



مجمع جهانی راه (پیارک)

ایمنی در تونلها

واحد فناوری و ارتباط با سازمانهای تخصصی

دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک) در ایران

وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری



دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیارک) در ایران

ایمنی در تونلها

Safety In Tunnels

(گزارش کمیته شما ۶۵)

این گزارش ترجمه‌ای است از گزارشی تحت عنوان

Safety In Tunnels

واحد فناوری و ارتباط با سازمانهای تخصصی
گروه ترجمه و تهیه گزارشات تخصصی

عنوان گزارش	: ایمنی در تونلها
تهیه و تألیف	: کمیته تخصصی مدیریت راه پیارک
مترجم	: ماهان یلداشخان
ویرایش فنی	: دکتر مرتضی قارونی نیک - مهندس محسن رحیمی
ویرایش ادبی	: مهسا مهرپویا
ناشر	: معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	: مرکز چاپ و انتشارات موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی
نوبت چاپ	: بهار ۱۳۸۳
تیراژ	: ۵۰۰ نسخه
نشانی	: خیابان کریم خان زند، خیابان خردمند شمالی، پلاک ۱۴۹ - واحد اطلاع‌رسانی و نشر پژوهشها

مقدمه

وزارت راه و ترابری به عنوان متولی اصلی صنعت حمل و نقل کشور، نیازمند استفاده از بخش وسیعی از خدمات مهندسی در زمینه طراحی، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری از اجزاء سیستم حمل و نقل می‌باشد. از اینرو ضروری است که دانش فنی مورد نیاز بطور مستمر در اختیار مدیران و کارشناسان مربوطه قرار گرفته و نیازهای مطالعاتی و تحقیقاتی آنها مرتفع گردند. معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری درصدد است ضمن شناسایی نیازهای اساسی بخشهای مختلف وزارت متبوع و انجام تحقیقات علمی - کاربردی در زمینه مسائل فنی حمل و نقل و همچنین استفاده از آخرین دستاوردها و انجام مبادلات علمی با مجامع و سازمانهای علمی و تخصصی ذیربط، ازجمله مجمع جهانی راه (پیارک)، به رفع این نیازها بپردازد. در همین راستا این معاونت برآن است تا با تهیه و تدوین مجموعه گزارشات تخصصی کمیته‌های مختلف مجمع جهانی راه (پیارک)، دانش فنی مورد نیاز را به شکلی مناسب در اختیار بخشهای مختلف وزارت متبوع و سایر متخصصان قرار دهد. گزارش حاضر تلاشی در راستای نیل به این هدف می‌باشد. امید است که با تلاشهای صورت گرفته در واحد فناوری و دبیرخانه ارتباط با سازمانهای تخصصی و همکاری افرادی که در تهیه این گزارش ما را یاری رساندند، گامی مؤثر در جهت ایجاد تحول، نوآوری و ارتقاء عملکردها برداشته شود.

محمد جعفر اکرام جعفری

معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

مختصری در خصوص پیارک

انجمن بین‌المللی دائمی کنگره‌های راه (پیارک) با هدف جمع‌آوری و انتشار اطلاعات در خصوص مسائل مربوط به جاده و ترافیک آن، اصلاح و استاندارد کردن شیوه‌های اجرایی، اداری و مالی، طراحی ساختمان و نگهداری راهها، یکنواخت کردن علائم و نشانه‌ها، کدهای مربوط به آمد و شد در شاهراههای کشورهای مختلف و پیش‌بینی شبکه ارتباطی لازم متناسب با پیشرفت‌های اقتصادی و اجتماعی کشورها در سال ۱۹۰۸ همزمان با برگزاری اولین کنگره آن و با شرکت ۲۷ کشور جهان در پاریس تشکیل شد.

این انجمن، با مشارکت کشورهای مختلف هر چهار سال یکبار در زمان و مکانی که توسط دولتهای عضو مورد توافق قرار می‌گیرد کنگره‌ای را برگزار می‌کند و هم‌اکنون با تغییر نام به مجمع جهانی راه با بیش از ۲۰۰۰ نماینده از ۱۰۵ کشور عضو به کار خود ادامه می‌دهد. در سال ۱۹۹۹ میلادی بیست و یکمین کنگره این مجمع در شهر کوآلالامپور مالزی برگزار گردید.

اهداف کلی و اولیه پیارک را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- بهبود ارتباطات بین‌المللی
 - تدوین سیاستهای حمل‌ونقل جاده‌ای
 - ارتقای کیفیت برنامه‌ریزی، ساخت، بهسازی و نگهداری راهها
 - ارتقای کیفیت اجرایی و مدیریت سیستمهای راه
- و امروزه این اهداف شکل جدیدی پیدا کرده و با سرعت بیشتری تعقیب می‌گردد که عبارتند از:
- ۱- افزایش همکاری بین‌المللی.

۲- پیشرفت هر چه سریعتر و جهت‌دار نمودن سیاستهای برنامه‌ریزی، ساخت، بهسازی و نگهداری راهها.

طی سالهای اخیر فعالیتهای مجمع جهانی راه (پیارک) در ایران گسترش یافته و با تشکیل دبیرخانه این مجمع در معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری و معرفی اعضاء، سعی بر آن شده که هر چه بیشتر با مرکز پیارک در فرانسه ارتباط لازم برقرار شود. اعضای که برای این مجمع در نظر گرفته شده شامل یک عضو اصلی و یک عضو مکاتبه‌ای برای هر یک از کمیته‌های ۲۰ گانه مندرج در زیر می‌باشند:

- کمیته مشخصات سطح راه
- کمیته مشاوره عمومی
- کمیته تبادلات فن‌آوری و توسعه
- کمیته راههای بین‌شهری و حمل‌ونقل ترکیبی

- کمیته اجرای تونل‌های راه
- کمیته مدیریت راه
- کمیته روسازی راه
- کمیته ارزیابی مالی و اقتصادی
- کمیته مناطق شهری و حمل‌ونقل ترکیبی
- کمیته پلها و دیگر سازه‌های راه
- کمیته عملیات خاکی، زهکشی و بستر روسازی
- کمیته ایمنی راهها
- کمیته توسعه پایدار و حمل‌ونقل جاده‌ای
- کمیته عملکرد ادارات راه
- کمیته عملکرد شبکه راه
- کمیته راهداری زمستانی
- کمیته مدیریت ریسک در راهها
- کمیته حمل‌ونقل بار
- کمیته توسعه مناسب
- کمیسیون اصطلاحات فنی

ریاست پیارک در ایران بر عهده آقای دکتر مرتضی قارونی نیک بوده، آقای مهندس اصغر نادری سمت دبیر پیارک و آقای مهندس مهران قربانی مسئولیت دبیرخانه پیارک در ایران را عهده‌دار می‌باشند.

با توجه به اهداف اصلی مجمع جهانی راه، دبیرخانه پیارک در ایران با بازنگری در تشکیلات و اعضای خود به جهت رسیدن به ترکیب ایده‌آل چه به لحاظ امکانات و تسهیلات و چه به لحاظ نیروهای تخصصی فعال امیدوار است که بتواند در ارتقای سطح دانش فنی و تخصصی زیرمجموعه‌های مختلف حمل‌ونقل جاده‌ای کشور سهم و نقش خود را ایفاء نماید.

دبیرخانه پیارک در ایران

تابستان ۱۳۸۲

ایمنی در تونل‌ها

۱	خلاصه اجرایی و پیشنهادات.....
۴	مدل کمی برآورد (QRAM).....
۵	مدل پشتیبان تصمیم‌گیری (DSM).....
۶	تمهیدات ویژه کاهش ریسک.....
۷	پیشنهادهای.....
۹	منافع مورد انتظار.....
۱۰	فصل ۱: مقدمه.....
۱۰	اهداف.....
۱۰	مدیریت و سرمایه‌گذاری این پروژه.....
۱۱	ساختار گزارش.....
۱۳	فصل ۲: اطلاعاتی چند درباره آتش سوزی‌های بزرگ روی داده در تونلها.....
۱۳	یافته‌ها.....
۱۶	نتیجه‌گیریها.....
۱۸	فصل ۳: مروری بر قوانین و مقررات موجود ملی و بین‌المللی.....
۲۱	فصل ۴: گروه بندی همگون کالاهای خطرناک قابل حمل در جاده.....
۲۱	اهداف مقررات همگون.....
۲۲	اصول پایه گروه بندی.....
۲۳	سیستم گروه بندی پیشنهادی.....
۲۴	توضیح سیستم گروه بندی.....
۲۸	نتایج استفاده از سیستم گروه بندی کالاهای خطرناک.....

فصل ۵: مدل کمی ارزیابی ریسک (QRAM) ۳۰

توضیح مسأله..... ۳۰

هدف..... ۳۱

شاخصها..... ۳۱

سناریو های تصادف ۳۴

ارزیابی احتمال تصادف..... ۳۶

برآورد پیامدهای فیزیولوژی و آسیبهای سازه ای و محیط زیستی ۳۶

ارزیابی پیامد ها در تونل و سطح آزاد جاده..... ۴۳

احتمال فرار / پناه گرفتن..... ۴۴

تحلیل حساسیت..... ۴۶

فرآیند معتبر سازی..... ۴۷

فصل ۶: طرح پشتیبانی از تصمیم (DSM) ۴۹

تعریف یک مساله تصمیم گیری..... ۵۰

ورودیهای مدل پشتیبانی از تصمیم گیری (DSM)..... ۵۳

ارزیابی و انتخاب ابزارها و روش های پشتیبانی از تصمیم..... ۵۳

برنامه کامپیوتری DSM ۵۴

پیشنهادهای..... ۵۶

فصل ۷: تمهیدات کاهش ریسک..... ۵۸

اهداف و مطالب..... ۵۸

تمهیدات کاهش ریسک..... ۶۰

تاثیر بخشی اقدامات کاهش خطر منطقه ای..... ۷۰

تاثیر اقدامات کاهش خطر فرمانطقه ای در رابطه با احتمالات تصادف ۷۷

اقدامات کاهش ریسک " فرمانطقه ای " منوط به واکنش و عکس العمل زمان..... ۸۲

ملاحظات نهایی..... ۸۹

منابع..... ۹۱

لغات تخصصی..... ۹۲

فهرست شرکت کنندگان..... ۹۳

خلاصه اجرایی و پیشنهادات

ترافیک جاده‌ای (به خصوص ترافیک حمل کالاهای سنگین) بطور پیوسته در حال افزایش می‌باشد. به علاوه همگام با پیشرفت روشهای ساخت، تونلها به عنوان سازه‌های اقتصادی هم برای شرایط خاص و سخت جغرافیایی و هم برای عبور از فضای درون شهری با حداقل تخریب محیط اطراف در بسیاری از کشورها مطرح شده‌اند. بسیاری از روشهای ساخت و رعایت موارد ایمنی در حین ساخت و بهره‌داری همواره در حال بهتر شدن است، ولی معضل حمل مواد خطرناک در درون تونل هنوز وجود دارد و راه حل قانع‌کننده‌ای برای آن ارائه نگردیده است.

وقوع یک حادثه هنگام حمل مواد خطرناک درون تونلها از جنبه‌های زندگی انسانها، محیط زیست، آسیب‌رسانی به تونل و به هم زدن نظم ترافیک معمولاً بسیار هزینه‌بر می‌باشد. از سوی دیگر منع عبور مواد خطرناک از تونلها باعث اعمال هزینه‌های اقتصادی اضافی می‌شود. به علاوه، گاهی بهره‌برداران مسیرهای خطرناکتری - مانند مناطق پرجمعیت‌تر - را جهت انتقال فراورده‌های خود انتخاب می‌کنند که اغلب خطر بالقوه عبور این کالاها را افزایش می‌دهد. قوانین و مقررات نقل و انتقال مواد خطرناک به طور قابل ملاحظه‌ای بین کشورهای مختلف و حتی درون کشورها تفاوت می‌کند.

تعریف "قانون و مقررات محلی"، باعث انتقال مسئولیت، تصمیم‌گیری و تقویت مراجع و افراد محلی یا ایالتی، مالکان تونل یا نظرات "کارشناسی" می‌شود. در بیشتر مناطق، هیچ قانون عمومی که قابل اعمال بر همه تونلهای راه در مقیاس ملی باشد، وجود ندارد.

یکی از دلایل عدم وجود مقررات سیستماتیک، ابزارآلات و پارامترهای محدود جهت ارزیابی ریسکها و انجام تصمیم‌گیری می‌باشد. این فرایند یک پروژه گسترده می‌باشد که هم قوانین و هم بحثهای فنی را شامل می‌شود. یک سیستم مقررات بین‌المللی به روش کاملاً علمی بوجود آمده است. ابزاری چند جهت تصمیم‌گیری در مورد هر تونل خاص نیز تهیه گشته است.

قوانین پیشنهاد شده

در حال حاضر، چگونگی حمل کالاهای خطرناک نیازمند مراجعه به مقررات مختلف که هر کدام فهرست مفصلی از بارهای مجاز یا منع شده در تونلهای مختلف را در بردارد، با فرض اینکه راننده از وجود چنین محدودیتهایی آگاه است، می‌باشد. اما از مقررات همیشه پیروی نمی‌شود و یکی از دلایل آن مشکلات درک و کنترل این نوع کالاها می‌باشد.

تحت سیستم پیشنهاد شده در این گزارش، ادارات مسؤول در وضع قوانین برای هر تونل به صورت جداگانه آزاد خواهند بود. با این وجود، مقررات در همه جا با توبه لیست کالاهای خطرناک که مجاز یا غیرمجاز میباشند، معمولاً یکسان وضع می‌گردد.

این فهرستها اغلب به نام "گروه بندی کالاهای خطرناک و یا بطور خلاصه" گروه بندی "شناخته می شوند. وضع و اعمال سیستم پیشنهادی موجب ارتقای ایمنی می گردد، چرا که پیروی از قوانین و مقررات همگون نظارت بر اجرای آنها نیز آسان تر می باشد. به علاوه، این مقررات باعث ایجاد تسهیلاتی در مدیریت حمل و نقل بین المللی می شود.

در سیستم پیشنهاد شده در این گزارش، تمامی کالاهای خطرناک در تعدادی گروه قرار می گیرد. این کار باید طوری انجام گیرد که تمامی کالاهای یک گروه را در یک تونل مشخص بتوان با یکدیگر پذیرفت و به قصد عملی شدن این سیستم تعداد گروهها نیز بهتر است تا حد امکان کوچک باشد.

سیستم پیشنهادی بر این فرض قرار دارد که سه گروه خطر بالقوه در تونلها باعث ایجاد تلفات انسانی و آسیب به سازه تونل می شوند.

- انفجار

- آزاد شدن گازها یا مایعات قابل تبخیر سمی

- آتش

نتایج اصلی خطرات مذکور و تمهیدات احتمالی کاهش آنها، به طور خلاصه به شرح زیر می باشد:

انفجارهای بزرگ - دو نوع مختلف انفجار با بزرگی متفاوت به شرح زیر قابل بیان هستند:

"انفجارهای خیلی بزرگ" - معمولاً در اثر آتش بوجود می آید (انفجار پیشرونده بخار مایع جوشان - BLEVE -

که با طوفان آتش همراه است و اصطلاحاً به "BLEVE داغ" معروف می باشد)، اما سایر انفجارها ممکن است دارای پیامدهای مشابهی باشد.

"انفجار بزرگ"، معمولاً در اثر انفجار مایعات غیر آتشگیر تحت فشار هنگام آتش سوزی بوجود می آید

(BLEVE بدون طوفان آتش که به نام "BLEVE سرد" شناخته می شود).

انفجار "خیلی بزرگ" ("BLEVE داغ" یا معادل آن) همه افراد حاضر در کل تونل یا طول قابل ملاحظه ای از آن

را نابود می سازد و باعث ایجاد خسارات احتمالی به ابزارآلات نصب شده درون تونل و حتی سازه تونل نیز می گردد.

پیامدهای یک "انفجار بزرگ" ("BLEVE سرد" یا معادل آن) مخصوصاً از جنبه آسیب وارده به سازه تونل محدودتر

می باشد. بطور کلی به خصوص در مورد اول هیچگونه شانس جزیی جهت کاهش پیامدهای رویدادهای مذکور وجود ندارد.

آزاد شدن وسیع گازهای سمی

آزاد شدن وسیع گازهای سمی در اثر نشت از تانکرهای محتوی یک گاز سمی (تحت فشار، مایع شده، محلول

در مایع) یا یک مایع سمی قابل تبخیر بوجود می آید. این امر باعث کشته شدن تمامی افراد نزدیک محل نشت و

محلهایی که تهویه تونل (طبیعی یا مکانیکی) گاز را هدایت می کند، می شود. قسمتی از تونل در مقابل آن قابل حمایت

می باشد، ولی به خصوص در لحظات اول حادثه امکان محافظت از کل تونل وجود ندارد.

آتش سوزی‌های بزرگ

بسته به هندسه تونل، ابزارآلات و ترافیک، آتش سوزی‌های بزرگ دارای پیامدهای کم و بیش مهمی از چند قربانی و آسیب محدود به سازه تونل تا چند ده قربانی و آسیب جدی به تونل می‌باشند. ترتیب این خطرات عبارت است از: انفجار، آزاد شدن مواد سمی (گاز یا مایعات قابل تبخیر) و آتش سوزی که مطابق با احتمال کم رویداد آنها و کارایی بیشتر تمهیدات پیشگیرانه می‌باشد. بر پایه فرضیات بالا، یک سیستم با پنج گروه بندی را می‌توان تشکیل داد. این گروه‌ها از A تا E طبقه بندی شده‌اند و هر گروه محدودیت خاص خود را در کالاهای خطرناک مجاز دارند.

گروه A تمامی مواد خطرناک روی جاده مجاز هستند.
گروه B همه موارد گروه A به جز مواردی که احتمال بوجود آمدن یک انفجار خیلی بزرگ را بوجود می‌آورند (BLEVE داغ یا مشابه آن).
گروه C همه موارد گروه B به جز مواردی که منجر به انفجار بزرگ ("BLEVE سرد" یا مشابه آن)، آزاد شدن مواد سمی (گاز یا مایعات قابل تبخیر) می‌شوند.
گروه D همه موارد گروه C به جز آنهایی که منجر به آتش سوزی بزرگ می‌شوند.
گروه E کالاهای بی خطر (به جز آنهایی که نیاز به هیچ علامت خاصی روی وسیله نقلیه ندارند).

گروه A بزرگترین طبقه بندی می‌باشد، این گروه شامل تمامی کالاهای مجاز در حمل و نقل جاده از جمله خطرناکترین آنها می‌شود. گروه E محدودترین گروه می‌باشد و تنها کالاهایی را که نیاز به علامت خاص روی وسایل نقلیه ندارند، یعنی با کمترین خطر، در برمی‌گیرد. در سایر محدودیت‌ها (مانند ممنوعیت کالاهای خطرناک در هر مقدار) برای قانون‌گذاران امکان بازرسی وجود ندارد. هیچ راهی برای تمایز کالاهای گروه E (که نیازی به کارشناسی ندارند) از وسایل نقلیه‌ای که مواد خطرناک حمل می‌کنند غیر از توقف و بازرسی آنها وجود ندارد. همه کالاهای گروه E در گروه D و تمام کالاهای گروه D در گروه C و به همین ترتیب موجود می‌باشد. از این گروه‌بندی می‌توان به منظور وضع قوانین و مقررات متفاوت، مثلاً بصورت زیر، استفاده نمود:

گروه C (۶:۰۰ تا ۲۲:۰۰) - گروه A (۲۲:۰۰ تا ۶:۰۰). بدین معنی که کالاهای گروه A که در گروه C وجود ندارند مجاز به رفت و آمد از ۲۲:۰۰ تا ۶:۰۰ هستند، و کالاهای گروه C در هر ساعتی می‌توانند انتقال یابند.
گروه C (عبور آزاد)، گروه B (با اسکورت). بارهای گروه A که در گروه B وجود ندارند، ممنوع هستند. کالاهای گروه B که در گروه C نیستند تنها با همراهی مقامات مسئول مجاز به حرکت هستند و بارهای گروه C بصورت آزاد می‌توانند در تونلها رفت و آمد کنند.

مدل کمی برآورد ریسک (QRAM)

کمی سازی ریسک حوادثی که کالاهای خطرناک در داخل تونل در آنها دخیل هستند، مشکل می باشد. چرا که پارامترها و متغیرهای متعددی بر احتمال وقوع و پیامدهای آن موثر می باشد. حتی با در اختیار داشتن دانشی وسیع و عمیق، برآورد ریسک برای تمامی اتفاقات، شرایط محیطی و آب و هوایی و غیره آسان نمی باشد. محاسبات کامپیوتری بمنظور ایجاد یک روش مناسب و عقلانی حل این مسأله، ابزاری ضروری به شمار می روند.

بمنظور ارزیابی منطقی و نزدیک به واقعیت ریسکهای مربوطه و وضع مقررات، یک مدل گسترده که تونل و جاده باز را شامل می شود، مورد نیاز می باشد. به دلیل پیچیدگی چنین مدلی، بهتر بود کار در سطح همکاری بین المللی انجام شود. مدل کمی ارزیابی (QRAM) حاصل از این پروژه، یک ابزار منحصر به فرد جهت استفاده در تمامی کشورها می باشد.

یک ارزیابی کامل از ریسکهای موجود در حمل و نقل کالاهای خطرناک نیازمند در نظر گرفتن همه انواع مواد خطرناک، همه حوادث ممکن، طول تونلها، وسایل نقلیه ای که بطور کامل یا نسبی با این مواد بارگیری می شوند، شرایط آب و هوایی گوناگون و تعدادی متغیر دیگر می باشد. از آنجایی که بررسی همه موارد غیر ممکن می باشد، ملزم به ساده سازی هستیم.

در حال حاضر این مدل ۱۳ حادثه را که نماینده گروه بندی ارائه شده در مقررات پیشنهادی است، در نظر گرفته است. اگر گروه بندی مجاز یک تونل تغییر یابد، حوادث محتمل مورد نظر نیز تغییر می یابد. مدل QRAM قادر به تولید شاخصهای ریسک برای گروه بندیهای متفاوت است که از آنها به عنوان پایه ای علمی برای وضع مقررات استفاده می شود. حوادث محتمل در نظر گرفته شده در مدل عبارتند از:

حالات محتمل هر گروه بندی که در مدل QRAM در نظر گرفته شده است

گروه E	آتش گرفتن وسایل نقلیه سنگین بدون کالاهای خطرناک (MW 20)
	آتش گرفتن وسایل نقلیه سنگین بدون کالاهای خطرناک (MW 100)
گروه D	علاوه بر حالات محتمل گروه E عبارتند از: *BLEVE حاصل از گاز مایعات سوختی (LPG) در سیلندرها آزاد شدن اکرولین در سیلندرها
گروه C	علاوه بر حالات محتمل گروه D عبارتند از: آتش سوزی کوچک گاز موتور در مخازن انفجار بخار گاز موتور در مخازن (VCE)
گروه B	علاوه بر حالات محتمل گروه C عبارتند از: آزاد شدن آمونیاک (ammonia) به مقدار زیاد آزاد شدن گاز کلورین (**Chlorine) به مقدار زیاد
گروه A	BLEVE دی اکسید کربن به مقدار زیاد (بدون اثرات گاز سمی) علاوه بر حالات محتمل گروه B عبارتند از: BLEVE گاز مایعات سوختی (LPG) به مقدار زیاد

انفجار بخار (VCE) گاز مایعات سوختی به مقدار زیاد

آتش مشعلی LPG به مقدار زیاد

× گاز کلورین در کشورهایی در نظر گرفته می شود که حمل آن در مقدار مشخص مجاز باشد .

مدل پشتیبان تصمیم گیری (DSM)

روشهای گوناگون پشتیبان تصمیم گیری سالها بصورت تئوری مطالعه شده است و در بسیاری از موارد اعمال گردیده اند. ارزیابی و بررسی روشها و ابزارهای پشتیبان تصمیم گیری نشان می دهد که هیچ راه میانبری برای ایجاد تصمیم گیری در مورد حمل و نقل کالاهای خطرناک وجود ندارد. اهداف گوناگون، که اغلب بصورت بالقوه در یکدیگر تداخل می کنند، باید در معرض یک روش وزن دهی دو طرفه قرار گیرد- مهم نیست که چه مقدار به کمیت درآوردن این اهداف و وزنهای ظریف و حساس می باشد- در مواردی که از ابزار پشتیبان تصمیم گیری غیر فرموله استفاده می شود، وزن دهی بصورت خودکار اعمال می گردد.

هنگامی که در مورد تخصیص گروه بندی حرکت مجاز در تونل بحث می شود، تصمیم گیرنده باید مد نظر داشته باشد که کالای ممنوع شده، باید در مسیرهای جایگزین حمل شود. ریسک و ناراحتی که در این مسیر جایگزین بوجود می آید، مستقیماً بر بهترین گروه بندی از دیدگاه اجتماعی تأثیر می گذارد. بدین معنی که تخصیص گروه بندی همسان به دو تونل مشابه با ترافیک یکسان که راه جایگزین آن تفاوت زیادی با هم دارد، مثلاً در مورد طول و فشردگی جمعیت ساکن، منطقی بنظر نمی رسد.

یکی از مهمترین اهداف تصمیم گیری در مورد تخصیص گروه بندی مجاز در تونل، به حداقل رساندن ریسک مربوط به جان انسانها می باشد، جدا از ریسکهای مربوط به جان انسانها، فاکتورهای دیگری وجود دارد که باید در تصمیم گیری مسیر جابجایی کالاهای خطرناک مدنظر قرار گیرد. رویه تصمیم گیری یک فرآیند پیچیده می باشد و بنابراین یک مدل پشتیبان تصمیم گیری (DSM) بمنظور ایجاد سهولت و کمک به تصمیم گیری منطقی، ضروری می باشد. مواردی که توسط مدل پشتیبان تصمیم گیری (DSM) مورد ارزیابی قرار می گیرد و وزن دهی می شود، عبارتند از:

- آسیب و تلفات وارده: کاربران جاده و جمعیت محلی با استفاده از شاخصهای QRAM به تصمیم گیرنده کمک می نماید که به موارد مورد نظر خود وزن دهد (برای مثال یک تصمیم گیرنده بر پایه ریسک یک حادثه با ۱۰۰ نفر تلفات را نسبت به ۱۰۰ حادثه با یک مورد تلفات کمتر قابل قبول می داند).

- آسیب به مصالح در اثر حوادث محتمل در تونل یا راههای دسترسی.

- آسیبهای زیست محیطی به دلیل حادثه در تونل یا راه دسترسی. شاخص زیست محیطی QRAM محدود می باشد، و تنها شاخصهای تقریبی ریسک زیست محیطی را ارائه می دهد.

- هزینه های مستقیم (هزینه سرمایه گذاری و بهره برداری ناشی از تمهیدات کاهش ریسک تونل به همراه هزینه های اضافی احتمالی در اثر حمل و نقل کالاهای خطرناک).

- ناراحتی استفاده‌کنندگان از جاده در هنگام وقوع حادثه (زمان هدر رفته در هنگام عملیات تعمیر پس از وقوع حادثه).
- آسیب به جمعیت محلی (آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از کالاهای خطرناک، صرف‌نظر از بعضی پیامدهای محتمل حادثه و تنها در نظر گرفتن آسیب‌های روانی به جمعیت محلی).
- هر مورد مربوط دیگری نیز که به ذهن تصمیم‌گیرنده برسد می‌تواند در روال تصمیم‌گیری وارد شود. هنگام تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیرنده باید موارد مربوط و چگونگی وزن‌دهی آنها نسبت به یکدیگر را تعیین نماید. این انتخابها عملکرد تصمیم‌گیرنده را منعکس می‌نماید.
- یک ابزار کامپیوتری جهت در نظر گرفتن موارد بالا به روشی کاملاً علمی و منطقی ایجاد شد. مدل پشتیبان تصمیم‌گیری (DSM) شامل انتخاب بین دو گزینه روش تصمیم‌گیری بایزین (Bayesian) و روشهای چند پارامتری می‌شود. DSM از خروجی‌های QRAM بصورت مستقیم استفاده می‌نماید. سایر داده‌های فنی، مثلاً غرامت پس از وقوع حادثه یا هزینه‌های اضافی انتقال مواد خطرناک در یک مسیر طولانی‌تر، نیز بصورت ورودی به نرم‌افزار وارد می‌شوند. بنابراین تصمیم‌گیرنده تمامی ورودی‌ها را دارد و تنها باید تفاوتها را بر اساس سیاست بهره‌برداری ایجاد نماید.

تمهیدات ویژه کاهش ریسک

چندین روش در تونلها جهت کاهش احتمال وقوع یک حادثه یا کاهش پیامدهای آن، در حال حاضر موجود می‌باشد. همین امر بر مقرراتی که بر اعمال محدودیت حمل کالاهای خطرناک تأثیر می‌گذارد، موثر می‌باشد. مطالعات گسترده‌ای جهت برآورد کارایی این تمهیدات به عنوان قسمتی از این پروژه انجام گرفت.

تعدادی از این تمهیدات در QRAM وجود دارند. از مدل برای آزمایش تأثیر این تمهیدات درون یک تونل استفاده می‌شود. به علاوه، تعدادی اقدامات جدید در دست بررسی می‌باشد که پس از توضیح کامل رویه‌های آنها جهت گسترش مدل موجود QRAM و در نظر گرفتن موارد ایمنی که در نسخه اصلی وجود نداشت، بکار گرفته می‌شوند. مدل‌های کمی و کیفی تحلیل اثرات تمهیدات ویژه کاهش ریسک در این گزارش گنجانده شده است. استفاده از QRAM به همراه این روشها، ارزیابی اثرات این تمهیدات را در یک تونل مشخص ممکن می‌سازد. تأثیر این تمهیدات در هر تونل ویژه خود آن تونل می‌باشد و بستگی به خصوصیات ترافیک و شرایط محلی دارد. بنابراین تأثیر کلی اقدامات قابل اعمال در همه تونلها را نمی‌توان برآورد نمود. به طریقی کاملاً مشابه هزینه‌های این تمهیدات در هر تونل متفاوت می‌باشد. همچنین هزینه‌ها اگر از ابتدا در طراحی و ساخت تونل منظور گردد یا اینکه در عملیات بازسازی تونل اعمال شود، تفاوت بسیاری می‌کند. بنابراین بهتر است هزینه‌ها را برای هر تونل بصورت جداگانه طوری تخمین بزنیم که کارایی یا تأثیر هزینه تمهیدات هر مورد خاص، به صورت منفرد قابل بیان باشد.

تمهیداتی جهت کاهش احتمال یک تصادف		
مربوط به طراح تونل و تعمیر و نگهداری		
سطح مقطع تونل و نمای طراحی	تراز هندسی روشنایی (عادی)	تعمیر و نگهداری روسازی راه (اصطکاک)
مربوط به ترافیک و وسایل نقلیه		
محدودیت سرعت منع سبقت اتومبیلها	عبور با اسکورت فاصله بین وسایل نقلیه	کنترل وسایل نقلیه
تمهیداتی جهت کاهش پیامدهای یک تصادف		
زنگ خطر، اطلاعات، ارتباطات بین اپراتور و واحدهای نجات		
تلویزیون مدار بسته ردیابی خودکار رویداد	ردیاب خودکار آتش ارتباط رادیویی	شناسایی خودکار وسیله نقلیه تلفن اضطراری
ارتباط با کاربران		
تلفن اضطراری ارتباط رادیویی (کاربران)	علایم و نشانه‌های اخطار دهنده	بلندگوها
ارزیابی حفاظت از کاربران		
خروجیهای اضطراری کنترل دود	روشنایی اضطراری ابزارآلات ضد آتش	مدیریت خرابی
کاهش اهمیت تصادف		
وسایل اطفاء حریق تیمهای نجات	زهکشی روسازی راه (غیر متخلخل)	نقشه فعالیت اضطراری عبور با اسکورت
کاهش پیامدهای درون تونل		
سازه مقاوم به آتش	سازه مقاوم در برابر انفجار	

پیشنهادهای

بکارگیری یک قالب فنی و حقوقی ثابت

نتایج حاصل از این پروژه در همه کشورهای که دارای تونل هستند، قابل اعمال می‌باشد. تحلیل ریسک و ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری حاصل از این پروژه، گزینه‌های مختلفی را برای سازمانهای مدیریت جاده در خصوص حمل و نقل کالاهای خطرناک درون تونل فراهم آورده است.

پیشنهاد می‌شود که سازمانهایی که در نظارت و تصمیم‌گیری در حمل و نقل کالاهای خطرناک درون تونل دخیل هستند، از گروه‌بندی کالاهای خطرناک بر پایه موارد ارائه شده در این گزارش استفاده کنند. این سیستم باید در دو تراز جهانی و ملی اعمال گردد.

توصیه می‌گردد که در حین اعمال این مقررات، همه تونلها در یک گروه قرار گیرند. این کار ملزم به استفاده از علائم مخصوص در ورودی‌های تونل و مسیرهای جایگزین دیگر می‌باشد.

استفاده از سیستم "گروه‌بندی"، بستری سیستماتیک و علمی را برای تصمیم‌گیری بوجود می‌آورد. به همین منظور مدل‌های **QRAM** و **DSM** به عنوان بخشی از این پروژه می‌باشند و برای استفاده در همه کشورها به عنوان پشتیبانی برای سیستم گروه‌بندی توصیه می‌شوند.

قالب حقوقی بین‌المللی

در سطح بدنه سازمان، کمیته کارشناسان حمل‌ونقل کالاهای خطرناک سازمان ملل متحد مناسبترین ارگان در حفاظت، ارتقا و توسعه این سیستم گروه‌بندی به نظر می‌رسد. به همین لحاظ توصیه می‌شود که این سیستم در مدل قوانین و مقررات سازمان ملل متحد گنجانده شود و در تمام نقاط دنیا ارتقا یابد. این کار از طریق بکارگیری یک قالب ثابت و یکسان حقوقی در جهت ارتقای حمل‌ونقل بین‌المللی بسیار مهم و موثر می‌باشد.

با تشخیص این مطلب که کمیته کارشناسان حمل‌ونقل کالاهای خطرناک سازمان ملل متحد مسئول وضع قوانین و مقررات چند وجهی می‌باشد، مناسبترین گزینه مخصوص راه در این ارتباط کمیسیون اقتصادی سازمان ملل متحد و گروه کاری ۱۵ اروپا، مخصوص حمل و نقل کالاهای خطرناک، می‌باشد. این گروه کاری مسئول توافقنامه‌های اروپایی در خصوص حمل‌ونقل بین‌المللی کالاهای خطرناک بوسیله جاده (ADR) می‌باشد، که در خلال ۳۴ قرارداد مشغول کار است و پایه‌ای برای قانون‌گذاری در کشورهای عضو جامعه اروپا می‌باشد. به هرحال بسیاری از کشورهای غیر اروپایی میل به بکارگیری این قوانین و مقررات و نیز تمایل شدیدی در مورد چگونگی شکل‌گیری این مقررات دارند. در همین راستا پیشنهاد می‌شود که از سایر کمیته‌های سازمان ملل متحد جهت امضای موارد لازم برای اجرا و حمایت از انجام این مقررات استفاده شود.

کاربرد و ایجاد مدل

ارزیابی کمی ریسک و مدل‌های پشتیبان تصمیم‌گیری نیازمند ورودیهای گسترده و درک عمیق از مدلها و عملکردهای آنها می‌باشند. جهت کمک به کاربران، موارد زیر توصیه می‌شود:

- ایجاد یک پایگاه اطلاعات شامل همه تجربیات مربوط به **QRAM**، که از طریق اینترنت در دسترس می‌باشد.
- این پایگاه اطلاعات باید در برگیرنده تمامی نتایج اجرای این مدل بصورت ملی باشد.
- شبکه‌ای از کاربران با تجربه مدل ایجاد شود که اگر کاربران معمولی در حل مسائل مربوط به مدل مشکلی داشتند بتوانند به آن متصل شوند.

جلسات گروههای جدید کاربران که جهت استفاده از مدلها در سراسر دنیا برگزار می شود. این مجموعه از تجربیات و نتایج به عنوان پایه ای برای توسعه آتی نرم افزار ارزیابی کمی ریسک و آیین نامه مرجع آن بکار می رود. هدف اصلی این است که نرم افزار ارزیابی کمی ریسک را در یک فرآیند پیوسته و با دربرگرفتن همه کاربران و تجربیات آنها، توسعه داد.

