن عملکرد موانع موجود در سیستم باعث شده است که هیچگونه خسارتی از آن به وجود نیاید.

ب. شبه سانحه

شبه سانحه مشابه حالت ختم به خیر و حالتی است که در آن موانع موجود خطر را به خوبی کنترل کرده‌اند و آسیب‌های مرتبط چه در شکل مالی و چه در شکل جانی بسیار محدود هستند. آسیب‌های جانی مرتبط برای این موضوع در قالب حداکثر جراحت جزئی قابل دسته‌بندی‌اند. به شکل معادل می‌توان بیان کرد که خسارت نهایی آن از پنج میلیون ریال کمتر است.

ج. حادثه

در این حالت خطر به خوبی کنترل نشده و سیستم متحمل مجموعه‌ای ترکیبی از خسارات مالی، زیست محیطی و جانی در اثر وقوع آن شده است. در این حالت خسارات خطر در بدترین نوع خود نبوده و به شکل معمول کنترل شده است. حداکثر خسارت جانی متصور در این حالت معادل یک جراحت عمده تصور می‌شود که به شکل معادل خسارت کلی آن نباید بیشتر از یک صد میلیون ریال شود. (حداقل خسارت مرتبط بیش از پنج میلیون ریال است).

د. سانحه

در این حالت خطر، یک سناریوی بحرانی را طی کرده و موانع نتوانسته‌اند عملکرد موفق‌تری را برای کنترل آن اعمال کنند. مجموعه شدیدی از خسارات مالی، زیست محیطی و جانی به شکل ترکیبی در این حالت به وقوع پیوسته است که حداکثر خسارت متحمل در قبال آنها در قالب جانی معادل یک مرگ و در قالب مالی معادل یک میلیارد ریال است.

۲. تعاریف و پیش‌نیازهای پیاده‌سازی مهندسی ایمنی

غایت و هدف نهایی از پیاده‌سازی فرآیند مهندسی ایمنی بررسی متابعت یا عدم متابعت خطرات موجود در حوزه‌های مختلف سیستم از حدود معقول و منطقی کنترل مخاطرات است. با توجه به این که در ایران حدود کنترل مخاطره به شکل مصوب وجود ندارد، لازم بود تا در این تحقیق حدودی به عنوان مبنای کنترل مخاطرات تصویب شود. در کنار نیاز به حدود کنترل مخاطره مصوب، باید تعاریف‌های دقیق و نظام‌مندی از انواع پیامدها و حدود و فصول مشترک آنها آورده شود. در کنار این موضوع لازم است به شکل دقیق، حدود تبدیل انواع خسارات در یک قالب مشخص آورده شود.

۲-۱ انواع خسارتها و چگونگی تبدیل آنها

خسارات به سه دسته کلی دسته‌بندی می‌شوند: خسارات مالی، خسارات جانی و خسارات زیست محیطی. خسارات جانی به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند: جراحت جزئی، جراحت عمده و مرگ و میر.

جراحت جزئی عبارت است از آن دسته از صدمات که به شکل درمان سرپایی و مراقبت‌های اولیه یا بستری شدن کوتاه مدت قابل درمان بوده و بر سلامت دراز مدت فرد اثر ندارد. جراحت عمده به آن دسته از جراحات اطلاق می‌شود که نیازمند رسیدگی‌های ویژه بوده و بر سلامت و عملکرد دراز مدت فرد آسیب دیده اثر دارد. با توجه به بررسی مدل‌های مشابه و نرخهای دیه و بیمه و با توافق تیم خبرگان، هر جراحت عمده معادل ۲۰ جراحت جزئی و هر مرگ و میر معادل ۱۰ جراحت عمده فرض می‌شود که برابر با ۲۰۰ جراحت جزئی است.

یکی دیگر از مواردی که نیازمند معادل‌سازی است تبدیل خسارات جانی در قالب مالی است. با توجه به ضرورت تبدیل، تیم تحقیق ناچار بود یک رقم ریالی را برای نجات جان یک انسان تعیین کند. این موضوعی است که در اکثر کشورهای پیشرفته نیز چارچوب‌های معینی برای آن تصویب شده است. برای این موضوع مطابق تحقیق انجام شده در سال ۸۱ مبلغ معادل برای هر جان برابر ۳۶۰ میلیون ریال آسیب مالی در نظر گرفته شده است [۱۱] که با احتساب نرخ تورم و مبلغ دیه در ماههای حرام، تیم تحقیق تصمیم گرفتند تا مقدار معادل آن در سال ۱۳۸۶ را رقم معادل یک میلیارد ریال به عنوان مبلغ معادل نجات یک جان انتخاب کنند.

