نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۴۷۷-۱۴۶۱

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1461-1477

پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در سازندهای سخت با بکارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره AHP و SAW (مطالعه موردی: حوضه آلمانه)

عبدالرضا واعظی هیر[۱]- مهری تبرمایه[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۴

چکیده

محدوده مطالعاتی آلمانه با مساحت ۷۰۱۱ هکتار در جنوب غرب شهرستان مریوان واقع شده است. گسترش سازندهای ماسه سنگی و آذرین در این مناطق سفره‌های سازند سخت با منابع آبی مناسب از نظر کیفی بوجود آورده‌اند که در کنار منابع آبرفتی می‌توان از این آبخوان‌های سازند سخت برای تامین منابع آب استفاده نمود. بدین منظور در این پژوهش دو روش وزن دهی تجمعی ساده و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با بکارگیری فن بردار ویژه، برای پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته و پارامترهای مختلف به صورت لایه‌های لیتولوژی، تراکم شکستگی، ارتفاع، شیب، پوشش گیاهی و جهت شیب و تراکم آبراهه جهت بررسی پتانسیل منابع آبی در نظر گرفته شده است. در این راستا لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر کدام از این معیارها تهیه و در محیط GIS [۳] وIDRISI [۴] طبقه‌بندی، وزن‌دهی و با استفاده از وزن دهی تجمعی ساده و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تلفیق شدند. نتایج هر کدام از روش‌ها در پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. بر اساس نقشه‌های حاصل در هر دو روش مذکور به ترتیب مناطق شمالی غربی، غربی و جنوب غربی محدوده مطالعاتی دارای پتانسیل منابع آبی بیشتری نسبت به سایر مناطق بوده و دلیل آن می‌تواند انطباق این مناطق با مناطقی با شیب و ارتفاع پایین و پوشش گیاهی بالا و وجود پوششی از لایه تغذیه کننده آبرفتی سازند سخت باشد. مقایسه نتایج حاصل از دو روش با هم پوشانی موقعیت چشمه‌های موجود در منطقه و بررسی ارتباط بین تعداد چشمه‌ها و موقعیت قرار گیری آن‌ها بر روی مناطقی با آسیب‌پذیری متفاوت نشان می‌دهد که در محدوده مورد مطالعه روشAHP [۵] نسبت بهSAW [۶] نتایج بهتری را نشان می‌دهد. بر اساس این روش بیش از ۵۰ درصد منطقه دارای پتانسیل منابع آبی متوسط به بالایی می‌باشد که بیشتر مناطق غربی و مرکزی محدوده را شامل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلمانه، پتانسیل یابی آب زیرزمینی، سازند سخت، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، وزن‌دهی تجمعی ساده

مقدمه

افزایش بی رویه جمعیت و توسعه صنایع در جوامع بشری، انسان را نسبت به تأمین منابع آبی مورد نیاز ملزم نموده و تعیین مکان‌های مناسب استحصال آب، همواره یکی از مهم‌ترین چالش‌های مورد بحث در این امور بوده است. منابع آب زیرزمینی همواره یکی از مهم‌ترین و مطمئن‌ترین منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک است و استحصال آب از این منابع نسبت به اقلیم‌های دیگر اهمیت ویژه‌ای دارد و مدیریت و بهره‌برداری بهینه این منابع بدون شناخت آن‌ها ممکن نیست. بنابرین باتوجه به وضعیت منابع آب زیرزمینی و همچنین جایگاه آن در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور، بررسی توان دستیابی به منابع جدید و بهره‌برداری بهینه از منابع آب، به عنوان یکی از دغدغه‌های اساسی مدیریت بهینه منابع تجدیدپذیر به حساب می‌آیند شیوه‌هایی مانند تعیین پتانسیل منابع آب، مهندسی ارزش و استفاده مجدد از منابع آب، از جمله شیوه‌های مقابله با این مشکل هستند (۱۶).

مطالعات زیادی در این زمینه انجام یافته است که از جمله می‌توان به مطالعات ماه گلی و همکارانش (۱۳) که به منظور پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت منطقه شمال حسینیه واقع در مرز استان خوزستان و لرستان با استفاده از روش هم پوشانی وزنی با کمک نرم افزار GIS انجام دادند، اشاره کرد که نتیجه حاصل از این تحقیق نشان داد که نقاط دارای کم‌ترین ارتفاع و زراعت کاری شده از پتانسیل بالایی جهت پیدایش آب زیرزمینی

۱ و ۲- دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: Email: mehritabarmayeh@yahoo.com)

3- Geographic Information System
4- IDRISI Selva 17
5- Analytic Hierarchy Process
6- Simple Additive Weighting

برخوردار می‌باشد و علاوه بر آن چون هدف بررسی پتانسیل سازندهای سخت می‌باشد، مناطق رسوبی پتانسیل ضعیفی را نشان می‌دهند.

رمضانی و همکاران (۱۸) جهت مکان یابی محل‌های انجام عملیات تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در استان کهگیلویه و بویر احمد از مدل SAW و AHP استفاده نموده اند که مقایسه نتایج حاصل از دو روش نشان می‌دهد که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در کنار فن بردار ویژه نتایج بهتری را ارائه می‌دهد.

رحیمی و همکاران (۱۶) در زمینه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در دشت ارسنجان واقع در شمال شرقی شیراز با استفاده از شاخص هم پوشانی وزنی مطالعاتی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مناطقی با توان آبی بالا، بیشتر در شمال، شمال شرق و مرکز دشت و بخش‌های کوچکی در قسمت جنوب غربی قرار دارند که این مناطق منطبق با ارتفاع و شیب پایین، بیش‌ترین تراکم آبراهه و کمترین فاصله به آبراهه‌های رتبه ۳ و گسل‌ها هستند.

رحیمی و موسوی (۱۷) از روش AHP و تکنیک GIS جهت پهنه بندی پتانسیل منابع آبی در حوضه آبخیز شاهرود- بسطام استفاده نموده‌اند و بر اساس نتایج حاصل پهنه پتانسیل بالا منطبق بر رسوبات آبرفتی درشت دانه دوران چهارم و مخروط افکنه‌های پای کوهی و پهنه بدون پتانسیل یکی منطبق بر حداکثر ارتفاعات و دیگری منطبق بر مناطق کم ارتفاع رسی و مارنی می‌باشد.

سلوام و همکاران (۲۰) در تحقیق خود با عنوان پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی سازند سخت در بلوک مناپاری [1] هند، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل‌های تصمیم گیری چند معیاری مطالعات خود را بر روی لایه‌های اطلاعاتی که به دو پارامترسطحی (لیتولوژی، تراکم زهکشی، تراکم خطواره، کاربری اراضی و ژئومورفولوژی) و زیرسطحی (عمق نسبت به آب سطحی و عمق نسبت به سنگ کف) تقسیم شده بود، انجام دادند و با اختصاص وزن برای هر لایه بر اساس اهمیت نسبی آن‌ها در ارتباط با آب زیرزمینی، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی منطقه را تهیه کردند. آن‌ها در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که مناطقی با تراکم خطواره بیشتر، تراکم زهکشی کمتر، آب سطحی کم عمق، ترک‌های عمیق سنگ کف بیشترین پتانسیل آب زیرزمینی را دارا هستند.

فاتی عبدالا (۷) در پتانسیل یابی آب زیرزمینی صحرای جنوب شرقی مصر پارامترهای شیب، شبکه آبراهه ها، خطوارگی ها، لیتولوژی و توپوگرافی را با استفاده GIS و سنجش از دور (RS) مورد بررسی قرار دادند و نقشه نهائی را ارئه دادند که مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی به ۴ گروه خیلی خوب، خوب، متوسط و کم تقسیم‌بندی شده بود.

نارندرا و همکارانش (۱۵) جهت شناسایی مناطق دارای آب زیرزمینی در حوزه آبریز ناراوا در هند با استفاده از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی و محیط نرم افزار Erds Imagine مطالعاتی را انجام دادند که بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق ، مناطق با پتانسیل آب زیرزمینی بالا دارای تراکم خطواره بالا و تراکم زهکشی و شیب کم می‌باشد.

امجدیان و همکاران (۱۳) به منظور تعیین اولویت مکان‌های مناسب کیفی آب زیرزمینی آبخوان آزاد حوزه قرسو جهت مصارف کشاورزی از روش‌های تصمیم‌های چند معیارهSAW و TOPSIS [2] استفاده نموده‌اند که بر اساس نتایج حاصل روش TOPSIS نسبت بهSAW به دلیل اولویت بندی گزینه ها نسبت به نقطه ایده آل و حساسیت کمتر نسبت به نوع وزن دهی نتایج معقول تری نشان می‌دهد، همچنین غرب و شمال منطقه مطالعاتی دارای کیفیت آب زیرزمینی پایین‌تری برای مصارف کشاورزی نسبت به کل منطقه می‌باشد.

با توسعه دانش در همه زمینه‌ها، روش‌ها و مدل‌های مختلفی در زمینه‌های مختلف علم از سوی افراد متعددی با هدف آسان کردن کار و سهولت دستیابی به نتایج بهتر پایه ریزی شد و برخی از این روش‌ها و مدل‌ها به تدریج توسط دیگران به منظور بهبود عملکردشان توسعه یافتند. سیستم‌های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) [3] از این دسته اند. به طور کلی مسائل تصمیم گیری چند معیاره با مجموعه گزینه‌هایی سرو کار دارند که بر پایه‌ی مجموعه‌ای از معیارها ارزیابی می‌شود (۱۰). این معیارها اغلب ناهمگون و گاهی متضادند. سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر مبانی نظری به نسبت قوی بوده و چارچوب مناسبی برای کمک به تصمیم گیری‌های پیچیده ارائه می‌کنند. این سیستم ها مجموعه‌ای از روش‌های تحلیلی است که به تصمیم گیران در حل مسائل پیچیده و دارای ساختار ضعیف کمک می‌کند و از دانش تصمیم گیرندگان در حل این مسائل استفاده می‌کند (۱۴). در این تعریف منظور از گزینه‌ها متغیرهایی هستند که در فرآیند تصمیم گیری میزان مناسب هر یک از آن‌ها محاسبه می‌شود. این ارزیابی با توجه به معیارهایی صورت می‌گیرد که اساس تصمیم گیری هستند (۹). فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) و وزن دهی تجمعی ساده (SAW) از جمله سیستم‌های تصمیم گیری چند معیاره اند که نیاز به تصمیم گیری چند معیاره دارندکه ابتدا در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی برای بیان تصمیم گیری‌های چند معیاره پیشنهاد شد (۱۹).

