

مکان‌یابی مناطق مستعد پخش سیلاب با استفاده از منطق فازی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) (مطالعه موردی: دشت مشهد)

احسان زاهدی، فرشید جهانبخشی* و علی طالبی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۱۴)

چکیده

پخش سیلاب بر آبخوان، روشی ارزان جهت استفاده بهینه از سیلاب‌ها برای تغذیه مصنوعی است که کاهش خسارات ناشی از سیلاب را نیز به همراه دارد. در این تحقیق، برای مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مستعد پخش سیلاب در دشت مشهد، از ده معیار کاربری اراضی، شیب، ضخامت آبرفت، فاصله از چاه، فاصله از قنات، فاصله از روستا، افت سطح ایستابی، ضریب هدایت هیدرولیکی، هدایت الکتریکی و تراکم زهکشی استفاده گردید. عملیات وزن‌دهی معیارها با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و منطق فازی انجام شد. بعد از آماده‌سازی نقشه کلیه معیارهای مربوط به مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب و وزن‌دهی نقشه‌ها براساس منطق فازی و مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای، نقشه نهایی مربوط به اولویت‌بندی مناطق مستعد پخش سیلاب آماده گردید. سپس با اعمال لایه محدود کننده که از تلفیق سه معیار کاربری اراضی، شیب و ژئومورفولوژی آماده گردید، نقشه نهایی مناطق مستعد پخش سیلاب آماده و اولویت‌بندی شد. از بین ده عامل مؤثر بر پخش سیلاب، معیار ضخامت آبرفت با وزن ۰/۲۷ به‌عنوان مؤثرترین لایه در بحث مکان‌یابی مناطق مستعد پخش سیلاب شناخته شد. از لحاظ شیب، بیشتر مناطق مناسب در شیب‌های کمتر از ۰/۳ قرار گرفت که نشان‌دهنده تأثیر به‌سزای این عامل در اجرای پخش سیلاب است. استعداد دشت مشهد در پخش سیلاب، پس از حذف مناطق مستثنیات (۴۰/۸ درصد از کل اراضی)، در چهار کلاس نامناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و کاملاً مناسب تعریف شد که به ترتیب ۲/۷، ۲۵/۹، ۲۶/۵ و ۵/۱ درصد از مساحت دشت را شامل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، تغذیه مصنوعی، معیار پخش سیلاب، دشت مشهد

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: farshid_jahanbakhshi@yahoo.com

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک همانند سطح عظیمی از کشور ما، انسان همواره با کمبود آب مواجه بوده است. در این مناطق، امکان افزایش مقدار آب قابل استفاده محدود است. از اینرو، برای حل مشکل کمبود آب، باید با مدیریتی صحیح، بیشتر به حفاظت و بهره‌برداری صحیح از آن توجه داشت. جمع‌آوری آب از جمله اقداماتی است که به‌ویژه در بهره‌برداری صحیح از آب‌های موجود در مناطق خشک، می‌تواند مؤثر واقع شود (۶). اهمیت این کار در کشور ایران بیشتر به این خاطر است که بهره‌برداری بیش از اندازه از منابع آب و خشکسالی‌های پی‌درپی، سطح آب آبخوان‌های آزاد را با افت شدیدی مواجه نموده است. تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی، یا تغذیه مدیریت شده آبخوان‌ها، یکی از مهم‌ترین اقدامات عملی برای جلوگیری از کاهش آب‌های زیرزمینی است (۱۳). در حال حاضر، پخش سیلاب بر آبخوان‌ها یکی از روش‌های مناسب برای مهار و استفاده بهینه از سیلاب در جهت تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک به‌شمار می‌رود. این در حالی است که تعیین مکان‌های مناسب جهت پخش سیلاب اهمیت بسیاری در میزان موفقیت آن دارد (۵). در واقع، اولین و مهم‌ترین قدم در انجام پروژه‌های پخش سیلاب، مکان‌یابی مناطق مستعد برای پخش آب و نفوذ دادن آن به داخل آبخوان زیرزمینی است.

تاکنون تحقیقاتی در خصوص انتخاب مکان‌های مستعد پخش سیلاب انجام گرفته است، که اکثراً با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) به این موضوع پرداخته‌اند. چودوری و همکاران (۷) با استفاده از سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک MCDM، مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی را تعیین نمودند. آنها از معیارهای شیب، قابلیت انتقال، ضریب زهکشی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی استفاده نموده‌اند. نتایج ایشان حاکی از کارایی تکنیک MCDM در تلفیق با GIS در تعیین مناطق مناسب برای

تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی بوده است. موهان (۱۱) جهت مکان‌یابی محل‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی، از پارامترهای زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و سطح ایستابی کمک گرفت. بدین منظور، وی هشت نقشه تراکم خطوطاره سطحی، عمق سنگ بستر، عمق پوشش خاک، تراکم زهکشی، کاربری اراضی، واحدهای ژئومورفولوژی، شیب و نوسانات سطح ایستابی را در محیط GIS به روش بولین با یکدیگر ترکیب کرد. محمود و همکاران (۱۰) به شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS) مبتنی بر GIS پرداختند. ایشان نقشه بارش باران مؤثر، شیب، ضریب رواناب بالقوه، پوشش زمین، کاربری اراضی و بافت خاک را به‌عنوان ورودی‌های DSS انتخاب کردند. نتایج ایشان نشان داد که اکثر مناطق مناسب با رتبه عالی تا خوب برای تغذیه مصنوعی، در شیب‌های بین ۴ تا ۸ درصد و با کاربری زراعی قرار داشته‌اند. عمده بافت خاک در مناطق مناسب با رتبه عالی تا خوب، از نوع لوم شنی و سپس لوم سیلتی و بارندگی در این مناطق بین ۱۰۰ تا ۲۷۰ میلی‌متر بوده است. کالیبراج و همکاران (۹) با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در آنالیز زمینی به شناسایی مناطق مناسب بالقوه برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در بالادست حوضه واگای (Vaigai) در هند پرداختند. ایشان برای این منظور از معیارهای مورفولوژی و ویژگی‌های سطح زمین مانند زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، نوع خاک، کاربری اراضی و پوشش زمین، زهکشی، خطوطاره‌های سطحی و ذخایر آب سطحی استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که مناطق با شیب ملایم در رتبه متوسط بالقوه و اراضی تپه ماهوری به‌عنوان مناطق نامناسب برای فرآیندهای تغذیه آب‌های زیرزمینی قرار دارند. سریدهار و همکاران (۱۴) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، به مکان‌یابی تغذیه مصنوعی در حوضه آبخیزی در هندوستان پرداختند. ایشان عوامل زمین‌شناسی، زهکشی، شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، هیدروژئومورفولوژی و آب‌های زیرزمینی را مطالعه کردند و هر

به‌وضوح آشکار می‌سازد. پژوهش حاضر در صدد است تا با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی، فرآیند تحلیل شبکه (ANP - Analytic Network Process) و منطق فازی، به تعیین دقیق عرصه‌های مناسب برای عملیات پخش سیلاب و بهره‌برداری مطلوب از سیلاب‌ها پرداخته و بدین طریق از هدررفت آب در این منطقه جلوگیری به‌عمل آورد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این مطالعه در ابتدا اقدام به جمع‌آوری و مطالعه علمی و کاربردی مطالب موجود در این زمینه مانند عوامل زمین‌شناسی، ژئوهیدرولوژی، اقتصادی اجتماعی و عوامل مربوط به خصوصیات آبرفت گردید. متعاقب آن اولویت‌بندی مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی انجام گردید. بدین‌منظور بعد از آماده‌سازی نقشه کلیه معیارهای مربوط به مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی و وزن‌دهی نقشه‌ها براساس منطق فازی و مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای، نقشه نهایی مربوط به اولویت‌بندی مناطق مستعد پخش سیلاب آماده گردید. شکل (۱) مراحل انجام این مطالعه را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد.

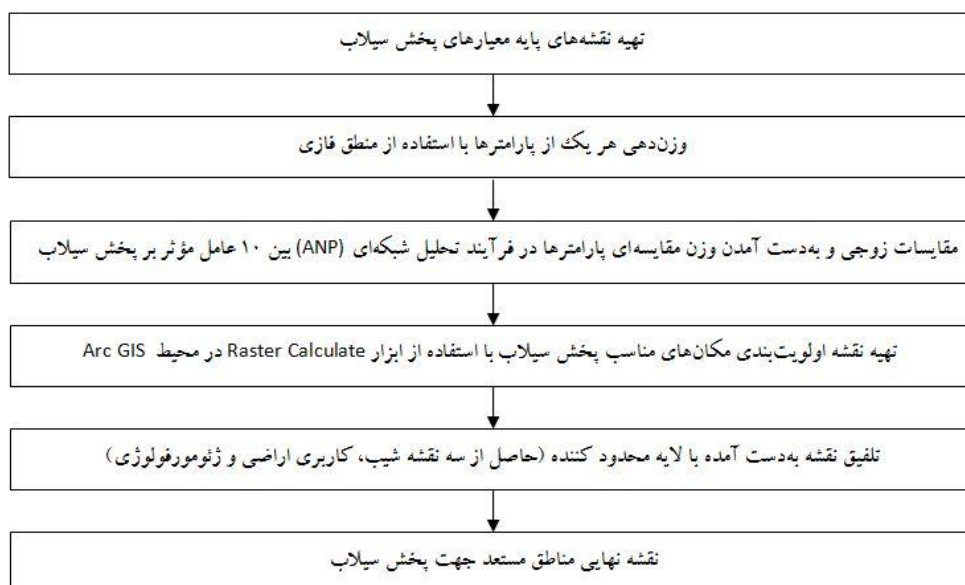
معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده دشت مشهد با وسعت ۹۹۰۹ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۱۴۹۷ متر از سطح دریا در حوزه آبخیز مشهد واقع شده است و شهرستان چناران و بخشی از شهرستان‌های مشهد و قوچان را شامل می‌شود. این محدوده در حدفاصل طول‌های ۲۲° ۵۸' تا ۷° ۶۰' شرقی و عرض‌های ۳۶° ۵۹' تا ۳۷° ۳' شمالی واقع شده است (شکل ۲). در حدود ۶۲٪ از مساحت محدوده فوق در ارتفاعات و حدود ۳۸٪ آن در مناطق دشتی واقع شده است. مهم‌ترین رودخانه این محدوده رودخانه کشف رود بوده و رودخانه‌های کارده، ارداک، اخلمد، شاندیز، طرچه و دولت‌آباد رودخانه‌های مهم دیگر منطقه است. محدوده مطالعاتی مشهد به لحاظ جایگاه زمین‌شناسی در حدفاصل دو زون زمین‌شناسی کپه داغ و بینالود واقع می‌شود. متوسط سالانه

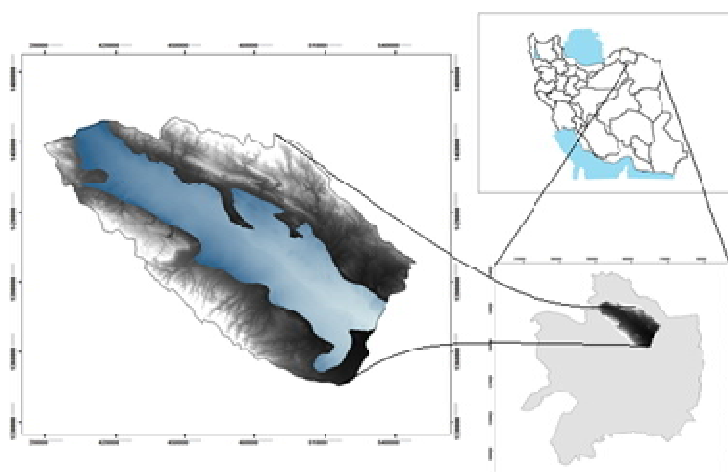
یک از نقشه‌های فوق را براساس اهمیت آب‌های زیرزمینی به طبقات خیلی خوب، خوب، متوسط و فقیر تقسیم‌بندی کردند و در نهایت با تلفیق لایه‌ها در محیط GIS، نقشه اراضی مستعد تغذیه مصنوعی را به‌دست آوردند. نصیری و همکاران (۱۲) به تعیین مناطق مناسب برای مصنوعی تغذیه آب‌های زیرزمینی از طریق روش یکپارچه PROMETHEE II-AHP در محیط GIS در حوزه گرابایگان پرداختند. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین مکان‌ها برای تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی در واحدهای زمین‌شناسی کوآترنری Qg و Qgsc و واحدهای ژئومورفولوژیک دشت و مخروط افکنه با شیب کمتر از ۳٪ می‌باشند. علاوه بر این، تناظر قابل توجه بین نقشه تولید شده و مناطق کنترل، که در آنها پروژه پخش سیلاب با موفقیت انجام شده بود، کارایی قابل قبول روش یکپارچه PROMETHEE II-AHP در انتخاب محل مناسب پخش سیلاب را تأیید نمود.

مهدوی و همکاران (۴) در تحقیقی به مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی به‌روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد پرداختند. آنها لایه‌های اطلاعاتی مربوط به شیب، نفوذپذیری سطحی، ضخامت آبرفت، کیفیت شیمیایی آب، کاربری اراضی و شبکه آبراه‌ای را با استفاده از منطق فازی در افزار ArcGIS کلاسه‌بندی و وزن‌دهی کردند و با عملگر حاصلضرب جبری، عملیات تلفیق شاخص‌ها را انجام دادند و درصد نواحی مناسب و نامناسب تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی را تعیین کردند. فرجی سبک‌بار و همکاران (۲) نیز با استفاده از تلفیق روش‌های ANP و مقایسه زوجی در محیط GIS به تعیین عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی در دشت گرابایگان فسا پرداختند. ایشان بدین‌منظور، از داده‌های هشت پارامتر تأثیرگذار شیب، کیفیت آب، زمین‌شناسی، ضخامت آبرفت، کاربری اراضی، قابلیت انتقال، ژئومورفولوژی و تراکم زهکشی استفاده نمودند.

با توجه به این‌که فعالیت‌های کشاورزی در دشت مشهد متکی بر آب‌های زیرزمینی است و همچنین قرارگیری این منطقه در یکی از نواحی خشک کشور، اهمیت آب را در این منطقه



شکل ۱. مراحل انجام تحقیق و تهیه نقشه نهایی مناطق مستعد جهت پخش سیلاب



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز و دشت مشهد

ده معیار کاربری اراضی، شیب، ضخامت آبرفت، فاصله از چاه، فاصله از قنات، فاصله از روستا، افت سفره، ضریب انتقال، هدایت الکتریکی (EC)، و تراکم زهکشی استفاده گردید.

برای تهیه نقشه شیب، از خطوط تراز نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری جهت ساخت مدل رقومی ارتفاع استفاده شد و از روی نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب منطقه حاصل گردید. جهت تهیه نقشه کاربری اراضی ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Google Earth و همچنین

دمای روزانه منطقه مورد مطالعه در ارتفاعات و دشت به ترتیب ۱۰/۱ و ۱۲/۹ درجه سانتی‌گراد است. میزان متوسط بارندگی سالانه در ارتفاعات و دشت نیز به ترتیب ۳۰۸/۴ و ۲۳۷/۳ میلی‌متر است.

معیارهای پخش سیلاب

در این پژوهش با استفاده از مطالعات پیشین و نظر خبرگان برای مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مستعد پخش سیلاب، از

مشاهداتی دشت مشهد استفاده شد. برای این منظور از متوسط هدایت الکتریکی چاه‌های مشاهده‌ای در یک دوره ۱۵ ساله استفاده شد. سپس نقشه هدایت الکتریکی از طریق درون‌یابی در محیط Arc GIS آماده گردید. نسبت طول کلیه آبراه‌ها در یک حوزه آبخیز به مساحت آن حوزه، تراکم زهکشی نامیده می‌شود. شاخص تراکم زهکشی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع حوزه و نرم‌افزار Arc SWAT تهیه گردید.

تئوری مجموعه‌های فازی

تئوری فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی‌زاده در مقاله‌ای با عنوان "مجموعه‌های فازی" در مجله اطلاعات و کنترل ارائه گردید. تئوری فازی، شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کنند. برای مشخص شدن اعضای یک مجموعه باید تابع عضویت تعریف شود. یعنی میزان عضویت می‌تواند دقیقاً صفر و یک نباشد. بلکه مقادیری مابین این دو باشد. صفر به این معنی است که هیچ عضویتی در آن مجموعه ندارد و یک، یعنی به‌طور کامل عضو آن مجموعه می‌باشد. یک مجموعه فازی \tilde{A} در فضای جهانی M به وسیله یک تابع $\mu_{\tilde{A}}(x)$ که مقادیری در بازه $[0, 1]$ اختیار می‌کند، مشخص می‌شود. اگر X یک مجموعه مرجع باشد، آنگاه مجموعه فازی \tilde{A} در X یک مجموعه از زوج‌های مرتب می‌باشد:

$$\tilde{A} = \{ \langle (x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X \rangle \} \quad [1]$$

که $\mu_{\tilde{A}}(x)$ تابع عضویت یا درجه عضویت x به \tilde{A} که تابعی از X به صفر و یک $[0, 1]$ است. نزدیکی مقدار به عدد یک نشان‌دهنده تعلق بیشتر x به مجموعه \tilde{A} می‌باشد. در حالتی که x کاملاً در \tilde{A} باشد، داریم:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 \quad [2]$$

تابع عضویت، مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می‌کند و در واقع به تابعی که میزان درجه عضویت اعضای مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد، تابع عضویت می‌گویند. در گام دوم، تابع عضویت در مدل فازی برای

بازدیدهای میدانی محدوده کاربری دشت مشهد مشخص شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار کمکی Global mapper اطلاعات به محیط نرم‌افزار ArcGIS منتقل و نقشه رقومی کاربری اراضی منطقه به دست آمد. برای تهیه نقشه زمین‌شناسی، از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی ایران استفاده گردید. برای تهیه شاخص فاصله از چاه، با استفاده از نقشه‌های رقومی موقعیت چاه‌ها مشخص گردید. سپس در برنامه ArcGIS برای آنها حریم‌های با فواصل موردنظر تعریف شد. برای تهیه نقشه قنات، ابتدا مختصات UTM مظهر و مادر چاه قنات از نقشه پراکندگی قنات استان خراسان رضوی، که توسط سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه شده است، مشخص گردید. سپس با زمین مرجع کردن نقشه زمین‌شناسی و استفاده از مختصات ابتدا و انتهای محور قنات یک نقشه با مختصات UTM تهیه شد. برای شاخص فاصله از روستا، ابتدا با استفاده از نقشه‌های رقومی موقعیت روستاها مشخص گردید. سپس در برنامه ArcGIS برای آنها حریم‌های با فواصل ۵۰۰-، ۲۰۰۰- و ۵۰۰ بیشتر از ۲۰۰۰ متر تعریف شد.

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر انتخاب مکان پخش سیلاب، ضخامت آبرفت می‌باشد. برای تهیه نقشه ضخامت کل آبرفت، از لوگ چاه‌ها در دشت مشهد و همچنین اطلاعات مربوط به سونداژهای ژئوالکتریک استفاده شد. به‌منظور تهیه نقشه افت سح ایستابی آبخوان دشت مشهد، آمار و اطلاعات مربوط به ۴۵ چاه پیزومتری دشت مشهد از اداره آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه شد و در ادامه متوسط افت سالانه سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری محاسبه و فایل رقومی نقشه افت سطح آب زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد.

ضریب انتقال یا ضریب آب‌گذری، یکی از ضرایب هیدرودینامیک است که قابلیت عبور آب را در تمام ضخامت لایه آب‌دار نشان می‌دهد. در این پژوهش، ضریب انتقال از طریق اطلاعات مربوط به آزمایش‌های پمپاژ صورت گرفته در منطقه، محاسبه شد. برای تهیه نقشه هدایت الکتریکی (EC) یا شاخص کیفیت آب، از آمار و اطلاعات مربوط به ۷۴ چاه

و میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است. فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) را در سه مرحله زیر می‌توان خلاصه کرد:

مرحله اول: انتخاب هدف و تعیین معیارها و شاخص‌های استاندارد
در ابتدا بایستی معیارها و شاخص‌های تأثیرگذار بر هدف مشخص شوند. یکی از بهترین روش‌های تعیین این معیارها مصاحبه با کارشناسان و اساتید و مسئولین مرتبط با موضوع می‌باشد. پس از تعیین معیارها، طبیعتاً همه به‌لحاظ موضوعی با یکدیگر مشابهت ندارند، بنابراین باید معیارها بر حسب مشابهت موضوعی در چند دسته قرار گرفته و تشکیل خوشه‌هایی را بدهند. در این پژوهش به‌منظور انجام آنالیزهای مربوط به روش ANP از نرم‌افزار Super decision و بسته نرم‌افزاری Matlab و Excel استفاده گردید. پس از تعیین معیارها، عناصر و گزینه‌ها، خوشه‌بندی به کمک نرم‌افزار Super decision انجام گرفت. برای انجام این مطالعه ۴ خوشه ژئوهیدرولوژی، خصوصیات آبرفت، اقتصادی-اجتماعی و فیزیوگرافی در نظر گرفته شد که هر یک از خوشه‌ها دارای چند معیار هستند (شکل ۳)

مرحله دوم: تعیین روابط، اثرات و ارتباطات بین خوشه‌ها، عناصر و گزینه‌ها

در این مرحله، اقدام به تعیین و شناسایی روابط بین خوشه‌ها و عناصر گردید. تفاوت مدل ANP با سایر مدل‌های تصمیم‌گیری در این است که در مدل ANP نه تنها خوشه‌ها بر عناصر و عناصر بر گزینه‌ها و گزینه‌ها بر عناصر تأثیر می‌گذارند، بلکه حتی عناصر بر خودشان و به عناصر دیگر خوشه‌ها نیز اثر می‌گذارند. یعنی هر عنصری قابلیت این را دارد که بر عناصر دیگر اثر بگذارد. پس این‌که بین عناصر چه ارتباطی وجود دارد و کدام عناصر می‌توانند روی هم اثر بگذارند و حکم قاضی را ایفا کنند مرحله بسیار مهم و کلیدی در ANP می‌باشد. بدیهی است عناصری تعیین می‌گردد که همگی از یک جنس نبوده و همه آنها کاملاً روی هم اثر گذار نمی‌باشند. بنابراین باید با

فاکتورهای مورد نظر به‌صورت غیرخطی در نظر گرفته شد. مدل‌های مذکور براساس تأثیر پارامتر مورد بررسی بر پتانسیل پخش سیلاب انتخاب شدند. تابع عضویت در مدل فازی برای فاکتورهای مورد نظر به‌صورت غیرخطی در نظر گرفته شد و از روابط ۳ و ۴ استفاده شد (۱).

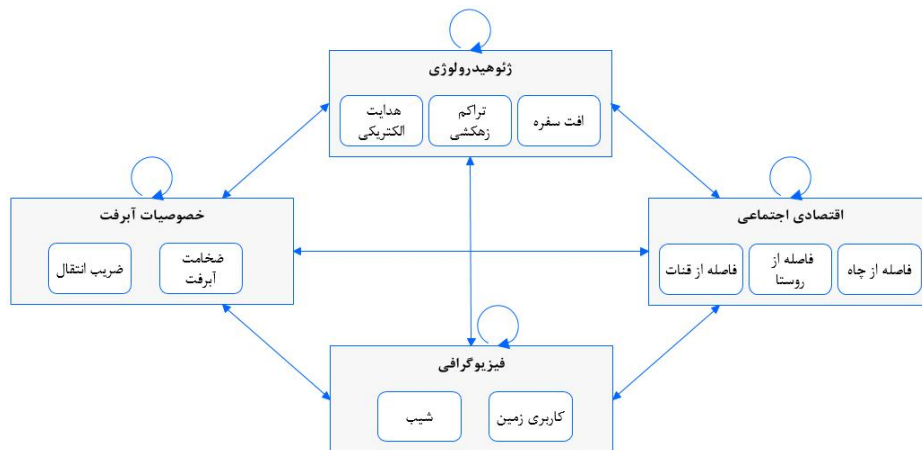
$$\mu(x) = \begin{cases} 1, x \leq a \\ 1 - \gamma \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^\gamma, a < x \leq \frac{a+b}{\gamma} \\ \gamma \left(b - \frac{x}{b-a} \right)^\gamma, \frac{a+b}{\gamma} < x < b \\ 0, x \geq b \end{cases} \quad [3]$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, x \leq a \\ 1 - \gamma \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^\gamma, a < x \leq \frac{a+b}{\gamma} \\ \gamma \left(b - \frac{x}{b-a} \right)^\gamma, \frac{a+b}{\gamma} < x < b \\ 1, x \geq b \end{cases} \quad [4]$$

نقشه‌های شیب، ضریب انتقال، EC، افت سفره، تراکم زهکشی، ضخامت آبرفت، فاصله از چاه، فاصله از قنات و فاصله از روستا به‌دلیل کمی بودن، با استفاده از منطق فازی بین محدوده صفر و یک وزن‌دهی شدند. از سویی، نقشه کاربری اراضی به‌دلیل اینکه دارای پارامترهای کیفی است، با استفاده از منطق بولین یا منطق صفر و یک وزن‌دهی شد. به‌طوری‌که مناطقی که از لحاظ پخش سیلاب مناسب نیستند، از جمله مناطق شهری و صنعتی، باغات و نواحی کشاورزی آبی و همچنین رودخانه‌های دائمی و غیردائمی، ارزش عددی صفر داده شد و به سایر کاربری‌ها که از لحاظ اجرای پخش سیلاب مناسب هستند، ارزش عددی یک داده شد.

فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و مراحل آن

فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) هر موضوع و مسئله‌ای را به مثابه شبکه‌ای از معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها (عناصر، Elements) که با یکدیگر در خوشه‌هایی جمع شده‌اند، در نظر می‌گیرد. تمامی عناصر در یک شبکه می‌توانند به‌هرشکل، دارای ارتباط با یکدیگر باشند. به‌عبارت‌دیگر، در یک شبکه، بازخورد و ارتباط متقابل بین



شکل ۳. خوشه‌ها و معیارهای استفاده شده در تحقیق

منطق بولین وزن صفر و یک داده شد. وزن نهایی هر کدام از معیارها در جدول (۲) آمده است. همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، پس از انجام مقایسات زوجی در فرآیند تحلیل شبکه‌ای بین ۱۰ عامل مؤثر بر پخش سیلاب، معیار ضخامت آبرفت با وزن ۰/۲۷ به‌عنوان مؤثرترین لایه در بحث مکان‌یابی مناطق مستعد پخش سیلاب شناخته شد و پس از آن معیار شیب و افت سفره به‌ترتیب با وزن ۰/۱۷۶ و ۰/۱۴۷، دومین و سومین عامل شناخته شدند. همچنین به‌ترتیب معیارهای ضریب انتقال، فاصله از روستا، کاربری، EC، فاصله از قنات، تراکم زهکشی و فاصله از جاده در رده‌های بعدی از نظر تأثیر در مکان‌یابی پخش سیلاب قرار دارند.

پس از انجام مقایسات زوجی در مدل ANP و تعیین وزن هر یک از معیارهای ۱۰ گانه پخش سیلاب، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS وزن به‌دست آمده از مدل ANP در نقشه مربوطه ضرب شد و در مرحله بعد با استفاده از ابزار Raster Calculate هر کدام از نقشه‌ها که دارای وزن صفر تا یک هستند با یکدیگر جمع شد و در نهایت نقشه نهایی اولویت‌بندی مکان‌های مناسب جهت اجرای عملیات پخش سیلاب که به ۴ کلاس مناطق نامناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و کاملاً مناسب تقسیم شده است، تهیه گردید (شکل ۵).

در مرحله بعد نقشه به‌دست آمده با لایه محدود کننده که حاصل سه نقشه شیب، کاربری و ژئومورفولوژی بود تلفیق

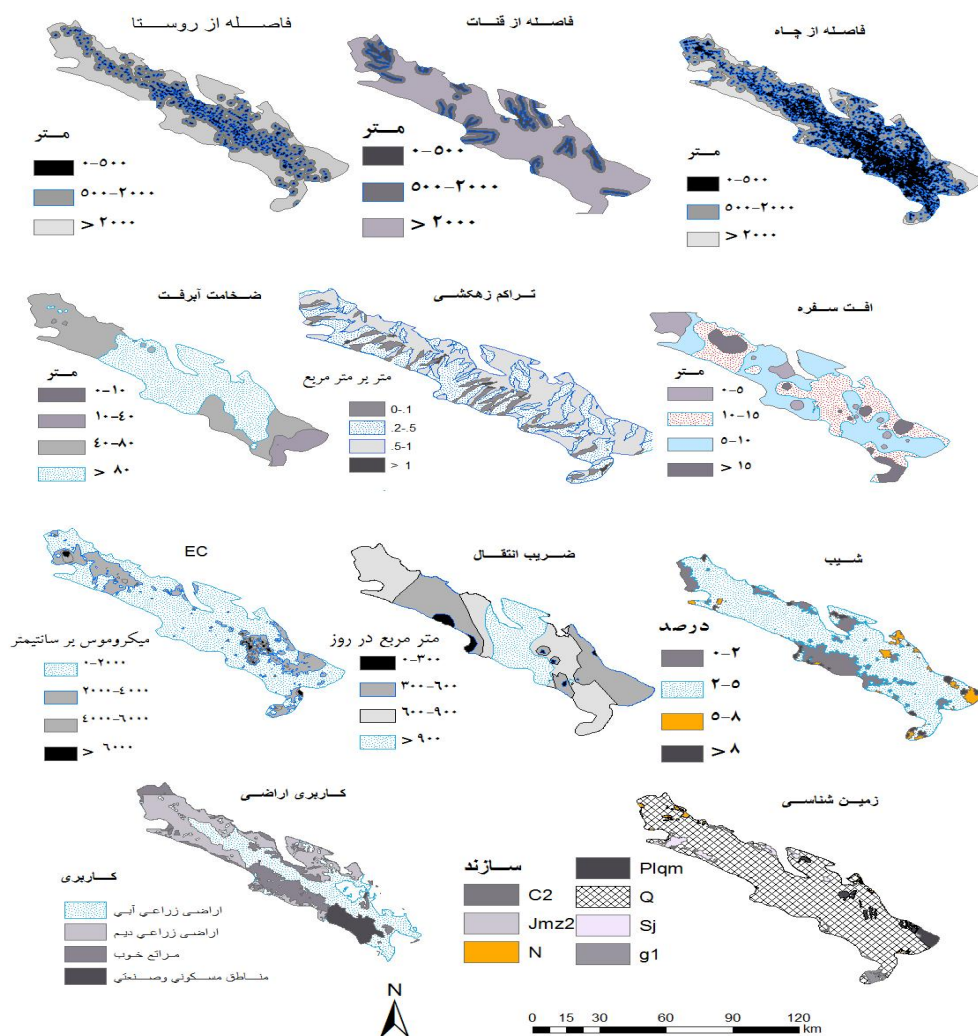
اتخاذ روشی بتوان عناصری که با همدیگر ارتباط دارند را شناخت تا از طریق این ارتباطات، مقایسات زوجی بین آنها صورت گیرد.

مرحله سوم: مقایسه زوجی بین عناصر، خوشه‌ها و گزینه‌ها و تعیین ضریب نهایی از طریق ابرماتریس

پس از تعیین روابط بین معیارها، بایستی مقایسه زوجی بین معیارها را نیز انجام داد. فلسفه مدل ANP و همه مدل‌های تصمیم‌گیری این است که همه معیارها از نظر میزان اهمیتی که نسبت به هم برای یک موضوع دارند مقایسه شوند. در مرحله سوم بایستی مشخص کرد از بین معیارها، کدام معیار ارزش بیشتری نسبت به دیگر معیارها دارد. پس از تشکیل ماتریس‌های مورد نظر در نرم‌افزار و انجام مقایسات زوجی در مرحله پایانی، وزن نهایی هر عنصر و گزینه تعیین شد. پس از محاسبات، نتیجه نهایی کار در مدل ANP حاصل گردید.

نتایج و بحث

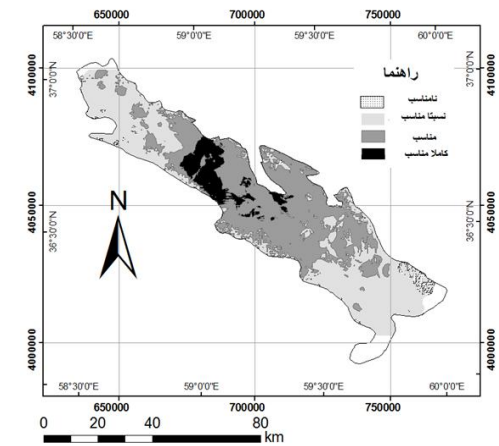
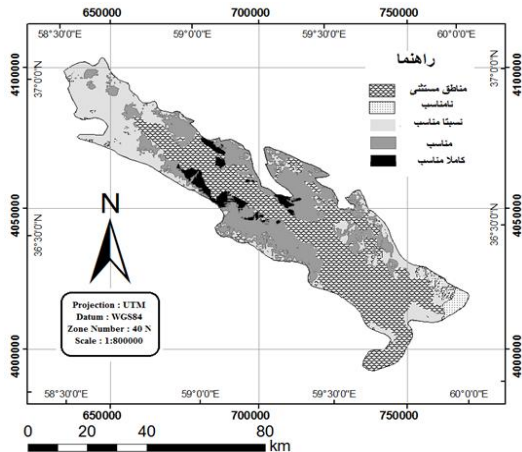
شکل (۴) نقشه‌های مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد. نقشه‌های پایه یعنی شیب، ضخامت آبرفت، فاصله از چاه، فاصله از روستا، فاصله از قنات، EC، تراکم زهکشی، افت سفره و ضریب انتقال براساس منطق فازی بین صفر تا یک وزن‌دهی شدند. همچنین به نقشه کاربری اراضی نیز براساس



شکل ۴. نمایش نقشه‌های مورد استفاده در تحقیق

جدول ۲. وزن نهایی معیارهای ۱۰ گانه با استفاده از نرم‌افزار Super Decision

خوشه	معیار	وزن عمومی	وزن نهایی
	هدایت الکتریکی (EC)	۰/۲۰۴۰۵	۰/۰۴۳۱۳۶
ژئوهیدرولوژی	افت سفره	۰/۶۹۶۲۳	۰/۱۴۷۱۸۳
	تراکم زهکشی	۰/۰۹۹۷۲	۰/۰۲۱۰۸
فیزیوگرافی	شیب	۰/۷۲۸۹۶	۰/۱۷۶۶۶۲
	کاربری	۰/۲۷۱۰۴	۰/۰۶۵۶۸۷
خصوصیات آبرفت	ضخامت آبرفت	۰/۶۶۴۴۷	۰/۲۷۷۷۶۴
	ضریب انتقال	۰/۳۳۵۵۳	۰/۱۴۰۲۵۸
	فاصله از روستا	۰/۵۸۹۷۶	۰/۰۷۵۶۲۵
اقتصادی اجتماعی	فاصله از قنات	۰/۳۲۰۹۸	۰/۰۴۱۱۵۷
	فاصله از چاه	۰/۰۸۹۲۸	۰/۰۱۱۴۴۹



شکل ۵. نقشه مکان‌یابی پخش سیلاب بدون اعمال لایه محدودکننده

شکل ۶. نقشه مکان‌یابی پخش سیلاب همراه با اعمال لایه محدودکننده

جدول ۳. مساحت و درصد هر یک از طبقات بدون در نظر گرفتن لایه محدودکننده

درصد	مساحت (km ^۲)	درجه تناسب
۲/۷۷	۱۰۶/۱۳	نامناسب
۴۶/۷۴	۱۷۹۱/۹۷	نسبتاً مناسب
۴۲/۳۹	۱۶۲۵/۱۷	مناسب
۸/۱۰	۳۱۰/۳۹	کاملاً مناسب
۱۰۰	۳۸۳۳/۶۷	مجموع

جدول ۴. مساحت و درصد هر یک از طبقات با در نظر گرفتن لایه محدودکننده

درصد	مساحت (km ^۲)	درجه تناسب
۲/۷۲	۱۰۴/۰۹	نامناسب
۲۵/۹۳	۹۹۲/۹۲	نسبتاً مناسب
۲۶/۵۱	۱۰۱۶/۳۱	مناسب
۴/۰۹	۱۵۶/۶۸	کاملاً مناسب
۴۰/۷۶	۱۵۶۲/۶۶	مستثنیات
۱۰۰	۳۸۳۳/۶۷	مجموع

شدند (۴). در نهایت نقشه نهایی مناطق مستعد جهت پخش سیلاب تهیه گردید (شکل ۶) جدول (۳) مساحت و درصد هر یک از طبقات تناسب اراضی برای پخش سیلاب بدون در نظر گرفتن لایه محدود کننده و جدول (۴) با اعمال لایه محدود کننده را نشان می‌دهد.

گردید. در نقشه به دست آمده از مرحله قبل مناطقی که دارای شیب بالای ۸ درصد، کاربری‌های مسکونی و صنعتی، کشاورزی آبی و مناطق کوهستانی بودند به عنوان لایه محدود کننده عمل کردند و آن مناطق از نواحی مناسب جهت پخش سیلاب حذف گردیده و به عنوان مناطق مستثنی در نظر گرفته

با توجه به جدول ۳، ۲/۷۷ درصد از کل اراضی نامناسب، ۴۶/۷۴ درصد نسبتاً مناسب، ۴۲/۳۹ درصد مناسب و ۸/۱۰ درصد کاملاً مناسب، جهت اجرای عملیات پخش سیلاب شناخته شد. در مرحله بعد نقشه حاصله با لایه محدودکننده، تلفیق شد که نقشه آن در شکل (۴) نشان داده شده است. در این حالت، مناطقی که دارای مشکل کاربری، شیب و ژئومورفولوژی بودند، حذف گردیدند. طبق جدول ۴ کل اراضی نامناسب ۲/۷۲ درصد، اراضی نسبتاً مناسب ۲۵/۹۳ درصد، اراضی مناسب ۲۶/۵۱ درصد، اراضی کاملاً مناسب ۵/۰۹ درصد و اراضی مستثنی ۴۰/۷۶ درصد جهت پخش سیلاب تشخیص داده شد.

با مقایسه جداول (۳) و (۴) نتیجه‌گیری می‌شود که درصد تناسب اراضی بعد از اعمال لایه محدود کننده تقریباً به نصف می‌رسد. مهدوی و همکاران (۴) نیز در مکان‌یابی پخش سیلاب در حوزه آبخیز شهرکرد، به این نتیجه رسیدند که درصد تناسب اراضی بعد از اعمال لایه کاربری اراضی به یک سوم کاهش یافته است.

از لحاظ شیب، بیشتر مناطق مناسب در شیب‌های کمتر از ۳ درصد قرار گرفته است که نشان‌دهنده تأثیر به‌سزای این عامل در اجرای پخش سیلاب می‌باشد. این مسئله در تحقیقات قرمز چشمه و همکاران (۳) و غیومیان (۸) مبنی بر اینکه مناطق با شیب کمتر از ۵٪ جهت پخش سیلاب مناسب می‌باشند، بیان گردیده است.

از لحاظ زمین‌شناسی، مناطق مستعد پخش سیلاب بیشتر در واحدهای کواترنری قرار گرفته‌اند که علت این موضوع به نفوذپذیری بالا و شیب مناسب این سازند جهت اجرای پخش سیلاب برمی‌گردد. این نتایج با یافته‌های فرجی سبک‌بار و همکاران (۲) که حدود نیمی از سطح مورد مطالعه که برای عملیات پخش سیلاب مناسب بودند را در عرصه‌های کواترنری مکان‌یابی کردند، هماهنگی دارد. نصیری و همکاران (۱۲) نیز مناسب‌ترین مکان‌ها برای تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی را در واحدهای زمین‌شناسی کواترنری Qg و Qgsc و واحدهای ژئومورفولوژیک

دشت و مخروط افکنه با شیب کمتر از ۳٪ تشخیص دادند. در این تحقیق، به‌منظور تعیین وزن هرکدام از معیارهای پخش سیلاب از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده گردید. در مدل تحلیل شبکه‌ای به‌دلیل این‌که در یک شبکه، بازخورد و ارتباط متقابل بین و میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است، از اینرو نتایج حاصل از مدل ANP حاکی از قابل‌قبول بودن مدل و همچنین دقت بالای مدل است که با نتایج فرجی سبک‌بار و همکاران (۵) مبنی بر قابلیت و دقت بالا در به‌کارگیری مدل ANP جهت تعیین مناطق مناسب پخش سیلاب همسو می‌باشد. هر قدر تعداد لایه‌های اطلاعاتی در داخل مدل افزایش یابد، دقت مدل بیشتر خواهد شد.

نتیجه‌گیری

پخش سیلاب بر آبخوان، روشی ارزان جهت استفاده بهینه از سیلاب‌ها برای تغذیه مصنوعی است که کاهش خسارات ناشی از سیلاب را نیز به‌همراه دارد. در این تحقیق، برای مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مستعد پخش سیلاب دشت مشهد، از ده معیار استفاده گردید. پس از عملیات وزن‌دهی و تهیه نقشه معیارها با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و منطق فازی، نقشه مربوط به اولویت‌بندی مناطق مستعد پخش سیلاب آماده شد و درنهایت با اعمال لایه محدود کننده، که از تلفیق سه معیار کاربری اراضی، شیب و ژئومورفولوژی حاصل گردیده بود، نقشه نهایی مناطق مستعد پخش سیلاب تهیه شد. از بین ده عامل مؤثر بر پخش سیلاب، معیار ضخامت آبرفت با وزن ۰/۲۷ به‌عنوان مؤثرترین لایه در بحث مکان‌یابی مناطق مستعد پخش سیلاب شناخته شد. از لحاظ شیب، بیشتر مناطق مناسب در شیب‌های کمتر از ۳٪ قرار گرفت که نشان‌دهنده تأثیر به‌سزای این عامل در اجرای پخش سیلاب می‌باشد. استعداد دشت مشهد در پخش سیلاب، پس از حذف مناطق مستثنیات (۴۰/۸ درصد از کل اراضی)، در چهار کلاس نامناسب، نسبتاً مناسب، مناسب و کاملاً مناسب تعریف شد که به‌ترتیب ۲/۷، ۲۵/۹، ۲۶/۵ و ۵/۱ درصد از مساحت دشت را شامل می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. خاشعی، ع.، ب. قهرمان و م. کوچکزاده. ۱۳۹۰. ارزیابی پتانسیل استحصال آب از آبخوان از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، مطالعه موردی: دشت نیشابور. پژوهش آب ایران ۵(۹): ۱۷۱-۱۸۰.
۲. فرجی سبک‌بار، ح.، ح. نصیری، م. حمزه، س. طالبی و ی. رفیعی. ۱۳۹۰. تعیین عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی بر پایه تلفیق روش‌های ANP و مقایسه زوجی در محیط GIS، مطالعه موردی دشت گربایگان فسا. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی ۲۲(۴): ۱۶۳-۱۶۶.
۳. قرمزچشمه، ب. ۱۳۷۹. بررسی نهشته‌های کواترنر برای تعیین مناطق مستعد پخش سیلاب، مطالعه موردی شمال شرق اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۴. مهدوی، ع.، ی. نوری امامزاده، م. مهدوی نجف‌آبادی و ر. طباطبایی. ۱۳۹۰. مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۵(۵۶): ۷۸-۶۳.
۵. مهرورز مغانلو، ک.، س. فیض‌نیا، ج. غیومیان و ح. احمدی. 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 ۱۲: ۴۳۷-۴۶۷.
۶. نامی، ح. ۱۳۹۲. شناسایی مکان‌های طبیعی مناسب جمع‌آوری نزولات آسمانی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت بیرجند). فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین ۳۹(۱۰): ۶۴-۵۳.
7. Chowdhury, A., M. K. Jaha and V. M. Chowdary. 2010. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS & GIS and MCDM techniques. *J. Environ. Earth Sci.* 59: 1209-1222.
8. Ghayoumian, J., M. Mohseni Saravi, S. Feiznia, B. Nouri and A. Malekian. 2007. Application of GIS techniques to determine areas most suitable for artificial ground water recharge in a coastal aquifer in southern Iran. *J. Asian Earth Sci.* 30(2): 364-374.
9. Kaliraj, S., N. Chandrasekar and N. S. Magesh. 2014. Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique. *Arab. J. Geosci.* 7: 1385-1401.
10. Mahmoud, S. H., A. A. Alazba and M. T. Amin. 2014. Identification of potential sites for groundwater recharge using a GIS-based decision support system in Jazan Region-Saudi Arabia. *J. Water Resource Manage.* 28: 3319-3340.
11. Mohan, G. and M. N. Ravi Shankar. 2005. A GIS-based hydrogeomorphic approach for identification of site-specific artificial-recharge techniques in the Deccan Volcanic Province. *J. Earth Sys. Sci.* 114(5): 505-514.
12. Nasiri, H., A. D. Bolorani, H. A. Faraji Sabokbar, H. R. Jafari, M. Hamzeh and Y. Rafii. 2013. Determining the most suitable areas for artificial groundwater recharge via an integrated PROMETHEE II-AHP method in GIS environment (case study: Garabaygan Basin, Iran). *J. Environ. Monit. Assess.* 185: 707-718.
13. Poveda, B. 2008. Farmland appraisal based on the analytic network process. *J. Glob. Optim.* 42: 143-155.
14. Sreedhar Ganapuram, G. T., I. V. Vijaya Kumar and M. Murali Krishna. 2009. Mapping of ground water potential zone in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *J. Adv. Eng. Software* 40(7): 506-518.

Investigating Suitable Areas for Flood Spreading Using Fuzzy Logic and Analytic Network Process (ANP) (Case Study: Mashhad Plain)

E. Zahedi, F. Jahanbakhshi* and A. Talebi¹

(Received: Jan 10-2016 ; Accepted : May 3-2016)

Abstract

In this research, to locate and prioritize suitable areas for flood spreading in Mashhad plain, 10 criteria were used including land use, slope, alluvium thickness, distance to well, distance to subterranean, distance from the village, water table drawdown, permeability coefficient, electrical conductivity, and drainage density. Weighting process was done by Analytic Network Process (ANP) and fuzzy logic. After preparing and weighting the maps of all appropriate measures for locating suitable areas of flood spreading maps based on fuzzy logic and analytic network process model, the final map was prepared for prioritizing suitable areas for flood spreading. Then by applying the limiting layer that is a combination of three criteria of land use, slope and geomorphology, the final map of suitable areas for flood spreading was prepared and prioritized. The results showed that among the 10 factors influencing flood spreading, the thickness of alluvium criteria by weight of 0.27 was identified as the most effective layer in suitable areas for flood spreading. Most of the suitable regions located in slope less than 3% that represents its considerable impact in implementation of flood spreading. Mashhad plain potential for flood spreading, after removing exception areas (40.8% of total area), were defined in four inappropriate, relatively appropriate, appropriate and perfectly appropriate classes, that include 2.7, 25.9, 26.5 and 1.5% of the plain area, respectively.

Keywords: Artificial Recharge, Flood Spreading Criteria, Mashhad Plain, Prioritizing.

1. Dept. of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd Univ., Yazd, Iran.

*: Corresponding Author, Email: farshid_jahanbakhshi@yahoo.com