

دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست

گروه مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-گروه برنامه ریزی حمل و نقل

## **ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک بر پایه ریسک – مطالعه موردی مسیرهای تهران-مازندران**

مؤلف

سجاد حسن‌پور

استاد راهنما

دکتر صفارزاده

استاد مشاور

دکتر سیدابریشمی

بسمه تعالی



دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

تأییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیات داوران نسخه نهایی پایان نامه ۶ واحدی آقای سجاد حسن پور تحت عنوان ارزیابی مسیرهای

حمل مواد خطرناک بر پایه ریسک - مطالعه موردی مسیرهای تهران-مازندران را از نظر فرم و محتوا بررسی

نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می کنند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیات داوران
	استاد	دکتر محمود صفارزاده	۱- استاد راهنما
	استادیار	دکتر سید احسان سیدابریشمی	۲- استاد مشاور
	استادیار	دکتر امین میرزا بروجردیان	۳- استاد ناظر (داخلی)
	دانشیار	دکتر افشین شریعت مهیمنی	۴- استاد ناظر (خارجی)
	استادیار	دکتر سید احسان سیدابریشمی	۵- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی

تقدیم بہ

پدرو مادر عزیزم، کہ در تمام مراحل زندگی، ہموارہ دیدیون زحمات و محبت بیکرانشان، ہستم۔

## تقدیر و تشکر:

پاس خدای را که سخوران، دستودن او بماند و شمارندگان، شردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر صفارزاده به عنوان استاد راهنما که در مراحل مختلف اجرایی و نگارش پایان نامه در جهت رفع مشکلات مراباری دادند کمال تشکر را

دارم.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر سید ابریشمی به عنوان استاد مشاور که البته بارها پیش از یک مشاور برای بنده زحمت کشیدند و در همه مراحل پایان نامه مرا تنها نگذاشتند، مینهایت سپاسگزارم و سلامتی و شادی در تمامی مراحل زندگیشان را آرزو مندم.

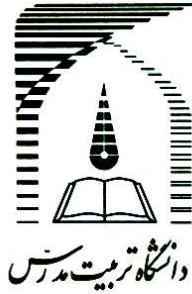
از جناب آقای دکتر عباس محمود آبادی مدیر مرکز مدیریت راههای کشور در سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای کشور و همکاران گرامیشان که در زمینه دسترسی به اطلاعات و راهنمایی های مرتبط با مطالعه موردی پایان نامه مراباری کردند، صمیمانه تشکر میکنم.

همچنین از رانندگان محترم خط تهران-مازندران در پایانه شرق تهران و کارکنان خوب پلیس راههای دو محور هر از و فیروزکوه و همه دوستان خوبم که در پیشبرد هر چه بهتر پایان نامه از هیچ گلی دریغ نکردند، قدر دانی می کنم.

## چکیده

امروزه حمل و نقل مواد خطرناک برای تامین نیاز صنایع، اهمیت فوق‌العاده‌ای در توسعه اقتصادی کشورهای جهان دارد. با توجه به خصوصیات ذاتی این مواد، حمل و نقل آنها همواره ممکن است خطراتی را برای انسان‌ها، ساختمان‌ها، اموال مردم و یا محیط زیست و جانوران به همراه داشته باشد. بنابراین مطالعه در زمینه حمل مواد خطرناک و به کارگیری راهکارهای علمی مدیریتی برای کاهش این خطرات امری ضروری می‌باشد. در مقوله حمل و نقل مواد خطرناک، ریسک یک معیار از میزان احتمال وقوع حوادث ناخواسته و میزان وخیم بودن پیامدهای وقوع آن است. در این پژوهش، هدف ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک بر اساس ریسک موجود در آنها می‌باشد. برای این کار ابتدا مسیرهای مورد مطالعه با توجه به شاخص‌های موثر بر ریسک، قطعه‌بندی می‌شوند. پس از آن در قطعات مختلف، احتمال وقوع حوادث مربوط به حمل مواد خطرناک و پیامدهای وقوع آنها کمی می‌شود تا ریسک در قطعات مختلف مسیرها محاسبه گردد. کمی‌سازی احتمال وقوع در هر قطعه با توجه به رویکرد مقایسه‌ای انجام می‌شود و با استفاده از نظرات کارشناسی افراد مجرب، وزن هر قطعه از نظر احتمال وقوع به دست می‌آید. در کمی‌سازی پیامدها با توجه به مشاهدات میدانی و مقایسه قطعات با یکدیگر، وزن قطعات می‌تواند با توجه به سناریوهای مختلف کمی شود. سناریوسازی بر اساس اهمیت پیامدهای مختلف و ترجیحات سازمانی انجام می‌شود. پس از آن ریسک برای قطعات مختلف یک مسیر محاسبه می‌شود و قطعه بحرانی تعیین می‌گردد. با داشتن ریسک در قطعات مختلف یک مسیر، ریسک کلی مسیر نیز قابل محاسبه است. به این ترتیب، در پایان می‌توان ریسک کلی یک مسیر را برای حمل مواد خطرناک با مسیرهای موازی یا جایگزین مقایسه و ارزیابی کرد. رویکرد پیشنهادی این پژوهش در مسیرهای هراز و فیروزکوه به عنوان مطالعه موردی اعمال شد و قطعات بحرانی تعیین گردید. با محاسبه ریسک کلی و واحدسازی شده برای محور هراز و فیروزکوه (به ترتیب ۰/۶۲۲ و ۰/۳۷۸ برای محورهای هراز و فیروزکوه)، سطح خطرپذیری این دو محور برای حمل مواد خطرناک با توجه به نتایج ارزیابی شد.

کلیدواژه: مواد خطرناک، ریسک، ارزیابی مسیر، درخت عیب، درخت واقعه، نظرات کارشناسی



دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست

گروه مهندسی برنامه ریزی حمل و نقل

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-گروه برنامه ریزی حمل و نقل

**ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک بر پایه ریسک – مطالعه موردی مسیرهای**

**تهران-مازندران**

مؤلف

سجاد حسن‌پور

استاد راهنما

دکتر صفارزاده

استاد مشاور

دکتر سیدابریشمی

## فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل ۱- مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- تعریف و دسته‌بندی مواد خطرناک	۲
۳-۱- تعریف مسئله	۴
۴-۱- ضرورت انجام تحقیق	۵
۵-۱- اهداف	۸
۶-۱- فرض‌ها و فرضیه‌ها	۹
۷-۱- رویکرد مطالعه برای دستیابی به اهداف	۹
۸-۱- ساختار پایان‌نامه	۱۰
فصل ۲- مروری بر مطالعات گذشته	۱۱
۱-۲- مقدمه	۱۲
۲-۲- ابعاد مطالعات انجام شده در زمینه مواد خطرناک	۱۲
۳-۲- روش‌های کمی محاسبه ریسک	۱۹
۲-۳-۱- روش ارزیابی ریسک نسبی:	۱۹
۲-۳-۲- روش ارزیابی ریسک با ماتریس تصمیم:	۲۰
۳-۳-۲- مقدار کمی ریسک برای ریسک اجتماعی	۲۲
۴-۳-۲- ابزار ارزیابی کمی ریسک	۲۳
۵-۳-۲- ارزیابی کمی سناریوهای سلسله‌مراتبی (دومینو)	۲۴
۶-۳-۲- مدل پیشگویانه منطقی	۲۵
۴-۲- بررسی مطالعات در مورد ارزیابی مسیر	۲۷
۵-۲- جمع‌بندی فصل	۲۸
فصل ۳- روش‌شناسی	۳۰
۱-۳- مقدمه	۳۱
۲-۳- قطعه‌بندی مسیر	۳۲
۱-۲-۳- لزوم قطعه‌بندی	۳۲
۲-۲-۳- مؤلفه‌های موثر بر ریسک و انتخاب شاخص‌ها برای قطعه‌بندی	۳۳
۳-۲-۳- اجرای قطعه‌بندی	۳۶

۳۷	..... محاسبه ریسک	۳-۳-۳
۳۷	..... درخت عیب	۳-۳-۱
۳۸	..... درخت واقعه	۳-۳-۲
۳۸	..... ترکیب درخت عیب و درخت واقعه	۳-۳-۳
۴۰	..... کمی کردن احتمال وقوع	۳-۴-۱
۴۰	..... مدل سازی و تشکیل درخت مقایسه‌ای	۳-۴-۱
۴۱	..... مقایسات زوجی	۳-۴-۲
۴۲	..... استخراج وزن‌ها از ماتریس‌های تصمیم	۳-۴-۳
۴۴	..... سازگاری در قضاوت‌ها	۳-۴-۴
۴۶	..... کمی کردن پیامدهای وقوع	۳-۵-۱
۴۶	..... مدل سازی ناحیه تاثیر	۳-۵-۱
۴۸	..... هزینه ریسک	۳-۵-۲
۴۹	..... جمع‌بندی و نتیجه‌گیری فصل	۳-۶
۵۲	..... مطالعه موردی	فصل ۴-۱
۵۳	..... مقدمه	۴-۱-۱
۵۳	..... معرفی مطالعه موردی	۴-۲-۱
۵۳	..... دلایل انتخاب	۴-۲-۱
۵۴	..... خصوصیات جاده فیروزکوه	۴-۲-۲
۵۵	..... خصوصیات جاده هراز	۴-۲-۳
۵۶	..... جمع‌آوری ورودی‌های مدل و تحلیل اولیه	۴-۳-۱
۵۷	..... قطعه‌بندی	۴-۳-۱
۵۸	..... ورودی مربوط به احتمال وقوع	۴-۳-۲
۶۱	..... افراد مصاحبه شونده و محل‌های مصاحبه	۴-۳-۳
۶۱	..... ورودی‌های مربوط به پیامدها	۴-۳-۴
۶۲	..... تحلیل اولیه داده‌ها	۴-۳-۵
۶۳	..... محاسبه ریسک	۴-۴-۱
۶۳	..... کمی کردن احتمال وقوع	۴-۴-۱
۶۵	..... کمی کردن پیامدها	۴-۴-۲
۶۹	..... محاسبه ریسک قطعات	۴-۴-۳
۷۱	..... محاسبه ریسک مسیر	۴-۴-۴
۷۶	..... جمع‌بندی و نتیجه‌گیری	۴-۵
۷۹	..... نتیجه‌گیری و پیشنهادات	فصل ۵-۱



۸۰	۱-۵- خلاصه مطالعه.....
۸۱	۲-۵- نتایج و کاربرد آنها.....
۸۲	۳-۵- پیشنهادات مطالعات آینده.....
۸۴	مراجع.....
i	پیوست‌ها.....
ii	۱- پرسشنامه.....
iii	پیوست ۲ (الف)- ماتریس‌های وزن‌های داده شده به قطعات توسط افراد مختلف.....
v	پیوست ۲ (ب)- نمونه‌ای از ماتریس‌های وزن‌های نسبی برای افراد مختلف.....

## فهرست جداول

عنوان	شماره صفحه
جدول ۱-۱: دسته‌بندی مواد خطرناک (ADR 2008).....	۴
جدول ۱-۲: ماتریس محاسبه ریسک در روش ماتریس تصمیم.....	۲۱
جدول ۲-۲: جدول تصمیم‌گیری.....	۲۱
جدول ۳-۲: تعدادی از مطالعات مهم موجود در ادبیات حمل و نقل مواد خطرناک با دسته‌بندی موضوعی.....	۲۹
جدول ۱-۳: شاخص تصادفی.....	۴۵
جدول ۲-۳: ناحیه اثر بر اساس نوع مواد.....	۴۸
جدول ۱-۴: قطعه‌بندی دو محور هراز و فیروزکوه به همراه طول هر قطعه.....	۵۸
جدول ۲-۴: محاسبه نرخ تصادفات ماهانه در دو محور هراز و فیروزکوه.....	۵۹
جدول ۳-۴: وزن قطعات محورهای هراز و فیروزکوه از نظر احتمال وقوع.....	۶۵
جدول ۴-۴: وزن‌های داده شده به شاخص‌های مختلف پیامد در قطعات محور هراز.....	۶۷
جدول ۵-۴: وزن‌های داده شده به شاخص‌های مختلف پیامد در قطعات محور فیروزکوه.....	۶۷
جدول ۶-۴: سناریوهای در نظر گرفته شده در رویکرد مطالعه و وزن‌های شاخص‌های پیامد وقوع.....	۶۸
جدول ۷-۴: وزن قطعات محور هراز از نظر پیامدهای وقوع برای چهار سناریو مورد مطالعه.....	۶۹
جدول ۸-۴: وزن قطعات محور فیروزکوه از نظر پیامدهای وقوع برای چهار سناریو مورد مطالعه.....	۶۹
جدول ۹-۴: ریسک قطعات محور هراز و به تفکیک سناریوهای مختلف برای پیامدها.....	۷۰
جدول ۱۰-۴: ریسک قطعات محور فیروزکوه و به تفکیک سناریوهای مختلف برای پیامدها.....	۷۱
جدول ۱۱-۴: وزن مسیرهای هراز و فیروزکوه با توجه به آمار تاریخی و نظرات کارشناسی.....	۷۳
جدول ۱۲-۴: محاسبه ریسک مسیر با توجه به ریسک قطعه بحرانی در هر مسیر.....	۷۴
جدول ۱۳-۴: ریسک نهایی و واحدسازی شده قطعات محور هراز با توجه به طول.....	۷۵
جدول ۱۴-۴: ریسک نهایی و واحدسازی شده قطعات محور فیروزکوه با توجه به طول.....	۷۶
جدول ۱۵-۴: ریسک نهایی و واحدسازی شده مسیر با توجه ریسک همه قطعات مسیر.....	۷۶

## فهرست اشکال

عنوان	شماره صفحه
شکل ۱-۲: ابعاد مختلف مطالعاتی موجود در ادبیات در زمینه حمل و نقل مواد خطرناک.....	۱۳
شکل ۲-۲: تعامل ابعاد مختلف مطالعات در مورد حمل و نقل مواد خطرناک و جایگاه ارزیابی ریسک در این مقوله.....	۱۵
شکل ۳-۲: فلوچارت ساختار کلی روش «مطالعه خطرات و اجرائی بودن آن».....	۱۸
شکل ۴-۲: مثالی از منحنی F-N و محدودیت‌ها برای ریسک اجتماعی.....	۲۳
شکل ۵-۲: ساختار ابزار کمی‌سازی ریسک در یک مثال.....	۲۴
شکل ۱-۳: مراحل کلی ارزیابی مسیر مبتنی بر ریسک.....	۳۲
شکل ۲-۳: شاخص‌های موثر در ریسک و ارتباط آنها با دو مؤلفه ریسک.....	۳۵
شکل ۳-۳: یک نمونه از ترکیب درخت عیب و اتفاق برای محاسبه ریسک مسیر حمل مواد خطرناک.....	۳۹
شکل ۴-۳: ساختار مدل مقایسه‌ای برای کمی کردن احتمال وقوع.....	۴۱
شکل ۵-۳: اشکال موجود برای ناحیه اثر در اطراف مقطع راه.....	۴۷
شکل ۶-۳: مدل‌سازی ناحیه تاثیر در حاشیه مسیر.....	۴۷
شکل ۷-۳: ساختار مقایسه‌ای برای وزندهی به قطعات مختلف مسیر از نظر پیامدهای وقوع.....	۴۹
شکل ۸-۳: رویکرد ارائه شده در مطالعه در یک نگاه کلی.....	۵۱
شکل ۱-۴: نقشه جاده فیروزکوه و نمایش قطعه‌بندی انجام شده با استفاده از رنگ‌های مختلف.....	۵۴
شکل ۲-۴: پلان نقشه جاده هراز و نمایش قطعه‌بندی انجام شده با رنگ‌های مختلف.....	۵۶
شکل ۳-۴: ساختار کلی روش قطعه‌بندی مسیرهای مورد مطالعه.....	۵۷
شکل ۴-۴: نتایج اولیه از وزندهی به دو محور هراز و فیروزکوه.....	۶۲
شکل ۵-۴: روند کلی کمی‌سازی احتمال وقوع.....	۶۳
شکل ۶-۴: روند کلی کمی‌سازی پیامدهای وقوع.....	۶۶
شکل ۷-۴: ساختار و روند کلی فصل ۴ به همراه ورودیها و خروجی‌های رویکرد.....	۷۸

## فصل ۱- مقدمه

## ۱-۱- مقدمه

ماده خطرناک به ماده‌ای گفته می‌شود که علی‌رغم کاربرد زیاد در صنعت، با توجه به خصوصیات فیزیکی-شیمیایی می‌تواند باعث آسیب به یک عنصر آسیب‌پذیر شود. آسیب‌پذیران شامل انسان‌ها، جانوران، محیط زیست و یا اموال و ساختمان‌ها هستند. امروزه مواد خطرناک در بسیاری از فرایندهای صنعتی در تمام کشورهای دنیا به خصوص کشورهای توسعه‌یافته کاربرد وسیعی دارند. در کشور ما نیز با رشد صنعت، روز به روز نیاز به استفاده از این مواد بیش از پیش احساس می‌گردد. به دلیل طبیعت مواد خطرناک تولید، مصرف، ذخیره و حمل این مواد همواره با ریسک‌هایی هم برای جامعه و هم برای محیط زیست همراه است. برای جلوگیری از تبدیل شدن این ریسک‌ها به آسیب، خسارت یا تلفات راهکارهای مدیریتی وجود دارد که این ریسک‌ها را کاهش می‌دهد و یا از شدت عواقب آن می‌کاهد. هر راهکار مدیریتی دارای پشتوانه علمی است و از رویکردهای مختلفی برای رسیدن به هدف بهره می‌گیرد. از آنجا که جابه‌جایی این مواد از محل تولید به محل مصرف از طریق روش‌های گوناگون حمل و نقلی امری بدیهی است، در فرایند تولید تا مصرف، حفظ ایمنی حمل و نقل در این مقوله بسیار حائز اهمیت است. به همین دلیل مطالعه در زمینه حمل و نقل مواد خطرناک در سطح وسیعی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این مطالعه به ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک بر پایه ریسک به عنوان کلیدی‌ترین مفهومی که حمل و نقل مواد خطرناک را از دیگر بخش‌های حمل و نقل متمایز می‌کند، پرداخته خواهد شد.

## ۱-۲- تعریف و دسته‌بندی مواد خطرناک

بر اساس تعریف سازمان حمل و نقل ایالات متحده امریکا<sup>۱</sup>، یک ماده خطرناک به ماده یا مصالحی گفته می‌شود که قادر است به مردم، اموال یا طبیعت، آسیب یا خسارت وارد کند. همین سازمان این مواد را با توجه به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و هسته‌ای به ۹ دسته طبقه‌بندی کرده است. این طبقه‌بندی در جدول ۱-۱ نمایش داده شده است. با

<sup>1</sup> US Department of Transportation (US DOT)

توجه به تفاوت خصوصیات هر دسته، در آیین‌نامه‌های مختلف مواد خطرناک برای هر یک از دسته‌های مواد خطرناک قوانین و دستورالعمل‌های مخصوص به خود در هر یک از بخش‌های مختلف فرایند تولید تا مصرف بیان شده است.

امروزه به منظور هشدار در خصوص موارد ایمنی از کارتها یا برگه‌هایی موسوم به «برگه‌های اطلاعات ایمنی مواد»<sup>1</sup> استفاده می‌گردد که این امر در گذشته بسیار نزدیک تنها در کشورهای توسعه‌یافته انجام می‌شد. این کارتها را که می‌توان از آنها به عنوان شناسنامه هر ماده یاد کرد، حاوی اطلاعات و نکاتی هستند که دانستن آنها به هنگام بروز سانحه، برای راننده و سایر افراد حاضر در محل ضروری می‌باشد. این اطلاعات شامل مشخصات فیزیکی، شیمیایی، خطرات بالقوه با حریق و نشت، مشخصات بسته‌بندی و غیره هستند که به طور خاص برای هر محموله تالیف می‌شود. وظیفه جمع‌آوری و مرتب‌سازی این اطلاعات معمولاً بر عهده تولیدکنندگان یا فرستندگان کالای خطرناک می‌باشد (رحیمی ۲۰۰۸).

---

<sup>1</sup> Material Safety Data Sheet (MSDS)

جدول ۱-۱: دسته‌بندی مواد خطرناک (ADR ' 2008)

دسته‌بندی	نام دسته‌بندی	مثال برای دسته
ماده خطرناک		
۱	مواد منفجره و آتش‌زا	باروت
۱-۲	گازها قابل اشتعال	پروپان
۲-۲	گازهای غیرقابل اشتعال و غیر سمی	اکسیژن فشرده‌شده
۳-۲	گازهای سمی	کلر
۳	مایعات قابل اشتعال	بنزین
۱-۴	جامدات آتش‌زا	کبریت بی‌خطر
۲-۴	موادی که به خودی خود قابلیت اشتعال دارند	کلسیم سولفوریک
۳-۴	موادی که در مجاورت آب، گاز سمی ساطع می‌کنند	کربنات کلسیم
۱-۵	اکسید کننده‌ها	برموریک پتاسیم
۲-۵	پراکسیدکننده‌های زیستی	متیل کتون پراکسید
۱-۶	مضاح سمی	آفت کش
۲-۶	مواد عفونت‌زا	ویروس آزمایشگاهی
۷	مواد رادیواکتیو	کبالت-۶۰
۸	مواد خورنده	سود سوزآور
۹	سایر کالاها یا مواد خطرناک خطرناک	آسفالت گرم

### ۱-۳- تعریف مسئله

روزانه حجم وسیعی از مواد خطرناک از طریق جاده‌ها به محل مصرف حمل می‌شوند. تصادفات مواد خطرناک می‌تواند آسیب‌های فراوانی به مردم و عارضه‌های در محدوده حادثه وارد کند. وخامت این آسیب‌ها در مناطقی که نیروهای امدادی یا مقابله با حوادث در نزدیکی آنها وجود ندارد بسیار فجیع‌تر خواهد بود. حال به طور کلی اگر بشر قادر به پیش‌بینی حوادث غیر معمول و خطرآفرین قبل از وقوع آنها بود، می‌توانست پیامدها و آسیب‌های آنها را به

<sup>1</sup> European Agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road

حداقل برساند. تصادفات مربوط به مواد خطرناک یکی از حوادث غیر معمول و خطرناک است که اگر محل و زمان وقوع آن پیش‌بینی گردد، می‌توان از وقوع آن جلوگیری کرد و یا عواقب وقوع را به حداقل رساند. پیش‌بینی وقوع حادثه اگرچه هرگز به طور کاملاً دقیق برای انسان میسر نخواهد بود اما امروزه با به کارگیری روش‌های علمی می‌توان تا حدودی به این مطلوب دست یافت.

برای حمل یک ماده خطرناک از یک مبدا به یک مقصد ممکن است مسیرهای مختلف وجود داشته باشد که هر یک از مسیرها دارای خصوصیات جغرافیایی و شرایط خاص خود می‌باشد. برای انتخاب مسیر حمل، فاکتورهای گوناگونی از جمله هزینه، طول، زمان سفر یا غیره می‌تواند نقش داشته باشد. اما عامل بسیار مهمی که به خصوص در حمل مواد خطرناک باید در نظر گرفته شود، پتانسیل وقوع حادثه و به بار آمدن خسارت در آن مسیر است. این تعبیر یک تعریف عملیاتی از مفهوم ریسک در ادبیات حمل و نقل مواد خطرناک است. اگر میزان ریسک در مسیرها در دست باشد تصمیم‌گیری برای انتخاب مسیر ایمن حمل مواد خطرناک ساده‌تر صورت می‌گیرد. دانستن پتانسیل آسیب‌رسانی مسیرها همچنین کمک خواهد کرد تا تخصیص هزینه برای نیروهای امدادی به صورت بهینه‌تر انجام گیرد.

در این مطالعه به دنبال بررسی خصوصیات یک مسیر از لحاظ میزان خطرپذیری و کمی کردن میزان پتانسیل آسیب‌رسانی آن در حمل مواد خطرناک می‌باشد. خروجی مطالعه، برای یک مسیر حمل مواد خطرناک فارغ از طول یا هزینه حمل، عددی را به عنوان ریسک در نقاط مختلف یک مسیر می‌باشد که نشان دهنده سطح مناسب بودن آن مسیر از نظر ایمنی می‌باشد. این خروجی علاوه بر اینکه خود یک معیار مناسب برای توضیح سطح ایمنی مسیر می‌باشد، می‌تواند پس از وزن‌گیری‌های سازمانی، مستقیماً در تصمیمات انتخاب مسیر به کار گرفته شود.

## ۱-۴- ضرورت انجام تحقیق

کاربرد مواد خطرناک به عنوان مواد اولیه در صنایع مختلف کشورها امری غیرقابل انکار می‌باشد. در اکثر موارد منابع مواد خطرناک یا محل تولید آنها دور از محل‌های مصرف آنها است. مثلاً نفت از مناطق نفت‌خیز استخراج شده و



به پالایشگاه حمل می‌شود. سپس بسیاری از محصولات نفتی مانند گازوئیل پس از تولید در پالایشگاه، بوسیله تانکرهای ذخیره، به محل مصرف که حتی ممکن است در کشور دیگری باشد، انتقال داده می‌شود.

با بررسی‌ها و نگاهی به آمارهای تاریخی می‌توان دریافت علی‌رغم اینکه تعداد تصادف مربوط به حمل مواد خطرناک از دیگر بخش‌ها کمتر است، میزان خسارت‌ها و آسیب‌های این حوادث بسیار قابل توجه و گاه فاجعه‌آمیز است. طبق آمار انتشار یافته توسط «اداره فدرال حفظ ایمنی وسایل نقلیه موتوری<sup>۱</sup>» در سال ۲۰۰۵ تصادفات غیر مرتبط با مواد خطرناک سالانه ۱۲۶,۸۸۰ می‌باشد ولی برای تصادفاتی که شامل مواد خطرناک است این رقم ۱۵۰۰۰ در سال است. این آمار نشان دهنده میزان بسیار کم تصادفات مربوط به مواد خطرناک نسبت به دیگر بخش‌های حمل و نقلی است اما نکته مهم این است که تصادفات حمل و نقل مواد خطرناک، به عنوان حوادث با «احتمال کم ولی عواقب زیاد»<sup>۲</sup> خوانده می‌شود. مثال‌های بسیار زیادی از این فجایع در دنیا وجود داشته است. از جمله آنها انفجار تانکر حمل پروپان در ۱۱ ژوئیه ۱۹۷۸ که از کنار محل تجمع مردمی در اسپانیا که باعث کشته شدن حدود ۲۰۰ نفر و زخمی شدن ۱۲۰ نفر گردید، نشت کلر در سال ۱۹۷۹ در انتاریو<sup>۳</sup> که باعث تخلیه بیش از ۲۰۰۰۰۰ نفر از منطقه شد، انفجار تانکر حمل سوخت (بنزین) در سال ۱۹۸۲ در افغانستان که باعث کشته شدن ۲۷۰۰ نفر شد، در سال ۲۰۰۳ از خط خارج شدن ۲۲ واگن حمل مواد خطرناک در «تاموراو»<sup>۴</sup> باعث رها سازی مواد از ۷ واگن گردید که منجر به تخلیه هزاران نفر از مردم منطقه تا شعاع ۳ مایلی و بسته شدن بزرگراه شریانی منطقه شد. در کشور ما نیز نمونه‌هایی از این حوادث وجود دارد. واژگونی تانکر سوخت ۳۳ هزار لیتری بنزین در شهر زیبای تهران در تاریخ ۲۹ اسفند ۱۳۸۵ اشاره کرد که منجر به جاری شدن مقدار زیادی بنزین در خیابان‌های مجاور و ایجاد خطر برای مردم منطقه گردید. برخورد دو دستگاه تریلی حامل بنزین و چند دستگاه اتوبوس در محور بم‌زاهدان که حدود ۱۰۰ کشته و ۱۰۷ نفر زخمی بر جای گذاشت. سقوط تانکر مواد شیمیایی به دریاچه سنندج و فاجعه قطار حمل مواد خطرناک در نیشابور در سال ۱۳۸۲ در نزدیکی ایستگاه خیام، با ۲۹۵ کشته و ۴۶۰ زخمی، نمونه‌های بارز از این نوع حوادث است.

<sup>1</sup> Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA)

<sup>2</sup> Low Probability High Consequences (LPHC)

<sup>3</sup> Ontario

<sup>4</sup> Tamorao

نکته دیگری که باید به آن اشاره کرد ماهیت حوادث مربوط به مواد خطرناک است. مفهوم «فزونسازی اجتماعی ریسک»<sup>۱</sup> در حمل و نقل مواد خطرناک بسیار تاثیرگذار است و برخورد با ریسک این بخش از حمل و نقل را پیچیده تر می‌سازد. این مفهوم بیان می‌کند برای محاسبه ریسک یک حادثه نه و تنها شدت و بزرگی کمی آن حادثه، بلکه درک ذهنی<sup>۲</sup> مردم باید در نظر گرفته شود (Kasperson et al. 1988). البته محاسبه ریسک با در نظر گرفتن درک ذهنی مردم موضوع این مطالعه نیست، اما این مقوله خود اهمیت مطالعه در زمینه ریسک حمل و نقل مواد خطرناک را نشان می‌دهد.

حمل و نقل مواد خطرناک را با توجه به شیوه‌های حمل و نقلی می‌توان به ۵ دسته طبقه‌بندی نمود: جاده‌ای، ریلی، آبی، هوایی، لوله‌ای. در برخی موارد برای حمل یک ماده از مبدا به مقصد ممکن است از چند شیوه حمل و نقلی استفاده شود (از یک وسیله به وسیله دیگر تغییر وسیله دهند). آمار نشان می‌دهد سهم حمل و نقل جاده‌ای در حوادث مواد خطرناک از شیوه‌های دیگر بیشتر است. حدود ۹۰ درصد تصادفات مواد خطرناک در اتوبان‌ها اتفاق افتاده است که این امر اهمیت این شیوه حمل و نقلی را نسبت به شیوه‌های دیگر نشان می‌دهد. تمرکز این مطالعه نیز بر روی حمل و نقل جاده‌ای مواد خطرناک می‌باشد. (Us dot, 2012)

نتایجی که از مطالعات گذشته در قرن ۲۰ در مقوله آمار تصادفات صورت گرفت، نشان داده است که تعداد تصادفات در طول زمان در حال افزایش است. بیش از نیمی از تصادفات در جاده‌ها (۶۳ درصد) صورت می‌گیرد. اکثر تصادفات مربوط به رهاسازی مواد خطرناک (۷۳ درصد) که در پی آن آتشسوزی (۲۸ درصد)، انفجار (۱۴ درصد) و ابرهای گازی (۶ درصد) خواهد بود. همچنین در این مطالعه دلایل مختلف حوادث، نوع ماده‌ای که در تصادفات بوده و عواقب حوادث برای مردم (تعداد افرادی که کشته، زخمی یا از محل تخلیه شدند) نیز بررسی شده است (Jie Yanga B. et al. 2010).

---

<sup>1</sup> Social Amplification of Risk

<sup>2</sup> Subjective Perception

## ۱-۵- اهداف

به طور کلی اهداف این مطالعه را می‌توان در سه بند، به شرح زیر بیان نمود:

۱- شناسایی شاخص‌ها و عواملی که در ریسک یک مسیر برای حمل مواد خطرناک موثر است و ارائه یک رویکرد ساختاریافته برای به دست آوردن ریسک به کارگیری آن برای ارزیابی مسیرها. مدل مورد نظر باید علاوه بر اینکه به خوبی سطح خطرپذیری یک مسیر را مشخص کند، قابلیت اجرایی داشته و بتوان آن را به سادگی برای مسیرهای حمل مواد خطرناک به کار برد. از آنجا که داده‌ها و اطلاعات تاریخی در زمینه حوادث مربوط به مواد خطرناک، بسیار نادر و نامناسب است، پیش‌بینی وقوع این حوادث تنها با استفاده از داده‌های تاریخی، ممکن است با مشکل مواجه شود. لذا رویکرد ارائه شده باید قادر به بکارگیری از نظرات کارشناسان و قضاوت مهندسی باشد.

۲- به کارگیری رویکرد ارائه شده در یک نمونه مطالعه موردی داخل کشور (مسیرهای تهران-مازندران) برای نمایش عملی فرایند ارزیابی مسیر مبتنی بر ریسک. پس از توضیح کامل رویکرد، در مطالعه موردی تلاش می‌گردد تا موارد زیر صورت گیرد: (۱) اعمال مرحله به مرحله مدل ارائه شده در مسیر واقعی. (۲) به کارگیری نظرات کارشناسان محلی در روند محاسبه ریسک (۳) محاسبه ریسک برای مسیرهای مورد نظر با استفاده از ترکیب داده‌ها و اطلاعات تاریخی با نظرات کارشناسان (۴) دستیابی به ریسک قطعات مختلف مسیر و ریسک کل مسیر به عنوان خروجی رویکرد

۳- مشخص نمودن قطعه بحرانی مسیرها با توجه به میزان شاخص ریسک در هر مسیر

۴- محاسبه شاخص ریسک کلی مسیرها و مقایسه مسیرهای موازی یا جایگزین با هم از نظر میزان ریسک برای حمل

مواد خطرناک

## ۶-۱- فرض‌ها و فرضیه‌ها

فرض‌های انجام شده شامل موارد زیر است:

- ۱) در کمی کردن احتمال وقوع، شاخص‌های بسیار زیادی ممکن است تاثیرگذار باشد که در نظر گرفتن همه آنها در این پژوهش ممکن نبود. بنابراین از شاخص‌های احتمال وقوع، فراوانی حوادث پیشین در مسیر و خصوصیات فیزیکی مسیرها در نظر گرفته شده است.
- ۲) در محاسبه ریسک مسیرها از آنجا که در نظر گرفتن همه پیامدها و کمی کردن آنها بسیار دشوار است، در این پژوهش سه پیامد وقوع حوادث مواد خطرناک در نظر گرفته شده است. فرض می‌گردد پیامدهای وقوع حوادث شامل تلفات جانی، خسارت به ساختمان‌های اداری-اقتصادی-اجتماعی و تلفات مربوط به محیط زیست و منابع طبیعی می‌باشد.
- ۳) در محاسبه پیامدهای وقوع حوادث مواد خطرناک نوع ماده خطرناک، مواد سوختی و مایعات قابل اشتعال در نظر گرفته شده است.

فرضیه‌های این پژوهش شامل موارد زیر است:

- ۱) با قطعه‌بندی یک مسیر و استفاده از رویکرد مقایسه‌ای و وزن‌دهی با استفاده از رویکرد مقایسه‌ای در قطعات مختلف، می‌توان ریسک را برای هر قطعه از یک مسیر محاسبه نمود.
- ۲) کمی کردن احتمال وقوع حوادث به عنوان یکی از مولفه‌های اصلی ریسک در مسیرها می‌تواند با استفاده از نظرات کارشناسی افراد آشنا به مسیر صورت گیرد.
- ۳) ریسک کلی یک مسیر با توجه به ریسک قطعات مختلف آن و با استفاده از ترکیب نظرات کارشناسی و آمارهای تاریخی قابل محاسبه است.

## ۷-۱- رویکرد مطالعه برای دستیابی به اهداف

ارزیابی یک مسیر مبتنی بر ریسک، مستلزم شناخت کامل پتانسیل‌های خطر در طول جابجایی مواد از آن مسیر، و محاسبات ریسک با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف بریا پیامدهای مختلف وقوع می‌باشد. رویکردی که در این مطالعه