تحلیل سلسله مراتبی فرآیندی است ساده، قوی و منعطف که

1- Manapparai block

2-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

3- Multi Criteria Decision Making

برای تصمیم گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم گیری مختلف، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌کند ، مورد استفاده قرار می‌گیرد (۴). این روش تاکنون در علوم بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است.SAW نیز یکی از روش‌های پیش رو در اولویت‌بندی معیارها است که بر اساس نظرات تصمیم گیرنده به هر یک از معیارها و طبقات آن‌ها یک امتیاز بر اساس اولویت آن‌ها داده می‌شود. در این روش طبقات مختلف معیارها نسبت به هم مقایسه نمی‌شوند و هر طبقه صرفا بر اساس نظر فرد یا گروه یک امتیاز کسب می‌کند(۱۰).

کلیه سازندهایی که تحت تاثیر فرآیندهای مختلف بجز فرآیند انحلال پذیری حاوی درز و شکاف شده و شرایط تشکیل آبخوان را فراهم می‌آورند، سازند سخت نامیده می‌شود (۶). منابع آب موجود در سازندهای سخت آذرین و دگرگونی به دلیل ذخیره و آبدهی نسبتا پایین آن‌ها، کمتر از سایر منابع آب عمده (عموما آهکی و آبرفتی) مورد توجه بوده‌اند اما با این حال این نوع منابع آب در نواحی خشک و نیز در مناطقی که فاقد آبخوان‌های عمده هیدروژئولوژیکی هستند، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند بنابرین لزوم مطالعه این آبخوان‌ها، با توجه به مشکلات کم آبی در ایران محسوس می‌گردد. جهت مطالعه آب زیرزمینی در سازندهای سخت چشمه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند و به عقیده کرسیک و استوانویچ مستقیماً خصوصیات درونی آبخوان را منعکس می‌سازند (۱۱). با توجه به این که ارتباط تنگاتنگی بین متغیرهای هیدرولوژیکی و متغیرهای ژئومورفولوژیکی وجود دارد می‌توان از روی شاخص‌های ریخت شناسی ویژگی‌های هیدرولوژیکی مناطق دارای آب را تخمین زده و مورد مطالعه قرار داد (۲).

در این مقاله سعی شده به منظور بررسی پتانسیل منابع آب سازند سخت حوضه آلمانه با بهره‌گیری از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و وزن دهی تجمعی ساده (SAW)، مناطق با پتانسیل متفاوت آب زیرزمینی سازند سخت شناسایی و در نهایت نتایج حاصل از دو روش به منظور سنجش دقت آن‌ها مقایسه گردد. همچنین لایه جدیدی به عنوان جهت شیب در این پتانسیل‌یابی به مجموع پارامترهای قبلی افزوده شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی آلمانه با وسعتی معادل ۷۰۱۱ هکتار در جنوب غرب شهرستان مریوان واقع شده است. این محدوده بخشی از حوزه آبخیز رودخانه چموگردلان بوده و دارای آب و هوای نیمه مرطوب سرد و بارش سالانه در حدود ۸۵۱/۷ میلی‌متر می‌باشد و از طرف دیگر میزان سالانه تبخیر پتانسیل نیز در منطقه پایین و در حدود ۱۳۹۰میلی‌متر می‌باشد. که از این نظر پتانسیل داشتن منابع آب زیرزمینی را دارد.

حوضه آلمانه در دو زون ساختاری سنندج- سیرجان و زاگرس شمالی قرار گرفته است . بخش عمده‌ای از محدوده مورد مطالعه مربوط به سنگ‌های دگرگونی درجه پایین و توده‌های نفوذی بازیک است که از اختصاصات بخش شمال غربی زون سنندج- سیرجان می‌باشد و بخشی از محدوده مطالعاتی که در زون زاگرس قرار گرفته است شامل رسوبات فیلیشی است که به موازات روند عمومی زاگرس تشکیل شده‌اند. بیش‌ترین مساحت محدوده را واحدهای فیلیشی کرتاسه در برگرفته است که در برخی مناطق در اثر مجاورت با توده نفوذی گابرودیوریتی اندکی دگرگون شده است و بیش‌ترین رخنمون سازندها در اطراف محدوده مطالعاتی مربوط به واحد فیلیشی (Kf)، گابرودیوریتهای ائوسن- الیگوسن (G) و پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیمی (Q1,2) می‌باشد (شکل ۱).

روش وزن دهی تجمعی ساده (SAW)

این روش از ساده ترین و اغلب پر کاربردی‌ترین روش به عنوان یک تکنیک تصمیم گیری چند معیاری است (۱۴) که امتیازها به طور مستقیم توسط تصمیم گیرنده تخمین زده می‌شوند (۱۲). اولین مرحله SAW بر پایه GIS تعریف وزن و رتبه‌های معیارهاست . در این روش مجموعه معیارها باید یک باشد. برای این منظور مطابق معادله ۱، وزن نرمال با تقسیم هر وزن بر مجموع وزن‌ها به دست می‌آید (۱۲). در این معادله W_j وزن نرمال شده معیار jام، n تعداد معیارها و W وزن اولیه هستند. در مرحله بعدی به زیر معیارهای هر یک از معیارها بر اساس قضاوت‌های کارشناسی هر تصمیم گیر رتبه‌ای اختصاص داده می‌شود. از آنجا که وزن نهایی هر گزینه از مجموع وزن‌های آن گزینه در معیارهای مختلف به دست می‌آید، وزن طبقات مختلف در هر کدام از معیارها باید بی مقیاس باشد و از آنجا که گستره اهمیت طبقات هر یک از معیار نسبت به سایر معیارها متفاوت است لازم است ماتریس تصمیم گیری با یک روش مناسب استاندارد شود، روش‌های متفاوتی بر پایه استاندارد سازی وزن‌ها وجود دارد در این مقاله از معادله ۲ استفاده شده است که در آن a'_{ij} رتبه استاندارد شده طبقه iام از معیار jام است .

مرحله نهایی در روش وزن دهی تجمعی ساده تلفیق داده‌ها است که امتیاز نهایی هر گزینه مطابق معادله ۳ از حاصل جمع وزن‌های آن گزینه در معیارهای مختلف به نسبت رتبه هر معیار به دست می‌آید (۸). در این معادله A_i وزن نهایی هر گزینه $W_{j'}$ وزن نرمال شده معیار jام و a'_{ij} رتبه استاندارد شده طبقه iام از معیار jام است. در جدول ۱ و ۲ به ترتیب رتبه‌ها و وزن‌های اولیه معیارها نسبت به یکدیگر، براساس اهمیت نسبی و تاثیر هر معیار در پتانسیل یابی و نیز مقادیر نرمال شده آن‌ها نشان داده شده است. به علت متفاوت بودن مقیاس

این امتیازها، لازم است به یک واحد بی بعد استاندارد شوند بدین منظور از معادله ۲ جهت استاندارد سازی ارزش‌های نسبی گزینه ها نسبت به هر معیار استفاده شد.

$$w_j' = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^{n} w_j} \quad (۱)$$

$$a_{ij}' = \frac{a_{ij}}{a_j^{max}} \quad (۲)$$

$$A_i = \sum w_j' * a_{ij}' \quad (۳)$$

جدول ۱- رتبه دهی طبقات معیارها بر اساس روش SAW

Table 1- Rating of parameters by using SAW method

معیار Criteria	طبقات Classes	رتبه اولیه First rate	رتبه استاندارد شده Standardized rate	معیار Criteria	طبقات Classes	رتبه اولیه First rate	رتبه استاندارد شده Standardized rate
لیتولوژی Lithology	آبرفت کم ضخامت Thin alluvium	9	1	تراکم شکستگی Fracture-density	0-1	1	0.12
	رخساره فیلیش گونه Flysch types facies	8	0.88		1-2	3	0.33
	آهک متبلور و مرمر Crystallized limestone and marble	7	0.77		2-3	5	0.55
	گابرو تا دیوریت Gabbro to diorite	6	0.66		3-4	7	0.77
	سنگ‌های آلترابازیک Ultrabasic rocks	5	0.55		4-6	9	1
تراکم آبراهه Drainage-density	0-3	8	1	پوشش گیاهی Vegetation covrage	0-3	8	1
	3-6	7	0.87		3-6	7	0.87
	6-9	5	0.62		6-9	5	0.62
	9-12	3	0.37		9-12	3	0.37
	>12	1	0.12		>12	1	0.12
شیب Slope	0-5	10	1	ارتفاع Elevation	1117-1500	2	0.25
	5-10	8	0.8		1500-2000	4	0.5
	10-20	5	0.5		2000-2500	6	0.75
	>20	3	0.3		2500-2900	8	1
جهت شیب Aspect	W,NW,N	9	1				
	NE,SW	5	0.55				
	E,SE,S	2	0.22				

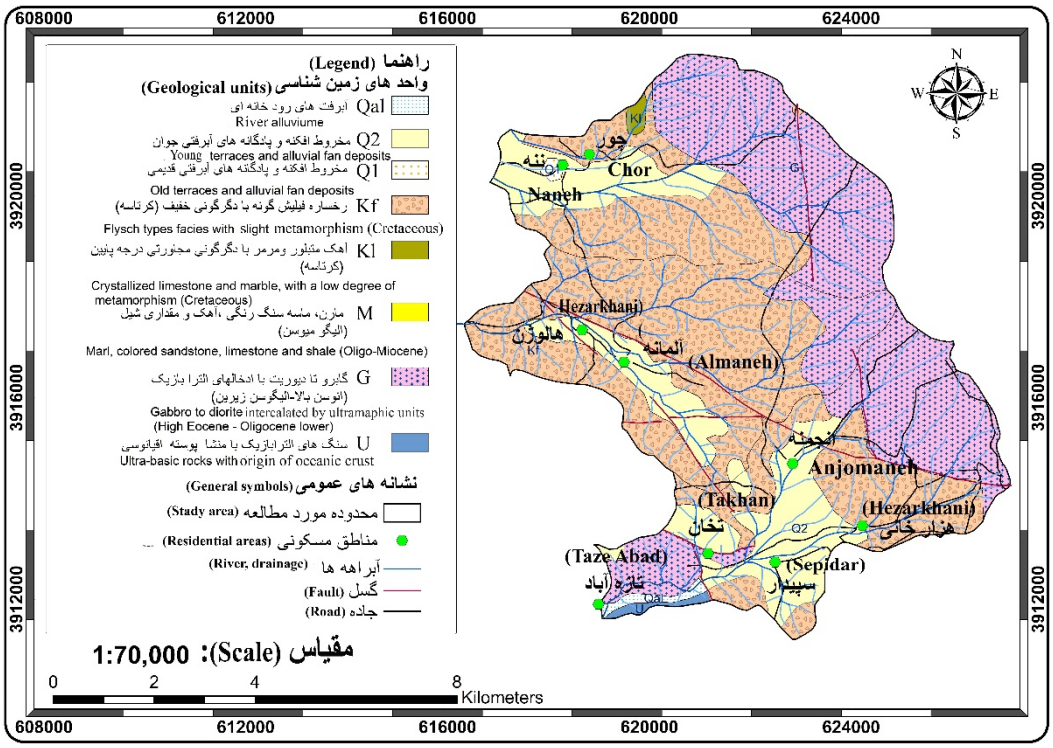
جدول ۲- وزن دهی طبقات معیارها بر اساس روش SAW

Table 2- Weighting of parameters using SAW method

معیارz Criteria	لیتولوژی Lithology	تراکم آبراهه Drainage-density	شیب Slope	جهت شیب Aspect	تراکم شکستگی Fracture-density	پوشش گیاهی Vegetation covrage	ارتفاع Elevation
وزن اولیه First weight	5	3	2	2	4	2	2
وزن استاندارد شده Standardized weight	0.26	0.16	0.11	0.11	0.21	0.16	0.11

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی که توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ بنا نهاده شده است و یکی از جامع ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم گیری با معیارهای چندگانه است، چرا که این روش امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان درنظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله داشته و گزینه های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد (۸). برای ارزیابی تعداد زیادی از معیارها وحل مسائل چند متغیره،AHP به صورت گسترده به کار می‌رود و این مدل به گروه تصمیم گیرندگان اجازه می‌دهد عضو هر گروهی که باشند از آزمون پذیری این مدل استفاده کنند و مسئله را به کمک آن حل کنند (۵).



شکل ۱- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

Figure 1-Geology map of the study area

AHP بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را آسان می‌کند، همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد. تمامی مقایسه‌ها در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، به صورت زوجی انجام می‌شود، که در این مقایسه‌ها تصمیم گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد. پس از تعیین اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر، نباید آهنگ سازگاری سامانه CR[1] از ۰/۱ بیشتر باشد، که CR از تقسیم شاخص CI[2] بر میانگین شاخص سازگاری (RI) محاسبه می‌شود. مقدار RI نیز توسط ساعتی و وارگاس در سال ۱۹۹۱ برای ماتریس‌های در ابعاد مختلف آماده شده است (۸).

در این پژوهش برای بررسی پتانسیل منابع آبی پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، وزن‌دهی معیارها و گزینه‌ها در روش AHP، نسبت به سلسله مراتب بالاتر به روش بردار ویژه انجام شده است. در این روش اگر ماتریس مقایسات زوجی را A (معادله ۴) در نظر بگیریم و دترمینان ماتریس (A-λI) (معادله ۵) را برابر صفر قرار دهیم (که در آن λ مجهول و I ماتریس یکه n ×nاست) مقادیر ویژه ماتریسA به دست می‌آید و اگر بزرگ‌ترین مقدار ویژهA (λ_{max}) را در ماتریس^{T} ($w_1, w_2, \dots, w_n$) *(A-λI)) به جای λ قرار دهیم و حاصل را مساوی صفر فرض کنیم با حل معادلات ایجاد شده بردار ویژه ماتریس A که همان وزن‌های نسبی ($w_1, w_2, \dots, w_n$) است به دست خواهد آمد (۱۹). با استفاده از این روش ناسازگاری ماتریس در وزن‌ها اعمال و نتایج به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & .. & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & .. & a_{n2} \\ . & . & .. & . \\ . & . & .. & . \\ a_{n1} & a_{n2} & .. & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

$$(A - \lambda I) = \begin{bmatrix} 1-\lambda & a_{12} & .. & a_{1n} \\ a_{21} & 1-\lambda & .. & a_{2n} \\ . & . & .. & . \\ . & . & .. & . \\ a_{n1} & a_{n2} & .. & 1-\lambda \end{bmatrix} \quad (۵)$$

در این پژوهش ماتریس مقایسات زوجی معیارها و طبقات معیارها بر اساس نظر کارشناسی و با توجه به درجه اهمیت یا ارجحیت هر سطح نسبت به سطح بالاتر در جداول ۳ نشان داده شده است.

1- Consistency ratio
2- Consistency Index

جدول ۳- مقایسه زوجی طبقات معیارها و وزن استاندارد شده آن در مدلAHP

Table 3- Pairwise comparison of criteria and Standardized weights of AHP method

لیتولوژی Lithology	آبرفت کم ضخامت Thin alluvium	رخساره فیلیش گونه Flysch types facies	آهک متبلور و مرمر Crystallized limestone and marble	گابرو تا دیوریت Gabbro to diorite	سنگ‌های آلترابازیک Ultrabasic rocks	وزن استاندارد شده Standardized weight
آبرفت کم ضخامت Thin alluvium	1	2	3	4	5	0.42
رخساره فیلیش گونه Flysch types facies	0.500	1	2	3	4	0.26
آهک متبلور و مرمر Crystallized limestone and marble	0.333	0.500	1	2	3	0.15
گابرو تا دیوریت Gabbro to diorite	0.250	0.333	0.500	1	2	0.01
سنگ‌های آلترابازیک Ultrabasic rocks	0.200	0.250	0.333	0.500	1	0.06

نرخ ناسازگاری0.02 = Inconsistency rate

ارتفاع (m) Elevation (m)	1117-1500	1500-2000	2000-2500	2500-2900	وزن استاندارد شده Standardized weight
1117-1500	2	4	6	8	0.520
1500-2000	0.500	2	4	6	0.270
2000-2500	0.250	0.500	2	4	0.130
2500-2900	0.166	0.250	0.5	2	0.070

نرخ ناسازگاری 0.01 = Inconsistency rate

شیب (%) Slope (%)	0-5	5-10	10-20	>20	وزن استاندارد شده Standardized weight
0-5	1	2	4	7	0.50
5-10	0.5	1	3	5	0.30
10-20	0.25	0.333	1	2	0.12
>20	0.142	0.2	0.5	1	0.06

نرخ ناسازگاری0.01 = Inconsistency rate

پوشش گیاهی (Vegetation covrage)	زراعت Agriculture	باغ Garden	مرتع با پوشش گیاهی زیاد Grassland with high vegetation	مرتع با پوشش گیاهی کم Grassland with low vegetation	بدون پوشش گیاهی Without vegetation	وزن استاندارد شده Standardized weight
زراعت Agriculture	1	2	4	6	8	0.47
باغ Garden	0.5	1	2	4	6	0.26
مرتع با پوشش گیاهی زیاد Grassland with high vegetation	0.25	0.5	1	2	4	0.14
مرتع با پوشش گیاهی کم Grassland with low vegetation	0.16	0.25	0.5	1	2	0.07
بدون پوشش گیاهی Without vegetation	0.125	0.16	0.25	0.5	1	0.04

نرخ ناسازگاری0.03 = Inconsistency rate

تراکم شکستگی Fracture density	0-1	1-2	2-3	3-4	4-6	وزن استاندارد شده Standardized weight
0-1	1	2	4	6	8	0.043
1-2	0.5	1	2	4	6	0.075
2-3	0.25	0.5	1	2	4	0.14

3-4	0.166	0.25	0.5	1	2	0.26
4-6	0.125	0.166	0.25	0.5	1	0.47

نرخ ناسازگاری Inconsistency rate= 0.01

تراکم آبراهه Drainage- density	3	6	9	12	>12	وزن استاندارد شده Standardized weight
3	1	2	3	5	7	0.48
6	0.5	1	2	4	6	0.24
9	0.33	0.5	1	2	4	0.14
12	0.20	0.25	0.5	1	2	0.09
>12	0.41	0.16	0.25	0.5	1	0.05

نرخ ناسازگاری Inconsistency rate = 0.01

جهت شیب Aspect	W,NW,N	NE,SW	E,SE,S	وزن استاندارد شده Standardized weight
W,NW,N	1	4	7	0.70
NE,SW	0.25	1	3	0.21
E,SE,S	0.14	0.33	1	0.08

نرخ ناسازگاری Inconsistency rate= 0.03

در این پژوهش برای بررسی منابع پتانسیل آبی معیارهای توپوگرافی، تراکم آبراهه ها، تراکم خطواره، لیتولوژی، ارتفاع، کاربری اراضی ، از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، باند ۸ تصویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه حاصل از سنجنده OLI[1] ماهواره لندست ۸ با قدرت تفکیک ۱۵ متر، نقشه زمین شناسی، عکس های هوایی، تصاویر Google Earth ، نقشه کاربری اراضی استان کردستان، مدل رقومی ارتفاعی منطقه ، فایل‌های رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور، اطلاعات مربوط به موقعیت چشمه‌های موجود در منطقه مطالعاتی جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هریک از معیارها استفاده گردید و با استفاده از دو روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و وزن‌های تجمعی ساده در محیط نرم افزارهای GIS و IDRISI تلفیق شدند.

