

تعیین مسیر بهینه شبکه راه‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: مسیر رودسر - قزوین)

اسماعیل نصیری هنده خاله* - دانشیار رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
نسرین گنجی - کارشناس ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه پیام نور تهران - ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶

چکیده

مسیریابی از جمله اقدامات اولیه عملیات طراحی یک مسیر به‌شمار می‌رود و به‌علت نقش بسزایی که در چگونگی قرارگیری مسیر در ارتباط با سایر تأسیسات، محیط، و عوارض مجاور خود از یک طرف و تأثیر قابل توجهی که در هزینه‌های اجرایی مسیر از طرف دیگر دارد بایستی بررسی دقیق شود. هم‌زمان با رشد و توسعه پایدار و تحولات اساسی در امور اقتصادی، اجتماعی، و فرهنگی، نقش شبکه راه‌ها به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم و زیربنایی در توسعه بیشتر نمایان می‌شود؛ علاوه بر اینکه منابع و استعدادها بالقوه سرزمین را بارور و زمینه رشد و شکوفایی را فراهم می‌کند. لحاظ کردن معیارهای صحیح و جامع در مرحله تعیین مسیر می‌تواند نقش عمده‌ای در کاهش هزینه‌های اقتصادی، افزایش ایمنی، و دسترسی جاده‌ها و حفظ محیط زیست ایفا کند. بدین منظور، در تحقیق حاضر، عوامل متعددی مانند شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، زمین‌لغزش، فاصله از گسل، فاصله از مراکز شهری برای مسیریابی بهینه در مسیر رودسر در نظر گرفته شده است. لذا، در پژوهش حاضر به تعیین کوتاه‌ترین مسیر در شهر رودسر - قزوین پرداخته شده است. روش تحقیق در این پژوهش توصیفی - تحلیلی بوده و برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار ArcGIS و از مدل AHP استفاده شده است. با توجه به مسیر بهینه، با استفاده از این روش به‌علت قرارگیری در شیب مناسب و نزدیکی به مراکز اقتصادی و دوری از گسل انتخاب شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد مسیر به‌دست‌آمده از لحاظ مدت زمان و رسیدن به بهینه این مسیر نسبت به مسیر قبلی کوتاه‌تر است و این موضوع سبب کاهش هزینه سوخت و کاهش ترافیک می‌شود.

کلیدواژه‌ها: سیستم اطلاعات جغرافیایی، کوتاه‌ترین مسیر، مسیر بهینه.

مقدمه

در مسیریابی اساسی‌ترین پارامتر یافتن کوتاه‌ترین راه و در حالت ایده‌آل ارتباط پست‌های مبدأ و مقصد با یک خط مستقیم است. زیرا با کوتاه‌شدن مسیر خط مقدار یا تعداد تجهیزات لازم از قبیل یراق‌آلات و فونداسیون از یک طرف و هزینه عملیات اجرایی مانند نقشه‌برداری، زمین‌شناسی، و مکانیک خاک و هزینه‌های آسفالت جاده از طرف دیگر کاهش چشم‌گیری خواهد یافت (میرعبداللهی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲). عملکرد راه‌ها به‌عنوان یکی از ساختارهای زیربنایی در توسعه اقتصاد ملی نیاز به تأکید بیشتری ندارد؛ ولی، با وجود این، توسعه جاده‌هایی با طراحی نامناسب اثرهای منفی گسترده‌ای بر محیط زیست به دنبال خواهد داشت و در برخی موارد آسیب‌ها و اثرهای زیان‌آور توسعه جاده‌ها آن قدر زیاد است که مزایای افزایش ارتباط و دسترسی را خنثی می‌کند. از اثرهای زیست‌محیطی جاده‌ها بر محیط زیست می‌توان به آلودگی هوا، صدا، آب‌های سطحی و تغییر سیماها، یا حتی نابودی جوامع محلی در اثر جابه‌جایی اشاره کرد (منوری، ۱۳۸۰: ۵۶). بنابراین، انجام مطالعات گسترده برای تعیین معیارهای مؤثر در انتخاب مسیرهای جاده‌سازی به‌ویژه معیارهای محیط زیستی در کلیه مراحل طراحی و بهره‌برداری به پیشگیری از وقوع بحران‌های محیط زیستی در آینده، تضمین کارایی مطلوب، کاهش تعارض بین کاربری‌ها، و کاهش هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی ناشی از استقرار ناموزون آن منجر می‌شود (موفات و هانکار، ۱۹۹۸: ۹).

از طرفی، حساس‌بودن راه‌های ارتباطی از نظر امنیتی، اقتصادی، و اجتماعی اهمیت این موضوع را مضاعف کرده و توجه ویژه به مسیریابی صحیح و بهینه برای احداث راه‌ها بسیار ضروری است. اغلب مسیرهای طراحی‌شده با روش‌های معمول از همه ملاحظات و استانداردهای فنی-مهندسی، اقتصادی، و زیست‌محیطی برخوردار نبوده و این امر به افزایش هزینه‌های احداث مسیرهای ارتباطی منجر شده و علاوه بر آن ممکن است با عبور از نواحی غیرمجاز موجب تخریب محیط زیست شود و مشکلات زیست‌محیطی ایجاد کند. در این راستا، بهره‌گیری از اصول نوین و مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند نقش بسزایی در حل مسئله مسیریابی ایفا کند. در طراحی مسیر به وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان عوامل مؤثری چون عوامل فنی-مهندسی، اقتصادی، و زیست‌محیطی را مدل‌سازی کرد و با انجام تحلیل‌های مورد نیاز مسیر بهینه را تعیین نمود (آنتیکانن، ۲۰۱۳: ۹۹۸). محدوده مورد مطالعه در این پژوهش بخشی از استان گیلان و بخشی از استان قزوین است. استان گیلان با داشتن ویژگی‌هایی از جمله کانون‌های کشاورزی کشور، جنگل‌ها، سواحل دریا، تالاب‌ها و رودخانه‌ها، که از بااهمیت‌ترین زیستگاه‌های جانوری و رویشگاه‌های گیاهی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی به‌شمار می‌روند، دارای طبیعت بسیار شکننده و آسیب‌پذیر در برابر توسعه فعالیت‌های انسان است. حساس‌بودن مسیر ارتباطی رودسر-قزوین از نظر امنیتی، اقتصادی، و اجتماعی اهمیت این موضوع را مضاعف می‌کند و توجه ویژه به مسیریابی صحیح و بهینه جهت احداث مسیر را بسیار ضروری می‌نماید. طراحی مسیر قدیمی با روش‌های معمول فاقد همه ملاحظات و استانداردهای فنی-مهندسی، اقتصادی، و زیست‌محیطی بوده و با عبور از نواحی غیرمجاز موجب تخریب محیط زیست و مشکلات زیست‌محیطی شده است. مسیر قزوین رودسر با توجه به پتانسیل‌ها و استعدادهای موجود در محدوده یکی از مسیرهای مهم ارتباطی کشور به‌شمار می‌آید. شهر رودسر، به‌عنوان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی، و همچنین شهر قزوین یکی از قطب‌های صنعتی کشور است که از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین، موقعیت طبیعی استان گیلان سبب جذب فراوان گردشگران، به‌خصوص در تابستان‌ها، می‌شود که در مجموع با توجه به این عوامل یادشده ایجاد مسیر حمل و نقل ایمن ضروری است.

با مرور مطالعات مرتبط در این زمینه، درمی‌یابیم تاکنون پژوهشی در زمینه تعیین مسیر بهینه جاده‌های شهری انجام نگرفته است و در برخی مطالعات در زمینه مسیر بهینه قطار شهری، خودروهای امدادی، و مسیر بهینه ساخت تأسیسات و

ناوبری پرداخته شده است. در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌کنیم. میرعبداللهی و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای با نام «تعیین مسیر بهینه قطار شهری مطالعه موردی شهر اردکان یزد» به این نتیجه رسیده‌اند که می‌توان از روش همپوشانی فازی وزن‌دهی لایه‌ها برای مسیریابی استفاده کرد. از بین عملگرهای فازی، استفاده از عملگر «جمع» مسیر بهتری را نسبت به عملگر گاما نشان می‌دهد.

ارائه مدل مسیریابی دریایی زمانمند برای بهینه‌سازی زمان سفر با در نظر گرفتن عوامل محیط ناوبری عنوان تحقیقی است که گل‌سفیدی و همکاران (۱۳۹۵) به انجام رساندند و به این نتیجه رسیدند که میزان کاهش زمان سفر با ناآرام‌تر شدن شرایط آب و هوایی محیط ناوبری محسوس‌تر می‌شود. همچنین، در شرایط آب و هوایی مساعد عامل عمق عامل تعیین‌کننده مسیر بهینه است؛ در صورتی که با نامساعد شدن شرایط آب و هوایی تأثیر عوامل آب و هوایی بیشتر از عامل عمق می‌شود.

بازرگان و امیرفخریان (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با نام «مسیریابی بهینه خودروهای امدادی در زمان وقوع حوادث با استفاده از الگوریتم مسیریابی در سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: شهر مشهد» به این نتیجه رسیدند که در صورت سالم بودن مسیرهای ارتباطی به طور میانگین اورژانس در فاصله زمانی ۵/۹ دقیقه و آتش‌نشانی در فاصله زمانی ۱ دقیقه به محل وقوع حوادث (مکان‌های تعیین‌شده) خواهند رسید؛ اما با در نظر گرفتن احتمال خرابی مسیرهای ارتباطی این زمان برای اورژانس ۹/۹ دقیقه و برای آتش‌نشانی ۷/۶ دقیقه خواهد بود.

