# ارائه الگوی جامع مدیریت ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران

**علیرضا میرمحمدصادقی** : عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

**هادی آب نیکی*:** دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

**حسینعلی حسن پور** : عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع) ، تهران، ایران.

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۱۰/۲۶ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۱۱/۱

## چکیده

شتاب توسعه صنعتی به خصوص در کشورهای در حال توسعه، افزایش میزان حمل و نقل مواد خطرناک و به تبع آن افزایش خطرات و حوادث را به همراه داشته که گاهی این خطرات آمیخته با شرایط بحرانی نیز می باشند که موجب پیچیده تر شدن شرایط و سخت تر شدن فرایند مدیریت ریسک می گردد. هدف از این مقاله ارائه مدلی است که ضمن سهولت استفاده دارای جامعیت کافی برای شناسایی و ارزیابی دقیق اجزاء مدیریت ریسک در شرایط پیچیده بحرانی باشد. این مدل از چهار گام شناسایی، تجزیه و تحلیل، ارزیابی و کنترل تشکیل شده و از ابزارهایی مانند پویایی شناسی و AHPفازی استفاده شد و در یک نمونه حمل و نقل هیدرازین در شرایط جنگی پیاده سازی شد. در مرحله شناسایی، ۸ معیار و ۴۶ زیرمعیار شناسایی شد. در ارزیابی ریسک محدودیت های مواجهه با شرایط بحران در تعیین حدود قابل قبول مورد توجه قرار گرفت. در مرحله تجزیه و تحلیل ریسک، ضمن معرفی فاکتورهای تصمیم گیری در شرایط بحران، معیارها و زیرمعیارها با AHPفازی وزن دهی گردید که مشخص شد چگالی جمعیتی و امکانات پدافندی بیشترین اهمیت را در ریسک حمل و نقل مواد خطرناک داشته و پس از آن زیرمعیارهای مرتبط با راننده، اهمیت بسزایی دارند. در نهایت، ضمن ارائه طرح ریزی کنترل ریسک، راههای کاهش ریسک به حد قابل قبول، مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله میزان اثرگذاری هر زیرمعیار در ریسک کل محاسبه و لحاظ گردید.

**کلمات کلیدی:** حمل و نقل مواد خطرناک، AHPفازی، پویایی شناسی سیستم، بحران

# A Comprehensive Risk Management Framework for Transport of Hazardous Materials in the crisis

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

## Abstract:

Acceleration of industrial development, especially in developing countries, has led to an increase in the transportation of hazardous materials and, consequently, an increase in hazards and accidents, which are sometimes combined with critical conditions that complicate the situation and The risk management process becomes more difficult. The purpose of this paper is to provide a model that is easy to use and comprehensive enough to identify and accurately assess the components of risk management in complex critical situations. This model consisted of four steps of identification, analysis, evaluation and control and used tools such as system dynamics and fuzzy AHP and was implemented in a hydrazine transport sample in war conditions. In the identification stage, 8 criteria and 46 sub-criteria were identified. In the risk assessment phase, the limitations of dealing with crisis situations were considered in determining acceptable limits. In the risk analysis stage, while introducing decision factors in crisis situations, criteria and sub-criteria were weighted with fuzzy AHP, it was found that population density and defense facilities are the most important in the risk of transporting hazardous materials, followed by driver-related sub-criteria. Finally, while presenting risk control planning, ways to reduce risk to an acceptable level were examined. At this stage, the effectiveness of each sub-criterion of total risk was calculated and taken into account

**Key words:** Transport Hazardous materials, Fuzzy AHP,SD,Crisis

[1] *Associate Professor in Industrial Engineering, University of Imam Hussein, Tehran, Iran.*

[2] *PhD Student in Industrial Engineering, University of Imam Hussein, Tehran, Iran.*

[3] *Assistant Professor in Industrial Engineering, University of Imam Hussein, Tehran, Iran.*

**مقدمه**

نمونه های زیادی از حوادث مانند بوپال (۱۹۸۴)، پایپر آلفا ( ۱۹۸۸) و چرنوبیل (۱۹۸۶) وجود دارند که نقش انسان، عوامل تکنیکی و فاکتورهای سازمانی در این حوادث فاجعه بار مشخص شده است. [۱] درسی که از این حوادث گرفته می شود این است که سیستم های صنعتی پیچیدگی بالایی داشته و از مجموعه ای از عناصر تشکیل شده اند. ماهیت ارتباطات بین این عناصر، سطح معینی از رفتار غیرقابل پیش بینی در طول زمان را به این سیستم ها وارد می کند. [۲,۳] یکی از فرایندهایی که همواره در معرض حوادث و خطرات مرتبط قرار دارد، فرایندهای مرتبط با حمل و نقل در مواد خطرناک می باشد. از طرفی میزان جابه جایی سالانه محموله های خطرناک معادل چهار میلیارد تن در دنیا برآورد شده است. بنابراین، جدای از نقش و اهمیت اقتصادی جابه جایی محموله های خطرناک در کشورها این مقوله نگرانی هایی را نیز در مورد صدمات به انسانها و طبیعت به وجود آورده است. [۴] از طرفی گاهی سوانح حمل و نقل مواد خطرناک منجر به ایجاد شرایط بحرانی می شود و گاهی نیاز است که حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران اتفاق بیفتد. بحران وضعیتی است که در آن، منافع حیاتی یک جامعه یا سازمان به طور ناگهانی با پیامدهای فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی به طور قابل توجهی تهدید می شود. به طور معمول یک وضعیت بحرانی شامل عدم اطمینان در مورد اتفاقات، علل آن و پیامدها و نتایج آن می شود. در گذشته تحقیقات زیادی در حوزه مدیریت ریسک حمل و نقل مواد خطرناک انجام شده است، لیکن مدیریت ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران امری چالش برانگیز است.احتمال حادثه در فرایندهای حمل و نقل مواد خطرناک به وضعیت جاده و مواد حمل شده و بسیاری از فاکتورهای دیگر بستگی دارد. [۵]پنگ و همکارانش برای تجزیه و تحلیل رفتار سیستم امدادی بحران در بلایای زنجیره تامین، بوسیله شبیه سازی عدم قطعیت های مرتبط با شبکه جاده ای اطلاعات تاخیری، یک مدل پویایی شناسی سیستم معرفی نمودند. [۶]

گاجویس و همکارش رویکردهایی را بر اساس کاربرد AHPو AHPفازی به عنوان ابزاری برای رتبه بندی ریسک زنجیره تامین پیشنهاد دادند.[۷] با در نظر گرفتن ویژگی های محصولات شیمیایی، یک مدل دوگانه توسط لیو و همکارانش برای تجزیه و تحلیل هر دو ریسک حمل و نقل داخلی و خارجی ایجاد شد. [۸] شریعت و همکارانش یک مدل احتمالی چند متغیره ارائه نمودند که در آن زمان سفر و جمعیت آسیب پذیر در اطراف راه،ه به عنوان متغیرهای تصادفی به کار گرفته شده اند. [۹]مونپارا پوسورن و همکاران چارچوبی برای حمل ونقل مواد زائد خطرناک، با توجه به توسعه پایدار و بر پایه سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)ارائه نمودند. [۱۰] ریلی و همکارانش برای تعیین بهترین مسیر برای حمل و نقل مواد خطرناک یک مدل دوسطحی مبتنی بر تئوری بازی ها ارایه نمودند که در آن مقامات محلی، شرکتهای حمل ونقل و تروریستها سه طرف مدل سه جانبه تئوری بازی را تشکیل دادند. [۱۱] پرادهانانگا و همکارانش یک مدل ریاضی برای مسأله مسیریابی و زمانبندی حمل و نقل مواد خطرناک با پنجره زمانی با هدف کمینه سازی هزینه های حمل و نقل و ریسک مرتبط با حمل و نقل ارایه دادند. [۱۲] برونفمن و همکارانش مدل متفاوتی برای مسأله مسیریابی حمل و نقل مواد خطرناک ارایه دادند. آنها این مسأله را با اهداف به حداکثر رساندن حداقل فاصله اقلیدسی بین مسیر و نزدیکترین مرکز آسیب پذیر و حداقل ساختن هزینه های حمل و نقل فرمول بندی کردند. [۱۳] لی در تحقیق خود، رابطه بین فرکانس بازرسی نقص ریلی اولتراسونیک و خطر حمل و نقل مواد خطرناک راه آهن را اندازه گیری نمود و یک مدل بهینه سازی پارتو برای تعیین بهترین فرکانس بازرسی سالانه در بخش های مختلف مسیر با سطوح مختلف ریسک را توسعه داد. [۱۴] گال و همکارنش یک مدل ارزیابی ریسک مبتنی بر اعداد فازی برای مسیرهای یک شرکت حمل و نقل نفت ارائه نمودند. فرآیند سلسله مراتب تحلیلی فازی، برای وزن دهی ۹ معیار مرتبط با ویژگی های جاده ای مورد استفاده قرار گرفت. [۱۵] قاله و همکارنش با هدف ارائه الگوی ارزیابی خطر ایمنی حمل و نقل ناوگان جاده ای مواد خطرناک و طبقه بندی کامیون ها 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)شناسایی و با اجماع نظر متخصصان نهایی شدند. پس از آن ، فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)به منظور وزن دهی فاکتورها، استفاده شد. [۱۶] جباری و همکارانش حاشیه ایمن و حاشیه بقاء حمل و نقل مواد خطرناک را با استفاده از روش های ALOHAو PHASTو شاخص تماس شیمیایی (CEI)تعیین نمودند. [۱۷]

فابیانو و همکارانش برای حمل و نقل مواد خطرناک در بزرگراههای ایتالیا ، مدل تعیین بهترین مکان برای ارایه خدمات امدادرسانی را توسعه دادند. [۱۸] همچنین شریعت و همکارانش یک مدل احتمالی چند متغیره ارایه نمودند که در آن زمان سفر و جمعیت آسیب پذیر در اطراف راه به عنوان متغیرهای تصادفی به کار گرفته شده و مسایل پس از بروز سوانح نظیر فوریتهای امدادی بررسی گردید. [۱۹] چاکرابارتی و همکاران ارزیابی مسیر مبتنی بر ریسک کل را با استفاده از تحلیل دو بزرگراه در هند انجام دادند که این بررسی در برنامه ریزی های مدیریتی پس از وقوع حادثه و مکان یابی استقرار تجهیزات و مراکز امدادرسانی تاثیرگذار است. [۲۰] حسینی و همکارانش ضمن ارائه یک چارچوب تحلیلی با استفاده از معیاری به عنوان اندازه گیری خطر، بهترین مسیر عبوری حمل و نقل مواد خطرناک را مشخص نمودند. [۲۱] جینجر و همکارانش ضمن ارائه تعریف جدیدی از اندازه گیری ریسک ، مبتنی بر ادغام میزان فازی حادثه و قرار گرفتن در معرض جمعیت ، همراه با زمان حمل و نقل، مدلی از شبکه حمل و نقل کشور چین ارائه نموده و آن را با الگوریتم ژنتیک حل نمودند. [۲۲] اویدی و همکارانش، ضمن بررسی شبه حادثه برخورد قطار حاوی بوتادین با قطار مسافربری در تیلبرگ سناریوهای مختلف ایجاد حادثه را بصورت کیفی بررسی نموده و درس آموخته هایی ارائه کردند. [۲۳] هرناندز و همکارانش یک رویکرد ترکیبی جدید مبتنی بر روش تجزیه و تحلیل درخت رویداد برای شبکه حمل و نقل جاده ای و راه آهن ارائه نمودند. [۲۴] هالچک به بررسی چگونگی تأثیر عوامل مختلف بر مقادیر ریسک و مسئله مسیریابی وسیله نقلیه خطرناک پرداخته و در مقاله خود مدل های مختلف ریسک با تمرکز ویژه بر مدلهای کلاسیک ریسک را مقایسه کردند. [۲۵]

