مجله آمایش جغرافیایی فضا،
فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان
سال پنجم/ شماره مسلسل پانزدهم/ بهار ۱۳۹۴

استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر در مسیریابی شبکه جاده‌ای در شهرستان‌های کردکوی، بندرگز و گلوگاه

عبدالرسول سلمان ماهینی[۱]، *سحر عابدیان[۲]، افشین علیزاده[۳] و نعمت‌اله خراسانی[۴]

[۱]دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، [۲]مدرس دانشگاه پیام‌نور کرمان، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، [۳]استادیار دانشگاه تهران، علوم کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده محیط‌زیست، [۴]استاد دانشگاه تهران، علوم کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشکده محیط‌زیست

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۲۳

چکیده

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، علاوه‌بر این‌که منابع و استعدادهای بالقوه سرزمین را بارور و زمینه رشد و شکوفایی را فراهم می‌کند. در این راستا برای نیل به اهداف توسعه پایدار از تکنیک‌های GIS در تعیین مسیر بهینه استفاده شد. به‌این نحو که ابتدا تمام پارامترهای مؤثر در تعیین مسیر شامل: شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فرسایش، زمین‌لغزش، فاصله از گسل، فاصله از مناطق حفاظت‌شده، فاصله از سطح آب‌های زیرزمینی و سطحی، فاصله از مراکز شهری و روستایی و فاصله از جاده و راه‌آهن و زیرساخت‌ها از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های پایه استخراج شد و به شکل لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS برای تولید نقشه هزینه ارزش‌گذاری و ترکیب شدند. سپس با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر اقدام به تعیین مسیرشد و مسیرهای طراحی شده با استفاده از روش نزدیکی به حد ایده‌آل مقایسه شدند و در نهایت مسیر بهینه با استفاده از این روش به‌علت قرارگیری در شیب مناسب و نزدیکی به مراکز اقتصادی و دوری از گسل انتخاب شد. همچنین برای بررسی صحت مسیر تعیین‌شده با استفاده از روش تصادفی اقدام به طراحی سی مسیر شد که در این روش به معیارها هیچ‌گونه وزنی تعلق نمی‌گیرد و این نتیجه حاصل شد که در صورت استفاده نکردن از روش‌های ارزیابی چندمعیاره، مسیر موردنظر از مناطق ممنوعه می‌گذرد که این مسأله باعث افزایش هزینه‌های محیط‌زیستی و اقتصادی ناشی از استقرار ناموزون آن می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مسیر بهینه، فرآیند نزدیکی به حد ایده‌آل، نقشه هزینه، الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر

مقدمه

احداث بزرگراه‌ها یکی از مهم‌ترین نیازهای کشورهای مختلف برای دست‌یابی به توسعه و بهره‌مندی از شیوه‌های حمل‌ونقل برای انتقال کالا و خدمات در زمان کم‌تر و ایمنی بیش‌تر است. در نتیجه توسعه و ایجاد بزرگراه‌های جدید، امری اجتناب‌ناپذیر است (Moffat and Hankard, 1998: 9). 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، اثرات منفی گسترده‌ای را بر محیط‌زیست به دنبال خواهد داشت و در برخی موارد، آسیب‌ها و اثرات زیان‌آور توسعه جاده‌ها آن‌قدر زیاد است که مزایای افزایش ارتباط و دسترسی را خنثی می‌سازد. از اثرات زیست‌محیطی جاده‌ها بر محیط‌زیست منطقه می‌توان به آلودگی هوا، صدا، خاک، آب‌های سطحی و تغییر سیماها و یا حتی نابودی جوامع محلی در اثر جابه‌جایی اشاره کرد (منوری، ۱۳۸۰: ۵۵).

*مسئول مکاتبه: sahar.abedian@gmail.com

طرح مسأله: از آنجایی که محیطزیست جهان، توان اکولوژیکی محدودی برای استفاده‌ی انسان دارد و در برخی از محیط‌ها، طبیعت با کم‌ترین خسران مهیای بالاترین توسعه است، در حالی‌که در برخی دیگر کم‌ترین توسعه در آن منجربه تخریب و نابودی محیطزیست می‌گردد، از این‌رو لازم است برای انجام توسعه‌ی پایدار در محیطزیست پیش از برنامه‌ریزی برای استفاده از آن، به ارزیابی اکولوژیک منطقه پرداخته شود (مخدوم، ۱۳۸۴: ۱۴). بنابراین انجام مطالعات گسترده برای تعیین معیارهای مؤثر در انتخاب مسیرهای جاده‌سازی به‌ویژه معیارهای محیطزیستی در کلیه‌ی مراحل طراحی و بهره‌برداری، منجر به پیشگیری از وقوع بحران‌های محیطزیستی در آینده، تضمین کارایی مطلوب، کاهش تعارض بین کاربری‌ها و کاهش هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی ناشی از استقرار ناموزون آن می‌شود (Moffat and Hankard, 1998: 9).

در تحقیق حاضر برای نیل به‌این هدف از مسیریابی به شیوه خودکار، با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است و با استفاده از انواع تکنیک‌های مدل‌سازی و با در نظر گرفتن معیارهای اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی به الگوسازی و مسیریابی این مناطق پرداخته و سپس بر اساس الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر بهینه[1] در نرم‌افزار Idrisi Kilimanjaro، مسیر بهینه طراحی شد.

پیشینه پژوهش: در پروژه‌های راه‌سازی برای کاهش آسیب‌رسانی به منابع محیطزیستی، از مسیریابی به شیوه‌ی خودکار با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود که در این زمینه تاکنون بررسی‌های زیادی در سراسر جهان انجام شده است، از جمله:

- ابراهیمی‌پور و همکاران پژوهشی را در سال ۱۳۸۴ با عنوان مسیریابی خطوط انتقال آب با استفاده از GIS انجام داد. در این تحقیق، پانزده پارامتر تأثیرگذار شناسایی و برای تولید نقشه هزینه ارزش‌گذاری شد. سپس با استفاده از الگوریتم کم‌ترین هزینه در محیط GIS، اقدام به تعیین مسیر نمود و به این نتیجه رسید که هزینه مسیر تعیین شده نسبت به مسیر احداث شده با در نظر گرفتن ملاحظات محیطزیستی، ۲۹ درصد کم‌تر است.

- ستوده و همکاران در سال ۱۳۸۱، مطالعه‌ای درباره‌ی رعایت اصول محیطزیستی در مسیریابی راه‌آهن بین شهرهای رشت و انزلی انجام داده است. وی عوامل تأثیرگذار را شیب، زمین‌شناسی، خاک، پوشش اراضی، رودها و میراث فرهنگی در نظر گرفت و پس از ارزش‌گذاری، با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر، شش مسیر مختلف طراحی کرد و در نهایت با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی، مسیر بهینه از بین مسیرهای طراحی شده انتخاب گردید.

