

صص ۱۵۳-۱۳۱

مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان با استفاده از GIS

مطالعه موردی: حوضه گربایگان، فارس

مرضیه موغلی*

دانشیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷

چکیده

آب‌های زیرزمینی تنها منبع آب در بسیاری از مناطق ایران است. این مسئله سبب محدودیت عمده در توسعه اجتماعی و اقتصادی کشور شده است. سیلاب‌های ویرانگر و کمبود آب، ضرورت استراتژی‌های مناسب برای مهار سیل را ضروری می‌نماید. در این رابطه انتخاب مناطق مناسب برای شارژ مجدد مصنوعی و هدایت جریان سیل به سازندهای نفوذپذیر از جمله راهکارهای مؤثر قلمداد می‌شود. با ترکیب روش‌های GIS و MCDA، مطالعه حاضر به دنبال مناسبترین مناطق برای عملیات شارژ مجدد مصنوعی آب‌های زیرزمینی در حوضه گربایگان ایران است. به همین منظور، داده‌های مربوط به هشت عامل مؤثر در محیط GIS فراهم شد و ضمن تعیین مناطق بالقوه مناسب، سایر مناطق برای شارژ مصنوعی حذف شد. پس از بررسی دقیق مناطق مناسب با استفاده از روش‌های PROMETHEE II-SAW و Fuzzy-AHP، نقشه مناسب بودن زمین برای شارژ مصنوعی آب‌های زیرزمینی ایجاد شد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که مناسبترین مناطق برای شارژ مجدد مصنوعی آب‌های زیرزمینی در واحدهای زمین‌شناسی Quaternary Q_g and Q_{gc} و برای واحدهای ژئومورفولوژیکی در سنگ‌فرش‌ها و مخروط افکنه‌ها با شیب بیش از ۳ درصد است. علاوه بر این، مطابقت قابل توجه بین نقشه تولید شده و مناطق کنترل، دقیقاً در مکان‌هایی که پروژه‌های شارژ آب زیرزمینی مصنوعی با موفقیت انجام شده است، مبین شواهد دیگری در مورد کارایی قابل قبول روش یکپارچه PROMETHEE II-SAW در مقایسه با Fuzzy-AHP در تعیین مکان مناسب مناطق شارژ مصنوعی می‌باشد.

واژگان کلیدی: گسترش سیل؛ مدیریت منابع آب؛ حوضه گربایگان.

مقدمه

در بسیاری از مناطق ایران، آب‌های زیرزمینی تنها منبع آب مورد استفاده محسوب می‌شوند. همین امر به‌عنوان یک محدودیت تاریخی عمده در توسعه اقتصادی و اجتماعی این سرزمین به شمار رفته است. براساس مطالعات اخیر که بر روی توسعه منابع آب در ایران صورت گرفته است از ۴۳۰ میلیارد مترمکعب کل بارندگی سالانه کشور حدود ۲۰ درصد آن به‌صورت سیلاب‌های ناگهانی با ورود به پلایاها و دریاها از دست می‌رود همچنین از نظر شرایط اقلیمی، بخش عمده‌ای

از کشور جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود. از ویژگی‌های این مناطق علاوه بر ناچیز بودن مقدار بارندگی سالانه و توزیع نامناسب بارندگی از نظر زمانی و مکانی، نزول بارش‌هایی با شدت نسبتاً زیاد است که به وقوع سیلاب‌های حجیم و مخرب توأم با خسارات جانی و مالی زیاد منجر می‌گردد. پخش سیلاب بر روی آبخوان‌ها و همچنین تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها به این شیوه، یک استراتژی مناسب جهت مهار سیلاب‌ها، مقابله با کم‌آبی و همچنین یک شیوه مطلوب برای مدیریت منابع آب به شمار می‌رود. امروزه روش‌های متعددی برای تغذیه آب‌های زیرزمینی توسعه یافته‌اند، از جمله این تکنیک‌ها می‌توان به روش تغذیه مستقیم سطحی، مستقیم زیرسطحی یا تکنیک تغذیه غیرمستقیم اشاره کرد. به هر حال، روش تغذیه مستقیم سطحی، یکی از کم‌هزینه‌ترین، ساده‌ترین و گسترده‌ترین تکنیک‌هایی است که برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها بکار گرفته می‌شود. تکنیک تغذیه مستقیم سطحی، که پخش سطحی سیلاب را شامل می‌شود برای مناطق با دسترسی به اراضی مسطح و وسیع و خاک‌هایی با نفوذپذیری بسیار بالا مفید است. بی‌شک در انجام عملیات تغذیه مصنوعی، انتخاب معیارها و روش مناسب برای تعیین مکان‌های برتر دارای اهمیت بالایی می‌باشد. و با توجه به گستردگی و پیچیدگی پارامترهای مؤثر در مکان‌یابی، ضرورت استفاده از دستگاه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تلفیق آن با سایر امور مدیریتی و برنامه‌ریزی مطرح می‌گردد. دستگاه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) که در این پژوهش از آن استفاده می‌شود تلفیقی از علوم کامپیوتری، دستگاه‌های اطلاعات جغرافیایی، علوم مدیریتی و پژوهش در عملیات است تا بتواند به نتایج مناسبی منجر گردد همچنین با توجه به محدودیت‌های روش‌های سنتی، که بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر بوده و اغلب با خطا همراه می‌باشند، استفاده از سنجش از دور، دستگاه‌های اطلاعات جغرافیایی و دستگاه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) با یک رویکرد تلفیقی، می‌تواند نقش مهمی را در فرآیند مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب و مدیریت آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه ایفا نمایند. در زمینه پهنه‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در جهان و ایران با استفاده از سنجش از دور و دستگاه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی پژوهش‌های انجام گرفته است. رضانی مهران (۱۳۹۰) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با به‌کارگیری منطق فازی به ارائه مدلی مناسب جهت مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی پرداخت است و در پژوهش خود با انتخاب دشت شمال و آشکارا به‌عنوان مطالعه موردی معیارهای شیب، هدایت الکتریکی، پتانسیل سیل‌خیزی، زمین‌شناسی، کاربری زمین و عمق آب‌های زیرزمینی جهت انتخاب محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی مورد بررسی قرار داده است. عبدی و قیومیان (۱۳۹۵) پژوهشی را در مورد تعیین محل‌های مناسب برای پخش سیلاب در دشت ابهر زنجان انجام داده‌اند. سلاجقه تزرگی (۱۳۹۷)، جهت بررسی پتانسیل آب‌های زیرزمینی به‌صورت کمی و کیفی با استفاده از GIS و RS از دو مدل ساده وزن دهی استفاده کرده است. در این پژوهش از لایه‌های اطلاعاتی شکل زمین، زمین‌شناسی، گسل‌ها تراکم آبراهه، نقشه شرایط تغذیه، فشردگی مواد و تیپ خاک استفاده شده است و در نهایت مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی و همچنین مناطق مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی را تعیین کرده است. سلطانی (۱۳۹۶) پژوهشی را در مورد ارزیابی اراضی به‌منظور مکان‌یابی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب در محیط GIS، در جنوب ایران انجام داده

است. برای این منظور، از لایه‌های اطلاعاتی شیب، قابلیت اراضی، نفوذپذیری سطحی، واحدهای کواترنر، ضخامت آبرفت و کاربری اراضی استفاده شده است. سپس به لایه‌های اطلاعاتی با توجه به میزان اهمیت هر یک در مکان‌یابی، وزن خاصی داده شده و با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در قالب مدل‌های منطق بولین، هم‌پوشانی شاخص‌ها و منطق فازی و مقایسه نتایج حاصل با عرصه‌های کنترل، نقشه مکان‌های مناسب پخش سیلاب در هر مدل به دست آمده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدل منطق فازی بیشترین همپوشانی با عرصه‌های کنترلی داشته و بهترین مدل تلفیق برای تعیین مکان‌های مناسب پخش سیلاب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

Chenini و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی به منظور نشان دادن توانایی تکنیک‌های GIS در پهنه بندی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی مناطق خشک، در حوضه ماکناسی تونس مرکزی پهنه بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی را با تحلیل داده‌های بارندگی، شدت رواناب حوضه، زمین‌شناسی سطحی و شرایط آبخوان انجام دادند. Ramalingam و Santhakumar (۲۰۱۶) با استفاده از تکنیک‌های GIS و سنجش از دور به بررسی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی در ایالتی در هند پرداخته‌اند. لایه‌های اطلاعاتی مانند ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، خاک، شیب، کاربری زمین، شدت رواناب، عمق آب‌های زیرزمینی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند. تلفیق داده‌ها در محیط GIS انجام گرفته است و آن‌ها به این نتیجه رسیدند که پهنه بندی ایجاد شده توسط GIS بیش از ۹۰٪ قابل قبول بوده است. Choudhury و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های MCDM مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی را در منطقه مدیناپور غربی تعیین نمودند. آن‌ها از معیارهای شیب، قابلیت انتقال، ضریب زهکشی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی استفاده نموده‌اند. نتایج حاصله حاکی از کارایی تکنیک‌های MCDM در تلفیق با GIS در تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی است. در پایان با توجه به مطالعات صورت گرفته و مرور منابع می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که اکثر کارهای انجام گرفته در زمینه تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی با در نظر گرفتن اهمیت نسبی پارامترها و بحث تعدد و پیچیدگی‌های شاخص‌ها و داده‌های جغرافیایی دخیل در امر مکان‌یابی از روش‌های Fuzzy AHP و PROMETHEE II در ترکیب با SAW استفاده می‌گردد. در این پژوهش پارامترهای هیدرودینامیکی سفره‌های آب زیرزمینی از قبیل نفوذپذیری، ضریب ذخیره، نوع و گسترش سفره، مشخصه‌های بافتی و ضخامت رسوبات را مورد بررسی قرار گرفته. در نهایت بر اساس داده‌های ژئوفیزیکی، توپوگرافی و کاربری اراضی و تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط GIS، محل‌های مناسب برای ذخیره سازی آب‌های سطحی و تقویت منابع آب‌های زیرزمینی را اولویت‌بندی شده جهت بررسی پتانسیل آب‌های زیرزمینی به صورت کمی و کیفی با استفاده از GIS و RS از دو مدل ساده وزن دهی استفاده شده است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که جهت بررسی جهت بررسی پتانسیل آب‌های زیرزمینی به صورت کمی و کیفی با استفاده از GIS و RS دارای قابلیت بالایی جهت بررسی کیفی و کمی آب‌های زیرزمینی و تعیین مناطق تغذیه مصنوعی در حوضه مورد پژوهش می‌باشد. نتیجه آنکه بررسی پیشینه پژوهش بیانگر این امر است که در رابطه با مکان‌یابی تغذیه

مصنوعی آبخوان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه مورد مطالعه تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی انجام نگرفته و مدل خاصی ارائه نگشته است. لذا این پژوهش از این جهت یک پژوهش بدیع و اصیل و دارای جنبه نوآوری در ابعاد ذیل است:

- توسعه الگوریتم PROMETHEEII-SAW بر پایه رستر جهت مطالعات مکان‌یابی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی؛
- مقایسه نتایج روش‌های Fuzzy AHP و PROMETHEEII به منظور ارزیابی دقت مدل‌ها؛
- ارائه مدل بهینه مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی در منطقه مطالعاتی به منظور استفاده در مطالعات آتی.

داده‌ها و روش‌ها

تعیین مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان با تکیه بر مطالعات صحرایی، با توجه به حجم زیاد لایه‌های اطلاعاتی و لزوم تلفیق آن‌ها در قالب مدل‌های مختلف نیاز به زمان طولانی دارد. استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، ضمن آنکه در مطالعات مختلف منابع طبیعی و با اهداف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، تهیه و تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعاتی را با دقت و سرعت لازم ممکن می‌سازد. در مدل‌های مرسوم که با استفاده سیستم اطلاعات جغرافیایی به پیدا کردن محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی می‌پردازند عدم قطعیت‌هایی موجود است که دقت مکان‌یابی را کاهش می‌دهند. از آنجا که استفاده از GIS در تلفیق با دستگاه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جدید برای مکان‌یابی علمی با اهمیت محسوب می‌شود هنوز پژوهش کاملی در زمینه افزایش بیشتر دقت در نتایج آن صورت نگرفته است در این مقاله نخست چهارچوب نظری و مفهومی پژوهش بررسی و جایگاه موضوع پژوهش مطالعه شد. سپس در ادامه با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تعیین مناطق مستعد تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب در دشت گربایگان استفاده شد. در تعیین معیارهای مهم برای مکان‌یابی مناطق مستعد پخش سیلاب و برای تعیین اهمیت و وزن معیارها و لایه‌های مؤثر از روش‌های مختلف دستگاه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به کار گرفته شد.

روش فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی فازی باکلی

روش AHP فازی ارائه شده توسط باکلی، شکل تعمیم یافته‌ای از روش AHP کلاسیک می‌باشد. در این روش برای مقایسه زوجی گزینه‌ها از اعداد فازی و برای به دست آوردن وزن‌ها و ارجحیت‌ها از روش میانگین‌گیری هندسی استفاده می‌گردد. چرا که این روش به سادگی به حالت فازی قابل تعمیم می‌باشد. و همچنین جواب یگانه‌ای برای ماتریس مقایسات زوجی تعیین می‌نماید.

عملیات دیفازی سازی اوزان فازی:

در این پژوهش از روش مرکز سطح برای عملیات فازی زدایی استفاده شد. در این روش که رایج ترین روش کمیت فازی به کمیت کلاسیک می باشد از رابطه زیر برای محاسبه Z^* استفاده می شود.

$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{z}}(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_{\tilde{z}}(z) \, dz} \quad (1)$$

که در آن μ علامت انتگرال است.

مروری بر روش PROMETHEE

یکی از روش های نوین نارتبه ای است که برای رتبه بندی مجموعه متناهی از گزینه ها در میان معیارهای غالباً متناقض که باید رتبه بندی شوند، به کار می رود در واقع این مدل طراحی شده است تا مسائل چندمعیاره را حل نماید. (حکمت پور، ۱۳۹۵) اطلاعات مورد نیاز برای این روش به دو دسته تقسیم می شوند:

• وزن یا اطلاعات بین معیارها

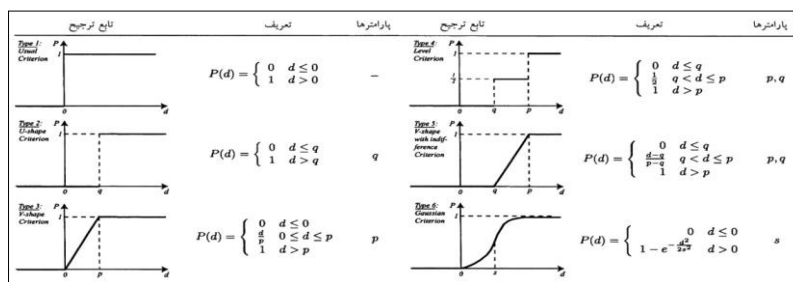
اطلاعات بین معیارها در واقع وزنی است که اهمیت نسبی معیارهای مختلف را نشان می دهد. در روش PROMETHEEII، فرض مدل بر این است که تصمیم گیرنده خود قادر به تعیین وزن هاست. وزن ها اعدادی غیرمنفی بوده و مستقل از واحد اندازه گیری معیارها می باشند از آنجا که می توان وزن ها را به صورت نرمال وارد کرد، پس خواهیم داشت:

$$\sum_{j=1}^k w_j = 1 \quad (2)$$

که w_j وزن مربوط به معیارها و k تعداد معیارها می باشد. وزن دهی به معیارها در این روش ساده نیست بلکه به دانش و تجربه تصمیم گیرنده بستگی دارد. در این پژوهش از وزن های روش Fuzzy-AHP برای وزن دهی به معیارهای تعیین شده استفاده گردید.

• تابع ترجیح یا اطلاعات داخل هر معیار

توابع ترجیح اختلاف مابین دو آلترناتیو را برای یک معیار مشخص به درجه ای از رجحان که از صفر تا یک متغیر است، تبدیل می کنند. برای هر معیار تصمیم گیرندگان باید یک تابع ترجیح انتخاب کنند. توابع ترجیح بی شماری را در این مورد می توان تعریف کرد ولی اغلب از این شش شکل (۱) تابع ترجیح یعنی تابع خطی، تابع گاوسی، تابع معمولی، تابع مسطح، تابع V شکل و تابع U شکل استفاده می گردد.



شکل ۱: تابع ترجیح

مروری بر روش وزنی تجمعی ساده (SAW)

روش SAW یکی از ساده‌ترین و پرکاربردترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است، در این روش امتیاز هر گزینه از طریق تجمیع ارزش‌های آن گزینه در معیارهای مختلف با اعمال وزن هر معیار به دست می‌آید به طوری که وزن‌های نسبی به صورت مستقیم توسط تصمیم‌گیرنده داده می‌شود (Sargaonkar et al. 2010). اولین مرحله روش وزن دهی تجمعی ساده بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی تعریف وزن معیارهاست (Jacek, 1999). مجموع وزن معیارها باید یک باشد، از این رو مطابق معادله (۳)، در هر وزنی مجموع وزن‌ها تقسیم می‌شود تا وزن نرمال شده به دست آید (Ma et al. 1999). در این معادله W'_j وزن نرمال شده معیار j ام، n تعداد معیارها و W_j وزن اولیه هستند. مرحله بعدی وزن دهی به طبقات مختلف تعریف شده در محیط GIS هر معیار است که به طور مستقیم براساس قضاوت‌های کارشناسانه تصمیم‌گیر انجام می‌شود. از آنجا که وزن نهایی هر گزینه از مجموع وزن‌های آن گزینه در معیارهای مختلف به دست می‌آید، وزن طبقات مختلف در هر کدام از معیارها باید بی‌مقیاس باشد. روش‌های متفاوتی برای استانداردسازی وزن‌ها وجود دارد، در این مطالعه از معادله (۴) استفاده شده است که در آن a'_{ij} وزن استاندارد شده طبقه i ام از معیار j ام و a_{ij} وزن اولیه طبقه i ام از معیار j ام است. مرحله نهایی در روش وزن دهی تجمعی ساده تلفیق داده است که امتیاز نهایی هر گزینه مطابق معادله (۵) از حاصل جمع وزن‌های آن گزینه در معیارهای مختلف به نسبت وزن هر معیار به دست می‌آید (Ma et al. 1999). در این معادله A_i وزن نهایی هر گزینه، W'_j وزن نرمال شده معیار j ام و a'_{ij} وزن استاندارد شده طبقه i ام از معیار j ام است. تلفیق داده‌ها در محیط رستر GIS انجام و نتیجه به صورت یک لایه رستری ارائه می‌شود.

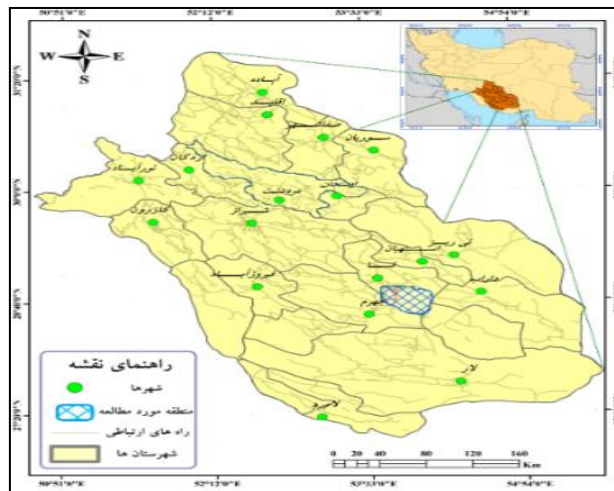
$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_{j \max}} \quad (3)$$

$$A_i = \sum W'_j \times a'_{ij} \quad (4)$$

$$W'_j = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (5)$$

محدوده مورد مطالعه

شهرستان فسا در ۱۴۵ کیلومتری جنوب شیراز واقع در استان فارس می‌باشد. این شهرستان بین ۵۳ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۲۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شهرستان فسا در جنوب شرقی استان فارس و در منطقه‌ای نسبتاً کوهستانی قرار گرفته است. مرکز این شهرستان، شهر فسا است. فقط نواحی جنوب شرقی و شمال غربی تا حدودی مسطح هستند. منطقه گربایگان فسا بین طول‌های شرقی ۵۳° تا ۵۷° و عرض‌های شمالی $۲۸^{\circ}۳۵'$ تا $۲۸^{\circ}۴۱'$ و ارتفاع ۱۱۲۰ تا ۱۱۶۰ متر از سطح دریا در ۱۹۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز بر روی مخروط افکنه‌ای کم عمق تا به نسبت عمیق به وجود آمده است. شکل ۲ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان و کشور نشان می‌دهد. منطقه گربایگان بخشی از ناحیه زاگرس چین خورده در جنوب غربی ایران می‌باشد. که با روند شمال غرب-جنوب شرق به صورت یک کمربند چین خورده کشیده شده است. منابع آب دشت گربایگان شامل منابع سطحی و زیرزمینی می‌باشند. دو خشکه رود بیشه زرد و چاه قوچ منابع سطحی را تشکیل می‌دهند. خشکه رود بیشه زرد با طول حدود ۲۸ کیلومتر وارد مخروط افکنه شده و عمده تغذیه آبخوان، به وسیله سیلاب‌های این خشکه رود است. یکی دیگر از منابع تغذیه آبخوان، خشکه رود چاه قوچ است.

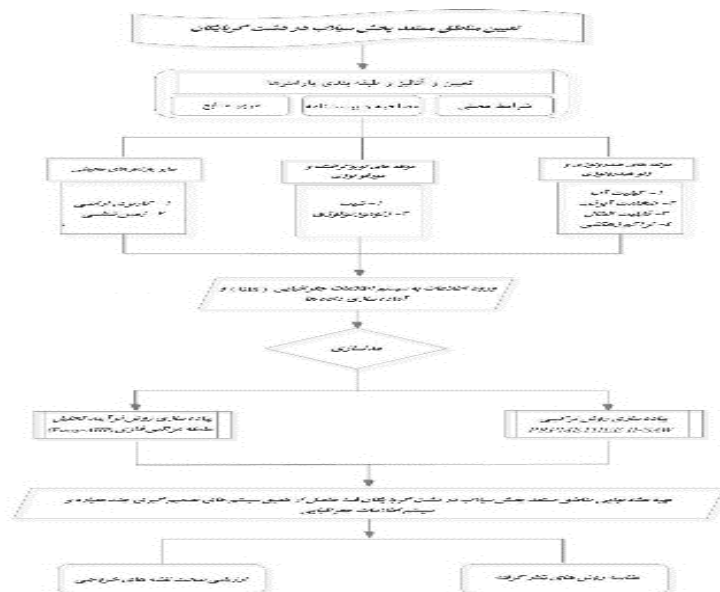


شکل ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان فارس و ایران

بحث و یافته‌ها

مناطق مستعد برای پخش سیلاب و بهره‌برداری از آن دارای خصوصیات ویژه و خاص خود هستند که شناسایی و تفکیک آن‌ها به عوامل متعددی بستگی دارد. انتخاب تمام این عوامل برای انجام یک پژوهش امکان‌پذیر نیست. لذا در پژوهش حاضر، با توجه به مطالعات انجام گرفته در این زمینه، شرایط محلی منطقه و با انگیزه تکمیل پژوهش‌های قبلی پارامترهای شیب، کیفیت آب، زمین‌شناسی، ضخامت آبرفت خشک، کاربری اراضی، قابلیت انتقال، ژئومورفولوژی و تراکم زهکشی

انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از آنجا که در این پژوهش به دلیل اینکه مدل‌سازی و شناسایی مناطق مستعد پخش سیلاب مد نظر می‌باشد، لذا مدل‌ها و دستگاه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در تلفیق با GIS که به‌عنوان اساس مطالعات مکان‌یابی می‌باشند، مبنای کار قرار گرفته و با توجه به این مدل‌ها و مرور منابع، پارامترها و معیارهای تأثیرگذار در این مطالعه انتخاب شده‌اند. با توجه به بحث‌های نظری و روش‌های بکار گرفته شده در این پژوهش به طور خلاصه تحلیل و شناسایی مناطق مستعد با توجه به پارامترهای هیدرولوژی و ژئوهیدرولوژی، توپوگرافی و سایر پارامترهای محیطی در قالب مدل تحلیلی زیر ارائه می‌گردد (شکل ۳). در ادامه به تشریح هر کدام از این معیارها که به نحوی بر پتانسیل هر نقطه برای تغذیه مصنوعی تأثیر می‌گذارند، خواهیم پرداخت:



شکل ۳: مراحل مدل‌سازی و تحلیل

جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها

مجموعه داده‌های ۸ معیار انتخابی برای حوضه گربایگان، از منابع مختلف گردآوری شد. نقشه کاربری اراضی و ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه از طریق طبقه‌بندی تصاویر چند طیفی سال ۲۰۱۷ سنجنده TM ماهواره لندست با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استخراج گردید. در واقع، تهیه نقشه کاربری زمین تهیه شده از نقشه‌های کاربری زمین منتشر شده توسط سازمان جنگل‌ها و مراتع استفاده شد. برای تهیه نقشه شیب و لایه اطلاعاتی زمین‌شناسی، به ترتیب از مدل رقومی ارتفاع مستخرج از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی استفاده گردید. برای تهیه نقشه ضخامت آب‌رفت از نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی که با استفاده از عمق آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری و انطباق نقشه‌های تراز و توپوگرافی تهیه شده بود، استفاده شد. برای این منظور نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی رقومی و سپس درون‌یابی گردید و نقشه ضخامت آب‌رفت از این طریق به دست آمد. برای تهیه نقشه کیفیت آب از اطلاعات EC بیست چاه مشاهده‌ای که در طول یک دوره آماری ۱۰ ساله برداشت شده بودند استفاده شد. بدین منظور نقشه هدایت

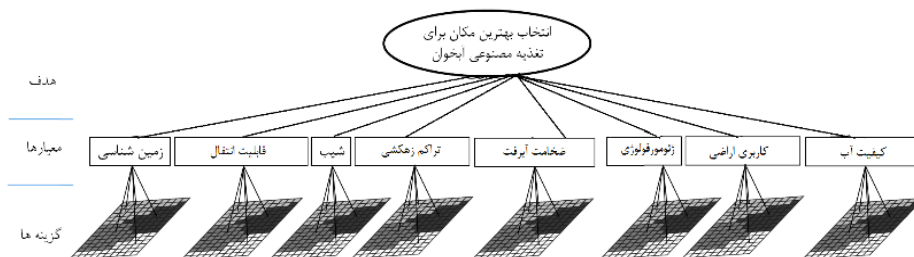
الکتريکی (EC) از طريق درون يابی اطلاعات موجود در محیط GIS به دست آمد. نقشه های موضوعی از طريق نرم افزار ARC GIS رقومی و آنالیز شدند. برای تولید نقشه های موضوعی به شکل رقومی، ابتدا نقشه های کاغذی اسکن شدند. در مرحله بعد، عملیات ژئو رفرنس بر روی نقشه های اسکن شده انجام گرفت. سپس رقومی سازی نقشه های موضوعی تأثیرگذار در مکان یابی پخش سیلاب انجام گرفت. به منظور اجرای روش های PROMETHEE II و Fuzzy AHP همه لایه های معیارها به فرمت رستر با پیکسل سایز ۳۰ متر در ۳۰ متر تبدیل شدند. برای تبدیل لایه های ضخامت آبرفت خشک، کیفیت آب، قابلیت انتقال به فرمت رستر، از روش IDW با استفاده ابزار درون یابی سطحی در نرم افزار ARC GIS استفاده گردید. - اجرای روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy AHP) و GIS جهت شناسایی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی پردازش و تحلیل داده ها در این پژوهش با توجه به پارامترهای شیب، ژئومورفولوژی، زمین شناسی، ضخامت آبرفت، کیفیت آب، قابلیت انتقال، تراکم زهکشی و کاربری اراضی صورت گرفته است. پس از آماده سازی و تهیه لایه های اطلاعاتی بر اساس شکل (۲): برای تعیین وزن معیارها و همچنین کلاس های هر معیار از روش Fuzzy AHP استفاده گردید. محاسبه وزن ها از طریق برنامه نویسی در محیط نرم افزار Matlab انجام گردید. روند کلی برای تعیین وزن معیارهای تأثیرگذار در مکان یابی عرصه های مناسب پخش سیلاب با استفاده از روش Fuzzy AHP در شکل (۴) نشان داده شد.



شکل ۴: روند نمای مورد استفاده برای اجرای روش Fuzzy AHP

برای پیاده سازی روش Fuzzy AHP، ابتدا یک ساختار سلسله مراتبی برای مسأله طراحی و ترسیم می گردد. پس از این مرحله معیارها در هر سطح ساختار سلسله مراتبی با توجه به سطح بالاتر به صورت دوجه دو مقایسه می شوند شکل (۵) از آنجا که در این روش برای انجام مقایسات به طور معمول از دانش متخصصان بهره گرفته می شود، انتخاب متخصصان

از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این‌رو در این پژوهش برای انجام این مقایسات از نظر کارشناسان خبره در این زمینه استفاده گردید.

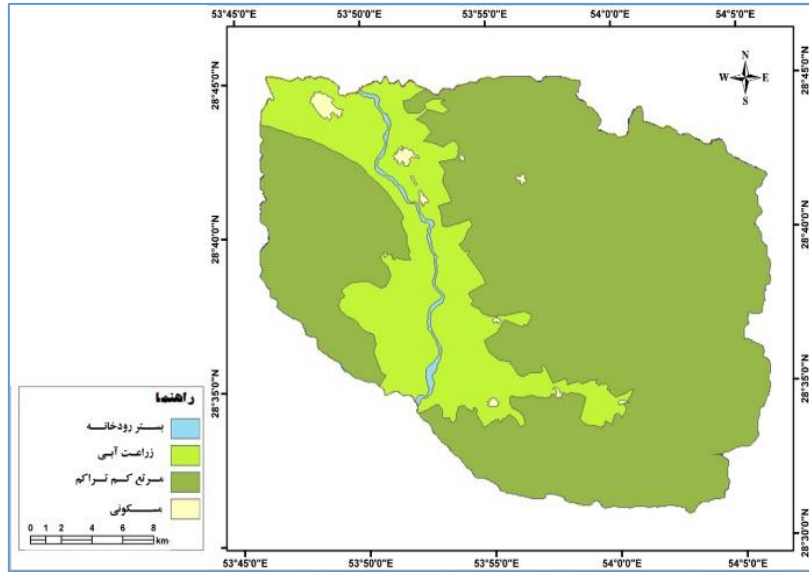


شکل ۵: سلسله مراتب تصمیم در روش تلفیقی GIS و Fuzzy-AHP

لازم به ذکر است که به دلیل فراوانی جداول وزن کلاس‌های هر معیار و تشابه موضوعی این جداول از نمایش همه این جداول خودداری به عمل آمده است. به عنوان نمونه در لایه زمین‌شناسی صرفاً به جدول ماتریس مقایسات زوجی و وزن نهایی دی‌فازی شده آن بسنده شد. در مرحله بعد، اقدام به نرمال‌سازی ماتریس اعداد فازی شد، سپس از میانگین هندسی (براساس روش باکلی) به منظور محاسبه وزن‌ها استفاده گردید. نهایتاً اوزان فازی هر یک از معیارها و زیرمعیارها با استفاده از روش مرکز سطح به یک کمیت کلاسیک تبدیل شدند و به این ترتیب اوزان نهایی (اوزان دی‌فازی سازی شده) آماده به کارگیری در محیط GIS گردید. در گام بعدی، هر یک از لایه‌ها براساس جداول ۱ الی ۱۰ وزن‌های به دست آمده از روش Fuzzy AHP، در محیط GIS پهنه بندی گردید، شکل ۶ تا ۱۵ نقشه‌های وزنی لایه‌های ورودی را نشان می‌دهد.

جدول ۱: ماتریس اعداد فازی نظیر مقایسات زوجی کلاس‌های کاربری اراضی

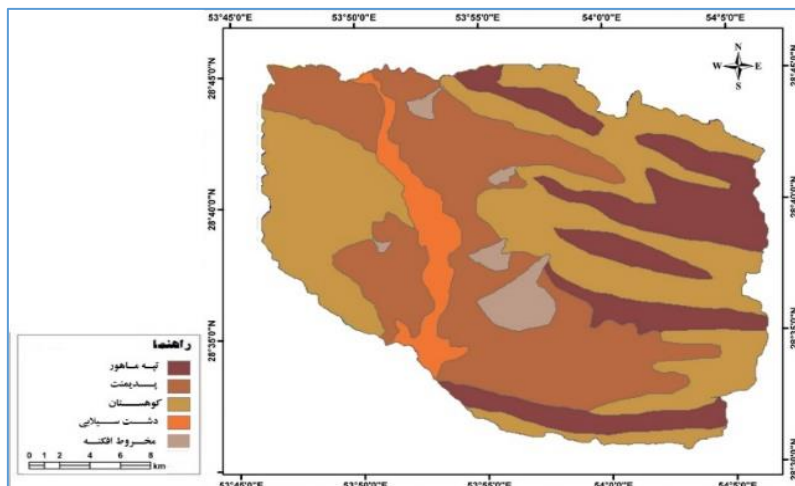
کلاس‌ها	بستر رودخانه	زراعت آبی	مرتع کم تراکم	مسکونی	اوزان فازی	وزن دی‌فازی سازی
بستر رودخانه	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۲، ۳، ۳، ۴)	(۱/۷، ۱/۶، ۱/۵، ۱/۴)	(۱، ۲، ۲، ۳)	(۰/۰۹۷، ۰/۱۵، ۰/۱۷۶، ۰/۲۵۹)	۰/۱۶۵
زراعت آبی	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۳، ۱/۲)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱/۹، ۱/۸، ۱/۷، ۱/۶)	(۱، ۱، ۲، ۳)	(۰/۰۵۴، ۰/۰۶۷، ۰/۰۹۳، ۰/۱۳۴)	۰/۰۸۳۹
مراتع کم تراکم	(۴، ۵، ۶، ۷)	(۶، ۷، ۸، ۹)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۷، ۸، ۹، ۹)	(۰/۴۸، ۰/۶۱۴، ۰/۷۶۶، ۰/۹۶۱)	۰/۶۹۷
مسکونی	(۱/۳، ۱/۲، ۱/۲، ۱)	(۱/۳، ۱/۲، ۱، ۱)	(۱/۹، ۱/۹، ۱/۸، ۱/۷)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۰/۰۴۴، ۰/۰۶۱، ۰/۰۸۴، ۰/۱۲۱)	۰/۰۷۵



شکل ۶: نقشه کاربری اراضی دشت گریبجان

جدول ۲: ماتریس اعداد فازی نظیر کلاسه‌های ژئومورفولوژی

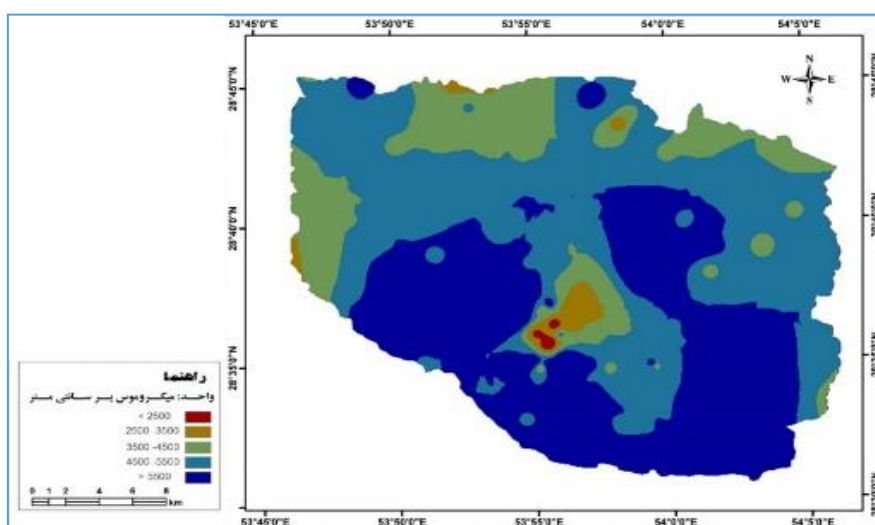
وزن دیفازی	اوزان فازی	کوهستان	تپه ماهور	پدیمنت	دشت سیلابی	مخروطه افکنه	کلاس
۰/۴۵۱	(۰/۲۸۴، ۰/۳۳۳، ۰/۵۱۲، ۰/۶۶۷)	(۴، ۵، ۶، ۷)	(۴، ۵، ۵، ۶)	(۲، ۲، ۳، ۴)	(۳، ۴، ۵، ۵)	(۱، ۱، ۱، ۱)	مخروط افکنه
۰/۳۰۶	(۰/۲۰۳، ۰/۲۶۱، ۰/۳۴۲، ۰/۴۴)	(۶، ۷، ۸، ۹)	(۵، ۶، ۶، ۷)	(۳، ۴، ۵، ۵)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱/۵، ۱/۵، ۱/۴، ۱/۳)	دشت سیلابی
۰/۱۶۲	(۰/۰۹۹، ۰/۱۲۹، ۰/۱۸۸، ۰/۲۴۷)	(۵، ۵، ۶، ۷)	(۲، ۳، ۴، ۵)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱/۵، ۱/۵، ۱/۴، ۱/۳)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۲، ۱/۲)	پدیمنت
۰/۰۷۲۶	(۰/۰۴۵، ۰/۰۶۲، ۰/۰۸۱، ۰/۱۰۹)	(۳، ۳، ۴، ۴)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱/۵، ۱/۴، ۱/۳، ۱/۲)	(۱/۷، ۱/۶، ۱/۶، ۱/۵)	(۱/۶، ۱/۵، ۱/۵، ۱/۴)	تپه ماهور
۰/۰۳۸۵	(۰/۰۲۵، ۰/۰۳۱، ۰/۰۴۳، ۰/۰۵۸)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱/۴، ۱/۴، ۱/۳، ۱/۲)	(۱/۷، ۱/۶، ۱/۵، ۱/۵)	(۱/۹، ۱/۸، ۱/۷، ۱/۶)	(۱/۷، ۱/۶، ۱/۵، ۱/۴)	کوهستان



شکل ۷: نقشه ژئومورفولوژی دشت گریباگان

جدول ۳: ماتریس اعداد فازی نظیر کلاسه‌های کیفیت آب

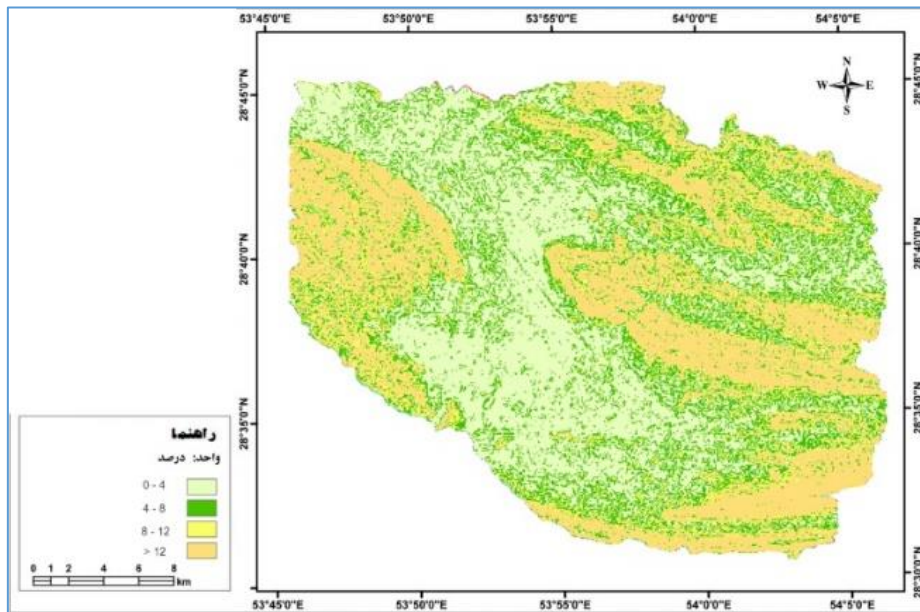
وزن دیفازی	اوزان فازی	> ۵۵۰۰	۵۵۰۰-۴۵۰۰	۴۵۰۰-۳۵۰۰	۳۵۰۰-۲۵۰۰	۲۵۰۰ >	کلاس
۰/۵۰۱۸	(۰/۳۱۷, ۰/۴۱۸, ۰/۵۶, ۰/۷۶۳)	(۷, ۸, ۹)	(۵, ۶, ۷, ۸)	(۳, ۴, ۵, ۶)	(۲, ۳, ۴)	(۱, ۱, ۱)	۲۵۰۰ >
۰/۲۸۰۲	(۰/۱۶۵, ۰/۳۴۲, ۰/۳۱۲, ۰/۴۱۷)	(۴, ۵, ۶)	(۴, ۵, ۶, ۷)	(۲, ۳, ۴)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱/۲)	۲۵۰۰-۳۵۰۰
۰/۱۴۰۲	(۰/۰۸۲, ۰/۱۲۱, ۰/۱۵۲, ۰/۲۳۶)	(۳, ۴, ۵, ۶)	(۲, ۳, ۴)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱/۲)	(۱/۶, ۱/۵, ۱/۴, ۱/۳)	۴۵۰۰-۳۵۰۰
۰/۰۶۷	(۰/۰۴۲, ۰/۰۵۵, ۰/۰۷۳, ۰/۱۰۸)	(۲, ۳, ۴)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱/۲)	(۱/۷, ۱/۶, ۱/۵, ۱/۴)	(۱/۸, ۱/۷, ۱/۶, ۱/۵)	۵۵۰۰-۴۵۰۰
۰/۰۴۱۴	(۰/۰۲۶, ۰/۰۳۵, ۰/۰۴۶, ۰/۰۶۱)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱/۲)	(۱/۶, ۱/۵, ۱/۴, ۱/۳)	(۱/۶, ۱/۵, ۱/۵, ۱/۴)	(۱/۹, ۱/۸, ۱/۸, ۱/۷)	> ۵۵۰۰



شکل ۸: نقشه کیفیت آب (EC) دشت گریباگان

جدول ۴: ماتریس اعداد فازی نظیر کلاسه‌های شیب

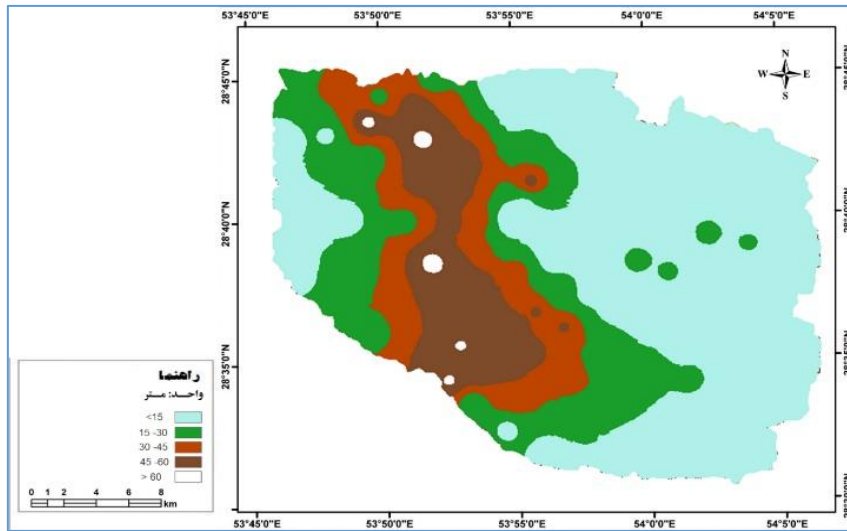
وزن دیفازی	اوزان فازی	> ۱۴	۱۲-۸	۸-۴	۴-۰	کلاس
۰/۵۵۵	(۰/۳۰۷، ۰/۴۷۴، ۰/۶۱۴، ۰/۸۹۸)	(۶، ۶، ۷، ۸)	(۴، ۵، ۵، ۶)	(۱، ۲، ۳، ۴)	(۱، ۱، ۱، ۱)	۴-۰
۰/۲۹۵	(۰/۱۶۵، ۰/۲۵۴، ۰/۳۱۷، ۰/۵۳۴)	(۴، ۵، ۵، ۶)	(۲، ۳، ۳، ۴)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۲، ۱)	۸-۴
۰/۱۱۸	(۰/۰۶۲، ۰/۱۰۲، ۰/۱۲۸، ۰/۲۰۳)	(۱، ۲، ۳، ۴)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۲، ۱/۲)	(۱/۶، ۱/۵، ۱/۵، ۱/۴)	۱۲-۸
۰/۰۶۲	(۰/۰۴، ۰/۰۵۵، ۰/۰۶۶، ۰/۱۰۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۲، ۱)	(۱/۶، ۱/۵، ۱/۵، ۱/۴)	(۱/۶، ۱/۶، ۱/۷، ۱/۸)	> ۱۲



شکل ۹: نقشه شیب دشت گربایگان

جدول ۵: ماتریس اعداد فازی نظیر طبقات ضخامت آبرفت

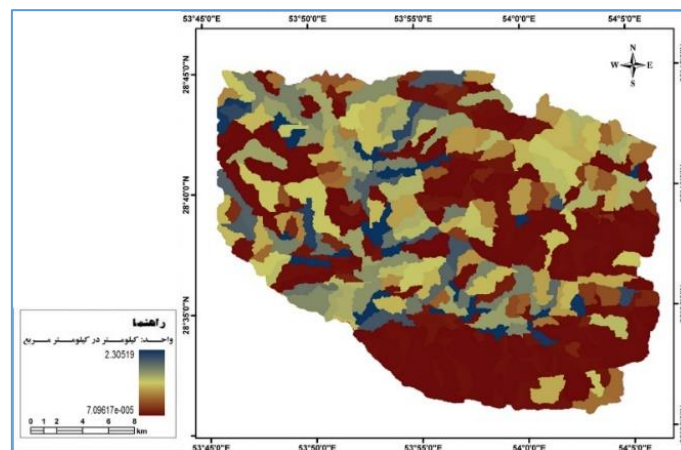
وزن دیفازی	اوزان فازی	> ۶۰	۴۵-۶۰	۳۰-۴۵	۲۰-۳۰	۰-۱۵	کلاس
۰/۰۴۳	(۰/۰۲۴، ۰/۰۳۳، ۰/۰۴۹، ۰/۰۷۷)	(۱/۹، ۱/۸، ۱/۷، ۱/۷)	(۱/۸، ۱/۷، ۱/۶، ۱/۵)	(۱/۵، ۱/۴، ۱/۳، ۱/۲)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۲، ۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)	۱۵-۰
۰/۰۰۶	(۰/۰۳۳، ۰/۰۴۹، ۰/۰۶۸، ۰/۰۹۷)	(۱/۹، ۱/۸، ۱/۷، ۱/۶)	(۱/۷، ۱/۶، ۱/۵، ۱/۵)	(۱/۵، ۱/۴، ۱/۳، ۱/۳)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱، ۲، ۳، ۴)	۱۵-۳۰
۰/۱۱۶	(۰/۰۸۵، ۰/۱۳۳، ۰/۱۷۹، ۰/۲۹۹)	(۱/۴، ۱/۴، ۱/۳، ۱/۲)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۲، ۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۳، ۴، ۴، ۵)	(۲، ۳، ۴، ۵)	۳۰-۴۵
۰/۲۷۱۸	(۰/۱۴۴، ۰/۲۱۱، ۰/۳۱۱، ۰/۴۶۴)	(۱/۵، ۱/۴، ۱/۳، ۱/۲)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱، ۲، ۳، ۴)	(۵، ۵، ۶، ۷)	(۵، ۶، ۷، ۸)	۴۵-۶۰
۰/۵۱۳	(۰/۲۹۱، ۰/۴۱۶، ۰/۵۹، ۰/۷۹۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۲، ۳، ۴، ۵)	(۲، ۳، ۴، ۴)	(۶، ۷، ۸، ۹)	(۷، ۷، ۸، ۹)	> ۶۰



شکل ۱۰: نقشه ضخامت آبرفت دشت گریباگان

جدول ۶: ماتریس اعداد فازی نظیر طبقات تراکم زهکشی

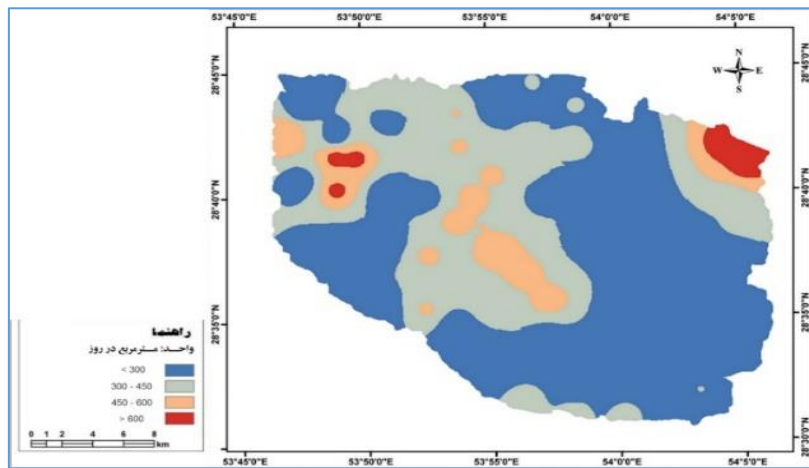
وزن دیفازی	اوزان دیفازی	$> 1/5$	$1-1/5$	$+ / 1-5$	$+ - + / 5$	کلاس
۰/۵۶۷	(۰/۳۴۵، ۰/۵، ۰/۶۱۵، ۰/۸۶۹)	(۶، ۷، ۸، ۹)	(۳، ۴، ۵، ۶)	(۲، ۳، ۴)	(۱، ۱، ۱)	$+ - + / 5$
۰/۲۸۵	(۰/۱۷۷، ۰/۲۴۷، ۰/۳۱۳، ۰/۴۳۸)	(۵، ۶، ۷)	(۲، ۳، ۴)	(۱، ۱، ۱)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۲)	$+ / 5 - 1$
۰/۱۱۷	(۰/۰۶۳، ۰/۰۹۳، ۰/۱۳۱، ۰/۲۰۵)	(۱، ۲، ۳، ۴)	(۱، ۱، ۱)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۲)	(۱/۶، ۱/۵، ۱/۴، ۱/۳)	$1-1/5$
۰/۰۵۸	(۰/۰۳۵، ۰/۰۴۷، ۰/۰۶۴، ۰/۰۹۷)	(۱، ۱، ۱)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۲، ۱)	(۱/۷، ۱/۶، ۱/۵، ۱/۵)	(۱/۹، ۱/۸، ۱/۷، ۱/۶)	$> 1/5$



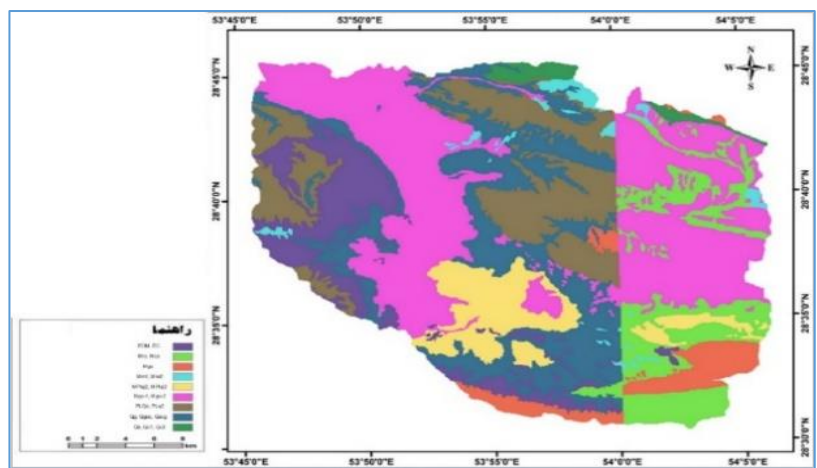
شکل ۱۱: نقشه تراکم زهکشی دشت گریباگان

جدول ۷: ماتریس اعداد فازی نظیر طبقات قابلیت انتقال

وزن دیفازی	اوزان فازی	> ۶۰۰	۴۵۰ - ۶۰۰	۳۰۰ - ۴۵۰	+ - ۳۰۰	کلاس
۰/۰۵۹۴	(۰/۰۳۸، ۰/۰۵۳، ۰/۰۶۳، ۰/۰۹۰)	(۱/۸، ۱/۷، ۱/۶، ۱/۶)	(۱/۶، ۱/۵، ۱/۴، ۱/۳)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۳، ۱/۲)	(۱، ۱، ۱، ۱)	۳۰۰ - +
۰/۱۱۷	(۰/۰۷۳، ۰/۱۰۶، ۰/۱۲۳، ۰/۱۸۶)	(۱/۶، ۱/۵، ۱/۵، ۱/۴)	(۱/۵، ۱/۴، ۱/۳، ۱/۲)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۲، ۳، ۳، ۴)	۴۵۰ - ۳۰۰
۰/۲۷۴	(۰/۱۵۹، ۰/۲۴۳، ۰/۲۹۶، ۰/۴۳۵)	(۱/۴، ۱/۳، ۱/۳، ۱/۲)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۲، ۳، ۴، ۵)	(۳، ۴، ۵، ۶)	۴۵۰ - ۶۰۰
۰/۵۶۴	(۰/۳۷۹، ۰/۵۲۹، ۰/۵۸۹، ۰/۸۲۴)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۲، ۳، ۳، ۴)	(۴، ۵، ۵، ۶)	(۶، ۶، ۷، ۸)	> ۶۰۰



شکل ۱۲: نقشه قابلیت انتقال دشت گریایگان



شکل ۱۳: نقشه زمین‌شناسی دشت گریایگان

جدول ۸: ماتریس مقایسه زوجی معیارها

ضخامت آبرفت	کیفیت آب‌های زیرزمینی	کاربری اراضی	قابلیت انتقال	شیب	تراکم زهکشی	زمین‌شناسی	ژئومورفولوژی	
L۲	L۲-L۳	L۳-۴	۲-L۳	L۱/۲	۱/۳- L۱/۲	L۱/۳- L۱/۲	۱	ژئومورفولوژی
L۳-۴	L۲	L۴-۵	L۲-L۳	L۳-۲	L۳	۱	L۲-L۳	زمین‌شناسی
L۴	۱- L۲	L۳-۲	L۲-L۳	L۱/۱-۲	۱	L۱/۳	L۳-۲	تراکم زهکشی
L۳	L۲-L۳	L۳-L۴	L۲	۱	۱- L۲	۱/۳-L۱/۲	L۲	شیب
L۲	L۳-۲	L۳-۴	۱	L۱/۲	L۱/۳- L۱/۲	L۱/۳- L۱/۲	L۱/۳- ۱/۲	قابلیت انتقال
L۱/۱-۳/۲	L۱/۳-L۱/۲	۱	۱/۴- L۱/۳	L۱/۴- L۱/۳	۱/۳-L۱/۲	۱/۵-L۱/۴	۱/۴-L۱/۳	کاربری اراضی
L۱/۱-۲	۱	L۲-L۳	۱/۳- L۱/۲	L۱/۳- L۱/۲	L۱/۱-۲	L۱/۲	L۱/۳-L۱/۲	کیفیت آب‌های زیرزمینی
۱	۱-L۲	۲-L۳	L۱/۲	L۱/۳	L۱/۴	۱/۴-L۱/۳	L۱/۲	ضخامت آبرفت

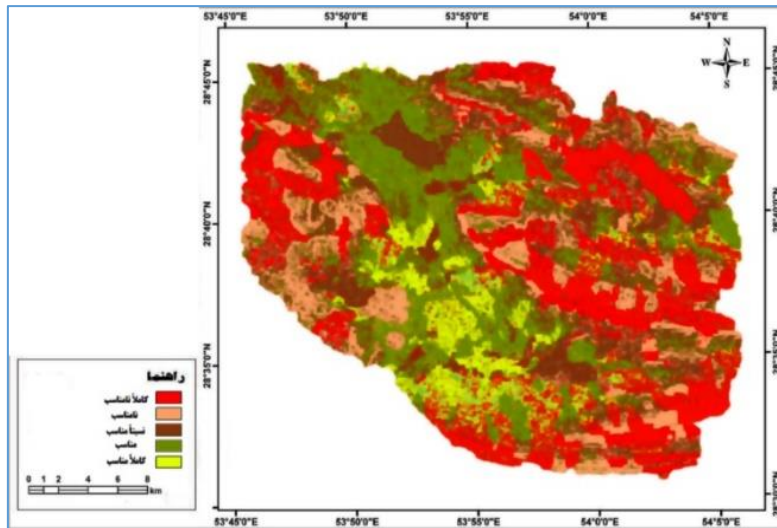
جدول ۹: جدول اعداد فازی به همراه وزن‌های نهایی استخراج شده

وزن نهایی	اوزان فازی	ضخامت آبرفت	کیفیت آب‌های زیرزمینی	کاربری اراضی	قابلیت انتقال	شیب	تراکم زهکشی	زمین‌شناسی	ژئومورفولوژی	
-۱/۱۳۴	(-۰/۰۵۴, -۰/۰۹۸, -۰/۱۵۳, -۰/۲۳۵)	(۱, ۲, ۳, ۴)	(۱, ۲, ۳, ۴)	(۲, ۳, ۴)	(۲, ۳, ۴)	(۱/۳, ۱/۲, ۱/۲, ۱)	(۱/۳, ۱/۳, ۱/۲, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱)	(۱, ۱, ۱, ۱)	ژئومورفولوژی
-۰/۲۸۳	(-۰/۰۹۷, -۰/۲۰۹, -۰/۳۳۲, -۰/۵۶)	(۲, ۳, ۴, ۵)	(۱, ۲, ۳, ۴)	(۳, ۴, ۵, ۵)	(۱, ۲, ۳, ۴)	(۱, ۲, ۳, ۳)	(۲, ۳, ۳, ۴)	(۱, ۱, ۱, ۱)	(۱, ۲, ۳, ۴)	زمین‌شناسی
-۰/۱۷۲	(-۰/۰۶, -۰/۱۱۷, -۰/۲۰۶, -۰/۳۵)	(۳, ۴, ۴, ۵)	(۱, ۱, ۲, ۳)	(۱, ۲, ۳, ۳)	(۱, ۲, ۳, ۴)	(۱/۳, ۱/۲, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۱, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۳, ۱/۲)	(۱, ۲, ۳, ۳)	تراکم زهکشی
-۰/۱۹۸	(-۰/۰۷۴, -۰/۱۴۱, -۰/۲۲۵, -۰/۴۵۴)	(۲, ۳, ۳, ۴)	(۱, ۲, ۳, ۴)	(۲, ۳, ۴, ۵)	(۱, ۲, ۲, ۳)	(۱, ۱, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۲, ۳)	(۱/۳, ۱/۳, ۱/۲, ۱)	(۱, ۲, ۲, ۳)	شیب
-۰/۱۱۱	(-۰/۰۴, -۰/۰۷۸, -۰/۱۲۷, -۰/۲۴۹)	(۱, ۲, ۳, ۳)	(۱, ۲, ۳, ۳)	(۲, ۳, ۴, ۴)	(۱, ۱, ۱, ۱)	(۱/۳, ۱/۲, ۱/۲, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱/۲)	قابلیت انتقال
-۰/۰۴۶۱	(-۰/۰۲۱, -۰/۰۳۱, -۰/۰۵۲, -۰/۱۰۷)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱/۲)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱)	(۱, ۱, ۱, ۱)	(۱/۴, ۱/۴, ۱/۳, ۱/۲)	(۱/۵, ۱/۴, ۱/۳, ۱/۲)	(۱/۳, ۱/۳, ۱/۲, ۱)	(۱/۵, ۱/۵, ۱/۴, ۱/۳)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱/۲)	کاربری اراضی
-۰/۰۸۴۲	(-۰/۰۲۹, -۰/۰۵۲, -۰/۰۹۸, -۰/۲۰۷)	(۱/۳, ۱/۲, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۱, ۱)	(۱, ۲, ۳, ۴)	(۱/۳, ۱/۳, ۱/۲, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱)	(۱/۳, ۱/۲, ۱, ۱)	(۱/۳, ۱/۲, ۱/۲, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۲, ۱)	کیفیت آب‌های زیرزمینی
-۰/۰۷۳۶	(-۰/۰۲۴, -۰/۰۵۳, -۰/۰۸۱, -۰/۱۷۴)	(۱, ۱, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۲, ۳)	(۲, ۳, ۳, ۴)	(۱/۳, ۱/۲, ۱/۲, ۱)	(۱/۴, ۱/۳, ۱/۳, ۱/۲)	(۱/۵, ۱/۴, ۱/۴, ۱/۳)	(۱/۴, ۱/۴, ۱/۳, ۱/۲)	(۱/۳, ۱/۲, ۱/۲, ۱)	ضخامت آبرفت

پس از تهیه نقشه نهایی، برای دست پیدا کردن به نتایج بهتر با استفاده از روش‌های شکست طبیعی^۲ کل منطقه به پنج کلاس از کاملاً مناسب تا کاملاً نامناسب تقسیم‌بندی شد. که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود. این روش برای تعیین بهترین آرایش ارزش‌ها به طبقات مختلف طراحی شده است. این روش به دنبال به حداقل رساندن انحراف متوسط هر

2- Natural Breaks

طبقه از طبقه میانگین و به حداکثر رساندن انحراف هر کلاس از میانگین گروه‌های دیگر انجام می‌شود. به عبارت دیگر، این روش طبقه‌بندی داده به دنبال کاهش واریانس در کلاس‌ها و به حداکثر رساندن واریانس بین طبقات است. شکل ۱۴ اولویت‌بندی بخش‌های مختلف منطقه مطالعاتی را از نظر پخش سیلاب نشان می‌دهد.



شکل ۱۴: نقشه نهایی پهنه بندی مناطق مستعد پخش سیلاب

بر پایه شکل ۱۴ زون بندی نهایی، از مجموع کل مساحت دشت گریگان، حدود ۲۴/۳۵۵ کیلومتر مربع کاملاً مناسب، ۱۱۲/۶۷ کیلومتر مربع مناسب، ۱۷۳/۵۴ کیلومتر مربع نسبتاً مناسب، ۱۹۴/۱۸ کیلومتر مربع نامناسب و ۲۰۹/۷۳ کیلومتر مربع کاملاً نامناسب جهت عملیات پخش سیلاب تعیین گردید. در جدول ۱۰ مساحت این پنج کلاس برحسب کیلومتر مربع و درصد نشان داده شده است. نتایج پژوهش بر پایه مدل Fuzzy-AHP، نشان می‌دهد که بیشتر مناطق کاملاً مناسب و مناسب برای تغذیه مصنوعی از نظر ژئومورفولوژیکی، کاربری اراضی و زمین‌شناسی به ترتیب در مناطق مخروط‌افکنه‌ای و پدیمتی، مراتع کم تراکم و در واحدهای کواترنری Q_{gsc} ، Q_b و Q_g قرار گرفته‌اند. دلایل آن می‌تواند قرارگیری این واحدها در حواشی آبراهه‌ها و در شیب‌های کم، تشکیل شدن این واحدها از آهک، سیلت، ماسه و گراول و نیز نفوذپذیری خوب این واحدها تلقی گردد.

جدول ۱۰: جدول مساحت کلاس‌ها از کاملاً مناسب تا نامناسب (بر حسب کیلومتر مربع و درصد)

کلاس‌ها	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)
کاملاً مناسب	۲۴/۳۵۵	۳/۴۰۸
مناسب	۱۱۲/۶۷	۱۵/۷۷
نسبتاً مناسب	۱۷۳/۵۴	۲۴/۲۹
نامناسب	۱۹۴/۱۸	۲۷/۱۷
کاملاً نامناسب	۲۰۹/۷۳	۲۹/۳۵
جمع	۷۱۴/۴۷۵	۱۰۰

اجرا و پیاده‌سازی روش PROMETHEE II- SAW برای تعیین مناطق مستعد تغذیه مصنوعی

- تعیین پارامترهای ضروری برای روش PROMETHEE II

یکی از مهم‌ترین پارامترها جهت پیاده‌سازی این روش، تعیین وزن معیارهاست. در پژوهش حاضر برای تعیین وزن‌های هر یک از عوامل تأثیرگذار در امر مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب از روش SAW استفاده گردید. در واقع مرحله‌ای که دو روش PROMETHEE II و SAW را به هم پیوند می‌دهد، مرحله وزن دهی به معیارها است.

جدول ۱۱: وزن‌های نهایی معیارهای هشتگانه اصلی حاصله از روش SAW

معیارها	وزن	وزن نرمال شده
ژئومورفولوژی	۶	۰/۱۳۳۳
زمین‌شناسی	۱۰	۰/۲۲۲۲
تراکم زهکشی	۸	۰/۱۷۷۷
شیب	۷	۰/۱۵۵۵
قابلیت انتقال	۵	۰/۱۱۱۱
کاربری اراضی	۲	۰/۰۴۴۴
کیفیت آب‌های زیرزمینی	۴	۰/۰۸۸۸
ضخامت آبرفت	۳	۰/۰۶۶۶

همچنین در این مطالعه سایر پارامترهای موردنیاز برای اجرای مدل، از جمله برخی معیارها از نظر نوع اثر معیار، دارای اثر کمینه (شیب، کیفیت آب‌های زیرزمینی و تراکم زهکشی) و برخی دیگر دارای اثر بیشینه (ژئومورفولوژی، قابلیت انتقال، کاربری اراضی، زمین‌شناسی و ضخامت آبرفت) می‌باشند. از نظر نوع تابع ترجیح، بر استفاده از تابع گاوسی برای کاربردهای عملی مخصوصاً برای داده‌های پیوسته تأکید داشتند. بر همین اساس، در این مطالعه برای داده‌های پیوسته از تابع ترجیح گاوسی استفاده گردید. برای داده‌های گسسته نیز تابع ترجیح U شکل بکار گرفته شد. به‌منظور تعیین وزن هریک از معیارها، از روش SAW استفاده گردید که در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود. بعلاوه برحسب تابع ترجیح انتخابی، مقادیر آستانه برای هر یک از معیارها بر پایه اختلاف بین مقادیر حداکثر و حداقل مشخص شد.

جدول ۱۲: پارامترهای ضروری برای معیارها در روش PROMETHEE II

نام معیار	نوع اثر معیار	نوع تابع ترجیح	واحد	پارامتر S	P
شیب	Minimize	Gaussian	درصد	۳۳.۶۸	-
کیفیت آب‌های زیرزمینی (EC)	Minimize	Gaussian	میکروموس بر سانتیمتر	۳۰۲۷.۶۷	-
زمین‌شناسی	Maximize	U-shape	-	-	۳
ضخامت آبرفت	Maximize	Gaussian	متر	۵۳.۲۶	-
کاربری اراضی	Maximize	U-shape	-	-	۱
قابلیت انتقال	Maximize	Gaussian	متر مربع در روز	۵۴۴.۹۳	-
تراکم زهکشی	Minimize	Gaussian	کیلومتر در کیلومتر مربع	۱.۳۳	-
ژئومورفولوژی	Maximize	U-shape	-	-	۳

- تعیین مناطق مناسب برای عملیات تغذیه مصنوعی با استفاده از روش PROMETHEE II

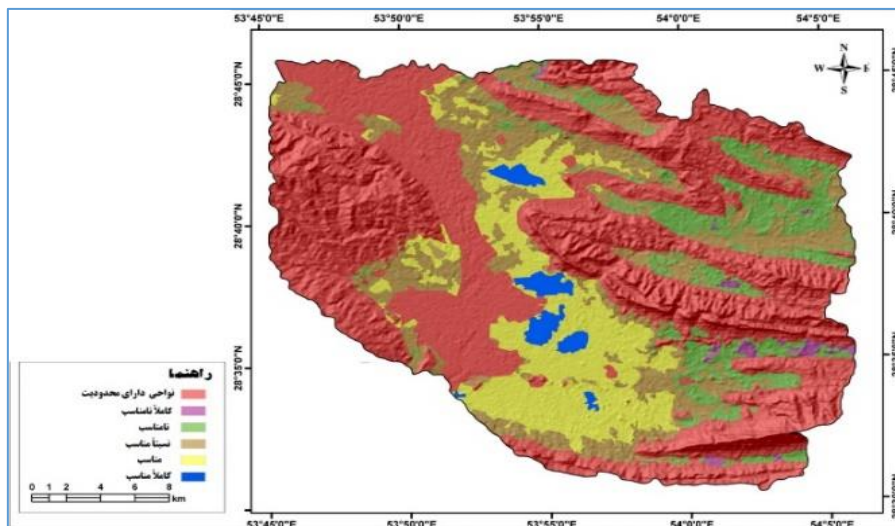
پردازش و تحلیل داده‌ها در این پژوهش با توجه به پارامترهای شیب، کیفیت آب‌های زیرزمینی، زمین‌شناسی، ضخامت آبرفت، کاربری اراضی، قابلیت انتقال، ژئومورفولوژی و تراکم زهکشی که در جدول ۱۲ صورت گرفته است. پس از آماده‌سازی و تهیه لایه‌های اطلاعاتی بر اساس روند نما^۳، برای پیاده‌سازی روش PROMETHEE II، ابتدا ۸ لایه اطلاعاتی مذکور به صورت رستری وارد محیط GIS شده و تحلیل‌های مکانی^۴ اولیه بر روی آن‌ها انجام گرفت. سپس مناطق دارای محدودیت که در نقشه محدودیت آماده گشته بود، حذف گردیدند. در گام بعد، مقادیر پیکسل‌های مجموعه داده‌های رستری مرتبط با معیارهای مکان‌یابی پخش سیلاب، استخراج شدند و در ۸ فیلد (Field) جداگانه‌ای در پایگاه داده ذخیره گردیدند. گرچه، برای پیاده‌سازی روش PROMETHEE II برخی از نرم‌افزارها می‌توانند (مانند Decision Lab و غیره) بکار گرفته شوند، در این مطالعه به منظور پیاده‌سازی از نرم‌افزار D-sight، استفاده گردید. سپس پایگاه داده وارد محیط نرم‌افزار D-sight گردید. در مرحله بعد، اطلاعات ضروری روش PROMETHEE II مانند نوع اثر معیار، نوع تابع ترجیح، پارامترهای مورد نیاز برای تابع ترجیح و وزن‌های مربوط به معیارها که در جداول آمده است، تعیین شد. سپس، مقادیر جریان خالص نارته‌ای برای هر آلترناتیو (هر پیکسل مجموعه داده‌های رستری) محاسبه شد. در نهایت، مقادیر جریان خالص نارته‌ای به مجموعه داده رستری تبدیل شد که در واقع همان نقشه تناسب اراضی^۶ حاصل از روش PROMETHEE II می‌باشد. نقشه تناسب اراضی، به ۵ کلاس با محدوده عددی برابر از کاملاً مناسب تا کاملاً نامناسب طبقه‌بندی گردید. نقشه نهایی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

³Flow chart

⁴Spatial

⁵Database

⁶land suitability



شکل ۱۵: نقشه نهایی حاصل از روش ترکیبی PROMETHEEII- SAW

بر پایه نقشه زون‌بندی نهایی، از مجموع کل مساحت دشت گریگان، حدود ۱۳/۱۱ کیلومتر مربع کاملاً مناسب، حدود ۹۹/۴۹۴ کیلومتر مربع مناسب، حدود ۱۱۴/۷۶۳ کیلومتر مربع نسبتاً مناسب، حدود ۶۴/۲۷۴ کیلومتر مربع نامناسب و حدود ۶/۳۶۱ کیلومتر مربع کاملاً نامناسب جهت عملیات پخش سیلاب تعیین گردید. در جدول ۱۳ مساحت این پنج کلاس بر حسب کیلومتر مربع و درصد نشان داده شده است. نتایج حاصله از روش ترکیبی PROMETHEEII- SAW همانند روش Fuzzy-AHP نشان می‌دهد که بیشتر مناطق کاملاً مناسب و مناسب برای پخش سیلاب از نظر ژئومورفولوژیکی، کاربری اراضی و زمین‌شناسی به ترتیب در واحدهای مخروط و پدیمتی، مراتع کم تراکم و در واحدهای کواترنری Qgsc و Qg قرار گرفته‌اند. همچنین مکان‌های کاملاً مناسب جهت پخش سیلاب در نقشه نهایی با موقعیت ایستگاه پخش سیلاب کوثر تا حد زیادی انطباق و هماهنگی دارد و دارای ویژگی‌های خاص جهت پخش سیلاب می‌باشد.

جدول ۱۳: جدول مساحت‌های کلاسه‌ها از کاملاً نامناسب تا کاملاً مناسب در روش PROMETHEE II

روش PROMETHEE II- SAW		کلاس‌ها
مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	
۵۸/۲۹	۴۱۶/۴۷۳	لایه محدودیت
۱/۸۳۴	۱۳/۱۱	کاملاً مناسب
۱۳/۹۲۵	۹۹/۴۹۴	مناسب
۱۶/۰۶۲	۱۱۴/۷۶۳	نسبتاً مناسب
۸/۹۹۵	۶۴/۲۷۴	نامناسب
۰/۱۸۹	۶/۳۶۱	کاملاً نامناسب
۱۰۰	۷۱۴/۴۷۵	جمع

به منظور بررسی کارایی روش تلفیقی PROMETHEEII-SAW و Fuzzy-AHP در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، نقشه نهایی پهنه بندی مناطق کاملاً مناسب پخش سیلاب با عرصه‌های کنترلی که عملیات پخش سیلاب در آن‌ها با موفقیت اجرا شده، منطبق که نتایج حاکی از کارایی قابل قبول مدل می‌باشد. علاوه بر این، نتایج حاصل از این روش با استفاده از کنترل زمینی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت که حاکی از برآورده شدن تمامی معیارهای انتخابی در نواحی کاملاً مناسب و رضایت بخش بودن به کارگیری روش‌های MCDM در تلفیق با GIS در امر مکان‌یابی عرصه‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها می‌باشد. در مطالعه حاضر بیشتر مناطق مستعد پخش سیلاب در واحدهای کواترنری که بیشتر به آن اشاره شد، قرار گرفته‌اند، این نتایج نیز که حدود ۴۰ درصد از سطح مورد مطالعه که برای عملیات پخش سیلاب مناسب بودند را در عرصه‌های کواترنری مکان‌یابی کرد، هماهنگی دارد. از نظر شیب نیز در شیب‌های کمتر از ۳ درصد که با نتایج عرصه‌های مناسب پخش سیلاب را کمتر از ۳ درصد مناسب تشخیص دادند منطبق است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش هشت معیار شیب، هدایت الکتریکی آب (کیفیت آب)، قابلیت انتقال، ژئومورفولوژی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، تراکم زهکشی و ضخامت آبرفت به‌عنوان معیارهای مؤثر در انتخاب محل تغذیه مصنوعی آبخوان مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس قضاوت کارشناسی معیار زمین‌شناسی بالاترین درجه اهمیت و معیار کاربری اراضی کم‌ترین درجه اهمیت را به خود اختصاص داد. در انجام مطالعات مشابه باید با توجه به خصوصیات منطقه درجه اهمیت مناسبی برای معیارهای مختلف انتخاب نمود. توصیه می‌شود در مطالعات آتی از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی برای انتخاب اهمیت معیارها استفاده شود. از آنجا که پژوهش به دنبال ارائه مدلی مناسب برای مطالعات مکان‌یابی است ابتدا مدل‌های مرسوم مکان‌یابی تغذیه مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از مبانی نظری مدل‌های پیشنهادی جهت افزایش دقت در مدل‌های مکان‌یابی مرسوم، از روش‌های Fuzzy AHP، PROMETHEE II پیشنهاد و ارزیابی شده است. نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش Fuzzy AHP و بازدید میدانی در منطقه گربایگان، نشان می‌دهد که با به‌کارگیری تحلیل سلسله مراتبی فازی می‌توان فرآیند مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی را بهتر انجام داد و به نتایج دقیق‌تری دست یافت. زیرا روش Fuzzy AHP مسئله عدم قطعیت و عدم دقت در مرحله تصمیم‌گیری را که بسیاری از روش‌ها چون AHP، ANP و ... با آن روبه‌رو هستند را تا حد زیادی مرتفع ساخته است. نتایج حاصل از روش PROMETHEE II-SAW در منطقه گربایگان نشان می‌دهد که با استفاده از آن می‌توان عملیات شناسایی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی را با توجه به معیارها و طبقات تشکیل‌دهنده نقشه‌های پایه می‌توان این امر را تا حد زیادی نزدیک‌تر به واقعیت مدل‌سازی نمود و لذا با توجه به منطبق به کار رفته در این روش، به نظر می‌رسد که اعتمادپذیری این روش نسبت به سایر روش‌ها بیشتر باشد. بنابراین با توجه به وابستگی‌های مسائل محیطی (از جمله موضوع مورد بحث) استفاده از این روش تلفیقی پشتیبانی‌های لازم را برای تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان در حل مسائل مدیریت آب به عمل می‌آورد

تا بتوانند درک عمیق‌تری از مسائل محیطی به دست آورند. از این‌رو این مطالعه می‌تواند به‌عنوان گامی برای پژوهش‌های آتی جهت کاربرد بیشتر و استفاده عملی از آن در دیگر کارهای مکان‌یابی در تلفیق با GIS باشد. با استفاده از تجربه این پژوهش در به‌کارگیری تلفیقی روش‌های MCDM و دستگاه‌های اطلاعات جغرافیایی به مدیران و برنامه‌ریزان حوزه‌های مدیریت منابع آب، این پیشنهاد ارائه می‌گردد: که به‌منظور افزایش کارایی و غنا بخشیدن به مطالعات کاربردی در زمینه انتخاب عرصه‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی و سایر پژوهش‌های مکان‌یابی پیشنهاد می‌گردد که از روش‌های جدید دستگاه‌های تصمیم‌گیری از جمله Neural Network, ELECTERE, Grey System Theory, Fuzzy Logic و ... استفاده گردد. امید است با ایجاد دیدگاهی مبتنی بر توجه به محیط‌زیست و لزوم اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی با تأکید بر مدل‌سازی ریاضی در سطوح مختلف شاهد بهبود وضع کنونی کشور باشیم.

منابع

- ۱- حکمت پور، م.؛ فیض‌نیا، س.؛ احمدی، ح.؛ خلیل‌پور، ا.، (۱۳۹۵): پهنه‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی در دشت ورامین به کمک GIS و سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS)، مجله محیط‌شناسی، شماره ۴۲، ۸-۱.
- ۲- رضانی‌مهریان، م.، (۱۳۹۰): ارائه مدلی مناسب جهت مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و منطق فازی (مطالعه موردی: دشت شمال و آشکارا، هرمزگان)، پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته "برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست"، دانشگاه تهران.
- ۳- سلاجقه‌تزرگی، ع. (۱۳۹۷): مدل‌سازی هیدرولوژیکی دشت زنجان با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۴- سلطانی، م. (۱۳۹۶): ارزیابی اراضی به‌منظور مکان‌یابی عرصه‌های مستعد اجرای عملیات پخش سیلاب در محیط GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیر توسی.
- ۵- عبدی و قیومیان (۱۳۹۵): اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مسائل آب، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

- 6- Chenini, I., Ben Mammou, A., & El May, M., (2013): Groundwater Recharge Zone Mapping Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis: A Case Study In Central Tunisia (Maknassy Basin). *Water Resources Management*, 24(5), 921-939.
- 7- Chowdhury, A., K. Jha, M., Chowdary, V.M., (2018): Delineation Of Groundwater Recharge Zones And Identification Of Artificial Recharge Sites In West Medinipur District, West Bengal, Using RS & GIS And MCDM Techniques. *Environmental Earth Science*, Volume 59, Pp. 1209–1222.
- 8- Jacek, (1999): Oak Ridge Regional Modeling Information System, Part 1. ORNL-NSF-EP-73, Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.

- 9- Ma Et Al. (1999): Strategic Development And SWOT Analysis At The University Of Warwick, European Journal Of Operational Research, Volume 152, Pp.631-640.
- 10- Ramalingam, M., & Santhakumar, A., (2016): Case Study On Artificial Recharge Using Remote Sensing And GIS. GIS Development, From Www.Gisdevelopment.Net
- 11- Sargaonkar, A., Rathi, B., & Baile, A., (2010): Identifying Potential Sites For Artificial Groundwater Recharge In Sub-Watershed Of River Kanhan, India. Environmental Earth Sciences, 1-10.