

ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک مبتنی بر ریسک-مطالعه موردی مسیرهای تهران-مازندران

محمود صفارزاده (مسئول مکاتبات)، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

سیداحسان سیدابریشمی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

سجاد حسن پور، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: saffar_m@modares.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۰۳

دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۰۱

چکیده:

پیامدهای فاجعه آمیز حوادث مربوط به حمل مواد خطرناک با توجه به رشد روزافزون حمل و نقل این مواد به منظور تأمین نیاز صنایع مختلف، مطالعه در زمینه حمل مواد خطرناک و بکارگیری راهکارهای مناسب برای کاهش تلفات را ضروری می کند. ریسک حمل و نقل مواد خطرناک، یک معیار از میزان احتمال وقوع حوادث ناخواسته و میزان وخیم بودن پیامدهای وقوع آن است. هدف این پژوهش، ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک بر اساس ریسک آنها است. برای رسیدن به این هدف، پس از قطع بندی مسیر مورد مطالعه، ریسک در قطعات مختلف محاسبه می شود. محاسبه ریسک قطعات شامل کمی سازی دو مولفه احتمال وقوع و پیامدهای وقوع در قطعات است. این کمی سازی با استفاده از مقایسات زوجی در قطعات مختلف صورت می گیرد. با استفاده از رویکرد پیشنهادی می توان پیامدهای حمل مواد خطرناک را با توجه به نوع مواد مختلف در طول یک مسیر بررسی کرد. قطعه بحرانی مسیر از لحاظ ریسک در حمل ماده مورد نظر نیز می تواند معرفی شود. رویکرد پیشنهادی این پژوهش در محورهای هراز و فیروزکوه به عنوان مطالعه موردی اعمال شد و قطعات بحرانی تعیین گردید. با محاسبه ریسک کلی و واحدسازی شده برای محور هراز و فیروزکوه، سطح خطرپذیری این دو محور برای حمل مواد خطرناک با توجه به نتایج ارزیابی شد.

واژه های کلیدی: مواد خطرناک، ریسک، قطعه بحرانی، نظرات کارشناسی

۱. مقدمه

ابعاد بالا به نوعی مراحل مطالعه در این زمینه هستند که خروجی هر مرحله به عنوان ورودی مرحله بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این ترتیب که در مطالعات مربوط به حمل و نقل مواد خطرناک پس از شناخت خطرات و مطالعات آیین‌نامه‌ای ریسک‌های موجود در مسیرهای حمل مواد خطرناک محاسبه می‌شود. از ریسک محاسبه شده مسیرها در مدل‌های انتخاب مسیر بهینه برای حمل مواد خطرناک استفاده می‌شود و در نهایت با توجه به مسیرهای بهینه و یا بحرانی برای حمل مواد خطرناک در طراحی شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این صورت که مسیرهایی در شبکه برای حمل مواد خطرناک انتخاب یا ساخته شوند که ریسک مربوط به آن را به حداقل برسانند.

طراحی مسیرهای اورژانسی برای مقابله با اتفاقات احتمالی در شبکه یکی از مسائلی است که در این بعد مطالعاتی صورت می‌گیرد. هدف این مطالعه ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک مبتنی بر ریسک است که این ارزیابی شامل محاسبه ریسک در قطعات مختلف مسیر و تعیین قطعه بحرانی و همچنین محاسبه ریسک کلی یک مسیر و مقایسه آن با ریسک مسیرهای جایگزین است.

با توجه به مطالعات پیشین، محاسبه و ارزیابی ریسک به سه گروه کیفی، کمی و ترکیبی (کمی-کیفی) طبقه‌بندی می‌شود. ارزیابی ریسک کیفی از قضاوت و گاهی نظرات متخصصین از احتمالات وقوع و عواقب استفاده می‌کند. بسته به مناسب بودن منابع در دسترس این رویکرد می‌تواند نتایج قابل قبولی ارائه کند.

از روش‌های کیفی ریسک می‌توان روش تحلیلی «چه می‌شود اگر؟» [Ayyub, 2003 and Renniers, 2005] و روش «حسابرسی ایمنی» نام برد. اساس این روش‌ها به این ترتیب است که در آنها ابتدا تلاش می‌شود با استفاده از سوالات کلی در مورد یک سیستم، مشکلات احتمالی آن مشخص گردد و

ماده خطرناک به ماده‌ای گفته می‌شود که علی‌رغم کاربرد زیاد در صنعت، با توجه به خصوصیات فیزیکی- شیمیایی می‌تواند باعث آسیب به یک عنصر آسیب‌پذیر شود. آسیب‌پذیران شامل انسان‌ها، جانوران، محیط زیست و یا اموال و ساختمان‌ها هستند. در کشور ما نیز با رشد صنعت، روز به روز نیاز به استفاده از این مواد، بیش از پیش احساس می‌گردد. برای جلوگیری از تبدیل شدن ریسک‌های حمل مواد خطرناک به آسیب، خسارت یا تلفات راهکارهایی وجود دارد که این ریسک‌ها را کاهش می‌دهد و یا از شدت عواقب آن می‌کاهد. حوادث مربوط به مواد خطرناک در ادبیات به عنوان حوادث «احتمال پایین-پیامد زیاد» شناخته می‌شود. بنابراین علی‌رغم احتمال وقوع نسبتاً کم این نوع حوادث، پیامدهای وقوع آنها بسیار زیاد و گاه فاجعه‌آمیز خواهد بود [Kara et al. 2003]. انفجار تانکر حمل پروپان در ۱۱ ژولای ۱۹۷۸ که از کنار محل تجمع مردمی در اسپانیا که باعث کشته شدن حدود ۲۰۰ نفر و زخمی شدن ۱۲۰ نفر گردید، نشت کلر در سال ۱۹۷۹ در انتاریو^۲ که باعث تخلیه بیش از ۲۰۰۰۰۰ نفر از منطقه شد، انفجار تانکر حمل سوخت (بنزین) در سال ۱۹۸۲ در افغانستان که باعث کشته شدن ۲۷۰۰ نفر شد و حادثه واژگونی قطار حمل مواد خطرناک در نیشابور سال ۱۳۸۲ که ۲۹۵ کشته و ۴۶۰ زخمی بر جای گذاشت، نمونه‌ای از فجایع تاریخی در حوادث مربوط به مواد خطرناک است که خود دلایلی برای لزوم مطالعه در این زمینه هستند. ابعاد مطالعاتی در زمینه حمل مواد خطرناک را می‌توان به چهار دسته طبقه‌بندی نمود که عبارتند از [Erkut, 2007]:

الف) شناخت خصوصیات مواد و مطالعات آیین‌نامه‌ای برای حمل مواد خطرناک

ب) ارزیابی و محاسبات ریسک

ج) مسیریابی و بهینه‌سازی مسیر

د) طراحی شبکه

ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک مبتنی بر ریسک-مطالعه موردی مسیرهای تهران-مازندران

قضاوت مهندسی و داده‌های کمی، علاوه بر ارزیابی ریسک مسیرها، مشکل کمبود داده‌های مناسب در زمینه حمل و نقل مواد خطرناک را تا اندازه‌ای مرتفع سازد. از روش‌های ترکیبی می‌توان روش «درخت عیب»^۷ [Haimes, 2009, Hong et al. 2009]، «درخت واقعه»^۸ [Hong et al. 2009 and Khodadadian, 2006] و روش «نگهداری بر پایه ریسک»^۹ [Khan and Had-dara, 2003] را بیان نمود.

