دل آرام گیرد به یاد خدا

دانشگاه شمال

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران- برنامه ریزی حمل و نقل

ارایه شاخص ریسک در حمل جاده ای کالای خطرناک

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر غلامرضا شیران

دانشجو:

سید محسن سرابی

شهریور۱۳۹۲

سپاس از آن خداوندی که مرا شایسته ی آن دید تا در مسیر دانش افزایی هدایت فرماید. سپاس از آن او که گام های مرا استوار گردانید، چشم هایم را روشنی بخشید و هدفم را بر فراز راه فروزان ساخت که بی شک اگر مرا به خود فرو می گذاشت از هیچ، تهی تر بودم. سپاس بی کران از آن خداوندی که آهنگ هستی را این سان نیکو ساز نمود تا دمی مانده ی مسیر نگردم و به شوق برساختن آنچه که در ذهن می پنداشتم، قدم از پی قدم برداشته و به پیش روم و تو گویی این مسیر پیش از آن که برای کسب دانش گشوده شده باشد، از برای پیرایش جان و اراده است و در چکاچک رخداد ها و در پس غبار سختی ها این صحنه ی پرفروغ و شکوه خورشید برآمدان خواست آدمی است که رخ می نماید و بی تردید هرکجا که انسان اراده نماید و از سر تسلیم در برابر یگانه ی مطلق خواست خود را به دستگاه هستی بسپارد، چه بیم از کوران رویدادها. سپاس از آن خداوندی که فارغ از هر نتیجه ای که در پایان خواهد حاصل شد، حضورش همواره گرم و هویدا است و اگر تنها دست یافت این میدانگاه همین درک نگاه حمایت گر حضرت دوست باشد، بسی بخت یار و سعادتمند باشم.

سپاس بی کران از آن خداوندی که مرا به لطف حضور در چنین خانواده ای مفتخر ساخت. در محیطی همه آشتی و آرامش، همه نیکویی و دیگر خواهی. امید آنکه لیاقت همنشینی و یادگیری از چنین خوبانی را داشته باشم. جز از آرزوی تندرستی و تعالی و قدر دانی بی پایان برایشان چه می توان در نظر آورم؟ خداوندا! مرا شایسته ی آن فرما تا در مسیری قرار گیرم که بتوانم اندک پاسخی به این حجم بی انتهای نعماتی که دریافت کرده ام داشته باشم. مرا شایسته ی خدمت به انسان ها قرار بده. خداوندا! مرا مدد رسان تا بتوانم به قدر توان ناچیز خویش، دِین خود را به هستی باز گردانم و در مسیر سبز آگاهی و پویایی قدم بردارم.

در پایان از زحمات بی دریغ استاد دانشمند و فرهیخته ی خویش جناب آقای دکتر غلامرضا شیران کمال سپاسگزاری را دارم. ایشان که به درستی پیش از هر چیز، استاد اخلاق نیک و بزرگ منشی می باشند، با عشق و سخاوت گنجینه ی دانش و تجربه ی خویش را به سوی بنده گشوده و مرا شرمسار محبت های بی شائبه ی خود نمودند. از خداوند بزرگ برای این استاد گرانقدر تندرستی، کامیابی و سرافرازی روز افزون آرزومندم. همچنین از زحمات دوست فرزانه ام جناب آقای دکتر سیاوش صدیقیان که با دانش به روز و حوصله ی مثال زدنی خود، برادرانه اینجانب را در تکمیل این پژوهش یاری فرمودند، کمال قدردانی را داشته و همچون همیشه برایشان آرزوی تندرستی و بهروزی دارم. همچنین جا دارد از دوست دیگرم جناب آقای مهندس هادی شاه نظری که ایشان نیز با صبر و علاقه ی بسیار، وقت گران بهای خود را در اختیار اینجانب قرار داد و کمک بسیار بزرگی در راستای پیشبرد این پژوهش به بنده رساند، کمال امتنان را داشته باشم. در نهایت نسبت به تمامی عزیزانی که به هر روی مرا در سامان دادن به این پژوهش یاری کردند، تشکر و قدردانی خویش را ابراز داشته، امید آن که در مسیر پیشرفت و سربلندی همیشگی باشند.

تقدیم به

حبیب، فاطمه و مهدی

پدرم، مادرم و برادرم

چکیده

به منظور توسعه ی هرچه بیشتر صنایع تولیدی که منجر به شکوفایی روزافزون اقتصادی خواهد شد، نیاز به گسترش زیرساخت ها در بخش های مختلف از جمله صنعت حمل و نقل و راه می باشد. بدیهی است که هرچه شبکه ی راه و توزیع در یک کشور وسیع تر و کاراتر باشد، پیشبرد اهداف توسعه ای آسان تر خواهد بود. کشور ما ایران نیز از این امر مستثنا نبوده و با توجه به رشد چشمگیر صنایع نفتی و شیمیایی، مقوله ی حمل و جابه جایی این مواد تبدیل به یکی از موضوعات اساسی این بخش گشته است. این گونه مواد که در زمره ی کالاهای خطرناک دسته بندی می گردند، همواره حساسیت های ویژه ی خود را به دنبال داشته اند. چراکه در صورت بروز هرگونه حادثه برای حاملین این گونه کالاها، ابعاد پیامد احتمالی بسیار وسیع گشته و خسارات فراوانی به دنبال خواهد داشت. مخاطرات این گونه جابه جایی ها به قدری قابل توجه هست که مدیران این بخش را واداشته تا با اتخاذ تصمیماتی سعی در کاهش ریسک ناشی از حمل این گونه مواد بنمایند. هرچند این تصمیمات سختگیرانه و هزینه بر باشند، مدیریت ناچار از اعمال آن ها خواهد بود. از همین رو اتخاذ یک رویه ی درست و همچنین آگاه بودن نسبت به جوانب امر و تمامی خطرات محتمل در صورت حمل این گونه کالاها، می تواند منجر به کاهش هزینه های احتمالی و انتخاب بهترین گزینه گردد. به همین جهت مدیران و تصمیم سازان این عرصه همواره به دنبال این هستند تا دریابند که میزان خطر واقعی حمل این گونه کالاها از یک مسیر مشخص به چه میزان می باشد تا با بررسی میزان این خطر اقدامات کنترلی لازم را فراهم آورده و یا آنکه با اتخاذ سایر روش ها از میزان ریسک این جابه جایی بکاهند. این پژوهش سعی دارد تا شاخصی جهت ارزیابی ریسک حمل جاده ای کالای خطرناک ارایه نموده تا با کمک آن بتوان نسبت به میزان خطرناک بودن حمل یک کالا از یک مسیر مشخص اظهار نظر نمود. در این شاخص سعی شده تا مهم ترین عوامل مؤثر بر میزان احتمال بروز رویداد و همچنین میزان پیامد احتمالی ناشی از بروز حادثه در نظر گرفته شده و تمامی مقادیر به کمک روش هایی کمی سازی گشته و در نهایت یک خروجی عددی به عنوان شاخص تصمیم گیری ارایه گردد.

واژگان کلیدی: شاخص ریسک، کالای خطرناک، مدل سازی فازی، لوزی خطر، ویژگی هندسی راه، شرایط آب و هوایی

فهرست مطالب

فصل اول: پیشگفتار ۱

۱-۱ بیان مسئله ۲

۱-۲ هدف از پژوهش ۱۰

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته ۱۳

۲-۱ مروری بر ادبیات موجود در زمینهی محاسبه ریسک حمل جادهای کالای خطرناک ۱٤

فصل سوم: آشنایی با مبانی، اصول، مفاهیم و دستورالعمل های ارزیابی ریسک ٤۱

۳-۱ پیشگفتار: نگاهی بر مفاهیم پایه ای مبحث مدیریت ریسک ٤۲

۳-۱-۱ پیارک و مبحث مدیریت ریسک حمل کالای خطرناک ٤۳

۳-۱-۲ وزارت راه و شهرسازی و مبحث مدیریت ریسک حمل کالای خطرناک ٤٥

۳-۱-۳ مرکز ایمنی فرآیندهای شیمیایی آمریکا و مبحث مدیریت ریسک حمل کالای خطرناک ٤٦

۳-۱-۴ تحلیل ریسک و فعالیت های پیش نیاز مربوط به آن ٥۳

۳-۱-۵ سطوح مختلف تحلیل ریسک ٥۷

۳-۲ تحلیل ریسک کیفی ٦۰

۳-۲-۱ انجام مقایسه های دو به دو ٦۰

۳-۲-۲ شناسایی و برجسته سازی برخی موضوعات برای انجام سنجش های آینده ٦۳

۳-۲-۳ درک تأثیر تغییرات پیش بینی شده ٦٥

۳-۳ تحلیل ریسک نیمه کمی ٦۷

۳-۳-۱ بهبود تخمین میزان پیامد و احتمال ٦۸

۳-۳-۲ روش های ارزیابی ریسک نیمه کمی ۷٤

۳-۴ ارزیابی ریسک کمی ۸۰

۳-۴-۱ پروتکل و طراحی مطالعات مربوط به ارزیابی ریسک کمی ۸۱

۳-۴-۲ منابع داده های مورد نیاز ارزیابی ریسک کمی ۸۳

۳-۴-۳ چگونگی نمایش نتایج حاصل از تحلیل کمی ۹٥

فصل چهارم: ارایه مدل و کمی سازی شاخص ریسک پیشنهادی ۱۰۳
۴-۱ پیش گفتار ۱۰۴
۴-۲ محاسبه ی پیامدهای احتمالی ناشی از بروز رویداد برای حامل کالای خطرناک ۱۰۵
۴-۲-۱ ماهیت ماده ۱۰۵
۴-۲-۲ مراکز جمعیتی ۱۱۳
۴-۲-۳ شرایط آب و هوایی ۱۱۶
۴-۲-۴ عوامل زیست محیطی ۱۱۷
۴-۳ محاسبه ی احتمال بروز رخداد برای حاملین کالای خطرناک ۱۱۷
۴-۳-۱ سابقه ی بروز تصادف ۱۱۸
۴-۳-۲ شرایط هندسی راه ۱۲۰
۴-۳-۳ خصوصیات جریان ترافیک ۱۲۲
۴-۳-۴ شرایط آب و هوایی ۱۲۵
۴-۴ شاخص ریسک ۱۲۸
فصل پنجم: جمع بندی، نتیجه گیری و ارایه پیشنهادات ۱۳۲
۵-۱ جمع بندی ۱۳۳
۵-۲ نتیجه گیری ۱۳۳
۵-۳ پیشنهادات ۱۳۶
فهرست منابع ۱۳۸
پیوست ۱۴۱

فهرست جداول

جدول ۱-۱ طبقه بندی نه گانه ی مواد خطرناک ۳

جدول ۲-۱ تعداد مقالات بررسی شده در حوزه ی مدهای مختلف حمل و نقلی توسط وارنر و همکاران ۳۱

جدول ۳-۱ نمونه هایی از انواع تصادفات بالقوه در مدهای مختلف حمل و نقلی ٤۹

جدول ۳-۲ نمونه ای از مواردی که می توانند در یک فرآیند مقایسه ی دو به دو مورد سنجش قرار بگیرند ٦۲

جدول ۳- ۳ نمونه ای از امتیاز دهی در روش شاخص ریسک ۷۵

جدول ۳-۴ شرح سطوح مختلف پیامدهای بالقوه بروز حادثه ۷۷

جدول ۳-۵ شرح سطوح مختلف احتمال رخداد حادثه ۷۸

جدول ۳-۶ شرح مقادیر ارزیابی شده و شدت ریسک ها از I تا IV ۷۸

جدول ۳-۷ طبقه بندی پایداری جو توسط پاسکویل برای وضعیت های مختلف ۲۴ ساعت شبانه روز ۹٤

