

تلفیق AHP و سیستم استنتاج فازی به منظور مسیریابی خطوط انتقال برق مطالعه موردی شهرستان کهک

فاطمه سادات رضایی: دانشجوی کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران
علی سرکارگر اردکانی: عضو هیات علمی دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران*

وصول: ۱۳۹۱/۸/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۱۷، صص ۱۶-۱۵۷

چکیده

احداث خطوط انتقال نیرو یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های صنعت برق کشور محسوب می‌گردد که هزینه احداث این خطوط از یک طرف و تأثیرات متقابل عوامل محیطی بر روی این خطوط از طرف دیگر باعث شده است که در مسیریابی این خطوط پارامترهای مختلفی در نظر گرفته شود. کلیه این پارامترها در ارتباط مستقیم با موقعیت مکانی دکل‌ها و تجهیزات خطوط انتقال نیرو است. سیستم اطلاعات جغرافیایی دارای قابلیت‌های مختلفی از جمله امکان اخذ، بازیابی، به‌هنگام‌رسانی، نمایش، پردازش و تجزیه و تحلیل اطلاعات مکان مرجع است؛ بنابراین بستر مناسبی را مهیا می‌سازد که در آن بتوان شرایط و پارامترهای مختلف را به صورت لایه‌های اطلاعاتی تعریف نموده و الگوهای تعریف‌شده توسط کارشناسان مختلف را با هم تلفیق و به نتایج مورد نظر رسید. در همین رابطه ابتدا این پارامترها شناسایی شدند، که شامل شیب، راه اصلی، راه فرعی، راه‌آهن، مناطق ممنوعه، گسل و رودخانه هستند سپس لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر کدام از آنها تهیه گردید. به منظور یافتن مسیر بهینه بین دو نقطه مورد نظر، ابتدا با برنامه نویسی در محیط MATLAB و با استفاده از مدل استنتاج فازی نقاط مناسب جهت نصب دکل و نقشه هزینه تولید گردید. سپس کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه استخراج شد. در این مطالعه عملگرهای مختلف استنتاج فازی، مورد بررسی قرار گرفت؛ و به منظور تلفیق سیستم استنتاج فازی و AHP در سیستم استنتاج فازی به هر کدام از قوانین FIS وزن خاصی اختصاص داده شد؛ و در نهایت، مدل فازی گاما با استفاده از قوانین وزن‌دار با درصد انطباق ۷۰٪ با رعایت مسائل زیست‌محیطی به عنوان مدل بهینه جهت مسیریابی بین دو پست قم و کهک مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی، استنتاج فازی، عملگر فازی گاما، خط انتقال نیرو

۱-مقدمه

وقوع حوادثی طبیعی و مشکلات زیست محیطی و قطعی برق به خاطر شرایط طبیعی و محیطی از طرف دیگر باعث می‌گردد که مسیریابی، طراحی اولیه و تثبیت مسیر خط از اهمیت بالایی برخوردار باشد. در حال حاضر مسیریابی خطوط نیرو در کشور تا حدود

۱-۱- طرح مسأله و بیان اهداف

یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های صنعت برق توسعه و بهینه‌سازی شبکه انتقال نیرو است. هزینه ساخت و نگهداری بالای خطوط انتقال نیرو از یک طرف و

• اردکانی در سال ۱۳۸۸ مسیریابی خط انتقال نیروی شیروان اسفراین را با استفاده از GIS انجام دادند.

• نقیبی در تحقیقی که سال ۱۳۸۲ در دانشگاه تهران تحت عنوان مسیریابی بهینه خطوط لوله نفت و گاز به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) "در زمینه امکان استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات مکانی شبکه‌ای در پیدا کردن بهترین مسیر؛ انجام داد به این نتیجه رسید که استفاده از سیستم اطلاعات مکانی شبکه‌ای و مدلسازی کارتوگرافیکی در مطالعات فاز صفر خط لوله و تعیین مسیرهای اولیه وجود دارد. مقایسه بخشی از مسیر خطوط انتقال گاز اهواز - مارون با مسیر بهینه تعیین شده توسط GIS نشان داد که مسیر تعیین شده نسبت به مسیر احداث شده با در نظر گرفتن ملاحظات فنی و مهندسی و زیست‌محیطی دارای حدود ۲۹ درصد هزینه کمتر است.

۱-۳- فرضیات و اهداف تحقیق

با توجه به موارد ذکر شده، فرضیات این تحقیق را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

۱- تلفیق مدل‌های فازی و AHP می‌تواند مسیر مناسب‌تری را برای خطوط انتقال تعیین نماید.

۲- با استفاده از GIS می‌توان دقت مسیریابی را افزایش و هزینه‌ها را کاهش داد.

- اهداف تحقیق

در این تحقیق سعی شده است اهداف زیر تحقق یابد:

۱- استفاده از مدل AHP و مدل فازی برای افزایش دقت مسیریابی

۲- استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای کاهش زمان و کاهش هزینه‌های مسیریابی به روش‌های سنتی.

زیادی به روش سنتی انجام می‌گیرد. در روش‌های سنتی نمی‌توان دخالت همه‌ی پارامترهای مؤثر در مسیریابی را به راحتی و به طور همزمان اعمال نمود که در این روش بیشتر مطالعات در زمینه پارامترهای الکتریکی خط و نیز مطالعات جزئی در زمینه شرایط طبیعی منطقه انجام می‌گیرد که این بخش هم بیشتر با پیمایش زمینی انجام می‌شود. که علاوه بر وقت گیر بودن نمی‌توان دخالت همه پارامترها را در نظر گرفت در ضمن طولانی شدن مسیر انتقال خط باعث افت ولتاژ در طول مسیر میشود. به لحاظ اینکه فن آوری GIS در حال توسعه است راه‌اندازی و بکار گیری یک شبکه سیستمی جامع و بهینه در زمینه مدیریت منابع و توسعه خدمات برق امری اجتناب‌ناپذیر است. شبکه انتقال نیرو باتوجه به گوناگونی وظایف و فعالیت‌های واگذار شده و به لحاظ این که با طیف وسیعی از اطلاعات که موقعیت مکانی آن‌ها نیز حائز اهمیت است، می‌تواند یکی از موفق‌ترین استفاده‌کنندگان GIS بشمار آید. از طرفی اولین قدم قبل از طراحی و یا ساخت هر خط انتقال، اجرای یک برآورد از مسیر مورد نظر است. باتوجه به مسأله افت توان و افت ولتاژ که تابعی از طول سیم است، مسیر بهینه سبب می‌شود که مقدار کمتری از توان ارسالی به صورت گرما و حرارت در طول خط هدر رود.

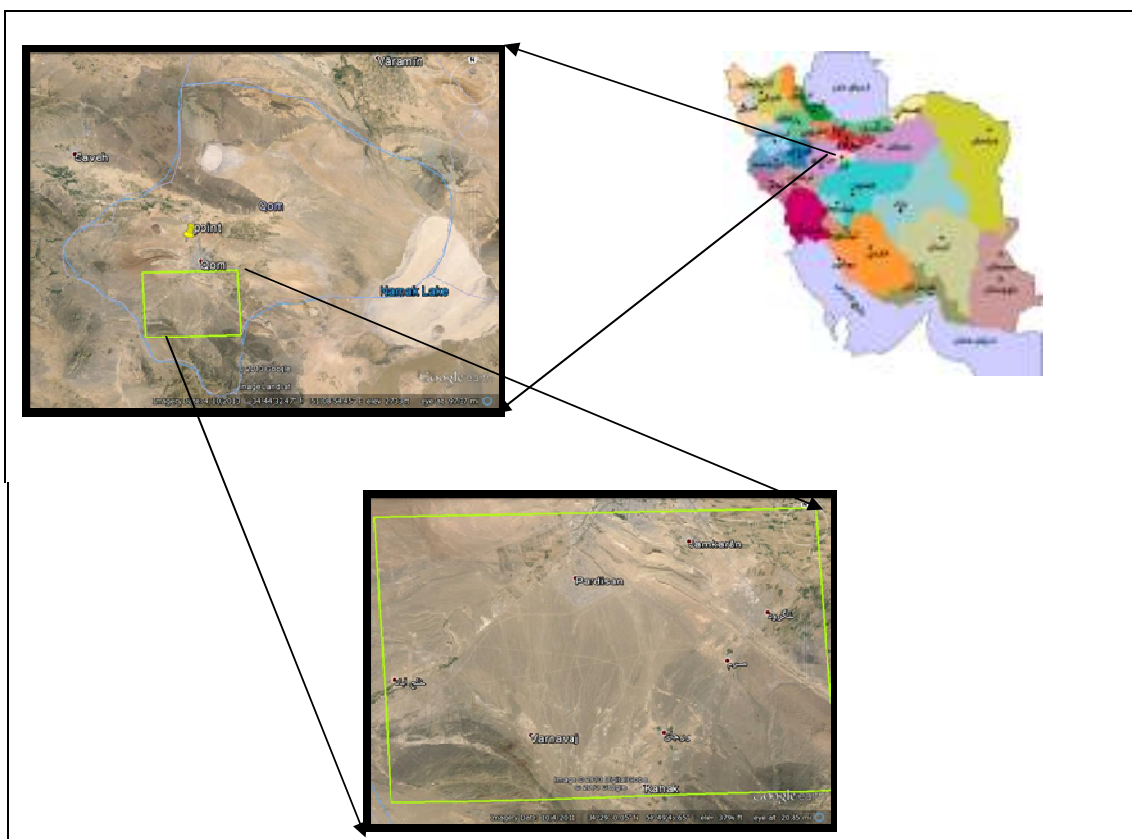
۱-۲- بررسی پیشینه موضوع

طراحی مسیر اعم از جاده، راه آهن، خطوط نفت و گاز، خطوط آب، کابل‌های مخابراتی و غیره بیش از دو دهه است که مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر آن، تحقیقات مختلفی در زمینه استفاده از GIS در مسیریابی بهینه انجام شده است.

۱-۴- محدوده و قلمرو پژوهش

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بین شهر قم و کهک در جنوب استان قم است. حداکثر ارتفاع منطقه ۱۳۹۵ متر و حداقل ارتفاع ۹۳۹ متر است. پست مبدأ بنام قم در فاصله ۳ کیلومتری جنوب قم واقع شده است. پست کهک به عنوان پست مقصد نیز که در فاصله ۱

کیلومتری شمال کهک واقع شده است بین این دو پست یک خط انتقال نیرو به ولتاژ ۱۳۲ کیلوولت احداث شده است. همچنین در فاصله بین دو پست، عوارضی همچون مناطق مسکونی و نظامی، گسل، راه‌های ارتباطی و... وجود دارد. (شکل ۱)



شکل ۱: تصویر ماهواره ای و نقشه منطقه مورد مطالعه

۱-۵- روش شناسی تحقیق

۱-۵-۱- تحلیل داده‌ها

برای تهیه داده‌های مورد نیاز این تحقیق نقشه‌ها و تصاویر زیر مورد استفاده قرار گرفت:

۱- نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مطالعاتی سازمان نقشه برداری کشور

۲- تصاویر ماهواره‌ای Landsat ETM+ سال ۲۰۱۰.

۳- نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی.

همچنین برای انجام این مطالعه از نرم‌افزار ArcGIS9.3، MATLAB، ENVI4.7 استفاده گردید.

۱-۵-۲- تعریف مفاهیم

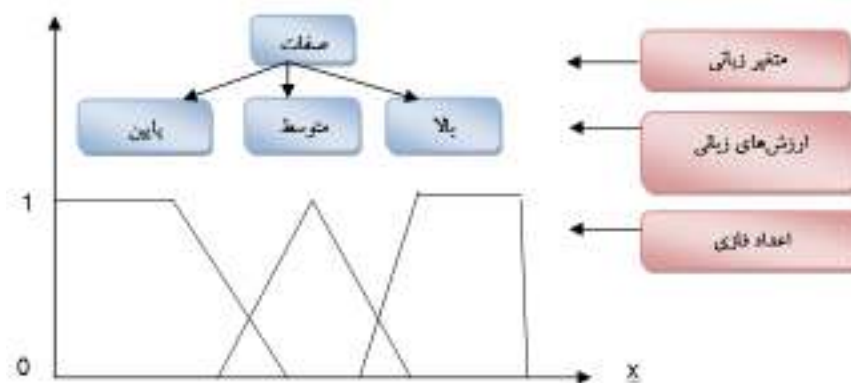
- روش AHP

این روش وزن دهی بخشی از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است که در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی مطرح گردیده است (AHP، یکی از تکنیک-های کارآمد در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره می‌باشد). در روش وزن دهی مقایسه زوجی، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و اهمیت آن‌ها نسبت به یکدیگر تعیین می‌گردد. سپس یک ماتریس ایجاد می‌شود که ورودی آن همان وزن‌های تعیین‌شده و خروجی آن وزن‌های نسبی مربوط به معیارهاست (مالچفسکی، ۱۹۹۹)؛ که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) توضیح داده خواهد شد.

- مجموعه‌های فازی

تئوری مجموعه‌های فازی برای اولین بار توسط پروفیسور لطفی زاده مطرح شد. که در ابتدا به عنوان

روشی برای پردازش اطلاعات معرفی شد که عضوهای یک مجموعه علاوه بر دو حالت قطعی عضو بودن و نبودن، حالت بین این دو را نیز تعریف می‌کردند. در منطق فازی یک متغیر مجموعه‌ای با بی‌نهایت عضو که دارای مقادیری از صفر تا یک هستند تبدیل می‌شود. در این راستا تعریف دو واژه عدد فازی و متغیر زبانی حائز اهمیت است. یک عدد فازی، مجموعه‌ای فازی است که در حوزه اعداد حقیقی تعریف شده است. اعداد فازی اکثراً حالت-هایی از یک متغیر زبانی به حساب می‌آیند. حالت‌ها به واسطه مفاهیم زبانی نظیر: خیلی کوتاه، متوسط، بلند، خیلی بلند، تند، خیلی تند، کوچک، متوسط و... نشان داده می‌شوند. شکل (۲) نمونه‌ای از تبدیل واژه-های زبانی به اعداد فازی را نشان می‌دهد.



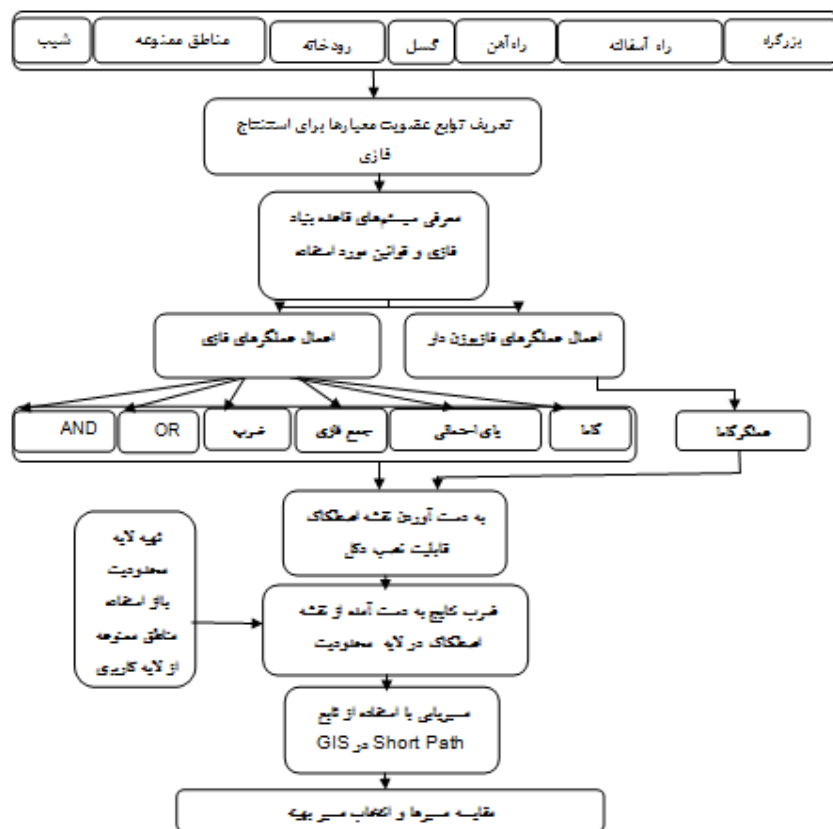
شکل ۲: تبدیل ارزش‌های زبانی به اعداد فازی

۱-۵-۳- الگوی بررسی تحقیق

مسیر طی شده به منظور انجام این مطالعه در نمودار زیر آورده شده است.

برای هر نقشه معیار می‌توان کلاس‌ها و واحدهای مکانی با درجه‌ای از عضویت بین صفر تا یک تعریف نمود. سپس نقشه‌های معیار را به کمک عملگرهای فازی باهم ترکیب کرد. این عملگرها به صورت زیر

هستند



شکل ۳: چارچوب اجرایی تحقیق

در ادامه جزئیات مراحل این تحقیق آورده شده است.

۲- یافته‌های تحقیق

۲-۱- معیارهای تصمیم‌گیری

عموماً انتخاب پارامترهای موثر بر مسیریابی خطوط انتقال نیرو تحت تأثیر طبیعت منطقه مورد مطالعه و استانداردهای سازمان توانیر است. در این مطالعه با توجه به استانداردهای سازمان توانیر و نظر کارشناسی هفت فاکتور شیب، راه‌های اصلی، راه‌های فرعی، راه‌آهن، رودخانه، گسل و مناطق ممنوعه جهت ورود به مدل انتخاب گردید.

۲-۲- آماده‌سازی داده‌ها:

برای اجرای الگوریتم مسیریابی لایه‌های اطلاعاتی زیر آماده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نقشه راه‌های اصلی و فرعی، راه‌آهن، رودخانه از نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده گردید. نقشه شیب از روی مدل رقومی ارتفاع منطقه با اندازه پیکسل ۱۰ متر و نقشه گسل از روی نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ رقومی گردید و در نهایت تصاویر ماهواره ETM(2010) برای تهیه نقشه مناطق ممنوعه (شامل مناطق نظامی، مسکونی و تأسیسات شهری) مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۲- تعریف توابع عضویت

تابع عضویت، میزان فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می‌کند و در واقع تابعی است که میزان فازی درجه عضویت المان‌های مختلف به یک مجموعه را نشان می‌دهد (۱). در این مطالعه ابتدا تابع عضویت پارامترهای مورد نظر با توجه به نظر کارشناسی معرفی شدند.

۴-۲- معرفی سیستم‌های قاعده بنیان فازی

گفتار و زبان عادی مردم، شاید قوی‌ترین شیوه حل یک مسأله یا آوردن یک استدلال در مورد یک وضعیت خاص است. منطق فازی با استفاده از متغیرهای زبانی سعی می‌کند قواعد و قوانین موجود در یک سیستم را که در قالب عبارت‌ها و متغیرهای زبانی بیان می‌گردد به صورت سیستم فازی مدل‌سازی

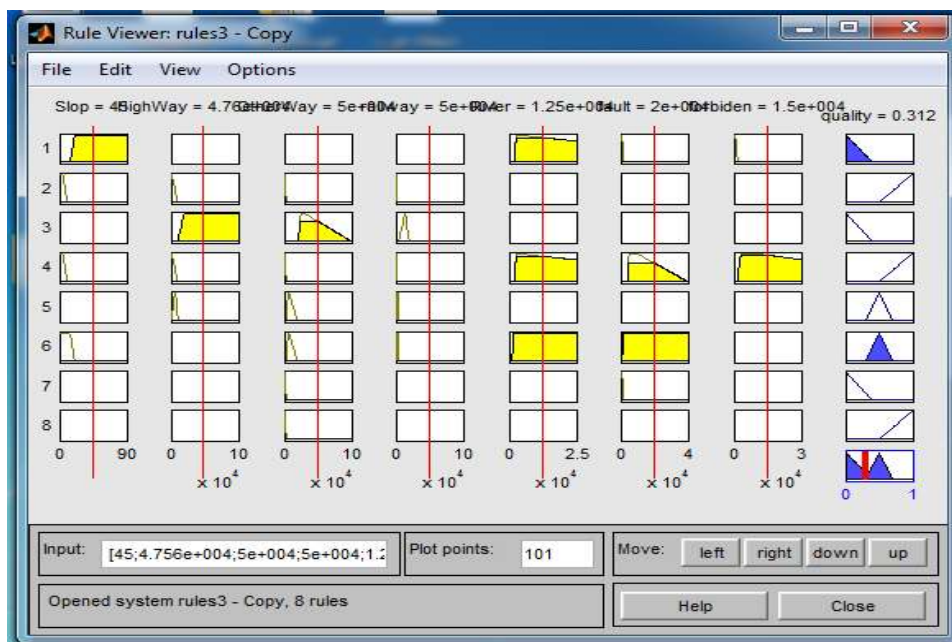
نماید. سیستم‌هایی که به سیستم‌های قاعده - بنیانی معروف هستند کاربردهای زیادی در مسایل مختلف تصمیم‌گیری دارند. این سیستم‌ها از عبارت‌های زبانی با استفاده از بیان دانش و معلومات بشری برای ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌ای یک سیستم استفاده می‌نمایند. برای ارائه عبارت‌های زبانی از عبارت‌های شرطی به صورت قواعد اگر - آنگاه به شکل زیر است. (۱)

(اگر مقدم (فرض) آن گاه تالی (نتیجه))

قوانین بکار رفته به صورت زیر است:

اگر مسیر نزدیک رودخانه یا نزدیک گسل یا مسیر دارای شیب زیاد باشد کیفیت مسیر بد است.

اگر مسیر نزدیک راه آسفالت و دو راز رودخانه و دور از گسل دارای شیب کم باشد کیفیت مسیر عالی است.



شکل ۴: نمایش گرافیکی اعمال عملگرهای استلزام فازی در محیط MATLAB و غیر فازی کردن با روش مرکز سطح

۲-۵- اعمال عملگرهای فازی

در این تحقیق با اعمال عملگرهای فصل (OR) عطف (AND)، ضرب فازی، جمع فازی، یای احتمالی و عملگر گاما در هر یک از قانون‌های تعریف شده به ترکیب لایه‌ها پرداخته و برای هر پیکسل یک مجموعه فازی به دست آمد که با استفاده از روش مرکز سطح این مجموعه فازی به عدد کلاسیک بین صفر تا یک تبدیل شد. این عدد عدم تناسب هر پیکسل را برای عضویت آن به خطوط انتقال نیرو نشان می‌دهد که از صفر به سمت یک این تناسب افزایش می‌یابد.

۲-۶- مسیریابی با استفاده از نقشه اصطکاک در GIS

نقشه اصطکاک نقشه‌ای با فرمت رستری است که در آن هر سلول با توجه به ارزشی که دارد می‌تواند به عنوان مانع‌برابر مسیر به شمار می‌رود (۴). سپس به منظور مسیریابی، ایستگاه‌های مبدأ و مقصد مشخص شدند. در این تحقیق ایستگاه قم به عنوان مبدأ و ایستگاه کهک به عنوان مقصد در نظر گرفته شد. با استفاده از ماتریس به دست آمده از سیستم قاعده بنیاد فازی مربوط به عدم تناسب، جهت عبور مسیر، نقشه هزینه در GIS به دست می‌آید. در مرحله بعد با استفاده از نقاط مبدأ و مقصد و نقشه اصطکاک، نقشه هزینه تجمعی برای هر یک از این عملگرها به صورت تهیه شد و با استفاده از الگوریتم طراحی مسیر در نرم‌افزار ARCGIS پنج مسیر استخراج شد. در زیر مسیرهای استخراج شده همراه با مسیرهای موجود مشاهده می‌گردد. استخراج مسیر با استفاده از اعمال عملگرهای مختلف فازی را در شکل‌های ۵ تا ۱۱ هر سه مسیر را می‌توان مشاهده کرد.

۲-۶-۱- استفاده از عملگر AND فازی

این عملگر مشابه اشتراک در مجموعه‌های کلاسیک است که به پدید آمدن یک تخمین محافظه‌کارانه از عضویت مجموعه‌ای با تمایلی به ایجاد مقادیر کوچک منجر می‌شود. (شکل ۵)

$$\mu_{\text{combinatio}} = \text{MIN}(\mu_A, \mu_B, \dots)_1$$

عملیات AND در مواقعی که دو یا چند قسمت از مدارک و شواهد لازم برای فرضیه باید برای اثبات فرضیه باهم وجود داشته باشند مناسب است (۵).

۲-۶-۲- استفاده از عملگر استلزام فازی OR

این عملگر فازی مشابه اجتماع در مجموعه‌های کلاسیک است

$$\mu_{\text{combinatio}} = \text{MAX}(\mu_A, \mu_B, \dots)_2$$

این رابطه از مقادیر عضویت واحدهای پیکسلی موجود در هر فاکتور در یک موقعیت مشخص برای فاکتورهای مختلف، حداکثر درجه عضویت واحدهای پیکسلی را استخراج نموده و در نقشه‌های نهایی منظور می‌نماید. به دلیل ضعف عملگر اجتماع فازی در اعمال اثر همه فاکتورها در خروجی، این عملگر مورد استفاده قرار نگرفته است (۵) (شکل ۶).

۲-۶-۳- استفاده از عملگر ضرب فازی

عملگر ضرب فازی در یک موقعیت مشخص موجود در فاکتورهای مختلف، درجه عضویت واحدهای پیکسلی را ضرب نموده و در نقشه نهایی منظور می‌نماید. این عملگر زمانی استفاده می‌شود که نقشه معیار اثر کاهشی بر روی هم داشته باشند (۵) (شکل ۷)

$$\mu_{\text{combinatio } n} = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

رابطه ۳

۲-۶-۴- استفاده از عملگر جمع فازی

$$\mu_{combination} = 1 - \left(\prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right)$$

رابطه ۴ عملگر جمع فازی، مکمل عملگر ضرب فازی است. این عملگر زمانی استفاده می‌شود که نقشه‌های معیار اثر افزایشی بر روی هم داشته باشند. از این عملگر، مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی بزرگ شده و به سمت یک میل می‌کند (شکل ۸).

۲-۶-۵- استفاده از عملگر یای احتمالی probabilistic

(OR)

$$= a + b - ab \text{ Probor}(a,b)$$

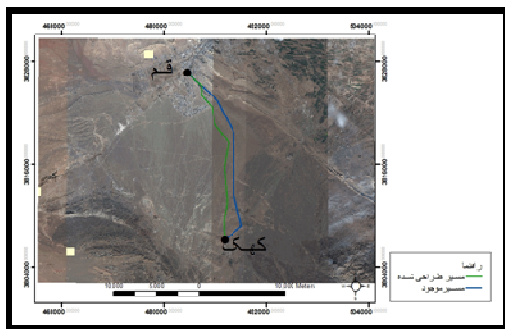
رابطه ۵ به عملگر جمع جبری معروف است که از نرم یای احتمالی برای بدست آوردن نقشه هزینه استفاده شد

۲-۶-۶- استفاده از عملگر گاما

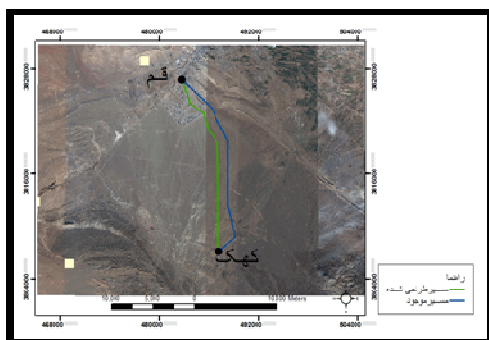
رابطه ۶

$$\mu_{combination} = (FuzzySum)^\gamma \times (FuzzyProduct)^{1-\gamma}$$

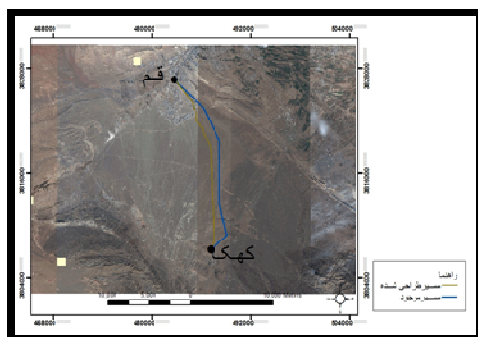
این عملگر حالت کلی عملگر ضربی و جمع‌ی فازی است و زمانی بکار می‌رود که تأثیرات کاهش‌ی و افزایش‌ی در تعامل معیارها وجود داشته باشد (شکل ۱۰).



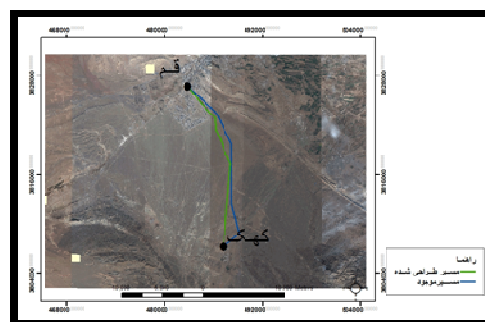
شکل ۶ مقایسه مسیر طراحی شده با عملگر OR فازی با مسیر موجود



شکل ۷ مقایسه مسیر طراحی شده شکل با عملگر ضرب فازی با مسیر موجود.



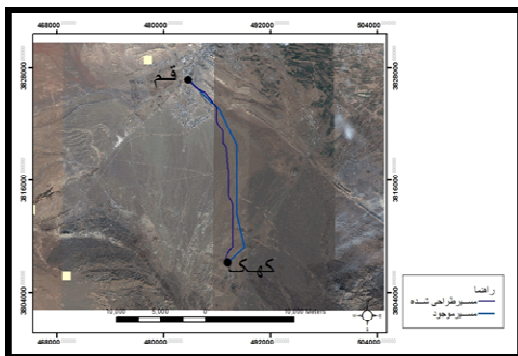
شکل ۸ مسیر طراحی شده توسط عملگر یای احتمالی



شکل ۵ مقایسه مسیر طراحی شده با عملگر AND

فازی با مسیر موجود

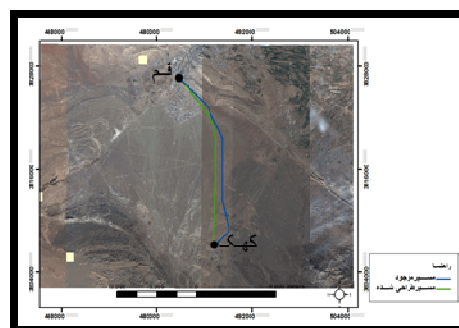
استنتاج فازی مسیری با رعایت تمامی مسائل زیست محیطی استخراج گردید. (شکل ۱۱)



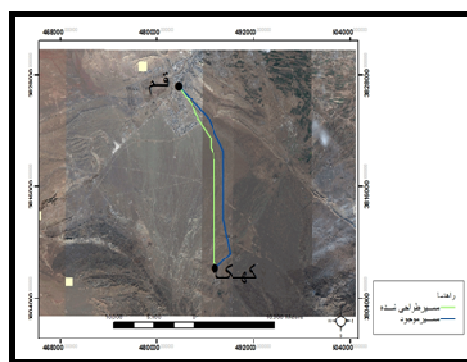
شکل ۱۱: مقایسه مسیر طراحی شده با عملگر گامای فازی با استفاده از قوانین وزن دار با مسیر موجود

۷-۲-۱: مقایسه مسیرها و انتخاب مسیر بهینه

پس از طراحی مسیر در GIS هر مسیر باید از نظر میزان رعایت مشخصه‌های زیست محیطی و رعایت استانداردها و کوتاهی نسبت به سایر مسیرها ارزیابی شود تا بتوان به عنوان مسیر بهینه انتخاب کرد.



شکل ۹ مقایسه مسیر طراحی شده با عملگر جمع فازی با مسیر موجود



شکل ۱۰ مقایسه مسیر طراحی شده با عملگر گامای فازی با مسیر موجود

۷-۶-۲-۱: استفاده از عملگر گاما با وزن دهی به قوانین FIS: در این روش با وزن دهی به قوانین

جدول ۱: مقادیر محاسبه پارامترهای استخراج شده مسیر بر اساس اعمال عملگرهای مختلف برای مسیر بهینه

مدل	طول مسیر (کیلومتر)	در صد انطباق با مسیر موجود	وضعیت
اجتماع فازی	۲۱/۳۱۱	٪۳۵	ضعیف
اشتراک فازی	۲۱/۶۴۴	٪۳۰	ضعیف
ضرب فازی	۲۱/۰۹۹	٪۴۵	خوب
جمع فازی	۲۰/۷۵۰	٪۴۰	متوسط
جمع جبری	۲۱/۲۸۵	٪۵۵	خوب
فازی گاما	۲۱/۷۶۲	٪۶۰	خوب
فازی گاما در قوانین وزن دار	۲۱/۲۱۶	٪۷۰	عالی

توسط مهندسان برق به عنوان گزینه شاخص انتخاب گردید تا بتوان نتایج حاصل را با هم مقایسه کرد.

با توجه به اینکه هدف این تحقیق انتخاب مسیر بهینه خطوط انتقال نیرو است، بر این ۵ مسیر با همدیگر مقایسه شدند. علاوه بر این مسیرها، مسیر طراحی شده

صورت پذیرد انتظار می‌رود که نتایج بهتری حاصل شود.

منابع

کوره‌پزان دزفولی، ا. (۱۳۸۴). اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مسایل مهندسی آب. چاپ دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران

وحیدنیا، م. ح. (۱۳۸۶). سمینار کارشناسی ارشد، تصمیم‌گیری چند معیاره و وزن دهی لایه‌های اطلاعاتی، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

گزارش شناخت سازمانی و نیازمندی‌های کاربران سیستم اطلاعات جغرافیایی صنعت برق، ۱۳۸۴، صفحه ۳۰-۴۰

زرنگ، م. (۱۳۸۷)، "امکان‌سنجی به‌کارگیری GIS در شبکه انتقال نیرو (مطالعه موردی خط انتقال سبزاب حسینییه" پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه GIS دانشگاه شهید چمران اهواز،)

Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis: Evaluation Criteria and Criterion Weighting. John Wiley & Sons, Inc. 392 pp.

Saaty T.L., (1980). The Analytic Hierarchy Process, Mc.Graw-Hill Inc. PP: 112- 142

Wang, F. and Hall, G. B. (1996). Fuzzy representation of geographical boundaries in GIS. International Journal of Geographical Information Science. 10. NO 5. pp: 573-590

در نهایت، مسیری که با استفاده از عملگر گاما در قوانین وزندار به دست آمده بود به توجه به تمام شرایط به عنوان مسیر بهینه انتخاب گردید.

۳- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج و تجربیات حاصل از این تحقیق مشخص شد:

۱- در روش وزن دهی به قوانین روش استنتاج فازی که در واقع تلفیقی از روش‌های AHP و روش فازی بود، به عنوان بهترین روش از نظر کارشناس شناخته شد چرا که بر اساس اهمیت نسبی هر کدام از قوانین انتخاب گردیده بود.

۲- مدل ضرب فازی و مدل جمع جبری بعد از مدل فازی گاما و مدل فازی با استفاده از قوانین وزن دار جواب بهتری نسبت به بقیه مدل‌ها تولید نموده است.

۳- اگر چه این تحقیق در یک منطقه از استان قم به طول ۵/۲۲ کیلومتر صورت گرفته ولی هنگامی که در منطقه وسیع تری مورد استفاده قرار گیرد به طور حتم صرفه‌جویی زیادی در منابع خواهد داشت.

۴- نتایج مدل فازی دارای مدل‌سازی مناسب‌تر و جواب بهتری نسبت به مدل‌های خطی ارائه می‌نماید و این به دلیل وجود ابهام در نظرات کارشناسی و همچنین وابستگی غیرخطی پارامترها در مسیریابی خطوط انتقال نیروست.

۵- اگر مسیریابی خطوط انتقال نیرو با در نظر گرفتن فاکتورهای جدید و میزان نقش آن‌ها در مسیریابی