Archive of SID

آنالیز ریسک حریق ناشی از سوخت‌گیری قطار مسافری حین جابجایی مسافر مطالعه موردی: ایستگاه راه‌آهن سیرجان

ارغوان فکور[۱]

چکیده

به دلیل تمایل به ارتقا سطح ایمنی در قطارهای مسافری این مطالب با هدف آنالیز ریسک حریق قطار مسافری منتج از سوخت‌گیری حین توقف در ایستگاه و حضور مسافران انجام‌گرفته است. مراحل مطالعه بر طبق چرخه آنالیز کمی ریسک می‌باشد و به منظور محاسبه ریسک از میان مدل‌های مختلف، مدل جمعیت تحت تأثیر انتخاب‌شده است. کلیه مراحل آنالیز بر روی ایستگاه تشکیلاتی راه‌آهن سیرجان صورت گرفته است و جمعیت متأثر هر سناریو تعیین گردیده است. با توجه به نتایج حاصل‌شده اقدام پیشگیرانه در خصوص رخداد حریق ناشی از این فرآیند ناآگاهانه به‌جا می‌باشد.

کلمات کلیدی: آنالیز ریسک، قطار مسافری، جمعیت تحت تأثیر، آتش‌سوز

مقدمه

الزاماتی به هنگام سوخت‌گیری وسایل نقلیه برای سرنشینان در جایگاه‌های سوخت وجود دارد. به عنوان مثال تابلوهای ممنوعیت استفاده تلفن همراه و یا سیگار کشیدن در ایستگاه‌های بنزین کم دیده نمی‌شوند و یا قوانینی مثل پیاده کردن سرنشینان به هنگام ورود به جایگاه‌های گاز فشرده طبیعی. همه این اقدامات به دلیل تمایل به افزایش سطح ایمنی درزمینه محافظت از جان افراد می‌باشد. صنعت ریلی هم از این امر مستثنی نیست و توجه به مباحث افزایش سطح ایمنی قطارهای مسافری سابقه‌ای قدیمی در این صنعت دارد. یکی از این عواملی که می‌تواند ایمنی مسافران را تهدید کند احتراق در قطار مسافری است. منابع این آتش‌سوزی در قطار مسافری می‌تواند، تصادفات، اقدامات خرابکارانه، خطاهای مکانیکی، خطاهای الکتریکی، خطاهای فنی و یا عوامل ناشناخته باشد. یعنی به طورکلی‌تر علل آتش‌سوزی به دو دسته تقسیم می‌شود. علل بی‌واسطه: شرایطی که به صورت ناگهانی منجر به رویداد مخاطره‌آمیز می‌شود مثل زیاد گرم شدن سیم‌ها و علل اساسی: که شامل عوامل انسانی، فنّاورانه و محیطی است. از میان عوامل، علل انسانی و فنی با رعایت اقدامات ایمنی تا حد بسیار زیادی قابل پیشگیری است. به همین منظور در این مطالعه می‌خواهیم نقش اقدام ناآگاهانه انسانی را بررسی کنیم که می‌تواند در ناایمن کردن شرایط تأثیر بسزایی داشته باشد. این اقدام سوخت‌گیری قطار مسافربری در حین توقف در ایستگاه بدون جداسازی لکوموتیو و اعزام آن به سکوهای سوخت‌گیری می‌باشد که

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد حمل‌ونقل ریلی، دانشگاه علم و صنعت ایران، arghavan_fakoor@rail.iust.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

در صورت وجود کوچک‌ترین مشتعل کننده اولیه‌ای می‌تواند جان صدها مسافر را در معرض خطر قرار دهد. به این منظور در این مطالعه ایستگاهی به عنوان نمونه انتخاب شده و ریسک این پدیده بر اساس چرخه آنالیز کمی ریسک در آن محاسبه شده است. در راستای انجام محاسبات از نرم‌افزار الوها برای شبیه سازی شعاع‌های خطر استفاده گشته است و ریسک این فرآیند بر اساس مدل جمعیت تحت تأثیر محاسبه شده است.

