

کاربرد مدل تلفیقی AHP/FUZZY در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی (مطالعه موردی: دشت بوشکان استان بوشهر)

امیر صفاری^۱

مریم جان احمدی^۲

منیره رعیتی شوازی^۳

چکیده

امروزه تخلیه آب‌های زیرزمینی و عدم جایگزین شدن این منابع یکی از بزرگ‌ترین مشکلاتی است که جوامع بشری با آن روبرو هستند. در دشت بوشکان استفاده گسترده از زمین‌های کشاورزی باعث افت سطح آب زیرزمینی شده است. یکی از راهکارهای مناسب برای کاهش این بحران، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی است. بدین منظور مهم‌ترین قدم در طرح پخش سیلاب، مکان‌یابی مناطق مستعد برای پخش آب و نفوذ دادن آن به داخل سفره‌های آب زیرزمینی است. در این تحقیق نیز از تلفیق روش‌های AHP و فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و از ۸ پارامتر شیب، ضخامت آبرفت، هدایت الکتریکی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم زهکشی، قابلیت انتقال و ارتفاع استفاده شده است. لایه‌های مذکور در ابتدا فازی شدند و سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نرم افزار Expert Choice ارزش‌گذاری شده و سپس ارزش‌های به‌دست آمده در محیط ARC GIS 10/2 با استفاده از Raster calculator در لایه‌های فازی شده ضرب و با دستور Fuzzy overlay لایه‌ها تلفیق و نقشه‌های نهایی تهیه شدند، نتایج حاصله نشان می‌دهد که گامای ۰/۹ بهترین همپوشانی را دارد و در نهایت گامای بهینه به پنج طبقه کاملاً مناسب، مناسب، متوسط، نامناسب و کاملاً نامناسب در سطح دشت مشخص شد. که ۷/۱۱ درصد از محدوده مورد مطالعه در کلاس کاملاً نامناسب و ۱۱/۱ درصد از محدوده در کلاس کاملاً مناسب قرار می‌گیرد. در قسمت جنوب غربی دشت، مراتع کم‌تراکم مکان‌های کاملاً مناسب جهت پخش سیلاب می‌باشند.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی؛ پخش سیلاب؛ تغذیه مصنوعی؛ AHP /Fuzzy؛ دشت بوشکان

مقدمه

با توجه به این که بخش مهمی از کشور ما در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است و هر ساله سیلاب‌های مخرب که از ویژگی‌های مناطق خشک است در آن اتفاق می‌افتد و باعث خسارات جانی و مالی فراوانی می‌شود. از این رو مدیریت سیلاب‌ها حائز اهمیت است. از طرف دیگر توسعه کشاورزی باعث افزایش بهره‌برداری از سفره‌های آب‌های زیرزمینی و افت شدید و تخلیه آنها در اکثر دشت‌های کشور شده است، به طوری که بسیاری از دشت‌های کشور جزء دشت‌های ممنوعه قرار گرفته‌اند و در بسیاری از دشت‌ها به‌خصوص در ایران مرکزی باعث فرونشست زمین و شور شدن آب چاه‌ها و در نهایت تخریب اراضی کشاورزی شده است. به همین منظور استفاده به‌جا و به‌هنگام از سیلاب‌ها و به‌کارگیری روش پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی علاوه بر آبدار کردن آبخوان‌ها، کاهش زیان‌های سیل و حفاظت خاک را نیز به‌دنبال دارد (کوثر، ۱۳۷۴: ۹۸).

در این پژوهش مکان‌یابی پخش سیلاب با تأکید بر روش منطق فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در GIS مورد نظر است. توانایی GIS در ذخیره اطلاعات، تجزیه و تحلیل آنها، انجام محاسبات مورد نیاز و نمایش آنها به‌صورت نقشه‌های دقیق، جداول و نمودارها در مدت زمان کوتاه، آن را در جایگاه ویژه‌ای قرار داده است (آرنوف، ۱۹۹۶: ۳۱۳). در زمینه پخش سیلاب با روش‌های مختلف در سطح جهانی و داخلی، پژوهش‌های زیادی انجام شده که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

در پژوهشی اقدام به مکان‌یابی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب با استفاده از GIS در زیرحوضه آبخیز سمل از حوضه آبخیز اهرم بوشهر کرده‌اند (آل‌شیخ و همکاران، ۱۳۸۱: ۲۲). در پژوهشی شناخت مناطق مستعد برای گسترش سیلاب با روش کاربرد مدل‌های مفهومی با استفاده از مدل‌های منطق بولین، مدل شاخص هم‌پوشانی و مدل فازی در سطح ۶ شهرستان از استان خراسان رضوی را انجام دادند (دادرسی سبزواری و خسروشاهی، ۱۳۸۷: ۲۲۷). در تحقیقی با استفاده از شاخص‌های هم‌پوشانی نقشه‌ها و منطق بولین و فازی در محیط GIS به بررسی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب در حوضه آبخیز پشتکوه پرداخته‌اند (معروفی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱). فرجی سبکبار و همکاران، برای مکان‌یابی پخش سیلاب در حوضه آبریز گربایگان با بررسی و مقایسه کارایی روش‌های FAHP^۱ و GCA^۲ در محیط GIS نشان دادند که روش خوشه‌بندی خاکستری در مورد پهنه‌بندی مناطق مستعد پخش سیلاب، دقیق‌تر از روش تحلیل سلسله‌مراتبی_فازی (FAHP) هست (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۴).

1- Fuzzy- Analytical Hierarchy process

2- Grey Clustering Analysis

در پژوهشی دیگر با استفاده از مدل فازی/AHP به تشخیص سایت های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی پرداخته‌اند (مرادی و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۷۹). مکان‌های مناسب پخش سیلاب با استفاده از مدل فازی/AHP در خوزستان انجام گرفت که در نهایت عملگر جمع فازی برای پخش سیلاب در این منطقه تعیین شد (منجری و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۹۴). رحمان (۲۰۱۲) با نرم‌افزار آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره فضایی^۱ (SMCDA) که ترکیبی از چند روش ارزش‌گذاری چندمعیاره و تکنیک‌های آنالیز تصمیم‌گیری مدرن است به منظور مدیریت پخش سیلاب به مکانیابی پرداخت (رحمان و همکاران، ۲۰۱۲: ۶۱). پژوهش‌هایی با استفاده از GIS و سنجش از دور به تشخیص و ترسیم مناطق تغذیه مصنوعی انجام شده‌اند (لون و همکاران، ۲۰۱۳: ۹۲؛ قیومیان، ۲۰۰۷: ۳۶۴؛ مورگه، ودکاترامن^۲، ۲۰۱۳: ۴۰۵). نتایج تحقیق (کریشنا مورتی^۳، ۱۹۹۶: ۱۸۶۷) برای تعیین مناطق مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی در جنوب هند نشان داد که انواع عوامل زمین‌ساختی و ژئومورفولوژی در سطوح مختلف نقش مهمی در رفتار آب‌های زیرزمینی دارد. در پژوهشی دیگر رویکرد یکپارچه GIS و سنجش از دور نیز در تشخیص مناطق بالقوه آب‌های زیرزمینی استفاده شد (نگ و آئیندیتا، ۲۰۱۱: ۴۳۰). در سال ۱۹۹۸ با استفاده از GIS و RS^۴ مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی را بر اساس نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی، ژئومورفولوژی، زمین‌ساختی و توپوگرافی را برای مکان‌یابی استفاده کردند (صراف و قودهری، ۱۹۹۸: ۲۵۹۵).

در تحقیق حاضر نیز با استفاده از تلفیق مدل فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی AHP در نرم‌افزار GIS، مکان‌یابی تغذیه مصنوعی با روش پخش سیلاب از نظر مورفولوژی رودخانه و وقوع سیلاب‌هایی با آورد مناسب، در دشت بوشکان استان بوشهر انتخاب و بررسی شد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب شهرستان دشتستان و در استان بوشهر می‌باشد. دشت بوشکان بخشی از حوضه آبریز بوشکان در زیرحوضه آبریز مند است. این منطقه دارای مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه، ۵۱ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۵۱ درجه ۳۶ دقیقه و ۵۴ ثانیه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۴۳ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۲۸ درجه ۵۶ دقیقه و ۵ ثانیه عرض شمالی می‌باشد. همچنین دشت بوشکان بخشی از ناحیه زاگرس چین خورده در جنوب غربی ایران است که ناهمواری های اطراف آن با روند شمال غرب - جنوب شرق به صورت یک کمربند چین خورده کشیده شده‌اند و دشت مذکور به صورت یک ناودیس در بین ارتفاعات اشکفلو در شرق و شمال شرق و

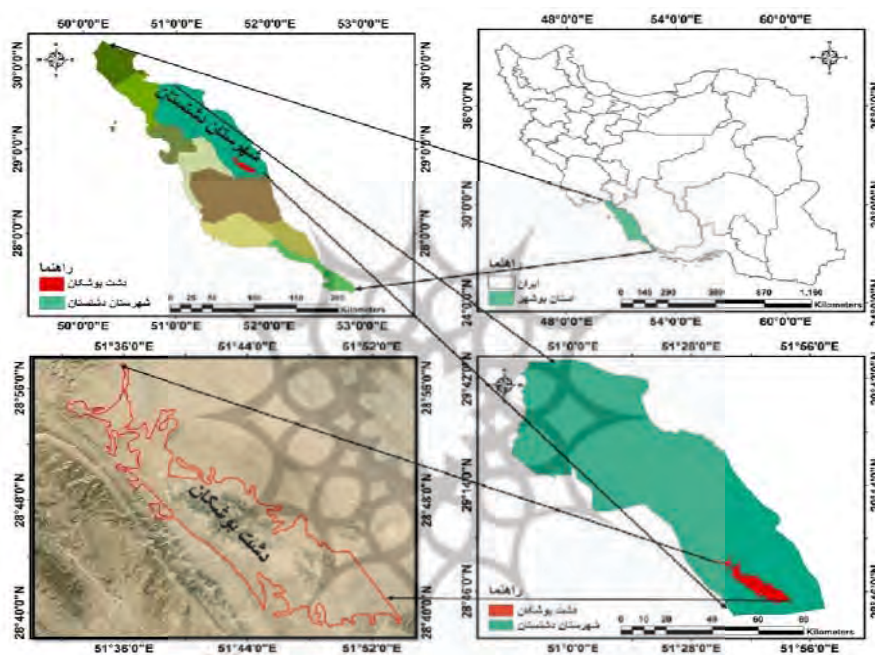
1- Spatial Multi-criteria Decision Aquifer

2- Murugiah

3- Krishnamurty

4- Remote Sensing

ارتفاعات ماوال کشته در غرب و جنوب غرب قرار گرفته است. رودخانه دشت پلنگ از قسمت جنوبی دشت عبور می‌کند. با استناد به نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بخش غالب دشت از سازند کواترنر پوشیده شده که از تخریب و فرسایش سازندهای کنگلومرا و میشان و آجاجاری که در ارتفاعات بالادست آن قرار دارند تشکیل شده است. این منطقه دارای مساحتی معادل ۱۵۴/۹۳ کیلومترمربع است که به‌جزء شهر بوشکان و چند روستای تابعه آن بخش اعظم دشت زیر پوشش کشاورزی قرار دارد. اقلیم منطقه مورد مطالعه از نوع خشک، و متوسط بارندگی سالانه آن ۲۵۸/۵ میلی‌متر است.



شکل (۱) موقعیت دشت بوشکان در ایران، استان بوشهر، شهرستان دشتستان و در Google Earth

مواد و روش‌ها

الف) داده‌ها

در این پژوهش از مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای و گزارش‌های موجود مرتبط با شرایط پخش سیلاب استفاده شد. همچنین از نقشه‌های مختلف و تصاویر Google Earth برای آماده‌سازی نقشه‌های پایه جهت انجام مدل فازی استفاده شد. در نهایت مطالعات میدانی به‌منظور تطابق نتایج با واقعیت انجام گرفت. به‌منظور بررسی و ارزیابی تناسب زمین برای پهنه‌بندی بهینه پخش سیلاب با استفاده از پارامترهای محیطی تأثیرگذار در پخش سیلاب و تأثیر آنها در سرعت نفوذ آب به داخل زمین و با توجه به نکاتی مثل مقیاس کار و دقت مورد نظر، هدف، شرایط منطقه و میزان تأثیرگذاری هر یک از شاخص‌ها (وزن لایه‌ها)، اقدام به انتخاب شاخص‌های مناسب شد (آل‌شیخ و همکاران، ۲۷:۱۳۸۱) که ۸ فاکتور شامل شیب، ضخامت آبرفت، هدایت الکتریکی به

این منظور استفاده شده که تأثیر مناطقی که میزان املاح بیشتری دارند و برای تغذیه آب‌های زیرزمینی مناسب نیستند را در پهنه‌بندی لحاظ کرده باشیم، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم زهکشی، قابلیت انتقال و ارتفاع شناسایی شدند. سپس با استفاده از اطلاعات و گزارشات، تبدیل داده‌ها نقشه و به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه هر عامل به شرح زیر تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

شیب: شیب نقش خیلی مهمی در نفوذپذیری آب و تعیین مکان‌های پخش سیلاب دارد، برای تهیه نقشه شیب از نقشه DEM ۳۰ متری منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

ضخامت آبرفت: برای لایه ضخامت آبرفت از لایه خطی هم عمق شرکت آب منطقه‌ای استان بوشهر استفاده شد که این لایه خطی با استفاده از درون‌یابی خطی تبدیل به لایه سطحی (پلیگونی) شد.

کیفیت آب (هدایت الکتریکی): اگر آبرفت املاح خیلی زیادی داشته باشد در اثر حرکت آب در این محیط متخلخل، تحت تأثیر یون‌های مختلف قرار می‌گیرد و کیفیت آب کاهش می‌یابد. لذا لازم است میزان هدایت الکتریکی آبرفت مورد بررسی قرار گیرد (اصغری پور دشت بزرگ و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۸). لایه هدایت الکتریکی بر اساس لایه خطی آب منطقه‌ای استان بوشهر و با استفاده از اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای آماده و با دستور درون‌یابی خطی تبدیل به لایه سطحی شد.

زمین‌شناسی: مناطق با آبرفت‌های جوان کواترنری، مناطقی مناسب برای پخش سیلاب هستند، برای استخراج لایه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ شرکت نفت استفاده شد.

تراکم زهکشی: تغذیه از سطح حوضه آبریز بوشکان صورت می‌گیرد و لایه مورد استفاده برای تراکم زهکشی نیز مربوط به سطح محدوده مورد مطالعه یعنی دشت بوشکان است. برای تهیه نقشه تراکم زهکشی بر اساس نقشه آبراهه‌های حوضه آبریز بوشکان که از Google Earth استخراج شده بود، نقشه آبراهه‌های سطح دشت بوشکان از آن کلیپ شد و در محیط Arc map با بقیه نقشه‌ها دارای سیستم مختصات یکسان گردید و سپس با استفاده از دستور Density لایه تراکم زهکشی آماده شد.

قابلیت انتقال: قابلیت انتقال یا ضریب آب‌گذری، قابلیت عبور آب را در تمام ضخامت لایه آبدار نشان می‌دهد لایه قابلیت انتقال هم از آمار و مختصات چند چاه مشاهده‌ای تهیه و با تبدیل اطلاعات به لایه نقطه‌ای سپس با درون‌یابی به لایه سطحی تبدیل شدند.

ارتفاع: از عوامل بسیار مهم در پدیده‌های هیدرولوژیکی است. این عامل با توجه به زمین‌شناسی منطقه که از ارتفاع ۶۰۰ متر به بالا سازندهای آجاجاری و میشان هستند و کیفیت خوبی برای پخش سیلاب ندارند استفاده شده است. برای تهیه ارتفاع از نقشه Dem ۳۰ متری منطقه مورد مطالعه استفاده شد.

سپس لایه‌های اطلاعاتی و معیارهای تعیین شده با استفاده از توابع فازی زیرفازی‌سازی و تمام لایه‌های اطلاعاتی دارای ویژگی کمی در قالب رستر به صورت ارزشی از صفر تا یک شدند (رابطه ۱).

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x > a \\ (x_{max} - x) / \Delta x & b > x > a \\ 0 & b > x \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

همچنین اهمیت شاخص‌های هر کدام از معیارها که با استناد به منابع مختلف در مکان‌یابی پخش سیلاب و مناطق مستعد تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی و اعمال نظر کارشناسی و شناخت منطقه انجام شده بود با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی توسط نرم‌افزار Expert Choice مشخص شدند. سپس هر کدام از آنها در ArcGIS10.2 فازی شدند و در طیف عددی صفر تا یک قرار گرفتند. در مرحله بعد با تلفیق مدل AHP و فازی تمامی لایه‌های فازی شده در وزن‌های حاصل از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی ضرب و بدین صورت لایه‌های وزن دار فازی آماده شدند. سپس عملگرهای جمع، ضرب، گامای فازی ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ روی لایه‌های فازی شده انجام و هم پوشانی لایه‌ها صورت گرفت، در نهایت نقشه نهایی تناسب زمین بر اساس ارزیابی دقت مدل برای عرصه‌های مناسب پخش سیلاب به دست آمد.

ب) روش‌شناسی:

در این پژوهش از تلفیق مدل AHP / Fuzzy (به منظور ارزیابی زمین برای پخش سیلاب استفاده شده است. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از معروف‌ترین ابزار تصمیم‌گیری چندمنظوره برای وضعیت‌های پیچیده‌ای که سنجه‌های چندگانه و متضادی دارند، ابزار تصمیم‌گیری نرمش‌پذیر و در عین حال قوی به‌شمار می‌رود که اولین بار توسط توماس‌ال. ساعتی در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید، این مدل بر مبنای مقایسه دو به دویی بنا نهاده شده است که قضاوت را تسهیل می‌کند و مقدار سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد (قنواتی، ۱۳۹۲: ۴۵).

– روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP

برای انجام روش سلسله‌مراتبی نیاز به تشکیل درخت سلسله‌مراتبی است، برای تشکیل این درخت از عواملی که برای تصمیم‌گیری مهم هستند در قالب یک درخت تصمیم‌گیری به صورت سلسله‌مراتبی بیان می‌شوند. سپس برای مقایسه زوجی، عناصر هر سطح به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده

و وزن‌ها را حساب می‌کنیم. این وزن‌ها را وزن نسبی می‌نامیم. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد به گونه‌ای که اگر عنصر i با j مقایسه شود تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت i بر j یکی از حالات کیفی جدول توماس ال ساعتی است که به مقادیر کمی بین ۱ الی ۹ تبدیل شده‌اند (جدول ۱). به این ترتیب در قطر ماتریس عدد ۱ قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده اهمیت یکسان معیارها بر خود است. مثلاً معیار لاهیبه به شیب عدد ۱ را دریافت می‌کند و سایر پارامترها دو به دو با هم مقایسه می‌شوند و عددی از ۱ تا ۹ نسبت به ارجحیت خود دریافت می‌کنند. جهت نرمال‌سازی و محاسبه وزن و اولویت‌های نسبی هر گزینه از ماتریس مقایسه زوجی از روش تقریبی (میانگین حسابی) استفاده شده است. این روش به این شکل است که ابتدا مقادیر هر یک از ستون‌ها را با هم جمع کرده و سپس مقادیر هر یک عنصر از ماتریس را به جمع کل ستون‌های همان عنصر تقسیم کرده و در مرحله آخر متوسط عناصر در هر سطر به دست آورده می‌شود. سپس با تلفیق این وزن‌ها، وزن نهایی هر معیار یا پارامتر مشخص می‌شود.

به‌منظور وزن‌دهی به عوامل مؤثر در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی بیشترین وزن به لایه‌ای تعلق می‌گیرد که بیشترین تأثیر را در تعیین هدف دارد. چون هدف این پژوهش مکان‌یابی پخش سیلاب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در دشت بوشکان استان بوشهر است، پارامترهای تأثیرگذار در پخش سیلاب و نفوذپذیری خاک می‌تواند به‌عنوان مهم‌ترین عوامل برای رسیدن به هدف نهایی در نظر گرفته شود. بنابراین برای مؤلفه‌های شیب، ضخامت آبرفت، هدایت الکتریکی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی، باید بالاترین ارجحیت و وزن‌دهی را در نظر گرفت. وزن‌دهی به سایر عوامل به نسبت کاهش تأثیرشان در پخش سیلاب کمتر می‌شود. به‌عبارت دیگر مؤثرترین عامل در پخش سیلاب از بیشترین وزن برخوردار خواهد بود. برای تعیین اولویت فاکتورها و وزن‌دهی به آنها فاکتورها دو به دو با هم مقایسه شدند. مثلاً مقایسه شیب به ضخامت آبرفت، هر دو فاکتورهای مهمی برای پخش سیلاب هستند، در جایی ممکن است ضخامت آبرفت زیاد باشد ولی شیب مناسبی برای پخش سیلاب نداشته باشد در نتیجه ضخامت آبرفت اهمیت کمتری نسبت به شیب پیدا می‌کند. با توجه به موقعیت منطقه مورد مطالعه، چون شیب به سمت ارتفاعات افزایش پیدا می‌کند و نمی‌تواند برای پخش سیلاب مناسب باشد پس شیب نسبت به ضخامت آبرفت در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد.

جدول (۱) مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا مطلوب‌ترین
۷	ترجیح یا مطلوب خیلی قوی
۵	ترجیح یا مطلوب قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مطلوب‌تر
۱	ترجیح با مطلوبیت کمتر یا کمی مهم‌تر
۲،۴،۶،۸	ترجیحات بین فواصل فوق

- روش فازی

برای نرمال سازی واحدهای معیارهای موثر در پهنه‌بندی عرصه‌های پخش سیلاب، روش فازی به کار می‌رود. هدف اصلی منطق فازی ارائه مفاهیمی است که انجام استدلال‌های تقریبی را امکان‌پذیر می‌سازد.

بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی، عضویت اعضاء در مجموعه ممکن است به‌طور کامل نبوده و هر عضوی دارای درجه عضویت از صفر تا یک باشد بر این اساس مجموعه‌ای در نظر گرفته می‌شود که اعضای آن، واحدهای هر کدام از نقشه‌های پایه و معیار عضویت در مجموعه، مناسب بودن برای پخش سیلاب و درجه عضویت، بین صفر و یک می‌باشد (آل‌شیخ و همکاران، ۱۳۸۱: ۲۷).

برای اجرای تکنیک فازی نیاز به عملگرهای اجتماع، اشتراک، ضرب جبری، جمع جبری و گاما است. در این مطالعه از عملگرهای جمع جبری، ضرب جبری و گاما استفاده شده است. فرمول مربوط به عملگر ضرب، جمع و گامای فازی به‌صورت روابط (۲)، (۳) و (۴) تعریف می‌شود که برای تلفیق نقشه‌ها در این پژوهش استفاده شده است.

$$\mu_{\text{combination}} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه بالا μ_i تابع عضویت فازی می‌باشد. عملگر ضرب فازی (product) درجه عضویت‌های یک موقعیت در نقشه‌های مختلف را در هم ضرب می‌کند. این عملگر باعث کاهش عضویت نهایی می‌شود و نتیجه آن تعلق وزن بسیار کوچکی به هر موقعیت است که در صورت زیاد بودن نقشه‌های ورودی این عدد به سمت صفر میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. به همین دلیل این اپراتور دقت و حساسیت بالایی در مکان‌یابی اعمال می‌کند.

$$\mu_{\text{combination}} = 1 - \prod_{i=1}^n \mu_i (1 - \mu_i) \quad \text{رابطه (۳)}$$

با اعمال عملگر جمع فازی (sum)، مقدار عضویت نهایی پیکسل‌ها در نقشه خروجی بزرگ شده و در صورت زیاد بودن ورودی‌ها به سمت یک میل می‌کند. به دلیل بزرگ بودن وزن‌های موقعیت‌های نهایی، اثر این عملگر افزایشی است. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. به همین دلیل این عملگر حساسیت خیلی کمتری در مکان‌یابی دارد (مهرورز و همکاران، ۱۳۸۴: ۴۵۶).

$$\mu_{\text{combination}} = (\text{Fuzzy } 1g \text{ ebraicsum})^{\lambda} * (\text{Fuzzy } 1g \text{ ebraicproduct})^{1-\lambda} \quad (۴)$$

عملگر فازی گاما، حالت کلی روابط عملگرهای ضرب و جمع است و می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما، پارامترهای کاهش و افزایشی را همزمان تلفیق نموده، به مقادیری در خروجی‌ها دست یافت که حاصل سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های افزایشی و کاهش‌ی دو عملگر ضرب و جمع فازی می‌باشند. مقدار λ بین صفر و یک است که مقدار آن از طریق قضاوت کارشناسانه تعیین می‌شود. گامای صفر معادل ضرب فازی و گامای یک معادل جمع فازی است (لی^۱، ۲۰۰۷: ۸۴۷). در این تحقیق مقادیری از تابع فازی گاما نظیر ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ مورد استفاده قرار گرفت.

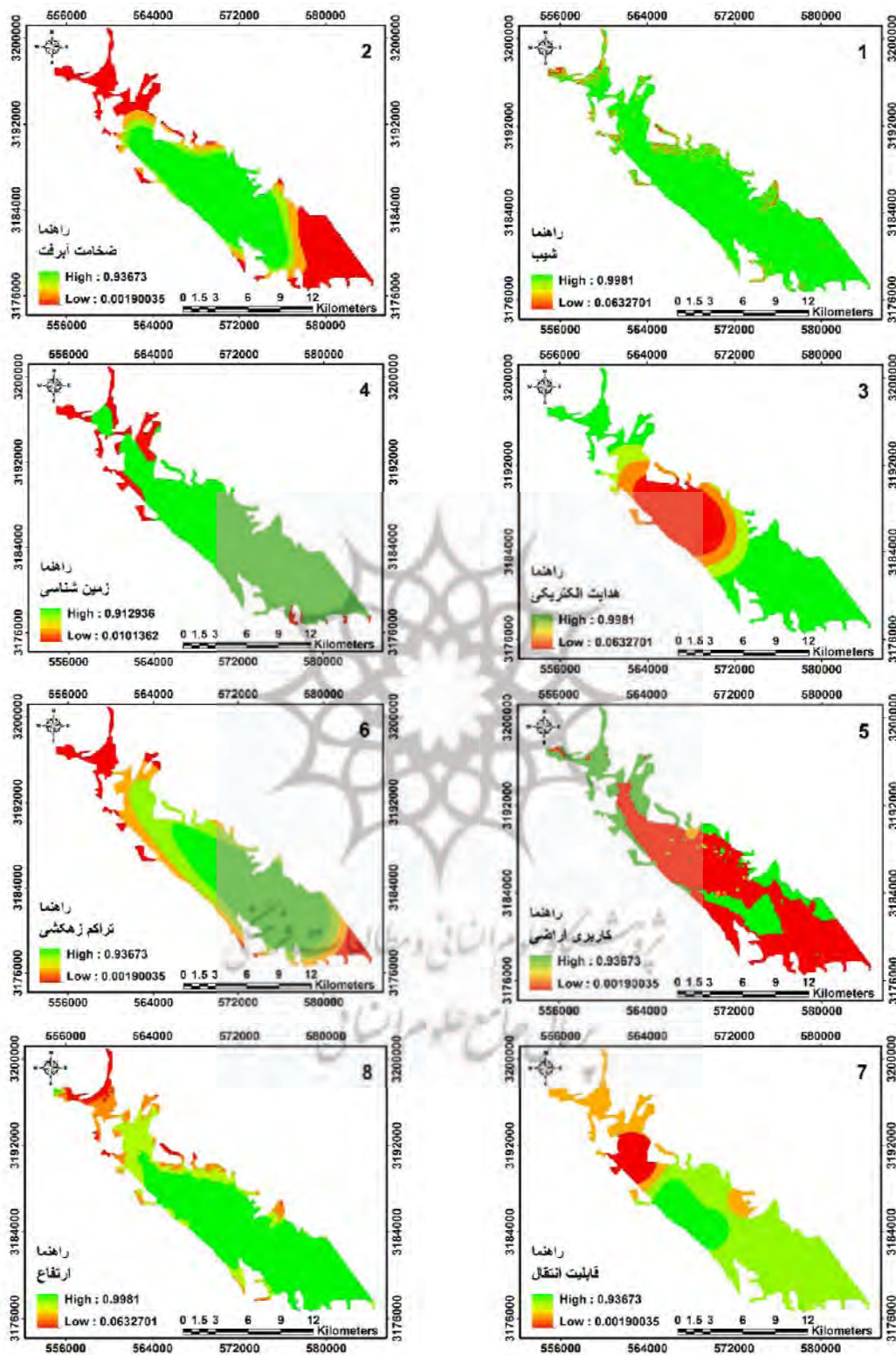
به‌طور کلی، اجرای مدل فازی شامل سه مرحله است: مرحله اول، فازی‌سازی لایه‌ها یا تعیین و اعمال توابع عضویت بر لایه‌ها، مرحله دوم، اعمال عملگرهای جمع جبری و ضرب جبری بر لایه‌ها، مرحله سوم، اعمال عملگرهای گامای فازی جهت تعدیل حساسیت بالای عملگر ضرب جبری و دقت کم عملگر جمع جبری.

بحث و نتایج

به‌منظور انجام مدل فازی، لایه‌ها باید دارای فرمت رستری باشند. نقشه‌های شیب و ارتفاع که بر اساس نقشه DEM منطقه تهیه شده‌اند رستری هستند. لایه‌های خطی (تراکم زهکشی، هدایت الکتریکی و ضخامت آبرفت) با استفاده از دستور Density رستری شدند. برای تبدیل لایه نقطه‌ای قابلیت انتقال آب به لایه سطحی از دستور درون‌یابی IDW^۲ استفاده شد که با توجه به کمبود اطلاعات و آمار مربوط به میزان قابلیت انتقال (ضریب نفوذپذیری)، برای انجام این دستور از اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای در سطح منطقه استفاده شده است. همچنین لایه‌های پلیگونی (زمین‌شناسی، کاربری اراضی) بر اساس تناسب با هدف پژوهش، طبق نظر کارشناسی کدگذاری شده‌اند، که با دادن کدهای ۱ به بالا و با تحلیل feature to raster به لایه‌های رستری تبدیل می‌شود. بعد از رستری کردن لایه‌ها، با استفاده از توابع، (شکل ۲) در محیط ARC GIS 10.2 با تحلیل زیر هر کدام از لایه‌ها فازی‌سازی شدند.

1- Lee

2- Inverse Distance Wighted



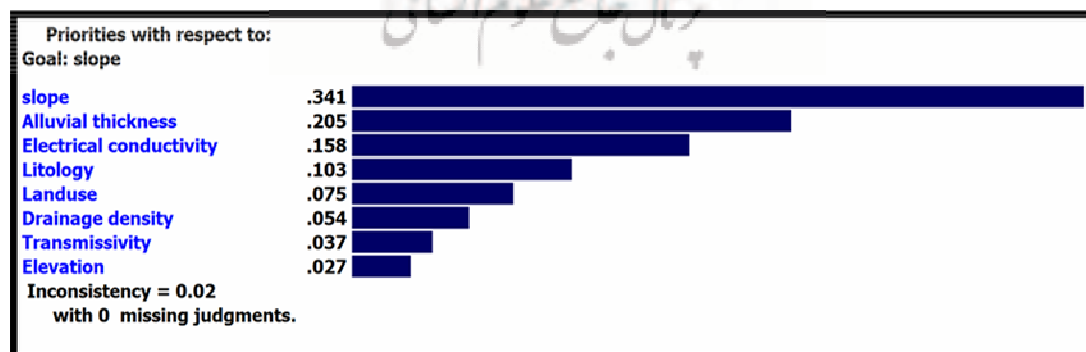
شکل (۲) لایه‌های فازی شده (۱) شیب (۲) ضخامت آبرفت (۳) هدایت الکتریکی (۴) زمین‌شناسی، (۵) کاربری اراضی، (۶) تراکم زهکشی (۷) قابلیت انتقال (۸) ارتفاع

– تعیین ضرایب اهمیت شاخص با استفاده از AHP

به منظور اولویت بندی معیارها در مدل AHP، هدف از پژوهش، که مکانیابی عرصه های پخش سیلاب است در بالاترین سطح قرار می گیرد و در سطح دوم معیارها تعیین می شود. جهت مقایسه زوجی از روش ماتریسی در نرم افزار استفاده شده است که طبق نظر کارشناسی با تسلط و شناخت منطقه مورد مطالعه، وزن دهی به هر کدام از معیارها انجام می شود (شکل ۳). معیار وزن دهی به هر یک از عناصر موجود در هر لایه و همچنین معیار وزن دهی هر واحد اطلاعاتی موجود در آن لایه بر اساس میزان نقشی است که در داخل آن لایه (لوپز و زینک^۱، ۱۹۹۱: ۱۶۱) و تأثیر در پخش سیلاب و نفوذ بیشتر آب به داخل زمین داشته است. بعد از وزن دهی و انجام محاسبات در نرم افزار Expert Choice و با توجه به نرخ سازگاری (نرخ سازگاری باید کمتر از ۰/۱ باشد) وزن های نهایی ۰/۰۲ به دست آمد که در این مکان یابی بیشترین وزن به شاخص شیب (۰/۳۴۱) و کمترین وزن به شاخص ارتفاع (۰/۰۲۷) تعلق گرفته است (شکل ۴).

	slope	Alluvial thickness	Electrical conductivity	Litology	Landuse	Drainage density	Transmissivity	Elevation
slope		2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
Alluvial thickness			2.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Electrical conductivity				2.0	3.0	4.0	4.0	5.0
Litology					2.0	2.0	3.0	4.0
Landuse						2.0	3.0	3.0
Drainage density							2.0	3.0
Transmissivity								2.0
Elevation	Incon: 0.02							

شکل (۳) ماتریس مقایسه زوجی برای معیارها

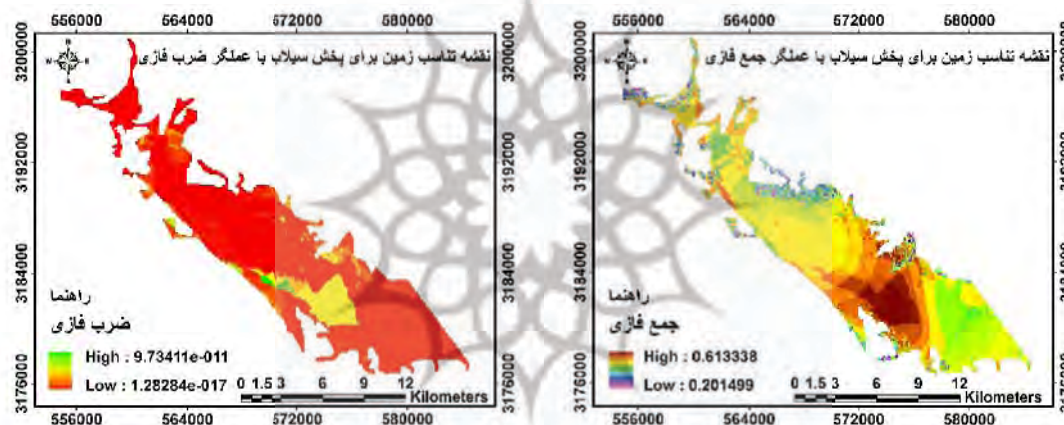


شکل (۴) وزن های به دست آمده برای معیارها و میزان سازگاری

بعد از وزن‌دهی معیارها در نرم‌افزار Expert Choice وزن هر کدام از معیارها در لایه مربوطه ضرب شدند (رابطه ۵).

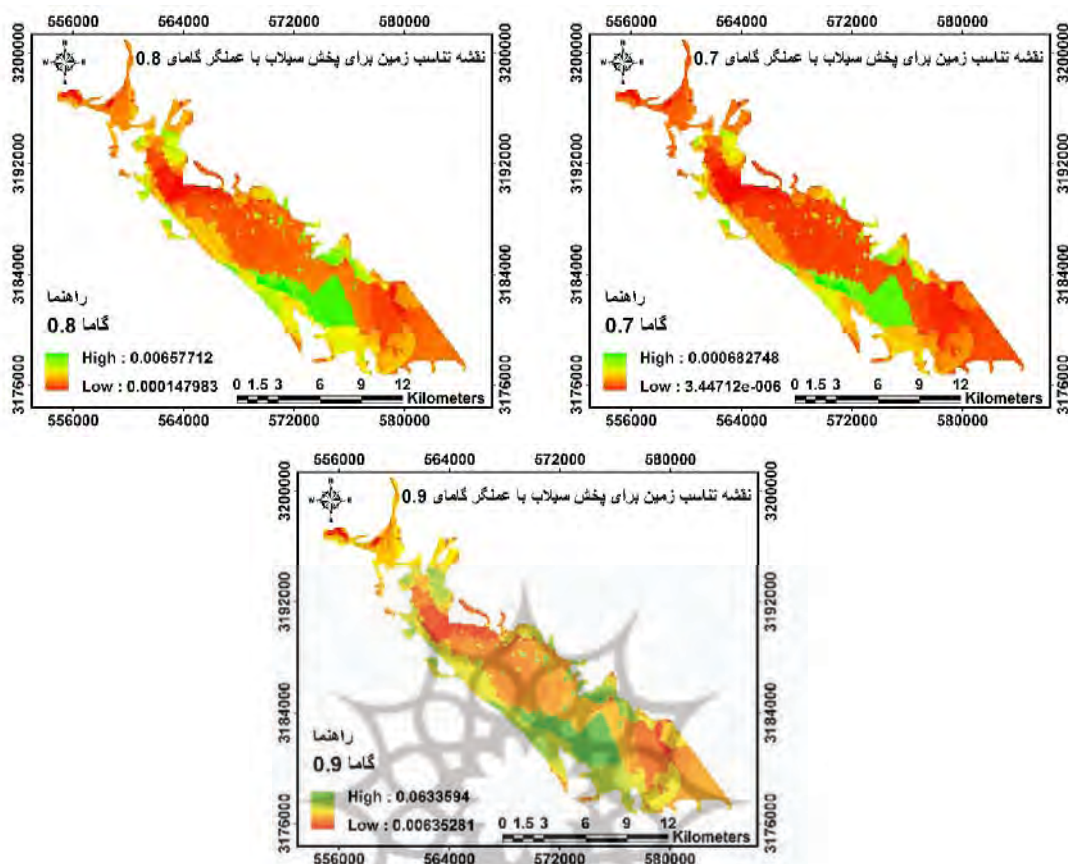
$$F(x) = w_t u(x_i) \quad (\text{رابطه } 5)$$

که در آن $f(x)$ لایه وزن‌دار فازی، w_t وزن هر یک از معیارهای AHP و $u(x_i)$ تابع فازی هر کدام از لایه‌ها می‌باشد (قنوتی، ۱۳۹۲: ۵۴). بعد از فازی‌سازی و ضرب وزن‌ها در لایه‌های فازی شده عملگرهای Sum، Product، Gamma بر لایه‌های فازی شده اجرا می‌شود (شکل ۵). مقایسه نقشه‌های sum و product نشان می‌دهد که در نقشه به‌دست آمده به‌وسیله عملگر جمع جبری در مقایسه با نقشه به‌دست آمده به‌وسیله عملگر ضرب جبری سطوح با تناسب زیاد وسعت بیشتری دارند در حالی که سطوح با تناسب کم وسعت کمتری دارند.



شکل (۵) نقشه‌های حاصل از عملگر جمع و ضرب فازی

همانطور که در روش تحقیق ذکر شد برای تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب و حساسیت خیلی کم عملگر جمع، نقشه حاصل از عملگر گامای فازی ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ (شکل ۶) معرفی شده است.



شکل (۶) نقشه‌های تناسب زمین برای عرصه‌های پخش سیلاب با عملگر ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹

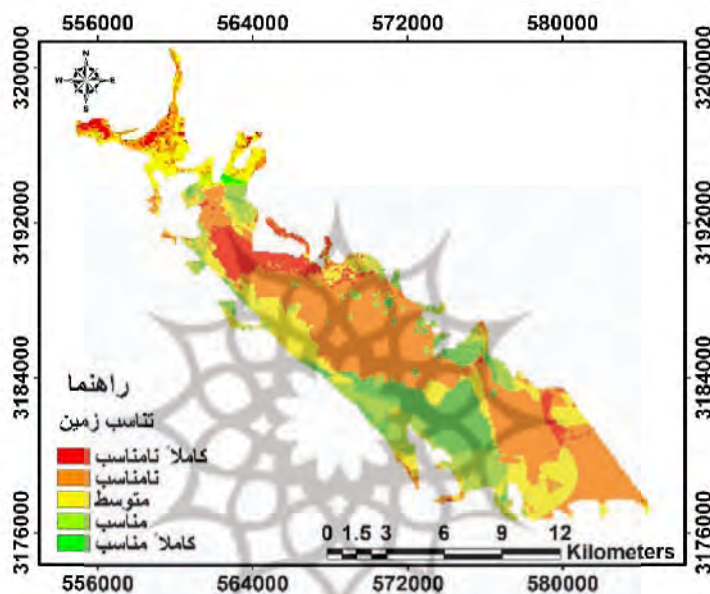
– ارزیابی دقت مدل (Band Collection)

تحلیل و ارزیابی دقت مدل، بر اساس لایه‌های گاما و تعدادی از لایه‌های رستری، از دستور Band Collection Statistics انجام شد و گامای ۰/۹ به‌عنوان لایه نهایی تناسب زمین برای مکان‌یابی عرصه‌های پخش سیلاب تعیین شد که به ۵ کلاس کاملاً نامناسب، مناسب، متوسط، مناسب و کاملاً مناسب طبقه‌بندی (شکل‌های ۸ و ۷) و همچنین مساحت طبقه‌های تناسب زمین به کیلومتر مربع و به درصد محاسبه شد (جدول ۲).

منبع اصلی آب مورد استفاده در این منطقه آب زیرزمینی بوده که برای مصارف کشاورزی به‌طور گسترده استفاده می‌شود، این دشت با داشتن ۱۹۴/۹۳ کیلومتر مربع بیش از ۲۷۲ حلقه چاه در آن وجود دارد و از آنها بهره‌برداری می‌شود که البته تعدادی از آنها به دلیل افت سطح آب زیرزمینی خشک شده‌اند، لذا حفظ کمیت و کیفیت این منبع آب با ارزش با توجه به شرایط آب و هوای نیمه‌خشک و خشک و وقوع خشکسالی‌ها خصوصاً در سال‌های اخیر، بسیار با اهمیت می‌باشد که با توجه به برداشت آب زیرزمینی نیاز به جایگزینی و تقویت کیفی و کمی سفره آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های مناسب تغذیه مصنوعی مانند پخش سیلاب است.

جدول (۲) مقادیر طبقات تناسب زمین برای مکان‌یابی عرصه‌های پخش سیلاب با مدل گامای ۰/۹

تناسب زمین برای پخش سیلاب با گامای ۰/۹ فازی		طبقه‌بندی تناسب زمین
مساحت به درصد	مساحت به کیلومتر مربع	
۷/۱۱	۱۱/۰۲	کاملاً نامناسب
۴۵/۸۱	۷۱	نامناسب
۲۳/۳۸	۳۶/۲	تناسب متوسط
۱۲/۶	۱۹/۵۱	مناسب
۱۱/۱	۱۷/۲	کاملاً مناسب
۱۰۰	۱۵۴/۹۳	مجموع مساحت



شکل (۷) نقشه نهایی تناسب زمین برای عرصه پخش سیلاب با گامای ۰/۹ با مدل فازی AHP



شکل (۸) مکان‌های مناسب برای پخش سیلاب بر روی تصویر Google earth

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با تأکید بر معیارهای طبیعی جهت مکان‌یابی عرصه پخش سیلاب، استفاده از روش تلفیقی AHP/FUZZY مورد توجه قرار گرفته است. لایه گامای ۰/۹ به‌عنوان نقشه بهینه پیشنهاد و به ۵ طبقه در GIS کلاس بندی شده است. در طبقه‌بندی مربوطه مشخص شد که ۸۲/۰۲ کیلومتر مربع در کلاس کاملاً نامناسب و نامناسب قرار دارد، ۳۶/۲ کیلومتر مربع در کلاس با تناسب متوسط قرار دارد و در نهایت ۳۶/۷۱ کیلومتر مربع در کلاس مناسب و کاملاً مناسب قرار می‌گیرد. با توجه به نقشه نهایی، مناسب‌ترین پهنه برای پخش سیلاب در قسمت جنوب غرب منطقه و سپس جنوب شرق منطقه هستند که به‌دلیل شیب مناسب، دارا بودن رسوبات سیلابی، زیر کشت نبودن و مرتعی بودن، مناسب‌ترین پهنه‌ها برای پخش سیلاب به‌شمار می‌روند. البته بخش‌هایی از غرب، شمال و جنوب دشت به‌دلیل داشتن درختان پراکنده و مرتع، پهنه‌های متوسط به‌شمار می‌روند. بخش مرکزی دشت به‌دلیل داشتن زراعت آبی و دیم و قرار گرفتن شهر بوشکان در آن دارای تناسب بسیار کم و کم و متوسط هستند. در نهایت نتایج حاصل نشان می‌دهد که تلفیق مدل AHP/FUZZY مدلی مناسب برای پدیده‌های مرتبط با سطح زمین است.

تا کنون از روش‌های بسیاری برای پخش سیلاب استفاده شده است، اما نتایج حاصل از تلفیق دو روش مورد استفاده در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که بر اساس معیارهای مذکور، یکی از روش‌های مناسب برای مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای پخش سیلاب، تلفیق روش فازی با تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است، زیرا روش فازی از معیارهای عضویت فازی استفاده می‌کند و استفاده از توانایی فازی در وارد کردن نظر تصمیم‌گیر در مراحل مکان‌یابی، دقت تصمیم‌گیری را بالا برده و اطمینان به نتایج مکان‌یابی را افزایش می‌دهد.

در واقع نقص وزن‌دهی روش AHP، ناتوانی آن در لحاظ کردن عدم قطعیت قضاوت‌ها در ماتریس مقایسه زوجی معیارها می‌باشد، که این نقص با استفاده از منطق فازی در روش ترکیبی AHP/FUZZY برطرف شده و به‌جای در نظر گرفتن یک عدد صریح در مقایسه زوجی، محدوده‌ای از مقادیر جهت لحاظ کردن عدم قطعیت در نظرات تصمیم‌گیران لحاظ می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج قابل قبول روش تلفیقی AHP/FUZZY و مد نظر قرار دادن ارتباط متقابل گزینه‌ها و معیارها، این روش تلفیقی روشی مناسب و قابل اعتماد برای تصمیم‌گیری می‌باشد.

منابع

- آرنوف، استن (۱۳۷۵)، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، ترجمه مدیریت سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، انتشارات سازمان نقشه‌برداری، صص ۷۵-۸۱.
- اصغری پوردشت بزرگ، نظام، ثروتی، محمدرضا، عظیمی فریده، ظاهری عبده‌وند، زینب (۱۳۹۰)، مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی در شمال اندیمشک، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال هشتم، شماره ۳۲، ۱۳۹۰، صص ۹۹-۱۱۲.
- دادرسی سبزواری، ابوالقاسم، خسروشاهی، محمد (۱۳۸۷)، شناخت مناطق مستعد برای گسترش سیلاب به روش کاربرد مدل‌های مفهومی (راهکاری برای مهار بیابان‌زایی)، فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۵، شماره ۲، صص ۲۴۱-۲۲۷.
- فرجی سبکبار، حسنعلی؛ حسن‌پور، سیروس؛ عزیززی، علی؛ ملکیان، آرش؛ علوی‌پناه، سیدکاظم (۱۳۹۲)، بررسی و مقایسه کارایی روش‌های FAHP و GCA برای مکان‌یابی پخش سیلاب در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبریز گربایگان)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵، شماره ۲، صص ۵۵-۷۶.
- قنواتی، عزت‌ا...؛ دلفانی‌گودرزی، فاطمه (۱۳۹۲)، مکان‌یابی بهینه توسعه شهری با تأکید بر پارامترهای طبیعی با استفاده از مدل تلفیقی فازی/AHP (مطالعه موردی: شهرستان بروجرد)، دو فصلنامه ژئومورفولوژی کاربری ایران، سال اول، شماره اول، صص ۴۵-۶۰.
- کوثر، آهنگ (۱۳۷۴)، مهار سیلاب‌ها و بهره‌وری بهینه از آنها، تهران، انتشارات مؤسسه جنگل‌ها و مراتع، صص ۹۷-۱۰۱.
- مهرورز مغانلو، کریم؛ فیض‌نیا، سادات؛ غیومیان، جعفر؛ احمدی، حسن (۱۳۸۴)، بررسی نهشته‌های کواترنر جهت تعیین مناطق مستعد پخش سیلاب به کمک فن سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: دشت تسوج، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، سال دوازدهم، شماره ۴، صص ۴۳۷-۴۶۷).
- معروفی، صفر؛ محمودی، مهناز؛ سلیمانی، سامره؛ جعفری، بهنوش (۱۳۹۰)، بررسی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب با استفاده از شاخص هم‌پوشانی نقشه‌ها و منطق‌های بولین و فازی در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز پشتکوه)، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۴، صص ۱-۱۶.
- ناصری، حمیدرضا؛ عزیزخانی، محمدجواد؛ مکنونی، سعید (۱۳۸۸)، تلفیق سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری و اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی محل‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی (مطالعه موردی: دشت چاه دراز سیرجان)، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره دهم، صص ۹۷-۱۰۵.

- Ghayoumian, J., M., Mohseni Saravi, S., Feiznia, B., Nouri and A., Malekian, (2007), **Application of GIS techniques to determine areas most suitable for artificial groundwater recharge in a coastal aquifer in southern Iran**, Journal of Asian Earth Sciences, 30(20), pp 364-374.
- Krishnamurty, J.,V, (1996), **An approach to demarcate groundwater potential Zones through remote sensing and geographical information system**. INT.T.Remot sensing, Vol.17, NO.10, pp.1867-884.
- Lee,S.,(2007), **Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping**. Environmental GeologyT50:pp.847-855.
- Lone, M.S., D., Nagaraju., Mahadavesamy, G., (2013), **Applications of GIS and Remote Sensing To deli-Neate Artificial Recharge Zones (darz) of Groundwater in H.D.Kote Taluk**, Mysore Dis-Trict, Karnataka, India, International Journal of Remote Sensing & Geoscience (IJRSG), Vol 2, Issue 3,pp. 92-97.
- Lopez, H,J., J,A., Zink, (1991), **GIS-Assisted Modeling of Mass Movements**, Itc Journal, 1991-4.
- Monjezi, N., Rangzan, K., Taghizadeh, A., And Neyamadpour, A.,(2013), **Site selection for artificial groundwater recharge using GIS and Fuzzy logic**, International Journal of Engineering & Technology Sciences (IJETS) 1 (5): pp. 294-309.
- Moradi Dashtpagerdi, M., Vagharfard, H., Honarbakhsh, A., And Khoorani, A.,(2013), **GIS Based Fuzzy Logic Approach for Identification of Groundwater Artificial Recharge Site**, Open Journal of Geology, 3,pp. 379-383.
- Murugiah, M., and Venkatraman, P.,(2013), **Role of Remote Sensing and GIS in artificial recharge of the ground water aquifer in Ottapidaram taluk**, Tuticorin district, South India, International Journal of Geomatics And Geosciences. Vol.3, No. 3, pp, 405-415.
- Nag, S.K., and Anindita, L. (2011), **Integrated approach using Remote Sensing and GIS techniques for delineating groundwater potential zones in Dwarakeswar watershed, Bankura distict**, West Bengal, International Journal of Geomatics And Geosciences.Vol.2, No.2, pp. 430-442.
- Rahman, M.A., Rusteberg, B., Gogu, R.C., Lobo Ferreira, J.P., And Sauter, M., (2012), **A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge**, Journal of Environmental Management 99: pp. 61-75.
- Saraf, A.K., Choudhury, R. (1998), **Integrated remote sensing and GIS groundwater exploration and identification of artificial recharge sites**, INT.J.Remote sensing, Vol.19, No.10, pp. 2595-2618.