



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

Hasti Jafari^{*1}, Mohammadreza Mehregan², Hossein Safari³

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.ac.ir

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), 89-90.

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.



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?

METHODOLOGY

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.

CONCLUSION 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.

«مقاله پژوهشی»

توسعه چارچوبی برای مدل سازی و طبقه بندی شاخص های مالی در مدیریت ریسک حمل و نقل کالاهای خطرناک

هستی جعفری^{۱*}، محمدرضا مهرگان^۲، حسین صفری^۳

نکات برجسته

- ارائه یک چارچوب جامع طبقه بندی شاخص های مالی در مدیریت ریسک حمل کالای خطرناک.
- دسته بندی چهار حوزه اصلی: ارزیابی ریسک، مسیریابی، مکان یابی و طراحی شبکه.
- معرفی تکنیک های مالی کلیدی، تحلیل هزینه-فایده، بودجه بندی ایمنی.
- تأکید بر تلفیق مدل های مالی با داده های واقعی و روش های بهینه سازی چندهدفه.
- ارائه پیشنهاد های عملی برای سیاست گذاران و مدیران صنعتی.

چکیده

موضوع و هدف مقاله: با گسترش صنعت و افزایش نیاز به حمل کالاهای خطرناک، مدیریت ریسک در این حوزه نه تنها از منظر ایمنی، بلکه از جنبه های مالی و اقتصادی نیز اهمیت بسزایی یافته است. هزینه های مرتبط با حمل و نقل این کالاها شامل بیمه، خسارات ناشی از حوادث، جریمه های قانونی و هزینه های غیرمستقیم زیست محیطی می شود. هدف این پژوهش، بررسی و دسته بندی تکنیک های مالی در مدل سازی مدیریت ریسک حمل و نقل کالاهای خطرناک، با تمرکز بر حمل و نقل 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، مکان یابی و طراحی شبکه طبقه بندی کرده است. همچنین در بخش روش شناسی، مدل های مالی به کاررفته در مدیریت ریسک بر اساس پژوهش های پیشین تحلیل و دسته بندی شده اند.

یافته های پژوهش: مرور مطالعات نشان می دهد که بهره گیری از مدل های مالی مانند ارزش در معرض ریسک^۱، تحلیل هزینه-اثربخشی و بودجه بندی بهینه می تواند در کاهش هزینه های مستقیم و غیرمستقیم مرتبط با حمل کالاهای خطرناک مؤثر باشد. افزون بر این، استفاده از داده های واقعی در تحلیل های مالی، امکان بهبود تصمیم گیری در تخصیص منابع برای کاهش ریسک را فراهم می کند.

نتیجه گیری، اصالت و افزوده آن به دانش: یافته های این پژوهش، چارچوب جامعی برای درک بهتر چالش های مالی در مدیریت ریسک حمل و نقل کالاهای خطرناک ارائه می دهد. همچنین، به کارگیری مدل های مالی در کنار روش های بهینه سازی ریسک، می تواند به تصمیم گیری های کارآمدتر در جهت کاهش هزینه ها و افزایش ایمنی منجر شود. نتایج این مطالعه برای سیاست گذاران، مدیران مالی در صنعت حمل و نقل و پژوهشگران حوزه مدیریت ریسک می تواند کاربردی و ارزشمند باشد.

واژه های کلیدی: مدیریت ریسک مالی، تحلیل هزینه-فایده، حمل و نقل کالای خطرناک، هزینه بیمه، بودجه بندی.

طبقه بندی موضوعی: M42.

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت عملیات و علوم تصمیم، دانشکده گان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. دانشجوی فرصت مطالعاتی، مدرسه کسب و کار کج، بوردو، فرانسه. (نویسنده مسئول).

۲. استاد، گروه مدیریت عملیات و علوم تصمیم، دانشکده گان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (mehregan@ut.ac.ir)

۳. استاد، مدیریت تکنولوژی و نوآوری، دانشکده گان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (hsafari@ut.ac.ir).

نویسنده مسئول:

هستی جعفری

رایانامه:

Jafari.ha@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶

استناد به مقاله:

جعفری، هستی؛ مهرگان، محمدرضا؛ صفری، حسین، (۱۴۰۴)، توسعه چارچوبی برای مدل سازی و طبقه بندی شاخص های مالی در مدیریت ریسک حمل و نقل کالاهای خطرناک، حسابداری دولتی، ۱۲ (۲۲)، ۹۱-۱۰۴.

مقدمه

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.

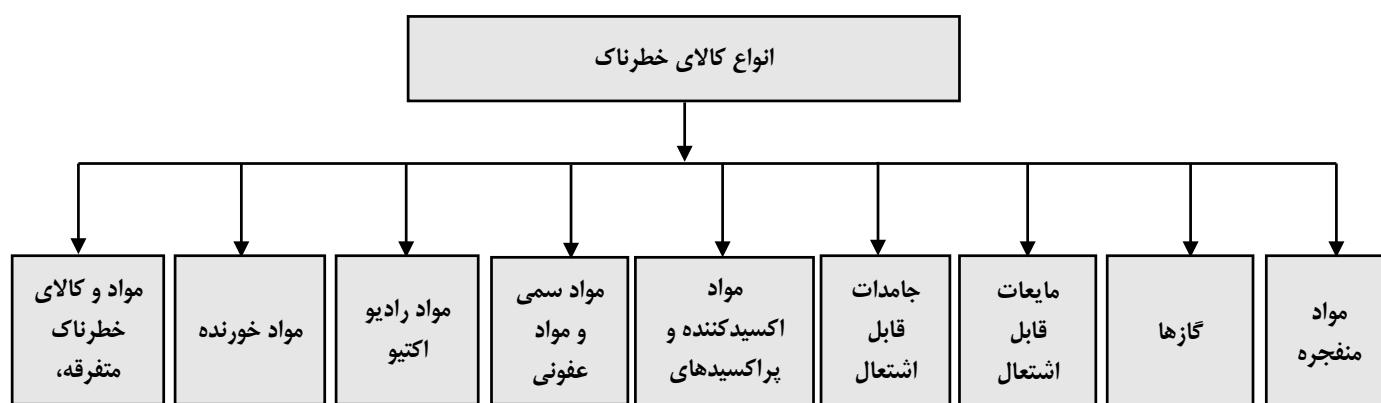
مبانی نظری

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 (محمی و خدادایان، ۱۳۸۷). برخی موارد این کلاس‌ها به بخش‌های جزئی‌تری هم تقسیم می‌شوند تا خطر خاصی را در درون یک کلاس نشان دهند.

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،



شکل ۱. دسته‌بندی انواع کالای خطرناک

رویکردهای کیفی و کمی: ارزیابی ریسک می تواند به صورت کیفی یا کمی انجام شود. در رویکرد کیفی، تمرکز بر شناسایی خطرات و اولویت بندی آنها است. از سوی دیگر، رویکرد کمی از ابزارهای آماری و مدل سازی ریاضی برای تحلیل دقیق تر استفاده می کند.

(ارکوت و همکاران، ۲۰۰۷) بیان کردند که پژوهش ها 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 آسیب پذیری اکوسیستم های 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 می توان به مطالعات (بریتو و د آلمیدا، ۲۰۰۹؛ محمینی و خدادادیان، ۲۰۰۸) اشاره کرد.

مسیریابی

جزو مسائل برنامه ریزی کوتاه مدت است. مساله مسیریابی حمل کالای خطرناک شامل انتخاب مسیرهای جایگزین از بین گزینه های مختلف بین جفت مبدا و مقصد است. یکی از چالش های اصلی در حمل کالای خطرناک، انتخاب مسیرهای بهینه برای کاهش ریسک و هزینه است. مدل های سنتی از الگوریتم هایی مانند کوتاه ترین مسیر استفاده می کنند، اما مدل های پیشرفته تر، ریسک و تأثیر بر جمعیت های اطراف مسیر را نیز در نظر می گیرند. هدف مساله مسیریابی، یافتن یک یا چند مسیر جهت حمل کالای خطرناک با اهداف حداقل کردن هزینه یا ریسک است. به طور کلی مطالعات انجام شده در این حوزه را می توان به دو دسته تقسیم کرد: مسیریابی محلی و کلی.

در مسیریابی محلی، مدیریت ریسک تنها به یک مبدا و مقصد خاص محدود می شود. این روش معمولاً در مواردی کاربرد دارد که تمرکز بر ایمنی در یک مسیر مشخص باشد. در مسیریابی کلی، هدف بهینه سازی کل شبکه حمل و نقل است. این رویکرد به بررسی تعاملات بین چندین مبدا و مقصد می پردازد و تلاش می کند ریسک کل شبکه را کاهش دهد. مدل های مسیریابی کلی معمولاً پیچیده تر هستند و نیازمند داده های گسترده تری از شبکه حمل و نقل و تحلیل جامع تر هستند. مدل های جدید افزون بر کاهش هزینه ها، بهینه سازی ریسک جمعیت در معرض، کاهش زمان سفر و رعایت محدودیت های زیست محیطی را هدف قرار داده اند (فانگ و همکاران، ۲۰۱۷). این رویکردها معمولاً شامل استفاده از

پیشینه پژوهش

مطالعات خارجی

به طور کلی مطالعات انجام شده بروی حمل کالاهای خطرناک را می توان در دسته های زیر طبقه بندی کرد:

- ارزیابی ریسک
- مسیریابی
- ترکیب مکان یابی تسهیلات و مسیریابی
- برنامه ریزی و طراحی شبکه

ارزیابی ریسک

در حمل کالای خطرناک، ارزیابی ریسک یکی از گام های کلیدی در مدیریت حمل و نقل این نوع کالاها است. این موضوع در پژوهش های داخلی نیز مورد توجه قرار گرفته است. به طور مثال، (محمینی و خدادادیان، ۱۳۸۷) مدلی برای مسیریابی ایمن مواد خطرناک با هدف کاهش ریسک در شبکه های جاده ای ایران ارائه کرده اند که می تواند به صورت مفهومی در مدل سازی 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 آتش سوزی می توانند تأثیرات جدی بر انسان، محیط زیست و زیرساخت ها داشته باشند.

ارزیابی ریسک به دو دسته کمی و کیفی تقسیم می شود. 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 مدل سازی ریاضی برای تحلیل دقیق تر استفاده می کند. ارزیابی های کمی ریسک شامل گام های کلیدی زیر است:

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

به عنوان مثال، (ورما و ورتز، ۲۰۰۷) روش های پیشرفته ای برای محاسبه احتمال و عواقب ناشی از حوادث در حمل ریلی مواد خطرناک ارائه داده اند. مطالعه ای به منظور طبقه بندی و مقایسه روش شناسی تحلیل و ارزیابی ریسک توسط (ماره وایلاس 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.

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 مسیر یابی وسایل نقلیه می‌پردازند. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای، مسئله مکان‌یابی پایانه‌های انتقال و مسیر یابی مواد خطرناک در حمل‌ونقل دوجبهی 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

الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک یا بهینه‌سازی ازدحام ذرات هستند.

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

نخستین بار مساله مسیر یابی 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 حل‌های بهینه و تقریبی برای مسئله مسیر یابی 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 مسیر یابی ترکیبی

به‌طور همزمان به تعیین بهترین مکان‌های تأسیسات (مانند پایانه‌ها یا مراکز توزیع) و مسیرهای ایمن و کارآمد برای حمل این کالاهای مبادی حمل مواد خطرناک می‌پردازد 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 مسیر یابی رویکردی کارا در جهت کاهش ریسک کلی در نواحی حمل مواد خطرناک است. نکته دارای اهمیت این است که مکان‌یابی یک تصمیم استراتژیک است در حالی که مساله مسیر یابی تصمیم‌گیری در سطح تاکتیکی و جزو مطالعات برنامه‌ریزی میان مدت و کوتاه مدت است. مساله مکان‌یابی - مسیر یابی 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 مسیر یابی ترکیبی در حمل‌ونقل مواد خطرناک در

در حوزه حمل و نقل کالاهای خطرناک و مدیریت ریسک مالی هستند.

روش گردآوری اطلاعات مشابه رویکرد پژوهش (میرمحمدصادقی، آب نیکی و حسن پور، ۱۴۰۰) است که برای تحلیل ریسک مالی حمل مواد خطرناک، داده های اسنادی را به صورت سیستماتیک بررسی کرده اند.

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 مدل سازی ریسک مالی در حمل و نقل کالاهای خطرناک است. نمونه پژوهش نیز با استفاده از روش نمونه گیری هدفمند، شامل مقالاتی است که دارای اعتبار علمی، کاربردی بودن و پوشش دهی کافی ابعاد مالی در حمل کالاهای خطرناک بوده اند.

ابزار گردآوری اطلاعات: ابزار گردآوری اطلاعات در این پژوهش، چک لیست ارزیابی مقالات منتخب و فرم های استخراج داده از مقالات بوده است. این ابزارها به منظور شناسایی ساختار، فرضیه ها، اهداف، متغیرها و تکنیک های مالی است.

یافته ها

در این پژوهش شاخص های مالی مدیریت ریسک حمل و نقل کالاهای خطرناک در چهار دسته زیر طبقه بندی شده است:

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

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

۳. **مدیریت هزینه های بیمه ای:** در بردارنده تحلیل نرخ های بیمه برای حمل کالاهای خطرناک، مدل سازی هزینه های بیمه و راهکارهای کاهش هزینه ها است.

۴. **بودجه بندی برای کاهش ریسک:** مدل سازی بودجه لازم برای سرمایه گذاری در ایمنی و کاهش هزینه های ناشی از تصادفات.

به طور کلی در مطالعات پیشین برای اطمینان از کارایی و دقت مدل ها، داده های واقعی از شبکه های حمل و نقل، ترمینال ها، و اطلاعات مربوط به حادثه ها و ریسک ها به طور گسترده در اعتبارسنجی مدل ها استفاده می شود. این داده ها می توانند شامل اطلاعاتی در مورد مسیرهای حمل و نقل، ظرفیت های ترمینال ها، زمان های حمل، و تاریخچه وقوع حوادث در مسیرهای مختلف باشند. استفاده از این داده ها به مدل ها این امکان را می دهد که نتایج به دست آمده از شبیه سازی ها یا الگوریتم های بهینه سازی با واقعیت تطابق بیشتری داشته باشد و بنابراین کارایی بیشتری داشته باشند. تمام ویژگی های مسائل بالا از منظر ابعاد مختلف شامل (مدلسازی، فرضیه ها، اهداف، محدودیت ها، پارامترهای ورودی، متغیرهای تصمیم، تکنیک های حل و مطالعه موردی) با جزئیات بیشتر بررسی و در شکل ۲ ارائه شده است. در بسیاری از موارد فرضیه ها زمان های سفر، ریسک ها و هزینه های ازدحام را در نظر نمی گیرد.



شکل ۲. دسته بندی جنبه های مورد بررسی مدل های ریاضی حمل کالای خطرناک

فرمول پایه:

$$\sigma \cdot \alpha Z - \mu = VaR$$

که در آن:

- μ میانگین بازده موردانتظار است.
- $Z\alpha$ ضریب اطمینان (مثلاً ۹۵٪ یا ۹۹٪).
- σ انحراف معیار نوسانات ریسک.

بودجه‌بندی برای کاهش ریسک^۳

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^۴: بهینه‌سازی تخصیص منابع مالی.
- تحلیل چندمعیاره: مقایسه اقدامات مختلف از نظر هزینه، اثربخشی، و میزان کاهش ریسک.

تحلیل سناریوهای مالی^۵

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.

انواع تکنیک‌های مالی در مدل‌سازی حمل‌کالای خطرناک

به شرح زیر است:

مدلسازی مساله

مدل‌سازی هزینه-فایده^۱

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^۲

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.

- محاسبه هزینه های بیمه ای در برابر ریسک های احتمالی و مقایسه آن با روش های دیگر مدیریت ریسک.

- طراحی استراتژی های بیمه ای برای کاهش هزینه ها در عین حفظ پوشش مناسب.

روش ها:

- **تحلیل نسبت هزینه-مزیت^۲:** مقایسه هزینه های بیمه با مزایای آن.
- **بهینه سازی استراتژی بیمه ای:** ترکیب بیمه های مختلف برای کاهش هزینه کلی.

فرضیه های مساله

تکنیک های مالی در مدلسازی و مدیریت ریسک حمل کالای خطرناک براساس نوع فرضیه ها مطابق شکل ۳ در دسته بندی های زیر تقسیم می شوند:

- تحلیل سناریوهای مختلف (بدبینانه، خوش بینانه، و محتمل) برای تصمیم گیری استراتژیک.

روش ها:

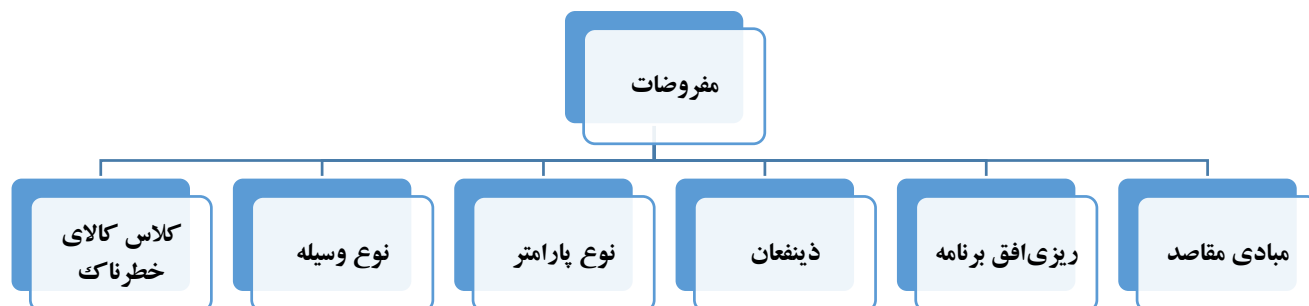
- **تحلیل مونت کارلو^۱:** شبیه سازی سناریوهای مالی با استفاده از توزیع احتمالاتی.
- **تحلیل حساسیت:** شناسایی متغیرهای کلیدی که بیشترین تأثیر را بر هزینه ها و سود دارند.

بهینه سازی بیمه و پوشش مالی خسارات^۲

این تکنیک به بررسی هزینه های بیمه و نحوه بهینه سازی آن برای کاهش ریسک مالی می پردازد.

کاربردها:

- تعیین مقدار بهینه بیمه برای پوشش خسارات ناشی از حوادث حمل و نقل.



شکل ۳. دسته بندی مفروضات مورد بررسی در مدل های حمل کالای خطرناک

افق برنامه ریزی:

- مربوط به بازه زمانی تحلیل و تصمیم گیری است. شامل:
- **یک دوره زمانی:** برنامه ریزی کوتاه مدت یا تک بازه ای.
 - **چند دوره زمانی:** تحلیل و برنامه ریزی بلندمدت در چندین بازه زمانی.

ذینفعان:

- بازیگران مختلف درگیر در فرآیند حمل و نقل مواد خطرناک شامل:
- **حمل کنندگان بار:** مسئول جابه جایی.
 - **دولت:** تنظیم کننده مقررات و قوانین.
 - **سایر بخش ها:** شامل مراکز فورواردر بار و مراکز اورژانس برای مواقع اضطراری.

در ادامه توضیحات مختصر هر بخش ارائه شده است:

مبادی-مقاصد:

- این بخش به نحوه تعریف نقاط شروع و پایان مسیرهای حمل مواد خطرناک می پردازد. این زیربخش شامل موارد زیر است:
- **یک جفت مبدأ-مقصد:** تحلیل ساده برای یک مسیر خاص.
 - **چند جفت مبدأ-مقصد:** بررسی چندین مسیر به صورت همزمان برای بهینه سازی شبکه.
 - **یک دیو و چند مشتری:** تخصیص مواد از یک مرکز ذخیره سازی به چندین مقصد.
 - **چند دیو و چند مشتری:** بررسی شبکه ای با چندین مرکز و مقصد به صورت پیچیده تر.

نوع پارامتر:

پارامترهای مورد استفاده در مدلسازی که ممکن است به صورت:

- **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.

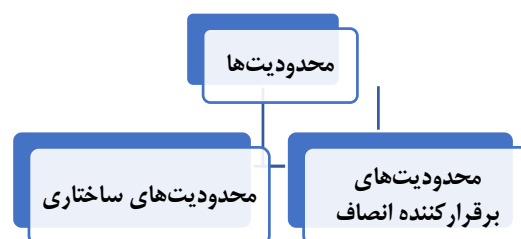
کلاس کالای خطرناک:

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 هر دسته به زیربخش‌های تقسیم می‌شوند که در ادامه توضیح داده شده است:



شکل ۴. دسته‌بندی محدودیت‌های مورد بررسی در مدل‌های حمل کالای خطرناک

محدودیت‌های برقرار کننده انصاف

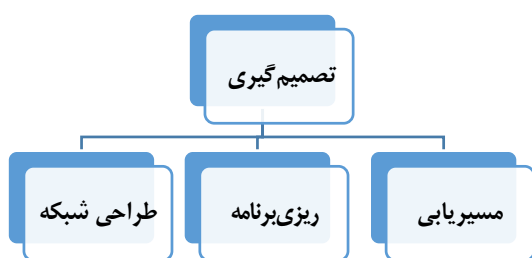
این محدودیت‌ها تضمین می‌کنند که ریسک و منابع در شبکه حمل و نقل به‌طور عادلانه توزیع شوند:

- **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 حمل و نقل می‌پردازند:

- **محدودیت جریان شبکه:** تضمین جریان مناسب و یکنواخت در شبکه حمل و نقل.
- **تعداد وسایل نقلیه در دسترس:** محدودیت بر اساس تعداد منابع موجود برای حمل و نقل.
- **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 غیرقابل دسترس:** حذف مسیرهایی که از نظر زیرساختی یا ایمنی قابل استفاده نیستند.
- **محدود کردن خسارات کلی شبکه:** تنظیم حداکثر خسارات مجاز در کل شبکه.



شکل ۵. دسته بندی متغیرهای تصمیم گیری مورد بررسی در مدل های حمل کالای خطرناک

طراحی شبکه:

در این بخش می توان موارد ذیل را مدنظر قرارداد:

محدودیت مسیر : اعمال محدودیت های 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:** محدودسازی استفاده از مسیرهای خاص برای جفت های مبدا-مقصد خاص، با هدف کاهش مخاطرات در نواحی خاص یا مسیرهای پرتراфик.

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

محدودیت وابسته به زمان: تعیین محدودیت های 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 آن ها برای جلوگیری از ازدحام و افزایش ایمنی. **عوارض عمومی مسیر:** اعمال هزینه عبور (عوارض) برای استفاده از مسیرها به صورت عمومی، به منظور مدیریت ترافیک و تأمین منابع مالی برای بهبود زیرساخت ها.

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

عوارض در پایانه ها: اعمال هزینه در نقاط پایانه ای مانند بنادر یا ایستگاه های بارگیری برای مدیریت عملیات و کاهش ریسک.

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

• **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 آن ها 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 حمل و نقل در زمان مشخص و استاندارد.

• **متوقف کردن حمل:** توقف حمل و نقل در صورت وقوع خطر یا شرایط اضطراری.

• **حذف زیرمحورها:** کنار گذاشتن بخش هایی از مسیر که شرایط ایمنی یا هزینه ای مناسب ندارند.

• **ظرفیت حمل وسیله نقلیه:** محدودیت حجمی و وزنی بر اساس نوع وسیله نقلیه.

• **محدودیت های اعزام:** قوانین و ضوابط مربوط به اعزام وسایل نقلیه.

• **محدودیت های بودجه ای:** تنظیم حمل و نقل بر اساس محدودیت های مالی و هزینه ها.

• **محدودیت های قرار دادن سیگنال در تقاطع ها:** نصب سیگنال ها و علائم کنترلی برای تقاطع های شبکه.

• **محدودیت تعداد سفرهای ممکن در یک افق زمانی:** تعیین تعداد مجاز سفرها در یک بازه زمانی مشخص.

• **میزان حداکثر جریمه:** محدود کردن هزینه جریمه ها در صورت نقض مقررات یا وقوع حادثه.

متغیر تصمیم گیری:

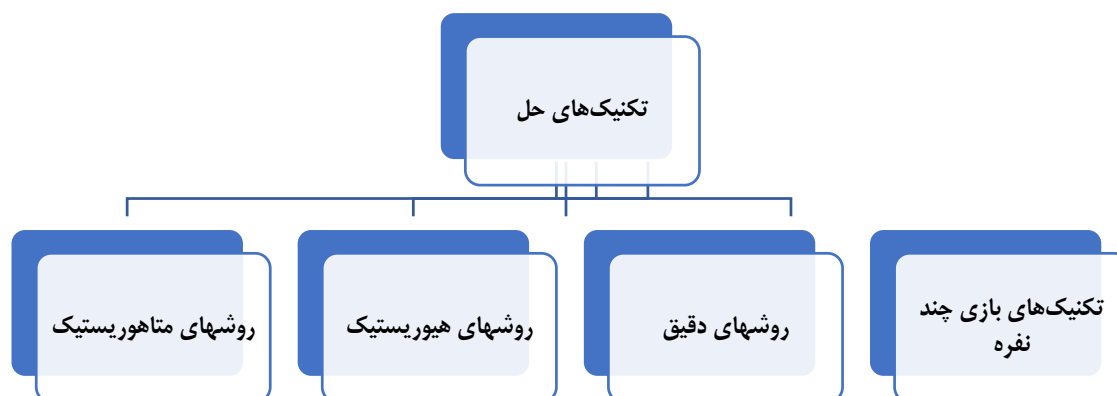
متغیرهای تصمیم گیری در این مسائل مطابق شکل ۵ به سه دسته زیر تقسیم می شود که برای هر زیر بخش به اختصار توضیحاتی ارائه شده است:

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 تأثیر 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:



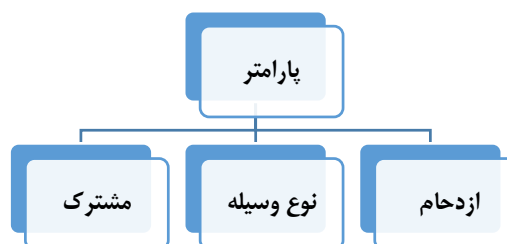
شکل ۷. دسته‌بندی تکنیک‌های حل مورد بررسی در مدل‌های حمل کالای خطرناک

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 زیربخش‌هایی مطابق شکل ۶ تقسیم می‌شوند که در ادامه تشریح شده است:



شکل ۶. 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.

وسيله 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.

بازی چندنفره:

- **پایگاه داده آنلاین:** استفاده از داده های موجود در پایگاه های داده آنلاین برای تحلیل.

نوع مورد

- **واقعی:** مواردی که بر اساس داده ها و شرایط واقعی طراحی می شوند.
- **فرضی:** مواردی که به صورت فرضی و مدل سازی شده برای تحلیل به کار می روند.

منطقه مورد

- **کشور:** تحلیل هایی که به صورت ملی و بر اساس داده های کشوری انجام می شود.
- **شهر:** تحلیل های محدود به مناطق شهری.

اندازه مورد

- **تعداد گره ها:** تعداد گره ها یا نقاط اتصال در شبکه.
- **تعداد لینک ها:** تعداد ارتباطات بین گره ها.
- **تعداد مسیرها:** تعداد مسیریایی که می توانند بین گره ها و لینک ها برقرار شوند.
- **تعداد مشتریان:** تعداد افرادی که از خدمات حمل و نقل استفاده می کنند.

بزرگترین اندازه نمونه

- **تعداد گره ها و لینک ها:** بیشترین تعداد گره ها و لینک ها در بزرگترین نمونه مورد استفاده.
- **تعداد مشتریان:** بزرگترین تعداد مشتریان در شبکه مورد تحلیل.

بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی این پژوهش، بررسی و طبقه بندی شاخص های مالی مرتبط با مدیریت ریسک در حمل و نقل مواد خطرناک، به ویژه در بستر حمل و نقل ریلی، و تبیین نقش ابزارهای مالی در کاهش هزینه ها و افزایش ایمنی بود.

بر اساس یافته های پژوهش، بهره گیری از تکنیک های مالی مانند ارزش در معرض ریسک (VaR)، تحلیل هزینه-فایده، بودجه بندی بهینه و تحلیل حساسیت می تواند در کاهش ریسک و افزایش کارایی تصمیم گیری مالی نقش کلیدی ایفا کند. همچنین، استفاده از مدل های چندهدفه، به ویژه در ترکیب با داده های واقعی، به مدیران این امکان را می دهد که بین کاهش

- **روش شیطان:** مدل هایی که دو بازیکن (دولت و حمل کننده) را در نظر می گیرند و استراتژی های مختلف در بازی های ناش یا استاکلبری (Nash or Stackelberg) برای رسیدن به تعادل بررسی می شود.
- **دقیق:** مدل هایی که به دنبال یافتن پاسخ های دقیق با استفاده از روش های ریاضیاتی هستند.
- **هیوریستیک:** استفاده از روش های جستجوی ساده و سریع برای رسیدن به جواب های نزدیک به بهینه.

متاهوریستیک:

- **الگوریتم ژنتیک (GA):** الگوریتمی که از اصول انتخاب طبیعی برای جستجو در فضای پاسخ استفاده می کند.
- **جستجوی تابو (TS):** الگوریتمی که به طور موقتی از راه حل های قبلی پرهیز می کند تا از تکرار جلوگیری کند.
- **الگوریتم ممتیک (MA):** ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم های محلی برای بهبود نتایج.
- **پذیرش شبیه سازی شده (SA):** روشی الهام گرفته از فرایندهای فیزیکی برای یافتن جواب های بهینه.
- **تکامل تفاضلی (DE):** الگوریتمی که از فرایندهای تکاملی برای جستجو در فضای جواب استفاده می کند.
- **بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO):** الگوریتمی که از حرکت گروهی ذرات برای جستجو استفاده می کند.
- **جستجوی همسایگی متغیر (VNS):** الگوریتمی که به طور مداوم همسایگی ها را تغییر می دهد تا به جواب بهینه برسد.
- **الگوریتم ژنتیک مرتب سازی غیرمسلط (NSGA-II):** یک الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی مسائل با چندین هدف که به صورت همزمان به حل مسائل می پردازد.
- **هیبریدی:** ترکیب دو یا چند روش بهینه سازی برای دستیابی به بهترین نتایج.

مطالعه موردی**منبع داده**

- **مورد واقعی:** استفاده از داده های واقعی و تجربی برای تحلیل و مدل سازی.
- **تولید تصادفی:** استفاده از داده های تصادفی برای شبیه سازی شرایط مختلف.

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) پیشنهادهای 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 بالادرنگ و اطلاعات اقتصادی برای طراحی مدل‌های جامع‌تر و بومی‌سازی شده.

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.

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. با این حال، 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 (رصاصی 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.

پیشنهادهای

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.

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>.