منافع مورد انتظار

این پروژه بر حمل و نقل ایمن کالاهای خطرناک بوسیله جاده متمرکز می باشد. پس از بهره گیری از پیشنهادات و کاربرد ابزار توسعه یافته در این پروژه احتمالاً می توان منافع زیر را در خصوص حمل و نقل جاده ای و مدیریت روسازی حاصل نمود:

- کاهش هزینه خسارت وارد به سازه ها و ابنیه فنی جاده ناشی از حوادث تونل یا مسیرهای جایگزین آن،
- کاهش هزینه های زیست محیطی ناشی از حوادث تونل یا مسیرهای جایگزین آن،
- افزایش کارایی شبکه حمل و نقل با اعمال قوانین و مقررات ثابت و یکسان برای حمل و نقل مواد خطرناک درون تونل،
- توسعه کارایی کل سیستم حمل و نقل با کاهش زمان از دست رفته کاربران جاده که در اثر حادثه محتمل ایجاد می شود (زمان تلف شده در اثر پیامد مستقیم یک حادثه، در مسیرهای جایگزین و در حین عملیات تعمیر پس از وقوع یک حادثه در تونل حاصل می شود).
- کارایی بیشتر در جذب و بکارگیری سرمایه درهنگام انجام عملیات ساخت تونل، ابنیه فنی، سیستمهای مدیریتی و تمهیدات کاهش ریسک،
- کارایی بیشتر اپراتورهای حمل و نقل جاده ای ناشی از شناخت و قبول مقررات و انتخاب صحیح مسیر وسایل نقلیه.

فصل ۱

مقدمه

ترافیک جاده (به خصوص ترافیک حمل کالاهای سنگین) در تونل‌های موجود، طی سالیان متمادی افزایش یافته است. همچنین، به دلایل جمعیت یا زیست محیطی، تعداد تونل‌ها در بسیاری از کشورها افزایش یافته است. در حالی که بسیاری از فناوریهای ساخت و ایمنی تونل به طور پیوسته در حال توسعه می‌باشد، به مساله حمل و نقل کالاهای تجاری هنوز رسیدگی نشده است. در یک حادثه جدی حمل مواد خطرناک درون یک تونل از لحاظ جان انسانها، محیط زیست، آسیب به تونل و بی نظمی ترافیک بسیار هزینه‌بر می‌باشد. از طرف دیگر، منع کامل حمل کالاهای خطرناک از درون تونل منجر به ایجاد هزینه‌های بسیار غیرعادلانه‌ای می‌شود. به علاوه، این کار باعث می‌شود که اپراتور از مسیرهای خطرناکتری، مثلاً "مناطق پرجمعیت، استفاده کند و از این طریق باعث افزایش ریسک کلی حمل گردد.

اهداف

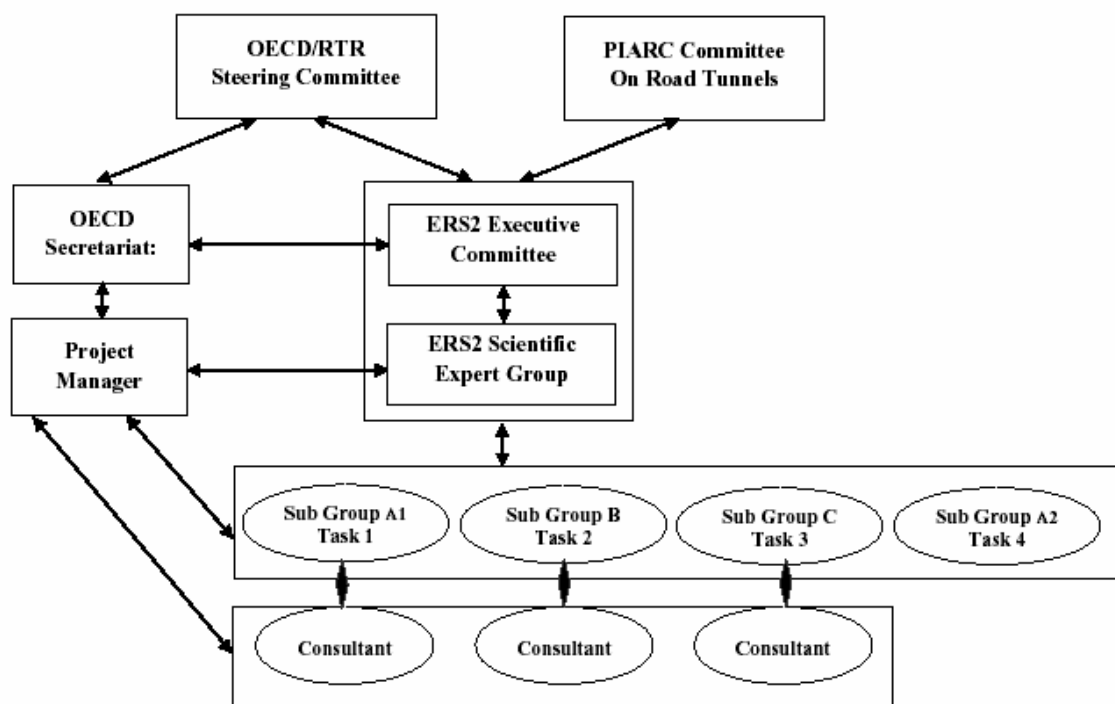
هدف این تحقیق افزایش ایمنی کلی حمل کالاهای خطرناک درون تونل می‌باشد. در پی آن تسهیل در مدیریت حمل کالاهای خطرناک و بنابراین جلوگیری از هزینه‌های غیرضروری و توسعه اقتصادی، حاصل می‌گردد. اهداف آن عبارتند از: فرآیند تصمیم‌گیری حمل کالاهای خطرناک درون تونل که در انتها منجر به ممنوعیت یا اجازه حمل مواد مذکور در تونل‌ها می‌گردد را همگون و ضابطه‌مند می‌سازد.

ارزیابی و توسعه تمهیدات کاهش ریسک حمل کالاهای خطرناک درون تونل و بهینه‌سازی اجرای آنها.

مدیریت و سرمایه‌گذاری این پروژه

با توجه به طبیعت گسترده و پیچیده پروژه، این طرح تنها از طریق همکاری بین‌المللی قابل انجام می‌باشد. پروژه با همکاری متقابل OECD و PIARC و مشارکت اتحادیه اروپا انجام گرفت. دوازده کشور در این مطالعه مشارکت داشتند و کارشناسان خود را در اختیار این پروژه قرار دادند. به علاوه، یازده کشور به همراه اتحادیه اروپا ۵/۵ میلیون FRF را برای سرمایه‌گذاری در قراردادهای تحقیقاتی اختصاص دادند. این کشورها شامل اتریش، دانمارک، فرانسه، ژاپن، هلند، نروژ، سوئد، سوئیس، اسپانیا، انگلستان و ایالات متحده می‌باشند.

شکل ۱-۱ ساختار کلی این پروژه را نشان می‌دهد. کمیته تصمیم‌گیری OECD RTR و کمیته تونلهای راه (C5) تصمیمات اجرایی در خصوص اهداف، چگونگی مدیریت، آماده‌سازی، تامین اعتبار و پیگیری پروژه را اخذ می‌کند. آنها یک کمیته اجرایی جهت نظارت بر امور مالی و سیاسی بحثهای مربوط به پروژه ایجاد کردند. گروه کارشناسی علمی مسئول اهداف جزئی، بودجه، نظارت بر عملیات مشاوران، پیشرفت کلی کار، نتایج و کنترل کیفیت تحقیق می‌باشد. چهار زیر بخش جهت انجام کارهای مختلف بوجود آمد.



شکل ۱-۱ - ساختار کلی پروژه

ساختار گزارش

علاوه بر سنجش پیشنهادات و تصمیمات اجرایی و این فصل، گزارش دارای شش بخش دیگر نیز می‌باشد.

فصل ۲- اطلاعات آتش سوزی‌های بزرگ پیشین درون تونلها

با توجه به خطراتی که آتش‌سوزی درون تونل حتی بدون حضور کالاهای خطرناک دارد، ۳۳ آتش‌سوزی بزرگ در تونلها مورد مطالعه قرار گرفته و خلاصه‌ای از آن در این فصل مطرح شده است.

فصل ۳- مروری بر مقررات کنونی ملی و بین‌المللی

این فصل یافته‌های یک مطالعه انجام شده را در دو قسمت خلاصه می‌سازد: قسمت اول شامل جمع‌آوری و تحلیل داده‌های انجام شده مربوط به این پروژه از کشورهای مختلف می‌باشد. قسمت دوم شامل بازنگریهای عمیق در خصوص اطلاعات جزئی با مسئولین بعضی از کشورهای منتخب و آزمایش کاربرد عملی این مسائل و نتیجه‌گیری خواهد بود.

فصل ۴- گروه‌بندی همگون بارگیری و حمل کالاهای خطرناک

این فصل در مورد پیشنهادات مربوط به گروه‌بندی سیستمهای مختلف کالاهایی که مجاز به حمل درون تونل می‌باشند، بحث می‌نماید. تبعیت از یک سیستم بین‌المللی موجب تسهیل در مقررات حمل کالاهای خطرناک درون تونل یا راههای جایگزین آن می‌شود.

فصل ۵- مدل ارزیابی کمی ریسک (QRAM)

این فصل مروری بر مدل QRAM که مخصوص ارزیابی ریسکهای درگیر در حمل مواد خطرناک در تونلها می‌باشد، خواهد داشت.

فصل ۶- مدل‌های پشتیبان تصمیم‌گیری (DSM)

فصل ۶ در خصوص انواع مختلف DSM و مخصوصاً مدل DSM که برای استفاده از نتایج QRAM و سایر ورودیها جهت تصمیم‌گیری در مورد کالاهای خطرناک مناسب حمل درون تونل طرح شده است، بحث می‌نماید.

فصل ۷- تمهیدات کاهش ریسک (شامل حمل و نقل و بهره‌برداری از تونل)

این فصل تمهیداتی که ریسکهای موجود در حمل کالاهای خطرناک درون تونل را محدود می‌کند، مورد ارزیابی و بررسی قرار می‌دهد. تمهیدات مناسب در هر مورد خاص به همراه ارزیابی هزینه و مشخصات فنی جزئی، پیشنهاد می‌شود.

فصل ۲

اطلاعاتی چند درباره آتش سوزیهای بزرگ قبلی روی داده در تونلها

یافته‌ها:

به عنوان بخشی از این پروژه، اطلاعاتی در مورد آتش سوزیهای بزرگ روی داده در تونل از کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی و نیز آفریقای جنوبی جمع آوری شده است. برخی از این آتش سوزیها در زمانهای دور (از سال ۱۹۴۹) اتفاق افتاده است که دستیابی به اطلاعات جزئی آنها، امری دشوار به نظر می رسد. این پیچیدگی در مورد دستیابی به تمامی اطلاعات ضروری در سایر آتش سوزیها نیز وجود دارد.

این مطالعه ۳۳ آتش سوزی بزرگ تونل شامل آتش سوزی وسایل نقلیه باری سنگین و نیز اتومبیلهای متعدد می شود، که به چهار گروه تقسیم شده است:

- الف) آتش سوزیهای ناشی از گازوئیل (۲ عدد)، گاز (۱ عدد) و سولفات دو کربن (۱ عدد): ۴ آتش سوزی
 - ب) آتش سوزیهای ناشی از محصولات پلاستیکی و دیگر محصولات روغنی یا نفتی: ۷ آتش سوزی
 - پ) آتش سوزیهای که موجب صدمات شخصی شده (به جز نوع الف و ب): ۱۱ آتش سوزی
 - ت) سایر آتش سوزیهای شامل وسایل نقلیه باری سنگین، اتوبوسها و اتومبیلهای متعدد: ۱۱ آتش سوزی
- جزئیات آتش سوزیهای گروههای الف تا پ در جدول ۲-۱ خلاصه شده است.

تنها چهار مورد از آتش سوزی نوع الف دیده شده است. این آتش سوزیها در تونلهای Isola delle femmine در ایتالیا (وسیله نقلیه جاده‌ای شامل مخزن گاز)، تونل Caldecott در ایالات متحده (۱۱ تن دوسولفات کربن) و Chesapeake Bay در ایالات متحده (۲۰۰۰ لیتر گازوئیل) به وقوع پیوسته است. دو مورد اول این آتش سوزیها در اثر تصادف، یکی توسط لاستیک مشتعل و چهارمین آن در اثر زوال محافظ مخزن یک وسیله نقلیه باری سنگین در تونل اتفاق افتاده است. در اثر این آتش سوزیها، ۱۲ نفر کشته و ۲۳ نفر زخمی شدند (۶۶ نفر هم مبتلا به آسیبهایی در اثر استنشاق دود شدند). این آتش سوزیها بیش از ۴ ساعت ادامه داشت.

۷ مورد از آتش سوزی نوع ب دیده شده است. ۲ مورد از این آتش سوزیها در اثر تصادف، ۴ مورد در اثر اشکال در موتور و یکی در اثر یک لاستیک مشتعل به وقوع پیوسته است. در اثر این آتش سوزیها، ۱۲ نفر کشته، ۵ نفر زخمی و ۷۳ نفر مبتلا به آسیبهای در اثر استنشاق دود شدند. اکثر این آتش سوزیها بیش از یک ساعت به طول انجامیده است.

۱۱ مورد از آتش سوزیهای نوع پ دیده شده است. ۹ مورد از این آتش سوزیها در اثر تصادف و دو مورد در اثر اشکال در تونل اتفاق افتاده است. بیشتر صدمات گزارش شده به دلیل تصادف اولیه و قبل از آتش گرفتن روی داده است. در اثر این آتش سوزی، ۷۷ نفر کشته و ۷۳ نفر زخمی شدند.

در مجموع ۳۲ آتش سوزی مطالعه شده (نوع الف تا ت)، ۱۰۳ نفر کشته، ۱۰۱ نفر زخمی و ۱۳۹ نفر مبتلا به آسیبهای ناشی از استنشاق دود شدند. ۸ اتوبوس، حدود ۲۰۰ وسیله نقلیه باری سنگین، حدود ۱۵۰ اتومبیل خصوصی و ۱۵ وسیله نقلیه دیگر توسط آتش از بین رفت. همچنین کالاهای زیر که اکثر آنها جز دسته بندی مواد خطرناک در حمل و نقل نمی باشند، در آتش سوخت. نان، مارگارین و آرد، کاغذ (دو مورد)، ماهی، بارهای موجود در کارتن و کیفهای پلاستیکی، نوشیدنیهای شیرین (دو مورد)، اتومبیلهای خصوصی (۸ مورد)، مخزن سرماساز و کتان.

رنگ (دو مورد)، پلاستیکهای مخصوص گرد و غبار، روغن ماهی، پلی اتیلن (دو مورد)، صمغ کاج و الیاف پلی استر.

سولفات دو کربن، وسایل نقلیه جادهای شامل مخزن گازوئیل (دو مورد) و گاز ...

در ۱۳ مورد از ۳۳ آتش سوزی اتفاق افتاده، حوادث ترافیکی گزارش شد که همه آنها شامل بیش از یک وسیله نقلیه بوده است. ۱۸ مورد از دلایل اصلی بروز مشکلات در وسایل نقلیه فهرست شده است.

(نقایص موتور: ۱۲ مورد، ترمزهای معیوب: یک مورد، جعبه دنده: دو مورد، لاستیک: سه مورد). در یک مورد نیز مخزن محافظ از وسیله نقلیه سقوط کرده و یک آتش سوزی نیز به دلایل ناشناخته روی داده است.

این آتش سوزیها در ۲۰ مورد از یک بارکش / وسیله نقلیه باری سنگین / کامیون، در ۴ مورد از یک اتوبوس، در ۳ مورد از خودرو شخصی، در ۲ مورد از یک واگن باری / خودروی تختخواب دار و در یک مورد از جرثقیل سیار شروع شده است. نتیجه این آتش سوزیها به از بین رفتن ۱۴۷ خودرو خصوصی، مجموع ۲۰۰ بارکش / HGV / کامیون، ۸ اتوبوس، ۳ وانت بار / خودروی کاروان، ۲ وسیله نقلیه مخزن دار، ۲ ماشین آتش نشانی و ۲ موتورسیکلت منجر شد.

اکثر این آتش سوزیها نزدیک به ۱ الی ۵ ساعت به طول انجامید. یک آتش سوزی بیش از ۵۳ ساعت (Mount Blanc France /) و یکی برای مدت ۴ روز (Nihonzaka Japan) به طول انجامید.

جدول ۲-۱: خلاصه‌ای از آتش‌سوزیهای مطالعه شده

نوع آتش‌سوزی	نام تونل	کشور	طول تونل (m)	تاریخ آتش‌سوزی	دلیل آتش‌سوزی	مدت آتش‌سوزی	کالاهای سوخته شده	تعداد تلفات (کشته‌ها)	تعداد زخمی‌ها
A	Holland	ایالات متحده	۲۵۶۷	۱۹۴۹/۵/۱۳	کالاها	۴ ساعت	دو سولفات کربن	۰	۰
A	Chesapeake Bay	ایالات متحده	-	۱۹۷۴/۴/۳	لاستیک	۴ ساعت	گازوییل	۰	۱
A	Caldecott	ایالات متحده	۱۰۸۳	۱۹۸۲/۴/۷	تصادف	۳ ساعت	۳۲ هزار لیتر گازوییل	۷	۲
A	Isola delle femmine	ایتالیا	۱۴۸	۱۹۹۳	تصادف	-	مخزن گاز	۵	۲۰
B	Tauren	اتریش	۶۴۰۰	۱۹۹۹/۵/۲۹	تصادف	۱۵ ساعت	رنگ	۱۲	۰
B	Frejus	فرانسه	۱۲۸۷۰	۱۹۹۳/۵/۵	موتور	۲ ساعت	پلاستیک	۰	۰
B	Porte d'Italie	فرانسه	۴۲۵	۱۹۷۶/۸/۱۱	موتور	۴۵ دقیقه	پلی استر	۰	۰
B	Moorfleet	آلمان	۲۴۳	۱۹۶۹/۸/۳۱	لاستیک	۲ ساعت	پلی اتیلن	۰	۰
B	Hovden	نروژ	۱۲۸۳	۱۹۹۳/۶/۱۳	تصادف	۲ ساعت	پلی اتیلن	۰	۵
B	Guadarrama	اسپانیا	۲۸۷۰	۱۹۷۵/۸/۱۴	گیربکس	۳ ساعت	ضلع کاج	۰	۰
B	Blue mountain	ایالات متحده	۱۳۰۲	۱۹۶۵	موتور	-	روغن ماهی	۰	۰
C	Pfander	اتریش	۶۷۱۹	۱۹۹۵/۹/۱۰	تصادف	۱ ساعت	نان	۳	۰
C	Mt Blanc	فرانسه	۱۱۶۰۰	۱۹۹۹/۳/۲۴	موتور	۵۳ ساعت	مارگارین و آرد	۳۹	۰
C	L Arme	فرانسه	۱۱۰۰	۱۹۸۶/۹/۹	تصادف	-	-	۳	۵
C	Peccorila Galleria	ایتالیا	۶۶۲	۱۹۸۳	تصادف	-	ماهی	۹	۲۰
C	Serra Ripoli	ایتالیا	۴۴۲	۱۹۹۳	تصادف	۳ ساعت	کاغذ	۴	۴
C	Kajiwara	ژاپن	۷۴۰	۱۹۸۰/۴/۱۷	تصادف	۲ ساعت	رنگ	۱	۰
C	Nihonzaka	ژاپن	۲۰۴۵	۱۹۷۹/۷/۱۱	تصادف	۴ روز	-	۷	۳
C	Sakai	ژاپن	۴۵۹	۱۹۸۰/۷/۱۵	تصادف	۳ ساعت	-	۵	۵
C	Velser	هلند	۷۶۸	۱۹۷۸/۸/۱۱	تصادف	۲ ساعت	گلها و نوشیدنی شیرین	۵	۵
C	Huguenot	آفریقای جنوبی	۴۰۰۰	۱۹۹۴/۲/۲۷	گیربکس	۱ ساعت	-	۱	۲۸
C	Gumefens	سوئیس	۳۴۳	۱۹۸۷	تصادف	۲ ساعت	-	۲	۳

از ۳۳ آتش‌سوزی بیان شده، ۱۸ مورد قبل از سال ۱۹۹۰ و ۱۵ مورد در آن سال یا بعد از آن اتفاق افتاده است. با توجه به گزارشهای جمع شده در دهه اخیر، نمی‌توان گفت که تعداد آتش‌سوزیهای رخ داده در این سالها در تونل افزایش داشته است. همچنین تعداد آتش‌سوزیهای به وقوع پیوسته در نیمه اول و دوم دهه ۹۰، یکسان است. از ۲۲ آتش‌سوزی بیان شده در طول روز، ۱۲ مورد بین ظهر تا نیمه شب و ۱۰ مورد در بین ساعت ۶ شب تا ۸ صبح که از جمله زمانهای کم‌ترافیک به شمار می‌آید، اتفاق افتاده است.

نتیجه‌گیری:

بسیار مشکل است که با تکیه بر مقادیر آماری گرفته شده از ۳۳ آتش‌سوزی بزرگ تونل، نتایج روشنی را ترسیم کنیم. مقایسه نسبت بالای تلفات و خسارات با سایر تصادف‌های ترافیکی، این دیدگاه را تایید می‌کند که آتش‌سوزیهای رخ داده در تونل از جمله مشکلات ویژه و جدی به شمار می‌رود. همچنین به این نکته که برخوردها و تصادف‌های ترافیکی باعث وقوع کمتر از ۵۰ درصد این آتش‌سوزیها شده، باید توجه شود. اکثر آتش‌سوزیها در اثر نقایص فنی و الکتریکی در وسیله نقلیه حادث شده است. برای کاهش تعداد آتش‌سوزیها در تونل، باید از پتانسیل برخوردها و تصادفات کاسته شود و در جایی که تصادفی رخ داده، باید هر چه سریعتر کارشناسی دقیقی صورت بگیرد. بسیاری از مشکلات وسایل نقلیه بدلیل رانندگی در سرایشیها و سربالاییهای طولانی و اغلب در ارتفاعات بالا پدیدار می‌شود. بنا به این دلایل، سه اقدام مهم مورد نیاز می‌باشد. این اقدامات عبارتند از نصب وسیله خاموش‌کن خودکار در همه وسایل نقلیه باری سنگین (HGV)، بازرسی منظم و پیگیر و در نهایت ایجاد مکانهایی در بین راه برای استراحت رانندگان طوری که بتوانند وسایل نقلیه خود را در مکانهایی مناسب گذاشته تا خنک شوند.

بسیاری از گزارشهای آتش‌سوزی به این نکته توجه دارد که برای کاهش نتایج تصادفات و آتش‌سوزیها نیاز به وظایف مشخص و واکنشهای مناسب و سریع است. در بیشتر این گزارشها به یک طرح و اقدام فوری و تربیت پرسنل مناسب تاکید شده است. به نظر می‌رسد که بسیاری از رانندگان در برابر آتش نا آگاهند. هرچند که اکثر تونلها مجهز به وسایل اطفای حریق می‌باشند (خاموش‌کنها و شیرهای آتش‌نشانی)، رانندگان نمی‌دانند که چگونه از آنها استفاده کنند. اطلاعات و برنامه‌های آموزشی ارائه شده به رانندگان وسایل نقلیه باری سنگین، می‌تواند یک اقدام بسیار مؤثر در این زمینه باشد.

مطالعات نشان می‌دهد که سازمانهای آتش‌نشانی در اکثر موارد از حوادث آتش‌سوزی آگاه شده و به نظر می‌رسد که واکنش آنها در بیشتر مکانها سریع بوده است. همچنین ماموران آتش‌نشانی اکثر حریقها، حتی آنهایی که با کالاهای خطرناک سروکار داشته‌اند را نیز خاموش کرده‌اند. در یک مطالعه انجام شده در ایالات متحده بر روی آتش‌سوزیهای بزرگ تونل (1984 و Egilsrud)، درباره استفاده از آب‌پاشها در اطفای حریق توضیح داده شده است. در مطالعات OECD (کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی) تنها یکی از متصدیان در پاسخ به سؤالی گفت که استفاده از آب‌پاشها در اطفای حریق امری مفید خواهد بود. تنها در یک مورد، آتش‌سوزی Nihonzaka، مستند است که استفاده از آب‌پاشها مفید واقع شده است. اگر چه در این مورد نیز آتش، بعد از آنکه در ابتدا محاصره شده بود، دوباره گسترش یافت.

در گزارش Egilsrud مسائلی درباره اقدام یا عدم اقدام سازمانهای آتش‌نشانی به اطفای حریق ناشناخته یا کالاهای خطرناک و نیز میزان خطر تهدید کننده آتش‌نشانی مطرح شده است. بسیاری از آتش‌سوزیهای بزرگ مطالعه شده بعنوان بخشی از این پروژه، شامل احتراق کالاهایی است که در طبقه‌بندی کالاهای خطرناک قرار نگرفته است. در حالی که انتظار می‌رفت مشکلات ناشی از احتراق کالاهای خطرناک بیش از آن باشد که در این پروژه نشان داده شده است. در مطالعات انجام شده بعنوان بخشی از این پروژه، تنها ۴

آتش‌سوزی شامل نفت کوره، گاز یا دیگر کالاهای خطرناک بود. سایر محصولات نفتی نظیر پلاستیک نیز شامل ۷ آتش‌سوزی بود. مواد مصرفی در آتش‌سوزیهای باقی مانده شامل محصولات عادی نظیر کاغذ، آرد، گل، نوشیدنیهای شیرین و غیره بود. این نکته نیز مهم است که وسایل نقلیه باری سنگین (HGV)، مخازن بزرگی از سوخت دیزل، نفت و اغلب سیلندرهای کوچک گاز پروپان را حمل می‌کنند.

فصل ۳

مروری بر قوانین و مقررات موجود ملی و بین‌المللی

خدمات این پروژه بازنگری و بررسی قوانین و مقررات ملی و بین‌المللی در خصوص حمل کالاهای خطرناک درون تونل بوده است. مشاورانی جهت سیستماتیک کردن اطلاعات جمع شده از ۲۴ کشور توسط پرسشنامه‌های مخصوص، توضیح جوابها و ارایه پیشنهادهایی جهت عملیات تحلیلی آتی استخدام شدند.

به طور کلی ۲۲ کشور پاسخ دادند که یکی در بین آنها اصلاً تونل جاده‌ای نداشت و لذا تحلیل براساس اطلاعات ۲۱ کشور انجام شد.

اطلاعات تکمیلی و جزئی از ۹ کشور توسط پرسشنامه و مصاحبه حضوری جمع آوری شد. این کشورها شامل اتریش، فرانسه، آلمان، هلند، ژاپن، نروژ، سوئیس، انگلستان و ایالات متحده (ایالت کالیفرنیا) بودند. هدف بررسی و آزمایش تونلهای جاده‌ای موجود، قوانین و مقررات و سیاستهای حمل کالاهای خطرناک درون تونل بود و در خلال این بررسی، مشکلات مقررات حاضر در خصوص روال تصمیم‌گیری، پشتیبانی، بهره‌برداری و حمل و نقل شناسایی شدند.

این فصل یافته‌های دو مطالعه را بطور خلاصه بیان می‌نماید. گزارشهای کامل (OECD و PIARC در سالهای ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷) در اینترنت موجود می‌باشد و یا گاهی اطلاعاتی جهت تحلیل آتی پاسخ به پرسشنامه‌ها به آن اختصاص داده شده است.

تعاریف حمل کالاهای خطرناک توسط جاده در بسیاری از مناطق OECD استاندارد شده است. بعنوان نمونه در اروپا کدهای ADR (موافقتنامه اروپا برای حمل کالاهای خطرناک از طریق جاده) برای تعریف حمل کالاهای خطرناک معمول (یا بصورت پایه‌ای برای آن) می‌باشد. بسیاری از ایالات آمریکا و استانیایی در کانادا از معیارهایی مطابق با مدل مقررات سازمان ملل متحد پیروی می‌کنند. استرالیا و ژاپن برای تعریف کالاهای خطرناک، معیارهای خود را دارند، و استرالیا در حال اجرای سیستم سازمان ملل متحد می‌باشد.

بر خلاف آن، قوانین و مقررات حمل کالاهای خطرناک در تونلها بین کشورهای مختلف یا حتی درون کشورها تفاوت قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر دارد. قوانین و مقررات قابل اعمال به تونلهای خاص در تعدادی از کشورها شکل گرفته است.

تعریف، تصمیم‌گیری، مسئولیت و حمایت از اجرا به مسئولین ایالتی یا استانی، سیاست گذارها، مالکان تونل یا نظرات "کارشناسی" واگذار شده است. در بیشتر قسمتها، هیچ قانون فراگیر یا مقرراتی که در همه تونلهای راه و در سطح ملی قابل اعمال باشد، وجود ندارد.

کم و بیش قوانین و مقرراتی برای تونلها با مشخصات خاص مثل تونلهای زیرآب، تونلهای درون شهری، تونلهای قدیمی یا تونلهایی با حجم ترافیک بالا وضع و اجرا می‌شود. از این قوانین می‌توان به فاصله بین وسایل نقلیه، حد سرعت، محدودیت‌های روزانه/ساعتی، عبور وسایل با اسکورت، یادداشت‌گذاری اجباری کالا، مقدار و نوع ماده، مقتضیاتی در خصوص وسایل نقلیه و تمهیدات خاص تونل و غیره اشاره نمود.

قابل توجه است که کشورها یا مناطقی که دارای تعداد کمتری تونل هستند، اغلب قوانین بیشتر و سخت‌تری برای حمل کالاهای خطرناک در تونلها در مقایسه با کشورها یا مناطقی با تعداد زیاد تونل دارند. برای مثال در اروپا، هلند و منطقه Flemish بلژیک قوانین و مقررات سختی برای حمل بعضی یا تمام مواد خطرناک وجود دارد، در حالی که نروژ (با ۵۷۵ کیلومتر تونل) و ایتالیا (با ۶۰۰ کیلومتر تونل) مقررات بسیار ناچیزی دارند.

در بسیاری از کشورها تصمیم‌گیری درخصوص مقررات حمل کالاهای خطرناک درون تونل، بر پایه ارزیابی‌های کمی ریسک و مقایسه ریسکها نمی‌باشد. بهر حال، تعدادی از کشورها قصد دارند که این مقررات را در آینده در تصمیم‌گیریهای خود لحاظ کنند. مشکلات زیادی از مقررات موجود در خصوص تصمیم‌گیری، حمایت از اجرا، بهره‌برداری و حمل و نقل کالاهای خطرناک درون تونلها وجود دارد.

عمل مجاز شمردن حمل کالاهای خطرناک درون بعضی از تونلها با قوانین موجود برای آن در تناقض می‌باشد. تمایل جدید بر پایه تصمیم‌گیری و براساس مطالعات ریسک در قوانین موجود در نظر گرفته نشده است. مقررات موجود تنها در تونلهای ایالتی اعمال می‌شود، هیچ مقرراتی برای تونلهایی که مالک آنها دولت مرکزی می‌باشد وجود ندارد. تنوع زیاد در مقررات تونلهای مختلف، مشکلاتی را برای رانندگان به وجود می‌آورد و برای راننده، آگاهی از مقررات موجود هر تونل در طول مسیر مشکل می‌باشد.

عدم وجود علائم مناسب و تابلوهای اطلاع رسانی برای ترافیک کالاهای خطرناک، در بسیاری از کشورها یک معضل می‌باشد. در صورتی که یک تونل برای حمل کالای خطرناک مشخص محدودیت یا ممنوعیت داشته باشد، هیچ مقررات خاصی برای نصب علامت مربوط به راه انحرافی وجود ندارد.

گروهی از رانندگان، به خصوص در خارج از کشور، با مقررات و قوانین تونلها آشنا نیستند. اطلاعات درباره مقررات کنونی در گذرگاههای مرزی یا بولتن‌های فدرال به طور برنامه‌ریزی شده ارایه نمی‌شود.

محدودیتها باعث استفاده وسایل نقلیه سنگین از جاده‌ها و مسیرهایی می‌شود که برای حمل اینگونه کالاها مناسب نیستند. بسیاری از معضلات نامبرده را می‌توان با نصب علائم بین‌المللی استاندارد مخصوص جاده، مربوط به محدودیت‌های کالاهای خطرناک و مسیرهای انشعابی موجود حل نمود.

به علاوه، لازم است رانندگان وسایل نقلیه را از مقررات گوناگون موجود، مثلاً از طریق پخش و نشر گسترده اطلاعات در مجلات رسمی یا روزنامه‌ها آگاه نمود. برای رانندگان خارجی، موارد مربوط باید در گذرگاههای مرزی یا ایستگاههای اخذ عوارض ارایه گردد.

اطلاعات بسیار محدودی در خصوص چگونگی تبعیت از مقررات موجود در دسترس می‌باشد، اما قانون‌شکنی‌های بسیاری در تونل‌های بدون کنترل داریم گزارش شده است. به استثنای تونلهایی که از مرز عبور می‌نمایند که کنترل داریم در آنها توسط مأمورین گمرک انجام می‌گیرد، کنترل در بسیاری از موارد به ایست‌های بازرسی (اگر اصلاً موجود باشد) محدود می‌شود.

مسأله قانون شکنی یا عدم تبعیت از قانون، در بسیاری از کشورهای مورد مطالعه، معضل اصلی نبود. برخی از کشورها نقشه‌هایی به شرح زیر جهت توسعه و اصلاح قوانین و مقررات در دست مطالعه دارند:

- انتقال مسئولیت تصمیم‌گیری و حمایت از اجرا از سطح دولتی به سطح محلی.
- مقتضیات سخت‌تر نصب علائم مقررات جاری در هر تونل و مسیرهای انشعابی.
- تنظیم مقررات بصورتی که با مقررات جاری جاده‌ها تناقض پیدا نکند.
- تصمیم‌گیری در خصوص محدودسازی یا اجازه تردد کالاهای خطرناک درون تونل باید بر اساس مقایسه کمی ریسکها بر پایه روش QRA (ارزیابی کمی ریسک) صورت پذیرد.

- معرفی مقتضیاتی در خصوص تمهیدات یا وسایل ایمنی در تونلها که حمل کالاهای خطرناک را مجاز می‌سازد.
- مقررات باید ماهیتی همگون داشته باشد که مثلاً بتوان آنها را در درون کشور، ناحیه یا ایالت و غیره اعمال کرد.
- با افزایش تعداد و پیچیدگی‌های محصولاتی که توسط صنایع شیمیایی تولید می‌شود، تصمیم‌گیری درمورد اینکه کالای مورد نظر در محدوده کالاهای منع شده قرار دارد، مشکل‌تر می‌باشد. این امر عملیات مربوط به آگاه‌سازی رانندگان و تولیدکنندگان مواد شیمیایی و حمایت از اجرای مقررات را گسترده‌تر می‌سازد.

این بازنگری نیاز به انجام این پروژه و وضع قوانین و مقررات و اعمال آنها در حمل کالاهای خطرناک درون تونل را نشان می‌دهد. محتمل است که این مقررات بر اساس پیشنهاد‌های ارایه شده در این پروژه و سایر تجربیات حین اجرا در سالهای آینده تکمیل شوند.

فصل ۴

گروه‌بندی همگون کالاهای خطرناک قابل حمل در جاده

اهداف مقررات همگون

همان طور که در فصل قبل بحث شد، مقررات جاری مربوط به حمل کالاهای خطرناک درون تونل از یک کشور به کشور دیگر و حتی از یک تونل به تونل دیگر در یک کشور تفاوت می‌کند. این امر مشکلاتی را برای حمل‌کننده‌های این کالاها در بر دارد. چگونگی حمل کالاهای خطرناک، با فرض آگاهی حمل‌کننده از چنین مقرراتی، نیازمند در نظرگرفتن قوانین متفاوت که در هر کدام فهرستی متفاوت شامل بارهایی دارای ممنوعیت یا اجازه رفت و آمد در تونلها وجود دارد، می‌باشد. از این قوانین همواره تبعیت نمی‌شود و دلیل اصلی آن مشکلات موجود فهم و اجرای آن است.

همگون سازی مقررات، اهداف زیر را ارضا می‌نماید:

مدیریت و بهره‌برداری، حمل‌ونقل بین‌المللی را تسهیل می‌بخشد و مشکلات فنی تجارت را از بین می‌برد و بهره‌برداری از حمل‌ونقل ملی را آسانتر و ایمن‌تر می‌سازد. از آنجا که تبعیت و حمایت از اجرای مقررات همگون و یکسان آسانتر می‌باشد، این امر موجب افزایش ایمنی می‌گردد.

این فصل یک بخش بحث برانگیز را تشکیل می‌دهد و به افراد مشتاق و مسئول مقررات بین‌المللی حمل کالاهای خطرناک ارایه می‌شود. علاوه بر اعضای کمیته‌های OECD و PIARC این پروژه در میان کمیته کارشناسان حمل کالاهای خطرناک سازمان ملل متحد، گروه کاری شماره ۱۵ کمیسیون اقتصادی سازمان ملل متحد در حمل کالاهای خطرناک و کمیته فنی حمل کالاهای خطرناک کمیسیون اروپا نیز در جریان می‌باشد.