در این مطالعات تلاش می‌شود تا شاخص‌های مرتبط با ریسک حمل این مواد ارزیابی شوند و سپس برای محاسبه ریسک با استفاده از قضاوت مهندسی یا روش‌های سلسله مراتبی، وزن‌دهی بر روی هر یک از این شاخص‌ها صورت گیرد [Jiang & Ying, 2014]. جایگاه این مطالعه با توجه به دسته‌بندی صورت گرفته در مطالعات پیشین، در گروه محاسبه ترکیبی (کیفی-کمی) ریسک قرار دارد که در آن تلاش می‌گردد با ترکیب داده‌های کمی و قضاوت مهندسی، رویکرد مقایسه‌ای و ابتکاری برای محاسبه ریسک در مسیرهای حمل مواد خطرناک ارائه شود. نوآوری مطالعه نیز ارائه همین روش مبتنی بر قضاوت مهندسی و کارشناسی در تعیین ریسک حمل و نقل مواد خطرناک است که اگر با داده‌های موجود (در صورت وجود برای مسیر) ترکیب شود می‌تواند به عنوان ورودی اولیه ارزشمندی در مسائل انتخاب مسیر مواد خطرناک به شمار آید.

تعیین شود چه عواملی ممکن است مشکل ساز شود. سپس عواقب احتمالی آنها نیز به طور کیفی بررسی می‌گردد. از خروجی این رویکرد با توجه به شناخت کامل سیستم و نقاط ریسک‌پذیر آن، در تصمیم‌گیری‌های مختلف برای آن سیستم و دادن پیشنهاد‌های مناسب برای حفظ ایمنی آن استفاده می‌شود.

ارزیابی ریسک کمی بر پایه روش‌های آماری و احتمالی است که به داده‌های عددی نشان دهنده مقدار عددی احتمالات وقوع و عواقب است برای محاسبه ریسک نیاز دارد. از روش‌های کمی محاسبه ریسک می‌توان روش ارزیابی ریسک نسبی^{۱۰} را نام برد. در این روش از یک شاخص نسبی برای بیان ریسک استفاده می‌شود. از رابطه (۱) برای محاسبه این شاخص ریسک استفاده می‌شود:

[Marhavalas and Koulouriotis. 2008]

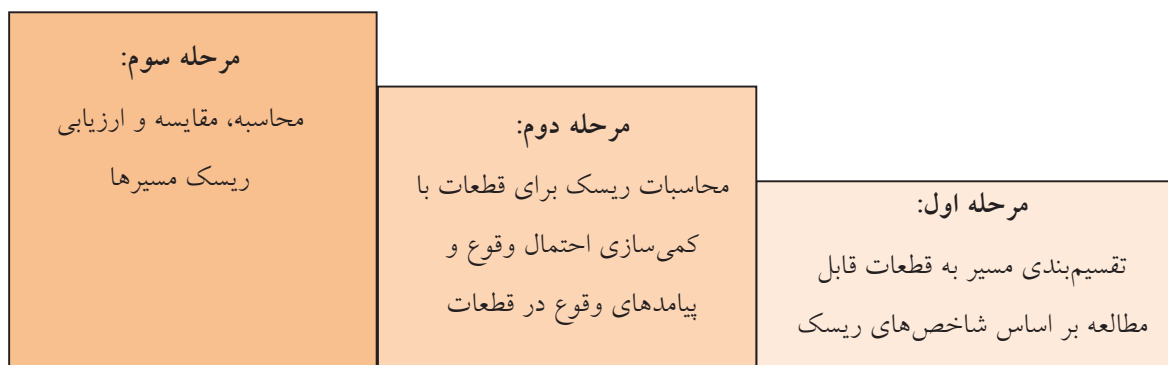
$$R = P.S.F \quad (1)$$

که در آن R: ریسک، P: فاکتور احتمال، S: فاکتور شدت آسیب، F: فاکتور تواتر (فرکانس) روش ارزیابی ریسک با ماتریس تصمیم^{۱۱} نیز یکی دیگر از روش‌های کمی است که در آن شاخص ریسک محصول شدت (S) و تمایل (P) در قالب رابطه (۲) به دست می‌آید.

[Ayyub, 2003 and Haimes, 2009]

$$R = S.P \quad (2)$$

در روش‌های ترکیبی (کمی-کیفی) تلاش می‌شود تا با ترکیب



شکل ۱. مراحل کلی رویکرد این پژوهش برای ارزیابی مسیر بر پایه ریسک

۲. روش شناسی

برای محاسبه ریسک لازم است دو مولفه احتمال وقوع حادثه و پیامدهای وقوع حادثه را کمی نمود.

با داشتن ریسک در نقاط مختلف یک مسیر حمل مواد خطرناک، می توان ارزیابی مناسبی از آن مسیر در رابطه با حمل مواد خطرناک ارائه کد و علاوه بر معرفی قطعه بحرانی، ریسک کلی مسیر را محاسبه و با ریسک مسیرهای موازی یا جایگزین مقایسه کرد. رویکرد ارائه شده در این پژوهش شامل سه بخش اصلی است که در شکل ۱ نمایش داده شده است.

شکل ۲ ساختار کلی رویکرد پیشنهادی مطالعه را برای رسیدن به ریسک مسیرها به همراه ورودیها و خروجیها نمایش می دهد.