جدول ۳-۸ نقاط قوت و ضعف معیارهای مختلف سنجش نتایج حاصل از فرآیند ارزیابی ریسک کمی ۹٦

جدول ۳-۹ زوج مرتب های F-N . همان گونه که مشاهده می شود نحوه ی چینش اعداد در جدول به صورتی است که پیامدها از بالا به پایین کاهش یافته اند. ۹۹

جدول ۳-۱۰ مروری بر مهم ترین مفاهیم و واژگان کلیدی سه روش اصلی ارزیابی ریسک ۱۰۲

جدول ۴-۱ اعداد لوزی خطر به همراه معنای هر یک از اعداد ۱۰۸

جدول ۴-۲ دسته بندی محیط زیست اطراف مسیر حمل کالای خطرناک؛ به همراه امتیاز میزان آسیب پذیری هر محیط. هرچه امتیاز بالاتر باشد محیط آسیب پذیر تر می باشد. ۱۱۷

جدول ۴-۳ معادل های زبانی در نظر گرفته شده برای بازه های مختلف سرفاصله های زمانی ۱۲۵

جدول ۴-۴ ضرایب قابل استفاده در بخش احتمال بروز رویداد برای حامل کالای خطرناک در شرایط مختلف جوی در شاخص ریسک پیشنهادی ۱۲۹

فهرست اشکال و نمودارها

شکل ۱-۱ نمایی از ستون دود ایجاد شده از انفجار رخداده در هالیفاکس. این عکس دقایقی بعد از انفجار گرفته شده است [۲]. ... ٤

شکل ۱-۲ نمایی از بندر تگزاس، بعد از بروز انفجار در کشتی حامل نیترات آمونیوم[۳]..... ٥

شکل ۱-۳ سقوط تانکر از پل در اثر برخورد با یک وسیله ی نقلیه ی دیگر و انفجار ۳۲هزار لیتر مایع سوختی، هزینه ای بالغ بر ۲۸۰ میلیون یورو برای دولت آلمان در پی داشت[۴] ٦

شکل ۱-۴ بعد از انفجار واگن ها، گودالی به عمق ۲۵ متر و عرض دهانه ی ۸۰ متر در محل حادثه ایجاد گردید[۶] ۷

شکل ۱-۵ بعد از اطفاء کامل آتش، در شرایطی که تصور آتش نشانان بر پایان یافتن حادثه ی آتش سوزی بوده است، ناگهان انفجار مهیبی منطقه را به لرزه در می آورد[۶]..... ۸

شکل ۱-۶ چکیده ای از محتوای ارایه شده در فصول چندگانه ی پژوهش پیش روی ۱۲

شکل ۱-۲ طرح بخش بندی راه و تقسیمات مربعی محیط اطراف ۲۷

شکل ۳-۱ فرآیند شش مرحله ای مدیریت ریسک از دید پیارک..... ٤۳

شکل ۳- ۲ تعاریف واژه های مرتبط با مبحث مدیریت ریسک، ارایه شده توسط پیارک ٤٤

شکل ۳-۳ فرآیند کلی مدیریت و کنترل ریسک از دید کتابچه ی مدیریت ریسک دفتر مطالعات وزارت راه و شهرسازی ٤٦

شکل ۳-۴ تعاریف برخی از واژگان مهم و پرکاربرد مبحث مدیریت ریسک حمل کالای خطرناک از سوی ccps ٤۸

شکل ۳-۵ بروز هرگونه حادثه برای حامل کالای خطرناک در نزدیکی مکان های حساس همچون ساختمان های بزرگ و یا منابع زیست محیطی حساس، ابعاد خسارات و پیامدهای حادثه را به طور قابل ملاحظه ای بالا می برد. ٥٥

شکل ۳-۶ سطوح سه گانه ی ارزیابی ریسک ٥۷

شکل ۳-۷ پروتکل ارزیابی ریسک مد نظر ccps..... ٥۸

شکل ۳-۸ چهار رویکرد متفاوت در خصوص شناسایی و اولویت بندی ریسک ها ٥۹

شکل ۳-۹ چکیده ی روند فرآیند ارزیابی ریسک کیفی ٦٦

شکل ۳-۱۰ روش های مختلف ارزیابی ریسک نیمه کمی..... ۷٤

شکل ۳-۱۱ یک ماتریس ریسک ۴*۴ ..... ۷۷

شکل ۳-۱۲ چکیده ی روند فرآیند ارزیابی ریسک نیمه کمی ۷۹

شکل ۳-۱۳ پروتکل ۵ مرحله ای پیشنهادی ccps برای انجام ارزیابی ریسک کمی ۸۲

شکل ۳-۱۴ دسته بندی پنجگانه ی داده های مورد نیاز برای فرآیند ارزیابی ریسک کمی..... ۸٤

شکل ۳- ۱۵ چگونگی محاسبه ی شانس انتشار..... ۸۸

شکل ۳-۱۶ نمونه ای از یک درخت رخداد پسا رویداد. توضیح این که تمامی اعداد ذکر شده فرضی بوده و صرفاً جهت ارایه مثال می باشند. اما نسبت میان آن ها درست بوده و جمع احتمال ها از ۱۰۰٪ تجاوز نمی نماید. همچنین پیامدهای ذکر شده نیز تنها جهت نشان دادن یک درخت رخداد نمونه ای ذکر گردیده اند و مربوط به حادثه ی خاصی نمی باشند. ۸۹

شکل ۳-۱۷ یک منحنی کرانه تیپیک، همان گونه که مشاهده می گردد در تمام طول مسیر می بایست سطح ریسک فردی را مشخص نمود. ۹۸