بحث و نتایج

داده‌های ورودی

در این پژوهش برای بررسی منابع پتانسیل آبی معیارهای توپوگرافی، تراکم آبراهه‌ها، تراکم خطواره، لیتولوژی، ارتفاع، کاربری اراضی در نظر گرفته شد و لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هریک از معیارها، تهیه و در محیط، GIS طبقه‌بندی و با استفاده از دو روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و وزن‌های تجمعی ساده تلفیق شدند که در زیر به هر کدام از معیارها به صورت مختصر اشاره می‌شود.

لایه لیتولوژی

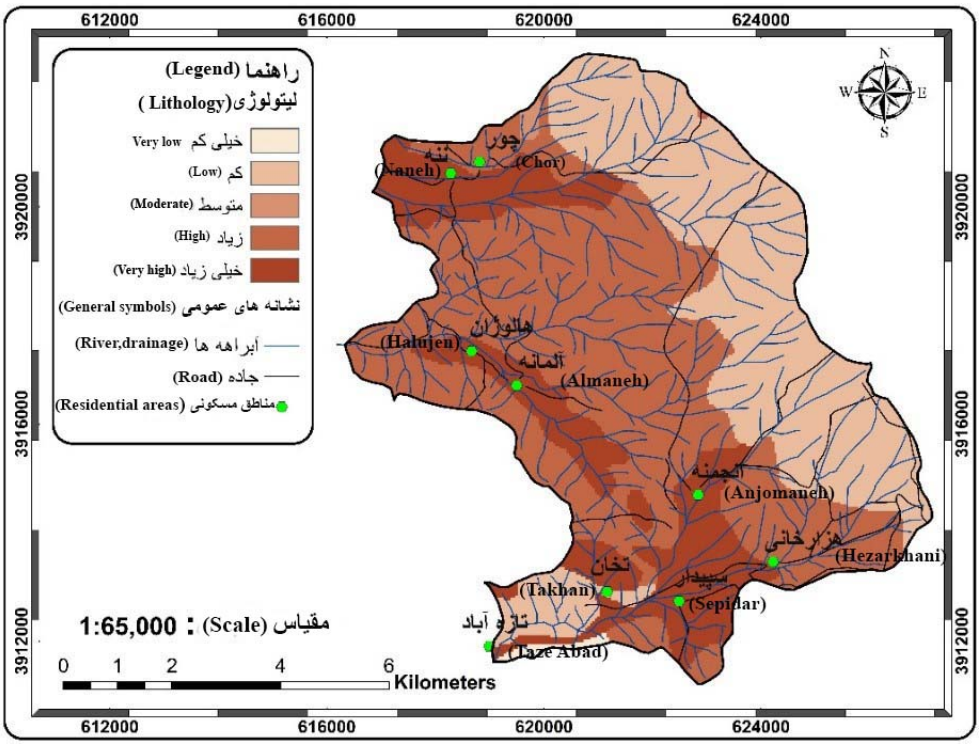
نوع سنگ شناسی و خصوصیات وابسته به آن نظیر بافت و درجه خلوص سنگ ها نقش مهمی در تخلخل، نفوذپذیری اولیه و تمرکز جریان آب زیرزمینی در داخل سنگ‌ها ایفا می‌کند (۸). در محدوده مورد مطالعه جهت تهیه لایه لیتولوژی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد و پس از زمین مرجع شدن و رقومی شدن در محیط نرم افزاری GIS لایه مذکور استخراج گردید و بر اساس اهمیت جنس مواد تشکیل دهنده در تشکیل منابع آب زیرزمینی به ۵ گروه طبقه‌بندی شد که بیشترین رتبه را مناطقی با رسوبات آبرفتی که به صورت لایه‌ای با ضخامت کم روی سازند سخت قرار گرفته و نقش تغذیه کننده سازندهای سخت موجود در این نواحی را دارد بر خود اختصاص می‌دهد (شکل ۲).

لایه تراکم شکستگی

عوامل ساختمانی و تکتونیکی نظیر درزه‌ها و گسل‌ها به عنوان نقاط ضعف واحدهای زمین شناسی به شمار رفته و راهی برای عبور آسان آب و محلی برای تجمع آب به صورت مخازن زیرزمینی می‌باشند. به طور کلی شکستگی‌ها باعث به وجود آمدن زون‌های نفوذ پذیر در سازندهای سخت و نیمه سخت می‌شوند این امر حتی در سنگ‌های متراکمی که هیچ تخلخل اولیه‌ای هم ندارند، دیده می‌شود . در این سنگ ها، شکستگی‌ها تنها مسیرهایی هستند که درامتداد آن‌ها زون‌های هوازده و مجاری انحلالی توسعه می‌یابند (۱۷). بنابرین شکستگی‌ها و ساختارهای تکتونیکی که اصطلاحاً خطواره نیز نامیده می‌شوند به دلیل ایجاد فضاهایی در سازندها و واحدهای زمین شناسی جهت عبور آب و حرکت آن به نقاط پایین‌تر درون زمین نقاط ضعفی در نظر گرفته می شوند که اهمیت آن‌ها در سازندهای سخت و آهکی بیشتر است از این رو به عنوان پارامتر مثبتی جهت پتانسیل یابی آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود (۱۳). جهت تهیه این لایه از باند ۸ تصویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه حاصل از سنجده OLI ماهواره لندست ۸ با قدرت تفکیک ۱۵ متر و همچنین نقشه زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی استفاده گردید و پس از استخراج خطواره‌ها و حذف خطواره‌های مشکوک مانند جاده‌ها، شبکه زهکشی

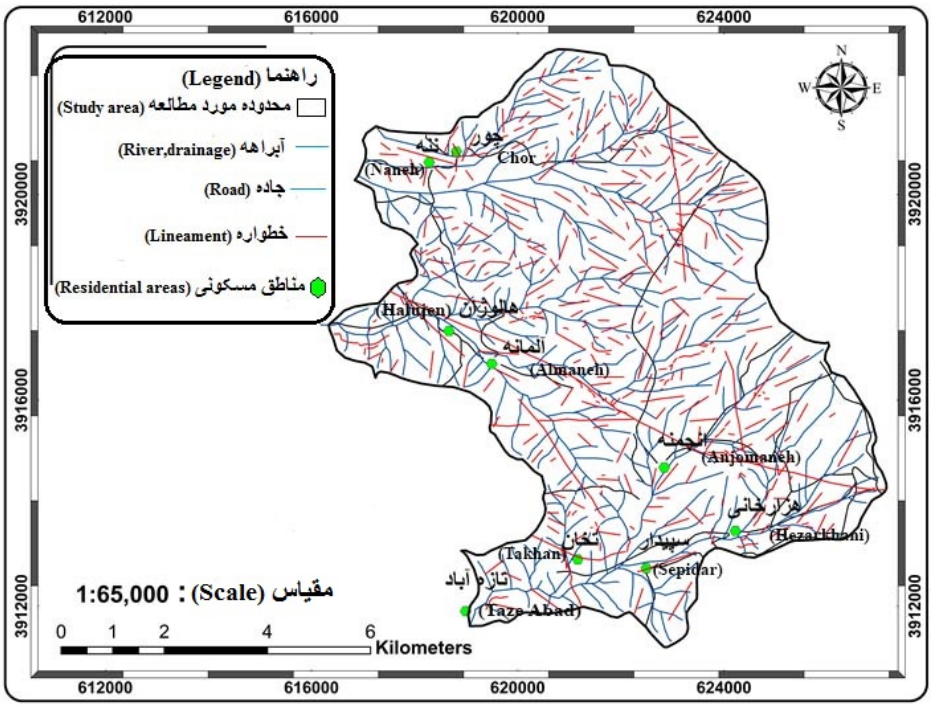
1- Operational Land Imager

و غیره، در محیط نرم افزاری ARC GIS تراکم شکستگی محاسبه گردید و پس از طبقه بندی نقشه حاصل بر اساس جدول ۱ تهیه شد. (شکل ۳ و ۴)



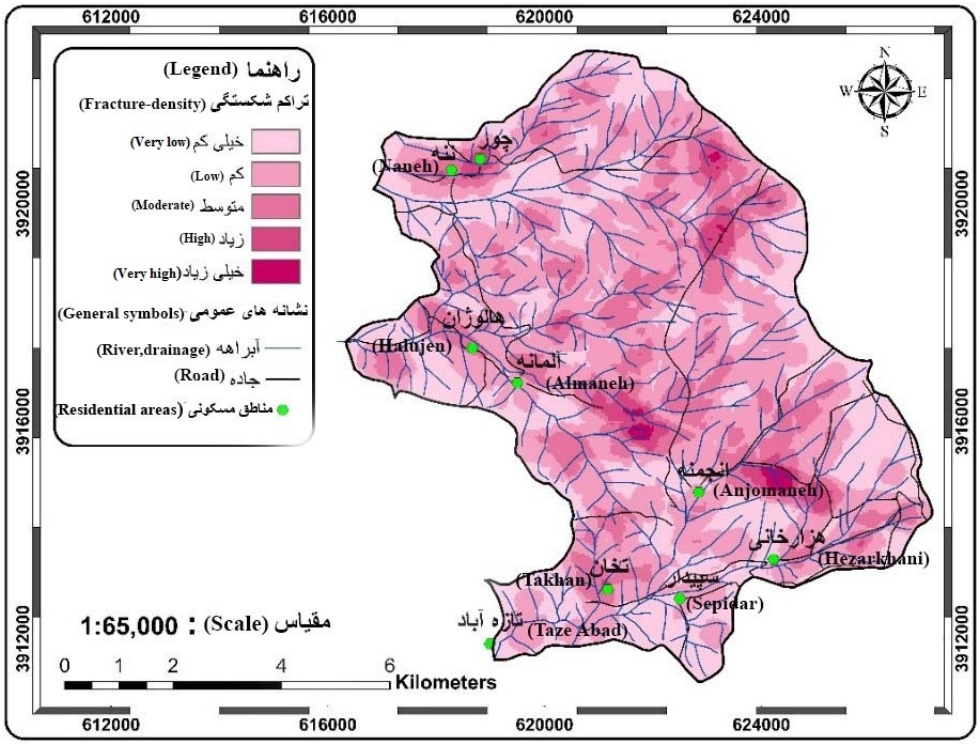
شکل ۲- رتبه بندی لیتولوژی حوضه آلمانه جهت ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی

Figure 2- Lithology Classification of Almaneh basin to evaluate ground water potential resource



شکل ۳- نقشه شکستگی‌های حوضه آلمانه

Figure 6-Fractures map of Almaneh basin

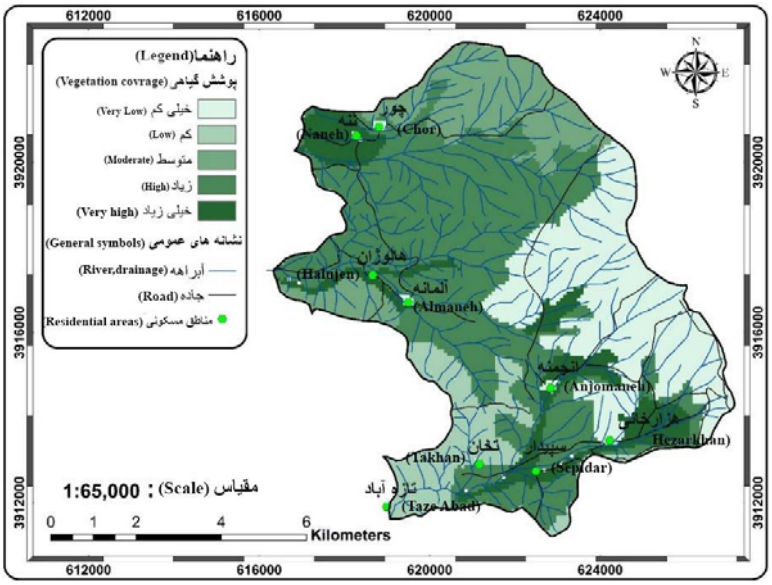


شکل ٤- نقشه تراکم شکستگی حوضه آلمانه

Figure 4- Fracture density map of Almaneh basin

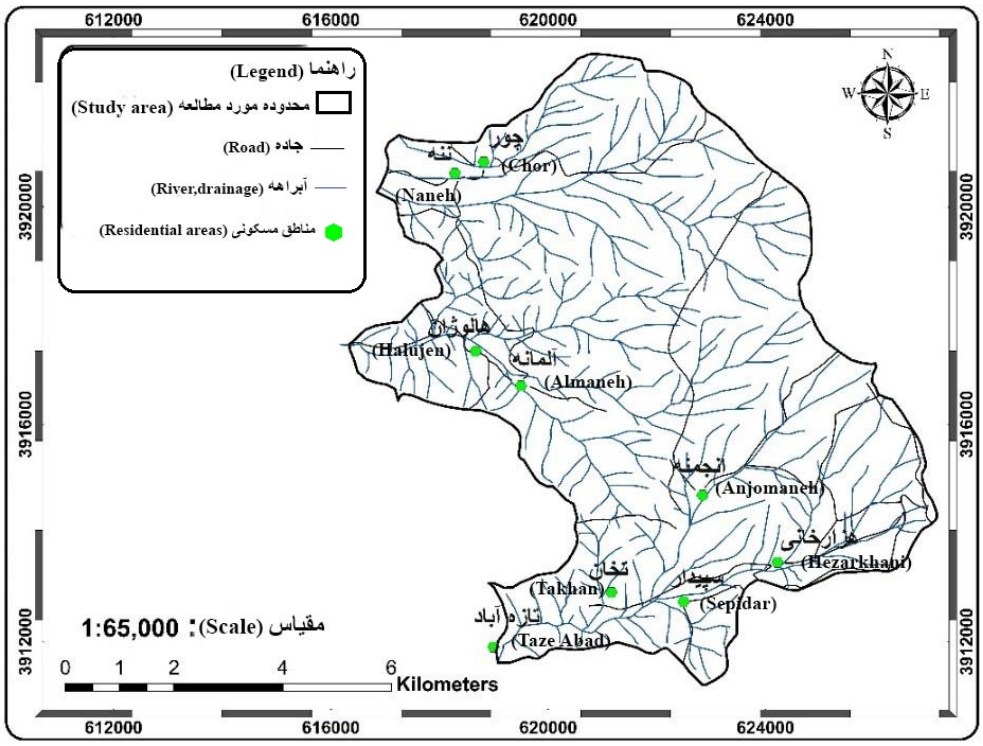
لایه پوشش گیاهی

پوشش گیاهی بر میزان نفوذ از سطح موثرمی باشد به طوری که بیشترین نفوذپذیری در مناطق جنگلی و کمترین آن در مناطق شهری روی می‌دهد. هرچقدر میزان نفوذپذیری بیشتر باشد احتمال تشکیل آبخوان‌های سازند سخت افزایش می‌یابد. با استفاده از تصاویر Google Earth و نقشه کاربری اراضی استان کردستان لایه پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه استخراج شد و پس از طبقه‌بندی بر اساس جدول ۱ نقشه پوشش گیاهی تهیه گردید (شکل ۵) .



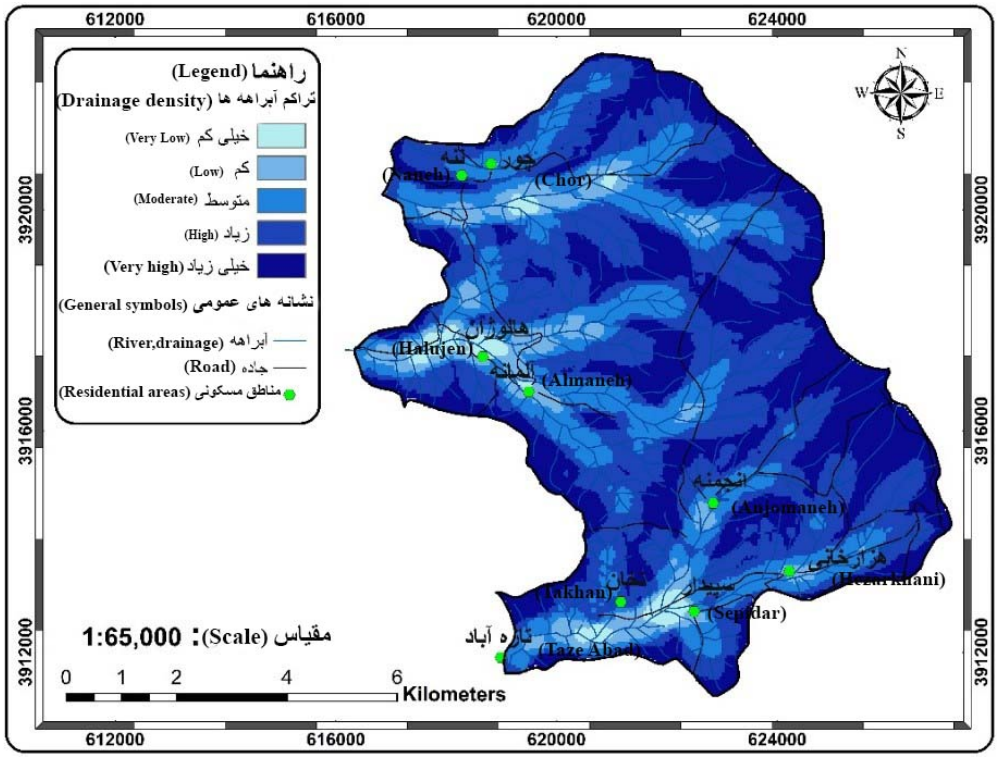
شکل ٥- نقشه پوشش گیاهی حوضه آلمانه

Figure 5- Vegetation covrage map for Almaneh basin



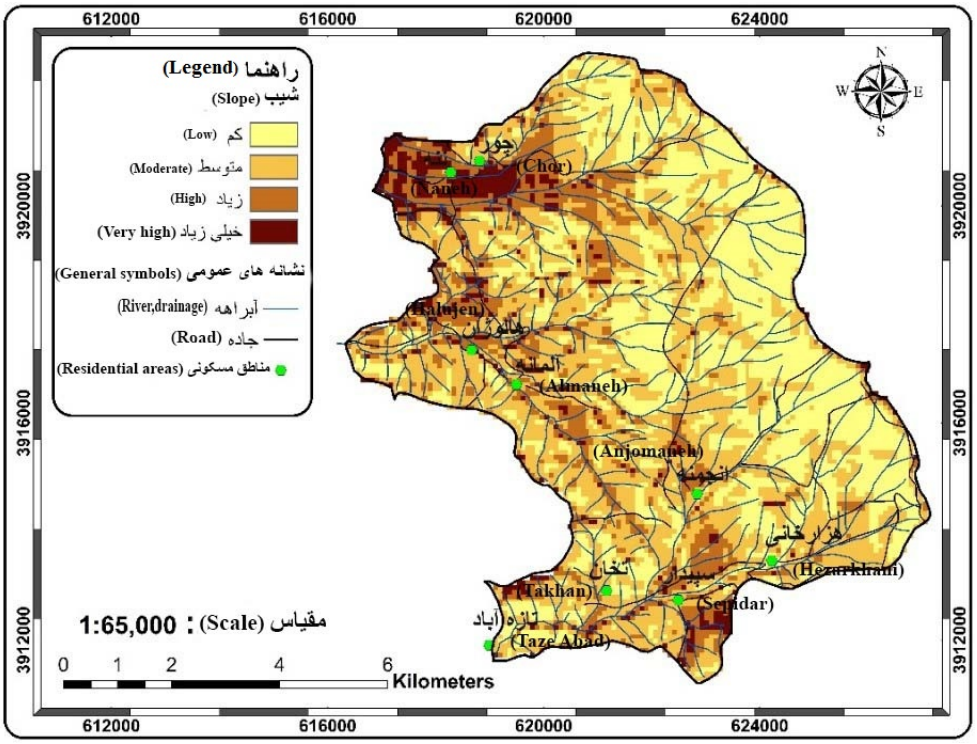
شکل ٦- نقشه آبراهه‌های حوضه آلمانه

Figure 6-Drainages map of Almaneh basin



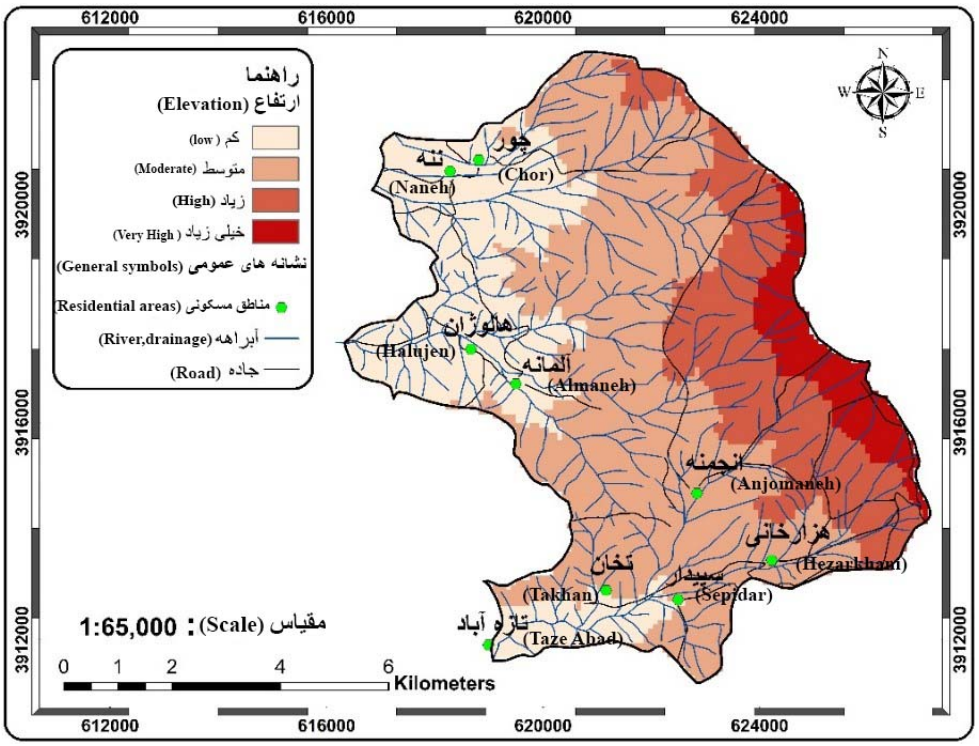
شکل ۷- نقشه تراکم آبراهه‌های حوضه آلمانه

Figure 7- Drainage density map of Almaneh basin



شکل ۸- نقشه شیب حوضه آلمانه

Figure 8- Slopes map of Almaneh basin



شکل ۹- رتبه بندی ارتفاع حوضه آلمانه از نظر پتانسیل منابع آب زیرزمینی

Figure 9- Classification of elevation for Almaneh basin

لایه تراکم آبراهه‌ها

آبراهه‌ها نقش انتقال رواناب را داشته و با نفوذپذیری زمین رابطه عکس دارند یعنی هرچقدر تراکم آبراهه زیاد باشد نفوذپذیری کمتر و بالعکس است. جهت تعیین تراکم و رده آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه، نیاز به استخراج شبکه زهکشی می‌باشد. شبکه زهکشی با استفاده ازDEM [1]منطقه در نرم افزار River tools استخراج شد و سپس لایه وارد محیط Arc view گردید و با اعمال تابع تحلیلی تراکم، پارامتر تراکم آبراهه‌ها به دست آمد. از آنجایی که میزان تراکم آبراهه‌ها با احتمال رخداد آب زیرزمینی رابطه معکوس دارد، لذا در نرخ بندی این پارامتر، مناطقی که دارای تراکم کمتری هستند از ارزش بالاتری برخوردار می‌باشند در شکل ۶ نقشه طبقه‌بندی شده این پارامتر بر اساس جدول ۱ آورده شده است (شکل ۶ و ۷). یعنی هرچقدر تراکم آبراهه زیاد باشه یعنی نفوذپذیری کمتر است.

لایه شیب

سیستم جریان آب زیر زمینی در اغلب موارد، متاثر از شیب سطح زمین است و افزایش شیب زمین باعث کاهش میزان آب نفوذی به زمین می‌گردد. بنابراین افزایش آن پارامتری منفی جهت پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود. برای تهیه لایه شیب مدل رقومی ارتفاعی منطقه[2]، از فایل‌های رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، سازمان نقشه برداری کشور که شامل خطوط میزان، آبراهه‌ها و نقاط ارتفاعی می‌باشند، تهیه گردید و پس از ویرایش DEM به دست آمده در محیط Arc GIS، در قسمت تحلیل‌گر مکانی[3] با ابزار تعیین شیب[4]، شیب منطقه محاسبه و استخراج شده و بر اساس جدول ۱ لایه رتبه‌بندی شیب منطقه تهیه گردید (شکل ۸).

ارتفاع

ارتفاع حوضه نسبت به سطح دریا نشان دهنده موقعیت اقلیمی آن حوضه است. در حوضه‌های مرتفع نه تنها بارندگی بیش از حد حوضه های مناطق پست است بلکه در قلل ارتفاعات غالبا نزولات جوی به صورت برف می‌باشد. همچنین با افزایش ارتفاع دما نیز کاهش می‌یابد که مجموع این عوامل در میزان فعالیت آب‌های روان و میزان نفوذ آن به زمین و در نتیجه به پتانسیل یابی وجود منابع آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارد (۲۱). جهت تهیه این لایه پس از تهیه DEM بدست آمده از فایل‌های رقومی تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده گردید و لایه ارتفاعی پس از طبقه‌بندی بر اساس جدول ۱تهیه گردید (شکل ۹).

جهت شیب

لایه شیب از نظر تاثیر آن در برخی فرایندهای هیدرولوژیک مانند ذوب برف‌ها و تنوع پوشش گیاهی در تشکیل منابع آب زیرزمینی نقش دارند. در اقلیم شمال غرب ایران توده‌های هوایی که باعث بارش‌های این منطقه می‌شوند توده‌های هوای مدیترانه‌ای هستند که از غرب وارد منطقه می‌شوند و توده‌هایی که از شمال و از سیبری به منطقه می‌رسند. بنابراین دامنه‌های غربی و شمالی به دلیل قرار گرفتن در جهت توده‌های باران زا و دریافت بارش بیشتر و تبخیر کمتر امتیاز بیشتر و طبقات جنوبی به دلیل عکس این قضیه، امتیاز کمتری به خود اختصاص دادند (۲۱). برای تهیه این لایه، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه تهیه کردید و با اعمال الگوریتم Aspect در محیط نرم افزاری GIS، لایه جهت شیب نیز ساخته شد و پس از طبقه بندی بر اساس جدول ۱ لایه جهت شیب تهیه گردید (شکل ۱۰).

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه پهنه‌بندی

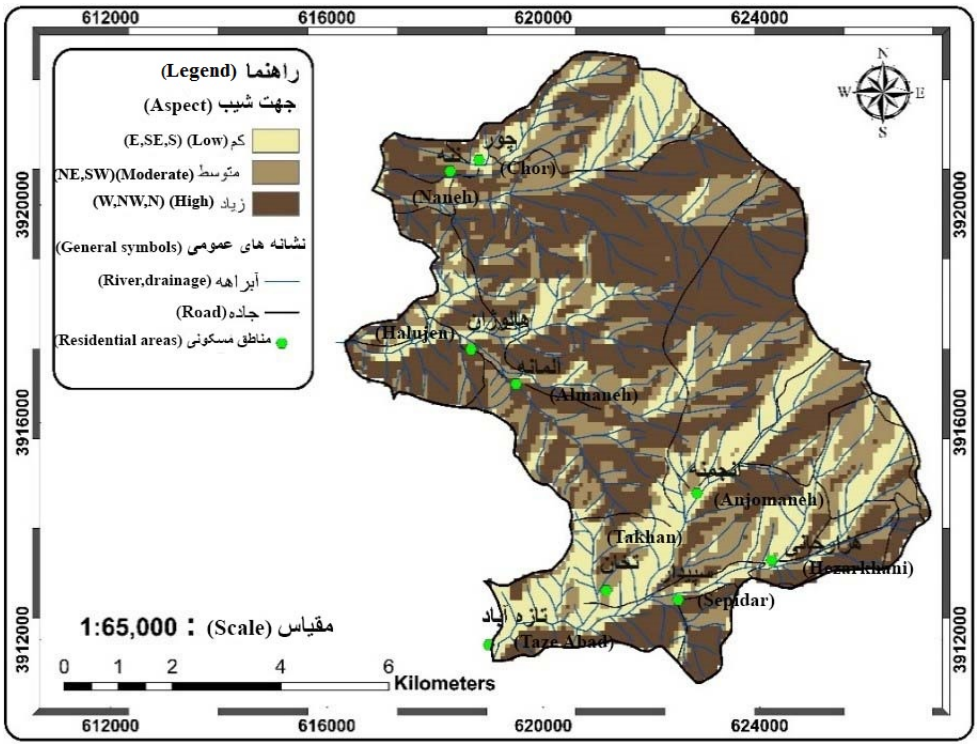
بعد از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مربوط به پارامترهای مورد نظر و رتبه بندی و وزن دهی آن‌ها بر اساس هر دو روش، هرلایه در وزن مشخص شده برای هر معیار ضرب و در مرحله بعدی با یکدیگر جمع شدند و در نهایت نقشه‌هایی تعیین اولویت‌های پتانسیل منابع آبی برای هر دو روش، وزن دهی تجمعی ساده و روش AHP به دست آمد و در نتیجه‌ی این فرآیند، و سپس طبقه بندی نقشه بدست آمده، پتانسیل منابع آبی در مناطق مختلف مشخص گردید (شکل ۱۱ و ۱۲).

نتایج

بر اساس نقشه ارائه شده در مدل AHP، از مجموع کل مساحت محدوده مطالعاتی ۸/۵۶ درصد دارای پتانسیل آبی خیلی زیاد و ۲۶/۹۴ درصد شامل پتانسیل آبی زیاد می‌باشند بعد از آن به ترتیب مناطقی با پتانسیل آبی متوسط ۲۲/۹۶، کم ۲۴/۹۶ و خیلی کم ۱۷/۰۷ درصد را در بر می‌گیرند. در انجام این پژوهش از دو مدل برای مقایسه کیفیت نقشه‌های خروجی استفاده شده است، با توجه به این که در مدل مقایسه زوجی مدل AHP، وزن طبقات هر معیار بر اساس ترجیح یک طبقه نسبت به تمام طبقات آن معیار به دست می‌آید اما در تعیین مستقیم وزن‌ها (SAW) این فرآیند صورت نمی‌پذیرد طبیعی است که نتایج به دست آمده حاصل از این دو مدل با هم متفاوت خواهد بود و مساحت اولویت‌های پتانسیل منابع آبی در روش SAW به ترتیب

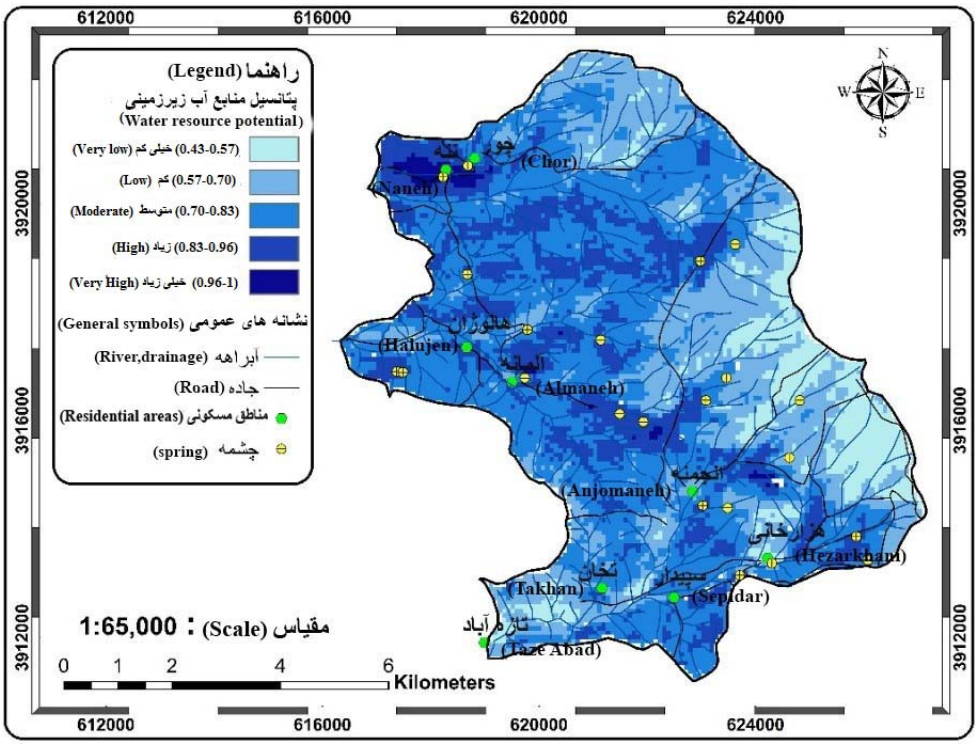
1- Digital Elevation Model
2- Digital Elevation Model
3- Spatial Analyst
4- Slope

۰/۷۳ ٪ خیلی زیاد، ۱۳/۰۷ ٪ زیاد، ۳۰/۱۶ ٪ متوسط، ۱۸/۶۵ ٪ کم و ۷/۷۳ ٪ خیلی کم را شامل می‌شود (شکل ۱۱ و ۱۲ و جدول ۴).



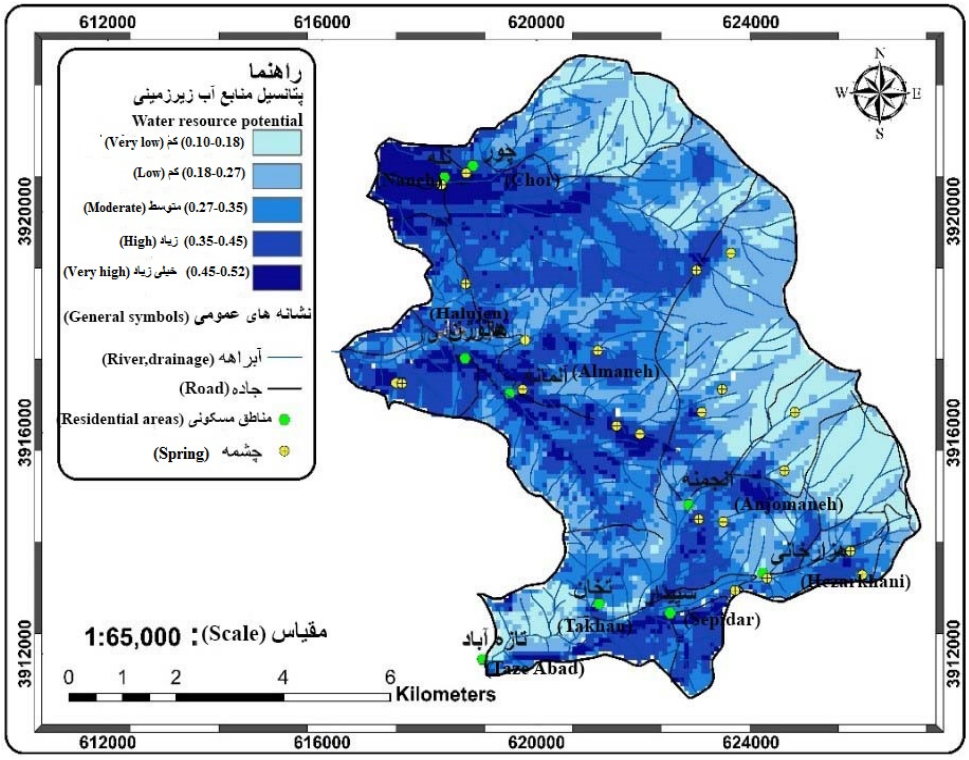
شکل ۱۰- نقشه جهت شیب حوضه آلمانه

Figure 10- Aspect map for Almaneh basin



شکل ۱۱- نقشه پهنه بندی پتانسیل منابع آبی حوضه آلمانه به روش SAW

Figure 11- Water resource potential map for Almaneh basin using SAW method



شکل ۱۲- نقشه پهنه بندی پتانسیل منابع آبی حوضه آلمانه به روش AHP

Figure 12- Water resource potential map for Almaneh basin using AHP method

جدول ٤- ارتباط بین شاخص‌های مدل AHP و SAW برای محدوده مورد مطالعه

Table 4- The relationship between indicators AHP and SAW method for the study area

روش SAW			روش AHP		
شاخص پتانسیل منابع آب زیرزمینی Groundwater potential index	مساحت Area (Km²)	مساحت Area (%)	شاخص پتانسیل منابع آب زیرزمینی Groundwater potential index	مساحت Area (Km²)	مساحت Area(%)
خیلی کم 0.43-0.57 Very low	10.53	7.73	خیلی کم 0.10-0.18 Very low	11.95	17.07
کم 0.57-0.70 Low	26.65	18.65	کم 0.18-0.27 Low	17.47	24.96
متوسط 0.70-0.83 Medium	43.09	30.16	متوسط 0.27-0.35 Medium	16.07	22.96
زیاد 0.83-0.96 High	18.67	13.07	زیاد 0.35-0.44 High	18.85	26.94
خیلی زیاد 0.96-1 Very high	1.04	0.73	خیلی زیاد 0.44-0.52 Very high	5.99	8.56

صحت سنجی

با توجه به این که چشمه‌ها، محل تخلیه منابع آب زیرزمینی را هستند و موقعیت آن‌ها نشان دهنده پتانسیل بالای آب زیرزمینی در محدوده حوضه آبگیر چشمه است بنابرین جهت صحت سنجی مدل‌های AHP و SAW از موقعیت چشمه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه استفاده گردید و با هم پوشانی نقشه موقعیت چشمه‌ها با نقشه‌های پتانسیل منابع آب زیرزمینی و بررسی ارتباط بین تعداد چشمه‌ها و مناطق با پتانسیل منابع آبی مختلف حاصل از دو روش مذکور با استفاده از ابزار Extract by value نرم افزار GIS مشخص شد در هر دو روش موقعیت چشمه‌ها همخوانی خوبی با مدل‌های مذکور نشان می‌دهند به طوری که در هر دو روش بیش از ۷۰٪ تعداد چشمه در مناطقی با آسیب پذیری متوسط به بالا قرر گرفته اند. (شکل ۱۱ و ۱۲، جدول ۵).

جدول ۵-ارتباط بین شاخص‌های مدل AHP و SAW با تعداد چشمه ها

Table 5- The relationship between indicators of SAW and AHP method with number of springs in the study area

روش SAW			روش AHP		
شاخص پتانسیل منابع آب زیرزمینی Groundwater potential index	چشمه Spring (number)	چشمه Spring (%)	شاخص پتانسیل منابع آب زیرزمینی Groundwater potential index	چشمه Spring (number)	چشمه Spring (%)
خیلی کم 0.43-0.57 Very low	2	8.69	خیلی کم 0.10-0.18 Very low	2	8.69
کم 0.57-0.70 Low	4	17.39	کم 0.18-0.27 Low	2	8.69
متوسط 0.700.83 Medium	8	78.34	متوسط 0.27-0.35 Medium	6	26.08
زیاد 0.83-0.96 High	9	39.13	زیاد 0.35-0.44 High	10	43.47
خیلی زیاد 0.96-1 Very high	0	0	خیلی زیاد 0.44-0.52 Very high	3	13.04

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه با استفاده از روش وزن‌دهی تجمعی ساده و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نقشه پهنه بندی مکان‌های مناسب استحصال آب زیرزمینی، بر اساس هفت فاکتور لیتولوژی، تراکم شکستگی، تراکم آبراهه‌ها، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب و جهت شیب در حوضه آلمانه تهیه گردید. با توجه به نقشه‌های حاصل، در هر دو روش مذکور مناطق شمالی غربی محدوده مطالعاتی دارای پتانسیل منابع آبی بیشتری نسبت به سایر مناطق بوده و پتانسیل منابع آبی در قسمت‌های غربی و جنوب غربی نیز نسبت به شرق محدوده از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد و این می‌تواند به دلیل انطباق این مناطق با مناطقی با شیب پایین و ارتفاع پایین و پوشش گیاهی بالا باشد و مهم‌تر از این که لیتولوژی این قسمت در بخش بالایی مربوط به رسوبات آبرفتی باشد که با ضخامتی کم روی سازند سخت را پوشش داده و نقش تغذیه سازند سخت را بر عهده دارد. جهت ارزیابی صحت مدل‌های به کار گرفته شده از موقعیت چشمه‌های موجود در منطقه مطالعاتی استفاده گردید و با همپوشانی آن بر روی نقشه‌های پتانسیل بدست آمده و بررسی ارتباط بین تعداد چشمه‌ها و مناطق با پتانسیل منابع آبی مختلف حاصل از دو روش مذکور مشخص شد که هر دو مدل نتایج مشابهی را ارائه می‌دهند. ولی در حالت کلی با توجه به این که مناطقی با پتانسیل بالا در روش AHP (۵۶/۵۱٪) نسب به روش SAW (۳۹/۱۳ ٪) درصد چشمه‌های بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد بنابرین به این نتیجه می‌رسیم که مدل AHP نتایج بهتر و محافظه کارانه تری را نسبت به مدل SAW دارد (جدول ۴) بر اساس این روش ۵۸/۴۶ درصد از مساحت محدوده مورد مطالعه دارای پتانسیل متوسط به بالایی از منابع آب زیرزمینی است. با توجه به استراتژیک بودن منابع آب سازند سخت، استفاده از این منابع صرفا برای تامین آب شرب مجاز بوده و در نتیجه می‌توان ا ز این منابع برای تامین آب شرب روستاهای موجود در حوضه استفاده نمود. بنابرین از آنجا که مدل‌های به کار گرفته شده در این پژوهش از نوع مدل‌های بر آورد کننده است، پیشنهاد می‌شود پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های منطق فازی و شبکه عصبی نیز انجام گیرد و نتایج آن‌ها با مدل‌های AHP و SAW و داده‌های واقعی مقایسه گردد، تا به این طریق بتوان نتایج قابل اعتماد تری از ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی به دست آورده و همچنین بهترین روش در ازریابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی شناسایی کرد..

منابع

1-Abshirini A. 2004. Application of remote sensing and GIS techniques in identifying and tracking potential karst groundwater resources in the anticline Pabdh- Lali. M. Sc. Thesis, Shahid Chamran University, Department of Geology. (in persian).

2- Alaii-Talegani M., Saiidi-Kia M. 2013. The role of the Component of groundwater in the form and recharge groundwater ,Study area: Zahab plain. Journal of Geographical Research, 914: 171-186. (in persian).

3- Amjadian M.R., Hesam M., Meftah Halgi M., Gorbani K. 2014. Prioritizing appropriate places of groundwater quality For agricultural purposes by using SAW and TOPSIS in GIS, The first national conference on the water

crisis, Isfahan, Islamic Azad University, NCWC01_138 (in persian).
4- Bertolini M., Braglia M., Carmignani G. 2006. Application of the AHP Methodology in Making a Proposal for a Public Work Contract. International Journal of Project Management. 24: 422-430.
5- Cheng Ru.Wu., Chin Tsai. Lin & Huang Chu. Chen. 2007. Optimal selection for Taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis . Bulding and Environment, 42: 1431-1444.
6- Consulting Engineers and Contractors. 2011. Instruction tracing methods in the study of karstic and hardrock formation ,546p. ((in persian).
7- Fathy A. 2012. Mapping of groundwater prospective zone using remote sensing and gis tecniques: Acase study frome the Central Eastern Desert. Egypt. Journal of African Earth Sciences 70. pp. 8-17.
8- Godsipur H. 2005. Analytical Hierarchy Process AHP. Amirkabir University of Technology, Tehran Polytechnic, Publication Center,143P. (in persian).
9- Goodchild M.F., Kemp K.K. 1992. NCGIA education activities: the core curriculum and beyond. International Journal of Geographical Information Systems. 6(4): 30320.
10- Jafari H.,Rafii Y.,Ramazani-mehrian M.,Nasiri H. 2012. Locating disposal of municipal waste in the environment by using AHP and SAW, Study area: Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. Journal of Ecology,61:131-140.
11-Kresic N., Stevanovic Z. 2010. Groundwater hydrology of springs: Engineering, theory, management, and sustainability. Amsterdam: Butterworth-Heinemann/Elsevier. 262p.
12- Ma J., Fan Z. P., Huang L. H. 1999 . "A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights". European Journal of Operational Research. 112:397-404.
13- Mahgolo A., Chitsazan M., Mirzaii Y. 2011. Investigation potential groundwater in Hard roch formations using GIS and Remote Sensing Case Study area: North Hoseinie. Geomatics conference, Tehran, National Cartographic. (in persian).
14- Malczewski J. 1997. Propagation of errors in multicriteria location analysis: a case study. In: Fandel G, Gal T (eds) Multiple criteria decision making, Berlin springer-verlag. 448:154-155.
15- Narendra K., Nageswara R. K., Swarna L. P. 2013. Integrating Remote Sensing and GIS for Identification of Groundwater Prospective Zones in the Narava Basin. Visakhapatnam Region. Journal of the Geological Society of India. 81(2): 248-260.
16- Rahimi D., zarin-mu H., Hasangolinejad-Dezfulian H .2011 . Evaluation of potential groundwater resources by using weighted index overlay, Study area: Arsanjan plain. Journal of Geographical Research,4:17715-17733. (in persian).
17- Rahimi D., Musavi H. 2013. Evaluation potential sources of groundwater using AHP and techniques GIS, case study: Plain Shahrood Bastam. Journal of Geography and Planning ,44: 139-159.(in persian)
18- Ramazani Mehrian M., Molkmohammadi B., Jafari H.R., Rafii Y . 2011. Identifing potenttial siets for artifical recharge by using multi-criteria decision-making methods and GIS. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 5(14): 1 (in persian).
19- Saaty T.L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology 15: 234-281.
20- Selvam G., Banukumar K., Srinivasan D., Selvakumar R. and Alaguraja P. 2012. Identification of ground water potential zone in hard rock terrain [Journal]. - [s.l.] : Int. Journal of Advances in Remote Sensing and GIS. 1(1): 2277 – 9450.
21- Shamsi-Khosroshahi S. 2014. Applied GIS assessment of groundwater , Case study : Gala chay basin. M. Sc. Thesis, Tabriz University, Department of Geography and Planning. (in persian).

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1461-1477

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۴۷۷-۱۴۶۱

Evaluation of Potential Groundwater Resources in Fractured Rocks using *AHP* and *SAW* Methods (Case Study: Almaneh Basin, Marivan, Iran)

A. Vaezihir[2] -M. Tabarmayeh[1]*

Received: 07-09-2015
Accepted: 13-02-2016

Introduction: Ground water as a dynamic and recyclable natural resource in fractured rock terrains are characterized by single and double fracture porosity models. Due to the heterogeneous nature of the medium hydraulic properties of these rocks are mainly controlled by fracturing and influenced by multivariate parameters. This heterogeneity is due to various compactions , density of fractures and degree of weathering. Therefore, regarding the importance of ground water resources in social and economic development, the study of fractured rock aquifers especially in arid and semi-arid regions is of interest. In this paper zoning of aquifers has been carried out according to their potential using concept of overlaying of drastic parameters on groundwater development.

Materials and Methods: The study area is located in the southwest of Marivan city, Iran. Due to the existence of sandstone and igneous formations and tectonic activities, fractured aquifers, was probably developed. In this paper, Simple Additive Weighted (SAW) and Analytic Hierarchy Process (AHP) using eigenvectors were used to find ground water resources. In order to evaluate the groundwater potential sources, lithology, fracture density, elevation, slope, aspect, drainage density and land use parameters were considered. For this purpose, layers of these information were provided in the IDRISI and GIS medium and then sorted and weighted using the weighted cumulative integrate AHP and SAW methods. The index of ground water potential sources was determined by multiplying each raster layer by its corresponding weighting factor assigned by the AHP and SAW methods. Finally the potential groundwater zoning map was generated by cumulating the seven individual rating and weighting maps.

Results and Discussion: According to the output map of AHP model, 56.8 percent of the total study area had a very high water potential and this includes 94.26 percent with high potential and areas with moderate, low and very low water potential included 22.96, 24.96 and 17.07%, respectively. Regarding to the paired comparison AHP model, despite of direct determination of the weight of the SAW model, weight classes of each criterion were achieved according to the preferred class of all classes to the criteria. It is normal that the results from these two models will be different, so that according to SAW method, 0.73,13.07,30.16,18.65,7.37% of study area included area with very high, high, moderate, low and very low groundwater potential resources, respectively. For validation of two mentioned models (AHP and SAW models), The map of springs location were overlaid on the map of potential sources of groundwater of these two methods and the results showed a good agreement with the model of the position of the spring.

Conclusion: In This study the AHP and SAW models were used to finding underground water sources. The results showed that in both methods, highly potential water resources areas were mainly located in the northwest of the study area and the west and southwest area had higher potential water resources relative to the east part of the study area. This could be due to low slope and elevation or may be related to the alluvial deposits which covered upper parts of the hard rock with low thickness and this plays a main role in recharging of hard rock.

However, comparing the results of the two methods showed that AHP method has better results than the SAW. The result of AHP map showed that the east and center part of the study area had moderate to high groundwater potential which consist of about 50% of area.

Keywords: Almaneh, Analytic Hierarchy Process, Groundwater potential, Simple Additive Weighted

1and 2- Associate Professor and M.Sc Student of Hydro-geology, Department of Geology, University of Tabriz
(*-Corresponding Author Email: mehritabarmayeh@yahoo.com)