پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در حوضه آبریز زنجانرود با استفاده از تحلیل‌های مکانی و پی‌جویی‌های ژئوالکتریک

مرضیه شعبانی[۱]، ابوالفضل رضائی[۲]* و زهره معصومی[۲]

[۱]کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه، زنجان، ایران

[۲]استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹

چکیده

حوضه آبریز زنجانرود در سال‌های اخیر متحمل افت شدید تراز آب‌زیرزمینی شده است، بنابراین آگاهی از پراکندگی سفره‌های آب‌زیرزمینی منطقه ضروری است. به منظور پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی از هفت زیرمعیار شیب، لیتولوژی، بارندگی، تراکم آبراهه، تراکم چشمه، تراکم خطوارگی و کاربری اراضی استفاده شد. برای وزن‌دهی به معیارها از مدل تحلیل سلسله مراتبی و برای تلفیق لایه‌ها در سیستم اطلاعات مکانی از مدل تاپسیس بهره گرفته شد. در نهایت، نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در چهار رده اهمیت (غنی، مناسب، ضعیف و بسیار ضعیف) به دست آمد. نتایج حاصل از مدل، با استفاده از موقعیت چاه‌های بهره‌برداری منطقه و روش‌های ژئوالکتریکی صحت‌سنجی شدند. محل چاه‌های با دبی بالاتر بیشتر درون پهنه اولویت اول (پتانسیل غنی) و برخی نیز درون پهنه اولویت دوم (پتانسیل مناسب) قرار دارند که این می‌تواند تأیید بر صحت مدل باشد. همچنین مدل دو بعدی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی تطابق قابل قبولی با مدل حاصل از روش تاپسیس دارد. پهنه‌های با پتانسیل ضعیف، مناسب، بسیار ضعیف و غنی به ترتیب ۳۵، ۳۲، ۲۹ و ۴ درصد از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. پهنه‌های غنی و مناسب اکثراً در دشت گسترش دارند و سفره مناسب و وسیع در ارتفاعات زنجانرود وجود ندارد.

کلیدواژه‌ها: زنجانرود، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، تحلیل سلسله مراتبی، تاپسیس، ژئوالکتریک.

***نویسنده مسئول:** ابوالفضل رضائی

E-mail: arezaei@iasbs.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

در مناطق خشک مانند اکثر نقاط ایران، از یک سو خشک شدن رودخانه‌ها و کاهش منابع آب سطحی و از سوی دیگر افزایش جمعیت، میل به مصرف‌گرایی و افزایش سطح زیر کشت زمین‌های آبی سبب برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی و کاهش شدید حجم ذخیره آبخوان‌ها شده است (Madani, 2014). در حوضه آبریز زنجانرود نیز از سال ۱۳۶۰ (۱۸۴ میلیون متر مکعب در سال) تا سال ۱۳۸۷ (۹۳۷ میلیون متر مکعب در سال) برداشت آب‌های زیرزمینی ۵ برابر افزایش یافته است که سبب افت شدید تراز آب زیرزمینی شده است. در صورت ادامه این روند، در آینده نزدیک ممکن است تأمین آب شرب کافی برای شهر زنجان با مشکل مواجه شود (عبدی‌نژاد، ۱۳۹۰). برای استفاده مناسب و مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی منطقه می‌تواند مثمر ثمر واقع شود. مهم‌ترین معیارها برای پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دارای بعد مکانی هستند. یکی از مهم‌ترین ابزارهای در دسترس به منظور تهیه این نوع داده‌های مکانی داده‌های سنجش از دور (RS; Remote sensing) است. به منظور پردازش این نوع داده‌ها از سیستم اطلاعات مکانی (GIS; Geospatial Information System) استفاده می‌شود که بهره‌گیری از این روش‌ها موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌شود.

کارهای متنوعی در ارتباط با پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های RS و پردازش‌های GIS انجام شده است. لایه‌های اطلاعاتی به‌کار رفته در اکثر تحقیقات پیشین شامل لیتولوژی، شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، تراکم خطوارگی، تراکم آبراهه و بارندگی است (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸؛ یوسفی سنگانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ رحمتی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Şener et al., 2018؛ Arulbalaji et al., 2019). از مرسوم‌ترین روش‌ها برای وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و فاکتور چند تأثیر (MIF; Multi Influencing factor) است (بهاروند و همکاران، ۱۳۹۷؛ Magesh et al., 2012؛ Mahmoud and Alazba, 2016, Aggarwal et al., 2019). معمولا برای تلفیق لایه‌ها از روش‌های تاپسیس و همپوشانی وزن‌دار بهره گرفته می‌شود تا در نهایت نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی یک منطقه به دست آید (Afshar et al., 2011; Magesh et al., 2012; Ameri et al., 2018).

تحقیق حاضر سعی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز زنجانرود با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، هیدروژئولوژیکی و سنجش از دور دارد. در این تحقیق هفت زیرمعیار مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی شامل شیب، لیتولوژی، مقدار بارندگی، تراکم آبراهه، تراکم چشمه، تراکم خطوارگی و کاربری اراضی مد نظر قرار گرفته است. در این تحقیق از مدل تحلیل سلسله مراتبی برای وزن‌دهی به معیارها استفاده شده است. به علاوه، از مدل تاپسیس در سیستم اطلاعات مکانی برای تلفیق لایه‌ها بهره گرفته شده است. در این تحقیق برای اطمینان از نتایج به دست آمده، نتایج حاصل از مدل تاپسیس با استفاده از موقعیت چاه‌های با دبی بالا و پی‌جویی‌های ژئوالکتریکی شامل مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی صحت‌سنجی شد.

۲- روش تحقیق

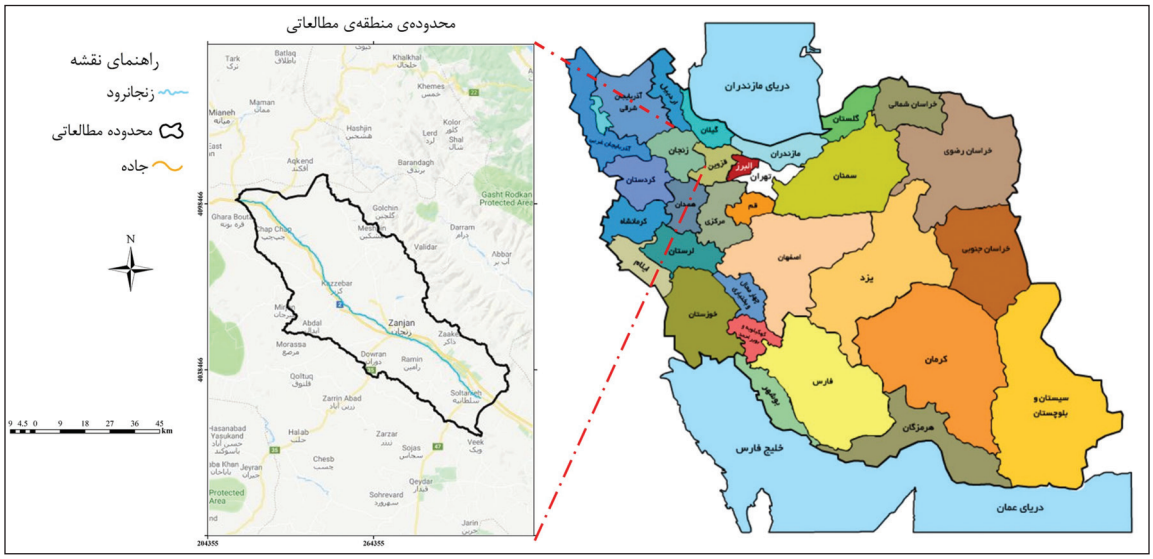
در این قسمت به معرفی منطقه مطالعاتی، معیارهای مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، وزن‌دهی معیارها و تلفیق لایه‌ها پرداخته خواهد شد.

۲- ۱. منطقه مطالعاتی

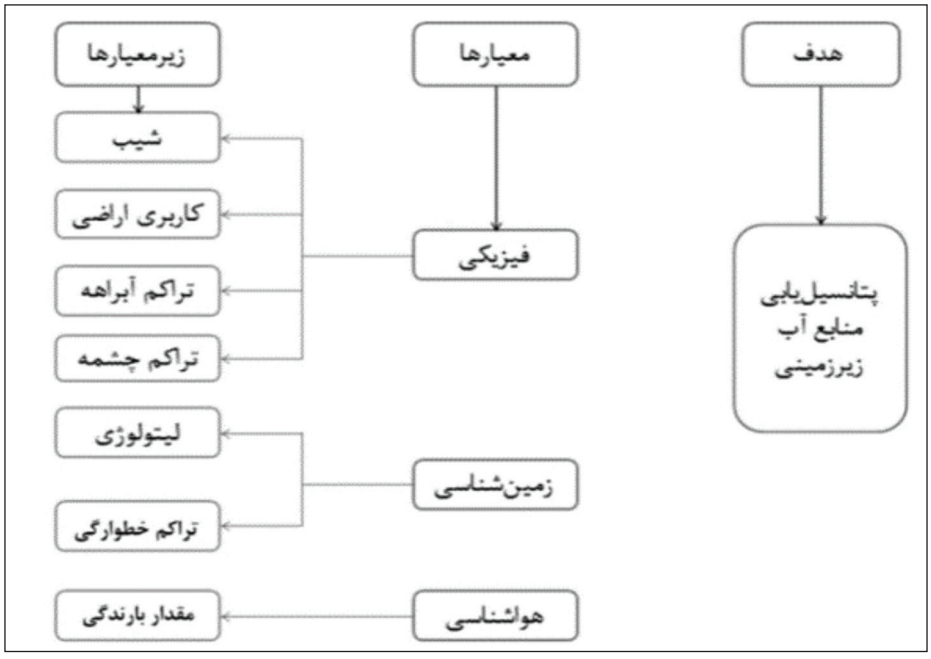
حوضه آبریز زنجانرود با مساحت ۴۸۵۷ کیلومتر مربع، در شمال غرب ایران واقع شده است (شکل ۱). زنجانرود با طول ۱۲۰ کیلومتر از رودخانه‌های دائمی به شمار می‌رود که آب این حوضه را زهکش می‌کند. حوضه آبریز زنجانرود به‌صورت یک حوضه فرورفته بین کوهستان‌های طارم و سلطانیه قرار گرفته است که در آن نهشته‌های آواری-کربناته الیگومیوسن و نهشته‌های آواری پلیو-پلئیستوسن و آبرفت‌های کواترنر بر جای نهاده شده‌اند. ارتفاعات حوضه بیشتر شامل رخنمون‌هایی از نهشته‌های آتشفشانی و آتشفشانی-آواری همراه با توده‌های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی است.

۲- ۲. معیارهای مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی

پتانسیل‌یابی از طریق بررسی و تلفیق معیارهایی که در تغذیه آب به زیر زمین، ذخیره آن و ایجاد سفرههای آب زیرزمینی مؤثر هستند، امکان‌پذیر است (Mahmoud and Alazba, 2016). بنابراین با توجه به هدف تحقیق و با استفاده از منابع موجود، ابتدا معیارهای مؤثر بر پتانسیل منابع آب زیرزمینی مشخص شده و داده‌های مکانی و توصیفی مربوط به آنها از منابع مختلف جمع‌آوری شدند. معیارها و زیرمعیارهای مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز زنجانرود.



شکل ۲- معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی.

در این تحقیق هفت زیرمعیار مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی شامل شیب، لیتولوژی، مقدار بارندگی، تراکم آبراهه، تراکم چشمه، تراکم خطوارگی و کاربری اراضی مد نظر قرار گرفته است. در ادامه دلایل اهمیت این معیارها و منابع تهیه داده‌های مربوطه ارائه خواهد شد.

تغییرات شیب بر میزان نفوذ آب باران به داخل زمین تأثیرگذار است به گونه‌ای که با افزایش شیب نرخ نفوذ کاهش می‌یابد (Ganapuram et al., 2009). لایه شیب، با تهیه نقشه DEM حاصل از منحنی‌های میزان ۲۵ متری مستخرج از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور ترسیم شده است.

تراکم آبراهه، می‌تواند به گونه‌ای بیانگر مقدار نفوذپذیری حوضه باشد و به آب و هوا، لیتولوژی، پستی و بلندی، ظرفیت نفوذ، پوشش گیاهی و شدت رواناب بستگی دارد (Bali et al., 2012). به طور کلی در مناطق با تراکم آبراهه بالا، احتمال تشکیل آبخوان غنی کمتر است زیرا آب باران زودتر در یکی از مسیل‌های آبراهه قرار گرفته و از منطقه خارج می‌شود. برای تهیه این لایه از شبکه آبراهه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شده است.

قاعدتا هرچه بارندگی بیشتر باشد، احتمال تشکیل آبخوان بیشتر است. در این مطالعه، به منظور تهیه نقشه پراکندگی بارندگی منطقه، مقادیر بارندگی بلند مدت (۱۳ ساله) اندازه‌گیری شده در ۱۷ ایستگاه باران‌سنجی منطقه به روش کریجینگ درون‌یابی شد.

لیتولوژی رخنمون‌های سنگی نقش مهمی بر نفوذ آب به داخل زمین دارد و در کنترل تغذیه آب زیرزمینی بسیار مهم است (Mukherjee et al., 2012). مهم‌ترین سازندهای سخت رخنمون یافته در ارتفاعات حوضه آبریز زنجانرود شامل کهر (شیل و ماسه‌سنگ اسلیتی)، بایندور (ماسه‌سنگ)، سلطانیه (دولومیت)، باروت (دولومیت

چرت‌دار)، زاگون (شیل)، لالون (ماسه‌سنگ)، میلا (سنگ آهک مارنی)، درود (کوارتزیت شیل)، روته (سنگ آهک)، شمشک (شیل)، لار (سنگ آهک)، تیزکوه (سنگ آهک)، فجن (کنگلومرا)، زیارت (سنگ آهک)، کرج (توف و ماسه‌سنگ) و قم (سنگ آهک) است. رسوبات و آبرفت‌های عهد حاضر بیشتر گستره دشت زنجان را تشکیل داده است که به خاطر شیب کم و ضخامت نسبتا زیاد، به ویژه در اطراف رودخانه زنجانرود نقش مهمی در تشکیل آبخوان در منطقه دارند. با در نظر گرفتن جنس و استفاده از جدول استاندارد مقادیر نفوذپذیری (Freeze and Cherry, 1979)، به آبرفت‌های دانه درشت و آهک‌های انحلالی دارای درزه و شکاف بیشترین و به شیل و مارن کمترین ضریب ضریب نفوذ اختصاص داده شد. رتبه‌های داده شده به جنس‌های مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- دسته‌بندی لیتولوژی و رتبه‌های اختصاص داده شده به هر دسته.

دسته	آبرفت‌های مسیر رودخانه	سنگ‌آهک	رسوبات آواری عهد حاضر	دولومیت	سنگ‌آهک مارنی	رسوبات همراه با ژیپس	ماسه‌سنگ، کنگلومرا	سنگ‌های آتشفشانی و آذرین	سنگ‌های دگرگونی، شیل، مارن و رس
رتبه	۱	۲	۳	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۶	۷
سازند	Qal	روته، لار، تیزکوه، زیارت، و قم	Qt و Qf	سلطانیه، باروت	میلا	Ng2 و Ng3	باباندور، لالون، و فجن	کرج	کهر، زاگون، درود، و شمشک

خطوارگی‌ها عوارض خطی شامل گسل‌ها، درزه و شکاف‌ها و یا مرز بین سازندها روی سطح زمین هستند. در این تحقیق داده‌های مربوط به خطوارگی از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شوند. خطوارگی‌ها از نظر هیدروژئولوژی بسیار مهم هستند زیرا به عنوان مسیل‌های نفوذ و حرکت آب زیرزمینی، به ویژه در سازندهای سخت به شمار می‌روند. تراکم خطوارگی در یک منطقه، می‌تواند به طور غیرمستقیم پتانسیل منابع آب زیرزمینی را آشکار کند زیرا وجود خطوارگی‌ها دلالت بر منطقه نفوذپذیر دارد (Magesh et al ., 2012). بنابراین در مناطق با تراکم خطوارگی بالا میزان نفوذ آب به داخل زمین بیشتر است. برای استخراج خطوارگی‌های منطقه مطالعاتی، از باند هشت تصاویر ماهواره‌ای Landsat8، به عنوان یک باند پنکروماتیک ، با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر استفاده شده است. به منظور استخراج خطوارگی، از فیلترهای جهتی برای بارزسازی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. در فیلترهای جهتی با توجه به وزن المان‌ها، مقادیر پیکسل‌ها در تصاویر به نحوی تغییر پیدا می‌کنند که عوارضی که در جهت‌های فیلتر شده قرار می‌گیرند، بارزتر می‌شوند (حمزه و شفیعی بافتی، ۱۳۹۲). بنابراین در ابتدا تصویر در زوایای ۰، ۴۵، ۹۰ و ۳۱۵ درجه فیلتر شد. سپس با روش استخراج اتوماتیک، خطوارگی‌ها استخراج شدند. پس از استخراج اتوماتیک خطوارگی‌ها، نتایج به‌صورت بصری تصحیح شده و با مشخصات منطقه تطبیق داده شد و در نهایت تراکم خطوارگی‌ها به دست آمد.

نوع استفاده از زمین، در میزان نفوذ آب به داخل زمین مؤثر است. به‌طور مثال در زمین‌های کشاورزی به خاطر عملیات شخم، میزان نفوذ آب بیشتر است اما در مناطق مسکونی با پوشش آسفالت نفوذ آب خیلی کمتر است. در این تحقیق، منطقه مطالعاتی به ۸ دسته کاربری تقسیم شده است. کاربری‌ها به ترتیب میزان نفوذ شامل زراعت آبی بدون محدودیت، اراضی زراعی آبی مخلوط زراعت و باغ، اراضی زراعی دیم، مخلوط کاربری مرتع و دیم، مراتع ضعیف، مراتع متوسط، تاکستان‌ها، مجتمع‌های درختی و اراضی شهری هستند (بخشی تیرگانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Pingping et al., 2013).

در برخی مواقع مانند شرایطی که چشمه‌های ریز (دبی کمتر از ۶ لیتر بر ثانیه) به‌صورت گسترده در نقاط مختلف یک حوضه رخنمون دارند، می‌توان به این نتیجه رسید که پتانسیل نفوذ به آب زیرزمینی کم است. در واقع به خاطر پتانسیل نفوذ کم، آب باران نفوذی نمی‌تواند به اعماق زیاد نفوذ کرده و یک سفره غنی و یکپارچه تشکیل دهد، بنابراین در نزدیک‌ترین دره‌ها و مسیل‌ها به‌صورت چشمه ریز ظاهر می‌شود. از آنجا که در منطقه مورد مطالعه غیر از یک چشمه با دبی حدود ۱۵ لیتر بر ثانیه بقیه چشمه‌ها همگی ریز بوده با دبی کمتر از ۶ لیتر بر ثانیه، بنابراین از تراکم چشمه‌های ریز نیز به عنوان یک لایه تأثیرگذار استفاده شده است، به گونه‌ای که، در مکان‌های با تراکم چشمه‌های ریز بیشتر، پتانسیل تشکیل آبخوان غنی کمتر است. برعکس شرایط حاکم بر منطقه مورد مطالعه، در مناطق کارستی که نفوذ به آبخوان از طریق مجاری کارستی زیاد است، وجود چشمه‌های بزرگ، می‌تواند بیانگر وجود آبخوان مناسب باشد.

۲- ۳. وزن‌دهی معیارها

در این تحقیق، از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به منظور وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است (قدسی‌پور، ۱۳۸۱). اولین گام در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی است که در آن اهداف، معیارها، زیرمعیارها و ارتباط بین آنها نشان داده می‌شود (صادق‌پور و رئیسی، ۱۳۸۳). پس از آن، ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شده که کارشناسان از قضاوت‌های شفاهی برای مقایسه‌عناصر ماتریس استفاده می‌کنند که این قضاوت‌ها به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تقسیم بندی شده‌اند (Saaty, 1980). در این تحقیق، پرسشنامه‌های مربوط به مقایسه زوجی زیرمعیارها توسط کارشناسان آب منطقه‌ای زنجان و اساتید دانشگاه (آب‌شناس، زمین‌شناس و متخصص GIS) تکمیل شده است. سپس با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی وزن نسبی عناصر به دست آمده است. در پایان وزن نهایی هر زیرمعیار در فرایند تحلیل سلسله مراتبی از مجموع حاصل‌ضرب اهمیت معیارها در وزن نسبی زیرمعیارها به دست آمده است.

۲- ۴. تلفیق لایه‌ها

در این تحقیق به منظور تلفیق لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دهی شده، از مدل تاپسیس استفاده شده است. مدل تاپسیس یکی از پرکاربردترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دهی شده است (Shih et al., 2007). در این روش تحلیل چند معیاره گسسته m زیرمعیار به وسیله n معیار مورد ارزیابی قرار گرفته و زیرمعیارها بر اساس شباهت به راه حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌شوند. اساس این تکنیک بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با

راه حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد (Lin, 2010). برای اجرای این مدل و روی‌هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی در ابتدا لازم است تمام لایه‌ها به فرمت رستر تبدیل شوند و محدوده مورد مطالعه به مدل معرفی شد و ۶ مراحله زیر به ترتیب انجام می‌شود:

۱) تشکیل ماتریس تصمیم شامل m زیرمعیار و n معیار مسئله؛

۲) نرمال‌سازی و بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم با استفاده از رابطه (۱)

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}x_{ij}}} \qquad i=1,2,.....,n \qquad i=1,2,.....,m$$ رابطه ۱)

که r_{ij} مقدار بدون مقیاس ارزش پیکسل‌ها برای هر معیار و x_{ij} مقدار عددی به دست آمده از پیکسل i ام بر اساس معیار j ام است؛

۳) وزن‌دهی به ماتریس نرمال شده با استفاده از وزن‌های به دست آمده از طریق محاسبات AHP؛

۴) تعیین راه حل ایده آل مثبت و راه حل ایده آل منفی با استفاده از رابطه (۲)

$$A^{+}=\{(\max_{i}v_{ij}|j\epsilon J),(\min|j_1\epsilon J')\quad i=1,2,....,m\}=\{v^{+}_{1},v^{+}_{2},....\ v^{+}_{n}\}$$

رابطه ۲)

$$A^{+}=\{(\min_{i}v_{ij}|j\epsilon J),(\max|j_1\epsilon J')\quad i=1,2,....,m\}=\{v^{-}_{1},v^{-}_{2},....\ v^{-}_{n}\}$$

۵) تعیین فاصله هر پیکسل از ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از رابطه (۳)

$$d_i^{+}=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij}-v_j^{+})^2}\quad i=1,2,...,m \qquad d_i^{-}=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij}-v_j^{-})^2}\quad i=1,2,...,m$$ رابطه ۳)

که در این رابطه v_{ij} درایه‌های ماتریس موزون، v_i^{+} گزینه‌ی ایده‌آل مثبت و v_i^{-} گزینه‌ی ایده‌آل منفی، d_i^{+} فاصله از ایده‌آل مثبت و d_i^{-} فاصله از ایده‌آل منفی هستند. برای هر زیرمعیار ایده‌آل مثبت بهترین مکان و ایده‌آل منفی بدترین مکان، از نظر آن زیرمعیار می‌باشد؛

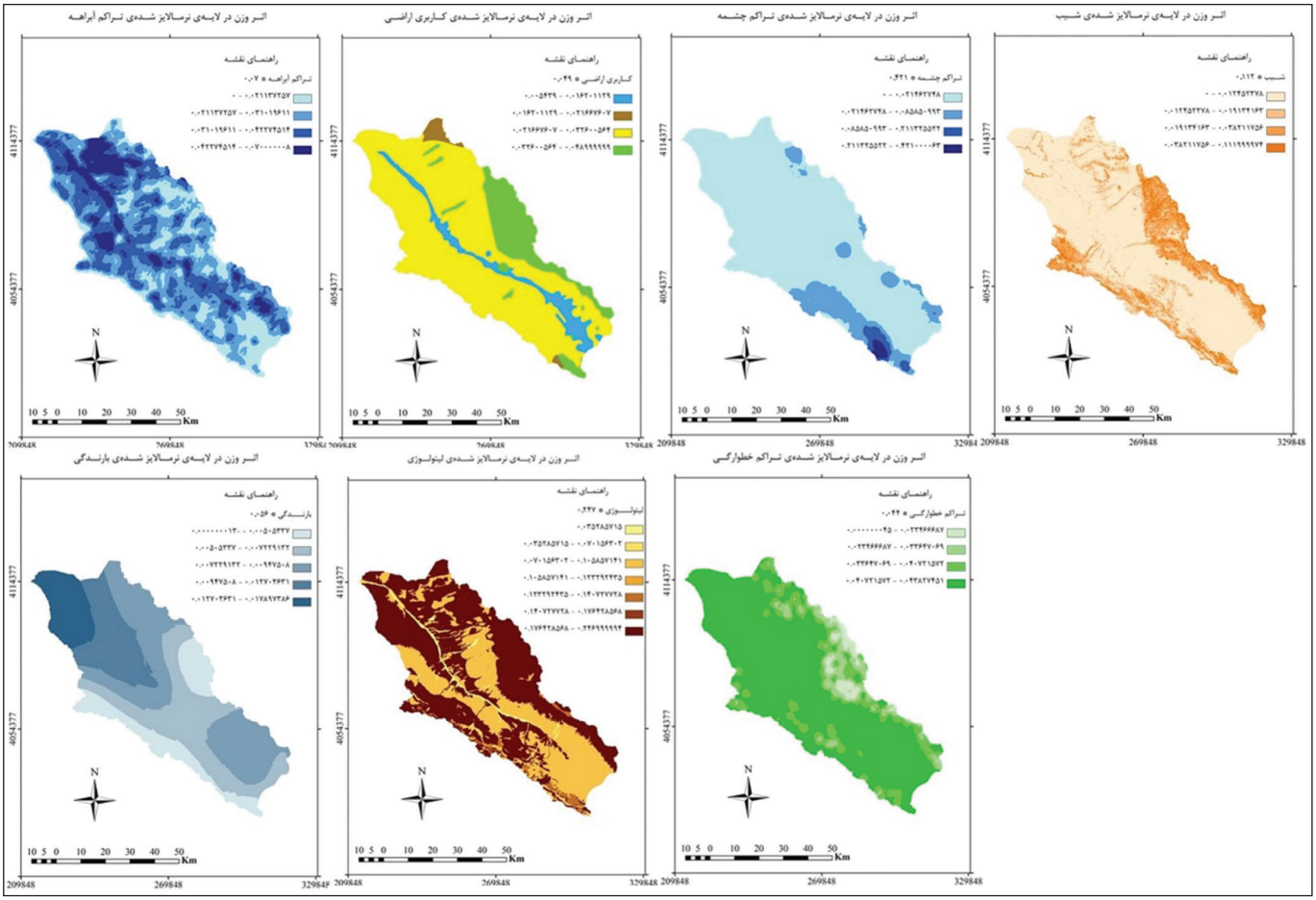
۶) تعیین فاصله نسبی با رابطه (۴). در این رابطه، C مقدار نزدیکی پیکسل iام به جواب ایده‌آل را نشان می‌دهد. مقدار C بین صفر و یک در نوسان است. در نهایت اولویت‌بندی زیرمعیارها بر اساس میزان C انجام می‌شود. $C=1$ نشان دهنده بالاترین رتبه و $C=0$ نشان‌دهنده کمترین رتبه است. در این رابطه d_i^{+} فاصله از ایده‌آل مثبت، d_i^{-}فاصله از ایده‌آل منفی و C میزان نزدیکی نسبی است.

$$C=\frac{d_i^{-}}{d_i^{-}+d_i^{+}}$$ رابطه (۴)

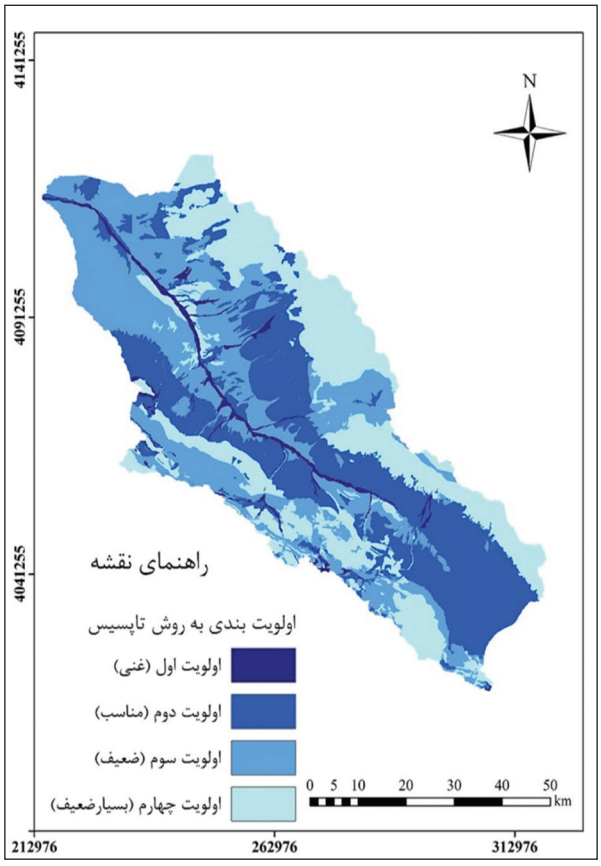
۳- بحث

با انجام فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، وزن‌های به دست آمده به ترتیب شامل تراکم چشمه (۰/۴۲۱)، لیتولوژی (۰/۲۴۷)، شیب (۰/۱۱۲)، تراکم آبراهه (۰/۰۷۰)، مقدار بارندگی (۰/۰۵۶)، کاربری اراضی (۰/۰۴۹) و تراکم خطوارگی (۰/۰۴۴) است. مجموع اوزان زیرمعیارها برابر با یک و ضریب ناسازگاری آنها ۰/۰۹ است.

وزن‌های به دست آمده از روش AHP در لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از زیرمعیارها تأثیر داده شده است. در مرحله بعد، با استفاده از روش تاپسیس، لایه‌ها پس از ضرب وزن‌های مربوطه با هم تلفیق شده و نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی منطقه به دست آمد. شکل ۳ نقشه لایه‌های مختلف پس از ضرب وزن هر لایه را نشان می‌دهد. شکل ۴ نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی حاصل از تاپسیس را نشان می‌دهد.



شکل ۳- اثر وزن در لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هفت زیرمعیار مؤثر.

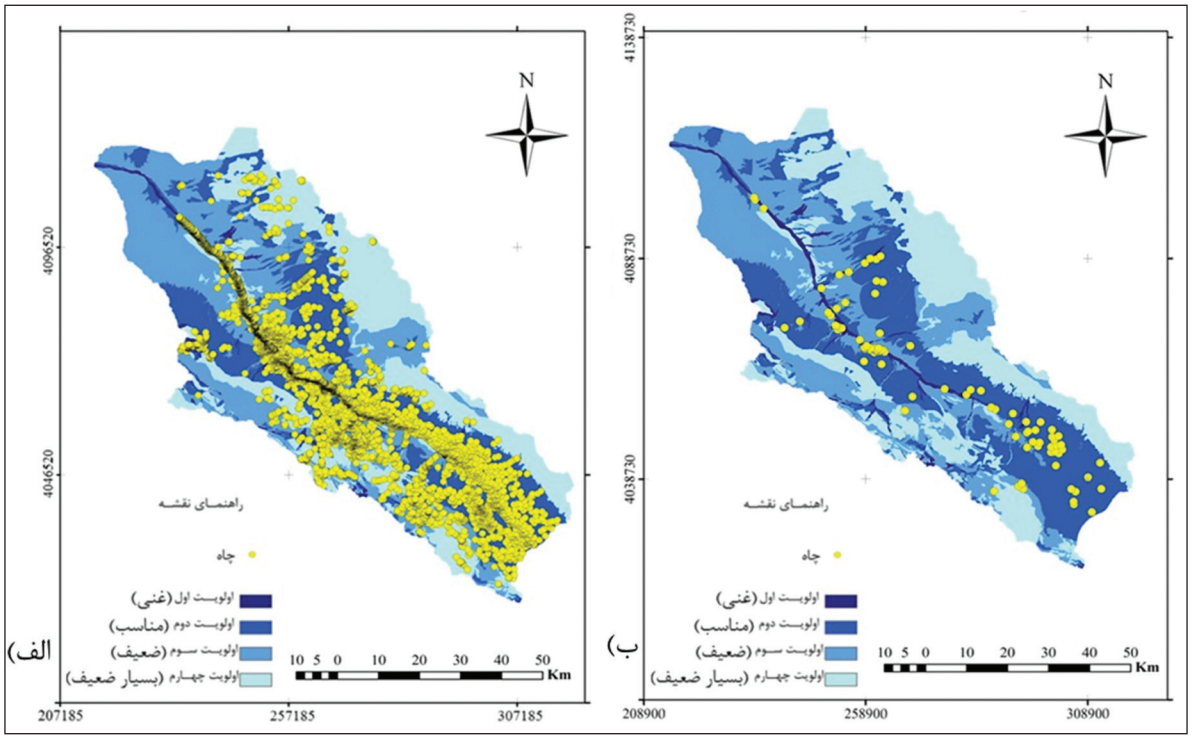


شکل ۴- اولویت‌بندی منطقه مطالعاتی از نظر پتانسیل منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش تاپسیس.

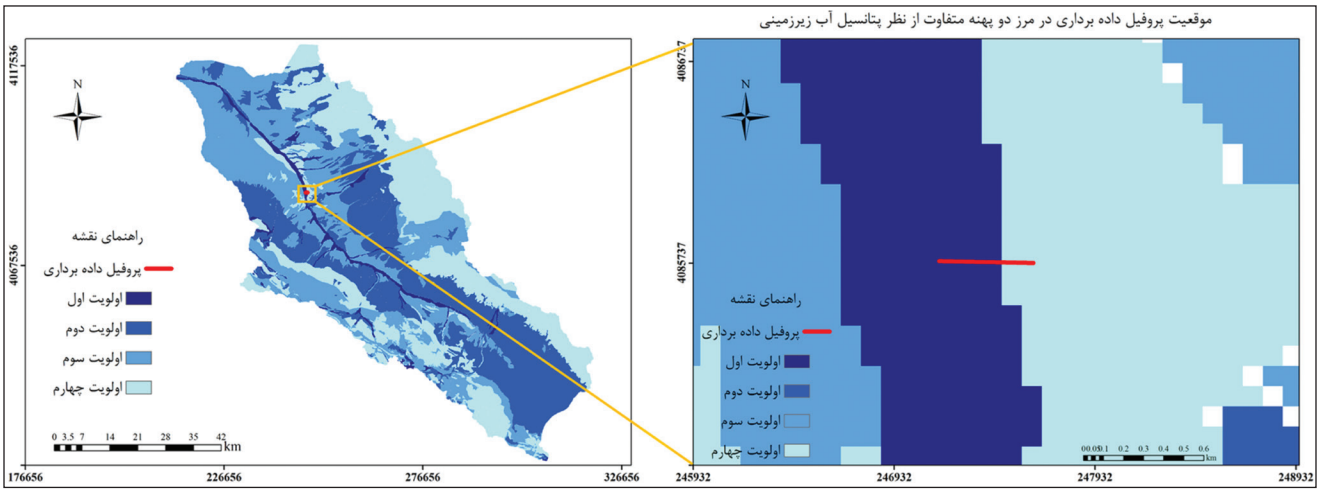
طبق این نقشه، منطقه مطالعاتی از نظر پتانسیل منابع آب زیرزمینی در چهار رده‌ی اهمیت، شامل اولویت اول (پتانسیل غنی آبخوان)، اولویت دوم (پتانسیل مناسب آبخوان)، اولویت سوم (پتانسیل ضعیف آبخوان) و اولویت چهارم (پتانسیل بسیار ضعیف آبخوان) اولویت‌بندی شده است. مساحت اولویت‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۲۱۵ کیلومترمربع (۴/۴۳%)، ۱۵۴۹ کیلومترمربع (۳۱/۹۱%)، ۱۶۷۸ کیلومترمربع (۳۴/۵۷%) و ۱۴۱۲ کیلومترمربع (۲۹/۰۹%) است. اولویت اول با کمترین مساحت، بیشتر در اطراف رودخانه زنجانرود قرار دارد که این به خاطر تغذیه همیشگی رودخانه به آب زیرزمینی و وجود بافت مناسب خاک (دانه درشت) در اطراف رودخانه است. اولویت دوم، به دلیل قرارگیری در مسیر تغذیه آب زیرزمینی ارتفاعات با دشت، دارای گستره زیادی به ویژه در بالادست حوضه و در آبرفت‌های دامنه‌ای نزدیک به محل تلاقی ارتفاعات با دشت است. از آنجا که محدوده گستره اولویت دوم از یک سو در حاشیه ارتفاعات قرار دارد و از سویی دارای جنس نفوذپذیر (رسوبات آواری عهد حاضر) و عمق آب زیرزمینی بیشتر از سایر نواحی است، بنابراین این گستره، به ویژه در حاشیه ارتفاعات، می‌تواند برای تغذیه مصنوعی مناسب باشد. شایان ذکر است که آب جویبارهای سرچشمه گرفته از ارتفاعات اطراف با کیفیت بالا نیز می‌تواند به عنوان منبع آب برای تغذیه به کار رود. گسترش زیاد اولویت سوم در بخش خروجی حوضه، بیشتر به خاطر وجود لایه‌های زمین‌شناسی دانه ریز (مارن و سیلت) در منطقه است. براساس مشاهدات و اطلاعات موجود، ارتفاعات حوضه آبریز زنجانرود به دلایلی از قبیل (۱) مسدود شدن درزه و شکاف‌ها در اثر وجود پوشش خاک نسبتا ضخیم، (۲) شیب زیاد در ارتفاعات، (۳) عدم وجود سازندهای کارستی با گسترش قابل توجه، (۴) عدم گسترش عمقی زیاد سیستم درزه و شکاف در ارتفاعات، برای تشکیل آبخوان مناسب نیست.

به منظور صحت‌سنجی مدل حاصل از تاپسیس، از چاه‌های بهره‌برداری و پی‌جویی‌های ژئوالکتریکی (مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی) استفاده شده است. از آنجا که وجود چاه‌های بهره برداری بیشتر و با دبی بالاتر نمایانگر وجود آبخوان مناسب است، بنابراین در این تحقیق سعی شده است که در محدوده دشت زنجان از پراکندگی کل چاه‌ها و حتی چاه‌های پر آب (دبی بالاتر از ۴۰ لیتر بر ثانیه) برای صحت سنجی مدل استفاده شود. در حوضه آبریز زنجانرود حدود ۶۰۲۸ چاه با عمق حداکثر ۱۸۰ متر وجود دارد. با توجه به شکل ۵- الف، تعداد چاه‌های واقع در محل اولویت‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب برابر با ۳۲۶۰، ۱۸۷۴، ۵۳۱ و ۳۶۳ حلقه است. ۵۴/۰۸% از این چاه‌ها در پهنه اولویت اول (نزدیکی رودخانه) و ۳۱/۰۹% در پهنه اولویت دوم (مناطق دشتی با رسوبات آبرفتی) قرار دارد. همچنین، با توجه به شکل ۵- ب همگی چاه‌های با دبی بالاتر از ۴۰ لیتر بر ثانیه که نشان از وجود آبخوان مناسب‌تر دارند، در این دو پهنه پتانسیل غنی و مناسب، حفر شده‌اند. قابل توجه این است که در دشت زنجان و در محدوده اولویت‌های سوم و چهارم که نشان از عدم وجود آبخوان مناسب دارد، هیچ چاهی با دبی بالاتر از ۴۰ لیتر بر ثانیه وجود ندارد.

علاوه بر پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری، در این تحقیق سعی شد از روش‌های ژئوالکتریکی که در آن با انتقال میدان‌های الکتریکی، با چشمه مصنوعی به درون زمین و اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل، به بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی، اکتشاف مواد معدنی و غیره در عمق کم می‌پردازند، نیز به منظور صحت‌سنجی نتایج حاصل از تاپسیس استفاده شود (وزارت صنعت، معدن و تجارت، ۱۳۹۳). بنابراین، یک پروفیل ژئوالکتریکی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در منطقه عمود بر محل مرز پهنه‌های اولویت اول (پتانسیل غنی آبخوان) و اولویت چهارم (پتانسیل بسیارضعیف آبخوان) حاصل از مدل تاپسیس اجرا شد (شکل ۶). داده‌برداری‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی با آرایه‌های ژئوالکتریکی دایپل- دایپل و پل- دایپل با پروفیلی به طول ۴۶۰ متر و با فاصله الکترودی ۱۰متری انجام شد.



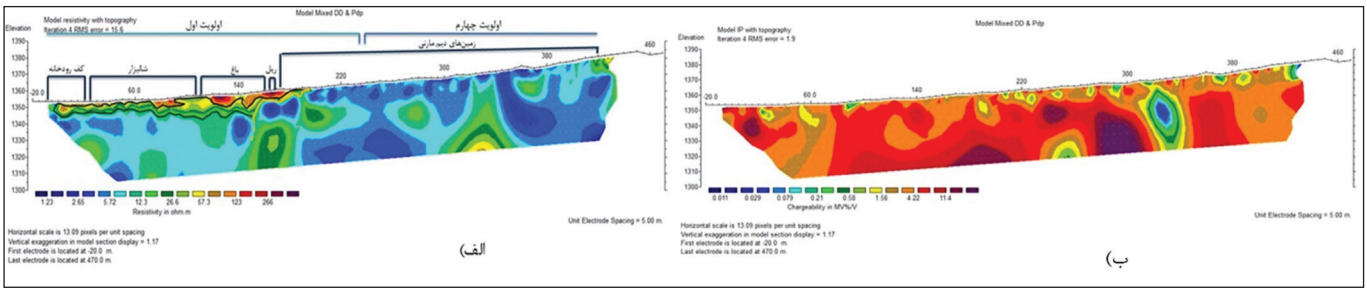
شکل ۵- الف) موقعیت چاه‌ها در حوضه آبریز زنجانرود بر روی نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی حاصل از مدل تاپسیس، ب) موقعیت چاه‌های با دبی بالاتر از ۴۰ لیتر برثانیه.



شکل ۶- محل قرارگیری پروفیل در مرز دو اولویت اول و چهارم در نقشه پتانسیل آب زیرزمینی که به روش تاپسیس به دست آمده است.

مدل‌سازی معکوس دوبعدی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در نرم‌افزار RES2DINV انجام شده است. برای داشتن قدرت تفکیک جانبی و عمقی مناسب از ترکیب دو آرایه‌ی دایپل- دایپل و پل-دایپل استفاده شده است. مدل دو بعدی ترکیبی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در شکل ۷ نشان داده شده است.

مدل دو بعدی مقاومت ویژه منطقه آبخوان (۱۰ تا ۳۰ اهم‌متر) را با خط سیاه نشان می‌دهد که درون پهنه اولویت اول قرار دارد و این می‌تواند نشان از صحت مدل پتانسیل‌یابی باشد. در زیر آبخوان، مقاومت ویژه بسیار پایینی دیده می‌شود که این به احتمال زیاد به خاطر وجود رس است. در واقع، آبخوان در این لایه گسترش نیافته است زیرا، در مدل IP با افزایش عمق، مقدار شارژپذیری افزایش یافته است و مقادیر زیاد شارژپذیری مربوط به رس است. شایان ذکر است که در پهنه اولویت چهارم، مقادیر مقاومت ویژه بسیار کم (حدود ۱/۵ تا ۶ اهم‌متر) دیده می‌شود که به احتمال زیاد به دلیل وجود رس یا مارن است. زیرا،۱) هیچ چاه آبی در پهنه اولویت چهارم در منطقه حفر نشده است، ۲) در بازدید میدانی مشخص شد که خاک‌های سطحی اطراف بسیار دانه‌ریز از جنس خاک رس و مارن هستند که به احتمال زیاد همین لایه‌ها در اعماق، زیر آبرفت‌های رودخانه‌ای حاصل از رودخانه زنجانرود در منطقه گسترش دارند و سبب ایجاد مقاومت ویژه کم شده‌اند و ۳) مدل‌های دوبعدی پلاریزاسیون القایی نشان می‌دهند که این مناطق با مقاومت ویژه بسیار پایین، دارای شارژپذیری بالا (در حد رس) هستند. با توجه به مطالب بالا می‌توان گفت که مدل حاصل از تاپسیس برای پتانسیل‌یابی منطقه درست جواب داده است.



شکل ۷- مدل‌های دوبعدی با استفاده از ترکیب آرایه‌های دایپل- دایپل و پل- دایپل: الف) مدل مقاومت ویژه؛ ب) مدل پلاریزاسیون القایی.

۴- نتیجه‌گیری

این تحقیق، سعی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در حوضه آبریز زنجانرود با استفاده از داده‌های RS و تحلیل‌های مکانی در GIS دارد که در آن با استفاده از هفت زیرمعیار مؤثر در تشکیل آبخوان شامل شیب، لیتولوژی، مقدار بارندگی، تراکم آبراهه، تراکم چشمه، تراکم خطوارگی و کاربری اراضی و با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی و مدل تاپسیس، مکان‌های احتمالی وجود آبخوان بررسی شده است. پس از مدل‌سازی، نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در چهار رده اهمیت شامل اولویت اول (پتانسیل غنی)، اولویت دوم (پتانسیل مناسب)، اولویت سوم (پتانسیل ضعیف) و اولویت چهارم (پتانسیل بسیار ضعیف) برای منطقه به دست آمد. نتایج حاصل از صحت‌سنجی با محل چاه‌های بهره‌برداری نشان می‌دهند که محل چاه‌های با دبی بالا مطابق با اولویت اول (پتانسیل غنی) یا دوم (پتانسیل مناسب) در منطقه است. همچنین نتایج حاصل از پی‌جویی‌های ژئوالکتریکی با استفاده از آرایه‌های دوقطبی- دوقطبی و قطبی- دوقطبی، مدل‌سازی معکوس دوبعدی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در محل پروفیل عمود بر مرز اولویت اول و چهارم، نشان می‌دهد که آبخوان مناسب با محل اولویت اول تطابق دارد در حالی که در محل اولویت چهارم بیشتر لایه‌های رسی گسترده شده و آبخوانی وجود ندارد. به‌طور کلی، نتایج حاصل حاکی از این است که سفره‌های مناسب درون دشت قرار دارد و در ارتفاعات اطراف سفره غنی گسترده وجود ندارد. سفره آبرفتی کنونی واقع در دشت زنجان و اطراف زنجانرود، که در حال حاضر با افت شدید تراز آب روبرو است، مهم‌ترین سفره حوضه آبریز زنجانرود به شمار می‌رود. بنابراین برای اینکه بتوان از رخداد بحران شدید آب در آینده در منطقه جلوگیری کرد، برنامه‌ریزی جهت مدیریت بهینه مصرف آب زیرزمینی در حوضه ضروری است.

کتابنگاری

بخشی تیرگانی، م.، مرادی، ح. و صادقی، ح.، ۱۳۹۰- مقایسه تولید رواناب و رسوب در دو کاربری مرتع و دیم. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. جلد ۱۸، شماره ۲، صص ۲۶۹تا۲۷۹.

بهاروند، س.، سارویی، ح. و سوری، س.، ۱۳۹۷- استعدادیابی منابع آب کارستی با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: تاقدیس سفیدکوه، استان لرستان). فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی منابع آب، ۱۱(۳۹)، صص. ۳۵ تا ۴۴.

حمزه، ف. و شفیعی بافتی، ش.، ۱۳۹۲- آنالیز خطوارگی در رخنمون‌های آهکی و اهمیت آن در بهینه سازی استخراج (مورد مطالعه: معادن سنگ ساختمانی کرمان). زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست. بهار ۹۴، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵، صص. ۱۸۵ تا ۱۹۶.

رحمتی، ا.، نظری سامانی، ع. و مهدوی، م.، ۱۳۹۶- ارزیابی کارایی روش تحلیل سلسله مراتبی در پیش‌بینی پتانسیل آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت قروه- دهگلان). مرتع و آبخیزداری، ۷۰(۴)، صص. ۸۶۹ تا ۸۷۹.

صادقپور، ا. و رئیسی، ا.، ۱۳۸۳- استفاده از روش ارزیابی چند معیاره (AHP) در انتخاب ساختگاه بهینه سد مطالعه موردی امکان سنجی تعیین ساختگاه سد قره چای، اولین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه.

عبدی‌نژاد، پ.، ۱۳۹۰- بررسی وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی دشت‌های مهم استان زنجان (جهت مدیریت مناسب منابع آب زیرزمینی در آنها). دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، زنجان، شرکت آب منطقه‌ای زنجان.

قدسی‌پور، ح.، ۱۳۸۱- مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران.

موسوی، ف.، چیت سازان، م. و میرزایی، ی. و شبان، م.، ۱۳۸۸- تلفیق سنجش از دور و GIS به منظور پتانسیل یابی مناطق مناسب جهت تغذیه آب زیرزمینی ، مورد مطالعه: محدوده تاقدیس کمستان، همایش ژئوماتیک ۸۸، تهران، سازمان نقشه برداری کشور.

یوسفی سنگانی، ک.، محمدزاده، ح. و اکبری، م.، ۱۳۹۳- ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی با روش تلفیق فازی و مدل تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی: شمال خاوری رشته‌کوه‌های هزار مسجد، استان خراسان رضوی، فصلنامه بین المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، شال دوم، شماره ۴، پیاپی ۷.

References

Afshar, A., Mariño, M. A., Saadatpour, M. and Afshar, A., 2011- Fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis applied to Karun reservoirs system. Water resources management, 25(2), 545-563.

Aggarwal, M., Saravanan, S., Jennifer, J. J. and Abijith, D., 2019- Delineation of Groundwater Potential Zones for Hard Rock Region in Karnataka Using AHP and GIS. In Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications (pp. 315-317). Springer, Cham.

Ameri, A. A., Pourghasemi, H. R. and Cerda, A., 2018- Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models. Science of The Total Environment, 613, 1385-1400.

Arulbalaji, P., Padmalal, D. and Sreelash, K., 2019- GIs and AHp techniques Based Delineation of Groundwater potential Zones: a case study from southern Western Ghats, India. Scientific reports, 9(1), 2082.

Bali, R., Agarwal, K. K., Ali, S. N., Rastogi, S. K. and Krishna, K., 2012- Drainage morphometry of Himalayan Glacio-fluvial basin, India: hydrologic and neotectonic implications. Environmental Earth Sciences, 66(4), 1163-1174.

Freeze, A. R. and Cherry, J. A., 1979- Groundwater, GB1003.2.F73 551.4’98 78-25796 ISBN 0-13-365312-9.

Ganapuram, S., Kumar, G. V., Krishna, I. M., Kahya, E. and Demirel, M. C., 2009- Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. Advances in Engineering Software, 40(7), 506-518.

Lin, H. T., 2010- Fuzzy application in service quality analysis: An empirical study, expert systems with applications, 37(1): 517-526

Madani, K., 2014- Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. Journal of environmental studies and sciences, 4(4), 315-328.

Magesh, N. S., Chandrasekar, N. and Soundranayagam, J. P., 2012- Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques. Geoscience Frontiers, 3(2), 189-196.

Mahmoud, S. H. and Alazba, A. A., 2016- Integrated remote sensing and GIS-based approach for deciphering groundwater potential zones in the central region of Saudi Arabia. Environmental Earth Sciences, 75(4), 344.

Mukherjee, P., Singh, C. K. and Mukherjee, S., 2012- Delineation of groundwater potential zones in arid region of India—a remote sensing and GIS approach. Water resources management, 26(9), 2643-2672.

Pingping, H., Xue, S., Li, P. and Zhanbin, L., 2013- Effect of Vegetation Cover Types on Soil Infiltration Under Simulating Rainfall. Nature Environment and Pollution Technology, 12(2), 193.

Saaty, T. L., 1980- The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. New York: McGraw, 281.

Şener, E., Şener, Ş. and Davraz, A., 2018- Groundwater potential mapping by combining fuzzy-analytic hierarchy process and GIS in Beyşehir Lake Basin, Turkey. Arabian Journal of Geosciences, 11, 1-21.

Shih, H. S., Shyur, H. J. and Lee, E. S., 2007- An extension of TOPSIS for group decision making. Mathematical and Computer Modelling, 45(7-8), 801-813.

Assessment of groundwater potential in Zanjanrood catchment area using spatial analysis and geoelectrical investigations

M. Shabani[1], A. Rezaei[2*] and Z. Masoumi[2]

[1]M.S.c., Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran

[2]Assistant Professor, Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran

Received: 2018 June 17 Accepted: 2019 April 29

Abstract

The water table in the Zanjanrood catchment has severely declined recently. Therefore, determination of the groundwater potential zoning map is of great importance for optimal management of water resources. Here, we used seven effective criteria including lithology, slope, drainage, lineament, rainfall, spring density and landuse to asses groundwater potential. The analytical hierarchical analysis process was used for weighting the criteria. Overlay analysis was implemented using TOPSIS model to prepare the groundwater potential map in four categories of priority including very-good, good, low and poor. In general, the very-good category corresponds with the first priority while the lowest potential of groundwater match with the fourth priority. The high-discharged production wells and the geoelectrical investigations (resistivity and induced polarization) were applied to verify the model. The spatial distribution of the high-discharge production wells has completely coincided with both the very-good and good priorities in the area. The results of resistivity and IP models also are in good agreement with those from the TOPSIS model. Overall, the results suggest there is no rich aquifer in mountains of the Zanjanrood catchment. Furthermore, the most important aquifer in the Zanjanrood catchment is located around the Zanjanrood River where a severe water table decline has occurred.

Keywords: Zanjanrood catchment, Assessment of groundwater potential, Analytical hierarchical analysis process, TOPSIS, Geoelectric

For Persian Version see pages 287 to 294

*Corresponding author: A. Rezaei; E-mail: arezaei@iasbs.ac.ir