Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 8, Issue 2, Summer 2021, Pages: 24-34

Original Article

doi: 10.52547/johe.8.2.24

Risk Management Modeling for HazMat Transportation

Alireza Mirmohammadsadeghi[1,*], Hadi Abniki[2], HoseinAli Hasanpour[3]

[1] *Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Imam Hussein, Tehran, Iran*
[2] *Ph.D. Student in Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Imam Hussein, Tehran, Iran*
[3] *Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Imam Hussein, Tehran, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Alireza Mirmohammadsadeghi, Department of Industrial ngineering, Faculty of Engineering, University of Imam Hussein, Tehran, Iran. Email: ammsadeghi@ihu.ac.ir*

Received: 18/12/2020
Accepted: 27/02/2021

How to Cite this Article:
Mirmohammadsadeghi A, Abniki H, Hasanpour H. Risk Management Modeling for HazMat Transportation. J Occup Hyg Eng. 2021; 8(2): 24-34. DOI: 10.52547/johe.8.2.24

Abstract

Background and Objective: Industrial development accelerates the transportation of hazardous materials, especially in developing countries, which leads to an increased risk of accidents. Consequently, conducting further research is essential to reduce these consequences. The present study aimed to provide a simple, comprehensive and innovative model of risk management for transporting hazardous materials.

Materials and Methods: The proposed model consisted of four steps of identification, analysis, evaluation, and control. Appropriate layouts and tools such as system dynamics and fuzzy AHP were used to ensure that all relevant elements were carefully examined. The model was implemented in a real example of hydrazine explosive transport.

Results: In the risk analysis stage, it was found that population density is the most important factor in increasing the risk of transporting hazardous materials along with sub-criteria related to driver and management. Finally, ways to reduce risk to an acceptable level were examined during the presentation of risk control planning.

Conclusion: Using system dynamics in the risk identification stage and fuzzy AHP in the risk analysis stage along with expert judgment can be effective in improving the risk management process.

Keywords: Fuzzy AHP; Hazardous Materials; Risk; Safety; System dynamics; Transport

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.24]

Copyright © 2021 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای دوره ۸، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحات: ۲۴-۳۴

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.8.2.24

ارائه مدل مدیریت ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک (مواد منفجره)

علیرضا میرمحمدصادقی[۱،*]، هادی آب‌نیکی[۲]، حسینعلی حسن‌پور[۳]

[۱] دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

[۲] دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

[۳] استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

* **نویسنده مسئول:** علیرضا میرمحمدصادقی، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. ایمیل: -----

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: شتاب توسعه صنعتی به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه، افزایش میزان حمل‌ونقل مواد خطرناک و به تبع آن افزایش خطرات و حوادث را به همراه داشته است و هر گونه تحقیق و توسعه در زمینه کاهش ریسک فرایندهای مرتبط به کاهش حوادث و تبعات آن کمک می‌کند. هدف از این مقاله ارائه مدل مدیریت ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک است که ضمن حفظ جامعیت و استفاده از ابزارهای بدیع، به‌منظور استفاده صنعتگران و متولیان حمل‌ونقل، سادگی لازم را دارد.

مواد و روش‌ها: این مدل از چهار گام شناسایی، تجزیه‌وتحلیل، ارزیابی و کنترل تشکیل شده است و برای اطمینان از درنظرگرفتن تمامی عناصر مرتبط و بررسی دقیق تمام اجزا، از لایه‌بندی مناسب تشکیل شده و از ابزارهایی مانند پویایی‌شناسی و AHP فازی استفاده شده است. مدل ارائه‌شده در یک نمونه واقعی حمل‌ونقل هیدرازین پیاده‌سازی شد.

یافته‌ها: در مرحله تجزیه‌وتحلیل ریسک مشخص شد چگالی جمعیتی بیشترین اهمیت را در ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک دارد و پس از آن زیرمعیارهای مرتبط با راننده و مدیریت اهمیت بسزایی دارند. درنهایت، ضمن ارائه طرح‌ریزی کنترل ریسک، راه‌های کاهش ریسک به حد قابل قبول بررسی شد.

نتیجه‌گیری: استفاده از پویایی شناسی سیستم در مرحله شناسایی ریسک و AHP فازی در مرحله تجزیه و تحلیل ریسک به همراه قضاوت خبرگان می تواند در بهبود فرایند مدیریت ریسک موثر باشد.

واژگان کلیدی: پویایی‌شناسی سیستم؛ حمل‌ونقل؛ ریسک؛ مواد خطرناک؛ ایمنی؛ AHP فازی

مقدمه

حمل‌ونقل مواد خطرناک در سراسر جهان، به ویژه در کشورهای صنعتی در حال افزایش است [۱]. برآوردها نشان می‌دهد در نیمه اول قرن حاضر بیش از ۴ میلیارد تن مواد خطرناک در سراسر جهان حمل می‌شود [۲]. از طرفی دیگر، حمل‌ونقل مواد و کالاهای خطرناک از فرایندهای با ریسک زیاد بوده و همواره با حوادثی همراه است [۳]. علاوه‌براین تحقیق Oggero و همکارانش نشان می‌دهد ۶۳ درصد از تمام حوادث حمل‌ونقل مواد خطرناک در مقایسه با سایر شیوه‌های حمل‌ونقل، در جاده‌ها اتفاق افتاده است[۴] اولین گام در کنترل حوادث حمل‌ونقل مواد خطرناک، اجرای کامل و گام‌به‌گام مدیریت ریسک است. برای اجرای کامل مدیریت ریسک در حمل‌ونقل مواد خطرناک باید ضمن ارائه مدلی جامع و بدیع، ابعاد اجرایی و شرایط پیاده‌سازی مدل مدنظر قرار گیرد و چالش‌ها و پیچیدگی‌های جهان واقعی در آن لحاظ شود. در بسیاری از تعاریف، ریسک به‌عنوان یک مفهوم دوبعدی دربرگیرنده وقوع هر دو احتمال خطر و پیامدهای آن است [۵،۶]. علاوه‌براین، مفاهیم دیگر نیز برای تعیین ریسک مورد توجه قرار گرفته‌اند که شامل تشخیص شکست [۷-۹]، زمان هزینه [۱۰] و مدت بهبود است [۱۱].

Saad و همکارانش یک مدل مفهومی را برای ارزیابی و کاهش ریسک‌های حمل‌ونقل مواد خطرناک بر مبنای داده‌های تصادفات و سوانح در صنعت شیمیایی آمریکا از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ مطرح کردند [۱۲]. Adhitya یک مدل پویا را برای شبیه‌سازی عملیات تحت تغییرات رفتار مشتری، سیاست‌های کسب‌وکار و مسائل زیست‌محیطی توسعه دادند [۱۳]. Laínez و همکارانش به بحث در زمینه پیشرفت راهبردهای مدیریت خطر در راستای توضیح گسترده دیدگاه‌های مربوط به ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک پرداختند [۱۴]. Li و همکارانش در مقاله خود یک مدل منطقی

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.24]

فازی بهبودیافته را مناسب برای مدیریت ریسک حمل‌ونقل دریایی روغن توسعه دادند. این مدل سیستم فازی خبره معمولی را از طریق حلقه‌های پایگاه داده‌ها، واکنشی و پرواکتیو بهبود می‌دهد. نتایج تجربی آن‌ها برای نشان‌دادن مزیت‌های ارزیابی ریسک بهبودیافته استفاده می‌شود [۱۵].

Peng و همکارانش برای تجزیه‌وتحلیل رفتار سیستم امدادی بلایای زنجیره تأمین ازهم‌گسیخته با شبیه‌سازی عدم قطعیت‌های مرتبط با شبکه جاده‌ای اطلاعات تأخیری، یک مدل پویایی‌شناسی سیستم را معرفی کردند [۱۶]. Gajovic و همکارانش رویکردهایی را بر اساس کاربرد AHP (Analytical Hierarchy Process) و AHP فازی به‌عنوان ابزاری برای رتبه‌بندی ریسک زنجیره تأمین پیشنهاد دادند [۱۷]. با درنظرگرفتن ویژگی‌های محصولات شیمیایی، Liu و همکارانش یک مدل دوگانه را برای تجزیه‌وتحلیل ریسک‌های حمل‌ونقل داخلی و خارجی ایجاد کردند [۱۸]. Kazantzi و همکاران یک مدل چند دوره‌ای را برای شبیه‌سازی ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک ارائه دادند [۱۹]. Pradhananga و همکارانش یک مدل ریاضی را برای مسئله مسیریابی و زمان‌بندی حمل‌ونقل مواد خطرناک با پنجره زمانی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل و ریسک مرتبط با حمل‌ونقل ارائه دادند [۲۰].

Bronfman و همکارانش مدلی را با اهداف به حداکثر رساندن حداقل فاصله اقلیدسی بین مسیر و نزدیک‌ترین مرکز آسیب‌پذیر و حداقل‌ساختن هزینه‌های حمل‌ونقل فرمول‌بندی کردند [۲۱]. Forigua و Lyons با توسعه یک روش متمرکز بر شناسایی متغیرهای کلیدی، مجموعه‌ای از شاخص‌های استراتژیک و عملیاتی را برای ادغام ایمنی جاده در زنجیره حمل‌ونقل جاده‌ای کالاهای خطرناک در کلمبیا ارائه دادند [۲۲]. Yang و همکارانش یک چارچوب مبتنی بر استقرار تابع کیفیت را در محیط فازی پیشنهاد دادند تا به‌طور مؤثر ریسک‌ها و مدیریت ایمنی روند حمل‌ونقل مواد خطرناک را مدیریت کند [۲۳].

Gul و همکارانش یک مدل ارزیابی ریسک مبتنی بر اعداد فازی را برای مسیرهای یک شرکت حمل‌ونقل نفت ارائه کردند [۲۴]. Ghaleh و همکارانش با هدف ارائه الگوی ارزیابی خطر ایمنی حمل‌ونقل ناوگان جاده‌ای مواد خطرناک و طبقه‌بندی کامیون‌ها با رویکرد ایمنی تحقیقی انجام دادند. در این تحقیق، ابتدا عوامل مؤثر در ایجاد ریسک ایمنی کامیون‌های نفتی جاده با استفاده از روش تحلیل خطر شغلی (JHA: Job Hazard Analysis) شناسایی و پس از آن، فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) به‌منظور وزن‌گیری فاکتورهای تعیین‌شده استفاده شد [۲۵]. جباری و همکارانش حاشیه ایمن و حاشیه بقای حمل‌ونقل مواد خطرناک را با استفاده از روش‌های ALOHA و PHAST و شاخص تماس شیمیایی (CEI: Chemical Exposure Index) تعیین کردند [۲۶].

در تحقیقات گذشته، عموماً به یک جنبه خاص از مدیریت ریسک توجه شده است و نویسندگان به جنبه‌های تئوریک مدیریت ریسک تمرکز بیشتری داشته‌اند. برای نمونه، برخی از نویسندگان برای بررسی مسائل طرح‌ریزی زنجیره تأمین در شرایط ریسکی یک رویکرد برنامه‌ریزی احتمالی ارائه دادند [۲۹-۲۷] و یا مسائل مالی را در زنجیره تأمین مواد خطرناک بررسی کردند [۳۲-۳۰]. در این تحقیق تلاش شده است ضمن تمرکز به تمام جنبه‌های مدیریت ریسک و ارائه یک الگوی جامع، مراحل پیاده‌سازی عملی آن با دقت زیادی انجام شود. ضمن اینکه به علت غلبه بر پیچیدگی‌های جهان واقعی و اطمینان از جامعیت کامل مدل، به‌خصوص شناسایی کامل متغیرها، از ابزار پویایی‌شناسی سیستم و چندین روش هم‌زمان در مرحله شناسایی ریسک استفاده شده است.

روش کار

این تحقیق در مجموع در چهار گام انجام شد. در گام اول معیارهای مرتبط با ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک (HTRFs: HAZMAT Transportation Risk Factors) و زیرمعیارهای مرتبط با ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک (Sub-HTRFs) شناسایی شدند. برای آنکه شناسایی کامل و جامع باشد، از چندین روش ازجمله روش پویایی‌شناسی سیستم، تکنیک دلفی، تجزیه‌وتحلیل آمار حوادث و مطالعات گذشته استفاده شد. پس از آن از روش AHP فازی برای وزن‌دار کردن زیرمعیارهای شناسایی‌شده استفاده شد. سپس ارزیابی ریسک به این نحو انجام شد که ابتدا هر کدام از زیرمعیارها در طبقات جداگانه احتمال، شدت و ردیابی قرار گرفتند و جمع وزنی نرمالیزه‌شده آن‌ها محاسبه شد. پس از آن از ضرب سه عامل احتمال، شدت و ردیابی، ریسک نهایی محاسبه و با مقادیر مقایسه شد. درنهایت اقدامات کنترلی ریسک ارائه شدند.

تعیین HTRFs/ Sub-HTRFs، معیارهای تصمیم‌گیری و الگوی ارزیابی ریسک در مدل حمل‌ونقل مواد خطرناک

شناسایی و نهایی کردن HTRFs/ Sub-HTRFs

مراحل جمع‌آوری داده‌ها برای انتخاب HTRFs و Sub-HTRFs به شرح زیر است:

الف- شناسایی اولیه HTRFs و Sub-HTRFs بر اساس گزارش حوادث جاده‌ای مرکز فرماندهی و کنترل ترافیک پلیس راه ناجا

ب- شناسایی HTRFs و Sub-HTRFs بر مبنای مبانی علمی، استانداردها، موافقت‌نامه حمل‌ونقل محصولات خطرناک (ADR : European Agreement for Carriage Dangerous Goods and Substance by Road)، قوانین حمل‌ونقل مواد خطرناک سازمان ملل، مقررات حمل‌ونقل مواد

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.24]

خطرناک ایران [۳۵-۳۳]

ج- شناسایی HTRFs و Sub-HTRFs بر اساس تحقیقات و مطالعات گذشته

د- شناسایی HTRFs و Sub-HTRFs با استفاده از پویایی‌شناسی سیستم به روش کیفی

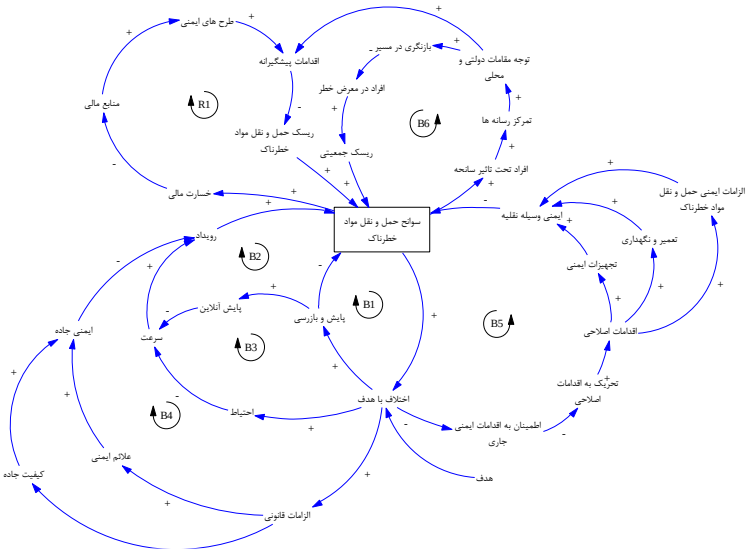
و- تنظیم پرسش‌نامه غربالگری با مقیاس سه‌بعدی (بله، نه، بدون نظر) و استفاده از روش دلفی

در ایران منابع اطلاعات عمومی در رابطه با حوادث حمل‌ونقل مواد خطرناک وجود ندارد؛ به همین دلیل جمع‌آوری داده‌ها از طریق بررسی گزارشات ثبت‌شده در فرم گزارش حوادث مرکز فرماندهی و کنترل ترافیک پلیس راه ناجا، روزنامه ها، مجلات و وب‌سایت‌های اینترنتی انجام شد. علاوه‌براین، جباری و همکاران با بررسی آماری حوادث رخ‌داده در حمل‌ونقل مواد خطرناک در ایران، علل عمده وقوع حوادث مرتبط با حمل‌ونقل جاده‌ای مواد خطرناک را استخراج کردند که طبق بررسی آن‌ها، عوامل انسانی بیش از ۵۰ درصد از علل وقوع حوادث جاده‌ای مواد خطرناک را به خود اختصاص داده اند که در این میان عدم رعایت مقررات راهنمایی و رانندگی ۳۸ درصد نقش داشته است. عدم سلامت راننده، بارگیری و تخلیه نامناسب، عدم تعمیر و نگهداری خودرو، وضعیت نامناسب آب‌وهوا، وضعیت نامناسب جاده و عدم رعایت الزامات حمل‌ونقل مواد خطرناک عوامل بعدی هستند [۳۶].

در مرحله دوم برای شناسایی عوامل مؤثر در ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک، قوانین و مقررات سازمان ملل ،موافقت‌نامه ADR و آئین‌نامه اجرایی حمل کالاهای خطرناک مصوب سال ۱۳۸۰ هیئت وزیران ایران بررسی شد. ADR موافقت‌نامه مهمی در خصوص حمل کالاهای خطرناک از طریق جاده در سطح اتحادیه اروپاست که در سال ۱۹۵۷ میلادی تصویب شده و آخرین به‌روزرسانی آن مربوط به سال ۲۰۱۷ است.

تحقیقات گذشته در حوزه مدیریت ریسک حمل‌ونقل کالاهای خطرناک در بخش قبل به تفصیل بررسی و زیرمعیارهایی شناسایی شد. برای شناسایی HTRFs و Sub-HTRFs، روش پویایی‌شناسی سیستم (SD: System Dynamics[۹]) برای مسیرهای حمل‌ونقل مواد خطرناک استفاده شد که نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، روابط علّی شامل ۱ حلقه بازخوردی مثبت و ۶ حلقه بازخوردی منفی است. برای نمونه در حلقه R1 حوادث حمل‌ونقل مواد خطرناک منجر به ایجاد خسارت مالی می‌شود. خسارت‌های مالی خود سبب کاهش منابع مالی سازمان می‌شوند. کاهش منابع مالی، اجرای طرح‌های ایمنی و اقدامات پیشگیرانه در حوزه حمل‌ونقل مواد خطرناک را با چالش روبه‌رو می‌کند که همین مسئله موجب افزایش حوادث حمل‌ونقل مواد خطرناک خواهد شد. سایر حلقه‌های مثبت و منفی در این روش، در شناسایی تعدادی از زیرمعیارها مؤثر بود.

پس از شناسایی HTRFs و Sub-HTRFs از روش‌های مرجع و روش SD برای اولین بار ۲۹ مورد Sub-HTRFs و ۶ موردHTRFs تعیین شد. سپس برای اعمال نظرات کارشناسان و افزایش دقت HTRFs و Sub-HTRFs شناسایی‌شده، یک پرسش‌نامه غربالگری تهیه شد و با کمک روش دلفی، HTRFs و Sub-HTRFs نهایی انتخاب شدند. تعداد کارشناسان با استفاده از آزمون کوکران ۹/۷ محاسبه و سطح اطمینان ۰/۹۵ در نظر گرفته شد، درحالی‌که برای دستیابی به سطح بیشتری از اعتماد ۱۰ نفر انتخاب شدند. کارشناسان از وزارت بهداشت و وزارت دفاع در نظر گرفته شدند و حداقل ۵ سال تجربه کار مفید مرتبط با حمل‌ونقل مواد خطرناک داشتند و کاملاً با سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای مواد خطرناک آشنا بودند. آن‌ها مدرک لیسانس و فوق لیسانس در زمینه‌های HSE، ایمنی و شیمی داشتند.



شکل ۱: نمودار روابط علّی ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.24]

طبق تحقیق حبیبی و همکارانش، ۱۰ کارشناس با تخصص‌های مختلف برای انجام روش دلفی ایدئال انتخاب شدند [۳۷]. به‌منظور تصمیم‌گیری بهتر کارشناسان از نظرات رانندگان باتجربه در زمینه حمل‌ونقل مواد خطرناک (با بیش از ۱۰ سال تجربه) استفاده شد. پس از ارسال پرسش‌نامه غربالگری تهیه‌شده و جمع‌آوری تمام نظرات، درنهایت پس از سه دور نظر متخصصان، تمامی نظرها بر اساس میانگین کل به‌دست آمد. درنهایت ۳۴ مورد Sub-HTRFs و ۷ مورد HTRFs انتخاب شدند که به شرح جدول ۱ هستند.

شناسایی و نهایی کردن معیارهای تصمیم‌گیری

در این مطالعه، برای توسعه مدل تصمیم‌گیری و ارزیابی HTRFs و Sub-HTRFs، معیارهای تصمیم‌گیری به شرح زیر هستند:

۱- قابلیت اندازه‌گیری، ۲- اثرگذاری، ۳- تکرارپذیری، ۴- نقص بالقوه

باید توجه داشت که برای تعیین معیارهای تصمیم‌گیری از مراجع موجود [۳۸] استفاده شد و درنهایت، با استفاده از جلسات طوفان فکری با تیم متخصص تشکیل شده در قبل، توافق نظرات کارشناسان به‌دست آمد و معیارهای تصمیم‌گیری نهایی انتخاب شدند. مدل تصمیم‌گیری این مطالعه بر اساس معیارهای تصمیم‌گیری HTRFs و Sub-HTRFs تعریف‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است. روابط مستقل در میان تمام معیارها مورد توجه قرار گرفته است. تمام HTRFs و Sub-HTRFs مطابق نظر کارشناسان و بر اساس فرض تحقیق است.

توزین HTRFs و Sub-HTRFs و عوامل خطر با روش FAHP

به‌منظور حل مشکلات در استفاده از ارزش‌های زبانی و غلبه بر این ابهام، از روش چانگ برای وزن‌دار کردن زیرمعیارها بر مبنای AHP فازی استفاده شد [۳۹] M_{gi}^{j} اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی هستند که ارزش هر معیار S_i مطابق رابطه ۱ محاسبه می شود. به‌طورکلی اگر M_1 و M_2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_2 نسبت به M_1 به‌صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود. از طرفی میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از K عدد فازی مثلثی دیگر مطابق با رابطه ۳ به‌دست می‌آید.

برای محاسبه وزن نهایی پس از به‌دست‌آوردن اندازه بزرگی Siها نسبت به هم، مقدار مینیمم آن به‌دست آمد و درنهایت وزن‌ها را نرمالیزه کردیم. برای محاسبه نرخ سازگاری وزن‌های تعیین‌شده در این تحقیق از روش گوگوس و بوچر استفاده شد.

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \times \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1} \quad (۱)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{bmatrix} if \ldots\ldots m_2 \geq m_1 \rightarrow 1 \\ if \ldots\ldots l_1 \geq u_2 \rightarrow 0 \\ otherwise \rightarrow \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \end{bmatrix} \quad (۲)$$

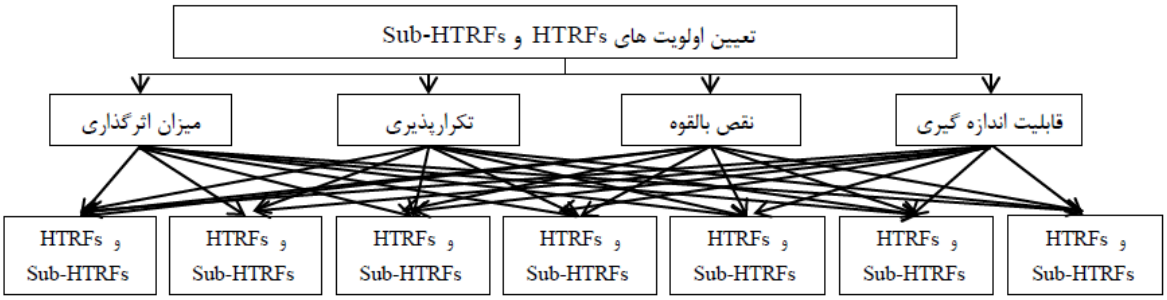
$$V(M \geq M_1, M \geq M_2, \ldots\ldots\ldots M \geq M_K) = \min V(M \geq M_i) \quad (۳)$$

جدول ۱: معیارها و زیرمعیارهای مؤثر شناسایی‌شده در ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک

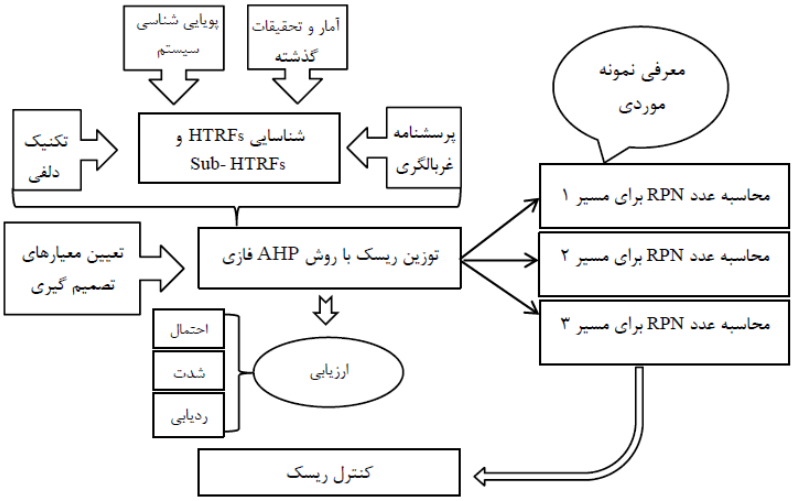
کد	HTRFs	کد	Sub- HTRFs	کد	HTRFs	کد	Sub- HTRFs	کد	HTRFs	کد	Sub-HTRFs
A	راننده	A1	شرایط فیزیولوژیکی					C3	شیب جاده	D	ماده خطرناک	D4	خطر امواج
		A2	شرایط روانی					C4	یک‌طرفه یا			D5	نوع بسته‌بندی
		A3	تجربه و مهارت					C5	تونل	E	محیط (آب‌وهوا)	E1	بارانی
		A4	سرعت					C6	پل			E2	مه‌آلود
		A5	مقررات رانندگی					C7	تقاطع			E3	برف/ تگرگ
B	وسیله نقلیه	B1	سن خودرو	C	جاده			C8	روشنایی جاده			E4	روز یا شب
		B2	نوع تانکر خودرو					C9	علائم ایمنی	F	چگالی جمعیتی	F1	شهری
		B3	تعمیر و نگهداری					C10	حجم عبور و			F2	روستایی
		B4	نمایشگر و تجهیزات ثبت وقایع					C11	تجهیزات نشانگر	G	مدیریت	G1	نظارت بر تجهیزات
		B5	تجهیزات ایمنی					D1	مقدار ماده			G2	الزامات قانونی و مدیریت سیستم
C	جاده	C1	کیفیت جاده	D	ماده خطرناک			D2	کلاس خطر ماده				
		C2	انحنای جاده					D3	سمیت ماده				

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.24]



شکل ۲: معیارهای تصمیم‌گیری مدیریت ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک



شکل ۳: مدل مدیریت ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک

ارائه الگوی ارزیابی ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک

در ابتدا برای اطمینان از اینکه وزن‌های محاسبه‌شده از روش FAHP بیشتر از ۱ هستند، این وزن‌ها را برای همه Sub-HTRFs نرمالیزه کردیم. اگر باز هم وزن زیرفاکتوری کمتر از ۱ بود، آن را در محاسبات ۱ درنظر می‌گیریم. پس از آن، تمام Sub-HTRFs تعریف‌شده به بخش‌های شدت، احتمال و ردیابی طبقه‌بندی شدند. برخی از Sub-HTRFs می‌تواند یک، دو یا سه عامل خطر را تحت تأثیر قرار دهد.

اهمیت عوامل خطر (شدت، احتمال و ردیابی) ممکن است برای سازمان‌ها و کشورها متفاوت باشد. S_{Route} ، P_{Route} و D_{Route} به ترتیب مقدار شدت، احتمال و ردیابی در ارزیابی خطر و هر یک برابر با مجموع وزن Sub-HTRFs در سه بخش شدت، احتمال و ردیابی است. منطق محاسبه وزن Sub-HTRFs در مطالعه (بررسی مسیر) بر اساس ممیزی و وجود یا نبود زیرمعیار ارزیابیSub-HTRFs است. اگر زیرمعیار وجود نداشته باشد، وزن آن صفر در نظر گرفته می‌شود. الگوی ارزیابی ریسک در این مطالعه بر اساس رویکرد معادله (۴) است. در اینجا، شماره اولویت خطر (RPN: Risk Priority Number) با ضرب مقدار شدت (S_{Route})، احتمال (P_{Route}) و ردیابی (D_{Route}) اندازه‌گیری شدند. شکل ۳ الگوی مدیریت ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک را نشان می‌دهد.

$$\left(RPN = S_{Route}^{W_s} \times P_{Route}^{W_p} \times D_{Route}^{W_d}\right) \qquad (۴)$$

با توجه به این معادله، هر یک از مقادیر شدت (S_{Route})، احتمال (P_{Route}) و ردیابی (D_{Route}) به ترتیب به قدرت وزن اهمیت محاسبه شده W_S ، W_P و W_D تخصیص یافته است.

بر اساس اجماع کارشناسان، تا ۵ درصد انحراف از حداقل سطح RPN به‌عنوان قابل قبول ($0 < RPN \leq 0.05 RPN_{\max}$) و انحراف تا ۳۰ درصد از حداکثر RPN به‌عنوان حد قابل تحمل خطر ($0.05 RPN_{\max} < RPN \leq 0.3 RPN_{\max}$) و بیشتر از ۰/۳ غیرقابل تحمل در نظر گرفته شد. توجه شود ارزش سطوح ریسک برای سازمان‌های مختلف باید بر اساس میزان صلاحیت هر سازمان محاسبه شود.

پیاده‌سازی مدل

برای وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر نظرات تیم تخصصی دریافت شد. سپس میانگین هندسی نظرات به‌دست‌آمده با روش AHP فازی وزن‌دهی شد که نتایج آن در جدول ۲ مشاهده می شود. برای انجام محاسبات، برنامه‌نویسی

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.52547/johe.8.2.24]

جدول ۲: وزن‌های نهایی زیرمعیارهای مؤثر در ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک بر اساس روش AHP فازی

HTRFs	وزن	ضریب سازگاری		Sub-HTRFs	وزن	وزن نهایی Sub-HTRFs	مبنای لحاظ‌کردن وزن Sub-HTRFs
		ماتریس میانه	ماتریس هندسی				
A	۰/۲۵	۰/۰۲۳	۰/۰۱۳۹	A1	۰/۱۸	۰/۰۴۵	عدم دریافت کارت سلامت راننده طبق آزمایشات پزشکی یا سن بیشتر از ۵۰ سال راننده
				A2	۰/۱۸	۰/۰۴۵	وجود سوابق اختلال یا ناراحتی روانی راننده در پرونده
				A3	۰/۲۰	۰/۰۵	تجربه کاری کمتر از ۱۰ سال راننده، مرتبط با حمل‌ونقل مواد خطرناک
				A4	۰/۲۰	۰/۰۵	سابقه ثبت سرعت غیرمجاز در یک سال گذشته توسط
				A5	۰/۲۴	۰/۰۶	سابقه ثبت جریمه راهنمایی و رانندگی در یک سال
B	۰/۱۷	۰/۰۳۰	۰/۰۶۹	B1	۰/۱۶	۰/۰۲۷	سن خودرو بیش از ۲۰ سال
				B2	۰/۱۸	۰/۰۳	عدم تناسب نوع تانکر با نوع ماده خطرناک طبق استانداردهای UN
				B3	۰/۲۸	۰/۰۴۷	نبود سوابق تعمیر و نگهداری منظم خودرو
				B4	۰/۱۳	۰/۰۲۲	عدم تعبیه GPS یا نمایشگرهای دما و فشار و ... مخزن
				B5	۰/۲۵	۰/۰۴۲	نبود تجهیزات ایمنی مانند کپسول اطفا، هشدار و ...
C	۰/۱۰	۰/۰۱۷	۰/۰۴۴	C1	۰/۰۹۷	۰/۰۱	جاده خاکی یا دارای دست‌انداز و خرابی‌های متعدد
				C2	۰/۰۹۳	۰/۰۰۹	مسیر دارای پیچ‌وخم‌های متعدد
				C3	۰/۱۰۶	۰/۰۱	مسیر دارای شیب بیش از ۲۰ درصد
				C4	۰/۱۲۲	۰/۰۱۲	مسیر دوطرفه بدون حائل
				C5	۰/۰۸۰	۰/۰۰۸	وجود حداقل یک تونل در مسیر
				C6	۰/۰۴۴	۰/۰۰۴	وجود حداقل یک پل در مسیر
				C7	۰/۰۴۸	۰/۰۰۵	وجود حداقل یک تقاطع در مسیر
				C8	۰/۱۱۶	۰/۰۱۱	نبود روشنایی در مسیر
				C9	۰/۰۹۰	۰/۰۰۹	نبود تابلو و علائم ایمنی در مسیر
				C10	۰/۱۳۹	۰/۰۱۴	عبور حداقل ۱۰۰۰ خودرو در ساعت از مسیر
				C11	۰/۰۶۵	۰/۰۰۶	عدم تعبیه تجهیزات ثبت سرعت در مسیر
D	۰/۱۱	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۶۹	D1	۰/۱۷	۰/۰۱۸	عدم رعایت مقدار مجاز حمل‌ونقل مواد طبق استاندارد
				D2	۰/۲۴	۰/۰۲۶	مواد خطرناک با خطر متوسط و زیاد طبق کلاس‌بندی
				D3	۰/۲۰	۰/۰۲۲	ماده سمی طبق طبقه‌بندی UN
				D4	۰/۲۲	۰/۰۲۴	ماده رادیواکتیو طبق طبقه‌بندی UN
				D5	۰/۱۷	۰/۰۱۹	عدم رعایت استاندارد بسته‌بندی ماده طبق استاندارد
E	۰/۰۳	۰/۲۰۵	۰/۰۸۷	E1	۰/۱۷	۰/۰۰۵	آب‌وهوای بارانی
				E2	۰/۲۹	۰/۰۰۹	هوای مه‌آلود
		۰/۰۲۵		E3	۰/۲۶	۰/۰۰۸	آب‌وهوای برفی
				E4	۰/۲۸	۰/۰۰۹	زمان سفر بین اذان مغرب تا اذان صبح
F	۰/۱۹	۰	۰	F1	۱	۰/۱۹	عبور از مناطق شهری طبق قانون تقسیمات کشوری
				F2	۰	۰	عبور از مناطق روستایی طبق قانون تقسیمات کشوری
G	۰/۱۵	۰	۰	G1	۰/۵۹	۰/۰۸۸	نبود شواهد مبنی بر بازرسی منظم از تجهیزات مرتبط با حمل‌ونقل مواد خطرناک
				G2	۰/۴۱	۰/۰۶۱	نبود سازوکار ابلاغ و نظارت بر الزامات قانونی حوزه حمل‌ونقل مواد خطرناک

در نرم‌افزار Excel انجام شـــد. همچنین جدول ۲ مبنای حضـــور زیرمعیار و درنظرگرفتن وزن آن در مطالعه موردی بر اســـاس نظر خبرگان و نرخ ســـازگاری ماتریس‌های معیارهای فرعی را نشـــان می‌دهد. همگی ماتریس‌ها به غیر از ماتریس E سازگار هستند که در این مورد نظر سنجی مجدداً انجام شد و مرتبه دوم ماتریس سازگار است. نرخ سازگاری معیار اصلی نیز برای ماتریس‌های میانه و هندســـی به ترتیب برابر با ۰/۰۷۸ و ۰/۰۹۷ است که حاکی از سازگاری آن‌هاست.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.24]

جدول ۳: وزن‌های زیرمعیارها بر اساس روش AHP فازی در نواحی سه‌گانه

کد	وزن ناحیه ۱	وزن ناحیه ۲	وزن ناحیه ۳	کد	وزن ناحیه ۱	وزن ناحیه ۲	وزن ناحیه ۳	کد	وزن ناحیه ۱	وزن ناحیه ۲	وزن ناحیه ۳
A1	۰	۰	۰	C3	۰	۰,۰۱	۰	D4	۰	۰	۰
A2	۰	۰	۰	C4	۰	۰	۰	D5	۰	۰	۰
A3	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	C5	۰	۰	۰	E1	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
A4	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	C6	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	E2	۰	۰	۰
A5	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	C7	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	E3	۰	۰	۰
B1	۰	۰	۰	C8	۰	۰	۰	E4	۰	۰	۰
B2	۰	۰	۰	C9	۰	۰	۰	F1	۰/۱۹	۰	۰/۱۹
B3	۰/۰۴۷	۰/۰۴۷	۰/۰۴۷	C10	۰	۰	۰/۰۱۴	F2	۰	۰	۰
B4	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	C11	۰	۰	۰	G1	۰	۰	۰
B5	۰	۰	۰	D1	۰	۰	۰	G2	۰	۰	۰
C1	۰	۰	۰/۰۱	D2	۰,۰۲۶	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶				
C2	۰	۰/۰۰۹	۰	D3	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲				

نتایج

محاسبه ریسک مسیرهای مطالعه موردی

برای پیاده‌سازی مدل، مسیر جاده‌ای سمنان- تهران انتخاب شد. در این نمونه، ماده قابل انفجار و سمی هیدرازین از شهرک صنعتی سمنان به مرکزی در شرق تهران واقع در جاده دماوند با تانکرهای مخصوص حمل‌ونقل شد. هیدرازین به فرمول N2H4 مخلوط حاوی بیش از ۴/۷ درصد حجمی آن با هوا در دمای بیشتر از ۳۸ درجه سانتی‌گراد، بر اثر گرما، شعله یا تابش فرابنفش منفجر می‌شود. با توجه به ویژگی‌های متفاوت مسیر و تفاوت در آمار سوانح رخ‌داده و درنهایت با جمع‌بندی نظر کارشناسان، مسیر مورد بررسی به ۳ ناحیه تقسیم شد. ناحیه ۱ از شهرک صنعتی سمنان تا سرخه، ناحیه ۲ از سرخه تا آرادان و ناحیه ۳ از آرادان تا تهران جاده دماوند است.

ماده شیمیایی هیدرازین در مخازن فلزی با پو شش داخلی پلی اتیلنی حمل می‌شود. راننده خودرو جوانی ۳۰ ساله دارای کارت سلامت جسم و بدون سابقه بیماری روانی و ۵ سال سابقه فعالیت در حمل‌ونقل مواد خطرناک است. راننده در ۱ سال گذشته سابقه جریمه راهنمایی و رانندگی و سرعت غیرمجاز دارد. خودروی حمل مواد کامیون مخزنی مدل ۲۰۱۱ است. کامیون برنامه منظم و اسناد ثبت‌شده مربوط به تعمیرات و نگهداری و همچنین سیستم GPS و سامانه هشدار سرعت و هشدار مربوط به مواد خطرناک ندارد. حمل‌ونقل در شرایط بارانی انجام شد و برر سی ا سناد مربوطه ن شان می‌دهد از نظر مدیریتی سوابق پیاده‌سازی استانداردهای ایمنی مانند ISO 45001 وجود دارد و دستورالعمل های مدونی در حوزه حمل‌ونقل مواد خطرناک نگاشته و سوابق آموزش و بازرسی‌های ایمنی وجود دارد.

ناحیه ۱ م سیر مطالعه شده از شهرک صنعتی تا سرخه به طول تقریبی ۳۷ کیلومتر انتخاب شد. در ابتدای م سیر به علت ماهیت جغرافیایی، عبور از مناطق شهری اجتناب‌ناپذیر است. در این ناحیه، جاده یک‌طرفه است و روشنایی کافی و تجهیزات ثبت سرعت و علائم ایمنی دارد و این زیرمعیارها وزن صفر را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین در این ناحیه پل و تقاطع در مسیر وجود دارد. طول تقریبی ناحیه ۲، ۸۰ کیلومتر بود و از ابتدای سرخه تا آرادان ادامه داشت. این مسیر پیچ‌های متعدد و در برخی از قسمت‌ها شیب بیشتر از ۲۰ درصد بود و منطقه پیچ پنج‌هزاری در این ناحیه قرار دارد. برخلاف ناحیه قبل، این ناحیه از مناطق شهری عبور نمی‌کند. م سیر ناحیه ۳ به طول تقریبی ۱۳۴ کیلومتر از آرادان تا تهران-جاده دماوند است. انتهای مسیر از مناطق شهری و پرتردد عبور می‌کند. به همین علت علاوه بر زیرمعیار F1، زیرمعیار C10 نیز وزن‌دار شده است. باید توجه داشت که در برخی قسمت‌های این ناحیه، به‌خصوص در مناطق شهری، کیفیت جاده نیز نامناسب است. جدول ۳ نتایج وزنی زیرمعیارها را در نواحی سه گانه نشان می‌دهد. جدول ۴ طبقه‌بندی زیرمعیارهای ناحیه ۱ و جزئیات وزنی آن را نشان می‌دهد. در ناحیه ۲ و ۳ هم محا سبات وزنی به شکل م شابهی است که در جداول ۳ و ۴ ضمائم مشخص است. روابط ۵ تا ۱۰ محاسبات عدد ریسک این نواحی را نشان می‌دهد.

(۵)

$$\left(RPN(I)=S_{Route}^{W_s}I\times P_{Route}^{W_p}I\times D_{Route}^{W_d}I\right)/1000000$$

(۶)

$$RPN(I)=433\times445\times74=14258690/1000000=14.25$$

(۷)

$$\left(RPN(II)=S_{Route}^{W_s}II\times P_{Route}^{W_p}II\times D_{Route}^{W_d}II\right)/1000000$$

(۸)

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.24]

$$RPN(II) = 262\times274\times74=5312312/1000000=5.31$$

(۹)

$$\left(RPN(III) = S_{Route}^{W_s} III \times P_{Route}^{W_p} III \times D_{Route}^{W_d} III\right)/1000000$$

(۱۰)

$$RPN(III) = 457\times459\times74=15522462/1000000=15.52$$

مقایسه سطح ریسک نواحی سه‌گانه مطالعه موردی

همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، برای یافتن مرز قابل قبول و قابل تحمل و غیرقابل تحمل ریسک‌های به‌دست‌آمده، ابتدا باید مقدار RPN_{max} و پس از آن مقادیر ذکرشده را به‌دست آورد. برای به‌دست‌آوردن RPN_{max} فرض می‌کنیم تمام زیرمعیارهای مؤثر در ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک وزن‌دار باشند که وزن آن‌ها نیز بر اساس جدول ۲ به‌دست آمده است. اکنون این زیرمعیارها را بر اساس جدول ۵ به سه متغیر احتمال، شدت و ردیابی تقسیم و پس از نرمالیزه‌کردن جمع هر ستون را محاسبه می‌کنیم. پس از آن از ضرب این سه عامل RPN_{max} مطابق با رابطه ۱۱ به‌دست می‌آید. بنابراین عدد ۱۳محدوده ریسک قابل قبول و عدد ۸۲ حد قابل تحمل و بیشتر از آن غیرقابل تحمل است.

(۱۱)

$$RPN_{max} = 921\times897\times331=160279308/1000000=273.45$$

جدول ۴: طبقه‌بندی زیرمعیارهای ناحیه ۱ مطالعه موردی در سه فاکتور شدت، احتمال و ردیابی

ردیف	متغیرهای مؤثر در فاکتور احتمال ($I\ P_R$)	وزن متغیر	وزن نرمال شده	متغیرهای مؤثر در فاکتور شدت ($I\ S_R$)	وزن متغیر	وزن نرمال شده	متغیرهای مؤثر در فاکتور ردیابی ($I\ D_R$)	وزن متغیر	وزن نرمال شده
۱	A3	۰/۰۵	۵۰	A3	۰/۰۵	۵۰	B3	۰/۰۴۷	۴۷
۲	A4	۰/۰۵	۵۰	A4	۰/۰۵	۵۰	B4	۰/۰۲۲	۲۲
۳	A5	۰/۰۶	۶۰	A5	۰/۰۶	۶۰	E1	۰/۰۰۵	۵
۴	B3	۰/۰۴۷	۴۷	B3	۰/۰۴۷	۴۷			
۵	B4	۰/۰۲۲	۲۲	D2	۰/۰۲۶	۲۶			
۶	C6	۰/۰۰۴	۴	D3	۰/۰۲۲	۲۲			
۷	C7	۰/۰۰۵	۵	F1	۰/۱۹	۱۹۰			
۸	E1	۰/۰۰۵	۵						
۹	F1	۰/۱۹	۱۹۰						
	جمع اوزان ($I\ P_R$)		۴۳۳	جمع اوزان ($I\ S_R$)		۴۴۵	جمع اوزان ($I\ D_R$)		۷۴

جدول ۵: طبقه‌بندی متغیرها در سه فاکتور شدت، احتمال و ردیابی

متغیرهای مؤثر در فاکتور احتمال (P_R)	متغیرهای مؤثر در فاکتور شدت (S_R)	متغیرهای مؤثر در فاکتور ردیابی (D_R)
A1, A2, A3, A4, A5	A1, A2, A3, A4, A5	
B1, B2, B3, B4, B5	B1, B2, B3, B5	B2, B3, B4
C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11	C2, C3, C4, C5, C10	C8, C11
D5	D1, D2, D3, D4, D5	D5
E1, E2, E3, E4		E1, E2, E3, E4
F1, F2	F1, F2	
G1, G2	G1, G2	G1, G2

بحث

سطح ریسک در ناحیه ۲ قابل قبول و در نواحی ۱ و ۳ از سطح قابل قبول بیشتر و در محدوده قابل تحمل است. اقدامات کنترلی آخرین مرحله از فرایند مدیریت ریسک و از جهاتی مهم‌ترین بخش آن است. ابتدا تمام اقدامات متصور به‌منظور کاهش یا حذف ریسک را فهرست‌بندی می‌کنیم. پس از آن میزان اثرگذاری هر کدام از این اقدامات را در کاهش ریسک کل محاسبه و هزینه هر کدام از این اقدامات را لحاظ می‌کنیم. در گام بعد، این اقدامات را بر مبنای اثرگذاری و هزینه آن‌ها با درنظرگرفتن محدودیت‌های بودجه‌ای سازمان اولویت‌بندی و

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.24]

اجرایی می‌کنیم. پس از اجرا، مجدداً ارزیابی ریسک انجام و میزان کارایی و اثربخشی اقدامات کنترلی ارزیابی می شود و در صورت نیاز به مرحله قبل بازمی‌گردیم. با وجود اینکه ریسک در در نواحی ۱ و ۳ در محدوده قابل تحمل قرار دارد، سیاست سازمان انتقال ریسک به محدوده قابل قبول است و به همین منظور سازمان به دنبال ارزیابی اقدامات کنترلی، اولویت‌دهی و در صورت امکان اجرای آن‌هاست.

وزن زیرمعیار که قبلاً با روش AHP فازی مشخص شده است، تأثیر زیادی در ریسک کل دارد. از طرفی اینکه زیرمعیار بر یکی یا بیشتر از فاکتورهای شدت، احتمال یا ردیابی اثرگذار است، مؤید میزان اثرگذاری آن در ریسک کل است. درنهایت با فرض اجرای اقدامات کنترلی و حذف آثار منفی زیرمعیار و صفر لحاظ‌کردن وزن آن ریسک کل در ناحیه ۱ و ۳ مجدداً محاسبه شد که میزان کاهش ریسک کل را نشان می‌دهد. پس از کنترل زیرمعیارها، عدد ریسک مجدداً محاسبه شد که برای نمونه برای زیر معیار A3 برای ناحیه ۱ برابر با ۱۱/۱۹ محاسبه شد که ۳/۰۶ کمتر از مقدار قبلی است و ضمناً با کنترل آن ریسک به محدوده قابل قبول بازمی‌گردد. زیرمعیارهای B3 تعمیر و نگهداری خودرو و F1 چگالی جمعیتی شهری ناحیه ۱ با ۱۰/۱۱ و ۹/۶۷ اثر روی ریسک کل، بیشترین کاهش را به ریسک کل اعمال می‌کند. در صورت کنترل زیرمعیارهای A3، A4، A5 و B4 نیز ریسک ناحیه I به محدوده قابل قبول بازمی‌گردد.

در ناحیه ۳ نیز کنترل زیرمعیارهای B3 و F1 تعمیر و نگهداری خودرو و چگالی جمعیتی شهری بیشترین اثرگذاری را در کاهش ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک نشان می‌دهد. در میان زیرمعیارهایی که ریسک را به محدوده قابل قبول برمی‌گردانند، امکان کنترل زیرمعیار F1 در ناحیه ۱ به علت موقعیت جغرافیایی وجود ندارد. در اینجا کنترل زیرمعیار B4 هزینه کمتری دارد. در واقع با نصب تجهیزات کنترل سرعت و نشانگرهای خطر مرتبط با مواد خطرناک، این زیرمعیار تحت کنترل قرار می‌گیرد و وزن آن صفر می شود. پس از آن، از نظر هزینه‌ای، کنترل زیرمعیارهای A3، A4 و A5 در مرتبه بعدی قرار دارد. با اجرای صحیح برنامه‌های آموزشی راننده، این زیرمعیارها را می‌توان تحت کنترل قرار داد. کنترل B3 مستلزم اجرای صحیح برنامه تعمیرات و پیشگیری خودرو است که هزینه بیشتری دارد.

در ناحیه ۳ امکان تغییر مسیر به‌طوری‌که از مناطق شهری عبور نکنیم، وجود دارد. طبق این مسیر زیرمعیار F1 در ناحیه ۳ مطالعه موردی وزن صفر گرفته است و موجب کاهش ریسک به محدوده قابل قبول می‌شود. البته اجرای این اقدام باعث افزایش حدود ۱۲ کیلومتری مسیر می شود و به علت تغییر مسیر، عملاً مسیرهای ناحیه ۱ و ۲ نیز تغییر می‌کند و به همین علت اجرای این اقدام در اولویت دوم قرار دارد. اولویت اول اثرگذاری بر زیرمعیارهای خودرو شامل زیرمعیارهای B3 و B4 یعنی بهبود برنامه تعمیر و نگهداری خودرو و سامانه ثبت سرعت خودرو است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله مدل مدیریت ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک در چهار گام شناسایی، تجزیه‌وتحلیل، ارزیابی و کنترل ارائه شد. در گام‌های مختلف ریسک از ابزارهای پویایی‌شناسی سیستم، روش دلفی، تجزیه‌وتحلیل آماری و روش AHP فازی بهره گرفته شد. به‌منظور پیاده‌سازی مدل، نمونه موردی از حمل‌ونقل مواد منفجره هیدرازین از شهرک صنعتی سمنان تا تهران بررسی شد و عدد ریسک آن محاسبه و ضمن مقایسه آن با مقدار قابل قبول، اقدامات کنترلی تشریح شد. در فاز شناسایی و تجزیه‌وتحلیل ریسک مشخص شد که معیار چگالی جمعیتی بیشترین اهمیت و تأثیر را در ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک دارد و پس از آن معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با راننده و مدیریت اهمیت زیادی دارند. همچنین نتایج این مقاله نشان داد استفاده از ابزار SD در مرحله شناسایی ریسک به یافتن لایه‌های پنهان ریسک و درنهایت شناسایی بهتر معیارهای تأثیرگذار کمک می‌کند. ابزار AHP فازی نیز به دلیل ماهیت غیرگسسته آن کارایی زیادی در تجزیه‌وتحلیل و وزن‌دهی ریسک دارد. درنهایت در نمونه موردی با به‌کاربستن اقدامات کنترلی پیشنهادی و اصلاح مسیر و برنامه‌های آموزشی مرتبط با راننده، سطح ریسک به محدوده قابل قبول رسید. در مطالعات آتی، ارائه مدل مدیریت ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک در شرایط بحران به تکامل مدل ارائه‌شده در این مقاله کمک خواهد کرد.

تشکر و قدردانی

از مرحوم دکتر احمد نورنگ، روحشان شاد تشکر و قدردانی می شود

تضاد منافع

مقاله تضاد منافع ندارد.

ملاحظات اخلاقی

مقاله به مجله دیگری ارسال نشده است.

سهم نویسندگان

نویسنده اول ٪۵۰ نویسنده دوم٪۴۰ و نویسنده سوم٪۱۰

حمایت مالی

مقاله از هیچ موسسه ای حمایت مالی نشده است.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.24]

REFERENCES

1. Paltrinieri N, Landucci G, Molag M, Bonvicini S, Spadoni G, Cozzani V. Risk reduction in road and rail LPG transportation by passive fire protection. *J Hazard Mater*. 2009;**167**(1-3):332-44. PMID: 19188020 DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.12.122
2. Bianco L, Caramia M, Giordani S. A bilevel flow model for hazmat transportation network design. *Transport Res Part C Emerg Technol*. 2009;**17**(2):175-96. DOI: 10.1016/j.trc.2008.10.001
3. Mearns K, Yule S. The role of national culture in determining safety performance: challenges for the global oil and gas industry. *Saf Sci*. 2009;**47**(6):777-85. DOI: 10.1016/j.ssci.2008.01.009
4. Oggero A, Darbra RM, Muñoz M, Planas E, Casal J. A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail. *J Hazard Mater*. 2006;**133**(1-3):1-7. PMID: 16298045 DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.05.053
5. Aven T. Safety is the antonym of risk for some perspectives of risk. *Saf Sci*. 2009;**47**(7):925-30. DOI: 10.1016/j.ssci.2008.10.001
6. Zio E. An introduction to the basics of reliability and risk analysis. Hackensack, NJ: World Scientific; 2007.
7. Arabian-Hoseynabadi H, Oraee H, Tavner PJ. Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines. *Int J Electrical Power Energy Syst*. 2010;**32**(7):817-24. DOI: 10.1016/j.ijepes.2010.01.019
8. Feili HR, Akar N, Lotfizadeh H, Bairampour M, Nasiri S. Risk analysis of geothermal power plants using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) technique. *Energy Conversion Manag*. 2013;**72**:69-76. DOI: 10.1016/j.enconman.2012.10.027
9. Trafialek J, Kolanowski W. Application of failure mode and effect analysis (FMEA) for audit of HACCP system. *Food Con*. 2014;**44**:35-44. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.03.036
10. Omidvari M, Mansouri N, Nouri J. A pattern of fire risk assessment and emergency management in educational center laboratories. *Saf Sci*. 2015;**73**:34-42. DOI: 10.1016/j.ssci.2014.11.003
11. Yousefi S, Alizadeh A, Hayati J, Baghery M. HSE risk prioritization using robust DEA-FMEA approach with undesirable outputs: a study of automotive parts industry in Iran. *Saf Sci*. 2018;**102**:144-58. DOI: 10.1016/j.ssci.2017.10.015
12. Kleindorfer PR, Saad GH. Managing disruption risks in supply chains. *Product Operat Manage*. 2005;**14**(1):53-68. DOI: 10.1111/j.1937-5956.2005.tb00009.x
13. Adhitya A, Srinivasan R. Dynamic simulation and decision support for multisite specialty chemicals supply chain. *Ind Eng Chem Res*. 2010;**49**(20):9917-31. DOI: 10.1021/ie100170j
14. Laínez JM, Puigjaner L. Prospective and perspective review in integrated supply chain modelling for the chemical process industry. *Curr Opin Chem Eng*. 2012;**1**(4):430-45. DOI: 10.1016/j.coche.2012.09.002
15. Li YZ, Hu H, Huang DZ. Developing an effective fuzzy logic model for managing risks in marine oil transport. *Int J Ship Transport Logistics*. 2013;**5**(4-5):485-99. DOI: 10.1504/IJSTL.2013.055286
16. Peng M, Peng Y, Chen H. Post-seismic supply chain risk management: a system dynamics disruption analysis approach for inventory and logistics planning. *Computs Oper Res*. 2014;**42**(2014):14-24. DOI: 10.1016/j.cor.2013.03.003
17. Radivojević G, Gajović V. Supply chain risk modeling by AHP and Fuzzy AHP methods. *J Risk Res*. 2014;**17**(3):337-52. DOI: 10.1080/13669877.2013.808689
18. Liu LP, Li SX, Fan TJ, Chang XY. Transportation risk assessment of chemical industry supply chain based on a dual model. *Proc Environ Sci*. 2011;**11**:393-7. DOI: 10.1016/j.proenv.2011.12.063
19. Kazantzi V, Kazantzis N, Gerogiannis VC. Risk informed optimization of a hazardous material multi-periodic transportation model. *J Loss Prev Proc Ind*. 2011;**24**(6):767-73. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.05.006
20. Pradhananga R, Taniguchi E, Yamada T, Qureshi AG. Bi-objective decision support system for routing and scheduling of hazardous materials. *Soc Econ Plan Sci*. 2014;**48**(2):135-48. DOI: 10.1016/j.seps.2014.02.003
21. Bronfman A, Marianov V, Paredes-Belmar G, Lüer-Villagra A. The maximin HAZMAT routing problem. *Eur J Operat Res*. 2015;**241**(1):15-27. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.08.005
22. Forigua J, Lyons L. Safety analysis of transportation chain for dangerous goods: a case study in Colombia. *Transport Res Proc*. 2016;**12**:842-50. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.02.037
23. Yang Q, Chin KS, Li YL. A quality function deployment-based framework for the risk management of hazardous material transportation process. *J Loss Prev Proc Ind*. 2018;**52**:81-92. DOI: 10.1016/j.jlp.2018.02.001
24. Gul M, Guneri AF, Nasirli SM. A fuzzy-based model for risk assessment of routes in oil transportation. *Int J Environ Sci Technol*. 2019;**16**(8):4671-86. DOI: 10.1007/s13762-018-2078-z
25. Ghaleh S, Omidvari M, Nassiri P, Momeni M, Lavasani SM. Pattern of safety risk assessment in road fleet transportation of hazardous materials (oil materials). *Saf Sci*. 2019;**116**:1-2. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.039
26. Jabbari M, Atabi F, Ghorbani R. Key airborne concentrations of chemicals for emergency response planning in HAZMAT road transportation-margin of safety or survival. *J Loss Prev Proc Ind*. 2020;**65**:104139. DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104139
27. Ferrio J, Wassick J. Chemical supply chain network optimization. *Comput Chem Eng*. 2008;**32**(11):2481-504. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2007.09.002
28. You F, Wassick JM, Grossmann IE. Risk management for a global supply chain planning under uncertainty: models and algorithms. *AIChE J*. 2009;**55**(4):931-46. DOI: 10.1002/aic.11721
29. Tong K, Feng Y, Rong G. Planning under demand and yield uncertainties in an oil supply chain. *Ind Eng Chem Res*. 2012;**51**(2):814-34. DOI: 10.1021/ie200194w
30. Laínez JM, Puigjaner L, Reklaitis GV. Financial and financial engineering considerations in supply chain and product development pipeline management. *Comput Chem Eng*. 2009;**33**(12):1999-2011. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2009.06.025
31. Carneiro MC, Ribas GP, Hamacher S. Risk management in the oil supply chain: a CVaR approach. *Ind Eng Chem Res*. 2010;**49**(7):3286-94. DOI: 10.1021/ie901265n
32. Oliveira F, Hamacher S. Optimization of the petroleum product supply chain under uncertainty: a case study in northern Brazil. *Ind Eng Chem Res*. 2012;**51**(11):4279-87. DOI: 10.1021/ie2013339
33. European agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road. The Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR). Available at: URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/adr/adr2015/ADR2015e_WEB.pdf ; 2005.
34. Omidvari M, Nourmoradi H, Nouri J, Shamaii A. Presenting the pattern of occupational and environmental health risk assessment in oil products transportation. *Health Syst Res*. 2013;**9**(2):177-87.
35. Benekos I, Diamantidis D. On risk assessment and risk acceptance of dangerous goods transportation through road tunnels in Greece. *Saf Sci*. 2017;**91**:1-10. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.07.013
36. Jabbari M, Khodaparast E, Sadri K, Kavousi A. A survey on hazardous materials accidents during road transport in Iran. *Iran Occup Health*. 2014;**11**(5):30-42.
37. Habibi A, Sarafrazi A, Izadyar S. Delphi technique theoretical framework in qualitative research. *Int J Eng Sci*. 2014;**3**(4):8-13.
38. Benekos I, Diamantidis D. On risk assessment and risk acceptance of dangerous goods transportation through road tunnels in Greece. *Saf Sci*. 2017;**91**:1-10. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.07.013
39. Chang DY. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *Eur J Operat Res*. 1996;**95**(3):649-55. DOI: 10.1016/0377-2217(95)00300-2

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.24]