اصول پایه گروه‌بندی

مقررات همگون به معنی اعمال مقررات مشابه برای همه تونلها، یا برای دو تونل یکسان در دو محل متفاوت، تفاوت نمی‌کند. تنها نکته ضروری این گونه مقررات این است که باید به یک شکل در همه مکانها بیان شود، بدین معنی که آنها باید به فهرستهای مشابهی از کالاهای خطرناک که منع یا مجاز شمرده می‌شوند، اشاره کنند. به این فهرستهای معمول، در اینجا "گروه‌بندی کالاهای خطرناک قابل حمل (یا بطور خلاصه "گروه‌بندی")" اطلاق می‌شود. "کالا" نه تنها به طبیعت بارهای حمل شده اشاره می‌کند، بلکه به چگونگی حمل آنها به صورت توده یا بسته بندی شده و وجود مواد خطرناک مختلف در یک خودرو اشاره می‌نماید ("واحد حمل و نقل" در واژه‌های حقوقی).

سیستم پیشنهادی بر این اساس است که گروه‌بندی کالاهای خطرناک در تمامی تونل‌های کشورهای مختلف یکسان می‌باشد. رویه تصمیم‌گیری تحت تأثیر این مقررات قرار نمی‌گیرد و مسؤولیت مقامهای مسؤول تلقی می‌شود (پیشنهادها برای روال تصمیم‌گیری گنجانده شده است). به هر حال تصمیم‌گیری باید بر اساس گروه‌بندی بین‌المللی کالاهای خطرناک انجام گیرد.

گروه‌بندی در پنج گروه اصلی (A، B، C، D و E) انجام می‌شود، که بر حسب کاهش محدودیت کالاهای قابل حمل در تونل از A تا E مرتب می‌شوند. گروه A، بزرگترین طبقه بندی می‌باشد که شامل همه کالاهای قابل حمل، حتی خطرناکترین آنها می‌شود. گروه E محدودترین گروه است که تنها شامل کالاهایی می‌شود که نیازی به علامت خاص هنگام حمل ندارند. این گروه شامل کم خطرترین کالاها است. اجرای محدودیت‌های بیشتر (مانند منع حمل کالاهای خطرناک در هر مقدار) برای مقامات مسؤول تقریباً غیر ممکن می‌باشد. هیچ راهی برای مسؤولین محلی برای تشخیص کالاهای گروه E (که نیازی به علامت خاصی جهت حمل ندارند) از وسایل نقلیه‌ای که هیچ کالای خطرناکی حمل نمی‌کنند، غیر از متوقف ساختن آنها، وجود ندارد. همه کالاهای موجود در گروه E، در گروه D وجود دارند و همه کالاهای گروه D در گروه C وجود دارند و به همین ترتیب. از این گروه‌بندیها جهت وضع مقررات گوناگون به شرح زیر استفاده می‌شود. به علاوه، این گروه‌ها پایه‌ای جهت وضع مقررات پیچیده به شمار می‌روند. چند مثال از این مقررات در زیر ارائه می‌شود:

گروه C (۶ صبح تا ۱۰ شب) - گروه A (۱۰ شب تا ۶ صبح)

گروه C مجاز به حرکت از ساعت ۶ صبح تا ۱۰ شب و گروه A مجاز به حرکت از ۱۰ شب تا ۶ صبح هستند. بدین معنی که کالاهایی که در گروه A هستند و در گروه C نیستند تنها مجاز به حرکت از ساعت ۱۰ شب تا ۶ صبح می‌باشد و کالاهای موجود در گروه C در همه ساعات شبانه روز مجاز به رفت و آمد می‌باشند.

گروه C (عبور آزاد) - گروه B (عبور با اسکورت)

حمل کالاهای موجود در گروه A و گروه B ممنوع است. کالاهایی که در گروه B هست و در گروه C نیست، مجاز به حرکت با اسکورت می‌باشند و کالاهای گروه C می‌توانند آزادانه درون تونل تردد نمایند.

سیستم گروه‌بندی پیشنهادی

خطرهای اصلی در یک تونل

منع ورود و حمل کالاهای خطرناکی که در جاده عبور آنها بلامانع است، در یک تونل هنگامی توجیح می‌یابد که احتمال وقوع تصادفهای جدی (برای مثال تلفات انسانی زیاد یا آسیب غیر قابل قبول به تونل) در تونل بیشتر از جاده یا آزادراه باشد. بدین معنی که کالاهای خطرناکی که موجب تلفات زیاد یا آسیب جدی به تونل نمی‌شود، نباید در چنین تصمیم‌هایی در نظر گرفته شوند (برای مثال مایعاتی که تنها در صورت تماس، خطرناک تلقی می‌شوند). سیستم گروه‌بندی پیشنهادی با این فرض که در یک تونل سه خطر عمده باعث ایجاد تلفات انسانی یا آسیب جدی به سازه تونل می‌شود، در این گزارش بیان شده است:

- انفجار

- آزاد شدن گاز سمی یا مایعات فرار سمی

- آتش

پیامدهای اصلی این خطرات و کارآیی تمهیدات کاهش این گونه اتفاقات، به شرح زیر قابل بیان می‌باشد:

"انفجارهای بزرگ"، دو سطح مختلف از انفجارهای بزرگ قابل تمایز هستند:

- انفجارهای "خیلی بزرگ"، به طور خاص در اثر انفجار مایعات LPG (گازهای سوختی مایع شده) تحت تأثیر حرارت در حجم زیاد و انفجار بخار متصاعد شونده مایعات جوشان - BLEVE - به همراه آتش که معمولاً به نام "BLEVE داغ" معروف است، روی می‌دهد و سایر انفجارها می‌تواند پیامدهای مشابهی داشته باشد.

- انفجارهای "بزرگ"، به طور خاص در اثر انفجار کالاهای گاز تحت فشار غیر آتشگیر تحت تأثیر درجه حرارت روی می‌دهد (معمولاً به نام "BLEVE سرد" معروف می‌باشد).

یک انفجار "خیلی بزرگ" تمامی افراد حاضر در تونل یا در طول قابل ملاحظه‌ای از آن را از بین می‌برد و آسیب قابل ملاحظه‌ای به آلات نصب شده در تونل و سازه تونل وارد می‌کند. پیامدهای انفجار "بزرگ" ("BLEVE سرد" یا معادل آن) از مورد اخیر به خصوص در مورد آسیب به سازه تونل، محدودتر می‌باشد.

اغلب احتمال کاهش پیامدهای حاصل از دو انفجار اخیر، خصوصاً در مورد اول وجود ندارد.

آزاد شدن گاز یا مایعات فرار سمی، رها شدن گازها یا مایعات فرار سمی در سطح گسترده در اثر نشت از کانتینرهای حمل‌کننده این مواد (فشرده، مایع شده یا محلول) یا مایعات فرار سمی بوجود می‌آید. این پدیده موجب مرگ تمامی افراد اطراف آن و همچنین ناحیه‌ای که تهویه (طبیعی یا مکانیکی) بخار سمی را به آن منتقل می‌کند، می‌شود. قسمتی از تونل در برابر گازهای سمی قابل حفاظت است، ولی حفاظت از کل تونل، به خصوص در لحظات اولیه نشت امری محال می‌باشد.

آتش‌سوزیهای بزرگ، بر حسب هندسه تونل، نوع ترافیک و ابزارآلات، یک آتش‌سوزی بزرگ قادر است از چند قربانی تا دهها قربانی به جا گذارد و آسیب جدی به سازه تونل وارد کند.

ترتیب خطرات: انفجار، گاز سمی (گاز یا مایعات فرار) و آتش‌سوزی بر حسب کاهش خطر پیامدهای تصادف و افزایش کارآیی تمهیدات پیشنهادی کاهش ریسک، انتخاب شده است.

توضیح سیستم گروه‌بندی

بر پایه فرضیات بالا، یک سیستم با پنج گروه به شرح زیر پیشنهاد می‌گردد :

گروه A	همه کالاهای خطرناکی که مجاز به رفت و آمد در سطح جاده‌ها می‌باشد.
گروه B	همه کالاهای گروه A غیر از آنهایی که منجر به انفجارهای بزرگ می‌گردد (" BLEVE " داغ " یا معادل آن).
گروه C	همه کالاهای گروه B غیر از آنهایی که منجر به انفجارهای بزرگ (" BLEVE " سرد " یا معادل آن) یا رها شدن گازهای سمی (گاز سمی با مایعات فرار) می‌شود.
گروه D	همه بارهای گروه C به جز بارهایی که امکان آتش‌سوزی در سطح وسیع دارند.
گروه E	هیچ کالای خطرناکی در این گروه وجود ندارد (به غیر از آن دسته از کالاها که نیاز به علامت خاصی جهت حمل ندارد).

در حقیقت از شش گروه‌بندی جهت تمایز بین ریسک حاصل از انفجار بزرگ و رها شدن گازهای سمی می‌توان استفاده کرد. به هر حال انفجارهای " BLEVE " سرد در اثر هر گونه گاز نامشتعل فشرده یا مایع شده که گازهای خطرناک را نیز شامل می‌شود، پدید می‌آید. به همین منظور و جهت کاهش تعداد گروه‌بندیها، سروکار داشتن با گازهای سمی و انفجارهای بزرگ (" BLEVE " سرد) در یک گروه، مناسب به نظر می‌رسد.

راههای مختلفی جهت توضیح گروه‌بندی پیشنهادی براساس تعریف ذکر شده، وجود دارد. آنچه هم اکنون در سراسر جهان شناخته شده است و مورد استفاده قرار می‌گیرد، پیشنهادهای کمیته کارشناسان سازمان ملل متحد در خصوص طبقه‌بندی کالاهای خطرناک می‌باشد. از آنجا که این مدل به قصد فراگیر و چند منظوره بودن طراحی گردیده، به نظر راحت‌تر می‌رسد که از مقررات حمل و نقل جاده که براساس قوانین و مقررات سازمان ملل متحد وضع شده است، استفاده شود. این موافقتنامه اروپا در خصوص حمل بین‌المللی کالاهای خطرناک توسط جاده (ADR) می‌باشد. سیستم پیشنهادی گروه‌بندی در جدول ۴-۱ ارائه شده است.

در جدول، کالاهای خطرناک مجاز پیشنهادی در هر کلاس نمایش داده شده است. در هر گروه از این کالاها اشکال حمل و نقل بصورت توده (کانتینرهای مخزن دار) یا بسته بندی شده (بسته‌ها، کانتینرهای مخزن دار متوسط و بسته بندی بزرگ) در نظر گرفته شده است. این گروه‌بندی بر پایه پیوستهای سال 1999 گزارش ADR که تا سال 2003 (اول ژانویه) معتبر می‌باشد، پیشنهاد شده است. این گزارش از عددگذاری گزینه‌ها ADR (که توسط اعداد مشخص کننده مواد چهار رقمی سازمان ملل متحد جایگزین خواهد شد) و همچنین از تمهیدات " کمیت محدود " بیان شده در پیشنهاد ۱۰۰۱۱ استفاده می‌نماید، که اندکی با سرفصلهای کمیت محدود در مقررات سازمان ملل متحد فصل ۳-۴

متفاوت می‌باشد. در حمل‌ونقل ترکیبی کالاهای خطرناک در یک واحد یکسان حمل‌ونقل، ابتدا گروه هر یک از کالاهای خطرناک شناسایی می‌گردد و برای کل بار، اولین حرف الفبا از گروه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مطابقت با مدل کمی ارزیابی ریسک (QRAM) و مدل پشتیبان تصمیم‌گیری (DSM)

بسیار مهم است که از انطباق بین سیستم گروه‌بندی پیشنهادی و مدل‌های QRAM و DSM اطمینان پیدا کنیم. مدل QRAM باید سناریوهای نمونه تصادف هر یک از گروه‌بندیها را در برگیرد. اگر گروه‌بندی در تغییر یک تونل مجاز باشد، تا شاخصهای ریسک حاصل از مدل QRAM متفاوت باشند، در نتیجه قادر به به تمایز بین گروه‌بندیهای یک تونل می‌گردیم.

مدل DSM باید خروجیهای حاصل از مدل QRAM (و سایر داده‌ها) را به منظور پیشنهاد تصمیم‌هایی بصورت گروه‌بندیهای بهینه کالاهای خطرناک مجاز در یک تونل، مورد پردازش قرار دهد.

جدول ۴-۲ فهرست کالاهایی را که جهت ایجاد مدل QRAM (فصل پنجم) مورد استفاده قرار گرفته است، بیان می‌نماید. نماینده‌ای از هر پنج گروه پیشنهادی معرفی شده است. مدل DSM گروه‌بندیهای مختلفی که مجاز به حمل و تردد درون یک تونل هستند را مد نظر قرار می‌دهد (فصل شش).

جدول ۴-۱: گروه‌بندی کالاهای خطرناکی که در وضع مقررات همگون برای تونلهای راه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

کلاس	گروه‌بندی A	گروه‌بندی B	گروه‌بندی C	گروه‌بندی D	گروه‌بندی E
	همه کالاهای خطرناک که مجاز به حمل و نقل توسط ADR هستند.	همه کالاهای خطرناک بجز آنهایی که احتمال انفجارهای بسیار بزرگ دارند.	همه کالاهای خطرناک بجز آنهایی که احتمال انفجارهای بسیار بزرگ، رها شدن زیاد گاز سمی یا مایع و یا خطر BLEVE سرد را دارند.	همه کالاهای خطرناک بجز آنهایی که احتمال انفجار بزرگ، رها شدن زیاد گاز سمی یا مایع و یا خطر BLEVE سرد و آتش‌سوزی بزرگ را دارند.	هیچ کالای خطرناکی بالاتر از آستانه ADR ۱۰۰۱۱
۱	همه	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱
۲	همه	گازهای A، O، T، TO، TC، TFC، TF، F در مخزن‌ها و تانکرها. تنها در مخزن‌ها.	گازهای A، O و F تنها در مخزن‌ها.	گازهای A، O و F تنها در مخزن‌ها.	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱
۳	همه	همه بجز ۶° و ۷°	همه بجز ۶° و ۷° و ۱° تا ۵°، ۳۱° تا ۳۴° در تانکرها/مخزن‌های تانکر.	همه بجز ۶° و ۷° و مواد در تانکرها/مخزن‌های تانکر.	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱
۴ - ۱	همه	همه بجز ۲۱° تا ۲۵°، ۳۱°، ۳۲°، ۳۳°، ۴۱°، ۴۲°.	همه بجز ۲۱° تا ۲۵°، ۳۱°، ۳۲°، ۳۳°، ۴۱°، ۴۲°.	همه PG ۲ و ۳ بجز ۲۱° تا ۲۵°، ۳۱° تا ۵۰°.	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱
۴ - ۲	همه	همه مواد PG ۲ و ۳ در تانکرها/مخازن تانکر. همه مواد در بسته.	همه مواد PG ۲ و ۳ در تانکرها/مخازن تانکر. همه مواد در بسته.	همه مواد PG ۲ و ۳ در تانکرها/مخازن تانکر. همه مواد در بسته.	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱

کلاس	گروه بندی A	گروه بندی B	گروه بندی C	گروه بندی D	گروه بندی E
۲-۵	همه	همه بجز 1° ، 2° ، 11° و 12°	همه بجز 1° ، 2° ، 11° و 12°	تنها زیر آستانه ۱۰۰۱۱ ADR	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱
۱-۶	همه	موارد ADR 11° تا 28° ، 31° تا 36° ، 41° تا 44° ، 51° تا 68° ، 71° تا 73° و 90° در تانکرها/مخازن تانکرها و بسته بندی.	تمام موارد ADR در گروه بندی B در بسته بندی، PG ۲ و ۳ در تانکرها/مخازن تانکرها.	تمام موارد ADR در گروه بندی B در بسته بندی، PG ۲ و ۳ در تانکرها/مخازن تانکرها.	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱
۲-۶	همه	موارد 3° ، 4° .	موارد 3° ، 4° .	موارد 2° ، 3° ، 4° .	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱
۷	همه همه کالاهای خطرناک مجاز به حمل و نقل توسط ADR	همه کالاهای خطرناک بجز آنهایی که احتمال انفجار بزرگ دارند.	همه بجز UN NOS. 2977 و 2978 . کالاهای خطرناک بجز آنهایی که احتمال انفجار بزرگ، رها شدن زیاد گاز سمی یا مایع یا خطر BLEVEL سرد و آتش سوزی بزرگ را دارند.	همه بجز UN NOS. 2977 و 2978 . کالاهای خطرناک بجز آنهایی که احتمال انفجار بزرگ، رها شدن زیاد گاز سمی یا مایع یا خطر BLEVEL سرد و آتش سوزی بزرگ را دارند.	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱
۸	همه	همه	مواد PG ۲ و ۳ در تانکرها/مخازن تانکرها. همه مواد در بسته ها.	مواد PG ۲ و ۳ در تانکرها/مخازن تانکرها. همه مواد در بسته ها.	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱
۹	همه	همه	همه	همه بجز مورد ۴ در تانکرها/مخازن تانکرها.	تنها زیر آستانه ADR ۱۰۰۱۱

گروه‌بندی	بارهای نماینده برای QRA
بارها	
گروه A	LPG بصورت توده در مخزن، دی اکسید کربن بصورت توده، آمونیاک/کلرین بصورت توده، آکرویلین در مخزن و بصورت توده، سوخت موتور بصورت توده، HGV ۲ بدون کالاهای خطرناک
گروه B	دی اکسید کربن بصورت توده، آمونیاک/کلرین بصورت توده، آکرویلین بصورت توده و درون مخزن، سوخت موتور بصورت توده، LPG در مخزن، HGV بدون کالاهای خطرناک
گروه C	سوخت موتور بصورت توده، LPG در مخزن، آکرویلین در مخزن، HGV بدون کالاهای خطرناک
گروه D	LPG در مخزن، آکرویلین در مخزن، HGV بدون کالاهای خطرناک
گروه E	HGV بدون کالای خطرناک

۱- کلرین در کشورهایی در نظر گرفته می‌شود که حمل آن در مقدار مشخص مجاز باشد.

۲- HGV (Heavy Good Vehicle): وسایل نقلیه مخصوص حمل کالاهای سنگین

نتایج استفاده از سیستم گروه‌بندی کالاهای خطرناک

بازنگری قانون مقررات ملی و بین‌المللی، لزوم وضع مقررات یکسان در خصوص حمل کالاهای خطرناک درون تونل را نمایان ساخت. هدف از سیستم پیشنهادی، طبقه‌بندی تونلها نمی‌باشد بلکه معرفی فهرستی از کالاهای خطرناک (که در اینجا "گروه‌بندی" نامیده می‌شود) می‌باشد که در تمامی مقررات تونل به آنها رجوع شود. انتخاب نوع گروه‌بندی در یک تونل به مسئولین بهره‌برداری از تونل واگذار شده است.

سیستم گروه‌بندی پیشنهادی بر پایه روش ریسکهای حاصل از حمل کالاهای خطرناک درون تونل قرار دارد. این گروه‌بندی با مدل‌های QRAM و DSM ایجاد شده در این پروژه طوری مطابقت دارد که این مدلها قادر به تولید داده‌ها و پیشنهادی می‌باشد که در انتخاب گروه‌بندی دلخواه مجاز به استفاده از یک تونل هستند.

پیشنهاد می‌شود که این گروه‌بندی در قانون و مقررات بین‌المللی و ملی که به حمل کالاهای خطرناک از طریق جاده مربوط می‌شود، گنجانده شود تا حمل کالاهای خطرناک درون تونل از مجموعه قوانین یکسانی پیروی نماید. اصول این گروه‌بندی باید به گونه‌ای انتخاب شود که یکپارچگی مدل‌های QRAM و DSM را حفظ نماید. به هر حال، فرض می‌شود که سازمان ملل متحد نگهبان اجرای این قوانین می‌باشد. بازنگری‌های مرتبی در شماره‌گذاری مواد و کالاها انجام می‌گیرد تا هنگام پیشرفت مدل QRAM تغییرات کوچکی در روال نام‌گذاری و رجوع به این کالاها مورد نیاز باشد. به هر حال باید از جهانی شدن این تغییرات اطمینان حاصل نمود.

یکی از موارد ضروری این سیستم، شفاف سازی و استفاده گسترده از آن می باشد. به همین منظور، هر تونل جاده بر حسب کالای مجاز به حمل در آن طبقه بندی می شود. علاوه بر علامتهای معمول و رایج، مالیات عبور و غیره پیشنهاد می شود که کالای مجاز به حمل در تونل نیز در ورودی و خروجی آن نشان داده شود. انتشار و نصب این علامتها وظیفه اعضای مسؤول مقررات بین المللی در خصوص علایم جاده (برای مثال ECE سازمان ملل متحد برای اروپا) می باشد. هنگامی که چنین سیستمی در تونلها مورد استفاده قرار گرفت، بهتر است در نقشه های جاده و سایر اطلاعات مخصوص رانندگان کالاهای خطرناک مجاز به حمل در تونل را مشخص نمود تا امکانات مسیریابی حمل کالا توسط مسؤلین حمل کالا ارتقاء یابد.

همچنین همسان سازی نرم افزاری، منظور قوانین و مقررات بهره برداری تونل، با استفاده از سیستم گروه بندی پیشنهادی مذکور درجه سازگاری بالاتری دارد. نه تنها حمل کنندگان کالا و بهره برداران تونل قادر به دستیابی به یک نظام ساده و قابل فهم هستند، نیروهای ضامن اجرای مقررات نیز بدون آشنایی با موافقتنامه های پیچیده بین المللی یا قوانین محلی تونل، قادر به ایجاد پستهای بازرسی تصادفی در مسیرهای منتهی به تونل هستند.

فصل ۵

مدل کمی ارزیابی ریسک (QRAM)

حمل کالاهای خطرناک درون تونل ریسکهای زیادی را برای کاربران جاده، سازه‌های فیزیکی، محیط زیست و افرادی که در اطراف تونل یا راههای جایگزین آن رفت و آمد می‌کنند، در بردارد. مسئولین حمل‌ونقل باید در خصوص مجاز بودن حمل کالاهای خطرناک در یک مسیر تصمیم‌گیری کنند و در صورت مجاز بودن، ایمن‌ترین و عملی‌ترین روش ممکن برای حمل این گونه کالاهای را مشخص کنند. مدلها، با فراهم آوردن تخمین دقیق ریسک و وابسته به نوع کالاهای خطرناک، تونلها و سناریوهای حمل‌ونقل، افراد تصمیم‌گیرنده را یاری می‌دهند.

توضیح مسأله

ریسک از دو جنبه قابل تعریف می‌باشد:

- احتمال وقوع یک اتفاق

- پیامدهای وقوع یک اتفاق

از آنجا که احتمال حوادث و تصادفهای ترافیکی کم می‌باشد (احتمال تصادف کالاهای خطرناک از آن هم پایین‌تر است)، کمی‌سازی ریسک امری مشکل تلقی می‌گردد. ولی پیامدهای چنین حوادثی بسیار عظیم و گسترده می‌باشد. فاکتورها و متغیرهای زیادی بر احتمال و پیامد تصادف کالاهای خطرناک در درون و بیرون تونل تأثیر می‌گذارد. حتی با دانش پیشرفته حاضر، ارزیابی ریسک همه پیشامدها، شرایط زیست محیطی و آب و هوایی و غیره مشکل می‌باشد. محاسبات کامپیوتری، ابزار ضروری ایجاد یک راه حل مناسب و علمی برای این مسأله خواهد بود.

مدلهای QRAM سالها جهت تخمین ریسک تردد کالاهای خطرناک در جاده‌های باز با شرایط ترافیکی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین بعضی از کشورهای عضو OECD (هلند، نروژ، فرانسه) مدل‌های QRAM را برای تونل‌های جاده ایجاد نموده‌اند. به دلیل پیچیدگی اینگونه مدل‌ها، این کار تنها با همکاری بین‌المللی به بهترین شکل انجام شد و نتیجه آن ایجاد یک ابزار منحصر به فرد که در همه کشورها قابل استفاده خواهد بود، می‌باشد.

هدف

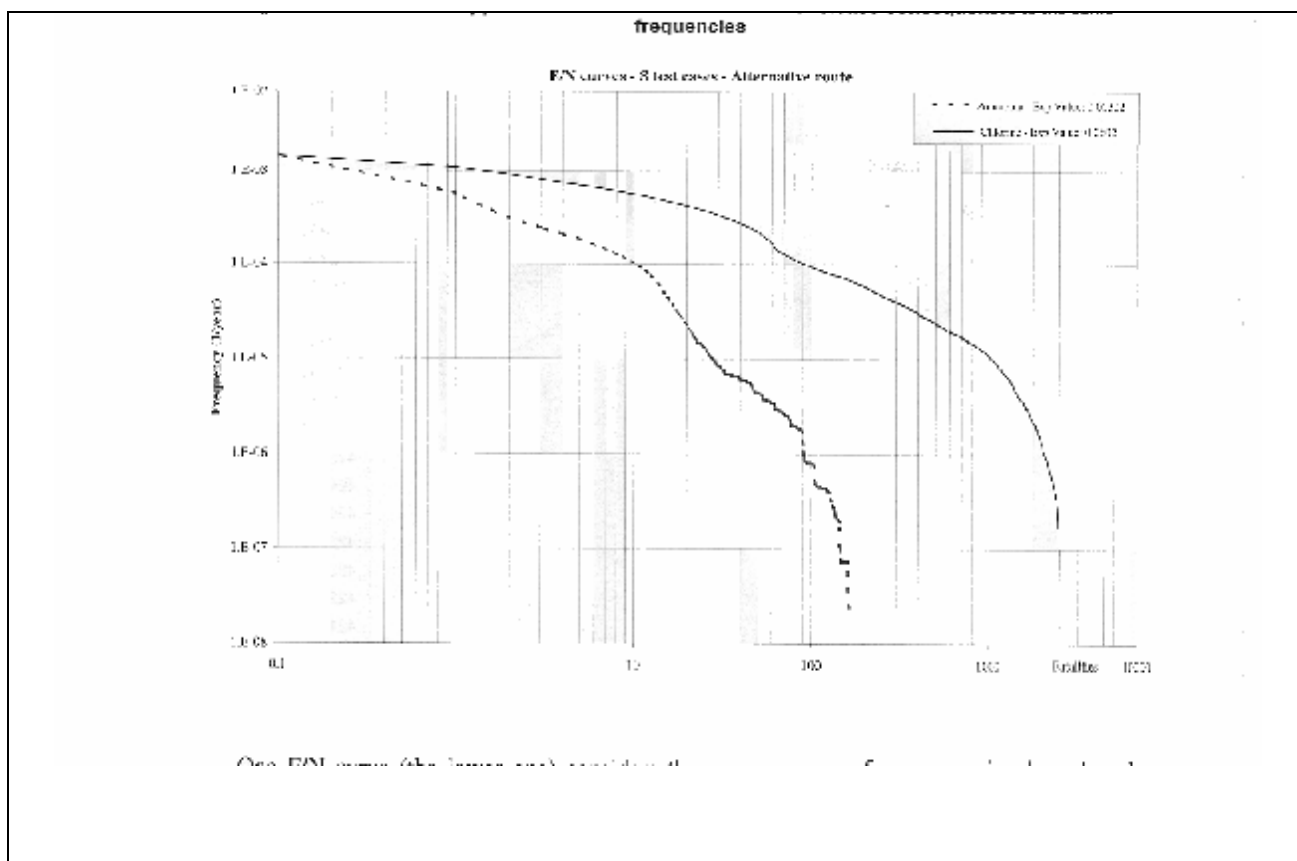
هدف از مدل QRAM کمی‌سازی ریسکهای حمل کالاهای خطرناک در یک مسیر مشخص از سیستم جاده می‌باشد. مقایسه‌ای بین یک راه شامل تونل و یک راه در جاده‌ای باز قابل بررسی می‌باشد. مدل QRAM بر اساس بخشهای زیر بوجود آمد:

- شاخصها
- سناریوهای تصادف
- ارزیابی احتمالاتی یک تصادف
- برآورد پیامدهای فیزیکی، سازه‌ای و آسیبهای زیست‌محیطی
- تحلیل عدم قطعیت و حساسیت
- معتبرسازی
- روش مدل QRAM به قرار زیر است:
- تعداد کمی از نمونه‌های کالا انتخاب می‌شوند.
- تعداد کمی از سناریوهای تصادف که این کالاها را در برداشته است، انتخاب می‌شوند.
- تأثیرات فیزیکی این سناریوها برآورد می‌گردد (برای بخشهای باز و درون تونل).
- اثرات فیزیولوژی این سناریوها بر استفاده کنندگان و افراد محلی تعیین می‌گردد (تعداد کشته‌ها و زخمیها).
- احتمال فرار و پناهگیری مد نظر قرار می‌گیرد.
- احتمال رویدادهای وابسته به آن نیز تعیین می‌گردد.

شاخصها

پیامدهای یک تصادف (اتفاق) تلفات، جراحات، تخریب ساختمان‌ها و سازه‌ها، و آسیب به محیط زیست می‌باشد. در هر فرآیند مدل سازی، به شاخصهای خلاصه‌ای جهت توضیح رفتار سیستم نیاز است. مدل QRAM شاخصهایی جهت نمایش ریسکهای مختلفی به شرح زیر، تولید می‌نماید:

- ریسک اجتماعی
- ریسک انفرادی
- آسیب سازه‌ای (تخمین کم دقت)
- آسیب زیست محیطی (تخمین کم دقت)



شکل ۵- ۱: موارد آزمایش S: اعمال پیامدهای آزاد شدگی آمونیاک و کلرین با فرکانس یکسان

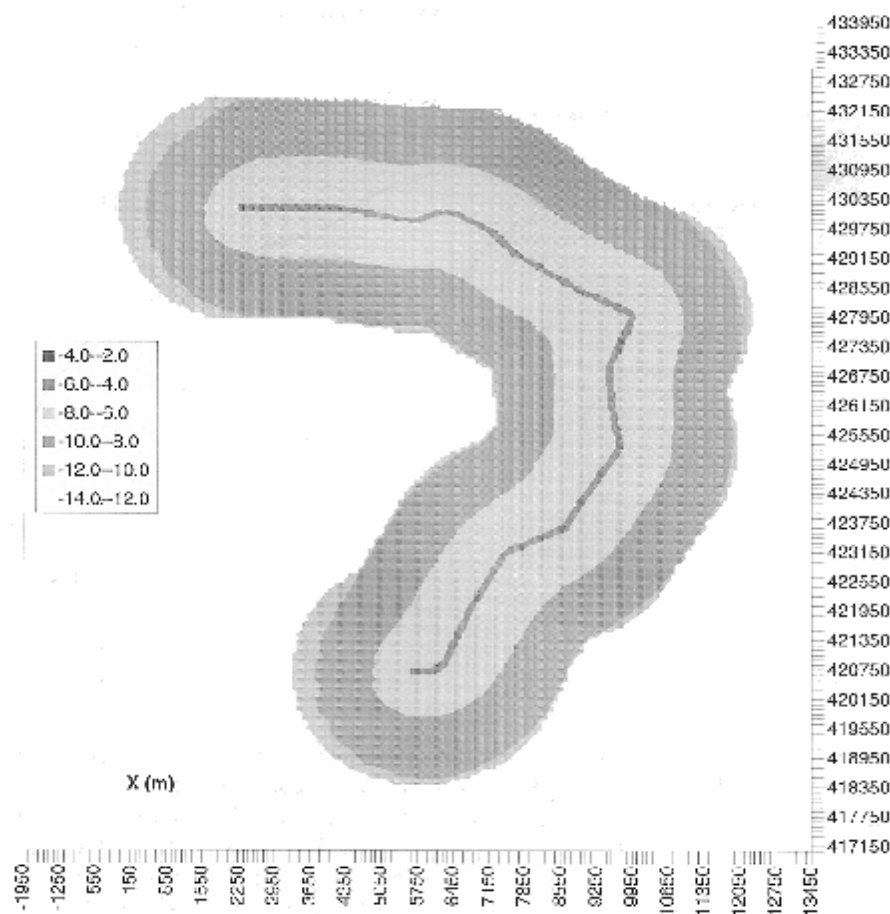
ریسک اجتماعی

یکی از روشهای معمول توضیح ریسک، محاسبه منحنی های F/N می باشد. منحنی های F/N رابط بین تکرار تصادف و شدت تصادف را نشان می دهد. روی محور افقی، تعداد قربانیها X (تلفات و افراد مجروح) بصورت لگاریتمی، و تکرار پیشامد X یا تعداد قربانیهای بیشتری $F(x)$ ، روی محور قائم نمایش داده می شود. برای هر یک از حالت های داده شده (جمعیت، ترافیک، کالای خطرناک، مسیر، آب و هوا و غیره)، یک منحنی F/N ریسک اجتماعی را نمایش می دهد. به عنوان یک نمونه، منحنی های F/N که در آزمایش یک تونل S بدست آمده اند، در شکل ۵-۱ نمایش داده شده اند.

منحنی F/N (منحنی پایین تر) پیامدهای آزادسازی گاز آمونیاک را در یک لوله به قطر ۵۰ میلیمتر نشان می دهد. منحنی دیگر پیامدهای آزاد شدن گاز کلرین را در یک لوله به قطر ۵۰ میلیمتر نشان می دهد. در هر دو مثال، از فرکانسهای یکسان وقوع حادثه استفاده شده است. اختلاف قابل ملاحظه ای بین دو نمودار وجود دارد. و مقادیر مورد انتظار آنها با فاکتور ۲۰ تغییر می کند. به علت اثرات سمی قوی گاز کلرین، حمل و تردد آن در بسیاری از کشورها (از جمله اتریش) ممنوع یا تنها در کمتهایی محدود (مانند فرانسه و کانادا) مجاز می باشد.

ریسکهای انفرادی (شخصی)

شاخص ریسک انفرادی به ریسک تلفات یا جراحات جمعیت محلی در اثر یک رویداد اشاره دارد. ریسکهای انفرادی بصورت تکرار در یک سال بیان می شود. همچنین آنها بر حسب مدت زمان دو اتفاق یکسان، مثلاً میانگین سالهای بین دو اتفاق با یک پیامد مشابه (تلفات یا جراحات) قابل بیان می باشند. QRAM فضای مختص هر ریسک را محاسبه می نماید. نقشه های دو بعدی ریسک انفرادی مفروض برای جمعیت ساکن یا کارگران به صورت روزانه می تواند به صورتیکه در شکل ۵-۲ نشان داده شده است، رسم شود.



یادداشت : مقادیر موجود در راهنمای نقشه توانها ۱۰ دوره تکرار ریسک انفرادی میباشد. برای مثال ۶- تا ۴- سطحی را نمایش می دهد که تکرار آن (اگر بصورت دائم در این منطقه بماند) بین 10^{-4} تا 10^{-6} در یک سال می باشد.

سایر شاخصها

علاوه بر شاخصهای ذکر شده، مدل QRAM تخمینهای کم دقتی از آسیبهای سازه ای و زیست محیطی را نیز محاسبه می نماید.

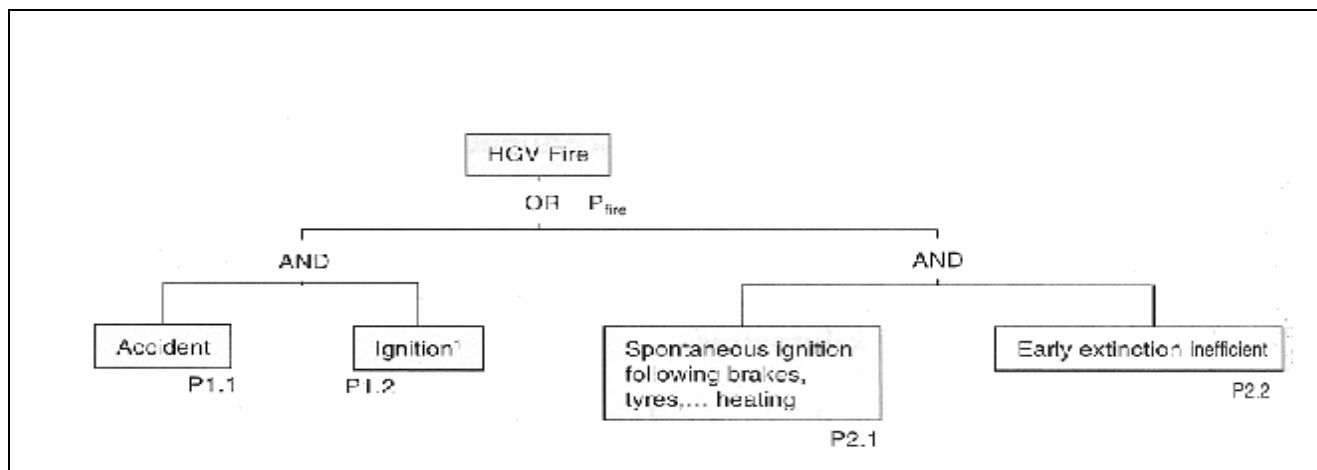
سناریوهای تصادف

یک ارزیابی کامل از ریسکهای دخیل در حمل کالاهای خطرناک نیازمند در نظر گرفتن همه کالاهای خطرناک، شرایط آب و هوایی، تصادفات، طول تونلها، بارگیری کامل یا ناقص وسایل نقلیه و بسیاری متغیرهای دیگر می باشد. از آنجا که همه رویدادها را نمی توان در نظر گرفت، از ساده سازی استفاده می نماییم. همانطور که در جدول ۵-۱ نیز نمایش داده شده است، تعداد محدودی از سناریوهای تصادف مورد نظر قرار گرفته است. دو سناریو آتش سوزی با شدت متوسط و زیاد ناشی از وسایل نقلیه، بدون کالای خطرناک بوده است. این سناریوها ریسک قابل ملاحظه ای در تونل داشته اند: سایر سناریوها ناشی از کالاهای خطرناک می باشد و طوری انتخاب شده اند که گروه های مختلف کالاهای خطرناک (فصل چهارم) را در برگیرد و شرایط جوی مانند فشار بیش از حد، اثرات حرارتی و سمی آزمایش شوند.