گراهام و رویس (۲۰۰۱) در مطالعه‌ای به استفاده از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی در انتخاب مسیر بزرگراه پرداختند. در این مطالعه، سه محدودیت و هشت مشخصه شناسایی و وزن‌دهی شد. سپس، با استفاده از نرم‌افزار ادریسی، نقشه مطلوبیت نهایی تهیه شد. محدودیت در نظر گرفته شامل دریاچه‌ها، مناطق شهری، شیب بیش از ۸ درصد بزرگراه‌ها بود که به صورت نقشه‌های دوارزشی نشان‌دار شد. مشخصه‌ها عبارت بودند از: دریاچه‌ها، جریان‌های آبی، جنگل‌ها، بزرگراه‌ها، جاده‌ها، مناطق شهری و روستایی، و شیب که بر اساس نوع مشخصه و فاصله از جاده مطلوبیت عرصه‌ها ارزیابی و رتبه‌دهی شد.

جاکوب و وانگ (۲۰۰۱) در طراحی مسیر مطمئن برای ترن‌های سریع‌السیر در ایالت مینه‌سوتا آمریکا به خوبی توانسته‌اند با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی پارامترهای زیست‌محیطی را لحاظ کنند. تحقیقات فراوان دیگری نیز در امر مسیریابی به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است که نتایج حاصله را از نظر اقتصادی و اجرایی مقرون به صرفه ارزیابی کرده‌اند.

موسلینو و همکاران (۲۰۱۲) نیز این نوع مسیریابی را برای خودروهای اورژانس و امداد در مواقع بحرانی در ایتالیا انجام دادند. در پژوهش یادشده، با در اختیار داشتن داده‌های ثابت و پویایی ترافیکی، مسیر بهینه‌ای برای خودروی امداد طراحی شد. از مزایای پژوهش انجام‌شده می‌توان تهیه چارچوبی برای محاسبه تغییرات زمان سفر در شرایط مختلف جاده و ساعات مختلف شبانه‌روز را نام برد.

میشاییل و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله دیگری با نام «یک رویکرد تقریب مستمر برای ارزیابی مسیریابی امدادرسانی» به توسعه مدل تقریب مستمر برای حل مشکلات مسیریابی پرداخته‌اند. ایشان یک رویکرد تقریب مستمر پیشنهاد می‌کنند که از مجموع اطلاعات و داده‌ها برای گسترش و توسعه سیاست‌های مسیریابی استفاده می‌کند. این روش نیاز به اطلاعات دقیق و جزئی و نیازهای محاسباتی را کاهش می‌دهد.

زیرو و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود به مسیریابی چندهدفه، با هدف حمل و نقل مواد خطرناک در شبکه جاده‌ای، پرداختند. هدف آن‌ها کاهش هزینه سفر و کاهش خطرهای فردی و محیطی بوده است. برای دستیابی به

این هدف، از الگوریتم برچسب تنظیم با توابع هزینه فازی استفاده کردند. از مزایای الگوریتم پیشنهادی آن‌ها در نظر گرفتن بده بستانی بین حداقل هزینه و حداقل خطر بر اساس منطق فازی است.

مبانی نظری

نقش GIS در مسیریابی بهینه

سیستم‌های اطلاعات مکانی در طراحی مسیر بهینه سیستمی کارآمد برای تصمیم‌گیری و مشاوره کارشناسان در طراحی مسیر است؛ زیرا سیستم اطلاعات جغرافیایی قابلیت‌های مهمی برای تجزیه و تحلیل اطلاعات، نظارت، پردازش، مدیریت، و برنامه‌ریزی فراهم می‌کند. در طراحی مسیر بهینه به وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان عوامل مؤثری همچون عوامل فنی و مهندسی، اقتصادی، و محیط زیستی را مدل‌سازی کرد و با استفاده از الگوریتم‌های مورد نیاز مسیر بهینه را تعیین کرد. در طراحی مسیر بهینه به وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی برای کاربردهای مختلفی از جمله راه‌سازی، خطوط نفت و گاز، خودروهای اورژانس، آتش‌نشانی، و پلیس از الگوریتم‌های کوتاه‌ترین مسیر استفاده می‌شود (ماهینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۸۱). مسئله یافتن کوتاه‌ترین مسیر در واقع مسئله یافتن مسیری بین دو رأس (گره) است؛ به گونه‌ای که مجموع وزن یال‌های تشکیل‌دهنده آن کمینه شود. در این حالت رأس‌ها نشان‌دهنده مکان‌ها و یال‌ها نشان‌دهنده بخش‌های مسیر هستند که برحسب زمان لازم برای طی کردن آن‌ها وزن‌گذاری شده‌اند. از نتایج این الگوریتم‌ها، تصمیم‌گیری‌های مسیریابی در شبکه حمل و نقل شهری شامل استراتژی‌های مؤثر انتخاب مسیر در تطبیق با شرایط ترافیکی و گزینه‌های مختلف طی مسیر برای خودروهاست (ذوالفقاری و کرکه‌آبادی، ۱۳۹۲: ۲۲).

بهینه‌یابی چندهدفه

هنگامی که مسئله بهینه‌یابی شامل بیش از یک تابع هدف است، یافتن یک یا چند پاسخ بهینه را بهینه‌یابی چندهدفه می‌نامند (واسکونسولس و دیاس، ۲۰۱۰: ۶۷). در مسئله بهینه‌یابی چندهدفه، پس از شناسایی مسئله، مجموعه‌ای از متغیرهای تصمیم کشف می‌شود و ضمن توجه به محدودیت‌های مسئله در بهینه‌کردن توابع هدف تلاش می‌شود. از این رو، واژه «بهینه‌یابی» به معنای پیدا کردن مجموعه‌ای از پاسخ‌ها یا پاسخی است که از لحاظ همه مقادیر توابع هدف پذیرفتنی باشد (کولتو، ۲۰۱۸: ۱۰۵).

مدل‌سازی شبکه

یک شبکه سیستمی از عوارض خطی به هم متصل است. مدل شبکه‌ای نمایشی از داده‌های یک شبکه است. یک مدل شبکه به صورت یک گراف خطی از تعریف اتصالاتی که نشان‌دهنده کانال‌های خطی از جریان است تشکیل می‌یابد (لاپین و همکاران، ۱۹۸۷: ۱۴۱۹). در مدل شبکه، گره‌ها نشان‌دهنده تقاطع ارتباطات است. به عبارت دیگر، یک شبکه از لبه‌ها و گره‌ها تشکیل می‌یابد. گره‌ها تقاطع‌ها هستند و لبه‌ها می‌توانند بخشی از یک مسیر جاده یا یک خط لوله باشند که در شکل ۱ این شبکه نمایش داده شده است. برای یک شبکه، که نشان‌دهنده مدلی از دنیای واقعی است، یک لبه دارای جهت و اندازه مقاومت است. مقاومت هزینه حرکت در یک شبکه و در طول یک لبه است (هاسدال، ۱۹۹۹: ۱۰).

مسیریابی در سیستم‌های اطلاعات مکانی شبکه‌ای

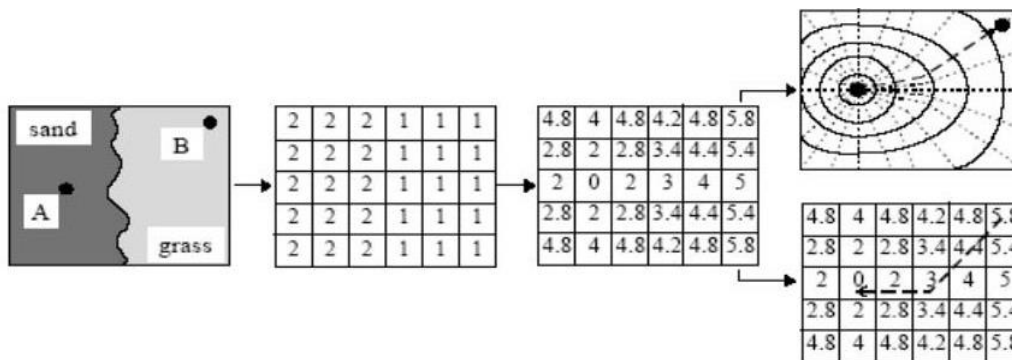
مسئله کوتاه‌ترین مسیر بیش از چهل سال است که در زمینه‌های گوناگون مانند علوم رایانه و حمل و نقل مطالعه شده است. مسئله عام کوتاه‌ترین مسیر نیاز به یک شبکه از پیش تعریف شده دارد. مسئله اصلی تعیین یک یا تعداد بیشتری از کوتاه‌ترین مسیرهای بین یک منبع و مقصد با یک سری خطوط داده‌شده است (اسمیت و همکاران، ۲۰۱۲: ۷۲). کاهش فاصله بین کاربری‌ها زمینه تأمین بسیاری از نیازهای شهروندان را فراهم می‌کند و در نتیجه کاهش حجم و مسافت

سفرها و دسترسی آسان را سبب می‌گردد (گرازی، ۲۰۱۶: ۶۲۸). الگوریتم مسیریابی در مدل رستری شبیه الگوریتم‌های عمل‌کننده در مدل برداری است؛ اما مدل‌بندی جهات در شبکه‌های رستری به‌سادگی شبکه‌های برداری نیست. برای یافتن مسیری با کمترین هزینه، نخست باید روی یک سطح با هزینه تجمعی حرکت کرد که این سطح هزینه یا مقاومت در برابر عبور از یک سلول به سلول دیگر را به صورت تجمعی نشان می‌دهد. برای حرکت روی سطح هزینه باید ارزش‌های متنوع سلول‌های مختلف را با هم ترکیب کرد که کمی پیچیده است؛ اما با نگاهت جبری در سیستم اطلاعات جغرافیایی شبکه‌ای محاسبات به خودی خود آسان‌تر می‌شود (تاملین، ۱۹۹۹: ۱۲۰). برای تعیین مسیر بهینه بین دو موقعیت سه مرحله را ارائه کرده‌اند:

۱. ایجاد سطح هزینه یا اصطکاک: سطح هزینه به سطحی می‌گویند که مقدار هر سلول آن بیانگر میزان مقاومت یا هزینه عبور از آن سلول است که نحوه تشکیل این سطح بستگی به معیارهای به کار گرفته شده در تعیین مسیریابی دارد. واحدهای سلولی این سطح می‌تواند هزینه، زمان، مسافت، ریسک، و ... باشد. اما مسئله مهم میزان مقاومت هر سلول است که با میزان ارزش آن سلول مشخص می‌شود (کالیسون و پیلار، ۲۰۰۰: ۴۹۳).

