نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره چهارم، شماره ۴، اردیبهشت ماه ۱۳۹۴

به کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری گروهی و آنالیزهای مکانی جهت انتخاب مسیر در مرحله طراحی اولیه

مریم شاکری[۱]، ابوالقاسم صادقی نیارکی*[۲]، عباس علیمحمدی[۳]، علی‌اصغر آل‌شیخ[۴]

[۱] کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی- دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
mshakeri@mail.kntu.ac.ir

[۲] استادیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی- دانشکده مهندسی نقشه برداری- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
(قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی)
a.sadeghi@kntu.ac.ir

[۳] دانشیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی- دانشکده مهندسی نقشه برداری- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
(عضو قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی)
alimoh-abb@kntu.ac.ir
alesheikh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۳، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۳)

چکیده

طراحی بزرگراه‌ها از فرآیندها و زیر فرآیندهای متعددی از جمله برنامه‌ریزی تا ساخت‌وساز واقعی تشکیل شده است. قبل از مهندسی دقیق و طراحی جاده، یک فرآیند اولیه از مکان‌یابی جاده باید انجام شود. در این مرحله، گزینه‌های زیادی وزن دهی، ارزیابی و اولویت‌بندی می‌شوند. انتخاب مسیر (زیر فرآیند مکان‌یابی مسیر) بخش بسیار مهمی در کل فرآیند طراحی مسیر می‌باشد. در این مرحله است که معیارهای اساسی با حداقل اثرات منفی زیست محیطی، اجتماعی و مالی ممکن و همچنین معیارهای فنی مسیر باید برآورده شوند. این مرحله، بدون توجه به الگوهای فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی ممکن است منجر به مسیری که که از جنبه مهندسی ایده‌آل است اما باعث تخریب این مناطق و در نتیجه نارضایتی مردم و گاهی باعث توقف پروژه گردد. بنابراین، تصمیم‌گیری در مورد برنامه‌ریزی و ساخت بزرگراه، از آنجا که عوامل و ذینفعان زیادی در آن درگیر هستند، فرایند پیچیده است. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و همچنین آنالیزهای مکانی می‌تواند به کاهش مشکلات تصمیم‌گیران در انتخاب مسیر کمک کند. هدف از این مقاله، استفاده از آنالیزهای مکانی GIS و رروش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با در نظر گرفتن معیارهای زیست‌محیطی، اجتماعی-اقتصادی، توریستی و فنی مسیر در انتخاب مسیر می‌باشد. در این مقاله از روش‌های فازی AHP برای وزن‌دهی معیارها به صورت گروهی (با اولویت‌بندی توسط کارشناسان حمل‌ونقل و مردم) و ویکور برای اولویت‌بندی گزینه‌های مسیر استفاده می‌شود. نتایج حاصل از پیاده سازی برای محور سومار-گیلانغرب، نشان می‌دهد که مسیر انتخاب‌شده با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری و آنالیزهای مکانی با مسیر تعیین‌شده توسط شرکت مهندسین مشاور مطابقت دارد.

واژگان کلیدی: آنالیزهای مکانی، فازی AHP، ویکور، انتخاب مسیر، وزن‌دهی گروهی

* نویسنده رابط

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

راه از عناصر مهم زندگی نوین به شمار می‌آید و زمینه‌های رشد و توسعه اقتصادی و همچنین بالا بردن کیفیت زندگی مردم را به وجود می‌آورد. تقاضا برای راه در پی افزایش تقاضا برای جابه‌جایی مردم و کالا در اغلب کشورها توسعه یافته است. این افزایش تقاضا، ساخت و توسعه زیرساخت‌های راه را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. پروژه‌های راه از جمله پروژه‌هایی هستند که به دلیل نوع و اندازه، دارای دامنه وسیعی از آثار مثبت و منفی بر اقتصاد، اجتماع و محیط‌زیست هستند. شناسایی این اثرات قبل از اجرای پروژه‌ها می‌تواند برنامه‌ریزان و تصمیم گیران را در انتخاب پروژه‌هایی که دارای بیش‌ترین آثار مثبت و کمترین آثار منفی هستند، یاری نماید[۱]. از جمله، اهداف اصلی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل زمینی نیز باید ارتقای کیفیت خدمات به استفاده‌کنندگان و نیز حفاظت محیط‌زیست باشد. برای این منظور، از یک سو آگاهی از نیازهای استفاده‌کنندگان و از سوی دیگر آگاهی نسبت به ملاحظات اجتماعی و زیست‌محیطی مردم ضروری است. بدون توجه به الگوهای فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی مردم و یک برنامه خوب برای مشارکت مردم در امر برنامه‌ریزی تا طراحی و حتی ساخت یک پروژه حمل‌ونقل، برقراری سازگاری بین سلیقه‌های مختلف و اجرایی کردن پروژه‌های حمل‌ونقل با مشکل مواجه خواهد شد [۲].

برنامه‌ریزی برای یک مسیر، یک فرایند پیچیده است و مهم‌ترین بخش توسعه مسیر بزرگراه، موقعیت آن است. انتخاب کریدور یا موقعیت بزرگراه، نه تنها بر هزینه و کارایی عملکردی آن اثر می‌گذارد بلکه جوامع و محیط‌زیست اطراف را تحت تأثیر قرار می‌دهد[۳]. مشارکت ذینفعان مختلف با منافع و تأکیدات مختلف (مثل مهندسی و مردم)، برای ایجاد یک طرح خوب برای موقعیت کریدور لازم است و تعیین کریدوری که در تمام زمینه‌ها بهترین باشد، مشکل خواهد بود. به عبارت دیگر، برنامه‌ریزی مسیر جاده برای رفع نیازهای مردم، با توجه به زمان صرف شده برای تعریف قوانین زمین، تعریف نقش‌ها و مسئولیت‌ها و همچنین در نظر گرفتن نظرات مختلف ذینفعان درگیر در فرایند برنامه‌ریزی، نیازهای زیست‌محیطی و اجتماعی و همچنین منافع دولت و جامعه، پیچیده و زمان‌بر است[۴]. بنابراین، با توجه به دخالت عوامل زیاد بر فرایند تصمیم‌گیری، نبود یک راه حل منحصربه‌فرد و کثرت نظرات، ابزارهای محاسباتی می‌توانند از حل تعارضات و تصمیم‌گیری‌ها پشتیبانی کنند. آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره چارچوبی ارائه می‌کند که در آن، نظرات متفاوت در مورد اولویت‌ها و مقادیر می‌تواند در یک فرایند ساختار یافته مورد استفاده قرار گیرد[۵]. استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره به همراه سیستم اطلاعات مکانی به برنامه‌ریزان برای دستیابی به نتایج مطلوب و دقیق‌تر کمک کرده است تا به این ترتیب باعث کاهش ماهیت پیچیده در فرایند برنامه‌ریزی مسیر که ذینفعان مختلف به یک نتیجه‌گیری کلی برسند، می‌گردد.

هدف از این مقاله، استفاده از آنالیزهای مکانی GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در انتخاب مسیر می‌باشد. بدین منظور، آنالیزهای مکانی GIS برای تحلیل لایه‌های داده مربوط به هر معیار، از روش فازی AHP گروهی برای تعیین وزن معیارها که توسط کارشناسان حمل و نقل و مردم اولویت‌بندی شدند، روش ویکور برای اولویت گزینه‌های مسیر و در نهایت انتخاب مسیر بهینه مورد استفاده قرار گرفت. ساختار ای مقاله به صورت زیر می‌باشد: در بخش ۲ ،پیشینه تحقیق مطرح می‌شود و پس از آن در بخش ۳ در مورد منطقه مورد مطالعه، بخش ۴ در مورد روش تحقیق و بخش ۵ نیز به ارائه نتایج و یافته های تحقیق می پردازد ،بخش آخر نیز به ارائه بحث و نتیجه گیری اختصاص دارد.

۲- پیشینه تحقیق

در زمینه راه و انتخاب مسیر، در طول سال‌های گذشته تحقیقات بسیاری انجام شده است. گنلتی[۱] در سال ۲۰۰۵، آنالیز چندمعیاره را به همراه سیستم اطلاعات مکانی برای رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف مسیر برای توسعه جاده استفاده کرده است. این تحقیق اثر گزینه‌های مختلف مسیر را با در نظر گرفتن معیارهای زیست‌محیطی محاسبه کرده است. در نتیجه با انجام ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، مسیر بهینه انتخاب شده است[۶]. بلکا[۲] در سال ۲۰۰۵، یک روش مبتنی بر GIS برای تعیین بزرگراه در مراحل اولیه برنامه‌ریزی حمل و نقل ارائه کرده است. در این روش، از یک

۱ Geneletti
۲ Belka

www.SID.ir
Archive of SID

آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره برای تلفیق عوامل اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی جهت ارزیابی تمام گزینه‌های ممکن استفاده شده است. بعلاوه الگوریتم کوتاهترن مسیر ورن‌دار برای مکان‌یابی کریدور به کار گرفته شده است[۷]. کشکامات[۱] و همکارانش در سال ۲۰۰۹، روش آنالیز شبکه چندمعیاره مکانی را برای تولید گزینه‌های مسیر تحت سیاست‌های مختلف، ارائه داده‌اند. این روش، مقررات و نگرانی‌های زیست‌محیطی را همراه با ملاحظات دیگر که به همان اندازه مهم هستند مانند کارایی سیستم حمل‌ونقل، ایمنی، نیازهای اجتماعی-اقتصادی در نظر گرفته است. همچنین سیستم حامی تصمیم‌گیری مکانی که می‌تواند برای مقایسه گزینه‌های مختلف مسیر مورد استفاده قرار گیرد، ارائه شده است[۸]. فارکاس[۲] در سال ۲۰۰۹، روشی برای ارزیابی چندمعیاره مکانی در مرحله انتخاب مکان مترو براساس اهداف متنوع مهندسی، اقتصادی، اجتماعی، سازمانی و زیست‌محیطی ارائه کرده است. این روش مبتنی بر روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP و آنالیز مکانی-زمانی GIS می‌باشد[۹]،[۱۰].

الگافی[۳] و همکارانش در سال ۲۰۱۱، چارچوب را برای آنالیز مرحله ارزیابی اثرات زیست‌محیطی گزینه‌های مختلف مسیر پروژه حمل‌ونقل، بر اساس تلفیق سنجش از دور، سیستم اطلاعات مکانی و مدل‌سازی‌های مکانی ارائه داده‌اند. در این چارچوب با استفاده از مقایسه زوجی (روش وزن دهی)، مقدار ارزیابی هر گزینه را با در نظر گرفتن اثرات اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی آن‌ها، به دست آورده است و بهترین گزینه با مقدار اثرات کمتر انتخاب شده است[۱۱]. مارکوویچ[۴] و همکارانش در سال ۲۰۱۳، با به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری ویکور و پرامیتیII به رتبه‌بندی واریانت‌های مسیر بزرگراه پرداخته‌اند. رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس ۲۰ معیار مختلف باهدف کاهش هزینه-های ساخت، کاهش هزینه‌های نگهداری، افزایش مزایا برای کاربران، افزایش ایمنی، افزایش توسعه منطقه، افزایش حفاظت از محیط‌زیست و کاهش پیامدهای زیست‌محیطی ارزیابی‌شده‌اند و با توجه رتبه‌بندی واریانت‌ها انجام شده است[۱۲]. ایفت[۵] و همکارش در سال ۲۰۱۳، به مقایسه سه مسیر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات مکانی پرداخته‌اند. این مقایسه بر اساس سه دیدگاه مهندسی، زیست‌محیطی و ترکیبی انجام شده است[۱۳]. برائرز[۶] و همکارانش در سال ۲۰۰۸، یک روش بهینه‌سازی چندهدفه به منظور تصمیم‌گیری در انتخاب گزینه ساخت جاده توسعه و پیاده کرده‌اند. در این زمینه از روش MOORA برای انتخاب بهترین گزینه استفاده کردند. در این روش، گزینه‌ها براساس پنج هدف قیمت، مدت ساخت، طول مسیر، سطح سروصدا و دوام ارزیابی شده‌اند[۱۴].

۳- برنامه ریزی مسیر در حمل‌ونقل

به طور معمول چند مرحله پایه در فرایند توسعه مسیر وجود دارد: برنامه‌ریزی، طراحی مقدماتی، طراحی نهایی، right-of-way، ساخت و سپس نگهداری. در مرحله برنامه‌ریزی، لازم است مسیر پیشنهادی در سطح محلی و/یا سطح منطقه‌ای بسته به اندازه پروژه تعریف گردد. برنامه‌ریزان و طراحان تأکیدهای متفاوتی به عواملی که برنامه‌ریزی و طراحی مسیر را تحت تأثیر قرار می‌دهند، دارند. برنامه‌ریزی برای یک مسیر، یک فرایند پیچیده است و مهم‌ترین بخش توسعه مسیر بزرگراه، موقعیت آن می‌باشد. انتخاب کریدور یا موقعیت بزرگراه، نه تنها بر هزینه و کارایی عملیاتی مسیر، اثر می‌گذارد بلکه جوامع و محیط‌زیست اطراف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، در شناخت اهمیت این کار و در طول برنامه‌ریزی موقعیت مسیر، در نظر گرفتن عوامل فنی، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، توجه زیادی خواهد شد[۳].

تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی بزرگراه، از آنجا که عوامل و ذینفعان زیادی در آن درگیر هستند، فرایند پیچیده است. با این وجود، انتخاب مسیر ممکن است در میان متخصصان و ذینفعان مختلف از طریق وزن‌هایی که به اجزای مختلف مسیر داده می‌شود، متفاوت باشد[۱۵]. بنابراین، فرایند انتخاب مسیر بزرگراه، یک مسئله تصمیم-گیری چند رشته‌ای است که برای ارزیابی گزینه‌ها باید عوامل مختلفی باهدف حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی، حداکثر ساختن عملکرد در شرایط ایمنی

۱ Keshkamat
۲ Farkas
۳ El-Gafy
۴ Marković
۵ Effat
۶ Brauers

Archive of SID
www.SID.ir

[۱۶]، حداقل ساختن هزینه ساخت و حداکثر ساختن نتایج سرمایه‌گذاری اقتصادی، در نظر گرفته شوند.

۴- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در قسمت جنوب غربی کرمانشاه در نزدیکی مرز استان کرمانشاه با استان ایلام و کشور عراق واقع شده است. به دلیل نزدیکی و هم‌جواری با جامعه رو به توسعه عراق و نیز نیاز به بهسازی مسیرهای استان کرمانشاه که پس از ویرانی‌های زمان جنگ نیاز شدیدی به توسعه دارند، محور گیلانغرب-سومار مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این محور، ۴ گزینه پیشنهاد گردیده است که در شکل ۱ قابل مشاهده است.

شکل ۱- واریانت‌های پیشنهادی محور سومار-گیلانغرب

به منظور آماده‌سازی داده‌های مورد نیاز، نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ منطقه (در فرمت dgn.) از سازمان نقشه‌برداری، نقشه‌های با فرمت shp. مربوط به محیط‌زیست منطقه، نقشه‌های پلان و پروفیل واریانت‌ها (در فرمت dwg.) و همچنین گزارش‌های راه‌سازی (مطالعات توجیه اولیه محور سومار- گیلانغرب) و زیست‌محیطی مربوط به پروژه از وزارت راه و ترابری (شرکت راه‌سازی مربوطه) تهیه گردید. با استفاده از دستورالعمل سازمان نقشه‌برداری، نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ به فرمت shp. تبدیل شد. علاوه بر این، با مطالعه گزارش راه-سازی و بررسی نقشه‌های پلان و پروفیل واریانت‌ها، مشخصات هندسی هر مسیر تعیین شدند. در جدول ۱ مشخصات کلی واریانت‌های پیشنهادی نشان داده شده است.

۵- روش پیشنهادی انتخاب مسیر

برنامه‌ریزی مسیر و فرآیند انتخاب مسیر با در نظر گرفتن معیارهای مختلف فنی، اجتماعی، اقتصادی، زیست-محیطی و توریستی انجام می‌شود. در این مقاله، گزینه‌های مختلف پیشنهادی بر اساس معیارهایی که در شکل ۲ نشان داده شده است، ارزیابی و گزینه بهینه انتخاب می‌گردد. لازم به ذکر است که این معیارها با توجه به منطقه مورد مطالعه و داده‌های موجود در نظر گرفته شدند.

پس از تعیین معیارهای موثر و گزینه‌های پیشنهادی، مسیر بهینه با استفاده از از روش‌های فازی AHP و ویکور به صورت گروهی تعیین می‌شود. روش فازی AHP برای وزن‌دهی به معیارها و روش ویکور برای رتبه‌بندی گزینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. اهمیت نسبی معیارها برای تعیین وزن آن‌ها با استفاده از متغیرهای زبانی از کارشناسان و مردم بدست آمده است. وزن نهایی معیارها به روش فازی AHP چانگ و به صورت گروهی تعیین می-شود. پس از تعیین وزن نهایی معیارها و مقادیر آن‌ها با توجه به هر یک از گزینه‌های مسیر، ماتریس تصمیم تشکیل و در نهایت با استفاده از روش ویکور، مسیر بهینه انتخاب می‌گردد.

شکل ۲- معیارهای در نظر گرفته‌شده در انتخاب مسیر

۵-۱- تعیین وزن معیارها با فازی AHP

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای شناسایی مناسب‌ترین مکان در مرحله تصمیم‌گیری است که به طور گسترده شناخته‌شده و به طور معمول برای ارزیابی به کار گرفته می‌شود[۹]. مفهوم AHP، برای اولین مرتبه توسط ساعتی در اواسط ۱۹۷۰ به عنوان یک روش تصمیم‌گیری کمی برای ترکیب موثر قضاوت‌های کیفی، توسعه داده شد. با سازمان‌دهی و ارزیابی گزینه‌ها با توجه به سلسله‌مراتب معیارهای چندوجهی، AHP یک ابزار موثر برای مقابله با مسائل تصمیم‌گیری پیچیده و ساختار نیافته فراهم می‌کند. AHP، امکان تعریف یک چارچوب بهتر، ساده‌تر و موثرتر برای تعیین معیارهای انتخاب، محاسبه وزن و آنالیز آن‌ها فراهم می‌کند[۱۷].

www.SID.ir

جدول۱- مشخصات کلی واریانت‌های پیشنهادی

	طول مسیر (کیلومتر)	تعداد قوس‌ها	حداکثر شیب طولی	حجم عملیات خاکی(مترمربع) خاک‌برداری	خاک‌ریزی	بیش‌ترین ارتفاع ترانشه(متر)	سرعت متوسط طرح (Km/h)
واریانت اول	۴۸	۴۹	٪۷	۷،۲۸۷،۰۰۰	۱،۳۸۰،۰۰۰	۵۲	۸۵
واریانت دوم	۵۷	۴۲	٪۷	۸،۷۵۱،۰۰۰	۳،۷۹۲،۰۰۰	۳۷	۹۰
واریانت سوم	۵۸	۶۵	٪۷	۵،۵۷۳،۰۰۰	۸۹۳،۰۰۰	۲۸	۸۰
واریانت چهارم	۶۳	۷۵	٪۹۰	۱۲،۵۳۶،۰۰۰	۲،۶۵۵،۰۰۰	۴۲	۶۵

AHP روش شناخته‌شده‌ای است که یک مسئله را به چندین سطح به روشی که آن‌ها به صورت سلسله‌مراتب درآیند، تجزیه می‌کند[۱۸]. در مدل AHP معیارها و گزینه‌ها در یک نظام سلسله مراتبی قرارگرفته و با اختصاص وزنی در مقیاس ۱ تا ۹ به صورت زوجی مقایسه می‌شوند. سپس ارزش نهایی آن‌ها از طریق استانداردسازی و یکی از روش‌های موجود تعیین می‌شود. استفاده از مقایسه‌های زوجی برای تعیین اهمیت نسبی مؤلفه‌های هر سطح نسبت به سطح بالاتر، باعث افزایش دقت و ایجاد امکان مقایسه داده‌ها در هر سطح خواهد شد.

روش AHP برای مسائلی که ساختار سلسله مراتبی دارند، مناسب است. پیاده‌سازی روش AHP بر اساس شش مرحله می‌باشد: ۱- تعریف مسئله ساختار نیافته و تعیین پارامترهای ورودی/خروجی؛ ۲- نمایش ساختار با یک سلسله‌مراتب؛ ۳- مقایسه زوجی بین المان‌ها در هر سطح؛ ۴- محاسبه وزن در هر سطح؛ ۵- تست سازگاری هر ماتریس؛ ۶-تعیین اولویت هر گزینه با یک ترکیب از وزن-ها[۱۹].

