

ارزیابی ریسک ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی با استفاده از

تجزیه تحلیل سلسله مراتبی AHP

محمد رضا خلج^۱

چکیده:

هدف از این تحقیق طرح ریزی یک روش AHP جهت ارزیابی ریسک ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی از بین روش های مختلف، جهت ارزیابی میزان ریسک می باشد. در این مقاله یک مطالعه تجربی با استفاده از روش AHP جهت پیدا کردن وزن نسبی و معیار ارزیابی ریسک خطرات، مورد استفاده قرار گرفته است. سپس کارشناسان و متخصصین با بکار بردن روش AHP میزان ریسک ۴ زیر سیستم و ۱۵ خطر را برآورد نموده اند. مطابق با نتایج ارزیابی ریسک توسط کارشناسان اولویت ریسک خط و ابنیه بیشترین مقدار و اولویت ریسک سیستم های برنامه ریزی و کنترل ترافیک کمترین مقدار را دارا می باشد. در این مقاله یک ارزیابی ریسک واقعی و کاربردی از سیستم های حمل و نقل ریلی انجام گرفته است و در پایان نظرات کنترلی مطابق با نتایج ارزیابی ریسک ارائه شده است.

کلمات کلیدی:

ایمنی، ارزیابی ریسک، سیستم حمل و نقل ریلی، تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی AHP

مقدمه:

یکی از عوامل عمده در انتخاب سیستم های حمل و نقل مناسب، ایمنی است. [1] حمل و نقل ریلی همواره یکی از مهمترین و ایمن ترین شیوه های حمل و نقل در دنیا می باشد، روزانه کالاهای بسیاری به ارزش میلیون ها دلار و همچنین میلیون ها نفر مسافر با استفاده از این سیستم از نقطه ای به نقطه دیگر جابجا می شوند که سهم قابل توجهی در اقتصاد کشور ها دارند. [2] حمل و نقل کالا و مسافر از نظر تجاری و عملیاتی بسیار مهم می باشد پس قابلیت اعتماد، اعتبار، یکپارچگی و دستیابی به کنترل های لازم در این سیستم ها بسیار حائز اهمیت است. پس باید به ریسک های ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی توجه ویژه گردد.

در این مطالعه سیستم های حمل و نقل ریلی به چهار بخش: خط و ابنیه، ناوگان، سیستم های برنامه ریزی و کنترل ترافیک و مسافر یا بار تقسیم بندی کرده ایم. که هر یک از این بخش ها دارای عوامل بالقوه آسیب رسان مربوط به خود هستند. از آنجا که رویکردهای مدیریتی شکل یکپارچه به خود گرفته است و در قالب سیستم های یکپارچه تصمیم گیری ها و برنامه ریزی های لازم صورت می پذیرد، لازم است که نگاه جامعی در بحث عوامل بالقوه آسیب رسان سیستم های حمل و نقل ریلی

^۱ کارشناس HSE - شرکت صنایع ریلی ایران خودرو (ایریکو) - کیلومتر ۱۷ جاده ابهر تا کستان ، روبروی روستای قروه ، شرکت صنایع ریلی ایران خودرو واحد HSE تلفن ۸۶ - ۰۲۴۲۵۳۶۲۷۷۰ داخلی ۱۷۹
m_r_khalaj@yahoo.com

کشور حاکم گردد. این نگاه جامع باید شامل مدیریت و ارزیابی ریسک با توجه به معیارهای حساس و مهم سیستم حمل و نقل ریلی باشد و شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسک های مذکور روند یکپارچه ای داشته باشد. [۳]

در مدیریت جامع ریسک های عوامل بالقوه آسیب رسان سیستم های حمل و نقل ریلی باید در نهایت به راهکارهای مناسب پیشگیری دست یافت و بر مبنای کلی ارزیابی مناسب و متناسب، مدیریت صحیحی با توجه به منابع محدود در شرایط رخداد حادثه اعمال کرد. یکی از ابزار مناسب داشتن یک روش مناسب و کارآمد جهت ارزیابی ریسک ایمنی می باشد. [۳]

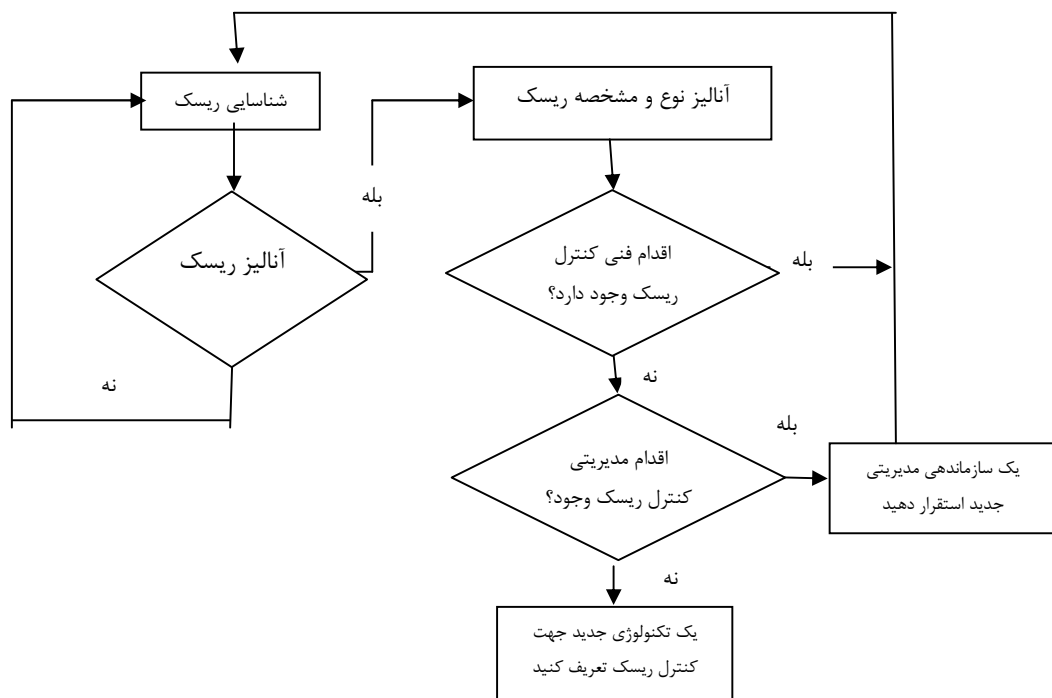
هدف از این تحقیق طرح ریزی یک روش AHP جهت ارزیابی ریسک ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی از بین روش های مختلف جهت ارزیابی میزان ریسک می باشد. در این مقاله یک مطالعه تجربی با استفاده از روش AHP جهت پیدا کردن وزن نسبی و معیار ارزیابی ریسک خطرات، مورد استفاده قرار گرفته است. سپس کارشناسان و متخصصین با بکار بردن روش AHP میزان ریسک ۴ بخش و ۱۵ عامل بالقوه آسیب رسان سیستم حمل و نقل ریلی را برآورد نموده اند