- سادک[2] و همکاران در سال ۱۹۹۹ از GIS برای مسیریابی استفاده کرده‌اند. این مطالعه روی دوازده کیلومتر از بزرگراهی در شهر بیروت از کشور لبنان صورت گرفت که در آن، لایه‌های سیاسی، راه‌های موجود، کاربری اراضی، توپوگرافی، رودخانه و جریان‌های آبی، زمین‌شناسی، خاک و عمق آب رقومی شدند و در نهایت مسیرهای ممکن بر پایه تجزیه و تحلیل جوامع و معیارهای محیطزیستی و ژئوتکنیکی ارزیابی شد.

- گراهام و رویس[3] در سال ۲۰۰۱، مطالعه‌ای با عنوان استفاده از فن‌آوری GIS در انتخاب مسیر بزرگراه داشتند. در این مطالعه، سه محدودیت و هشت مشخصه شناسایی و وزن‌دهی شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Idrisi، نقشه مطلوبیت نهایی را تهیه کردند. محدودیت در نظر گرفته شامل: دریاچه‌ها، مناطق شهری، شیب بیش از ۸ درصد بزرگراه‌ها بود که به‌صورت نقشه‌های دو ارزشی 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.

نتایج کلیه تحقیقات یادشده مؤید قابلیت GIS در تعیین مسیر به صورت خودکار بوده است. نکته قابل توجه، شناسایی عوامل مؤثر با توجه به هدف و منطقه مورد بررسی و همچنین تعیین اولویت و وزن‌دهی نسبی آن‌ها است که باید با دقت کامل و نظر متخصصان انجام پذیرد. هدف از تحقیق حاضر، لحاظ

1. Least Cost Pathway Algorithm

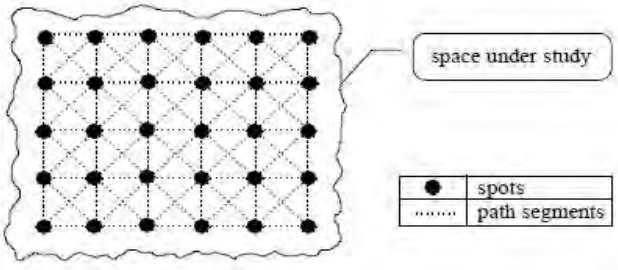
2. Sadek
3. Graham and Royce

نمودن معیارهای محیط‌زیستی در فرآیند مسیریابی به کمک GIS در شهرستان‌های کردکوی، بندرگز و گلوگاه است.

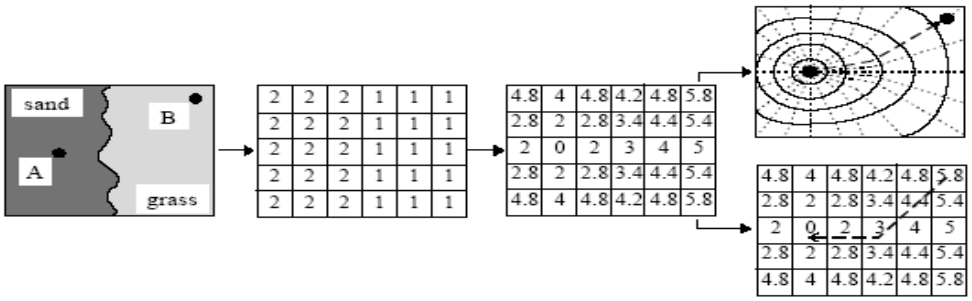
مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری: بدیهی است بدون در نظر گرفتن کلیه عوامل اثرگذار در طراحی مسیر، کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه همواره مسیر مستقیم بین آن دو نقطه خواهد بود اما در عین حال این کارامکان‌پذیر نیست و در طبیعت همیشه موانعی بر سر راه قرار می‌گیرند که باعث بالا رفتن هزینه‌ها می‌شود. این هزینه‌ها یا اقتصادی هستند، مانند هزینه‌های اضافی برای ساخت پل برای عبور از رودخانه‌ها، حفر تونل، خاک‌برداری و خاک‌ریزی، و یا محیط‌زیستی است مانند از دست دادن چشم‌اندازهای طبیعی، نابودی اکوسیستم‌های شکننده و نظیر آن، که آثار این اقدامات مستقیم یا غیرمستقیم به انسان برمی‌گردد. این هزینه‌ها را می‌توان به‌عنوان موانع نسبی و موانع مطلق در نظر گرفت. موانع مطلق، پدیده‌هایی هستند که مسیر راه هرگز نباید از آن عبور کند، در صورتی‌که موانع نسبی جلوی ادامه مسیر را نگرفته و به نسبت میزان هزینه‌ها (اقتصادی یا محیط‌زیستی) بر روند طراحی مسیر تأثیر می‌گذارد. طراحی مسیر باید به گونه‌ای باشد که مسیر راه از مناطقی عبور کند که هزینه‌ها کمینه باشد. چون هزینه‌های در نظر گرفته شده هم از لحاظ اقتصادی باید کمینه باشد و هم کم‌ترین خسارت محیط‌زیستی را شامل شود، بنابراین مسیر موردنظر باید یک مسیر بهینه باشد (Malczewski, 2006: 703).

نقش GIS در طراحی مسیر بهینه: سیستم‌های اطلاعات مکانی در طراحی مسیر بهینه، سیستمی کارآمد برای تصمیم‌گیری و مشاوره‌ی کارشناسان در طراحی مسیر است. زیرا GIS قابلیت‌های مهمی برای تجزیه و تحلیل اطلاعات، نظارت، پردازش، مدیریت و برنامه‌ریزی فراهم می‌کند. در طراحی مسیر بهینه به‌وسیله GIS، می‌توان عوامل مؤثری چون عوامل فنی و مهندسی، اقتصادی و محیط‌زیستی را مدل‌سازی نموده، با استفاده از الگوریتم‌های موردنیاز، مسیر بهینه را تعیین کرد. در طراحی مسیر بهینه به‌وسیله GIS، برای کاربردهای مختلف از جمله راه‌سازی، خطوط نفت و گاز و نظیر آن از الگوریتم‌های کوتاه‌ترین مسیر استفاده می‌شود. درباره تعیین کوتاه‌ترین مسیر، الگوریتم‌های مختلفی ارائه شده است که هر یک کارایی خاص خود را دارد که در این تحقیق از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر روی سطح شبکه‌ای استفاده شده است.

مدل‌سازی شبکه: یک شبکه سیستمی از عوارض خطی به هم متصل است. مدل شبکه‌ای، نمایشی از داده‌های یک شبکه است. یک مدل شبکه به‌صورت یک گراف خطی تعریف می‌شود (Lupien et al., 1987: 1419) و از اتصالاتی که نشان‌دهنده کانال‌های خطی از جریان است، تشکیل می‌یابد. در مدل شبکه، گره‌ها نشان‌دهنده تقاطع ارتباطات است. به‌عبارت 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 (Husdal, 1999: 10).



شکل ۱- نمایشی از یک سطح شبکه‌ای (Stefanakis and Kavouras, (1995: 273



شکل ۲- فرایند تعیین مسیر در مدل رستری
(همان: ۲۷۱)

مسیریابی در سیستم‌های اطلاعات مکانی

شبکه‌ای: الگوریتم مسیریابی در مدل رستری، شبیه الگوریتم‌های عمل‌کننده در مدل‌برداری است، اما مدل‌بندی جهات در شبکه‌های رستری به سادگی شبکه‌های‌برداری نیست. برای یافتن مسیری با کم‌ترین هزینه باید ابتدا روی یک سطح با هزینه تجمعی حرکت کرد که این سطح، هزینه یا مقاومت در برابر عبور از یک سلول به سلول دیگر را به‌صورت تجمعی نشان می‌دهد. برای حرکت روی سطح هزینه باید ارزش‌های متنوع سلول‌های مختلف را با هم ترکیب کنیم که کمی پیچیده است، اما با نگاشت جبری در GIS شبکه‌ای، محاسبات به‌خودی‌خود آسان‌تر می‌شود (Tomlin, 1999: 120). برای تعیین مسیر بهینه بین دو موقعیت سه مرحله را ارائه کرده‌اند:

۱. ایجاد سطح هزینه یا اصطکاک[1]: سطح هزینه به سطحی می‌گویند که مقدار هر سلول آن بیانگر میزان مقاومت یا هزینه عبور از آن سلول است که نحوه‌ی 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 مسأله مهم، میزان مقاومت هر سلول است که با میزان ارزش آن سلول مشخص می‌شود (Collischon and Pilar, 1999: 493).

۲. ایجاد سطح هزینه تجمعی[2]: در این تابع، به 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 و 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 به وجود می‌آورد که هر سلول این شبکه، نشان‌دهنده هزینه‌ی حرکت تا سلول منبع است که واحد سلول‌های این شبکه، واحد هندسی نیست، بلکه واحد آن، واحد هزینه حرکت است (Douglas, 1994: 40).

۳. طراحی مسیری با کم‌ترین هزینه[3]: سطح هزینه‌ی تجمعی که در مرحله قبل ایجاد شد، اساس این مرحله برای تعیین مسیر به تمامی نقاط روی سطح مطالعه است. توابع مسیریابی یک جست‌وجوی هدایت شده را به‌صورت گام‌به‌گام 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 فرآیند، ایجاد یک یا چند مسیر از نقطه‌ی شروع است. در این مرحله، قاعده‌ی تصمیم‌گیری، حرکت به نقاطی با ارزش کم‌تر است که بر اساس یک تابع جست‌وجو عمل می‌کند و فرآیند از سلولی که موقعیت مقصد را روی سطح با هزینه تجمعی نشان می‌دهد، شروع می‌شود و به سلول‌های همسایه با کم‌ترین هزینه پیشروی صورت می‌گیرد و فرآیند تا زمانی که به نقطه‌ی مرجع برسیم

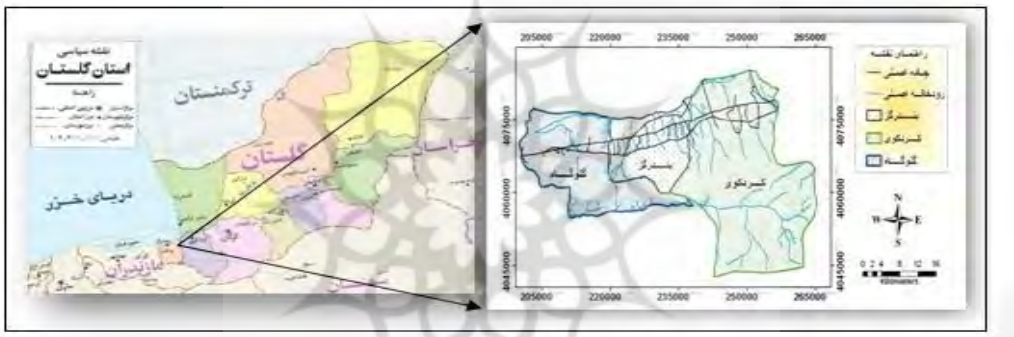
1. Friction Surface
2. Accumulated Cost Surface
3. Least Cost Pathway

انجام می‌گیرد که در شکل (۲) مراحـل آن نشـان داده شده است (Stefanakis and Kavouras, 1995: 271).

روش تحقیق

این تحقیق از نوع توصیفی- تحلیلی است که ابتدا از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی، چارچوب‌های تئوریک و ادبیات مسیر و مسیریابی مورد مطالعه قرار گرفت و سپس با مشاهدات و بررسی‌های میدانی، اطلاعات موردنیاز تکمیل و با تلفیق نقشه‌های موجود و اطلاعات گردآوری شده در محیط نرم‌افزارهایی همچون ArcGIS و Idrisi Kilimanjaro، به تفسیر آن‌ها با توجه به شرایط محیطی پرداخته شد. سپس براساس یافته‌های تحقیق، پیشنهادهایی برای موضوع مورد مطالعه ارائه شد.

محدوده و قلمرو پژوهش: شهرستان‌های کردکوی و بندرگز، در غرب استان گلستان و شهرستان گلوگاه، در شرق استان مازندران واقع شده است. محدوده مورد مطالعه بین ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۳/۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۲/۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. از نظر سیاسی، محدوده مورد مطالعه از شمال به دریای خزر و خلیج گرگان از جنوب به رشته‌کوه‌های البرز شرقی و استان سمنان، از شرق به شهرستان گرگان و از غرب به شهرستان بهشهر محدود می‌شود (سال‌نامه آماری استان گلستان، ۱۳۸۶).



شکل ۳- نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

بحث اصلی

معیارهای مؤثر در مسیریابی شبکه جاده‌ای: در ارزیابی چندمعیاری برای دست‌یابی به یک هدف معین، باید سنجه‌ها یا شاخص‌هایی را تعریف و معین کرد که بر مبنای آن بتوان به آن هدف معین دست یافت. این سنجه‌ها یا شاخص را معیار ارزیابی می‌نامند (کرم، ۱۳۸۴: ۹۵) که به دو دسته فاکتور و محدودیت دسته‌بندی می‌شود (Eastman, 2006: 124). به‌طور کلی معیار و اصولی که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته‌اند، به دو دسته معیارهای اکولوژیکی و اجتماعی- اقتصادی تقسیم می‌شوند که این معیارها با توجه به قوانین و دستورالعمل‌های محیط‌زیستی انتخاب شدند. معیارهای اکولوژیکی شامل شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، فرسایش، زمین‌لغزش، فاصله از گسل، فاصله از مناطق حفاظت شده، فاصله از سطح آب زیرزمینی و آب‌های سطحی و معیارهای اقتصادی- اجتماعی شامل کاربری اراضی، مناطق شهری و روستایی، جاده‌های در دسترس، راه‌آهن و زیرساخت‌ها بوده است. سپس با استفاده از لایه‌های جدول (۱)، نقشه مربوط به معیارها و محدودیت‌ها استخراج شد.

جدول ۱- لایه‌های مورد استفاده در فرآیند مسیریابی

معیار	لایه‌های اطلاعاتی	تشریح	منبع
معیارهای اکولوژیکی	نقشه زمین‌شناسی	شامل انواع واحدهای سنگی در منطقه	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی
	نقشه خطوط گسل	شامل خطوط گسل و انواع آن	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی
	نقشه رودخانه‌ها	شامل رودخانه‌های اصلی و فرعی در منطقه	سازمان حفاظت محیط‌زیست
	نقشه مدل رقومی ارتفاع	شامل داده‌های ارتفاعی به‌صورت متوسط برای هر پیکسل است که از نقشه توپوگرافی تهیه شده است.	سازمان نقشه‌برداری کشور
	نقشه مناطق حفاظت شده	شامل منطقه حفاظت شده جهان‌نما و...	سازمان محیط‌زیست
	نقشه سطح آب‌های زیرزمینی	شامل سطح آب چاه‌ها	سازمان آب و فاضلاب شهرستان‌ها
	نقشه فرسایش	شامل میزان فرسایش خاک و طبقه‌بندی آن	سازمان آب و خاک شهرستان‌ها
	نقشه زمین‌لغزش	شامل پهنه‌بندی زمین لغزش	نگارنده
معیارهای اقتصادی و اجتماعی	نقشه جاده	شامل جاده‌های اصلی و فرعی	سازمان محیط‌زیست
	نقشه راه‌آهن	شامل مسیر راه‌اهن گرگان- تهران	سازمان حفاظت محیط‌زیست
	نقشه کاربری اراضی	شامل زمین‌های کشاورزی، باغات، جنگل و...	سازمان حفاظت محیط‌زیست
	نقشه مناطق شهری و روستایی	نشان‌دهنده لکه‌های سکونت‌گاهی	سازمان حفاظت محیط‌زیست
	نقشه زیرساخت‌ها	شامل تأسیسات رفاهی	سازمان حفاظتمحیط‌زیست

جدول ۲- استانداردسازی معیارهای پیوسته براساس منطق فازی

فاکتور	شکل تابع	نوع تابع	نقاط کنترلی			
			d	c	b	a
فاصله از جاده (متر)	خطی	کاهشی	۵۰۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
فاصله از راه‌آهن (متر)	خطی	کاهشی	۴۰۰۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
فاصله از گسل (متر)	خطی	افزایشی	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰
فاصله از مناطق مسکونی (متر)	خطی	متقارن	۵۰۰۰	۳۰۰۰	۷۰۰	۵۰۰
فاصله از رودخانه (متر)	S شکل	افزایشی	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۹۰
فاصله از آب‌های زیرزمینی (متر)	S شکل	افزایشی	۵۰	۵۰	۵۰	۸
ارتفاع (متر)	S شکل	کاهشی	۱۴۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
فاصله از تأسیسات رفاهی (متر)	خطی	کاهشی	۶۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
شیب (درصد)	S شکل	کاهشی	۱۸	۵	۵	۵
فاصله از مناطق حفاظت‌شده (متر)	خطی	افزایشی	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰

استانداردسازی معیارها: با توجه به این‌که در اندازه‌گیری معیارها، دامنه متنوعی از مقیاس‌ها استفاده می‌شود، بر همین اساس لازم است ارزش‌های موجود در لایه‌های مختلف به واحدهای قابل مقایسه و در تناسب با هم تبدیل شوند. بدین منظور لازم است که هر یک از نقشه‌های معیار استاندارد شوند (پرهیزکار و غفاری، ۱۳۸۵: ۲۰۴). در این پژوهش، فرآیند استانداردسازی نقشه‌های معیار بر اساس دو منطق فازی و بولین صورت پذیرفته است که از منطق فازی برای استانداردسازی نقشه‌های فاکتور استفاده شده است. منطق فازی، زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم می‌کند. براساس این منطق بین حالت قبول و غیرقابل قبول می‌توان درجات مختلف مقبولیت را تصور کرد که معمولاً دامنه‌ی تغییرات استانداردسازی بین اعداد ۰ و ۱ (مقیاس اعداد حقیقی) و یا ۰ و ۲۵۵ (مقیاس بایت) است (Eastman, 2006:132).

جدول ۳- استانداردسازی معیار زمین‌لغزش براساس منطق فازی و شکل تابع User define

معیار	نام طبقه	امتیاز
زمین‌لغزش	پهنه‌هایی با لغزش خیلی کم	۲۵۵
	پهنه‌هایی با لغزش کم	۱۴۱
	پهنه‌هایی با لغزش متوسط	۱۲۷
	پهنه‌هایی با لغزش زیاد	۶۳
	پهنه‌هایی با لغزش خیلی زیاد	۰

جدول ۴- استانداردسازی معیارهای گسسته براساس منطق فازی و شکل تابع User define

معیار	نام طبقه	امتیاز	معیار	نام طبقه	امتیاز
زمین‌شناسی	ماسه سنگ	۲۵۰	کاربری اراضی	مناطق جنگلی	۰
	رس	۵۰		مناطق شهری	۰
	مارن	۸۰		مراتع نیمه متراکم	۸۰
	سنگ آهک	۱۵۰		مراتع کم تراکم	۱۲۰
	gypsum	۸۰		زمین کشاورزی	۱۴۰
	دولومیت	۱۲۰		باغات	۱۴۰
	شیست	۱۲۰		اراضی بدون پوشش	۲۵۵
	کنگلومرا	۱۸۰		-	

جدول ۵- استانداردسازی نقشه محدودیت‌ها براساس منطق بولین

محدودیت	بازه با ارزش صفر	بازه با ارزش یک
فاصله از گسل (متر)	۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰ متر به بالا
فاصله از جاده (متر)	۰ - ۳۰۰	۳۰۰ متر به بالا
فاصله از رودخانه (متر)	۰ - ۹۰	۹۰ متر به بالا
فاصله از راه‌آهن (متر)	۰ - ۳۰۰	۳۰۰ متر به بالا
فاصله از سطح آب‌های زیرزمینی (متر)	۰ - ۸	عمق‌های بیش‌تر از ۸ متر
فاصله از تأسیسات رفاهی (متر)	۰ - ۱۰۰	۱۰۰ متر به بالا
فاصله از مناطق حفاظت شده (متر)	۰ - ۱۰۰۰	۱۰۰۰ متر به بالا
فاصله از مناطق مسکونی (متر)	۰ - ۵۰۰	۵۰۰ متر به بالا

در این رابطه نیاز است که برای فازی نمودن نقشه‌های فاکتور، مقادیر آستانه معیارها (حداقل دو تا چهار نقطه: a، b، c، d)، نوع (کاهنده یکنواخت، افزاینده یکنواخت، متقارن) و شکل تابع عضویت (خطی[1]، تابع تعریفی توسط کاربر[2]، S شکل[3] و J شکل[4]) تعیین شد. جدول (۲)، مقادیر آستانه و نوع تابع فازی برای استانداردسازی نقشه‌های فاکتور را در این مطالعه نشان می‌دهد. همچنین در جداول (۳) و (۴)، استانداردسازی فاکتورهای گسسته براساس شکل تابع User define نشان داده شده است.

پس از فازی نمودن نقشه‌های فاکتور، نقشه‌های محدودیت توسط منطق بولین استاندارد شد. در این مدل، عضویت معیارها در یک مجموعه به صورت یک (عضویت) و صفر (عدم عضویت) بیان می‌شود که عدد یک، تناسب مطلق و عدد صفر، عدم تناسب مطلق را نشان می‌دهد. جدول (۵)، نقشه‌هایی را که از این روش استاندارد شده‌اند، نشان می‌دهد.

1. Linear
2. User define
3. Sigmoidal
4. J- Shape

وزن‌دهی به فاکتورها: هنگامی که معیارهای ارزیابی استاندارد شدند، باید وزن و اهمیت نسبی هر یک از آن‌ها را در رابطه با هدف موردنظر تعیین کرد. از آنجایی که نقش و اهمیت هر یک از معیارها در تعیین مسیر یکسان نیست و به‌عبارت دیگر، محدودیتی که این عوامل در تعیین مسیر ایجاد می‌کنند، با هم برابر نمی‌باشد و برخی از مشخصه‌ها به‌عنوان عامل کلیدی عمل می‌کنند (Malczewski, 1999: 960)، از این‌رو باید این عوامل، ارزش‌گذاری و وزن‌دهی شوند. از میان روش‌های وزن‌دهی، روش مقایسه یزوجی به‌دلیل داشتن مبنای تئوری قوی، دقت بالا و سهولت مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش، مقایسه درجه اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر بر اساس یک مقیاس پایه ۹ نقطه‌ای پیوسته، مطابق با جدول (۶) صورت می‌گیرد (Eastman, 2006:131).

سپس این مقایسه‌های دوبه‌دویی برای ایجاد وزن نسبی معیارها (که جمع جبری آن‌ها برابر یک است)، تحلیل می‌شود. معیارها و وزن‌های نسبی به‌دست آمده برای هر یک از معیارها که در جدول (۷) آمده است، داده‌های ورودی اصلی برای تحلیل ارزیابی چندمعیاره در محیط GIS است. **تلفیق معیارها با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره:** هدف از تحلیل چند معیاری، انتخاب بهترین گزینه برمبنای رتبه‌بندی آن‌ها از طریق ارزیابی چندمعیاری اصلی است. روش ترکیب خطی وزن‌دار، جزء رایج‌ترین تکنیک‌ها در تحلیل ارزیابی و تصمیم‌گیری چندمعیاره است. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است که برای انجام فرآیند ارزیابی با این روش مطابق رابطه (۱)، از ضرب هر معیار در وزن متناظر خود، یک مقدار نهایی برای هر آلترناتیو به‌دست می‌آید. سپس با جمع نتایج آلترناتیوها و ضرب آن در حاصل‌ضرب محدودیت‌ها، نقشه مطلوبیت منطقه برای کاربری موردنظر حاصل می‌گردد.

$$S = \sum W_i X_i \Pi C_j$$ رابطه (۱)

که در آن: S= میزان مطلوبیت هر سلول، W_i= وزن فاکتور i، X_i= ارزش استاندارد شده معیار i و C_j= ارزش استاندارد شده محدودیت j است (Eastman, 2006: 129). با توجه به این‌که روش ترکیب خطی وزن‌دار، جزء رایج‌ترین تکنیک‌ها در تحلیل ارزیابی و تصمیم‌گیری چندمعیاره است و همچنین فنون همپوشانی در GIS اجازه می‌دهد که برای تولید یک نقشه ترکیبی (نقشه برونداد)، نقشه‌های معیار (نقشه‌های درونداد) با هم ترکیب و تلفیق شوند (Burrough, 1990: 222). از این‌رو در تحقیق حاضر نیز از روش ترکیب خطی وزن‌دار شده استفاده گردید. لایه‌های فازی و محدودیت با استفاده از رابطه (۱) در محیط نرم‌افزار Idrisi با هم ترکیب شد تا نقشه ارزیابی توان چندمعیاره سطح منطقه (شکل ۴) برای طراحی شبکه جاده‌ای در محیط GIS به‌دست آید.

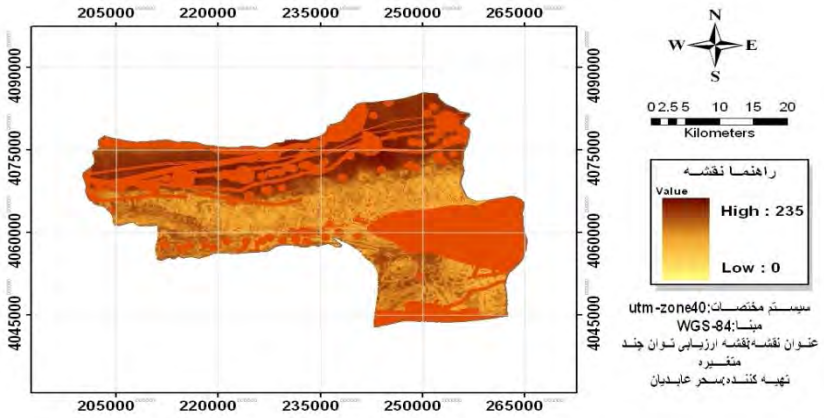
جدول ۶- مقیاس درجه اهمیت معیارها براساس مقایسه زوجی

۹	۷	۵	۳	۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۱/۹
فوق‌العاده	خیلی قوی	قوی	متوسط	برابر	متوسط	قوی	خیلی قوی	فوق‌العاده

(منبع: Saaty, 1980)

جدول ۷- وزن‌های حاصل از روش مقایسه زوجی

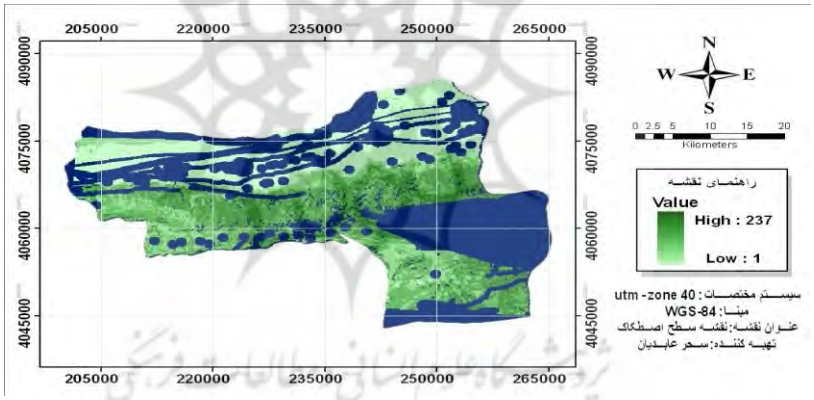
معیار	وزن	معیار	وزن
فاصله از رودخانه	۰,۰۳	فاصله از تأسیسات رفاهی	۰,۰۲
فاصله از سطح آب زیرزمینی	۰,۰۲	فاصله از مناطق حفاظت شده	۰,۱۱
فاصله از جاده	۰,۰۴	زمین‌شناسی	۰,۱۴
فاصله از راه‌آهن	۰,۰۱	فاصله از گسل	۰,۱۲
فاصله از مناطق مسکونی	۰,۰۵	درصد شیب	۰,۲۵
حساسیت به لغزش	۰,۱۱	ارتفاع	۰,۰۱
کاربری اراضی	۰,۰۶	-	-



شکل ۴- نقشه ارزیابی توان چندمعیاره در منطقه مورد مطالعه

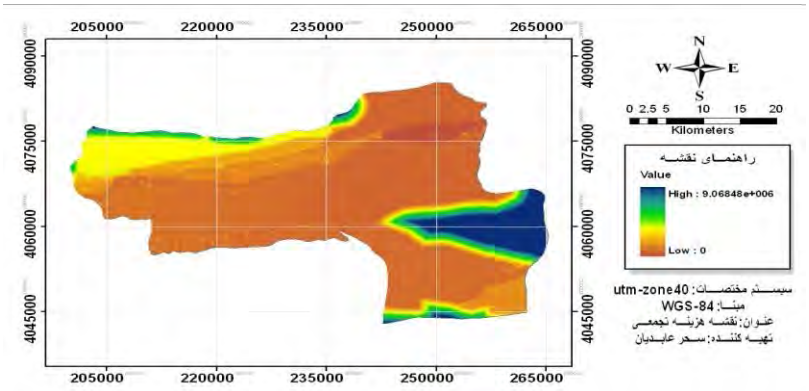
تعیین مسیر بهینه روی سطح شبکه‌ای

الف) ایجاد سطح هزینه یا اصطکاک: هدف این مرحله، تولید یک لایه در فرمت شبکه‌ای است که به تمام سلول‌های آن، هزینه حرکت و عبور نسبت داده شده است (شکل ۵). در این لایه، مقدار هر پیکسل بیانگر میزان مقاومت و یا هزینه هر پیکسل نسبت به پیکسل مبدأ است که در شکل (۵)، هرچقدر این مقدار بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده اصطکاک و یا هزینه بیش‌تر آن سلول در برابر جهت عبور مسیر است.



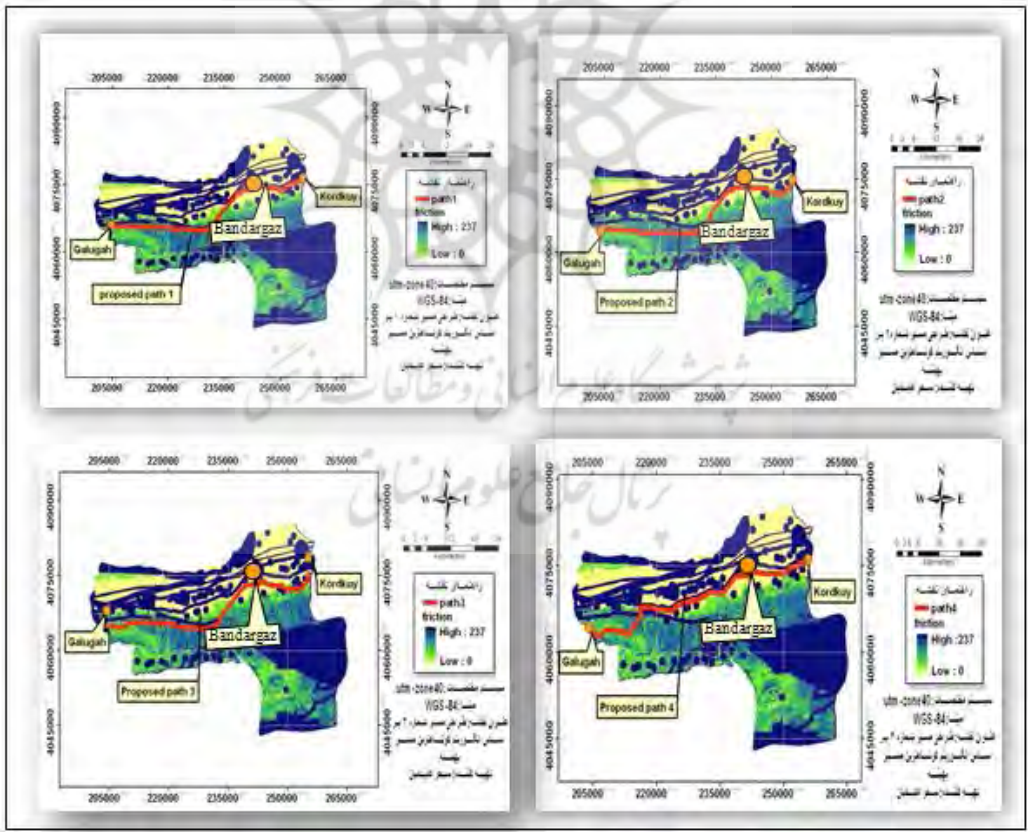
شکل ۵- نقشه اصطکاک منطقه مورد مطالعه

ب) ایجاد سطح هزینه تجمعی: برای تولید این سطح، همان‌طور که در شکل (۶) 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 نقطه‌ی ابتدایی و پیکسل موردنظر است که هر چقدر ارزش پیکسل بزرگ‌تر باشد، یعنی آن پیکسل اعتبار کم‌تری جهت عبور مسیر دارد.



شکل ۶- نقشه هزینه تجمعی منطقه مورد مطالعه

تعیین مسیر بهینه: سطح هزینه تجمعی که در مرحله قبل ایجاد شد، اساس این مرحله برای تعیین مسیر بهینه به تمامی سلول‌ها است. در این مرحله، تابع مسیریابی از نقطه انتهایی، جست‌وجو را شروع کرده و با استفاده از یک پنجره ۳×۳، همسایه‌های اطراف هر پیکسل را جست‌وجو می‌کند و پیکسلی که هزینه کم‌تری را دارد، انتخاب می‌کند و به همین منوال، فرآیند مسیریابی به‌صورت تکرار ادامه می‌یابد، تا به نقطه‌ی ابتدایی مسیر برسد که در این پژوهش چهار مسیر طراحی شد.



