نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۷، شماره ۴، ۱۳۹۴، صفحات ۳۸۹-۴۰۱

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 7, Issue 4, 2016, Pages 389-401

بررسی عوامل موثر در پتانسیل‌یابی منابع آب سازندهای سخت، مطالعه موردی: منطقه کارستی لار

رحیم کاظمی*[۱]، صمد شادفر[۲] و رضا بیات[۳]
[۱و۳] مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و [۲] دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۱۲

چکیده

اطلاع از اهمیت سلسله مراتبی عوامل موثر در توزیع مکانی چشمه‌ها، به‌عنوان نقطه خروجی منابع آب زیرزمینی در یک حوزه آبخیز، برای توسعه برنامه مدیریت کیفی و کمی منابع آب ضرورت دارد. در این راستا می‌توان از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری به‌منظور تعیین اهمیت سلسله مراتبی عوامل موثر در ایجاد چشمه‌ها و پهنه‌بندی مناطق مستعد توسعه منابع آب استفاده کرد. در این پژوهش به‌منظور تعیین سلسله مراتب اولویت عناصر ساختاری در توسعه منابع آب در یک منطقه کارستی، ابتدا با بررسی مطالعات انجام گرفته در این زمینه، پارامترهای موثر در ایجاد چشمه‌ها شامل، لایه‌های اطلاعاتی شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از شبکه هیدروگرافی، فاصله از خطواره‌های ساختمانی، فاصله از عناصر تکتونیکی، فاصله از کنتاکت آهکی و لیتولوژی انتخاب شد. سپس لایه‌های مربوط به هر کدام از این پارامترها در محیط GIS و با استفاده از نرم‌افزار ILWIS تهیه و هر لایه به‌طور جداگانه با لایه توزیع مکانی چشمه‌ها قطع داده شد. سپس ارجحیت زیرطبقه‌های هر لایه نسبت به همدیگر با لحاظ فراوانی وقوع چشمه‌ها تعیین و در نهایت با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، عوامل موثر در رخداد این پدیده در محیط نرم‌افزار Expert Choice وارد و وزن هر یک از عوامل محاسبه شد. نتایج نشان داد که لایه لیتولوژی بالاترین وزن را به خود اختصاص داده و زیرلایه کربناته به تنهایی ۵۴ درصد از وزن این لایه را تشکیل داده است. لایه‌های بعدی به‌ترتیب اهمیت، شامل، لایه شیب و طبقات‌ارتفاعی، لایه فاصله از عناصر ساختاری، خطواره‌ها، کنتاکت آهکی و شبکه آبراهه‌ای، هستند. نقشه پتانسیل‌یابی تهیه شده به این روش تطابق ۷۶ درصدی با موقعیت مکانی چشمه‌های منطقه مورد پژوهش دارد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، چشمه‌های کارستی، خطواره‌ها، سنگ‌های آهکی، عناصر تکتونیکی

مقدمه

با توجه به ضرورت و اهمیت منابع آب و نیاز روز افزون به آن، تامین آب مورد نیاز یکی از دغدغه‌های جهان امروز می‌باشد. نظر به موقعیت خاص آب و هوائی ایران و کمبود بارش و توزیع نامناسب زمانی و مکانی آن، منابع آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار است. از طرفی با توجه به محدودیت منابع آب آبرفتی و گسترش وسیع سازندهای کربناته در سطح کشور، مطالعات و پژوهش‌های منابع آب سازندهای سخت و به‌ویژه منابع آب کارستی از اهمیت

* مسئول مکاتبات: ra_hkazemi@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

ویژه‌ای برخوردار است. یکی از مهمترین روش‌های مطالعه این سازندها، بررسی عوامل مرتبط با تشکیل منابع آب و استفاده از روش‌های مختلف وزن‌دهی با بهره‌گیری از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی است که منجر به پهنه‌بندی و محدود نمودن مناطق مورد نظر برای کاوش‌های زیرسطحی می‌شود.

روابط بین ساختارهای تکتونیکی و خطواره‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای و مشخصه‌های هیدروژئولوژی توسط Masoud و Koike (۲۰۰۶) در شمال غرب مصر بررسی شده و نتایج نشان‌دهنده تطبیق این ساختارها با هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی منطقه است. نتایج پژوهش‌های منتشر شده توسط Solomon و Quiel، (۲۰۰۶) و Solomon و Ghebreab (۲۰۰۶ و ۲۰۰۸) که با بهره‌گیری از عوامل زمین‌ساختاری و انطباق آن با مشخصه‌های چشمه‌ها و چاه‌ها در کشور Eritrea، انجام شده است، نشان دادند که مولفه‌های لیتولوژی، لندفرم و ساختارهای تکتونیکی، نقش کنترل کننده در ایجاد چشمه‌ها دارند و چاه‌های با آبدهی بالا و چشمه‌های بزرگ، ارتباط نزدیکی با خطواره‌ها و گسل‌های بزرگ دارند.

در پژوهش‌های ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمینی در کشور هند که توسط Amaresh و همکاران (۲۰۰۶) و با استفاده از روش تلفیق سنجش از دور، GIS و ژئوفیزیک انجام شد، عوامل مهم مورد مطالعه شامل خطواره‌ها، لیتولوژی و مشخصه‌های هیدروژئو-مورفولوژیکی بوده و تطابق مناطق مشخص شده با اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای موید نتایج قابل اعتماد این روش اعلام شده است. ارتباط بین ساختارهای تکتونیکی و جریان آب زیرزمینی، در حوضه‌ای در کشور ترکیه توسط Apaydin (۲۰۱۰) مورد پژوهش قرار گرفت، ایشان توانست همبستگی بالای این ساختارها را با آبدهی چاه‌ها نشان دهد و از آن برای مکان‌یابی حفر چاه استفاده کرده و به نتایج سودمندی برسد.

در دهه اخیر، پس از معرفی روش AHP توسط پروفسور Saaty (۱۹۸۰) به‌عنوان یک روش نوین تصمیم‌گیری، محققان بسیاری اقدام به اقتباس از این روش و کاربرد آن در مطالعات منابع آب نموده‌اند. از جمله این محققان می‌توان به مطالعات Basavaraj و Nijagunappa (۲۰۱۱b) اشاره نمود که از این روش برای توسعه مناطق دارای پتانسیل آب زیرمینی در یک منطقه نیمه‌خشک استفاده کرده و به نتایج سود-مندی رسیده است. در داخل کشور نیز مطالعات مختلفی در زمینه توسعه منابع آب با بهره‌گیری از این روش صورت گرفته که شامل نتایج منتشر شده توسط Maleki و همکاران (۲۰۰۹)، SafarAlizade و همکاران (۲۰۱۰)، Seyf و Karegar (۲۰۱۱) و Kheirkhah و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد.

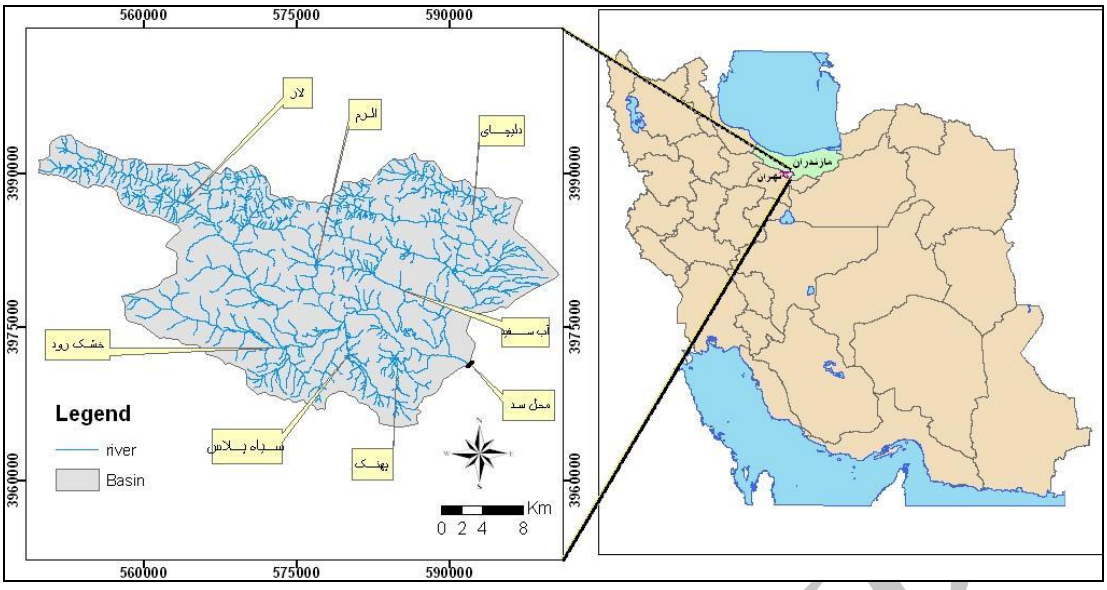
این محققان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و وزن‌دهی بر مبنای کارشناسی و بهره‌برداری از عوامل ساختاری و هیدروژئومورفولوژیکی، اقدام به پتانسیل‌یابی منابع آب و مکان‌یابی توسعه منابع آب نموده‌اند. در روش AHP علی‌رغم مزیت بهره‌برداری از نظرات کارشناسی و اولویت‌بندی عوامل، عموما به‌دلیل تنوع نظرات کارشناسی، گروه‌های مختلف نتایج یکسانی به‌دست نمی‌آورند. هدف از این پژوهش، بررسی و الویت‌بندی عوامل موثر در ایجاد منابع آب در سازندهای سخت، با استفاده از روابط همبستگی مکانی بین عوامل موثر در ایجاد چشمه‌ها و فراوانی وقوع آن‌ها، با تلفیق با روش AHP است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز رودخانه لار که در طول جغرافیای '۳۲ °۵۱ تا '۴ °۵۲ شرقی و عرض جغرافیای '۳۵ °۴۸ تا '۴ °۳۶ شمالی، در یال جنوبی کوه‌های البرز واقع شده است (شکل ۱)، مورد بررسی و پژوهش قرار گرفت. رودخانه لار با روند شمال غربی به جنوب شرقی و دارای شش شاخه فرعی می‌باشد، بخش‌های شمالی حوضه به‌وسیله رودخانه‌های الرم، سفیدآب و دلیچای زه‌کشی می‌شود و رودهای خشک-رود، سیاه‌پلاس و پهنک با روند شمالی و غربی-شرقی در بخش جنوبی به رود اصلی لار می‌پیوندند. آب و هوای منطقه سرد و خشک یا سرد و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود و متاثر از آب و هوای مدیترانه‌ای و خزری است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش

زمین‌شناسی عمومی منطقه: منطقه مورد پژوهش متاثر از فشارهای ناشی از کوه‌زائی آلپی بوده است و گسل‌های متعددی با روند کلی شمال غرب-جنوب شرق در آن شکل گرفته است. بر اساس مطالعات Stocklin (۱۹۷۴) واحدهای کربناته، شامل سازندهای لار، دلیچای و تیزکوه است که عمدتاً در قسمت‌های میانی حوضه قرار دارند و حدود ۳۳ درصد از سطح حوضه را فرا گرفته‌اند. واحدهای سنگ‌شناسی موجود در منطقه از قدیم به جدید شامل موارد ذیل می‌باشد.

سازند شمشک: ماسه‌سنگ، شیل و لایه‌های زغال‌دار متعلق به سازند شمشک با گسترش محدود و به‌صورت نوار باریکی در شمال و جنوب غرب منطقه رخنمون دارد.

سازند دلیچای: آهک‌های ضخیم لایه، آهک مارنی و ماسه‌ای متعلق به این سازند، قسمت‌های شمالی حوضه را پوشانیده است. مرز زیرین این سازند با شمشک و مرز بالائی با سازند لار است.

آهک لار: آهک‌های کرم قهوه‌ای ضخیم لایه و دولومیتی این سازند، گسترش مناسبی در قسمت‌های مرکزی منطقه دارد. عمده مظاهر سطحی کارست، کارن‌ها و فرو چاله‌ها در این واحد قابل مشاهده است. مرز زیرین با شمشک و دلیچای و مرز بالائی با ژیپس و ملافیر ژوراسیک پایانی و آهک‌های تیزکوه است.

سازند تیزکوه: آهک‌های زرد متمایل به صورتی، متوسط لایه با میان لایه‌هائی از کنگلومرای پلی ژنتیک واقع در قسمت‌های مرکزی حوضه متعلق به این سازند است که از گسترش قابل توجهی برخوردار است.

سازند کرج: واحدهای سنگ‌شناسی این سازند که در این منطقه گسترش دارند، شامل توف‌های ضخیم لایه و شیل می‌باشد که مرزهای شمالی و جنوبی حوضه را تشکیل داده است. چشمه‌های موجود در این سازند اغلب با دبی کم می‌باشد.

سنگ‌های آتشفشانی دماوند: بیرون‌زدگی‌های مرز شرقی حوضه شامل تراکی‌آندزیت‌های حاصل از فعالیت‌های دماوند است. چشمه‌های موجود در این منطقه شامل چشمه‌های آب گرم می‌باشد.

نهشته‌های دریاچه‌ای: نهشته‌های دریاچه‌ای، متشکل از دو واحد پائینی و بالائی است و منتسب به رسوب‌گذاری بعد از فوران دماوند و ایجاد دریاچه می‌باشد. واحد پائینی متشکل از سیلت با دانه‌بندی خوب و ماسه و گراول است و نهشته‌های واحد فوقانی شامل یک سکانس افقی سیلت و ماسه با لایه‌های نازک رس و گراول می‌باشد. این واحد در قسمت میانی حوزه گسترش دارد.

لایه‌های موضوعی مورد استفاده

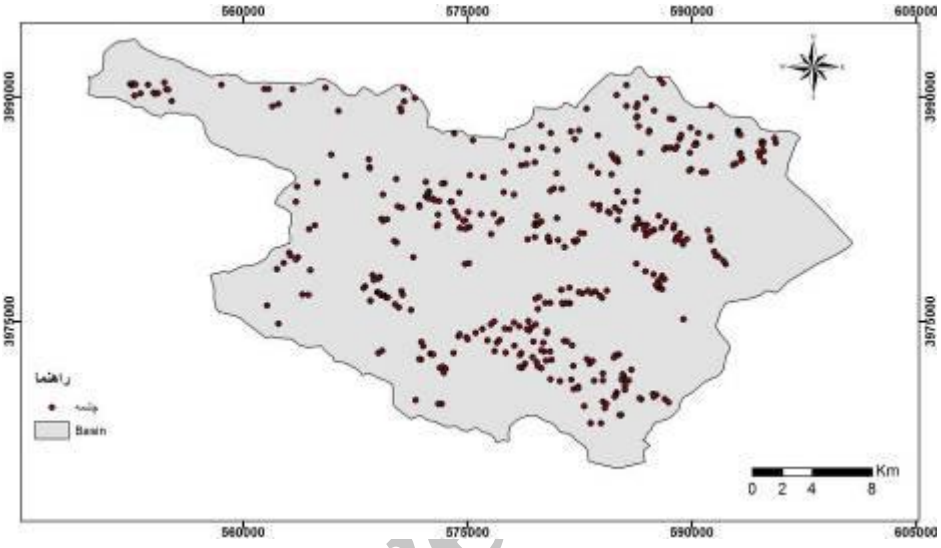
لایه توزیع مکانی چشمه‌ها: چشمه‌ها به‌عنوان نقطه خروجی منابع آب زیرزمینی، در مطالعات هیدروژئولوژی سازندهای سخت، دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. با انجام عملیات صحرائی و همچنین،

Archive of SID

www.SID.ir

بهره‌برداری از نقشه توپوگرافی و GPS موقعیت‌مکانی تعداد ۴۲۶ مورد چشمه شامل چشمه‌های‌دائمی، فصلی، خشک و زه‌آب‌ها، ثبت شد و لایه رقومی موقعیت مکانی آن‌ها تهیه شد. شکل ۲ موقعیت مکانی چشمه‌ها را نشان می‌دهد.

لایه شیب: نقش کنترل‌کننده شیب توپوگرافی بر روی سیستم جریان آب زیرزمینی و همراهی گرادیان هیدرولیکی آب زیرزمینی با شیب توپوگرافی، منجر به گسترش پدیده کارستی شدن در شیب‌های کم و افزایش امکان تشکیل منابع آب می‌شود، علاوه بر این، افزایش شیب زمین باعث کاهش میزان آب نفوذی به زمین می‌شود. بنابراین افزایش آن، پارامتری منفی جهت پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود. این لایه با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و با استفاده از نرم‌افزار ILWIS در طبقه‌های مختلف و برحسب درصد شیب تهیه شد.



شکل ۲- نقشه موقعیت مکانی چشمه‌ها در منطقه مورد پژوهش

لایه طبقات ارتفاعی: توپوگرافی و ارتفاع سطح زمین به‌عنوان عامل تاثیرگذار در نفوذ آب به درون زمین محسوب می‌شوند. به‌عبارت دیگر، در ارتفاعات زیاد نفوذ آب به درون زمین کمتر و رواناب بیشتر است. بنابراین، افزایش ارتفاع اثر معکوسی بر روی پتانسیل-یابی آب زیرزمینی دارد. این لایه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی و طبقه‌بندی آن در طبقات ۲۰۰ متری تهیه شد.

لایه فاصله از شبکه هیدروگرافی: در سازندهای سخت نوع شبکه زهکشی هر منطقه به‌وسیله ساختار-های تکتونیکی، لیتولوژی و توپوگرافی منطقه کنترل می‌شود و از آن‌ها به‌عنوان نقاط ضعف سازندها یاد می‌شود. با توجه به این‌که در بسیاری نقاط این شبکه ارتباط دو جانبه با منابع آب زیرزمینی و چشمه‌ها دارد، به‌منظور لحاظ نقش این لایه در پتانسیل‌یابی منابع‌آب کارستی، این لایه با استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه و سپس لایه فاصله از آن تهیه شد.

لایه فاصله از خطواره‌های ساختمانی: بر اساس تعریف Meijerink و همکاران (۲۰۰۷) خطواره‌ها عبارتند از عناصر خطی، ساختمانی که به‌نظر می‌رسد در زون‌های شکستگی توسعه پیدا کرده‌اند و در تصاویر ماهواره‌ای یا سنجش از دور قابل مشاهده و ثبت می‌باشند. باتوجه به تعریف فوق، این خطواره‌ها نمایانگر نقاط ضعف زمین در سازندهای سخت می‌باشند و می‌توانند، به‌عنوان عامل تسهیل‌کننده عبور آب در سازندهای سخت عمل کنند.

به‌منظور استخراج این خطواره‌ها، با استفاده از فیلترهای رقومی بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست TM که به‌دلیل برداشت در فصل تابستان مناسب برای بررسی‌های زمین‌شناسی است، نسبت به آشکارسازی خطواره‌ها اقدام شد. سپس با استفاده از تفسیر و استخراج چشمی خطواره‌ها و حذف خطواره‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی و همچنین، حذف خطواره‌های منطبق با گسل‌های موجود بر روی نقشه

Archive
www.SID.ir

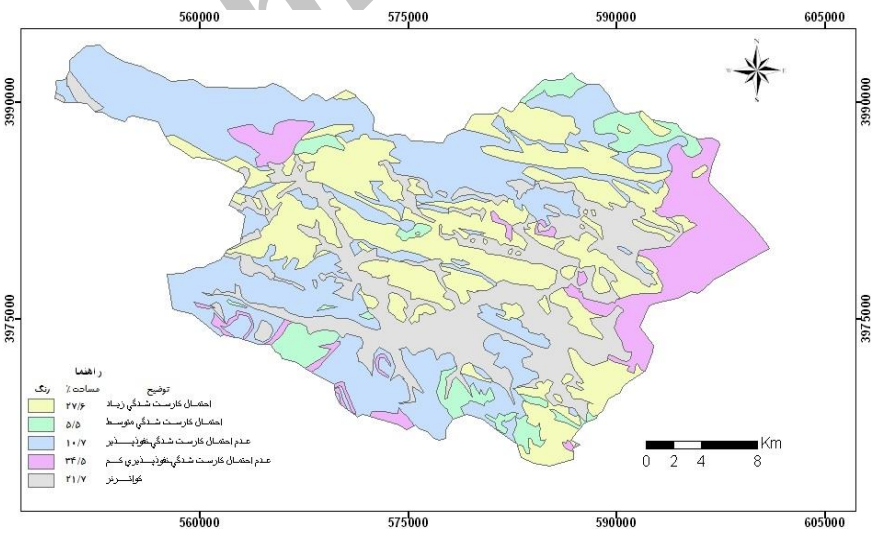
زمین‌شناسی، لایه فاصله از خطواره‌ها در فواصل ۲۰۰ متری در محیط نرم‌افزار تهیه شد.

لایه فاصله از عناصر تکتونیکی: نظر به اهمیت حرکات تکتونیکی در ایجاد شرایط لازم برای نفوذ آب در سازندهای سخت و تسهیل شرایط ایجاد منابع آب زیرزمینی، اقدام به تهیه لایه فاصله از عناصر تکتونیکی شد. این لایه شامل انواع عناصر تکتونیکی، نظیر انواع گسل‌ها، محور تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها می‌باشد که برروی نقشه زمین‌شناسی موجود است. علاوه بر آن تعدادی از عوامل تکتونیکی با استفاده از تفسیر چشمی عکس‌های هوائی استخراج و به این لایه اضافه شد. سپس لایه فاصله از عناصر تکتونیکی در فواصل ۲۰۰ متری در محیط نرم‌افزار تهیه شد.

لایه فاصله از کنتاکت آهکی: کنتاکت سنگ‌های آهکی با دیگر سنگ‌ها، به‌دلیل تفاوت لیتولوژیکی از نقاط ضعف زمین است که در نتیجه تحرکات تکتونیکی منجر به ایجاد و توسعه زون شکستگی می‌شود و شرایط لازم برای نفوذ آب در سازندهای سخت‌کربناته را ایجاد می‌کند. با این فرض، لایه رقومی کنتاکت آهکی تهیه شد و لایه فاصله از آن در فواصل ۱۰۰ متری در محیط نرم‌افزار تهیه شد.

لایه لیتولوژی: با توجه به این‌که نوع سنگ‌شناسی و خصوصیات وابسته به آن عامل بسیار مهمی در پیدایش منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت است و خصوصیات ذاتی سنگ‌های کربناته، شامل قابلیت انحلال، ترکیب کانی‌شناسی و تخلخل ثانویه، نقش متمایزکننده‌ای در ایجاد منابع آب کارستی دارند. این لایه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و تدقیق آن به‌وسیله اطلاعات تکمیلی حاصل از تفسیر عکس‌های هوایی، ماهواره‌ای و بررسی‌های صحرائی، تهیه شد.

معیارهای جنس سنگ، ضخامت لایه و اطلاعات چینه‌شناسی مبنای تقسیم این لایه به پنج گروه است. رخنمون‌های آهکی با ضخامت زیاد و توده‌ای و سن بیشتر در طبقه ۱ (احتمال کارست‌شدگی زیاد)، بیرون‌زدگی‌های آهکی با ناخالصی مارنی، ضخامت کم و سن جدیدتر در طبقه ۲ (احتمال کارست‌شدگی متوسط)، بیرون‌زدگی‌های سازند کرج و شمشک در طبقه ۳ (عدم احتمال کارست‌شدگی با نفوذپذیری مناسب)، بیرون زدگی‌های ولکانیکی دماوند در طبقه ۴ (عدم احتمال کارست‌شدگی با نفوذپذیری کم) و پهنه‌های نهشته‌های دریاچه‌ای کواترنر در طبقه ۵ (کواترنر) تقسیم‌بندی شدند، نقشه خلاصه شده لیتولوژی در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳- نقشه خلاصه شده لیتولوژی

روش پژوهش: وجود شرایط مساعد زمین‌شناسی (از دیدگاه جنس لایه‌های زمین)، تحرکات تکتونیکی به‌عنوان تسریع‌کننده و ایجادکننده شرایط لازم برای ظهور چشمه‌ها و شرایط توپوگرافی مناسب، مهمترین پارامترهای ایجاد کننده چشمه‌ها می‌باشد. از این رو در این پژوهش، ابتدا حوزه آبخیز لار بر روی نقشه

www.SID.ir

توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ رسم شد. سپس با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ واحدهای سنگ‌شناسی مشخص شدند. مرز واحدهای سنگ‌شناسی از طریق تفسیر عکس‌های هوائی و تصویر ماهواره‌ای TM تدقیق شدند. نقشه عناصر تکتونیکی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و تفسیر عکس‌های هوائی تهیه شد. نقشه خطواره‌ها با پردازش تصاویر ماهواره‌ای و عملیات بارزسازی تصویر و تفسیر چشمی استخراج شد. سپس نقشه شیب و طبقه‌های ارتفاعی و شبکه آبراهه‌ای با استفاده از نقشه توپوگرافی در محیط GIS تهیه شد. نقشه موقعیت مکانی چشمه‌های منطقه با استفاده از GPS و در طی عملیات صحرائی تهیه شد. سپس هر لایه تهیه شده به‌طور جداگانه با لایه توزیع مکانی چشمه‌ها قطع داده شد. با استفاده از درصد فراوانی وقوع چشمه‌ها در هر زیرطبقه و نسبت‌گیری درصد فراوانی هر زیرطبقه با بیشینه فراوانی وقوع، ارجحیت زیرطبقه‌های هر لایه نسبت به همدیگر تعیین شد. سپس نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب با استفاده از اولویت‌های به‌دست آمده از این روش تهیه شد. در نهایت با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، وزن نهایی عوامل تعیین و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

فرایند تحلیل سلسله مراتبی[1]: این فرایند یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری است که مبتنی بر مقایسه‌های زوجی می‌باشد و در آن بر مبنای یک هدف معین و با استفاده از معیارهای مختلف و وزن‌دهی به هر یک از آن‌ها، گزینه با اولویت، برای هدف خاصی انتخاب می‌شود. در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به یکدیگر به‌صورت (زوجی) دوبه‌دویی مقایسه شده و وزن‌دهی می‌شوند. مقایسه و وزن‌دهی به عناصر در یک ماتریس k× k ثبت می‌شود، (در این بررسی یک ماتریس ۷×۷ برای سطح ۲ ایجاد شده است). مقایسه زوجی به‌صورت ارزش‌گذاری عنصر سطر نسبت به عنصر ستون صورت می‌گیرد و برای ارزش‌گذاری نیز معمولاً از یک مقیاس فاصله‌ای از یک تا نه استفاده می‌شود. هر چه مقدار ارزش داده شده بیشتر باشد، نشان‌دهنده اهمیت و ارجحیت بیشتر عنصر سطری نسبت به عنصر ستونی است. به‌طوری که ارزش نه بیانگر کاملاً مرجح یا کاملاً مهمتر و ارزش یک بیانگر با ارجحیت و اهمیت یکسان است (جدول ۱). با توجه به این توضیحات، جداول ۳ تا ۱۰ ماتریس ارزش‌گذاری و وزن‌دهی به معیارهای هفت‌گانه در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد که در نرم‌افزار Expert Choice ایجاد و محاسبه شده است. وزن‌های نسبی هر یک از معیارها در ستون آخر جدول درج شده و مجموع آن‌ها برابر یک است.

جدول ۱- ارزش‌گذاری ارجحیت در ماتریس مقایسه زوجی

مقدار ارزش (امتیاز)	درجه اهمیت در مقایسه زوجی
۱	با اهمیت و ارجحیت یکسان
۳	کمی مرجح یا کمی مهمتر
۵	ارجحیت زیاد
۷	ارجحیت خیلی زیاد
۹	کاملا مرجح یا کاملا مهمتر

محاسبه نرخ سازگاری[2]: نرخ سازگاری در روش AHP شاخصی است که سازگاری مقایسه‌ها را نشان می‌دهد. این نرخ گویای درجه صحت و دقت ارزش‌گذاری‌ها در مقایسات زوجی است. چنان‌چه نرخ مذکور برابر و کمتر از ۰/۱ شود، می‌توان ارزش‌گذاری‌ها و مقایسات را خوب و صحیح دانست، در غیر این صورت ارزش‌گذاری و مقایسات زوجی باید دوباره انجام گرفته یا اصلاح شود. نرخ سازگاری از طریق محاسبه شاخص سازگاری[3] به‌دست می‌آید.

[1] Analytical Hierarchy Process (AHP)
[2] Consistency Rate (CR)
[3] Consistency Index (CI)

Archive of SID
www.SID.ir

$$CI = \sum \lambda \max - n \quad (۱)$$

که در آن، $\lambda \max$ عنصر بردار ویژه و n تعداد معیارها می‌باشد. عنصر بردار ویژه از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$\lambda \max =$ وزن معیار/ سطر ماتریس ارزش‌گذاری ستون وزن‌ها (۲)

$\lambda \max$ باید به تعداد معیارها و برای همه آن‌ها محاسبه شده و سپس از مجموع آن‌ها در رابطه (۱) CI حاصل می‌شود. شاخص دیگر، شاخص تصادفی است که توسط ساعتی و هارکر، متناسب با تعداد معیارها، به شرح جدول ۲ محاسبه و ارائه شده است. نهایتا نرخ سازگاری از رابطه (۳) به‌دست می‌آید.

$$CR = CI / RI \quad (۳)$$

جدول ۲- شاخص‌های تصادفی برای ماتریس‌های n بعدی

تعداد معیار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵

وزن‌دهی به روش AHP: برای تعیین وزن هر یک از معیارهای اصلی، یک ماتریس ۷×۷ تعریف شد. سپس با مقایسه دو به دو عناصر ماتریس و با استفاده از نظر کارشناسی، وزن لایه‌ها نسبت به هم تعیین شد. ارجحیت زیرطبقه‌های هر لایه با توجه به فراوانی وقوع چشمه‌ها در آن زیرطبقه تعیین شد.

وزن‌دهی به زیرطبقه‌های معیارهای اصلی: برای این منظور با استفاده از درصد فراوانی چشمه‌های موجود در هر زیرطبقه وزن مربوطه محاسبه شده است. بدین صورت که امتیاز یک زیرطبقه با بالاترین فراوانی وقوع، با اقتباس از مقادیر استاندارد، در روش AHP معادل نه قرار داده شده است و برای زیرطبقه‌های دیگر، متناسب با درصد فروانی وقوع چشمه در آن واحد، وزن مربوطه محاسبه شده است. وزن‌های محاسبه شده برای طبقه‌های مختلف لایه‌ها در جداول ۳ الی ۹ و وزن لایه‌های اصلی نسبت به هم در جدول ۱۰ ارائه شده است. ماتریس مقایسه زوجی برای هر زیرطبقه بر مبنای وزن حاصل از دخالت فراوانی وقوع چشمه‌ها، تشکیل شد. ارجحیت هر زوج در زیرلایه‌ها بدون دخالت نظر کارشناسی و با در نظر گرفتن فراوانی وقوع چشمه‌ها مشخص شد. سپس، اولویت طبقه‌های هر زیرطبقه به‌وسیله نرم‌افزار محاسبه و نتایج ارائه شد.

نتایج و بحث

وزن زیرطبقه‌های هر معیار، پس از محاسبه اولویت هر کدام بر مبنای فراوانی وقوع چشمه‌ها و تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، محاسبه و همزمان برای کنترل سازگاری اولویت‌ها و مقایسات، نرخ سازگاری محاسبه و نتایج در جداول ۳ تا ۹ ارائه شده است. نتایج تحلیل سلسله مراتبی معیارهای اصلی و وزن متعلقه به هر کدام در جدول ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که از نتایج مندرج در جداول مشاهده می‌شود، توزیع وزن‌ها، نشان‌دهنده، محدوده تاثیر عوامل در بروز و ظهور چشمه‌ها در سطح زمین می‌باشد. هر عامل محدوده خاص به خود را نشان می‌دهد که این مشخصه در تلفیق لایه نهایی در مطالعات مکان‌یابی قابل استفاده است. کمینه وزن زیرمعیارها متعلق به دورترین فاصله از عناصر تکتونیکی است و بیشینه آن به زیرلایه کربناته در معیار لیتولوژی مربوط می‌شود. نرخ سازگاری مقایسات زوجی در حد کمتر از استاندارد (۰/۱) به‌دست آمده است.

تهیه نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب سازندهای سخت: به‌منظور آزمون روش استفاده شده در الویت‌بندی عوامل موثر در پتانسیل‌یابی منابع آب سازندهای سخت، اقدام به تهیه نقشه پتانسیل‌یابی شد. در این خصوص، پس از تعیین وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها و محاسبه وزن نسبی آن‌ها، لایه‌های رستری وزنی هر کدام از عوامل در وزن مربوطه ضرب و از جمع لایه نهایی، لایه پتانسیل در سه طبقه تهیه شد (شکل ۴). در نقشه خروجی، بیشترین سطح به لایه با پتانسیل متوسط تعلق گرفت که عمدتاً منطبق بر لایه کربناته با قابلیت کارست‌شدگی متوسط است. کمترین سطح نیز به لایه با پتانسیل زیاد که منطبق بر لایه کربناته با قابلیت کارست‌شدگی بالا می‌باشد، تعلق دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- وزن‌دهی طبقه‌های لایه فاصله از عناصر تکتونیکی

فاصله (m)	۰-۲۰۰	۲۰۰-۴۰۰	۴۰۰-۶۰۰	۶۰۰-۸۰۰	۸۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۲۰۰	۱۲۰۰-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۱۶۰۰	>۱۶۰۰	وزن	درصد فراوانی چشمه
۰-۲۰۰	۱	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۲/۳	۷	۰/۱	۱۳
۲۰۰-۴۰۰	۱/۳	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۳	۹	۰/۱	۱۶
۴۰۰-۶۰۰	۱/۳	۰/۷	۱	۱۰۰	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۲/۳	۷	۰/۱	۱۳
۶۰۰-۸۰۰	۱/۳	۰/۷	۱	۱	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۲/۳	۷	۰/۱	۱۲
۸۰۰-۱۰۰۰	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۱	۱	۱	۱/۶	۵	۰/۱	۱۱
۱۰۰۰-۱۲۰۰	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۱	۱	۱	۱/۶	۵	۰/۱	۱۱
۱۲۰۰-۱۴۰۰	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۱	۱	۱	۱/۶	۵	۰/۱	۱۰
۱۴۰۰-۱۶۰۰	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۱	۳	۰	۸
>۱۶۰۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۱	۰	۶

CR=۰/۰۰۰۸۶۱

جدول ۴- وزن‌دهی طبقه‌های لایه فاصله از خطواره‌های ساختمانی

فاصله (m)	۰-۲۰۰	۲۰۰-۴۰۰	۴۰۰-۶۰۰	۶۰۰-۸۰۰	۸۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۲۰۰	۱۲۰۰-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۱۶۰۰	>۱۶۰۰	وزن	درصد فراوانی چشمه‌ها
۰-۲۰۰	۱	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۱	۱	۱/۶۶	۱/۶۶	۵	۰/۱۰	۱۳
۲۰۰-۴۰۰	۱/۸۲	۱	۱/۲۸	۱/۸۰	۱/۸۰	۱/۸۰	۳	۱/۸۰	۹	۰/۲۰	۱۸
۴۰۰-۶۰۰	۱/۸۲	۰/۷۸	۱	۱/۸۰	۱/۸۰	۱/۸۰	۳	۳	۹	۰/۲۰	۱۶
۶۰۰-۸۰۰	۱/۸۲	۰/۵۶	۰/۵۶	۱	۱	۱	۱/۶۶	۱/۶۶	۵	۰/۱۲	۱۲
۸۰۰-۱۰۰۰	۱	۰/۵۶	۰/۵۶	۱	۱	۱	۱/۶۶	۱/۶۶	۵	۰/۱۱	۱۲
۱۰۰۰-۱۲۰۰	۱	۰/۵۶	۰/۵۶	۱	۱	۱	۱/۶۶	۱/۶۶	۵	۰/۱۱	۹
۱۲۰۰-۱۴۰۰	۰/۶۰	۰/۵۶	۰/۳۳	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۱	۱	۳	۰/۰۷	۷
۱۴۰۰-۱۶۰۰	۰/۶۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۱	۱	۳	۰/۰۷	۶
>۱۶۰۰	۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/۰۲	۷

CR=۰/۰۰۵۳۹۳

جدول ۵- وزن‌دهی طبقه‌های لایه فاصله از کنتاکت آهکی

فاصله (m)	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۰۰	<۴۰۰	وزن	درصد فراوانی چشمه‌ها
۰-۱۰۰	۱	۱/۲۸	۱/۸۰	۱/۸۰	۹	۰/۳۳	۴۳
۱۰۰-۲۰۰	۰/۷۸	۱	۱/۴۰	۱/۴۰	۷	۰/۲۶	۲۸
۲۰۰-۳۰۰	۰/۵۶	۰/۷۱	۱	۱	۵	۰/۱۹	۱۱
۳۰۰-۴۰۰	۰/۵۶	۰/۷۱	۱	۱	۵	۰/۱۹	۱۲
<۴۰۰	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۲۰	۱	۰/۰۴	۶

CR=۰/۰۰۴۸۴۶

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶- وزن‌دهی طبقه‌های لایه فاصله از شبکه هیدروگرافی

فاصله (متر)	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۰۰	<۴۰۰	وزن	درصد فراوانی چشمه
۰-۱۰۰	۱	۰/۷۷	۱/۴۰	۲/۳۳	۷	۰/۲۸	۳۱/۲
۱۰۰-۲۰۰	۱/۳۰	۱	۱/۸۰	۳	۹	۰/۳۶	۳۳/۷
۲۰۰-۳۰۰	۰/۷۱	۰/۵۶	۱	۱/۶۶	۵	۰/۲۰	۱۶/۹
۳۰۰-۴۰۰	۰/۴۳	۰/۳۳	۰/۶۰	۱	۳	۰/۱۲	۱۰/۶
۴۰۰<	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۳۳	۱	۰/۰۴	۷/۶

CR=۰/۰۰۷۸۵۸

جدول ۷- وزن‌دهی طبقه‌های لایه شیب

درصد طبقه شیب	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۴۰	۴۰-۵۰	< ۵۰	وزن	درصد فراوانی چشمه
۰-۱۰	۱	۱/۸۰	۱/۸۰	۱/۸۰	۲/۲۵	۹	۰/۳۱	۳۲
۱۰-۲۰	۰/۵۶	۱	۱	۱	۱/۲۵	۵	۰/۱۷	۱۸
۲۰-۳۰	۰/۵۶	۱	۱	۱	۱/۲۵	۵	۰/۱۷	۱۶
۳۰-۴۰	۰/۵۶	۱	۱	۱	۱/۲۵	۵	۰/۱۷	۱۴
۴۰-۵۰	۰/۴۴	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۱	۴	۰/۱۴	۱۰
۵۰<	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۵	۱	۰/۰۳	۶

CR=۰/۰۳۷۸۵۸

جدول ۸- وزن‌دهی طبقه‌های لایه طبقات ارتفاعی

طبقات ارتفاعی (m)	۲۴۰۰-۲۶۰۰	۲۶۰۰-۲۸۰۰	۲۸۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰۰-۳۲۰۰	۳۲۰۰-۳۴۰۰	۳۴۰۰-۳۶۰۰	۳۶۰۰<	وزن	درصد فراوانی چشمه‌ها
۲۴۰۰-۲۶۰۰	۱	۱/۸۰	۱/۸۰	۱/۸۰	۲/۲۵	۲/۲۵	۹	۰/۲۷	۲۵
۲۶۰۰-۲۸۰۰	۰/۵۶	۱	۱	۱	۱/۲۵	۱/۲۵	۵	۰/۱۵	۱۳
۲۸۰۰-۳۰۰۰	۰/۵۶	۱	۱	۱	۱/۲۵	۱/۲۵	۵	۰/۱۵	۱۴
۳۰۰۰-۳۲۰۰	۰/۵۶	۱	۱	۱	۱/۲۵	۱/۲۵	۵	۰/۱۵	۱۶
۳۲۰۰-۳۴۰۰	۰/۴۴	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۱	۱	۴	۰/۱۲	۱۰
۳۴۰۰-۳۶۰۰	۰/۴۴	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۱	۱	۴	۰/۱۲	۱۲
۳۶۰۰<	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۲۵	۱	۰/۰۳	۱۰

CR=۰

جدول ۹- وزن‌دهی طبقه‌های لایه لیتولوژی

طبقه‌های لایه لیتولوژی	A	B	C	D	E	وزن	درصد فراوانی چشمه
A	۱	۳	۱	۱	۹	۰/۲۶	۳۶/۹۸
B	۰/۳۳	۱	۰/۱۱	۰/۱۴	۵	۰/۰۷	۳۳/۲
C	۱	۹	۱	۱	۹	۰/۳۴	۲۱/۷
D	۱	۷	۱	۱	۵	۰/۲۹	۵/۶
E	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۲۰	۱	۰/۰۳	۲/۷

CR=۰/۰۸۸۱۶۱

A کواترنر، B لایه عدم احتمال کارست-نفوذپذیر، C لایه کربناته با احتمال بالای کارست، D لایه کربناته با احتمال متوسط کارست و E لایه عدم احتمال کارست-نفوذناپذیر

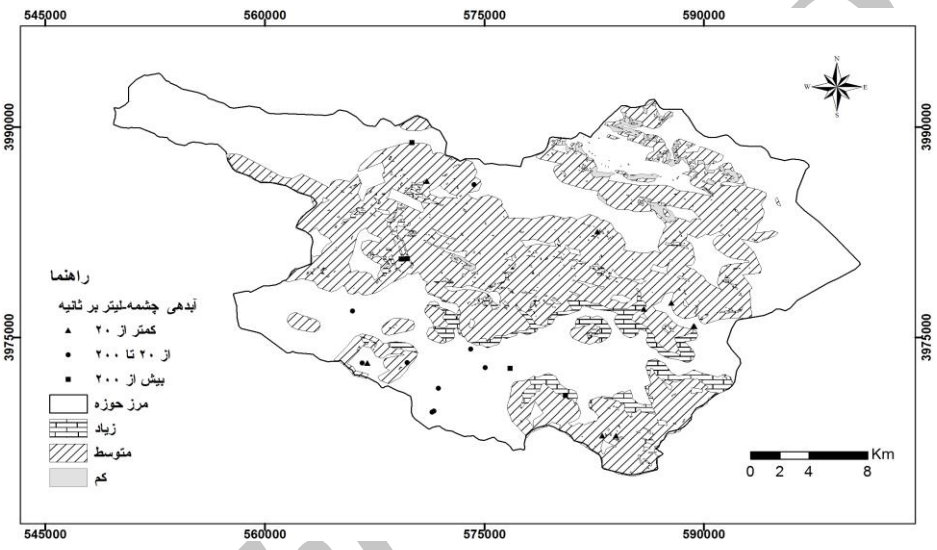
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۰- وزن‌دهی لایه‌های اصلی موثر نسبت به هم

لایه‌های اصلی	لیتولوژی	فاصله از عناصر تکتونیکی	فاصله از خطواره‌ها	فاصله از کنتاکت آهکی	فاصله از شبکه آبراهه	شیب	طبقات ارتفاعی	وزن
لیتولوژی	۱	۱	۰/۷۷	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۳۳	۹	۰/۱۲
فاصله از عناصر	۱	۱	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۹	۰/۱۴
فاصله از خطواره‌ها	۱/۳۰	۱/۳۰	۱	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۴۲	۷	۰/۱۴
فاصله از کنتاکت	۱/۸۲	۱/۴۱	۱/۴۱	۱	۱	۰/۶۰	۵	۰/۱۷
فاصله از شبکه	۱/۸۲	۱/۴۱	۱/۴۱	۱	۱	۰/۶۰	۵	۰/۱۷
شیب	۳/۰۳	۱/۴۱	۲/۳۸	۱/۶۷	۱/۶۷	۱	۳	۰/۲۴
طبقات ارتفاعی	۰/۱۱	۰/۱۱	۱/۴۱	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۳۳	۱	۰/۰۳

CR=۰/۰۵۶۲۱۷



شکل ۴- نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی منطقه مورد پژوهش

در لایه لیتولوژی، پنج زیرلایه به شرح مندرج در متن مقاله انتخاب شده است، که پس از اولویت‌بندی و محاسبه وزن مربوطه بر مبنای فراوانی وقوع چشمه‌ها در ماتریس مقایسات زوجی، بیشترین وزن به دو زیرلایه کربناته (طبقه‌های یک و دو در نقشه لیتولوژی خلاصه شده) و لایه کواترنر با مجموع حدود ۵۴ درصد وزنی تعلق گرفته است. این درصد بالا، موید اهمیت و نقش نظر کارشناسی در خصوص تشکیل منابع آب کارستی در سازندهای سخت کربناته می‌باشد. لایه مربوط به سازند غیرکربناته با نفوذپذیری مناسب، به‌علت وجود تعداد زیاد چشمه‌های کوچک با آبدهی کم در این گروه، وزن بالایی گرفته و لایه ولکانیکی به‌دلیل تعداد کم چشمه‌ها، وزن کمی را به‌خود اختصاص داده است.

وزن مناسب لایه آبرفتی نیز قابل انتظار بوده است. با توجه به این‌که بخش عمده‌ای از گستره آبرفتی، بر روی بستری از سازندهای کربناته قرار دارد و وجود چند فروچاله بزرگ در این واحد موید این مطلب است در نتیجه، بخشی از وزن این زیرلایه نیز می‌تواند به زیرلایه کربناته تعلق داشته باشد که البته تعیین سهم دقیق آن، بدون بررسی‌های دقیق صحرایی و رسم مقاطع زمین‌شناسی متعدد و دقیق میسر نیست و در این سطح از مطالعات نیز برای این پژوهش میسر نبوده است.

در لایه عناصر تکتونیکی، ارزش مکانی دومین زیرلایه، یعنی فاصله ۲۰۰-۴۰۰ متر دارای بالاترین وزن است. علی‌رغم انتظار نظر کارشناسی، مبنی بر تعلق وزن بالا به اولین زیرلایه، این بخش وزن کمی را

Archive
www.SID.ir

به‌خود اختصاص داده است. چهار زیرلایه اولیه فاصله از عناصر تکتونیکی، بیش از ۶۰ درصد وزنی را دارند. این درصد بالا می‌تواند محدوده تاثیر شکستگی‌ها، در ایجاد چشمه‌ها را در منطقه مورد پژوهش نشان دهد.

در لایه خطواره‌ها، نیز اولین زیرلایه، وزن بسیار کمتری نسبت به زیرلایه‌های دیگر دارد و در اولویت ششم قرار گرفته است. در این لایه نیز بیش از ۶۰ درصد وزنی لایه متعلق به چهار زیرلایه اولیه می‌باشد. نزدیکی روابط این لایه با لایه فاصله از عناصر تکتونیکی، نشان‌دهنده این است که خطواره‌ها انعکاسی از ساختارهای پنهان هستند که با احتمال بالا در زون‌های شکستگی توسعه پیدا کرده‌اند. در لایه فاصله از کنتاکت آهکی، بیشترین وزن زیرلایه متعلق به زیرلایه ۰-۱۰۰ متر است که وزنی معادل ۳۳ درصد کل لایه اصلی را شامل می‌شود.

حوضه تاثیر زون شکستگی که در حد فاصل کنتاکت‌های آهکی توسعه پیدا کرده است تا ۴۰۰ متری این مرز تشخیص داده شده و این فاصله، تاثیر کم زون شکستگی واقع در مرز واحدهای کربناته در ایجاد و ظهور چشمه‌ها در این منطقه را نشان می‌دهد. توزیع وزن زیرلایه‌ها در معیار فاصله از شبکه آبراهه‌ای، به این صورت می‌باشد که دو زیرلایه اولیه به‌ترتیب ۲۸ و ۳۶ درصد وزنی این لایه را به‌خود اختصاص داده‌اند. تفاوت وزنی این دو زیرلایه و درصد بالای وزن آن‌ها، ناشی از نوع و شکل دره‌های منطقه است که عمدتا متاثر از تحرکات تکتونیکی است. تطابق روند کلی شبکه آبراهه‌ای با روند شمال غرب-جنوب شرق ساختارهای تکتونیکی، موید ساختمانی بودن بخش عمده‌ای از این شبکه است.

در لایه شیب، زیرلایه اول که شیب‌های صفر تا ۱۰ درصد را شامل می‌شود، بیشترین وزن را گرفته است. این مورد با نظرات کارشناسی مبنی بر تاثیر بیشتر شیب‌های کم در توسعه منابع آب مطابقت دارد. شیب‌های بالاتر از ۱۰ درصد، ارزش وزنی کم و نزدیک به هم را گرفته‌اند. این امر به این دلیل است که اغلب چشمه‌های موجود در شیب‌های بالاتر به‌علت تاثیر شرایط محلی زمین‌شناسی به‌وجود آمده‌اند. در لایه طبقات ارتفاعی نیز اولین زیرلایه که در طبقه ۲۴۰۰-۲۶۰۰ متر واقع شده است، بیشترین وزن را گرفته و مابقی نیز وزن‌های پایین و تقریباً یکسانی را به‌خود اختصاص داده‌اند. وزن بالای زیرطبقه اول، به‌علت وجود چشمه‌های موجود در آبرفت‌ها و طبقات آهکی است و وزن کم طبقات بالاتر به‌علت تاثیر شرایط محلی زمین‌شناسی است.

نتایج حاصل از اولویت‌بندی و وزن‌دهی عوامل اصلی، بر مبنای روش تحلیل سلسله مراتبی ارائه شده در جدول ۱۰ نشان داد که بالاترین وزن متعلق به لایه شیب با ۲۴ درصد وزنی است و کمترین وزن به لایه طبقات ارتفاعی تعلق دارد. لایه فاصله از شبکه آبراهه، کنتاکت آهکی، فاصله از خطواره‌ها، عناصر تکتونیکی و لیتولوژی به‌ترتیب در مراتب بعدی قرار دارند. اما دخالت درصد پوشش سطحی لایه‌های اصلی، به همراه اعمال وزن ناشی از دخالت فراوانی چشمه‌ها، موجب تغییر وزن نهایی لایه‌های اصلی مندرج در جدول ۱۰ می‌شود. بدین صورت که با اعمال درصد پوشش سطحی و وزن زیرلایه‌ها، ترتیب الویت‌بندی نهایی تغییر می‌کند که در این جا به‌ترتیب، لایه لیتولوژی، شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از عناصر تکتونیکی، خطواره‌ها، کنتاکت آهکی و شبکه آبراهه استخراج شد. با توجه به این‌که در این روش، وزن‌های محاسبه شده برای زیرلایه‌ها مستقیما انعکاسی از درصد فراوانی مکان هندسی چشمه‌ها است، بنابراین نقشه‌های پتانسیل‌یابی منابع آب که به این روش تهیه شوند، می‌تواند، تطابق زیادی با منابع آب زیرسطحی در مناطق مستعد کارستی‌شدن داشته باشد.

با توجه به این‌که بستر تشکیل منابع آب کارستی، وجود لایه کربناته مناسب می‌باشد، در مطالعات پتانسیل‌یابی منابع آب در سازندهای سخت کربناته از این لایه اطلاعاتی به‌عنوان نقشه پایه استفاده می‌شود و روابط بین سایر مولفه‌های تاثیرگذار باید در این بستر، مورد بررسی و پژوهش قرار گیرند. درصد بالای پوشش سطحی لایه کربناته و آبرفتی که بیش از ۶۷ درصد منطقه مورد پژوهش را تشکیل داده است. همچنین، تاثیر وزن بالای زیرلایه کربناته در لایه اصلی لیتولوژی، موجب افزایش وزن نهایی لایه لیتولوژی و زیرلایه کربناته می‌شود.

لایه‌های عناصر تکتونیکی، خطواره‌ها وکنتاکت آهکی به‌عنوان عواملی هستند که امکان بروز و ظهور

Archive of SID

www.SID.ir

چشمه‌ها را به‌وجود می‌آورند و تسهیل‌کننده ایجاد منابع آب شناخته می‌شوند. همچنین، لایه‌های شیب، طبقات ارتفاعی و شبکه آبراهه، به‌عنوان عواملی هستند که فرصت لازم برای فرایند کارستی‌شدن و تشکیل منابع آب در سازندهای سخت کربناته را فراهم می‌آورند و از آن‌ها می‌توان، به‌عنوان نمایانگرهای آب زیرزمینی در این مناطق استفاده کرد. در پژوهش‌های انجام گرفته توسط Maleki و همکاران (۲۰۰۹)، SafarAlizade و همکاران (۲۰۱۰)، Seyf و karegar (۲۰۱۱)، Kheirkhah و همکاران (۲۰۱۱) و Basavaraj و Nijagunappa (۲۰۱۱a) وزن زیرلایه‌ها نیز با نظر کارشناسی تعیین شده و برای نمونه، ترتیب وزنی منتسب به لایه‌های فاصله از عناصر به همان ترتیب تقدم و تاخر فاصله در نظر گرفته شده، یعنی فاصله‌های نزدیک‌تر وزن بیشتری از فاصله‌های بعدی گرفته‌اند.

در حالی که با تحلیل فراوانی چشمه‌ها در منطقه مورد پژوهش، مشخص شد که این ترتیب وزنی بر اساس تقدم و تاخر مکانی در این منطقه صدق نمی‌کند. بعضی از زیرلایه‌های نزدیک‌تر، وزن کمتری از زیرلایه دورتر گرفته‌اند. برای مثال، وزن زیرلایه‌های اول در معیارهای فاصله از عناصر تکتونیکی، خطواره‌ها و فاصله از شبکه هیدروگرافی مندرج در جداول ۳، ۴ و ۶ کمتر از وزن زیرلایه‌های بعدی است.

البته این تفاوت وزن بر مبنای تقدم و تاخر فاصله در لایه فاصله از کنتاکت آهکی، شیب و طبقات ارتفاعی در این منطقه، صادق و با نظرات کارشناسی هماهنگ است. این موضوع اهمیت تلفیق وزن‌دهی بر مبنای تحلیل فراوانی چشمه‌ها با روش وزن‌دهی بر اساس قضاوت کارشناسی در روش AHP را تایید می‌کند.

سهیم نمودن سایر مولفه‌های موثر در تشکیل منابع آب، مانند چگالی شکستگی‌ها، چگالی شبکه آبراهه‌ای، ترکیبات کانی‌شناسی و میزان قابلیت انحلال سنگ‌های کربناته و ... در بررسی و تحلیل سلسله مراتبی عوامل موثر، می‌تواند منجر به نتایج دقیق‌تری در شناسایی وزن‌های این عوامل شود. نرخ سازگاری محاسبه شده برای کلیه زیرلایه‌ها و همچنین، لایه‌های اصلی کمتر از ۰/۱ است که نشان‌دهنده سازگاری و صحت وزن‌دهی و مقایسات است.

نتیجه‌گیری

در مطالعات مکان‌یابی به‌منظور توسعه منابع آب در سازندهای سخت کربناته، عوامل مختلفی در نظر گرفته می‌شود. این عوامل دارای مقادیر مختلفی از نظر اولویت‌های وزنی است. اولویت‌های در نظر گرفته شده و وزن‌های تخصیص داده شده عموماً بر مبنای نظرات کارشناسی و تلفیق قضاوت‌های کارشناسی است، که در روش AHP نیز مبنای اولویت‌بندی قرار داده شده است. در این پژوهش، با فرض این که موقعیت مکانی چشمه‌ها، به‌عنوان خروجی منابع آب زیرزمینی، ارتباط نزدیکی با عوامل ایجاد و تسهیل‌کننده منابع آب در سازندهای سخت دارد، سعی شده است که بااستفاده از تحلیل فراوانی مکانهندسی و توزیع مکانی چشمه‌ها، وزن زیرلایه‌های هر عامل محاسبه شود. همچنین از روابط همبستگی مکانی بین عوامل موثر در ایجاد چشمه‌ها و فراوانی وقوع آن‌ها با تلفیق با نظرات کارشناسی برای اولویت‌بندی و وزن‌دهی لایه‌های اصلی، با استفاده از روش AHP استفاده شده است. این روش علاوه بر بهره‌گیری از مزایای روش AHP می‌تواند معایب آن را که ناشی از تنوع نظرات کارشناسی است، کاهش دهد.

جهت صحت‌سنجی مدل ارائه شده، لایه موقعیت مکانی ۲۶ چشمه با دبی مشخص، با نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب، تطبیق داده شد. نقشه چشمه‌ها در سه طبقه با آبدهی کمتر از ۲۰ لیتر بر ثانیه، ۲۰ تا ۲۰۰ و بیشتر از ۲۰۰ لیتر بر ثانیه طبقه‌بندی شده‌اند.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود از ۲۶ چشمه مورد نظر تعداد ۲۰ چشمه، معادل ۷۶ درصد چشمه‌ها در طبقه‌های با پتانسیل زیاد و متوسط قرار گرفته است و تنها شش چشمه با آبدهی متوسط (۲۰ تا ۲۰۰ لیتر در ثانیه) در خارج از منطقه با پتانسیل متوسط و بالا قرار گرفته است که می‌تواند به‌وسیله ساختارهای پنهان زمین‌شناسی توجیه شود. پاسخ ۷۶ درصدی این روش در پتانسیل‌یابی منابع آب

Archive of SID

www.SID.ir

سازندهای سخت کربناته، می‌تواند تاییدی بر قابلیت عملیاتی این روش در محدود کردن مناطق هدف برای کاوش‌های زیرسطحی منابع آب سازندهای سخت کربناته باشد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با استفاده از امکانات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. از همراهی و مساعدت پژوهشکده کمال تشکر را دارد.

منابع مورد استفاده

1. Amaresh, Kr., S. Singh and R. Prakash. 2006. An integrated approach of Remote Sensing, geophysics and GIS to evaluation of Groundwater Potentiality of Ojhala Subwatershed, Mirzapur district, U.P., India. Map India Conference, Page 1-9.
2. Apaydin, A. 2010. Relation of tectonic structure to groundwater flow in the Beypazari region, NW Anatolia, Turkey. Hydrogeology Journal , 18: 1343-1356.
3. Basavaraj, H and R. Nijagunappa. 2011a. Development of Groundwater Potential Zone in North-Karnataka Semi-Arid Region, Using Geoinformatics Technology. Universal Journal of Environmental Research and Technology, 4: 500-514.
4. Basavaraj, H and R. Nijagunappa. 2011b. Identification of Groundwater Potential Zone using Geoinformatics in Ghataprabha basin, North Karnataka, India, international Journal of Geomatics and Geosciences, 1: 91- 109.
5. Kheirkhah, M.M., E. Sharifi and Sh. Haji Azizi. 2011.Suitable site selection for Groundwater Construction Using Spatial and Non Spatial Analytical Hierarchy Process Methods in the Taft Pishkoh Catchment, YAZD, IRAN. Journal of Applied Rs and GIS Techniques in Natural Resource Science, 2: 27-37.
6. Maleki, M., H. Hesadi and P. Naderiyan. 2009. Site selection of artificial recharge in Merek Watershed. Geographical Research, 92: 15489-15484 (in Persian).
7. Masoud, A. and K. Koike. 2006. Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydro geologic Setting in Siwa region, NW Egypt. Journal of African Earth Sciences, 45: 467–477.
8. Meijerink, A.M.J., D. Bannert, O. Batelaan and M.W. Ubczynski. 2007. Remote sensing application to groundwater. Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization Place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP (France) Composed by Marina Rubio, 93200 Saint-Denis, Printed by IHP/2007/GW/16 SC-2007WS/53 © UNESCO 2007 Printed in France.
9. Safar Alizade, H., N. Asadi, S. Torke ghashghaei nejad and M. Esfarm. 2010. Identifying areas of High potential karst water resources in the West Mountain of Shotori using RS and GIS. Geomantic conference, Iran, 1869 pages (in Persian).
10. Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, 287 pages.
11. Seyf, A. and A. karegar. 2011. Investigation of groundwater resources potential using Analytic Hierarchy Process and geographic information system, case study: Sirjan catchment. Journal of Gographiyaye tabieei, 12: 75-90 (in Persian).
12. Solomon, S and F. Quiel. 2006. Groundwater study using remote sensing and geographic information systems (GIS) in the central highlands of Eritrea. Hydrogeology Journal, 14: 729-741.
13. Solomon, S. and W. Ghebreaba. 2006. Lineament characterization and their tectonic significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea. Journal of African Earth Sciences, 46: 371–378.
14. Solomon, S. and W. Ghebreabb. 2008. Hard-rock hydro tectonics using geographic information systems in the central highlands of Eritrea: Implications for groundwater. Journal of Hydrology, 1-2: 147–155.
15. Stocklin, J. 1974. Northern Iran: Alborz Mountains, Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belt, Data for Orogenic Studies: Geological Society, London.Edn. Scottish Academic Press, London, pp: 213-234.

Archive of SID

www.SID.ir

Investigation of the effective elements in water resource exploration of the hard formations, case study: Lar catchment

Rahim Kazemi[*1], Samad Shadfar[2] and Reza Bayat[3]
[1, 3] Scientific Board, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran and [2] Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 01 May 2014 Accepted: 03 December 2014

Abstract

Information on the hierarchical importance of the factors influencing on the spatial distribution of springs in a watershed are required for the development of the water quality and quantity management plan. In this regard, we address the integration of GIS and decision support tools, for zoning prone areas. In this research to determine hierarchical importance of the elements on the water resources development in Karst regions, first with literature review and field studies, the effective parameters in occurrence of spring were selected. Then thematic layers of these parameters in GIS environment were prepared. Each layer separately crossed with the spatial distribution of spring's layer and priorities of each sub layer with respect to each other in terms of frequency of spring's occurrence were determined. Finally, using the analytic hierarchy process, factors affecting the occurrence of this phenomenon and the weight of each factor was calculated by Expert Choice software. Results showed that the weight of the top layer assigned to the lithology and carbonate substrate alone formed 54% of the weight of this layer. The next layers in order of importance were including the layer of the slope and elevation classes, structural elements, lineaments, limestone contact and drainage layer. Potential map prepared by this method, match 76 percent with the spatial distribution of springs.

Keywords: Analytical hierarchy process, Carbonates rocks, Karst springs, Lineaments, Tectonic elements

Archive of SID

[*] Corresponding author: ra_hkazemi@yahoo.com

www.SID.ir