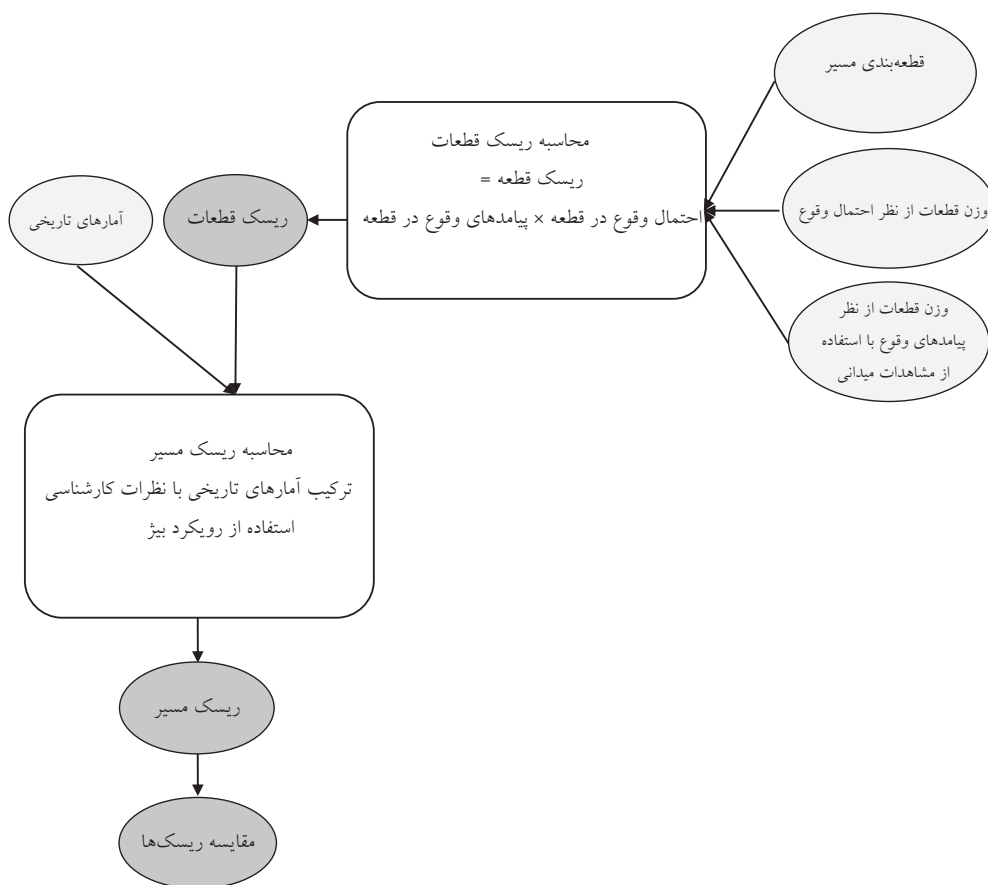
۲-۱ قطعه بندی

برای بالا بردن دقت در محاسبات ریسک مسیر و همچنین ارزیابی نقاط مختلف مسیر، قطعه بندی صورت می گیرد. از آنجا که هدف ارزیابی مبتنی بر محاسبات ریسک است، قطعه بندی نیز باید بر اساس ریسک انجام شود. برای این منظور از شاخص هایی استفاده می شود که در میزان ریسک مسیرهای حمل مواد خطرناک موثر هستند. ریسک را می توان از ضرب احتمال وقوع حادثه در پیامدهای وقوع حادثه به دست آورد. اگر احتمال وقوع حادثه مربوط به مواد خطرناک را با P و پیامدهای وقوع حادثه را با C نمایش داده شود، ریسک R از رابطه (۳) محاسبه می گردد [Chakrabarti

and Parikh, 2011

$$R=P \times C$$

(۳)



شکل ۲. ساختار و روند کلی به همراه ورودیها و خروجیهای رویکرد

واقعه^۱ از روش‌های کمی-کیفی (ترکیبی) در محاسبه ریسک به حساب می‌آید [Hong et al. 2009 Datao, 2005 and]. با کمی‌سازی دو مولفه احتمال وقوع و پیامدهای وقوع در قطعات ریسک در آنها محاسبه می‌شود.

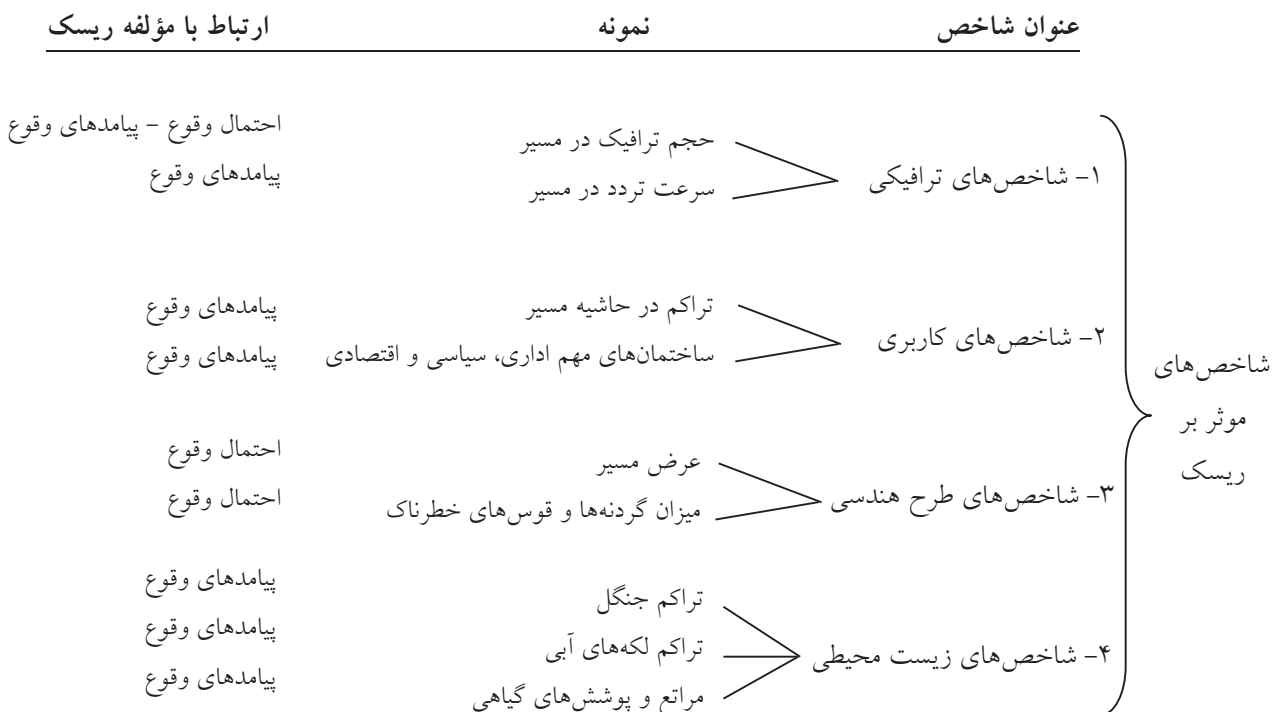
۲-۲-۱ کمی‌سازی احتمال وقوع

برای کمی‌سازی احتمال می‌توان از داده‌های مربوط به آمارهای تاریخی حوادث پیشین مربوط به حمل مواد خطرناک استفاده کرد. خروجی این قسمت یک وزن برای قطعات مختلف یک مسیر از نظر احتمال وقوع حوادث است. در صورتی که آمارهای مناسب در این زمینه موجود نباشد، می‌توان از نظرات کارشناسان و بکارگیری روشی برگرفته از مقایسات زوجی، برای هر قطعه، وزنی از لحاظ وقوع اتفاق به دست می‌آید. این مقایسات وزن هر یک از قطعات را نسبت به قطعات دیگر از نظر احتمال وقوع به دست می‌دهد [Saaty, 2008].

شاخص‌های مورد استفاده در قطعه‌بندی نیز باید با این دو مولفه مرتبط باشند. شکل ۳ یک دسته‌بندی کلی از شاخص‌های موثر بر ریسک و مورد استفاده در قطعه‌بندی را به همراه مثال‌هایی برای هر گروه و ارتباط هر یک با دو مؤلفه موثر در ریسک، نمایش می‌دهد. در هر مطالعه می‌توان با توجه به میزان دقت، هزینه و هدف، تعدادی از این شاخص‌ها انتخاب کرد و قطعه‌بندی مسیرها را با توجه به آنها انجام داد. به عنوان مثال در یک مسیر می‌توان با توجه به مشاهدات میدانی و ثبت کاربری‌های اطراف مسیر و با استفاده از نقشه‌های جغرافیایی نقاطی که تغییرات قابل ملاحظه در کاربری‌های حاشیه مسیر می‌شود را به عنوان مرز قطعات در نظر گرفت.

۲-۲-۲ ریسک قطعات

از رویکرد درخت‌های عیب و درخت واقعه برای مدل‌سازی و محاسبه ریسک استفاده می‌شود. رویکرد ترکیبی درخت عیب و



شکل ۳. شاخص‌های موثر در ریسک و ارتباط آنها با دو مؤلفه ریسک

۲-۲-۲ کمی سازی پیامد

پس از محاسبه وزن قطعات از نظر احتمال وقوع در این بخش وزن قطعات از نظر پیامدهای وقوع دنبال می‌شود. در محاسبه پیامدهای مربوط به حمل مواد خطرناک ابتدا ناحیه تأثیر حادثه مواد خطرناک در طول مسیر باید محاسبه شود. ناحیه تأثیر محوطه‌ای است که پس از وقوع حادثه ماده خطرناک در آن، پتانسیل آسیب‌رسانی به آسیب‌پذیران وجود دارد. شکل و اندازه ناحیه تأثیر نه تنها وابسته به نوع ماده حمل است، بلکه به فاکتورهای دیگری از جمله توپولوژی منطقه، آب و هوا، جهت و سرعت باد و نوع خاک نیز بستگی دارد. مدل‌های مختلفی برای محاسبه ناحیه تأثیر در متون گذشته ماده خطرناک وجود دارد. محققان از شکل مختلف هندسی برای مدلسازی ناحیه اثر استفاده کرده‌اند. مثلاً یک باند با عرض ثابت در اطراف مقطع راه [Batta, 1988 and Re Velle, 1991]، یک دایره (به نام دایره خطر) با شعاعی که بستگی به نوع ماده دارد و مرکز آن در محل حادثه است [Kara, 2003]، مستطیل در اطراف مقطع راه و یا یک بیضی شکل [Zhang, 2000]. شکل زیر این چهار شکل از ناحیه اثر را که در ادبیات وجود داشته است نشان می‌دهد.

در این پژوهش از مدل باند با عرض ثابت در طول مسیر که یکی از رایج‌ترین مدل‌ها در این مقوله است، استفاده شده است. از آنجا که حوادث مربوط به مایعات قابل اشتعال (بنزین) به عنوان ماده خطرناک در این پژوهش مورد نظر است با توجه به آیین‌نامه‌ها عرض باند ۰/۸ کیلومتر از محور مرکزی مسیر به عنوان ناحیه تأثیر در نظر گرفته می‌شود [Nicolet-Monnier, 1996 and CANUTEC 2004].

با محاسبه شاخص‌های پیامد در ناحیه تأثیر در قطعات مختلف می‌توان به وزن‌های نسبی قطعات از نظر پیامدهای وقوع رسید. انتخاب عامل‌های موثر در پیامد وقوع، به عوامل مختلفی از جمله منطقه جغرافیایی، نوع وسیله حمل ماده خطرناک (مد

حمل و نقلی) و نوع ماده خطرناک بستگی دارد [Rapik and Saat et al. 2014]. در این بخش سه عامل جمعیت، ساختمان‌ها و منابع طبیعی را می‌توان به عنوان شاخص‌های پیامد در نظر گرفت. نحوه وزن‌دهی به قطعات مختلف با توجه به مشاهدات و ثبت میدانی کاربری‌های اطراف و محاسبه نسبت مساحت‌های کاربری‌های مختلف در قطعات با توجه به نقشه‌های جغرافیایی است. پس از وزن‌دهی شاخص‌های مختلف به هر یک از قطعات باید آنها را ترکیب نمود تا به وزن نهایی قطعات از نظر پیامدهای وقوع دست یافت. برای این منظور اهمیت هر شاخص از نظر ترجیحات سازمانی در وزن نهایی قطعات موثر خواهد بود. برای این منظور می‌توان سناریوهای مختلف را در نظر گرفت و در هر سناریو وزن یک عامل نسبت به عوامل دیگر بیشتر در نظر گرفته شود. به این ترتیب در پایان می‌توان با ضرب وزن‌های دو مولفه ریسک در هم ریسک هر قطعه را برای سناریوهای مختلف به دست آورد.

۳. مطالعه موردی

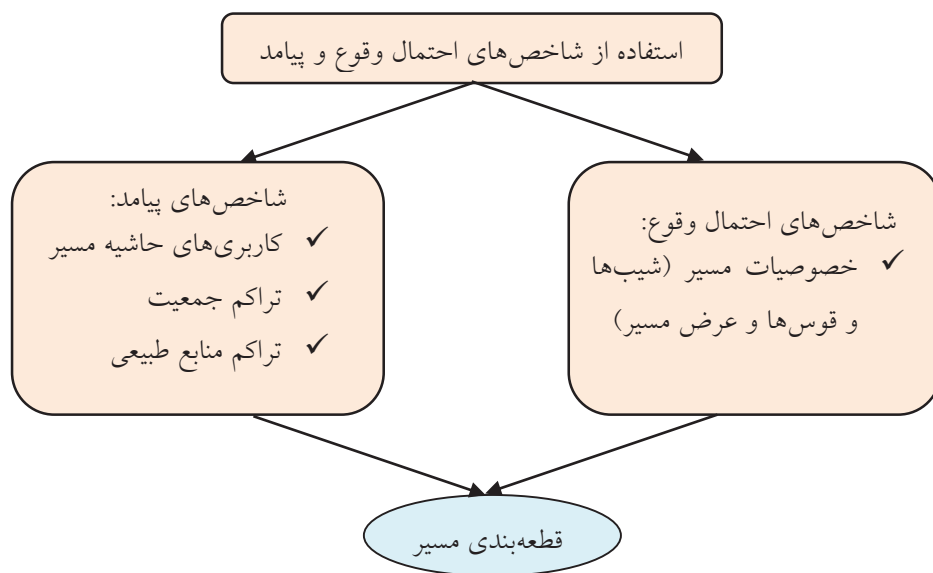
دو محور انتخاب شده برای مطالعه موردی در این مطالعه، مسیرهای هراز و فیروزکوه هستند که تهران را به ساری متصل می‌کنند. بالا بودن حجم ترافیک عبوری روزانه (۲۸۳ هزار وسیله نقلیه در ماه برای محور فیروزکوه و ۱۳۰ هزار وسیله نقلیه در ماه برای محور هراز) و آمار تصادفات این دو محور (به صورت جمع در دو مسیر حدود ۹۱ کشته و زخمی در سال ۹۰ بر اساس آمار سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور) از دلایل انتخاب آنها برای اعمال رویکرد پژوهش است.

شاخصی که برای قطعه‌بندی مسیرها از آن استفاده شد، شامل خصوصیات فیزیکی مسیر (قوس‌ها و عرض مسیر) که از شاخص‌های احتمال وقوع و کاربری‌های حاشیه مسیر (تراکم جمعیت و تراکم منابع طبیعی) که از شاخص‌های پیامدهای

ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک مبتنی بر ریسک-مطالعه موردی مسیرهای تهران-مازندران

تقسیم شده‌اند که جدول ۱ قطعه‌بندی صورت گرفته در مسیرها را همراه با نام منطقه و طول هر قطعه نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که مرز هر قطعه پایان قطعه قبل و ابتدای قطعه بعدی است و نام قطعات تنها برای شناسایی حدود موقعیت جغرافیایی

وقوع هستند، است. نحوه قطعه‌بندی با توجه به پیمایش میدانی و مشاهده در محل و نظر کارشناسی طبق دو شاخص اصلی بیان شده صورت گرفت. شکل ۴ ساختار کلی روش قطعه‌بندی را نمایش می‌دهد. هر یک از دو مسیر مورد مطالعه به ۱۲ قطعه



شکل ۴. روند قطعه‌بندی مسیر بر پایه ریسک

جدول ۱. قطعه‌بندی دو محور هراز و فیروزکوه به همراه طول هر قطعه

طول (کیلومتر)	هراز	قطعه	طول (کیلومتر)	فیروزکوه	قطعه
۶۵	از تقاطع جاده هراز با جاده فیروزکوه تا مبارک‌آباد	۱	۵۹	دماوند تا گیلاوند	۱
۱۰	امامزاده هاشم	۲	۱۵	گیلاوند	۲
۶	منطقه پلور	۳	۴۸	از ورودی آبسرد تا سربندان	۳
۱۳	منطقه آب‌اسک	۴	۶	منطقه نمرود، رستوران نمرود (رودخانه)	۴
۱۶	رینه، شاهان‌دشت و وانا	۵	۱۲	شهرک صنعتی فیروزکوه و شهر فیروزکوه	۵
۱۷	منطقه بایجان	۶	۲۵	منطقه گدوک و شورآب	۶
۱۹	منطقه محمدآباد	۷	۵	منطقه ورسک	۷
۲۰	تقاطع امامزاده عبدال...، دانشگاه شمال (آمل)	۸	۲۰	از خطیرکوه و دوآب تا شورمست	۸
۲۲	آمل	۹	۹	از پلیس‌راه سوادکوه تا پل سفید	۹
۲۰	بابل	۱۰	۳۸	زیرآب و شیرگاه	۱۰
۱۴	قائم‌شهر	۱۱	۱۴	قائم‌شهر	۱۱
۱۷	مسیر قائم‌شهر-ساری	۱۲	۱۷	مسیر قائم‌شهر-ساری	۱۲
۲۳۹		طول مسیر	۲۶۹		طول مسیر

منطقه است.

دو محور در پلیس راه جاجرود و پلیس راه گدوک نیز مصاحبه استفاده شد. جدول ۲ وزن‌های نهایی برای قطعات مختلف دو محور مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. اعداد حاصل وزن‌های هر یک از قطعات از نظر احتمال وقوع حادثه است.

۳-۱ کمی‌سازی احتمال وقوع

برای کمی‌سازی احتمال وقوع حوادث با استفاده از نظرات کارشناسی، از ابزار پرسشنامه و مصاحبه افراد آشنا به مسیرها استفاده شد. افرادی که در این بخش برای دست‌یابی به وزن‌های نسبی قطعات از لحاظ احتمال وقوع با آنها مصاحبه شد، شامل رانندگان با سابقه ماشین‌های مسافری و همچنین افراد آشنا به مسیر در پلیس راه‌های این دو محور است. میانگین سابقه رانندگان در رانندگی در این مسیرها حدوداً ۱۲ سال بوده است که در میان این افراد، رانندگانی که سابقه بیش از ۲۰ سال رانندگی در این مسیرها را داشتند نیز دیده شد. پایانه شرق تهران یکی از محل‌هایی بود که با توجه به تجمع رانندگان دو محور هراز و فیروزکوه، برای تکمیل پرسشنامه به آنجا مراجعه شد. این پایانه در شرق تهران و محدوده تهرانپاس و خیابان دماوند در منطقه ۱۳ شهرداری تهران واقع شده است که روزانه حجمی حدود ۲۰ هزار مسافر را جابجا می‌کند. در مجموع ۳۲ مصاحبه صورت گرفت که ۱۷ پرسشنامه مربوط به جاده هراز و ۵۱ پرسشنامه مربوط به جاده فیروزکوه بوده است. از تعداد کل مصاحبه شونده‌ها، از ۱۷ نفری که به هر دو مسیر آشنا بودند برای مقایسه کلی دو مسیر استفاده شد. برای کامل کردن هر پرسشنامه زمانی معادل ۱۵ تا ۲۰ دقیقه صرف شده است. مصاحبه‌ها در تاریخ‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ مهرماه سال ۹۱ انجام گرفته است. از مجموع ۲۳ مصاحبه شونده ۴۴ درصد (۱۴ نفر) راننده اتوبوس در دو محور مورد مطالعه و ۳۴ درصد (۱۱ نفر) راننده تاکسی‌های خطی و ۲۲ درصد (۷ نفر) از کارشناسان مسیر در پلیس راه بوده‌اند. همچنین از افراد آشنا به این

جدول ۲. وزن نهایی قطعات دو محور هراز و فیروزکوه از نظر

احتمال وقوع

هراز	احتمال وقوع	فیروزکوه	احتمال وقوع
قطعه ۱	۶۰/۰۷	قطعه ۱	۰/۰۴۸
قطعه ۲	۳۰/۱۴	قطعه ۲	۰/۰۶۱
قطعه ۳	۹۰/۱۳	قطعه ۳	۰/۰۷۰
قطعه ۴	۲۰/۱۲	قطعه ۴	۰/۱۲۱
قطعه ۵	۳۰/۱۰	قطعه ۵	۰/۰۶۶
قطعه ۶	۰/۰۷۰	قطعه ۶	۰/۱۲۳
قطعه ۷	۰/۰۷۱	قطعه ۷	۰/۱۳۸
قطعه ۸	۰/۰۶۳	قطعه ۸	۰/۰۹۵
قطعه ۹	۰/۰۵۱	قطعه ۹	۰/۰۸۷
قطعه ۱۰	۰/۰۵۲	قطعه ۱۰	۰/۰۸۹
قطعه ۱۱	۲۰/۰۴	قطعه ۱۱	۰/۰۳۶
قطعه ۱۲	۰/۰۶۹	قطعه ۱۲	۰/۰۶۷
مجموع	۱/۰۰۰	مجموع	۱/۰۰۰

۳-۲ کمی‌سازی پیامدها

برای محاسبه وزن هر قطعه از نظر پیامدهای وقوع ابتدا نواری به عرض ۰/۸ کیلومتر در هر سمت از حاشیه مسیر (مستطیلی به عرض ۱/۶ در طول مسیر) با توجه به استانداردها به عنوان ناحیه تأثیر در نظر گرفته شد. این عدد در استانداردها [CANUTEC, 2004] برای مواد خطرناک نوع ۳ آورده شده است. در اینجا نیز از

جدول ۳. وزن‌های داده شده به شاخص‌های مختلف پیامد در قطعات محور هراز

قطعه ۱	قطعه ۲	قطعه ۳	قطعه ۴	قطعه ۵	قطعه ۶	قطعه ۷	قطعه ۸	قطعه ۹	قطعه ۱۰	قطعه ۱۱	قطعه ۱۲
۴	۲	۲	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۴	۶	۴
۳	۲	۳	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۲	۲
۱	۱	۱	۵	۲	۲	۳	۲	۱	۱	۲	۱

شده سه شاخص با توجه به وزن‌های هر شاخص در قطعات که در جدولهای ۳ و ۴ آورده شد، به دست می‌آید. وزن نهایی برای قطعات مختلف از ترکیب وزن‌های واحدسازی شده سه شاخص با توجه به وزن‌های هر شاخص در قطعات که در جدول ۶ و جدول ۷ آورده شد، به دست می‌آید. به عنوان مثال برای قطعه اول از محور هراز می‌توان نوشت:

$$0/1031 = \left(\frac{1}{3}\right) \times \frac{1}{22} + \left(\frac{1}{3}\right) \times \frac{3}{21} + \left(\frac{1}{3}\right) \times \frac{4}{33} =$$

وزن قطعه اول محور هراز از نظر پیامد با توجه به سناریو دوم

$$0/1077 = \left(\frac{0}{25}\right) \times \frac{1}{22} + \left(\frac{3}{25}\right) \times \frac{3}{21} + \left(\frac{0}{5}\right) \times \frac{4}{33} =$$

وزن قطعه اول محور هراز از نظر پیامد با توجه به سناریو سوم

$$0/1131 = \left(\frac{0}{25}\right) \times \frac{1}{22} + \left(\frac{0}{5}\right) \times \frac{3}{21} + \left(\frac{0}{25}\right) \times \frac{4}{33} =$$

وزن قطعه اول محور هراز از نظر پیامد با توجه به سناریو چهارم

$$0/887 = \left(\frac{0}{5}\right) \times \frac{1}{22} + \left(\frac{0}{25}\right) \times \frac{3}{21} + \left(\frac{0}{25}\right) \times \frac{4}{33} =$$

به همین ترتیب عملیات بالا برای همه قطعات هر دو محور انجام می‌شود که اعداد به دست آمده در جدول ۶ و جدول ۷ به ترتیب برای محورهای هراز و فیروزکوه، نمایش داده شده است.

۳-۳ ریسک قطعات

با داشتن وزن هر قطعه از نظر احتمال وقوع و پیامدهای وقوع می‌توان شاخص ریسک را برای آن قطعه محاسبه نمود.

ریسک قطعه = وزن قطعه از نظر احتمال وقوع (جدول ۲) × وزن

آنجا که جابجایی بنزین و مایعات قابل اشتعال مدنظر است، از این عدد استفاده می‌شود. سپس با توجه به مشاهدات میدانی تلاش گردید تا با محاسبه تراکم ساختمان‌های مسکونی، غیر مسکونی و منابع طبیعی (جنگل، زمین‌های کشاورزی و دریاچه و رودخانه) به هر قطعه در مقایسه با قطعات دیگر در یک مسیر اعدادی بین ۱ تا ۶ به عنوان وزن داده شد. جدولهای ۳ و ۴ وزن‌های داده شده با استفاده از مشاهدات میدانی در قطعات مختلف به سه شاخص پیامد (تراکم جمعیت، تراکم مراکز اداری-سیاسی-اجتماعی و تراکم منابع طبیعی) به ترتیب در دو محور هراز و فیروزکوه را نمایش می‌دهد که این سه شاخص به ترتیب تلفات جانی (انسانی)، اقتصادی و محیط‌زیستی را در برمی‌گیرند. سپس چهار سناریو با میزان اهمیت متفاوت برای شاخص‌های مختلف به صورت جدول ۵ در نظر گرفته شد.

در سناریو اول همه وزن‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود. در دومین سناریو وزن تراکم جمعیت در پیامدهای وقوع دو برابر دو شاخص دیگر در نظر گرفته می‌شود. در سومین سناریو وزن تراکم ساختمان‌ها دو برابر بقیه و در چهارمین سناریو وزن تراکم منابع طبیعی دو برابر بقیه لحاظ شده است.

جدول ۵. سناریوهای در نظر گرفته شده در رویکرد مطالعه و

وزن‌های شاخص‌های پیامد وقوع

	تراکم جمعیت	تراکم ساختمان‌ها	تراکم منابع طبیعی
سناریو اول	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
سناریو دوم	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵
سناریو سوم	۰/۲۵	۰/۵	۰/۲۵
سناریو چهارم	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵

وزن نهایی برای قطعات مختلف از ترکیب وزن‌های واحدسازی

جدول ۴. وزن‌های داده شده به شاخص‌های مختلف پیامد در قطعات محور فیروزکوه

قطعه ۱	قطعه ۲	قطعه ۳	قطعه ۴	قطعه ۵	قطعه ۶	قطعه ۷	قطعه ۸	قطعه ۹	قطعه ۱۰	قطعه ۱۱	قطعه ۱۲
۲	۵	۱	۲	۵	۱	۳	۲	۶	۵	۶	۴
۶	۲	۲	۱	۵	۱	۲	۲	۲	۱	۲	۲
۱	۱	۱	۳	۱	۳	۲	۵	۱	۴	۲	۱

قطعه از نظر پیامدهای وقوع (جدول ۶ و جدول ۷)

۳-۴ محاسبه ریسک کلی مسیر

پس از محاسبه شاخص ریسک در نقاط مختلف یک مسیر، برای مقایسه و ارزیابی آن مسیر با مسیرهای جایگزین لازم است ریسک کلی آن مسیر نیز در دست باشد. با داشتن ریسک قطعات مختلف برای یک مسیر می‌توان به ریسک کلی آن مسیر دست یافت. برای این کار دو رویکرد قابل استفاده است. در اولین رویکرد ریسک

بحرانی‌ترین قطعه از یک مسیر، به عنوان ریسک کلی آن قطعه در نظر گرفته می‌شود و در دومین رویکرد میانگین وزنی ریسک همه قطعات با توجه به طول هر قطعه به عنوان ریسک کلی در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که ریسک‌های محاسبه در قطعات مختلف یک مسیر به طور مقایسه‌ای بین قطعات همان مسیر محاسبه شده‌اند بنابراین ابتدا باید راهکاری برای قابل مقایسه کردن این ریسک‌ها با ریسک مسیرهای دیگر اندیشیده شود. برای این منظور از ترکیب

جدول ۶. وزن قطعات محور هراز از نظر پیامدهای وقوع برای چهار سناریو مورد مطالعه

وزن	قطعه ۱	قطعه ۲	قطعه ۳	قطعه ۴	قطعه ۵	قطعه ۶	قطعه ۷	قطعه ۸	قطعه ۹	قطعه ۱۰	قطعه ۱۱	قطعه ۱۲
سناریو ۱	۰/۱۰۳	۰/۰۶۷	۰/۰۸۳	۰/۱۱۲	۰/۰۶۶	۰/۰۵۶	۰/۰۸۲	۰/۰۸۲	۰/۰۵۱	۰/۰۸۷	۰/۱۲۳	۰/۰۸۷
سناریو ۲	۰/۱۰۸	۰/۰۶۵	۰/۰۷۷	۰/۰۹۹	۰/۰۶۵	۰/۰۵۰	۰/۰۷۶	۰/۰۷۷	۰/۰۵۴	۰/۰۹۶	۰/۱۳۷	۰/۰۹۶
سناریو ۳	۰/۱۱۳	۰/۰۷۴	۰/۰۹۸	۰/۰۹۶	۰/۰۶۲	۰/۰۵۴	۰/۰۷۳	۰/۰۸۵	۰/۰۵۰	۰/۰۸۹	۰/۱۱۶	۰/۰۸۹
سناریو ۴	۰/۰۸۹	۰/۰۶۲	۰/۰۷۴	۰/۱۴۱	۰/۰۷۳	۰/۰۶۵	۰/۰۹۵	۰/۰۸۴	۰/۰۵۰	۰/۰۷۷	۰/۱۱۵	۰/۰۷۷

جدول ۷. وزن قطعات محور فیروزکوه از نظر پیامدهای وقوع برای چهار سناریو مورد مطالعه

وزن	قطعه ۱	قطعه ۲	قطعه ۳	قطعه ۴	قطعه ۵	قطعه ۶	قطعه ۷	قطعه ۸	قطعه ۹	قطعه ۱۰	قطعه ۱۱	قطعه ۱۲
سناریو ۱	۰/۱۰۱	۰/۰۷۷	۰/۰۴۵	۰/۰۶۸	۰/۱۱۳	۰/۰۶۰	۰/۰۷۴	۰/۱۰۶	۰/۰۸۵	۰/۱۰۵	۰/۰۹۸	۰/۰۶۹
سناریو ۲	۰/۰۸۷	۰/۰۸۷	۰/۰۴۰	۰/۰۶۳	۰/۱۱۴	۰/۰۵۱	۰/۰۷۴	۰/۰۹۲	۰/۰۹۹	۰/۱۰۸	۰/۱۰۹	۰/۰۷۵
سناریو ۳	۰/۱۲۹	۰/۰۷۵	۰/۰۵۲	۰/۰۶۰	۰/۱۲۹	۰/۰۵۴	۰/۰۷۴	۰/۰۹۸	۰/۰۸۱	۰/۰۸۸	۰/۰۹۱	۰/۰۷۰
سناریو ۴	۰/۰۸۵	۰/۰۶۸	۰/۰۴۴	۰/۰۸۱	۰/۰۹۴	۰/۰۷۵	۰/۰۷۶	۰/۱۳۰	۰/۰۷۴	۰/۱۱۹	۰/۰۹۴	۰/۰۶۲

جدول ۸. ریسک قطعات محور هراز و به تفکیک سناریوهای مختلف برای پیامدها

هراز	سناریو ۱	سناریو ۲	سناریو ۳	سناریو ۴
قطعه ۱	۰/۰۹۴	۰/۱۰۱	۰/۱۰۳	۰/۰۸۰
قطعه ۲	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶	۰/۱۲۷	۰/۱۰۵
قطعه ۳	۰/۱۳۹	۰/۱۳۳	۰/۱۶۳	۰/۱۲۲
قطعه ۴	۰/۱۶۵	۰/۱۴۹	۰/۱۴۰	۰/۲۰۵
قطعه ۵	۰/۰۸۲	۰/۰۸۲	۰/۰۷۶	۰/۰۸۹
قطعه ۶	۰/۰۴۸	۰/۰۴۳	۰/۰۴۵	۰/۰۵۴
قطعه ۷	۰/۰۷۰	۰/۰۶۷	۰/۰۶۲	۰/۰۸۱
قطعه ۸	۰/۰۶۳	۰/۰۶۰	۰/۰۶۵	۰/۰۶۴
قطعه ۹	۰/۰۳۲	۰/۰۳۴	۰/۰۳۱	۰/۰۳۰
قطعه ۱۰	۰/۰۵۵	۰/۰۶۲	۰/۰۵۶	۰/۰۴۸
قطعه ۱۱	۰/۰۶۳	۰/۰۷۲	۰/۰۵۹	۰/۰۵۸
قطعه ۱۲	۰/۰۷۳	۰/۰۸۲	۰/۰۷۴	۰/۰۶۴
میانگین	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳
واریانس	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲

ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک مبتنی بر ریسک-مطالعه موردی مسیرهای تهران-مازندران

داده‌های تاریخی موجود و نظرات کارشناسی (مقایسه کلی بین دو مسیر) استفاده شده است. داده‌های تاریخی با توجه به نرخ تصادفات موجود در سازمان راهداری به صورت وزن واحدسازی شده برای دو مسیر در نظر گرفته شد. جدول ۱۰ وزن‌های کلی دو محور با توجه به آمار تصادفات و نظرات کارشناسی را نمایش می‌دهد. با ترکیب این دو وزن، باید یک وزن به عنوان ضریب نسبی سطح خطرپذیری برای دو مسیر محاسبه شود. برای ترکیب این دو وزن از رویکرد بیژ و با استفاده از واریانس نظرات کارشناسان به صورت زیر عمل می‌شود: [Hauer, 2002]

$$W_i = \left(\frac{1}{1 + \frac{\text{var}(w_1)}{E(w_1)}} \right) \times w_1 + \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\text{var}(w_1)}{E(w_1)}} \right) w_2 \quad (4)$$

که در آن:

W_i وزن کلی برای هر مسیر

w_1 وزن کلی هر مسیر با توجه به نظرات کارشناسان

w_2 وزن هر مسیر با توجه به آمارهای تاریخی

$Var(w_1)$ واریانس وزن‌های داده شده به دو مسیر توسط افراد

مختلف

در رابطه بالا هرچه قدر نسبت واریانس به میانگین وزن هر مسیر با توجه به نظر کارشناسان بیشتر باشد، اثر بخشی آن وزن در مقایسه با آمارهای تاریخی کمتر می‌شود. برای نمونه وزن ترکیبی جاده هراز را با استفاده از رابطه ۴ می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$W_i = \left(\frac{1}{1 + \frac{0/985}{5/12}} \right) \times 0/63 + \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{0/985}{5/12}} \right) \times 0/597 = 0/624$$

که در رابطه بالا ۰/۵۸۹ واریانس نظرات افراد در وزن‌دهی به مسیر هراز و ۵/۲۱ میانگین نظرات افراد، است. جدول ۱۱ وزن‌های نهایی دو محور و همچنین ریسک بحرانی‌ترین قطعه در هر محور را نمایش می‌دهد. در ستون چهارم جدول ریسک مسیر که حاصل ضرب ریسک بحرانی‌ترین قطعه در وزن هر مسیر است،

جدول ۹. ریسک قطعات محور فیروزکوه و به تفکیک سناریوهای مختلف برای پیامدها

سناریو ۴	سناریو ۳	سناریو ۲	سناریو ۱	فیروزکوه
۰/۰۴۹	۰/۰۷۸	۰/۰۵۲	۰/۰۵۹	قطعه ۱
۰/۰۴۹	۰/۰۵۸	۰/۰۶۶	۰/۰۵۸	قطعه ۲
۰/۰۳۶	۰/۰۴۶	۰/۰۳۵	۰/۰۳۹	قطعه ۳
۰/۱۱۷	۰/۰۹۱	۰/۰۹۵	۰/۱۰۱	قطعه ۴
۰/۰۷۴	۰/۱۰۸	۰/۰۹۴	۰/۰۹۲	قطعه ۵
۰/۱۱۰	۰/۰۸۴	۰/۰۷۸	۰/۰۹۱	قطعه ۶
۰/۱۲۵	۰/۱۲۹	۰/۱۲۷	۰/۱۲۷	قطعه ۷
۰/۱۴۷	۰/۱۱۷	۰/۱۰۹	۰/۱۲۴	قطعه ۸
۰/۰۷۷	۰/۰۹۰	۰/۱۰۹	۰/۰۹۲	قطعه ۹
۰/۱۲۷	۰/۰۹۹	۰/۱۲۱	۰/۱۱۶	قطعه ۱۰
۰/۰۴۱	۰/۰۴۲	۰/۰۵۰	۰/۰۴۴	قطعه ۱۱
۰/۰۴۹	۰/۰۵۹	۰/۰۶۳	۰/۰۵۷	قطعه ۱۲
۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	میانگین
۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	واریانس

جدول ۱۰. وزن مسیرهای هراز و فیروزکوه با توجه به آمار تاریخی و نظرات کارشناسی

فیروزکوه	هراز	
۰/۴۰۶	۰/۵۹۴	وزن کلی مسیر با توجه به آمار تصادفات
۰/۳۷۰	۰/۶۳۰	وزن کلی مسیر با توجه به نظرات کارشناسی

بحرانی در یک مسیر تعیین می‌شود. این خروجی می‌تواند در تخصیص نیروهای امدادی پس از بحران و مکان‌یابی تجهیزات امدادی و هلال احمر در مسیر، به خوبی مورد استفاده قرار گیرد. (ب) با استفاده از رویکرد پیشنهادی می‌توان با توجه به نوع ماده خطرناک، محاسبات مربوط به پیامدهای مختلف آن ماده خطرناک را در نقاط مختلف مسیر محاسبه کرد و با ضرب آن در مقدار احتمال وقوع تصادفات، ریسک را برای انواع ماده در طول یک مسیر به دست آورد.

(پ) اگر هدف مقایسه دو مسیر جایگزین در یک شبکه از نظر ریسک موجود در مسیرها برای حمل مواد خطرناک باشد، می‌توان با استفاده از خروجی این رویکرد و مقایسات دو به دو بین مسیرها، برای اولویت‌بندی مسیرهای مختلف حمل مواد خطرناک بر پایه ریسک کمک گرفت.

(ت) از بکارگیری رویکرد پیشنهادی در مطالعه موردی محورهای هراز و فیروزکوه، مشاهده شد که قطعه ۳ و ۴ در محور هراز (منطقه پلور و آب‌اسک) و قطعه ۷ (منطقه ورسک) در محور فیروزکوه بیشترین ریسک نسبی را در مقایسه با دیگر قطعات هر محور داشته‌اند. ریسک‌های به دست آمده برای قطعات خوبی می‌توانند به عنوان شاخصی برای سطح خطرپذیری قطعات مختلف مسیر از نظر حمل مواد خطرناک باشند. کاربرد اصلی ریسک‌های محاسبه شده در این قسمت، اولویت‌بندی قطعات مختلف مسیر از نظر سطح خطرپذیری برای استفاده در مکان‌یابی مراکز امدادی یا تخصیص نیروهای امدادی پس از حادثه در این مناطق باشد. همچنین ریسک کلی واحدسازی شده برای مسیرهای هراز و فیروزکوه به ترتیب ۰/۶۷۱ و ۰/۳۲۹ است. این نتایج به روشنی نشان می‌دهد تردد وسایل حمل مواد خطرناک در محور هراز احتمال خطر بیشتری نسبت به محور فیروزکوه دارد. به عنوان پیشنهاد برای مطالعات آینده می‌توان این رویکرد را در شبکه مسیرهای شهری برای ارزیابی و مقایسه مسیرهای شهری

نمایش داده شده است. سپس ریسک دو مسیر واحدسازی شده و در ستون پنجم ارائه می‌شود. حال این اعداد که نشان دهنده ریسک نسبی دو مسیر مورد مطالعه هستند، قابل مقایسه و ارزیابی با یکدیگر هستند.

جدول ۱۱. محاسبه ریسک مسیر با توجه به ریسک

قطعه بحرانی در هر مسیر				
محور	ریسک قطعه بحرانی	وزن ترکیبی مسیر	ریسک مسیر	ریسک نرمالایز شده
هراز	۰/۲۰۵	۰/۶۲۴	۰/۱۲۸	۰/۶۹۵
فیروزکوه	۰/۱۴۷	۰/۳۸۰	۰/۰۵۶	۰/۳۰۵

جدول ۲۱ نیز ریسک کلی مسیر با توجه به در نظر گرفتن ریسک همه قطعات و واحدسازی با طول قطعات را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۲. ریسک نهایی و واحدسازی شده مسیر

با توجه ریسک همه قطعات مسیر		
محور	ریسک مسیر با توجه به ریسک همه قطعات	ریسک نرمالایز شده مسیر
هراز	۲۰/۰۵۵	۰/۶۲۲
فیروزکوه	۰/۰۳۳۵۴۲	۰/۳۷۸

۴. نتیجه گیری

(الف) در ارزیابی مسیرهای حمل مواد خطرناک بر پایه ریسک می‌توان به جای محاسبه یک ریسک کلی برای مسیر، ریسک قطعات مختلف از آن را محاسبه نمود. قطعه‌بندی باعث می‌شود تا علاوه بر داشتن ریسک کلی دقیق‌تر (با توجه به بررسی بهتر پیامدهای مختلف در قطعات مختلف)، ارزیابی در طول آن مسیر نیز از نظر میزان ریسک صورت گیرد. به این ترتیب قطعات

-Ayyub, B. M. (2003) "Risk analysis in engineering and economics", CRC PRESS, pp. 125-144

-Batta, R., Chiu, S. (1988) "Optimal obnoxious paths on a network: Transportation of hazardous material." Operation Research, vol. 36 no. 1, pp. 84-92.

-CANUTEC (2004) "Emergency response guide-book", Canada: Cauntec.

-Chakrabarti, U. K. and Parikh, J. K. (2011) "Route evaluation for hazmat transportation based on total risk e A case of Indian State Highways" Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 24, Issue 5, pp. 524-530

-Erkut, E. (2007) "Hazardous material transportation, handbook in OR & MS", Elsevier. 14, pp. 539-621.

-Haimes, Y. Y. (2009) "Risk modeling, assessment, and management", Wiley Series in Systems Engineering and Management, Edition: 3

-Hauer, E. (2002) "Observational before and after studies in road safety", San Diego-San Francisco-Singapore-Sydney-Tokyo, Elsevier Science.

-Hong E.-S., Lee I.-M., Shin H.-S., Nam S.-W. and

یا درون استانی از آن استفاده کرد. به این ترتیب که به جای قطعه‌بندی و مقایسه قطعات، «نقاط سیاه^۱» در شبکه تعریف کرد و رویکرد مقایسه‌ای را در آن نقاط اعمال نمود. به این ترتیب می‌توان نقاط حادثه خیز در یک استان را با توجه به ریسک موجود در حمل مواد خطرناک مقایسه کرد و بر اساس سطح خطرپذیری اولویت‌بندی نمود. همچنین استفاده از نرم‌افزار SIG^۲ برای مدلسازی و محاسبه دقیق‌تر پیامدها برای افزایش دقت محاسبات ریسک پیشنهاد می‌شود.

۵. پی‌نوشت‌ها

- 1- Low Probability-High Consequence (LPHC)
- 2- Ontario
- 3- What-If Analysis
- 4- Safety audits
- 5- Proportional Risk Assessment Technique (PRAT)
- 6- Decision Matrix Risk Assessment Technique (DMRA)
- 7- Fault Tree
- 8- Event Tree
- 9- Risk Based Maintenance
- 10- Fault-Event Tree Analysis (FETA)
- 11- Black spot
- 12- Geographic Information System

۶. مراجع

- خدادادیان، م. (۵۸۳۱) "مسیریابی حمل مواد خطرناک به منظور کاهش ریسک در شبکه جاده‌ای"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران.

ment of hazardous materials transport systems: rail, road, pipelines, and ship”, Springer.

-Reniers, G. L. L., Dullaert W., Ale B. and Soudan, K. (2005) “Developing an external domino prevention framework: Hazwim”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 18, pp. 127-138.

-Re Velle, C., Cohon, J. and Shobrays, D. (1991) “Simultaneous siting and routing in the disposal of hazardous waste”, Transportation Science, vol. 25, pp. 138-145.

-Saat, Mohd Rapik, Werth, Charles J., Schaeffer, David, Yoon, Hongkyu and Barkan, Christopher P.L. (2014) “Environmental risk analysis of hazardous material rail transportation”, Journal of Hazardous Materials, Volume 264, pp. 560-569

-Saaty, T. L. (2008) “Decision making with the analytic hierarchy process”, International Journal of Services Sciences (IJSSCI), Vol. 1, No. 1, pp. 83-98.

-Zhang, J. J., Hodgson, J. and Erkut, E. (2000) “Using GIS to assess the risk of hazardous material transport in network”, European Journal of Operation Research, vol. 121, pp. 316-329.

Kong J.-S. (2009) “Quantitative risk evaluation based on event tree analysis technique: application to the design of shield TBM”, Tunneling and Underground Space Technology 24, pp. 269-277.

-Jiang, Ming-wei Ying, Ming (2014) “Study on route selection for hazardous chemicals”, Transportation Original Research Article Procedia Engineering, Volume 71, pp.130-138.

-Kara, B. Y., Erkut, E. and Verter, V. (2003) “Accurate calculation of hazardous materials transport risk” Operation Research Letters, Vol. 31, Number 4, July 2003, pp. 285-292(8)

-Khan, R. Sadiq, M. and Haddara, M. (2004) “Risk-based inspection and maintenance (RBIM): multi-attribute decision-making with aggregative risk analysis”, Process Safety and Environmental Protection, Vol. 82, Issue 6, November, pp. 398-411.

-Marhavidas P.K. and Koulouriotis D. E. (2008) “A risk estimation methodological framework using quantitative assessment techniques and real accidents’ data: application in an aluminum extrusion industry”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 21, pp. 596-603.

-Nicolet-Monnier, M. (1996) “Quantitative risk assess-