شکل ۷- نقشه مسیرهای طراحی شده منطقه مورد مطالعه

جدول ۸- مقایسه میزان رعایت مشخصه‌های محیط‌زیستی جاده‌های طراحی شده

مشخصه / شماره مسیر	میانگین فاصله از راه آهن (متر)	میانگین فاصله از مراکز مسکونی (متر)	میانگین ارتفاع (متر)	میانگین شیب (درصد)	میانگین فاصله از گسل (متر)	میانگین فاصله از تأسیسات رفاهی (متر)
مسیر ۱	۸۰۰۰	۴۱۰۰	۲۴۹	۷,۸	۶۲۰۰	۳۸۰۰
مسیر ۲	۹۲۰۰	۴۶۰۰	۳۰۰	۱۰	۶۷۰۰	۴۶۰۰
مسیر ۳	۸۰۰۰	۴۳۰۰	۲۴۰	۹,۵	۶۵۰۰	۴۳۰۰
مسیر ۴	۸۰۰۰	۳۷۰۰	۱۹۰	۵,۳	۷۵۰۰	۳۰۰۰

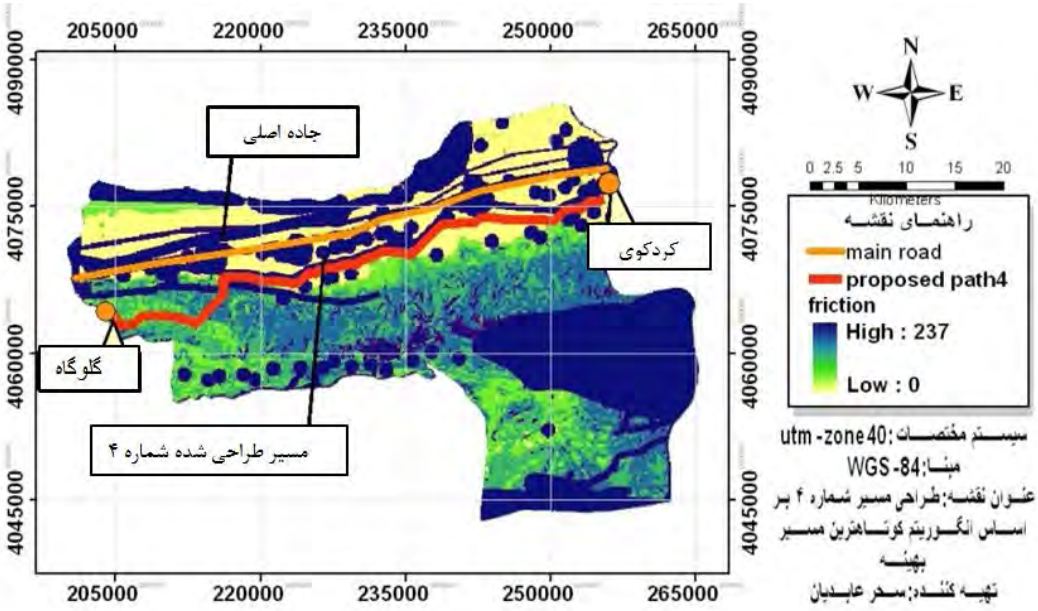
جدول ۹- مقایسه مسیرهای طراحی شده از نظر میزان مسافت

طول مسیر / شماره مسیر	طول مسیر شهر کردکوی تا بندرگز (Km)	طول مسیر شهر بندرگز تا گلوگاه (Km)	طول مسیر شهر کردکوی تا گلوگاه (Km)
مسیر ۱	۲۰	۱۶	۳۶
مسیر ۲	۲۲	۱۷	۳۹
مسیر ۳	۲۳	۱۸	۴۱
مسیر ۴	۱۹	۱۶	۳۵

همچنین برای بررسی میزان درستی روش ترکیب خطی وزن‌دار شده با استفاده از ماژول Random در نرم‌افزار Idrisi، سی نقشه مطلوبیت برای بررسی درستی و به تبع آن سی مسیر براساس نقاط ابتدایی و انتهایی طراحی شد که نتایج نشان می‌داد تمامی مسیرها از مناطق ممنوعه گذر کرده است. همین مسأله میزان اهمیت این روش را در طراحی بهینه مسیر و کاهش اثرات محیط‌زیستی نشان می‌دهد.

انتخاب مسیر بهینه با استفاده از روش نزدیکی به حد ایده‌آل[1]: از آنجایی که تصمیم‌گیری در مورد انتخاب مسیر، موضوع بسیار مهمی است و بروز خطا ممکن است باعث ضررهای جبران‌ناپذیری شود، نیاز به اتخاذ روش‌های منطقی و مناسب برای انتخاب گزینه بهینه و تصمیم‌گیری صحیح است که در این تحقیق از روش نزدیکی به حد ایده‌آل برای انتخاب مسیر بهینه استفاده شده است. این فرآیند، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری قوی و تکنیکی است که مسیرها براساس شباهت به حد ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند. بدین ترتیب که هر چه یک گزینه به حد ایده‌آل نزدیک‌تر و از ضد ایده‌آل دورتر باشد، رتبه بیش‌تری می‌گیرد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مسیر ۴ به لحاظ محیط‌زیستی، بیش‌ترین امتیاز را دارد و به عنوان مسیری که کم‌ترین آسیب را به محیط‌زیست وارد می‌سازد، انتخاب شد. براساس نتایج جدول (۸) و (۹)، مسیر شماره ۴ نسبت به سایر مسیرها علاوه‌بر حفظ ارزش‌های محیط‌زیستی، ارزش‌های اقتصادی از جمله نزدیک بودن به تأسیسات رفاهی و مراکز شهری و روستایی را نیز رعایت کرده است و نسبت به مسیرهای دیگر کوتاه‌تر نیز می‌باشد. این مسیر نسبت به سایر مسیرها در میانگین ارتفاعی و درصد شیب کم‌تری واقع شده است که همین مسأله باعث کاهش هزینه‌های خاک‌برداری و خاک‌ریزی در منطقه می‌شود؛ علاوه‌بر این‌که با حفظ فاصله‌ی بیش‌تر از خطوط گسل، باعث افزایش ایمنی در طراحی جاده می‌شود.

1. Technique for order performance by to ideal solution (Topsis)



شکل ۸- نقشه مسیر بهینه منطقه مورد مطالعه

پس از تعیین مسیر بهینه با استفاده از روش نزدیکی به حد ایده‌آل، مسیر طراحی شده از نظر میزان رعایت مشخه‌های محیط‌زیستی نسبت به جاده موجود مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین منظور مسیر طراحی شده و مسیر موجود را بر اساس عبور از معیارهایی که در جدول (۱۰) آمده است مورد مقایسه قرار داده که بزرگنمایی هر سلول ۳۰×۳۰ متر می‌باشد.

جدول ۱۰- مقایسه میزان رعایت مشخصه‌های محیط‌زیستی جاده طراحی شده و جاده موجود

جاده طراحی شده	جاده موجود	عارضه
۰	۱۸۲	عبور از شهر
۰	۲۹۰	عبور از روستا
۱۸	۲۶	عبور از رودخانه
۰	۰	عبور از گسل
۰	۰	شیب >۴۵
۰	۲۰	عبور از راه‌آهن
۳۵	۳۱	طول مسیر (Km)

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

برای تعیین یک کاربری خاص غالباً نیاز است که چندین معیار ارزیابی شود و از آنجایی که در فرآیند مسیریابی، پارامترهای کمی و کیفی مختلفی نقش دارند که عملاً از هم مستقل نبوده و روی هم تأثیر متقابل دارند، لازم است از روش ارزیابی چندمعیاره به عنوان یکی از روش‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در GIS استفاده شد که در این تحقیق با استفاده از قابلیت‌های GIS در ساخت پایگاه داده و انجام تجزیه و تحلیل‌های مختلف روی آن، امکان دخالت تمامی پارامترهای مؤثر در تعیین مسیر بهینه فراهم شد. با توجه به هدف تحقیق در ارتباط با تعیین مسیر بهینه، سعی شد ابتدا با استفاده از قابلیت تجزیه و تحلیل در محیط GIS با استفاده از الگوریتم کم‌ترین هزینه، مسیر بهینه تعیین شد و سپس مسیر طراحی شده با مسیر موجود- همان‌طور که در جدول (۱۰) نشان

داده شده است- از لحاظ میزان رعایت مشخصه‌های محیط‌زیستی مقایسه شد. مقایسه‌ی دو مسیر نشان می‌دهد که هر چند مسیر حاصل از الگوریتم کم‌ترین هزینه، کوتاه‌ترین مسیر ممکن بین دو نقطه از لحاظ فیزیکی نیست، کوتاه‌ترین مسیر را با رعایت مسائل محیط‌زیستی در نظر می‌گیرد. براساس بررسی‌های انجام‌شده مشخص شد که جاده طراحی شده به میزان کم‌تری از موانع نسبی نظیر رودخانه‌ها، نواحی شهری و روستایی عبور می‌کند و از تمامی مناطق حساس محیط‌زیستی دوری می‌کند.در نتیجه هزینه کل که حاصل جمع هزینه لایه‌های مختلف اطلاعاتی است، به‌دلیل رعایتحریم‌ها و کاهش اثرات نامطلوب محیط‌زیستی، کم‌تر است. هم‌چنین با توجه به تمامی مسیرها می‌توان گفت که محدودیت‌ها مخصوصاً پراکنش آن‌ها نقش مهمی را در تعیین مسیر ایفا می‌کند و به‌عبارتی اصلی‌ترین نقش را دارد و محدوده مسیر براساس این عوامل محدودکننده و با در نظر گرفتن کوتاه‌ترین فاصله تعیین می‌شود.

پیشنهادها

از آنجایی که هر منطقه، ویژگی‌های مخصوص به خود را دارد، پیشنهاد می‌شود از روش‌های دیگر نظیر شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک برای مسیریابی استفاده شود و نتایج مورد مقایسه قرار گیرد تا بهترین مسیر براساس پارامترهای محیط‌زیستی در منطقه مشخص و انتخاب گردد و از آنجایی که بیان اثرات به صورت کمی مفیدتر است، پیشنهاد می‌شود اثرات مختلف احداث ساختارها بر محیط‌زیست همچون میزان تأثیر قطعه‌قطعه شدن زیستگاه‌ها به‌صورت کمی محاسبه شود تا درک صحیحی به مدیران و برنامه‌ریزان در استفاده ازروش‌های مسیریابی خودکار به منظور جاده‌سازی دهد.

منابع

۱.ابراهیمی‌پور، احمد؛ عباس علیمحمدی و علی اصغر آل شیخ. ۱۳۸۴. مسیریابی خطوط انتقال آب با استفاده از GIS و الگوریتم ژنتیک. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما دکتر عباس علیمحمدی. دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی.

۲.پرهیزکار، اکبر و عطا غفاری. ۱۳۸۵. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاره. تهران، انتشارات سمت.

۳.سال‌نامه آماری استان گلستان. ۱۳۸۶. انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گلستان.

۴.ستوده، احمد؛ علی‌اصغر درویش صفت و مجید مخدوم. ۱۳۸۱. رعایت اصول محیط‌زیستی در مسیریابی راه‌آهن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: رشت به بندرانزلی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر علی‌اصغر درویش صفت. دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست.

۵.کرم، عبدالامیر. ۱۳۸۴. تحلیل تناسب سرزمین برای توسعه کالبدی در محور شمال غرب شیراز با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاره در محیط GIS، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۴، صص ۹۳-۱۰۶.

۶.مخدوم، مجید. ۱۳۸۴.. شالوده آمایش سرزمین. چاپ ششم. تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

۷.منوری، سید مسعود. ۱۳۸۰. کاربرد ارزیابی سریع اثرات در پروژه‌های توسعه، مجموعه مقالات نخستین همایش بین‌المللی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در ایران، سازمان حفاظت محیط‌زیست، معاونت محیط‌زیست انسانی و برنامه عمران ملل متحد، صص ۵۴-۶۶.

8. Burrough, P.A. 1990. Methods of spatial analysis in GIS. International Journal of geographic information system. 4: 221-223.
9. Collischon, W., and Pillar, J.V. 2000. A direction dependent least cost path algorithm for roads and canals. International Journal of Geographic Information System. 12: 491 -508.
10. Douglas, D.H. 1994. Least Cost Path in GIS using accumulated cost surface and slope line, http//www.hig.se/dds/research. 3: 37–51.
11. Eastman, J.R. 2006. Idrisi Andes guide to GIS and Image processing, Clark University. 328p.

12. Graham, S., and Royce, P. 2001. The use of GIS technology in highway routeselection, http://www.uoguelph.Ca/geography/filetran/geog 4480-w2001/group.
13. Husdal, J. 1999. How to make straight line square. Thesis for the MSc at. University of Leicester.http://www.scribd.com/doc/17311156/Jan--Thesis-MSc-in-GIS. PP:1- 73.
14. Lupien, A.E., Moreland, W.H., and Dangermond, J. 1987. Network analysis in GIS. Photogrammetric Engineering and Remote sensing, 53: 1417-1421.
15. Malczewski, J. 1999. A GIS-based approach to multiple criteria group decision making. International Journal of Geographical Information System. 10(8): 955 -971.
16. Malczewski, J. 2006. Gis and Multi Criteria Decision Analysis: a survey of the literature, international journal of geographical information system 20(7): 703-726.
17. Moffat, T., and Hankard, P. 1998. Strategic ecological assessment of road development. http://www.cis-web.org.uk/downloads/casestudy2.pdf. 9-16p.
18. Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. Mcgraw. New York.
19. Sadek, S., et al. 1999. GIS platform for multi criteria evalution of road alignments. Journal transportation engineering. 125(2): 144–151.
20. 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.
21. Tomlin, D. 1999. Geographic information Systems and Cartographic Modeling, Prentice-Hall Inc., New Jersey, xi-xiv, Pp: 119-122.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی