مقاله پژوهشی

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۰، بهار ۱۴۰۱ صص ۲۹۹-۳۱۱

ارزیابی کمی- مکانی محیط‌زیستی سه آلترناتیو راه‌آهن شیراز به روش ارتقاء یافته YAPP- FAHP

جهانبخش بالیست[1*]

J.balist@ut.ac.ir

فائزه چهرآذر[2]

حمیدرضا جعفری[3]

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۳ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۰۲**

چکیده:

زمینه و هدف: ایمنی راه‌آهن یک موضوع بسیار پیچیده است، که عوامل مختلفی در آن دخیل می‌باشند. بسیاری از تکنیک های ارزیابی ریسک که در راه آهن در حال حاضر مورد استفاده قرار می گیرند، تکنیک های تقریبا قدیمی هستند. در این مطالعه از روش ارتقاء یافته YAPP استفاده شده است.

روش بررسی: در این روش، از سه شاخص به منظور برآورد میزان ریسک هر آلترناتیو استفاده می شود. ریسک مربوط به طول هر آلترناتیو راه آهن، ریسک مربوط به تراکم جمعیت و تعداد ساکنین اطراف هر آلترناتیو و ریسک مربوط به وضعیت زمین شناسی و نقاط عطف هر آلترناتیو. جهت تکمیل ارزیابی گزینه‌ها از روش FAHP برای اولویت بندی آنها بر اساس شاخص‌ها و زیرشاخص‌های YAPP استفاده شده است.

یافته‌ها: در این مطالعه سه آلترناتیو برای راه آهن شیراز وجود دارد، یک، کازرون- فراشبند، دوم، کازرون - کوار و سوم شیراز-نورآباد. نتیجه مطالعه نشان می‌دهد که آلترناتیو سوم ایمن‌ترین آلترناتیو با مقدار ریسک ۱۲۷/۷۷۹ در مقایسه با دو آلترناتیو دیگر با مقادیر ریسک ۲۷۷ و ۲۹۸ است. بر اساس نتایج اولویت‌بندی با روش FAHP نیزگزینه سوم به عنوان گزینه برتر شناخته شد.

بحث و نتیجه‌گیری: روش YAPP با در نظر گرفتن عوامل طبیعی و انسانی در ارزیابی ریسک مسیرهای راه‌آهن روش کارایی می‌باشد که می تواند در انتخاب مسیر بهینه و ایمن در مرحله طراحی و برنامه‌ریزی پروژه‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره همراه با روش YAPP انتخاب گزینه نهایی آسان‌تر و علمی‌تر انجام می‌شود.

کلید واژه ها: ارزیابی محیط زیست، ارزیابی ریسک، کمی- مکانی، YAPP-FAHP

۱- دکترای برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران(مسئول مکاتبات)

۲- دانشجوی دکترای برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۳- استاد گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

Human and Environment, No. 60, Spring 2022, pp.299-311

Spatial-Quantitative Environmental Assessment of Three SHIRAZ Alternatives Railway with Enhanced YAPP-FAHP Method

Jahanbakhsh Balist[1*]
J.balist@ut.ac.ir
Faeze Chehrazar[2]
Hamid Reza Jafari[3]

Received: February 12, 2018 **Accepted: June 23, 2019**

Abstract:

Background and Aim: Rail safety is a very complex subject, with various factors involved. Many of the risk assessment techniques currently used in railroads are routine techniques. In this study, the YAPP upgraded method was used.

Method: In this method, three indicators are used to estimate the risk of each alternative. The risk associated with the length of each railway alternative, the risk of population density and the number of residents around each alternative, and the risks associated with the geological situation and the milestones of each alternative. To complete the evaluation of options, the FAHP method is used to prioritize them based on the YAPP indexes and sub-indicators.

Findings: In this study, there are three alternatives for Shiraz railway, one, Kazeroon-Farashband, Second, Kazeroon-Quar and Shiraz-Noorabad. The study results show that the third alternative is the safest alternate with a risk value of 127.779 compared to two other alternatives with risk values of 277 and 298. Based on the results of the FAHP prioritization, the third option was also identified as the preferred option.

Discussion and Conclusion: The YAPP method, taking into account natural and human factors in assessing the risk of railroads, is an efficient method that can be used to select optimal and safe paths in the design and planning phase of the projects. Using the multi-criteria decision-making methods along with the YAPP method, the choice of the final option is made easier and more scientifically.

Key words: quantitative- spatial, risk assessment, environmental assessment ،YAPP-FAHP

1- Ph.D. in environmental planning, university of Tehran.(Corresponding author)
2- Ph.D. student of environmental planning, university of Tehran.
3- Professor of environmental planning, management, and education, university of Tehran.

زمینه و هدف

ارزیابی پروژه‌ها یکی از مهمترین موضوعاتی است که در ارزیابی تاثیرات زیست محیطی مطرح می‌باشد. امروزه پروژه‌ها نمایانگر توسعه پایدار در هر کشوری می‌باشند. این پروژه‌ها هستند که چشم‌انداز سازمان را به واقعیت تبدیل می‌کنند وعلم و تکنولوژی را به منصه ظهور می‌رسانند. ارزیابی آلترناتیوهای پروژه‌ها به دلیل بزرگ‌نمایی فواید و کمینه نمودن هزینه‌های محیط‌زیستی پروژه یکی از مهمترین موضوعات ارزیابی اثرات زیست‌محیطی است (۱). مگ نس در سال ۱۹۸۴ بیان کرد که آلترناتیوها قلب ارزیابی اثرات توسعه هستند. چون آنها عناصر کلیدی در مدیریت عدم قطعیت‌ها هستند. چون استانداردها معمولا برای بسیاری از متغیرها و اثرات محیط‌زیستی در دسترس نیستند، کاهش عدم قعطیت‌ها تنها با مقایسه نمودن آلترناتیوها ممکن خواهد بود (۲).

در صنعت حمل‌ونقل به خصوص راه‌آهن، به واسطه حمل مسافر و کالاهای خطرناک، رعایت مسائل ایمنی در طراحی و بهره-برداری نیازمند دقت و جدیت بیشتری است. برای جلوگیری از ایجاد مخاطرات، باید ابتدا آنها را شناسایی و سپس ارزیابی نمود که برای این منظور از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. موارد زیادی از تاثیرات مخرب پروژه‌ها بر محیط زیست و افراد در بخش‌های مختلف گزارش شده است. این تاثیرات شامل از میان رفتن بخش عظیمی از جنگل‌ها، مراتع و زمین‌های کشاورزی و جان باختن تعداد زیای از افراد می‌شود. ارزیابی تاثیرات در این پژوهش به دو دسته ارزیابی ریسک و دیگری ارزیابی اکولوژیکی تقسیم بندی می‌شود. طبق تعریفی که دانشنامه ویکی پدیا از ارزیابی ریسک و ارزیابی اکولوژیکی دارد مراحل مورد نیاز برای شناسایی حوزه و دارایی های موجود در آن، تهدیدهای موجود علیه دارایی‌ها، اولیت‌بندی نقاط ضعف مربوط به تهدیدها و مشخص نمودن سطح ریسک‌ها و کنترل-های مناسب را ارزیابی ریسک گویند و ارزیابی و بررسی یک اجتماع از ارگانیزم‌ها (گیاهان، حیوانات ودیگر ارگانیزم های زنده) که با محیط در تعامل و زندگی بوده و به عنوان یک واحد بی قاعده عمل می‌نمایند را ارزیابی اکولوژیکی تعریف می‌نماید. از آنجا که استانداردها معمولاً برای بسیاری از متغیرها و تاثیرات زیست‌محیطی در دسترس نیستند، جهت کاهش عدم اطمینان تنها می توان از مقایسه گزینه ها بهره گرفت.

موضوع مسیر یابی و تعیین مسیر بهینه از جمله موضوعات مورد توجه محققین بوده است و تحقیقات گسترده ای پیرامون آن انجام شده است . در یکی از تحقیقات کومار دای (۲۰۰۶) مدلی یکپارچه برای انتخاب بهترین پروژه از میان تعدادی از گزینه های قابل قبول موجود ایجاد نمود که شامل معیارهایی از قبیل تحلیل فنی، تحلیل تاثیرات اجتماعی – اقتصادی و تحلیل تاثیرات زیست محیطی می باشد. نقیبی (۱۳۸۲) به مسیر یابی بهینه خطوط نفت و گاز به کمک سیستم های اطلاعات مکانی (GIS) پرداخته و از الگوریتمهای کوتاهترین مسیر در محیطهای برداری و شبکه ای استفاده کرده است. وی به تجزیه و تحلیل مسیر با کمترین هزینه در GIS پرداخته و از الگوریتمهای دیکسترا، بلمن فورد، فلوید – وارشال و جانسون استفاده نمده است. دلاور و کیاورز مقدم (۱۳۸۴) با تلفیق منطق فازی و احتمالاتی و با استفاده از سیستم های اطلاعات مکانی، اقدام به تعیین مسیر بهینه خطوط لوله نفت و گاز نمودند . نتایج حاصله از اعمال روش فوق در منطقه خط لوله بید بلند – آستارا نشان دهنده کاهش حداقل ۱۰٪ هزینه مسیر یابی نسبت به مسیر موجود بوده است.

ارزیابی ریسک، فرآیند برآورد احتمال وقوع یک رویداد (مطلوب یا نامطلوب) و میزان تاثیر آن است. رتبه‌بندی ریسک‌های یک پروژه با روش‌های مختلف کمی و کیفی قابل انجام است. در ساده‌ترین حالت و در عین حال متداول‌ترین حالت، رتبه ریسک را بر اساس حاصل‌ضرب مقادیر شدت در احتمال وقوع به‌دست می‌آورند (۳).

در زمینه ارزیابی ریسک مطالعات گوناگونی در سطح جهان و ایران انجام شده است. به طور نمونه، در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی ریسک خط‌آهن، پژوهشگران دانشگاه شانگهای شاخص‌هایی مثل وجود برف، خشکی، زمین‌لرزه و عوامل انسانی را جهت ارزیابی مدنظر قرار دادند. نتیجه این مطالعه،

حاکی از تأثیرگذاری غالب عوامل طبیعی نسبت به عوامل انسانی بر روی سطح ریسک پروژه بوده است (۴).

هلر و همکارانش در سال ۲۰۰۶، به تشریح چگونگی کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره در ارزیابی ریسک پروژه‌های طولی پرداخته‌اند. این محققان برای نمونه ۴ گزینه مسیریابی به منظور ایجاد جاده جهت حمل و نقل مواد زاید خطرناک را در نظر گرفتند. در این مطالعه به منظور انتخاب بهترین و مناسب‌ترین گزینه احداث راه از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است (۵).

همچنین بکر و شانگ در سال ۲۰۰۸، روشی با استفاده از روش فازی و AHPجهت ارزیابی ریسک راه‌آهن پیشنهاد داده‌اند. ایشان به علت عدم وجود قطعیت در بسیاری از داده‌ها و کمی نبودن آن‌ها ترکیب روش FRA و FAHP برای برآورد ریسک مناسب تشخیص دادند (۶).

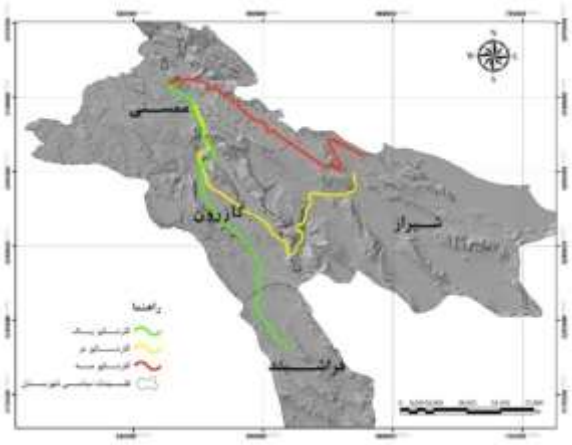
از دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی ریسک وعدم قطعیت در پروژه‌های بزرگراهی کشور چین به‌وسیله روش AHPاشاره نمود. که پس از تعیین گزینه‌های ریسک و طراحی ساختار سلسله‌مراتبی، کار وزن‌دهی عوامل شدت اثر و احتمال وقوع ریسک به روش بردار ویژه انجام‌شد (۷).

در این تحقیق سه آلترناتیو مربوط به راه آهن شیراز مورد ارزیابی قرار گرفتند. به منظور انتخاب آلترناتیو بهینه از بین سه آلترناتیو ابتدا شاخص اهمیت اکولوژیکی آنها به صورت کمی محاسبه شد و سپس شاخص‌های مربوط به روش YAPP به صورت کمی و مکانی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در نهایت با محاسبه ریسک نسبی آنها اقدام به انتخاب آلترناتیو بهینه شد. در این تحقیق علاوه بر کمی نمودن ریسک اقدام به مکانی نمودن ریسک مربوط به پروژه‌های خطی شد.

روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

به منظور احداث راه آهن شیراز سه آلترناتیو ارائه شده است. در این پژوهش به منظور انتخاب مسیر بهینه از نظر ایمنی، این سه آلترناتیو مورد مطالعه قرار گرفت. در زیر این سه آلترناتیو تشریح شده‌اند.



شکل ۱- معرفی آلترناتیوهای سه گانه

Fig.1- Introducing Triple Alternatives

جدول ۱- مشخصات آلترناتیوهای سه گانه

Table.1- Attributes of Triple Alternatives

ردیف	عنوان	طول (کیلومتر)
آلترناتیو یک (سبز)	کازرون - فراشبند	۱۸۲
آلترناتیودو (زرد)	کازرون - کوار	۱۸۸
آلترناتیو سه (قرمز)	شیراز-نوراباد	۱۵۱

روش YAPP ارتقاء یافته

جهت ارزیابی ریسک اکولوژیکی از روش YAPP استفاده شد. لوژین و وی در سال ۲۰۰۷ از این روش نخستین بار در تعیین مسیر بهینه بزرگراه‌ها با تاکید بر ملاحظات اکولوژیکی استفاده‌کردند (۸). این محققان بدین‌صورت نتیجه گرفتند که صدمات محیط‌زیستی ناشی از احداث جاده‌های دارای همبستگی مثبتی با طول آن می‌باشد. ایشان ابتدا زمین مورد نظر جهت ایجاد پروژه‌های در دست اجرا را طبقه‌بندی نمودند و روشی بر مبنای امتیازدهی ایجاد کردند. بدین‌صورت که امتیاز مربوط به صدمات اکولوژیکی هر بخش را در طول مسیر تحت بررسی ضرب کردند (۹). در این پژوهش نیز از روش اصلاح شده YAPP، برای رتبه‌بندی ریسک‌های اکولوژیکی

مسیر راه‌آهن شیراز استفاده شد. بدین منظور در گام نخست از این تحقیق زیستگاه های موجود در آلترناتیوها بر اساس نظریات کارشناسی ارزش دهی و اولویت بندی شدند. بر اساس روش کارشناسی به زیستگاه های مختلف بر حسب میزان حساسیت آنها امتیاز از صفر تا ده داده شد. این نظرسنجی ها با استفاده از پرسش نامه و با نظر کارشناسان از رشته های مختلف محیط‌زیست، زمین‌شناسی و مورفولوژی، مهندسی سازه و گرایش‌های مختلف زیست‌شناسی انجام شد و نتایج آن با نرم افزار EXCEL آنالیز شد.

در ادامه اجرای روش YAPP در گام دوم درجه اهمیت معیارهای حاصل شده از مرحله اول، در طول هر یک از زیستگاه‌ها ضرب شد (رابطه ۲). به هریک از ضرایب حاصله در این قسمت اهمیت نسبی اکولوژیکی برای هر زیستگاه گفته می‌شود و جمع‌کل این مقادیر شاخص آثار اکولوژیکی برای هر مسیر را مشخص می‌سازد.

$$ERI_i = (HIV_i) \times (LCH_i)$$ رابطه (۱)

ERI_i: اهمیت نسبی اکولوژیکی

HIVi: اهمیت نسبی هر زیستگاه

LCHi: طول هر زیستگاه در مسیر

هر چه مقدار شاخص آثار اکولوژیکی برای مسیر کمتر باشد، از نقطه نظر ارزیابی اکولوژیکی آن مسیر ترجیح داده می‌شود.

به منظور ارزیابی ریسک محیط‌زیستی راه‌آهن شیراز موارد زیر برای هر یک از قطعات مفروض است:

الف) امکان آسیب رساندن به خطوط ریلی از سوی مردم محلی به صورت عمدی یا غیرعمد، با افزایش تراکم جمعیت بالا می‌رود.

ب) فعالیت‌های کشاورزی در طول مسیر احتمال وقوع ریسک را افزایش می‌دهد.

ج) هر چه طول مسیر بیشتر شده و نقاط عطف یا شکست در طول خط‌آهن بیشتر باشد، امکان بروز سوانح بالاتر خواهد رفت.

د) هر چه از نقطه‌نظر زمین‌شناسی با اراضی هموارتری روبه‌رو باشیم، احتمال بروز سوانح کاهش خواهدیافت.

با توجه به چهار ویژگی مطرح شده، شاخص‌های زیر برای محاسبه ریسک بروز سوانح در نظر گرفته‌شد.

$$CRA_n = LR_n + WRP_n + TR_n$$ رابطه (۲)

به‌طوری‌که :

LRn: ریسک مربوط به طول خط‌آهن و زمین مورد استفاده برای ساخت قطعه n

WRPn: ریسک مربوط به تراکم جمعیت و تعداد نقاط سکونت‌گاهی موجود در قطعه n

TRn: ریسک مربوط به وضعیت زمین‌شناسی منطقه و نقاط شکست در قطعه n

LRn از رابطه (۳) محاسبه می‌شود. به‌طوری‌که، Ln طول قطعه n، LL طول بلندترین قطعه مسیر و LAn طول آن قسمت از مسیر است که از زمین‌های کشاورزی عبور می‌کند.

$$LR_n = \left(\frac{\left(L_n / L_L \right)\left(۱ + LA_n / L_n \right)}{۲} \right)$$ رابطه(۳)

WRPn نیز از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود. به‌طوری که، RPn ریسک مربوط به تراکم جمعیت در قطعه n و RPH بالاترین میزان ریسک جمعیت بین هر سه قطعه است.

$$WRP_n = \frac{RP_n}{RP_H}$$ رابطه(۴)

RPn ریسک مربوط به تراکم جمعیت از رابطه (۵) به‌دست می‌آید که در آن PDn تراکم جمعیت در قطعه n و NTn تعداد مناطق سکونتگاهی در هر قطعه می‌باشد:

$$RP_n = PD_n \times NT_n$$ رابطه(۵):

TRn نیز از رابطه (۶) به‌دست آمد. به گونه‌ای که Th بیشترین میزان ریسک مربوط به وضعیت زمین‌شناسی و مناطق شکست بین قطعات را نشان می‌دهد:

$$TR_n = \frac{T_n}{T_h}$$ رابطه(۶):

در رابطه (۶)، Tn از رابطه (۷) محاسبه شد. به‌طوری که، tn برای هر قطعه به این صورت محاسبه می‌شود که زمین صاف یا تقریباً صاف = ۱، تقریباً ناهموار = ۲ و کاملاً ناهموار = ۳ خواهد بود. IPn، تعداد نقاط شکست در طول مسیر n می‌باشد.

$$T_n = t_n \times IP_n \qquad \text{رابطه(۷)}$$

به‌طورکلی، شاخص ارزیابی ریسک فرض می‌کند که زمین و طول مسیر مورد نظر دارای ارزشی برابر با تراکم جمعیت، وضعیت زمین شناسی و نقاط شکست دارد. با توجه به روابط بالا، بیشترین میزان برای هر شاخص با توجه به وضعیت قطعات قطعاً عدد ۱ خواهد بود (۶).

فرایند مکانی کردن ارزیابی ریسک

بعد از محاسبه فرمول‌ها و ریسک مربوط به هر فاکتور در طول راه‌آهن، اقدام به نمایش و ارزیابی آنها بر روی نقشه نموده و فرایند ارزیابی به صورت مکانی انجام می‌شود.

در مرحله اول نقشه زیستگاه‌های مختلف موجود در منطقه تهیه و آلترناتیوهای مختلف با روی‌هم اندازی با نقشه زیستگاه-ها، میزان تلاقی و عبور آنها از هر زیستگاه مشخص و در فرمول جایگذاری می‌گردد.

در ادامه جهت اولویت بندی گزینه ها بر اساس شاخص ها و زیرشاخص های ششگانه روش YAPP، ابتدا ۶ شاخص باهم مقایسه زوجی می شوند و سپس گزینه ها بر اساس این شاخص ها به صورت دوبه دو مورد مقایسه قرار گرفته و اولویت بندی می شوند.

وزن‌دهی گزینه‌ها بر اساس روش تحلیل گسترش یافته چانگ[1]

چانگ در سال ۱۹۹۲ روشی بسیار ساده را برای بسط فرایند تحلیل سلسله مراتبی به فضای فازی ارائه داد. این روش که مبتنی بر میانگین حسابی نظرات خبرگان و روش نرمالایز ساعتی و با استفاده از اعداد مثلثی فازی توسعه داده شده بود، مورد استقبال محققین قرار گرفت. مراحل انجام این روش به قرار زیر می‌باشد:

مرحله۱؛ ترسیم درخت سلسله مراتبی: در این مرحله ساختار سلسله مراتب تصمیم را با استفاده از سطوح هدف، معیار و گزینه ترسیم کنید.

مرحله۲؛ تشکیل ماتریس مقایسات زوجی: با استفاده از نظر تصمیم گیرنده، ماتریس مقایسات با بهره‌گیری از اعداد فازی مثلثی $\tilde{t}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ را بر اساس نظرات چندین تصمیم‌گیرنده تشکیل دهید.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \begin{Bmatrix} \tilde{a}_{121} \\ \tilde{a}_{122} \\ \vdots \\ \tilde{a}_{12P_{12}} \end{Bmatrix} & \dots & \dots & \begin{Bmatrix} \tilde{a}_{1n1} \\ \tilde{a}_{1n2} \\ \vdots \\ \tilde{a}_{1nP_{1n}} \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} \tilde{a}_{211} \\ \tilde{a}_{212} \\ \vdots \\ \tilde{a}_{21P_{21}} \end{Bmatrix} & (1,1,1) & \dots & \dots & \begin{Bmatrix} \tilde{a}_{2n1} \\ \tilde{a}_{2n2} \\ \vdots \\ \tilde{a}_{2nP_{2n}} \end{Bmatrix} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \begin{Bmatrix} \tilde{a}_{n11} \\ \tilde{a}_{n12} \\ \vdots \\ \tilde{a}_{n1P_{n1}} \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} \tilde{a}_{n21} \\ \tilde{a}_{n22} \\ \vdots \\ \tilde{a}_{n2P_{n2}} \end{Bmatrix} & \dots & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$ رابطه (۸)

که در این ماتریس p_{ij} تعداد افراد نظر دهنده در مورد اولویت درایه i نسبت به j می‌باشد.

مرحله ۳؛ میانگین حسابی نظرات: میانگین حسابی نظرات تصمیم گیرندگان را به صورت ماتریس زیر محاسبه کنید:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{a}_{12} & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & (1,1,1) & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & (1,1,1) \end{bmatrix}$$ رابطه (۹)

میانگین حسابی نظرات تصمیم‌گیرندگان

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{p_{ij}} a_{ijk}}{p_{ij}} \qquad i,j = 1,2,\dots,n$$

رابطه (۱۰)

مرحله ۴؛ محاسبه مجموع عناصر سطر: مجموع عناصر سطرها را محاسبه کنید:

$$\tilde{s}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{a}_{ij} \qquad i = 1,2,\dots,n$$

رابطه (۱۱)

مرحله ۵؛ نرمالایز کردن: مجموع سطرها را به شیوه زیر نرمالایز کنید.

1- Chang, D.Y. (1992), Extent Analysis and Synthetic Decision, Optimization Techniques and Applications, *World Scientific*, Singapore, 1: 352.

$$\tilde{M}_i = \tilde{s}_i \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \tilde{s}_i\right]^{-1} \quad i = 1,2,\dots,n$$

رابطه (۱۲)

در صورتی که $\tilde{S}_i$ را به صورت (l_i , m_i , u_i) نشان دهیم رابط فوق به ترتیب زیر محاسبه می‌شود.

$$\tilde{M}_i = \left(\frac{l_i}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{m_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{u_i}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right)$$

رابطه (۱۳)

مرحله ۶؛ تعیین درجه احتمال بزرگتر بودن: درجه احتمال بزرگتر بودن هر μi را نسبت به سایر μiها محاسبه و آنرا $d'(Ai)$ می‌نامیم.

درجه احتمال بزرگتر بودن عدد مثلثی فازی $\mu_2=(l_2,m_2,u_2)$ نسبت به عدد مثلثی فازی $\mu_1=(l_1,m_1,u_1)$ برابر است با:

$$V(M_2 > M_1) = \text{Sub}_{y \geq x}\left[min\left(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)\right)\right]$$

رابطه (۱۴)

این رابطه را می‌توان مترادفاً به صورت زیر بیان کرد:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_2 \cap M_1) = \mu_{M_2}(d)$$

$$= \begin{cases} 1 & m_2 \geq m_1 \text{اگر} \\ 0 & l_2 \geq u_1 \text{اگر} \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{درغیراینصورت} \end{cases}$$

رابطه (۱۵)

که d مختصات بالاترین نقطه در منطقه اشتراک و برخورد دو تابع عضویت μ_{M2} , μ_{M1} می‌باشد.

برای مقایسه M_1 و M_2 محاسبه هر دو مقدار $V(M_2 \geq M_1)$, $V(M_1 \geq M_2)$ ضروری است. درجه احتمال بزرگتر بودن یک عدد فازی محدب (M) از K عدد فازی محدب دیگر $(M_i ; i = 1,2,\dots,k)$ به صورت زیر تفکیک می‌شود:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) , (M \geq M_2) , \dots , (M \geq M_k)] = d'(M)$$

$$i = 1,2,\dots,k \qquad = \min V (M \geq M_i)$$

مرحله ۷؛ نرمالایز کردن: با نرمالایز کردن بردار وزن‌ها، وزن‌های نرمالایز به دست می‌آیند.

$$w = \left[\frac{d'(A_1)}{\sum_{i=1}^{n} d'(A_i)}, \frac{d'(A_2)}{\sum_{i=1}^{n} d'(A_i)}, \dots, \frac{d'(A_n)}{\sum_{i=1}^{n} d'(A_n)}\right]^T$$

رابطه (۱۶)

وزن‌های فوق، وزن قطعی (غیر فازی) هستند. با تکرار این فرایند، اوزان تمامی ماتریس‌ها به دست می‌آید.

با انجام این محاسبات نتایج به ترتیب زیر به دست می‌آید.

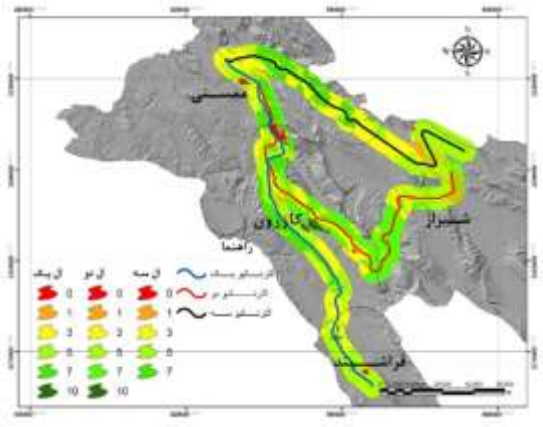
مرحله ۸: ترکیب اوزان: با ترکیب وزن‌های گزینه و معیارها، وزن‌های نهایی به دست می‌آید.

$$\tilde{D}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{w}_i \tilde{r}_{ij} \qquad \forall i$$

رابطه (۱۷)

یافته‌ها

نتایج این کار در زیر به صورت مرحله ای آورده شده است. همانطور که دیده می شود در جدول ۲ اهمیت انواع زیستگاه های موجود در مسیر و شاخص اهمیت اکولوژیکی آلترناتیوهای سه گانه آورده شده است.



شکل ۲- نقشه تلاقی آلترناتیوهای سه گانه با انواع زیستگاه ها

Figure 2- Map of intersection of triple alternatives with different types of habitats

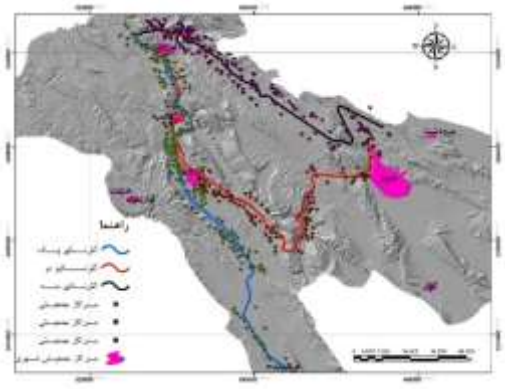
جدول۲- محاسبه شاخص آثار اکولوژیکی

Table 2- Calculation of the index of ecological effects

نوع زیستگاه	میزان اهمیت	آلترناتیو ۱		آلترناتیو ۲		آلترناتیو ۳	
		طول (km)	ERI	طول (km)	ERI	طول (km)	ERI
پهنه های آبی	۱۰	۴	۴۰	۰/۳۳	۳/۳	۰	۰
جنگل ها	۷	۲۱	۱۴۷	۴۹	۳۴۳	۴۶	۳۲۲
زمین کشاورزی و مراتع	۵	۱۱۲	۵۶۰	۷۶	۳۸۰	۵۳/۵	۲۶۷/۵
کاربری ترکیبی	۳	۴۰	۱۲۰	۵۶	۱۶۸	۴۶/۵	۱۳۹/۵
مناطق مسکونی	۱	۵	۵	۶/۶	۶/۶	۵	۵
بیابان و اراضی بایر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
جمع		۱۸۲	۸۷۲	۱۸۸	۹۰۹	۱۵۱	۷۳۴

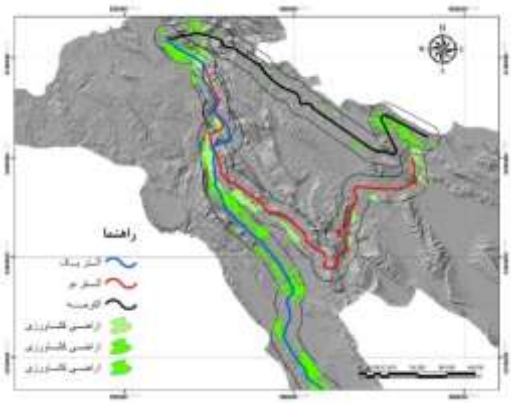
هر چه مقدار شاخص آثار اکولوژیکی برای مسیر کمتر باشد، از نقطه نظر ارزیابی اکولوژیکی آن مسیر ترجیح داده می‌شود. همانطور که در جدول بالا ملاحظه می شود کمترین اهمیت نسبی اکولوژیکی مربوط به آلترناتیو سه است و این نشان دهنده برتری این آلترناتیو نسبت به دو تای دیگر از نظر اهمیت اکولوژیکی است. در محاسبه این شاخص طول مسیر اهمیت زیادی دارد و تاثیر بسزایی روی نتیجه کار خواهد داشت. آلترناتیو سه کمترین طول را در میان همه ی آلترناتیوها داراست و دلیل برتری اکولوژیکی این مسیر نیز طول کمتر آن است. برای تکمیل این نتایج و تعیین مسیر بهینه بر اساس شاخص ها و پارامترهای دقیق تر مراحل بعدی روش YAPP انجام می شود که در ادامه امده است.

با توجه به مراحل ذکر شده در بالا اقدام به محاسبه هر یک از فاکتورها به تفکیک آلترناتیو و مرحله می شود. در گام نخست طول قطعه بر طول بلندترین قطعه تقسیم شده و در میزان طول مسیر که از زمین های کشاورزی عبور می کند، ضرب می شود.



شکل ۳- نقشه عبور مسیرها از اراضی کشاورزی

Fig.3- the map of the roads crossing from agricultural land



شکل۴- نقشه عبور مسیرها از مراکز جمعیتی

Fig.4- The map of the roads crossing from residential area

$$CRA_n = LR_n + WRP_s + TR_n$$

$$LR_1 = \left(\frac{(182/188)(1+111.43/182)}{2}\right)=0.779$$

$$LR_2 = \left(\frac{(188/188)(1+29.83/188)}{2}\right)=0.579$$

$$LR_3 = \left(\frac{(151/188)(1+35.32/151)}{2}\right)=0.493$$

نتیجه این مرحله نشان می دهد که بیشترین ریسک مربوط به آلترناتیو اول است که بخاطر تاثیر طول در محاسبه این شاخص است.

برای محاسبه شاخص بعدی ابتدا تراکم جمعیت مسیر عبور راه آهن را بدست آورده و سپس تعداد نقاط مسکونی نیز در رابطه مربوطه گذاشته و میزان ریسک مربوطه به ویژگی های جمعیتی نیز محاسبه می شود.

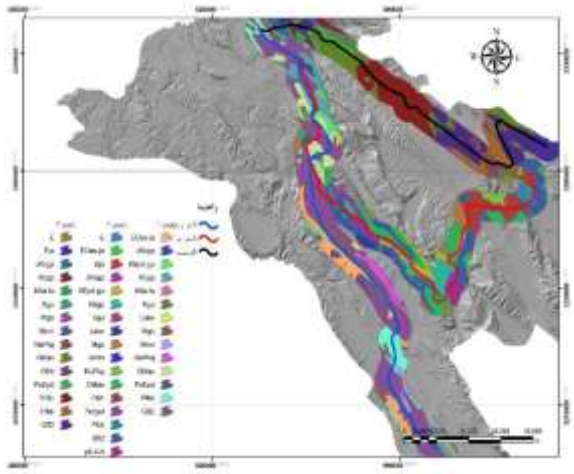
$$WRP_1 = \frac{273*292}{292}=273$$

$$WRP_2 = \frac{281*292}{292}=281$$

$$WRP_3 = \frac{184*194}{292}=122$$

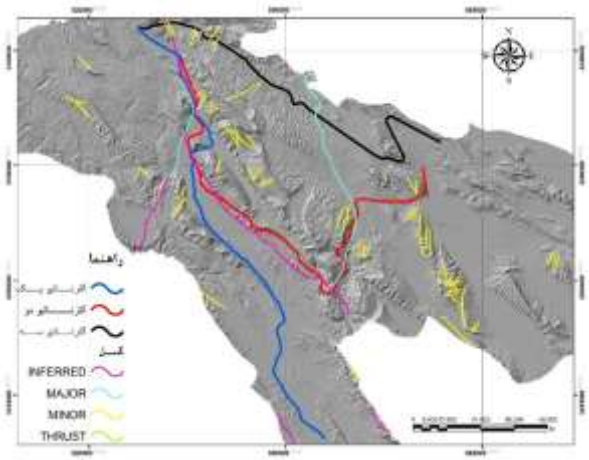
نتایج این مرحله نشان می دهد که بالاترین میزان ریسک مربوط به آلترناتیو دو است. این آلترناتیو به دلیل عبور از مجاورت مناطق شهری بالاترین ریسک را داراست.

در مرحله بعد ریسک مربوط به وضعیت زمین شناسی آلترناتیوهای سه گانه مورد بررسی قرار می گیرد. با توجه به ناهمواری های مسیر و تعداد نقاط شکست در مسیر این شاخص محاسبه می شود.



شکل ۶- نقشه وضعیت گسل های موجود در مسیرهای مختلف

Fig.6- The map of faults in different routes



شکل ۵- نقشه وضعیت زمین شناسی مسیرها

Fig.5- The geological map of routes

$$TR_1 = \frac{12*1}{3}=4$$

$$TR_2 = \frac{17*3}{3}=17$$

$$TR_3 = \frac{8*2}{3}=5.3$$

آلترناتیو دوم از نظر ریسک مربوط به وضعیت زمین شناسی و تعداد نقاط شکست دارای بالاترین میزان ریسک است.

در این مرحله از کار نتایج مراحل قبل با هم مورد ارزیابی قرار می گیرند. به طوری که سه تا شاخص با هم جمع می شوند و ریسک نسبی محاسبه می شود. در زیر اعداد ریسک نسبی مربوط به آلترناتیوهای سه گانه آورده شده است.

$$CRA_1 = LR_1 + WRP_1 + TR_1 = ۲۷۷/۷۷۹$$

$$CRA_2 = LR_2 + WRP_2 + TR_2 = ۲۹۸/۵۷۹$$

$$CRA_3 = LR_3 + WRP_3 + TR_3 = ۱۲۷/۷۹۳$$

جدول ۳- نتایج محاسبه ریسک نسبی آلترناتیوها

Table 3- The results of calculating the relative risk of alternatives

ردیف/ شاخص‌ها	طول (کیلومتر)	کشاورزی (طول عبور از زمین های کشاورزی)	تراکم جمعیت		وضعیت زمین‌شناسی		نتیجه
			تعداد ساکنین	تراکم جمعیت	گسل	وضعیت	
آلترناتیو یک	۱۸۲	۱۱۱/۴۳	۲۷۳	۱۲۵	۱۲	۱	۲۷۷/۷۷۹
آلترناتیو دو	۱۸۸	۲۹/۸۳	۲۸۱	۸۴۷	۱۷	۳	۲۹۸/۵۷۹
آلترناتیو سه	۱۵۱	۳۵/۳۲	۱۸۴	۹۲۲	۸	۲	۱۲۷/۷۹۳

همچنانکه ملاحظه می شود، ریسک نسبی آلترناتیو دو بالاترین و ریسک نسبی آلترناتیو سوم کمترین مقدار است. بر اساس نتایج بدست آمده از محاسبات، آلترناتیو سوم به عنوان مسیر بهینه برای احداث راه آهن مذکور انتخاب می شود.

اولویت بندی گزینه‌ها با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی:

در این قسمت بر اساس نتایج روش YAPP، اقدام به اولویت بندی آلترناتیوها بر اساس ۶ شاخص مورد استفاده در روش مذکور می شود. بدین ترتیب ابتدا شاخص ها با هم به صورت زوجی مورد مقایسه قرار می‌گیرند تا میزان اهمیت آنها مشخص شده و سپس آلترناتیوها را دوبه دو بر اساس ۶ شاخص مقایسه نموده و از نتایج روش YAPP به عنوان ورودی روش FAHP استفاده شده است. در ادامه نتایج FAHP به صورت جدول و نمودار نشان داده می شود.

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی معیار ها

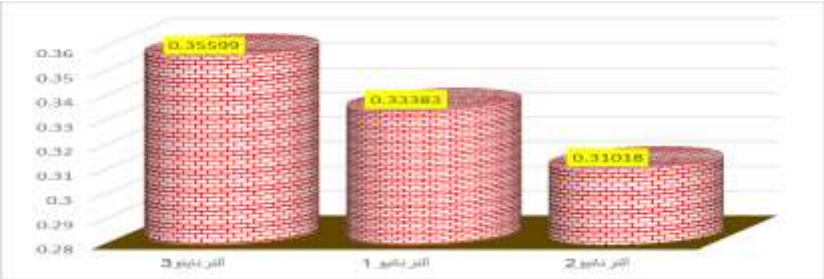
Table 4- Pairwise comparison matrix of criteria

مقایسه معیار ها	طول مسیر	عبور از اراضی کشاورزی	تعداد ساکنین	تراکم جمعیت	گسل	وضعیت زمین شناسی
طول مسیر	(۱،۱،۱)	(۱،۳،۵)	(۱،۳،۵)	(۱،۲،۴)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۱،۲،۴)
عبور از اراضی کشاورزی	(۱، ۰/۳۳ ،۰/۲)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۴)	(۱،۲،۴)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۱،۲،۴)
تعداد ساکنین	(۱، ۰/۳۳ ،۰/۲)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۱،۱،۱)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۱،۲،۴)
تراکم جمعیت	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۱،۲،۴)	(۱،۱،۱)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۱،۲،۴)
گسل	(۱،۲،۴)	(۱،۲،۴)	(۱،۲،۴)	(۱،۲،۴)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۴)
وضعیت زمین شناسی	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۱)	(۱،۱،۱)

جدول ۵- مقایسه زوجی گزینه ها بر حسب معیار

Table 5- Pairwise comparison of options according to criteria

مقایسه زوجی گزینه ها بر حسب معیار طول مسیر			
طول مسیر	آلترناتیو ۱	آلترناتیو۲	آلترنایتو۳
آلترناتیو ۱	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۴)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)
آلترناتیو۲	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱،۱،۱)	(۱، ۰/۳۳، ۰/۲)
آلترنایتو۳	(۱،۲،۴)	(1,3,5)	(۱،۱،۱)
مقایسه زوجی گزینه ها بر حسب معیار عبور از زمین های کشاورزی			
عبور از زمین های کشاورزی	آلترناتیو ۱	آلترناتیو۲	آلترنایتو۳
آلترناتیو ۱	(۱،۱،۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)
آلترناتیو۲	(۱،۲،۴)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۴)
آلترنایتو۳	(۱،۲،۴)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱،۱،۱)
مقایسه زوجی گزینه ها بر حسب معیار تعداد ساکنین			
تعداد ساکنین	آلترناتیو ۱	آلترناتیو۲	آلترنایتو۳
آلترناتیو ۱	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۴)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)
آلترناتیو۲	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱،۱،۱)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)
آلترنایتو۳	(۱،۲،۴)	(۱،۲،۴)	(۱،۱،۱)
مقایسه زوجی گزینه ها بر حسب معیار تراکم جمعیت			
تراکم جمعیت	آلترناتیو ۱	آلترناتیو۲	آلترنایتو۳
آلترناتیو ۱	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۴)	(۱،۲،۴)
آلترناتیو۲	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۴)
آلترنایتو۳	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱،۱،۱)
مقایسه زوجی گزینه ها بر حسب معیار گسل			
گسل	آلترناتیو ۱	آلترناتیو۲	آلترنایتو۳
آلترناتیو ۱	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۴)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)
آلترناتیو۲	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱،۱،۱)	(۱،۲،۴)
آلترنایتو۳	(۱،۲،۴)	(۱، ۰/۵، ۰/۲۵)	(۱،۱،۱)
مقایسه زوجی گزینه ها بر حسب معیار وضعیت زمین شناسی			
وضعیت زمین شناسی	آلترناتیو ۱	آلترناتیو۲	آلترنایتو۳
آلترناتیو ۱	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)
آلترناتیو۲	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)
آلترنایتو۳	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)
نتیجه نهایی			
نام گزینه	وزن		
آلترنایتو۳	۰/۳۵۵۹		
آلترناتیو ۱	۰/۳۳۳۸		
آلترناتیو۲	۰/۳۱۰۱		



شکل ۷- اولویت بندی گزینه ها

Figure 7- Alternatives prioritization

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق از روش ارتقاء یافته YAPP برای ارزیابی زیست محیطی آلترناتیوهای سه گانه راه آهن شیراز استفاده شد. در این روش بر اساس شاخص های مختلفی مسیرهای پیشنهادی برای احداث پروژه های خطی مورد بررسی قرار میگیرند. شاخص های مورد استفاده شامل زیستگاه های اکولوژیک، زمین های کشاورزی، تراکم جمعیت انسانی، تعداد سکونتگاه های انسانی، تلاقی با گسل و وضعیت زمین شناسی می باشد. هر کدام از این شاخص ها بر اساس فرمول های مخصوص خود محاسبه می شوند که در نهایت با تلفیق این شاخص ها شاخص نهایی ریسک برای هر مسیر پیشنهادی بدست می آید. جهت محاسبه شاخص ها لایه های اطلاعاتی مکانی از مسیر و مولفه های شاخص ها مورد نساز می باشد که این امر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان پذیر می باشد. بنابراین خروجی های این روش بر مبنای داده های واقعی زمینی هستند و خبرگان و کارشناسان با دانش فنی خود و نوع لایه و اطلاعات زمینی شاخص ها را محاسبه می کنند. همچنانکه در این مطالعه از لایه های کاربری اراضی، زمین شناسی، گسل، مراکز جمعیتی شهری و روستایی، جمعیت و کشاورزی استفاده شد. نحوه تفسیر هر شاخص در بخش روش ها ارائه شده است و نتیجه نهایی که شاخص ریسک می باشد هر چه کمتر باشد به معنی مناسب تر بودن گزینه بوده و ابزاری برای انتخاب گزینه بهینه را فراهم می اورد. در بخش دیگری از مطالعه جهت انجام سیستماتیک اولویت بندی و انتخاب گزینه برتر از روش FAHP استفاده شد. غالباً در این روش از نظرات صرف کارشناسی استفاده می شود و گزینه های پیشنهادی با مقایسه زوجی نسبت به هم ارزیابی شده و اولویت بندی می شوند. در این مطالعه مبنای کار کارشناسان را خروجی روش YAPP تشکیل می دهد که از شاخص های مختلف مکانی تشکیل شده است. بنابراین عدم قطعیت و عدم واقعیت در نظرات کارشناسی به مراتب کمتر می شود. برای مثال کارشناس بر اساس کیلومتر عبوری مسیر از زمین های کشاورزی یا زیستگاه های مختلف که به طور دقیق مشخص می باشد و یا بر اساس تعداد گسل هایی که در مسیر وجود دارد، نظر می دهد. علاوه بر این ترکیب این دو روش مکمل همدیگر است. زمانیکه نتایج روش YAPP وارد فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی به عنوان داده ورودی می شود در ابتدا شاخص ها نسبت به همدیگر مقایسه و اهمیت آنها در انتخاب نهایی تاثیرگذار می شود و ثانیاً با مقایسه زوجی گزینه ها بر اساس تک تک معیارها در یک فرایند سلسله مراتبی باعث ایجاد یک فرایند سیستماتیک در تصمیم گیری می شود. بر اساس نتایج بدست آمده آلترناتیو شماره سه (شیراز-نوراباد) با میزان ریسک بروز سانحه تقریبی ۱۲۷ به عنوان مسیر برتر برای احداث راه آهن مورد نظر انتخاب شد. ریسک های محاسبه شده برای آلترناتیوهای مختلف به ترتیب ۲۷۷ برای آلترناتیو یک، ۲۹۸،۵۷۹ برای آلترناتیو دو و ۱۲۷،۷۹۳ برای آلترناتیو سوم است. کمترین ریسک نسبی محاسبه شده از میان آلترناتیوهای مختلف مربوط به آلترناتیو شماره سه با مقدار ۱۲۷،۷۹۳ بود که اختلاف زیادی با آلترناتیو با دومین میزان ریسک نسبی داشت و با درصد اطمینان بالا به عنوان مسیر برتر شناخته شد. آنچه در این

مطالعه حائز اهمیت است کمی نمودن و همزمان با آن مکانمند نمودن فرایند ارزیابی ریسک مربوط به پروژه های خطی است که این کار در مطالعات قبلی به صورت تکی و جداگانه انجام شده بود و در این مطالعه ریسک مربوط به راه آهن هم بصورت کمی و هم به صورت مکانی محاسبه شد.

واژگان اختصاری

میزان ریسک بروز سوانح (CRA)

مراجع

1- Guillermo Zúííiga-Gutiérreza, Joaquín Arroyo-cabrales, Carlos Lechuga, Alfredo o r t e g a-Rubio, 2002, Environmental quantitative assessment of two alternative routes for a gas pipeline in Campeche, Mexico, Landscape and Urban Planning 59 (2002) 181-186.

2- De Jongh, P., 1988. Uncertainty in EIA. In: Wathem, P. (Ed.), Environment lmpact Assessment: Theory and Practice. Routledge, NY, USA, pp. 60-78.

3- Jabal Ameli, M. 2016. Project risk rating using multi-criteria decision-making process, publications of the Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology. (In persian).

4- Wei, Z. & Luxin, N. 2007. Qinghai-Xizang Railroad Construction in Permafrost Region. Shanghai University Publish. 324pp.

5- Stephen, S. 2006. Managing Industrial Risk- Having a Tested and Proven System to Prevent and Assess Risk, Hazardous materials Journal: Springer, vol: 13, No.3, pp: 55- 67.

6- Shuang, C. & Baker, J. W. 2008. Railway Risk Assessment-The Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approaches a case study of Shunting at Waterloo Depot, Rail and Rapid Transit Publish., Quebec, Canada. 258pp.

7- Tarek, M. & Amer, H. 2008. Assessing Risk and Uncertainty Inherent in Chinese Highway Projects Using AHP. Project Management Bulletin, Beijing, China.384pp.

8- Sarkis, J. & Talluri, S. 2004. Evaluating and Selecting E-Commerce Software and Communication Systems for a Supply Chain. European Journal of Operational Research, Vol: 159. pp: 318-329.

9- Wun, Q. 2004. Risk assessment of earth fractures by constructing an intrinsic vulnerability map, a specific vulnerability map, and a hazard map, using yuci city , shanxi china as an example , Environmental geology.