شکل ۳-۱۸ یک منحنی برشی تیپیک. همان گونه که مشاهده می شود، میزان ریسک انفرادی به نسبت فواصل افراد از محور مسیر مشخص می گردد. اعداد ذکر شده همگی جنبه مثالی داشته و فاقد اعتبار محاسباتی می باشند. ۹۸

شکل ۳-۱۹ نمودار F – N، ترسیم شده برای نمایش دادن ریسک اجتماعی. این نمودار با استفاده از اعداد جدول ۳-۹ ترسیم شده است. ۱۰۰

شکل ۴-۱ چهار عامل اساسی تأثیر گذار بر شدت پیامد ۱۰۵

شکل ۴-۲ لوزی خطر ۱۰۶

شکل ۴-۳ هر یک از خانه های لوزی خطر، رنگ مخصوص به خود را دارد و نشانگر یکی از مخاطرات اصلی ماده می باشد. درون هر یک از این خانه ها، اعداد از صفر تا چهار که گویای میزان خطر ماده می باشند، قرار می گیرد. ۱۰۷

شکل ۴-۴ نمونه ای از برگه ی ایمنی ماده ی کلر، منتشر شده توسط شرکت صنایع ملی پتروشیمی ایران. لوزی خطر ماده به وضوح در این برگه قابل شناسایی است. از اعداد داخل لوزی مشخص می شود که کلر تولیدی این پتروشیمی مخاطرات بهداشتی به مراتب بالایی برای سلامت فرد داشته اما خطر آتش سوزی و ناپایداری در پی ندارد. ۱۰۹

شکل ۴-۵ نمونه ای از msds ماده ی تولوئن، تولید شده توسط شرکت ساینس لب. لوزی خطر تولوئن در بالای برگه قرار گرفته است. ۱۱۱

شکل ۴-۶ مزایای استفاده از لوزی خطر برای معادل سازی خطرات ناشی از ماهیت خطرناک ماده ۱۱۱

شکل ۴-۷ تابع عضویت سه عامل مخاطرات بهداشتی، آتش گیری و واکنش پذیری رسم شده توسط نرم افزار MATLAB ۱۱۲

شکل ۴-۸ تابع عضویت خروجی قوانین اگر – آنگاه ، از تابع مثلثی برای رسم این نمودار استفاده گردید. ۱۱۳

شکل ۴-۹ نمایی از محیط داخلی نرم افزار ERG. همانگونه که مشاهده می شود برای مواد گوناگون، مسافت حفاظت شده به تفکیک میزان انتشار و ساعت روز و شب، ارایه شده اند. ۱۱۵

شکل ۴-۱۰ دسته بندی عوامل تأثیر گذار بر میزان احتمال رویداد تصادف برای حامل کالای خطرناک ۱۱۸

شکل ۴-۱۱ ارتباط بین شعاع پیچ و نرخ تصادف؛ همان گونه که مشاهده می شود از حدود شعاع ۴۰۰ متر به سمت شعاع های کمتر، نرخ تصادف ناگهان افزایش می یابد. [۳۵] ۱۲۱

شکل ۴-۱۲ توابع عضویت شعاع های مختلف پیچ ها، رسم شده توسط نرم افزار MATLAB ۱۲۲

شکل ۴-۱۳ نمودار خروجی توابع عضویت فازی، رسم شده توسط نرم افزار MATLAB ۱۲۲

شکل ۴-۱۴ توابع عضویت پنج متغیر زبانی تعریف شده برای سرفاصله های زمانی مختلف توسط نرم افزار MATLAB ۱۲۵

شکل ۴-۱۵ چکیده ی فاکتورهای تأثیر گذار بر احتمال و میزان پیامد، در صورت بروز حادثه برای حامل کالای خطرناک ۱۳۰
شکل الف - ۱ نمودار تابع عضویت اعداد تقریباً ۷، محور عمودی درجات سازگاری را نشان می دهد..... ۱۳۹
شکل الف -۲ ترتیب اقداماتی که برای حل یک مسئله ی فازی به کمک نرم افزار MATLABمی بایست انجام داد. ۱۳۹
شکل الف-۳ قوانین اگر- آنگاه فازی لوزی خطر، نوشته شده در پنجره ی ویرایش قوانین فازی MATLAB..... ۱۳۹
شکل الف ۴ نمایی از پنجره ی ابتدایی مدل سازی فازی لوزی خطر به روش ممدانی. همان گونه که مشاهده می شود، ورودی ها به شکل چندگانه می باشند. نحوه ی تعریف سایر روش های محاسباتی در پنجره های نیمه ی پایینی تصویر مشخص شده اند. ۱۳۹
شکل الف-۵ نمایش خروجی مدل فازی ممدانی بر اساس روش نافازی سازی مرکز جرم برای لوزی خطر ۱۳۹
شکل الف-۶ پنجره ی قوانین اگر - آنگاه فازی برای شعاع پیچ ۱۳۹
شکل الف-۸ قوانین اگر- آنگاه فازی، نوشته شده برای سرفاصله های زمانی ۱۳۹
شکل الف-۷ توابع عضویت بخش تالی متغیرهای سرفاصله زمانی..... ۱۳۹

فصل اول:

پیشگفتار

۱-۱ بیان مسئله

امروزه حمل و نقل در وجوه مختلف زندگی انسان چنان جایگاه مهمی یافته است که پرداختن به مسایل گوناگون در حوزه های مختلف علمی و یا حتا موارد مربوط به زندگی روزمره افراد، بدون درنظر گرفتن آن امری ناممکن تلقی می گردد. کافی است در نظر گرفته شود که توسعه ی روزافزون فن آوری ها در زمینه های مختلف علوم مهندسی نه تنها از نیاز انسان به حمل و نقل نکاسته بلکه با بهبود شیوه های حمل و نقلی و همچنین ایجاد زمینه های نوظهور استفاده از فن آوری های مرتبط با آن، در عمل تقاضا برای استفاده از مدهای مختلف حمل و نقلی را به طرز چشمگیری افزایش داده است. اهمیت حمل و نقل تنها به جابه جایی سریع و ایمن انسان ها بین نقاط مختلف محدود نمی گردد. به طور کلی برای توسعه ی اقتصادهای بر پایه ی تولید محصولات غیر نرم افزاری چاره ای جز از تبادل کالا میان تولید کننده و مصرف کننده در هرکجا که تقاضایی برای آن کالا وجود داشته باشد، نمی باشد. بدیهی است هرچه که میزان تولیدات صنایع یک کشور افزایش یابد، شبکه ی وسیع تری از حمل و جابه جایی کالا برای تسهیل تبادل تولیدات نیاز می باشد. از همین رو است که کشورهای توسعه یافته بیش ترین میزان سرمایه گذاری را در دهه های گذشته در حوزه ی شبکه های حمل و نقلی کشور خود در تمامی ابعاد داشته اند. آن ها با وقوف به اهمیت نقش و جایگاه حمل و نقل درست در افزایش تولید ناخالص ملی(GNP[1])، سرمایه گذاری های وسیعی برای توسعه و بهبود خطوط ریلی، شبکه ی جاده ها، ساخت فرودگاه ها و افزایش خطوط هوایی و در صورت دسترسی به آب های آزاد، در زمینه ی حمل دریایی کالاها داشته اند. هرچه که حمل یک کالا و دسترسی متقاضیان به آن، آسان تر گردد، طبیعتاً پتانسیل تجارت و گردش سرمایه افزایش خواهد یافت و به مرور به حالت بالفعل نیز در خواهد آمد و نتیجه ی آن همان گونه که اشاره شد شکوفایی هرچه بیشتر اقتصاد کشور می باشد. کشور ما ایران نیز قاعدتاً از این امر مستثنا نبوده و مقوله ی حمل و نقل تأثیر به سزایی در افزایش بهره وری تجاری-صنعتی و رشد مؤلفه های اقتصادی کشور خواهد داشت. چه آن که هر چه گردش کالا و خدمات روند افزایشی پیدا نماید، ظرفیت های بیشتری برای توسعه ی پایدار که از قضا شبکه های حمل و نقلی جزء جدا ناپذیر آن به شمار می آیند، فراهم خواهد شد و آثار گسترش خدمات حمل و نقلی در زمینه های گوناگون در نهایت به شکل اقتصادی پویا تر پدیدار خواهد شد. به ویژه آن که ایران کشوری نفت خیز است و در جدیدترین گزارش های سازمان های بین المللی انرژی به عنوان بزرگ ترین دارنده ی ذخایر گازی جهان نیز معرفی شده است. هم اکنون نیز بیش از ۸۰٪ اقتصاد ایران بر پایه ی تجارت و صنایع وابسته به نفت و گاز سازمان یافته است. این امر موجب شده تا شبکه ی وسیعی در مدهای مختلف

1- Gross National Production

حمل و نقلی به منظور جابه جایی مواد نفتی و مشتقات گازی در کشور به وجود آید. جابه جایی کالاهایی از این دست، همواره حساسیت های فراوانی به دنبال دارد. چراکه در صورت بروز هرگونه رخدادی برای حامل این گونه کالاها، پیامدهای گاه بسیار شدیدی در پی آن به وقوع خواهد پیوست. به گونه ای که ابعاد خسارات آن می تواند از آلوده سازی منابع زیست محیطی و تخریب اماکن شروع شده و تا کشته شدن تعداد بسیار زیادی از افراد را در بر بگیرد. با کمی جستجو در سوابق موجود، می توان نمونه های بسیاری را یافت که متأسفانه حامل کالای خطرناک دچار حادثه شده و آسیب های زیادی را در پی داشته است. در ادامه صرفاً به تعداد محدودی از این حوادث اشاره می گردد. اما پیش از آن لازم است تا تعریف روشنی از «کالای خطرناک» ارایه گردد. بنا بر تعریف آئین نامه اجرایی حمل و نقل مواد خطرناک ایران، مواد خطرناک به صورت زیر تعریف می گردند:

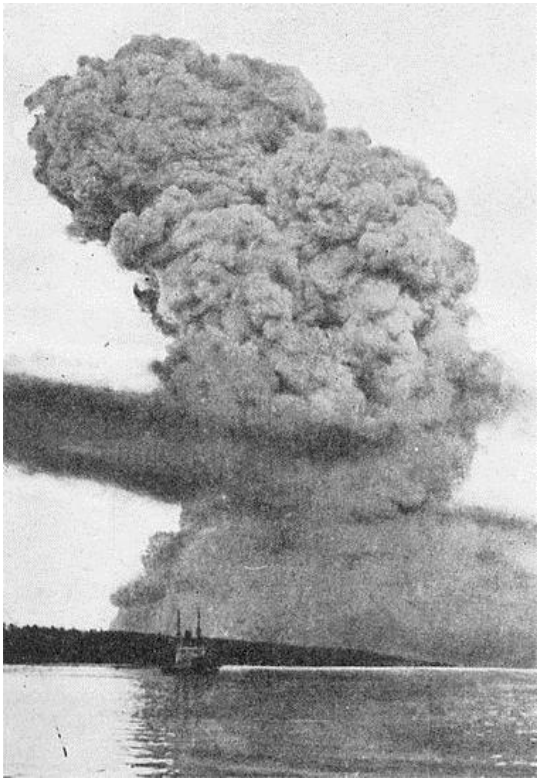
- موادی که نسبت به بهداشت یا سلامتی انسان، حیوان و محیط زیست ذاتاً خطرناک بوده و مشمول یکی از طبقه بندی های نه گانه ی جدول زیر می باشند [۱].

جدول ۱-۱ طبقه بندی نه گانه ی مواد خطرناک

شماره طبقه	توضیح
۱	مواد و محصولات منفجره
	محصولات و کالاهایی که با مواد منفجره انباشته گردیده اند.
	محصولات و کالاهایی که ایجاد آتش سوزی و احتراق می نمایند.
۲	گازهای تحت فشار مایع نشده و گازهای نامحلول تحت فشار
۳	مایعات قابل اشتعال
٤	جامدات قابل اشتعال
	موادی که دارای قابلیت آتش سوزی و آتش افروزی خود به خود می باشند.
	موادی که بر اثر تماس با آب یا مجاورت با رطوبت گازهای قابل اشتعال تولید می نمایند.
٥	موادی که باعث ایجاد زنگ زدگی می شوند.
	پراکسیدهای آلی
٦	محصولات سمی
	مواد و محصولات متعفن که باعث ایجاد و نشر بیماری های عفونی می گردند.
۷	مواد رادیواکتیو
۸	مواد خورنده و اسیدها
۹	مواد و محصولات خطرناک متفرقه

اکنون پس از آشنایی با تعاریف مرتبط با کالای خطرناک مروری بر تعدادی از حوادث رخ داده برای حاملین کالای خطرناک در سطح جهان و ایران خواهد شد.

یکی از معروف ترین و قدیمی ترین حوادث ثبت شده در تاریخ، حادثه ی هالیفاکس[1] می باشد. این حادثه در سال ۱۹۱۷ در بندری به نام هالیفاکس در کشور کانادا به وقوع پیوست. در طی این حادثه کشتی تجاری که حامل مواد منفجره بوده است از کانادا به مقصد فرانسه بارگیری نموده که در بندر با کشتی کوچک دیگری برخورد کرده و در اثر آن انفجار مهیبی به وقوع می پیوندد. ابعاد این انفجار به حدی بوده است که بلافاصله تسونامی مهیبی سواحل منطقه را در هم می کوبد و خرابی های بسیار وسیعی برجای می گذارد. بیش از ۲۰۰۰ کشته و ۹۰۰۰ زخمی از تلفات انسانی این فاجعه به حساب می آیند. تا دو سال بعد یعنی ۱۹۱۹ همچنان اجساد قربانیان از اقصا نقاط شهر پیدا می شده است. همچنین بالغ بر ۱۶۰۰ خانه به طور کامل تخریب شد و بیش از ۶۰۰۰ نفر بی خانمان گشتند. انفجار هالیفاکس تا سال ها بعد به عنوان معیاری از شدت انفجار و خرابی در نظر گرفته می شده است. به عنوان مثال بعد از پایان جنگ جهانی دوم، مجله تایم نوشت که قدرت بمب هسته ای به کار رفته در هیروشیما هفت برابر هالیفاکس قدرت داشته است.



شکل ۱-۱ نمایی از ستون دود ایجاد شده از انفجار رخداده در هالیفاکس. این عکس دقایقی بعد از انفجار گرفته شده است [۲].

1- Halifax

حادثه مهم بعدی، باز هم یک حادثه ی دریایی است. در سال ۱۹۴۷ در بندر تگزاس، بزرگ ترین حادثه ی صنعتی تاریخ آمریکا به وقوع پیوست. طی این حادثه کشتی گرندکمپ[1] که حامل ۲۳۰۰ تن نیترات آمونیوم بوده است منفجر شده و به شکل زنجیروار چندین کشتی دیگر نیز در محل منفجر می گردند و آتش به تأسیسات ذخیره ی نفت در نزدیکی منطقه رسیده و ابعاد حادثه به شدت بالا می رود. این حادثه ۵۸۱ نفر قربانی می گیرد. خسارات مالی این حادثه نیز بسیار بالا گزارش شده است. نیترات آمونیوم توسط قطار به محل حمل شده و سپس در کشتی بارگیری شده بود که این حادثه به وقوع می پیوندد. دلیل شروع آتش سوزی به طور مشخص هیچ گاه معلوم نمی گردد. بروز فاجعه ی تگزاس زمینه ساز وضع اولین قوانین ایالتی و ملی در خصوص مواد خطرناک و مسئولیت های دولت در قبال آن می گردد.

شکل ۱-۲ نمایی از بندر تگزاس، بعد از بروز انفجار در کشتی حامل نیترات آمونیوم [۳].

متأسفانه بروز حادثه برای حامل کالای خطرناک در سال های اخیر نیز همچنان ادامه دارد و قربانی می گیرد. وقوع این رویدادها به هیچ عنوان مختص به کشورهای درحال توسعه و یا کشورهایی با زیر ساخت های ضعیف در زمینه ی حمل و نقلی نمی گردد، این حوادث در کشورهای پیشرفته نیز همچنان رخ می دهد. اگرچه در این کشورها نرخ رویداد آن به مراتب کم تر از کشورهای دسته ی اول می باشد.

پرخسارت ترین حادثه ی جاده ای تاریخ کشور آلمان، در آگوست ۲۰۰۴ به وقوع پیوست. در این حادثه که بر روی پل ویلتال[2] در بزرگ راه آ-۴ میان شهرهای کلن و الپ به وقوع پیوست، یک تانکر حامل سوخت که حاوی ۳۲ هزار

1- Grand Camp
2 - Wiehltal

لیتر مایع سوختی بوده است، پس از برخورد با یک خودروی سواری از مسیر منحرف می شود. گارد ریل کنار مسیر نیز توانایی ایستادگی در برابر این کشنده ی مخزنی سوخت را نمی یابد و تانکر با شکستن گارد ریل از ارتفاع ۳۰ متری سطح زمین سقوط می نماید که باعث بروز انفجار مهیبی می گردد. این انفجار سبب از میان رفتن تحمل بار پیش بینی شده در پل می گردد که مسئولین برای حفظ ایمنی مصرف کنندگان مسیر ناچار از بستن پل می شوند. هزینه ی تعمیر ابتدایی پل و در نهایت ساخت پل جایگزین بالغ بر ۲۸۲ میلیون یورو می گردد. در این حادثه راننده ی تانکر در دم جان می سپارد.

شکل ۱-۳ سقوط تانکر از پل در اثر برخورد با یک وسیله ی نقلیه ی دیگر و انفجار ۳۲هزار لیتر مایع سوختی، هزینه ای بالغ بر ۲۸۰ میلیون یورو برای دولت آلمان در پی داشت [۴].

به طور کلی تعداد تصادفات حاملین کالای خطرناک از ابتدای قرن بیستم تا کنون روند فزاینده ای داشته است. به ویژه در دهه های هشتاد و نود میلادی فراوانی این گونه تصادفات جهش ناگهانی را تجربه کرده است. البته از دلایل این امر می توان به افزایش حمل زمینی(جاده و ریل) این مواد و همچنین ثبت دقیق تر حوادث ترافیکی روی داده و البته دسترسی بهتر به این گونه گزارشات اشاره نمود [۵]. مسئله ی دیگری که این افزایش حوادث مربوط به حاملین کالاهای خطرناک را نگران کننده می سازد، این است که عموماً این تصادفات از برخورد مستقیم حامل کالا با سایر وسایل نقلیه به وقوع می پیوندند و در اکثر موارد ارتباطی با بروز نقص فنی در کشنده ی مخزن ندارند. در یک تحقیق که بررسی جامع و وسیعی بر حوادث حاملین کالای خطرناک داشته است، نشان داده شده که بیش از ۷۳٪ این حوادث از نوع برخورد حامل با سایر وسایل نقلیه بوده است [۵].

متأسفانه در ایران نیز حوادث مشابه سابقه ی وقوع داشته است. شاید معروف ترین و البته تأسف بار ترین حادثه رخ داده برای حامل کالای خطرناک، حادثه ی به وجود آمده برای قطار باری معروف به قطار نیشابور در سال ۱۳۸۲ باشد. در ۲۹ بهمن سال ۱۳۸۹، چند واگن حمل بار در مسیر راه آهن تهران- مشهد، ایستگاه ابومسلم(سه ایستگاه قبل از ایستگاه نیشابور) به صورت خود به خودی شروع به حرکت کرده(در اصطلاح فرار می نمایند) و در ایستگاه خیام، یک ایستگاه پیش از ایستگاه شهر نیشابور پس از برخورد با یک لوکوموتیو موجود در خط از ریل خارج شده و دچار آتش سوزی می گردند. این واگن ها حاوی گوگرد، بنزین، نفتا، نیترات آمونیوم و پنبه بوده اند. مأموران آتش نشانی چندین ایستگاه به محل حادثه اعزام شده و طی چند ساعت موفق به مهار آتش می گردند. اما در پایان و در شرایطی که تصور به اطفأ کامل آتش بوده است، ناگهان انفجار مهیبی به وقوع می پیوندد که خسارات جانی و مالی بسیار زیادی برجای می گذارد و لقب فاجعه آمیزترین حادثه ی ریلی تاریخ ایران را از آن خود می کند. شدت انفجار به حدی بوده است که در مشهد(۹۰ کیلومتری محل حادثه) زمین لرزه ای به بزرگی ۳/۵ درجه در مقیاس ریشتر ثبت شده و صدای انفجار به وضوح شنیده می شود. تمامی شیشه ها تا شعاع ۱۰ کیلومتری می شکند، چرخ واگن قطارها تا ۲ کیلومتر آن سوتر از محل حادثه پرتاب می شود و در نتیجه ی انفجار گودالی به عمق ۲۵ متر و عرض دهانه ی ۸۰ متر در زمین ایجاد می گردد. کافی است دقت شود که تنها شدت انفجار میزان نیترات آمونیوم موجود در واگن ها به اندازه قدرت انفجار ۲۰۰ تن تی ان تی می باشد[۶]. تلفات انسانی این حادثه نیز بسیار بالا بوده است. ۳۲۰ نفر در این حادثه جان خود را از دست می دهند که ۲۴ نفر از آنان جزء نیروهای امدادی سازمان آتش نشانی که برای مهار آتش در محل حادثه حضور داشتند، بوده اند. ۴۶۰ نفر نیز در این حادثه مجروح می گردند. در پی این رخداد مهیب روستای دهنو هاشم آباد، مجاور ایستگاه خیام که ۹۰ خانوار ساکن داشته است، به طور کامل تخریب می گردد.

شکل ۱-۴ بعد از انفجار واگن ها، گودالی به عمق ۲۵ متر و عرض دهانه ی ۸۰ متر در محل حادثه ایجاد گردید [۶].

شکل ۱-۵ بعد از اطفاء کامل آتش، در شرایطی که تصور آتش نشانان بر پایان یافتن حادثه ی آتش سوزی بوده است، ناگهان انفجار مهیبی منطقه را به لرزه در می آورد [۶].

حوادثی از این دست متأسفانه در ایران بارها به وقوع پیوسته است. شاید ابعاد حادثه ی قطار نیشابور به گونه ای بوده است که آن را تا اندازه ای متمایز از سایر موارد مشابه کرده است، اما واقعیت این است که حوادث رخ داده برای حاملین کالای خطرناک در ایران، به ویژه در مد جاده، همه ساله قربانی گرفته و خسارات مالی فراوانی در پی دارد. همان گونه که اشاره شد، در کشور ما به علت بالا بودن تولیدات نفتی و گازی و محصولات پتروشیمی، که همگی جزء مواد خطرناک دسته بندی می گردند، میزان جابه جایی این دسته از کالاها بسیار بالا بوده و در بخش حمل جاده ای همواره و در تمامی ماه های سال، رانندگان در مواجهه ی با حاملین کالای خطرناک می باشند.

بالا بودن نرخ تصادفات جاده ای، که به خودی خود احتمال وقوع تصادفات را در آینده بالا نشان می دهد، حمل و جابه جایی طیف گسترده ای از مواد خطرناک در شبکه ی راه های کشور و احساس نیاز به لزوم قانونمند سازی فرآیند حمل این گونه کالاها، مسئولین دولتی را بر آن داشت تا با تدوین آئین نامه ای برای اولین بار در جهت سامان بخشی به عملیات بارگیری و حمل کالاهای خطرناک گام مهمی به پیش بردارند. بر این اساس هیأت وزیران وقت در سال ۱۳۸۰ آئین نامه ای را با عنوان «آئین نامه اجرایی حمل و نقل جاده ای مواد خطرناک» تصویب نموده و برای اجرا به سازمان های ذی ربط ابلاغ نمودند. این آئین نامه مشتمل بر چهار فصل و ۴۵ ماده می باشد و سعی شده تا اهم مواردی را که به مبحث ایمنی حمل جاده ای مواد خطرناک مربوط می گردد، در آن گنجانده شود. در پایان و در پیوست این آئین نامه لیست کاملی از کالاهایی که به عنوان ماده خطرناک شناسایی می شوند، آورده شده است. این لیست کاملاً مشابه با

جدول کالاهای خطرناک نمونه ی اروپایی این آئین نامه یعنی «توافق نامه ی اروپایی حمل جاده ای کالای خطرناک([1]ADR)» مصوب اتحادیه ی اروپا که منبع اصلی آئین نامه ایران نیز بوده است، می باشد.

البته پیش از تصویب این آئین نامه در مرداد ماه ۱۳۷۶، ایران به کنوانسیون جهانی قرار داد حمل و نقل بین المللی کالا از طریق جاده ملحق می شود[۷]. این آئین نامه با ۵۱ ماده، حمل و نقل کالا ها را به طور عام در نظر آورده و مواد خطرناک را از سایرین متمایز ننموده است. همچنین به طور کلی این کنوانسیون بیشتر ناظر بر جنبه های حقوقی جابه جایی کالا می باشد و به هیچ عنوان یک سند کافی برای سامان دهی مسایل ایمنی مربوط به حمل کالاهای خطرناک به شمار نمی رود.

به هر روی هدف نهایی از اتخاذ تمامی این تمهیدات قانونی کاهش حوادث و بالا بردن ضریب ایمنی حمل مواد خطرناک می باشد. اما آن چه مسلم است، این است که تا زمانی که انسان نیروی کار به شمار می رود و گردانندگان چرخ سیستم حمل و نقل از افراد مختلف با تجربه ها و شرایط جسمی – روحی متفاوت تشکیل یافته است، همواره احتمال بروز خطا و در نتیجه رخدادن یک حادثه ناگوار وجود دارد. به همین خاطر است که مدیران عرصه ی حمل و نقل و تصمیم گیران این بخش همواره خواهان آن هستند تا دید روشنی در خصوص خطرات مرتبط با فرآیند حمل مواد خطرناک داشته باشند که به مدد آن بتوانند بهترین تصمیم را در خصوص چگونگی جابه جایی این کالاها اتخاذ نمایند. در دنیای واقعی هیچ حالتی وجود ندارد که خطرات ناشی از حمل کالاهای خطرناک به صفر رسیده و در نتیجه هیچ گونه ریسکی برای جابه جایی این کالاها در نظر گرفته نشود. همواره بایستی میان عوامل مختلف بررسی های لازم را انجام نمود و با ایجاد تعادل بین فاکتورهای خطر ساز از یک سو و فاکتورهای هزینه ساز از سوی دیگر، شرایط انتخاب بهینه را فراهم نمود. گاهی اوقات شرایطی پیش می آید که یک مدیر و یا مسئول حمل و نقل جاده ای یک شرکت بایستی میان عبور یک دستگاه تانکر حامل مواد سوختی از یک مسیر کوتاه اما از داخل شهر و یک مسیر طولانی تر اما خارج از محیط شهری، دست به انتخاب بزند. در این حالت این فرد بنا بر دانش و تحلیل شخصی و یا با کمک گرفتن از تخصص مشاورینش در نهایت باید بین گزینه های عبور از داخل شهر(مسیر کوتاه و در نتیجه کم هزینه) و یا عبور از یک مسیر طولانی تر(و در نتیجه پر هزینه تر) دست به انتخاب بزند. عبور از مسیر کوتاه تر هم صرفه جویی های بسیاری برای مجموعه ی تحت مدیریت وی به همراه خواهد داشت اما آیا در صورت بروز حادثه آن هم در شهر برای این تانکر، هزینه های ناشی از پیامد این رخداد، بیش تر از هزینه های صرفه جویی شده نخواهد بود؟ تازه این ها فاکتورهای درجه اول به حساب می آیند، بروز حادثه علاوه بر آن که اعتبار شرکت حمل کننده را به مخاطره می اندازد، شرکت های بیمه را نیز برای بیمه نمودن مجدد محموله های این شرکت با تردید مواجه کرده و یا هزینه های بیمه سازی را به شدت افزایش خواهد داد. تمامی این موارد و البته عوامل پرشمار دیگری، لزوم دست یافتن به معیاری برای سنجش میزان ریسک عبور از یک معبر مشخص را بیش از پیش نمایان می سازد. معیارهایی که البته سال ها است پژوهشگران این عرصه بر روی آن ها کار کرده و همواره درصدد بهبود و تکمیل معیارها و شاخص های پیشنهادی می باشند. این شاخص ها به تصمیم گیران کمک کرده تا با

1- European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road