



دانشکده مهندسی عمران - گروه مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل

پایان نامه کارشناسی ارشد

**مسیریابی حمل کالای خطرناک
به منظور کاهش ریسک در شبکه جاده ای**

استاد راهنما:

دکتر افشین شریعت مهیمنی

استاد مشاور:

دکتر محمود احمدی نژاد

دانشجو:

مسعود خدادادیان

زمستان ۱۳۸۵

صلى الله عليه وسلم

چکیده

مواد خطرناک نظیر مواد منفجره، اشتعال پذیر، سمی و عفونی، موادی هستند که به دلیل خواص شیمیایی و فیزیکی خود، ریسک قابل توجهی را بر سلامت و ایمنی مردم، محیط زیست و اموال (تاسیسات و تسهیلات) تحمیل می کنند. حمل و نقل مواد خطرناک ضرورتی انکارناپذیر در راستای پیشرفت صنعتی کشورها است که باید با رعایت تمهیدات خاص انجام شود. تحلیل ریسک، مکانیابی تسهیلات و مسیریابی و زمان بندی از جمله مسایل مهم در حمل و نقل مواد خطرناک است. در مسأله مسیریابی، انتخاب مسیر یا چگونگی تخصیص وسایل نقلیه محمولات خطرناک براساس ملاحظات ایمنی و اقتصادی (اهداف رقیب و متناقض) مدنظر است. از یک طرف باید حمل و نقل مواد خطرناک فعالیت اقتصادی باشد تا امکان جلب سرمایه گذاری در آن وجود داشته باشد و از طرف دیگر باید با حداقل کردن ریسک فرایند حمل و نقل محمولات خطرناک، معیارهای ایمنی برآورد گردند.

مسأله این تحقیق، ارائه متدولوژی جهت تعیین تخصیص مسیرهای اقتصادی و ایمن برای انتقال محمولات خطرناک است. در این رساله، ابتدا شاخصهای مورد استفاده در محاسبه مسیرهای بهینه تعیین شده است و سپس با توجه به مطالعات انجام شده، اهداف و محدودیتهای مسأله مشخص شده و با بکارگیری یک "مدل بهینه سازی چند هدفه عدد صحیح" مسأله حل گردیده است.

این رساله سعی نموده است، ابزاری جهت استفاده برنامه ریزان و تصمیم گیران به منظور مدیریت حمل و نقل مواد خطرناک ارائه دهد. به کمک شاخص ریسک تعریف شده در این پژوهش، می توان با محاسبه میزان ریسک کمانهای شبکه در وضع موجود، ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در طول یک مسیر را تعیین کرد و در نتیجه ارزیابی مناسبی از وضعیت ریسک شبکه ارائه داد. همچنین با استفاده از مدل ارائه شده در این تحقیق، مدیریت حمل و نقل مواد خطرناک می تواند تخصیص بهینه برای چندین نوع کالا و چندین زوج مبدأ-مقصد در شبکه حمل و نقلی را پیدا کند.

فهرست مطالب

فصل اول - کلیات ۲

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تعریف مسأله ۳

۱-۳- گروه‌های ذینفع و درگیر ۴

۱-۴- لزوم تحقیق و اهمیت مسأله ۶

۱-۵- اهداف تحقیق ۱۰

۱-۶- فرضیات تحقیق ۱۱

۱-۷- روش تحقیق ۱۱

۱-۸- مراحل انجام مطالعه ۱۲

فصل دوم- مروری بر کارهای انجام شده (ادبیات موضوع) ۱۵

۱-۲- شاخص ریسک تردد محمولات خطرناک در مطالعات پیشین ۱۵

۲-۲- مسیریابی تردد محمولات خطرناک در مطالعات پیشین ۲۳

۲-۲-۱- تقسیم بندی بر اساس نوع وابستگی شرایط شبکه به زمان روز ۲۳

۲-۲-۲- تقسیم بندی بر اساس تعداد اهداف در تابع هدف ۳۸

فصل سوم - ملاحظات مسیریابی محمولات خطرناک ۴۱

۱-۳- ماده خطرناک ۴۱

۱-۳-۱- تعریف ۴۱

۱-۳-۲- طبقه بندی ۴۲

۲-۳- عوامل مؤثر بر مسیریابی محمولات خطرناک ۴۶

۳-۳-۳- ملاحظات ریسک ۵۱

۳-۳-۳-۱- تعاریف ریسک ۵۱

۳-۳-۳-۲- سانحه، حادثه و در معرض بودن ۵۵

۳-۳-۳- شاخص ریسک ۵۶

۳-۳-۳-۱- احتمال وقوع پیامد حادثه HM ۵۹

۳-۳-۳-۲- پیامد حادثه ۶۷

۳-۳-۳-۳- ناحیه تأثیر ۶۹

۳-۳-۳-۴- مدل‌های انتشار آلودگی ۷۷

۴-۳- ملاحظات اقتصادی ۷۹

فصل چهارم - ارائه روشی جهت مسیریابی محمولات خطرناک ۸۲

۴-۱- مقدمه ۸۲

۴-۲- ملاحظات ریسک ۸۲

۴-۳- ملاحظات اقتصادی ۸۴

۴-۴- تصمیم‌گیری ۸۴

۴-۵- تعریف مسأله ۸۶

۴-۵-۱- برچسب کمان ۹۱

۴-۵-۲- ماتریس وقوع مسیر ۹۲

۴-۶- روش حل مسأله ۹۳

فصل پنجم - مطالعه موردی ۹۶

۵-۱- مقدمه ۹۶

۹۶.....	۲-۵- شبکه مطالعه موردی.....
۱۰۰.....	۳-۵- شاخص ریسک پایه کمانهای شبکه.....
۱۰۳.....	۴-۵- حل مدل.....
۱۱۲.....	۵-۵- تحلیل حساسیت.....
۱۲۰.....	فصل ششم- نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۱۲۴.....	پیوست.....
۱۲۴.....	پ-۱- مدل برنامه ریزی عدد صحیح مسیریابی حمل کالاهای خطرناک در نرم افزار LINGO... ۱۲۴
۱۲۶.....	پ-۲- جداول مربوط به مسیریابی محمولات خطرناک در شبکه مطالعه موردی..... ۱۲۶
۱۵۷.....	مراجع..... ۱۵۷

فهرست اشكال

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- تعداد حوادث اصلی جهان بین سالهای ۱۹۴۵ - ۱۹۸۶ ۶
- شکل ۱-۲- تعدادی از منحنی های $arc\ point\ F'(N)$ به ازای عبور یک محموله آمونیاک ۱۶
- شکل ۲-۲- منحنی حد $F(N)$ ۱۷
- شکل ۳-۲- منحنی بهینه سازی ریسک ۲۵
- شکل ۴-۲- فلوچارت برنامه کامپیوتری جهت تعیین مسیر GIS ۲۸
- شکل ۵-۲- مسأله طراحی شبکه مواد خطرناک ارائه شده توسط کارا و ورت در سال ۲۰۰۴ ۲۹
- شکل ۶-۲- الگوریتم حل کوتاهترین مسیر ارائه شده توسط بون ویسینی و همکاران در سال ۱۹۹۸ ۳۳
- شکل ۱-۳- روابط بین تعاریف ریسک ۵۲
- شکل ۲-۳- طبقه بندی رخدادهای جاده ای کامیونهای HM ۵۵
- شکل ۳-۳- رابطه بین سانحه، حادثه و در معرض بودن ۵۶
- شکل ۴-۳- درخت واقعه یک تصادف تانکر نفت ۶۲
- شکل ۵-۳- مثالی از منحنی های آسیب پذیری ۷۰
- شکل ۶-۳- مقایسه u با δ ۷۳
- شکل ۱-۴- روش حل مسأله ۹۴
- شکل ۱-۵- شبکه حمل و نقلی مطالعه موردی ۹۷
- شکل ۲-۵- گزینه های مسیر شیراز - یزد ۹۹
- شکل ۳-۵- گزینه های مسیر اصفهان - شیراز ۱۰۰
- شکل ۴-۵- مسیریابی محمولات خطرناک در شبکه ۱۰۶

- شکل ۵-۵- توزیع ریسک جمعیتی کمانهای شبکه ۱۰۷
- شکل ۵-۶- توزیع ریسک محیط زیستی کمانهای شبکه ۱۰۸
- شکل پ-۱- مسیریابی محمولات خطرناک تحت حالت ۲ ۱۳۷
- شکل پ-۲- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۳ ۱۳۸
- شکل پ-۳- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۴ ۱۳۹
- شکل پ-۴- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۵ ۱۴۰
- شکل پ-۵- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۷ ۱۴۱
- شکل پ-۶- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۸ ۱۴۲
- شکل پ-۷- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۱۱ ۱۴۳
- شکل پ-۸- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۱۲ ۱۴۴
- شکل پ-۹- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۱۴ ۱۴۵
- شکل پ-۱۰- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۱۵ ۱۴۶
- شکل پ-۱۱- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۱۶ ۱۴۷
- شکل پ-۱۲- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۱۷ ۱۴۸
- شکل پ-۱۳- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۱۸ ۱۴۹
- شکل پ-۱۴- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۱۹ ۱۵۰
- شکل پ-۱۵- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۲۰ ۱۵۱
- شکل پ-۱۶- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۲۱ ۱۵۲
- شکل پ-۱۷- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۲۴ ۱۵۳

شکل پ-۱۸- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۲۵..... ۱۵۴

شکل پ-۱۹- مسیریابی محمولات خطرناک شبکه تحت حالت ۲۶..... ۱۵۵

فهرست جداول و نمودارها

فهرست جداول و نمودارها

- جدول ۱-۱- حوادث مهم حمل و نقل کالاهای خطرناک ۸
- جدول ۱-۲- تعدادی از حوادث مربوط به حمل مواد خطرناک ۹
- جدول ۱-۳- رتبه بندی معیارها و اهمیت نسبی آنها..... ۵۰
- جدول ۲-۳- نرخ تصادفات کامیونها ۶۳
- جدول ۳-۳- احتمال نشت بصورت تابعی از وقوع سانحه خاص ۶۴
- جدول ۳-۴- احتمال نشت بشرط وقوع سانحه به عنوان تابعی از نوع راه و نوع ناحیه..... ۶۶
- جدول ۳-۵- نرخ سوانح کامیونها و نرخ نشت ۶۷
- جدول ۳-۶- مواد خطرناک و ناحیه تاثیر آنها ۷۱
- جدول ۳-۷- اثر تابش گرمایی ۷۴
- جدول ۳-۸- اثر اضافه فشار انفجار..... ۷۵
- جدول ۳-۹- طبقه بندی پایداری پاسکال ۷۷
- جدول ۵-۱- ماتریس تقاضا برحسب تعداد کامیون ۹۷
- جدول ۵-۲- اطلاعات تصمیم گیر ۱۰۴
- جدول ۵-۳- نتایج مدل‌های فرعی شش گانه ۱۰۵
- جدول ۵-۴- مقادیر ریسک جمعیتی، ریسک محیط زیستی و زمان سفر شبکه در هر یک از حالت‌های ۳ گانه ۱۰۹
- نمودار ۵-۱- ریسک جمعیتی شبکه در هر یک از حالت‌های ۳ گانه ۱۰۹
- نمودار ۵-۲- ریسک محیط زیستی شبکه در هر یک از حالت‌های ۳ گانه ۱۱۰

- نمودار ۳-۵- زمان سفر شبکه در هر یک از حالت‌های ۳ گانه ۱۱۰
- جدول ۵-۵- مسیرهای مورد استفاده شبکه در حالات ۳ گانه ۱۱۱
- جدول ۶-۵- کمانهای بحرانی شبکه در هر یک از حالات ۳ گانه ۱۱۱
- جدول ۷-۵- سیستمهای وزنی ۱۱۳
- جدول ۸-۵- محدودیتهای ریسک جمعیتی و محیط زیستی کمانهای شبکه ۱۱۳
- جدول ۹-۵- نتایج مدل‌های فرعی شش گانه ۱۱۳
- نمودار ۴-۵- مطلوبیت کل شبکه در هر یک از حالت‌های ۲۶ گانه ۱۱۴
- نمودار ۵-۵- حجم متوسط، حداکثر و حداقل مسیرهای شیراز - یزد (SY) حالت‌های ۲۶ گانه ۱۱۶
- نمودار ۶-۵- حجم متوسط، حداکثر و حداقل مسیرهای اصفهان - شیراز (ES) حالت‌های ۲۶ گانه ۱۱۶
- نمودار ۷-۵- تعداد انتخاب هر یک از مسیرهای شیراز - یزد (SY) در بین حالت‌های ۲۶ گانه ۱۱۶
- نمودار ۸-۵- تعداد انتخاب هر یک از مسیرهای اصفهان - شیراز (ES) در بین حالت‌های ۲۶ گانه ۱۱۷
- جدول ۱۰-۵- حالت‌های مشابه در بین حالت‌های ۲۶ گانه به تفکیک نوع محدودیت ریسک ۱۱۷
- جدول ۱۱-۵- مقایسه مسیرهای مورد استفاده بین حالت‌های ۱ و ۱۴ ۱۱۸
- جدول پ-۱- مشخصات کمانهای شبکه ۱۲۶
- جدول پ-۲- ماتریس وقوع مسیر ۱۲۸
- جدول پ-۳- مولفه های ریسک کمانهای شبکه ۱۲۹
- جدول پ-۴- ریسک پایه جمعیتی و محیط زیستی و زمان سفر کمانهای شبکه ۱۳۱
- جدول پ-۵- ریسک جمعیتی و محیط زیستی و زمان سفر کمانهای شبکه ۱۳۳
- جدول پ-۶- تابع هدف مدل اصلی به ازای شرایط مختلف ۱۳۴

جدول پ-۷- تخصیص کامیونهای محمولات خطرناک به ازای محدودیت ریسک نوع اول..... ۱۳۵

جدول پ-۸- تخصیص کامیونهای محمولات خطرناک به ازای محدودیت ریسک نوع دوم..... ۱۳۶

فصل اول: کلیات

فصل اول - کلیات

۱-۱- مقدمه

امروزه، مواد خطرناک^۱ کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف نظیر صنایع، معادن، کشاورزی و پزشکی پیدا کرده‌اند بطوریکه بخشی از راحتی و آسایش شهرها، به کاربردیهای گوناگون این مواد وابسته شده است.

مواد خطرناک، موادی هستند که به دلیل خواص شیمیایی و فیزیکی خود، ریسک قابل توجه‌ای را بر سلامت و ایمنی مردم، محیط زیست و اموال (تاسیسات و تسهیلات) تحمیل می‌کنند نظیر مواد منفجره، اشتعال پذیر، اکسید کننده سمی و عفونی. مسلماً استفاده از این مواد دارای مزایای بسیاری از جمله منافع اقتصادی است چرا که در غیر اینصورت، بدلیل ریسک کاربرد آنها، توجیهی برای استفاده از آنها وجود نداشت. از آنجائیکه این مواد مورد نیاز صنایع و مصرف کنندگان هستند، همواره نحوه مدیریت آنها، به عنوان یک مسأله جدی مطرح است.

در اکثر موارد، محل تولید و مصرف مواد خطرناک یکی نیست و باید این مواد را از محل تولید به محل مصرف منتقل کرد. این نقل و انتقالات در حقیقت فرصتی برای بروز حوادث ناگوار احتمالی است. به دلیل ماهیت خطرناک این مواد، باید در کلیه مراحل تولید، انبار و توزیع (حمل و نقل) این مواد، شاخصها و معیارهای ایمنی را مدنظر داشت. بنابراین به منظور حداقل کردن ریسکهای ناشی از کاربرد HazMat، اغلب، استانداردهایی جهت کنترل و مدیریت این مواد بکار می‌رود.

^۱ مواد خطرناک یا کالاهای خطرناک و یا محمولات خطرناک معادل اصطلاحات Hazardous Materials یا Dangerous Goods و یا به اختصار HazMat است. در کشورهای اروپایی و کانادا از Dangerous Goods برای موارد حمل و نقلی و از Hazardous (HazMat) Materials برای موارد امداد رسانی اورژانس استفاده می‌شود. در آمریکا برای هر دو مورد حمل و نقلی و امداد رسانی اورژانس از (HazMat) Hazardous Materials استفاده می‌شود. در این گزارش نیز اصطلاح اختصاری HazMat یا HM در برخی موارد بکار رفته است.

دستیابی به استانداردهای مطلوب ایمنی در هر فرایندی از جمله کاربرد مواد خطرناک از ملزومات یک مدیریت خوب است. به همین دلیل، ابزارهای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری برای مدیریت فعالیتهای مرتبط با کالاهای خطرناک وجود آمده است.

۱-۲- تعریف مسأله

امروزه، بخش عمده‌ای از نقل و انتقالات محمولات خطرناک توسط شبکه حمل و نقل جاده‌ای انجام می‌گیرد.

لیست و آبکویتز^۱ (۱۹۸۶) مسائل مربوط به مواد خطرناک را به سه دسته تقسیم بندی کرده است؛ تحلیل ریسک، مکانیابی تسهیلات و مسیریابی و زمان‌بندی. ارائه روش مناسب جهت ارزیابی ریسک نظیر احتمال حوادث و درجه پیامدهای آن در تحلیل ریسک مطرح می‌گردد. مسائل مکانیابی، به تعیین محل تسهیلات مرتبط با ذخیره، انتقال این مواد نظیر پایگاههای امداد رسانی می‌پردازد [۱].

در مسأله مسیریابی و زمان‌بندی، انتخاب مسیر یا چگونگی تخصیص وسایل نقلیه محمولات خطرناک براساس ملاحظات ایمنی و اقتصادی (اهداف رقیب و متناقض) مدنظر است. از یک طرف باید حمل و نقل HazMat فعالیتی اقتصادی باشد تا امکان جلب سرمایه گذاری در آن وجود داشته باشد و از طرف دیگر باید با حداقل کردن ریسک فرایند حمل و نقل محمولات خطرناک، معیارهای ایمنی برآورد گردند. فاکتورهای اقتصادی به سادگی و سهولت قابل تعیین هستند اما تعیین ریسک، کمی پیچیده‌تر و مشکلتر است. براساس هزینه‌های عملیاتی می‌توان اقتصادی بودن فعالیت حمل و نقل را بررسی کرد. هرچه بتوان هزینه‌های عملیاتی فرایند حمل و نقل را کاهش داد، فعالیت حمل و نقل اقتصادی‌تر خواهد شد.

¹ List & Abkowitz

اغلب مخاطره (ریسک)، براساس احتمال وقوع رخداد و پیامدهای آن تعریف می‌شود. به عبارت دیگر ریسک نشان دهنده رابطه خطرات و فاکتورهای آسیب پذیری یک یا چندین مولفه تحت ریسک (عنصر آسیب پذیر) است. به عبارت دیگر ریسک عبارت است از احتمال وقوع پیامدهای خاص یک حادثه. اثر متقابل این فاکتور را می‌توان بوسیله سایر فاکتورهای خارجی نظیر محیط زیستی، اجتماعی، سیاسی و غیره دید.

جهت انتخاب تخصیص (مسیرهای) اقتصادی و ایمنی برای انتقال HazMat ، استفاده از ابزاری که به برنامه‌ریزان و تصمیم گیران امکان ارزیابی کلیه مسیرهای ممکن، تولید سناریوهای مختلف و یافتن راه‌حل یک مسأله خاص را می‌دهد، ضروری است.

این تحقیق سعی دارد، ابزاری جهت استفاده برنامه‌ریزان و تصمیم گیران ارائه دهد. مسأله این تحقیق ارائه متدولوژی جهت تعیین تخصیص مسیرهای اقتصادی و ایمن برای انتقال محمولات خطرناک است. به کمک این مدل، مدیریت حمل و نقل مواد خطرناک می‌تواند تخصیص بهینه برای چندین نوع کالا و چندین زوج مبدأ- مقصد در شبکه حمل و نقلی را پیدا کند. در این تحقیق تخصیص بهینه یا مسیرهای بهینه حالتی است که بهترین (و بیشترین) پوشش را بر روی مجموعه اهداف مورد نظر گروههای ذینفع فرایند توزیع و انتقال HM داشته باشد.

۱-۳- گروههای ذینفع و درگیر

هدف اصلی از انتخاب یک مسیر خاص برای انتقال HazMat کاهش ریسک حوادث احتمالی و همچنین حفظ مطلوبیت اقتصادی عملیات حمل و نقل است. در این فرایند در حالت کلی سه گروه ذینفع اصلی می‌توان در نظر گرفت:

الف) مردم (جمعیت):

منظور جمعیتی است که در مجاورت مسیر حمل کالاهای خطرناک زندگی می کنند که در نتیجه جمعیت آسیب پذیر ریسک انتقال محمولات خطرناک را تشکیل می دهند. آنچه از نظر این گروه مهم بشمار می آید، ایمنی و کاهش ریسک انتقال این مواد است. اینکه مردم نخواهد در محیط زندگی یا کار خود در معرض آسیب یک خطر قرار بگیرند امری منطقی است. در مدیریت ریسک و بحران، جمعیت یکی از اجزا اولیه (و مولفه های اصلی) به شمار می آید. بنابراین در انتخاب یک مسیر بهینه برای حمل و نقل HM، توقع مردم حداقل آسیب پذیری از منبع ریسک است.

(ب) دولت:

مدیریت شبکه حمل و نقلی و نگهداری محیط زیست از وظایف دولتها است. بنابراین تخصیص بهینه محمولات خطرناک در شبکه جاده ای براساس معیارهای ریسک برای دولت بسیار مهم است. اگر در هنگام انتقال محمولات خطرناک حادثه ای رخ دهد، شبکه حمل و نقلی و محیط زیست تحت اثرات منفی قرار می گیرند.

(ج) صنایع:

که شامل تولید کنندگان، مصرف کنندگان و شرکتهای حمل و نقل مواد خطرناک است. هر دو جنبه هزینه و ریسک برای این گروه مهم است. اینکه صنایع به عنوان بنگاههای اقتصادی به دنبال کاهش هزینه ها و افزایش منافع باشند، امری بدیهی است. همچنین از نقطه نظر کاهش ریسک می توان به چند جنبه اشاره کرد:

اولاً: یک برنامه ریزی قوی در صنعت جهت تقویت جایگاه به عنوان یک شریک خوب در برابر

آنچه برای جامعه رخ می دهد، وجود دارد.