۲. ایجاد سطح هزینه تجمعی: جای اینکه فاصله واقعی میان دو نقطه محاسبه شود فاصله وزن‌دار میان آن‌ها در نظر گرفته می‌شود و نحوه عملکرد آن بدین صورت است که روی یک شبکه اولیه که هر سلول آن میزان هزینه یا مقاومت حرکت آن سلول را نشان می‌دهد تابع سطح هزینه تجمعی یک نقطه را به‌عنوان نقطه منبع و یک سطح هزینه را به‌عنوان ورودی می‌گیرد و یک شبکه خروجی به‌وجود می‌آورد که هر سلول این شبکه نشان‌دهنده هزینه حرکت تا سلول منبع است که واحد سلول‌های این شبکه واحد هندسی نیست، بلکه واحد آن واحد هزینه حرکت است (داگلاس، ۱۹۹۴: ۴۰).

۳. طراحی مسیری با کمترین هزینه: سطح هزینه تجمعی که در مرحله قبل ایجاد شد اساس این مرحله برای تعیین مسیر به همه نقاط روی سطح مطالعه است. توابع مسیریابی جست‌وجویی هدایت‌شده را به صورت گام به گام از نقطه مقصد به سمت مبدأ با استفاده از یک قاعده تصمیم‌گیری مشخص انجام می‌دهد و این عمل تا زمانی که نیاز باشد تکرار می‌شود. خروجی حاصل از این فرایند ایجاد یک یا چند مسیر از نقطه شروع است. در این مرحله، قاعده تصمیم‌گیری حرکت به نقاطی با ارزش کمتر است که بر اساس یک تابع جست‌وجو عمل می‌کند و فرایند از سلولی که موقعیت مقصد را روی سطح با هزینه تجمعی نشان می‌دهد شروع می‌شود و به سلول‌های همسایه با کمترین هزینه پیش روی صورت می‌گیرد و فرایند تا زمانی که به نقطه مرجع برسیم انجام می‌گیرد؛ همه مراحل در شکل ۱ نشان داده شده است (استفانکیس و کوارراس، ۱۹۹۵: ۲۷۱).



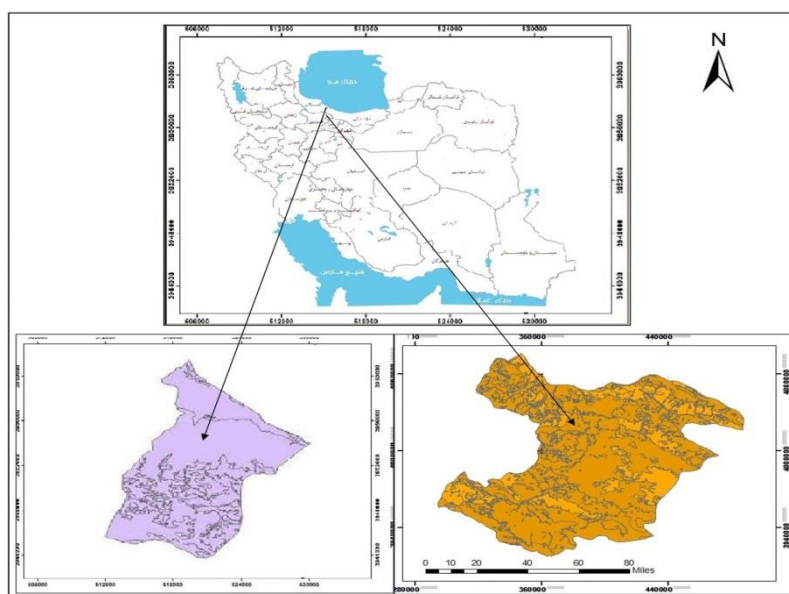
شکل ۱. فرایند تعیین مسیر در مدل رستری (استفانکیس و کوارراس، ۱۹۹۵)

روش پژوهش

تحقیق حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی است. نخست از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی چارچوب‌های تئوریک و ادبیات مسیر و مسیریابی مطالعه شد. در این تحقیق، با بهره‌گیری از آرای کارشناسان و همچنین مطالعه در خصوصیات هندسی و فنی جاده‌ها عوامل مهم در مسیریابی بهینه تعیین شد. لایه‌های رقومی مربوط به کاربری‌های موجود در مسیر رودسر-قزوین از طرح تفصیلی منطقه اخذ شد. داده‌های سایر نقشه‌های کاغذی نیز در محیط نرم‌افزاری اتوکد رقومی و سپس با تبدیل فرمت به فایل‌های شیب فایل به محیط نرم‌افزاری سیستم اطلاعات جغرافیایی منتقل شد. سپس، با تغییر به فایل‌های راستری، نقشه‌های معیار شامل نقشه‌های ارتفاع (متر)، شیب (درصد)، فرسایش، قابلیت ارضی، کاربری زمین، خطر زمین‌لغزش تهیه شد. با توجه به وسعت زیاد منطقه، اندازه واحدهای نقشه‌ای (پیکسل‌ها) 200×200 متر انتخاب شد. ذکر این نکته لازم است که نقشه‌های خطر نسبی زمین‌لغزش و نقشه کاربری زمین از نقشه‌های موجود در طرح مجموعه شهری قزوین-رودسر اخذ شد و نقشه‌های ارتفاع و شیب زمین از مدل رقومی ارتفاعی منطقه به دست آمد. سپس، با مشاهدات و بررسی‌های میدانی، اطلاعات مورد نیاز تکمیل و با تلفیق نقشه‌های موجود و اطلاعات گردآوری شده در محیط نرم‌افزار آرک جی‌آس تهیه شد. نتایج داده‌های به دست آمده این پژوهش از طریق نرم‌افزارهای اتوکد و آرک‌مپ و مدل تلفیق مدل تحلیل سلسله‌مراتبی منطق فازی بررسی و تجزیه و تحلیل شده است تا مسیر مورد مطالعه به بهترین وجه ممکن تعیین شود.

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

شهر رودسر در کرانه جنوبی دریای خزر با مختصات جغرافیایی 50° درجه و $37'$ دقیقه تا 49° درجه و $28'$ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و 36° درجه و $50'$ دقیقه تا 38° درجه و $28'$ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این منطقه از شمال با دریای خزر، از جنوب با استان قزوین، و از شرق با استان مازندران هم‌مرز است. همچنین، دامنه غربی منطقه مورد مطالعه به غرب گیلان و ناحیه مرکزی گیلان منتهی می‌شود. این شهر به علت نزدیکی به پایتخت و مرکز استان و برخورداری از اقلیم مساعد، به‌ویژه در بهار و تابستان، همجواری با ساحل دریا، جنگل‌های انبوه مسیر پرترددی برای مسافران از شهرهای کرج، قزوین، و تهران است.



نقشه ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۹۰)

بحث و یافته‌ها

در این مرحله نقشه ۱/۲۰۰۰ طرح تفصیلی شهر رودسر- قزوین، که در سال ۱۳۹۰ با فرمت DWG توسط سازمان مسکن و شهرسازی تهیه شد، وارد محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی شده و به فرمت شیپ فایل تبدیل شده است. در ادامه کلیه عملیاتی که برای آماده‌سازی داده‌ها برای ورود به نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است معرفی می‌شوند. در این عملیات، هر پردازش شامل یک یا چند ورودی و خروجی است. نوع پردازشی که بر روی داده‌ها اعمال می‌شود به ساختار داده‌های خام ورودی و ساختار داده‌ای مورد نیاز جهت ورود به توابع تجزیه و تحلیل بستگی دارد. ساختار رستری دارای خصوصیتی همچون ساده‌بودن، امکان اجرای عملیات ترکیب روی داده‌ها به صورت کارا و مؤثر است. بنابراین، این ساختار برای ذخیره‌سازی داده‌های ورودی مدل تلفیقی انتخاب شد. در ادامه لایه‌های نقشه‌ای هر یک از معیارها و زیرمعیارها استخراج و برای اجرای مراحل بعدی وارد پایگاه داده می‌شود. این مرحله شامل رقوم‌سازی و زمین مرجع نمودن لایه‌های اطلاعاتی است. در فرایند تعیین مسیر، اولین مرحله از مراحل عملی تحقیق استخراج لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز است. اطلاعات مربوط به ناحیه مطالعاتی از قبیل جاده‌ها، گسل‌ها، مراکز درمانی، و مساحت هر کدام از کاربری‌ها با فرمت شیپ فایل در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ از شهرداری تهیه و جمع‌آوری شد. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، باید همه لایه‌ها زمین مرجع شود و سیستم مختصات جهانی مرکاتور^۱ به آن‌ها اختصاص داده شود و برای اجرای مراحل بعدی وارد پایگاه داده سیستم اطلاعات جغرافیایی شود. از میان معیارهای ذکر شده به دلیل اینکه معیار مورد نظر فاصله از مراکز و پهنه‌هاست، باید لایه رستری فاصله از آن‌ها تولید شود و نقشه‌ها جهت تجزیه و تحلیل به فرمت رستری تبدیل شوند که با استفاده از دستورها و توابع اکستنشن تجزیه و تحلیل فضایی^۲ نظیر فاصله^۳ و تبدیل رستر به پیکسل^۴ و ... در نرم‌افزار آرک جی آی اس ۱۰.۵ انجام می‌گیرد. در این مرحله برای اجرای مدل در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی همه معیارها به فضای رستری منتقل شدند. از آنجا که برای برخی معیارها میزان فاصله مد نظر است، از دستور فاصله اقلیدسی^۵ برای محاسبه فاصله اقلیدسی معیارها استفاده شد. در ادامه نقشه‌های مربوطه مشاهده می‌شود. در ادامه نقشه‌های مربوطه آورده شده است.

لایه‌های اطلاعاتی جهت تعیین مسیر بهینه

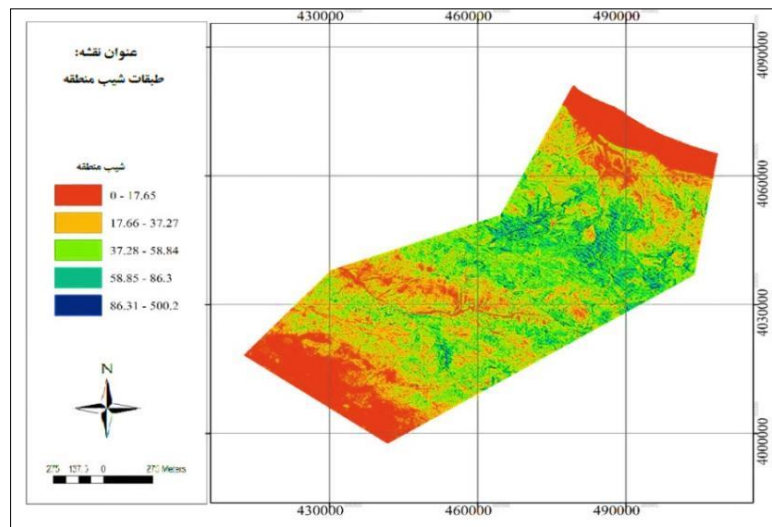
در این مرحله رقوم‌کردن لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در تعیین مسیر بهینه انجام می‌شود. عوارض چندضلعی شامل خاک، زمین‌شناسی، فرسایش، و ... عوارض خطی شامل شبکه معابر و گسل‌ها مشخص شد تا در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به صورت لایه جداگانه مشخص می‌شود. در ارزیابی چندمعیاری برای دستیابی به هدف مشخص، باید شاخص‌هایی را تعریف و معین کرد که بر مبنای آن بتوان به آن هدف مشخص دست یافت. این شاخص را معیار ارزیابی می‌نامند (کرم، ۱۳۸۷: ۹۵). در این تحقیق با بهره‌گیری از آرای کارشناسان و همچنین مطالعه در خصوصیات هندسی و فنی جاده‌ها عوامل مهم در مسیریابی بهینه تعیین شد که در ادامه درباره هر یک از آن‌ها مجزا بحث شده است.

مدل ارتفاعی رقومی (DEM)

در بحث مسیریابی مدل ارتفاعی رقومی منطقه یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در جهت تعدیل نمودن حجم عملیات خاکی (خاک‌برداری و خاکریزی) و همچنین تأمین خصوصیات هندسی راه مانند فاصله دید، سرعت طرح، حداکثر

1. Universal Transverse Mercator
2. Spatial Analysis
3. distance
4. convert raster to features
5. Euclidean Distance

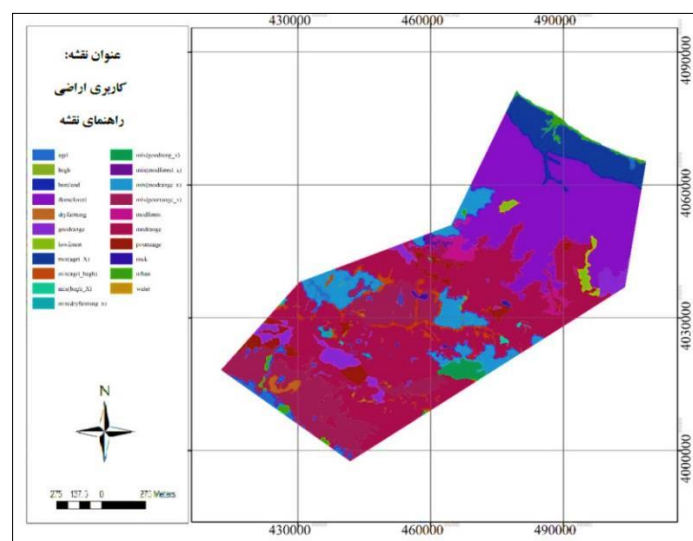
نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. این نقشه در پنج کلاس، ۰-۱۷ درجه، ۱۷-۳۷ درجه، ۳۷-۵۸ درجه، ۵۸-۸۶ درجه، ۸۶ درجه بیشتر از ۸۶ درجه با توجه به شکستگی منحنی هیستوگرام تهیه شد.



نقشه ۴. شیب منطقه (نگارندگان)

نقشه کاربری اراضی

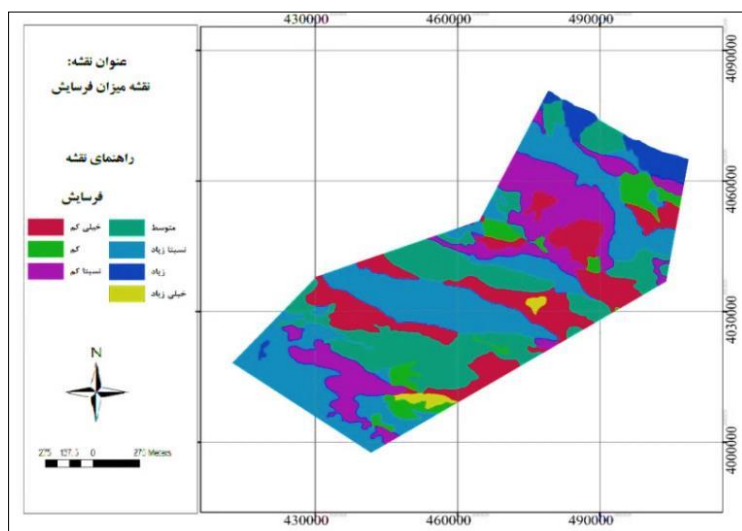
پوشش اراضی یکی دیگر از عوامل کلیدی در تحلیل مسیریابی است. پوشش‌های مختلف به لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی ارزش‌های متفاوتی دارند. به‌عنوان نمونه، عبوردادن جاده‌ها از نواحی جنگلی یا حفاظت‌شده به لحاظ زیست‌محیطی بسیار پرهزینه است. بنابراین، نقشه پوشش اراضی منطقه باید به نحو مطلوب تهیه شود و هر یک از آن‌ها متناسب با معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی ارزش‌گذاری شود. در صورتی که مسیر از مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف و زمین‌های بایر که ارزش ریالی کمتری دارند عبور کند، مسیر بهینه‌تری خواهد بود. نقشه کاربری اراضی منطقه از نقشه ۱/۲۵۰۰۰ تهیه شده است و نقشه کاربری اراضی در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از نوار ابزار تبدیل به فرمت رستری تبدیل شده است.



نقشه ۵. کاربری اراضی منطقه (نگارندگان)

نقشه فرسایش خاک

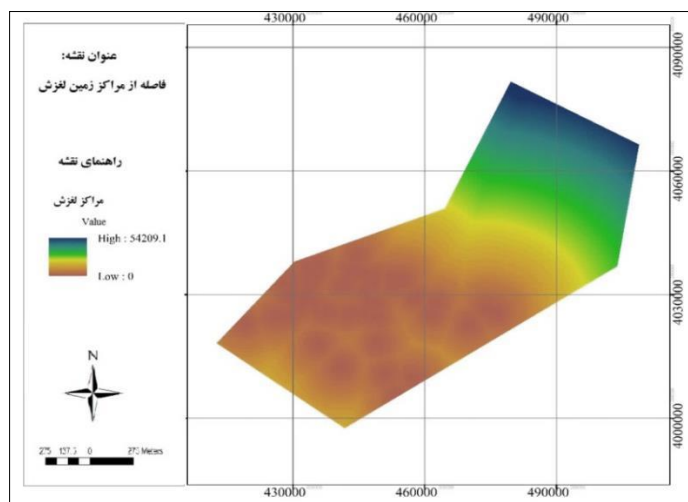
خاک، به‌عنوان ماده ساختمانی در پروژه‌های مختلف و نیز به‌عنوان تکیه‌گاهی برای پی‌سازه‌ها، از اهمیت زیادی در مطالعات مسیریابی برخوردار است. به این منظور لازم است تا خاک‌هایی به‌منظور بیان درجه تناسب آن برای راه‌سازی طبقه‌بندی شوند. در طبقه‌بندی خاک برای بستر راه، شناسایی محل‌هایی که سطح آب زیرزمینی در آن بالاست و باعث هزینه‌های تعمیرات شده و نگهداری آبی راه را به حداقل رسانده و مشکلات ایجاد می‌کند اهمیت بسیار دارد. زمین‌های سست و ضعیف که نیاز به تقویت برای زیرسازی دارند از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردارند. از لحاظ محیط زیستی خاک‌های حساس به فرسایش به‌شدت تحت تأثیر عملیات احداث راه‌ها قرار می‌گیرند و باید از آن‌ها اجتناب شود. همچنین، عبور مسیر از نواحی باتلاقی یا مجاور تالاب نیاز به زه‌کشی و تخلیه آب‌های زیرزمینی دارد که این کار آثار نامطلوبی بر وضعیت نواحی تالابی خواهد داشت. بنابراین، از این گونه خاک‌ها هم باید اجتناب شود تا از هزینه‌های سنگین اصلاح مسیر و همچنین آثار نامطلوب محیط زیستی جلوگیری شود. به این منظور، نقشه فرسایش خاک نیز از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ مؤسسه مطالعات تحقیقات خاک و آب کشور شناسایی شده است. سپس، این لایه نیز به فرمت رستری تبدیل شده است.



نقشه ۶. میزان فرسایش خاک‌ها (نگارندگان)

نقشه مناطق لغزش خیز

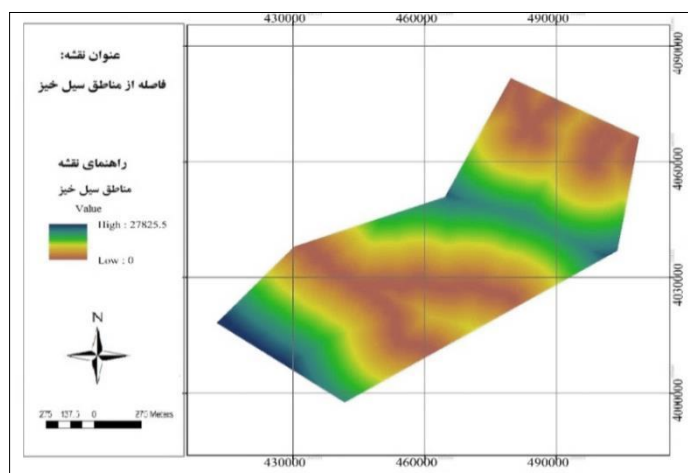
خطر وقوع لغزش یکی از معضلات طبیعی است که همواره در کمین جاده‌ها و مناطق مسکونی به‌خصوص در مناطق پُرباران است. مسیر نهایی می‌بایست تا حد امکان از مناطق لغزش خیز فاصله داشته باشد. این لایه نیز با استفاده از دستور فاصله و سپس دستور طبقه‌بندی^۱ در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه فاصله از مناطق لغزشی تهیه شده است.



نقشه ۷. مراکز زمین لغزش (نگارندگان)

نقشه خطر سیل

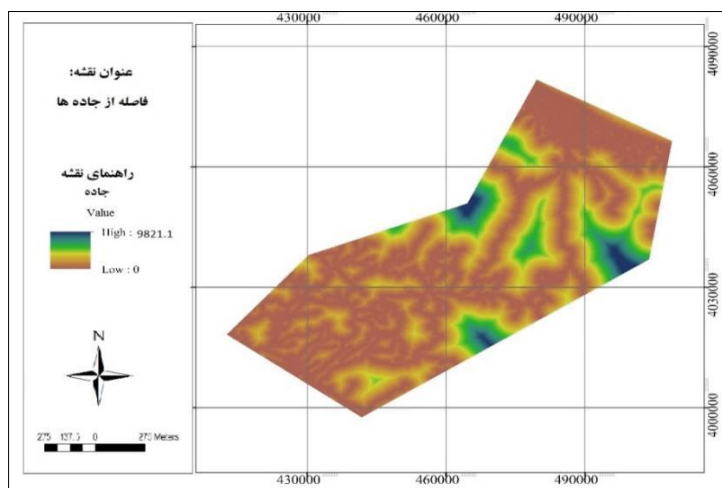
عبور مسیرهای حمل و نقل از رودخانه منجر به احداث پل‌ها و ابنیه‌ها می‌شود و در نتیجه سبب افزایش هزینه‌ها می‌شود. احتمال آب‌گرفتگی در راه و تخریب و بروز حادثه می‌شود. نقشه خطر سیل بر روی رودخانه‌های منطقه از نقشه ۱،۲۵۰۰۰ تهیه شده است و با استفاده از دستور فاصله در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه فاصله از آبراهه‌های باخطر سیل تهیه شده است.



نقشه ۸. فاصله از مناطق سیل خیز (نگارندگان)

نقشه راه‌ها

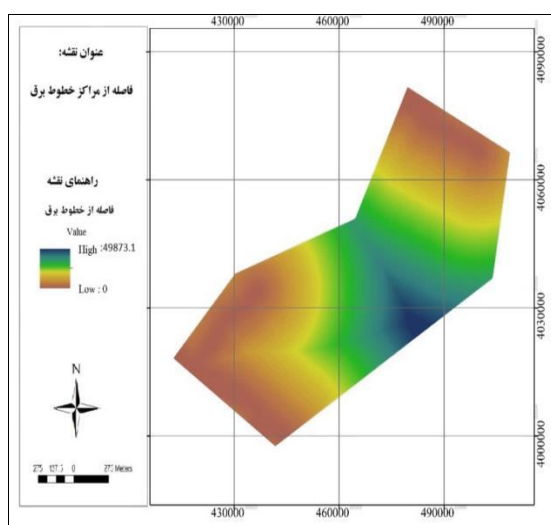
در ارتباط با معیار فاصله از راه، کم‌کردن تعداد تقاطع‌ها یا جاده‌ها و راه‌های موجود، علاوه بر اینکه هزینه‌های ساخت را افزایش می‌دهد، باعث بالارفتن امنیت عبور و مرور می‌شود. نقشه فاصله از راه‌های موجود محدوده مورد مطالعه ۱،۲۵۰۰۰ استخراج شده است و با استفاده از دستور فاصله در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه فاصله از راه‌ها تهیه شده است.



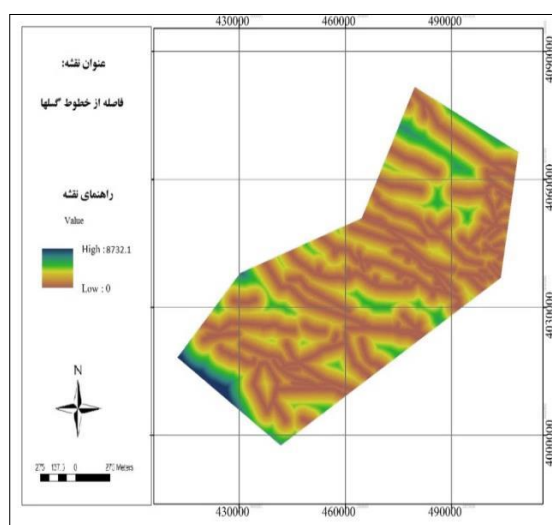
نقشه ۹. فاصله از جاده‌ها (نگارندگان)

نقشه فاصله از گسل و فاصله از خطوط انتقال نیرو

نقشه حریم فاصله از گسل از روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه مشخص و در نرم‌افزار رقومی شد و به منظور تجزیه تحلیل استفاده شد. مسیر نهایی می‌بایست تا حد امکان از گسل‌های موجود در منطقه فاصله داشته باشد تا از بروز خطرهای احتمالی جلوگیری کند. برای نقشه خطوط انتقال نیرو نیز در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ از شرکت انتقال برق استان گیلان تهیه شد. سپس، برای همه خطوط انتقال متوسط حریم ۱۱/۹ متری اعمال شد.



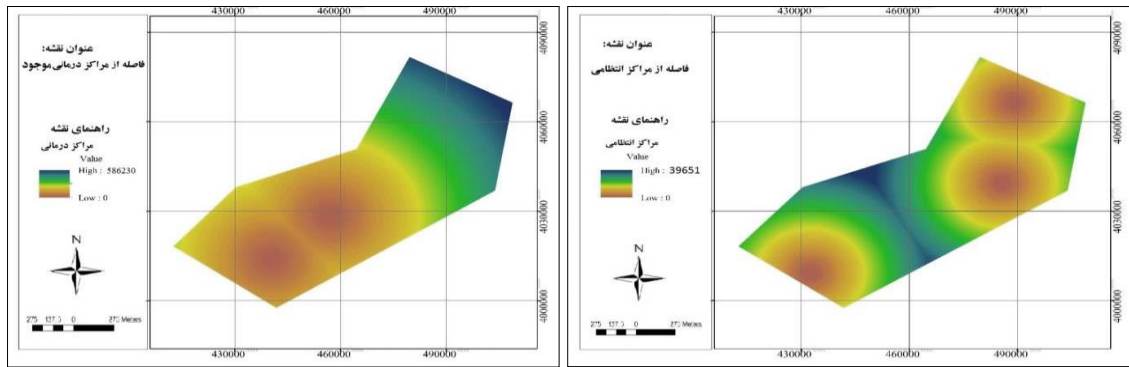
نقشه ۱۱. فاصله از خطوط برق (نگارندگان)



نقشه ۱۰. فاصله از گسل‌ها (نگارندگان)

نقشه فاصله از مراکز درمانی و پلیس

امنیت مسافران در جاده‌ها از مسائل قابل توجهی است که باید به آن توجه شود. عمده مراکز پلیس و درمانی در نزدیک مناطق مسکونی واقع شده و امنیت مسافران راه را تأمین می‌کنند. بنابراین، مسیر انتخاب‌شده هرچه به این مراکز نزدیک‌تر باشد بهتر است. نقشه فاصله از مراکز درمانی و پلیس در ادامه آورده شده است.

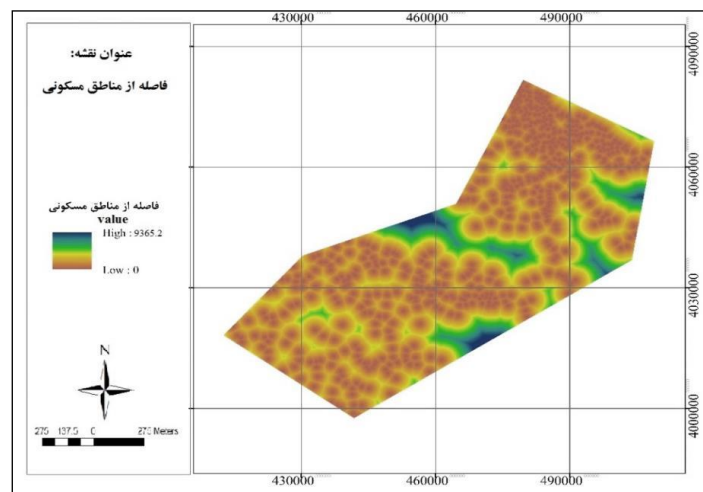


نقشه ۱۳. فاصله از مراکز انتظامی (نگارندگان)

نقشه ۱۲. فاصله از مراکز درمانی (نگارندگان)

نقشه مناطق مسکونی

یکی از عوامل توسعه مراکز جمعیتی دسترسی آن‌ها به راه‌های ارتباطی است. بنابراین، راه‌های ارتباطی تا حد ممکن باید به مراکز جمعیتی نزدیک باشند. این لایه نیز با استفاده از دستور فاصله و سپس دستور طبقه‌بندی در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه فاصله از مناطق مسکونی تهیه شده است.

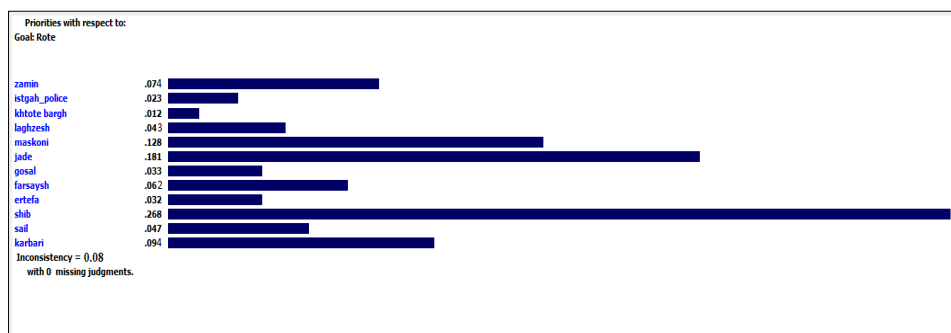


نقشه ۱۴. فاصله از مناطق مسکونی (نگارندگان)

وزن‌دهی به فاکتورها

پس از انتخاب معیارهای مؤثر در تعیین مسیر بهینه جهت ترکیب آن‌ها با یکدیگر به صورت لایه‌های اطلاعاتی باید وزن هر یک از معیارها متناسب با اهمیت آن‌ها متناسب با یکی از روش‌های وزن‌دهی مشخص شود. با توجه به اینکه در بین معیارهای انتخاب‌شده برخی کمی و برخی کیفی‌اند، باید از روشی استفاده کرد که بتوان معیارهای کمی را با کیفی مقایسه و وزن‌دهی کرد، که این از مشکلات وزن‌دهی در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است. وزن داده‌شده به صورت یک عدد در ارزیابی دخالت داده می‌شود که این عدد بیانگر اهمیت نسبی آن معیار نسبت به سایر معیارهاست. در این تحقیق برای وزن‌دهی به معیارها از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است. شیوه تحلیل سلسله‌مراتبی را ساعتی در سال ۱۹۷۷ پایه‌گذاری کرد (ساعتی، ۱۹۸۰: ۳). اساس روش بر انجام مقایسات زوجی و تعیین میزان ارجحیت عناصر بر یکدیگر نسبت به معیارهای مورد نظر است و برای حل مسائل ارزش‌یابی چندمعیاره و تعیین اولویت چندگزینه‌ها با توجه به معیارهای مورد نظر به کار می‌رود (چانگ و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۱۱). کاربرد فضایی این مدل در قالب سیستم اطلاعات جغرافیایی در نوار ابزار الحاقی به نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی به کار گرفته شد (برتولینی و برگالیا،

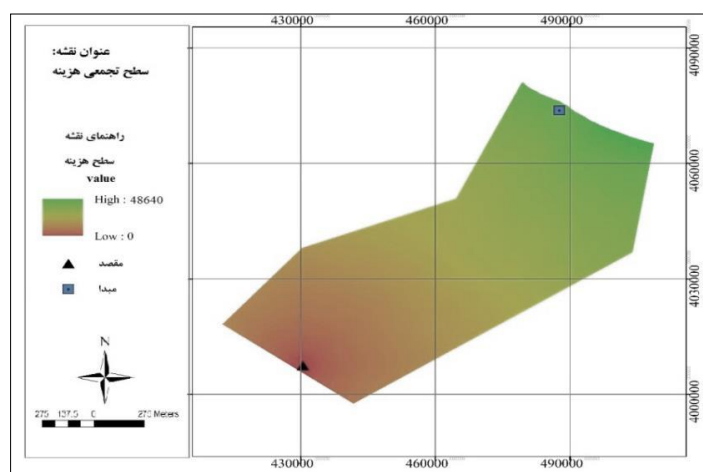
۲۰۰۶: ۴۲۳). هدف این قسمت تحقیق نیز بیان میزان کارایی این مدل در تعیین مسیر بهینه است. در ای اچ پی عناصر هر سطح نسبت به یکدیگر به صورت زوجی (دوبه‌دویی) مقایسه و وزن‌دهی می‌شوند. مقایسه و وزن‌دهی به عناصر در یک ماتریس $K \times K$ ثبت می‌شود (در این بررسی یک ماتریس 5×5 برای سطح ۲). مقایسه زوجی به صورت ارزش‌گذاری عنصر سطر نسبت به عنصر ستون انجام می‌گیرد و برای ارزش‌گذاری نیز معمولاً از یک مقیاس فاصله‌ای از ۱ تا ۹ استفاده می‌شود. هر چه مقدار ارزش داده‌شده بیشتر باشد نشان‌دهنده اهمیت و ارجحیت بیشتر عنصر سطر نسبت به عنصر ستونی است؛ به طوری که ارزش ۹ بیانگر کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر و ارزش یک بیانگر با ارجحیت و اهمیت یکسان است. ذکر این نکته لازم است که ماتریس مقایسه زوجی یک ماتریس معکوس است؛ بدین معنی که اگر ارزش مقایسه‌ای عنصر سطر a نسبت به عنصر ستونی b معادل ۹ باشد، ارزش مقایسه‌ای عنصر سطر b نسبت به عنصر ستونی a برابر $1/9$ خواهد بود (کرم، ۱۳۸۷: ۳۵). پس از تهیه پرسش‌نامه و نظرخواهی از کارشناسان مربوطه وزن نهایی معیارهای استفاده‌شده در نرم‌افزار اکسپورت چویس^۱ به‌دست آمد که در ادامه ملاحظه می‌شود.



شکل ۲. وزن نهایی معیارها

ایجاد سطح هزینه

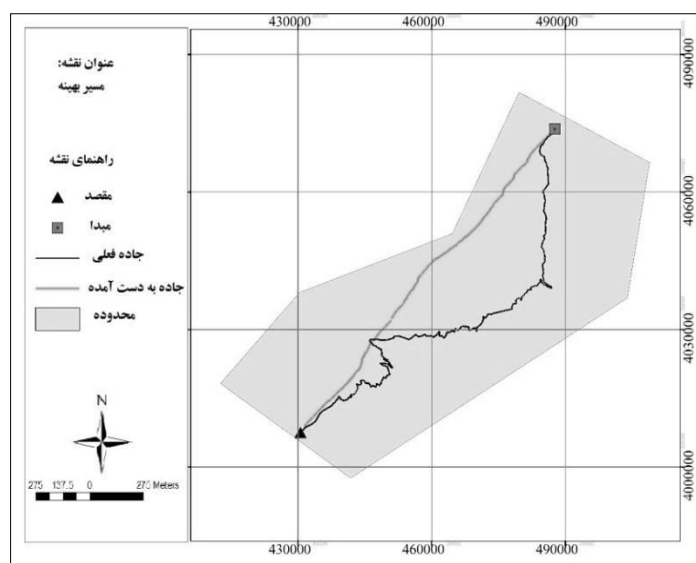
برای تولید این سطح، همان‌طور که در شکل زیر دیده می‌شود، نیاز به یک سطح به نام سطح هزینه و یک یا چند نقطه به‌عنوان منبع یا نقاط شروع است. در این لایه، ارزش هر پیکسل نشان‌دهنده مجموع هزینه یا ارزش بین نقطه ابتدایی و پیکسل مورد نظر است که هر چقدر ارزش پیکسل بزرگ‌تر باشد آن پیکسل اعتبار کمتری جهت عبور مسیر دارد.



نقشه ۱۵. ایجاد سطح هزینه (نگارندگان)

مقایسه مسیر قبلی و انتخاب مسیر بهینه

پس از طراحی مسیر به وسیله جی آی اس هر مسیر باید از نظر میزان رعایت مشخصه‌های محیط زیستی نسبت به سایر مسیرها ارزیابی شود تا بتوان مسیری را که آسیب محیط زیستی کمتری وارد می‌کند به‌عنوان مسیر بهینه انتخاب کرد. انتخاب مسیر بهینه از بین مسیرهای طراحی شده در واقع نوعی تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌شمار می‌رود که در آن هدف تصمیم‌گیری انتخاب مسیر بهینه است و معیارهای انتخاب مسیر بهینه شامل مقدار شیب مسیر، جنس زمین محل عبور مسیر، نوع خاک محل عبور مسیر، تعداد تقاطع مسیر با رودخانه‌ها، و نوع پوشش اراضی محل عبور مسیر در منطقه‌اند. از آن جا که تصمیم‌گیری در مورد انتخاب مسیر بهینه موضوع بسیار مهمی است و بروز خطا ممکن است باعث ضررهای جبران‌ناپذیری شود، نیاز به اتخاذ روش‌هایی منطقی و مناسب برای انتخاب گزینه بهینه و تصمیم‌گیری صحیح است. در این تحقیق از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، که پروفوسور ساعتی در سال ۱۹۸۰ آن را مطرح کرد، استفاده شده است. این فرایند یکی از جامع‌ترین روش‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. در این روش نخست باید مسئله به صورت سلسله‌مراتبی به اجزای کوچک‌تر تقسیم شود. این اجزا شامل تعیین هدف، معیارها، و گزینه‌هاست. سپس، با استفاده از روش مقایسه زوجی وزن هر گزینه به‌دست می‌آید و گزینه برتر انتخاب می‌شود (قدسی‌پور، ۱۳۷۹: ۳۱). در این مرحله، تابع مسیریابی از نقطه انتهایی جست‌وجو را شروع می‌کند و با استفاده از یک پنجره ۳×۳ همسایه‌های اطراف هر پیکسل را جست‌وجو می‌کند. پیکسلی که کمترین هزینه را دارد انتخاب می‌شود و به همین منوال فرایند مسیریابی تا رسیدن به نقطه ابتدایی مسیر به صورت تکرار ادامه می‌باید و در نهایت مسیر مورد نظر طراحی می‌شود. این مرحله از مسیریابی در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و با ابزار مسیر هزینه^۱ انجام پذیرفت.



نقشه ۱۶. تعیین مسیر بهینه (نگارندگان)

با توجه به شکل ۱۶، در صورت احداث مسیر پیش‌بینی‌شده، اولاً با احداث کامل جاده و آسفالت مناسب آن از جاده قزوین - رودسر مسافتی که مسافران قصد سفر از شهرهای تهران، قزوین، و ... به شهرهای شرق استان گیلان و شهرهای غرب استان مازندران را دارند حدود ۱۰۰ کیلومتر کمتر می‌شود. در این راستا کاهش هزینه‌های مرتبط، صرفه‌جویی در وقت، کاهش بار ترافیک بزرگراه قزوین به منجیل و رشت، و ... به‌طور چشم‌گیری مؤثر است. با احداث

این راه منطقه شرق گیلان و حتی غرب مازندران و خصوصاً منطقه محروم رودسر از بن‌بست خارج شده و شاهد پیشرفت چشم‌گیر خواهند بود. جنبه دیگر اهمیت این راه ایجاد جاذبه گردشگری و اکوتوریسم است؛ زیرا در طول مسیر از مناطق بسیار بکر و دست‌نخورده و زیبا عبور می‌کند و خود راه می‌تواند جاذبه گردشگری باشد. با احداث مسیر پیش‌بینی شده جاده قزوین- رودسر با مشخصات راه اصلی و با عرض ۱۱/۲۰ متر و ۱۵۴ کیلومتر مسافت نخستین راه ارتباطی کشور به شرق استان گیلان با مسافت کوتاه خواهد بود.

جدول ۱. ارزیابی معیارها در مسیر پیشنهادی

معیارهای به‌کارگرفته در طراحی	مسیر پیشنهادی
متوسط شیب	۳٪
کاربری غالب مسیر	اراضی کشاورزی
زمین‌شناسی	تراس‌های قدیمی
متوسط فرسایش خاک	(VI)
متوسط عمق آب زیرزمینی	۳۰-۴۰
تعداد عبور از خطوط نیرو	۲
تعداد عبور از راه	۵
تعداد عبور از رودخانه	۱
تعداد عبور از غسل	۲

نتیجه‌گیری

مسیر کم‌هزینه مسیری است که در آن همه عوامل تأثیرگذار اعم از هزینه احداث، تأمین ایمنی و دسترسی به جاده، و رعایت مسائل زیست‌محیطی در نظر گرفته شود. به منظور ساخت هر گونه راه جدید، اولین قدم این است که یک مسیر بهینه انتخاب شود. عاقلانه است که همیشه بهترین مسیر با حداقل هزینه انتخاب شود. برای تعیین یک مسیر غالباً نیاز است که چندین معیار ارزیابی شود و از آنجا که در فرایند مسیریابی پارامترهای کمی و کیفی مختلفی نقش دارند که عملاً از هم مستقل نیستند و روی هم تأثیر متقابل دارند، لازم است از روش ارزیابی چندمعیاره به‌عنوان یکی از روش‌های پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده شود که در این تحقیق با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در ساخت پایگاه داده و انجام تجزیه و تحلیل‌های مختلف روی آن امکان دخالت همه پارامترهای مؤثر در تعیین مسیر بهینه فراهم شد. به منظور تعیین مسیر بهینه از ۱۲ معیار شامل زمین‌شناسی، ایستگاه‌های پلیس، خطوط انتقال نیرو، زمین‌لغزش، مناطق مسکونی، فاصله از جاده، فاصله از غسل، فرسایش، ارتفاع، شیب، سیل، کاربری اراضی استفاده شد. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، مشخص شد جاده طراحی شده به میزان کمتری از موانع نسبی نظیر رودخانه‌ها، نواحی شهری و روستایی عبور می‌کند و از همه مناطق حساس محیط زیستی دوری می‌کند. در نتیجه، هزینه کل، که حاصل جمع هزینه لایه‌های مختلف اطلاعاتی است، به دلیل رعایت حریم‌ها و کاهش اثرهای نامطلوب محیط زیستی کمتر است. همچنین، با توجه به همه مسیرها می‌توان گفت محدودیت‌ها مخصوصاً پراکنش آن‌ها نقش مهمی در تعیین مسیر ایفا می‌کند و به عبارتی اصلی‌ترین نقش را دارد و محدوده مسیر بر اساس این عوامل محدودکننده و با در نظر گرفتن کوتاه‌ترین فاصله تعیین می‌شود. همسو با نتایج پژوهش، ماهینی و همکاران (۱۳۹۴) بر آن‌اند که جاده طراحی شده به میزان کمتری از موانع نسبی نظیر رودخانه‌ها، نواحی شهری و روستایی عبور می‌کند و از همه مناطق حساس محیط زیستی دوری می‌کند. در نتیجه، هزینه کل، که حاصل جمع هزینه لایه‌های مختلف اطلاعاتی است، به دلیل رعایت

حریم‌ها و کاهش اثرهای نامطلوب محیط زیستی کمتر است. همسو با نتایج پژوهش، میرعبدالهی و همکاران (۱۳۹۳) بر آن‌اند که مسیرهای طراحی شده به شیوه خودکار از لحاظ محیط زیستی به مراتب قوی‌تر از مسیرهای طراحی شده به روش دستی است. همسو با نتایج پژوهش، گل سفیدی و همکاران (۱۳۹۵) بر آن‌اند که در تعیین مسیر احداث شده به عواملی مانند فاصله از خطوط گسل و رودخانه‌ها، دسترسی به مراکز جمعیتی و توپوگرافی توجه بیشتری شده و مسیر حاصل از اعمال وزن‌دهی دانش پایه وضعیت مناسب‌تری در تأمین معیارهای مختلف نسبت به مسیر احداث شده به روش دستی را دارد.

پیشنهاد می‌شود اثرهای مختلف احداث ساختارها بر محیط زیست همچون میزان تأثیر قطعه‌قطعه شدن زیستگاه‌ها به صورت کمی محاسبه شود تا درک صحیحی به مدیران و برنامه‌ریزان در استفاده از روش‌های مسیریابی خودکار به منظور جاده‌سازی دهد. همچنین، پیشنهاد می‌شود در کنار پارامترهای لحاظ شده در این تحقیق، به پارامترهای پدافند غیرعامل نیز توجه ویژه‌ای شود. همچنین، با در نظر گرفتن این موضوع که اغلب زیرساخت‌ها و شهرک‌های صنعتی در حریم جاده‌ها ایجاد می‌شوند، بهتر است طی یک فرایند آمایش مکان‌هایی که مستعد احداث چنین زیرساخت‌هایی می‌باشند شناسایی و فاصله از این مناطق نیز به‌عنوان یک معیار در نظر گرفته شود.

منابع

۱. بازرگان، مهدی و امیرفخریان، مصطفی، ۱۳۹۶، مسیریابی بهینه خودروهای امدادی در زمان وقوع حوادث با استفاده از الگوریتم مسیریابی GIS مطالعه موردی: شهر مشهد، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، س ۳۲، ش ۳، صص ۳۵-۵۱.
۲. ذوالفقاری، اکرم و کرکه‌آبادی، زینب، ۱۳۹۲، مسیریابی هوشمند اکیپ‌های امدادی با استفاده از الگوریتم تئوری بازی‌ها نمونه موردی: شهر سمنان، فصل‌نامه مهندسی حمل و نقل، س ۵، ش ۱، صص ۱۹-۳۲.
۳. سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۹۰، نقشه استان گیلان و قزوین.
۴. قدسی‌پور، حسن، ۱۳۷۹، مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، تهران: انتشارات دانشگاه امیر کبیر.
۵. کرم، عبدالامیر، ۱۳۸۷، تحلیل تناسب سرزمین برای توسعه کالبدی در محور شمال غرب شیراز با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاره در محیط GIS، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۳۸، ش ۳، صص ۹۳-۱۰۶.
۶. کرم، عبدالامیر، ۱۳۸۷، کاربرد روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در ارزیابی زمین برای توسعه کالبدی بر پایه عوامل طبیعی (مطالعه موردی: مجموعه شهری شیراز، نشریه علوم جغرافیایی، دوره ۸، ش ۱۱، صص ۳۳-۵۴.
۷. گل‌سفیدی، مجید؛ کریمی‌پور، فرید و شریفی، محمدعلی، ۱۳۹۵، ارائه مدل مسیریابی دریایی زمانمند جهت بهینه‌سازی زمان سفر با در نظر گرفتن عوامل محیطی ناوبری، فصل‌نامه علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۵، ش ۴، صص ۲۵۵-۲۶۸.
۸. ماهینی، سلمان؛ عابدیان، عبدالرسول؛ علیزاده، سحر و خراسانی، افشین، ۱۳۹۴، استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر در مسیریابی جاده‌ای در شهرستان‌های کردکوی، بندرگز، و گلوگاه، فصل‌نامه آمایش جغرافیایی فضا، س ۵، ش ۱۵، صص ۷۷-۹۰.
۹. منوری، سید مسعود، ۱۳۸۰، کاربرد ارزیابی سریع اثرات در پروژه‌های توسعه، مجموعه مقالات نخستین همایش بین‌المللی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در ایران، سازمان حفاظت محیط زیست، معاونت محیط زیست انسانی و برنامه عمران ملل متحد، صص ۵۴-۶۶.
۱۰. ، کمال؛ اردکانی، علی و کرمی، جلال، ۱۳۹۳، تعیین مسیر بهینه قطار بین شهری یزد- اردکان با استفاده از منطق فازی، نخستین همایش مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی، دانشگاه آزاد یزد، اسفندماه، صص ۱-۱۱.
11. Antikainen, H., 2013, Using the Hierarchical Pathfinding A* Algorithm in GIS to Find Paths through Rasters with Nonuniform Traversal Cost, *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, Vol. 2, No. 12, PP. 996-1014.
12. Army Geographical Organization, 2011, Gilan and Qazvin Province Map.
13. Bazargan, Mehdi and Amir-Fakherian, Mostafa, 2018, Optimum Routing of Emergency Relief Vehicles at the Time of Accidents Using a Routing Algorithm in GIS Case Study: Mashhad City, *Geographical Survey Quarterly*, Thirty-Second Year, No. 3, PP. 35-51.
14. Bertolini, M. and Braglia, M., 2006, Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract, *International Journal of Project Management*, Vol. 24, No. 5, PP. 422-430.
15. Changa, K.F.; Chiangb, C.M. and Chouc, P.C., 2007, Adapting aspects of GB Tool 200` searching for suitability in Taiwan, *Building and Environment*, Vol. 16, No. 42, PP. 310-316.
16. Coello, C.A., 2018, *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*, Springer Science, Business Media, LLC, P. 105.
17. Collischon, W. and Pillar, J.V., 2000, A direction dependent least cost path algorithm for roads and canals, *International Journal of Geographic Information System*, Vol. 12, No.18, PP. 491 -508.
18. Douglas, D.H., 1994, Least Cost Path in GIS using accumulated cost surface and slope line, *Journal of HIG*, Vol. 3, No.12, PP. 37-51.
19. Ghodsipour, Hasan, 2000, *Issues in Multi-criteria Decision Making, Analytical Hierarchy Process*, Tehran: Amir Kabir University Press.

20. Golfa Sefidi, Majid and Farid Karimipour and Mohammad Ali Sharifi, 2016, Presenting a Time-Based Maritime Navigation Model for Optimizing Travel Time, Considering the Environmental Factors of Navigation, *Quarterly Journal of Science and Technology Mapping*, Vol. 5, No. 4, PP. 255-268. .
21. Graham, S. and Royce, P., 2001, the use of GIS technology in highway routeselection, <http://www.uoguelph.ca/geography/filetran/geog4480-w2001/group>.
22. Grazi, F.J., 2016, Spatial organization, Transport, and climate change, comparing instrument of spatial planning and policy, *Sciencedirect, Ecological economic*, Vol. 21, No. 67, PP. 625-639.
23. Husdal, J., 1999, *How to make straight line square*, Thesis for the MSc at University of Leicester, Thesis-MSc-in-GIS, PP.1- 73.
24. Jacobs, E. and Voung, G., 2001, Routing a high speed Railway: A GIS Approach, http://www.uoguelph.ca/geography/filetran/geog4480_w2001/group11/index.htm.
25. Karam, Abd ol-Amir, 2008, Analysis of Land Suitability for Autonomous Development in the Northwest Shiraz Axis Using the Multi-criteria Evaluation Approach in the GIS Environment, *Journal of Geographical Research*, Vol. 38, No. 3, PP. 93-106.
26. Karam, Amir, 2008, Application of Analytical Hierarchy Process Analysis Process in Land Evaluation for Physical Development Based on Natural Factors (Case Study: Shiraz Urban Collection, *Geographic Sciences*, Vol. 8, No. 11, PP. 54-33.
27. Lupien, A.E.; Moreland, W.H. and Dangermond, J., 1987, Network analysis in GIS. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, Vol. 53, No. 21, PP. 1417-1421.
28. Mahini, Salman and Abdolrasol Abedian and Sahar Alizadeh and Afshin Khorasani, 2015, using the shortest route algorithm for road routing in Kurdokwai, Bandar Gaz and Golghah, *Quarterly Journal of Geographic Space*, Vol. 5, No. 15, p. 90-77.
29. Michael, H.; Karen, R. and Smilowitz, B.B., 2013, A continuous approximation approach for assessment routing in disaster relief, *Transportation Research*, Part B, Vol. 50, No. 17, PP. 20-41.
30. Mir-Abdollahi, Kamal; Ardakani, Ali and Karami, Jalal, 2014, Determination of optimal Yazd-Ardakan interurban train route using fuzzy logic, *first conference on advanced models of spatial analysis*, Yazd Azad University, March-March, PP.1-11
31. Moffat, T. and Hankard, P., 1998, Strategic ecological assessment of road development, <http://www.cis-web.org.uk/downloads/casestudy2.pdf>. PP. 9-16.
32. Monavari, Seyyed Masoud, 2001, Application of Rapid Impact Assessment in Development Projects, *Proceedings of the First International Conference on Environmental Impact Assessment in Iran*, Environmental Protection Agency, Human Environment and Human Development Unit, United Nations Development Program, PP. 54-66.
33. Musolino, G.; Antonio, P.; Rindone, C. and Vitetta, A., 2012, Travel time forecasting and dynamic routes design for emergency vehicles, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 87, No. 32, PP. 193-202.
34. Saaty, T.L., 1980, *The Analytic Hierarchy Process*, Mcgraw, New York.
35. Smith, M.; Goodchild, M. and Longley, P., 2012, *Geospatial Analysis*, Matador.
36. Stefanakis, E. and Kavouras, M., 1995, Determination of the optimum path on the earth surface, *proc 17th International Cartographic Association Conference*, Spain, PP. 268-282.
37. Tomlin, D., 1999, Geographic information Systems and Cartographic Modeling, *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, PP. 119-122.
38. Vasconcelos, J.A. and Dias, A.H.F., 2010, Multiobjective Genetic Algorithms Applied to Solve Optimization Problems, *Transactions on Magnetism*, Vol. 14, No. 5, PP. 58-71.

39. Zero, L.; Bersani, C.; Paolucci, M. and Sacile, R., 2017, Multi-Objective Shortest Path Problem with Deterministic and Fuzzy Cost Functions Applied to Hazmat Transportation on a Road Network, In *Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), 2017 5th IEEE International Conference on* , PP. 238-243.
40. Zolfaghari, Akram and Kerkaabadi, Zeynab, 2013, Intelligent Routing of Relief Assets Using the Game Theory Algorithm. Case Study: Semnan, *Transportation Engineering*, Vol. 5, No. 1, PP. 19-32.