در فرآیند تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیر به طور معمول با شک و تردید، مشکلات و عدم قطعیت‌ها مواجه می‌شود. به عبارت دیگر، زبان طبیعی برای بیان درک یا قضاوت همیشه ذهنی، نامشخص و مبهم است. برای حل ابهام قضاوت انسانی، نظریه مجموعه‌های فازی برای بیان متغیرهای زبانی در فرآیند تصمیم‌گیری معرفی شده است[۲۰]. متغیرهای زبانی، متغیرهایی هستند که مقادیر آن‌ها در اصطلاحات زبانی بیان می‌شود.

روش فازی AHP تعریف شده توسط چانگ[۲۱]، از اعدا فازی مثلثی به عنوان مقیاس برای بیان مقایسه زوجی استفاده می‌کند. یک عدد فازی، مجموعه‌ی فازی خاص $F=\{x,\mu_F(x),x\in R\}$ است که x مقادیر آن در خط واقعی $-\infty\le x\le\infty :R$ را می‌گیرد و $\mu_F(x)$ یک نگاشت مداوم از R به یک محدوده بسته [۰،۱] به نام تابع عضویت می‌باشد. عدد فازی مثلثی (TFN)، اهمیت نسبی هر جفت المان در یک سلسله مراتب را می‌دهد و می‌تواند به صورت $M=(l,m,u)$ که $l\le m\le u$ می‌باشد، نشان داده شود. پارمترهای l، m، u به ترتیب نشان‌دهنده کوچکترین مقدار ممکن، محتملترین مقدار و بزرگترین مقدار ممکن در یک رویداد فازی است. تابع عضویت نوع مثلثی از عدد فازی M می‌تواند به صورت معادله بیان شود[۲۲].

$$\mu_M(x)=\begin{cases}0 & x<l\\ \dfrac{x-l}{m-l} & l\le x\le m\\ \dfrac{u-x}{u-m} & m\le x\le u\\ 0 & x>u\end{cases} \qquad (۱)$$

جدول۲ مقادیر مقایسه فازی AHP با در نظر گرفتن متغیرهای زبانی را نشان می‌دهد که اهمیت معیارها و گزینه‌ها را برای بهبود مقیاس‌دهی ماتریس قضاوت‌ها توصیف می‌کند.

۵-۲- تعیین وزن گروهی معیارها

در تصمیم‌گیری گروهی مهمترین موردی که اهمیت دارد جمع‌بندی نظرات کارشناسی و تلفیق آن‌ها به منظور تصمیم‌گیری بهینه است. این نظرات کارشناسی یا به صورت فردی بدست می‌آید یا تلفیقی از قضاوت کارشناسان مختلف می‌باشد[۲۴]. جهت تلفیق نظرات از روش میانگین هندسی، بر طبق[۲۴،۲۵،۲۶،۲۷،۲۸] استفاده می‌شود. در این حالت، نظرات مختلف با استفاده از میانگین هندسی تبدیل به یک جواب می‌شوند. میانگین هندسی بهترین روش برای تلفیق قضاوت‌ها و نظرات در روش AHP گروهی است[۲۴]. تصمیم‌گیری گروهی با استفاده از AHP به دو صورت قابل انجام است[۱۸]:

Archive of SID
www.SID.ir

تلفیق نظرات فردی: در این حالت ابتدا ماتریس عقاید گروهی با میانگین هندسی ماتریس‌های انفرادی بدست می‌آید و سپس وزن‌های گروهی بدست می‌آیند.

تلفیق وزن‌های انفرادی: در این حالت ابتدا با استفاده از ماتریس نظرات انفرادی وزن برآورد می‌شود و سپس به کمک میانگین هندسی وزن گروهی محاسبه می‌گردد.

در این تحقیق از روش تلفیق وزن‌های انفرادی استفاده شده است.

جدول ۲- تبدیل متغیرهای زبانی به فازی [۲۳]

متغیر زبانی	عدد فازی مثلثی	عدد معکوس
اهمیت مساوی	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)
کمی مهمتر	(۳/۲، ۱، ۲/۳)	(۳/۲، ۱، ۲/۳)
مهم‌تر	(۵/۲، ۲، ۳/۲)	(۲/۳، ۲، ۲/۵)
خیلی مهم‌تر	(۷/۲، ۳، ۵/۲)	(۲/۵، ۲، ۲/۷)
به طور کامل مهم‌تر	(۹/۲، ۴، ۷/۲)	(۲/۷، ۲، ۲/۹)

۵-۳- رتبه‌بندی گزینه‌ها با ویکور

یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره را می‌توان به طور مختصر در قالب یک ماتریس بیان کرد که به آن ماتریس تصمیم یا ماتریس عملکرد[۴] می‌گویند. در این ماتریس، ستون‌ها بیانگر معیارهای (خصوصیات) در نظر گرفته‌شده در مسئله مورد نظر و سطرها بیانگر گزینه‌هایی که باید مقایسه گردند، می‌باشند. به طور خاص، یک مسئله تصمیم‌گیری با J گزینه (A1, A2, …, AJ) که با n معیار (C1, C2,…, Cn) ارزیابی می‌شوند، می‌تواند به عنوان یک سیستم هندسی با m نقطه در فضای n بعدی در نظر گرفته شود[۲۹].

ویکور توسط Opricovic با نام صربستانی "VlseKriterijumska Optimiza-cija I Kompromisno Resenje" یعنی راه‌حل سازش و بهینه‌سازی چندمعیاره، توسعه داده شد. روش ویکور برای بهینه‌سازی چندمعیاره سیستم‌های پیچیده توسعه داده شد و این روش بر رتبه-بندی و انتخاب از مجموعه‌ای از گزینه‌ها، و تعیین راه‌حل-های سازش برای مسئله‌ای با معیارهای متناقض که می-تواند تصمیم‌گیران را در رسیدن به یک تصمیم نهایی کمک کند، تمرکز دارد. در اینجا، راه‌حل سازش راه‌حل ممکنی است که به راه‌حل ایده‌آل نزدیک‌ترین است و سازش به معنی توافق ایجادشده توسط امتیازات متقابل[۱] است. این روش، شاخص رتبه‌بندی چندمعیاره بر اساس اندازه خاصی از نزدیکی به راه‌حل ایده آل است[۳۰].

برطبق صیادی[۳۱] اندازه‌ی چندمعیاره[۲] برای رتبه-بندی سازشی، از Lp-metric استفاده‌شده به عنوان یک تابع تلفیق در روش برنامه‌نویسی سازشی، توسعه یافته است. J گزینه مختلف به صورت A1, A2,…,AJ نشان داده می‌شوند. برای گزینه Aj، امتیاز از iامین جنبه توسط fij مشخص می‌شود که مقدار iامین تابع معیار برای گزینهAj است. n تعداد معیارهاست. توسعه روش ویکور با Lp-metric زیر آغاز شد.

$$L_{p,j} = \left\{\sum_{i=1}^{n}[w_i(f_i^* - f_{ij})/(f_i^* - f_i^-)]^p\right\}^{1/p}, \quad (۲)$$
$$1 \le p \le \infty \quad j = 1,2,\dots,J$$

در روش ویکور، L1,j (به عنوان Sj) و L∞,j (به عنوان Rj) برای فرموله‌کردن اندازه رتبه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند. L1,i به عنوان " موافقت[۳]" تفسیر می‌شود و می-تواند به تصمیم‌گیران اطلاعاتی در مورد حداکثر ابزار گروه یا اکثریت ارائه کند. به طور مشابه، L∞,j به عنوان "عدم هماهنگی[۴]" که به تصمیم‌گیران اطلاعاتی در مورد حداقل حسرت فرد از حریف ارائه می‌کند، تفسیر می‌شود[۲۰].

روش ویکور (روش سازش چندمعیاره) مسائل بهینه-سازی با بسیاری از معیارهای ناهمگون و متضاد حل می-کند[۱۲]. این روش به عنوان یک روش قابل کاربرد برای پیاده‌سازی در تصمیم‌گیری چندمعیاره معرفی شد. روش ویکور برای رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌تواند در مراحل زیر توصیف گردد [۳۲]:

گام اول: تعیین بهترین مقدار f_i^* و بدترین مقدار f_i^- کلیه توابع معیار(i=1,2,…,n)؛ اگر iامین معیار، معیار سود باشد، در این صورت $f_i^* = \max f_{ij}$ و $f_i^- = \min f_{ij}$ می‌باشند.

گام دوم: محاسبه مقادیر Sj (شاخص مطلوبیت) و Rj (شاخص نارضایتی)، به وسیله‌ی روابط زیر (j=1,2,…,J):

۱ Mutual Concessions
۲ Multi-Criteria Measure
۳ Concordance
۴ Discordance

www.SID.ir
Archive of SID

$$S_j = L_{1,j} = \sum_{i=1}^{n} w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (۳)$$

$$R_j = L_{\infty,j} = \max[w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (۴)$$

در این روابط، Wi وزن iامین معیار است که بیانگر اهمیت نسبی معیارها می‌باشد.

گام سوم: محاسبه مقدار Qj (i=1,2,…,m) با رابطه:

$$Q_j = v(S_j - S^*)/(S^- - S^*) + (1 - v)(R_j - R^*)/(R^- - R^*) \quad (۵)$$

در این رابطه v وزن استراتژی Rj و Sj تعریف می‌شود و مقادیر *S، -S، *R و -R به صورت زیر به دست می‌آیند.

$$S^* = \min S_j \quad S^- = \max S_j \qquad R^* = \min R_j \quad R^- = \max R_j \quad (۶)$$

گام چهارم: رتبه‌بندی گزینه‌ها؛ مرتب‌سازی نزولی مقادیر R، S و Q. در نتیجه سه لیست رتبه‌بندی وجود خواهد داشت.

گام پنجم: ارائه گزینه 'A که بهترین رتبه را در Q (حداقل مقدار) دارد، در صورتی که دو شرط زیر برقرار باشد: ۱- C1 (مزیت قابل‌قبول): $Q(A'') - Q(A') \geq DQ$، که در آن "A گزینه‌ای است که دومین مقدار را در ماتریس رتبه‌بندی Q دارد، $DQ = 1/(J-1)$ می‌باشد. ۲- C2 (ثبات قابل‌قبول در تصمیم‌گیری): گزینه 'A همچنین باید بهترین رتبه را در S یا R داشته باشد.

این راه‌حل توافقی در یک فرآیند تصمیم‌گیری پایدار است؛ که می‌تواند باشد: " رأی‌گیری با حاکمیت اکثریت" (زمانی که v>0.5 مورد نیاز است)، یا "با اتفاق نظر" $v \approx 0.5$ یا "با حق وتو[۵] " (v<0.5). در اینجا v وزن استراتژی تصمیم‌گیری "اکثریت معیار" (یا "حداکثر ابزار گروه") می‌باشد. در این مقاله v=0.5 در نظر گرفته شده است.

اگر یکی از شرایط برآورده نگردد، سپس مجموعه‌ای از راه‌حل‌های توافقی پیشنهاد می‌گردد؛ که شامل: گزینه 'A و "A اگر فقط شرط C2 برقرار نباشد؛ گزینه A', A", …, A(M) اگر شرط C1 برقرار نباشد و A(M) توسط رابطه $Q(A^{(M)} - Q(A')) < DQ$ برای حداکثر M (موقعیت گزینه‌هایی که در نزدیکی هستند) تعیین می‌شود.

روش ویکور، یک ابزار مفید در تصمیم‌گیری چندمعیاره به ویژه در وضعیتی که تصمیم‌گیرنده قادر به بیان اولویت خود در آغاز طراحی سیستم نیست، می‌باشد [۳۲].

۶- نتایج و یافته‌های تحقیق

انتخاب مسیر بر اساس پردازش داده‌های مکانی موجود از منطقه انجام می‌شود. برای تعیین مقادیر شاخص اندازه-گیری معیارها پس از جمع‌آوری داده‌ها در فرمت استاندارد، پردازش‌هایی لازم بر روی آن‌ها انجام‌شدند. جهت تعیین مقدار اثر هر یک از گزینه‌های مسیر، ابتدا برای هر یک از معیارها دوایری به شعاع‌های مختلف ایجاد می‌شود. شعاع‌های در نظر گرفته‌شده برای ایجاد دوایر با توجه به هر یک از معیارها متفاوت است. به عنوان مثال، برای معیار میراث فرهنگی بافرهایی به شعاع‌های ۵۰۰ (دارای اثر زیاد)، ۱۰۰۰ (دارای اثر متوسط) و ۱۵۰۰ (دارای اثر کم) ایجاد می‌شود. مقادیر شعاع دوایر با استفاده از نظر کارشناسان مربوطه و استانداردهای موجود تعیین شده است. تعیین مقدار اثر نرمال که امکان تلفیق و مقایسه مقادیر مختلف را می‌دهد، حائز اهمیت است. بدین جهت به هر یک دوایر مقادیر نرمالی بین ۰-۱۰ اختصاص داده می‌شود. در این امتیازدهی مقدار صفر به معنی کمترین اثر و مقدار ۱۰ به معنی بیشترین اثر است. تبدیل این لایه به رستر بر اساس مقادیر نرمال، کمک می‌کند تا بتوان مقدار اثر نهایی هر معیار را به سادگی بر اساس میانگین مقادیر به دست آورد.

پس از تعیین مقدار معیارها و زیرمعیارها با آنالیزهای مکانی، وزن آن‌ها با روش AHP فازی گسترش‌یافته چانگ که از اعداد فازی مثلثی برای بیان ارجحیت معیارها استفاده می‌کند، تعیین گردید. در این زمینه نظرات کارشناسان متعددی در نظر گرفته شده است ولی در میان آن‌ها، نظر دو کارشناس حمل و نقل و دو کاربر براساس فرم گرفته شده است. دو کارشناس حمل‌ونقل تمامی معیارها و زیر معیارها را مقایسه کرده درحالی‌که دو کاربر تنها زیرمعیارهای زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی را مقایسه کرده‌اند.

به منظور مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارها از متغیرهای زبانی مطابق جدول۲ استفاده شده است. بدین

۱ With Veto

Archive of SID

www.SID.ir

ترتیب که هریک از کارشناسان یا کاربران، اهمیت یک معیار نسبت به معیار دیگر را براساس متغیرهای زبانی بیان کرده است. در برنامه، اعداد معادل این متغیرهای زبانی (مطابق جدول ۲)، به منظور تشکیل ماتریس مقایسات زوجی استفاده شده است. جدول۳، نمونه‌ای از ماتریس مقایسات زوجی متشکل از اعداد فازی مثلثی برای زیر معیارهای حمل و نقل را نشان می‌دهد. پس از انجام محاسبات فازی بر روی این ماتریس و عملیات نرمال-سازی، وزن هریک از معیارها بدست آمدند.

وزن نهایی معیارها با میانگین هندسی وزن‌های به دست آمده برای هر فرد تعیین شدند. جدول۴ وزن نهایی معیارها را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که از روش تلفیق وزن‌های انفرادی که در بخش۵-۲ توضیح داده شد، برای تعیین وزن گروهی معیارها مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از این مقادیر و وزن به دست آمده، اولویت‌بندی گزینه‌های مسیر با استفاده از روش ویکور تعیین شدند. مقادیر R، S و Q به دست آمده برای هر یک از واریانت‌ها در جدول ۵ بیان شده است.

جدول۳- نمونه‌ای از مقایسه زوجی بین معیارها با استفاده از اعداد فازی مثلثی

زیرمعیارها	طول	شیب طولی	قوس خطرناک	سرعت متوسط طرح	ارتفاع ترانشه	عملیات خاکی
طول	(۱،۱،۱)	(۳/۲، ۱، ۲/۳)	(۲/۳، ۲، ۲/۵)	(۲/۳، ۲، ۲/۵)	(۳/۲، ۱، ۲/۳)	(۳/۲، ۱، ۲/۳)
شیب طولی		(۱،۱،۱)	(۲/۳، ۲، ۲/۵)	(۳/۲، ۱، ۲/۳)	(۲، ۳/۲، ۱)	(۵/۲، ۲، ۳/۲)
قوس خطرناک			(۱،۱،۱)	(۳/۲، ۱، ۲/۳)	(۵/۲، ۲، ۳)	(۵/۲، ۲، ۳)
سرعت متوسط طرح				(۱،۱،۱)	(۵/۲، ۲، ۳/۲)	(۵/۲، ۲، ۳/۲)
ارتفاع ترانشه					(۱،۱،۱)	(۳/۲، ۱، ۲/۳)
عملیات خاکی						(۱،۱،۱)

جدول۴- وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها

معیارها	وزن	زیرمعیارها	وزن
زیست‌محیطی	۰,۳۳۱۹	آلودگی هوا	۰,۱۵۷۵
		آلودگی صوتی	۰,۰۹۴۸
		منابع آبی	۰,۳۱۲۳
		زمین‌شناسی	۰,۰۲۰۵
		لرزه‌خیزی	۰,۲۳۰۱
		پوشش گیاهی	۰,۱۸۴۹
		کشاورزی و کاربری زمین	۰,۲۹۳۱
اجتماعی-اقتصادی	۰,۲۶۷۱	دسترسی	۰,۴۳۱۱
		ایمنی اجتماعی	۰,۲۷۵۸
توریستی	۰,۲۱۹۶	تاریخی و فرهنگی	۰,۶۸۴۲
		زیبایی مسیر	۰,۳۱۵۸
مشخصات مسیر	۰,۱۸۱۴	طول	۰,۰۵۶۶
		شیب طولی	۰,۲۴۰۲
		قوس خطرناک	۰,۴۲۰۹
		سرعت متوسط طرح	۰,۱۶۰۶
		ارتفاع ترانشه	۰,۰۹۵۶
		عملیات خاکی	۰,۰۲۶۱

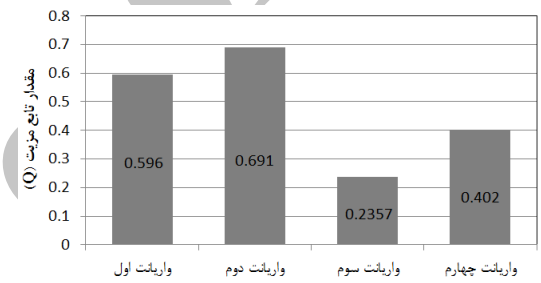
Archive of SID

www.SID.ir

جدول۵- مقادیر R، S و Q گزینه‌های مسیر

گزینه‌های مسیر	R	S	Q
واریانت اول	۰,۴۳۳	۰,۱۵۰	۰,۵۹۶
واریانت دوم	۰,۵۶۱	۰,۱۱۲	۰,۶۹۲
واریانت سوم	۰,۴۰۳	۰,۱۱۸	۰,۲۳۵
واریانت چهارم	۰,۵۳۰	۰,۰۸۹	۰,۴۰۲

همان طور که بیان شد، مقدار Q می‌تواند با در نظر گرفتن سایر شرایط ویکور بیانگر اولویت‌بندی گزینه‌های مسیر است. هر چه مقدار Q کمتر باشد، گزینه مناسب‌تر است. بنابراین، با توجه به مقادیر به دست آمده، واریانت سوم که دارای کمترین مقدار Q است، بهینه‌ترین مسیر بین گزینه‌های پیشنهادی می‌باشد. شکل ۳ مقادیر Q برای اولویت‌بندی گزینه‌های مسیر و شکل ۴ نقشه مسیر بهینه را نشان می‌دهد.



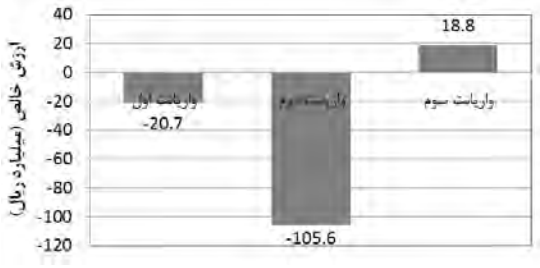
شکل۳- اولویت‌بندی گزینه‌های پیشنهادی مسیر

شکل۴- نقشه بهینه مسیر

۷- ارزیابی نتایج انتخاب مسیر

به منظور بررسی نتایج حاصل از انتخاب مسیر با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و ویکور)، نتایج مذکور با نتایج به دست آمده از مطالعات شرکت مهندس مشاور، مقایسه شد. با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعات شرکت مهندسی مشاور، واریانت سوم برای ساخت مسیر در این محور انتخاب شده است. بر اساس مطالعات این شرکت، از آنجا که واریانت چهارم محور موجود بوده است، ارزش خالص فعلی هر یک از واریانت‌های اول تا سوم نسبت به محور موجود از طریق آنالیز هزینه/فایده محاسبه شده است. همانطور که شکل ۵ نشان می‌دهد، ارزش خالص دو واریانت اول و دوم منفی به دست آمده و تنها برای واریانت سوم مثبت است. مثبت بودن این مقدار نشان‌دهنده‌ی بیشتر بودن فواید ساخت این مسیر نسبت به هزینه‌های تحمیلی آن است.

همان طور که می‌توان مشاهده کرد، نتایج به دست آمده از تلفیق روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی گروهی و ویکور با نتایج به دست آمده توسط شرکت مهندسین مشاور، مطابقت دارد که تأییدکننده اعتبار نتایج می‌باشد. در هر دو واریانت سوم به عنوان مسیر بهینه انتخاب شده است. واریانت سوم از لحاظ شیب طولی، ارتفاع ترانشه، عملیات خاکی و تعداد قوس خطرناک نسبت به سایر واریانت‌های پیشنهادی مناسب‌تر است. اما از لحاظ طول واریانت اول و از لحاظ سرعت متوسط طرح واریانت دوم مناسب‌تر می‌باشند. با توجه به اهمیت بالای تعداد قوس خطرناک و شیب طولی مسیر انتخابی که منجر به ساخت مسیر ایمن‌تر برای کاربران می‌گردد، می‌توان نتیجه گرفت که از واریانت سوم از لحظات مشخصات فنی به گزینه ایده‌آل نزدیک‌تر می‌باشد. شکل ۶ مقایسه واریانت‌های مختلف پیشنهادی مسیر را از لحاظ مشخصات فنی نشان می‌دهد.



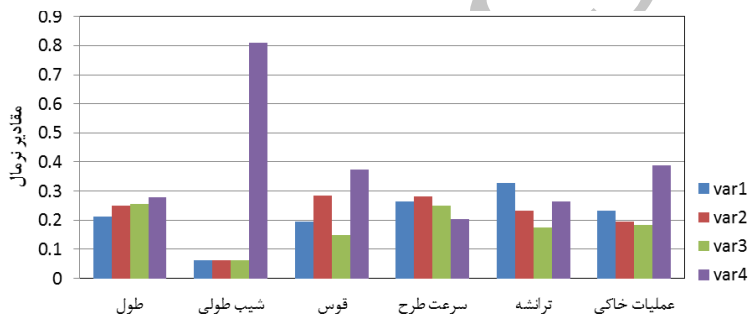
شکل۵- ارزش خالص واریانت‌ها (میلیارد ریال)

www.SID.ir

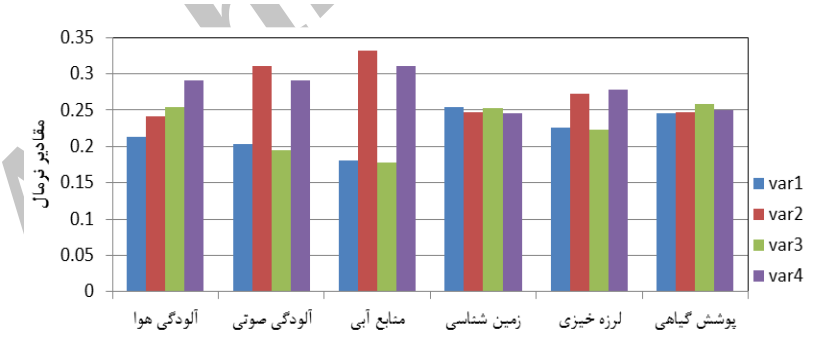
از لحاظ لرزه‌خیزی، منابع آبی و آلودگی صوتی، واریانت سوم مناسب‌تر از سایر واریانت‌ها می‌باشد. سایر معیارهای زیست‌محیطی دارای اولویت بهتر برای سایر واریانت‌ها می‌باشد. همچنین واریانت سوم، اولویت بالاتری از لحاظ کشاورزی و کاربری زمین و ایمنی اجتماعی در معیار اجتماعی-اقتصادی داراست. شکل ۷ مقایسه بین واریانت‌های مختلف را از دیدگاه زیست محیطی و شکل ۸ از دیدگاه اجتماعی-اقتصادی و توریستی نشان می‌دهد. با توجه به مطالب فوق، واریانت سوم که در بیشتر معیارها، اولویت بالاتری نسبت به سایر واریانت‌ها دارد، به راه‌حل ایده‌آل نزدیک‌تر است. بنابراین می‌توان گفت که واریانت سوم بهینه‌ترین مسیر بین واریانت‌های پیشنهادی از لحاظ زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی، توریستی و فنی می‌باشد.

۸- بحث و نتیجه‌گیری

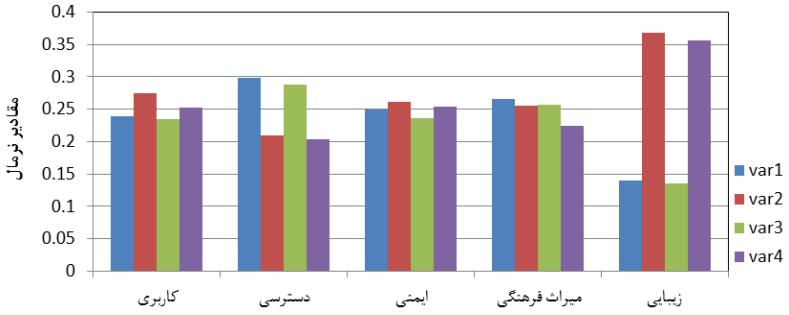
انتخاب مسیر نیاز با در نظر گرفتن معیارهای زیست-محیطی، اجتماعی-اقتصادی، توریستی و فنی مسیر با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری فازی AHP گروهی و ویکور انجام گرفت. در نظر گرفتن این معیارها برای انتخاب مسیر، می‌تواند در نهایت منجر به طراحی مسیری گردد که علاوه بر اینکه از لحاظ مهندسی بهینه است، سازگاری بیشتری با مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و توریستی داشته باشد. همان طور که از نتایج می‌توان مشاهده کرد، استفاده از روش فازی AHP گروهی برای تلفیق نظرات ذینفعان مختلف به منظور وزن‌دهی به معیارها و روش ویکور به منظور تلفیق معیارها و انتخاب مسیر، روش مناسب و انعطاف‌پذیری را برای انتخاب مسیر بهینه بر اساس معیارهای مهم و موثر می‌باشد.



شکل ۶- مقایسه واریانت‌های پیشنهادی از دیدگاه مشخصات فنی مسیر



شکل ۷- مقایسه واریانت‌های پیشنهادی از دیدگاه زیست‌محیطی



شکل ۸- مقایسه واریانت‌های پیشنهادی از دیدگاه اجتماعی-اقتصادی و توریستی

www.SID.ir

به منظور افزایش کارایی بخش‌های گوناگون این روش می‌توان راهکارهایی را به کار برد که در فرصت‌های مطالعاتی آینده به آن‌ها پرداخته خواهد شد که برخی از آن‌ها عبارتنداز:

- از آنجا که مقادیری که برای تعیین محدوده اثر و آنالیز معیارهای مختلف به‌کاربرده می‌شود، ماهیت قطعی ندارند؛ استفاده از روش فازی در این زمینه مفید خواهد بود.
- در این تحقیق تنها گزینه‌های پیشنهادی توسط کارشناسان حمل‌ونقل اولویت‌بندی شدند، در صورتی که می‌توان با استفاده از اطلاعات موجود منطقه و اطلاعات دریافتی از سوی کاربران، گزینه‌ی جدیدی برای ایجاد مسیر بین مبدا و مقصد پیشنهاد کرد که بهینه‌تر از گزینه‌های موجود باشد.
- از آن‌جا که در انتخاب مسیر گروه‌های مختلفی درگیر می‌باشند، توسعه یک برنامه وب GIS برای مشارکت بهتر ذینفعان در تصمیم‌گیری گروهی، دارای اولویت در مطالعات آینده است.

مراجع

[۱] عسگری، ع. (۱۳۸۴). "بررسی عوامل موثر در ارزیابی و توجیه فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی پروژه‌های راه و راه‌آهن"، وزارت راه وترابری-پژوهشکده حمل‌ونقل، زمستان.

[۲] عامری، م.، عباسپور، م.، کاظمی، ر. و زاهد، ف. (۱۳۹۰) "ارائه الگویی جهت جلب مشارکت مردم در طرح‌های توسعه پایدار حمل‌ونقل زمینی"، علوم و فناوری محیط‌زیست، دوره سیزدهم، شماره دو.

[3] Al-Hadad, A. , B. (2011). An approach to the highway alignment development process using genetic algorithm based optimisation. PhD thesis, University of Nottingham.

[4] Anavberokhai, I. (2008). Introducing GIS and Multi-criteria analysis in road path planning process in Nigeria: A case study of Lokoja, Kogi State. Mälardalen University.

[5] Sadasivuni, R., O'hara, C., Nobrega, R., & Dumas, J. (2009). A transportation corridor case study for multi-criteria decision analysis. Paper presented at the American Society of Photogrammetry and remote Sensing Annual Conference.

[6] Geneletti, D. (2005). Multicriteria analysis to compare the impact of alternative road corridors: a case study in northern Italy. Impact Assessment and Project Appraisal, 23(2), 135-146.

[7] Belka, K.M., 2005. Multicriteria analysis and GIS application in the selection of sustainable motorway corridor. Master's thesis submitted to Linko¨ pings universitet Institutionen fo¨ r datavetenskap. ISRN-LIU-IDA-D20–05/019—SE, 2005.

[8] Keshkamat, S., Looijen, J., & Zuidgeest, M. (2009). The formulation and evaluation of transport route planning alternatives: a spatial decision support system for the Via Baltica project, Poland. Journal of transport geography, 17(1), 54-64.

[9] Farkas, A. (2009). An Intelligent GIS-Based Route/Ste Selection Plan of a Metro-Rail Network, Towards Intelligent Engineering and Information Technology (pp. 719-734): Springer.

[10] Farkas, A. (2009). Route / Site Selection of Urban Transportation Facilities: An Integrated GIS / MCDM Approach. In MEB 2009 7th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking, pages 169-184.

[11] El-Gafy, M., Abdelrazig, Y., & Abdelhamid, T. (2010). Environmental impact assessment for transportation projects: case study using remote-sensing technology, geographic information systems, and spatial modeling. Journal of Urban Planning and Development, 137(2), 153-158.

[12] Marković, L., Cvetković, M., & Milić-Marković, L. (2013). Multi-criteria decision-making when choosing variant solution of highway route at the level of preliminary design. Facta universitatis-series: Architecture and Civil Engineering, 11(1), 71-87.

Archive of SID

www.SID.ir

[13] Effat, H. A., & Hassan, O. A. (2013). Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the Analytical Hierarchy Process and the least-cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science.

[14] Brauers, W.K.M., Zavadskas, E.K., Peldschus, F., Turskis, Z. (2008). Multi-objective decision-making for road design.Transport, 23(3), 183–193.

[15] Piantanakulchai, M. (2005). Analytic network process model for highway corridor planning. Paper presented at the Proceedings of 8 International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Honolulu, Hawaii, July 8-10

[16] Kalamaras, G., Brino, L., Carrieri, G., Pline, C., & Grasso, P. (2000). Application of multicriteria analysis to select the best highway alignment. Tunnelling and Underground Space Technology, 15(4), 415-420.

[17] Soltani, A., & Marandi, I. Z. (2011). HOSPITAL SITE SELECTION USING TWO-STAGE FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING PROCESS (doi: 10.4090/juee. 2011. v5n1. 032043). Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE), 5,1.

[18] Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. M cGraw-H ill.

[19] Hosseinali, F., & Alesheikh, A. A. (2008). Weighting spatial information in GIS for copper mining exploration. American Journal of Applied Sciences, 5(9), 1187.

[20] Sanayei, A., Farid Mousavi, S., & Yazdankhah, A. (2010). Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. Expert Systems with Applications, 37(1), 24-30.

[21] Chang, D. (1992). Extent analysis and synthetic decision, optimization techniques and applications, Vol. 1: World Scientific, Singapore.

[22] kara, S. S., & Cheikhrouhou, N. (2014) A multi criteria group decision making approach for collaborative software selection problem. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 26(1), 37-47.

[23] Lee, S.K., Mogi, G. & Hui, K.S. (2013). A fuzzy analytic hierarchy process (AHP)/data envelopment analysis (DEA) hybrid model for efficiently allocating energy R&D resources: In the case of energy technologies against high oil prices. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21, 347-355.

[۲۴] قدسی پور، سید حسن (۱۳۸۴). فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[25] Srdjevic, B., Srdjevic, Z. (2013). Synthesis of individual best local priority vectors in AHP-group decision making, Applied Soft Computing 13, 2045-2056.

[26] Collan M., Fedrizzi M., Luukka P., 2013, "A multi-expert system for ranking patents: An approach based on fuzzy pay-off distributions and a TOPSIS–AHP framework", Expert Systems with Aplications, 40(12), 4749–4759.

[27] Dong YC, Zhang GQ, Hong WC and Xu YF (2010b). Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method. Decision Support Systems 49(3): 281–289.

[28] Wu, J., Cao, Q. W. and Zhang, J. L. (2010). Some properties of the induced continuous ordered weighted geometric operators in group decision making, Computers and Industrial Engineering, 59 (1),100–106

[29] El-Santawy, M. F. (2012). A VIKOR Method for Solving Personnel Training Selection Problem. International Journal of Computing Science, ResearchPub, 1, 2, 9-12.

[30] Yücenur, G. N., & Demirel, N. Ç. (2012). Group decision making process for insurance company selection problem with extended VIKOR method under fuzzy environment. Expert Systems with Applications, 39(3), 3702-3707.

[31] Sayadi, M. K., Heydari, M., & Shahanaghi, K. (2009). Extension of VIKOR method for decision making problem with interval numbers. Applied Mathematical Modelling, 33(5), 2257-2262.

[32] Huang, J.-J., Tzeng, G.-H., & Liu, H.-H. (2009). A Revised VIKOR Model for Multiple Criteria Decision Making-The Perspective of Regret Theory Cutting-Edge Research Topics on Multiple Criteria Decision Making (pp. 761-768): Springer.

Archive of SID

www.SID.ir