سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال چهارم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۱
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.4, No.3, Autumn 2012

۶۵-۸۰

کارایی روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در مکان‌یابی پخش سیلاب
مطالعه موردی: دشت کاشان

یعقوب یزدانی مقدم[۱]، سیدجواد ساداتی‌نژاد*[۲]، علی‌اکبر نظری سامانی[۳]، هدی قاسمیه[۴]

۱. کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه کاشان
۲. دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران
۳. استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه تهران
۴. استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه کاشان

تاریخ دریافت مقاله: ۷/ ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۲۳

چکیده

مهار سیلاب و استفاده بهینه از آن و تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها از مهم‌ترین اهداف مورد نظر در سامانه‌های پخش سیلاب در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. هدف از انجام این مطالعه نیز انتخاب بهترین مکان‌های پخش سیلاب در دشت کاشان با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش تحلیل سلسله‌مراتبی است. برای انجام این مطالعه ابتدا این ۸ پارامتر به منظور مکان‌یابی عرضه‌های مناسب پخش سیلاب انتخاب شدند: شیب زمین، کاربری اراضی، حجم رواناب، واحدهای کواترنر، ضخامت ناحیه غیراشباع آبرفت، ضریب نفوذپذیری، ضریب ذخیره و کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی. سپس با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های مربوط به هر کدام از پارامترها تهیه شدند. در مرحله بعد، با استفاده از روش AHP، اهمیت عوامل مختلف در مکان‌یابی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی وزن نسبی معیارها نشان داد که فاکتور حجم رواناب با دارا بودن وزنی معادل ۳۷ درصد مهم‌ترین عامل به شمار می‌آید. پارامترهایی چون واحدهای کواترنر، شیب، ضخامت غیراشباع لایه آبخوان، نفوذپذیری، ضریب ذخیره، کیفیت آب و کاربری اراضی به ترتیب با وزن‌های نسبی ۰/۲۳، ۱۶/ ، ۰۹۴/ ، ۰۶۱/ ، ۰۳۹/ ، ۰۲۵/ ، ۰۱۸/ اولویت‌های دوم تا هشتم را دارند. سرانجام نیز با توجه به نقشه پهنه‌بندی نهایی پخش سیلاب، سه اولویت برای مکان‌های آن در دشت کاشان تعیین شد. نتایج حاصل از بررسی آنالیز حساسیت با استفاده از روش‌های عملکرد و دینامیک نشان داد که در دامنه (۱۰-) تا (۱۰+) درصد تغییرپذیری در وزن معیارها، تغییرات چندان محسوسی در اولویت معیارها و زیرمعیارها رخ نداده است و حساسیت‌پذیری‌ها زیاد نیست. به بیان دیگر، با تغییرپذیری مذکور می‌توان گفت که تغییرپذیری در اولویت مکان‌های نهایی رخ نداده است، این یافته حاکی از اهمیت معیار رواناب با توجه به دامنه ذکرشده، در مقایسه با دیگر معیارها در انتخاب مکان‌های مناسب پخش سیلاب در دشت کاشان است؛ و بعد از آن معیارهای واحدهای کواترنر و شیب نقش تعیین‌کننده‌ای در این زمینه دارند.

کلید واژه‌ها: پخش سیلاب، GIS، AHP، دشت کاشان، تحلیل حساسیت.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: آران و بیدگل، میدان ۱۵ خرداد، خیابان ۱۷ شهریور، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان، تلفن: ۰۹۱۷۵۱۸۸۲۶۶
Email: jsadatinejad@kashanu.ac.ir

۱- مقدمه

با مهار سیلاب‌ها و تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، علاوه بر جلوگیری از خسارت‌های ناشی از جریان سیلاب‌ها می‌توان از آنها استفاده مفید و بموقع کرد (سلطانی، ۲۰۰۲). در زمان حاضر پخش سیلاب بر آبخوان‌ها، از روش‌های مناسب برای مهار و استفاده بهینه از سیلاب و تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود (ASCE, 2001). پخش سیلاب عبارت است از مهار هرزاب‌های سطحی (سیلاب) و پراکندن آن به‌وسیله عملیات مکانیکی ساده در سطح زمین، بر اثر نیروی ثقل (اسمعیلی و عبداللهی، ۲۰۱۰).

تصمیم‌گیری در انتخاب مکان‌های مناسب پخش سیلاب از آن رو دشوار می‌نماید که باید عوامل زیادی در نظر گرفته شوند. داده‌های مورد نیاز برای تصمیم‌گیری هم از نظر کیفیت و میزان دقت متفاوت‌اند، و میزان اهمیت و وزن هر کدام نیز متفاوت با دیگری است (خیرخواه زرکش، ۲۰۰۸). اخیراً روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری (MCDM[1]) بدین منظور شکل گرفته‌اند. پردازش‌ها و تجزیه و تحلیل‌های این نوع تصمیم‌گیری را می‌توان به منزله فرایندی برشمرد که در آن داده‌های مکانی (نقشه‌ها) و مقادیر ارزیابی‌ها (اولویت‌ها و معیارها)، با هم در می‌آمیزند (مالزوسکی[2]، ۲۰۰۶). در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی در زمینه انتخاب مکان‌های مناسب مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب صورت گرفته است، که در ادامه به اجمال به چند مورد اشاره می‌گردد.

چابک بلداجی و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی مکان‌های مناسب برای پخش سیلاب را در حوزه آبخیز عشق‌آباد طبس مکان‌یابی کرد. در این تحقیق لایه‌های اطلاعاتی شیب، نفوذپذیری، ژئومورفولوژی، جنس سازند و تراکم پوشش گیاهی در قالب مدل‌های مختلف با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه اولویت مکانی پخش سیلاب تهیه گردید. سپس این نقشه با نقشه سیستم پخش سیلاب اجراشده در این منطقه مقایسه شد و مدل AHP[3] به‌مثابه روش مناسبی برای مکان‌یابی عرصه‌های پخش سیلاب در حوزه‌های آبخیز مناطق ارائه گردید.

سلامی و همکاران (۲۰۱۲) طی تحقیقی در حوزهٔ آبخیز شهری، مناطق مناسب را برای پخش سیلاب مشخص ساختند. عوامل انتخابی اینان بر مبنای معیارهای زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی بود تا علاوه بر مهار سیلاب، آبخوان آب زیرزمینی منطقه نیز تغذیه گردد. مهم‌ترین این معیارها عبارت‌اند از نوع پادگانه‌های آبرفتی، نوع آبخوان، نفوذپذیری سطحی، قابلیت انتقال آبخوان، کیفیت آبرفت، کیفیت آب زیرزمینی، شیب توپوگرافی و ضخامت زون غیراشباع و عمق سنگ کف. سپس با استفاده از روش وزن‌دهی دودویی (AHP)، اهمیت طبقه‌های موجود در هر یک از لایه‌های اطلاعاتی مشخص شد و در نهایت با روی‌هم‌گذاری لایه‌های رستری آماده شده از پارامترهای تأثیرگذار، مناطق مناسب از این نظر، در منطقهٔ شهری بم مشخص گردید.

سبکبار و همکاران (۲۰۱۲)، در تحقیقی که در دشت گربایگان فسا انجام دادند، با به کارگیری روش MCDM در تلفیق با GIS، عرصه‌های مناسب را برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در این دشت تعیین کردند. آنان در تحقیق خود از ۷ پارامتر تأثیرگذار در تغذیه مصنوعی بهره گرفتند: شیب، کیفیت آب، زمین‌شناسی، ضخامت آبرفت، کاربری اراضی، قابلیت انتقال، ژئومورفولوژی و تراکم زهکشی. در نهایت نتایج تحقیق نشان داد که مناطق کاملاً مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، اغلب در نهشته‌های کواترنری، Qg، Qgsc، Qb و واحدهای مورفولوژیکی پدیمنتی و مخروط‌افکنه‌های با شیب کمتر از ۳ درصد واقع شده‌اند.