در تحقیقات گذشته، عمدتاً یا جنبه خاصی از مدیریت ریسک مورد بررسی قرار گرفته و یا مدل جامع مدیریت ریسک برای شرایط عادی ارائه شده است. برخی از تحقیقات مانند مقاله شریعت و همکارانش و مقاله فابیانو، شرایط امدادرسانی در هنگام وقوع سوانح را مورد بررسی قرار دادند. در واقع در این مقالات، وقوع حوادث حمل و نقل مواد خطرناک منجر به وقوع شرایط بحرانی شده و به تبع آن نویسندگان به دنبال مدلی برای یافتن بهترین زمان، هزینه و مدت سفر برای دستیابی به نیروهای امدادی هستند. در مقاله حاضر شرایط بحرانی به علل طبیعی و یا غیرطبیعی رخ داده و به علت اجتناب ناپذیر بودن حمل و نقل مواد خطرناک در این شرایط، در صدد شناسایی، ارزیابی و تجزیه و تحلیل عوامل موثر بر ریسک هستیم. در واقع هدف از این مقاله دستیابی به الگویی با روش استفاده آسان و سریع ( به علت اهمیت زمان در بحران) است که درک بهتری از شرایط پیچیده فراهم نموده و بتواند اجزای متعدد مدیریت ریسک را در این شرایط شناسایی و تحلیل کند. یکی از دلایل استفاده از روش پویایی شناسی سیستم در این مقاله نیز همین موضوع است.

## روش تحقیق و ابزار

این تحقیق در مجموع در ۷ گام انجام می شود. در گام اول معیارهای مرتبط با ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران (HTRFCs)و زیرمعیارهای مرتبط با ریسک حمل و نقل مواد خطرناک (Sub-HTRFCs)شناسایی می شوند. برای انکه شناسایی کامل و جامع باشد از چندین روش از جمله روش پویایی شناسی سیستم، تکنیک دلفی و تجزیه و تحلیل مطالعات گذشته استفاده می شود. پس از آن از روش AHP فازی برای وزن دار نمودن زیرمعیارهای شناسایی شده استفاده می شود. سپس ارزیابی ریسک به این نحو انجام می شود که ابتدا هر کدام از زیرمعیارها در طبقات جداگانه احتمال، شدت و ردیابی قرار می گیرند و جمع وزنی نرمالیزه شده آنها محاسبه می گردد پس از آن از ضرب سه عامل احتمال، شدت و ردیابی ریسک نهایی محاسبه شده و با مقادیر قابل قبول مقایسه می گردد و در نهایت اقدامات کنترلی ریسک ارائه می گردد. تصویر ۱ مراحل انجام مقاله را نشان می دهد.

### تعیین HTRFCs/ Sub-HTRFCs، معیارهای تصمیم گیری و ارائه الگوی ارزیابی ریسک مدل حمل و نقل مواد خطرناک

#### شناسایی و نهایی کردن HTRFCs/ Sub-HTRFCs

مراحل جمع آوری داده ها برای انتخاب HTRFCsو Sub-HTRFCsبه شرح زیر است:

الف- شناسایی HTRFCsو Sub-HTRFCsبر اساس گزارش حوادث جاده ای مرکز فرماندهی و کنترل ترافیک پلیس راه ناجا

ب- شناسایی HTRFCsو Sub-HTRFCsبر مبنای مبانی علمی، استانداردها، موافقتنامه حمل و نقل جاده‌ای کالا و محصولات خطرناک (ADR)، قوانین حمل و نقل مواد سازمان ملل، آئین نامه های حمل و نقل مواد خطرناک ایران [۲۶,۲۷,۲۸,۲۹]

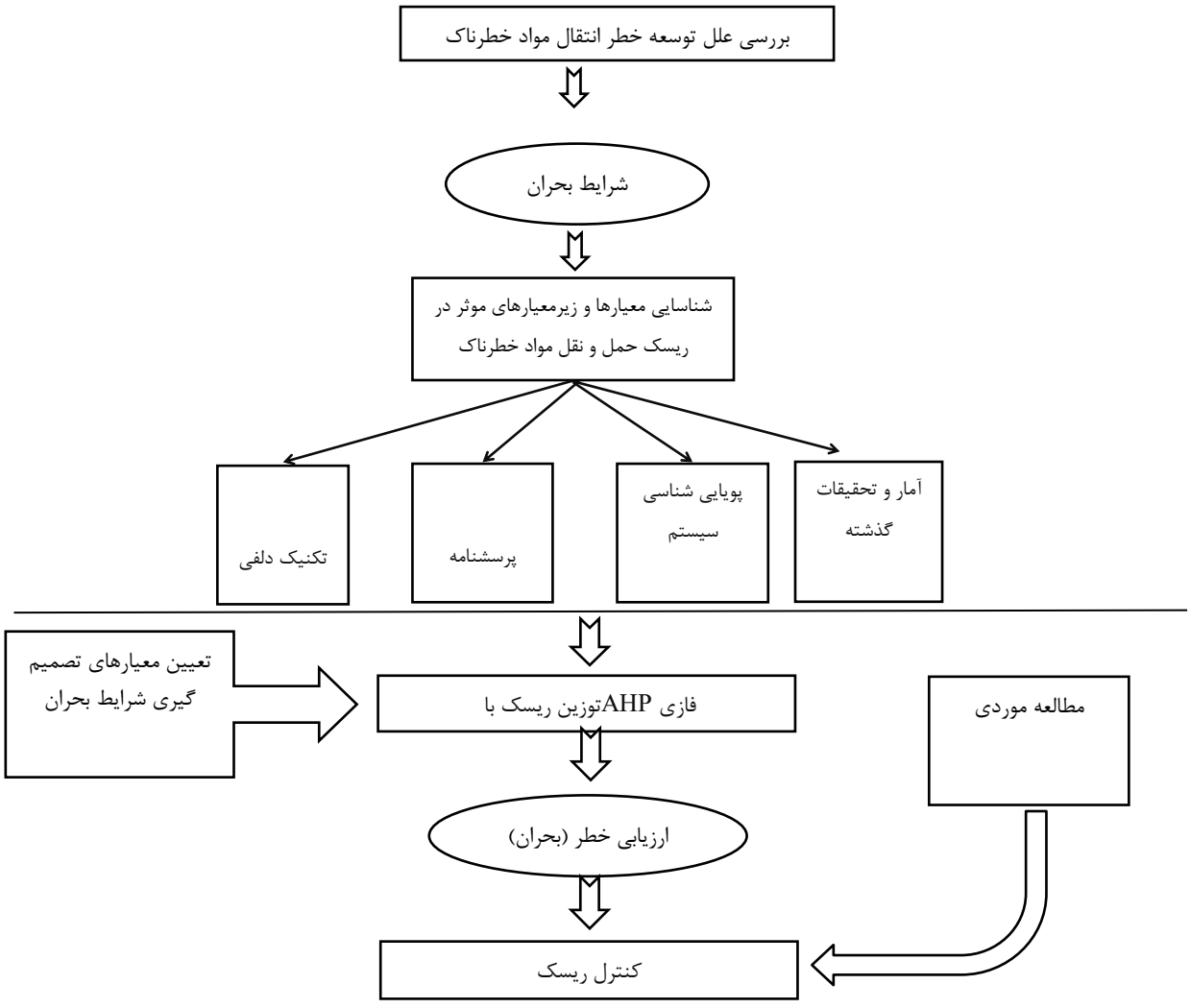
ج- شناسایی HTRFCsو Sub-HTRFCsبر اساس تحقیقات و مطالعات گذشته

د- شناسایی HTRFCsو Sub-HTRFCsبا استفاده از پویایی شناسی سیستم به روش کیفی

و- تنظیم پرسشنامه غربالگری با مقیاس سه بعدی (بله، نه، بدون نظر)

ه- تکمیل HTRFCsو Sub-HTRFCsبا استفاده از تکنیک دلفی (به طوری که کارشناسان به اتفاق نظر برسند)

در ایران منابع اطلاعات عمومی در رابطه با حوادث حمل و نقل مواد خطرناک وجود ندارد، به همین دلیل جمع آوری داده ها باید از طریق بررسی گزارشات ثبت شده در فرم گزارش حوادث مرکز فرماندهی و کنترل ترافیک پلیس راه ناجا، روزنامه ها، مجلات و وب سایت های اینترنتی صورت پذیرد. جباری و همکارانش با بررسی آماری حوادث رخ داده در حمل و نقل مواد خطرناک در ایران، علل عمده وقوع حوادث مرتبط با حمل و نقل جاده ای مواد خطرناک را استخراج نمودند که عوامل انسانی بیش از ۵۰٪ را به خود اختصاص دادند که در این میان عدم رعایت مقررات راهنمایی و رانندگی ۳۸٪ نقش داشته است. فاکتورهای محیطی شامل وضعیت جاده وآب و هوا، بسته بندی، عامل وسیله نقلیه شامل عدم وجود وسایل حفاظتی، مستهلک بودن و عدم پایش وسیله نقلیه از دیگر عوامل شناسایی شده می باشند. [۳۰]




**تصویر ۱- مراحل انجام تحقیق**

تحقیقات گذشته در حوزه مدیریت ریسک حمل و نقل کالاهای خطرناک در بخش قبل به تفضیل مورد بررسی قرار گرفت و زیرمعیارهایی شناسایی گردید برای شناسایی *HTRFCs* و *Sub-HTRFCs* با توجه به ویژگی های مسیر حمل و نقل، علاوه بر ارجاعات ذکر شده، توافق نامه *ADR* و بررسی آمار گزارش سوانح، روش پویایی شناسی سیستم *(SD)* برای مسیرهای حمل و نقل مواد خطرناک مورد استفاده قرار گرفت. برای استفاده از ابزار *SD* و بررسی روابط علی در ریسک حمل و نقل مواد خطرناک جلسه ای با حضور ۲ نفر کارشناس ارشد *HSE* با ۱۰ سال تجربه کاری مرتبط با ایمنی حمل و نقل مواد خطرناک و ۱ نفر مهندس صنایع آشنا به فرایند پویایی شناسی سیستم و ۱ نفر کارشناس بحران تشکیل گردید. نتایج تحلیل کارشناسان در تصویر ۲ مشخص است. روابط علی شامل ۱ حلقه بازخوردی مثبت و ۶ حلقه بازخوردی منفی می باشد. طبق حلقه *R1* حوادث حمل و نقل مواد خطرناک منجر به ایجاد خسارت مالی در سیستم می گردد. خسارت های مالی خود سبب کاهش منابع مالی سازمان می گردد. کاهش منابع مالی، اجرای طرح های ایمنی و اقدامات پیشگیرانه در حوزه حمل و نقل مواد خطرناک را با چالش روبرو می کند که همین مسئله منجر به افزایش حوادث حمل و نقل مواد خطرناک خواهد شد. در حلقه تعادلی *B1* وقوع حوادث حمل و نقل منجر به افزایش شکاف بین تعداد حوادث رخ داده و تعداد مجاز تعریف شده آن در سازمان می گردد. در واقع سازمان یک حد قابل قبولی برای وقوع حوادث مدنظر قرار داده که افزایش وقوع حوادث، اختلاف مقدار واقعی و مقدار مرجع را بیشتر می کند. افزایش این اختلاف حساسیت سازمان را به این موضوع افزایش داده و پایش و بازرسی ها و به تبع آن پایش های آنلاین در حلقه *B2* افزایش یافته و رویدادهای منجر به حوادث کاهش می یابد. از طرفی این امر منجر به افزایش احتیاطات و ملاحظات در حلقه *B3* و در نتیجه آن ایجاد محدودیت های سرعت و کاهش رویدادها می گردد. علاوه بر آن افزایش اختلاف حوادث مرجع و واقعی در حلقه *B4* منجر به توجه بیشتر به الزامات قانونی و تلاش برای بهبود علائم کیفیت جاده و علائم ایمنی جاده و به تبع آن بهبود ایمنی جاده می گردد که این امر موجب کاهش رویدادهای منجر به حوادث می گردد. در حلقه *B5* افزایش اختلاف حوادث با مقدار مرجع، اطمینان به شرایط ایمنی موجود را کاهش داده و موجب تحریک به اقدامات اصلاحی و اجرای آن در حوزه های تجهیزات ایمنی، تعمیرات و نگهداری و الزامات ایمنی مواد خطرناک می گردد که این امر خود منجر به بهبود ایمنی وسیله نقلیه و کاهش رویدادها می گردد. در حلقه تعادلی *B6* نیز، افزایش حوادث حمل و نقل مواد خطرناک موجب افزایش افراد متاثر از این حوادث می گردد و در نتیجه توجه رسانه ها به این موضوع افزایش و در نتیجه تمرکز دولت و مدیران به این موضوع افزایش می یابد. افزایش نگرانی ها و دغدغه ها به این مسئله می تواند منجر به تصمیم برای بازنگری در مسیر حمل و نقل مواد خطرناک و کاهش افراد در معرض خطر گردد که همین مسئله منجر به کاهش ریسک اجتماعی می گردد.

در حلقه *R2* وقوع حوادث حمل و نقل مواد خطرناک می تواند منجر به تشدید بحران گردد. وقوع و یا تشدید بحران ممکن است اهداف با اولویت بالای سازمان را با تهدید مواجه کند و این مسئله خود موجب تغییر اولویت بندی اهداف می گردد. از طرفی محتمل است که این تغییر اولویت، موجب کاهش توجه مدیران به موضوع مدیریت ریسک حمل و نقل مواد خطرناک و در نتیجه کاهش اقدامات پیشگیرانه و به تبع آن افزایش ریسک و حوادث حمل و نقل مواد خطرناک شود. در حلقه تعادلی *B7* تغییر اولویت بندی اهداف منجر به توجه بیشتر به اهداف مرتبط با کانون بحران می گردد که این مسئله اقدامات پدافندی در حوزه بحران را افزایش داده که می تواند منجر به کاهش حوادث شود.

پس از شناسایی *HTRFCs* و *Sub-HTRFCs* از روشهای مرجع و روش *SD*، برای اولین بار ۲۹ مورد *Sub-HTRFCs* و ۶ مورد *HTRFCs* تعیین شد. سپس، برای اعمال نظرات کارشناسان و افزایش دقت *HTRFCs* و *Sub-HTRFCs* شناسایی شده، یک پرسشنامه غربالگری تهیه شد و با کمک روش دلفی ، *HTRFCs* و *Sub-HTRFCs* نهایی انتخاب شدند.

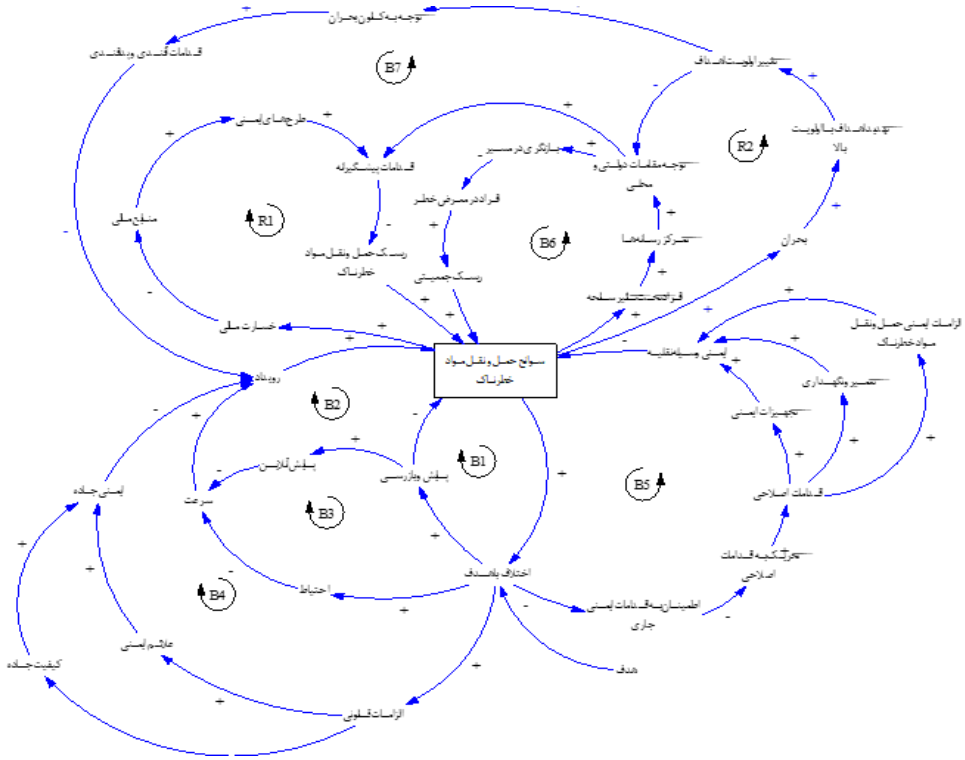
برای تعیین جامعه آماری، تعداد کارشناسان با استفاده از آزمون کوکران ۹.۷ محاسبه شد و سطح اطمینان ۰.۹۵ در نظر گرفته شد، در حالیکه برای دستیابی به سطح بالاتری از اعتماد ۱۰ نفر انتخاب شدند. تمام کارشناسان از وزارت بهداشت و وزارت نفت و وزارت دفاع در نظر گرفته شدند. کارشناسان دارای حداقل ۵ سال تجربه کار مفید مرتبط با حمل و نقل مواد خطرناک بوده و کاملا با سیستم حمل و نقل جاده ای مواد خطرناک آشنا بودند. این افراد دارای مدرک لیسانس و فوق لیسانس در زمینه های *HSE*، ایمنی و مهندسی حمل و نقل و بحران می باشند. لازم به ذکر است، طبق تحقیق حبیبی و همکارانش، ۱۰ کارشناس با تخصص های مختلف برای انجام تکنیک دلفی ایده آل هستند [۳۱]. تیم معرفی شده از کارشناسان، به منظور دستیابی به دقت بالاتر و هماهنگی در حصول نتایج کارآمد، در طول مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند. علاوه بر این، نظرات رانندگان با تجربه در زمینه حمل و نقل مواد خطرناک (با بیش از ۱۰ سال تجربه) برای تصمیم گیری بهتر کارشناسان مورد استفاده قرار گرفت. پس از ارسال پرسشنامه غربالگری تهیه شده و جمع آوری تمام نظرات، در نهایت پس از سه دور دریافت نظر متخصصان، تمامی نظرها براساس میانگین کل به دست آمد. در نهایت، ۴۶ مورد *Sub-HTRFCs* و ۸ مورد *HTRFCs* انتخاب شدند که به شرح جدول ۱ می باشند.

**شناسایی و نهایی کردن معیارهای تصمیم گیری**

برای توسعه مدل تصمیم گیری و ارزیابی *HTRFCs* و *Sub-HTRFCs*، معیارهای تصمیم گیری به شرح زیر می باشد:

- قابلیت اندازه گیری - میزان اثرگذاری - تکرارپذیری- نقص بالقوه - زمان اثرگذاری- موقعیت اثرگذاری

باید توجه داشت که برای تعیین معیارهای تصمیم گیری، مراجع موجود(۲۷,۳۲) مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت، با استفاده از جلسات طوفان فکری، توافق نظرات کارشناسان به دست آمد و معیارهای تصمیم گیری نهایی انتخاب شدند. در این جلسات، استقلال *HTRFCs* و *Sub-HTRFCs* و معیارها نیز صحه گذاری شد. مدل تصمیم گیری این مطالعه بر اساس معیارهای تصمیم گیری و *HTRFCs* و *Sub-HTRFCs* تعریف شده در تصویر ۳ مشخص است. روابط مستقل در میان تمام معیارها مورد توجه قرار گرفته است، تمام *HTRFCs* و *Sub-HTRFCs*-مطابق با نظر کارشناسان و بر اساس فرض این تحقیق می باشد لازم به ذکر است مسئله زمان در شرایط بحران از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. به همین دلیل معیارهای موقعیت اثرگذاری و زمان اثرگذاری در مدل تصمیم گیری گنجانده شد.



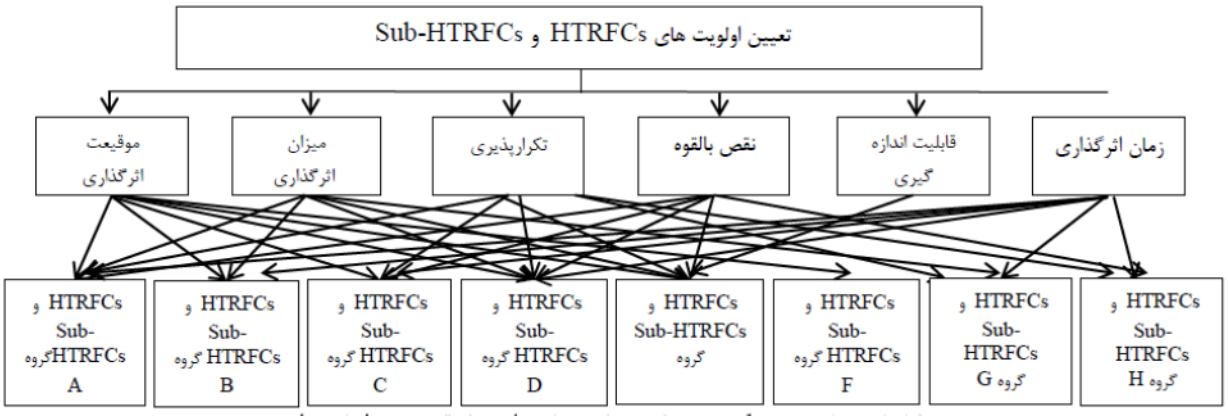

**تصویر ۲- نمودار روابط علی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران**

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

به منظور حل مشکلات در استفاده از ارزش های زبانی و غلبه بر این ابهام، روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی *(FAHP)* معرفی شد. [۳۳] این روش به طور گسترده ای، در ارائه یک الگوی مفهومی همراه با استفاده از مدل های ارزیابی ریسک، مورد استفاده قرار می گیرد. در این راستا، امیدواری و همکاران ترکیبی از *AHP*فازی و *FMEA*را برای ارائه یک الگوی مفهومی برای ارزیابی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک مورد استفاده قرار دادند. [۲۲]در سال ۲۰۱۰ نوری و همکاران به منظور کاهش عدم قطعیت ها و ارائه یک الگوی مفهومی جامع ایمنی، از روش *AHP*، به ویژه در محیط فازی در ترکیب با روش های ارزیابی ریسک، استفاده کردند. [۳۴] در سال ۲۰۱۵ لی و همکاران مدل ارزیابی جامع فازی برای خطر نشت روغن ارائه نمودند. در این مدل ترکیبی از *AHP*، منطق فازی و روش ارزیابی متخصصان برای تعیین وزن هر عامل و افزایش توانایی تصمیم گیری مدیران در شرایط خطرناک مورد استفاده قرار گرفت. [۳۵]در تحقیق حاضر از روش چانگ برای وزن دار کردن زیرمعیارها بر مبنای *AHP*فازی استفاده می شود. [۳۶] برای یافتن وزن های فازی ابتدا باید ارزش هر معیار را مطابق با رابطه ۱ بدست آورد. که در این رابطه i *شماره* سطر و j *شماره* ستون می باشد. $M_{gi}^{j}$ اعداد فازی مثلثی ماتریس های مقایسه زوجی هستند. بطور کلی اگر $M_1$ و $M_2$ دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی $M_2$ نسبت به $M_1$ بصورت رابطه ۲ تعریف می شود.

**جدول ۱- معیارها و زیرمعیارهای موثر شناسایی شده در ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران**

| کد | HTRFCs | کد | Sub- HTRFCs | کد | HTRFCs | کد | Sub-HTRFCs | کد | HTRF Cs | کد | Sub-HTRFCs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ac | راننده | Ac1 | شرایط فیزیولوژیکی | Cc | جاده | Cc3 | شیب جاده | Dc | ماده خطرناک | Dc4 | خطر امواج رادیواکتیو |
| | | Ac2 | شرایط روانی | | | Cc4 | یک طرفه یا دو طرفه | | | Dc5 | نوع بسته بندی |
| | | Ac3 | تجربه و مهارت | | | Cc5 | تونل | Ec | محیط (آب و هوا) | Ec1 | بارانی |
| | | Ac4 | سرعت | | | Cc6 | پل | | | Ec2 | مه آلود |
| | | Ac5 | مقررات رانندگی | | | Cc7 | تقاطع | | | Ec3 | برف/تگرگ |
| | | Ac6 | دانش و مهارت مرتبط با بحران | | | Cc8 | روشنایی جاده | | | Ec4 | روز یا شب |
| Bc | وسیله نقلیه | Bc1 | سن خودرو | | | Cc9 | علائم ایمنی | | | | |
| | | Bc2 | نوع تانکر خودرو | | | Cc10 | حجم عبور و مرور | Fc | چگالی جمعیتی | Fc1 | شهری |
| | | Bc3 | تعمیر و نگهداری | | | Cc11 | تجهیزات نشانگر | | | Fc2 | روستایی |
| | | Bc4 | نمایشگر و تجهیزات ثبت وقایع | | | Cc12 | مسیر ویژه اضطراری | Gc | مدیریت | Gc1 | نظارت بر تجهیزات |
| | | Bc5 | تجهیزات ایمنی | | | Cc13 | فاصله از کانون بحران | | | Gc2 | الزامات قانونی و مدیریت سیستم |
| | | Bc6 | تجهیزات ایمنی | | | Cc14 | فاصله از مراکز امدادرسانی | | | Gc3 | مدیریت شرایط اضطراری |
| | | Bc7 | امکانات ارتباطی | | | Cc15 | فاصله از مراکز حساس | Hc | پدافند | Hc1 | قابلیت استتار |
| Cc | جاده | Cc1 | کیفیت جاده | Dc | ماده خطرناک | Dc1 | مقدار ماده خطرناک | | | Hc2 | قابلیت اختفا |
| | | Cc2 | انحنای جاده | | | Dc2 | کلاس خطر ماده | | | Hc3 | امکانات پدافندی |
| | | | | | | Dc3 | سمیت ماده | | | Hc4 | مسیرهای جایگزین |




**تصویر ۳- مدل تصمیم گیری ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران**

از طرف دیگر میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از $K$عدد فازی مثلثی دیگر مطابق با رابطه ۳ بدست می آید. بنابراین برای محاسبه وزن نهایی پس از بدست آوردن اندازه بزرگی $Si$ها نسبت به هم، مقدار مینیمم آن را بدست آورده و در نهایت وزن ها را نرمالیزه می کنیم.

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

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

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

برای محاسبه نرخ سازگاری وزن های تعیین شده در این تحقیق از روش گوگوس و بوچر استفاده می گردد.

## تئوری و محاسبات

### ارائه الگوی ارزیابی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

در ابتدا برای اطمینان از اینکه وزن های محاسبه شده از روش FAHPبالاتر از ۱ قرار می گیرد، این وزن ها را برای همه Sub-HTRFCsنرمالیزه می کنیم. اگر باز هم وزن زیرفاکتوری پایین تر از ۱ بود، آن را در محاسبات ۱ درنظر می گیریم. پس از آن، تمام Sub-HTRFCsتعریف شده به بخش های شدت، احتمال و ردیابی (به عنوان عوامل خطر) طبقه بندی می شوند. توجه شود که برخی از Sub-HTRFCsمی توانند یک، دو یا سه عامل خطر را تحت تاثیر قرار دهند. برای طبقه بندی Sub-HTRFCsدر سه بخش (شدت، احتمال و ردیابی ریسک)، اجماع کارشناسان با مشارکت در جلسات طوفان فکری انجام شد. تمام Sub-HTRFCsکه در سه عامل شدت، احتمال و ردیابی ریسک تعریف شده است، در جدول ۲ مشخص است. پس از این طبقه بندی، وزن Sub-HTRFCsبه دست آمده از روش FAHPبرای بخش های شدت، احتمال و ردیابی (تجزیه لایه های کنترل) مورد استفاده قرار می گیرد.

جدول ۲- طبقه بندی پارامترها در سه فاکتور شدت، احتمال و ردیابی (در شرایط بحران)

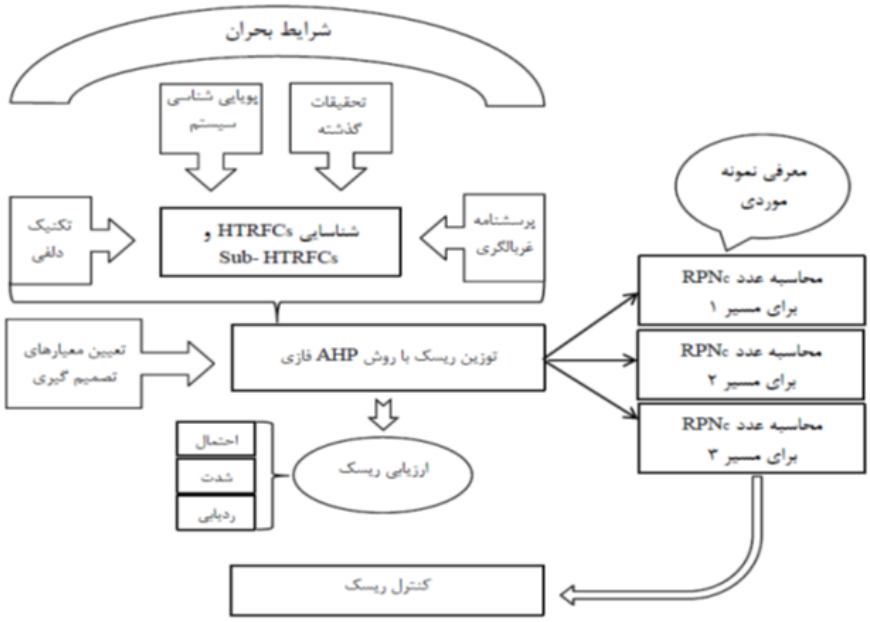
| پارامترهای موثر در فاکتور احتمال ($P_R$) | پارامترهای موثر در فاکتور شدت ($S_R$) | پارامترهای موثر در فاکتور ردیابی ($D_R$) |
|---|---|---|
| Ac1, Ac2, Ac3, Ac4, Ac5,Ac6 | Ac1, Ac2, Ac3, Ac4, Ac5,Ac6 | Ac6 |
| Bc1, Bc2, Bc3, Bc4, Bc5,Bc6 | Bc1, Bc2, Bc3, Bc5,Bc6,Bc7 | Bc2, Bc3, Bc4,Bc6 |
| Cc1, Cc2, Cc3, Cc4, Cc5, Cc6, Cc7, Cc8, Cc9, Cc10, Cc11,Cc13 | Cc2, Cc3, Cc4, Cc5, Cc10,Cc12,Cc13,Cc14,Cc15 | Cc8, Cc11 |
| Dc5 | Dc1, Dc2, Dc3, Dc4, Dc5 | Dc5 |
| Ec1, Ec2, Ec3, Ec4 | | Ec1, Ec2, Ec3, Ec4 |
| Fc1, Fc2 | Fc1, Fc2 | |
| Gc1, Gc2,Gc3 | Gc1, Gc2,Gc3 | Gc1, Gc2,Gc3 |
| Hc1,Hc2,Hc3,Hc4 | Hc3 | Hc3 |

اهمیت عوامل خطر (شدت، احتمال و ردیابی) می توانند برای سازمان ها و کشورها متفاوت باشد. مقدار آن در یک ماتریس مقایسه ۳ * ۳ با توجه به معیار اهمیت از نظر کارشناسان تعیین می شود. لازم به ذکر است که $S_{RouteC}$ ، $P_{RouteC}$ و $D_{RouteC}$ به ترتیب مقدار شدت، احتمال و ردیابی در ارزیابی خطر برای مسیر حمل و نقل مواد منفجره (مطالعه موردی) هستند و هر یک برابر با مجموع وزن *Sub-HTRFCs* در سه بخش شدت، احتمال و ردیابی است که از طریق ممیزی مسیر و چک لیست توسعه یافته تعیین می شود. منطق محاسبه وزن *Sub-HTRFs* در مطالعه مورد (بررسی مسیر) بر اساس ممیزی و وجود یا عدم وجود پارامتر ارزیابی *Sub-HTRFCs* است. اگر پارامتر وجود نداشته باشد، وزن آن برداشته شده و به ادامه محاسبات وارد می شود.

الگوی ارزیابی ریسک در این مطالعه بر اساس رویکرد معادله (۴) مشخص است. در اینجا، شماره اولویت خطر( $RPN_c$) با ضرب مقدار شدت($S_{RouteC}$)، احتمال($P_{RouteC}$)و ردیابی ($D_{RouteC}$)اندازه گیری می شود. تصویر ۴ الگوی مدیریت ریسک حمل و نقل مواد خطرناک را نشان می دهد.

$$\left(RPN_c = S_{RouteC}^{W_s} \times P_{RouteC}^{W_p} \times D_{RouteC}^{W_d}\right)$$

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




تصویر ۴- مدل مدیریت ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران

به منظور تعیین سطح ریسک، بر اساس اجماع کارشناسان، تا ۱۵ درصد انحراف از حداقل سطح $RPN_C$ به عنوان مقدار قابل قبول و انحراف ۶۰ درصد از حداکثر $RPN_C$ به عنوان حد قابل تحمل خطر در نظر گرفته شد. توجه شود که ارزش سطوح ریسک برای سازمان های مختلف باید براساس میزان صلاحیت هر سازمان محاسبه شود. جدول ۳ تصمیم گیری در مورد سطوح ریسک ارائه می دهد. باید توجه داشت که در شرایط بحران به علت وجود محدودیت ها و وضعیت خاص، شرایط پذیرش ریسک بالاتر می رود و آستانه تحمل ریسک عدد بالاتری است.

**جدول ۳- سطح ریسک تصمیم گیری حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران**

| ردیف | عدد اولویت ریسک ($RPN_C$) | سطح ریسک |
|---|---|---|
| ۱ | $0 < RPN_C \leq 0.15\ RPN_{C(max)}$ | قابل قبول |
| ۲ | $0.15\ RPN_{C(max)} < RPN_C \leq 0.6\ RPN_{C(max)}$ | قابل تحمل |
| ۳ | $0.6\ RPN_{C(max)} < RPN_C$ | غیر قابل تحمل |

### وزن دهی زیرمعیارها

جهت وزن دهی معیارها و زیرمعیارهای موثر در حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران از نظرات ۱۰ نفر از متخصصان مسلط به موضوع استفاده گردید. متخصصان دارای مدرک تحصیلی فوق لیسانس و دارای حداقل ۱۰ سال سابقه کاری در زمینه حمل و نقل مواد خطرناک بوده و تحصیلات آنها در حوزه HSEمی باشد. به نظر می رسد برای وزن دهی فاکتورهای مرتبط با موضوع تحقیق، رشته های تحصیلی ایمنی و بهداشت صنعتی که دارای سابقه کاری در همین زمینه باشند، بهترین گزینه است. به هر ترتیب افراد انتخاب شده در این رشته تحصیلی علاوه بر تسلط کامل به همه جنبه های ریسک حمل و نقل مواد خطرناک، دارای تجربه کافی و عملی در زمینه مورد بحث می باشند. ضمن اینکه خبرگان برای تکمیل پرسشنامه روش AHP فازی از نظرات و تجربیات سایر افراد مرتبط اعم از رانندگان و تکنسین های حمل و نقل مواد خطرناک استفاده نمودند. پس از انجام نظرسنجی و تبدیل متغیرهای زبانی به متغیرهای فازی، میانگین هندسی نظرات بدست آمد و با روش AHPفازی وزن دهی گردید که نتایج آن در جدول ۴ مشاهده می شود. همچنین این جدول معیار حضور زیرمعیار و درنظر گرفتن وزن آن در مطالعه موردی بر اساس نظر خبرگان و نرخ سازگاری ماتریس های معیار اصلی و معیارهای فرعی را نشان می دهد. همان طور که مشخص است ماتریس زیرمعیار Gناسازگار می باشد که به همین دلیل مجدداً نظرسنجی انجام شد.

### نمونه موردی

برای پیاده سازی مدل، مسیر جاده ای سمنان- تهران انتخاب گردید. در این نمونه، ماده شیمیایی و سمی هیدرازین از شهرک صنعتی سمنان به مرکزی در شرق تهران واقع در جاده دماوند با تانکرهای مخصوص حمل می گردد. هیدرازین به فرمول N2H4، در صنعت کاربرد فراوانی دارد و همانند هر ماده شیمیایی دیگری ، کار با آن مستلزم رعایت اصول ایمنی و آزمایشگاهی است. مخلوط حاوی بیش از ۴.۷٪ حجمی هیدرازین بی‌آب و هوا می‌تواند در دماهای بالاتر از ۳۸ درجه سانتی‌گراد ، بر اثر گرما ، شعله یا تابش فرابنفش منفجر شود. با توجه به اینکه مسیر مورد مطالعه در نواحی مختلف دارای ویژگیهای متفاوتی است و نیز تفاوت در آمار سوانح رخ داده و در نهایت با جمع بندی کارشناسان، مسیر مورد بررسی به ۳ ناحیه تقسیم گردید. ناحیه ۱ از شهرک صنعتی سمنان تا سرخه، ناحیه ۲ از سرخه تا آرادان و ناحیه ۳ از آرادان تا تهران جاده دماوند می باشد با توجه به اینکه تحقیق باید در شرایط بحران انجام شود، شرایط جنگی به عنوان حالتی از بحران در نمونه مدنظر قرار گرفت. ماده شیمیایی هیدرازین در مخازن فلزی با پوشش داخلی پلی اتیلنی در مسیر اشاره شده حمل می گردد. راننده خودرو جوانی ۳۰ ساله دارای کارت سلامت جسم و عدم سابقه بیماری روانی است. سابقه فعالیت راننده در حمل و نقل مواد خطرناک ۵ سال می باشد و در ۱ سال گذشته سابقه ثبت تخلف راهنمایی و رانندگی و سرعت غیرمجاز دارد. خودرو حمل مواد کامیون مخزنی مدل ۲۰۱۱ می باشد. کامیون مورد اشاره فاقد برنامه منظم و اسناد ثبت شده

مربوط به تعمیرات و نگهداری و همچنین سیستم GPSو سامانه هشدار سرعت و هشدار مربوط به مواد خطرناک می باشد. خصوصیات ماده شیمیایی انتقالی هیدرازین در بخش های قبلی تشریح گردید. باید توجه شود که حمل و نقل در شرایط بارانی انجام می شود. بررسی اسناد مربوط نشان می دهد که از نظر مدیریتی سوابق پیاده سازی استانداردهای ایمنی مانند ISO 45001وجود داشته و دستورالعمل های مدونی در حوزه حمل و نقل مواد خطرناک نگاشته و سوابق آموزش و بازرسی های ایمنی وجود دارد. راننده سابقه حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط جنگی را نداشته است. خودرو حمل و نقل دارای تجهیزات ارتباطی بیسیم بوده و دارای ذخیره کافی مواد مورد نیاز از جمله موادغذایی می باشد. دستورالعمل ها و الزامات مناسبی برای حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران تدوین و ابلاغ شده است.

**جدول ۴- وزن های نهایی زیرمعیارهای موثر در ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران بر اساس روش AHPفازی**

| HTRFCs | وزن | ضریب سازگاری | | Sub-HTRFCs | وزن | وزن نهایی Sub-HTRFCs | مبنای لحاظ نمودن وزن Sub-HTRFCs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ماتریس میانه | ماتریس هندسی | | | | |
| Ac | ۰.۱۹ | ۰.۰۲۰ | ۰.۰۶۸ | Ac1 | ۰.۱۴ | ۰.۰۲۶ | عدم دریافت کارت سلامت راننده طبق آزمایشات پزشکی و یا سن بالاتر از ۵۰ سال راننده |
| | | | | Ac2 | ۰.۱۸ | ۰.۰۳۴ | وجود سوابق اختلال و یا ناراحتی روانی راننده در پرونده پزشکی |
| | | | | Ac3 | ۰.۱۸ | ۰.۰۳۴ | تجربه کاری کمتر از ۱۰ سال راننده، مرتبط با حمل و نقل مواد خطرناک |
| | | | | Ac4 | ۰.۱۲ | ۰.۰۲۲ | سابقه ثبت سرعت غیرمجاز در یک سال گذشته توسط راننده |
| | | | | Ac5 | ۰.۱۶ | ۰.۰۳۰ | سابقه ثبت جریمه راهنمایی و رانندگی در یک سال گذشته توسط راننده |
| | | | | Ac6 | ۰.۲۰ | ۰.۰۳۸ | سابقه حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران |
| Bc | ۰.۱۳ | ۰.۰۰۷ | ۰.۰۲۴ | Bc1 | ۰.۱۳ | ۰.۰۱۶ | سن خودرو بیش از ۲۰ سال |
| | | | | Bc2 | ۰.۱۳ | ۰.۰۱۶ | عدم تناسب نوع تانکر با نوع ماده خطرناک طبق استانداردهای UN |
| | | | | Bc3 | ۰.۲۰ | ۰.۰۲۶ | عدم وجود سوابق تعمیر و نگهداری منظم خودرو |
| | | | | Bc4 | ۰.۱۰ | ۰.۰۱۳ | عدم تعبیه GPS و یا نمایشگرهای دما و فشار و.. مخزن حمل |
| | | | | Bc5 | ۰.۱۸ | ۰.۰۲۳ | عدم وجود تجهیزات ایمنی مانند کپسول اطفاء ، هشدار و... |
| | | | | Bc6 | ۰.۱۷ | ۰.۰۲۲ | عدم وجود بیسیم و تجهیزات ارتباطی در خودرو |
| | | | | Bc7 | ۰.۰۹ | ۰.۰۱۱ | عدم وجود ذخیره سوخت و مواد غذایی |
| Cc | ۰.۱۳ | ۰.۰۱۴ | ۰.۰۲۸ | Cc1 | ۰.۰۴۷ | ۰.۰۰۶ | جاده خاکی و یا دارای دست انداز و خرابی های متعدد |
| | | | | Cc2 | ۰.۰۴۵ | ۰.۰۰۵ | مسیر دارای پیچ و خم های متعدد |
| | | | | Cc3 | ۰.۰۵۷ | ۰.۰۰۷ | مسیر دارای شیب بیش از ۲۰ درصد |
| | | | | Cc4 | ۰.۰۶۶ | ۰.۰۰۸ | مسیر دوطرفه بدون حائل |
| | | | | Cc5 | ۰.۰۸۶ | ۰.۰۱۱ | وجود حداقل یک تونل در مسیر |
| | | | | Cc6 | ۰.۰۸۸ | ۰.۰۱۱ | وجود حداقل یک پل در مسیر |
| | | | | Cc7 | ۰.۰۱۵ | ۰.۰۰۱ | وجود حداقل یک تقاطع در مسیر |
| | | | | Cc8 | ۰.۰۸۲ | ۰.۰۱۰ | عدم وجود روشنایی در مسیر |
| | | | | Cc9 | ۰.۰۳۹ | ۰.۰۰۵ | عدم وجود تابلو و علائم ایمنی در مسیر |
| | | | | Cc10 | ۰.۰۷۶ | ۰.۰۰۹ | عبور حداقل ۱۰۰۰ خودرو در ساعت از مسیر |

جدول ۴- وزن های نهایی زیرمعیارهای موثر در ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران بر اساس روش AHPفازی

| HTRFCs | وزن | ضریب سازگاری | | Sub-HTRFCs | وزن | وزن نهایی Sub-HTRFCs | مبنای لحاظ نمودن وزن Sub-HTRFCs |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ماتریس میانه | ماتریس هندسی | | | | |
| $C_c$ | ۰.۱۳ | ۰.۰۱۴ | ۰.۰۲۸ | Cc11 | ۰.۰۲۸ | ۰.۰۰۳ | عدم تعبیه تجهیزات ثبت سرعت در مسیر |
| | | | | Cc12 | ۰.۰۷۳ | ۰.۰۰۹ | عدم وجود مسیر اضطراری مرتبط با شرایط بحران |
| | | | | Cc13 | ۰.۱۰۵ | ۰.۰۱۳ | فاصله حداکثر ۱۰۰ کیلومتری از کانون بحران |
| | | | | Cc14 | ۰.۰۹۴ | ۰.۰۱۲ | فاصله حداقل ۲۰ کیلومتری از مراکز امدادی |
| | | | | Cc15 | ۰.۰۹۹ | ۰.۰۱۲ | فاصله حداکثر ۱۰ کیلومتری از مراکز حساس |
| Dc | ۰.۰۸ | ۰.۰۰۲۳ | ۰.۰۰۶۹ | Dc1 | ۰.۱۷ | ۰.۰۱۳ | عدم رعایت مقدار مجاز حمل و نقل مواد طبق استاندارد UN |
| | | | | Dc2 | ۰.۲۳ | ۰.۰۱۸ | مواد خطرناک با خطر متوسط و زیاد طبق کلاس بندی UN |
| | | | | Dc3 | ۰.۲۰ | ۰.۰۱۶ | ماده سمی طبق طبقه بندی UN |
| | | | | Dc4 | ۰.۲۲ | ۰.۰۱۷ | ماده رادیواکتیو طبق طبقه بندی UN |
| | | | | Dc5 | ۰.۱۸ | ۰.۰۱۴ | عدم رعایت استاندارد بسته بندی ماده طبق استاندارد UN |
| Ec | ۰.۰۱ | ۰.۰۲۵ | ۰.۰۹۸ | Ec1 | ۰.۱۷ | ۰.۰۰۱ | آب و هوای بارانی |
| | | | | Ec2 | ۰.۲۸ | ۰.۰۰۲ | هوای مه آلود |
| | | | | Ec3 | ۰.۲۶ | ۰.۰۰۲ | آب و هوای برفی |
| | | | | Ec4 | ۰.۲۹ | ۰.۰۰۳ | زمان سفر بین اذان مغرب تا اذان صبح |
| Fc | ۰.۱۵ | ۰ | ۰ | Fc1 | ۱ | ۰.۱۵ | عبور از مناطق شهری طبق قانون تقسیمات کشوری |
| | | | | Fc2 | ۰ | ۰ | عبور از مناطق روستایی طبق قانون تقسیمات کشوری |
| Gc | ۰.۱۱ | ۰.۰۶۱ | ۰.۱۳۹ | Gc1 | ۰.۲۸ | ۰.۰۳۰ | عدم وجود شواهد مبنی بر بازرسی منظم از تجهیزات مرتبط با حمل و نقل مواد خطرناک |
| | | | | Gc2 | ۰.۳۲ | ۰.۰۳۵ | عدم وجود سازوکار ابلاغ و نظارت بر الزامات قانونی حوزه حمل و نقل مواد خطرناک |
| | | | | Gc3 | ۰.۴۰ | ۰.۰۴۴ | عدم وجود ساز و کار مدیریت شرایط اضطراری |
| Hc | ۰.۲۰ | ۰.۰۰۲ | ۰.۰۱۲ | Hc1 | ۰.۲۴ | ۰.۰۴۸ | عدم وجود قابلیت استتار |
| | | | | Hc2 | ۰.۲۶ | ۰.۰۵۲ | عدم وجود قابلیت اختفا |
| | | | | Hc3 | ۰.۲۸ | ۰.۰۵۶ | عدم وجود زیرساخت های پدافندی |
| | | | | Hc4 | ۰.۲۲ | ۰.۰۴۴ | عدم وجود مسیرهای جایگزین |

ناحیه Iمسیر مورد مطالعه از شهرک صنعتی تا سرخه به طول تقریبی ۳۷ کیلومتر است. در ابتدای مسیر به علت ماهیت جغرافیایی، عبور از مناطق شهری اجتناب ناپذیر می باشد. در این ناحیه، جاده یک طرفه و دارای روشنایی کافی و تجهیزات ثبت سرعت و علائم ایمنی بوده و بنابراین این زیرمعیارها وزن صفر را به خود اختصاص می دهند. همچنین در این ناحیه پل و تقاطع در مسیر وجود دارد. طول تقریبی ناحیه 80 IIکیلومتر بوده و از ابتدای سرخه تا آرادان ادامه دارد. این مسیر دارای پیچ های متعدد و در برخی از قسمت ها شیب بالای ۲۰درصد بوده و منطقه پیچ پنج هزاری در این ناحیه قرار دارد. از طرفی بر خلاف ناحیه قبل، این ناحیه از مناطق شهری عبور نمی کند و از طرفی به علت فاصله از مراکز امدادی زیرمعیار Cc14وزن دار است. مسیر ناحیه IIIمطالعه موردی به طول تقریبی ۱۳۴ کیلومتر از آرادان تا تهران- ابتدای جاده دماوند می باشد. انتهای مسیر، ناحیه ای حدود ۶۰ کیلومتر از مناطق شهری و پرتردد عبور می کند. به همین علت علاوه بر فاکتور F1فاکتور Cc10 نیز

وزن دار شده است. باید توجه داشت که در برخی قسمت های این ناحیه بخصوص در مناطق شهری، کیفیت جاده نیز نامناسب می باشد. این ناحیه نیز فاقد مسیر ویژه اضطراری می باشد و به علت عبور از برخی مراکز حساس شهری تهران، زیرمعیار Cc15 نیز وزن دار شده است. جدول ۵ نتایج وزنی زیرمعیارها در نواحی ۳ گانه را نشان می دهد. جدول ۶ تقسیم بندی زیرمعیارها به پارامترهای احتمال، شدت و ردیابی ناحیه Iرا نشان می دهد. جداول مربوط به نواحی IIو IIIبه نحو مشابهی است که در بخش ضمائم قابل مشاهده است. روابط ۶ تا ۱۱ عدد ریسک این نواحی را نشان می دهد. برای یافتن مرز قابل قبول و قابل تحمل و غیرقابل تحمل ریسک ابتدا باید مقدار $RPN_{max}$ را بدست آورده و پس از آن مقادیر ذکر شده را بر مبنای جدول ۳ بدست آوریم. برای بدست آوردن $RPN_{max}$ فرض می کنیم کلیه زیرمعیارهای موثر در ریسک حمل و نقل مواد خطرناک وزن دار باشند که وزن آنها نیز بر اساس جدول ۴ بدست آمده است. اکنون این زیرمعیارها را بر اساس جدول ۲ به سه پارامتر احتمال، شدت و ردیابی تقسیم کرده و پس از نرمالیزه کردن جمع هر ستون را محاسبه می کنیم. پس از آن از ضرب این سه عامل $RPN_{max}$ مطابق با رابطه ۵ بدست می آید. بنابراین عدد ۱۵ محدوده قابل قبول و بالاتر از ۱۵ تا ۶۲ حد قابل تحمل و بالاتر از ۶۲ غیرقابل تحمل می باشد.

$$RPN_{\max}C = 870 \times 777 \times 155 = 104778450 / 1000000 = 104.77 \qquad (۵)$$

**بحث و نتایج**

سطح ریسک در ناحیه Iو IIقابل قبول و در ناحیه IIIاز سطح قابل قبول بالاتر و در محدوده قابل تحمل می باشد. با وجود اینکه ریسک در در ناحیه IIIدر محدوده قابل تحمل قرار دارد، لیکن سیاست سازمان انتقال ریسک به محدوده قابل قبول است و به همین منظور سازمان به دنبال ارزیابی اقدامات کنترلی، اولویت دهی و در صورت امکان اجرای آنها می باشد.

**جدول ۵- وزن های زیرمعیارها بر اساس روش AHPفازی در نواحی ۳ گانه در شرایط بحران**

| ردیف | کد زیر معیار | نام زیرمعیار | وزن ناحیه I | وزن ناحیه II | وزن ناحیه III |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | Ac1 | شرایط فیزیولوژیکی راننده | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲ | Ac2 | شرایط روانی | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۳ | Ac3 | تجربه و مهارت | ۰.۰۳۴ | ۰.۰۳۴ | ۰.۰۳۴ |
| ۴ | Ac4 | سرعت | ۰.۰۲۲ | ۰.۰۲۲ | ۰.۰۲۲ |
| ۵ | Ac5 | رعایت مقررات رانندگی | ۰.۰۳۰ | ۰.۰۳۰ | ۰.۰۳۰ |
| ۶ | Ac6 | دانش و مهارت مرتبط با شرایط بحران | ۰.۰۳۸ | ۰.۰۳۸ | ۰.۰۳۸ |
| ۷ | Bc1 | سن خودرو | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۸ | Bc2 | نوع تانکر خودرو | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۹ | Bc3 | تعمیر و نگهداری | ۰.۰۲۶ | ۰.۰۲۶ | ۰.۰۲۶ |
| ۱۰ | Bc4 | نمایشگر و تجهیزات ثبت وقایع | ۰.۰۱۳ | ۰.۰۱۳ | ۰.۰۱۳ |
| ۱۱ | Bc5 | تجهیزات ایمنی | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱۲ | Bc6 | امکانات ارتباطی | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱۳ | Bc7 | ذخیره سوخت و مواد غذایی | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱۴ | Cc1 | کیفیت جاده | ۰ | ۰ | ۰.۰۰۶ |
| ۱۵ | Cc2 | انحنای جاده | ۰ | ۰.۰۰۵ | ۰ |
| ۱۶ | Cc3 | شیب جاده | ۰ | ۰.۰۰۷ | ۰ |
| ۱۷ | Cc4 | یک طرفه یا دو طرفه | ۰ | ۰ | ۰ |

جدول ۵- وزن های زیرمعیارها بر اساس روش AHPفازی در نواحی ۳ گانه در شرایط بحران

| ردیف | کد زیر معیار | نام زیرمعیار | وزن ناحیه I | وزن ناحیه II | وزن ناحیه III |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱۸ | Cc5 | تونل | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱۹ | Cc6 | پل | ۰.۰۱۱ | ۰.۰۱۱ | ۰.۰۱۱ |
| ۲۰ | Cc7 | تقاطع | ۰.۰۰۱ | ۰.۰۰۱ | ۰.۰۰۱ |
| ۲۱ | Cc8 | روشنایی جاده | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲۲ | Cc9 | علائم ایمنی | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲۳ | Cc10 | حجم عبور و مرور | ۰ | ۰ | ۰.۰۰۹ |
| ۲۴ | Cc11 | تجهیزات نشانگر | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲۵ | Cc12 | مسیر ویژه اضطراری | ۰.۰۰۹ | ۰.۰۰۹ | ۰.۰۰۹ |
| ۲۶ | Cc13 | فاصله از کانون بحران | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲۷ | Cc14 | فاصله از مراکز امدادرسانی | ۰ | ۰.۰۱۲ | ۰ |
| ۲۸ | Cc15 | فاصله از مراکز حساس | ۰ | ۰ | ۰.۰۱۲ |
| ۲۹ | Dc1 | مقدار ماده خطرناک | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۳۰ | Dc2 | کلاس خطر ماده | ۰.۰۱۸ | ۰.۰۱۸ | ۰.۰۱۸ |
| ۳۱ | Dc3 | سمیت ماده | ۰.۰۱۶ | ۰.۰۱۶ | ۰.۰۱۶ |
| ۳۲ | Dc4 | خطر امواج رادیواکتیو | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۳۳ | Dc5 | نوع بسته بندی | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۳۴ | Ec1 | بارانی | ۰.۰۰۱ | ۰.۰۰۱ | ۰.۰۰۱ |
| ۳۵ | Ec2 | مه آلود | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۳۶ | Ec3 | برف/تگرگ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۳۷ | Ec4 | روز یا شب | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۳۸ | Fc1 | شهری | ۰.۱۵ | ۰ | ۰.۱۵ |
| ۳۹ | Fc2 | روستایی | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۴۰ | Gc1 | نظارت بر تجهیزات | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۴۱ | Gc2 | الزامات قانونی و مدیریت سیستم | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۴۲ | Gc3 | مدیریت شرایط اضطراری | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۴۳ | Hc1 | قابلیت استتار | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۴۴ | Hc2 | قابلیت اختفا | ۰.۰۵۲ | ۰.۰۵۲ | ۰.۰۵۲ |
| ۴۵ | Hc3 | امکانات پدافندی | ۰ | ۰ | ۰.۰۵۶ |

**جدول ۶- طبقه بندی زیرمعیارهای ناحیه I مطالعه موردی در سه فاکتور شدت، احتمال و ردیابی در شرایط بحران**

| ردیف | پارامترهای موثر در فاکتور احتمال ($P_{RC}I$) | وزن پارامتر | وزن نرمال شده | پارامترهای موثر در فاکتور شدت ($S_{RC}I$) | وزن پارامتر | وزن نرمال شده | پارامترهای موثر در فاکتور ردیابی ($D_{RC}I$) | وزن پارامتر | وزن نرمال شده |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | تجربه و مهارت راننده (Ac3) | ۰.۰۳۴ | ۳۴ | تجربه و مهارت راننده (Ac3) | ۰.۰۳۴ | ۳۴ | دانش و مهارت مرتبط با بحران (Ac6) | ۰.۰۳۸ | ۳۸ |
| ۲ | رعایت مقررات رانندگی (Ac5) | ۰.۰۳۰ | ۳۰ | رعایت مقررات رانندگی (Ac5) | ۰.۰۳۰ | ۳۰ | تعمیر و نگهداری (Bc3) | ۰.۰۲۶ | ۲۶ |
| ۳ | دانش مرتبط با بحران (Ac6) | ۰.۰۳۸ | ۳۸ | دانش و مهارت مرتبط با بحران (Ac6) | ۰.۰۳۸ | ۳۸ | نمایشگر و تجهیزات ثبت وقایع(Bc4) | ۰.۰۱۳ | ۱۳ |
| ۴ | سرعت (Ac4) | ۰.۰۲۲ | ۲۲ | سرعت (Ac4) | ۰.۰۲۲ | ۲۲ | هوای بارانی (Ec1) | ۰.۰۰۱ | ۱ |
| ۵ | نگهداری (Bc3) | ۰.۰۲۶ | ۲۶ | تعمیر و نگهداری (Bc3) | ۰.۰۲۶ | ۲۶ | | | |
| ۶ | نمایشگر ثبت (Bc4) | ۰.۰۱۳ | ۱۳ | مسیر اضطراری (Cc12) | ۰.۰۰۹ | ۹ | | | |
| ۷ | پل (Cc6) | ۰.۰۱۱ | ۱۱ | کلاس خطر ماده (Dc2) | ۰.۰۱۸ | ۱۸ | | | |
| ۸ | تقاطع (Cc7) | ۰.۰۰۱ | ۱ | سمیت ماده (Dc3) | ۰.۰۱۶ | ۱۶ | | | |
| ۹ | هوای بارانی (Ec1) | ۰.۰۰۱ | ۱ | محیط شهری (Fc1) | ۰.۱۵ | ۱۵۰ | | | |
| ۱۰ | قابلیت اختفا (Hc2) | ۰.۰۵۲ | ۵۲ | | | | | | |
| ۱۱ | محیط شهری (Fc1) | ۰.۱۵ | ۱۵۰ | | | | | | |
| جمع اوزان ($P_{RC}I$) | | | ۳۷۸ | جمع اوزان ($S_{RC}I$) | | ۳۴۳ | جمع اوزان ($D_{RC}I$) | | ۷۸ |

$$RPN_c(I) = S_{RouteC}^{W_{sc}} I \times P_{RouteC}^{W_{pc}} I \times D_{RouteC}^{W_{dc}} I / 1000000 \quad (۶)$$

$$RPN_c(I) = 378 \times 343 \times 78 = 10113012 / 1000000 = 10.11 \quad (۷)$$

$$\left(RPN_c(II) = S_{RouteC}^{W_s} II \times P_{RouteC}^{W_p} II \times D_{RouteC}^{W_d} II\right) / 1000000 \quad (۸)$$

$$RPN_c(II) = 240 \times 205 \times 78 = 3837600 / 1000000 = 3.83 \quad (۹)$$

$$\left(RPN_c(III) = S_{RouteC}^{W_s} III \times P_{RouteC}^{W_p} III \times D_{RouteC}^{W_d} III\right) / 1000000 \quad (۱۰)$$

$$RPN_c(III) = 449 \times 420 \times 134 = 25269720 / 1000000 = 25.26 \quad (۱۱)$$

اقدامات کنترلی آخرین مرحله از فرایند مدیریت ریسک و از جهاتی مهم ترین بخش آن می باشد. ابتدا کلیه اقدامات متصور جهت کاهش یا حذف ریسک را فهرست بندی کرده و میزان اثرگذاری هر کدام در کاهش ریسک کل را محاسبه نموده و هزینه هر کدام از این اقدامات را لحاظ می نماییم. سپس این اقدامات را با درنظر گرفتن محدودیت های بودجه ای و اجرایی سازمان اولویت بندی و اجرایی می کنیم. پس از اجرا مجدداً ارزیابی ریسک انجام شده و میزان کارایی و اثربخشی اقدامات کنترلی مورد ارزیابی قرار می گیرد.

جدول ۷ میزان اثرگذاری زیرمعیارها در ریسک ناحیه IIIرا نشان می دهد. وزن زیرمعیار تاثیر زیادی در ریسک کل دارد. از طرفی این که زیرمعیار بر یکی یا بیشتر از فاکتورهای شدت، احتمال یا ردیابی اثرگذار است موید میزان اثرگذاری آن در ریسک کل می باشد. در نهایت با فرض اجرای اقدامات کنترلی و حذف آثار منفی زیرمعیار و صفر لحاظ نمودن وزن آن ریسک کل در ناحیه IIIمجدداً محاسبه شد که میزان کاهش ریسک کل در ستون مربوطه درج شده است. پس از کنترل زیرمعیارها عدد ریسک مجدداً محاسبه شد که برای نمونه برای زیر معیار Ac3برابر با ۲۱.۴۶ محاسبه شد که ۳.۸ کمتر از مقدار قبلی بوده و ضمناً با کنترل آن ریسک همچنان در محدوده قابل تحمل قرار دارد. همان طور که از جدول مشخص است زیرمعیارهای Fc1چگالی جمعیت شهری و Hc3امکانات پدافندی با ۱۰.۸۱ و ۱۱.۱۵ اثر بر روی ریسک کل، بیشترین کاهش را به ریسک کل اعمال می نمایند. در واقع این دو زیرمعیارهایی هستند که با کنترل آنها می توان ریسک را از محدوده قابل تحمل به محدوده قابل قبول انتقال داد. البته لازم به ذکر است که زیر معیار Ac6(مهارت های راننده در شرایط بحران) نیز تاثیر خوبی بر روی ریسک کل داشته و آن را تا مرز قابل قبول پایین می آورد. در مرحله بعد از میان زیرمعیارهای اثرگذار، اولویت بندی اجرایی و هزینه ای انجام می شود. به نظر می رسد از لحاظ قابلیت اجرا و هزینه کنترل Ac6با انتخاب راننده ای با تجربه فعالیت در شرایط بحران و جنگ، مقرون به صرفه باشد. برای کنترل زیرمعیار Fc1بایستی مسیر عبوری مورد بازبینی قرار گیرد و طوری انتخاب شود که از مناطق شهری عبور نکند. کنترل Hc2مستلزم توجه به زیرساخت های پدافندی مسیر مورد مطالعه می باشد. باید توجه داشت که در صورتی که کنترل زیرمعیارهای فوق امکان پذیر نباشد، می توان بر روی کنترل ترکیبی از زیرمعیارهایی که به تنهایی اثر کمی بر روی ریسک کل دارند، تمرکز نمود. برای نمونه کنترل زیرمعیار Bc3با بهبود تعمیر و نگهداری خودرو به تنهایی تاثیری به اندازه ۷.۲۶ بر ریسک کل دارد که اگر با کنترل زیرمعیارهای Ac3و Ac5همراه شود، می توان ریسک را به محدوده قابل قبول رساند.

یافته های مطالعه در مراحل تجزیه و تحلیل نشان می دهد که معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با پدافند بیشترین اهمیت را در ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران دارند و پس از آن عوامل انسانی که شامل معیارهای مرتبط با راننده و چگالی جمعیتی است اهمیت بیشتری دارند. همانطور که مشاهده شد مدل تشریح شده بخوبی معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با ریسک حمل و نقل در شرایط بحران را شناسایی و وزن دهی نمود. استفاده از ابزار SDبه شناسایی بهتر معیارها در شرایط بحران کمک نمود و ابزار AHPفازی برای تصمیم گیری غیرگسسته برای وزن دهی معیارها و زیرمعیارها موثر بود. لازم به ذکر است در تحقیق جباری و همکاران نیز که حوادث حمل و نقل مواد خطرناک در ایران را مورد بررسی قرار دادند، عوامل انسانی از مهم ترین عوامل گزارش گردید. [۳۰] در تحقیق گال و همکارانش نیز عوامل انسانی نقش به سزایی داشته اند. [۱۵] ضمن اینکه مقاله برونفمن و همکارانش و جینجر و همکارانش، نقش چگالی جمعیتی را مشخص می کند، [۱۳,۲۲] بررسی های بین المللی از حوادث حمل و نقل کشورهای دیگر نیز از اهمیت عوامل انسانی حکایت دارد. [۳۷]

**جدول ۷- میزان اثرگذاری زیرمعیارها در ریسک نواحی III**

| ردیف | کد زیرمعیار | وزن زیرمعیار | اثرگذاری | | | | | | میزان تاثیر در ریسک | | عدد ریسک پس از کنترل | | محدوده ریسک پس از کنترل زیرمعیار | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | احتمال | | شدت | | ردیابی | | | | | | | |
| ۱ | (Ac3) | ۰.۰۳۴ | * | | * | | | | ۳.۸ | | ۲۱.۴۶ | | قابل تحمل | |
| ۲ | (Ac5) | ۰.۰۳۰ | * | | * | | | | ۳.۳۶ | | ۲۱.۸۹ | | قابل تحمل | |
| ۳ | (Ac6) | ۰.۰۳۸ | * | | * | | * | | ۱۰.۱۸ | | ۱۵.۰۷ | | قابل تحمل | |
| ۴ | (Ac4) | ۰.۰۲۲ | * | | * | | | | ۲.۴۸ | | ۲۲.۷۷ | | قابل قبول | |
| ۵ | (Bc3) | ۰.۰۲۶ | * | | * | | * | | ۷.۲۶ | | ۱۷.۹۹ | | قابل تحمل | |

**جدول ۷- میزان اثرگذاری زیرمعیارها در ریسک نواحی III**

| ردیف | کد زیرمعیار | وزن زیرمعیار | اثرگذاری | | | میزان تاثیر در ریسک | عدد ریسک پس از کنترل | محدوده ریسک پس از کنترل زیرمعیار |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | احتمال | شدت | ردیابی | | | |
| ۶ | (Bc4) | ۰.۰۱۳ | * | | * | ۳.۱۰ | ۲۲.۱۵ | قابل تحمل |
| ۷ | (Cc1) | ۰.۰۰۶ | * | | | ۰.۳۲ | ۲۴.۹۳ | قابل تحمل |
| ۸ | (Cc6) | ۰.۰۱۱ | * | | | ۰.۶۰ | ۲۴.۶۵ | قابل تحمل |
| ۹ | (Cc7) | ۰.۰۰۱ | * | | | ۰.۰۴ | ۲۵.۲۱ | قابل تحمل |
| ۱۰ | (Cc10) | ۰.۰۰۹ | * | * | | ۱.۰۲ | ۲۴.۲۳ | قابل تحمل |
| ۱۱ | (Ec1) | ۰.۰۰۱ | * | | * | ۰.۲۳ | ۲۵.۰۲ | قابل تحمل |
| ۱۲ | (Hc2) | ۰.۰۵۲ | * | | | ۲.۹۱ | ۲۲.۳۴ | قابل تحمل |
| ۱۳ | (Fc1) | ۰.۱۵ | * | * | | ۱۴.۴۴ | ۱۰.۸۱ | قابل قبول |
| ۱۴ | (Hc3) | ۰.۰۵۶ | * | * | * | ۱۴.۱۰ | ۱۱.۱۵ | قابل قبول |

## نتیجه گیری

در این مقاله مدل مدیریت ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران در چهار گام شناسایی، تجریه و تحلیل، ارزیابی و کنترل ارائه گردید. در گام های مختلف ریسک از ابزارهای پویایی شناسی سیستم، تکنیک دلفی، تجزیه و تحلیل آماری و روش AHPفازی استفاده شد. نمونه موردی از حمل و نقل مواد منفجره هیدرازین از شهرک صنعتی سمنان تا تهران در شرایط جنگی مورد بررسی قرار گرفته و عدد ریسک آن محاسبه و ضمن مقایسه آن با مقدار قابل قبول، اقدامات کنترلی تشریح گردید. در فاز شناسایی و تجزیه و تحلیل ریسک مشخص گردید که معیار چگالی جمعیتی و امکانات پدافندی بیشترین تاثیر را در ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط بحران دارند و پس از آن زیرمعیارهای مرتبط با راننده و پدافند، اهمیت زیادی دارند. همچنین نتایج این مقاله نشان داد که استفاده از ابزار SDدر مرحله شناسایی ریسک به یافتن لایه های پنهان ریسک و در نهایت شناسایی بهتر معیارهای تاثیرگذار کمک نموده و ابزار AHPفازی نیز به دلیل ماهیت غیرگسسته آن کارایی زیادی در تجزیه و تحلیل و وزن دهی ریسک دارد. در نهایت در نمونه موردی با بکاربستن اقدامات کنترلی پیشنهادی و اصلاح مسیر و بهبود امکانات پدافندی می توان سطح ریسک را به محدوده قابل قبول رساند. در مطالعات آتی، مقایسه مدل مدیریت ریسک حمل و نقل مواد خطرناک در شرایط عادی و بحران می تواند به ارزیابی و تکامل مدل ارائه شده در این مقاله کمک کند.

## منابع


1. Jasanoff, S, 1994. Learning from Disaster: Risk Management after Bhopal.University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 361.
2. 2. Reason, J, 1997. Managing the risks of Organizational Accidents, Ashgate.
3. Peter W, 2010. Safety: A Wicked Problem.
4. Zografos K. G, Androutsopoulos K.N, 2004, A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems, European Journal of Operational Research 152, pp. 507–519
5. Erkuta E, Alpb O ,2007, Designing a road network for hazardous materials shipments, Computers & Operations Research 34, pp. 1389–1405
6. Peng M, Peng Y, Chen H. 2014, Post-seismic supply chain risk management: A system dynamics disruption analysis approach for inventory and logistics planning. Computs Oper Res; 42(2014): 14-24.
7. Radivojevic, G. Gajovic, V. 2014, Supply chain risk modeling by ahp and fuzzy ahp methods. Journal of Risk Research, 17 , 337 –352.

of hazardousmaterials (oil materials), Safety Science, Volume 116, Pages 1-12

17. Jabbari M, Atabi F, Ghorbani R, 2020, Key airborne concentrations of chemicals for emergency response planning in HAZMAT road transportation- margin of safety or survival, Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 65 104139

18. Fabiano, B., Currò, F., Reverberi, A.P., Pastorino, R., 2005. Dangerous good transportation by road: from risk analysis to emergency planning.. Loss Prev. Process Ind. 18 (4–6), 403–413.

19. Shariat M , Khodadadian M., 2008, A routing methodology for hazardous material transportation to reduce the risk of road network, International Journal of Industrial Engineering & Production Research 19(3), pp. 57-65

20. Chakrabarti, U. K. and J. K. Parikh, 2011, Route evaluation for hazmat transportation based on total risk e A case of Indian State Highway, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 1-7.

21. Hosseini d.Manish v, 2021, Equitable routing of rail hazardous materials shipments using CVaR methodology, Computers & Operations Research,Volume 129

22. Ginger Y.Ke, Huiwen,ZhangJames H,Bookbinder, 2020, A dual toll policy for maintaining risk equity in hazardous materials transportation with fuzzy incident rate, International Journal of Production Economics, Volume 227, 107650

23. Ovidi,V,Sanneke K,Gabriele L, 2020, HazMat transportation safety assessment: Analysis of a “Viareggio-like” incident in the Netherlands, Journal of Loss Prevention in the Process Industries ,Volume 63, 103985

24. Hernandez L,MichelGendreau, 2020, A framework for assessing hazmat risk at nodes of transport networks, International Journal of Disaster Risk Reduction ,Volume 50, 101854

8. Liu L, Li S, Fan T, Chang X. 2011, Transportation risk assessment of chemical industry supply chain based on a dual model. Procedia Environ Sci; 11(Part A): 393-397.

9. Shariat Mohaymany A., Khodadadian M, 2008, A routing methodology for hazardous material transportation to reduce the risk of road network, International Journal of Industrial Engineering & Production Research 19(3), pp. 57-65

10. Monprapussorn, D, Thaitakoo, D, Watts, D. J. 2009, Multi criteria decision analysis and geographic information system framework for hazardous waste transport sustainability, Applied Sciences, 9 (2).

11. Reilly A, Nozick L, Xu N, Jones D, 2012, Game theory-based identification of facility use restrictions for the movement of hazardous materials under terrorist threat, Transportation Research , E 48, pp. 115–131

12. Pradhananga R, Taniguchi E, Yamad T, 2010, Ant colony system based routing and scheduling for hazardous material transportation. Procedia Social and Behavioral Sciences, 2, pp. 6097–6108

13. Bronfman C, Vladimir Marianov K, Paredes-Belmar G, and Lüer-Villagra A, 2014, The Maximin HAZMAT Routing Problem, European Journal of Operational Research , 241(1), 1-33.

14. Yang Q, Chin K, Li Y, 2018, A quality function deployment-based framework for the risk management of hazardous material transportation process, Journal of Loss Prevention in the Process Industries , Vol.52, 81-92.

15. Gul M. , A. Guneri F , Nasirli M , 2019, A fuzzy-based model for risk assessment of routes in oil transportation, International Journal of Environmental Science and Technology,volume 16, pages4671–4686

16. Ghaleh S, Omidvari M, Nassiri P, Momeni M, Miri Lavasani M, 2019, Pattern of safety risk assessment in roadfleet transportation

25. Nikolai H, 2021, Analysis of different risk models for the hazardous materials vehicle routing problem in urban areas, Cleaner Environmental Systems Volume 2, 100022

26. ADR., 2015. European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (Vol. 1). United Nations: ECE/TRANS/242.

27. Omidvari, M., Nourmoradi, H., Nouri, J., Shamaii, 2013, A. Presenting the pattern of occupational and environmental health risk assessment in oil products transportation. [persian]. Health System Res,. 9 (2), 177–187.

28. Benekos, D. Diamantidis, 2017, On risk assessment and risk acceptance of dangerous goods transportation through road tunnels in Greece, Safety Science, Volume 91, 1-10

29. Saat, M.R., Werth, C.J., Schaeffer, D., Yoon, H., Barkan, C.P.L. 2014, Environmental risk analysis of hazardous material rail transportation. Hazard Mater., 264, 560 –569.

30. Jabbari M, Khodaparast I, Kasra S, Kavousi A, 2013, Investigation of road transport accidents of hazardous materials in Iran . [persian], Iran Occupational Health,11,5

31. Habibi, A., Sarafrazi, A., Izadyar, S. 2014,Delphi technique theoretical framework in qualitative research. Int. J. Eng. Sci., 3 (4), 8–13.

32. Benekos, I., Diamantidis, D. 2017, On risk assessment and risk acceptance of dangerous goods transportation through road tunnels in Greece. Saf. Sci., 91, 1–10.

33. Kumar, S., Luthra, S., Haleem, A., Mangla, S.K., Garg, D., 2015. Identification and evaluation of critical factors to technology transfer using AHP approach. Int. Strategic Manage. Rev. 3 (1–2), 24–42.

34. Nouri, J., Omidvari, M., Tehrani, S.M., 2010. Risk assessment and crisis management in gas stations. URL. Int. J. Environ. Res. 4 (1), 143–152.

35. Li, Y., Wang, W., Liu, B., Zhou, X., 2015. Research on oil spill risk of port tank zone based on fuzzy comprehensive evaluation. Aquatic Procedia. 3, 216–223.

36. Chang, D.-Y. 1996,Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. Eur. J. Oper. Res., 95 (3), 649–655.

37. Ambituuni a, Jaime M.Amezaga D, 2015, Risk assessment of petroleum product transportation by road: A framework for regulatory improvement, Safety Science Volume 79, Pages 324-335