آنالیز ریسک ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی

سیستم های حمل و نقل ریلی با توجه به خصوصیات و مسافت منطقه تحت پوشش و سایر محدودیت های جغرافیایی، فنی و اقتصادی طراحی و ساخته می شوند. ایمنی این سیستم های حمل و نقل می تواند به علت خارج شدن واگن از ریل و یا برخورد با یک واگن دیگر، عابر یا سایر وسائط نقلیه و یا دیگر ریسک ها تهدید گردد. در حال حاضر در جهت پیشگیری از وقوع حوادث در سیستم های حمل و نقل ریلی در جهان مطالعات و اقدامات گسترده ای در حال انجام است.

اصطلاح ریسک های ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی می تواند یکسری از رویدادهایی باشد که به سیستم های حمل و نقل ریلی از طریق خارج شدن واگن از ریل، برخورد با عابری یا وسائط نقلیه یا واگن های دیگر، فرار واگن، آتش سوزی، صدمه به محیط زیست و غیره آسیب وارد نماید. این ریسک های ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی را می توانیم با استفاده از مدل آنالیز ریسک شناسایی و ارزیابی نماییم. شکل (۱) فرآیند ارزیابی ریسک در سیستم های حمل و نقل ریلی را نشان می دهد.

شکل (۱): فرآیند ارزیابی ریسک در سیستم های حمل و نقل ریلی



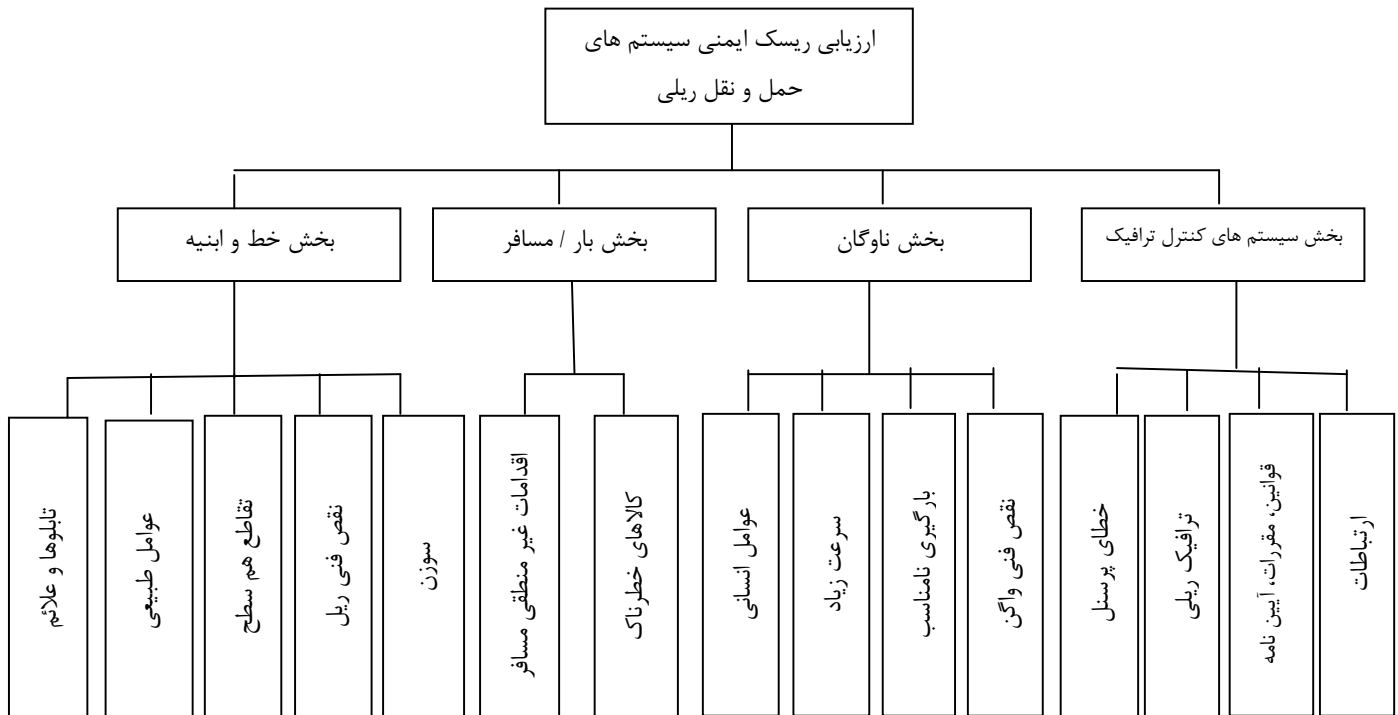
اگر سیستم در معرض چنین ریسک هایی نباشد به اقدامات کاهش ریسک فکر نمی کنیم ولی اگر ریسک های احتمالی وجود داشت، ما نیاز خواهیم داشت تا به آنالیز مشخصه ها و شکل های مختلف ریسک به طور کامل (و جز به جز و به تفصیل) و در مورد استفاده پدافند ها، تکنولوژی ها و سیستم های مدیریت موجود در جهت کاهش ریسک مذکور بحث کنیم. اگر بتوانیم ریسک ها را با استفاده از تکنولوژی ها و راه های پیشگیرانه موجود کاهش دهیم ما نیازی به توسعه راه ها و تکنولوژی های جدید نخواهیم داشت. ولی اگر نتوانیم چنین کاری انجام دهیم آنگاه باید راه ها و تکنولوژی های جدید را جهت کاهش ریسک های مذکور توسعه دهیم. با استفاده از چرخه این سیستم می توانیم به کمک یک آنالیز جامع ریسک، ریسک های مختلف را مدیریت کنیم. [۴]

شناسایی ریسک های ایمنی

از آنجایی که وضعیت ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی رابطه منطقی بسیار زیادی با شرایط محیطی، فرهنگ حاکم بر منطقه، سطح تکنولوژی تجهیزات، لوازم و امکانات فنی و اقتصادی، میزان مهارت و دانش کارکنان و مسافران و همچنین سیستم های مدیریتی مورد استفاده دارد پس تقسیم بندی های مختلفی از ریسک های ایمنی در سیستم های حمل و نقل ریلی وجود دارد در یک نوع تقسیم بندی این ریسک ها را به سه گروه: ریسک های ایمنی راه آهنی، ریسک های ایمنی غیر راه آهنی و ریسک های ایمنی حین کار تقسیم نموده اند. [۵]

در این مقاله ریسک های ایمنی بر اساس بخش های مختلف سیستم حمل و نقل ریلی به چهار گروه زیر تقسیم شده است. ریسک های ایمنی سیستم های برنامه ریزی و کنترل ترافیک، ریسک های ایمنی ناوگان، ریسک های ایمنی بار یا مسافر و ریسک های ایمنی خط و ابنیه

شکل (۲): ریسک های ایمنی در سیستم های حمل و نقل ریلی



آنالیز ریسک های ایمنی سیستم های کنترل ترافیک

این بخش از سیستم حمل و نقل ریلی تجهیزات، تاسیسات، روش ها، دستورالعمل ها و همچنین زیرساخت هایی را شامل می شود که در آن برنامه ریزی حرکت و تردد قطارها و واگن ها و همچنین ارتباطات بین ایستگاه و قطار مدیریت می شود که از نظر ایمنی بسیار حائز اهمیت است

۱. ارتباطات: امروزه همه کشورها به اهمیت ارتباطات و فناوری اطلاعات در همه زمینه ها پی برده اند که سیستم های حمل و نقل نیز از آن مستثنی نمی باشند. بدون ارتباطات مناسب و کارآمد افزایش ایمنی و آرامش در سفر و کاهش اثرات نامطلوب زیست محیطی و میزان مصرف انرژی غیر ممکن خواهد بود. و ضعف در این زمینه سبب بروز حوادث ناگوار خواهد شد. [۶]
۲. قوانین، مقررات، آیین نامه ها، رویه ها و دستورالعمل ها: اصول و استانداردهای تعیین شده و جاری در سیستم که علاوه بر تعیین و تبیین نیازمندیها به شرح توانمندیهای سیستم پرداخته و موجب ایجاد تعادل در سیستم حمل و نقل ریلی می شود. بدیهی است که هرگونه نقص در این آیت سبب برهم خوردن تعادل سیستم و بروز سوانح ناگوار خواهد شد. [۷]
۳. ترافیک ریلی: در سال های اخیر با توجه به افزایش ترافیک خطوط، کاهش فاصله اعزام قطارها امری اجتناب ناپذیر می نماید. با افزایش ترافیک خطوط احتمال وقوع خطای انسانی یا مکانیزه افزایش می یابد و این امر سبب تهدید ایمنی سیر قطارها گردیده است [۸]
۴. خطای پرسنل سیستم های برنامه ریزی و کنترل ترافیک: خطای انسانی، مستقیم یا غیر مستقیم بعنوان یکی از مهمترین عوامل در ایجاد سوانح و حوادث ریلی شناخته شده است. خطای انسانی می تواند به دلیل ضعف در برنامه ریزی یا نظارت بر انجام صحیح برنامه ها و یا عدم مدیریت منابع انسانی متناسب با حساسیت سیستم های حمل و نقل ریلی باشد [۲]

آنالیز ریسک های ایمنی ناوگان

ناوگان به عنوان جز اصلی و تاثیر گذار بر ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی مطرح می باشد که در زیر به اختصار در خصوص برخی از ریسک های ایمنی این بخش شرح داده شده است

۱. نقص فنی واگن: نقص فنی و واگن ها یکی از علل اصلی کاهش بهره وری، میزان رضایت و ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی می باشد و بسیاری از سوانح در سیستم های حمل و نقل به دلیل نقص فنی واگن به وقوع پیوسته و یا تشدید شده اند.
۲. بارگیری نامناسب: عدم دقت مامورین بر نحوه بارگیری و بار بندی واگن ها، اعزام واگن هایی که میزان بار گیری آنها از حد مجاز بیشتر است و مواردی از این قبیل عواملی هستند که ریسک ایمنی حمل و نقل را به شدت افزایش می دهند [۲]
۳. سرعت زیاد: سرعت زیاد قطار و عدم توانایی راننده در کاهش سرعت منجر به ایجاد سوانح بسیار شدیدی شده است. اساساً سه نوع محدودیت سرعت وجود دارد که نیاز به پاسخ لکوموتیوران دارد. محدودیت های دائمی سرعت، محدودیت های موقت یا اضطراری سرعت و محدودیت های شرطی سرعت [۲]
۴. عوامل انسانی: فاکتورهای انسانی در سیستم حمل و نقل ریلی، مانند هر سیستم پیچیده دیگر نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. بسیاری از سوانح ریلی که منجر به تلفات جانی و مالی بسیار شده اند به دلیل عوامل انسانی بوده است. [۲]

آنالیز ریسک های ایمنی بار / مسافر

هدف اصلی سیستم های حمل و نقل جابجایی ایمن بار و مسافر می باشد ولی در برخی موارد ماهیت خطرناک بودن باری که باید جابجا شود و یا رفتارها و اعمال غیر منطقی مسافرین سبب بروز شرایطی می گردد که پتانسیل ایجاد حوادث ناگوار را دارد که در ذیل به طور اجمالی به آن می پردازیم.

۱. کالاهای خطرناک: حمل و نقل مواد اولیه شیمیایی، محصولات، ضایعات و مواد بینابینی مهمترین بخش چرخه حیات یک محصول می باشد. در حمل و نقل این مواد از طریق سیستم های حمل و نقل ریلی همواره ریسک آزاد سازی ناگهانی یا آزاد سازی های تدریجی وجود دارد. از زمان بارگیری مواد شیمیایی تا حمل و نقل و تحویل مواد مذکور به مقصد همواره ریسک های مختلفی بر این فرآیند حاکم است [۹]
۲. اقدامات غیر منطقی مسافر: مسافرین به عنوان مهمترین جز این سیستم که در واقع حساس ترین و اصلی ترین رکن سیستم های حمل و نقل ریلی می باشند گاه با انجام اعمال غیر منطقی سبب بروز ریسک هایی می گردند که علاوه بر سلامت خود، ایمنی سایر مسافرین و دیگر اجزا سیستم حمل و نقل ریلی را تحت تاثیر قرار می دهند.