ه. فاجعه

۲-۱- جداول استاندارد برای شناسایی خطرات

در بخش شناسایی خطرات برای پرهیز از انجام مطالعات تفصیلی در خصوص خطراتی که از اولویت بسیار کمی برخوردار هستند، به کمک یک ارزیابی مقدماتی آنها را دسته بندی کرده تا از صرف زمان و انرژی بر روی خطرات کم اولویت پرهیز شود. این ارزیابی به کمک یک طبقه بندی بسیار ساده انجام می‌پذیرد که جداول مرتبط آن در زیر آورده شده است:

جدول ۱. گروه‌های فراوانی برای اولویت بندی مقدماتی خطرات

تعریف	گروه‌های فراوانی
بسیار کم و نادر	۱
سالانه	۲
ماهانه	۳
هفتگی	۴
روزانه	۵

جدول ۲. گروه‌های شدت برای اولویت بندی مقدماتی خطرات

تعریف معادل بر اساس خسارت جانی	گروه‌های شدت
بسیار ناچیز	۱
حداکثر یک جراحت جزئی	۲
حداکثر یک جراحت عمده	۳
حداکثر یک کشته	۴
بیش از یک کشته	۵

این گروه‌ها با مشارکت تیم تحقیق برای هر خطر استخراج شده و پس از تعیین آنها رتبه خطر در جدول زیر تعیین و گروه بندی می‌شود:

جدول ۳. طبقه بندی مقدماتی مخاطرات

بیش از یک کشته	یک کشته	جراحت عمده	جراحت جزئی	بسیار ناچیز	شدت فراوانی
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	روزانه
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۴	هفتگی
۱۵	۱۲	۹	۶	۳	ماهانه
۱۰	۸	۶	۴	۲	سالانه
۵	۴	۳	۲	۱	بسیار کم و نادر

مخاطرات غیر قابل قبول □ مخاطرات قابل قبول □

در این حالت خطر، بحرانی ترین سناریوی ممکن الوقوع را طی کرده و مجموعه بسیار شدیدی از خسارات جانی، مالی و زیست محیطی در آن ایجاد شده‌اند. حداقل خسارت در این حالت یک میلیارد ریال بوده و در آن حتماً بیش از یک مرگ و آسیب جانی به وقوع پیوسته است. پس از اعمال این دسته بندی‌ها لازم بود تا حدود عملکردی به عنوان حدود مجاز برای مخاطره انتخاب شوند، این حدود به شکل زیر تعریف و تبیین شده‌اند.

۲-۳ حدود کنترل مخاطرات

یکی از اصلی ترین مواردی که باید پیش از آغاز فرآیند مهندسی ایمنی نهایی سازی می‌شد، تنظیم حدودی برای کنترل مخاطرات بود. برای طراحی این حدود مرز حداکثر احتمال مرگ و میر انسان از یک خطر خاص در یک دوره یک ساله باید کمتر از 10^{-5} باشد، این اصل از حدود مشابه که در مرجع شماره ۸ ارایه شده است، اقتباس شده است.

بنابراین تابع مربوطه در خصوص صنعت ریلی به شکل زیر قابل استخراج است.

$$\text{Total Risk (TR)} = F(\text{frequency}) * S(\text{everity})$$

$$\text{Frequency (فراوانی)} = 10^{-5} / \text{year}$$

$$\text{Fatality (کشته)} = 1 * 10^9 \text{ Rial}$$

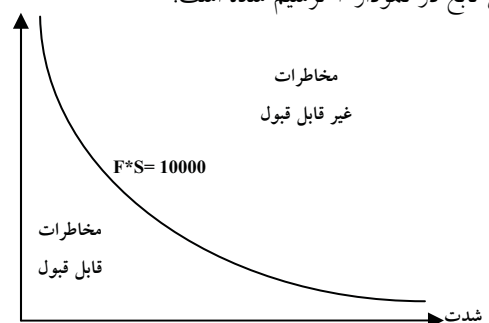
$$\text{Severity (شدت)} = 1 \text{ Fatality}$$

$$\text{TR} = 10^{-5} * 1000,000,000 (\text{Rial}) = 10,000$$

بنابراین حداکثر مخاطره قابل قبول معادل ۱۰,۰۰۰ ریال است و تابع شدت مخاطره معادل است با:

$$F * S = 10000 \text{ OR } S = 10000 / F$$

این تابع در نمودار ۲ ترسیم شده است:



نمودار ۲. حدود کنترل مخاطره

اضطراری کلیدهای دستی بر روی راهبند برای کنترل وضعیت آن در نظر گرفته شده است.

بروز دو سانحه پیاپی که منجر به فوت چندین تن از هموطنان شد، سبب شد تا بررسی این گذرگاه و چاره اندیشی برای رفع مشکل آن در دستور کار راه‌آهن ج.ا.ا. قرار گیرد و به عنوان یک حوزه پر اولویت از تیم تحقیق خواسته شد تا الگوی پیشنهادی را در آن پیاده سازند. سانحه نخست در سال ۱۳۸۲ و مربوط به برخورد یک کامیون با قطار بوده که یک کشته به همراه داشت [۱۳] و در سانحه دوم که در مهر ماه ۱۳۸۴ رخ داد و بازتاب نامطلوبی در رسانه‌های خبری نیز به خود گرفت، یک قطار با یک دستگاه خودرو پراید برخورد کرد که این حادثه منجر به فوت سه تن از هموطنان شد. [۱۴]

۳. پیاده‌سازی فرآیند مهندسی ایمنی

در ابتدا تیم خبرگان با حضور چهار تن از کارشناسان خبره اداره کل حفاظت و ایمنی تشکیل شد و سپس فرآیند مهندسی ایمنی مطابق گام‌های زیر انجام شد.

۲-۴ توضیحات اولیه در خصوص گذرگاه مورد بررسی

گذرگاه همسطح پدید آورنده یکی از معمول ترین انواع سوانح در راه‌آهن است که به علت شدت آسیب‌های آن (معمولاً جانی و همراه با مرگ و میر) از اهمیت بسیاری برخوردار است. به طور عمومی وجود گذرگاه‌های همسطح امری نامطلوب و غیر قانونی است و لازم است منابع لازم برای آن از طریق ذینفعان تأمین و به غیر همسطح تبدیل شود. [۱۲] با این حال به علت محدود بودن منابع، امکان تبدیل تمامی گذرگاه‌های همسطح به گذرگاه غیرهمسطح در هیچ جای دنیا وجود ندارد. از این رو، به یاری تمهیدات کمکی تلاش می‌شود تا خطرات موجود در گذرگاه‌ها کنترل شوند. گذرگاه گرمدره که به عنوان یکی از حوزه‌های پیاده سازی فرآیند مهندسی ایمنی انتخاب شده است، در ۳۲ کیلومتری محور تهران- قزوین و بین ایستگاه‌های ملکی و کرج واقع شده است. مسیر ریلی در محدوده گذرگاه دو خطه بوده و مسیر جاده‌ای توسط دو بوم (راهبند) مسدود می‌شود. برای بالا و پایین بردن بومها از یک موتور برقی که توسط کنترل از راه دور^۶ فرمان می‌گیرد، استفاده می‌شود. با پایین آوردن بومها زنگ هشدار در طرفین گذرگاه به صدا در می‌آید. برای شرایط



شکل ۳. تصویری از وضعیت گذرگاه همسطح

۱-۳ شناسایی خطرات

اتفاق ۲: راهدار باید نسبت به این موضوع اطلاع و آگاهی لازم را داشته باشد تا در هنگام عملیات توجه ویژه‌ای را به این موضوع نشان دهد. بررسی‌های انجام شده توسط تیم تحقیق و پرس و جو از دیگر راهدارها نشان می‌دهد، جز این گذرگاه که این خطر در آن پیشتر رخ داده است، در اکثر گذرگاه‌ها نسبت به این موضوع آگاهی لازم وجود ندارد و تقریباً از هر ۱۰ راهدار ۲ نفر نسبت به احتمال بروز این خطر بی‌اطلاع هستند. به شکل معمول آموزش راهدارها به صورت سینه به سینه است که در آن تمرکز تنها بر تجارب فردی است.

اتفاق ۳: کلیدهای مرتبط کاملاً در دسترس افراد غیر مسئول قرار دارند و به طور مثال شیشه محافظ (به مشابه تجهیزات اطفاء حریق) یا جعبه دارای قفل و کلید برای آن وجود ندارد.

اتفاق ۴: یکی از نکاتی که در این خصوص وجود دارد، علاقه افراد سوم (یعنی به غیر از سرنشینان خودرو و راهدار) برای تغییر وضعیت گذرگاه است. این رفتار که در رده رفتارهای خرابکارانه^۱ طبقه‌بندی می‌شود، یکی از معضلات عمومی در راه‌آهن است. به طور متوسط از هر ۱۰۰۰ نفر که در محدوده گذرگاه زندگی می‌کنند یا روزانه از آن عبور می‌کنند؛ ممکن است این رفتار توسط ۵ نفر رخ دهد.

اتفاق ۵: خستگی یکی از عواملی است که می‌تواند در بی‌دقتی راهدار به کار مؤثر باشد. با توجه به این که محل کار راهدار فاقد تجهیزات سرمایشی و گرمایشی مناسب است، احتمال رخ دادن این پدیده بیشتر است. خستگی بر عملکرد فرد اثر منفی دارد. در بدبینانه‌ترین حالت، تیم تحقیق برآورد اثر خستگی بر عملکرد فرد را معادل ۱۰ درصد تصور کردند.

در نخستین گام لازم بود تا فهرست اولویت‌بندی شده‌ای از خطرات موجود در سیستم استخراج شود، در ابتدا فهرستی از خطرات احتمالی تهیه شد که در برگیرنده خطرات زیادی بود که با یکدیگر همپوشانی داشتند، بنابراین پس از پالایش و بازنگری و اولویت‌بندی مطابق با جدول ۴ فهرستی از اصلی‌ترین موارد تهیه شد.

با توجه به طبقه‌بندی اولیه مخاطرات تنها ردیف دو، به عنوان یک خطر غیرقابل قبول شناخته شده است. با توجه به این موضوع لازم است مطالعات تفصیلی برای برآورد دقیق میزان مخاطره آن انجام شود.

۲-۳ تحلیل عوامل گذرگاه همسطح

روشی که در این خصوص مورد استفاده قرار می‌گیرد، الگوی تحلیل شکست درختواره‌ای (FTA) است. این نمودار در شکل زیر ترسیم شده است. در این نمودار گره‌های خاصی مورد استفاده قرار گرفته است که پیش از بکارگیری آن در اینجا تشریح می‌شود:

اتفاق ۱: نخستین شرط برای بروز این خطر این است که گذرگاه در حالت مسدود باشد. با توجه به این که گذرگاه در صورت نزدیک بودن قطار مسدود است و در طول روز به شکل متوسط ۳۰ بار قطار از آن عبور می‌کند. احتمال رخ دادن اتفاق ۱ با در نظر گرفتن زمان مسدود بودن ۲ دقیقه‌ای در هر بار عبور قطار در طول ۲۴ ساعت عملکرد راه‌آهن برابر است با:

$$P(BE1) = (30 * 2) / (24 * 60) = 0.041667$$

جدول ۴. فهرست خطرات رتبه‌بندی شده

ردیف	شرح خطر	فراوانی برآوردی	شدت برآوردی	رتبه خطر	توضیحات
۱	عبور عابران از گذرگاه با وجود پایین بودن بوم راهبند	۴	۲	۸	قابل قبول
۲	تغییر وضعیت بوم توسط افراد غیر مسئول	۲	۵	۱۰	غیر قابل قبول
۳	روشنایی نامناسب گذرگاه همسطح در شب	۵	۱	۵	قابل قبول
۴	عدم پایین آوردن بوم گذرگاه در حین نزدیک شدن قطار	۲	۴	۸	قابل قبول
۵	خاموش شدن خودرو در حین عبور از ریل گذرگاه	۱	۳	۳	قابل قبول
۶	شکستگی و یا افتادگی آسفالت بین دو ریل	۱	۲	۲	قابل قبول

مدل‌سازی وضعیت ایمنی گذرگاه همسطح به کمک مهندسی ریسک

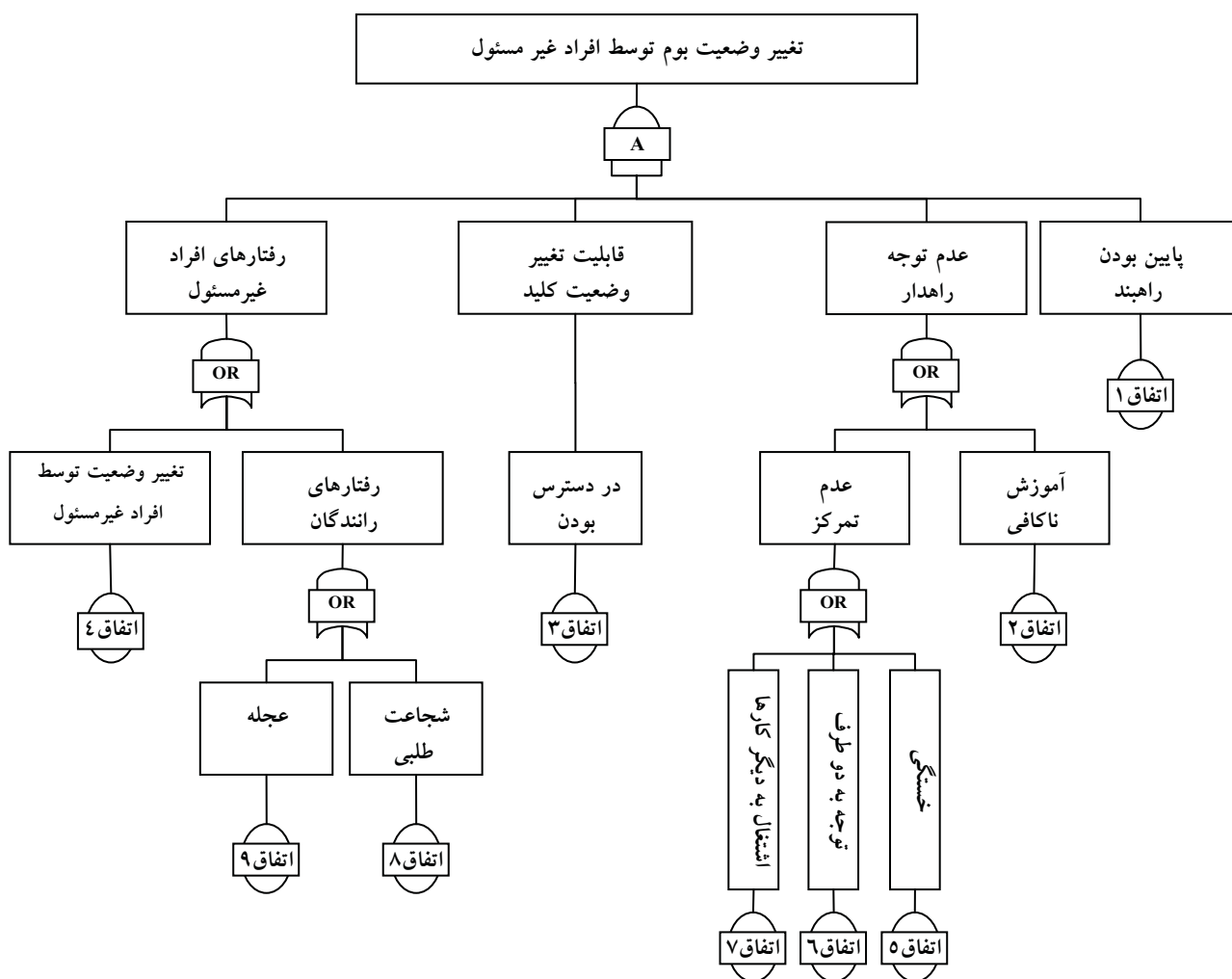
آگاه هستند. در صورتی که راهبند توسط راننده تغییر وضعیت داده شود، این به نوعی از رفتارها که در این جا با عنوان شجاعت طلبانه به آنها اشاره می‌شود، باز می‌گردد. در هر ۱۰۰۰ مورد احتمال بروز این نوع رفتارها توسط ۲ راننده برآورد می‌شود. (تیم تحقیق)

اتفاق ۹: بعضاً رانندگان ممکن است به علت عجله بیش از حد مبادرت به انجام این عمل کنند که به مراتب احتمال آن کمتر از اتفاق ۸ است. احتمال آن توسط تیم تحقیق معادل ۰/۰۰۱ برآورد می‌شود.

اتفاق ۶: از آنجا که راهدار باید در آن واحد روی دو بوم تمرکز کند، این امر ممکن است تمرکز وی را کاهش دهد. اثر این کاهش مطابق نظرات تیم تحقیق، معادل ۵ درصد برآورد شد.

اتفاق ۷: معمولاً لازم است که مسئول گذرگاه در حین عبور تنها بر بوم‌ها تمرکز کند، ولی در برخی موارد احتمال دارد به مسایل شخصی یا کاری دیگری اشتغال داشته باشد. تیم تحقیق احتمال اشتغال به کار دیگر را در حین عبور قطار معادل ۵ درصد برآورد کرد.

اتفاق ۸: با توجه به این که در گذرگاه همسطح در صورت پایین بودن راهبند تمامی افراد از اهمیت موضوع و بروز خطر



نمودار ۴: تحلیل درختواره‌ای خطا در خصوص گذرگاه

۳-۳ تحلیل عواقب گذرگاه‌های همسطح

تحلیل عواقب به بررسی پیامدها و سوانح و حوادثی که ممکن است از وقوع خطر منتج گردند، می‌پردازد. در این جا از روش تحلیل علی و معلولی (ACCA) استفاده می‌شود. این روش یک الگوی از پایین به بالا برای تحلیل خطر است و سناریوهای رفتار و مواجهه با آن مرحله به مرحله و گام به گام آورده می‌شود. پتانسیل هر پیامد به عنوان نتیجه موفق یا منجر به شکست موانع در بالای نمودار قابل تعیین است. در نمودار زیر نمونه‌ای از این تحلیل ترسیم شده است.

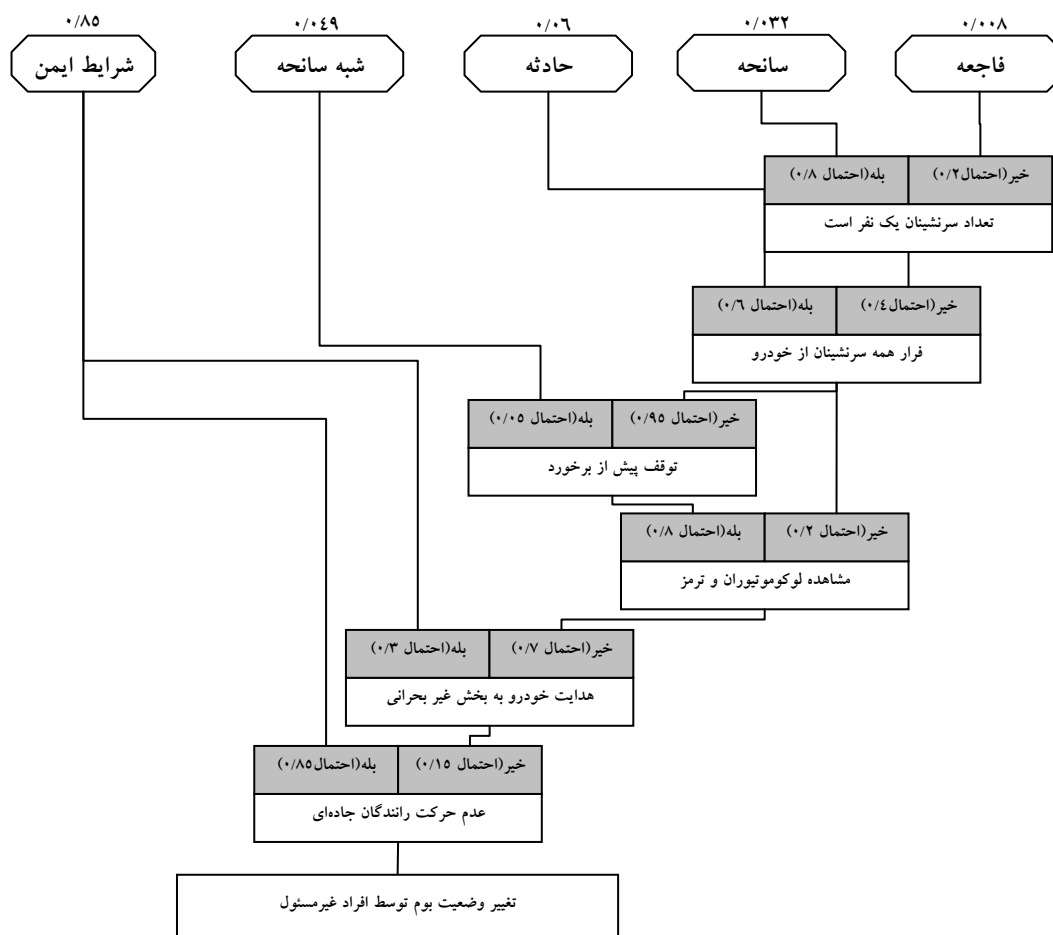
احتمال موفقیت یا عدم موفقیت موانع به کمک کار گروهی توسط تیم خبرگان تعیین شده است. از آنجا که کلیه عناصر موجود در این بند موانع احتمالی هستند، می‌توان بیان کرد که از لحاظ کنترل عواقب تمهیدات مناسبی برای آن در نظر گرفته نشده است.

حال پس از شکست خطر تا سطح رویدادهای پایه‌ای و تعیین احتمال عملکرد ناموفق هر یک از این رویدادها لازم است احتمال خطر با ترکیب احتمال این موارد محاسبه گردد:

$$P(\text{Haz} \cdot 2) = P(\text{BE1}) \cdot P(\text{BE3}) \cdot [P(\{\text{BE2}\} \cup \{\text{BE5}\} \cup \{\text{BE6}\} \cup \{\text{BE7}\})] \cdot [P(\{\text{BE4}\} \cup \{\text{BE8}\} \cup \{\text{BE9}\})]$$

به جز برآیند رفتار رانندگان و اشخاص سوم (که ناسازگار هستند)، بقیه موارد از یکدیگر مستقل‌اند. بنابراین:

$$\begin{aligned} P(\text{Haz } 02) &= 0.04 \cdot 1 \cdot (0.2 + 0.1 + 0.05 + 0.05 - 2 \cdot 1 - 2 \cdot 0.05 - 2 \cdot 0.05 - 1 \cdot 0.05 - 1 \cdot 0.05 - 0.05 \cdot 0.05 + 2 \cdot 1 \cdot 0.05 + 2 \cdot 1 \cdot 0.05 + 2 \cdot 0.05 \cdot 0.05 + 1 \cdot 0.05 \cdot 0.05 - 2 \cdot 1 \cdot 0.05 \cdot 0.05) \cdot (0.005 + 0.002 + 0.001) \\ &= 0.04 \cdot (0.4 - 0.2 - 0.1 - 0.005 - 0.005 - 0.0025 + 0.001 + 0.001 + 0.0005 + 0.00025 - 0.00005) \cdot 0.008 \\ &= 0.04 \cdot 0.367 \cdot 0.008 = 0.0001 \end{aligned}$$



نمودار ۵. بررسی علت و معلولی خطر تغییر وضعیت بوم توسط افراد غیرمسئول

۳-۴ تحلیل خسارات گذرگاه همسطح

چهارمین گام، برآورد خسارت این سانحه است. در انتهای این گام امکان برآورد مخاطره فراهم شده و لازم است با جدول استاندارد مرتبط مقایسه شود. در حالت نخست یعنی ایمن هیچ گونه خسارت مالی عمده‌ای متوجه راه‌آهن و دیگران نیست. در حالت شبه سانحه، تنها در عملکرد راه‌آهن وقفه بسیار کوچکی ایجاد می‌شود که قابل چشم پوشی است. در حالت حادثه قطار با خودرو برخورد خواهد داشت و علاوه بر آسیب به خودرو، خط نیز نیازمند تعمیر جزئی است. مسدودی خط نیز معادل ۳۰ دقیقه برآورد می‌شود که با توجه به فرصت از دست رفته (به ازای هر یک ساعت بیست میلیون ریال) راه‌آهن متضرر خواهد شد. در حالت سانحه علاوه بر یک فوت آسیب کمی به خط زده خواهد شد و در ضمن مدت مسدودی بیش از دو ساعت خواهد بود. در حالت فاجعه، به شکل متوسط دو نفر فوتی وجود خواهد داشت و مسدودی خط بیش از چهار ساعت برآورد می‌شود. مخاطره نهایی عبارت است از حاصلضرب احتمال وقوع خطر در خسارت نهایی که در ذیل محاسبه می‌شود:

$$\text{Total Risk} = P(\text{Haz 02}) * S(\text{Haz 02}) = 0/0001$$

$$53060000 = 5306$$

بر اساس محاسبات نشان داده می‌شود که در هر بار عبور قطار از

روی گذرگاه امید ریاضی ضرر وارده معادل ۵۳۰۶ ریال می‌شود و در صورتی که سالانه ۹۰۰۰ قطار از این حوزه عبور کنند، امید ریاضی سالانه این خسارت معادل ۵۳۰۶۰۰۰۰ ریال خواهد بود که این رقم بیش از نرخ مجاز مطابق با حدود کنترل مخاطره (نمودار شماره ۱) است. بنابراین مخاطره این خطر بیش از حدود مجاز مرتبط و غیر قابل قبول است. بررسی عملیاتی این گذرگاه نیز نشان می‌دهد که در طول دو سال اخیر سه نفر در همین گذرگاه فوت شده‌اند که نشان دهنده غیر قابل قبول بودن مخاطره آن است.

۳-۵ تحلیل گزینه‌های گذرگاه همسطح

پس از محاسبه مخاطره و مشاهده خارج از حدود کنترل بودن آن لازم بود راهکارهای مقتضی برای تقلیل مخاطره برای این گذرگاه شناسایی شده و فهرست شوند. در این خصوص یک راهکار با توجه به اینکه در نخستین سطح تحلیل عوامل خطر علل به کمک یک گره «و» به هم متصل بودند، تیم تحقیق سعی کرد تا یکی از این موارد را حذف کند تا به این وسیله کنترل خطر به شکل مؤثری انجام شود. گزینه‌های پیشنهادی با توجه به تجربه و آگاهی‌های تیم خبرگان و مشکلات موجود و به روش طوفان فکری و سپس پالایش آنها انتخاب شده‌اند.

جدول ۵. برآورد خسارت نهایی خطر

ردیف	نوع پیامد	احتمال بروز	معادل خسارت جانی	خسارت مالی غیر راه آهنی	معادل خسارت مالی راه آهن			
					خط	مسدودی	قطار	
۱	ایمن	۰/۸۵	۰	۰	۰	۰	۰	
۲	شبه سانحه	۰/۰۴۹	۰	۰	۰	۰	۰	
۳	حادثه	۰/۰۰۶	۰	۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰	۲۱۰۰۰۰	
۴	سانحه	۰/۰۳۲	۱۰۰۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۶۲۱۶۰۰۰	
۵	فاجعه	۰/۰۰۸	۲۰۰۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰۰	۳۲۱۰۰۰۰	
	کل خسارت برآوردی							۵۳۰۶۰۰۰۰

جدول ۵. برآورد خسارت نهایی خطر

ردیف	نام گزینه‌ها	توضیح	نوع گزینه	هزینه سرشکن سالانه (ریال)
۱	درپوش کلیدهای دستی	کلیدهای دستی روی موتور راهبند درپوش ندارند، که می‌توان درپوش مناسبی دارای قفل مخصوص روی آن تعبیه کرد.	RO	۱۰۰۰۰
۲	زنگ اختطار	در صورتی پایین آمدن بوم راهبند، یک زنگ اختطار به صدا درآید تا آگاهی رانندگان را افزایش دهد.	RO	۳۰۰۰۰
۳	دو راهدار	با اضافه نمودن یک راهدار دیگر می‌توان کنترل بیشتری روی دسترسی افراد غیر مسوول داشت.	RO	۱۲۰۰۰۰۰۰

۵. منابع

- Bai, Li [et.al] (2007) "Food safety assurance systems in China", Journal of Food Control, Vol. 18, Issue 5, May, pp. 480-484.
- Stephen, M. Hess, Albano, Alfonso. M. and Gaertner, John P. (2007) "Analysis and insights from a dynamical model of nuclear plant safety risk", Journal of Reliability Engineering and System Safety, Vol. 92, Issue 1, January, pp. 15-29.
- Hu, Shenping [et.al] (2007) "Formal safety assessment based on relative risks model in ship navigation", Journal of Reliability Engineering and System Safety, Vol. 92, Issue 3, March, pp. 369-377.
- Hale, A. R., Baram, M. and Hovden, J. (1998) "Perspectives on safety management and change", In A. Hale (Ed.), Safety management, the challenge of organizational change, pp. 1-15, Oxford: Pergamon Press.
- Fernández-Muniz, Beatriz, Manuel Montes-Peó, José and Vaquero-Orda, Camilo (2007) "Safety management system: Development and validation of a multidimensional scale", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 20, pp. 52-68.

۶. سالنامه آماری راه‌آهن (۱۳۸۵) " اداره کل حفاظت و ایمنی سیر و حرکت"، تهران: راه‌آهن ج.ا.ا...

۳-۶ تحلیل آثار گذرگاه همسطح

همان گونه که آشکار است، با بکارگیری گزینه شماره یک با کمترین هزینه سالانه خطر کنترل می‌شود. بنابراین پیشنهاد نهایی تیم تحقیق این بوده است که ابتدا از این گزینه استفاده شده و در مراحل بعد در صورت بروز حادثه مجدد (طبق تعریف صفحه ۳) گزینه‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرند.

۴. نتیجه‌گیری

فرآیند مهندسی ایمنی قابلیت ارزیابی سطح ایمنی در سیستم ریلی کشور را داشته و می‌توان از آن به عنوان یک روش فعال و پیشرو برای شناسایی خطرات و پیشگیری از بروز سوانح و حوادث استفاده کرد. همچنین این مدل این قابلیت را دارد تا سطح ایمنی سیستم را با یک شاخص یکسان و با بیان مستقل از فن‌آوری و روش بهره‌برداری بیان کند و این موضوع کمک می‌کند تا برای مدیریت و برنامه‌ریزی ایمنی مجموعه شاخص‌های پراکنده فنی را به شکل جامع برنامه‌ریزی و دسته‌بندی کرد. همچنین در خصوص گذرگاه‌های همسطح، به کمک مدل پیشنهاد شده در این مقاله، می‌توان برای سایر گذرگاه‌ها نیز پارامترهای مدل را آورده و نسبت به ایمن سازی آنها و بازگرداندن ریسک موجود در گذرگاه به سطح حدود قابل قبول اقدام کرد.

۱۳. اداره کل حفاظت و ایمنی، گروه تحلیل سوانح (۱۳۸۲) "گزارش رسیدگی به سانحه برخورد کامیون و قطار باری گذرگاه گرمدره".

۱۴. اداره کل حفاظت و ایمنی، گروه تحلیل سوانح (۱۳۸۴) "گزارش رسیدگی به سانحه برخورد خودرو پراید با قطار مسافری در گذرگاه گرمدره"، مهر ماه ۱۳۸۴.

پانویس‌ها

- 1- Risk
- 2- Health & Safety Executive
- 3- As Low As Reasonable Practice (ALARP)
- 4- Minimum Endogenous Mortality(MEM)
- 5- Globalement Au Moins Aussi Bon(GAMAB)
- 6- Remote
- 7- Vandalism

۷. پورسید آقایی، محسن، عدالت حقی، میرنصر(۱۳۸۴) "مدیریت ایمنی جامع و محلی سازی آن با شرایط راه‌آهن"، نخستین همایش ملی ایمنی، دانشگاه صنعتی شریف، بهمن ۱۳۸۴.

8. Schab, Hendrick (n.d.) "Different approaches for determination of tolerable hazard rate", Institute for Software, Electronics, Railroad Technology.

۹. عدالت حقی، میرنصر(۱۳۸۴) "بکارگیری مهندسی ایمنی در حوزه خدمات ایستگاهی راه‌آهن"، نخستین همایش ملی ایمنی، نخستین همایش ملی ایمنی، دانشگاه صنعتی شریف.

10. Safety Engineering Management, Yellow Book, Railtrack, UK, 1999.

۱۱. آیتی، اسماعیل (۱۳۸۱) "هزینه تصادفات ترافیکی ایران" مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۲. آیین‌نامه گذرگاه‌های همسطح، مصوب توسط هیات وزیران، ۱۳۳۲.

Modeling safety situation of level crossings using risk engineering techniques

*M. Pourseyed Aghaei, Assistant Professor, Department of Railway Engineering,
Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
I. Mahdavi, Assistant Professor, Department of Industrial
Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Babol, Iran.
M. Edalat Haghi, M.Sc. Department of Industrial Engineering,
Mazandaran University of Science and Technology, Babol, Mazandaran
E-mail: aghaee_m@mapna.com*

ABSTRACT

Safety is one of the most important issues of transportation systems, and new technologies and complex systems increased the need for a systematic approach. Safety matters have a vital influence on railway transportation, and interacting of factors such as manpower, electric and electronic devices, mechanical faces of locomotives and trains, civil engineering issues in the infrastructure, etc. all make a framework of uncertainty. Level crossing, the most dangerous place of the railway system, has a more complex condition, because it is covered by different type of people: The employees and the public. The second group makes it much more complex, because the factor is out of railway authorities control and they really face to the danger. As it clearly could be understood, assessing safety in this situation is a real hard work, because it is needed to manage issues with different roots in a single framework and synchronization of these factors is not a simple work. This introduction implies the necessity and importance of a criteria and framework which could manage the safety issues in such different faces.

Risk, as a simple, easy to understand, strong and adequate criteria, could help us to assess safety issues in different places with a single method. Risk has a double hinges those shown undesirable event happens with witch frequency and witch severity. Therefore, in this research risk was selected as a decision criteria and a framework of tolerable rates was fitted to it. The tolerable rates show risk according witch conditions will be accepted or denied. Lack of national framework for this subject forced research team to determine a local framework for RAI.

The second phase of research was designing and generating set of steps and diagrams which as a chain leads to assess the risks in the scope of study. The first step of the process, hazard identification in fact is a process of identifying, predetermining of frequency and severity, and rating at end separating the high rated hazards for further studies. The second phase of this process is causal analysis that includes recognizing roots of the hazard, deceiving their frequency of happiness, determining the chain of their relationship, and at end assessing the hazard occurrence likelihood. Consequence analysis, the third phase of research, is modeling and determining the scenarios which will be happened if the hazard really occurred. The output of this phase is set of consequences and their possibilities ratio. Now is the time for assessing the estimated loss in each kind of scenarios and aggregating them with regards to their possibility ratios which are assessed in the 3rd. phase. At the end of this phase, the risk is assessed and should be compared with tolerable rates. If it is not acceptable, risk mitigation process should be applied. Risk mitigation process will be used for unacceptable risks and its purpose is reducing or eliminating risk sources or decreasing their undesirable consequences. This phase includes two main steps: Option analysis and impact analysis. Option analysis with getting help from innovative methods tries to find a new solutions and methods and its

output is the list of options. The impact analysis phase tries to select the best option according to the criteria of risk reduction and cost analysis.

Applying the process in Garmdarreh_Level Crossing exhibited that risk could easily demonstrate the safety state of a system and also it showed how modeling and generating causal and consequence charts can help researchers to more easily and more reliably find a solution and options for reducing risks. The application also shows that the process capability completely covers all the hazards in the scope.

Keywords: Level crossings, modeling, safety