جدول ۵-۱: مشخصات مهم ۱۳ سناریوی انتخاب شده

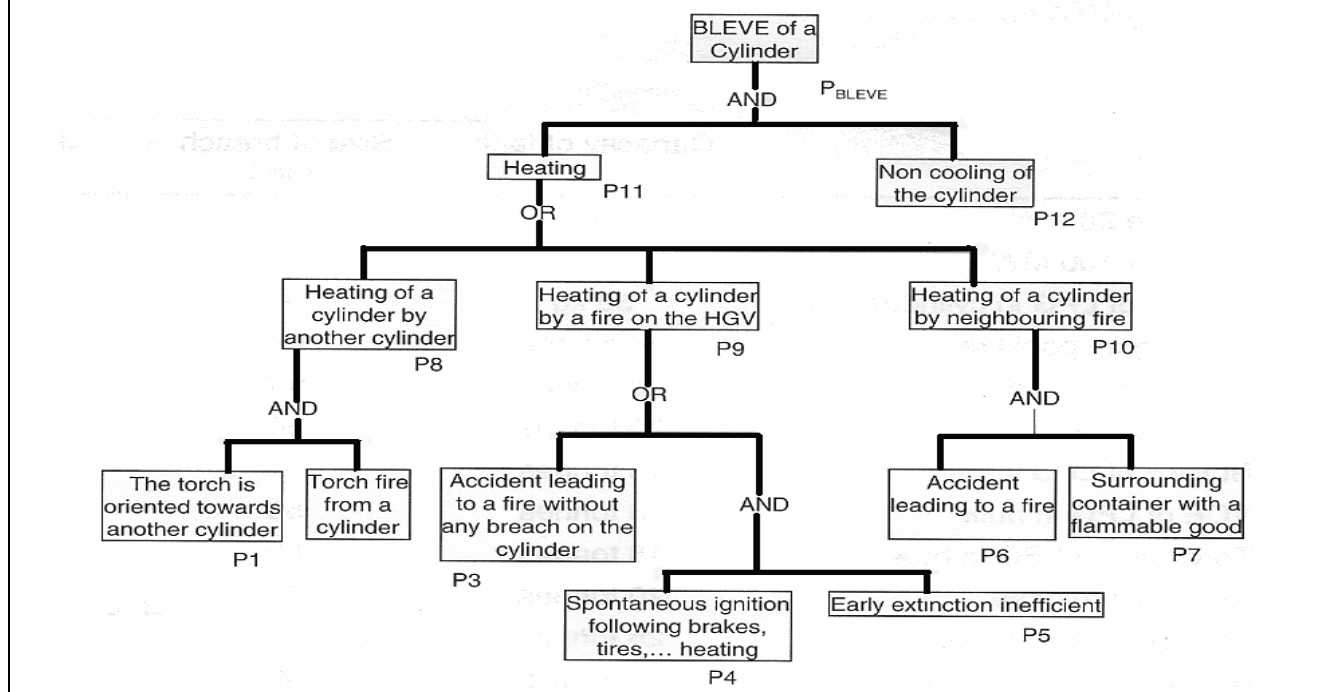
BLEVE: Boiling Liquid expanding Vapour explosion; HGV :Heavy goods Vehicle; LPG: liquid explosion Petroleum gas; VCE: Vapour cloud

شماره سناریو	توضیح	ظرفیت مخزن	اندازه درز (mm)	نرخ جریان ماده (kg/s)
۱	آتش سوزی HGV 20 MW	-	-	-
۲	آتش سوزی HGV 100 MW	-	-	-
۳	BLEVE گاز مایع سوخت در مخزن	۵۰ kg	-	-
۴	حوضچه مواد قابل اشتعال	۲۸ تن	۱۰۰	۲۰/۶
۵	گازهای قابل اشتعال	۲۸ تن	۱۰۰	۲۰/۶
۶	رهاشدن کلر	۲۰ تن	۵۰	۴۵
۷	انفجار پیشرونده بخار و مایع جوشان LPG به صورت	۱۸ تن	-	-
۸	توده	۱۸ تن	۵۰	۳۶
۹	انفجار سرد LPG بصورت توده	۱۸ تن	۵۰	۳۶
۱۰	آتش LPG به صورت توده	۲۰ تن	۵۰	۳۶
۱۱	رها شدن آمونیاک	۲۵ تن	۱۰۰	۲۴/۸
۱۲	رهاشدن آکرولین به صورت توده	۱۰۰	۴	۰/۰۲
۱۳	رها شدن آکرولین در مخزن	لیتر	-	-
	BLEVE دی اکسید کربن به صورت توده	۲۰ تن		
	(بدون در نظر گیری اثرات سمی آن)			



بدون کالای خطرناک HGV شکل ۳-۵: نمودار درختی سناریوی

شکل ۴-۵ نمودار درختی رویداد سناریوی BLEVE ناشی از سوخت گاز مایع (LPG) حمل شده در مخزن (۵۰ کیلوگرمی) را نشان می‌دهد. برای همه سناریوهای در نظر گرفته شده، نمودارهای درختی و معادلات احتمال متناظر با نمودارها، مشابه آنچه در بالا بیان گشت، ساخته شد.



شکل ۴-۵: نمودار درختی رویداد BLEVE سوخت گاز مایع (LPG) در مخزنهای ۵۰ کیلوگرمی

هر سناریو دارای یک نمودار درختی رویداد می‌باشد. شکل ۳-۵ یک نمودار درختی رویداد را برای سناریو-های ۱ و ۲، آتش‌سوزی وسایل نقلیه سنگین بدون کالاهای خطرناک، نمایش می‌دهد. از این نمودار، معادله احتمال زیر قابل استخراج می‌باشد:

$$P_{fire} = P_1 + P_2 = (P_{1.1} + P_{1.2}) + (P_{2.1} + P_{2.2})$$

ارزیابی احتمال تصادف

در این قسمت، هدف تعیین مدت زمان تکرار رویداد یک سناریوی انتخاب شده در قسمت مشخص از مسیر می‌باشد. برای این منظور، مسیر به زیربخشهای یکسان از لحاظ عوامل جاده، ترافیک، کالاهای حمل شده خطرناک، محیط زیست و شرایط آب و هوایی تقسیم می‌گردد. این عمل توسط کاربر مدل که وظیفه تهیه و معرفی داده‌های مورد نیاز ورودی را بر عهده دارد، انجام می‌گیرد.

محاسبات مربوط به سناریو به چهار گروه تقسیم می‌گردد:

- ۱- تعیین نرخ تصادف وسایل نقلیه سنگین (شامل کالای خطرناک یا بدون آن) به ازای هر میلیون-کیلومتر برای کشورهای مختلف، نواحی شهری/برون شهری، جاده‌های دو طرفه یا منفرد، مسیرهای تونل یا سطحی، روسازیهای مناسب یا خراب،
- ۲- برآورد ترافیک (عبور و مرور) وسایل نقلیه سنگین حامل کالاهای خطرناک در بخشهای مختلف مسیر مورد نظر. میزان ترافیک وارد شده توسط کاربر به تعداد کیلومترهای سالیانه وسیله نقلیه برگردان می‌شود،
- ۳- نسبت تصادفات وسایل نقلیه سنگین که منجر به آتش سوزیهای باشدت 20Mw تا 100Mw می‌شود و نسبت وسایل نقلیه سنگین حامل کالاهای خطرناک از هر نوع که منجر به ایجاد یک یا چند سناریو می‌گردد.
- ۴- نرخ سناریو که یک تصادف در آن روی داده است.

گامهای ۱، ۳ و ۴ توسط مدل انجام می‌شود. مقادیر گام ۲ توسط کاربر معرفی می‌شود. مدل برای گام ۳ مقادیر پیش فرضی دارد ولی کاربر نیز قادر است مقادیر مورد نظر خود را به نرم‌افزار معرفی کند. امکان دارد که سناریویی در اثر یک تصادف واقعی بوجود نیاید (مثلاً در اثر گرم شدن بیش از حد ترمزها حاصل شود). چنین اتفاقی، به همراه تصادفها، به نام "رویداد" شناخته می‌شوند. لازم است توجه شود که پایگاههای اطلاعاتی متفاوتی برای تصادفات و اتفاقات وجود دارد. سناریوهای وسایل نقلیه حاوی کالاهای انتخابی مدل، قسمتی از رویدادهای وسایل نقلیه حاوی کالاهای خطرناک می‌باشد (شکل ۵-۵ را مشاهده نمایید). نتایج مشاهدات در جدول ۵-۲ درج شده است.

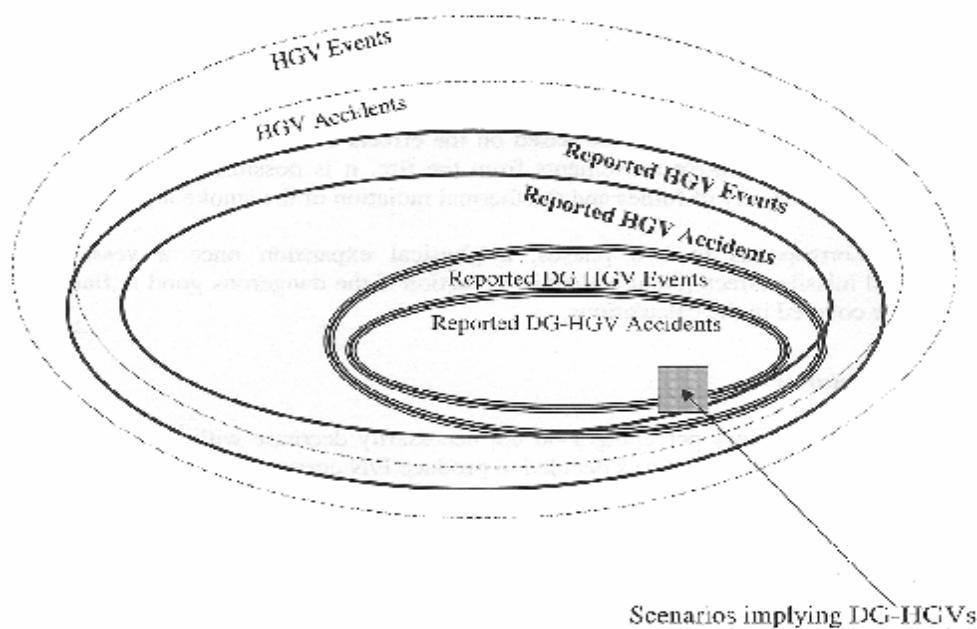
برآورد پیامدهای فیزیولوژی و آسیبهای سازه‌ای و محیط زیستی

جدا از سناریویی که در آن قطعات تا فواصل زیادی پراکنده می‌شود، برگردان پیامدهای فیزیکی به فیزیولوژی معمولاً بوسیله توابع احتمال انجام می‌گیرد.

رها شدن گاز سمی در فضای آزاد، اثرات فیزیکی با یک مدل پراکنده شدن گاز غلیظ ارزیابی می‌شود. در تونلها، واحد پیش حالت دهنده چگونگی حرکت گاز در تونل را بصورت تابعی از محل اتفاق و خصوصیات تونل محاسبه می‌نماید. انفجار بخار متصاعد شده در فضای آزاد با محاسبه هندسی ابر تولید شده در آزمایشگاه محاسبه می‌شود و جرم آتش گیر در مقایسه با کل جرم آزاد شده بدست می‌آید. در تونلها یک مدل ساده مورد استفاده قرار می‌گیرد و محاسبه سطح فشار حاصل از احتراق ابر آتش گیر در تونل مدل ممکن می‌شود.

جدول ۵-۳: طبقه‌بندی نوع آسیب به سازه تونل

تونل روستایی	تونل شهری	راه آزاد روستایی	راه آزاد شهری	مشخصات سناریو			سناریو
				بار	نوع DG	سناریو	
۵-۱E-۰۳	۱-۷E-۰۳	۸-۰E-۰۴	۴-۳E-۰۴	کم	۲	۳	BLEVE پروپان به صورت سیلندر
۲-۰E-۰۲	۲-۸E-۰۳	۴-۵E-۰۳	۲-۷E-۰۳	زیاد	۳	۴	حوضچه مواد قابل اشتغال
۲-۰E-۰۳	۲-۸E-۰۴	۴-۵E-۰۴	۲-۷E-۰۴	زیاد	۳	۵	گازهای قابل اشتغال
۵-۴E-۰۲	۳-۱E-۰۲	۵-۴E-۰۲	۳-۱E-۰۲	زیاد	۱	۶	آزاد شدن کلر
۲-۰E-۰۳	۲-۸E-۰۴	۴-۲E-۰۴	۲-۳E-۰۴	زیاد	۲	۷	BLEVE پروپان به صورت توده
۲-۰E-۰۳	۲-۸E-۰۴	۴-۲E-۰۴	۲-۳E-۰۴	زیاد	۲	۸	VCE پروپان به صورت توده
۲-۰E-۰۲	۲-۸E-۰۳	۴-۲E-۰۳	۲-۳E-۰۳	زیاد	۲	۹	آتش شعله پروپان به صورت توده
۵-۴E-۰۲	۳-۱E-۰۲	۵-۴E-۰۲	۳-۱E-۰۲	زیاد	۱	۱۰	آزاد شدن آمونیاک



شکل ۵-۵: تقسیم‌بندی انواع مختلف تصادفها/ رویدادها

محاسبات آتش مایعات پخش شده (pool fire) در سطح آزاد بر اساس اثرات تشعشع یک حوضچه بزرگ آتش قرار دارد. در تونلها، پس از برآورد حرکات دود ناشی از آتش، محاسبات فاصله‌ای که دود اثرات سمی دارد و انتقال حرارت توسط دود، انجام می‌گیرد.

یک BLEVE از دو فاز تشکیل می‌شود. یک انبساط فیزیکی که طی آن مخزن دچار ترکیدگی شود (فشار بیش از حد یا اثرات موشکی)، و یک واکنش شیمیایی در صورتی که کالای خطرناک آتش‌گیر باشد. هر دو مرحله در محاسبات منظور شده است.

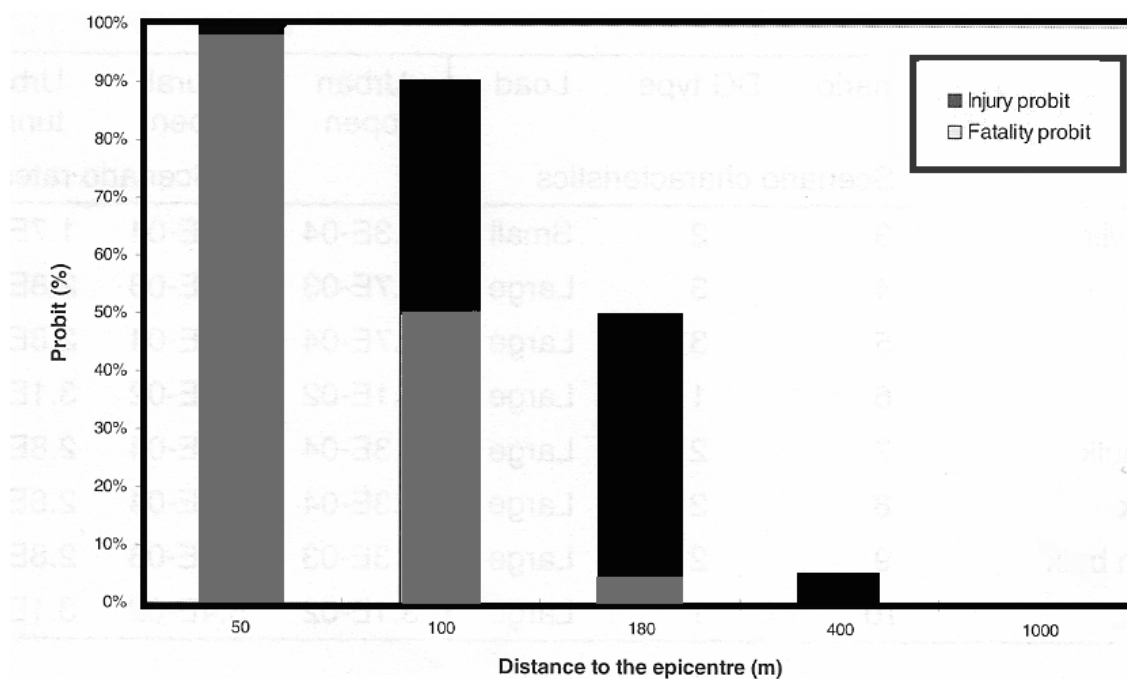
برآورد تلفات

از آنجا که درصد جراحات مانند درصد تلفات با افزایش فاصله لزوماً کاهش نمی‌یابد، نمودارهای F/N برای دو حالت زیر رسم گردید:

– فقط تلفات

– تلفات و جراحات

مقادیر مورد انتظار جراحات فقط از این دو نمودار F/N قابل محاسبه است. این نمودار برای آتش، انفجار و رهاشدن گاز سمی ترسیم شده است.



شکل ۵-۶: مثالی از افزایش درصدها در برابر فاصله برای تلفات و جراحات

آسیب سازه‌ای

به طور کلی، سازه‌ها ساختارهای باربری هستند که خرابی آنها احتمالاً منجر به خرابی کل تونل می‌شود. در تونل‌های حفر شده، این ساختار باربر تنها پوشش (lining) تونل می‌باشد. در تونل‌های حفر و پوشش شده (cut and cover tunnel) سازه کل از اعضای

سناریوی خرابی

۱. سازه تونل (ریزش یا مسایل کل سازه)

۲. سازه‌های داخل شهری شامل مسیرراه (کل سازه مورد بحث نمی‌باشد).

۳. آسیب به ابزار حفاظت شده

۴. آسیب به ابزار حفاظت نشده (مثلاً روشنایی)

تکیه‌گاهی مثل سقف و دیوارهای جانبی تشکیل می‌شود. جدول ۳-۵ چهار گروه خرابی که در مدل QRAM منظور شده را تعریف می‌نماید

جدول ۳-۵: طبقه‌بندی نوع آسیب به سازه تونل

جدول ۴-۵: خلاصه‌ای از خصوصیات کاهش مقاومت مصالح معمول سازه‌ای تونل

مصالح	کاهش موقتی در مقاومت	کاهش دائم در مقاومت
بتن سنگین	کاهش مقاومت در ۳۰۰ درجه سانتیگراد شروع می‌شود و در ۶۰۰ درجه سانتیگراد به ۵۰٪ می‌رسد.	کاهش در مقاومت پسماند از ۳۰۰ درجه سانتیگراد شروع می‌شود.
بتن سبک	کاهش مقاومت در ۵۰۰ درجه سانتیگراد شروع می‌شود و در ۷۵۰ درجه سانتیگراد به ۵۰٪ می‌رسد.	کاهش مقاومت پسماند از ۵۰۰ درجه سانتیگراد شروع می‌شود.
فولاد پیش تنیده و تقویت شده	کاهش مقاومت در ۱۵۰ درجه سانتیگراد شروع می‌شود و در ۴۵۰ درجه سانتیگراد به ۵۰٪ می‌رسد.	کاهش در مقاومت پسماند از ۱۵۰ درجه سانتیگراد شروع می‌شود و در ۴۰۰ درجه سانتیگراد به ۵۰٪ می‌رسد.
سازه‌های فولادی	کاهش مقاومت در ۲۰۰ درجه سانتیگراد شروع می‌شود و در ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد به ۵۰٪ می‌رسد.	کاهش در مقاومت پسماند از ۳۰۰ درجه سانتیگراد شروع می‌شود.

جدول ۵-۵: درجه حرارت‌های نمونه‌ای که در ابزار و وسایل معمول تونل باعث خرابی می‌شوند

نوع ماده	درجه حرارت "خرابی" (سانتیگراد)
پلاستیک حرارتی (جعبه‌ها، پوشش‌های کلید، غلاف کابل)	در ۱۸۰ درجه سانتیگراد ذوب می‌شود.
کابل "MODAR"	تقریباً درجه حرارت حداکثر سرویس آنها ۱۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.
آلیاژ آلومینیوم (قاب روشنایی)	کاهش خصوصیات اصلی آن در ۳۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.
فولاد (براکت‌های تکیه گاهی و جعبه‌ها)	کاهش خصوصیات اصلی آن در ۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.
کابلها	۲۵۰ درجه سانتیگراد برای کابل‌های درجه دو و مدارهای روشنایی نهایی و کابل‌های ارتباطی و ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد برای کابل‌های اضطراری و روشنایی
روشنایی	دما نباید از ۴۰ درجه سانتیگراد بیشتر شود.

تخمین هزینه‌های بازسازی

هزینه‌های بازسازی به نوع تونل، اندازه، محل، روش ساخت و سطح آسیب وارد به تونل ناشی از تصادف بستگی دارد. به علاوه هزینه نیروی کار و مواد اولیه از یک کشور به کشور دیگر متغیر است. بمنظور پرهیز از عدم قطعیت‌های روش‌های مختلف، هزینه بازسازی بصورت درصدی از هزینه کل اولیه ساخت یک تونل با جزئیات مشابه در جدول ۵-۶ ارائه شده است.

جدول ۵-۶: هزینه‌های خرابی گزارش شده برای تونل‌های حفاری شده و تونل‌های حفرو پوشش داده شده

مورد هزینه	تونل حفاری شده	تونل حفرو پوشش داده شده
هزینه‌های عمرانی	۷۷/۵٪	۸۱٪
خاکبرداری	۴۰/۵٪	۱۰٪
پوشش تونل	۲۴٪	۵۲/۵٪
عمران تونل	۵٪	۱۰/۵٪
سایر	۵٪	۵٪
M&E های	۲۲/۵٪	۱۹٪
روشنایی	۴/۵٪	۴٪
تهویه	۲٪	۲٪
تولید نیرو	۴/۵٪	۷٪
سیستم تونل	۱۵/۲٪	۱۳٪
غیره	۸٪	۸٪

برای نرم‌افزار QRA از سیستم هزینه‌ای مختلفی بر پایه هزینه‌های ذکر شده در جدول ۵-۶ استفاده می‌شود.

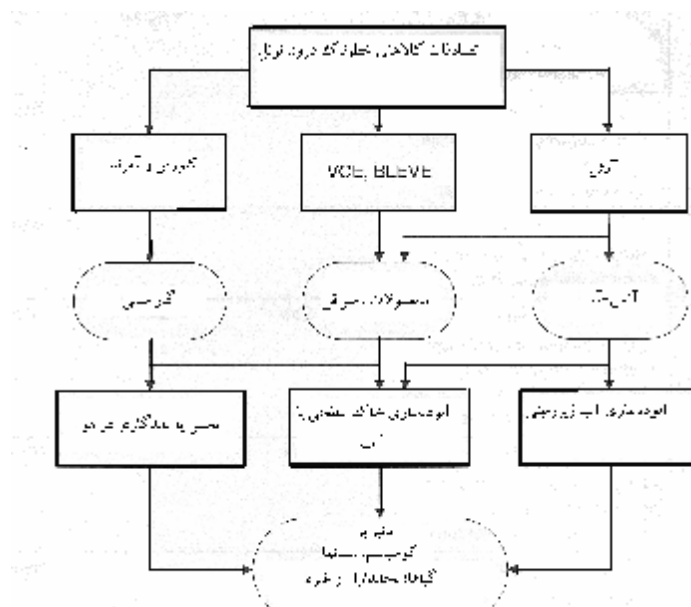
جدول ۵-۷: درصد پیش فرض هزینه خرابیها برای تونل‌های حفاری شده و حفرو پوشش داده شده

مورد هزینه	گروه آسیب	تونل حفاری شده	تونل حفرو پوشش داده شده
خاکبرداری	۴	۵۰	۱۵
پوشش تونل	۴	۲۵	۶۰
سازه‌های داخل شهری شامل جاده‌ها	۳	۱۲/۵	۱۲/۵
تهویه	۲	۶/۵	۶/۵
وسایل ایمنی	۲	۲	۲
روشنایی	۱	۳	۳
وسایل ترافیک	۱	۱	۱

هزینه تقریبی بازسازی از جمع هزینه‌های خرابی هر مورد از جدول بالا بدست می‌آید. خسارت وارد شده به هر مورد از ضرب فاکتور هزینه جدول ۷-۵ و یک فاکتور طول که بستگی به نسبت طول آسیب دیده به طول کل تونل دارد، بدست می‌آید.

اثرات زیست‌محیطی

خسارات زیست‌محیطی وارد شده بر هوای اطراف و آلودگی زمین و آب ناشی از تصادف کالای خطرناک درون تونل‌های راه، در شکل ۷-۵ نمایش داده شده است.



شکل ۷-۵: اجزای تشکیل دهنده آلودگی محیط زیستی

جدول ۷-۵: شاخصهای اثرات زیست محیطی (قابل اغماض، کم، متوسط، زیاد)

سناریو	شدت تأثیرگذاری عوامل (فاکتورهای) کلیدی	شبکه نگهداشت زهکشی	سیستم‌های هم‌جواری محدود جانوران، گیاهان یا آبزیان
آتش HGV، ۲۰MW	کم	_____	ناچیز
احتراق بالای پراکندگی مواد در هوا			
آتش HGV، ۱۰۰MW	متوسط	_____	ناچیز
احتراق بالای پراکندگی مواد در هوا			
مقدار زیاد آب اطفای آتش			
BLEVE مخزن LPG	ناچیز	_____	ناچیز
احتراق کم مواد پخش شده در هوا			
حوضچه مواد قابل اشتعال	زیاد	کم	ناچیز
احتراق زیاد مواد پخش شده در هوا			

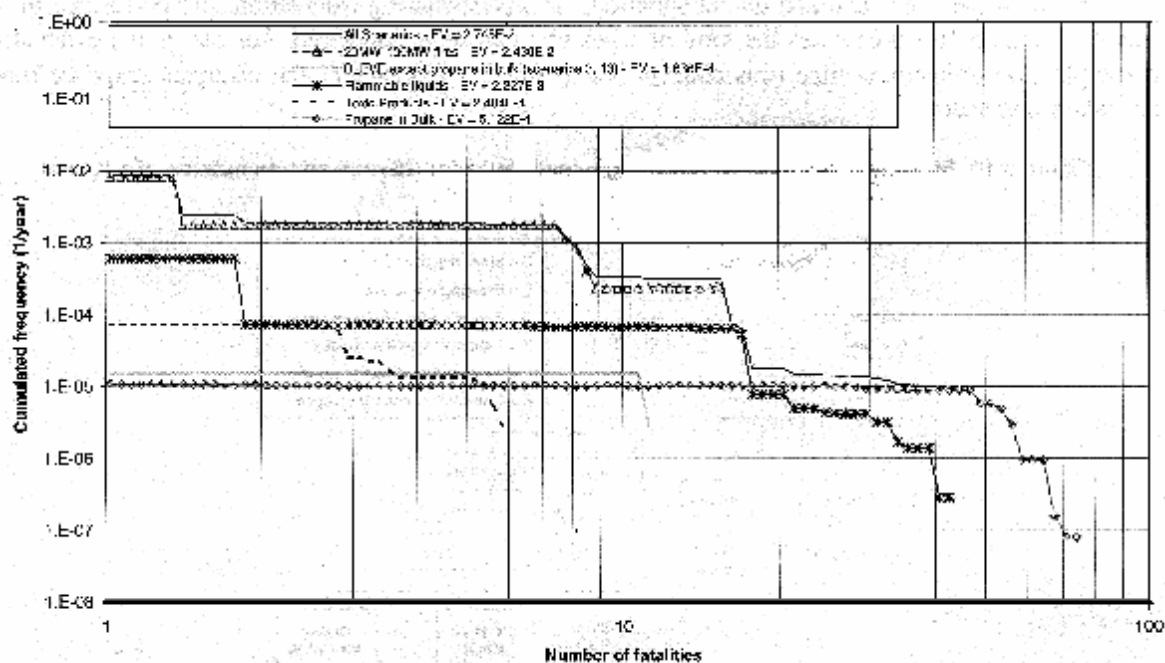
			ریزش هیدروکربن مایع زیان‌آور مقدار زیاد آب اطفای آتش	
گازهای قابل اشتعال	متوسط	کم	احتراق زیاد مواد پخش شده در هوا ریزش هیدروکربن مایع زیان‌آور	ناچیز
آزاد شدن کلر	زیاد	کم	- مقدار زیاد - ریزش مایع بسیار زیان‌آور	ناچیز
BLEVE مخزن LPG	کم	---	احتراق شدید مواد پخش شده در هوا	ناچیز
VCE مخزن LPG	کم	کم	احتراق شدید مواد پخش شده در هوا	ناچیز
آتش شعله‌ای LPG	متوسط	---	- احتراق شدید مواد پخش شده در هوا - مقدار بالای آب اطفای آتش	ناچیز
آزاد شدن آمونیاک	زیاد	کم	- مقدار زیاد - ریزش مایع زیان‌آور	ناچیز

۱. فرض می‌شود که سیستم های زهکشی قادر به جمع آوری آب اطفای آتش در یک آتش سوزی بزرگ نمی‌باشد.
۲. فرض می‌شود که اقدامات کنترل برای کاهش پرکردن مجدد آب آتش نشانی (یعنی واکنش سریع سرویسهای اضطراری) موثر می‌باشند.

هنگامی که مدل خسارات زیست محیطی را مد نظر قرار می‌دهد، شاخصهای مورد استفاده در این قسمت از سایر شاخصهای مدل کیفی‌تر میباشد. ارزیابی کامل خسارات زیست محیطی خارج از محدوده این کتاب می‌باشد. طبقه‌بندی کالای خطرناک معمولاً بر اساس آسیبهای زیست محیطی انجام نمی‌گیرد (مثلاً ریزش شیر در مقیاس وسیع پیامدهای زیست محیطی خطرناکی در بعضی از محیطها به جای می‌گذارد). ارزیابی کمی کامل پیامدهای زیست محیطی حوادثی که کالای خطرناک را در بر می‌گیرد، بسیار پیچیده و کم اهمیت می‌باشد. شاخصهای خسارات زیست محیطی در جدول ۵-۸ خلاصه شده است.

ارزیابی پیامدها در بخشهای تونل و بخشهای آزاد جاده

محاسبات گسترده، داده‌های ریسک منفرد و نمودارهای F/N را برای سناریوهای انتخابی و اشکال مختلف حمل‌ونقل فراهم می‌آورد. برای مثال، نتایج آزمایش C نشان داده شده است (اشکال ۵-۸ و ۹-۵).

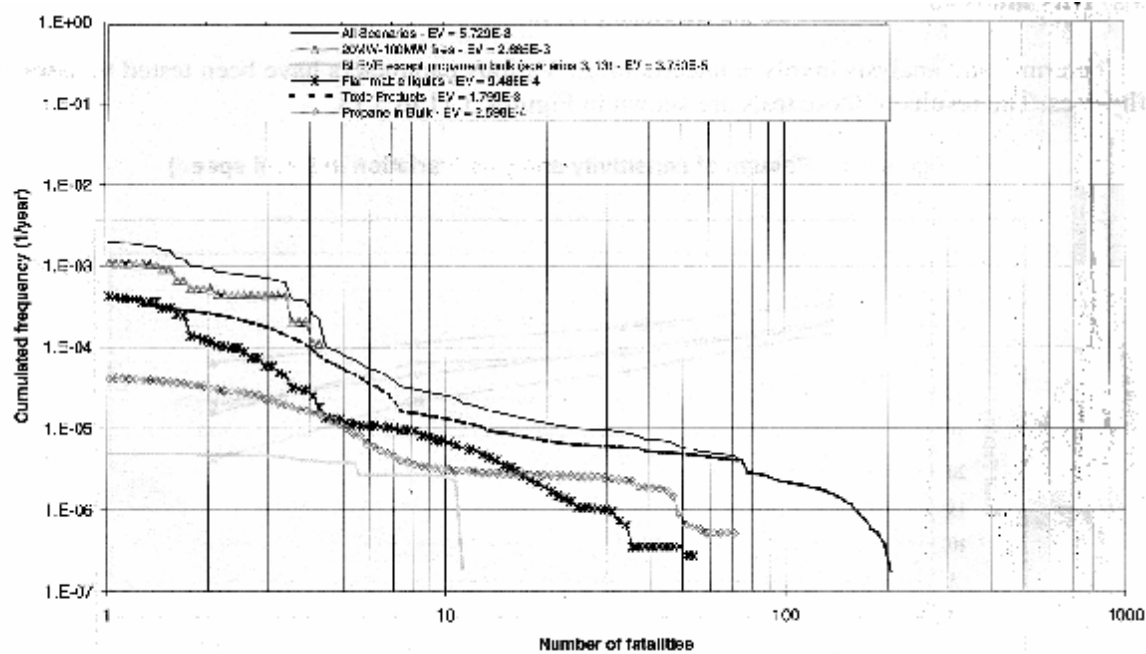


EV = Expected value = fatalities (+ injuries) / year.

شکل ۵-۸: نمودارهای F/N آزمایش تونل C

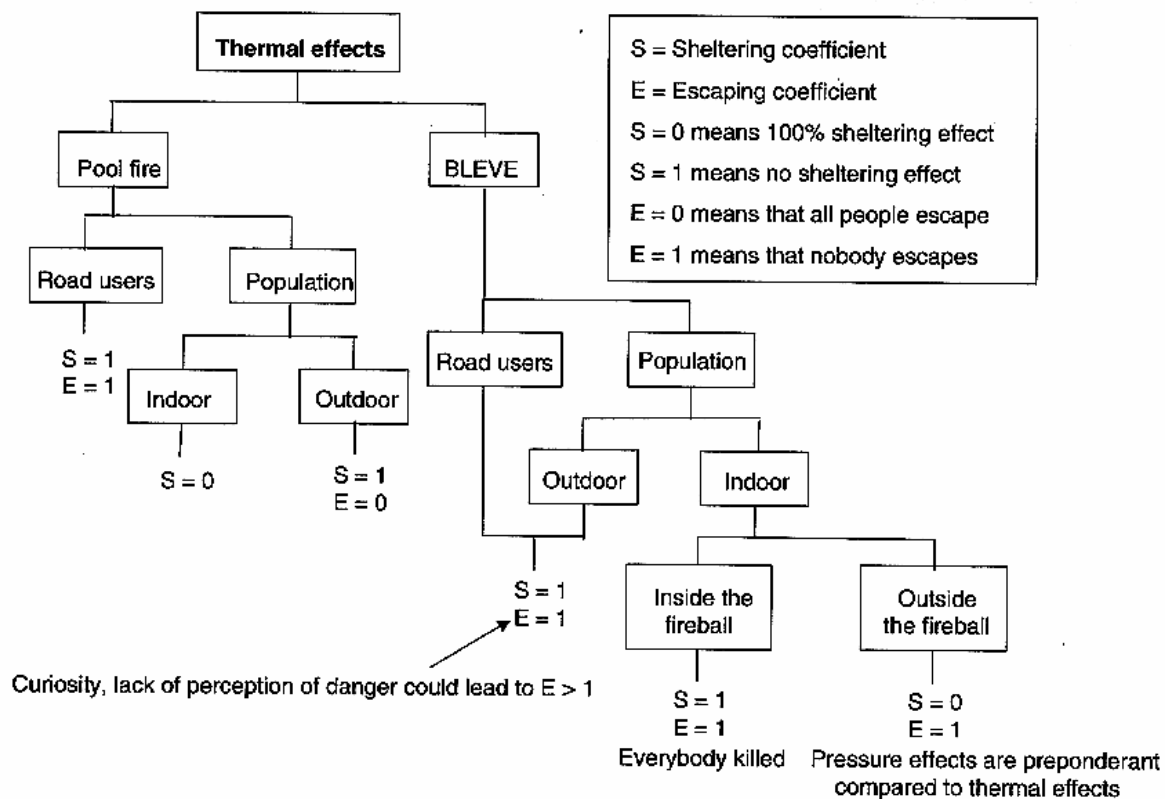
احتمال فرار / پناه گرفتن

محاسبات فرار / پناه گرفتن برای دو گزینه جاده در سطح آزاد و حالت تونل در مدل انجام گرفت. شکل ۵-۱۰ مواردی را که می‌توانند در نظر گرفته شوند، بصورت خلاصه بیان می‌نماید. در اصول حفاری تونل، زمان پیش از حرکت (به این موضوع در فصل ۷ پرداخت شده است) و زمان پاسخ اشغالی در محاسبات مدنظر قرار گرفته است.



EV = Expected value = fatalities (+ injuries) / year.

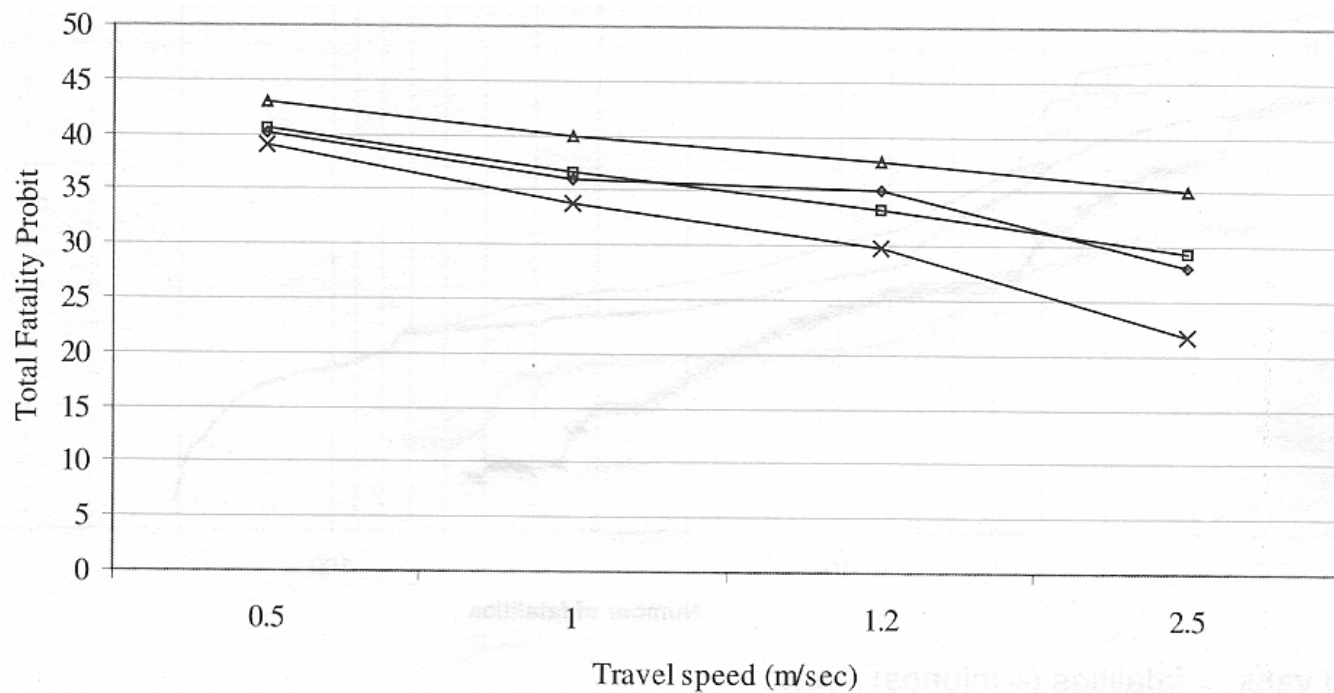
شکل ۵-۹: نمودارهای F/N آزمایش مسیر جایگزین تونل C



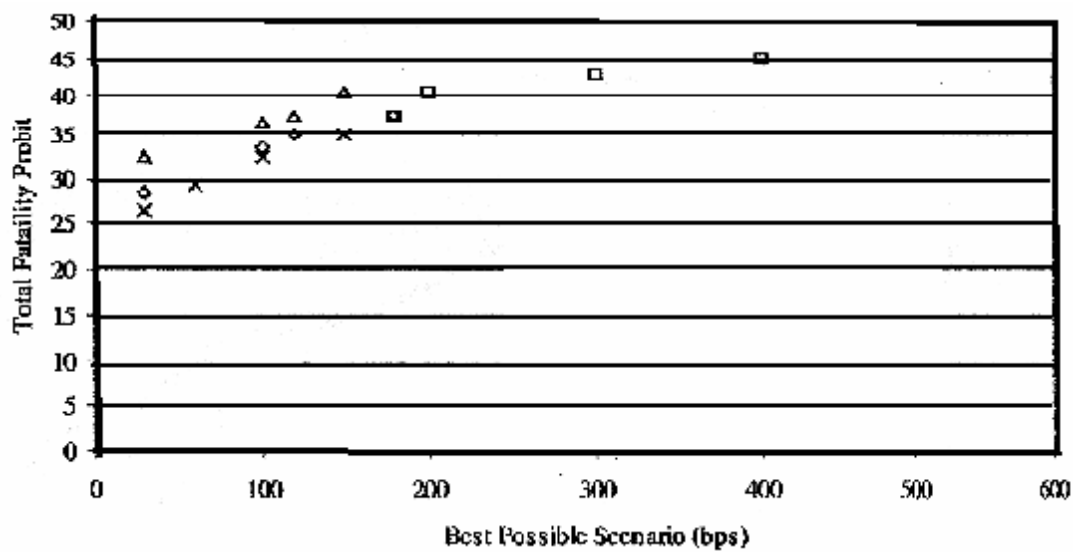
شکل ۵-۱۰: اثرات پناه گیری و احتمال فرار در اثر حرارت خارج از ت

تحلیل حساسیت

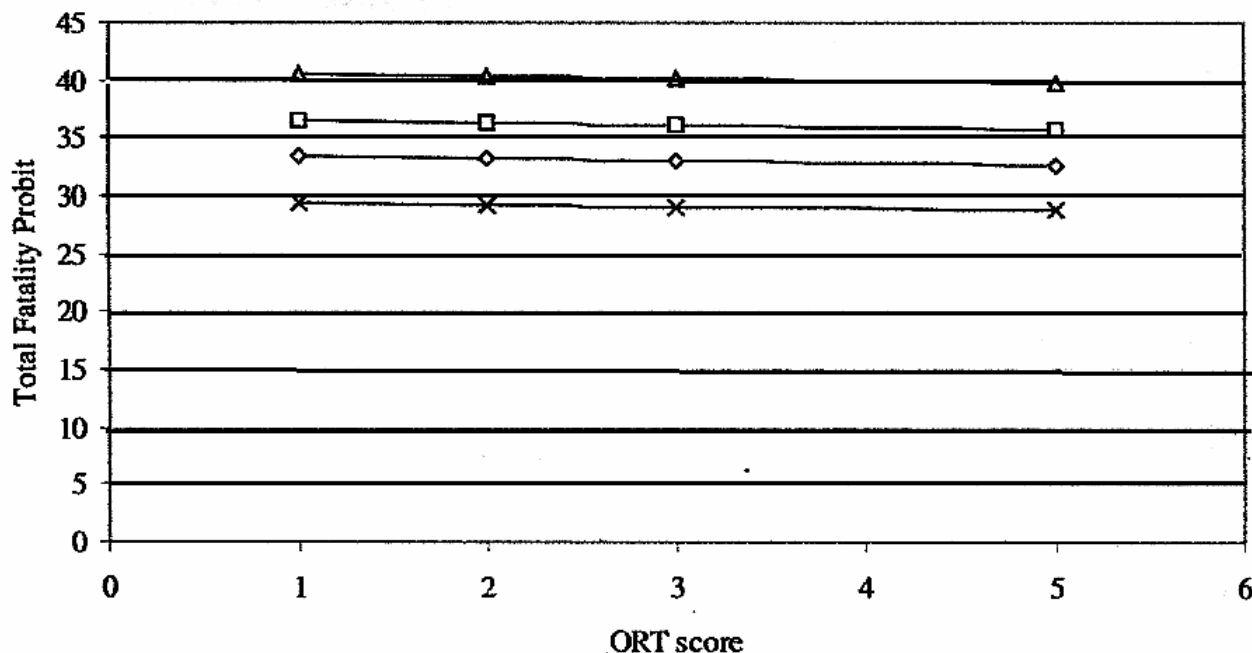
تحلیلهای جبرگرایانه عدم قطعیت‌هایی را در بردارد. پارامترهای گوناگونی جهت ارزیابی تأثیر آنها آزمایش شده است. نتایج این آزمایشات در اشکال ۵-۱۱ تا ۵-۱۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۵-۱۱: نتایج تحلیل حساسیت (بصورت تابعی از سرعت سفر)



شکل ۵-۱۲: نتایج تحلیل حساسیت (بصورت تابعی از سیستم های هشدار دهنده bps)



شکل ۵-۱۳: نتایج تحلیل حساسیت (بصورت تابعی از زمان واکنش اشغالی شخص، امتیاز ORT)

فرآیند معتبرسازی

این گام در توسعه مدل **GRAM** بمنظور آزمایش آن توسط اشخاصی که در رویه ایجاد مدل دخیل نبوده‌اند ولی با رفتار سیستم، ارزیابی ریسک و مدل‌های کامپیوتری آشنا هستند، ضروری می‌باشد. کشورهای اتریش، فرانسه، هلند، نروژ، سوئد و سوئیس در فرآیند معتبرسازی پروژه مؤثر بوده‌اند. موارد آزمایش از تونل‌های شهری، خارج شهری، یکطرفه، دو طرفه، صخره‌ای و حفر و پوشش داده شده، محیط‌های جاده‌ای مختلف، سیستم‌های تهویه متفاوت و تنوع وسیع شرایط رفت و آمد (ترافیک) برگزیده شود.

پنج گردهمایی برگزار گردید و طی آنها تجربیات بدست آمده مبادله و مستند گردیدند. پس از هر گردهمایی، مدل توسط متخصصان بازنگری گردید و اشکالات آن حذف شد و مسائل فرایند معتبرسازی مورد حل مجدد قرار گرفته است. تحلیل حساسیت با آخرین برگردان مدل جهت کنترل نتایج محاسبات مدل با دانش کارشناسی انجام می‌گیرد. فرآیند معتبرسازی اولین گام در روند اجرای عملی مدل ایجاد شده در آینده می‌باشد. گروه مسئول معتبرسازی، مدل را با شرایط اضافی زیر مورد تأیید قرارداد:

پیشنهاد می‌شود نرم‌افزار **QRA** در تمامی کشورهای عضو **OECD** جهت محاسبه ریسک یک تونل منفرد، مقایسه ریسک‌های اجتماعی تونل و مسیرهای جایگزین و محاسبه نقشه دوبعدی ریسک‌های انفرادی در طول مسیر، توزیع گردد.

جهت غلبه بر مشکلات کاربران تازه‌کار، بهتر است سیستم همزمان (on – line) ایجاد گردد. در این راستا پیشنهاد می‌شود که:

یک پایگاه اطلاعاتی قابل دسترسی از طریق اینترنت و حاوی تمامی تجربیات انجام شده توسط **QRAM** ایجاد گردد. ایجاد شبکه‌ای از کاربران با تجربه و متخصص کار با مدل که کاربران عادی در صورت احساس مشکل در کار با مدل به آن متصل شوند و سؤالات خود را مطرح سازند.

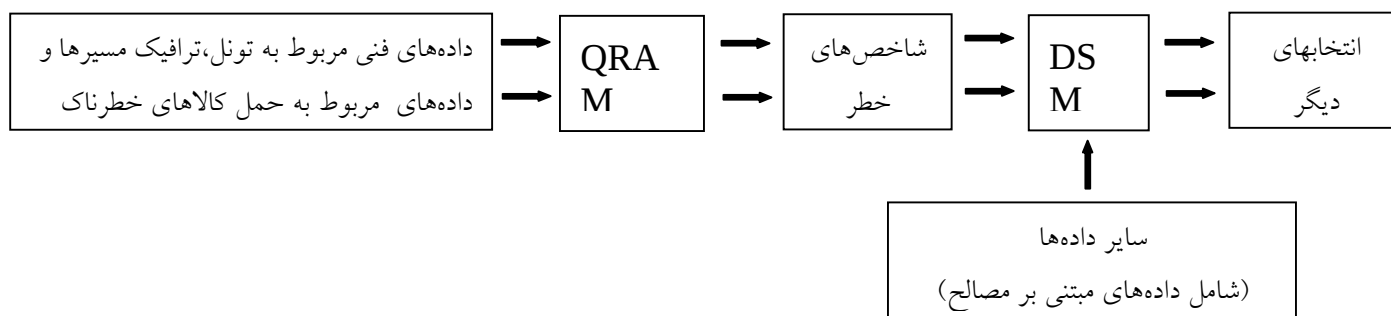
این مجموعه از تجربیات و نتایج، پایه‌ای جهت ایجاد و توسعه مدل و دفترچه راهنمای آن می‌باشند. هدف آن است که نرم‌افزار **QRAM** و کاربران مدل و تجربیات آنها در فرآیندی پیوسته توسعه و رشد پیدا کند.

فصل ۶

مدل پشتیبانی از تصمیم (DSM)

وظیفه **DSM** یاری رساندن به تصمیم‌گیرندگان در این مورد است که به کدام گروه از کالاهای خطرناک اجازه عبور از یک نمونه تونل داده شود. این تصمیم بر اساس نتایجی که در فصل گذشته تشریح شد، صورت می‌گیرد. پیش شرط استفاده از **DSM** آن است که امنیت استفاده‌کنندگان از راه و جمعیت محلی، چه در مسیر تونل و چه در مسیرهای دیگر از جانب تصمیم‌گیرندگان در نظر گرفته شود.

همان‌گونه که در شکل ۶-۱ نشان داده شده است، **DSM** از خروجی **QRAM** و سایر اطلاعات تهیه شده توسط تصمیم‌گیرنده، استفاده می‌کند. داده‌های مبتنی بر مصالح و خط‌مشی‌ها شامل اطلاعاتی است که طبیعت علمی و تکنیکی نداشته، بلکه دارای طبیعت ذهنی و سیاسی است. این اطلاعات برای تصمیم‌گیرنده می‌تواند شامل مقایسه اهمیت تلفات جانی در مقابل خسارات مالی و نیز تعیین ارزش پولی خسارات و زمان از دست رفته برای استفاده‌کنندگان از راه در اثر وقوع یک حادثه باشد.



QRAM: مدل برآورد کمی خطر DSM: طرح پشتیبانی از تصمیم

شکل ۶-۱: ساختار مطالعه و روند تصمیم‌گیری

در این فصل، برای ایجاد بهترین زمینه ممکن در تصمیم‌گیری‌های مربوط به حمل‌ونقل کالاهای خطرناک در تونلها، دو راهنمای متفاوت ارائه شده است که عبارتند از:

یک وسیله کامپیوتری که برای پشتیبانی از تصمیم‌های مربوط به گروه‌هایی از کالاهای خطرناک مجاز به عبور از تونل، بکار می‌رود. **DSM** برای استفاده‌کننده امکان انتخاب سه روش شناسایی و بررسی متفاوت را که تا حدی نیازمند ورودیهایی با مزایای متفاوت است، ایجاد می‌کند.

پیشنهادهای: در اینجا مشخصه‌های مختلف موثر در یک تصمیم خلاصه شده و پیشنهادات لازم برای آن تصمیم اعمال می‌شود تا گروه‌های مختلف مخالف با این مشخصه‌ها ارزیابی شوند (استفاده از خروجی QRAM از میان دیگران). برای دستیابی به یک تصمیم، این مشخصه‌ها باید یکی در برابر دیگری مرتب شده و توزین شود. این روش به همراه تمامی اطلاعات ضروری موجود، در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرد تا به تصمیم نهایی دست یابد.

تعریف یک مساله تصمیم‌گیری:

یک مساله تصمیم‌گیری باید برحسب پارامترهای زیر تعریف شود:

(۱) هدف کلی

(۲) فرد تصمیم‌گیرنده و دیدگاه‌های او

(۳) تشریح مسائل تصمیم به صورت گزینه‌های مختلف و ممکن

(۴) فرآیند تصمیمی که باید مورد استفاده قرار گیرد.

هدف کلی عبارت از ایجاد یک چارچوب برای ارزیابی خطرهای تصمیم بر مبنای قوانین و مقررات در راستای تعیین مسیر عبور کالاهای خطرناک از میان تونل‌های راه و یا سایر مسیرهاست. قوانین و مقررات موجود بر مبنای آیین‌نامه‌های پیشنهادی در فصل ۴ استوار است.

تدوین و تنظیم یک مساله تصمیم‌گیری، به دیدگاه فرد تصمیم‌گیرنده بستگی دارد. در این مورد، تصمیم‌گیرنده باید توانایی در نظر گرفتن و محاسبه کلیات تصمیم را داشته باشد. به این معنا که تصمیم‌گیرنده باید بر مبنای کل منطقه جغرافیایی شامل تونل، سایر مسیرها و نیز منطقه متأثر از ترافیک این مسیرها عمل کند.

برای ایجاد یک مدل پشتیبانی از تصمیم (DSM) لازم است که مساله تصمیم به طور واضح تعیین گردد. تصمیم اولیه برای یک نمونه تونل، انتخاب گروه‌هایی از کالاهای خطرناک است که مجاز به عبور از تونل می‌باشند. این انتخاب، ترافیک ممنوعه را مجبور به استفاده از مسیرهای انحرافی (مسیرهای دیگر) می‌کند. با توجه به این تصمیم، باید از یک سو خطر عبور کالاهای خطرناک از مسیر تونل و از سوی دیگر خطر عبور ترافیک ممنوعه از مسیرهای انحرافی دیگر را در نظر گرفت.

تصمیم ثانویه درباره انتخاب اقدامات ممکن کاهش خطری است که باید در تونل بکار گرفته شود. واضح است که این تصمیم ثانویه به تصمیم اولیه مربوط است. اقدامات کاهش خطر می‌تواند بر پذیرش گروه‌های عبوری از تونل تأثیر گذارد. برعکس، کالاهای خطرناک مجاز، بر انتخاب این اقدامات موثر است. تلفیق تمامی انتخابهای تنظیم شده با تمامی اقدامات کاهش خطر

در یک تحلیل منفرد، بسیار دشوار بوده (نیازمند اجراهای متعدد است) و بنابراین برای اهداف کاربردی، غیر مقتضی است. نمودار ۶-۲ فرآیند یک تصمیم را شرح داده است:

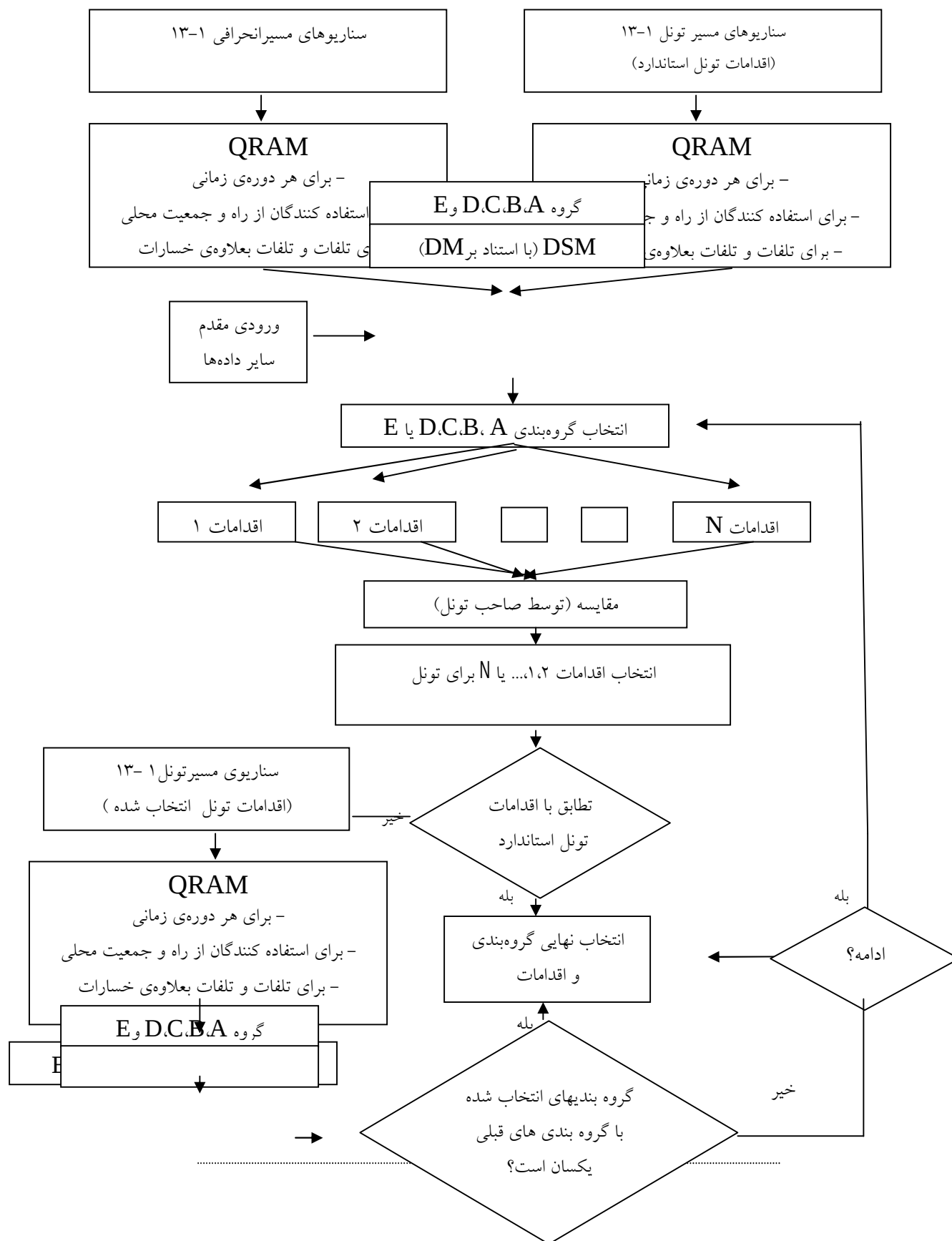
QRAM برای مسیر تونل و نیز سایر مسیرهای انحرافی با اعمال اقدامات کاهش خطر استاندارد، اجرا می‌شود. برای هر دوره زمانی معین و نیز برای استفاده‌کنندگان از راه، جمعیت محلی، تلفات و تلفات بعلاوه خسارت، اجراهای مجزای QRAM مورد نیاز است، که حداکثر شامل ۲۴ اجرا می‌باشد.

نتایج این اجراهای QRAM توسط ابزار DSM با گروه‌بندی‌های A تا E ترکیب می‌شود. سپس مرجع تصمیم‌گیرنده قواعد و مقررات لازم را با در نظر گرفتن ورودی متقدم و سایر اطلاعات ضروری تهیه شده و به کمک DSM، انتخاب می‌کند. در مرحله بعد، اقدامات کاهش خطر با در نظر گرفتن قواعد انتخاب شده و توسط صاحب تونل بهینه می‌شود. اگر اقدامات بهینه با آن دسته که در اولین اجرای QRAM استفاده شده تفاوت قابل توجهی داشته باشد، اجرای جدید QRAM و DSM برای کنترل در انتخاب مقررات، ضروری می‌باشد. اگر همخوانی مناسبی بین اقدامات بهینه و اقدامات استاندارد استفاده شده وجود نداشته باشد، QRAM برای مجموعه اقدامات بهینه اجرا شده و گروه‌بندی بهینه تونل تعیین می‌گردد. در صورتیکه گروه‌بندی بهینه با گروه‌بندی انتخاب شده قبلی یکسان باشد، تصمیم نهایی حاصل شده است.

در غیر این صورت، بهینه سازی اقدامات باید بر اساس آخرین گروه‌بندی انتخاب شده، تکرار شود. اگر مسأله تصمیم خیلی حساس باشد، هیچ گونه تضمینی وجود ندارد که فرآیند تصمیم پیشنهادی به تصمیم بهینه نهایی نزدیک باشد (منظور از تصمیم بهینه نهایی، تصمیمی است که هم در رابطه با اقدامات تونل و هم گروه‌بندی، بهینه شده است).

دستیابی به یک بهینه‌سازی کلی نیازمند اجراهای اولیه QRAM برای تمام مجموعه اقدامات تونل و نیز اعمال تصمیم مربوط به اقدامات تعدیل (Mitigating Measures) بطور مستقیم در DSM است. همچنین باید هزینه انجام و اجرای این اقدامات در نظر گرفته شود.

بطور کلی DSM تنها باید همان مشخصه‌هایی را برای تونل در نظر بگیرد که بطور یکسان در مورد مسیرهای انحرافی دیگر و بالعکس در نظر گرفته شده است. برای مثال خسارت مادی در تونل تنها زمانی باید به حساب بیاید که امکان تعیین خسارت مادی در فضای باز نیز موجود باشد. در این موارد، خسارت اموال استفاده‌کنندگان از راه و جمعیت محلی نیز باید در نظر گرفته شود.





نمودار ۶-۲: فرآیند تصمیم پیشنهادی

ورودیهای مدل پشتیبانی از تصمیم‌گیری (DSM)

شاخصهای ریسک QRAM، اطلاعات ورودی مهمی را راجع به پارامترهای مختلفی که در DSM مورد نیاز می‌باشند به ما می‌دهد. هرچند دیگر ورودیها نیز، با توجه به ارزیابی پیشنهادات مختلف مد نظر تصمیم‌گیرندگان، قابل مطرح شدن می‌باشند. معیارها و ضوابط موجود که در DSM مد نظر قرار می‌گیرند عبارتند از:

ایمنی (که شامل تلفات و تلفات به همراه خسارات ناشی از تصادفات ممکن در تونلها و مسیرهای انحرافی می‌باشد، با قایل شدن تفاوت میان رانندگان جاده‌ها و جمعیت محلی).

هزینه‌های مستقیم (که شامل سرمایه‌گذاریها و هزینه‌های اجرایی کاهش خطرات درون تونلی می‌باشد که هزینه‌های مضاعف حمل و نقل کالاهای خطرناک نیز از آن جمله است).

مشکلات ایجاد شده برای استفاده‌کنندگان از جاده‌ها (زمان از دست رفته به منظور تعمیرات پس از تصادف درون تونلی).

تصادف محیطی (به جهت تصادفات تونلی یا انحراف از مسیرها اگر قابل محاسبه باشند).

آزار افراد محلی (تصادفات محیطی ترافیک کالاهای خطرناک و نامطمئن، با دفع خطر احتمالی پیامدهای تصادف احتمالی، ولی ضربه‌های فیزیکی احتمالی آن).

خسارتهای مادی (ناشی شده از تصادفات).

علاوه بر اطلاعات مستقیمی که از جزئیات هر یک از موارد بالا استنباط می‌شود، برخی ورودیها و اطلاعات قراردادی نیز در DSM ضروری است و تصمیمات اتخاذ شده با ارزشهایی که برای تصمیم‌گیرنده مهم هستند سازگار می‌باشند. یک ورودی برتر، جایگاه اهداف و نقطه‌نظرهای گوناگون است که توسط DSM مدنظر قرار می‌گیرد. این مسایل در روشهای گوناگون بر طبق نوع DSM انتخاب شده انجام می‌شوند. از جمله ورودیهای مقدم ولی اختیاری دیگر، می‌توان به ناسازگاری ریسک اشاره کرد. برای مثال، یک تصادف با ۱۰۰ تلفات نسبت به صد تصادف که هرکدام یک تلفات دارند، کمتر مورد قبول واقع می‌شود.

ارزیابی و انتخاب ابزارها و روشهای پشتیبانی از تصمیم

روشهای پشتیبانی از تصمیمات در طول سالیان زیادی بطور تئوری مطالعه و در زمینه‌های گوناگون بکار گرفته شده است. هم اکنون ابزارهای کامپیوتری و ماشینی در این زمینه در دسترس می‌باشد به طوری که طرح و ارزیابی برخی تصمیمات با استفاده از ابزارهای تصمیم‌گیری انجام می‌گیرد. در این زمینه سه دسته‌بندی جداگانه حاصل شده که تمامی آنها به مشاهدات و نتایج ناسازگار و چندگانه منتهی شده است:

آنالیز تصمیم‌گیری Bayesian یک دستورالعمل شفاف و واضح است که بر پایه حقایق و قواعد عقلانی استوار است. این شیوه می‌تواند با بهره‌گیری از شبکه‌های Bayesian و یا نمودارهای درختی تصمیم‌گیری (به همراه دیاگرام‌ها) به مدل

کردن پردازد. مشاهدات چندگانه با استفاده از یک قاعده رایج، تقسیم‌بندی و ارزشیابی می‌شوند. پیشنهادات تصمیم‌گیری نیز که ارزش مورد انتظار از این قاعده را ماکزیمم می‌کنند، انتخاب می‌شوند

(برای مثال ابزار مورد انتظار).

آنالیز تصمیم‌گیری خواص چندگانه (که ضوابط چندگانه نیز نامیده می‌شود) که برای هر مشاهده راه‌حلی جداگانه را پیشنهاد می‌کند. روشهای مختلف، درصدهای وزنی مستقیم یا غیر مستقیمی از این مشاهدات را به منظور دستیابی به یک حد ماکزیمم راه‌حلها نیاز دارند. این روشها، به همراه روشهای دیگر عبارتند از: عملیات سلسله‌ای تحلیلی (AHP)، تکنیک دسته‌بندی خواص ساده چندگانه (SMART)، و روش ایجاد درصد وزنی مربوطه. روشی که تکنیک دسته‌بندی خواص ساده چندگانه (SMART) نامیده می‌شود از یک خلاصه‌سازی وزنی استفاده می‌کند. در این روش، پیشنهادات با بالاترین امتیاز و برتری استفاده و انتخاب می‌شود.

آنالیز سود و زیان که دو هدف کاملاً جداگانه را در بر می‌گیرد. یکی از این اهداف بسیار به آنالیز Bayesian شبیه است و بنابراین درصد وزنی انتظاری از زیانها، برعکس سود می‌باشد.

دیگر اهداف کلاسیک این تجزیه و تحلیل، به پیشنهادات در زمینه راههای غیر محتمل کاملاً اقتصادی می‌پردازد و ارزش فعلی خالص سود و ضرر هر راه‌حل را مقایسه می‌کند. مطالعات همگی به این نتیجه دست می‌یابند که هیچ نشانه‌ای از تصمیم‌گیری نسبی و تقریبی وجود ندارد. تضادهای نهفته و کاملاً متفاوتی وجود دارد که باید به عنوان مواردی که هیچ ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری به طور رسمی استفاده نمی‌شود، ارزش‌دهی به طور طبیعی و عادی انجام شود. انتخاب نوع روش همواره یک سؤال است که وابسته به این حقیقت می‌باشد که تبدیل این موارد به یک مقدار فردی و یکتا صریح و یا غیر صریح است. بعلاوه، اطلاعات مهمی که از موارد متفاوت بدست می‌آید در جهت رسیدن به اهداف غیر صریح و غیر روشن تلف می‌شوند. پس می‌توان بدین صورت نتیجه‌گیری کرد که تغییرات مستقیمی که در روش Bayesian استفاده می‌شوند، باید تا آنجا که ممکن است منطقی باشند.

برنامه کامپیوتری DSM

روش DSM از عناصر و موارد زیر بهره می‌گیرد، تشخیص خواص، در ارزیابی ترافیک کالاهای خطرناک:

نتیجه‌گیریهای به عمل آمده از تصادفات اینگونه کالاها در مسیرهای تونل:

- خسارتهای جانی و مالی استفاده کنندگان از جاده

- خسارتهای جانی و مالی جمعیت منطقه

- خسارتهای وارد شده به تونل

- وقت اضافی که استفاده کنندگان پس از تصادفات در مسیرهای تونل صرف می کنند.
- کاهش درآمدهای اجرایی ناشی از بسته شدن تونل مدنظر
- خسارت به محیط اطراف
- نتیجه گیریهای به عمل آمده از تصادفات ناشی از کالاهای خطرناک در مسیر های باز:
- خسارتهای جانی و مالی استفاده کنندگان از مسیر
- خسارتهای جانی و مالی جمعیت منطقه
- خسارتهای وارد شده به محیط (اطراف و محیط زیست)
- نتیجه گیریهای به عمل آمده از انحراف ترافیک کالاهای حساس و خطرناک به مسیرهای آزاد:
- وقت تلف شده ناشی از انتقال اینگونه کالاها بر حسب نوع انحراف آنها به مسیرهای آزاد
- کاهش درآمدهای اجرایی ناشی از اینگونه مسایل

این موارد طبیعت دیگری دارند و با واحدهای متفاوت دیگری سنجیده می شوند. هر چند، برای معین کردن راه‌حلهایی که بیشترین سود و فایده را برای اعمال کردن در تونلها داشته باشند، امکانات و تسهیلات روش **DSM** می‌تواند مقادیری از تغییرات خواص هر روش را ارائه دهد. ۳ روش اساسی در مدل **DSM** وجود دارد (COWI,2000):

روش Bayesian

روش SMART

روش SMART تجمعی

مدل پشتیبانی تصمیم Bayesian

روش Bayesian بطور ضروری و اساسی بر سرمایه‌گذاری روی کلیه خواص پایه‌ریزی شده است. از این رو، خسارتهای جانی و مالی انسانی، خسارتهای تونل، ناراحتی‌های استفاده‌کنندگان از راهها و خسارت به محیط زیست، همگی به یک واحد زودگذر تبدیل شده‌اند. با جمع کردن کلیه سرمایه‌های صرف شده برای این خواص و موارد، نموداری ارائه می‌شود که نتایج موارد انتخاب شده گروهی را ارزیابی می‌کند. شکلهای نتیجه‌گیری برای هر دسته یک سری اصول ساده را برای تصمیم‌گیری گروه‌بندی بهینه، برای مثال گروه‌بندی که به کوچکترین هزینه مورد انتظار کل راهنمایی می‌کند، در اختیار ما می‌گذارد.

تبدیل خواص به واحدهای پولی به برآورد هزینه‌ها نیاز دارد. این موارد با عنوان برتریها و پیش نیازها مشخص شده و مقدار هزینه تعادلی خسارتهای جانی، مالی، انسانی، انحراف کالاهای خطرناک (عمدی و یا برحسب تصادف) و یا خسارت به محیط زیست را در بر می‌گیرند. پر واضح است که این برتریها جهت تصمیم‌گیری می‌تواند کاملاً مناسب و مطلوب باشد ولی تعریف مستقیم آنها زمینه‌ای را برای تصمیم‌گیری نهایی ایجاد می‌کند.

مدل پشتیبانی تصمیم SMART

روش **DSM** بر مقایسه تک تک خواص و موارد پایه‌ریزی شده است. این خواص تبدیل به یک شکل بدون بعد (از لحاظ مقدار) از صفر تا ۱/۰ می‌شود که توسط تقسیم کردن مقدار این خواص بر کمترین مقدار بدست آمده برای آن مورد، در هنگام در نظر گرفتن کلیه پیشنهادات گروهی، بدست می‌آید. یک رابطه معکوس در این زمینه ارائه می‌شود که در آن کمترین مقدار آن مورد، ارزشی معادل ۱/۰ و یا بیشتر گرفته و بیشترین مقدار آن، ارزشی کمتر از ۱/۰ بخود می‌گیرد. این بازه‌ها دو ارزش کلی برای دسته‌بندی فوق ارائه می‌دهد. دسته‌ای که بیشترین امتیاز را داشته باشد به عنوان دسته‌بندی بهینه انتخاب می‌شود. تنها ورودی استفاده شده در روش **SMART**، ارزش نسبت داده شده به هر مورد به طور جداگانه است که در حدود مطرح شده می‌باشد.

مدل پشتیبانی تصمیم SMART تجمعی

برای کاهش در تعداد تنوع وزنهای مشخص شده در روش **SMART**، یک نسخه متراکم شده از روش **SMART** معرفی شده است. در این روش از ترکیب مناسب خواص استفاده می‌شود (برای مثال خسارتهای مالی و جانی با نتیجه گیری‌های انسانی ترکیب می‌شوند) و اینها موارد متراکم هستند که منظم می‌شوند. ترکیب موارد شخصی و جداگانه به موارد ترکیبی و متراکم به نوع سرمایه گذاری وابسته است (برای مثال: رجحان و برتری برای روش **Bayesian** و **SMART** می‌باشد). این روش یک ترکیب چندگانه بین روشهای **Smart** و **Bayesian** ایجاد می‌کند.