آنالیز ریسک های ایمنی خط و ابنیه

خط آهن و تاسیسات فیزیکی مربوطه به عنوان یکی از زیرساخت های حیاتی هر کشوری شناخته شده است و وقوع هر گونه حادثه در آن که سبب خارج شدن خط از سرویس برای مدت طولانی گردد، تاثیر قابل ملاحظه ای بر اوضاع اقتصادی، اجتماعی و رفاه عمومی گذاشته و حتی ممکن است توانایی دولت ها را در دفاع از خود و یا تامین امنیت ملی تحت تاثیر قرار دهد. در ذیل برخی از ریسک ها که ایمنی خط و ابنیه را تهدید می نماید توصیف شده است [۱۰]

۱. سوزن: عدم بسته بودن سوزن به طور کامل، قفل نمودن سوزن ها در مسیر ورود قطار، عدم وجود سوزنبنان بر سر سوزن و مواردی از این قبیل سبب شده اند که تعداد زیادی حادثه خروج از ریل در محل سوزن ها بوجود آید. [۲]
۲. نقص فنی ریل: خطوط راه آهن بر اساس اهمیت آنها در شبکه و میزان تناژ، سرعت و بار محوری قطارها در هر محوری به طبقات مختلفی تقسیم می گردند. متناسب با هر طبقه و بنا به حساسیت مقادیر مشخصات هندسی خط ترانس هایی را برای هر مولفه از قبیل: عرض خط، افتادگی طولی و عرضی، پیچش یا ساییدگی قائم ریل و یا خروج از محوریت خط تعیین می نماید. عدم رعایت استانداردهای مربوطه زمینه ساز بروز سوانح و خروج از خط قطار می گردد. [۱۱]
۳. تقاطع هم سطح: گذرگاه هم سطح پدید آورنده یکی از معمول ترین انواع سوانح در راه آهن است که به علت شدت آسیب های آن (معمولاً جانی و همراه با مرگ و میر) از اهمیت بسیاری برخوردار است. به علت محدود بودن منابع، امکان تبدیل تمامی گذرگاه های هم سطح به گذرگاه غیر هم سطح در هیچ جای دنیا وجود ندارد پس باید تمهیداتی اتخاذ نمود تا خطرات موجود در این گذرگاه ها کنترل شود [۱۲].
۴. عوامل طبیعی: شبکه حمل و نقل راه آهن از مناطق با شرایط جغرافیایی و آب و هوایی متفاوت عبور می نماید و به همین دلیل بسته به کوهستانی و دشت بودن منطقه، داشتن آب و هوای گرم و خشک، معتدل، سرد و مرطوب، در معرض بلایای طبیعی و مخاطراتی از قبیل زمین لرزه، لغزش زمین، ناپایداری دامنه ها، مخاطرات جوی و هیدرولوژیکی و بیابان زایی قرار دارد [۱۳]
۵. تابلوها و علائم: یکی از روش های پیشگیری از حوادث در صنایع مختلف استفاده از تابلوها و علائم ایمنی استاندارد می باشد. اهمیت وجود تابلوها و علائم و استفاده صحیح از آنها در ایمنی سیستم های حمل و نقل زمینی بر کسی پوشیده نیست.

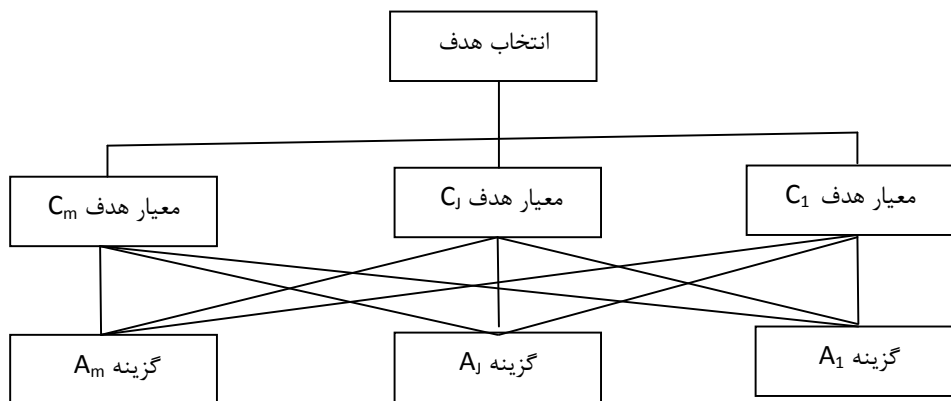
ارزیابی ریسک ایمنی با بکارگیری AHP :

روش AHP :

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP یکی از متداول ترین و قدیمی ترین روش های تصمیم گیری می باشد که در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی ابداع گردید. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع ترین سیستم های طراحی شده برای تصمیم گیری با معیارهای چند گانه است زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مساله بصورت سلسله مراتبی را فراهم می نماید. همچنین امکان نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی مساله را دارد. این فرآیند گزینه های مختلف در تصمیم گیری را دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد. [۱۴]

اولین قدم در روش تحلیل سلسله مراتبی ایجاد یک نمایش گرافیکی از مساله است که در آن هدف، معیارها و گزینه ها نشان داده می شوند. هدف از تصمیم گیری در بالاترین سطح، معیارها و زیر معیارها در سطح وسط و گزینه های تصمیم گیری در پایین ترین سطح مطابق شکل شماره ۳ قرار می گیرند. [۱۴]

شکل (۳) : نمودار سلسله مراتبی برای نوع خاصی از مسئله سه سطحی



در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آنها محاسبه می گردد. این قضاوت ها توسط ساعتی به مقادیر کمی ۱ تا ۹ که در جدول شماره ۱ نشان داده شده است تبدیل شده است. [۱۵]

جدول (۱): نه نقطه درجه بندی مقایسه زوجی

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجع یا کاملاً مهم تر و یا کاملاً مطلوب تر
۷	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مهمتر یا کمی مطلوب تر
۱	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲ و ۴ و ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

معیار تصمیم گیری می باشند و $W=(W_1, W_2, \dots, W_m)^T$ بردار وزن نرمالیزه شده اهمیت نسبی آن است که از طریق مقایسه زوجی و شرایط نرمالزه شده $\sum W_j=1$ و $W_j \geq 0$ و $j=1, 2, \dots, m$ بدست آمده است. مقایسه زوجی بین m معیار تصمیم گیری می تواند از طریق پرسیدن امتیاز تصمیم گیری یا سوال از کارشناسان به گونه ای که کدام معیار مهم تر است با توجه به هدف تصمیم گیری و مقیاس ۱ تا ۹. پاسخ به این سوالات یک ماتریس $m \times m$ به شکل زیر بوجود خواهد آورد: [۴] و [۱۴]

$$A = (a_{ij})_{m \times m} = \begin{matrix} c1 & \begin{bmatrix} a11 & \dots & a1m \\ a21 & & a2m \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ am1 & \dots & amm \end{bmatrix} \\ c2 \\ \vdots \\ cm \end{matrix}$$

بطوریکه a_{ij} نماینده کمی رای بین W_i/W_j می باشد به شرطی که $a_{ij}=1/a_{ji}$ و $a_{ii}=1$ و $j=1, \dots, m$

ماتریس مقایسه زوجی A ممکن است سازگار یا ناسازگار باشد

W بردار وزن می تواند بوسیله ماتریس مقایسه زوجی A به روش زیر محاسبه شود:

$$AW = \lambda_{\max} W$$

λ_{\max} بزرگترین مقدار مشخصه ماتریس A است. چنین روشی برای محاسبه ماتریس بردار وزن به عنوان یک روش تقریبی قلمداد می شود. از آنجایی که ممکن است ماتریسی که از این طریق بوجود می آید همیشه بطور سازگار نباشد نیاز است که حداقل در یک رنج سازگاری قابل قبول قرار گیرد که از طریق فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$CR = \frac{(\lambda_{\max} - n) / (n - 1)}{RI}$$

RI شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی می باشد که در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. اگر $CR \leq 0.1$ باشد ماتریس مقایسه زوجی یک ناسازگاری قابل قبول دارد. در غیر اینصورت باید در تصمیم گیری تجدید نظر شود. [15]

جدول (۲): میزان شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی RI

N	1	2	3	4	5
RI	0	0	0.58	0.90	1.12
N	6	7	8	9	10
RI	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

وزن گزینه های تصمیم گیری را نیز می توان با مقایسه زوجی نسبت به هر معیار تصمیم گیری به طریق مشابه محاسبه نمود. پس از اینکه وزن معیارهای تصمیم گیری و وزن گزینه های تصمیم گیری نسبت به همه معیارها محاسبه شد. به کمک ماتریس مقایسه زوجی وزن کلی (اولویت) هر گزینه تصمیم گیری با توجه به هدف تصمیم گیری با جمع کردن ساده وزن های نسبی به طریق زیر حاصل می گردد:

$$\sum_{j=1}^m W_{ij} W_j, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

به گونه ای که W_j ($j=1,2, \dots, m$) وزن های معیار تصمیم گیری و W_{ij} ($i=1,2, \dots, n$) وزن گزینه های تصمیم گیری با توجه به معیار j و W_{Aj} ($j=1,2, \dots, n$) وزن کلی گزینه های تصمیم گیری می باشد. جدول ۳ نشان می دهد که وزن های کلی می تواند به آسانی در یک جدول محاسبه گردند.

جدول (۳): محاسبه وزن کلی

معیارهای تصمیم گیری				
	C_1	C_j	C_m	
گزینه ها	W_1	W_j	W_m	
A_1	W_{11}	W_{1j}	W_{1m}	$WA1 = \sum_{j=1}^m w_{1j}w_j$
A_i	W_{i1}	W_{ij}	W_{im}	$WAj = \sum_{j=1}^m w_{ij}w_j$
A_n	W_{n1}	W_{nj}	W_{nm}	$WAn = \sum_{j=1}^m w_{nj}w_j$

با توجه به وزن کلی گزینه های مختلف تصمیم گیری، تصمیم گیری می تواند انجام گیرد و گزینه های مختلف تصمیم گیری می توانند اولویت بندی و درجه بندی گردند. مهمترین گزینه تصمیم گیری آن گزینه ای خواهد بود که بزرگترین وزن کلی را نسبت به هدف تصمیم گیری دارا باشد. [۴]

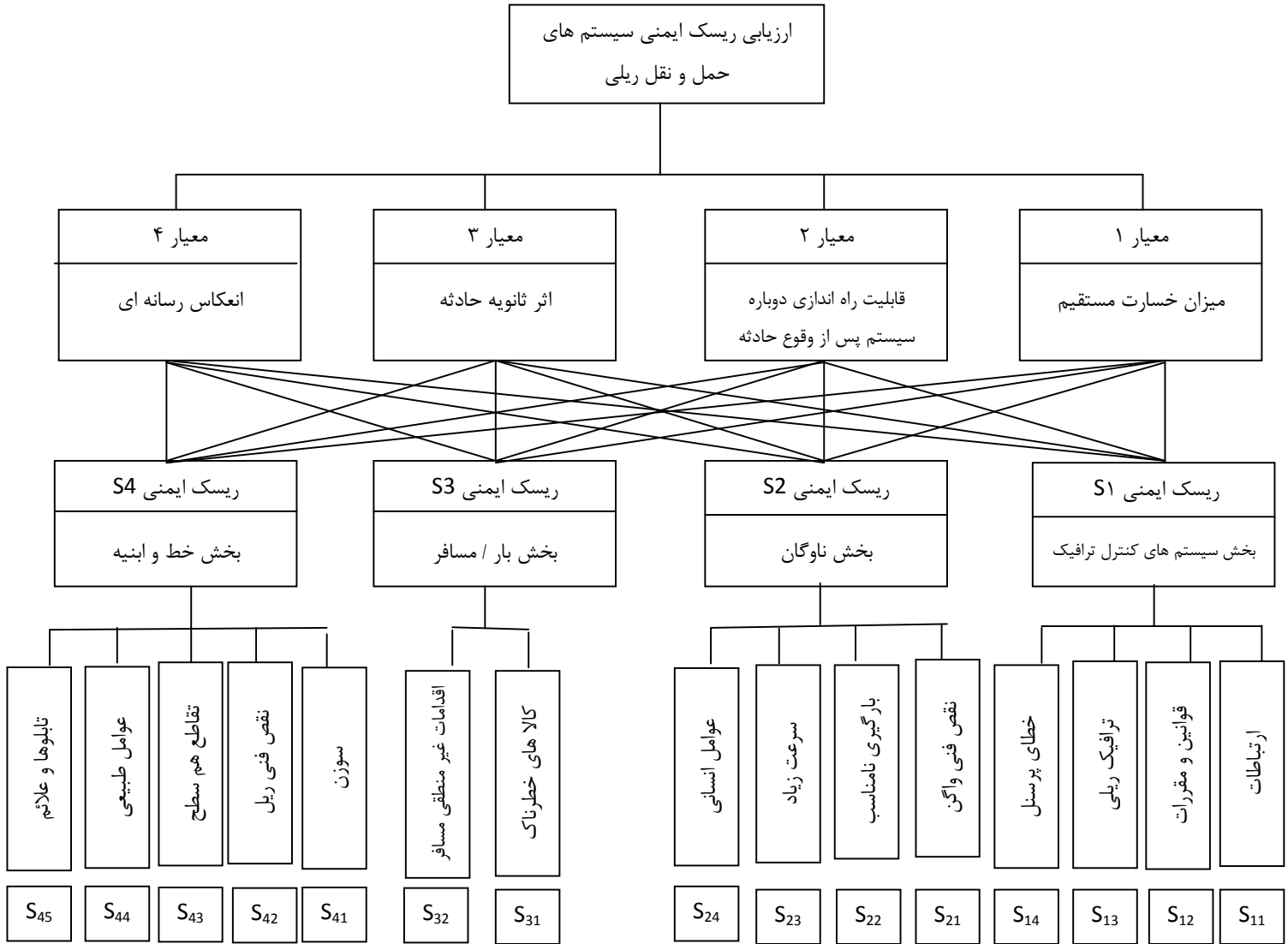
اندازه گیری و انتخاب به روش سلسله مراتبی:

ریسک های ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی را می توان به عنوان یک سری از رویداد ها که به سیستم حمل و نقل ریلی از طریق خارج شدن قطار از ریل، آتش سوزی، تصادف با عابر پیاده و یا وسایل نقلیه دیگر و غیره خسارت وارد نماید تعریف نمود. در این مقاله برخی از ریسک های ایمنی در ۴ بخش: سیستم های برنامه ریزی و کنترل ترافیک، ناوگان، مسافر یا بار و خط و ابنیه بررسی می نمایم. معیارهای ارزیابی این ریسک ها به شرح زیر می باشد که بوسیله روش AHP ارزیابی می گردند.

- میزان خسارت مستقیم: میزان خسارت جانی و مالی که پس از بروز هر حادثه در سیستم حمل و نقل ریلی ایجاد میگردد.
- قابلیت راه اندازی دوباره سیستم پس از وقوع حادثه: بر قابلیت استفاده مجدد از سیستم حمل و نقل ریلی پس از وقوع حادثه تاثیر می گذارد.
- اثر ثانویه حادثه: پس از اینکه یک حادثه در سیستم حمل و نقل ریلی به وقوع پیوست تنها میزان خسارت در سیستم حمل و نقل ریلی مطرح نیست ممکن است از دست دادن راه ارتباطی ریلی مهمتر باشد.
- انعکاس رسانه ای: معمولاً سوانح ریلی انعکاس گسترده رسانه ای دارند که این موضوع در برخی موارد این صنعت را به چالش می کشاند.

با استفاده از تشکیل سلسله مراتب انتخاب هدف بصورت گرافیکی نمایش داده می شود این سلسله مراتب یک خلاصه ای از وضعیت مشکلات تصمیم گیری را معرفی و تجزیه و تحلیل می نماید. [۱۶] برای ارزیابی ریسک ایمنی در سیستم های حمل و نقل ریلی چارچوب ارزیابی در شکل زیر نمایش داده شده است.

شکل (۴): ساختار سلسله مراتبی برای ارزیابی ریسک ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی



تعیین وزن معیارها و وزن عوامل بالقوه آسیب رسان هر بخش:

وزن معیارها باید توسط مدیر ارشد و یا کارشناسان و متخصصان علوم حمل و نقل ریلی تعیین شود. یک ماتریس مقایسه زوجی برای چهار معیار ارزیابی مطابق زیر ایجاد شد

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 7 & 2 \\ 1/4 & 1 & 3 & 1/5 \\ 1/7 & 1/3 & 1 & 1/6 \\ 1/2 & 5 & 6 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 6 & 2 \\ 1/3 & 1 & 2 & 1/4 \\ 1/6 & 1/2 & 1 & 1/5 \\ 1/2 & 4 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S_2 = \begin{bmatrix} 1 & 6 & 9 & 4 \\ 1/6 & 1 & 4 & 1/4 \\ 1/9 & 1/4 & 1 & 1/5 \\ 1/4 & 3 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 4 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 4 & 5 \\ 1/2 & 1 & 1 & 3 & 2 \\ 1/4 & 1/4 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/5 & 1/2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

جدول زیر بزرگترین مقدار مشخصه، مقدار CR و بردار نرمالیزه را نشان می دهد. مشخص است که ماتریس مذکور سازگار است (زیرا در رنج مناسب ناسازگاری قرار دارد) و بردار نرمالیزه آن می تواند جهت عوامل بالقوه آسیب رسان بخش های مختلف سیستم حمل و نقل ریلی مورد استفاده قرار گیرد.

جدول (۴): مقدار مشخصه و وزن معیارها و وزن عوامل بالقوه آسیب رسان هر بخش

ماتریس	λ_{\max}	W	CR
معیارها	4.143	(0.486 , 0.111 , 0.0531 , 0.350) ^T	0.052
بخش ۱ S ₁	4.092	(0.469 , 0.122 , 0.069 , 0.340) ^T	0.033
بخش ۲ S ₂	4.181	(0.620 , 0.111 , 0.044 , 0.225) ^T	0.065
بخش ۳ S ₃	2.000	(0.750 , 0.250) ^T	-
بخش ۴ S ₄	5.285	(0.317 , 0.276 , 0.227 , 0.096 , 0.085) ^T	0.064

مقایسه درجه بندی ارزیابی و فراگیری داده های ارزیابی:

برای توصیف کمی ریسک های ایمنی در سیستم های حمل و نقل ریلی ضروری است تا یک سری از درجه بندی ارزیابی برای هر یک از ۴ معیار ارزیابی تعیین نماییم ، برای مثال درجه بندی ارزیابی تعریف شده برای چهار معیار در این مقاله به شکل زیر می باشد:

$$G = (\text{High} , \text{Medium} , \text{Low} , \text{Non}) \\ = (5 , 3 , 2 , 0)$$

توجه نمائید که اگر ضروری باشد اعداد بیشتری و درجه بندی های مختلفی از ارزیابی می تواند تعریف شود برای سادگی از درجه بندی ارزیابی تعریف شده در بالا برای چهار معیار مذکور در این تحقیق استفاده می کنیم.[۴]

پس از مشخص کردن گروه های دسته بندی ارزیابی، ریسک های ایمنی که ارجحیت دارند باید یک به یک با معیارهای انتخاب شده ارزیابی گردند. این امر می تواند توسط یک متخصص حمل و نقل ریلی انجام گیرد. علاوه بر این معیارهای مختلفی ممکن است اعداد مختلفی از کارشناسان دعوت شده دریافت نمایند . یک کارشناس ممکن است در ارزیابی معیارهای مختلف مشارکت نماید. نتایج ارزیابی در یک ماتریس توزیع نتایج ارائه می گردد جدول ۵ ماتریس توزیع نتایج را برای ۱۵ عامل بالقوه آسیب رسان در ۴ بخش که توسط ۱۰ نفر کارشناس تخمین زده شده اند در ۴ معیار مختلف به ترتیبی که ملاحظه می نمائید نشان داده شده است برای مثال عامل بالقوه آسیب رسان S11 از بخش (۱): ۲ نفر از ۱۰ نفر کارشناس در ریسک میزان خسارت مستقیم، ارزیابی نموده اند که ریسک در معیار C1 بالا است، ۵ کارشناس رای به متوسط بودن و ۳ کارشناس دیگر فکر می کنند که ریسک S11 ریسک کمی از نظر میزان خسارت مستقیم دارد. از ۱۰ نفر کارشناس ۷ نفر در قابلیت راه اندازی دوباره سیستم پس از وقوع حادثه ارزیابی نموده اند که ریسک معیار C2 بالا است . ۳ کارشناس دیگر فکر می کنند که میزان ریسک متوسط است. تا آنجا که در مورد ریسک ایمنی اثر ثانویه حادثه ۲ نفر از ۱۰ نفر کارشناس ارزیابی نموده اند که S11 در معیار C۳ درجه ریسک کمی دارد و ۸ نفر دیگر ارزیابی نموده اند که آن هیچ ریسکی ندارد. از ۱۰ نفر کارشناس در خصوص انعکاس رسانه ای حادثه ۶ نفر ارزیابی نموده اند که S11 در معیار C۴ ریسک متوسط و ۴ نفر کارشناس دیگر رای به ریسک کم داده اند همه ارزیابی های دیگر به روش مشابه بدست می آید.

جدول (۵): اطلاعات ارزیابی کارشناسان برای ۱۵ عامل بالقوه آسیب رسان در ۴ بخش

معیارهای ارزیابی																ریسک ایمنی سیستم	
انعکاس رسانه ای				اثر ثانویه حادثه				قابلیت راه اندازی دوباره سیستم				میزان خسارت مستقیم					
N	L	M	H	N	L	M	H	N	L	M	H	N	L	M	H		
	4	6		8	2					3	7		3	5	2	S1	بخش ۱
																1	
	3	5	2	10					4	3	6	4	4	2		S1	
																2	
	3	4	3	10				4	2	4				5	5	S1	بخش ۲
																3	
6	4			6	4			5	5					3	7	S1	
																4	
	1	4	5	1	4	3	2	2	4	4		1	3	3	3	S2	بخش ۳
																1	
1	1	4	4	2	2	2	4	2	5	3		2	2	2	4	S2	
																2	
		4	6			1	9		4	4	2	6	4			S2	بخش ۴
																3	
	2	4	4	2	3	3	2	4	3	3				4	6	S2	
																4	
		10				3	7	6	4				2	4	4	S3	بخش ۵
																1	
	1	9				2	8	5	5				2	3	5	S3	
																2	
	1	7	2			3	7	2	4	4				2	8	S4	بخش ۶
																1	
	4	3	3		6	2	2		3	3	4			4	6	S4	
																2	
	2	4	4		3	1	6		5	5			1	1	8	S4	بخش ۷
																3	
		3	7				10	6	4			1	1	4	4	S4	
																4	
		2	8			1	9	8	2			2	4	4		S4	بخش ۸
																5	

محاسبه امتیاز ریسک:

امتیاز ریسک همه عوامل بالقوه آسیب رسان به روش زیر تعیین می شود:

$$R_{ijck} = S_{ijck} * G^T$$

R_{ijck} امتیاز نمره ریسک عامل بالقوه آسیب رسان (j) از بخش (i) در معیار k می باشد.

S_{ijck} بردار ارزیابی ریسک عامل بالقوه آسیب رسان (j) از بخش (i) در معیار k مطابق با سری دسته بندی ارزیابی شده فوق می باشد. برای مثال محاسبه ریسک S11 در معیار C1:

$$R_{11C1} = S_{11C1} * (H, M, L, N)^T$$

$$= (2 \ 5 \ 3 \ 0) (5 \ 3 \ 2 \ 0)^T = 31$$

امتیاز ریسک خسارت R_{ij} همه عوامل بالقوه آسیب رسان بصورت زیر تعریف می شود:

$$R_{ij} = (R_{ijc1}, R_{ijc2}, R_{ijc3}, R_{ijc4}) * W_c$$

($i=1, j=1,2,3,4$; $i=2, j=1,2,3,4$; $i=3, j=1,2$; $i=4, j=1,2,3,4,5$)

برای مثال جهت محاسبه امتیاز ریسک عامل بالقوه آسیب رسان S_{11} :

$$R_{11} = (R_{11c1}, R_{11c2}, R_{11c3}, R_{11c4}) * W_c$$

$$= (S_{11c1} * G^T, S_{11c2} * G^T, S_{11c3} * G^T, S_{11c4} * G^T) * W_c$$

$$= (31,44,4,26) * (0.486, 0.111, 0.0531, 0.350)^T$$

$$= 29.262$$

امتیاز ریسک هر بخش به گونه زیر تعریف می شود:

$$S_i = R_{ij} * W_{si}$$

به گونه ای که S_i امتیاز ریسک هر بخش و W_{si} بردار وزن عوامل بالقوه آسیب رسان هر بخش می باشد

جدول (۶): امتیاز ریسک کلی ۱۵ عامل بالقوه آسیب رسان و ۴ بخش و رتبه بندی اولویت ریسک آنها

		امتیاز ریسک معیارهای ارزیابی						ارزیابی ریسک های ایمنی		
		عوامل بالقوه آسیب رسان		معیار ۴	معیار ۳	معیار ۲	معیار ۱	سیستم های حمل و نقل ریلی		
بخش ها	رتبه بندی ریسک	امتیاز ریسک	رتبه بندی ریسک	0.35	0.053	0.111	0.486	وزن نسبی	بخش	
4	27.438	11	29.262	26	4	44	31	S11	0.469	S1
		15	22.205	31	0	41	14	S12	0.122	
		6	32.766	33	0	16	40	S13	0.069	
		13	25.719	8	8	10	44	S14	0.340	
2	32.611	8	31.884	39	27	20	30	S21	0.620	S2
		10	30.182	34	30	19	30	S22	0.111	
		14	24.467	42	48	30	8	S23	0.044	
3	31.458	3	37.405	40	25	15	42	S24	0.225	S3
		9	31.220	30	44	8	36	S31	0.750	
1	37.179	7	32.171	29	46	10	38	S32	0.250	S4
		2	38.462	33	44	20	46	S41	0.317	
		4	36.984	32	28	35	42	S42	0.276	
		1	39.316	36	39	25	45	S43	0.227	
		5	35.467	44	50	8	34	S44	0.096	
		12	28.813	46	48	4	20	S45	0.085	

رتبه بندی عوامل بالقوه آسیب رسان و بخش ها بر حسب امتیاز کلی ریسک آنها:

در امتیاز کلی ریسک همیشه کوچکترین مقدار بهترین است پس جهت اولویت ریسک های بالا باید بخش ها و عوامل بالقوه آسیب رسان دارای بزرگترین عدد کلی ریسک باشند. همانگونه که در جدول ۶ می توانیم ببینیم عامل بالقوه آسیب رسان S_{43} از بخش ۴ بزرگترین امتیاز ریسک کلی را دارد. بنابراین آن در اولین اولویت قرار گرفته است و باید بیشترین اقدام جهت کاهش ریسک را برای آن انجام داد. S_{12} در بخش ۱ کمترین امتیاز کلی از ۱۵ عامل بالقوه آسیب رسان را دارد و در آخرین مکان رده بندی ریسک ها قرار گرفته است. ترتیب ریسک کلی مرتب شده ۱۵ عامل بالقوه آسیب رسان به شکل زیر است:

$$S_{43} > S_{41} > S_{24} > S_{42} > S_{44} > S_{13} > S_{32} > S_{21} > S_{31} > S_{22} > S_{11} > S_{45} > S_{14} > S_{23} > S_{12}$$

در خصوص بخش ها، بخش ۴ بزرگترین عدد کلی ریسک را دارد پس بنابراین در رتبه بندی S_4 در مکان اول قرار می گیرد و باید بیشترین اقدامات جهت کاهش ریسک آن صورت گیرد. رتبه بندی امتیاز ریسک کلی بخش های مختلف سیستم حمل و نقل ریلی به شرح زیر می باشد:

$$S_4 > S_2 > S_3 > S_1$$

از نقاط ضعف روش AHP این است که رتبه بندی ریسک بر اساس حدس و گمان کارشناسان ارائه می گردد. رتبه بندی ریسک ممکن است با تغییر وزن نسبی ۴ معیار ارزیابی تغییر نماید. برای این منظور اگر لازم باشد یک تحلیل حساسیت در برنامه ریزی خطی برای وزن های معیارها و عوامل بالقوه آسیب رسان در بخش ها می تواند صورت گیرد. [۴]

نتیجه گیری:

در این مقاله ریسک ایمنی سیستم های حمل و نقل ریلی که وقوع آنها محتمل بود با جزئیات مورد آنالیز قرار گرفت. و بر مبنای معیارهای های مهم سیستم حمل و نقل ریلی ارزیابی شد. سیستم به ۴ بخش که هر کدام شامل عوامل بالقوه آسیب رسان مخصوص به خود بودند تقسیم شد و در پایان با استفاده از روش AHP میزان ریسک ۱۵ عامل بالقوه آسیب رسان و ۴ بخش مختلف سیستم حمل و نقل ریلی اندازه گیری و آنالیز گردید. در نتیجه این تحقیق ما فهمیدیم که ریسک ایمنی بخش S_4 به نام خط و ابنیه بیشترین مقدار را دارد و همچنین ریسک ایمنی بخش S_1 تحت عنوان سیستم های برنامه ریزی و کنترل ترافیک کمترین مقدار است

مراجع:

۱. فخارزاده، سید فرهاد - بررسی تاثیر عوامل رفتاری در ایمنی گذرگاه های ریلی - همایش حمل و نقل ریلی
۲. مقدم، پدیده - رضوانیان، مریم - فاکتورهای انسانی موثر در سوانح ریلی، بررسی و تحلیل سوانح و ارائه پیشنهاد - یازدهمین همایش حمل و نقل ریلی - سال ۱۳۸۸
۳. خلیج، محمد رضا - توفیقی، محمد حسین - مدیریت جامع ریسک در کارگاههای ساختمانی با رویکرد کاهش حوادث کار در ارتفاع - نخستین کنفرانس ایمنی در کارگاههای ساختمان - ۱۳۸۷
4. Li Yulong, Wu Xiande, Li Zhongfu - Safety risk assessment on communication system based on satellite constellations with the analytic hierarchy process - Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal - (2008)
۵. مجلسی، حمید رضا - بررسی عوامل موثر در ایجاد سوانح در راه آهن ناحیه شمال و ارائه راهکارهای بهبود ایمنی - یازدهمین همایش حمل و نقل ریلی - سال ۱۳۸۸
۶. سید مصطفایی، تایماز - نقش فن آوری اطلاعات در حمل و نقل ریلی - یازدهمین همایش حمل و نقل ریلی سال ۱۳۸۸
۷. خراسانی، علیرضا - مالکیان، سروش - نظریه تعادل در مدیریت بحران ریلی - یازدهمین همایش حمل و نقل ریلی - سال ۱۳۸۸
۸. کبریایی، محمد - صندیدزاده، محمدعلی - ارتباط مستقیم دو قطار ساده ترین راه افزایش ایمنی و ظرفیت شبکه ریلی در ایران - یازدهمین همایش حمل و نقل ریلی - سال ۱۳۸۸
۹. ستاره، هاشم - نیک پی، احمد - کوهپایی، علیرضا - ارائه الگوی مدیریت جامع ریسک در حمل و نقل مواد شیمیایی با رویکرد HSE - دومین همایش ملی ایمنی در بنادر - ۱۳۸۴

۱۰. آخوندی خضر آبادی، محمد صادق محمدی، ابراهیم - شریفی مقدم کاخکی، سید مهدی - کجیاف، علی - کاربرد ارزیابی ریسک امنیتی در CIP و پدافند غیر عامل در راه آهن - مجله حمل و نقل و توسعه - شماره ۳۴ - صفحه ۵۷ - خرداد ۱۳۸۹
۱۱. نصر آزادانی، سید محمود - بررسی نقش نگهداری و تعمیرات خطوط بر راندمان صنعت حمل و نقل ریلی
۱۲. پور سید آقایی، محسن - مهدوی، ایرج - عدالت حقی، میرنصیر - مدل سازی و وضعیت ایمنی گذرگاه هم سطح به کمک مهندسی ریسک - پژوهشنامه حمل و نقل - سال پنجم، شماره اول، صفحه ۳۱ - بهار ۱۳۸۷
۱۳. ذاکری، جبارعلی - مختاری، سمانه - بررسی سامانه مدیریت بلایای طبیعی و مخاطرات زمین در شبکه راه آهن ایران - مجله حمل و نقل و توسعه - شماره ۳۴ - صفحه ۹۲ - خرداد ۱۳۸۹
۱۴. قدسی پور، سید حسن - مباحثی در تصمیم گیری چند معیاره فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP - چاپ هفتم - انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر - پاییز ۱۳۸۸
۱۵. حق وردی، پروین - فرآیند تجزیه تحلیل سلسله مراتبی و سلسله مراتبی فازی - دانشگاه علوم و فنون مازندران - گروه مهندسی صنایع - سال ۱۳۸۶
16. N.S. Arunraj, J. Maiti - Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming - Safety Science 48 (2010) 238-247