1. MCDM: Multiple Criteria Decition Making
2. Malczewski
3. AHP: Analytic Hierarchy Process

محمدرضا زرچشم و همکاران (۲۰۱۱)، طی مطالعه‌ای که در حوزه آبخیز ماشکید استان سیستان و بلوچستان انجام دادند، توانستند با تلفیق DSS و GIS مکان‌های مناسب برای پخش سیلاب را تعیین کنند. آنها چهار معیار اصلی برگزیدند: خصوصیات سیلاب، وضعیت نفوذپذیری، کاربرد آب در منطقه و خسارت‌های سیلاب. آن‌گاه به منظور تعیین اهمیت عوامل مؤثر مکان‌یابی از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات مکانی برای انجام تحلیل‌های لازم استفاده کردند. در نهایت شاخص حجم سیلاب از معیار اصلی خصوصیات سیلاب و نیازهای آبی شرب و کشاورزی از معیار اصلی کاربرد آب، به عنوان مهم‌ترین عوامل در مکان‌یابی پخش سیلاب در حوزه مطالعاتی ماشکید سیستان و بلوچستان شناخته شد؛ و در نهایت با تلفیق لایه‌های وزن‌دهی شده، مکان‌های مناسب پخش سیلاب در این حوضه به‌دست آمد.

سرگانکار[1] و همکارانش (۲۰۱۰)، برای تعیین محل‌های مناسب به انجام عملیات تغذیه مصنوعی با روش AHP و GIS پرداختند. در این مطالعات مدل‌سازی بارش ـ رواناب، کاربری زمین، خاک و توپوگرافی یک زیرحوزه رودخانه کنهان در ناحیه ناگپور ایالت ماهاراشترای هند در محیط GIS انجام گرفت. به علاوه، پنج مکان بالقوه با حداکثر میزان رواناب با استفاده از روش منطقی برآورد رواناب تشخیص داده شد. از آنجا که توانمندی تغذیه آب‌های زیرزمینی نیز به ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی زمین وابسته است، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با قضاوت کارشناسانه برای طبقه‌بندی پنج محل مذکور به‌کار گرفته شد. معیارهای مورد بررسی در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی عبارت‌اند از: عوارض زمین‌شناختی تخلخل، عمق خاک و عوارض ژئومورفولوژیکی میزان رواناب، شیب، شکل زمین، کاربری، پوشش زمین و نوسانات سطح آب زیرزمینی.

موهان و شانکار[2] (۲۰۰۵)، به منظور مکان‌یابی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی با استفاده از GIS از سه گروه متغیر بهره گرفتند. نخست، پارامترهای زمین‌شناسی، شامل تراکم خطواره، عمق سنگ بستر و عمق پوشش خاک؛ دوم پارامترهای ژئومورفولوژی همچون تراکم زهکشی، کاربری اراضی، واحدهای ژئومورفولوژی اراضی و شیب؛ و سوم پارامتر سطح ایستایی که همان نوسان‌های این سطح است. سرانجام، هشت نقشه مربوط به پارامترهای مذکور تهیه شدند و به صورت فایل بولین درآمدند و در نهایت پهنه‌ای مناسب پخش تعیین شد.

آل‌شیخ و همکاران (۲۰۰۸)، عرصه‌های مناسب را با استفاده از پارامترهای زمین‌شناسی، شیب، قابلیت اراضی، سرعت نفوذپذیری، واحدهای کواترنر و ضخامت آبرفت در حوزه آبخیز سمل بوشهر با بهره‌گیری از GIS تعیین کردند. آنها با تلفیق این لایه‌ها در قالب منطق بولین و شاخص هم‌پوشانی و منطق فازی، نقشه مکان‌های مناسب برای هر مدل را به دست آوردند، و سپس نتایج را با نقشه‌های کنترلی مقایسه کردند.

در شهرستان کاشان، بارش سالیانه با پراکنش زمانی و مکانی نامنظم همراه است، و اغلب بارش‌های منطقه به‌صورت سیلاب از دسترس خارج می‌شود و سالانه هزینه زیادی به اجرای طرح‌های آبخیزداری در این حوضه و دیگر حوضه‌های آبخیز کشور تخصیص می‌یابد. برای اجرای باصرفه این طرح‌ها نیاز است که در ابتدا مکان‌های اجرای این طرح‌ها به‌درستی تشخیص داده شود. در این پژوهش با در نظر گرفتن عوامل مؤثر در مکان‌یابی پخش سیلاب در دشت مورد بررسی، تلاش می‌گردد تا با تعیین دقیق عرصه‌های مناسب برای عملیات پخش سیلاب و بهره‌وری بهینه از سیلاب‌ها، از هدررفت آب در منطقه جلوگیری شود. برای انجام این مطالعه از AHP که در زمرهٔ روش‌های

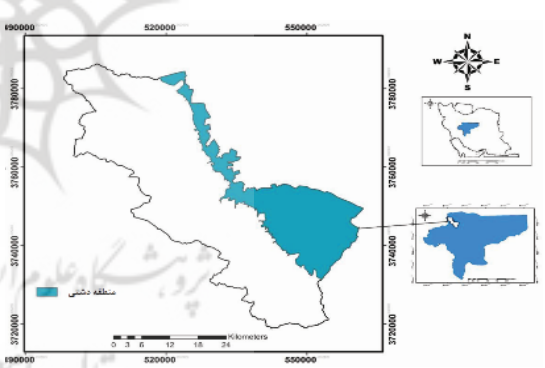
1. Sargaonkar
2. Mohan & Shankar

رایج تصمیم‌گیری چندمعیاری است استفاده شده است. با توجه به اینکه تحلیل حساسیت به منظور ارزیابی میزان نقش عوامل مهم در امر مکان‌یابی کاربرد دارد و از مؤلفه‌های تعیین‌کننده تصمیم‌گیری است (که در مطالعات قبلی آن پرداخته نشده است) در این مطالعه با آنالیز حساسیت بر مبنای روش‌های عملکرد و دینامیک میزان اثر عوامل انتخابی و تغییرپذیری آنها در مکان‌یابی بخش سیلاب بررسی می‌گردد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه در شمال شرق استان اصفهان واقع است، با مختصات "۴۱, '۵۸, °۵۰ تا "۲۰ , '۴۰, °۵۱ طول شرقی و "۳۳ و '۳۶, °۳۳ تا "۱۱, '۱۳, °۳۴ عرض شمالی. در شکل (۱)، موقعیت حوضه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت حوضه مورد مطالعه

مساحت کل حوضه ۱۷۷۰/۴۷ کیلومتر مربع و محیط آن ۳۰۴/۷۲ کیلومتر است. مقادیر متوسط دمای سالانه در ارتفاعات و دشت محدوده مطالعاتی به ترتیب به ۱۴/۴ و ۱۸/۶ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. مقادیر متوسط باران در دشت و ارتفاعات محدوده مطالعاتی کاشان به ترتیب برابر با ۱۸۱/۱ و ۲۳۳/۹ میلی‌متر است. مقدار متوسط تبخیر سالانه از سطح آزاد آب در دشت و ارتفاعات در محدوده کاشان به ترتیب ۱۷۰۵ و ۱۴۵۵/۷ میلی‌متر محاسبه شده است (مشاوران توسعه پایدار، ۲۰۱۰). اقلیم منطقه براساس روش دومارتن، در مناطق دشتی جزء اقلیم خشک یا بیابانی طبقه‌بندی می‌شود و در مناطق کوهستانی جزء اقلیم نیمه‌خشک.

۲-۲- معیارهای مناسب برای انجام پخش سیلاب در دشت کاشان

در این تحقیق، ابتدا ۸ پارامتر به منظور مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای پخش سیلاب در این منطقه انتخاب شد که در ادامه به اختصار بررسی می‌شوند.

۲-۲-۱- حجم رواناب[1]

برآورد رواناب حاصل از بارش‌های جوی، شالوده مطالعات بسیاری از طرح‌های مختلف توسعه و بهره‌برداری از منابع آب را تشکیل می‌دهد (سوری‌نژاد، ۲۰۰۲). نخستین گام برای برنامه‌ریزی مهار و تغذیه سفره در هر منطقه، بررسی میزان رواناب حوضه به منظور اولویت‌بندی مناطق در ارزش‌گذاری‌ها است (کوثر ۱۹۹۵). در این مطالعه با استفاده از مدل تجربی SCS[2]، حجم رواناب با دوره بازگشت ۱۰ ساله برآورد گردید. این مدل به عنوان روشی درخور اطمینان در پژوهش‌های محققان مختلف از جمله (ساهو و همکاران[3]، ۲۰۰۷؛ وینار[4]، ۲۰۰۷) به اثبات رسیده است.

۲-۲-۲- واحدهای کواترنر[5]

نهشته‌های کواترنری که حاصل فرسوده شدن سازندهای بالادست‌شان هستند، مهم‌ترین مخازن آب‌های زیرزمینی به شمار می‌آیند. عملیات پخش سیلاب عموماً در واحدهای کواترنری انجام می‌گیرد. این واحدها در دشت مطالعاتی شامل واحدهای Q_F، Q_{al} و Q_{T2} است و در این میان Q_F که به مخروطه‌افکنه‌های

1. Runoff
2. Soil Conservation Service
3. Sahu
4. Winnar
5. Quaternery unit

جدید مربوط می‌شود، مناسب‌ترین مناطق برای انجام پخش سیلاب است. Qal مربوط به آبرفت‌های جدید است که اغلب ترکیبات قلوه‌سنگی و شن و ماسه دارند و Q_{T2} با پادگانه‌های آبرفتی جدید سروکار می‌یابد. در این تحقیق، ۴۶ مخروطه‌افکنه کوچک و بزرگ به کمک نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای ETM+[1] (مربوط به سال ۲۰۰۵) و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth در محدوده‌های مورد بررسی شناسایی و تفکیک گردید و به دنبال آن عملیات صحرایی و تحلیل‌های میدانی صورت گرفت.

۲-۲-۳- کاربری اراضی[2]

نوع بهره‌برداری از زمین در امکان مهار و گسترش سیلاب اهمیت فراوان دارد. اراضی نامناسب مشتمل‌اند بر اراضی کشاورزی و باغ‌ها، مناطق شهری و مسکونی، جاده و اتوبان و اراضی‌ای فاقد پتانسیل انجام عملیات پخش سیلاب و یا آنهایی که دربردارندهٔ عوامل محدودکننده عملیات پخش سیلاب هستند. از میان کاربری‌های مختلف، مراتع از نظر تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب مناسب‌اند (نوری، ۲۰۰۳، مهدوی و همکاران، ۲۰۰۴)، در مطالعه حاضر در لایه کاربری اراضی، نواحی شهری، بستر رودخانه و اراضی کشاورزی به عنوان محدودیت در نظر گرفته شدند و جزو مناطق حذفی‌اند.

۲-۲-۴- شیب[3]

شیب از مهم‌ترین عوامل مؤثر در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب و تغذیه آب‌های زیرزمینی است. شیب‌های بالا به علت ایجاد فرسایش، و شیب‌های خیلی پایین (صفر درصد) به علت اینکه مانع از جریان آب می‌شوند، برای تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب آب‌های زیرزمینی مناسب نیستند (بونهام کارتر، ۲۰۰۰) براساس تجربیات محققان داخلی و خارجی، مناسب‌ترین شیب برای پخش سیلاب در حد ۰ تا ۲ یا ۳ درصد است.

۲-۲-۵- ضخامت ناحیه غیراشباع آبرفت[4]

یکی از عوامل تأثیرگذار در تغذیه آب‌های زیرزمینی، قسمت غیراشباع آبرفت است. از بُعد نظری، هر چه ضخامت ناحیه مذکور آبرفت بیشتر باشد، میزان ذخیره کردن آب زیرزمینی نیز زیادتر می‌شود. برای تهیه نقشه ضخامت غیراشباع لایه آبخوان از آمار ۱۸ چاه پیزومتری در منطقه دشت استفاده شد.

۲-۲-۶- ضریب نفوذپذیری[5]

یکی از عوامل مهم در تغذیه آب‌های زیرزمینی و پخش سیلاب، نفوذپذیری سطحی است. میزان نفوذ به عواملی چون خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و شیب وابسته است (حکمت‌پور و همکاران، ۲۰۰۷). در این تحقیق، ضریب نفوذپذیری از تقسیم ضخامت آبرفت بر روی ضریب انتقال به دست آمد؛ و ضریب انتقال از آزمایش پمپاژ چاه در ۶ چاه برای ارزیابی ضرایب هیدرودینامیک، به‌وسیله شرکت آب منطقه‌ای اصفهان. به‌منظور ارزیابی ضخامت آبرفت نیز از روش آزمایش سوندهای الکتریکی در ۱۹ چاه (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۸۹) استفاده شد.

۲-۲-۷- ضریب ذخیره[6]

از خواص مهم هیدرودینامیکی حوضه، چگونه ذخیره آب و سفره آب زیرزمینی است. مقدار ضریب ذخیره با استفاده از روش‌های مختلفی اندازه‌گیری می‌شود که معمول‌ترین آنها آزمون‌های پمپاژ چاه است. برای ترسیم نقشه ضریب ذخیره از داده‌های مربوط به ۶ چاه (شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، ۱۳۸۹) به دست آمده از آزمایش پمپاژ استفاده شد.

1. Enhanced Thematic Mapper Plus
2. Landuse
3. Slope
4. Thickness of Vadose zone
5. Infiltration
6. Storage coefficient

۲-۲-۸- کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی[1]

بـرای بررسـی دقیـق وضـعیت کیفـی آب زیرزمینـی دشت‌ها، به آمـاربرداری دقیـق از منـابع آب موجـود در دشت و آنالیز شیمیایی نمونـه‌هـای آب نیـاز اسـت. بـه منظور ترسیم نقشه کیفیت، ۴۰ حلقـه چـاه کـه دارای آمار کیفیت بودند، انتخاب شدند. این چاه‌ها در سرتاسر حوضه، به گونه‌ای انتخاب شدند که بیشتر قسمت‌ها در بر گرفته شوند. در ایـن تحقیـق بـرای بررسـی کیفیـت آب‌های زیرزمینی از پارامتر کیفی EC استفاده شد.

برای ترسیم نقشه‌هایی که نیاز به درون‌یابی دارنـد، بـا مقایـسه روش‌هـای زمـین‌آمـاری OK[2] (کریجینـگ معمولی)، IK[3] (کریجینگ شاخص) و SK[4] (کریجینـگ ساده) و روش‌های معین IDW[5] (روش عکس فاصـله) و RBF[6] (روش تابع شعاعی)، مناسب‌ترین روش‌ها انتخاب شـدند. بـه منظـور ترسـیم نقـشه ضـخامت غیراشـباع آبخوان، نفوذپذیری، ضریب ذخیره و کیفیـت شـیمیایی به ترتیب از درون‌یابی کریجینـگ شـاخص، کریجینـگ ساده، کریجینگ معمولی و کریجینگ معمولی با توجـه بـه کمتـر بـودن مقـدار خطـای RMSE اسـتفاده شـد (جدول ۱).

۲-۳- فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، از جامع‌ترین سیستم‌هـای طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری بـا معیارهـای چندگانـه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را بـه صورت سلسله‌مراتبی و همچنین امکان در نظـر گـرفتن شاخص‌های مختلف کمی و کیفی را در مـسئله فـراهم می‌سازد (دایر و فورمن، ۱۹۹۲). در این فراینـد کـه بـر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، گزینه‌های مختلفی در تصمیم‌گیری دخالت داده می‌شـود و امکـان تحلیـل حساسیت معیارها و زیرمعیارها فراهم می‌آید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان مـی‌دهـد کـه از مزایـای ممتـاز ایـن تکنیـک در تـصمیم‌گیـری چندمعیاره است (قدسی‌پور، ۲۰۰۶). در این پژوهش بـا تشکیل ماتریس‌های مربوط به معیارها و زیرمعیارهـا در نرم‌افزار Expert choice، مقادیر وزن‌های نسبی و نهایی (نهایی) به دست آمد. میزان نرخ ناسازگاری قابل تحمل در روش AHP، کمتر از ۰/۱ در نظر گرفته شده اسـت. در این تحقیق میزان ضریب ناسازگاری نیز با استفاده از نرم‌افزار Expert choice به دست آمد.

جدول ۱. مقادیر RMSE برای روش‌های زمین‌آمار مورد استفاده

پارامتر / روش‌های مورد استفاده	نفوذپذیری	ضریب ذخیره	ضخامت غیراشباع لایهٔ آبخوان	کیفیت آب
OK	۰/۱۲	۰/۰۰۰۳	۳۸/۴۸	۱۵۲۶
IK	۰/۱۷	۰/۰۳	۱/۴	۱۹۴۰
SK	۰/۰۴	۰/۰۰۲	۳۸/۲	۲۰۰۸
IDW	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۳۹/۱	۱۹۲۰
RBF	۰/۰۵	۰/۰۰۰۶	۳۳/۳۳	۱۸۳۰

1. Water quality
2. Ordinary Kiriging
3. Index Kiriging
4. Simple Kriging
5. Inverse Distance Weights
6. Radial Basis Function

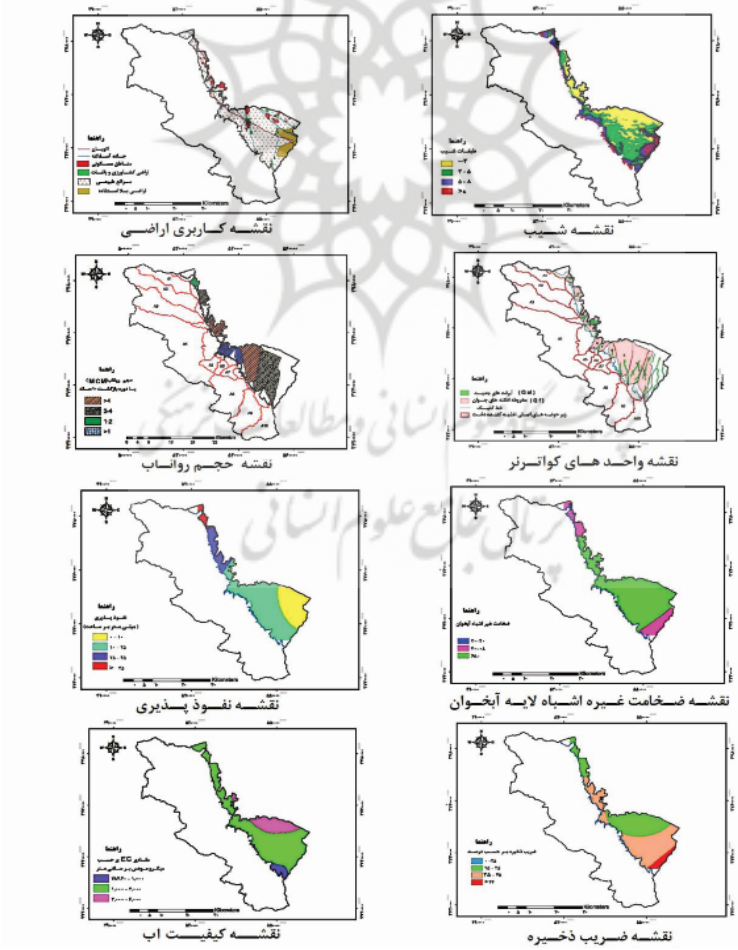
۲-۴- تحلیل حساسیت در مدل AHP

تحلیل حساسیت به منظور سنجش حساسیت گزینه‌ها در برابر تغییر اولویت معیارها به کار می‌رود. در روش AHP، پنج نوع تحلیل حساسیت گرافیکی وجود دارد. این پنج شیوه عبارت‌اند از: تحلیل حساسیت تفاوت‌ها، طرح دوبعدی، گرادیان، دینامیک و عملکرد. هر پنج شیوهٔ تحلیل نشان‌دهنده حساسیت گرافیکی اولویت‌ها و گزینه‌ها و معیارهای موجود و همچنین ارتباط آنها با یکدیگر براساس ویژگی‌ها و قابلیت‌های‌شان هستند. این شیوه‌ها باعث تأکید بر جنبه‌های مختلف رابطهٔ گزینه‌ها، معیارها و اولویت‌های آن‌ها می‌شوند (قدسی‌پور، ۲۰۰۶). در این تحقیق، تحلیل حساسیت برمبنای دو روش دینامیک و عملکرد در نرم‌افزار Expert choice صورت گرفت. تحلیل حساسیت دینامیک، حساسیت اولویت معیارها و چگونگی تأثیر تغییرات اولویت هر معیار بر آنهای دیگر را نشان می‌دهد. این نوع تحلیل، هنگام افزایش یا کاهش اولویت یک یا چند معیار، تغییرات ایجادشده در اولویت گزینه‌ها را ممکن می‌سازد (قدسی‌پور، ۲۰۰۶).

در روش تحقیق عملکرد نیز، حساسیت به صورت گراف‌هایی نمایش داده می‌شود و تأثیر تغییرپذیری هر معیار بر زیرمعیارها و اولویت‌بندی آنها مشاهده‌شدنی است (قدسی‌پور، ۲۰۰۶).

۳- نتایج

لایه‌های مربوط به معیارهای انتخابی در مکان‌یابی پخش سیلاب دشت کاشان با استفاده از نرم‌افزار ۹/۳ Arc GLS تهیه شدند (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه‌های مربوط به معیارهای انتخابی

جدول ۲. ماتریس اولیه مربوط به معیارهای انتخابی در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب

وزن نسبی	کاربری اراضی	کیفیت آب	ضریب ذخیره	نفوذپذیری	ضخامت غیر اشباع	شیب	واحدهای کواترنر	حجم رواناب	
۰/۳۷۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۱	حجم رواناب
۰/۲۳۱	۹	۸	۷	۵	۴	۲	۱		واحدهای کواترنر
۰/۱۶۳	۸	۷	۵	۴	۳	۱			شیب
۰/۰۹۴	۷	۵	۴	۲	۱				ضخامت غیر اشباع
۰/۰۶۱	۵	۴	۲	۱					نفوذپذیری
۰/۰۳۹	۴	۲	۱						ضریب ذخیره
۰/۰۲۵	۲	۱							کیفیت آب
۰/۰۱۸	۱								کاربری اراضی
ضریب ناسازگاری=۰/۰۶									

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، ماتریس اولیه مربوط به معیارهای انتخابی در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب در دشت کاشان تهیه گردید (جدول ۲).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از حل ماتریس، پارامتر هیدرولوژیکی حجم رواناب برحسب میلیون مترمکعب با دوره بازگشت ۱۰ سال با وزنی معادل ۰/۳۷۰، بیشترین وزن را دارد و به عنوان اولویت نخست در مکان‌یابی پخش سیلاب مطرح است. واحدهای کواترنر با وزن ۰/۲۳۱ (اولویت دوم)، شیب با وزن ۰/۱۶۳ (اولویت سوم)، ضخامت لایه غیراشباع آبخوان با وزن ۰/۰۹۴ (اولویت چهارم)، نفوذپذیری با وزن ۰/۰۶۱ (اولویت پنجم)، ضریب ذخیره با وزن ۰/۰۳۹ (اولویت ششم)، کیفیت آب با وزن ۰/۰۲۵ (اولویت هفتم) و در نهایت، کاربری اراضی با وزن ۰/۰۱۸ (اولویت هشتم) در مکان‌های بعدی قرار دارند. بنابراین هر چه وزن معیار بیشتر باشد، از لحاظ تأثیرگذاری در پخش سیلاب در اولویت است. در این تحقیق، ضریب ناسازگاری ماتریس ۰/۰۶ به دست آمد.

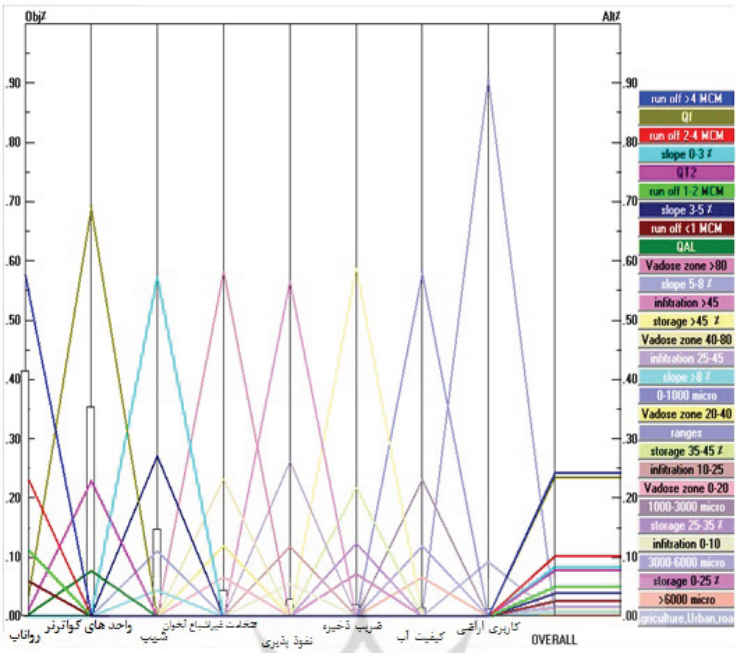
با توجه به نتایج وزن نهایی زیر معیارها، زیرمعیار مربوط به طبقه >۴ میلیون مترمکعب از پارامتر حجم رواناب، زیر معیار مربوط به Q_F از پارامتر واحدهای کواترنر و زیرمعیار مربوط به طبقه ۳-۰ درصد از پارامتر شیب به ترتیب با با ۰/۲۲۳، ۰/۱۴۰ و ۰/۰۹۹، بیشترین وزن‌ها را به خود اختصاص داده‌اند و زیرمعیار مربوط به طبقه ۶۰۰۰-۳۰۰۰ میکروموهوس از پارامتر کیفیت، زیرپارامتر مربوط به طبقه ۶۰۰۰۲ از پارامتر کیفیت و زیرمعیار مربوط به طبقه اراضی کشاورزی و شهری مربوط به معیار کاربری اراضی به ترتیب با وزن‌های برابر با ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۱، کمترین را. در این تحقیق، ضریب ناسازگاری در ماتریس زیرمعیارها ۰/۰۴ به دست آمد. سپس وزن‌های نسبی و نهایی مربوط به تمام زیرمعیارها با استفاده از نرم‌افزار Expert choice ۱۱ مشخص گردید، که در جدول ۳ نشان داده شده است.

نتایج مربوط به آنالیز حساسیت برمبنای روش عملکرد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در روی نمودار ترسیم‌شده معیارها بر روی محور افقی و زیرمعیارها یا گزینه‌ها بر روی محور عمودی نشان داده شده‌اند. تقاطع خطوط زیرمعیارها با خطوط عمودی مربوط به معیارها، وزن هر زیرمعیار را در مورد آن معیار نشان می‌دهد (قدسی‌پور، ۲۰۰۶)، اولویت معیارها نیز با خطوط عمودی نشان داده شده است. به عنوان نمونه، میزان حساسیت‌پذیری زیرمعیارها در برابر تغییر

وزن معیارهـا در مثـالی بـه منظـور ارزیـابی تغییـر در اولویت‌بندی زیرمعیارها آورده شد. مثلاً با افـزایش وزن معیار واحدهای کواترنر از ۰/۲۳ بـه ۰/۳۶ (افـزایش ۱۳ درصدی) نتایج مربوط بـه تغییرپـذیری وزن معیارهـا و زیرمعیارها مطابق با شکل ۳ آورده شد. در خط عمودی Overall نیز وزن‌های نهایی مربوط به زیر معیارها نشان داده شده است.

جدول ۳. وزن‌های نسبی و نهایی مربوط به تمام زیرمعیارها

حجم رواناب	کلاس‌های طبقه‌بندی (میلیون متر مکعب)	۴<	۲-۴	۱-۲	۱>
	وزن نسبی	۰/۵۷۶	۰/۲۴۳	۰/۱۱۸	۰/۰۶۲
	وزن نهایی	۰/۲۲۳	۰/۰۹۴	۰/۰۴۶	۰/۰۲۴
واحدهای کواترنر	انواع واحدها	Q_F	Q_{t2}	Q_{al}	-
	وزن نسبی	۰/۶۹۲	۰/۲۳۱	۰/۰۷۷	-
	وزن نهایی	۰/۱۴۰	۰/۰۴۷	۰/۰۱۶	-
شیب	کلاس‌های طبقه‌بندی(درصد)	۰ -۳	۳ -۵	۵ -۸	۸<
	وزن نسبی	۰/۵۷۳	۰/۲۷۱	۰/۱۱۰	۰/۰۴۵
	وزن نهایی	۰/۰۹۹	۰/۰۴۷	۰/۰۱۹	۰/۰۰۸
ضخامت غیره اشباه آبخوان	کلاس‌های طبقه‌بندی(متر)	۰-۲۰	۲۰ -۴۰	۴۰ -۸۰	۸۰<
	وزن نسبی	۰/۰۶۶	۰/۱۲۰	۰/۲۳۱	۰/۵۸۲
	وزن نهایی	۰/۰۰۶	۰/۰۱۲	۰/۰۲۲	۰/۰۵۶
نفوذپذیری	کلاس‌های طبقه‌بندی(mm/hr)	۰ -۱۰	۱۰ -۲۵	۲۵ -۴۵	۴۵<
	وزن نسبی	۰/۰۵۵	۰/۱۱۸	۰/۲۶۲	۰/۵۶۵
	وزن نهایی	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۱۷	۰/۰۳۷
ضریب ذخیره	کلاس‌های طبقه‌بندی(درصد)	۰ -۲۵	۲۵ -۳۵	۳۵ -۴۵	۴۵<
	وزن نسبی	۰/۰۷۲	۰/۰۱۲۳	۰/۲۱۸	۰/۵۸۷
	وزن نهایی	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۲۳
کیفیت آب	کلاس‌های طبقه‌بندی (میکروموهوس بر سانتی‌متر)	۰ -۱۰۰۰	۱۰۰۰ -۳۰۰۰	۳۰۰۰ -۶۰۰۰	۶۰۰۰ <
	وزن نسبی	۰/۵۸۲	۰/۲۳۱	۰/۱۲۰	۰/۰۶۶
	وزن نهایی	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
کاربری اراضی	انواع کاربری‌ها	مراتع	زراعی، باغ‌ها، مناطق مسکونی	-	-
	وزن نسبی	۰/۹۰	۰/۱۰	-	-
	وزن نهایی	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	-	-



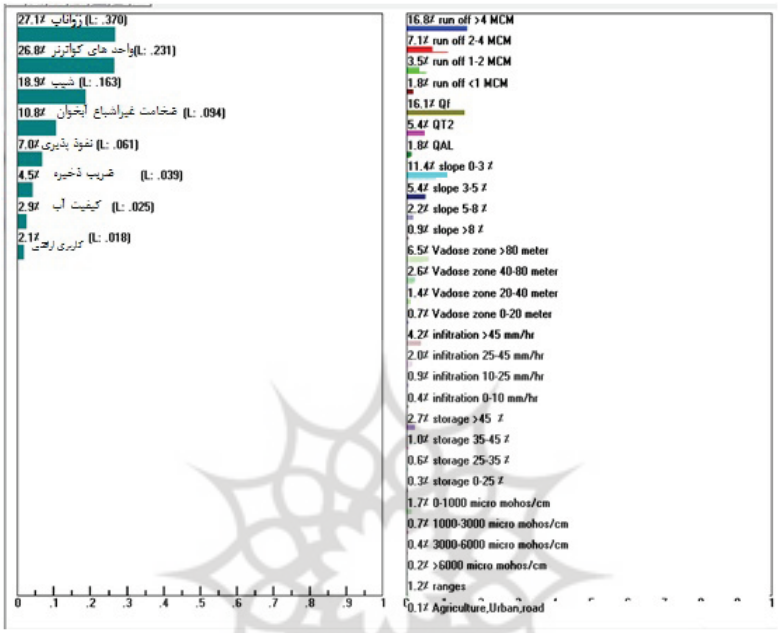
شکل ۳. تحلیل حساسیت بر مبنای روش عملکرد با افزایش ۱۳ درصدی در وزن معیار واحدهای کواترنر

با توجه به شکل ۳ با افـزایش ۱۳ درصـدی در وزن معیار واحدهای کـواترنر همچنـان معیـار روانـاب دارای بیشترین طول میلـه عمـودی بـا وزن ۰/۴۲ (۵ درصـد افزایش) است؛ و معیـار شـیب بـا وزن ۰/۱۴ (حـدود ۲ درصد کاهش) از لحاظ طول میله عمودی در رتبه سوم قرار دارد؛ و البته معیار واحدهای کـواترنر بـا وزن ۰/۳۳ (۱۳ درصد افزایش) نیز همچنان در رتبه دوم اسـت. در ستون سـمت راسـت بـه ترتیـب اولویـت براسـاس وزن نهایی نـشان داده شـده اسـت، بـه طـوری کـه بـا ایـن تغییرپذیری زیرمعیارهای >۴ میلیون مترمکعب و طبقه ۴-۲ میلیون مترمکعب از معیـار روانـاب بـه ترتیـب در رتبه‌های اول (بدون تغییر رتبه) و سوم (۱ رتبه صـعود) و زیرمعیارهای Q_F و Q_{t2} از معیار واحدهای کـواترنر بـه ترتیب در اولویت‌های دوم (بدون تغییـر رتبـه) و پـنجم (۲ رتبه صعود) قرار گرفتـه‌انـد، و طبقـه ۳-۰ از معیـار شیب در رتبه چهـارم (۱ رتبـه نـزول). در کمتـر از ۱۰ درصد تغییرپذیری در وزن معیارها، تغییرات محسوسی در رتبه‌بندی‌ها دیده نشد.

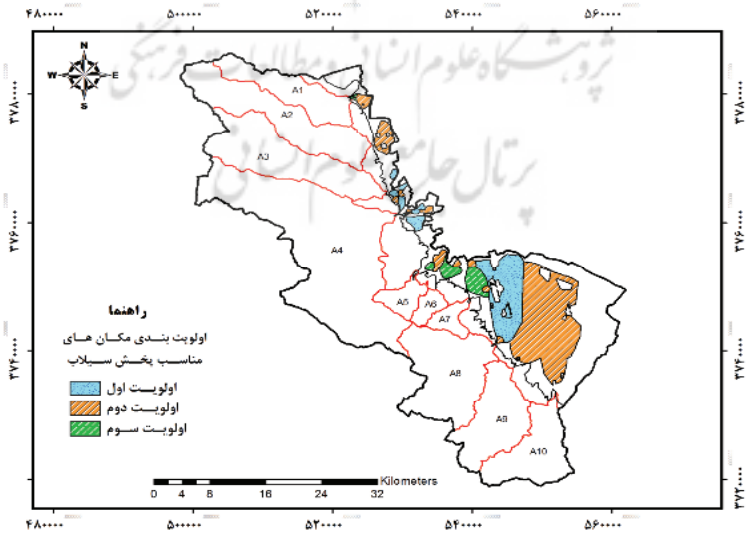
نتایج مربوط به تحلیل حـساسیت براسـاس تحلیـل دینامیک (پویا) نیز مورد تجزیه و تحلیـل قـرار گرفـت. تحلیل این نمودار با استفاده از نمودارهای میله‌ای ـ که به صورت افقی‌اند ـ صورت می‌گیرد، که با کـاهش و یـا افزایش وزن معیارها می‌توان تأثیر آن را بـر رتبـه‌بنـدی زیرمعیارها مشخص کرد (قدسی‌پور، ۲۰۰۶). به عنـوان نمونه میزان حساسیت‌پذیری زیرمعیارهـا در اثـر تغییـر وزن معیارها در مثـالی بـه منظـور ارزیـابی حـساسیت معیارها و زیرمعیارها بررسی گردید. به عنوان مثـال، بـا کاهش ۱۰ درصدی در وزن معیـار روانـاب از ۰/۳۷ بـه ۰/۲۷ نتـایج مربـوط بـه تغییرپـذیری وزن معیارهـا و زیرمعیارها مطابق با شکل (۳) به‌دست آمد.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با کاهش وزن معیار رواناب بـه میـزان ۱۰ درصـد همچنـان ایـن معیار با اختلاف ناچیزی بیشترین طـول میلـه افقـی را دارد. در اولویت اندازه میله‌ها در معیارهـا و زیرمعیارهـا نیز تغییرات محسوسی بـه چـشم نمـی‌خـورد. ولـی بـا کاهش وزن معیار رواناب به میزان ۱۱ درصد طول میله افقی معیار واحدهای کواترنر بیشتر خواهد شد. تغییرات طول میله افقی مربوط به زیرمعیارها و وزن نهایی آنهـا

نیز در سمت راست نمودار دیده می‌شود. در نهایت بعد از محاسبه اوزان نسبی و نهایی مربوط به معیارها و زیرمعیارها و تحلیل نمودارهای حساسیت برمبنای روش تحلیل عملکرد و دینامیک لایه‌های وزن‌دار مربوط به هر لایه اطلاعاتی تهیه گردید. سپس با روی هم‌گذاری وزنی لایه‌های به‌دست‌آمده، پهنه‌های مناسب پخش سیلاب مطابق با شکل ۵ به دست آمد.



شکل ۴. تحلیل حساسیت برمبنای روش پویا با کاهش ۱۰ درصدی وزن معیار رواناب



شکل ۵. نقشه مکان‌های مناسب پخش سیلاب در دشت کاشان

طبق نقشه نهایی پخش سیلاب، سرانجام سه اولویت برای مکان‌های پخش سیلاب در دشت کاشان تعیین شد. با توجه به نقشه به‌دست‌آمده، ۶۵۳۰ هکتار از مساحت مناطق تعیین‌شده در اولویت نخست قرار گرفتند. اولویت دوم نیز مساحتی ۱۴۲۸۸ هکتاری دارد و اولویت سوم دارای مساحتی ۱۸۷۲ هکتاری در دشت کاشان است (نقشه ۴).

۴- بحث و نتیجه‌گیری

بررسی وزن معیارها در این تحقیق نشان داد که فاکتور حجم رواناب با گرفتن وزنی معادل ۳۷ درصد مهم‌ترین عامل در مکان‌یابی پخش سیلاب در دشت کاشان است. این نتیجه با نتایج خیرخواه زرکش (۲۰۰۵) مطابقت دارد. واحدهای کواترنر، شیب، ضخامت غیراشباع لایه آبخوان، نفوذپذیری، ضریب ذخیره، کیفیت آب و کاربری اراضی به ترتیب با وزن‌های نسبی ۰/۲۳، ۰/۱۶، ۰/۹۴، ۰/۶۱، ۰/۳۹، ۰/۲۵، ۰/۱۸ در اولویت‌های دوم تا هشتم قرار گرفتند. در بررسی معیار واحدهای کواترنر، واحد کواترنری Q_F (شامل مخروط‌افکنه‌های جوان) با وزنی معادل با ۰/۶۹۲ از بین سه واحد به عنوان مهم‌ترین پارامتر انتخاب گردید و بیشترین مساحت از محدودهٔ مورد مطالعه را نیز دارد (۲۶۶۶۲/۱۷۵ هکتار). این یافته با نتیجه تحقیق پارسا مهر و همکاران (۲۰۱۲)، که واحدهای Q_F را مناسب‌ترین واحدها برای پخش سیلاب داشتند، همخوان است. بررسی نتایج شیب نشان داد که طبقه شیب ۳-۰ درصد با وزنی معادل ۰/۵۷ (بیشترین وزن) در اولویت نخست برای انجام پخش سیلاب قرار دارد. مساحت این طبقه برابر با ۱۷۶۸۰ هکتار در محدوده است. بررسی نقشه نهایی نشان داد که از لحاظ شیب نیز بیشتر مناطق مناسب در شیب‌های پایین (کمتر از ۳ درصد) قرار گرفته‌اند، که این خود تأثیر جدی این عامل را در اجرای طرح‌های پخش سیلاب نشان می‌دهد و با نتایج قرمزچشمه و همکاران (۲۰۰۰؛ عبدی و قیومیان، ۲۰۰۰؛ نوری و همکاران، ۲۰۰۳؛ و ساراف و همکاران، ۱۹۹۸)، مبنی بر اینکه عرصه‌های با شیب کمتر از ۳ درصد برای پخش سیلاب مناسب‌اند، همخوانی دارد. با بررسی نتایج مربوط به معیار زون غیراشباع با طبقه‌بندی زون غیراشباع و بهره‌گیری از دیدگاه‌های کارشناسی، زون مربوط به طبقه >۸۰ متر با وزنی معادل ۰/۵۸ و زون مربوط به طبقه ۸۰-۴۰ متر با وزنی معادل ۰/۲۳ به ترتیب اولویت یکم و دوم را در مکان‌یابی پخش سیلاب دارند و بیشترین مساحت از عرصه‌های مناسب در این طبقه به‌دست آمده است. نتایج این یافته مبنی بر اینکه مکان‌های مناسب پخش سیلاب در این دو طبقه‌اند، با تحقیق حکمت‌پور و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد. با بررسی معیار کیفیت آب زیرزمینی و طبقه‌بندی مقادیر کیفی که مطابق با طبقه‌بندی راگنات (۱۹۸۷) و امیری و یعقوبی (۲۰۰۶) از لحاظ پارامتر EC صورت گرفت، در نهایت طبقه کیفی ۱۰۰۰-۰ میکروموهوس بر سانتی‌متر با وزنی معادل ۰/۵۸ و طبقه ۳۰۰۰-۱۰۰۰ میکروموهوس بر سانتی‌متر با وزنی برابر با ۰/۲۳ در این زیرمعیار به ترتیب مهم‌ترین طبقات به شمار می‌آیند. بررسی نتایج مربوط به ضریب ذخیره نشان داد که این ضریب به طور کلی از قسمت بالای دشت به پایین آن کاهش می‌یابد. در مناطق بالاتر به علت دانه‌بندی مطلوب، فضای مناسبی برای ذخیره آب ورودی فراهم می‌شود و در مناطقی با دانه‌بندی ریزتر، به علت تراکمی که بین ذرات وجود دارد، فضای ذخیره آب کمتر است. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که طبقه ضریب ذخیره >۴۵ درصد با وزن نهایی ۰/۵۸۷ بیشترین وزن را دارد و طبقه ۴۵-۳۵ با وزن ۰/۲۱ در اولویت دوم جای می‌گیرد. طبقه ۴۵-۳۵ درصد با مساحتی ۲۳۷۸۵ هکتاری، بیشترین مساحت را دارد.

نتایج آنالیز حساسیت برمبنای روش عملکرد نشان می‌دهد که معیار رواناب دارای بیشترین طول میلهٔ عمودی است و به همین خاطر مهم‌ترین عامل به شمار می‌آید. در شکل ۳ آنالیز حساسیت اولیه برمبنای روش عملکرد نشان داده شده است و اولویت مربوط به تمام زیرمعیارها نیز در سمت راست این نمودار به چشم

می‌خورد. برای ارزیابی میزان حساسیت معیارها نیز با تغییر در وزن معیارها میزان تغییرپذیری معیارها و اولویت آنها، ارزیابی گردید. به عنوان مثال با افزایش ۱۳ درصد در وزن معیار حجم رواناب (از ۳۷ درصد به ۵۰ درصد)، طبقه <۴ میلیون مترمکعب با دوره بازگشت ۱۰ ساله در اولویت نخست زیرمعیارها با توجه به وزن نهایی قرار دارد. طبقه ۲-۴ معیار رواناب (به جای عامل Q_F) اولویت بعد مربوط به Q_F از واحدهای کواترنر و اولویت بعد ۰-۳ درصد از طبقه شیب و اولویت پنجم از زیرمعیارها مربوط به طبقه ۱-۲ میلیون مترمکعب از معیار رواناب است، این نتایج حاکی از آن‌اند که افزایش ۱۰ درصد به بالا در وزن معیار رواناب تغییرات محسوسی را ایجاد کرده است. به طوری که ۳ زیرطبقه رواناب بین ۵ اولویت نخست قرار دارد. بنابراین رواناب و طبقات با این تغییر نقش تعیین‌کننده‌ای در مکان‌های نهایی دارند. اما با افزایش ۵ و ۷ درصد در وزن معیار رواناب تغییرات محسوسی در اولویت‌بندی زیرپارامترها شکل نگرفته است. همچنین با افزایش ۵ و ۷ درصدی در وزن معیار واحدهای کواترنر تغییری در اولویت‌ها روی نداد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با کم و زیاد کردن وزن‌ها به میزان ۱۰ درصد به بالا میزان تغییرپذیری در وزن نهایی زیرمعیارها و رتبه‌بندی آنها افزایش می‌یابد؛ و در بازه (۱۰+) تا (۱۰-) درصد تغییرپذیری، حساسیت محسوسی دیده نمی‌شود. همچنین نتایج نشان داد که تغییرپذیری حجم رواناب نسبت به سایر معیارها اثر بیشتری بر اولویت زیرمعیارها و وزن آنها دارد.

نتایج تحلیل حساسیت برمبنای روش دینامیک و ارزیابی تغییرات طول میله در این روش که یک نمونه از آن در شکل ۵ آورده شده است نشان می‌دهد که با کاهش ۱۰ درصدی در معیار رواناب اندازه طول میله‌ها از نظر اولویت اندازه، تغییر نمی‌کند ولی از این مقدار به بعد اولویت‌ها در اندازه طول میله‌ها تغییر می‌کند. به‌طور کلی در دامنه (۱۰-) تا (۱۰+) حساسیت‌پذیری‌ها زیاد نیست، و به عبارتی تغییری در اولویت‌بندی مکان‌های نهایی رخ نمی‌دهد. این نتایج نیز مؤید نتایج آنالیز حساسیت برمبنای روش عملکرد است. از بین زیر معیارها، حجم رواناب مربوط به طبقه <۴ میلیون مترمکعب با دوره بازگشت ۱۰ ساله از معیار حجم رواناب که مربوط به رواناب خروجی از زیرحوزه‌های شماره ۴ و شماره ۸ است، بیشترین تأثیرگذاری را در بین زیرمعیارها دارد و بعد از آن Q_f از معیار واحد کواترنر و طبقه ۳-۰ درصد از معیار شیب دارای بیشترین نقش در مکان‌یابی و در نهایت در نقشه نهایی‌اند. به منظور افزایش دقت مدل می‌توان از شاخص‌های بیشتری در امر مکان‌یابی بهره برد، اما بایستی این را نیز در نظر گرفت که افزایش شاخص‌ها به هزینه و وقت بیشتری نیاز دارد. پس با تحقیقات بیشتر می‌توان تعداد بهینه‌ای از شاخص‌ها را در مکان‌یابی دخیل ساخت. شاخص‌های کمی ژئومورفولوژی مانند نسبت ناهمواری و نسبت بین مساحت آبخیز بالادست به مساحت دشت یا مخروط‌افکنه می‌توانند در این زمینه بسیار مفید باشند.

۵- منابع

Abdi, P., Ghayoumian, J., 2000, **Suitable Areas Selection of the Flood Spreading in Zanjan Plain Using GIS**, Articles Collections of Second Congress of the aquifer and geophysical data achievements, 86 - 99.

Abdi, P., 2005, **Mapping Supply of Quaternary Alluvial of Zanjan Province Using RS GIS**, Journal of plaining engineering, remote sensing and Geographical Sciences, 14 (54), 36-41.

Alesheikh, A.A., Soltani, M.J., Nouri, N. and M. Khalilzadeh, 2008, **Land Assessment for Flood Spreading Site Selection Using Geospatial Information System**, International Journal of Environmental Science and Technology, 5 (4): 455-462.

Amiri, M., yaghubi, B., 2006, **Evaluate Place of the Proposed Flood Spreeding in Ali Abad Damagh- Malayer**, Journal of Iranian geology, Second Year, No (4) , 89-99.

ASCE STANDARD, 2001, **Standard Guidelines for Artificial Recharge of Ground Water**, Environmental and Water Resource Institute, American Society of Civil Engineers., ASCE standard, EWRI/ ASCE 34-10, 106 PP.

Bonham Karter, G., 2000, **Geographical Information Systems for Knowledge Scholars of Geosciences**, modeling using GIS, Geology Development and Mineral Exploration of Iran, P. 562.

Chabok Boldaji, M., Hassanzadeh Nofoti, M., Ebrahimi Khosfi, Z., 2011, **Suitable Areas Selection Using AHP (Case study watershed Ashgabat Tabas)**, Journal of Science and Engineering watershed, fourth year, No. 13.

Consulting Engineers of Water and Sustainability, 2010, **Water Balance Studies of the Salt Lake Basin**, The water balance studies reported in the plains of Kashan.

Dadresi Sabzevar, A., Khosroshahi, M., 2008, **Recognition of Prone Areas for Flood Spreeding with Conceptual Models Method (Way for Desertification Control)**, Journal of range and desert of Iran reserch, 221-247.

Dyer, R.F., Forman, E.H., 1992, **Group Decision Support with the Analytic Hierarchy Process**, Decision Support Systems, 8: 99-124.

Faraji Sabokbar, H., Nasiri, H., Hamze, M., Talebi, S, Rafii, Y, 2012, **Determine Suitable Areas for Artificial Recharge Based on Combining the Method of Paired Comparisons and ANP in GIS (Case Study: Plain Gorbayegan of Fasa)**, Journal of Geography and Environmental Planning, 4, 143-166.

Ghayoumian, J., Ghermez Cheshme, B., Feiznia, S., Noroozi A.A., 2004, **Integrating GIS and DSS for Identification of Suitable Areas for Artificial Recharge (Case study: Meimeh Basin, Isfahan, Iran)**, Environmental Geology, 47, 493 – 500.

Ghermez Cheshme, B., Ghayoumian, J., Mahdian, M.H., 2000, **Determine of Required Parameters in Flood Spreeding Selection (Case Study: Meimeh Plain)**, Articles Collections of Second Congress of the aquifer and geophysical data achievements, 39-50.

Ghodosi Poor, S.H., 2006, **Analytical Hierarchy Process**, Amir Kabir University, Tehran, Fifth Printing.

Hekmat Poor , M., Faiznia, S., Ahmadi, H., Khalil Poor, A., 2007, **Zoning of Suitable Area for Artificial Recharge in Plains Varamin to Help GIS and Decision Support Systems the DSS**, Environmental Science Journal, No(42), 1-8.

Ismaili Avry, A., Abdollahi, Kh., 2010, **Soil Conservation and Watershed Management**, Mohaghegh Ardabili University Publication, first print.

Kheirkhah Zarkesh, M., Meijernk, A.M.J., Goodarzi, M., 2008, **Decision Support System (DSS) for Site Selection Flood Spreading Schemes Using Remote Sensing (RS) and Geographical Information Systems (GIS)**, Desert Journal, 12 (2): 99-197.

Kheirkhah Zarkesh, M., 2005, **DSS for Floodwater Site Selection in Iran**, Wageningen University, PhD Thesis, 273PP.

Kosar, A, 1995, **Introduction Flood Control and Optimize Productivity of Them**, Research Institute of Forests and Range, Tehran.

Mahdavi, R., Abedi, J., Rezaie, M., Abdolhosaini, M., 2004, **Suitable Areas Selection for Artificial Recharge of Ground Water Resources Using GIS and RS**, second national and students conference of soil and water resourcesm, Shiraz University, 233-240.

Malczewski, J., 2006, **GIS-based Multicriteria Decision Analysis: a Survey of the Literature**, International Journal of Geographical Information Science 20 (7), 703–726.

Nouri, B., 2003, **Suitable Areas for Artificial Recharge of Ground Water Using Remote Sensing data and GIS in Gavbandi Watershed**, MSc thesis, Tehran University.

Parsamhr, A., Khosravani, Z., Mohammadi, B., Heidari, M., 2012, **Application of GIS in Integrated Management of surface Water Resources (Case Study: Watershed of Alamdar)**, Fifth National Conference of Watershed and Soil and Water Resource Management, University of Shahid Bahonar of Kerman, 9 -10 Esfand.

Quilty, J.A., 1972, **Soil Conservation Structures for Marginal Available Areas**, Diversion Spreader Bankes and Tanks Drains, Soil Conservation Journal, 157-186.

Quilty, J.A., 1972, **Soil Conservation Structures for Marginal Available Areas**, Gap Absorption and Gap Spreader Tanks, Soil Cconservation Journal, 116- 130.

Ramalingam, M., Santhakumar, A.R., 1997, **Case Study on Artificial Recharge Using Remote Sensing and GIS**, www.GISdevelopment.net (accessed on July 24, 2003).

Sahu R.K., Mishra S.K., Eldho T.I. and Jain M.K., 2007, **An Advanced Soil Moisture Accounting Procedure for SCS Curve Number Method; Hydrol**, Process, 21, 2872–2881.

Salami, H., Naseri, H.R., Taleb Bidokhti, M., 2012, **Determine Suitable Areas for Flood Spreeding Using Analytic Hierarchy Process Method in Bam City Watershed**, Fifth National Conference of Watershed and Soil and Water Resource Management, University of Shahid Bahonar of Kerman.

Sargaonkar, A., Rathi, B. and Baile, A., 2010, **Identifying Potential Sites for Artificial Groundwater Recharge in Sub-watershed of River Kanhan**, **India**, Environmental Earth Sciences: 1-10.

Saraf, A.K., Choudhury P.R., 1998, **Integrated Remote Sensing and GIS for Groundwater Exploration and Identification of Artifical Recharge Sites**, Int. Journal of Remote Sensing, 19 (10): 1825-1840.

Soltani, M.J., 2002, **Land Evaluation to Suitable Areas Selection of the Flood Spreading in the GIS**, M.Sc. thesis, Department of Civil Engineering, University of K.N. Toosi.

Surri Nejad, A., 2002, **Estimation of Runoff Volume of Kashkan River Watershed Using GIS**, Geographic research Journal, No(43), 57-80.

Winnaar, G., Jewitt, G.P.W. and Horan, M., 2007, **A GIS-based Approach for Identifying Potential Runoff Harvesting Sites in the Thukela River Basin**, **South Africa**. Physics and Chemistry of the Earth 32: 1058-1067.

Zarcheshm, M., Kheirkhah Zarkesh, M., Davood, Gh., 2011, **Combining GIS and Decision Support Systems to Determine Suitable Areas Flood Spreading (study area: Mashkyd watershed in Sistan and Baluchestan province)**, National Conference of Geomatics, iran Cartography organization.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی