پژوهش‌های آبخیزداری
(پژوهش و سازندگی)
دوره ۳۰، شـماره ۳، شماره پیاپی ۱۱۶، پاییز ۱۳۹۶، صفحات ۷۲-۶۱
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMEJ.2017.116716

مکان‌یابی مناطق مناسب پخش‌سیلاب با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌یی (آ‌ان‌پی) در شهرستان خاتم، یزد

رحیم علی‌عباس‌پور*
(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار، دانشکده‌ی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌ی فنی، دانشگاه تهران، ایران
هادی محمودی‌میمند
کارشناس‌ارشد، گروه سنجش‌ازدور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۹۱ تاریخ پذیرش: فروردین ۹۲

* Corresponding Email:abaspour@ut.ac.ir

چکیده
اولین و مهمترین نیاز در انجام هر طرح پخش‌سـیلاب، مکان‌یابی مناطق مناسـب برای پخش کردن سیلاب و نفوذ دادن آن به سفره‌های زیرزمینی اسـت. در این پژوهش از تلفیق سامانه‌های اطلاعات مکانی و سـامانه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در قالب روش آ‌ان‌پی برای تعیین مناطق مناسب پخش‌سیلاب استفاده شد. معیارهای لازم، تأثیرگذار و موجود در منطقه برای پخش‌سیلاب شناسایی شدند و لایه‌های اطلاعاتی در محیط جی‌آی‌اس آماده گردید، وزن هر معیار و رده‌های هر لایه با استفاده از روش آ‌ان‌پی و مقایسه‌ی زوجی حساب شد، و کل منطقه برحسب معیارهای وزن‌دهی‌شده پهنه‌بندی شد. در نهایت، با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی براساس فرآیند آ‌ان‌پی، محدوده‌ها به پنج طبقه درطیف کاملاًنامناسـب تا کاملاًمناسب تقسیم شد. نتایج نشان داد که نه درصد از مساحت شهرستان برای پخش‌سیلاب توان کاملاًمناسب دارد، و این مکان‌ها روی مخروط‌افکنه ها، سازندهای دوران چهارم و شیب‌های کم‌تر از سه درصد قرار دارند. با توجه به بازدیدهای زمینی مشخص شد که پخش‌سیلاب‌های انجام‌شده عمدتاً در نواحی کاملاًمناسب بوده است.

واژه‌های کلیدی: آ‌ان‌پی، پخش‌سیلاب، شهرستان خاتم، مقایسه‌ی زوجی، مکان‌یابی

Locating Suitable Areas for Flood Spreading Using Analytic Network Process (ANP) in Khatam County, Yazd

Rahim Ali Abbaspour*
*(Corresponding Author) Assistant Professor, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
Hadi Mahmoudi Meimand
MSc. in Remote Sensing and GIS, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract
Finding suitable locations for floodwater spreading and its infiltration into the aquifer is the first and most important requirement in any floodwater spreading project. In this study, a combination of geospatial information system (GIS) and multi criteria decision making (MCDM) is used in the form of analytic network process (ANP) method in order to determine the most appropriate areas of floodwater spreading. In the first step, necessary, effective, and available criteria, which influence the spreading of floodwater in the region, were identified. The information layers were prepared in the GIS and weights of the criteria and layer classes were calculated using the ANP and paired comparisons method, and the whole region was partitioned in terms of the weighted criteria. Finally, by combining layers of information based on the ANP process, ranges were divided into five categories from very poor to very good. Results showed that 9% of the area has very good potential for floodwater spreading, and these places are located on alluvial fans, quaternary formation and slopes less than 3%. Moreover, according to the field survey, it was determined that the already performed floodwater spreading have mainly been practiced in suitable areas.

Keywords: ANP, flood water spreading, Khatam County, location, paired comparisons

مقدمه

بخش عمده‌یی از کشـــورمان در منطقه‌ی خشـــک و نیمه‌خشـــک است. از ویژگی‌های این منطقه‌ها، علاوه‌بر ناچیزبودن مقدار بارندگی ســـالانه و توزیع نامناســـب زمانی و مکانی بارندگی، بارش‌هایی با شدت بسیارزیاد است که به سیلاب‌های حجیم و مخرب توأم با خسارت‌های جانی و مالی زیاد منجر شود. پخش‌ســـیلاب بر آبخوان‌ها و تغذیه‌ی مصنوعی آن‌ها به این شیوه سیاستی درازمدت و مناسب برای مهارکردن سیلاب‌ها و مقابله با کم–آبی، و شیوه‌ی مطلوبی برای مدیریت منابع آب دانســـته می‌شود. پخش‌سیلاب بر آبخوان‌ها یکی از روش‌های بهره‌برداری از آن‌هاســـت. پژوهش‌های متعددی درباره‌ی پخش‌ســـیلاب در محدوده‌ی ملی و جهانی انجام شـــده اســـت. در پژوهشی برای تعیین مناطق مناســـب بـــرای تغذیه‌ی آب‌هـــای زیرزمینی در جنوب هند، از فناوری‌های ســـنجش‌ازدور و جی‌آی‌اس استفاده شده است. محققان عامل‌های زمین‌شناســـی، پســـتی‌وبلندی، گسل‌ها و شکســـتگی‌ها، آب‌های سطحی، شبکه‌ی زه‌کشی، تراکم آب‌راهه و شیب را مطالعه کردند و هریک از عامل‌ها را براساس اهمیت آن وزن دادند و پس از تلفیق عامل‌ها با یک‌دیگر، نقشـــه‌ی تناســـب زمین را برای تغذیه‌ی مصنوعی آب‌های زیرزمینی منطقه به‌دســـت‌آوردند. کریشـــنامورتی و همکاران (۱۹۹۶) در ناحیه‌ی مادیا پرادش در نواحی مرکزی هند و با بارش حدود ۱۰۴۰ میلی‌متر در ســـال، مکان‌های مناســـب برای تغذیه‌ی مصنوعـــی آبخوان‌های این ناحیه را با اســـتفاده از روش‌های ســـنجش‌ازدور در اســـتخراج برخی از نقشه‌ها مانند کاربری زمین، پوشـــش گیاهی، زمین‌ریخت‌شناسی و زمین‌شناســـی، و تلفیق آن‌ها با دیگر لایه‌های اطلاعاتی مانند نقشه‌ی شیب برای مکان‌یابی تعیین کردند (ساراف و چوودوری ۱۹۹۸).

با به‌کارگیری جی‌آی‌اس و اســـتفاده از معیارهای شـــیب، نفوذپذیری، ارتفاع ســـطح ایستایی، کیفیت رسوب‌ها و کاربری زمین در منطقه‌ی گاوبندی ایران بهترین مناطق برای تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌های ســـاحلی جنوب شناسایی شد. لایه‌های استفاده‌شـــده برپایه‌ی منطق بولین و فازی با یک‌دیگر تلفیق شد. نتایج نشان داد که برای عملیات پخش‌سیلاب حدود ۱۲درصد از ناحیه‌ی مطالعه شده کاملاًمناســـب و ۸درصد نسبتاًمناسب است (قیومیان و همکاران ۲۰۰۷). در منطقه‌ی مدیناپور غربی، پژوهشـــگران با استفاده از سنجش‌ازدور،

سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مناطق مناسب برای تغذیه‌ی مصنوعی آب‌های زیرزمینی را با استفاده از معیارهای شیب، قابلیت انتقال، ضریب زه‌کشی، زمین‌ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی تعیین کردند. نتایج نشان‌دهنده‌ی کارآیی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در تلفیق با جی‌آی‌اس در تعیین مناطق مناسب برای تغذیه‌ی مصنوعی آب‌های زیرزمینی است (چوودوری و همکاران ۲۰۱۰).

مکان‌یابی مناطق مستعد پخش‌سیلاب در منطقه‌ی میمه با استفاده از نقشه‌های کاربری زمین، نقشه‌ی شیب، نفوذپذیری سطحی، توان انتقال، واحدهای دوران چهارم به‌همراه سامانه‌ی اطلاعات مکانی و سامانه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شد (قرمزچشمه و همکاران ۲۰۰۱). برای تعیین مناطق مناسب برای پخش‌سیلاب با استفاده از جی‌آی‌اس و آر.اس از عامل‌های شیب، زمین‌ریخت‌شناسی، گروه‌های مربوط به آب‌شناسی، خاک، و کاربری زمین استفاده شد (حامدپناه ۲۰۰۱). آل‌شیخ (۲۰۰۳) در زیرحوزه‌ی سمل از حوزه‌ی اهرم بوشهر با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات مکانی عرصه‌های مستعد پخش‌سیلاب را برای تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها در مدیریت زمین و فرسایش خاک مکان‌یابی کردند. مهرورزمغانلو و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که پخش‌سیلاب روی مخروط‌افکنه‌ی دهانه‌ی خروجی آبراهه‌ها در حوزه‌ی آبخیز با هدف ذخیره‌سازی سیلاب‌ها روش مناسبی برای بهره‌برداری از آب خشک‌رودها، رودهای فصلی و جریان اضافی رودهای دائمی است. تعیین مکان‌های مناسب برای اجرای پخش‌سیلاب اهمیت بسیاری در میزان موفقیت آن دارد. دادرسی‌سبزواری و خسروشاهی (۲۰۰۸) در ۶ شهرستان استان خراسان رضوی مناطق مستعد را برای پخش‌سیلاب با کاربرد شبیه‌های مفهومی و با استفاده از شبیه منطق بولین، شبیه شاخص هم‌پوشانی و شبیه فازی بررسی کردند.

از آن‌جاکه انتخاب عرصه‌های مناسب برای پخش‌سیلاب نیازمند درنظرگرفتن عامل‌های متعددی است، و باتوجه به گستردگی و پیچیدگی عامل‌های مؤثر در مکان‌یابی، استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (جی‌آی‌اس) و تلفیق آن با عامل‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی ضروری است. سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم مکانی (اس‌دی‌اس‌اس[1]) ، که در این مقاله از آن استفاده می‌شود، تلفیقی از دانش رایانه، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، دانش مدیریتی و پژوهش عملیاتی است تا بتواند تصمیم‌گیران را به نتایج مناسب برساند (اصغرپور ۲۰۰۹). توانایی جی‌آی‌اس در ذخیره‌ی اطلاعات مکانی، تجزیه‌وتحلیل آن‌ها، انجام محاسبه‌های لازم و نمایش آن‌ها به‌صورت نقشه‌های دقیق، جدول‌ها و نمودارها در مدت‌زمان کوتاه به این سامانه جایگاه ویژه‌یی داده است (آرونوف ۱۹۹۷). فرآیند تحلیل شبکه (آ‌ان‌پی[2]) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری است که شباهت زیادی به روش شناخته شده‌ی آ‌اچ‌پی دارد. عنصرهای تشکیل‌دهنده‌ی روش آ‌اچ‌پی، که اجزای تصمیم نیز دانسته می‌شوند، مستقل از یک‌دیگر فرض می‌شوند. بنابراین، وابستگی‌های متقابل میان عنصرهای تصمیم، یعنی ارتباط معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها درنظرگرفته‌نمی‌شود و ارتباط میان عنصرهای تصمیم یک‌طرفه فرض می‌شود، در صورتی‌که بسیاری از مسائل ساختار سلسله‌مراتبی ندارند (زبردست ۲۰۰۲). این محدودیت باعث شد تا ابداع‌کننده‌ی روش آ‌اچ‌پی (ساعتی ۱۹۸۰) روش فرآیند تحلیل شبکه‌یی (آ‌ان‌پی) را معرفی نماید که ارتباطات پیچیده میان عناصر تصمیم در آن از راه جای‌گزینی ساختار سلسله‌مراتبی با ساختار شبکه‌یی است. بنابراین، مهم‌ترین مزیت آ‌ان‌پی این است که وابستگی میان معیارها را در نظر می‌گیرد، و چون در کارهای محیطی، که پخش‌سیلاب نمونه‌یی از آن است، معیارها و عامل‌های موردنظر به گونه‌یی در ارتباط با هم اند، روش آ‌ان‌پی می‌تواند بسیار مناسب‌تر از روش‌های دیگر، که معیارها را مستقل‌ازهم می‌گیرند، مؤثر باشد. باوجوداین، هنوز از آ‌ان‌پی در بررسی‌های پخش‌سیلاب چندان استفاده نشده است. با توجه به ساختار شبکه‌یی آ‌ان‌پی، و رابطه‌های متقابل معیارها با وابستگی‌های متقابل و بازخورد میان عناصر تصمیم، در این تحقیق تعیین مکان‌های مناسب پخش‌سیلاب با کاربرد روش فرآیند تحلیل شبکه‌یی آ‌ان‌پی در محیط‌جی‌آی‌اس صورت گرفته است. مراحل مختلف فرآیند تحلیل شبکه‌یی توضیح داده شد و از آن‌ها در تعیین مکان مناسب پخش‌سیلاب در منطقه استفاده شد. شهرستان خاتم یکی از ناحیه‌های مستعد کشاورزی در استان یزد است که، منابع آب زیرزمینی آن به‌علت خشک‌سالی‌های پی‌درپی، و برداشت–های بی‌رویه از چاه‌های کشاورزی کاهش یافته است. با توجه به این‌که این شهرستان، و به‌خصوص دو بخش آن، روی مخروطه‌افکنه قرار دارند و در خطر سیلاب اند، مکان‌یابی پخش‌سیلاب می‌تواند کمک مهمی در برطرف‌کردن این خطر باشد. این عامل‌ها انگیزه‌ی پژوهش در مکان‌یابی عرصه–های مناسب برای اجرای پخش‌سیلاب در شهرستان خاتم با بهره‌گیری از سامانه‌ی اطلاعات مکانی، فرآیند تحلیل شبکه (آ‌ان‌پی) و روش مقایسه‌ی زوجی بود.

مواد و روش‌ها

با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی، شبیه رقومی ارتفاع، داده‌های محیطی به‌خصوص هدایت‌الکتریکی (ای‌سی[3]) و سطح ایستایی آب چاه‌ها (از ۶۱۶ چاه آب کشاورزی منطقه) لایه‌های رقومی لازم از منطقه در محیط نرم‌افزار آرک.جی‌آی‌اس تهیه شد. برای پهنه‌بندی پخش‌سیلاب ۷ معیار مؤثر کاربری زمین یعنی شیب، زمین‌شناسی، هدایت‌الکتریکی، ارتفاع، تراکم زه‌کشی و سطح ایستایی انتخاب شد. فرآیند انجام این تحقیق به‌صورت طرح‌واره در شکل ۱ نشان داده شده است.

معرفی منطقه‌ی مطالعه

منطقه‌ی بررسی در این پژوهش با وسعتی در حدود ۷۹۳۵ کیلومترمربع در جنوب‌غربی استان یزد و در ارتفاع میان ۱۴۵۹ تا ۳۲۰۰ متری سطح دریا قرار دارد (شکل ۲). شرح ویژگی‌های آب‌وهوایی و پوشش گیاهی منطقه

1- Spatial Decision Support System
2- Analytic Network Process
3- electrical conductivity

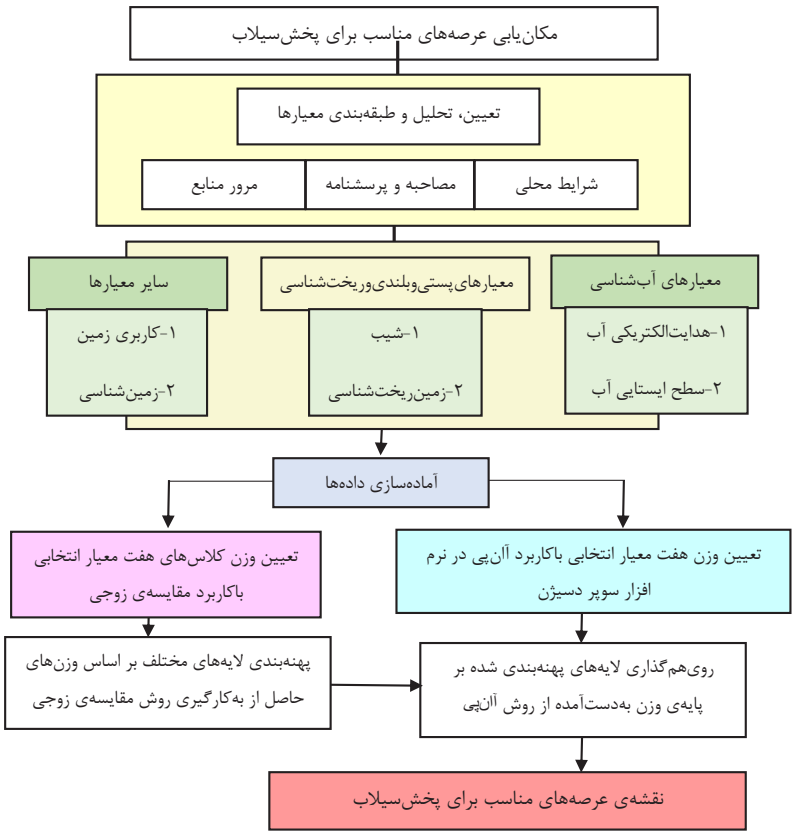
(مسیح‌آبادی ۱۹۸۶) در جدول (۱) آمده است. تعداد منابع آب سطحی و زیرسطحی شهرستان، که اطلاعات آن‌ها به‌وسیله‌ی شرکت آب منطقه‌یی یزد گردآوری شده است، ۶۱۸ حلقه چاه آب کشاورزی و آشامیدنی، ۵۵ رشته قنات، و ۱۲۲چشمه و رودخانه‌ی دائمی است.

روش فرآیند تحلیل شبکه‌یی (آن‌پی)

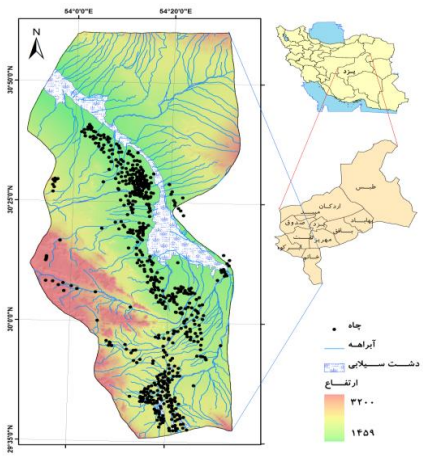
فرآیند تحلیل شبکه‌یی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مجموعه‌ی شبیه‌های جبرانی است. این شبیه برمبنای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی طراحی شده و شبکه را جای‌گزین سلسله‌مراتب کرده است. فرض اصلی در آاچپی بر عمل‌کرد مستقل گروه‌های بالایی سلسله‌مراتبی از همه‌ی قسمت‌های پایینی آن، و از معیارهای هر سطح و طبقه بنا شده است (دیسون ۲۰۰۴؛ چانگ و همکاران ۲۰۰۵). بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری را نمی‌توان در یک ساختار سلسله‌مراتبی جای داد، و این به دلیل بده‌بستان‌های میان میان عامل‌های مختلف است، و گاه عامل‌های سطح بالا وابستگی خاصی به عامل‌های سطح پایین دارند.

جدول ۱- خصوصیات آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه‌ی بررسی‌شده.

سازگان آب‌و هوایی	۴ فصل با سازگان دمای بسیارگرم و سازگان رطوبتی خشک
میانگین دمای سالانه	۱۵ تا ۲۲ درجه‌ی سانتی‌گراد
دوره‌ی خشکی (روز در سال)	۹۰
زمین‌شناسی	سازندهای دگرگونی پرکامبرین به‌صورت دگرشیب در کنار آهک کرتاسه قرار گرفته است. سازندهای دوران چهارم به‌صورت رسوب‌های آبرفتی با ذرات سخت‌شده‌ی آهک همراه است.
گیتانگاری (ویژگی‌های حوزه‌ی آبخیز)	بلندی‌های رشته‌کوه زاگرس دشت‌های آبرفتی حاصل از رسوب‌گذاری رودخانه‌ها و چشمه‌ها کویر حاصل از زهکشی نشدن رود شور



شکل ۱ - فرآیند مکان‌یابی پیشنهادی برای عرصه‌های مناسب پخش‌سیلاب.



شکل۲- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی بررسی‌شده.

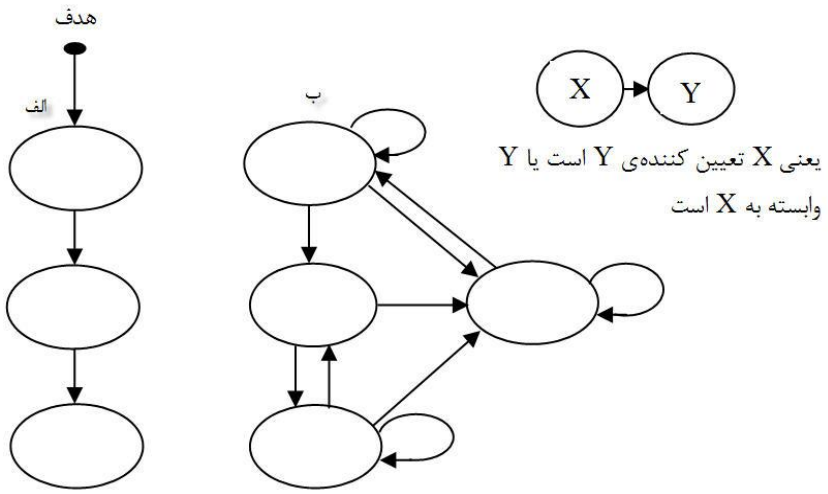
ساختاربندی مسأله با وابستگی‌های عملیاتی اجازه می‌دهد بازخوردی میان خوشه‌های شناسایی‌شده در سامانه‌ی شبکه دریافت شود. ساعتی (۲۰۰۱) استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی را برای حل مسائل با معیارها و گزینه‌های مستقل پیشنهاد کرده، و شبیه تحلیل شبکه‌یی را برای حل مسائل با معیارها و گزینه‌های وابسته‌به‌هم پایه‌ریزی نموده است. به‌این‌ترتیب روش آ‌ان‌پی تعمیمی از آ‌اچ‌پی دانسته شد. همان‌طور که آ‌اچ‌پی بستری را برای ساختارهای سلسله‌مراتبی با رابطه‌های یک‌سویه فراهم می‌کند، آ‌ان‌پی نیز امکان برقراری رابطه‌های پیچیده‌ی داخلی میان سطح‌های مختلف تصمیم و معیارها را مهیا می‌سازد.

روی‌کرد بازخوردی[1] (آ‌ان‌پی) ساختار شبکه‌یی را با ساختار سلسله‌مراتبی جای‌گزین کرده و گویای آن است که رابطه‌ی میان سطح‌های مختلف تصمیم‌گیری را نمی‌توان به‌سادگی بالا-پایین، غالب-مغلوب، یا مستقیم-نامستقیم تصور کرد. برای نمونه می‌توان گفت که نه‌تنها اهمیت میان معیارها مشخص‌کننده‌ی اهمیت میان گزینه‌ها در سلسله‌مراتب است، بل‌که اهمیت گزینه‌ها نیز ممکن است در اهمیت میان معیارها تأثیرگذار باشد؛ بنابراین، داشتن ساختار سلسله‌مراتبی با روابط خطی بالابه‌پایین نمی‌تواند درمورد سامانه‌های پیچیده مناسب باشد (لی و کیم ۲۰۰۰؛ مومو و زو ۱۹۹۸ و ساعتی ۱۹۸۰). سامانه‌های بازخوردی را می‌توان با شبکه نشان داد. شکل ۳-الف و شکل ۳-ب تفاوت ساختاری میان سلسله‌مراتب و شبکه را نشان می‌دهد. ارتباط‌ها در شبکه با کمان نشان داده می‌شود. جهت کمان‌ها جهت وابستگی را نشان می‌دهد. وابستگی متقابل میان دو خوشه، که اصطلاحاً وابستگی بیرونی نامیده می‌شود، با پیکان‌های دوطرفه، و وابستگی بیرونی میان عنصرهای گروه با کمان‌های حلقه‌یی نشان داده می‌شود.

به‌طورکلی شبیه آ‌ان‌پی از سلسله‌مراتب مهارکردن، خوشه‌ها، عنصرها، رابطه‌ی متقابل میان خوشه‌ها و عنصرها تشکیل می‌شود. فرآیند شبیه‌سازی شامل مراحل زیر است (سارکیس ۲۰۰۲):

- گام اول، پایه‌ریزی شبیه و ساختار مساله: مساله باید به شکل روشنی بازگو، و به‌صورت سامانه‌یی منطقی و عقلانی مانند شبکه تجزیه شود.
- گام دوم، ماتریس مقایسه‌های زوجی و برآورد وزن نسبی: تعیین وزن نسبی در آ‌ان‌پی شبیه به آ‌اچ‌پی است، یعنی از راه مقایسه‌ی زوجی می‌توان وزن نسبی معیارها و زیرمعیارها را مشخص کرد. مقایسه‌های زوجی عنصرها در هر سطح با توجه به اهمیت نسبی آن در برابر معیار مهار، شبیه روش آ‌اچ‌پی انجام می‌شود. ساعتی (۲۰۰۱) برای مقایسه‌ی زوجی دو مؤلفه یک مقیاس نه‌تایی را معرفی کرده است. مقدار aij در ماتریس مقایسه‌ی زوجی اهمیت نسبی مؤلفه را در سطر i با توجه به ستون j نشان می‌دهد، یعنی $aij = w_i/w_j$ را مشخص می‌کند، به‌طوری‌که عدد ۱ مشخص‌کننده‌ی اهمیت مساوی میان دو عنصر، و عدد ۹ مشخص‌کننده‌ی بیش‌ترین اهمیت ممکن یک عنصر در برابر عنصر دیگر است. از ارزش معکوس ($1/a_{ij}$) زمانی استفاده می‌شود که j مهم‌تر از مؤلفه‌ی i باشد. اگر n مؤلفه باشد، n مؤلفه با هم مقایسه خواهد شد. سوپرماتریس A در رابطه‌ی ۱ نشان داده شده است.

4- feedback



شکل ۳- مقایسه‌ی ساختار سلسله‌مراتبی با ساختار شبکه‌یی. الف) فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، ب) ساختار شبکه‌یی.

$$W = \begin{array}{c} \\ C_1 \\ \vdots \\ C_k \\ \vdots \\ C_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccccccc} C_1 & & & & C_k & & & & C_n & & \\ e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1m1} & \cdots & e_{k1} & e_{k2} & \cdots & e_{k\,mk} & e_{n1} & e_{n2} & \cdots & e_{n\,mn} \end{array} \\ \begin{bmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1k} & \cdots & w_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{k1} & \cdots & w_{kk} & \cdots & w_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{n1} & \cdots & w_{nk} & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (۱)$$

قالب A

در روش آاچپی، در مقایسه‌های وزنی برای مؤلفه‌های j و i به‌جای وزن w_i و w_j از وزن نسبی W_i/W_j استفاده می‌شود. بعد از آن‌که مقایسه‌ی زوجی کامل انجام شد، بردار وزن (W) محاسبه می‌شود. ساعتی (۲۰۰۱) روش زیر را پیشنهاد نموده است:

$$A \times W = \lambda_{max} \times W \qquad (۲)$$

که در آن λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه‌ی ماتریس A است. بردار W با استفاده از $\alpha = \sum_{i=1}^{n} w_i$ بهنجار می‌شود. نتیجه‌ی آن W واحد است، یعنی جمع هر ستون در ماتریس ۱ می‌شود. برای تعیین میزان سازگاری مقایسه‌ها از شاخص سازگاری وزن معیارها استفاده می‌شود. این شاخص با رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad (۳)$$

در کل، اگر CI کم‌تر از ۰/۱ باشد مقایسه تأیید می‌شود. باتوجه به هر معیار، مقایسه‌ی زوجی در دو مرحله (در سطح عنصرها و مقایسه‌ی میان خوشه‌ها) انجام می‌شود و نتیجه‌ی مقایسه‌ها در سوپرماتریس وارد خواهد شد.

• گام سوم، تشکیل سوپرماتریس اولیه: عنصرهای آن‌پی با یک‌دیگر در تعامل اند. این عنصرها می‌توانند واحد تصمیم‌گیرنده، معیارها، زیرمعیارها، نتیجه‌های به‌دست‌آمده، گزینه‌ها و هرچیز دیگری باشند. وزن نسبی هر ماتریس براساس مقایسه‌ی زوجی شبیه روش آاچپی محاسبه می‌شود، وزن‌های به‌دست‌آمده در سوپرماتریس وارد می‌شوند که رابطه‌ی متقابل میان عنصرهای سامانه را نشان می‌دهند. قالب عمومی سوپرماتریس در رابطه‌ی (۱) نشان داده شده است. در این تصویر CN نشان دهنده‌ی خوشه‌ی Nاُم، eNn عنصر nاُم در خوشه‌ی Nاُم ، Wij ماتریس بلوک شامل وزن‌های نسبی بردارهای w تأثیر عنصرها در خوشه‌ی iاُم نسبت به خوشه‌ی jاُم است. اگر خوشه‌ی iاُم هیچ تأثیری بر خوشه‌ی iاُم خودش نداشته باشد (حالت وابستگی درونی)، Wij صفر می‌شود. سوپر ماتریس به‌دست‌آمده در این مرحله سوپرماتریس اولیه است.

• گام چهارم، تشکیل سوپرماتریس وزنی: در واقع ستون‌های سوپرماتریس از چند بردار ویژه تشکیل می‌شود که جمع هرکدام از بردارها ۱ است. بنابراین، این امکان وجود دارد که جمع هر ستون سوپرماتریس اولیه بیش از ۱ باشد (متناسب با بردار ویژه‌یی که در هر ستون هست). برای آن‌که از عنصرهای ستون متناسب با وزن نسبی‌شان فاکتور گرفته شود و جمع ستون ۱ شود، هر ستون ماتریس، معیار می‌شود. در نتیجه، ماتریس جدیدی به‌دست می‌آید که جمع هریک از ستون‌های آن ۱ خواهد بود. این موضوع شبیه به زنجیره‌ی مارکوف است که جمع احتمالی همه‌ی وضعیت‌های آن ۱ است. به ماتریس جدید، ماتریس وزنی گفته می‌شود.

• گام پنجم، محاسبه‌ی بردار وزنی عمومی: در مرحله‌ی بعد، سوپر ماتریس وزنی به توان حدی می‌رسد تا عنصرهای ماتریس هم‌گرا شوند و اندازه‌های سطری آن باهم برابر شوند. براساس ماتریس به‌دست آمده، بردار وزن عمومی مشخص می‌شود.

$$\lim_{k\to\infty} w^k$$

ماتریسی که در نتیجه‌ی به‌توان‌رسیدن ماتریس وزنی به‌دست می‌آید ماتریسی حدی است که اندازه‌ی هر سطر آن با هم برابر است. اگر سوپرماتریس اثر زنجیره‌واری داشته باشد ممکن است دو یا چند سوپرماتریس داشته باشیم. سوپرماتریس وزنی به‌صورت زیر هم‌گرا می‌شود:

$$\lim_{k\to\infty} \left(\frac{1}{N}\right) \sum w_i^k \qquad (۴)$$

• گام ششم، محاسبه‌ی وزن نهایی معیارها: در آخرین مرحله با توجه به جدول وزن خوشه‌ها و سوپرماتریس حد، وزن نهایی معیارها محاسبه می‌شود.

روش مقایسه‌ی زوجی

در این روش ابتدا عنصرهای هر سطح با عنصر مربوطبه خود در سطح بالاتر به‌صورت زوجی مقایسه و ماتریس مقایسه‌ی زوجی تشکیل می‌شود. سپس وزن نسبی عنصرها با استفاده از این ماتریس محاسبه می‌شود. به‌طورکلی، ماتریس مقایسه‌ی زوجی به‌صورت زیر نشان داده می‌شود، که درآن ترجیح عنصر iاُم به عنصر jاُم است. با مشخص شدن aij می‌توان وزن عنصرها یعنی Wi را به‌صورت زیر به‌دست آورد:

$$A = [a_{ij}] \qquad i,j = 1,2,\dots,n \qquad (۵)$$

هر ماتریس مقایسه‌ی زوجی ممکن است سازگار یا ناسازگار باشد. در حالتی که این ماتریس سازگار باشد محاسبه‌ی وزن ساده است و از بهنجار کردن عنصرهای هر ستون به‌دست می‌آید، اما در حالتی که ماتریس ناسازگار باشد، محاسبه‌ی وزن ساده نیست و برای به‌دست‌آوردن آن از یکی‌از چهار روش کم‌ترین مربع‌ها، کم‌ترین مربع‌های لگاریتمی، روش بردار ویژه، و روش تقریبی استفاده می‌شود. در این تحقیق از روش بردار ویژه برای محاسبه‌ی وزن رده‌های هر معیار استفاده شد. در روش بردار ویژه Wi به‌گونه‌یی تعیین می‌شود که رابطه‌های زیر درست باشد:

(۶)

$$\begin{bmatrix} a_{11}w_1 & + & a_{12}w_2 & \dots & + & a_{1n}w_n & = \lambda.w_1 \\ a_{21}w_1 & + & a_{22}w_2 & \dots & + & a_{2n}w_n & = \lambda.w_2 \\ \vdots & & \vdots & & & \vdots & \vdots \\ a_{n1}w_1 & + & a_{n2}w_2 & \dots & + & a_{nn}w_n & = \lambda.w_n \end{bmatrix}$$

در این رابطه‌ها aij میزان ترجیح عنصر iاُم به عنصر jاُم، Wi وزن عنصر iاُم، و λ عددی ثابت است. این روش نوعی میانگین‌گیری است، زیرا وزن عنصر iاُم (یعنی Wi) طبق تعریف بالا برابر است با:

$$w_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^{n} a_{ij} w_i \qquad i = 1,2,\dots,n \qquad (۷)$$

دستگاه معادله‌های بالا را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$A \times W = \lambda \times W \qquad (۸)$$

A ماتریس مقایسه‌ی زوجی، W بردار وزن، و λ اسکالر است. طبق تعریف، اگر این رابطه میان ماتریس (A) و بردار (W) و عدد λ برقرار باشد، گفته می‌شود که W بردار ویژه برای ماتریس A است. به‌طورکلی در روش بردار ویژه برای محاسبه‌ی وزن‌ها باید طبق مراحل زیر عمل شود (قدسی پور ۲۰۰۷):

• تشکیل ماتریسی مانند ماتریس A،

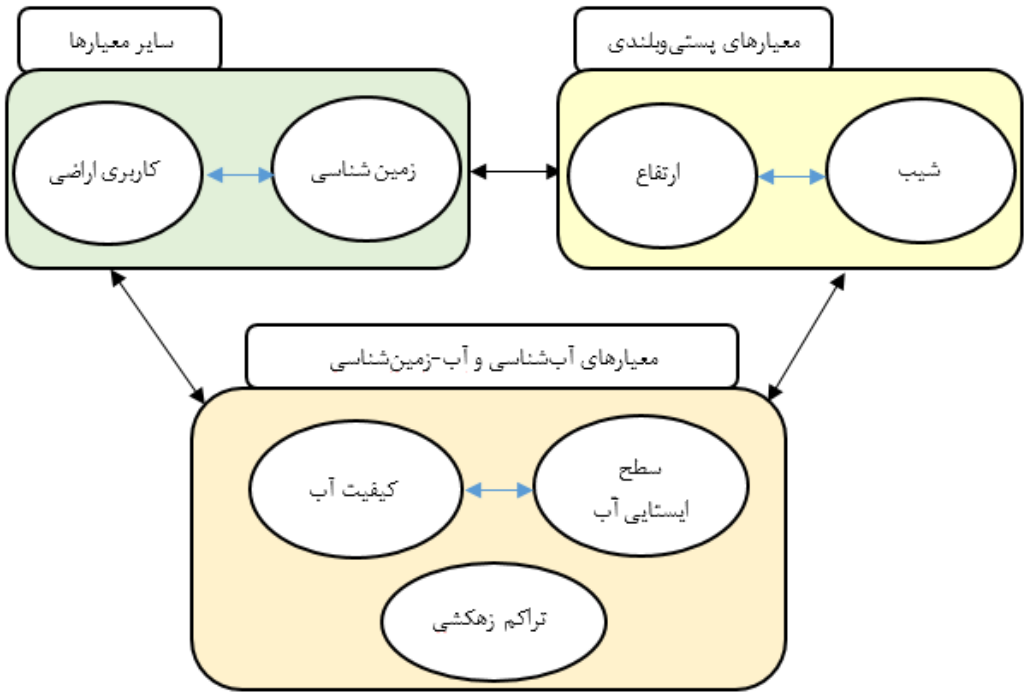
• مشخص کردن ماتریس (A – Iλ)،

• محاسبه‌ی تعیین‌کننده‌ی ماتریس (A – Iλ) و صفر گرفتن آن، و سپس محاسبه‌ی مقادیر λ.

• بزرگ‌ترین λ را λmax می‌نامند، آن را در رابطه‌ی $(A - \lambda_{max} I) \times W = 0$ می‌گذارند، و با استفاده از رابطه‌ی $(A - \lambda_{max} I) \times W = 0$ اندازه‌ی w_i را محاسبه می‌کنند.

پردازش و تلفیق داده‌ها

پردازش و تحلیل داده‌های این پژوهش با توجه به عامل‌های شیب، هدایت الکتریکی آب، زمین‌شناسی، سطح ایستایی، کاربری زمین، شبیه رقومی ارتفاع و تراکم زه‌کشی انجام گرفت. پس‌از آماده‌سازی و تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی بر اساس شکل (۱)، از روش مقایسه‌ی زوجی برای تعیین وزن رده‌های هر لایه، و از روش آن‌پی برای تعیین وزن نهایی معیارها استفاده شد. برای تعیین وزن‌ها از نرم‌افزار سوپر دسیژن استفاده شد. تعیین وزن معیارهای تأثیرگذار در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش‌سیلاب با استفاده از روش آن‌پی انجام شد. در این روش، معیارها درخوشه‌های معیارهای پستی‌وبلندی (توپوگرافیک)، آب‌شناسی (هیدرولوژیک)، آب-زمین‌شناسی (ژئوهیدرولوژیک)، و سایر معیارها جا گرفتند. در هر خوشه عنصرها هستند که علاوه برآن‌که در داخل خوشه به‌هم مرتبط اند، در میان خوشه‌ها نیز به‌هم وابستگی دارند. این وابستگی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل۴- ساختار شبکه‌یی شبیه مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش‌سیلاب.

در گام بعد، لایه‌های مختلف براساس وزن رده‌های هر لایه در محیط جی‌آی‌اس پهنه‌بندی شد (شکل ۵). سپس وزن معیارها در لایه‌های مربوط ضرب شد و همراه با آن لایه‌ها همپوشانی داده شدند. در نهایت، نقشه‌ی نهایی به‌صورت رستری به‌دست‌آمد و منطقه به پنج رده از کاملاًمناسب تا کاملاً نامناسب تقسیم‌بندی شد (شکل ۶). لازم به‌ذکر است که لایه‌های رستری شامل مجموعه‌ای از نقاط یا سلول‌هایی است که عوارض زمین را در یک شبکه منظم می‌پوشاند. به‌طوری‌که کل سطح نقشه به شبکه‌ای از سلول‌های منظم که سلول نیز نامیده می‌شود، تقسیم می‌شود.

به‌دلیل شمار زیاد جدول‌های وزن رده‌های هر معیار، و تشابه موضوعی آن‌ها، جدول‌های مقایسه‌ی زوجی همه‌ی این معیارها در این‌جا نشان داده نشده است، و برای نمونه در روش مقایسه‌ی زوجی، تنها جدول مقایسه‌ی زوجی رده‌های شیب به‌همراه وزن آن (جدول ۲)، و جدول وزن نهایی معیارها (جدول۳) آورده شد. جدول‌های سوپرماتریس وزنی و سوپرماتریس حد، و وزن عمومی نیز آورده نشده است.

نتایج

برای تعیین عرصه‌های مناسب برای پخش‌سیلاب در شهرستان خاتم از روش آن‌پی و مقایسه‌ی زوجی در روی‌کردی تلفیقی با سامانه‌ی اطلاعات مکانی استفاده شد. باتوجه به بررسی‌های پیشین و شرایط محلی منطقه از تأثیرگذارترین و با اهمیت‌ترین عامل‌ها برای تعیین عرصه‌های مناسب پخش‌سیلاب استفاده شد. روش آن‌پی به‌طور نظام‌مند با وابستگی‌ها رفتار می‌کند، یعنی تمام وابستگی‌های بیرونی و درونی میان عنصرها و خوشه‌ها را برای تحلیل در نظر می‌گیرد، اما سایر روش‌ها این روابط را کم‌تر درنظرمی‌گیرند. بنابراین، باتوجه به وابستگی‌های مسائل محیطی استفاده از روش آن‌پی پشتیبانی‌های لازم را برای تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان مدیریت آب فراهم می‌آورد تا بتوانند درک عمیق‌تری از مسائل محیطی به‌دست آورند. ازاین‌رو این بررسی می‌تواند گامی به‌سوی تحقیقات آینده و کاربرد بیش‌تر و استفاده‌ی عملی از آن در دیگر کارهای مکان‌یابی در

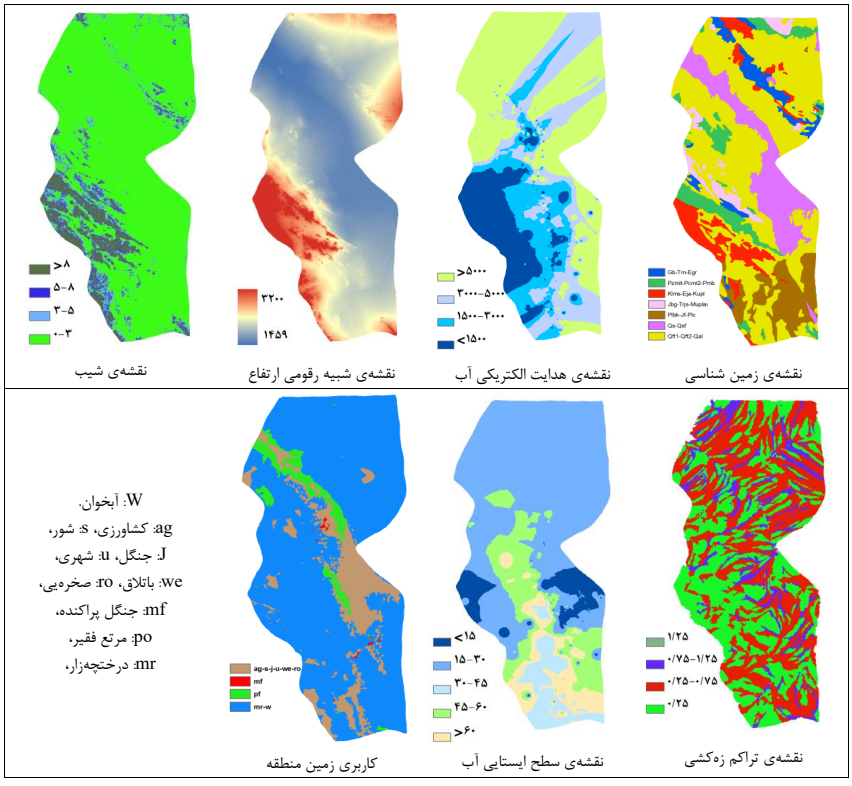
تلفیـــق با جی‌آی‌اس باشـــد. باتوجه به نقشـــه‌ی نهایی (شـــکل ۶) می‌توان نتیجه گرفت که از مســـاحت شهرســـتان برای پخش سیلاب توان نه درصد کاملاًمناســـب، ۱۸درصد مناسب، ۴۰درصد متوســـط، ۲۶درصد نامناسب و نه درصد کاملاًنامناسب دارد (شکل ۷).

جدول۲- جدول مقایسه‌ی زوجی طبقه‌های شیب، و وزن معیارشده‌ی آن‌ها.

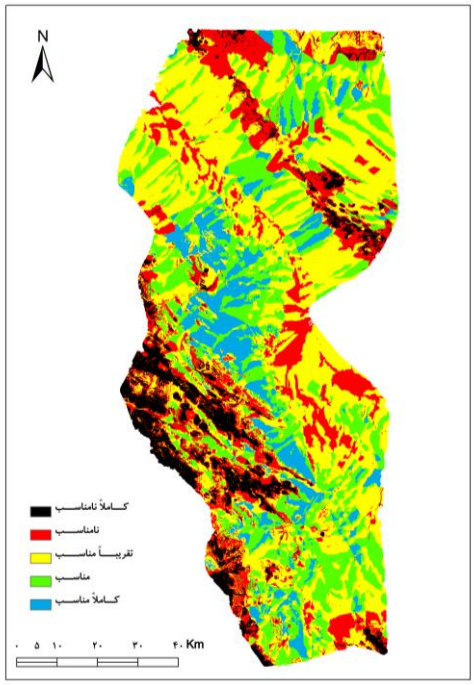
شیب	٪۰ -۳	٪۳-۵	٪۵-۸	٪۸ <	وزن نهایی
٪۰-۳	۱	۳	۵	۷	۰/۵۶۵
٪۳-۵	۱/۳	۱	۳	۵	۰/۲۶۲
٪۵-۸	۱/۵	۱/۳	۱	۳	۰/۱۱۸
٪۸ <	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱	۰/۰۵

جدول ۳ - وزن‌های نهایی معیارهای هفت‌گانه‌ی اصلی با استفاده از نرم‌افزار سوپر دسیژن.

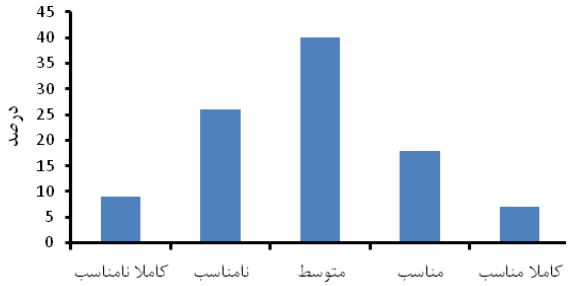
خوشه‌ها	وزن خوشه‌ها (گام دوم)	معیارها	وزن عمومی (گام پنجم)	وزن نهایی
معیارهای پستی‌وبلندی (پستی‌وبلندی)	۰/۲۷۹	شیب	۰/۱۹	۰/۰۵۳
		ارتفاع	۰/۱۳۱	۰/۰۳۶
معیارهای آب‌شناسی و آب-زمین‌شناسی	۰/۴۷۴	کیفیت آب	۰/۱۰۱	۰/۰۴۸
		تراکم زه‌کشی	۰/۱۸۲	۰/۰۸۶
		فاصله تا سطح ایستایی	۰/۰۸۹	۰/۰۴۲
سایر معیارها	۰/۲۷۴	زمین‌شناسی	۰/۲۵۵	۰/۰۷
		کاربری زمین	۰/۰۵۴	۰/۰۱۵



شکل۵ - نمایش هفت لایه‌ی پهنه‌بندی‌شده به روش مقایسه‌ی زوجی.



شکل۶- نقشه ی نهایی رده بندی مکان یابی پخش سیلاب شهرستان خاتم با فرآیند آن‌پی.



شکل ۷- درصد رده بندی منطقه.

بحث و نتیجه‌گیری

لایه‌های اطلاعاتی لازم (ارتفاع، کاربری زمین، تراکم شبکه‌ی زه‌کشی، عمق آب زیرزمینی، کیفیت آب زیرزمینی (هدایت الکتریکی)، شیب پستی‌وبلندی، واحدهای سنگی) در محیط جی‌آی‌اس تهیه و وزن‌های محاسبه شده به این لایه‌ها اعمال شـد. با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی محدوده‌های مناسب عمدتاً در بخش‌های مرکزی شهرسـتان، که میان قسمت‌های کوهستانی و کویری اسـت، مناسـب برای تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها شـناخته شد. معیارهای دیگـری چون ضخامت آبرفت، توانایی انتقال، فاصله از مسـیرهای ارتباطی (جاده‌ها)، پوشش گیاهی، حاصل‌خیزی خاک، و معیارهای اقتصادی-اجتماعی عرصه را می‌توان جای‌گزین یا اضافه، و نتیجه‌ها را مقایسـه کرد (ناصری و عزیزخانی ۲۰۱۰). در این پژوهش بیشـتر مناطق مسـتعد پخش‌سیلاب در واحدهای دوران چهارمی قرار گرفته‌اند. این نتایج با یافته‌های عبدی (۲۰۰۵) که حدود ۴۰درصد از سطح بررسی‌شده را برای پخش سیلاب مکان‌یابی‌شده در عرصه‌های دوران چهارم مناسـب ارزیابی کرد، هماهنگی دارد. با استفاده از این شـبیه، بیش‌تر خروجی‌های مکان‌های مناسـب پخش‌سـیلاب روی مخروط‌افکنه‌ها، سـازندهای دوران چهارم، و شـیب‌های کمتر از سه درصد شـکل گرفته است که با نتایج قرمزچشـمه و همکاران (۲۰۰۱) و قیومیان و همکاران (۲۰۰۵) که عرصه‌های مناسـب پخش‌سیلاب را کم‌تر از سه درصد

مناسب تشخیص دادند، منطبق است.

در ارزیابی شبیه، از عرصه‌های اجراشـــده‌ی پخش‌سیلاب به‌وسیله‌ی وزرات جهاد کشـــاورزی عرصه‌های مهارکردن سیلاب‌ها گرفته‌شد. در بازدید زمینی مشـــخص شد که پخش‌سیلاب‌های انجام شـــده در مکان‌های کاملاًمناسب نقشـــه‌ی نهایی شـــبیه آن‌پی (شـــکل ۸) قرار دارد، که در واقع نشـــان از اعتمادکردنی بودن این شـــبیه در پخش‌ســـیلاب دارد. شـــکل ۸ نمونه‌یی از عکس‌های از پخش‌ســـیلاب انجام‌شـــده در منطقه‌یی از شهرستان را نشان می‌دهد.

به‌دلیل دقت، ســـرعت و عملیاتـــی بودن جـــی‌آی‌اس در تلفیق باروش‌های تصمیم‌گیـــری چندمعیاره و با توجـــه به فرآیند آن‌پی کـــه می‌تواند همه‌ی تأثیرهای متقابل معیارهای پخش‌ســـیلاب را به بهتریـــن نحو ممکن انجام دهد، این روش برای مکان‌یابی پخش‌ســـیلاب در مناطق دیگر کشور توصیه می‌شـــود. برای ارزیابی دقت می‌توان عامل‌های دیگـــری را به این معیارها افزود، یا برخی عامل‌ها را کنار گذاشت.

شکل ۸- نمونه‌هایی از پخش‌سیلاب انجام‌شده در منطقه

سپاس‌گزاری

نویســـندگان مقاله بر خود فرض می‌دانند که ســـپاس خود را از آقایان عباس دهقان‌هراتی و حسین عسکری‌حســـن‌آبادی به‌خاطر همکاری در جمع‌آوری اطلاعات و تهیه‌ی نقشه‌ها اعلام دارند.

منابع

Abdi P. 2005. Producing quaternary deposits map using geographic information system and remote sensing in Zanjan province. Journal of Survey, Remote Sensing and Geographic Sciences. 54(14): 36–41. (In Persian).

Alesheikh AA. 2003. Application of GIS in locating flood. Journal of Geographical Research. 17(4): 23–38.

Arronof S. 1997. Geographic Information Systems (1th Ed.). National Cartographic Center Press, Iran. (In Persian).

Asgharpour MJ. 2009. Multi-criteria decision making. University of Tehran Press. (In Persian).

Chowdhury A, Madan K, Chowdary VM. 2010. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur District, West Bengal, using RS & GIS and MCDM techniques. Environmental Earth Science. 59: 1209–1222.

Chung SH, Lee HI, Pearn WL. 2005. Analytic network process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator. International Journal of Production Economics. 96: 15–36.

Dadrasi Sabzevari A, Khosroshahi M. 2008. Desertification control via identification of suitable areas for flood control by application of conceptual models. Iranian Journal of Rangeland and Desert Research. 15(2): 227–241. (In Persian).

Dyson RG. 2004. Strategic development and SWOT analysis at the University of Warwick. European Journal of Operational Research. 152: 631–640.

Ghayoumian J, Ghermezcheshmeh B, Feiznia S, Noroozi AA. 2005. Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge. Case Study: Meimeh Basin, Isfahan, Iran. Environmental Geology. 47: 493–5009.

Ghayoumian J, Mohseni Saravi M, Feiznia S, Nouri B, Malekian A. 2007. Application of GIS

J, Ahmadi H. 2005. Assessment of quaternary deposits to determine suitable areas for flood spreading using geographic information system and remote sensing (Case Study: Tasouj Plain). Journal of Rangeland and Desert Research of Iran. 12(4): 437–467. (In Persian).

Momoh JA, Zhu JZ. 1998. Application of AHP/ANP to Unit Commitment in the Deregulated power industry. IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics. 1: 817–822.

Naseri HR, Azizkhani MJ. 2010. Ability of decision support systems (DSS) in locating suitable sites for artificial recharge Flood. 1st International Conference on Water Resources Management, Iran. (In Persian).

Saaty TL. 1980. The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill, New York.

Saaty TL. 2001. Decision making with interdependence and feedback, The analytic Network Process. RWS Publications. University of Pittsburgh.

Saraf AK, Choudhury PR. 1998. Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharge sites. International Journal of Remote Sensing. 19: 2595–2616.

Sarkis J, Talluri S. 2002. A Models for strategic Supplier Selection. Journal of Supply Chain Management. 38: 18–28.

Zebardast A. 2002. Application of Analytical Hierarchy Process in City and Regional Planning. Jornal of Fine Arts. 10: 13-21. (In Persian).

techniques to determine areas most suitable for artificial groundwater re charge in a coastal aquifer in southern Iran. Journal of Asian Earth Science. 30: 346–374.

Ghermez-cheshmeh B, Ghayoumian J, Mehdian MH. 2001. . Determining factors required in the location of flood (Case Study: Plain of Meimeh, Isfahan). 2nd National Conference of Watershed Management Achievements, Tehran, Iran. 39–50. (In Persian).

Ghodsipour H. 2007. Topics on Multiple Criteria Decision Making. Amirkabir University Press, Iran. (In Persian).

Hamedpanah R. 2001. Location of flood using satellite image processing and GIS. M.Sc Thesis. Faculty of Agriculture and Natural Resources. Tehran University. 127 p. (In Persian).

Krishnamurthy J, Kumar K, Venkates N, Jayaraman V, Manivel M. 1996. An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and geographic information system. International Journal of Remote Sensing. 17: 1867-1884.

Lee JW, Kim SH. 2000. Using analytic network process and Goal programming for interdipendent information system project selection. Computers and Operation Research. 27: 367–382.

Masih-Abadi MH. 1986. Overview of pedological studies on the Dam Bavanat-Harat. Soil and Water Research Institute, Iran. 2. (In Persian).

Mehrvarze Maghanlou K, Feiznia S, Ghayoumian