Governmental Accounting

Payame Noor University

doi: 10.30473/GAA.2025.73392.1783
Vol. 12, No. 2 (Series 22), 2025 (89-104)
RESEARCH PAPER

Developing a Framework for Modeling and Categorizing Financial Indicators in Risk Management of Hazardous Materials Transportation

Hasti Jafari*[1], Mohammadreza Mehregan[2], Hossein Safari[3]

High lights

- A comprehensive framework to classify financial indicators in HazMat transport risk management.
- Four main domains: risk assessment, routing, location planning, and network design.
- Identification of core financial tools: cost–benefit analysis, and safety budgeting.
- Emphasis on integrating financial models with real-world data and multi-objective optimization.
- Practical recommendations for policymakers and industry stakeholders.

1. Ph.D. Student, Department of Operations Management and Decision Sciences, Faculty of Management, Tehran University, Tehran, Iran. Visiting Researcher, Kedge Business School, Bordeaux, France.
2. Professor, Department of Operations Management and Decision Sciences, Faculty of Management, Tehran University, Tehran, Iran. (mehregan@ut.ac.ir).
3. Professor, Department of Technology and Innovation Management, Faculty of Management, Tehran University, Tehran, Iran. (hsafari@ut.ac.ir).

Corresponding Author:
Hasti Jafari
Email: Jafari.ha@ut.acir

Received: 2025/01/17
Accepted: 2025/07/07

How to Cite:
Jafari, H; Mehregan, M; Safari, H; (2025). Developing a Framework for Modeling and Categorizing Financial Indicators in Risk Management of Hazardous Materials Transportation, *Governmental Accounting*, 12 (22), 89-104.

ABSTRACT

Objective and Purpose: With the expansion of industry and the increasing demand for transporting hazardous materials, risk management in this field has become significantly important—not only from a safety perspective but also from financial and economic viewpoints. The costs associated with transporting these materials include insurance, damages resulting from accidents, legal penalties, and indirect environmental expenses. The objective of this study is to examine and categorize financial techniques used in risk management modeling for the transportation of hazardous materials, with a particular focus on rail transport.

Research Methodology: This study adopts a review-analytical approach, examining the relevant literature and classifying various studies into four main areas: risk assessment, routing, location planning, and network design. Additionally, in the methodology section, the financial models used in risk management are analyzed and categorized based on previous research.

Findings: The literature review indicates that utilizing financial models such as Value at Risk (VaR), cost-effectiveness analysis, and optimal budgeting can effectively contribute to reducing both direct and indirect costs associated with the transportation of hazardous materials. Moreover, the use of real-world data in financial analyses facilitates improved decision-making in resource allocation for risk reduction.

Conclusion, Originality, and Contribution: The findings of this study offer a comprehensive framework for better understanding the financial challenges in hazardous materials transportation risk management. Moreover, the application of financial models alongside risk optimization methods can lead to more efficient decision-making aimed at reducing costs and enhancing safety. The results of this research can be practical and valuable for policymakers, financial managers in the transportation industry, and scholars in the field of risk management.

Keywords: Financial Risk Management, Cost-Benefit Analysis, Hazardous Materials Transportation, Insurance Cost, Budgeting.

JEL Classification: M42.

Copyright © 2025 The Authors. Published by Payame Noor University.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited; and does not alter or modify the article.

INTRODUCTION

The transportation of hazardous materials (HazMat) poses a dual challenge: ensuring safety while managing financial implications. Beyond the obvious risks to human life and the environment, HazMat transport also involves substantial financial risks including insurance costs, accident compensation, regulatory penalties, and indirect environmental damages. Given the increasing reliance on rail transport for HazMat due to its safety and cost-effectiveness, this study proposes a comprehensive framework for modeling and categorizing financial indicators in risk management.

OBJECTIVE AND RESEARCH QUESTIONS

This study aims to build a structured framework for integrating financial indicators into HazMat transport risk management. The research addresses three key questions:

1. Which financial indicators are most relevant for HazMat transport risk management?
2. How can these indicators be categorized to support structured decision-making?
3. Which financial tools are most effective in reducing costs while enhancing safety?

METHODOLOTY

A systematic review and analytical approach were applied. Studies were selected based on scientific rigor, financial relevance, and practical applicability. Extracted financial indicators were categorized into four main domains: (i) financial risk assessment, (ii) cost–benefit analysis, (iii) insurance and liability management, and (iv) safety budgeting. The methodology included comparative analysis of case studies and models applied in both national and international contexts.

FINDINGS

The findings reveal that financial models significantly enhance the efficiency of risk management:

- *Financial Risk Assessment:* Tools such as Value at Risk (VaR) enable estimation of maximum expected losses, improving preparedness for extreme events.
- *Cost–Benefit Analysis:* Preventive investments yield higher returns by minimizing potential losses from accidents and environmental damage.
- *Insurance and Liability Management:* Effective insurance modeling reduces premiums through proactive safety measures while clarifying liability distribution.
- *Safety Budgeting:* Resource allocation models optimize investments in safety interventions, leading to substantial cost savings.

DISCUSSION

The integration of financial indicators with traditional safety approaches bridges the gap between economic and risk considerations. Unlike conventional models focused solely on accident prevention, financial tools introduce transparency in evaluating trade-offs between safety expenditures and risk exposure. Moreover, incorporating real-world data such as accident statistics and insurance claims enhances the accuracy of risk modeling. Multi-objective optimization, particularly Pareto analysis, strengthens decision support by balancing cost reduction with safety maximization.

CONCLUSIN AND CONTRIBUTION

This research provides a structured framework that connects financial and safety aspects of HazMat transport. Its key contributions include:

1. A comprehensive classification of financial indicators relevant to HazMat risk management.
2. Evidence of the practical value of financial tools (e.g., VaR, cost–benefit analysis, safety budgeting) in improving both safety and economic outcomes.
3. Strategic insights for policymakers, transportation managers, and insurers to optimize resource allocation and enhance resilience.

By combining financial models with safety-focused approaches, the study introduces an innovative pathway toward sustainable HazMat transport risk management.

دوفصلنامه علمی
حسابداری دولتی

سال دوازدهم، شماره ۲ (پیاپی ۲۲)، بهار و تابستان ۱۴۰۴ (۱۰۴-۸۹)
doi: 10.30473/GAA.2025.73392.1783

«مقاله پژوهشی»

توسعه چارچوبی برای مدل‌سازی و طبقه‌بندی شاخص‌های مالی در مدیریت ریسک حمل‌ونقل کالاهای خطرناک

هستی جعفری*[۱]، محمدرضا مهرگان[۲]، حسین صفری[۳]

نکات برجسته

- ارائه یک چارچوب جامع طبقه‌بندی شاخص‌های مالی در مدیریت ریسک حمل کالای خطرناک.
- دسته‌بندی چهار حوزه اصلی: ارزیابی ریسک، مسیریابی، مکان‌یابی و طراحی شبکه.
- معرفی تکنیک‌های مالی کلیدی، تحلیل هزینه–فایده، بودجه‌بندی ایمنی.
- تأکید بر تلفیق مدل‌های مالی با داده‌های واقعی و روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه.
- ارائه پیشنهادهای عملی برای سیاست‌گذاران و مدیران صنعتی.

چکیده

موضوع و هدف مقاله: با گسترش صنعت و افزایش نیاز به حمل کالاهای خطرناک، مدیریت ریسک در این حوزه نه‌تنها از منظر ایمنی، بلکه از جنبه‌های مالی و اقتصادی نیز اهمیت بسزایی یافته است. هزینه‌های مرتبط با حمل‌ونقل این کالاها شامل بیمه، خسارات ناشی از حوادث، جریمه‌های قانونی و هزینه‌های غیرمستقیم زیست‌محیطی می‌شود. هدف این پژوهش، بررسی و دسته‌بندی تکنیک‌های مالی در مدل‌سازی مدیریت ریسک حمل‌ونقل کالاهای خطرناک، با تمرکز بر حمل‌ونقل ریلی است.

روش پژوهش: این پژوهش با رویکرد مروری–تحلیلی، ادبیات مرتبط را مورد بررسی قرار داده و مطالعات مختلف را در چهار حوزه اصلی شامل ارزیابی ریسک، مسیریابی، مکان‌یابی و طراحی شبکه طبقه‌بندی کرده است. همچنین در بخش روش‌شناسی، مدل‌های مالی به‌کاررفته در مدیریت ریسک بر اساس پژوهش‌های پیشین تحلیل و دسته‌بندی شده‌اند.

یافته‌های پژوهش: مرور مطالعات نشان می‌دهد که بهره‌گیری از مدل‌های مالی مانند ارزش در معرض ریسک[۱]، تحلیل هزینه–اثربخشی و بودجه‌بندی بهینه می‌تواند در کاهش هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم مرتبط با حمل کالاهای خطرناک مؤثر باشد. افزون بر این، استفاده از داده‌های واقعی در تحلیل‌های مالی، امکان بهبود تصمیم‌گیری در تخصیص منابع برای کاهش ریسک را فراهم می‌کند.

نتیجه‌گیری، اصالت و افزوده آن به دانش: یافته‌های این پژوهش، چارچوب جامعی برای درک بهتر چالش‌های مالی در مدیریت ریسک حمل‌ونقل کالاهای خطرناک ارائه می‌دهد. همچنین، به‌کارگیری مدل‌های مالی در کنار روش‌های بهینه‌سازی ریسک، می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های کارآمدتر در جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش ایمنی منجر شود. نتایج این مطالعه برای سیاست‌گذاران، مدیران مالی در صنعت حمل‌ونقل و پژوهشگران حوزه مدیریت ریسک می‌تواند کاربردی و ارزشمند باشد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت ریسک مالی، تحلیل هزینه–فایده، حمل و نقل کالای خطرناک، هزینه بیمه، بودجه‌بندی.

طبقه‌بندی موضوعی: M42.

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت عملیات و علوم تصمیم، دانشکدگان مدیت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. دانشجوی فرصت مطالعاتی، مدرسه کسب و کار کج، بوردو، فرانسه. (نویسنده مسئول).
۲. استاد، گروه مدیریت عملیات و علوم تصمیم، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (mehregan@ut.ac.ir)
۳. استاد، مدیریت تکنولوژی و نوآوری، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (hsafari@ut.ac.ir).

نویسنده مسئول:
هستی جعفری
رایانامه:
Jafari.ha@ut.acir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶

استناد به مقاله:
جعفری، هستی؛ مهرگان، محمدرضا؛ صفری، حسین، (۱۴۰۴)، توسعه چارچوبی برای مدل‌سازی و طبقه‌بندی شاخص‌های مالی در مدیریت ریسک حمل‌ونقل کالاهای خطرناک، *حسابداری دولتی*، ۱۲ (۲۲)، ۱۰۴-۸۹.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۴ ©. ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.
این مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و عدم تغییر یا تعدیل مقاله مجاز است.
Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

مقدمه

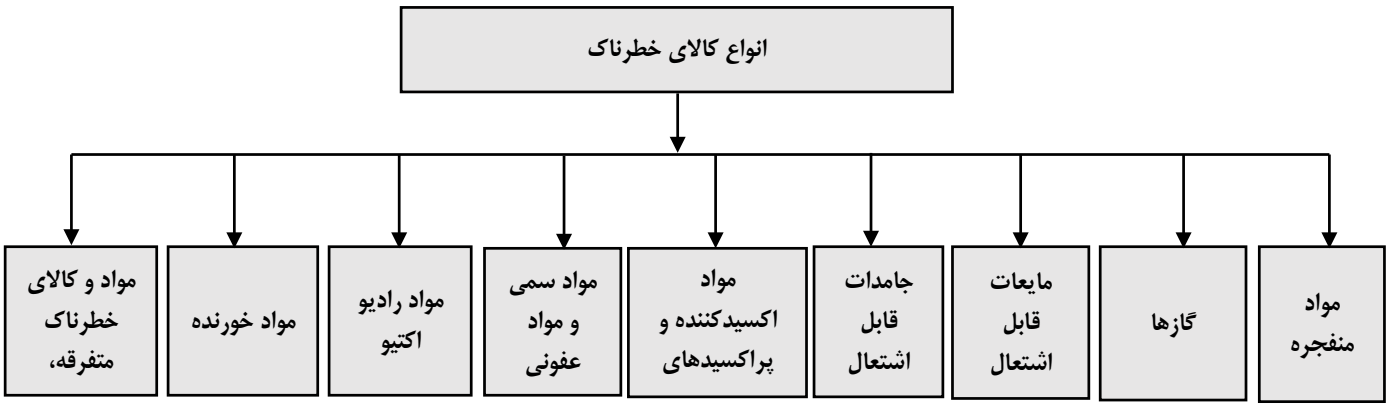
حمل و نقل کالای خطرناک یکی از موضوعات مهم و پیچیده در حوزه مدیریت ریسک است که اهمیت آن با افزایش تولیدات صنعتی و نیاز به جابجایی این نوع کالاها بیشتر شده است. علاوه بر مسائل ایمنی، یکی از چالش‌های اصلی در این حوزه، هزینه‌های مالی مرتبط با حوادث احتمالی، بیمه و اقدامات پیشگیرانه است. سازمان‌ها و دولت‌ها نیاز دارند تا منابع مالی خود را به گونه‌ای مدیریت کنند که هم ایمنی را افزایش دهند و هم هزینه‌های اقتصادی را کنترل کنند. در این مقاله، با تمرکز بر حمل‌ونقل ریلی، به بررسی چارچوب‌های مالی مدیریت ریسک در حمل کالای خطرناک پرداخته خواهد شد. اگرچه مطالعات متعددی در زمینه حمل‌ونقل مواد خطرناک به بررسی ابعاد فنی، ایمنی و زیست‌محیطی پرداخته‌اند، اما پژوهش حاضر با تمرکز ویژه بر مدیریت مالی ریسک و طبقه‌بندی ساختاری ابزارهای مالی مؤثر در کاهش هزینه‌ها و افزایش ایمنی، رویکردی نوآورانه ارائه می‌دهد. در این پژوهش، چارچوبی تحلیلی برای دسته‌بندی تکنیک‌های مالی، همچون بودجه‌بندی بهینه، تحلیل هزینه–فایده و ارزش در معرض ریسک، در بستر حمل‌ونقل ریلی مواد خطرناک پیشنهاد شده است. تلفیق این مدل‌ها با دیدگاه چندمعیاره و رویکرد داده‌محور، به‌ویژه با تأکید بر کاربرد عملی در تصمیم‌گیری‌های سیاستی، وجه تمایز این مطالعه نسبت به تحقیقات پیشین به‌شمار می‌رود. در این مقاله ابتدا تعاریف و مفاهیم اساسی مرتبط با هزینه‌های مالی در مدیریت ریسک بررسی می‌شود. سپس، مدل‌های اقتصادی، تکنیک‌های بهینه‌سازی مالی و روش‌های تحلیل هزینه–فایده مورد استفاده در مدیریت این ریسک‌ها معرفی می‌شوند. در نهایت، نتایج و یافته‌های کلیدی از مطالعات مختلف ارائه شده و راهکارهایی برای بهبود مدیریت مالی در این حوزه پیشنهاد خواهد شد.

مبانی نظری

از دیدگاه سیستمی، راه‌آهن سامانه‌ای است که ورودی‌هایی مانند پول، اطلاعات، تجهیزات و نیروی انسانی را دریافت کرده و خدمات بار و مسافر را به‌عنوان خروجی تحویل می‌دهد. رسالت اصلی راه‌آهن، حمل بار و مسافر است که به‌عنوان یکی از ایمن‌ترین و اقتصادی‌ترین شیوه‌های حمل و نقل شناخته می‌شود.

کالای خطرناک به موادی اطلاق می‌شود که در صورت جابجایی نادرست ممکن است باعث انفجار، آتش‌سوزی، آسیب به تجهیزات، مرگ، آسیب یا بیماری انسان و حیوان شوند و خطرات جدی برای سلامتی افراد، اموال و محیط زیست ایجاد کنند. این مواد شامل موادی مانند مواد منفجره، گازها، مایعات و جامدات قابل اشتعال، مواد سمی، مواد رادیواکتیو و مواد خورنده هستند.

کالاهای خطرناک را بر اساس نوع خطرشان به ۹ کلاس تقسیم می‌شوند که در شکل ۱ نشان داده شده است (محمنی و خدادایان،۱۳۸۷). برخی موارد این کلاس ها به بخش‌های جزیی‌تری هم تقسیم می‌شوند تا خطر خاصی را در درون یک کلاس نشان دهند.



شکل۱. دسته‌بندی انواع کالای خطرناک

پیشینه پژوهش

مطالعات خارجی

به طور کلی مطالعات انجام شده بروی حمل کالاهای خطرناک را می‌توان در دسته های زیر طبقه‌بندی کرد:

- ارزیابی ریسک
- مسیریابی
- ترکیب مکان یابی تسهیلات و مسیریابی
- برنامه‌ریزی و طراحی شبکه

ارزیابی ریسک

در حمل کالای خطرناک، ارزیابی ریسک یکی از گام‌های کلیدی در مدیریت حمل‌ونقل این نوع کالاها است. این موضوع در پژوهش‌های داخلی نیز مورد توجه قرار گرفته است. به‌طور مثال، (محمنی و خدادادیان،۱۳۸۷) مدلی برای مسیریابی ایمن مواد خطرناک با هدف کاهش ریسک در شبکه‌های جاده‌ای ایران ارائه کرده‌اند که می‌تواند به‌صورت مفهومی در مدل‌سازی شبکه ریلی نیز توسعه یابد. این فرآیند شامل شناسایی سناریوهای حوادث احتمالی، تحلیل احتمال وقوع آن‌ها و ارزیابی عواقب ناشی از وقوع حوادث است. حوادثی مانند انفجار، نشتی مواد خطرناک و آتش‌سوزی می‌توانند تأثیرات جدی بر انسان، محیط زیست و زیرساخت‌ها داشته باشند.

ارزیابی ریسک به دو دسته کمی و کیفی تقسیم می‌شود. ارزیابی های کیفی شامل شناسایی سناریوهای حوادث احتمالی و تلاش در جهت تعیین عواقب نامطلوب است. هدف اصلی در رویکرد کیفی ارزیابی ریسک، تعیین حوادث با احتمال وقوع بالاتر و یا شناسایی حوادث با عواقب شدیدتر است که بتوان آنها را به درستی تحلیل کرد.

از سوی دیگر، رویکرد کمی از ابزارهای آماری و مدل‌سازی ریاضی برای تحلیل دقیق‌تر استفاده می‌کند. ارزیابی‌های کمی ریسک شامل گام‌های کلیدی زیر است:

۱. شناسایی خطر و گیرنده های در معرض آن
۲. تحلیل تکرار
۳. مدلسازی عواقب و محاسبات ریسک

به عنوان مثال، (ورما و ورتر، ۲۰۰۷) روش‌های پیشرفته‌ای برای محاسبه احتمال و عواقب ناشی از حوادث در حمل ریلی مواد خطرناک ارائه داده‌اند. مطالعه‌ای به منظور طبقه‌بندی و مقایسه روش شناسی تحلیل و ارزیابی ریسک توسط (مارهاویلاس و همکاران، ۲۰۱۱) انجام شد. آنها ریسک را به صورت کمی محاسبه کردند که با استفاده از روابط ریاضی و داده های مربوط به تصادفات واقعی بیان کردند.

رویکردهای کیفی و کمی: ارزیابی ریسک می‌تواند به صورت کیفی یا کمی انجام شود. در رویکرد کیفی، تمرکز بر شناسایی خطرات و اولویت‌بندی آن‌ها است. از سوی دیگر، رویکرد کمی از ابزارهای آماری و مدل‌سازی ریاضی برای تحلیل دقیق‌تر استفاده می‌کند.

(ارکوت و همکاران، ۲۰۰۷) بیان کردند که پژوهش‌ها در موضوع ارزیابی ریسک به طور عمده بر اهدافی چون: ۱) تلفات انسانی ۲) جراحات و ۳) خسارت مالی تمرکز دارد و مواردی چون اثرات زیست محیطی دیده نشده است. با توجه به آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های امروزی و پتانسیل انتشار مواد خطرناک به محیط زیست، مهم است که بتوان اثرات زیست محیطی را در ملاحظات مربوط به ارزیابی ریسک بررسی کرد. تعدادی از مطالعات در این خصوص به منظور رفع این خلا انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات (بریتو و د آلمیدا، ۲۰۰۹؛ محمنی و خدادادیان، ۲۰۰۸) اشاره کرد.

مسیریابی

جزو مسائل برنامه‌ریزی کوتاه مدت است. مساله مسیریابی حمل کالای خطرناک شامل انتخاب مسیرهای جایگزین از بین گزینه‌های مختلف بین جفت مبدا و مقصد است. یکی از چالش‌های اصلی در حمل کالای خطرناک، انتخاب مسیرهای بهینه برای کاهش ریسک و هزینه است. مدل‌های سنتی از الگوریتم‌هایی مانند کوتاه‌ترین مسیر استفاده می‌کنند، اما مدل‌های پیشرفته‌تر، ریسک و تأثیر بر جمعیت‌های اطراف مسیر را نیز در نظر می‌گیرند. هدف مساله مسیریابی، یافتن یک یا چند مسیر جهت حمل کالای خطرناک با اهداف حداقل کردن هزینه یا ریسک است. به طورکلی مطالعات انجام شده در این حوزه را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: مسیریابی محلی و کلی.

در مسیریابی محلی، مدیریت ریسک تنها به یک مبدا و مقصد خاص محدود می‌شود. این روش معمولاً در مواردی کاربرد دارد که تمرکز بر ایمنی در یک مسیر مشخص باشد. در مسیریابی کلی، هدف بهینه‌سازی کل شبکه حمل‌ونقل است. این رویکرد به بررسی تعاملات بین چندین مبدا و مقصد می‌پردازد و تلاش می‌کند ریسک کل شبکه را کاهش دهد. مدل‌های مسیریابی کلی معمولاً پیچیده‌تر هستند و نیازمند داده‌های گسترده‌تری از شبکه حمل‌ونقل و تحلیل جامع‌تر هستند. مدل‌های جدید افزون بر کاهش هزینه‌ها، بهینه‌سازی ریسک جمعیت در معرض، کاهش زمان سفر و رعایت محدودیت‌های زیست‌محیطی را هدف قرار داده‌اند (فانگ و همکاران، ۲۰۱۷). این رویکردها معمولاً شامل استفاده از

الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک یا بهینه‌سازی ازدحام ذرات هستند.

(محمنی و خدادایان، ۱۳۸۷) روشی برای کاهش ریسک در مسیریابی مواد خطرناک در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای ایران ارائه کردند که با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف، ریسک را به حداقل می‌رساند.

نخستین بار مساله مسیریابی توسط دانتزینگ و رمز (۱۹۵۹) با انجام یک مطالعه موردی در دنیای واقعی برای تحویل بنزین به پمپ بنزین‌ها انجام شد. در این مطالعه مدل برنامه‌ریزی ریاضی و الگوریتمی برای این مساله برای نخستین بار ارائه شد. کلارک و رایت، ۱۹۶۴، رویکرد هیوریستیک حریصانه ارائه کردند و رویکرد دنت و رامسر را بهبود بخشیدند. در دهه‌های بعد، هزاران مدل و الگوریتم برای راه حل های بهینه و تقریبی برای مسئله مسیریابی وسایل ارائه شد (توت و ویگو، ۲۰۰۲). یکی از چالش‌های اصلی در حمل کالای خطرناک، انتخاب مسیرهای بهینه برای کاهش ریسک و هزینه است. مدل‌های سنتی از الگوریتم‌هایی مانند کوتاه‌ترین مسیر استفاده می‌کنند، اما مدل‌های پیشرفته‌تر، ریسک و تأثیر بر جمعیت‌های اطراف مسیر را نیز در نظر می‌گیرند. مدل‌های جدید افزون بر کاهش هزینه‌ها، بهینه‌سازی ریسک جمعیت در معرض، کاهش زمان سفر و رعایت محدودیت‌های زیست‌محیطی را هدف قرار داده‌اند (فانگ و همکاران، ۲۰۱۷). این رویکردها معمولاً شامل استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک یا بهینه‌سازی ازدحام ذرات هستند.

مکان‌یابی و مسیریابی ترکیبی

به‌طور همزمان به تعیین بهترین مکان‌های تأسیسات (مانند پایانه‌ها یا مراکز توزیع) و مسیرهای ایمن و کارآمد برای حمل این کالاها و مبادی حمل مواد خطرناک می پردازد تا هزینه‌ها کاهش یابد و ریسک‌های زیست‌محیطی و انسانی به حداقل برسد. تصمیم‌گیری در مورد مکان این تجهیزات اثر چشمگیری بر مسیر حمل کالای خطرناک دارد. در نتیجه، یکپارچگی میان مکان تسهیلات و مسیریابی رویکردی کارا در جهت کاهش ریسک کلی در نواحی حمل مواد خطرناک است. نکته دارای اهمیت این است که مکان(یابی یک تصمیم استراتژیک است در حالی‌که مساله مسیریابی تصمیم‌گیری در سطح تاکتیکی و جزو مطالعات برنامه‌ریزی میان مدت و کوتاه مدت است. مساله مکان یابی– مسیریابی شامل تعیین تعداد بهینه، ظرفیت، محل تأسیسات و نیز تعیین مجموعه بهینه مرتبط با مسیر و برنامه‌های حمل در جهت خدمت به مشتریان استفاده است. مکان‌یابی و مسیریابی ترکیبی در حمل‌ونقل مواد خطرناک در شبکه‌های ریلی از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا انتخاب نادرست مکان‌ها و مسیرها می‌تواند خطرات جدی برای انسان و محیط‌زیست به همراه داشته باشد. در این راستا، مدل‌های ریاضی متعددی توسعه یافته‌اند که با در نظر گرفتن شاخص‌های ریسک و هزینه، به بهینه‌سازی همزمان مکان‌یابی هاب‌ها و مسیریابی وسایل نقلیه می‌پردازند. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای، مسئله مکان‌یابی پایانه‌های انتقال و مسیریابی مواد خطرناک در حمل‌ونقل دوجهی ریل و جاده با در نظر گرفتن توازن ریسک در شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، مدلی برای تعیین بهینه مکان پایانه‌ها و مسیرهای حمل‌ونقل با هدف کاهش ریسک و هزینه‌ها توسعه داده شده است (کردلا و ایناکا، ۲۰۱۰).

برنامه‌ریزی و طراحی شبکه

با هدف شناسایی و توسعه بخش‌هایی از شبکه ریلی است که تا بتوان به اهداف کمترین ریسک و بیشترین کارایی دست یافت. این مطالعات معمولاً شامل ارزیابی بلندمدت هستند و برای برنامه‌ریزی استراتژیک به کار می‌روند (ورتر و کارا، ۲۰۰۴). رویکردهایی برای طراحی شبکه حمل‌ونقل مواد خطرناک ارائه دادند که تعادل بین هزینه و ریسک اجتماعی را برقرار می‌کند. این مطالعات نشان دادند که تغییر در ساختار شبکه می‌تواند تأثیرات چشمگیری بر کاهش ریسک داشته باشد. برنامه‌ریزی و طراحی شبکه حمل‌ونقل مواد خطرناک در خطوط ریلی به دلیل ریسک‌های بالقوه برای انسان و محیط‌زیست، نیازمند دقت و توجه ویژه‌ای است.

روش پژوهش

نوع استدلال پژوهش: پژوهش حاضر از نوع استدلال قیاسی است؛ به این معنا که با استفاده از مبانی نظری و مطالعات گذشته، چارچوبی برای دسته‌بندی مدل‌های مالی در مدیریت ریسک حمل کالاهای خطرناک استخراج می‌شود.

هدف و ماهیت پژوهش: این مطالعه از منظر هدف، یک پژوهش کاربردی است؛ زیرا با تمرکز بر مدل‌سازی ریسک مالی در حمل‌ونقل مواد خطرناک، به دنبال ارائه راهکارهایی برای بهبود تصمیم‌گیری و تخصیص منابع در دنیای واقعی است. از نظر ماهیت، پژوهش حاضر توصیفی–تحلیلی است که به مرور نظام‌مند ادبیات پژوهش و تحلیل تطبیقی مدل‌های موجود می‌پردازد.

شیوه گردآوری داده‌ها: داده‌های پژوهش از طریق مطالعه اسنادی و کتابخانه‌ای گردآوری شده‌اند. منابع مورد بررسی شامل مقالات علمی معتبر، گزارش‌های فنی، و مستندات رسمی

در حوزه حمل‌ونقل کالاهای خطرناک و مدیریت ریسک مالی هستند.

روش گردآوری اطلاعات مشابه رویکرد پژوهش (میرمحمدصادقی، آب‌نیکی و حسن‌پور،۱۴۰۰) است که برای تحلیل ریسک مالی حمل مواد خطرناک، داده‌های اسنادی را به‌صورت سیستماتیک بررسی کرده‌اند.

جامعه و نمونه آماری: از آنجا که پژوهش به صورت مروری انجام شده و استوار بر تحلیل محتواست، جامعه آماری شامل کلیه مطالعات علمی منتشر شده در حوزه موضوعی مرتبط با مدل‌سازی ریسک مالی در حمل‌ونقل کالاهای خطرناک است. نمونه پژوهش نیز با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند، شامل مقالاتی است که دارای اعتبار علمی، کاربردی بودن و پوشش‌دهی کافی ابعاد مالی در حمل کالاهای خطرناک بوده‌اند.

ابزار گردآوری اطلاعات: ابزار گردآوری اطلاعات در این پژوهش، چک‌لیست ارزیابی مقالات منتخب و فرم‌های استخراج داده از مقالات بوده است. این ابزارها به منظور شناسایی ساختار، فرضیه‌ها، اهداف، متغیرها و تکنیک‌های مالی است.

یافته‌ها

در این پژوهش شاخص‌های مالی مدیریت ریسک حمل‌ونقل کالاهای خطرناک در چهار دسته زیر طبقه‌بندی شده است:

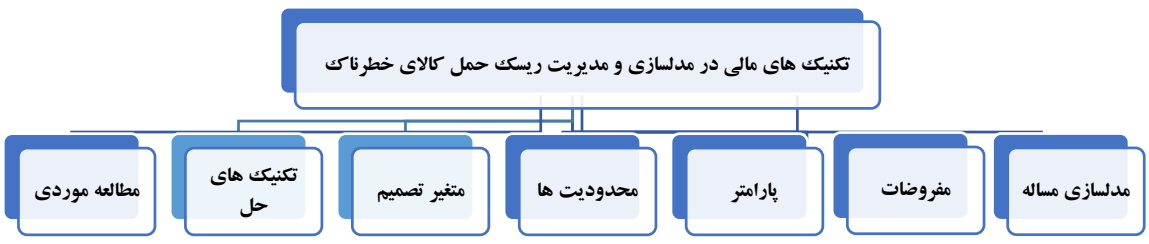
۱. **ارزیابی مالی ریسک**: شامل مدل‌های ارزش در معرض ریسک(VaR)، تحلیل حساسیت مالی و ارزیابی اقتصادی حوادث است (میرمحمدصادقی و همکاران، ۱۴۰۰).

۲. **تحلیل هزینه-فایده**: شامل بررسی هزینه‌های پیشگیری از حوادث در مقایسه با هزینه‌های بالقوه خسارات و جریمه‌ها است.

۳. **مدیریت هزینه‌های بیمه‌ای**: در بردارنده تحلیل نرخ‌های بیمه برای حمل کالاهای خطرناک، مدل‌سازی هزینه‌های بیمه و راهکارهای کاهش هزینه‌ها است.

۴. **بودجه‌بندی برای کاهش ریسک**: مدل‌سازی بودجه لازم برای سرمایه‌گذاری در ایمنی و کاهش هزینه‌های ناشی از تصادفات.

به طور کلی در مطالعات پیشین برای اطمینان از کارایی و دقت مدل‌ها، داده‌های واقعی از شبکه‌های حمل‌ونقل، ترمینال‌ها، و اطلاعات مربوط به حادثه‌ها و ریسک‌ها به‌طور گسترده در اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده می‌شود. این داده‌ها می‌توانند شامل اطلاعاتی در مورد مسیرهای حمل‌ونقل، ظرفیت‌های ترمینال‌ها، زمان‌های حمل، و تاریخچه وقوع حوادث در مسیرهای مختلف باشند. استفاده از این داده‌ها به مدل‌ها این امکان را می‌دهد که نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌ها یا الگوریتم‌های بهینه‌سازی با واقعیت تطابق بیشتری داشته باشد و بنابراین کارایی بیشتری داشته باشند. تمام ویژگی‌های مسائل بالا از منظر ابعاد مختلف شامل (مدلسازی، فرضیه‌ها، اهداف، محدودیت‌ها، پارامترهای ورودی، متغیرهای تصمیم، تکنیک‌های حل و مطالعه موردی) با جزییات بیشتر بررسی و در شکل ۲ ارائه شده است. در بسیاری از موارد فرضیه‌ها زمان‌های سفر، ریسک‌ها و هزینه‌های ازدحام را در نظر نمی‌گیرد.



شکل۲. دسته‌بندی جنبه‌های مورد بررسی مدل‌های ریاضی حمل کالای خطرناک

انواع تکنیک‌های مالی در مدلسازی حمل کالای خطرناک به شرح زیر است:

مدلسازی مساله

مدل‌سازی هزینه-فایده[1]

در مدل‌سازی مالی برای مدیریت ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک، از روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی هزینه‌ها و کاهش زیان‌های احتمالی استفاده می‌شود. در اینجا توضیحی جامع درباره تکنیک‌های موجود ارائه شده است (میرمحمدصادقی و همکاران، ۱۴۰۰).

این روش یک تحلیل اقتصادی برای ارزیابی گزینه‌های مختلف در کاهش ریسک است.

کاربردها:

- بررسی هزینه‌های اقدامات پیشگیرانه (مانند افزایش ایمنی مخازن یا بهبود مسیرها) در مقابل هزینه‌های خسارات احتمالی.
- محاسبه نرخ بازگشت سرمایه (ROI) برای تصمیم‌گیری در مورد سرمایه‌گذاری در تدابیر ایمنی.
- تحلیل حساسیت برای شناسایی متغیرهای کلیدی در تصمیم‌گیری‌های مالی.

فرمول پایه:

$$\sum(Expected\ Costs) - \sum(Expected\ Benefits) = Net\ Benefit$$

اگر منفعت خالص مثبت باشد، اقدام موردنظر توجیه اقتصادی دارد.

ارزش در معرض ریسک[2]

این تکنیک یکی از ابزارهای استاندارد در مدیریت ریسک مالی است که حداکثر زیان موردانتظار در یک بازه زمانی مشخص را محاسبه می‌کند.