مرور ادبیات

بر طبق مطالعات آماری [۱] در گزارشات ارائه شده ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ حوادث ریلی افزایش ۸۰ درصدی داشته است که در بین حوادث ریلی پرتکرار مانند خروج از خط و تقاطع هم‌سطح و...، آتش‌سوزی قطارهای مسافری در طی این سال‌ها افزایش ۶۷ درصدی داشته است و از ۰٫۰۸ به ازای هر ۱۰۰ میلیون مسافر - مایل به ۰٫۱۳ رسیده است. از این رو درزمینه حریق قطارهای مسافربری مطالعاتی چه از منظر محاسبات ریسک و چه طراحی مناسبتر قطارها صورت گرفته است. با توجه به اینکه اجزای تشکیل‌دهنده قطار مخصوص قطار مسافربری، قابلیت افزایش بار آتش را دارد پیکاک[۲] در سال ۱۹۹۹ [۲] جایگزینی تزیینات چوبی واگن را با یک ساختار ایمن، به‌منظور پیشگیری از حریق در واگن‌های مسافری ازجمله اقدامات پیشگیرانه معرفی کرد. در همین راستا وایت[۳] و همکارانش در سال ۲۰۰۵ [۳] آتش‌سوزی قطارهای مسافری در محیط های آزاد، غیر تونل‌ها را موردمطالعه قراردادند و معیارهایی مانند دمای آتش‌سوزی، جریان گرما، گازهای آزاد شده و سرعت گسترش آتش را بررسی نمودند و به منظور شبیه سازی شرایط، آزمایشی با آتش زدن یک واگن مسافری توسط یک کیلوگرم کاغذ مشتعل انجام دادند و در این آزمایش متوجه روند سریع آتش شدند، در این آزمایش آتش ۱۵۰ ثانیه پس از آغاز از درها و راه های خروجی شعله‌ور شد و برخلاف تصور سریع به سمت سقف واگن حرکت کرد و ۱۷۵ ثانیه پس از آغاز، تمام واگن را در برگرفت. در چنین زمان کوتاهی مسئله تخلیه مسافران نیز بسیار اهمیت دارد و باید از قبل پیش‌بینی گردد. و این موضوع در قطارهای مسافری توسط کامیلو[۴] و همکارانش در سال ۲۰۱۳ [۴] مهم‌ترین بخش مهندسی ایمنی آتش خوانده شد. آنان در مطالعه خود چرخه‌ای از آنالیز کمی ریسک حریق در قطارهای مسافربری ارائه نمودند و در چرخه ارائه شده تعیین سناریو حریق را مهم‌ترین عامل معرفی کردند و در نظر گرفتن بدترین سناریو را پیشنهاد نمودند که این امر مستلزم شناخت کامل محدوده مورد بررسی می باشد، در مطالعه خودشان ریسک را تابعی از احتمال رخداد حریق و شدت حادثه منتج از آن معرفی نمودند و به منظور محاسبه تکرارهای آتش‌سوزی و نتیجه حاصله از درخت آنالیز خطا و درخت آنالیز حادثه استفاده نمودند. در راستای مطالعات مربوط به ریسک بلبل امیری و لاری در سال ۱۳۸۹ [۵] ریسک حریق در قطارهای مسافربری را بررسی کردند، به‌منظور ارزیابی ریسک، مهم‌ترین مخاطرات را در سه سامانه مولد برق، تهویه واگن‌های مسافری

2- Peacock
3- White
4- Camillo

www.SID.ir

Archive of SID

و مولدهای بخار جستجو کردند. سپس با استفاده از آنالیز حالات بالقوه خرابی[5] فازی و آثار آن مبتنی تئوری گری ریسک در قطارهای مسافربری را محاسبه نمودند. همچنین تناوب و شدت اثر پیامدها را به‌صورت کیفی تعیین کردند و شکافه‌ای موجود در سیستم ریلی کشور ایران را درزمینه حریق بیان کردند. از طرف دیگر خطر حریق در واگن‌های باری متوقف در ایستگاه‌ها که حامل کالای خطرناک قابل‌توجه هست، ازاین‌رو آرکوت[6] و همکارانش در سال ۲۰۰۶ [۶] به ارزیابی ریسک کالای خطرناک ذخیره‌شده در ایستگاه‌های تشکیلاتی پرداختند آن‌ها ریسک شرطی توقف شش کالای خطرناک با در نظر گرفتن ویژگی‌های حجم ذخیره‌شده و تعداد دفعات تکرار ماهانه را محاسبه نمودند. در همین ضمیمه باقری در سال ۲۰۰۹ [۷] به آنالیز ریسک کالای خطرناک متوقف در ایستگاه‌ها پرداخت. او در مطالعه خود به شناسایی خطرات مرتبط با توقف کالای خطرناک در ایستگاه‌ها توسط فن وات ایف[7] پرداخت و در ارتباط با چرخه آنالیز کمی ریسک ابزارهای محاسبه احتمال و شدت حادثه را معرفی نمود و در مطالعه موردی خود یکی از بزرگ‌ترین حوادث ریلی در ارتباط با کالای خطرناک را مورد بررسی قرار داده است. در صورت حریق کالاهای خطرناک در محل توقفشان افراد حاضر در ایستگاه به‌شدت تحت تأثیر واقع خواهند شد از همین رو راسمالر[8] و همکارانش در سال ۲۰۱۲[۸] روشی برای محاسبه تعداد افراد صدمه‌دیده در اثر وقوع آتش‌سوزی در واگن‌های متوقف موجود در ایستگاه‌ها ارائه دادند و در مطالعه خود ایستگاه‌های بزرگ که در آن‌ها حمل نقل مسافر و بار همزمان اجرا می‌شود را در نظر گرفتند. همچنین سنتر[9] در سال ۲۰۱۵[۹] به آنالیز ریسک حمل مواد خطرناک پرداخته است او حمل دو کالای خطرناک کلرین و بوتان بین دو شهر ایالات‌متحده آمریکا را در طول ۲۱ روز در نظر گرفته است و با استفاده از نرم‌افزار کامو محدوده خطر حمل این مواد با ریل را شبیه‌سازی نموده و جمعیت حاصل از انفجار قطار حامل را نیز محاسبه کرده است.

اهداف

در این مطالعه دو هدف زیر دنبال می‌گردند: تعریف سناریوهای تأثیر حریق ناشی از سوخت‌گیری در قطار مسافربری در حین جابجایی مسافر در ایستگاهی تشکیلاتی بزرگ و به‌کارگیری تکنیک چرخه آنالیز کمی ریسک[10] به‌منظور آنالیز ریسک ناشی از سوخت‌گیری قطارهای مسافربری در حین جابجایی مسافر با استفاده از مدل محاسبه جمعیت تحت تأثیر[11].

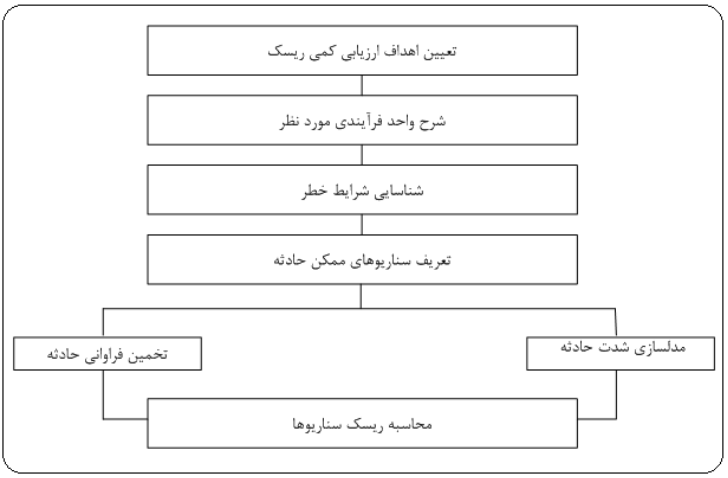
5- FMEA
6- Erkut
7- What if
8- Rosmuller
9- Center
10- Quantitative Risk Analysis
11- Population exposure

www.SID.ir

Archive of SID

روش تحقیق

در این مطالعه قصد بر این است که بر مبنای سلسله مراتب چرخه آنالیز کمی ریسک، ریسک آتش‌سوزی قطار حین جابجایی مسافر در ایستگاه‌های تشکیلاتی بین‌راهی محاسبه شود. بر طبق مراحل چرخه همان‌طور که در نمودار ۱ نشان داده‌شده است در فاز اول هدف از این ارزیابی باید مشخص گردد و معیاری که برای ارزیابی ریسک واحد مورد بررسی اتخاذ گردیده باید تعیین شود. در فاز دوم واحد موردنظر باید به‌خوبی شناسایی شود و کلیه اطلاعات لازم به منظور ارزیابی ریسک ازجمله موقعیت جغرافیایی، شرایط آب و هوایی، قرارگیری در ناحیه پر جمعیت، ویژگی‌های فیزیکی، نقشه‌های هوایی و... باید جمع‌آوری گردد. فاز سوم مرحله‌ای است که خطرات بالقوه موجود در واحد فرآیندی موردنظر شناسایی می‌گردند این مرحله از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا درنتیجه شناسایی درست مخاطرات است که تمامی ریسک‌های موجود در واحد مورد بررسی شناسایی می‌شود. در فاز چهارم بر مبنای مخاطرات شناسایی‌شده سناریوهای قابل اعتنا حادثه تعریف می‌شود که سناریو به مفهوم واقعه یا مجموعه‌ای از وقایع مرتبط است که منجر به وقوع حادثه می‌گردند [۱۰]. در فاز بعدی عواقبی که هر سناریو می‌تواند داشته باشد و تکرارپذیری هر سناریو از طریق ابزارهای آنالیز درخت رویداد[۱۲]، آنالیز درخت خطا[۱۳]، روش بیز و سایر فن‌های موجود تعیین می‌گردند. و در فاز آخر بر اساس مدل استفاده‌شده ریسک محاسبه می‌شود . در این مطالعه به‌منظور محاسبه ریسک ابتدا با استفاده از نرم‌افزار الوها[۱۴] ناحیه تحت تأثیر از رخ دادن سناریو موردنظر، تعیین می‌گردند و سپس جمعیت تحت تأثیر از حادثه برآورد می‌گردند درنتیجه از مدل جمعیت تحت تأثیر به منظور محاسبه ریسک استفاده شده است .



نمودار ۱ - مدل استاندارد چرخه آنالیز کمی ریسک

12- Event Tree Analysis
13- Fault Tree Analysis
14- ALOHA

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعه موردی

تعیین اهداف ارزیابی کمی ریسک

بر طبق بند ۱-۲ مقررات عمومی حرکت، ایستگاه تشکیلاتی ایستگاهی است که به تناسب جمعیت و موقعیت صنعتی و اقتصادی منطقه حتی‌الامکان در مجاورت شهرها احداث گردیده که برای تنظیم و تشکیل قطارها دارای دسته مانور مستقل بوده و مجموعه‌ای از فعالیت‌های دپو، سوخت‌گیری قطارها و سایر تأسیسات فنی راه‌آهن در آن انجام می‌پذیرد. بر طبق این تعریف ایستگاه راه‌آهن سیرجان یک ایستگاه تشکیلاتی محسوب می‌شود و همچنین مخازن سوخت‌گیری لکوموتیو در آن تعبیه شده است. درصورتی‌که قطار در این ایستگاه تشکیل و اعزام گردد لکوموتیو به خط سوخت فرستاده می‌شود و سوخت‌گیری انجام می‌شود. قطارهای مسافربری که از این ایستگاه عبور می‌کنند قطارهای تهران بندرعباس، اصفهان بندرعباس مشهد بندرعباس و سیرجان گل گهر می‌باشند بنابراین به‌جز قطار سیرجان گل گهر قطارها در این ایستگاه تشکیل نمی‌شود و قطار عبوری هست و در صورت نیاز به سوخت به خطوط سوخت‌گیری فرستاده نمی‌شود بلکه در فاصله زمانی سوار و پیاده شدن مسافران سوخت‌گیری توسط مخازن متحرک انجام می‌شود. از بین قطارهای مسافری فوق تنها قطار تهران به بندرعباس است که به دلیل فاصله زیاد دو منطقه نیاز به سوخت‌گیری پیدا می‌کند. آنچه در این مطالعه برسی می‌شود ریسک سوخت‌گیری به این سبک می‌باشد. با توجه به این نکته که این ایستگاه تشکیلاتی یکی از ایستگاه‌های مهم باری می‌باشد و کالاهای خطرناک و قابل اشتعال زیادی در خطوط این ایستگاه متوقف است هرگونه آتش‌سوزی در این ایستگاه می‌تواند تبعات بالایی داشته باشد. هدف از این ارزیابی تعیین تهدیداتی است که مسافران، افراد حاضر در محدوده خطر و کارکنان ایستگاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

شرح واحد فرآیندی موردنظر

مشخصات ایستگاه

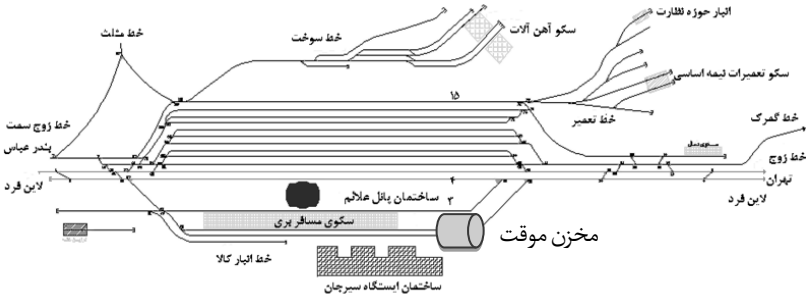
ایستگاه راه‌آهن سیرجان بین عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه قرار دارد. بر طبق گزارش هواشناسی میانگین دمای سالیانه در سال ۲۰۱۴ برای این شهرستان ۱۷/۷ درجه سلسیوس بوده است. میانگین سرعت وزش باد بیشینه در همین سال ۳/۷۳ متر بر ثانیه گزارش‌شده است. همچنین جهت غالب وزش باد در ماه‌های اسفند، فروردین، و اردیبهشت می‌باشد و از جنوب غربی به شمال شرقی و شرق می‌وزد. این ایستگاه دارای ۱۵ خط است و حمل‌ونقل بار و جابجایی مسافر در آن به‌طور همزمان صورت می‌گیرد. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به خطوط ایستگاه آورده شده است و در شکل ۱ کروکی ایستگاه نشان داده‌شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 1 فواصل خطوط ایستگاه

نوع خط	فاصله (متر)
دو خط مجاور	۵
عرض سکو	۹
دو خط جلوی ایستگاه و خطوط قطارهای باری	۱۰
مخزن دگاژ شمالی و جنوبی با خط	۵



شکل ۱ - کروکی ۱۵ خط ایستگاه سیرجان

مشخصات قطارهای مسافربری

قطارهای مسافربری تهران - بندرعباس، سیرجان - بندرعباس، مشهد - بندرعباس و سیرجان - گل گوهر از این ایستگاه عبور می‌کنند. بنا بر برنامه زمانی شش ماه دوم سال ۹۴ همزمانی حضور قطار مسافربری مقاصد مختلف در این ایستگاه محتمل می‌باشد. با توجه به طول مسیرها تنها قطاری که به سوخت‌گیری نیاز پیدا خواهد کرد قطار تهران - بندرعباس است. طول خط آهن این مسیر ۱۴۸۳ کیلومتر بوده و ایستگاه سیرجان در ۱۱۲۴ کیلومتری این مسیر قرار دارد. در جدول ۲ تعداد مسافران تمامی قطارها نشان داده‌شده است.

جدول ۲ - تعداد مسافران قطارهای عبوری از ایستگاه سیرجان و شماره قطارها

شماره	قطار	تعداد صندلی هر قطار
۱	بندرعباس ۱	۶۶۰
۲	بندرعباس ۲	۴۴۰
۳	تهران - بندرعباس ۳	۴۶۰
۴	سیرجان - گل گهر ۱	۳۳۶
۵	سیرجان - گل گهر ۲	۳۳۶

www.SID.ir

Archive of SID

شماره	قطار	تعداد صندلی هر قطار
۶	سیرجان- گل گهر۳	۳۳۶
۷	اصفهان بندرعباس	۴۶۰
۸	بندرعباس مشهد	۴۴۰

مشخصات قطارهای باری

میانگین روزانه تعداد قطارهای باری ایجادشده راه‌آهن هرمزگان ۴۸ قطار و میانگین وزن بار خالص هر قطار ۱۲۴۸ تن و میانگین وزن ناخالص هر قطار ۲۲۹۱ تن است. در ایستگاه سیرجان حجم بار زیادی جابجا می‌شود که از بین آن‌ها حجم قابل توجهی کالای قابل اشتعال و حتی خطرناک می‌باشد جدول ۲ حجم کالاهای خطرناک و قابل اشتعال نه ماه اول سال ۹۴ را که در این ایستگاه جابجا شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۳ - حجم جابجا شده از کالای قابل اشتعال و خطرناک نه ماه اول ۹۴

کالا	تعداد واگن	تناژ
زغال‌سنگ	۹۰۴	۵۸۷۱۵
گازهای فشرده شده مایع طبق فصل ششم تعرفه	۶۴	۳۰۱۹
گازوئیل	۳۸۰۴	۲۲۱۸۲۸
نخ از هر قبیل (ساده تابیده پشم گیاه یخ ابریشم)	۲۵۹	۱۱۸۷۷
روغن مخصوص ماشین‌آلات	۹	۵۱۹
دستمال‌کاغذی	۱	۵۹
رنگ‌های ساخته‌شده از هر نوع	۱۲	۶۴۱
صابون غیرعطری	۱۴۲	۸۴۹۸
کاغذ از هر نوع	۲۰	۹۷۳
گوگرد خام	۱۲,۴۵۹	۷۳۹,۵۳۲
نفت کوره (مازوت)	۹,۲۰۵	۵۰۷,۶۵۵
کود شیمیایی	۲,۱۳۹	۱۲۷,۱۱۹

شناسایی مخاطرات

از آنجایی که ایستگاه مورد مطالعه تشکیلاتی می‌باشد مخازن سوخت‌گیری ثابتی همان‌طور که در شکل ۱ دیده

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود در آن تعبیه‌شده، درصورتی‌که قطار در این ایستگاه تشکیل و اعزام گردد لکوموتیو برای سوخت‌گیری به خطوط مخصوص فرستاده می‌شود اما در بین قطارهای مسافربری قطارهایی که از سمت تهران به بندرعباس اعزام می‌شوند مسافتی برابر با ۱۴۸۳ کیلومتر در پیش دارند. این قطارها در مبدأ تهران با دو لکوموتیو نوع زیمنس و GT206CW با تقریباً ۶۰۰۰ لیتر ظرفیت سوخت تشکیل و اعزام می‌گردند که به فراخور شیب و فراز منطقه، مدت‌زمان سیر، استفاده از حداکثر قدرت، تعداد سالن، استفاده از توان الکتریکی، مدت‌زمان تأخیر و حتی دمای محیط میزان مصرف سوخت تغییر می‌کند، درصورتی‌که قطار به کیلومتر ۱۱۲۴ از تهران یعنی ایستگاه راه‌آهن سیرجان برسد و پیش‌بینی گردد که میزان سوخت برای ادامه مسیر ناکافی می‌باشد سوخت‌گیری به حدی که اطمینان رسیدن به مقصد را تامین کند انجام می‌گردند این مقدار معمولاً برابر با ۲۰۰۰ لیتر می‌باشد. در این وضعیت قطار عبوری محسوب می‌گردند و برای سوخت‌گیری به خط سوخت تعبیه شده فرستاده نمی‌شود بلکه سوخت‌گیری توسط مخازن موقت انجام می‌شود. این مخازن، تانکر از بوژی جدا شده قطارهای باری هستند که به دلیل افزایش طول عمر و فرسوده‌شدن، آسیب به شاسی و یا هر دلیلی دارای شرایط استاندارد سیر نمی‌باشند و از رده خارج شده‌اند که در دگاژ شمالی و جنوبی ایستگاه جایگذاری می‌شوند و معمولاً ۳۰ تا ۵۰ هزار لیتر گنجایش دارند. بدیهی است که سوخت‌گیری به این شیوه شرایط پرخطری را برای مسافران ایجاد می‌کند علاوه بر این همان‌طور که در جدول ۲ آورده شده است حجم بالایی از کالاهای قابل اشتعال در این ایستگاه وجود دارد که در صورت حریق می‌تواند آتش را گسترش دهد.

تعریف سناریوهای قابل‌اعتنا

در این مرحله سلسله حوادث ممکن در قالب جدول ۴ نشان داده‌شده است. برای تعریف سناریوها ابتدا از شماره‌های قطارها بر اساس جدول ۳ که در بالا ذکرشده است استفاده گردیده. به‌عنوان‌مثال سناریو شماره ۱ حالتی را در نظر می‌گیرد که مخزن موقت با ۵۰ هزار لیتر سوخت در ۵ متری سکوی مسافری به هنگام سوخت‌گیری منفجر شود و در آن زمان تنها قطار مسافربری قطار بندرعباس ۱ با ۶۶۰ مسافر باشد به همین ترتیب سناریوهای دیگر تعریف گردیده است و در سناریوی آخر رسیدن شعاع خطر به واگن‌های حامل کالای خطرناک مستقر در ایستگاه در نظر گرفته‌شده است، که خود می‌تواند چندین حالت را ایجاد کند.

جدول ۴ - سناریوهای محتمل‌الوقوع

شماره	مخزن موقت واقع در ۵ متری سکوی مسافری با ۵۰ هزار لیتر گازوئیل در حین سوخت‌گیری منفجر شود	شماره	مخزن موقت واقع در ۵ متری سکوی مسافری با ۵۰ هزار لیتر گازوئیل در حین سوخت‌گیری منفجر شود
۱	قطار شماره ۱ در ایستگاه باشد	۱۸	قطار شماره ۱ و ۲ و ۸ در ایستگاه باشد
۲	قطار شماره ۲ در ایستگاه باشد	۱۹	قطار شماره ۱ و ۳ و ۸ در ایستگاه باشد

www.SID.ir

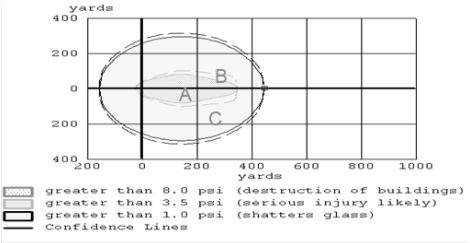
Archive of SID

شماره	مخزن موقت واقع در ۵ متری سکوی مسافری با ۵۰ هزار لیتر گازوئیل در حین سوخت‌گیری منفجر شود	شماره	مخزن موقت واقع در ۵ متری سکوی مسافری با ۵۰ هزار لیتر گازوئیل در حین سوخت‌گیری منفجر شود
۳	قطار شماره ۳ در ایستگاه باشد	۲۰	قطار شماره ۱ و ۳ و ۶ در ایستگاه باشد
۴	قطار شماره ۱ و ۲ در ایستگاه باشد	۲۱	قطار شماره ۱ و ۳ و ۷ در ایستگاه باشد
۵	قطار شماره ۱ و ۳ در ایستگاه باشد	۲۲	قطار شماره ۲ و ۳ و ۶ در ایستگاه باشد
۶	قطار شماره ۱ و ۵ در ایستگاه باشد	۲۳	قطار شماره ۲ و ۳ و ۷ در ایستگاه باشد
۷	قطار شماره ۱ و ۷ در ایستگاه باشد	۲۴	قطار شماره ۲ و ۳ و ۸ در ایستگاه باشد
۸	قطار شماره ۱ و ۸ در ایستگاه باشد	۲۵	قطار شماره ۱ و ۷ و ۶ در ایستگاه باشد
۹	قطار شماره ۲ و ۳ در ایستگاه باشد	۲۶	قطار شماره ۱ و ۷ و ۸ در ایستگاه باشد
۱۰	قطار شماره ۲ و ۵ در ایستگاه باشد	۲۷	قطار شماره ۱ و ۸ و ۶ در ایستگاه باشد
۱۱	قطار شماره ۲ و ۷ در ایستگاه باشد	۲۸	قطار شماره ۲ و ۷ و ۸ در ایستگاه باشد
۱۲	قطار شماره ۲ و ۸ در ایستگاه باشد	۲۹	قطار شماره ۲ و ۷ و ۶ در ایستگاه باشد
۱۳	قطار شماره ۳ و ۶ در ایستگاه باشد	۳۰	قطار شماره ۲ و ۶ و ۸ در ایستگاه باشد
۱۴	قطار شماره ۳ و ۷ در ایستگاه باشد	۳۱	قطار شماره ۳ و ۷ و ۸ در ایستگاه باشد
۱۵	قطار شماره ۳ و ۸ در ایستگاه باشد	۳۲	قطار شماره ۳ و ۷ و ۶ در ایستگاه باشد
۱۶	قطار شماره ۱ و ۲ و ۵ در ایستگاه باشد	۳۳	قطار شماره ۳ و ۶ و ۸ در ایستگاه باشد.
۱۷	قطار شماره ۱ و ۲ و ۷ در ایستگاه باشد	۳۴	واگن‌های کالای خطرناک در شعاع حرارتی انفجار تحت تأثیر واقع شوند

نتایج

مدل‌سازی شدت حادثه

۱- به‌منظور مدل‌سازی اولین رخداد در نظر گرفته‌شده انفجار مخزن موقت با ۵۰ هزار گازوئیل در ۵ متری سکوی مسافری است. در اثر رخداد این اتفاق نرم‌افزار الوها شعاع خطر را در قالب شکل ۲ پیش‌بینی کرده است.



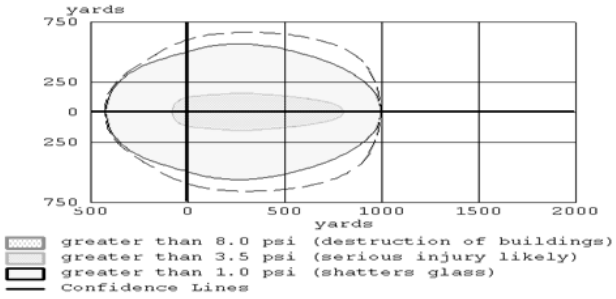
شکل ۲ - شعاع‌های محدوده خطر ایجادشده از انفجار مخزن سوخت موقت

www.SID.ir

Archive of SID

بر طبق خروجی ناحیه A نشان‌دهنده محدوده پرخطر است که ۹۹ درصد از افراد حاضر در این ناحیه تحت تأثیر واقع می‌شوند و جان خود را از دست می‌دهند، فشار حاصل از انفجار در این ناحیه بیش از ۸ پوند بر مترمربع می‌باشد و مسئولین باید این منطقه را سری تخلیه کنند. محدوده B ناحیه با خطر متوسط می‌باشد و در این ناحیه بیش آر ۳/۵ پوند بر مترمربع در اثر انفجار فشار وارد خواهد شد در این ناحیه صدمات جدی ایجاد می‌گردند و ۷۰ درصد افراد حاضر جان خود را از دست می‌دهند، این ناحیه طولی برابر ۳۶۷ یارد و شعاع ۸۲ یارد در جهت وزش باد دارد. محدوده‌ای C نشان داده‌شده است محدوده با خطر کمتر است. ناحیه‌ای که ۳۰ درصد افراد حاضر در آن جان خود را در اثر انفجار از دست می‌دهند. فشار ایجادشده در این ناحیه بیشتر از یک پوند بر مترمربع هست و در فاصله ۸۵ تا ۲۱۰ و ۲۳- تا ۱۶۸- و شعاع تقریباً ۱۳۴ تا ۲۹۵ یار و ۱۰۵- تا ۲۹۵- را در برمی‌گیرد. به محدوده خارج از خطوط سیاه‌رنگ ناحیه امن گفته می‌شود .

۲-دومین رخداد در نظر گرفته‌شده بر طبق شکل ۲ رسیدن شعاع آتش به واگن‌های گازوئیل متوقف در ایستگاه هست. درواقع این رخداد یکی از حلقه‌های بعدی سناریو انفجار مخزن ۵۰ هزار لیتری گازوئیل می‌باشد. طبق جدول ۲ گازوئیل با تناژ ۸۲۸,۲۲۱ در نه ماه جابه‌جا می‌شود با توجه به‌قرارگیری محل ذخیره این کالاها که در ناحیه با خطر متوسط قرار دارد در صورت گسترش شعاع حرارتی به گازوئیل‌های موجود در ایستگاه نرم‌افزار الوها پیش‌بینی می‌کند که نواحی خطر در قالب شکل ۴ خواهد شد.



شکل ۳ - شعاع‌های خطر ایجادشده ناشی از انفجار واگن‌های گازوئیل

محاسبه ریسک سناریوها

ابتدا لازم به ذکر است محاسبات بر مبنای بدترین حالت‌های ممکنه انجام‌گرفته است به‌عنوان‌مثال پر بودن تمام صندلی‌های قطار و حضور تمام کارکنان به‌منظور محاسبه ریسک دو حالت در نظر گرفته‌شده است:

۱- انفجار مخزن موقت: همان‌طور که ذکر شد به‌منظور محاسبه ریسک از مدل جمعیت تحت تأثیر استفاده می‌شود. بر طبق داده‌های آماری در سال ۱۳۸۵ این ایستگاه در ناحیه آزاد واقع شده است و برای این ناحیه جمعیت ساکنی در داده‌های آماری ثبت نگردیده است اما با توجه به سناریوهای تعریف شده امکان حضور همزمان سه قطار مسافربری در این ایستگاه وجود دارد که خود جمعیت قابل‌توجهی را تشکیل می‌دهد. در

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۳ همپوشانی شعاع‌های خطر و تصویر ماهواره‌ای از ایستگاه راه‌آهن سیرجان نشان‌دهنده تحت تأثیر واقع شدن هر سه خط مسافری ایستگاه و قرارگیری آن‌ها در مرکز انفجار یعنی ناحیه با خطر بالا است. بنابراین برای ۳۳ سناریو اول تعریف شده جمعیت تحت تایر را در قالب جدول خواهیم داشت.

شکل ۴ - همپوشانی شعاع‌های انفجار مخزن موقت با ناحیه مورد بررسی

جدول ۵ جمعیت تحت تأثیر از ۳۳ سناریو اول

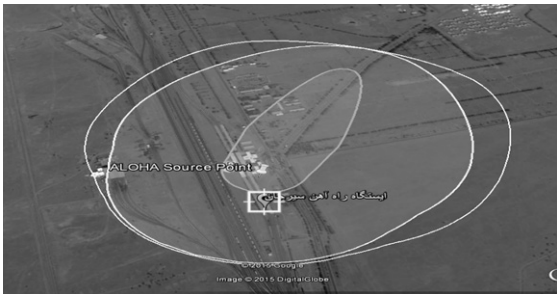
شماره سناریو	جمعیت تحت تأثیر	شماره سناریو	جمعیت تحت تأثیر
۱	۹۲۶	۱۸	۱۷۰۶
۲	۷۰۶	۱۹	۱۸۲۶
۳	۷۲۶	۲۰	۱۷۲۲
۴	۱۲۶۶	۲۱	۱۸۴۶
۵	۱۳۸۶	۲۲	۱۵۰۲
۶	۱۲۶۲	۲۳	۱۶۲۶
۷	۱۳۸۶	۲۴	۱۶۰۶
۸	۱۳۶۶	۲۵	۱۷۲۲
۹	۱۱۶۶	۲۶	۱۸۲۶
۱۰	۱۰۴۲	۲۷	۱۷۰۲
۱۱	۱۱۶۶	۲۸	۱۶۰۶
۱۲	۱۱۴۶	۲۹	۱۵۰۲
۱۳	۱۰۶۲	۳۰	۱۴۸۲
۱۴	۱۱۸۶	۳۱	۱۴۸۲
۱۵	۱۱۶۶	۳۲	۱۵۲۲

www.SID.ir

Archive of SID

شماره سناریو	جمعیت تحت تأثیر	شماره سناریو	جمعیت تحت تأثیر
۱۶	۱۷۰۲	۳۳	۱۵۰۲
۱۷	۱۸۲۶		

۱- انفجار واگن‌های متوقف گازوئیل که تحت تاثیر شعاع انفجار مخازن قرار می‌گیرند: همانطور که ذکر شد در ایستگاه مورد نظر کالای خطرناک وجود دارد و در این قسمت ریسک انفجار مخزن موقت وانتقال آتش به واگنهای متوقف گازوئیل (از میان سایر واگن‌های متوقف) در نظر گرفته شده است و بر اساس خروجی‌های نرم‌افزار الوها شعاع ناحیه همپوشانی در شکل ۴ نشان داده‌شده است.



شکل ۵ - همپوشانی شعاع‌های انفجار واگن‌های گازوئیل متوقف متأثر از انفجار مخزن متوقف

در این حالت جمعیت تحت تأثیر از این بابت که جمعیت ساکنی برای این منطقه ثبت نگردیده برابر با مسافران قطارها بر طبق جدول ۵ خواهد بود. علاوه بر اینکه در ۶۰۰ متری از ایستگاه شهرک مسکونی کارکنان راه‌آهن واقع است و شعاع این حادثه این شهرک را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. به‌طور میانگین جمعیت این شهرک بدون در نظر گرفتن کارکنان که در ایستگاه حضور دارند ۱۰۲۰ نفر هست که جز نواحی با خطر متوسط و کم می‌باشند.

نتیجه‌گیری

با بررسی مطالعه موردی می‌تواند متوجه شد که سوخت‌گیری در مکانی به‌غیراز محل تعبیه شده مخازن و خطوط سوخت می‌تواند منجر به حوادث زنجیره‌ای بزرگ با عواقب شدید جانی و مالی شدید و حتی آسیب در صورت گسترش شعاع‌های انفجار منجر آسیب به محیط زیست گردد. درنتیجه زمانی که قطار در مسیر طولانی نیاز به سوخت‌گیری در بین مبدأ و مقصد پیدا می‌کند این روش سوخت‌گیری روشی پر ریسک می‌باشد و ایمنی صنعت ریلی را نزول می‌دهد. پیشنهاد می‌شود که سوخت‌گیری با انجام عملیات مانور و انتقال به خطوط سوخت انجام گردد.

چشم‌انداز آینده

بر طبق آمار نه‌ماهه ایستگاه سیرجان در این ایستگاه تشکیلاتی در ۱۱۹,۱۲۷ تن کود شیمیایی جابجایی داشته

www.SID.ir

Archive of SID

است این ماده زمانی که در معرض گرمای شدید قرار گیرد (بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ درجه سلسیوس) گازهای سمی تولید می‌کند. همچنین ۵۳۲,۷۳۹ تن گوگرد در این نه ماه از این ایستگاه جابجایی داشته است. این ماده نیز علاوه بر اینکه خود قابل اشتعال است در صورت ترکیب با هیدروژن آزادشده از سوخت گازوئیل به ماده‌ای (هیدروژن سولفید) بسیار خطرناک و به شدت انفجاری تبدیل می‌گردند[۷]. در مطالعات آتی می‌تواند به منظور محاسبه ریسک سناریوهای انفجار کود شیمیایی و گوگرد را نیز در نظر گرفت.

تشکر و قدردانی

در پایان جا دارد از راهنمایی‌های استاد گرامی دکتر مرتضی باقری همچنین جناب آقای مهندس حمید بوذری معاون واحد ارتقاء ایمنی راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران و خانم دکتر زهرا بهرامیان در جهت اختیار گذاشتن مطالب و اطلاعات موردنیاز کمال تشکر و قدردانی را به‌جا آورده و برایشان آرزوی موفقیت می‌نمایم.

مراجع

[1] R. S. S. Reprt, 2009.

[2] R. D. Peacock, P. A. Reneke, W. W. Jones, R. W. Bukowski, and V. Babrauskas, "Concepts for fire protection of passenger rail transportation vehicles: past, present, and future," Fire and Materials, vol. 19, pp. 71-87, 1995.

[3] N. White, V. Dowling, and J. Barnett, "Full-scale fire experiment on a typical passenger train," Fire Safety Science, vol. 8, pp. 1157-1168, 2005.

[4] A. Camillo, E. Guillaume, T. Rogaume, A. Allard, and F. Didieux, "Risk analysis of fire and evacuation events in the European railway transport network," Fire Safety Journal, vol. 60, pp. 25-36, 2013.

[۵] ب. ا. نجمه and ا. ل. علی, "ارزیابی ریسک آتش‌سوزی قطارهای مسافری ایران با استفاده از رویکرد FMEA فازی-تئوری گری."

[6] T. S. Glickman and E. Erkut, "Assessment of hazardous material risks for rail yard safety," Safety science, vol. 45, pp. 813-822, 2007.

[7] M. Bagheri, "Risk analysis of stationary dangerous goods railway cars: a case study," Journal of Transportation Security, vol. 2, pp. 77-89, 2009.

[8] N. Rosmuller, I. Trijssenaar, J. Reinders, and P. Blokker, "Quantification of the number of injured people due to hazardous material accidents," International journal of emergency management, vol. 8, pp. 308-331, 2012.

[9] R. Center, "Risk Assessment of Hazardous Materials Transported by Rail through the WKU and Bowling Green, Kentucky Corridor," 2015.

[10] T. Aven, Reliability and risk analysis: Springer Science & Business Media, 2012.

www.SID.ir