اجبار روش DSM بر ریسکهای شخصی

تعداد میانگین تلفات و مرگ و میرها در سال نشان‌دهنده ریسک تلفات و موارد و نشانه‌های به هم پیوسته‌ای که در مسایل بهینه‌سازی مطرح می‌شود. روشهای **SMART**، **Bayesian** و **SMART** تجمعی همگی بر مقایسه ابزارهای مورد انتظار و یا ارزش راه‌حلهای ارائه شده اصرار دارند و بنابراین فقط به سطوح ریسک مربوط می‌شوند. توسط اندازه گیری ریسک شخصی، میزان مرگ و میر انسانی که در معرض ریسک قرار می‌گیرد، بدست می‌آید. به منظور پیشگیری و محافظت از این وقایع، هیچگاه میزان ریسک موجود برای این وقایع از حدود مطرح شده، بیشتر نمی‌شود. ریسک شخصی هر واقعه نیز به طور مجزا حساب شده و هر یک از این لحاظ که آیا از حد ماکزیمم مورد قبول تجاوز کرده یا نه بررسی می‌شوند. این حدود بر حسب شرایط مقبول مسأله بهینه تعیین می‌شوند.

پیشنهادهای:

مرحله تصمیم‌گیری یک مرحله پیچیده می‌باشد و در آن باید به فاکتورهای زیادی توجه شود. بنابراین روش **DSM** بمنظور پشتیبانی نسبی از تصمیم‌گیری می‌باشد. هر چند، یک تصمیم‌گیرنده و مسؤول نباید از الگوی **DSM** استفاده کند. توصیه‌های زیر خط‌مشی کلی که باید مد نظر قرار گیرد را نشان می‌دهند.

توصیه بسیار مهم این است که تصمیم‌گیرنده باید ریسک انتقال مواد خطرناک در یک تونل را با انتقال آنها در یک مسیر آزاد با محدودیتهای مربوطه مقایسه کند. بدون این مقایسه، تصمیم‌گیری بر روی دسته‌بندی تونلها بمنظور هدایت این مواد از تونل به مسیرهای آزاد از نقطه نظر اجتماعی منطقه امکان پذیر و بهینه نیست.

کلیه موارد مربوطه در هیچ زمینه‌ای با مواردی که توسط ابزارهای کامپیوتری در روش **DSM** استفاده می‌شود تفاوتی نمی‌کنند. کلیه این موارد مطرح شده توسط خروجیهای روش **QRAM** و البته با استفاده از نکات زیر نتیجه‌گیری شده‌اند:

- منحنی‌های **F/N** برای جبران تلفات و خسارات استفاده‌کنندگان از جاده‌ها و گروه سوم، برای مثال جمعیت محلی.
- میزان خسارات و تلفات قابل انتظار برای استفاده‌کنندگان از جاده‌ها و گروه سوم برای مثال جمعیت محلی.
- خسارات مواد اولیه بر حسب تصادفات احتمالی.
- ضربه‌های زیست‌محیطی که بر اثر یک تصادف در تونل یا یک مسیر انحرافی رخ می‌دهد (خروجیهای مربوط به محیط زیست در روش **QRAM** محدود می‌باشد، به فصل ۵ مراجعه شود).
- همچنین ارزیابی توسط تصمیم‌گیرنده مرهون نکات زیر است:
- هزینه‌های مستقیم (که شامل سرمایه‌گذاری‌ها و هزینه‌های اجرایی کاهش خطرات تونلها می‌باشد که با تقریب خوبی هزینه‌های نقل و انتقال مواد خطرناک را تخمین می‌زند).
- ناراحتی برای استفاده‌کنندگان از مسیر به دلیل تصادفهای احتمالی (وقت تلف شده جهت عملیات تعمیر بعد از یک تصادف درون تونل).
- اذیت و آزار اهالی محل (ضربه‌های زیست‌محیطی ناشی از ترافیک کالاهای خطرناک، با جلوگیری از نتایج تصادف احتمالی ولی شاید این ضربه‌ها شامل ضربه‌های روانی نیز شود).
- موارد دیگری که توسط تصمیم‌گیرنده مدنظر قرار می‌گیرند نیز می‌تواند در مسایل تصمیم‌گیری مطرح شود. برای انتخاب یک تصمیم‌گیری مناسب، تصمیم‌گیرنده باید تشخیص دهد کدام مسایل و موارد مناسب و مطابق با شرایط هستند و چگونه این موارد در مقابل یکدیگر باید ارزش‌دهی شوند. این انتخابها باید توسط تصمیم‌گیرنده برتری یابند.
- اگر مغایرت و ناسازگاری ریسک برای تصمیم‌گیرنده نگران‌کننده باشد، تصمیم‌گیری فقط از لحاظ میزان تلفات و خسارات مدنظر قرار نمی‌گیرد. منحنی‌های کامل **F/N** اطلاعاتی را در مورد درجه‌بندی تصادفات ایجاد می‌کند (به عنوان مثال آگاهی از چگونگی تصادفات پی در پی با **N** یا تلفات بیشتر). برای مثال یک تصمیم‌گیرنده مخالف، ریسک یک تصادف با ۱۰۰ تلفات راکتر قابل قبول می‌داند تا ۱۰۰ تصادف با یک تلفات در هر تصادف. اطلاعات مورد نیاز برای اندازه‌گیری ارزش ریسک در غالب نمودارهای **F/N** با شیب تندتری موجود می‌باشند.
- در آخر، برای ایجاد امنیت و ایمنی لازم است که میزان ریسک پذیرفته شده از حد تعیین شده انفرادی تجاوز نکند.
- روش **QRAM** میزان ریسک شخصی لازم برای جمعیت مکانی که باید آماده پذیرش بحران باشد تعیین می‌کند.

فصل ۷

تمهیدات کاهش ریسک

اهداف و مطالب

- هنگامی که یک وسیله حاوی کالاهای خطرناک مجاز به حرکت درون تونل می‌باشد، تمهیدات چندی جهت کاهش احتمال و پیامدهای تصادف قابل انجام می‌باشد. در محدوده کار این پروژه مشخص گردید که:
- هیچ توضیح سیستماتیک در حال حاضر در دسترس نمی‌باشد.
 - بسیاری از عملیات کاهش ریسک در هنگام ساخت یا بهره برداری، یا هر دو، بسیار هزینه‌بر بوده و این در حالی است که اثر بخشی آنها اغلب شناخته شده نمی‌باشد.
 - اغلب مشکل است که در خصوص بکارگیری هر تمهید در جای مخصوص خود تصمیم‌گیری شود.
- به دلایل نام برده، قسمت اعظم این پروژه به بررسی و امتحان تمهیدات کاهش ریسک با اهداف ذیل، اختصاص یافت:
- فاز I: بازنگری و بررسی تمامی تمهیدات کاهش ریسک ممکن و ارائه توضیح مفصل در خصوص مزایا و معایب هر یک از آنها.

- فاز II: تحلیل هدفدار کارایی و ثمربخشی تمهیدات یاد شده و فراهم‌آوری پایه‌ای جهت ارزیابی هزینه آنها با بهره‌گیری از QRAM (توضیح داده شده در فصل ۵).

هیچ گونه تحلیل هزینه‌ای برای تمهیدات کاهش ریسک حمل کالاهای خطرناک در تونلها ارائه نشده است و دلیل اصلی، مشکلات بسیار زیاد ارزیابی تأثیرات این تمهیدات بر ریسکهای موجود می‌باشد. ایجاد و توسعه یک روش برای چنین ارزیابی یک بحث مهم این پروژه می‌باشد. از آنجا که تخمین هزینه تقریباً دقیقی بوسیله مشاوران متخصص ساخت یا بهسازی تونل ارائه می‌شود، دیگر نیازی به ایجاد ابزاری برای تخمین هزینه این گونه تمهیدات احساس نمی‌شود. با این حال، اطلاعاتی چند در خصوص هزینه این تمهیدات جمع‌آوری شده است (Van der Sluis et al, ۱۹۹۸). یک گزارش عمومی (PIARC، منتشرشده) مجموعه‌ای از تمامی کارهای انجام شده در خصوص تمهیدات کاهش ریسک را ارائه می‌کند. یافته اصلی گزارش مذکور به قرار زیر می‌باشد:

I فاز: بازنگری تمهیدات کاهش ریسک

در این مطالعه (Van der sluis et al. ۱۹۹۸) شامل مرور مقالات یک پرسشنامه برای چندین بهره‌بردار تونل فرستاده شد و تمهیدات کاهش ریسک طبقه‌بندی گردید. به علاوه، اطلاعات اضافی در تعدادی از تمهیدات مربوط به آتش و دود در تونل (PIARC, ۱۹۹۹) در دسترس می‌باشد. نتایج دو مطالعه در زیر گنجانده شده است.

II فاز: ارزیابی ثمربخشی تمهیدات مربوط به ریسک

در زمانی که فاز I به پایان رسید، نسخه اول QRAM در دسترس بود. هدف استفاده از آن برای ایجاد یک ارزیابی هدفدار و ثمربخشی تمهیدات یاد شده بود: مقایسه تأثیرات روی تلفات و خرابی دو مدل اجرایی برای تونل مورد نظر با یک تمهید و یا بدون آن.

به هر حال، داده‌های کمی مربوط به اثرات عملیات انجام شده بر احتمال و پیامد همه سناریوهای تصادف، در همه تمهیدات موجود نبود. بنابراین تمامی تمهیدات بررسی شده در فاز I، در مدل QRAM در نظر گرفته نشد. برای آن دسته از تمهیداتی که بطور کامل در QRAM در نظر گرفته شوند (تمهیدات متناسب با شرایط محلی)، ارزیابی اثربخشی با استفاده از روش فوق‌الذکر در شش تونل نمونه انجام پذیرفت. نتایج در ادامه گنجانده شده‌اند. جهت ارزیابی ثمربخشی تمهیداتی که در QRAM منظور نشده‌اند، (تمهیدات فرا منطقه‌ای)، قضاوت کارشناسی مورد نیاز می‌باشد. یک روش مفید، جمع‌آوری نظرات کارشناسی در خصوص کارایی هر تمهید (یا مجموعه‌ای از تمهیدات) در ارتقا ایمنی حمل کالاهای خطرناک در یک تونل خاص می‌باشد. به هر حال، این روش نتایج کمی خاص که قابل استفاده در یک تحلیل جامع ثمربخش باشد، به دست نمی‌دهد. به همین دلیل بیشتر فعالیتهای مربوط به تمهیدات "فرا منطقه‌ای" به ایجاد روشهایی جهت ارزیابی اثر آنها در هنگام استفاده از QRAM اختصاص یافت. دو روش مکمل در اینجا بررسی شده است:

- برای آن دسته از تمهیداتی که بر احتمال یک حادثه، یا احتمال ایجاد سناریوی یک حادثه تأثیر دارند، یک روش جهت تنظیم احتمالات استفاده شده در **QRAM** طرح ریزی شد.
- تعدادی از تمهیداتی که بر زمان پاسخ کاربران، بهره‌برداران یا تیمهای اورژانس یک حادثه تأثیر دارند. یک روش جهت در نظر گرفتن چنین تمهیداتی در روش آماری استفاده شده در **QRAM** ایجاد گردید و تعدادی مثال برای ایجاد نگرش‌هایی در مورد تمر بخشی این اقدامات عرضه شد.

نتایج بدست آمده، چگونگی استفاده از آن نتایج جهت ارزیابی هزینه اثربخشی یک تمهید خاص در یک تونل مشخص را توضیح می‌دهند.

شناسایی تمهیدات کاهش ریسک

عملیات محدودکننده حمل‌ونقل کالاهای خطرناک (مانند منع عبور، محدودیت کمی بار یا محدودسازی آنها به ساعات خاص) در این جا در نظر گرفته نمی‌شوند. عملیات نام برده نیاز به معرفی راههای جایگزین به غیر از تونل دارد و تصمیم‌گیری در خصوص استفاده از آنها نیاز به استفاده از **QRAM** و **DSM** بحث شده در فصل ۵ و ۶ دارد. جدول ۷-۱ فهرست ۲۷ تمهید پیش‌بینی شده را ارائه می‌نماید. از آنجا که بسیاری از تمهیدات چندین هدف را دنبال می‌نمایند، طبقه‌بندی آنها تا حدی اختیاری و بر اساس هدف اصلی آنها می‌باشد. برای این منظور در نظر می‌گیریم که بسیاری از تلفات قبل از رسیدن تیمهای امداد بوجود می‌آید. تمهیدات مربوط به ارتباطات و اطلاعات هدف اصلی کاهش نتایج یک تصادف است، ولی می‌تواند تأثیری نیز بر احتمال وقوع تصادف بوسیله اطلاع‌رسانی کاربران داشته باشد که اولین حادثه رخ داده است. خلاصه کوتاهی از این تمهیدات در زیر ارائه شده است.

جدول ۷-۱ فهرست اقدامات طبقه‌بندی شده کاهش خطر مطابق با هدف اصلی آنها

تمهیدات کاهش احتمال یک حادثه		
مربوط به طرح و نگهداری یک تونل		
مقطع عرضی تونل و طرح دید راننده	مسیر روشنایی (عادی)	نگهداری سطح جاده (اصطکاک)
مربوط به ترافیک و وسایل نقلیه		
سرعت محدود ممنوعیت سبقت گرفتن	اسکورت فاصله بین وسایل نقلیه	کنترل وسایل نقلیه
تمهیدات جهت کاهش پیامدهای تصادف		
زنگ خطر، اطلاع‌رسانی، ارتباطات بهره‌بردار و سرویس‌های نجات		
تلویزیون مدار بسته ردیابی خودکار حادثه	ردیابی خودکار آتش ارتباط رادیویی (سرویس)	تشخیص خودکار وسیله نقلیه تلفن اضطراری

ارتباط با کاربران		
تلفن اضطراری ارتباط رادیویی (کاربران)	علائم و تابلوهای هشدار دهنده	بلندگو
تخلیه کاربران یا حفاظت از آنها		
خروجیهای اضطراری کنترل دود	روشنایی اضطراری ابزار مقاوم در برابر آتش	مدیریت خرابی
کاهش اهمیت حادثه		
ابزار اطفای حریق گروههای نجات	زهکشی سطح جاده (بدون تخلخل)	
سازه مقاوم در برابر آتش	سازه مقاوم در برابر انفجار	نقشه فعالیت اضطراری اسکورت

تمهیدات کاهش احتمال تصادف

مقطع عرضی تونل و طراحی بر اساس دید

عوامل بسیاری در مقطع عرضی تونل تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر ایمنی دارند. تعداد دهانه‌ها و تعداد خط در هر دهانه تأثیر واضحی بر تکرار و پیامدهای تصادف دارد. عرض هر خط بر میزان تصادف تأثیر می‌گذارد. شیب عرضی بر کارایی زهکشی و بنابراین پیامدهای ریزش مایعات خطرناک تأثیرگذار می‌باشد. شانه‌های راه بر تکرار تصادف تأثیر می‌گذارند ولی برای دسترسی تیم امداد جهت کاهش پیامدهای تصادف سودمند است. موانع ایمنی بین محل عبور بار و محل عبور عابر پیاده تأثیرات مثبتی بر جدیت حادثه تصادف دارند. ولی اثر بسیار منفی بر روی فرار و نجات می‌گذارند. بخش عریض شده جاده برای پارکینگ اضطراری در مواقع خرابی وسیله نقلیه از احتمال برخورد و تصادف کم می‌کند. تشخیص بصری راننده تا حد زیادی بر آسایش و سرعت رانندگی تأثیر دارد که خود را در ایمنی منعکس می‌نمایند. مسیر و روشنایی عوامل کلیدی هستند ولی به هر حال تصویر تا هنگامیکه شکل و رنگهای مقطع عرضی تونل مد نظر قرار نگیرد، کامل نمی‌شود.

مسیر

شیبهای بالارونده (ریمپها) گاهی اوقات تأثیر نامطلوبی بر میزان تصادفات، به علت وسایل نقلیه کندرو، دارند. شیبهای پایین رونده ریسک تصادفات را افزایش می‌دهند. قوسهای افقی معمولاً به همراه سایر فاکتورها مانند سرعت یا شیب، تأثیر نامطلوبی بر میزان تصادفات می‌گذارند. واضح است که طراحی قوسهای قائم و افقی فاکتور مهم و تعیین‌کننده در تداوم تصادفات می‌باشد.

روشنایی (عادی و اضطراری)

میزان تصادفات در نواحی ورودی تونل به علت مشکلات دید بیشتر می‌باشد و این مشکل در حالت حرکت از محیط خارج بسیار روشن به داخل یک تونل تاریکتر شدت می‌یابد. به همین منظور، جهت محدود نمودن تداوم تصادفات، روشنایی کافی در روز در ناحیه ورودی تونل مورد نیاز می‌باشد و باید به آهستگی در تونل کاهش داده شود. چراغهای هدایت‌کننده بهتر است در حدود یک متری کف پیاده‌رو نصب گردند. این امر هنگامی که دود روشنایی عادی را مخدوش می‌سازد، مفید واقع می‌شود.

نگهداری

نگهداری ضعیف، برای مثال به شکل خرابیهای روسازی، خرابیهای ابزار جانبی و روشنایی یا نظافت ضعیف تونل، باعث کاهش ایمنی برای رانندگان می‌گردد. یک فعالیت قابل اطمینان، جهت کاهش احتمال وقوع یک تصادف، مورد نیاز می‌باشد.

سطح جاده

روسازی درون تونل باید کیفیت مشابه جاده آزاد در مواردی چون اصطکاک و یکنواختی داشته باشد. به علاوه، می‌بایست از سطوح متخلخل درون تونل، هنگام حمل کالاهای خطرناک از آنجا که گاهی اوقات پیامدهایی چون ریزش مایعات و آتش‌سوزی دارند، اجتناب گردد.

سرعت مجاز

سرعت مجاز کم در ورودی تونل در جاده‌های پرتراфик، عیبهای زیادی از جمله ایجاد ترافیک سنگین دارد. اگر در آن فقط توجه به قسمتی از ترافیک مانند وسایل نقلیه حاوی کالاهای خطرناک یا همه وسایل نقلیه سنگین شود، باعث ایجاد اختلاف سرعت بین وسایل نقلیه و در نهایت افزایش ریسک تصادم در تونل می‌گردد. مشکل دیگر، پشتیبانی از اجرای چنین تصمیمی می‌باشد. بهر حال، کاهش سرعت در مقیاس وسیع از تداوم و شدت تصادفات می‌کاهد. محدودیت سرعت یکی از راه‌های بسیار ارزان و اقتصادی به حساب می‌آید و البته مشکلات مذکور را نیز در پی دارد.

ممنوعیت سبقت گرفتن

سبقت در بیشتر تونلهای دوخطه با ترافیک در دو جهت، ممنوع می‌باشد. در تونلهای یک طرفه، سبقت برای ماشینهای مسافری آزاد است ولی پیشنهاد می‌گردد که برای تمامی ماشینها ممنوع گردد. هیچ دلیلی دال بر اینکه این ممنوعیت فقط برای وسایل نقلیه حاوی کالاهای خطرناک وضع گردد، وجود ندارد.

اسکورت

اسکورت شامل توقف (نگهداشتن) یک وسیله نقلیه حاوی کالاهای خطرناک قبل از ورود به تونل، بازدید چشمی آن و سپس همراهی یک گروه کوچک (با فاصله کافی بین وسایل نقلیه) در تونل به همراه ماشینهای اطفای حریق، و سایر ابزارآلات ایمنی می‌شود. وسایل نقلیه اسکورت در جلو یا عقب وسیله نقلیه حاوی کالای خطرناک قرار می‌گیرند. در حین اسکورت از ورود سایر وسایل نقلیه به تونل ممکن است جلوگیری شود یا نشود. این روش هزینه‌بر می‌باشد، ولی انتظار می‌رود که به طور قابل ملاحظه‌ای از میزان وقوع تصادفات و پیامدهای مخرب آنها جلوگیری نماید و آتش به محض ردیابی با حضور افراد کمتری در اطراف وسیله نقلیه محترق و با سرعت بیشتری تحت کنترل قرار گیرد. یک روش که نیاز به هزینه کمتری دارد (و لذا تمریخی آن نیز کمتر است) متوقف ساختن وسیله نقلیه و هشدار دادن به راننده قبل از ورود به تونل می‌باشد، تا آنجا که بهره‌بردار بتواند به آنها اجازه ورود دهد و همه پیش‌بینی‌های مفید (برای مثال جلوگیری از حضور همزمان سایر ماشینها در تونل) اجرا شده باشند.

فاصله بین وسایل نقلیه

یک فاصله کافی بین وسایل نقلیه در حال حرکت از تصادفات پشت به جلوی اتومبیلها جلوگیری می‌کند. یک ایراد آن کاهش ظرفیت ترافیک تونل و در صورت زیاد بودن ترافیک، انباشته شدن آن قبل از تونل می‌باشد. فاصله کافی بین وسایل نقلیه ایستاده در تونل در اثر یک تصادف باعث کاهش پیامدهای آن بدلیل کم بودن تعداد افراد نزدیک محل تصادف و عدم گسترش آتش احتمالی در تونل می‌گردد. به هر حال، حفظ فاصله ثابت بین وسایل نقلیه چه در حرکت و چه ایستاده بسیار مشکل می‌باشد.

کنترل وسیله نقلیه

یک روش دیگر که ارزان‌تر از اسکورت کردن می‌باشد، متوقف ساختن وسیله نقلیه حاوی کالای خطرناک (یا همه وسایل نقلیه حاوی کالای سنگین) قبل از ورود به تونل و اجرای یک کنترل چشمی قبل از حرکت آنها می‌باشد. هر گونه نشت از وسیله نقلیه یا قسمتهای بسیار گرم آن بهترین روش تشخیص می‌باشند. وسایل خودکار که قسمتهای بسیار گرم وسایل نقلیه را کنترل می‌نمایند، هم اکنون در دست آزمایش هستند.

تمهیدات کاهش پیامدهای یک تصادف

تلویزیون مدار بسته (CCTV)

تونلهای بزرگ مجهز به یک دوربین تلویزیونی مدار بسته (CCTV) که کل طول تونل و قسمتی از ورودیها را پوشش می‌دهند، می‌باشند. استفاده از این دوربین‌ها به دو منظور می‌باشد:

- جهت نظارت بر حرکت ترافیک و وسایل نقلیه حاوی کالاهای خطرناک. اگر باید اسکورت شوند یا علامتی از ورود آنها به تونل داده شود.

- جهت ردیابی یا حداقل تشخیص هر گونه اتفاق یا تصادف و حصول اطلاعات مورد نیاز برای اجرای عکس العمل مناسب.

به طور کلی اپراتور بر کل تونل به صورت دائمی نظارت ندارد ولی هر گونه اخطار (سیستم خودکار تصادفات ترافیکی، صدای زنگ تلفن یا اخطار اطفای حریق یا غیره) بطور خودکار توجه بهره‌بردار را به صفحه‌ای که اخطار از آن صفحه پخش می‌شود، معطوف می‌سازد.

ردیاب خودکار رویداد ترافیکی

یک سیستم خودکار ردیابی رویدادهای ترافیکی قادر است هر گونه تغییر در شرایط ترافیکی مانند توقف یا کاهش بیش از اندازه سرعت را تشخیص دهد. با استفاده ترکیبی با CCTV، اپراتور قادر است اطلاعات را به سرعت در خصوص عامل تغییرات شرایط ترافیکی کسب نماید. این کار به طور مؤثر احتمال وقوع یک تصادف در انتهای صف را کاهش می‌دهد (کاهش تعداد تصادف) یا در صورت وقوع یک تصادف، تخلیه کاربران و اخطار به کارکنان اورژانس (کاهش پیامدهای تصادف) را تسهیل می‌نماید. چنین سیستمی جهت تکمیل CCTV (چرا که اپراتور به طور دائم به کل تونلها نظارت ندارد) و سایر سیستمهای هشداردهنده مانند تلفنهای اضطراری می‌باشد.

ردیاب خودکار آتش

امکانات ردیابی خودکار آتش، واکنش سریع را در صورت بروز یک حادثه ممکن می‌سازند. حسگرهای مونواکسید کربن و آلاینده‌ها در تونلهای دارای تهویه به کار گرفته می‌شوند. این گونه حسگرها محصولات آتش را تمیز می‌دهد ولی قادر نیست فرق آنها با آلاینده‌های ایجاد شده توسط وسایل نقلیه را تشخیص دهد. یک سیستم ردیاب آتش خصوصاً در تونلهای فاقد پرسنل که نظام تهویه آنها در حالت آتش‌سوزی با نظام آلاینده‌های معمولی (برای مثال دود آگروز به جای هوا تازه) تفاوت می‌نماید، مفید واقع می‌شود. در تونلهای دارای پرسنل، ردیاب خودکار آتش می‌تواند زمان ردیابی را کاهش دهد و در اطفای حریق کمک کند. ردیاب غیرمستقیم آتش با استفاده ترکیبی از CCTV می‌تواند یک سیستم ردیاب حادثه را به دست دهد.

ارتباط رادیویی (سرویسها و کاربران)

علامت رادیویی در زیر زمین دریافت نمی‌شود. هم اکنون تونلهای بیشتر و بیشتری با سیستمهای پخش مجدد مجهز می‌شوند که شاید بخشی از کاربران یا همه آنها را هدف گیرند:

- خدمات اضطراری، اجازه تماس با مراکز کنترل آنها و با مرکز کنترل تونل.
- رانندگان، هنگامی که یک یا چند ایستگاه رادیویی محلی در تونل تقویت شوند، در حالت اضطراری اپراتور تونل قادر می‌شود که روی یکی از این فرکانسهای رادیویی اطلاعات و دستورات ایمنی را به رانندگان اطلاع دهد.

ایستگاههای تلفنهای همراه نیز در تونل تقویت می‌گردند تا در صورت لزوم جهت ارتباط با کاربران و ارتباط کاربران با تیمهای نجات بکار گرفته شوند.

- پرسنل تونل، جهت ارتقا ایمنی و کارایی نگهداری و تیمهای ایمنی تونل.

تشخیص خودکار وسیله نقلیه

یک سیستم تشخیص خودکار وسیله نقلیه به اپراتور اطلاعاتی در خصوص وسیله نقلیه حاوی کالای خطرناک که وارد تونل شده است، ارائه می‌نماید. درمورد یک تصادف، واکنشهای مناسب تا زمانی که خصوصیات کالاها شناخته شوند، شروع خواهد شد. این سیستم در فاصله‌ای مشخص از تونل نصب می‌گردد و بدین ترتیب پشتیبانی از اجرای محدودیت‌ها و ممنوعیت‌ها تسهیل می‌گردد. چنین سیستمی از لحاظ فنی قابل اجرا می‌باشد ولی ابتدا استانداردسازی وسایل آن و مقررات قابل اجرای بین‌المللی مورد نیاز می‌باشد.

تلفنهای اضطراری

اکثر تونلها مجهز به تلفنهای اضطراری در فواصل مشخص هستند. این وسیله جهت ارتقای ایمنی مورد نیاز می‌باشد:

- توسط رانندگان جهت تماس با اپراتور تونل یا پلیس در خصوص وضعیت در تونل مورد استفاده قرار می‌گیرد و در صورت وقوع تصادف، یک هشدار می‌باشد.
- به کاربران در خصوص کارهای مورد نیاز در یک حالت مشخص اطلاع‌رسانی می‌شود.
- در صورت عدم دسترسی بودن سایر وسایل ارتباطی توسط سرویسهای اورژانس، بمنظور ارتباط مورد استفاده قرار می‌گیرد.

علائم و تابلوهای هشداردهنده

علائم ثابت جهت نمایش تسهیلات ایمنی قابل استفاده توسط رانندگان مانند وسایل اطفای حریق، تلفنهای اضطراری و خروجی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به علاوه، چراغهای ترافیکی در بیشتر تونلها جهت جلوگیری از ورود وسایل نقلیه به تونل در صورت بروز تصادف استفاده می‌شوند. در تونلهای بزرگ از چراغهای راهنمایی جهت توقف وسایل نقلیه در صورت بروز یک حادثه و جلوگیری از تجمع آنها در محل حادثه بهره گرفته می‌شود. مهمترین مسأله، درک راننده و اطاعت از چنان علائمی می‌باشد. بنابراین در تونلهای دارای پرسنل، پیشنهاد می‌شود از علائم متفاوتی جهت ارایه توضیح به رانندگان استفاده شود. چندین کشور در برنامه‌های تونل خود از موانع مخصوص استفاده می‌نمایند.

بلندگو

چندین کشور در تونلهای جاده، بلندگو نصب کرده‌اند. از این وسایل جهت ارائه دستورالعمل به راننده‌ای که وسیله نقلیه خود را ترک کرده است یا به همه کاربران تونل در حالت بحران استفاده می‌شود. به هر حال، مشکلات متعددی در خصوص استفاده از بلندگوها به علت خواص آکوستیک نامناسب بیشتر تونلها، صدای تولید شده توسط ترافیک جاده‌ای و دستگاههای تهویه، و تعداد زبانهای مورد نیاز جهت اطلاع رسانی به اکثریت کاربران وجود دارند.

خروجیهای اضطراری

احتمالات زیر در تخلیه یک تونل متصور می‌باشد:

- خروج از دهانه تونل بصورت پیاده (یا با ماشین در تونلهای دوخطه کم ترافیک)
 - ارتباط مستقیم با بیرون (تونلهای کوتاه)
 - ارتباط عرضی بین دهانه‌های تونل (در تونلهایی با دو دهانه یا بیشتر)
 - راهروی مخصوص فرار (در تونلهای حفر و پوشش داده شده یا سازه‌های دفن شده) یا گالریها (در تونلهای طولی)
 - پناهگاهها (در تونلهای تک دهانه‌ای طولی، اتاقهای تهویه‌دار مجهز به تلفن که اغلب با خارج از تونل بوسیله داکتهای تهویه هوای تازه متصل می‌باشد).
- خروجیهای اضطراری به جهت کاهش تماس کاربران با محیط خطرناک یک تصادف شامل کالاهای خطرناک، بسیار مفید می‌باشد.

کنترل دود

با توجه به کاهش قابل ملاحظه آلاینده‌ها در گاز خروجی وسایل نقلیه، انتخاب و طرح سیستم تهویه بیشتر با توجه به مقتضیات وقوع یک آتش‌سوزی بزرگ انتخاب می‌گردد. تهویه‌های طولی که اغلب با پنکه‌های بسیار سریع (Jet Fan) کار می‌نمایند، جریان یکنواخت در تونل بوجود می‌آورند و در هنگام آتش‌سوزی، دود را به سمت ورودی تونل هدایت می‌نمایند. این سیستم برای تونلهای یک‌طرفه با ترافیک کم مناسب می‌باشد. در سایر حالات از تهویه عرضی یا

شبه عرضی استفاده می‌گردد. تحت شرایط عادی بهره‌برداری، داکتهای هوا جهت وارد نمودن هوای تازه به تونل مورد استفاده قرار می‌گیرد و این در حالیست که سایر داکتها جهت بیرون راندن هوای آلوده ایفای نقش می‌نمایند. در صورت وقوع یک آتش‌سوزی، از این داکتها جهت تنظیم هوا بگونه‌ای که لایه هوای تمیز در نزدیکی کف تونل قرار گرفته و لایه هوای آغشته به دود نزدیک سقف تونل جای گیرد، استفاده می‌شود. استخراج دود در سیستم مذکور اغلب برای یک آتش‌سوزی در ابعاد و اندازه یک کامیون طراحی می‌گردد و برای آتش‌سوزی بزرگ کالاهای خطرناک مدنظر قرار نمی‌گیرد.

ابزار مقاوم در برابر آتش

لزو می ندارد تمامی قطعات مورد استفاده در تونل، مقاوم در برابر آتش‌سوزی باشند. برای مثال روشنایی و دوربین‌های ویدئویی نصب شده روی سقف به هر حال در حین آتش‌سوزی به وسیله دود تاریک می‌شوند. در هر صورت لازم است که وسایل خارج از جبهه آتش بکار خود ادامه دهند. بدین معنی که خطوط انتقال نیرو و شبکه‌های ارتباطی باید متصل بمانند. ابزار تهویه نیز باید مقتضیات مقاومت در برابر آتش را جهت کنترل مناسب دود در درجه حرارت‌های بالا، ارضا نماید

مدیریت خرابی (Failure)

در هنگام تصادف، بسیاری از قطعات سازه‌ای و ابزار نصب شده درون تونل در اثر درجه حرارت بالا یا به هر علت دیگری خراب می‌شوند و به تبع آن سیستم‌های گوناگونی باید جهت محدود ساختن اثرات خرابی طراحی گردد. روشهای مدیریت خرابی زیر کاربردی است:

- استفاده از ابزار یدکی آماده بکار (Redundancy): برای مثال هنگامی که خط انتقال نیروی عادی تونل از کار می‌افتد، خط انتقال نیروی اضطراری شروع بکار می‌نماید.

- سیستم ایمن در برابر خرابی (Fail-Safe System): برای مثال قطع برق موجب باز شدن درهای اضطراری می‌شود.

- کنترل واحدی (Partitioning): برای مثال در مورد خروجیهای روزنه‌ای یا روشنایی اضطراری اگر یک واحد از کار بیافتد، سایر قسمت‌ها به کار خود ادامه می‌دهند.

ابزار و وسایل اطفای حریق

تمامی تونلها مجهز به وسایل اطفای حریق برای استفاده رانندگان هستند. کپسولهای آتش‌نشانی در فواصل مشخصی از یکدیگر قرار دارند. در برخی از کشورها از لوله‌های اطفای حریق نیز بهره‌گیری می‌شود. ابزار و وسایل نام برده کارایی خود را در کنترل آتش به اثبات رسانده‌اند و عموماً توسط یک مخزن آب مشخص یا شبکه آب محلی تغذیه می‌شوند. سیستم‌های خودکار اطفای حریق (آپاشهای سقفی) به عنوان وسایل ایمنی به علت خطراتی که برای

افراد در معرض آتش و دود فراهم می‌آورند، پیشنهاد نمی‌شود. به هر حال، از آنها در حالتی که تونل به طور کامل تخلیه شده است به منظور حفاظت از سازه تونل استفاده می‌شود.

تیمهای نجات

سرویسهای نجات عمومی در صورت وقوع بحران در تونل فرا خوانده می‌شوند. دسترسی آنها به تونل در اثر بعد مسافت یا ترافیک بسیار سنگین (که در اثر خود تصادف نیز بوجود می‌آید) دشوار می‌باشد. در تونل دسترسی آنها به محل تصادف بستگی به مورد خاص (درون دهانه تصادف، استفاده از یک دهانه دوم، دسترسی مستقیم از قسمت آزاد و غیره) بستگی دارد. اگرچه فعالیت آنها در کنترل آتش یا تخلیه افراد مصدوم بسیار مهم می‌باشد، در بیشتر مواقع آتش به سرعت حداکثر خود رسیده است و تلفات قبل از رسیدن آنها بوجود آمده است. به همین منظور، در تونلهای با ریسک بالا (مانند تونلهای بلند یک دهانه‌ای با ترافیک سنگین، یا کوتاه‌تر با ترافیک بسیار سنگین)، تیمهای نجات را می‌توان در ورودی تونل مستقر نمود تا در مواقع ضروری ظرف چند دقیقه اقدام لازم را بعمل آورند.

زهکشی

یک سیستم زهکشی در تونلها جهت تخلیه آب آلوده از سطح جاده و آب تمیز از زمین (اغلب بصورت جداگانه) تعبیه می‌گردد. این سیستم جهت تخلیه ریزش تصادفی مایعات خطرناک نیز مفید می‌باشد. بمنظور افزایش کارایی آن در حالت آزادسازی ناگهانی و قابل توجه مایعات خطرناک، باید فاصله بین ورودیها کاهش یابد یا از شکافهایی با درپوشهای روزنه‌دار فلزی استفاده نمود. در حالت ریزش مایع آتشگیر از انواع سیفون جهت جلوگیری از انتشار آتش و انفجار در سیستم زیر زمینی استفاده می‌شود.

نقشه فعالیت یا اضطراری

یک روش یا عکس‌العمل مناسب یک جز بسیار ضروری و تعیین کننده جهت اجرای سریع همه فعالیتهای مورد نیاز و اطمینان از هماهنگی بین گروههای متعدد درگیر جدی در تصادف می‌باشد. این نقشه باید فعالیتهایی که باید توسط اپراتور و خدمات اضطراری و ارتباط بین آنها انجام گردد را توضیح دهد. آماده‌سازی آن باید تمامی گروهها را در برگیرد و بر اساس تعدادی از سناریوهای تصادف قرار داشته باشد. نقشه اضطراری باید بطور کامل در تمام تغییرات درون تونل، ترافیک و محیط مد نظر قرار گیرد. آموزش شامل تمرینات در فواصل منظم، برای مؤثر بودن نقشه هنگام وقوع بحران، ضروری می‌باشد.

سازه مقاوم در برابر آتش

در صورت وقوع یک حادثه جدی آتش‌سوزی، اگر تمهیدات خاصی پیش‌بینی نشود، سازه تونل حداقل بصورت موضعی ریزش می‌نماید. این امر گاهی ایمنی کاربران و سرویسهای اضطراری را به خطر می‌اندازد و تعمیرات پرهزینه‌ای بر اپراتور تحمیل می‌نماید و ترافیک را مخدوش می‌کند. نیاز به پیش‌بینی تمهیدات مقاوم در برابر آتش بستگی به نوع تونل و نقش سازه خاص دارد. سازه اصلی تونل‌های سنگی به طور کلی نیازی به هیچ‌گونه مقاوم‌سازی در برابر آتش ندارد. از سوی دیگر، تونل‌های زیر سطح آب جهت جلوگیری از جاری شدن سیل به علت آسیب موضعی ناشی از آتش‌سوزی نیاز به حفاظت کافی دارند. هنگامی که چنین تمهیداتی پیش‌بینی شوند، جان‌پناهها باید مقاوم در برابر آتش باشند. بسته به نقش آنها، داکتهای تهویه نیز تا حدی باید مقاوم در برابر آتش انتخاب شوند تا کنترل کارا و مؤثر حاصل گردد.

سازه مقاوم در برابر انفجار

سازه مقاوم در برابر انفجار به جهت ایمنی مورد نیاز نمی‌باشد، چرا که انفجار با توانایی آسیب به تونل، هیچ فرد زنده‌ای را باقی نمی‌گذارد. به هر حال، هنگامی که گروه‌بندی A (فصل ۴) مجاز باشد، پایداری دهانه دوم یک تونل در صورت انفجار در دهانه اول باید کنترل گردد. جدا از این مورد خاص، مقاومت در برابر انفجار تنها خود تونل را محافظت می‌نماید. در صورتی که حفاظت در برابر انفجارهای بسیار جدی مد نظر باشد، به دلیل هزینه بسیار بالای اجرایی، معمولاً از آن صرف نظر می‌شود.

طبقه‌بندی اقدامات

از گروهی از اپراتورهای تونل در ۱۴ تونل اروپائی درخواست شد که پرسشنامه‌ای را تکمیل کنند (Van der Sluis et al. ۱۹۹۸). بخش اول این پرسشنامه مربوط به اطلاعات کلی درباره تونل بود. در بخش دوم در مورد اطلاعاتی درباره اقدامات انجام گرفته در تونل سؤال شده و بخش سوم آن مربوط به طبقه‌بندی اقدامات بود. اطلاعات درخواست شده شامل هزینه اقدامات، تأثیر آن در کاهش تعداد قربانیان و پتانسیل کاهش میزان خسارات در تونل بود.

بر اساس این اطلاعات، اقدامات صورت گرفته در یکی از گروههای زیر قرار گرفت:

- (۱) کم‌اثر
- (۲) تأثیر متوسط
- (۳) تأثیر بالا

سپس اقدامات به این سه گروه برحسب تأثیر تقسیم شد. ۲۵٪ از این اقدامات با بالاترین امتیاز، تشکیل گروهی از اقدامات با تأثیر بالا را دادند. ۵۰٪ دیگر در گروهی با تأثیر متوسط قرار گرفت. اقدامات باقیمانده نیز در گروه با تأثیر کم واقع شد.

از آنجا که پرسشنامه‌ها به طور ناقص داده شده بود، تعیین اطلاعات مربوط به هزینه دشوار بود. برای حل این مشکل، اقدامات به کم، متوسط و پرهزینه دسته‌بندی شد. سه دسته‌بندی مربوط به تأثیر بر کاهش قربانیان و هم هزینه

اقدامات، بخوبی در ماتریس ۳×۳، بازدهی هر اقدام را نشان می‌دهد (جدول ۷-۲). در این ماتریس ۳×۳، سه بخش مشخص شده است. بخش حاوی (کم‌هزینه) × (تأثیر بالا) نشان‌دهنده اقدامات با بهره‌وری بالاست. بخش حاوی (پرهزینه) × (کم‌تأثیر) نشان‌دهنده اقدامات غیر کارآمد است. ۷ بخش باقیمانده هم ناحیه باصلاح خاکستری را تشکیل می‌دهند.

جدول ۷-۲: طبقه‌بندی اقدامات برحسب بهره‌وری و کاهش خسارات و قربانیان

کارایی پایین	کارایی متوسط	کارایی بالا	
		بسیار موثر	کم‌هزینه
			با هزینه متوسط
بدون تأثیر			پرهزینه

ماتریس ۳×۳ مشابه نیز می‌تواند برای نمایش بازدهی اقدامات با توجه به کاهش خسارات مربوطه به ساختار تونل استفاده شود. مطالعات نشان می‌دهد که امتیاز مربوط به مقایسه تأثیر اقدامات برحسب کاهش تعداد قربانیان، در مقایسه با کاهش خسارات وارد شده به ساختار تونل، متفاوت است.

نتایج :

نتایج اصلی این مطالعه عبارتند از:

روش ارایه شده برای طبقه‌بندی اقدامات برحسب بازدهی به علت منحصر به فرد بودن هر تونل، مخصوص به آن تونل است. این روش، روش کیفی بوده و می‌تواند برای انتخاب محتمل‌ترین اقدامات برای یک تونل خاص در راستای کاهش خطر عبور کالاهای خطرناک استفاده شود.

در هنگام طبقه‌بندی اقدامات، باید بین تأثیر در کاهش تعداد قربانیان و خسارات به ساختمان تونل تمیز داده شود. چرا که این طبقه‌بندیها می‌تواند بسیار متفاوت باشد.

طبقه‌بندیهای استفاده شده در این مطالعه، شامل سه گروه زیراست :

۱- اقدامات با هزینه کم و تأثیر بالا و بنابراین بسیار کارآمد بوده و پیشنهاد می‌شود.

۲- اقدامات با هزینه بالا و تأثیر کم و بنابراین ناکارآمد بوده و پیشنهاد نمی‌شود.

۳- اقدامات واقع شده در ناحیه خاکستری.

پیشنهاد می‌شود که اقدامات کم‌هزینه، حتی شامل تأثیر متوسط یا کم همیشه بررسی شود.

تأثیرگذاری اقدامات کاهش خطر منطقه‌ای

مقدمه

اقدامات منطقه‌ای (Native) همان اقداماتی است که در QRAM، توضیح داده شده در فصل ۵، وجود داشت. شماری از آزمایشهای حساسیت برای امتحان چگونگی تأثیرپذیری نتایج QRAM بواسطه تغییرات صورت گرفته در اقدامات کاهش خطر، انجام گرفت (Pons, 200). اقدامات منطقه‌ای، مقاومت در برابر آتش، مقاومت انفجاری، کنترل دود، زهکشی، خروجیهای اضطراری، تاخیر برای بستن تونل و تاخیر در فعال‌سازی تهویه را شامل می‌شود. مقطع عرضی (تعداد مسیرها، انحنای و میزان شیب نیز بررسی می‌شود. اگرچه مجموع این ۹ پارامتر در این مطالعه در نظر گرفته شد، پارامترهای مقطع عرضی، میزان شیب و مقاومت در برابر آتش و انفجار از خصوصیات تونل بوده و در گستره این مطالعه متغیر نیست. نسخه اولیه‌ی QRAM با در نظر گرفتن تنها ۱۰ زمینه اول توضیح داده شده در جدول ۵-۱ استفاده می‌شد.

اسلوب‌شناسی

یک مطالعه حساسیت در راستای تعیین چگونگی تأثیرپذیری نتایج QRAM بواسطه تغییرات اعمال شده در اقدامات کاهش خطر اولیه، انجام شده است. این مطالعه برای تونل‌های زیر انجام گرفت:

- تونل V (۲ کیلومتر، ۲ دهانه، تهویه‌ی طولی)
- تونل H (۳ کیلومتر، ۱ دهانه، تهویه‌ی طولی)
- تونل W (۶/۷ کیلومتر، ۲ دهانه، تهویه‌ی طولی)
- تونل S (۸/۶ کیلومتر، ۱ دهانه، تهویه نیمه عرضی)
- تونل C (۱ کیلومتر، ۲ دهانه، تهویه‌ی طولی)
- تونل O (۳/۳ کیلومتر، ۱ دهانه، ۳ خطه، تهویه نیمه عرضی)

تونل‌های بررسی شده در این مطالعه تنها به عنوان مثال استفاده شده و ممکن است که اطلاعات آن با اقدامات، وسایل و خصوصیات آن تونل‌ها مطابقت نداشته باشد. خصوصیات اساسی این تونل‌ها با دسته‌بندیهای مشخص گزارش شده، لیکن دقت این اطلاعات تعیین نشده است. بنابراین این تونل‌ها نامگذاری نشده‌اند. مطالعه حساسیت برای همه تونل‌ها بر مبنای یکسانی انجام گرفته است. حالت پایه تعریف شده علاوه بر قابل اجرا بودن، با مشخصات واقعی تونل مورد بررسی، مطابقت دارد. پارامترهای کاهش خطر ابتدایی بصورت زیر متغیر است:

- خروجیهای اضطراری: هیچ، هر ۱۰۰ متر، هر ۲۵۰ متر و هر ۵۰۰ متر.
- زهکشی: هیچ، ۰/۱ مترمربع با فاصله ۱۰ متر، ۰/۳ مترمربع با فاصله ۲۰ متر، حفره پیوسته با پهنای ۵ سانتیمتر، و حفره پیوسته با پهنای ۹ سانتیمتر.

کنترل دود: برای سیستمهای طولی، تهویه معمولی $= 0.6 \text{ m/s}$ و یا مطابق با حالت پایه، تهویه اضطراری $= 0$ ، ۲، ۳، ۴، ۵ m/s . برای سیستمهای عرضی میزان استخراج و جریان هوای طولی تعدیل می‌شود. زمان لازم برای تهویه اضطراری به صورت تمام کارکردی: ۵، ۱۰، ۱۲ و ۱۵ دقیقه. تاخیر برای توقف دسترسی بر تونل: ۱، ۶، ۸ و ۱۱ دقیقه.

زمان لازم برای فعال ساختن تهویه اضطراری و تاخیر برای توقف دسترسی به تونل به طور مستقل بررسی نمی‌شود. برای مثال یک دقیقه تاخیر برای متوقف ساختن دسترسی به تونل مطابق با ۵ دقیقه تاخیر برای به کار انداختن تهویه اضطراری است (عمل شروع تهویه و متوقف ساختن ترافیک به طور همزمان انجام می‌گیرد).

شرایط مبنا برای هر تونل در جدول ۷-۳ نمایش داده شده است. برای تونلهای O و S یک سیستم تهویه نیمه‌عرضی استفاده می‌شود. در حالت معمولی، هوای تازه با ۳۰ درصد میزان حداکثر ظرفیت به داخل دمیده می‌شود، در حالی که ظرفیت کل برای تونل O، $516 \text{ m}^3/\text{s}$ و برای تونل S $554 \text{ m}^3/\text{s}$ بوده و هیچ استخراجی صورت نمی‌گیرد. در مواقع اضطراری، میزان استخراج برای دو تونل در محل حادثه به $110 \text{ m}^3/\text{s}$ تغییر می‌کند. در هر موقعیت (معمولی و اضطراری)، میزان تغییر فشار بین دو دهانه، برای تونل ۶O پاسکال و برای تونل S ۵ پاسکال می‌باشد.

پارامترهای زیر تصحیح و تعدیل شده است: خروجیهای اضطراری، فواصل زهکشی و مناطق باز، تاخیر تهویه و تاخیر دسترسی و شرایط تهویه. هر پارامتر به نوبت تصحیح شده، در حالی که سایر پارامترها به مقادیر پایه‌ای خود رسیده‌اند.

جدول ۷-۳: مقادیر حالات پایه برای ۶ تونل

حالت پایه	واحد	C تونل	H تونل	O تونل	S تونل	V تونل	W تونل
طول	متر	۱۰۷۵	۱۸۵۵	۳۶۸۱	۸۶۰۲	۲۰۲۰	۶۷۰۰
تعداد مجرا	_____	۲	۱	۱	۱	۲	۲
جهت	_____	یک خطه	دو خطه	دو خطه	دو خطه	یک خطه	یک خطه
فاصله خروجیهای اضطراری	متر	۲۰۰	_____	۴۰۰	۲۰۰ ^۴	۱۰۰	۲۵۰
زهکشی (فاصله)	متر	۲۰	۵۰	'cont	cont	۱۰۰	۲۰
زهکشی (دهانه)	مترمربع	۰/۰۷۵	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۳	۰/۰۶
تاخیر تهویه اضطراری	دقیقه	۵	۱	۱	۱	۱	۳
تاخیر دسترسی ممنوع	دقیقه	۱۵	۵	۱۵	۱۵	۱	۱
سیستم تهویه	_____	Long2	long	Semi3	semi	long	long
سرعت هوای تهویه معمولی	m/s	۱	۳/	_____	_____	۳/۴	۱
سرعت هوای تهویه اضطراری	m/s	۴/۵	۲/۲	_____	_____	۳	۴
میزان هوای دمیده	%	_____	_____	۳۰	۳۰	_____	_____
استخراج	m ³ / s	_____	_____	۱۱۰	۱۱۰	_____	_____
تفاوت فشار	Pa	_____	_____	۶	۵۰	_____	_____

نتایج

۱- cont : زهکشی پیوسته

۲- long : تهویه طولی

۳- Semi : تهویه نیمه عرضی

۴- در عمل، ۸۰۰ متر

۵- در عمل، زمان شروع تهویه + زمان لازم برای رسیدن تهویه به ظرفیت کامل (حداقل ۳ دقیقه) باید استفاده شود.

در تفسیر نتایج، باید عدم اطمینان مربوط به خود نمونه و توضیحات مربوط به حالت بررسی شده، در نظر گرفته شود (مثل مسیر، استفاده کنندگان از راه، جمعیت محلی و شرایط آب و هوایی). در مورد مطالعه حساسیت، عدم اطمینانی که باید بررسی شود تنها مربوط به پارامترهایی است که متغیر می‌باشند (سایر پارامترهای ثابت باقی می‌مانند). این مورد ممکن است به تفاوت‌های مهمی منجر شود که باید تفسیر گردد و در غیر این صورت می‌توان از تفاوت‌های کوچک چشم‌پوشی کرد.

فاصله‌ی متوسط بین دو خروجی اضطراری

خروجی‌های اضطراری دروازه‌ها/راههایی است که به مکان‌هایی امن رسیده (دهانه دوم، داکت هوای تازه و غیره) و اجازه تخلیه از مدخل تونل را با ایمنی بیشتر می‌دهد. بنابراین پناهگاه‌های واقع شده در تونل (بدون دسترسی به مکان‌های امن) به عنوان خروجی‌های اضطراری در نظر گرفته نمی‌شود و فاصله متوسط بین دو خروجی اضطراری به تأثیری که بر تخلیه می‌گذارد بستگی داشته و بنابراین بر تعداد قربانی‌های ناشی از یک حادثه موثر است. این مورد بر تعداد حوادث تأثیر نداشته، اما هنگامی که خروجی‌های اضطراری نزدیک به هم باشند، از احتمال وقوع حوادث ناگوار می‌کاهد. مطالعه حساسیت نشان می‌دهد هنگامی که فاصله متوسط بین دو خروجی اضطراری از طول تونل به ۱۰۰ متر کاهش یابد، هم تعداد تلفات مورد انتظار و هم ماکزیمم تعداد قربانیان محاسبه شده برای حوادث آتش‌سوزی 20 MV و انفجار گازهای قابل اشتعال (VCE) کاهش پیدا می‌کند. برای حوادثی مانند آتش‌سوزی 100 MV ، آتش‌سوزی حوضچه مواد قابل انفجار (LPG)، انفجار بخار منتشره مایع به جوش آمده (BLEVE)، VCE و شعله و آمونیاک، این کاهش قابل مشاهده است. کاهش فواصل بین خروجی‌های اضطراری از میزان و تعداد قربانیان می‌کاهد.

سیستم زهکشی

از ۱۰ حادثه‌ای که مطالعه حساسیت را در مدل تعیین کمی خطر بکار برده‌اند، تنها حوادث حوضچه مواد قابل اشتعال و گازهای قابل اشتعال از سیستم زهکشی تأثیر پذیرفته‌اند. انتظار است که سیستم زهکشی بر گسترش حوضه آتش تأثیر گذاشته و بنابراین از تعداد قربانیان محاسبه شده در یک حادثه معین بکاهد. این سیستم هیچ تأثیری بر تعداد حوادث ندارد. اما هنگامی که محوطه باز سیستم زهکشی

بزرگتر باشد، بر احتمال رویداد حوادث ناگوار تأثیر می‌گذارد. مطالعه حساسیت نشان می‌دهد هنگامی که محوطه باز سیستم زهکشی از حالت بدون زهکشی به حفره‌های باز پیوسته به فواصل ۰/۰۹ متر افزایش یابد، هم میزان تلفات قابل انتظار و هم ماکزیمم تعداد قربانیان ناشی از سناریوهای گازهای قابل اشتعال و سناریوهای حوضچه مواد قابل اشتعال کاهش می‌یابد. سیستم زهکشی بر هیچ یک از حوادث ناگوار دیگر و نیز تعداد قربانیان ناشی از آنها تأثیری ندارد.

تاخیر در فعال‌سازی اقدامات اضطراری:

تاخیر ناشی از فعال‌سازی اقدامات اضطراری بر تعداد افراد حاضر در منطقه خطر در هنگام شروع حادثه (بعد از مدتی کوتاه دسترسی ممنوع می‌شود) و عواقب مادی و جسمانی ناشی از آن حادثه تأثیر می‌گذارد. انتظار می‌رود که تأثیر بر عواقب مادی و جسمانی در اثر کاهش این تاخیرها در حوادث ناشی از آتش‌سوزی و یا انتشار مواد سمی، به کاهش میزان خطر منجر شود. در مورد VCE، تغییر نوع تهویه (از معمولی به اضطراری) موجب تغییر در توده مشتعل (بین بالاترین و پایین‌ترین حد اشتعال) می‌شود. اگر این توده مشتعل پس از تغییر در تهویه کمتر یا بیشتر شود، دیگر ممکن نیست که بگوییم یک ارجحیت روی داده است. بنابراین اصلاح در تاخیر فعال‌سازی تهویه اضطراری در این مورد منجر به نتایج واضحی، حتی در مقایسه با سایر حوادث مشاهده شده، نمی‌شود. این مورد هیچ تأثیری بر تعداد حوادث نداشته، اما در صورتی که روندهای اضطراری سریع‌تر فعال شود، بر احتمال رویداد حوادث ناگوار تأثیر می‌گذارد.

مطالعه حساسیت نشان می‌دهد هنگامی که زمان فعال‌سازی اقدامات اضطراری کاهش یابد، هم میزان حوادث ناگوار قابل انتظار و هم ماکزیمم تعداد قربانیان ناشی از تمامی حوادث بجز حوادث گازهای قابل اشتعال، تقلیل پیدا می‌کند. حوادث VCE بسته به کیفیت آن هم افزایش و هم کاهش را نشان می‌دهد. بیشترین تأثیر در حوادث LGP دیده می‌شود. هنگامی که زمان تاخیر کاهش می‌یابد، به کاهش احتمال تعداد قربانیان منجر می‌شود.

تهویه اضطراری

برای این پارامتر، نمایش و شرح نتایج به دو گونه مجزای سیستم تهویه نیمه‌عرضی (تونل O و تونل S) و سیستم تهویه طولی (تونل C، تونل H، تونل V و تونل W) برای تونلها تقسیم می‌شود. انتظار می‌رود که پارامتر تهویه اضطراری بر عواقب جانی و مالی حوادث معین تأثیر گذارد. این مورد هیچ تأثیری بر تعداد حوادث نداشته اما در صورتی که میزان جریان تهویه افزایش یابد، احتمال وقوع تلفات و خسارات ناشی از آن کاهش می‌یابد.

تهویه عرضی

در خصوص تهویه اضطراری اعمال شده بر سیستمهای نیمه عرضی، یک دوره چهارگانه محاسباتی انجام می شود که در آن هوای تازه در طول یک تونل معین دمیده شده (۳۰٪ ظرفیت) و استخراج به ترتیب ۰، ۵۰، ۱۱۰ و $200 \text{ m}^3/\text{s}$ در بخشی که تصادف روی داده صورت می گیرد. یک محاسبه پنجمی نیز انجام می گیرد که در آن $110 \text{ m}^3/\text{s}$ استخراج با دمیدن هوای تازه صورت می گیرد (تأثیر شرایط جوی بر جریانهای طولی از حالت معمولی تا حالت اضطراری ثابت باقی می ماند).

مطالعه حساسیت نشان می دهد که هنگامی که استخراج هوا در منطقه ای که در آن تصادف روی داده افزایش یابد، میزان حوادث ناگوار قابل انتظار و ماکزیمم تعداد قربانیان ناشی از حوادث آتش سوزی 20 MV کاهش می یابد. به علاوه در قربانیان ناشی از حوادث آمونیاک افزایش و در قربانیان ناشی از آتش سوزیهای 100 MV و سناریوهای حوضچه مواد قابل اشتعال کاهش محسوسی مشاهده می شود. این مورد هیچ گونه تأثیری بر حوادث VCE و BLEVE ندارد.

تهویه طولی

برای تونلهای با تهویه طولی، مطالعات حساسیت نشان می دهد هنگامی که تهویه اضطراری در تونلهایی که تهویه اولیه برای جلوگیری از back – layering کافی نیست، افزایش یابد، میزان تلفات قابل انتظار و ماکزیمم تعداد قربانیان در همه حوادث بجز حوادث LPG , BLEVE کاهش می یابد. این تأثیرات تنها زمانی که تهویه اضطراری از ۰ به 10 m/s افزایش یابد، مشاهده می شود. لازم به تذکر است که این کاهش به تاخیر فعال سازی اقدامات اضطراری بستگی دارد. این تأثیرات به ازای زمان تاخیر کمتر، بزرگتر است. برای تونلهایی که سرعت هوای اولیه در آنها برای جلوگیری از back – layering کافی است، مطالعه حساسیت نشان می دهد که افزایش تهویه اضطراری منجر به کاهش چشمگیری در میزان تلفات قابل انتظار و ماکزیمم تعداد قربانیان ناشی از آتش سوزی و حوادث ناشی از آمونیاک می شود. این تأثیرات در تونل H بسیار کوچکتر است. این کاهش چشمگیر در تعداد حوادث ناگوار قابل انتظار برای سرعتهای اضطراری بالا مشاهده می شود (3 m/s یا سریعتر). تأثیر حوادث BLEVE که از جمله پدیده های غیرمنتظره و ناگهانی است، با تصحیح و تعدیل تهویه اضطراری تغییر نمی کند.

نتایج :

به عنوان نتیجه این بخش از مطالعه، ملاحظات و مفاد اصلی برگرفته شده از تونلهای مورد مطالعه خلاصه شده است. به طور کلی دو شاخص اصلی استفاده می شود: میزان حوادث ناگوار قابل انتظار و ماکزیمم تعداد قربانیان. به نظر می رسد که حتی اگر در بعضی موارد میزان تلفات قابل انتظار تحت کنترل متغیرهای محدود هنگام تصحیح و تعدیل پارامترهای آزمایش شده قرار بگیرد، کاهش مهمی در ماکزیمم تعداد قربانیان می توان مشاهده کرد. با توجه به مطالعات تونلها می توان نتیجه گرفت:

فاصله متوسط بین خروجیهای اضطراری برای آتش سوزی ۲۰ MV و حوادث گازهای قابل اشتعال VEC در همه تونلها بسیار مهم است، اما همچنین می تواند تأثیر مهمی بر آتش سوزی ۱۰۰ MV، حوضچه مواد قابل اشتعال، BLEVE, LPG و حوادث ناشی از آمونیاک در بعضی از تونلها داشته باشد.

سیستم زهکشی برای حوادث گازهای قابل اشتعال در همه تونلها و نیز حوضچه مواد قابل اشتعال در برخی از تونلها بسیار مهم است.

زمان تاخیر برای فعال سازی اقدامات اضطراری برای همه حوادث بجز حوادث گازهای قابل اشتعال مهم است. بیشترین تأثیرات در حوادث LPG مشاهده می شود.

تهویه اضطراری برای حوادث آتش سوزی ۲۰ MV که در تونلهای دارای سیستم تهویه نیمه عرضی روی می دهد، بسیار مهم است. هیچ گونه تأثیری در حوادث BCE و BLEVE دیده نمی شود.

در تونلهای با تهویه طولی، تأثیر تهویه اضطراری به سرعت اولیه هوا بستگی دارد:

- در مواردی که تهویه اولیه برای جلوگیری از back – layering کافی نیست، تهویه اضطراری برای تمامی حوادث بجز حوادث LGP و BLEVE در صورتی که از ۰ به ۳ m/s افزایش یابد، موثر است. این تأثیرات برای تونلهایی که در آنها تاخیر فعال سازی روندهای اضطراری کوتاهتر است، بیشتر است.

- در مواردی که تهویه اولیه برای جلوگیری از back – layering کافی می باشد، تهویه اضطراری تأثیر بسیاری در آتش سوزیها و حوادث ناشی از آمونیاک در تونلهای یک طرفه دارد. این تأثیر برای سایر حوادث در تونلهای یک طرفه و تمامی حوادث در تونلهای دوطرفه کم بوده و برای حوادث BLEVE بدون تأثیر است.

تأثیر اقدامات کاهش خطر فرامنطقه ای (non – native) در رابطه با احتمال تصادف

مقدمه

این بخش به ارزیابی و تعیین تعدادی از اقدامات کاهش خطر فرامنطقه ای و میزان تأثیر آن اقدامات بر ریسک می پردازد (Saccomanno et al. 2000). به هر حال، تأثیر ناشی از تغییر در اقدامات ایمنی فرامنطقه ای تنها با بیان و معرفی تنظیم خارجی برای تخمینهای مدل پایه، استخراج می شود. با توجه به فقدان رویه های جامع و علمی برای معرفی این تغییرات، به کارگیری مدلی برای اقدامات ایمنی فرامنطقه ای، مناسب می باشد. در این بخش، هدف توسعه روشی برای معرفی این اقدامات ایمنی فرامنطقه ای به QRAM موجود به صورتی است که بتوان آن را به طور علمی و عینی ارزیابی کرد.

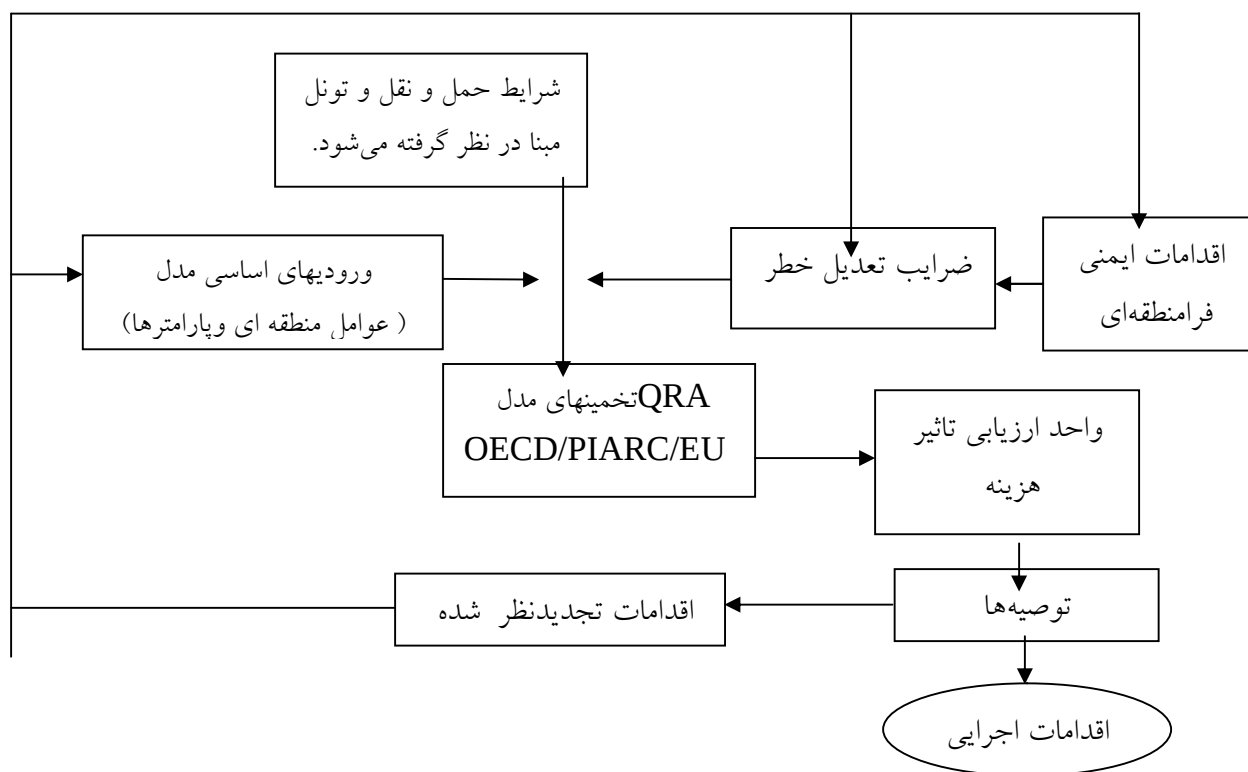
اسلوب شناسی

نمودار ۷-۱، چارچوب لازم برای دستیابی به بررسی اقدامات ایمنی فرامنطقه ای و منطقه ای در QRAM موجود را روشن می سازد.

۱- تعریف حالت پایه برای تحلیل (فرضها، شرایط و ورودیهای خطر).

- ۲- تخمین ریسک (احتمالات و نتایج) با استفاده از QRAM (بر اساس اقدامات ورودی منطقه‌ای).
 - ۳- توسعه لیستی از اقدامات فرامنطقه‌ای سودمند برای طبقه‌بندی تونلها و تصمیم‌گیرندگان.
 - ۴- تدارک ارتباط بین اقدامات کاهش ریسک فرامنطقه‌ای و تأثیر آنها بر اجزاء ریسک موجود در مدل.
 - به دست آوردن ضرایب تنظیم و تعدیل ریسک برای اجزا مختلف آن.
 - ۵- بررسی عدم اطمینان در مقادیر ضرایب تعدیل.
 - ۶- به دست آوردن یک تخمین تجدید نظر شده و ارزیابی این اقدامات از لحاظ ثمربخشی هزینه.
- این چارچوب یک رابطه رسمی بین تخمینهای تعدیل شده ریسک برای اقدامات ایمنی مختلف و یک واحد تصمیم‌گیری را تهیه می‌کند. واحد تصمیم‌گیری میزان ثمربخشی هزینه هریک از اقدامات ایمنی را بررسی کرده و توصیه‌های لازم را برای اجرا و تجدید نظر بیان می‌کند.

جدول ۷-۱: تغییر مدل کمی ارزیابی ریسک برای اقدامات غیرمنطقه‌ای

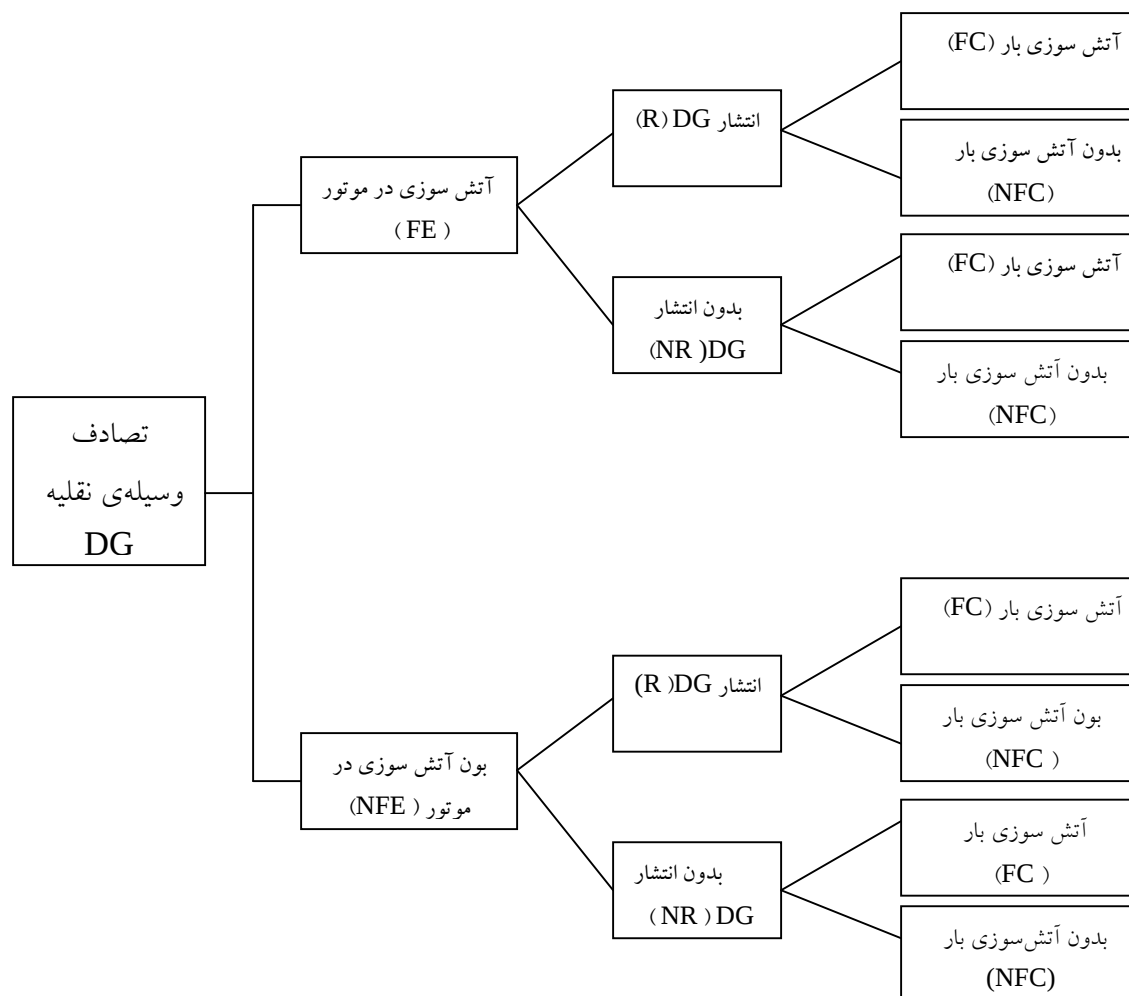


تأثیر پیوسته عدم اطمینان اجزا ریسک در ضرایب تعدیل، توسط اعمال روشهای مونت کارلو (Montcarlo) در تولید مقادیر نمونه تصادفی برای هر ضریب صورت می‌گیرد که بر اساس توزیع لگاریتمی انجام می‌شود. اصطلاح احتمال مشترک برای ریسک در مورد ترکیب نمونه‌های ورودی ضرایب تعدیل، برای دستیابی به یک نمونه از مقادیر برای هر جزء از ریسک استفاده می‌شود. این مقادیر بر توضیحی منطبق است که از روشهای تجربی استفاده می‌کند. در این بخش، تحلیلها به انتقال مواد مایع قابل اشتعال به صورت توده‌ای از یک تونل تک دهانه با یک مسیر در هر راستا

محدود شده است. این ریسکها برای مقطع در تونل تخمین زده شده تا تفاوت‌های خطر در مناطق گذار تونل (ورودی و خروجی) نادیده گرفته شود. در حالی که تعیین میزان خطر برای انتقال کالاهای خطرناک فرآیندی پیچیده است، با استفاده از طیف گسترده‌ای از احتمالات و نتایج، رفتار اجزا یا خروجی ریسک در این بخش، ساده شده است. این مورد در نمودار ۷-۲ نشان داده شده است.

یک نمودار درختی مشابه برای وقایع اتفاق افتاده غیرتصادفی نیز ایجاد شده است که در آن همه وقایع متعاقب تکرار شده و احتمالات پایه تخمین زده شده است.

نمودار ۷-۲: نمودار درختی اجزای پایه ریسک بررسی شده در این بخش



در نمودار ۷-۲، احتمال اجزای ریسک در طول هر شاخه به عنوان احتمالات مشترک همه شاخه‌های جلوتر، از احتمالات حالت پایه محاسبه شده و در پی معرفی اقدامات ایمنی مخصوص به عنوان پایه‌ای برای مقایسه خطرهای تعدیل شده به کار گرفته می‌شود. مطالعه در حالت اول، لیستی از اقدامات ایمنی فرامنطقه‌ای جدول ۷-۱ را نتیجه می‌دهد، که ۵ نوع گسترده کنترل را منعکس می‌کند، یعنی طراحی تونل، ردیابی تصادف، کنترل ترافیک، مقررات ترافیک و واکنش اضطراری. ۵ نمونه اقدامات ایمنی ارائه شده از لیست اصلی گروههای کاری در این بخش بررسی می‌شود:

- تغییر ساختار تونل از نداشتن هیچ‌گونه مقاومت به سازه تونل با مقاومت کافی در برابر آتش،
- تغییر در محدوده سرعت (کاهش ۲۰ km/h)،
- تغییر از حالت بدون اسکورت به حالتی که پشت سر وسایل نقلیه حامل کالاهای خطرناک اسکورت باشد،
- تغییر از بدون CCTV به CCTV،
- تغییر تجهیزات مقاوم در برابر آتش سوزی از هیچ به میزان و مقدار کافی.

ضرایب تعدیل و تخمینهای اجزای ریسک

در اقدامات لازم جهت کاهش ریسک، تونلها و تصادفات، ضرایب تعدیل برای هر کدام از ۱۵ جز ورودی ریسک در نظر گرفته شده، تخمین زده می‌شوند. ضرایب تعدیل به یک توزیع لگاریتم ارجاع می‌شوند، بدین معنی که با مقدار تخمینی واحدی مشخص شده و یک خطای استاندارد، در هر مورد به اندازه ۱۰٪ مقدار اولیه، برایشان در نظر گرفته می‌شود. کنترل سرعت از زمانی که تغییرات در پیشنهادات با عدم اطمینان بیشتری (۲۰٪) ارائه شد، استثنا گردید. بمنظور معکوس کردن تأثیر این تغییرات و نااطمینانی‌ها در تخمینهای ضرایب تعدیل، یک نمونه تصادفی ۲۰۰۰۰ عددی تولید گشت. این نمونه‌ها از طریق روابط احتمالی مشترکی با هر جز ریسک متحد شدند. این عمل به یک تخمین ریسک ترکیبی و توزیع مشابه برای هر یک از اجزا در برگیرنده موسوم گشت.

برای هر مؤلفه ریسک، یک عدد آماری مورد نیاز کسب شد. جدول ۷-۴ اجزای ریسک تخمین زده شده مقادیر متوسط را خلاصه می‌کند. دهمین و نودمین درصد برای هر اقدام ایمنی و حالت پایه‌ای محاسبه می‌شود. همچنین شامل تخمین احتمال این مسأله می‌باشد که مقادیر تخمینی پایه، توسط مقادیر حاصل از توزیع ریسک حاصل از اقدامات ایمنی و

	واحد	کاهش محدوده سرعت				اسکورت کالاهای خطرناک				ابزارهای اطفای حریق			
		متوسط	٪۱۰	٪۹۰	P X > پایه	متوسط	٪۱۰	٪۹۰	P X > پایه	متوسط	٪۱۰	٪۹۰	P X > پایه
تصادف	۱۰۰	۴/۵	۳/۴	۵/۷	۲۵	۴/۰	۳/۵	۴/۵	٪۵	۵/۰	۴/۴	۵/۶	٪۴۵
احتراق خود به خود	۱۰۰۰	۸/۵	۶/۴	۱۱/۰	٪۲۵	۷/۲	۶/۱	۸/۳	٪۵	۹/۷	۸/۳	۱۱/۳	٪۴۵
رها شدن	۱۰۰۰۰	۶/۶	۴/۸		٪۱۰	۴/۹	۴/۱	۸/۳	٪۰	۸/۴	۶/۹	۱۰/۲	٪۴۵
آتش سوزیهای بار	۱۰۰۰	۱/۰	۰/۷	۸/۵	٪۱۰ ۱/۳	۰/۶	۰/۵	۰/۸	٪۵	۱/۳	۱/۰	۱/۶	٪۴۰

سازگاری آنها افزایش خواهد یافت.

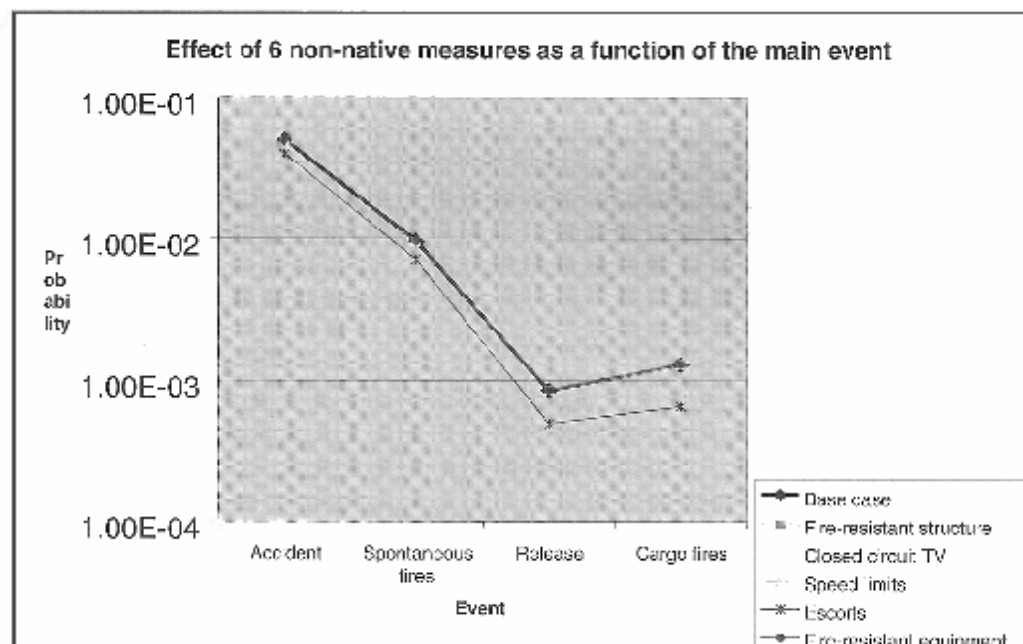
میزان تناسب و شایستگی معرفی هر اقدام ایمنی برای حالت پایه می‌تواند بطور گرافیکی با تخمین ریسک مقایسه شود. این موارد در شکل ۷-۳ بطور کامل برای میانگین هر اقدام در نظر گرفته شده، توضیح داده شده است. یک نمودار مشابه می‌تواند برای هر یک از شاخصهای آماری تولید شده توسط شبیه‌سازی تعریف شود.

جدول ۷-۴. میانگین تخمینی اجزای ریسک، دهمین و نودمین درصد و احتمال فراتر رفتن از حالت پایه

دوربین مدار بسته	سازه‌های مقاوم در برابر آتش‌سوزی			حالت پایه			واحد	
	پایه $X > P$	متوسط	P	متوسط	متوسط	متوسط	در	X
	۹۰٪	۱۰٪	متوسط	۹۰٪	۱۰٪	متوسط	سال	
تصادف	۵/۶	۴/۴	۵/۰	۵/۷	۴/۴	۵/۰	۱۰۰	
آتش‌سوزی خود به خود	۱۱/۲	۸/۴	۹/۸	۱۱/۳	۸/۳	۹/۷	۱۰۰۰	
رها شدن	۹/۹	۶/۹	۸/۴	۱۰/۰	۷/۰	۸/۵	۱۰۰۰۰	
آتش‌سوزیهای بار	۱/۵	۱/۰	۱/۳	۱/۶	۱/۱	۱/۳	۱۰۰۰	

نتایج

نتایج بسط داده شده در این قسمت، ساختاری مقاوم در برابر آتش‌سوزی را معرفی کرده و نیاز دسترسی به ابزار ضدحریق بسیار کم و بی تأثیر بر روی احتمالات ریسک مقایسه شده با حالت پایه (بدون تغییر) می‌باشد. این نتیجه از زمانی که این اقدامات برای کاهش زیانهای ناشی از کالاهای خطرناک و آتش‌سوزی که بیش از معمول رخ می‌دهند طراحی گردیدند، انتظار می‌رفت. معرفی یک سیستم CCTV در تونل تأثیر ناچیزی بر احتمال و میزان آتش‌سوزی محوطه‌ها می‌تواند داشته باشد. بیشترین تأثیرات در کاهش خطرات عظیم را تمهیداتی در بر دارند که شامل کاهش محدودیتهای سرعت و معرفی یک وسیله نقلیه اسکورت در پشت کالاهای خطرناک در حال حمل و نقل می‌باشند. استفاده از وسایل اسکورت مطلوبترین تأثیر را بر کاهش کلیه اجزای ایجاد کننده ریسک از قبیل تصادفات، آتش‌سوزیهای موتور، رها شدن محموله‌ها و آتش‌سوزی بار خواهد داشت.



شکل ۷-۳ میانگین اجرای ریسک برای اقدامات ایمنی مختلف و حالت پایه

از دید تحلیلی برای حالت پایه، نتیجه می‌شود که اقدامات ایمنی زیر تأثیر کمی (البته اگر تأثیری داشته باشند)، بر روی احتمال ایجاد ریسک خواهند داشت:

- تغییر مقاومت در برابر انفجار از هیچ تا میزان کافی،
- تغییر در روشنایی استاندارد به روشنایی ماکزیمم در مواقع اضطراری،
- تغییر در روشنایی استاندارد به روشنایی نشانگر در موارد تخلیه،
- تغییر فاصله بین اتومبیل‌های متوقف شده از ۱ متر به ۵۰ متر،
- تغییر سرویس‌های اضطراری عادی به تیم‌های مخصوص در ورودی‌ها.

تجزیه و تحلیل در این مقطع روی حمل مایعات قابل اشتعال متمرکز شده است. برای نمونه، در حوادث وخیم، نشت مایعات خورنده و مایعات غیرقابل اشتعال، کانون احتمالات آتش‌سوزی موتور وسایل نقلیه و انتشار آتش‌سوزی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

این مبحث، یک بسط جامع از QRAM را با دربرگرفتن تمهیدات کاهش ریسک که از ویژگی‌های اصلی یک مدل نمی‌باشد، شامل می‌شود. این عمل بدون کسب اطلاعات جدید و یا استفاده از یک ویژگی از اجزای اصلی مدل موجود، انجام می‌شود. ابتدایی‌ترین قسمت از این زنجیره، به بررسی یک تونل معین و انواع خسارت کالاها در آن پرداخته، یک سری نتایج محتمل، که اطلاعات مفیدی را به تصمیم‌گیرنده راجع به شایستگی مقادیر ایمنی در نظر گرفته شده خواهد داد، را شامل می‌شود.

برآورد اقدامات کاهش ریسک "فرامنطقه‌ای" متناسب با زمان واکنش

مقدمه :

همگام با توسعه و گسترش قابلیت‌های QRAM، تحقیقی توسط Hall et al. (۲۰۰۰) انجام گردید که جوابگوی بسیاری از مسایل موجود بود. این مطالعات به منظور تعیین میزان تأثیرگذاری تمهیدات کاهش ریسک که هم اکنون در مسیرهای دارای تونل استفاده می‌شود، انجام شد.

اهداف این تحقیق عبارت بودند از:

- توسعه یک روش کلی برای تحلیل اقدامات کاهش ریسک مرتبط با زمان.
- تخمین زدن تأثیر تمهیدات کاهش ریسک فرامنطقه‌ای.
- تخمین هزینه‌های تقریبی تمهیدات منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای.

تأثیر بسیاری از اقدامات کاهش ریسک به مسیری که قصد کاهش تاخیرهای ناشی از حوادث را در آن داریم بستگی دارد. همچنین اپراتورهای تونل و سرویسهای اضطراری نیز در پاسخگویی به موارد اضطراری تأثیرگذار می‌باشند. برای مثال، تخلیه مسیر با استفاده از CCTV (دوربین مدار بسته) و یا ردیابی خودکار حادثه در عرض چند دقیقه قابل اجرا می‌باشد، ولی بدون چنین سیستم‌هایی ممکن است وقفه‌های قابل توجهی قبل از شروع عملیات تخلیه مسیر رخ دهد. در این روش، چنین سیستم‌هایی می‌توانند تأثیر خوبی بر زمانهای قبل از شروع حرکت تخلیه و یا باز کردن مسیر و به طور طبیعی روی میزان تلفات و خسارات داشته باشند. اگر فواصل زمانی به طور دقیق تشخیص داده شوند، روش QRAM می‌تواند میزان تأثیرات این موارد توسط تغییر زمانهای قبل از شروع حادثه را بسنجد.

اسلوب شناسی

توالی رخدادهای یک تصادف تونلی می‌تواند در چندین مرحله مختلف همانند شکل ۷-۴ نشان داده شود. ابتدا، یک فاز ردیابی با فاصله زمانی محدود میان وقوع حادثه و تشخیص وقوع آن وجود دارد. پس از آن، در نظر گرفتن دو خط زمانی مناسب می‌باشد. یک خط زمانی به واکنش استفاده‌کنندگان دیگر از مسیر و لزوم حفظ ایمنی و سلامت آنها در مسیر می‌پردازد. پس از اینکه حادثه تشخیص داده شد، یک آژیر مرحله‌ای در حین تشخیص بخشی از تونل که نیاز به تخلیه و آزاد سازی مسیر دارد به صدا درمی‌آید. به همین جهت، آگاه کردن دیگر استفاده‌کنندگان از تونل تا فاصله ۱۰۰ متری از مکان وقوع حادثه ضروری می‌باشد. در این فاصله، طبیعت حادثه و ریسک احتمالی ناشی از آگاهی ناگهانی از آن ظاهر نمی‌شود. زمانی که سایر استفاده‌کنندگان از مسیر از اینکه جهت آزاد سازی مسیر نیاز به جابجایی دارند آگاه شوند، یک زمان اضافی دیگری نیز قبل از اینکه آنها در عمل شروع به حرکت کنند نیاز می‌باشد. این زمان به زمان پیش حرکت موسوم است و به تعداد زیادی از عوامل بستگی دارد.

شکل ۷-۴: توالی حوادث

خط زمانی شماره ۲ به عکس‌العمل خفیف موارد اضطراری و تأثیرات اقدامات کاهش ریسک بر شدت وقوع حادثه می‌پردازد. زمانی که یک حادثه تشخیص داده می‌شود، زمان محدودی صرف آگاه شدن سرویسهای خدماتی و عکس‌العمل آنها وجود دارد. این همان زمانی است که در زیر به آن اشاره شده و به "فاز آژیرخفیف" موسوم است. مجدداً زمان دیگری قبل از اینکه عملیات شروع شود تلف می‌شود، همانند آتش‌سوزی، که ممکن است هنگام حادثه رخ دهد و زمانی را جهت مهار کردن به خود اختصاص دهد و این خود مسأله مهمی است. زیرا ممکن است صرف رسیدن نزدیکترین گروه آتش‌نشانی به محل مورد نظر در طول تونل شود. اطلاعات حوادث گزارش شده به منظور کسب زمان جهت آژیر و شناسایی، زمان پیش از حرکت و همچنین محاسبه زمان عملیاتی خفیف استفاده می‌شوند.

اصول اسلوب‌شناسی

روش شامل درنظر گرفتن منحنی‌های زمان عکس‌العمل در هر فاز می‌باشد. طبقه‌بندیهای متفاوتی برای عکس‌العمل، همانند "سریع"، "متوسط" و "آرام"، می‌توانند استفاده شوند.

شاخه	زمان تشخیص
سریع	دقیقه $\Delta t_d \leq 1$
متوسط	دقیقه $1 < \Delta t_d \leq 5$
آرام	دقیقه $5 < \Delta t_d \leq 10$

احتمال انتقال عکس‌العمل به هر یک از این دسته‌ها می‌باید با استفاده از تعدیل "تخصصی" انجام شود (فرض کنید هیچ اطلاعاتی موجود نیست). برای این منظور ممکن است در نظر گرفتن احتمالاتی تجمعی (سیستماتیک) همانند زیر آسانتر باشد:

شاخه	زمان تشخیص تجمعی	احتمال تجمعی تشخیص
سریع	دقیقه $\Delta t_d \leq 1$	۵۰٪
متوسط یا بهتر	دقیقه $\Delta t_d \leq 5$	۴۰٪
آرام یا بهتر	دقیقه $\Delta t_d \leq 10$	۱۰۰٪

احتمال مجزا برای هر شاخه را می‌توان از مقادیر تجمعی بدست آورد:

شاخه	زمان تشخیص	احتمال تشخیص
سریع	دقیقه $\Delta t_d \leq 1$	۵۰٪
متوسط	دقیقه $1 < \Delta t_d \leq 5$	۴۰٪
آرام	دقیقه $5 < \Delta t_d \leq 10$	۱۰٪

تعداد فواصل زمانی محدود به ۳ مورد نمی‌شود، بلکه بسته به آگاهی دقیق از اجرا دارد. تصمیم‌گیری در مورد گروههای واکنشی متفاوت، فواصل زمانی و احتمالات بسیار متفاوت است، این موارد می‌توانند ترکیب شده و برای تعیین سطح اشغال مسیر و زمانهای عکس‌العمل کوچک و احتمالات کلی استفاده شوند. این هدف زمانی تامین می‌شود که از نمودارهای درختی زمان استفاده شود. اینها همگی همانند نمودارهای درختی قراردادی حوادث می‌باشند، تنها تفاوت آنها این است که نمودارهای قراردادی بیشتر به فواصل زمانی اهمیت می‌دهند تا نتایج حاصله. به طور خلاصه این روش شامل موارد اساسی زیر می‌باشد:

انتخاب گروههای واکنشی مناسب، فواصل زمانی و احتمالات برای تشخیص، مسیرهای مسدود شده و هشدارخفیف، قبل از حرکت و فواصل زمانی قبل از عکس‌العمل.

ترکیب فواصل زمانی و احتمالات ترکیب آنها بمنظور تشخیص فضای اشغال شده و زمانهای عکس‌العمل خفیف و احتمالات آنها.

اضافه بر این اصول اساسی، تأثیر واکنشهای خفیف نیز باید در نظر گرفته شود. این عامل برای آتشسوزیها و BLEVE و VCE و پخش مواد سمی، متفاوت می باشد:

در مورد آتشسوزیها، نسبت رشد آتش و زمان صرف شده برای رسیدن به ظرفیت نهایی و اصلی یک آتشسوزی (برای مثال ۲۰ و ۳۰ و ۲۵٪ و ۱۰۰ MW) باید جهت تخمین احتمال اینکه آتشسوزی قابل مهار است یا نه (عمل خفیف) در نظر گرفته شوند.

در مورد BLEVE، اگر آتشسوزی به حد ۳ MW رسید، آنگاه در واقع یک BLEVE اتفاق افتاده است. زمان صرف شده برای رسیدن به یک چنین آتشسوزی باید جهت تخمین احتمال اینکه آیا BLEVE می تواند توسط آتش نشان مهار شود در نظر گرفته شود (عکس العمل خفیف).

در مورد VCE واکنشهای خفیف به جلوگیری از جرقه ها و عوامل احتراق بستگی دارد. این روش اجازه برآورد ترکیب اقدامات کاهش ریسک را در تونلها می دهد. موثرترین ترکیب این اقدامات باید عملیات تشخیص را کاهش دهد، آذیر خطر، زمان پیش حرکت و فاز پیش عمل خفیف را نیز تقلیل دهد.

تخمین تأثیرات بر QRAM

پرسشنامه هایی آماده شد و برای اپراتورهای تونلهای متعدد در اروپا، بمنظور کسب اطلاعات بر تأثیر و هزینه اقدامات کاهش دهنده ریسکهای مختلف، فرستاده شد. جدول ۷-۵ یک خلاصه از این اقدامات که از تونلهای اروپایی کسب شده، نشان می دهد.

به عنوان نتیجه ای از این بررسی، هیچ اطلاعات کمی از تأثیر اقدامات پیشگیرانه و کاهش دهنده بدست نیامد. روش QRAM در حال حاضر تأثیر زهکشی خروجیهای اضطراری و تهویه را پیش بینی می کند. تأثیر تمهیدات کاهش دهنده ریسک متأثر از زمان، ممکن است با یک QRAM توسط مشخص نمودن دقیق پارامترهای ورودی، تلفیق شود. این پارامترها به زمانهای عملیات تشخیص، هشدار و پیش از حرکت بستگی دارند. به ویژه اینکه، روش QRAM نیاز به وارد کردن زمان توسط کاربر دارد تا بتواند عملیات تهویه اضطراری را در نبود تهویه کنترل دود انجام دهد. این موضوع بطور مستقیم به عملیات تشخیص و زمان هشدار ارتباط دارد. علاوه بر آن، استفاده کننده باید نوع سیستم ارتباطی را مشخص کرده و این رابطه ای نزدیک با محاسبه زمان پیش از حرکت عابرین دارد.

جدول ۷-۶ احتمال بدست آمده را برای تشخیص، هشدار و زمانهای پیش حرکت چهار تونل گوناگون، T_1 تا T_4 را نشان می دهد. جدول ۷-۷ زمان عکس العمل متناظر را نشان می دهد. بهترین، میانگین و یا تخمین غلط بستگی به محدوده نتایج نمودار درختی زمان- رویداد دارد. بهترین، میانگین و بدترین تخمین به ترتیب با احتمال تجمعی ۱۰٪، ۵۰٪ و ۹۰٪ متناظر می باشند.

جدول ۷-۵. خلاصه ای از تمهیدات کاهش ریسک " فرامنطقه ای " اعمال شده در تونلها .

T	C	O	S	W	H	V	تمهیدات کاهش ریسک
---	---	---	---	---	---	---	-------------------

تونل	تونل	تونل	تونل	تونل	تونل	تونل	تونل
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
تلفن های اضطراری	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
ارتباطات رادیویی	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
تشخیص وقوع حادثه			Y	Y	Y	Y	Y
تلویزیون مدار بسته	Y		Y	Y	Y	Y	Y
تشخیص آتش سوزی	Y			Y			
ابزار اطفای حریق	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
ابزار مقاوم در برابر آتش			Y	Y	Y	Y	Y
سازه های مقاوم در برابر آتش	Y	Y	Y		Y		Y
سازه های ضد انفجار	Y						
سبقت ممنوع			Y	Y			Y
محدودیت سرعت			Y				
فاصله ایمنی میان وسایل نقلیه					Y		Y
سیستم تشخیص وسیله نقلیه							
اسکورٹ							Y
تیم نجات							Y
نور پردازی	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
علامت هشدار دهنده	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
طرح نقشه اجرایی	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

جدول ۶-۷: احتمالات تخمین زده شده برای تونل های دسته بندی شده.

	تشخیص			هشدار			پیش حرکت			
	pd_1	pd_2	pd_3	pa_1	pa_2	pa_3	pp_1	pp_2	pp_3	pp_4
T_1	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۲۰	۰/۱۰
T_2	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۵۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۰
T_3	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۴۰
T_4	۰/۰۵	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۰۵	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۵۰

جدول ۷-۷: تشخیص، هشدار و زمانهای قبل از حرکت پیش بینی شده

پیش حرکت (دقیقه)	تشخیص و هشدار (دقیقه)
------------------	-----------------------

	بد	میانگین	بهترین	بد	میانگین	بهترین
T_1	۱۵/۰	۴/۷	۱/۵	۵/۲	۴/۰	۰/۸
T_2	۲۰/۰	۸/۰	۲/۰	۱۱/۰	۴/۲	۱/۷
T_3	۲۲/۵	۱۲/۷	۳/۰	۱۱/۰	۹/۰	۴/۰
T_4	۲۳/۰	۱۵/۰	۵/۵	۱۴/۰	۱۰/۸	۴/۵

جدول ۷-۸. پارامترهای ورودی مدل ارزیابی کمی ریسک

T_4	T_3	T_2	T_1	پارامترهای ورودی مدل ارزیابی کمی ریسک
۱۰	۵	۲	۱	زمان تشخیص و هشدار (دقیقه) tE
W0	W1	W2	W3	نوع سیستم هشدار دهنده Ecomes
۵	۳	۲	۱	بهترین تخمین زمان پیش اقدام(دقیقه)

همان‌طور که در بالا اشاره شد، در روش QRAM زمانهای پیش حرکت بستگی به نوع سیستم هشدار دارد. انواع سیستم هشدار عبارتند از: W_0 = سیستم بدون هشدار، W_1 = زنگ خطر، سوت و یا صدای مشابه، W_2 = سیستم آدرس‌دهی عمومی که پیغامهای پیش ذخیره شده را در بر می‌گیرد، W_3 = سیستم آدرس‌دهی عمومی و تلویزیون مدار بسته (CCTV). جدول ۷-۸ پارامترهای ورودی کلیدی تشخیص کیفی ریسک مرتبط با واکنش زمانی برای هر طبقه‌بندی از تونل را به ما ارائه می‌کند. روش QRAM جهت پیشگویی فواصلی که خسارات جانی و مالی ممکن است بر اثر آتش‌سوزی ایجاد شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج در جدول ۷-۹ خلاصه شده‌اند.

این موارد نشانگر این مطلب هستند که برای مثال، ممکن است یک مقطع ۱۹ متری از یک تونل T_1 وجود داشته باشد که به فرض در آن ۹۰٪ عابرین یا بیشتر کشته شوند و مقطع ۳۴ متری وجود داشته باشد که در آن ۵۰٪ عابرین یا بیشتر کشته شوند (که عملاً ۹۰٪ از ناحیه تلفات را شامل می‌شود). تعداد واقعی تلفات بسته به تعداد نفرات حاضر در هر بخش می‌باشد. مشاهدات اصلی عبارتند از:

برای ۱۰۰ MN وسناریوهای حوضچه آتش، میزان تلفات در تونلهای T_2 در حدود ۱۵٪ تا ۲۰٪ بیشتر از نوع T_1 می‌باشد و برای T_3 در حدود ۲۵٪ تا ۳۰٪ بیشتر از T_1 و تونلهای T_4 در حدود ۴۰٪ تا ۷۰٪ بیشتر از T_1 تلفات خواهند داشت.

برای آتش‌سوزیهای MW۲۰، افزایش در میزان تلفات و مرگ و میر بیشتر است. هرچند، تحلیل روش QRAM، برای میزان بسیار کم تلفات نسبتاً ضعیف می‌باشد.

جدول ۷-۹. محدوده فواصلی که خسارتهای ناشی از آتش سوزی در آنها رخ می دهد.

		T1	T2	T3	T4
وسایل نقلیه سنگین آتش سوزی ۲۰ MV	$\geq$ خسارات ۹۰٪	۱۹	۳۴	۴۵	۶۴
	$\geq$ خسارات ۵۰٪	۳۶	۵۳	۶۸	۹۹
	$\geq$ خسارات ۱۰٪	۵۵	۷۹	۱۰۴	۱۴۶
وسایل نقلیه سنگین آتش سوزی ۱۰۰ MV	$\geq$ خسارات ۹۰٪	۱۶۰	۱۸۶	۲۰۴	۲۲۲
	$\geq$ خسارات ۵۰٪	۱۸۹	۲۱۲	۲۳۹	۲۷۹
	$\geq$ خسارات ۱۰٪	۲۱۶	۲۶۰	۲۸۷	۳۳۳
حوضچه مواد قابل اشتعال	$\geq$ خسارات ۹۰٪	۲۱۸	۲۵۲	۲۷۳	۳۰۵
	$\geq$ خسارات ۵۰٪	۲۵۶	۲۸۷	۳۱۵	۳۷۰
	$\geq$ خسارات ۱۰٪	۲۸۷	۳۳۶	۳۷۳	۴۸۹

بعنوان تصمیم گیری نهایی، می توان مشاهده نمود که این روش و مدل یک ابزاری برای تشخیص میان تأثیرات زمانهای واکنش گوناگون می باشد. بنابراین اقدامات پیشگیرانه ریسک متفاوت مرتبط با زمان را ارائه می دهد. اگر هزینه های جمعی مربوط به هر اقدام شناخته شده باشد، روش QRAM می تواند بعنوان وسیله ای جهت تشخیص میزان هزینه ها بکار رود. روش ارائه شده یک کارشناس استفاده کننده از QRAM را جهت تخمین تأثیرات اقدامات کاهش دهنده ریسک بر تصادفات ناشی از کالاهای خطرناک یاری می دهد. علاوه بر آن، مرحله ای که در این روش وجود دارد، می تواند جهت

تشخیص روابط مهم میان اقدامات کاهش دهنده ریسک و زمانهای عکس العمل همانند تشخیص و زمان هشدار و یا پیش حرکت و تخفیف عمل نمایند.

بحث

انعطاف پذیری این روش به استفاده کنندگان قابلیت تشخیص پارامترهای زمانی هریک را می دهد، بنابراین مدل ویژگی-تونل ارائه می گردد. این قابلیت ابزاری را جهت مقایسه اثرات بهبودهای ممکن، جایگزینی و حذف اقدامات کاهش دهنده ریسک در تونل مورد نظر ارائه می دهد. کاربرد این شیوه با روش QRAM بطور کامل برای یک سری از حالت های فرضی تونلها شرح داده می شود.

تولید و ارائه پیشنهاد های عمومی برای رتبه بندی اقدامات کاهش دهنده ریسک، بدلیل اینکه تأثیرات آنها به خود تونل بستگی دارد، امکان پذیر به نظر نمی رسد.

مقدار اطلاعات کسب شده از پرسشنامه های پخش شده و جستجوهای مطبوعات نیز بسیار محدود و یا متغیر می باشد تا بتوان تصمیماتی را در مورد هزینه- فایده این اقدامات در زمینه ایمنی و یا کاهش زیانهای ساختاری بدست آورد.

ملاحظات نهایی

هدف این عملیات، پیشنهاد تمهیدات کاهش دهنده ریسک است. این مسأله برای برخی تونل های منفرد، جاهایی که خصوصیات نهایی و برآورد هزینه- فایده می تواند جهت شمارش ریسکها اجرا شود، قابل توجه است. در فاز اول، یک لیست از تمهیدات کاهش دهنده ریسک (جدول ۷-۱) جهت کاهش احتمالات و نتایج تصادفات، ایجاد شد و توسعه پیدا کرد. یک مطالعه مطبوعاتی با پر کردن فرم های خاصی توسط اپراتورهای ۱۴ تونل اروپایی برگزار شد. بمنظور مقایسه اقدامات متفاوت که می تواند انجام شود، تأثیر و هزینه هر اقدام به سه دسته کم، متوسط و زیاد دسته بندی گردید. خروجی در نهایت روش ساده ای (یک ماتریس ۳×۳ مطابق جدول ۷-۲) بود که می توانست جهت ارائه شاخصهای کمی اولیه هزینه ها و قربانیان و یا تأثیر اقدامات مختلف در کاهش خسارات بکار رود. فاز دوم شامل ۳ گونه مطالعات بود که با شیوه های کمی جزئی تر به به ارزیابی هزینه- فایده کمک می کند.

در مطالعه اول، تعدادی از تست های حساسیت مورد استفاده قرار گرفت، تا میزان تأثیر پذیری نتایج روش QRAM را از تغییرات بر یک مجموعه از اقدامات کاهش دهنده ریسک "منطقه ای" بررسی کنیم.

نتایج بطور کامل حساسیت تأثیرات فیزیکی، بر سازگاری اقدامات "منطقه ای" را ارائه دادند. مطالعه دوم با هدف طراحی یک دستورالعمل بمنظور معرفی "فرامنطقه ای" بودن اقدامات ایمنی که به طور مستقیم در روش QRAM وجود دارند، به عنوان روشی که در آن این اقدامات به صورت منطقی ارزیابی می شوند، انجام شد. این دستورالعمل اجازه توسعه جامع QRAM موجود را می داد، به نحوی که اقدامات ایمنی را که از ویژگیهای اصلی مدل نبود، در بر می گرفت. اولین کاربرد این دستورالعمل در تونل معین و کالاهای خطرناک، نتایج امیدبخشی را ارائه نمود که اطلاعات ارزشمندی را برای تصمیم گیرندگان راجع به شایستگی اقدامات ایمنی انتخاب شده در برداشت.

سومین مطالعه بر گسترش یک روش متمرکز شده بود، که به یک کارشناس روش QRAM اجازه تخمین اثرات اقدامات کاهش‌دهنده ریسک را بر سیر تکاملی زمان یک حادثه می‌داد. این روش ابزار مقایسه کمی تأثیر اقدامات کاهش‌دهنده ریسک مختلف و یا ترکیبی از آنها را ارائه مینمود. به علاوه، مراحلی که در این روش درگیر می‌باشند، می‌توانند جهت تشخیص ارتباطات ارزشمند و مهم بین اقدامات کاهش‌دهنده ریسک و زمان عکس‌العمل میانی، برای مثال زمان تشخیص، هشدار، عملیات پیش حرکت تونل اشغال شده و اقدامات پیش نیاز خفیف، را برای ما مشخص سازند. این ارتباطات معیاری نسبی و متوسط جهت مقایسه تأثیر بهبودهای ممکن، جابجایی‌ها و تفکیک اقدامات جاری کاهنده ریسک در یک تونل خاص را ارائه می‌کنند.

بطور کلی، مطالعات انجام شده روشهای کمی و کیفی مختلفی را برای تحلیل تأثیر اقدامات کاهنده میزان ریسک محتمل، ارائه می‌کنند. استفاده توأم روش QRAM به همراه این شیوه‌ها، تعیین تأثیرات هر دو اقدامات منطقه‌ای و فرمانطقه‌ای را برای یک تونل خاص نشان می‌دهد.

اقدامات کاربردی برای کلیه تونلها دارای تأثیر یکسان نیستند، چرا که اقدامات مختلف، تأثیرات مختلفی را روی هر نوع تونل داشتند. اطلاعات هزینه جمع‌آوری شده در طول مطالعات نیز بسیار محدود و متغیر بودند و امکان به تصویر کشیدن نتایج عمومی درباره تأثیر هزینه- فایده این اقدامات در رابطه با ایمنی و یا کاهش خسارات سازه‌ای وجود نداشت. همچنین، اگر اطلاعات هزینه برای هر اقدامی که با آن مواجه هستیم در دسترس باشد، ارزیابی هزینه- فایده ممکن است با استفاده از روش QRAM و شیوه‌های توضیح داده شده در بالا توأمأ انجام شود.

منابع و مراجع

- Hall, R.C. and Y. Luong (2000), "Assessment of Risk Reduction Measures Related to Response Times", WS Atkins Consultants Ltd, Ref. CL3002-R1, May.
- COWI (2000), Decision Support Model (DSM), by COWI for OECD ERS2 Group, Report No. 42069-006 Issue No. 2, April.
- OECD and PIARC (1996), *Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels: Current National and International Regulations* (Report 1), (available on Internet: <http://www.oecd.org/dsti/sti/transport/road/index.htm>)
- OECD and PIARC (1997), *Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels: Current National and International Regulations* (Report 2), (available on Internet: <http://www.oecd.org/dsti/sti/transport/road/index.htm>)
- PIARC (1999), Tunnel Committee, Road Tunnels, *Fire and Smoke Control in Road Tunnels*, Paris.
- PIARC (forthcoming), *Review and Evaluation of Measures to Reduce the Risk related to Dangerous Goods Transport in Road Tunnels (Synthesis of Task 3)*, Paris.
- Pons, P. (2000), "Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels. ERS2 Project Task 3: Sensitivity Study on 'Native' Measures", INERIS Rap22460_ab.
- Saccomanno, F. and P Haastrup (2000), "Influence of Safety Measures on the Risks of Transporting Dangerous Goods through Road Tunnels", paper submitted to the Risk Analysis Conference, February.
- Van der sluis, J., D.A. Schreuder, J.M.J. Bos and C.C. Schoon (1998), "Hazardous Material Transport through Tunnels: Investigation into Measures to Reduce the Risk of Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels", SWOV Institute for Road Safety Research, the Netherlands, for PIARC Road Tunnel Committee, Working Group 5.

- Hall, R.C. and Y. Luong (2000), "Assessment of Risk Reduction Measures Related to Response Times", WS Atkins Consultants Ltd, Ref. CL3002-R1, May.
- COWI (2000), Decision Support Model (DSM), by COWI for OECD ERS2 Group, Report No. 42069-006 Issue No. 2, April.
- OECD and PIARC (1996), *Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels: Current National and International Regulations* (Report 1), (available on Internet: <http://www.oecd.org/dsti/sti/transport/road/index.htm>)
- OECD and PIARC (1997), *Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels: Current National and International Regulations* (Report 2), (available on Internet: <http://www.oecd.org/dsti/sti/transport/road/index.htm>)
- PIARC (1999), Tunnel Committee, Road Tunnels, *Fire and Smoke Control in Road Tunnels*, Paris.
- PIARC (forthcoming), *Review and Evaluation of Measures to Reduce the Risk related to Dangerous Goods Transport in Road Tunnels (Synthesis of Task 3)*, Paris.
- Pons, P. (2000), "Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels. ERS2 Project Task 3: Sensitivity Study on 'Native' Measures", INERIS Rap22460_ab.
- Saccomanno, F. and P Haastrup (2000), "Influence of Safety Measures on the Risks of Transporting Dangerous Goods through Road Tunnels", paper submitted to the Risk Analysis Conference, February.
- Van der sluis, J., D.A. Schreuder, J.M.J. Bos and C.C. Schoon (1998), "Hazardous Material Transport through Tunnels: Investigation into Measures to Reduce the Risk of Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels", SWOV Institute for Road Safety Research, the Netherlands, for PIARC Road Tunnel Committee, Working Group 5.



**ROAD AND TRANSPORTATION
MINISTRY**

DEPUTY OF

TRAINING, RESEARCH AND TECHNOLOGY

WORLD ROAD ASSOCIATION – PIARC

Safety In Tunnels

UNIT OF
TECHNOLOGY & COMMUNICATION WITH
SPECIALIZED ORGANIZATIONS

PIARC SECRETARIAT IN IRAN
83/RRRS/102