کاربردها:

تعیین بیشترین زیان احتمالی ناشی از حوادث حمل‌ونقل در یک دوره خاص (مثلاً یک سال).

ارزیابی ریسک مالی برای سرمایه‌گذاری‌های مربوط به ایمنی حمل مواد خطرناک.

کمک به سیاست‌گذاران برای تعیین میزان ذخایر مالی موردنیاز برای جبران خسارات احتمالی.

فرمول پایه:

$$\sigma \cdot {}_{\alpha}Z - \mu = \mathrm{VaR}$$

که در آن:

- μمیانگین بازده موردانتظار است.
- $Z\alpha$ضریب اطمینان (مثلاً ۹۵٪ یا ۹۹٪).
- σانحراف معیار نوسانات ریسک.

بودجه‌بندی برای کاهش ریسک[3]

در این تکنیک، تخصیص منابع مالی برای اقدامات کاهش ریسک بهینه‌سازی می‌شود. علوی و رحمتی، ۱۳۹۸، با تمرکز بر تحلیل اقتصادی سوانح حمل‌ونقل ریلی، چارچوب بودجه‌بندی ایمنی را برای تخصیص بهینه منابع مالی در کاهش ریسک پیشنهاد دادند.

کاربردها:

- تخصیص بهینه بودجه بین اقدامات ایمنی مختلف مانند بهبود مسیرهای حمل‌ونقل، افزایش ایمنی مخازن، یا آموزش کارکنان.
- بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پیشگیری و پاسخگویی به حوادث.
- تصمیم‌گیری بین گزینه‌های مختلف بیمه و تأمین مالی اضطراری.

روش‌ها:

- **برنامه‌ریزی خطی[4]:** بهینه‌سازی تخصیص منابع مالی.
- **تحلیل چندمعیاره:** مقایسه اقدامات مختلف از نظر هزینه، اثربخشی، و میزان کاهش ریسک.

تحلیل سناریوهای مالی[5]

این روش برای ارزیابی پیامدهای اقتصادی تغییر در شرایط بازار، سیاست‌های حمل‌ونقل، و هزینه‌های مرتبط استفاده می‌شود.

کاربردها:

- مدل‌سازی تأثیر تغییر قیمت سوخت، هزینه‌های بیمه، و مالیات بر حمل‌ونقل مواد خطرناک.
- بررسی ریسک‌های مالی در صورت وقوع حادثه و تأثیر آن بر سودآوری شرکت‌های حمل‌ونقل.

1. Cost-Benefit Modeling
2. VaR - Value at Risk Analysis
3. Risk Reduction Budgeting
4. Linear Programming
5. Financial Scenario Analysis

- تحلیل سناریوهای مختلف (بدبینانه، خوش‌بینانه، و محتمل) برای تصمیم‌گیری استراتژیک.

روش‌ها:

- **تحلیل مونت‌کارلو** [1]**:** شبیه‌سازی سناریوهای مالی با استفاده از توزیع احتمالاتی.
- **تحلیل حساسیت**: شناسایی متغیرهای کلیدی که بیشترین تأثیر را بر هزینه‌ها و سود دارند.

بهینه‌سازی بیمه و پوشش مالی خسارات [2]

این تکنیک به بررسی هزینه‌های بیمه و نحوه بهینه‌سازی آن برای کاهش ریسک مالی می‌پردازد.

کاربردها:

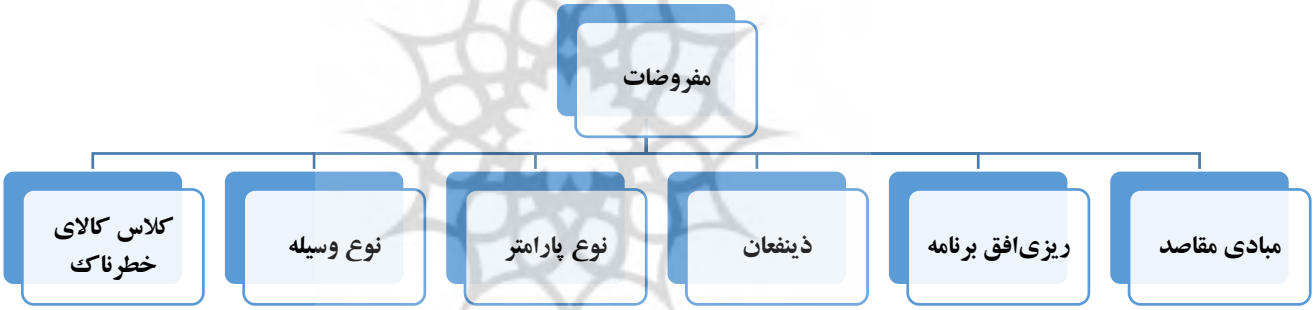
- تعیین مقدار بهینه بیمه برای پوشش خسارات ناشی از حوادث حمل‌ونقل.
- محاسبه هزینه‌های بیمه‌ای در برابر ریسک‌های احتمالی و مقایسه آن با روش‌های دیگر مدیریت ریسک.
- طراحی استراتژی‌های بیمه‌ای برای کاهش هزینه‌ها در عین حفظ پوشش مناسب.

روش‌ها:

- **تحلیل نسبت هزینه-مزیت**[3]: مقایسه هزینه‌های بیمه با مزایای آن.
- **بهینه‌سازی استراتژی بیمه‌ای**: ترکیب بیمه‌های مختلف برای کاهش هزینه کلی.

فرضیه های مساله

تکنیک‌های مالی در مدلسازی و مدیریت ریسک حمل کالای خطرناک براساس نوع فرضیه‌ها مطابق شکل ۳ در دسته‌بندی‌های زیر تقسیم می‌شوند:



شکل۳. دسته‌بندی مفروضات مورد بررسی در مدل‌های حمل کالای خطرناک

در ادامه توضیحات مختصر هر بخش ارائه شده است:

مبادی-مقاصد:

این بخش به نحوه تعریف نقاط شروع و پایان مسیرهای حمل مواد خطرناک می‌پردازد. این زیربخش شامل موارد زیر است:

- **یک جفت مبدا-مقصد:** تحلیل ساده برای یک مسیر خاص.
- **چند جفت مبدا-مقصد**: بررسی چندین مسیر به‌صورت همزمان برای بهینه‌سازی شبکه.
- **یک دپو و چند مشتری**: تخصیص مواد از یک مرکز ذخیره‌سازی به چندین مقصد.
- **چند دپو و چند مشتری**: بررسی شبکه‌ای با چندین مرکز و مقصد به‌صورت پیچیده‌تر.

افق برنامه‌ریزی:

مربوط به بازه زمانی تحلیل و تصمیم‌گیری است. شامل:

- **یک دوره زمانی**: برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت یا تک‌بازه‌ای.
- **چند دوره زمانی**: تحلیل و برنامه‌ریزی بلندمدت در چندین بازه زمانی.

ذینفعان:

بازیگران مختلف درگیر در فرآیند حمل‌ونقل مواد خطرناک شامل:

- **حمل‌کنندگان بار**: مسئول جابه‌جایی.
- **دولت**: تنظیم‌کننده مقررات و قوانین.
- **سایر بخش‌ها:** شامل مراکز فروواردر بار و مراکز اورژانس برای مواقع اضطراری.

1. Financial Scenario Analysis
2. Insurance Optimization
3. Cost-Benefit Analysis

نوع پارامتر:

پارامترهای مورد استفاده در مدلسازی که ممکن است به‌صورت:

- **قطعی:** با داده‌های ثابت و مشخص.
- **پویا:** متغیر با زمان.
- **تصادفی:** مبتنی بر احتمالات.
- **فازی:** برای مدیریت عدم قطعیت.

نوع وسیله:

وسایل نقلیه مورد استفاده در حمل مواد خطرناک به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- **همگون:** وسایلی با ویژگی‌های یکسان.
- **ناهمگون:** شامل وسایل مختلف با ظرفیت‌ها یا ویژگی‌های متفاوت.

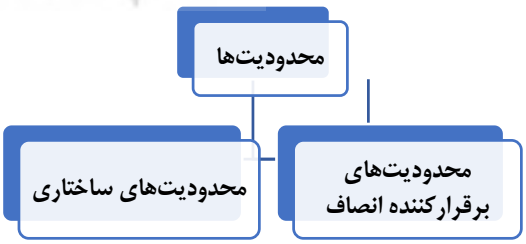
کلاس کالای خطرناک:

دسته‌بندی مواد خطرناک که ممکن است شامل یک نوع کالا یا چندین نوع مختلف باشد:

- **یک کالایی:** حمل یک نوع ماده خطرناک خاص.
- **چند کالایی:** حمل ترکیبی از مواد خطرناک مختلف در یک شبکه.

محدودیت‌ها

انواع محدودیت‌های مساله مطابق شکل ۴ به دو دسته محدودیت‌های برقرار کننده انصاف و محدودیت‌های ساختاری تقسیم می‌شوند و هردسته به زیربخش های تقسیم می‌شوند که در ادامه توضیح داده شده است:



شکل۴. دسته‌بندی محدودیت‌های مورد بررسی در مدل‌های حمل کالای خطرناک

محدودیت‌های برقرارکننده انصاف

این محدودیت‌ها تضمین می‌کنند که ریسک و منابع در شبکه حمل‌ونقل به‌طور عادلانه توزیع شوند:

- **ریسک روی هر محور:** محدود **کردن** حداکثر ریسک مجاز برای یک مسیر خاص.
- **ریسک در هر محور:** ارزیابی احتمال وقوع حادثه در محورهای شبکه.
- **تفاوت ریسک بین یک جفت زون:** جلوگیری از توزیع ناعادلانه ریسک بین دو منطقه.
- **حذف نود/ محور:** خارج کردن گره‌ها یا مسیرهای پرخطر از تحلیل.
- **محدودیت ظرفیت محور:** کنترل تعداد وسایل نقلیه یا حجم بار مجاز در هر محور.
- **فاصله میان وسایل مواد خطرناک:** تضمین فاصله ایمن بین وسایل نقلیه حامل مواد خطرناک.
- **اندازه‌گیری تفاوت‌ها:** ارزیابی اختلاف‌های سطح ریسک در شبکه.
- **همپوشانی محورها:** جلوگیری از تداخل مسیرهای خطرناک.
- **فاصله تا مراکز آسیب‌پذیر:** حفظ فاصله ایمن از مناطق پرجمعیت یا حساس.
- **شاخص انصاف ریسک:** استفاده از معیارهای ریاضی برای سنجش و توزیع عادلانه ریسک.

محدودیت‌های ساختاری

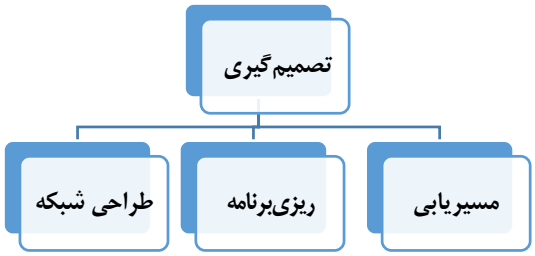
این محدودیت‌ها به تنظیم ساختار شبکه و تضمین عملیات روان حمل‌ونقل می‌پردازند:

- **محدودیت جریان شبکه:** تضمین جریان مناسب و یکنواخت در شبکه حمل‌ونقل.
- **تعداد وسایل نقلیه در دسترس:** محدودیت بر اساس تعداد منابع موجود برای حمل‌ونقل.
- **محدودیت پنجره زمانی:** تعیین زمان‌های مشخص برای ورود و خروج وسایل نقلیه.
- **حذف مسیرهای نامناسب:** کنار گذاشتن مسیرهای نزدیک به مناطق پرجمعیت یا آسیب‌پذیر.
- **جاده‌های غیرقابل‌دسترس:** حذف مسیرهایی که از نظر زیرساختی یا ایمنی قابل استفاده نیستند.
- **محدود کردن خسارات کلی شبکه:** تنظیم حداکثر خسارات مجاز در کل شبکه.

- **محدود کردن خسارات یک محور:** محدودیت خسارت در مسیر خاصی از شبکه.
- **محدود کردن محورهای بدون سوانح:** تحلیل و توجه به محورهایی که احتمال حادثه در آن‌ها بسیار پایین است.
- **محدودیت ظرفیت محورها:** تنظیم ظرفیت حداکثری برای هر مسیر.
- **در نظر گرفتن محدودیت برای طول یک محور:** محدود کردن طول مسیرهای مورد استفاده برای حمل.
- **در نظر گرفتن محدودیت برای مدت سیر:** تضمین حمل‌ونقل در زمان مشخص و استاندارد.
- **متوقف کردن حمل:** توقف حمل‌ونقل در صورت وقوع خطر یا شرایط اضطراری.
- **حذف زیرمحورها:** کنار گذاشتن بخش‌هایی از مسیر که شرایط ایمنی یا هزینه‌ای مناسب ندارند.
- **ظرفیت حمل وسیله نقلیه:** محدودیت حجمی و وزنی بر اساس نوع وسیله نقلیه.
- **محدودیت‌های اعزام:** قوانین و ضوابط مربوط به اعزام وسایل نقلیه.
- **محدودیت‌های بودجه‌ای:** تنظیم حمل‌ونقل بر اساس محدودیت‌های مالی و هزینه‌ها.
- **محدودیت‌های قرار دادن سیگنال در تقاطع‌ها:** نصب سیگنال‌ها و علائم کنترلی برای تقاطع‌های شبکه.
- **محدودیت تعداد سفرهای ممکن در یک افق زمانی:** تعیین تعداد مجاز سفرها در یک بازه زمانی مشخص.
- **میزان حداکثر جریمه:** محدود کردن هزینه جریمه‌ها در صورت نقض مقررات یا وقوع حادثه.

متغیر تصمیم‌گیری:

متغیرهای تصمیم‌گیری در این مسائل مطابق شکل ۵ به سه دسته زیر تقسیم می‌شود که برای هر زیر بخش به اختصار توضیحاتی ارائه شده است:



شکل۵. دسته‌بندی متغیرهای تصمیم‌گیری مورد بررسی در مدل‌های حمل کالای خطرناک

طراحی شبکه:

در این بخش می‌توان موارد ذیل را مدنظر قرارداد:

محدودیت مسیر : اعمال محدودیت‌های عمومی بر استفاده از مسیرهای خاص، مانند بستن مسیرهایی که به دلیل شرایط جغرافیایی یا امنیتی مناسب حمل مواد خطرناک نیستند.

محدودیت مسیر برای هر جفت مبدا-مقصد: حدودسازی استفاده از مسیرهای خاص برای جفت‌های مبدا-مقصد خاص، با هدف کاهش مخاطرات در نواحی خاص یا مسیرهای پرترافیک.

محدودیت مسیر برای هر نوع کالای خطرناک: اختصاص مسیرهای مشخص برای هر نوع کالای خطرناک بر اساس ویژگی‌های آن، مانند مواد منفجره یا قابل اشتعال.

محدودیت وابسته به زمان: تعیین محدودیت‌های زمانی برای استفاده از مسیرها، مثلاً اجتناب از حمل مواد خطرناک در ساعات شلوغی یا در طول شب.

محدودیت ظرفیت مسیر: تنظیم استفاده از مسیرها بر اساس ظرفیت آن‌ها برای جلوگیری از ازدحام و افزایش ایمنی.

عوارض عمومی مسیر: اعمال هزینه عبور (عوارض) برای استفاده از مسیرها به‌صورت عمومی، به‌منظور مدیریت ترافیک و تأمین منابع مالی برای بهبود زیرساخت‌ها.

عوارض برای هر نوع کالای خطرناک: اعمال عوارض جداگانه برای هر نوع کالای خطرناک بر اساس سطح ریسک آن‌ها.

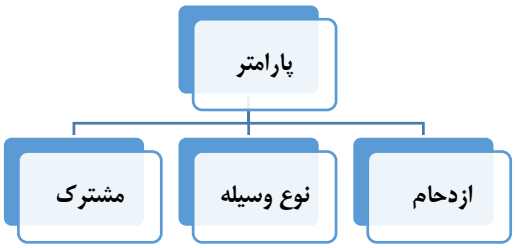
عوارض در پایانه‌ها: اعمال هزینه در نقاط پایانه‌ای مانند بنادر یا ایستگاه‌های بارگیری برای مدیریت عملیات و کاهش ریسک.

رزرو خطوط عبور: اختصاص خطوط ویژه برای حمل مواد خطرناک، که می‌تواند به کاهش تعامل با دیگر وسایل نقلیه و افزایش ایمنی کمک کند.

تنظیم سیگنال‌ها: تنظیم و بهینه‌سازی سیگنال‌های ترافیکی در نقاط کلیدی شبکه برای تسهیل عبور وسایل نقلیه حمل مواد خطرناک و کاهش زمان توقف.

پارامترها:

پارامترها به دسته‌ها و زیربخش هایی مطابق شکل ۶ تقسیم می‌شوند که در ادامه تشریح شده است:



شکل۶. دسته‌بندی پارامترهای مورد بررسی در مدل‌های حمل کالای خطرناک

ازدحام

- **با نظم صف:** در این حالت، خودروها بر اساس یک سیستم اولویت‌دار مشخص در صف قرار می‌گیرند که می‌تواند به مدیریت تراکم کمک کند.
- **بدون نظم صف:** در این شرایط، خودروها بدون ترتیب خاصی با یکدیگر تعامل می‌کنند و ممکن است موجب بی‌نظمی و افزایش تراکم شوند.

وسیله نقلیه

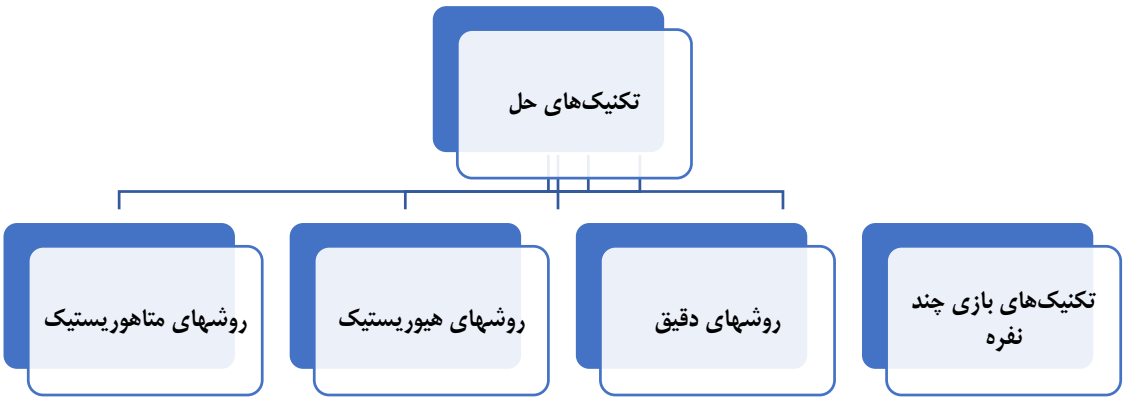
- **تخصیص ناوگان:** تخصیص وسایل نقلیه به مسیرهای مشخص با هدف بهینه‌سازی استفاده از منابع و کاهش هزینه‌ها.
- **برنامه‌ریزی ناوگان:** تعیین تعداد و نوع وسایل نقلیه مورد نیاز برای خدمات‌دهی به شبکه در یک دوره زمانی خاص.

پارامترهای مشترک

- **هزینه سفر لینک (هزینه اقتصادی، زمان سفر، طول):** هزینه‌ها و زمان سفر در هر لینک که بر اساس مسافت و سایر هزینه‌ها محاسبه می‌شود.
- **احتمال وقوع حادثه (معلوم یا نامعلوم):** احتمال بروز حادثه در شبکه که می‌تواند تاثیر زیادی بر ترافیک و برنامه‌ریزی داشته باشد.
- **تقاضای شبکه:** مجموع تقاضا برای استفاده از شبکه در یک دوره زمانی خاص.
- **کاهش جمعیت لینک:** کاهش تقاضا یا فعالیت در یک لینک خاص که ممکن است به علت تصادف یا مشکلات دیگر باشد.
- **کاهش جمعیت گره:** کاهش تقاضا یا فعالیت در یک گره خاص مانند ایستگاه یا تقاطع.
- **شرایط آب و هوایی:** تأثیر شرایط آب و هوایی مانند باران یا برف بر سرعت حرکت و خطر تصادف.
- **جریان ترافیک لینک‌ها:** میزان و الگوی حرکت خودروها در هر لینک که برای شبیه‌سازی و مدیریت تراکم مهم است.
- **شدت تصادف:** تأثیر شدت تصادف بر ترافیک و زمان لازم برای بازسازی مسیر.
- **احتمال وقوع حادثه (معلوم یا نامعلوم) :**همانطور که ذکر شد، پیش‌بینی احتمال وقوع حوادث تأثیر زیادی بر برنامه‌ریزی شبکه دارد.

تکنیک‌های حل:

دسته‌بندی تکنیک‌های مدلسازی/ حل در شکل ۷ نشان داده شده است و در ادامه توضیحات مربوطه ارائه شده است:



شکل۷. دسته‌بندی تکنیک‌های حل مورد بررسی در مدل‌های حمل کالای خطرناک

بازی چندنفره:

- **روش شیطان**: مدل‌هایی که دو بازیکن (دولت و حمل‌کننده) را در نظر می‌گیرند و استراتژی‌های مختلف در بازی‌های ناش یا استاکلبری (Nash or Stackelberg) برای رسیدن به تعادل بررسی می‌شود.
- **دقیق**: مدل‌هایی که به دنبال یافتن پاسخ‌های دقیق با استفاده از روش‌های ریاضیاتی هستند.
- **هیوریستیک**: استفاده از روش‌های جستجوی ساده و سریع برای رسیدن به جواب‌های نزدیک به بهینه.

متاهوریستیک:

- **الگوریتم ژنتیک (GA)** : الگوریتمی که از اصول انتخاب طبیعی برای جستجو در فضای پاسخ استفاده می‌کند.
- **جستجوی تابو (TS):** الگوریتمی که به‌طور موقتی از راه‌حل‌های قبلی پرهیز می‌کند تا از تکرار جلوگیری کند.
- **الگوریتم مِمتیک (MA)** : ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم‌های محلی برای بهبود نتایج.
- **پذیرش شبیه‌سازی شده (SA)** : روشی الهام‌گرفته از فرایندهای فیزیکی برای یافتن جواب‌های بهینه.
- **تکامل تفاضلی (DE)** : الگوریتمی که از فرایندهای تکاملی برای جستجو در فضای جواب استفاده می‌کند.
- **بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)** : الگوریتمی که از حرکت گروهی ذرات برای جستجو استفاده می‌کند.
- **جستجوی همسایگی متغیر (VNS)**: الگوریتمی که به‌طور مداوم همسایگی‌ها را تغییر می‌دهد تا به جواب بهینه برسد.
- **الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمسلط (NSGA-II)** : یک الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مسائل با چندین هدف که به صورت همزمان به حل مسائل می‌پردازد.
- **هیبریدی**: ترکیب دو یا چند روش بهینه‌سازی برای دستیابی به بهترین نتایج.

مطالعه موردی

منبع داده

- **مورد واقعی**: استفاده از داده‌های واقعی و تجربی برای تحلیل و مدلسازی.
- **تولید تصادفی**: استفاده از داده‌های تصادفی برای شبیه‌سازی شرایط مختلف.
- **پایگاه داده آنلاین**: استفاده از داده‌های موجود در پایگاه‌های داده آنلاین برای تحلیل.

نوع مورد

- **واقعی**: مواردی که بر اساس داده‌ها و شرایط واقعی طراحی می‌شوند.
- **فرضی**: مواردی که به صورت فرضی و مدل‌سازی شده برای تحلیل به کار می‌روند.

منطقه مورد

- **کشور**: تحلیل‌هایی که به صورت ملی و بر اساس داده‌های کشوری انجام می‌شود.
- **شهر**: تحلیل‌های محدود به مناطق شهری.

اندازه مورد

- **تعداد گره‌ها**: تعداد گره‌ها یا نقاط اتصال در شبکه.
- **تعداد لینک‌ها**: تعداد ارتباطات بین گره‌ها.
- **تعداد مسیرها**: تعداد مسیرهایی که می‌توانند بین گره‌ها و لینک‌ها برقرار شوند.
- **تعداد مشتریان**: تعداد افرادی که از خدمات حمل‌ونقل استفاده می‌کنند.

بزرگترین اندازه نمونه

- **تعداد گره‌ها و لینک‌ها**: بیشترین تعداد گره‌ها و لینک‌ها در بزرگترین نمونه مورد استفاده.
- **تعداد مشتریان**: بزرگترین تعداد مشتریان در شبکه مورد تحلیل.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، بررسی و طبقه‌بندی شاخص‌های مالی مرتبط با مدیریت ریسک در حمل‌ونقل مواد خطرناک، به‌ویژه در بستر حمل‌ونقل ریلی، و تبیین نقش ابزارهای مالی در کاهش هزینه‌ها و افزایش ایمنی بود.

بر اساس یافته‌های پژوهش، بهره‌گیری از تکنیک‌های مالی مانند ارزش در معرض ریسک(VaR) ، تحلیل هزینه–فایده، بودجه‌بندی بهینه و تحلیل حساسیت می‌تواند در کاهش ریسک و افزایش کارایی تصمیم‌گیری مالی نقش کلیدی ایفا کند. همچنین، استفاده از مدل‌های چندهدفه، به‌ویژه در ترکیب با داده‌های واقعی، به مدیران این امکان را می‌دهد که بین کاهش

هزینه‌ها و افزایش ایمنی، تعادل برقرار کنند. مدیریت مالی ریسک در حمل‌ونقل مواد خطرناک مستلزم تحلیل جامع هزینه‌ها و تدوین استراتژی‌های مالی برای کاهش اثرات نامطلوب حوادث است. مطالعات پیشین به طور عمده به ارزیابی ریسک، مسیریابی، مکان‌یابی و طراحی شبکه پرداخته‌اند. بااین‌حال، همچنان نیاز به توسعه مدل‌های جامع‌تر و استفاده از داده‌های واقعی برای اعتبارسنجی مدل‌ها احساس می‌شود.

یافته‌های این پژوهش با نتایج پژوهش‌های پیشین از جمله مطالعات (علوی و رحمتی ،۱۳۹۸) و (میرمحمدصادقی و همکاران،۱۴۰۰) همسو است که بر نقش تحلیل‌های اقتصادی و ابزارهای ارزیابی مالی در بهبود تصمیم‌گیری و تخصیص منابع تأکید داشته‌اند. همچنین، نتایج با مدل‌سازی‌های ارائه‌شده توسط (تقوا و همکاران، ۱۳۹۵) و (رصافی و باوقار زعیمی، ۱۳۸۸) در خصوص مکان‌یابی و مسیریابی ایمن هم‌راستا است.

علت اصلی اثربخشی ابزارهای مالی در مدیریت ریسک، قابلیت آن‌ها در شفاف‌سازی پیامدهای مالی تصمیمات و امکان ارزیابی دقیق سناریوهای مختلف پیش از وقوع حادثه است. این ابزارها، به‌ویژه در ترکیب با فناوری‌های نوین می‌توانند برای طراحی سیاست‌های پیشگیرانه و تعیین سطوح بهینه ایمنی مورد استفاده قرار گیرند.

در نتیجه، توسعه چارچوب‌های مالی ترکیبی و بین‌رشته‌ای، همراه با مشارکت ذینفعان مختلف نظیر دولت، بخش خصوصی و نهادهای مدنی، برای ارتقای مدیریت ریسک ضروری است. همچنین، پیشنهاد می‌شود که چارچوب‌های قانونی منسجم‌تری طراحی شوند که ضمن حفظ انعطاف‌پذیری، توان پاسخ‌گویی به شرایط محلی و پیچیدگی‌های روزافزون حمل‌ونقل مواد خطرناک را نیز داشته باشند.

در مجموع، اتخاذ رویکردهای جامع، داده‌محور و مشارکتی می‌تواند گامی مهم در کاهش ریسک و ارتقای ایمنی در حمل‌ونقل مواد خطرناک باشد.

پیشنهادها

الف) پیشنهادهای ناشی از یافته‌های پژوهش

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه، پیشنهاد می‌شود:

۱. به‌کارگیری مدل‌های مالی در تصمیم‌گیری‌های ایمنی: استفاده از ابزارهایی مانند بودجه‌بندی بهینه، تحلیل هزینه–فایده و ارزش در معرض ریسک در فرآیندهای ارزیابی ریسک به‌منظور بهینه‌سازی تخصیص منابع مالی و ارتقای ایمنی پیشنهاد می‌شود.

۲. ترکیب مدل‌های بهینه‌سازی و داده‌های واقعی: تلفیق الگوریتم‌های چندهدفه با داده‌های واقعی (مانند داده‌های حوادث، تراکم جمعیت، اطلاعات لجستیکی) به افزایش دقت تحلیل‌های ریسک و کاهش خطای تصمیم‌گیری کمک می‌کند.

۳. تقویت همکاری بین ذینفعان کلیدی: مشارکت میان دولت، شرکت‌های حمل‌ونقل، بیمه‌گران و نهادهای نظارتی در تدوین سیاست‌های مالی و مقررات ایمنی می‌تواند اثربخشی سیاست‌ها را افزایش دهد.

۴. توسعه چارچوب‌های انعطاف‌پذیر قانونی و مالی: ایجاد مقرراتی که پاسخگوی تغییرات محیطی و اقتصادی باشد، از جمله پیشنهادهای مهم این پژوهش برای بهبود مدیریت ریسک در حمل‌ونقل مواد خطرناک است.

ب) پیشنهادها برای پژوهشگران آینده

برای توسعه دانش و بهبود کاربردپذیری پژوهش‌های آینده، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. توسعه مدل‌های پویا و سناریومحور: طراحی مدل‌هایی که تغییرات زمانی و مکانی (جمعیت، ترافیک، شرایط اقلیمی) را پوشش دهند و توانایی پاسخ به سناریوهای پیچیده را داشته باشند.

۲. ترکیب داده‌های متنوع و چندمنبعی: استفاده از داده‌های سرشماری، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های حمل‌ونقل بلادرنگ و اطلاعات اقتصادی برای طراحی مدل‌های جامع‌تر و بومی‌سازی‌شده.

۳. بررسی عمیق‌تر عوامل اجتماعی و زیست‌محیطی: گسترش مطالعات به ابعاد غیرمالی ریسک، نظیر تخلیه اضطراری، تاب‌آوری اجتماعی و پیامدهای زیست‌محیطی در هنگام سوانح.

۴. استفاده از فناوری‌های هوشمند: به‌کارگیری یادگیری ماشین، هوش مصنوعی و داده‌کاوی پیشرفته در پیش‌بینی خطرات، تخصیص منابع و طراحی سیستم‌های هشدار سریع.

۵. تحلیل نقاط سانحه‌خیز و تدوین شاخص‌های بومی‌شده: توسعه شاخص‌های اختصاصی برای شناسایی گلوگاه‌های حادثه‌خیز در شبکه‌های ریلی و جاده‌ای، و ارائه سیاست‌های اصلاحی مبتنی بر شواهد.

۶. طراحی پلتفرم‌های مشارکتی بین‌رشته‌ای: ایجاد سامانه‌هایی که امکان تعامل بین پژوهشگران، سیاست‌گذاران و فعالان صنعت را فراهم کند و روند تصمیم‌سازی را علمی‌تر و کارآمدتر سازد

.

References

Brito, A. J; & de Almeida, A. T. (2009). Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(2), 187-198.
https://doi.org/10.1016/j.ress.2008.02.014

Clarke, G; & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568-581.https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568

Dadkar, Y; Nozick, L; & Jones, D. (2010). Optimizing facility use restrictions for the movement of hazardous materials. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(2), 267–281.
https://doi.org/10.1016/j.trb.2009.07.006.

Dantzig, G. B; & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80

Erkut, E; Tjandra, S. A; & Verter, V. (2007). Hazardous materials transportation. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 14, 539-621.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927050706140098.

Fang, K; Ke, G. Y; & Verma, M. (2017). A routing and scheduling approach to rail transportation of hazardous materials with demand due dates. *European Journal of Operational Research*, 261, 154–168.
https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.045.

Huang, S; Huang, G; & Xie, J. (2021). A comprehensive review of transportation optimization models for hazardous materials. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 147, 102178.
Retrieved from https://www.sciencedirect.com/journal/transportation-research-part-e-logistics-and-transportation-review/special-issues?page=3&volume=147.

Kawprasert, A; & Barkan, C. P. L. (2008). Effect of train speed on risk analysis of transporting hazardous materials by rail. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2043(1), 65–72.
Retrieved from https://railtec.illinois.edu/wp/wp-content/uploads/pdf-archive/Kawprasert-%26-Barkan-TRB-08-2801-Rev9.pdf

Kawprasert, S; & Barkan, C. P. L. (2009). Risk analysis of hazardous materials transportation using optimization models. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(5), 571-577.
https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.05.007.

Marhavilas, P. K; Koulouriotis, D; & Gemeni, V. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5), 477-523.
https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.05.006.

Mirmohammadsadeghi, A; Abniki, H; & Hasanpour, H. (2021). Risk management modeling for HazMat transportation. Journal of Occupational Hygiene Engineering, 8(2), 24–34.
https://www.joem.ir/article_702185.html.

Mohaymany, A. S; & Khodadadiyan, M. (2008). A routing methodology for hazardous materials transportation to reduce the risk of road network. IUST International Journal of Engineering Science, 19(3), 57–65.
Retrieved from https://ijiepr.iust.ac.ir/files/site1/user_files_2hops2/eng/admin-A-10-1-14-6848dc3.pdf

Reilly, S; et al. (2013). Natural history of stuttering to 4 years of age: A prospective community-based study. *Pediatrics*, 132(3), 460–467.
https://doi.org/10.1542/peds.2012-1974.

Toth, P; & Vigo, D. (Eds.). (2002). The Vehicle Routing Problem. *SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications*. (Publisher page / ISBN: 978-0898715219). Retrieved from https://bookstore.siam.org.

Van der Vlies, A. V; & Suddle, S. I. (2008). Structural measures for a safer transport of hazardous materials by rail: The case of the basic network in The Netherlands. Safety Science, 46(1), 119–131.
https://doi.org/10.1016/j.ssci.2006.09.006.

Verma, M; & Verter, V. (2007). Railroad transportation of dangerous goods: Population exposure to airborne toxins. *Computers & Operations Research*, 34(5), 1287-1303. https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.06.013.

Verma, M; & Verter, V. (2011). A lead-timebased approach for planning rail-truck intermodal transportation of dangerous goods. *European Journal of Operational Research*, 202(3), 696-706.
https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.03.041.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی