

پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تاقدیس کمستان استان خوزستان

عظیم صابری

عضو هیات علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

کاظم رنگزن

عضو هیات علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

رضا مهجوری

دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز

محمد رضا کشاورزی

کارشناس ارشد آب شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۲۷

a.saberi@scu.ac.ir

چکیده

ترکیب سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات مکانی (GIS) از ابزارهای مفید و دقیق در زمینه تحقیقات آب‌های زیرزمینی می‌باشد. از اینرو با استفاده از تلفیق RS و GIS می‌توان منابع آب زیرزمینی را پتانسیل‌یابی، ارزیابی و مدیریت کرد. در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده تاقدیس کمستان از لایه‌های مؤثر نظیر زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، شکستگی‌ها، خاک‌شناسی، پوشش زمین، شیب و بارش استفاده شده است. این لایه‌ها از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره LANDSAT، نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و گزارشات هواشناسی مربوط به منطقه مورد مطالعه استخراج گردید. وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از نظرات کارشناسی انجام گرفت و سپس با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن بین لایه‌های نیز اعمال شد و پتانسیل آب‌زیرزمینی نواحی مختلف تعیین گردید. در نهایت برای صحت سنجی نتایج بدست آمده نقشه پتانسیل آب‌زیرزمینی بدست آمده با نقشه موقعیت و دبی چشمه‌های منطقه مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که: (۱) این روش از دقت نسبتاً بالایی برخوردار است، (۲) حدود ۵۰٪ این منطقه دارای پتانسیل خیلی خوب و خوب برای استخراج آب‌زیرزمینی می‌باشد و (۳) می‌توان از این روش با دقت بالایی برای پتانسیل‌یابی نواحی مختلف و نیز تحقیقات مشابه استفاده کرد که می‌تواند تأثیر مثبتی بر کاهش مدت زمان و هزینه انجام پروژه‌ها داشته باشد.

کلمات کلیدی: سیستم اطلاعات مکانی، سنجش از دور، تحلیل سلسله مراتبی، منابع آب زیرزمینی، تاقدیس کمستان

مقدمه

های زیرزمینی مانند: سنگ‌شناسی، عوارض ساختاری (گسل‌ها، شکستگی‌ها)، کاربری اراضی و ژئومورفولوژی می‌باشد. این قبیل اطلاعات می‌توانند به سادگی به عنوان ورودی محیط GIS برای یکپارچه‌سازی با دیگر انواع داده‌ها و آنالیز آنها استفاده شوند (Oh et al, 2011). سنجش از دور نه تنها دامنه بزرگ مقیاسی از مشاهدات گسترده زمانی-مکانی را فراهم می‌کند بلکه باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸). GIS ابزاری قوی و مفید برای مدیریت داده‌های مکانی و تصمیم‌گیری در چندین مورد از جمله زمین‌شناسی و موضوعات محیطی می‌باشد. در مطالعات زیادی از سنجش از دور و GIS برای بدست آوردن لایه‌های ژئومورفولوژی، شبکه زهکشی، گسل‌ها، زمین‌شناسی و خاک استفاده شده است (Saha et al, 2010).

آب حاصله از بارندگی و ذوب برف‌ها بسته به نوع خاک، شیب و پوشش گیاهی منطقه به داخل خاک نفوذ می‌کند و به حرکت عمقی خود در داخل خاک ادامه می‌دهد تا سرانجام به لایه‌های غیرقابل نفوذ برخورد کرده و متوقف گردد (محمودیان شوشتری، ۱۳۸۹). استحصال آب یکی از اصلی‌ترین و حساس‌ترین بخش‌های اجرائی پروژه‌های زیربنایی و اقتصادی محسوب می‌شود که دستیابی به آن هزینه‌های زیادی را در پی دارد. حفر چاه برای استخراج آب-زیرزمینی در مکان‌های تصادفی و کنترل نشده برای تأمین آب کشاورزی و صنعتی و تقاضای بالا برای حفر چاه باعث خراب شدن وضعیت سفره آبدار از نظر کمی و کیفی می‌شوند (Joven et al, 2010). سنجش از دور (remote sensing) یکی از منابع اصلی جمع‌آوری اطلاعات در مورد عوارض سطحی مربوط به آب-

سطح زمین و شیب را استخراج کرد و به هر کلاس از آنها وزن مناسبی اعمال نمود (Awawdehand Al-Mohammed, 2009). برای این کار از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست و نقشه DGN استفاده شده است. با توجه به اینکه تمامی این لایه‌ها دارای اثر یکسانی در آب‌های زیرزمینی نیستند باید به هر کدام از آنها وزن متناسبی اعمال گردد. برای انجام این کار از روش‌ریزیایی چند معیاری AHP که یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است استفاده گردید. (شکل ۲) نمودار روش اجرای تحقیق را نشان می‌دهد.

زمین ریخت شناسی (Geomorphology)

یکی از بررسی‌های مهم در مطالعه آب زیرزمینی و در نتیجه کارست‌ها، بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی منطقه است زیرا گسترش کارست نیازمند وجود شرایط مناسب ژئومورفولوژیکی است (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۶).

خاک

خاک مهمترین قسمت پوسته جامد است که به صورت پوششی سست و کم ضخامت سنگ‌هایی را که هنوز تخریب نشده‌اند می‌پوشاند. خاک‌ها بر اثر تخریب فیزیکی و شیمیایی سنگ‌ها و فعالیت موجودات زنده که سبب تشکیل هوموس می‌شود بوجود می‌آید. در اراضی با کاربری مختلف خصوصیات و رفتار خاک در نفوذ دادن آب و قابلیت تولید رواناب متفاوت است که مواردی چون خصوصیات فیزیکی خاک، شدت بارندگی، شیب، زبری سطح زمین، درصد و نوع پوشش گیاهی و کیفیت آب را می‌توان نام برد. نفوذپذیری ذاتی فقط به خواص فیزیکی محیط متخلخل مانند اندازه، شکل و طرز قرار گرفتن دانه‌ها در کنار هم و اتصال منافذ به هم بستگی دارد و از طرفی به خواص محیط متخلخل و سیال عبوری از آن نیز بستگی دارد (چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۸۱). بافت خاک وابستگی معنی داری با نفوذپذیری دارد و با تغییر بافت به سمت رس و سیلت میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد (مظاهری و همکاران، ۱۳۸۸).

پوشش زمین

وجود پوشش گیاهی در هر منطقه سرعت جریان‌های سطحی را کاهش داده و سبب نفوذ بیشتر آب به داخل خاک می‌گردد در نتیجه تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش سیلاب‌های مخرب خواهد داشت و سبب افزایش میزان آب‌های زیرزمینی و افزایش سطح آنها می‌شود. مناطق جنگلی میزان نفوذپذیری زیادی دارند، بنابراین بارندگی به کاهش سطح رواناب‌ها منجر خواهد شد و بیشتر آب‌ها به زیر زمین جریان خواهند یافت.

در این تحقیق سعی گردیده است تا با استفاده از داده‌های حاصل شده از سنجنده ETM+ مربوط به سال ۲۰۰۲ و همچنین داده‌های رقومی موجود مربوط به منطقه کمستان به شناسایی و پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از GIS و AHP پرداخته شود. در سال ۲۰۰۹ Awawdeh و همکاران برای پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در منطقه شمال شرق اردن از لایه‌های ارتفاع، خاک، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و تراکم گسل و با روش AHP استفاده کردند. این منطقه به ۵ کلاس از خیلی فقیر تا خیلی خوب تقسیم شده است (Awawdeh and Al-Mohammed, 2009).

در سال ۲۰۰۹ Rao و همکاران از نقشه‌های هیدروژئومورفولوژی و هیدروژئولوژیکی برای محاسبه پتانسیل آب زیرزمینی منطقه Visakhapatnam در هند استفاده کردند و پتانسیل منطقه را به کلاس‌هایی از خیلی فقیر تا خوب تقسیم کردند (Rao et al, 2009).

در سال ۲۰۰۹ Nagarajan and Singh، برای پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی منطقه Tamil Nadu هند از عکس‌های هوایی، نقشه‌های زمین شناسی، ژئومورفولوژی، گروه‌های هیدروژئولوژیکی خاک، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و نقشه شبکه زهکشی استفاده کردند و منطقه را به سه ناحیه خوب، متوسط و فقیر از نظر پتانسیل آب زیرزمینی تقسیم کردند (Nagarajan and Singh, 2009).

در سال ۲۰۰۸، رنگزن و همکاران در تحقیقی که در شمال خوزستان انجام داده‌اند به مکان‌یابی مناطق دارای آب با کیفیت مناسب پرداخته‌اند. آن‌ها با استفاده از سنجش از دور لایه‌های سنگ‌شناسی، ساختارهای (شکستگی‌ها) زمین-شناسی، شیب، ارتفاع و شبکه زهکشی را تهیه کردند. در نهایت با ترکیب این لایه‌ها در محیط GIS به مکان‌یابی مناطق دارای آب با کیفیت مناسب پرداختند (Rangzan et al, 2008).

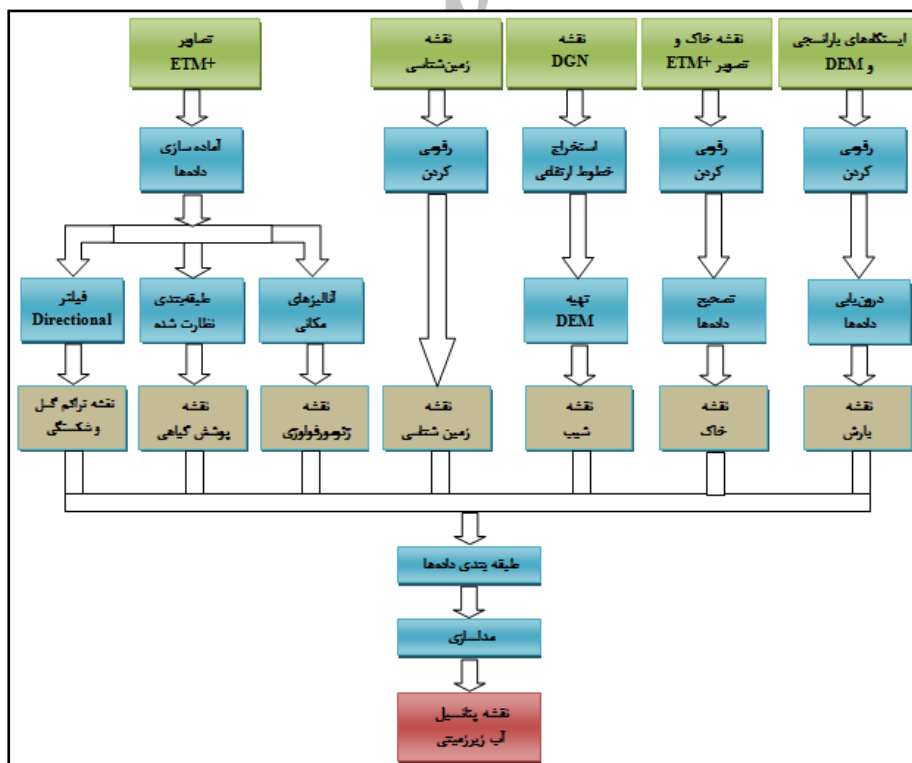
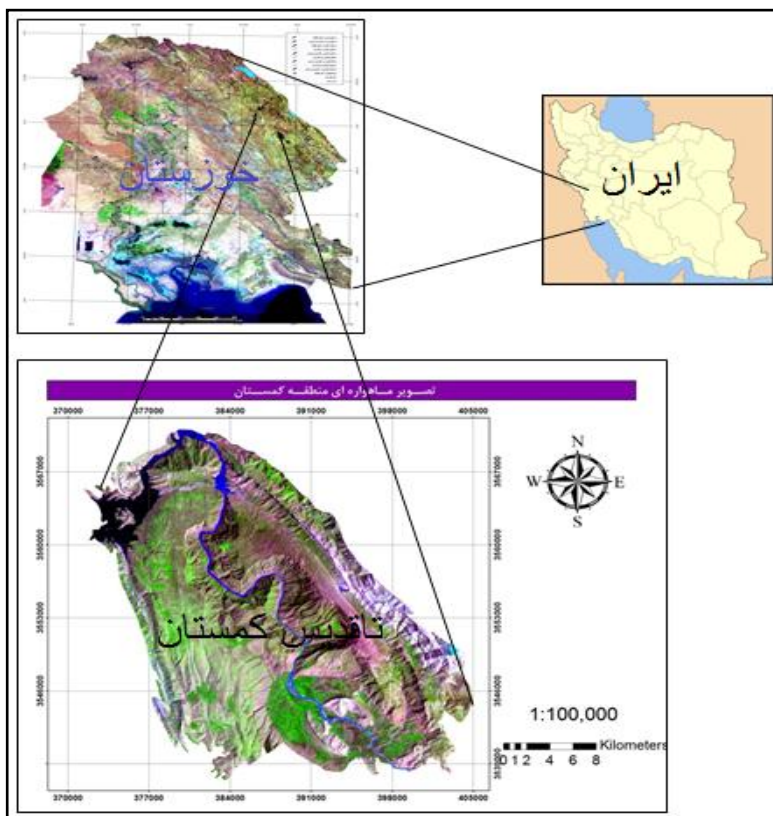
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه تاق‌دیس کمستان در بخش شمال شرقی استان خوزستان در حدفاصل طول‌های شرقی ۵۴° ۴۸' تا ۵۰° ۱۵' و عرض‌های شمالی ۳۱° ۱۵' تا ۳۱° ۴۳' قرار گرفته است و جزء حوضه آبریز رودخانه بزرگ کارون محسوب می‌شود. بطور کلی بر روی منطقه مورد مطالعه، مطالعات جامعی از نظر زمین‌شناسی انجام نگرفته است و مطالعات تنها در قالب تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ بوده است که دقیق‌ترین نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کوه آسماری و کوه کمستان می‌باشد. دقیق‌ترین عکس‌های هوایی نیز عکس‌های ۱:۴۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری بوده و تصاویر ETM+ سال ۲۰۰۲ ماهواره لندست منطقه نیز در ردیف ۳۸-۱۶۵ قرار می‌گیرد (مهندسين مشاور بهکار آب اهواز، ۱۳۸۵). (شکل ۱) منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

لایه‌های اطلاعاتی

برای انجام عملیات مکان‌یابی توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی باید اطلاعات و لایه‌ها را از منابع مختلف با فرمت‌ها قابل شناخت توسط نرم‌افزار جمع‌آوری کرد و سپس لایه‌های مناسب را تهیه و تفسیر و تجزیه و تحلیل کرد. با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای و نقشه توپوگرافیمی توان لایه‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، گسل‌ها، نوع خاک، پوشش



شکل ۲. نمودار روش انجام تحقیق

شکستگی‌ها

عوامل ساختمانی و تکتونیکی نظیر درزه‌ها و گسل‌ها به عنوان نقاط ضعف واحدهای زمین‌شناسی به شمار رفته و راهبرای عبور آسان آب و محلی برای تجمع آب به صورت مخازن زیرزمینی می‌باشند. این عامل همچنین بطور قابل ملاحظه‌ای بر روی هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته و آهکی تأثیر می‌گذارد (آبشیرینی و همکاران، ۱۳۸۷). تراکم شکستگی معیاری برای خردشدگی سازند می‌باشد، بدین معنی که تعداد درزه و شکستگی که به ازای هر واحد طول در یک منطقه ظاهر می‌شوند، مدنظر است. افزایش تراکم درزه و گسل‌ها به طور کلی نقش موثری در نفوذ و انتقال‌دهی آب‌زیرزمینی داشته و به این ترتیب برای استخراج، حفاظت آب و پراکندگی مواد آلاینده اهمیت دارد ولی در ایجاد پرده تزریق برای غیر قابل نفوذ کردن یک منطقه بویژه برای احداث سدهای مخزنی نقش منفی دارد (Prasad et al, 2008).

زمین شناسی

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای براساس تقسیم‌بندی اشتوکلین (۱۹۶۸) در ناحیه زاگرس چین‌خورده یا خارجی قرار گرفته است. آهک‌های ضخیم دارین قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه است که از نظر لیتولوژی شامل آهک قهوه‌ای تا خاکستری رنگ، ضخیم لایه تا توده‌ای، خشن و برجسته متعلق به محیط دریایی کم عمق است که در آن اربیتولینا به فراوانی یافت می‌شود. با توجه به موقعیت چشمه‌های کارستی و آبدی آنها و نیز بازدیدهای صحرایی و نظر کارشناسی، گستره‌های آهکی با ضخامت قابل توجه در سازند آسماری و سازند ایلام-سروک بیشترین گسترش کارست را نشان می‌دهد. عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی موجب گسترش گسل‌ها و سیستم درزه و شکستگی‌ها در این پهنه‌های آهکی شرایط بسیار مناسبی را جهت ذخیره و حرکت آب فراهم آورده و نقش تعیین کننده‌ای در توسعه کارست در تاقدیس کمستان داشته است.

شیب)

شیب نقش بسیار مهمی در کنترل عواملی مانند سیل خیزی، نفوذپذیری، تشکیل خاک داشته و در تعیین پتانسیل آبهای زیرزمینی دارای اهمیت بالایی می‌باشد. مناطقی که دارای شیب پایینی هستند آب را برای مدت طولانی حفظ می‌کنند، این امر باعث نفوذ یا تغذیه بیشتر آب می‌شود، ولی نواحی با شیب بالا دارای مقادیر زیادی رواناب می‌باشند و مقدار نفوذ در آنها کم است (Rahman, 2008).

بارش

یکی دیگر از لایه‌های مؤثر در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی لایه بارش منطقه می‌باشد. برای به دست آوردن این لایه علاوه بر میزان بارندگی در ایستگاه‌های منطقه، باید نقش ارتفاع را نیز مدنظر قرار داد. بین ارقام متوسط بارندگی سالانه ایستگاه در دوره شاخص و ارتفاع آنها رابطه همبستگی به صورت زیر برقرار است :

$$P = 0.5192h + 206 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$R = 0.982, \quad d.f = 16$$

در این رابطه:

P = متوسط ارتفاع بارندگی سالانه بر حسب میلی متر

h = ارتفاع از سطح آزاد آب بر حسب متر

R = ضریب همبستگی و $d.f$ درجه آزادی تعداد ایستگاههای بکار رفته می‌باشد.

تعیین وزن داده‌ها

یکی از مراحل مهم پیش از تلفیق فاکتورها و نقشه‌های مربوطه تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای مؤثر و اختصاص وزن مناسب به هر یک از آنهاست. در این قسمت به برخی از روش‌های وزن‌دهی که به طور کلی در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره و با استفاده از دانش کارشناسی صورت می‌گیرد اشاره شده است.

- رده بندی (Ranking)

- رتبه بندی (Rating)

- مقایسه زوجی (Pair Wise Comparison)

روش‌های فوق از نظر دقت، سهولت استفاده و مفاهیم تئوری با هم تفاوت دارند (Malczewski, 1999).

روش‌های رده‌بندی

ساده‌ترین روش اختصاص دادن وزن به معیارها، مرتب نمودن آن‌ها بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده می‌باشد. مرتب نمودن معیارها می‌تواند به صورت مستقیم (مهم‌ترین معیار-۱، دومین معیار-۲ و...) یا معکوس انجام گیرد. پس از مرتب نمودن معیارها باید وزن‌های عددی را محاسبه نمود. برای انجام این کار می‌توان از روش‌های Rank Sum, Rank Reciprocal و Rank Exponent استفاده نمود (Malczewski, 1999).

روش‌های رتبه‌بندی

در این روش‌ها لازم است تصمیم‌گیرنده وزن معیارها را بر اساس یک مقیاس از پیش تعیین شده تخمین بزند. به عنوان مثال یک مقیاس ۰ تا ۱۰۰ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. یکی از ساده‌ترین روش‌های رتبه‌بندی، روش امتیازدهی Point Allocation می‌باشد. در این روش از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود ۱۰۰ امتیاز را بین معیارهای مختلف تقسیم نماید که این امتیازها بین ۰ تا ۱۰۰ تغییر می‌کنند. صفر به معیاری مربوط می‌شود که می‌تواند نادیده گرفته شود و ۱۰۰ معیاری را نشان می‌دهد که اگر قرار بود تنها یک معیار در تصمیم‌گیری در نظر گرفته شود، همین معیار مورد توجه قرار می‌گرفت. امتیاز بیشتر برای یک معیار نشان‌دهنده اهمیت نسبی بالاتر آن معیار در مقایسه با سایر معیارها است (Malczewski, 1999).

روش مقایسه زوجی

این روش وزن‌دهی بخشی از روش (AHP Analytic Hierarchy Process) می‌باشد که در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی مطرح گردیده است. (AHP)، یکی از تکنیک‌های کارآمد در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره می‌باشد. در روش وزن‌دهی مقایسه زوجی، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و اهمیت آن‌ها نسبت به یکدیگر تعیین می‌گردد. سپس یک ماتریس ایجاد می‌شود که ورودی آن همان وزن‌های تعیین شده و خروجی آن وزن‌های نسبی مربوط به معیارها می‌باشد (Malczewski, 1999). در روش مقایسه زوجی، تمام معیارها با هم مقایسه می‌شوند و وزن بدست آمده برای آن‌ها دقیق‌تر و دارای محدوده بیشتری است، ولی در روش رتبه‌بندی و درجه بندی معیارها مستقیماً در یک ترتیب خاص نسبت به هم قرار می‌گیرند.

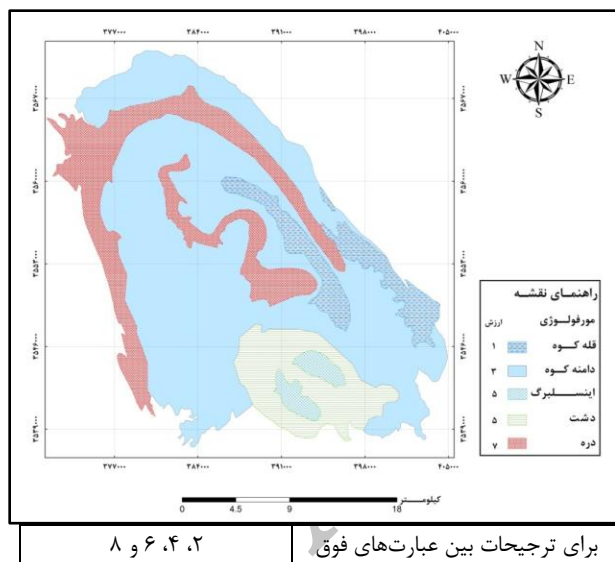
روش محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش مقایسه زوجی

ابتدا مقایسه‌های دوتایی بین معیارها صورت پذیرفت. میزان ارجحیت یا اهمیت نسبی معیارها بر اساس (جدول ۱) که بر اساس پیشنهاد آقای ساعتی می‌باشد، محاسبه می‌شود (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۷). در واقع ماتریسی تشکیل می‌-

برای تهیه لایه بارش در محدوده مورد مطالعه، با استفاده از تعداد مناسبی از ایستگاههای موجود در حوضه آبریز منطقه و حوضه‌های آبریز مجاور و نیز با انتخاب یک دوره آماری شاخص ۴۰ ساله اخیر نسبت به محاسبه گرادیان بارندگی حوضه اقدام گردید. آمار مربوط به تعداد ۲۰ ایستگاه بارانسنج در منطقه برای نشان دادن روند دراز مدت بارش سالانه در محدوده مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ایستگاهها و دوره شاخص برای انجام این مطالعه به نحوی انتخاب شده تا ضمن تأمین دوره زمانی مطلوب تعداد بیشتری از ایستگاهها در تحلیل بارش دخالت داشته باشند. سپس با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و رابطه ۱ موجود در بخش ۲-۲ اقدام به تهیه این لایه گردید (شکل ۹). مناطق با میزان بارندگی بیشتر دارای بیشترین ارزش و مناطق با میزان بارندگی کم دارای کمترین ارزش می-باشند. میزان بارندگی به همراه ارزش آن در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱. مقادیر عددی ارجحیت‌ها در مقایسات (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۷)

مقدار عددی	عبارت زبانی برای تعیین ارجحیت
۹	ارجحیت یا اهمیت کامل و مطلق
۷	ارجحیت یا اهمیت خیلی قوی
۵	ارجحیت یا اهمیت قوی
۳	ارجحیت یا اهمیت کم
۱	ارجحیت یا اهمیت برابر



شکل ۳. نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

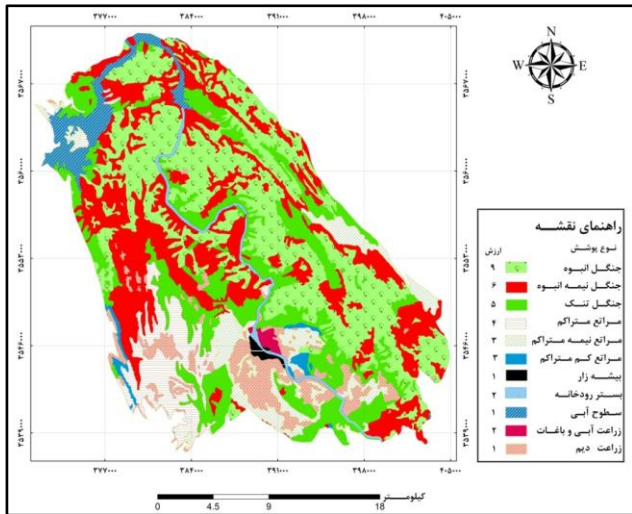
گردید که درایه‌های آن با توجه به میزان ارجحیت و اهمیت هر یک از معیارها نسبت به یکدیگر، به صورت دو به دو مقایسه می‌شود.

بحث و نتایج

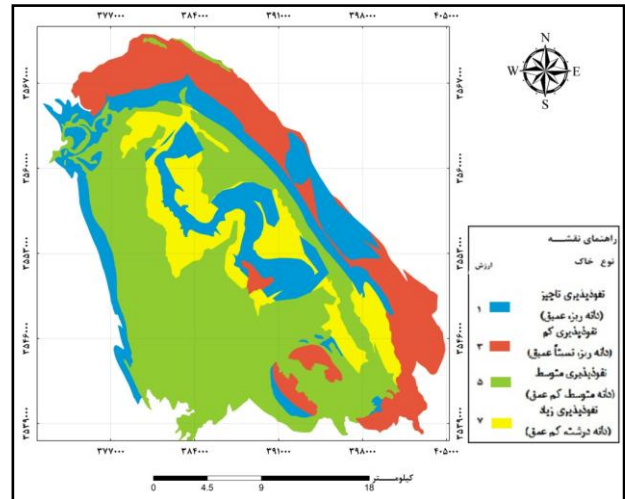
نحوه تهیه و نرمال سازی لایه‌های اطلاعاتی

اشکال ژئومورفولوژیکی منطقه تاقدیس کمستان با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat و مطالعات میدانی تهیه شده که شامل عوارض کوهستان، دره، اینسلیبرگ و دشت می‌باشد. سپس بر اساس تأثیری که هر یک از این اشکال بر روی نفوذپذیری و منابع آب‌زیرزمینی دارند وزن مناسبی به آنها اعمال گردید که در (جدول ۲) نمایش داده شده است. (شکل ۳) نحوه پراکندگی اشکال ژئومورفولوژیکی را در منطقه تاقدیس کمستان نشان می‌دهد. همچنین به علت عدم وجود نقشه خاک‌شناسی دقیق از منطقه، با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat و نقشه‌های زمین‌شناسی و چندین عملیات صحرایی، لایه خاک منطقه تهیه و ۴ نوع خاک از نظر نفوذپذیری، تخلخل، دانه‌بندی، بافت و عمق تشخیص داده شد. به خاک‌های با عمق متوسط، درشت دانه و دارای نفوذ پذیری بالا حداکثر ارزش و به خاک‌های با عمق کم، نفوذناپذیر و ریزدانه حداقل ارزش داده شد و بقیه در این دامنه قرار دارند (Dar et al, 2010). با توجه به مطالب گفته شده و اطلاعات بدست آمده از خاک منطقه مورد مطالعه، به هر یک از مناطق مختلف بر اساس نوع خاک آن وزنی معادل جدول (۲) داده شد. (شکل ۴) نحوه پراکندگی خاک‌های مختلف را در منطقه تاقدیس کمستان نشان می‌دهد. برای به‌دست آوردن پوشش زمین از ترکیب کاذب رنگی حاصل از باندهای ۴۳۲ به ترتیب RGB و طبقه‌بندی تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat و نقشه‌های پوشش گیاهی موجود در سازمان آب و برق استان خوزستان استفاده گردید (شکل ۵). جنگل‌های منطقه به سه دسته تنک، نیمه انبوه و انبوه تقسیم می‌شود که به علت شیب ملایم و پوشش مناسب، نفوذ پذیری بالایی دارند و باعث تشکیل سفره‌های آبدار غنی در این نواحی می‌شوند. نوع پوشش و ارزش آنها در جدول (۲) نشان داده شده است.

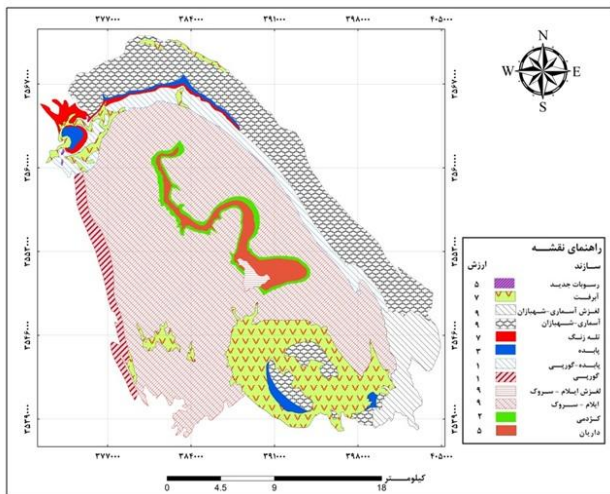
گسل‌های منطقه با استفاده از روش‌های پردازش تصویر همچون بارزسازی لبه‌ها با استفاده از فیلتر Directional در تصاویر ماهواره‌ای تهیه گردید و تراکم آنها در محیط نرم‌افزار GIS تعیین شد و به منظور نرمال‌سازی تراکم گسل‌های منطقه، وزنی معادل (جدول ۲) به آن اعمال شد. (شکل ۶) تراکم گسل‌های منطقه و ارزش تعلق گرفته به آنرا نشان می‌دهد. همچنین به منظور تهیه لایه سازندهای منطقه کمستان از نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه و همچنین از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat استفاده گردید (شکل ۷). سپس به هر یک از سازندهای موجود، بر اساس نظر کارشناسی وزنی اعمال گردید که در (جدول ۲) نحوه وزن‌دهی به سازندهای مختلف نشان داده شده است. شیب منطقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تولید شده از نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری (DGN) با اندازه پیکسل ۲۰×۲۰ متر در کلاس‌های مختلف ایجاد گردید (شکل ۸). مناطق با شیب کم دارای بیشترین ارزش و مناطق با شیب زیاد کمترین ارزش را دارند. درصد شیب به همراه ارزش آن در جدول (۲) آورده شده است.



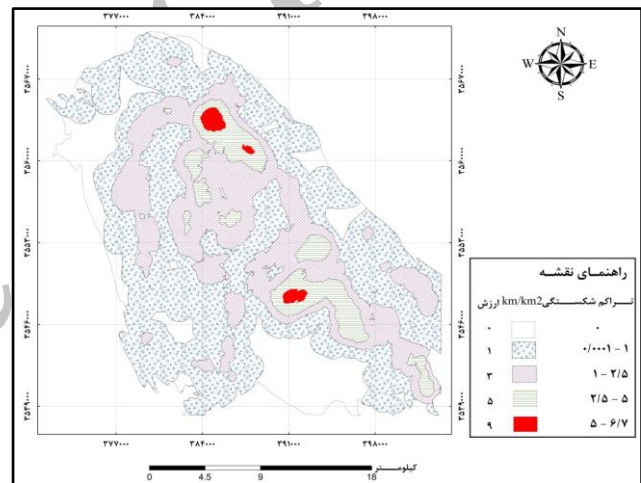
شکل ۵. نقشه پوشش زمین منطقه مورد مطالعه



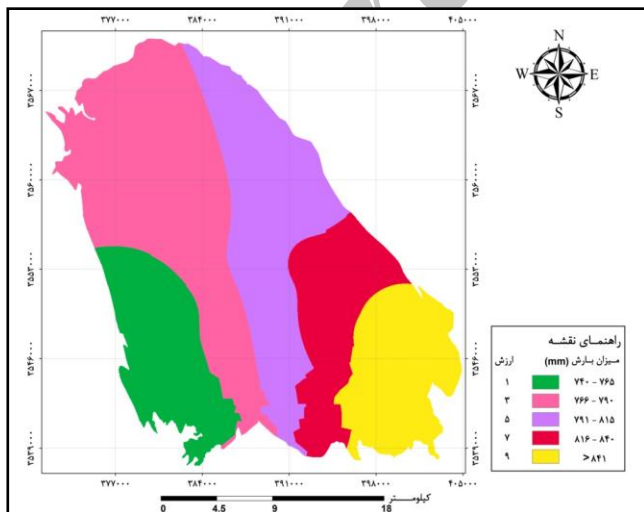
شکل ۴. نقشه خاک منطقه مورد مطالعه



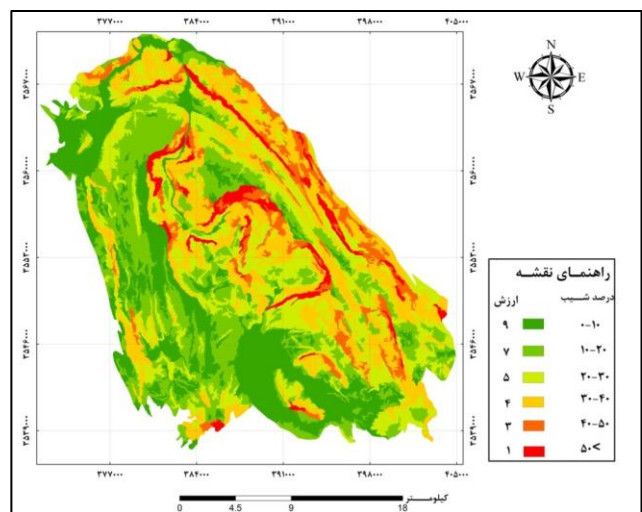
شکل ۷. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه



شکل ۶. نقشه تراکم گسل منطقه مورد مطالعه



شکل ۹. نقشه بارش منطقه مورد مطالعه



شکل ۸. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

جدول ۲. ارزش تعلق گرفته به کلاسهای هر لایه

لايه	ارزش	لايه	ارزش	
	درصد شیب		عارضه	
شیب	۰ - ۲	۹	قله	
	۲ - ۵	۷	دامنه	
	۵ - ۸	۷	اینسلیبرگ	
	۸ - ۱۲	۵	دشت	
	۱۲ - ۳۰	۵	دره	
	۳۰ - ۶۰	۳	تراکم شکستگی ها و گسل ها (km ² /km ²)	
	>۶۰	۳		
	نوع خاک	تراکم گسل	۰/۰۰۱ - ۱	
خاک	نفوذپذیری ناچیز (دانه ریز، عمیق)		۱	
	نفوذپذیری کم (دانه ریز، نسبتاً عمیق)		۳	
	نفوذپذیری متوسط (دانه متوسط، کم عمق)		۵	
	نفوذپذیری زیاد (دانه درشت، کم عمق)	۷		
	نوع پوشش		سازند	
پوشش زمین	بستر رودخانه	۲	رسوبات جدید	
	بیشه زار و درختچه زار	۱	آبرفت	
	جنگل انبوه	۹	آسماری شهپازان لغزشی	
	جنگل نیمه انبوه	۶	آسماری شهپازان	
	جنگل تنک	۵	تله زنگ	
	مراعات کم تراکم	۳	پابده	
	مراعات متراکم	۴	پابده - گورپی	
	مراعات نیمه متراکم	۳	گورپی	
	سطوح آبی	۱	ایلام - سروک لغزشی	
	زراعت آبی و باغات	۲	ایلام - سروک	
	زراعت دیم	۱	کژدمی	
		میزان بارش (mm)	داریان	۵
	بارش	۷۴۰ - ۷۶۵	۱	
۷۶۶ - ۷۹۰		۳		
۷۹۱ - ۸۱۵		۵		
۸۱۶ - ۸۴۰		۷		
>۸۴۱		۹		

نسبت به یکدیگر، وزن دهی صورت گرفته شده و از متوسط مقایسات برای بدست آوردن وزن لایهها استفاده شد و نهایتاً وزن لایهها تهیه گردید (جدول ۳). سپس وزن مربوط به هر لایه مشخص گردید و در لایه مربوطه اعمال شد (جدول ۴). این لایههای وزن داده شده با یکدیگر تلفیق گردید تا مناطق با پتانسیل مناسب جهت آب زیرزمینی تعیین گردد. (شکل ۱۰) نقشه پتانسیل آب زیرزمینی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

وزن دهی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

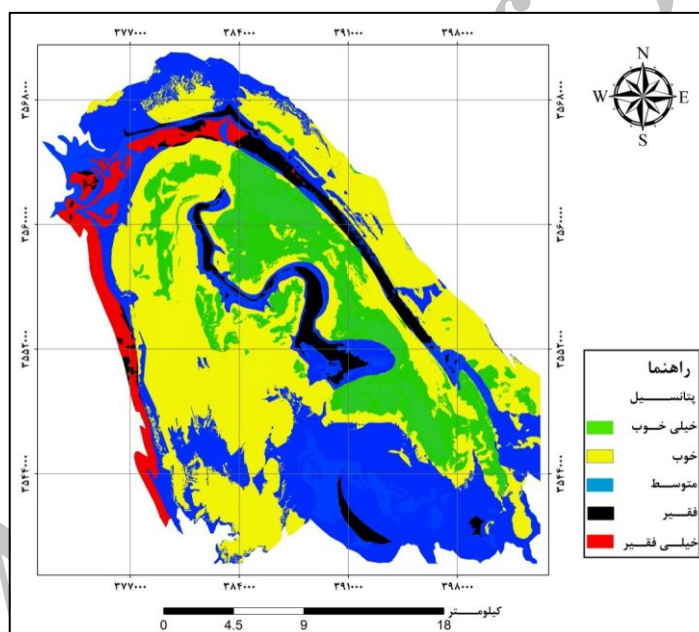
همانگونه که اشاره گردید در این تحقیق به منظور پتانسیل یابی آب زیرزمینی در منطقه تاقدیس کمستان از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. بدین منظور پس از تهیه و وزن دهی (نرمال سازی) لایه‌های اطلاعاتی (لایه-های مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی) اقدام به وزن دهی بین لایه‌ای به این لایهها گردید. مقایسه لایهها با یکدیگر توسط چندین کارشنای انجام شده است. در واقع لایهها توسط کارشناسان با یکدیگر مقایسه گردیدند و با توجه به ارجحیت لایه

جدول ۳. ماتریس مقایسه عوامل مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی به روش AHP

	بارش	شیب	نوع خاک	ژئومورفولوژی	تراکم شکستگی	پوشش زمین	زمین شناسی
بارش	۱	۷	۲	۴	۳	۵	۱۵
شیب	۱/۱۴	۱	۱/۵۰	۱/۳۳	۱/۱۳	۱/۲۰	۱/۱۴
نوع خاک	۱/۵	۲	۱	۱/۲۰	۱/۱۳	۱	۱/۳۳
ژئومورفولوژی	۱/۲۵	۳	۵	۱	۱/۵	۱	۱/۵۰
تراکم گسل	۱/۳۳	۸	۸	۲	۱	۵	۱/۳۳
پوشش زمین	۱/۵	۵	۱	۱	۱/۲۰	۱	۱/۲
زمین شناسی	۲	۷	۳	۲	۳	۵	۱

جدول ۴. وزن اعمال شده به عوامل مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی به روش AHP

لایه	بارش	زمین شناسی	پوشش زمین	تراکم شکستگی	ژئومورفولوژی	نوع خاک	شیب
ارزش	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۲



شکل ۱۰. نقشه پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

۳. محاسبه لاندا (λ) و شاخص توافق: لاندا (λ) میانگین مقادیر بردار توافق است.

λ بدست آمده ۶,۵۴ می باشد

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

رابطه (۲)

در این فرمول n تعداد معیارهای تحت بررسی است. شاخص توافق حاصله برابر

۰,۱۱ می باشد

۴. محاسبه نسبت توافق (CR)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

رابطه (۳)

تعیین سازگاری مقایسه‌های انجام شده در روش AHP

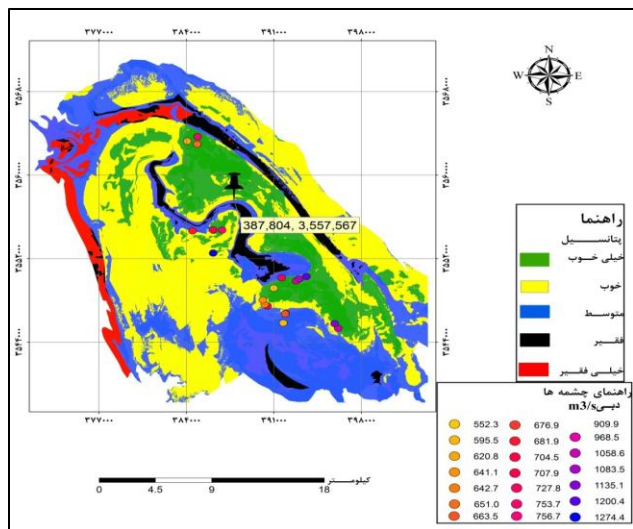
برای بررسی اینکه مقایسه‌های انجام شده در فرایند سلسله مراتبی صحیح بوده است یا نه از نسبت توافق استفاده می‌کنیم، محاسبه شاخص توافق (CI) توسط چند مرحله انجام می‌شود:

۱. تعیین بردار مجموع وزنی بوسیله ضرب کردن اولین معیار در اولین ستون ماتریس مقایسه دوتایی اصلی، سپس ضرب نمودن دومین معیار در دومین ستون و به همین ترتیب تا آخرین معیار و سرانجام جمع نمودن این مقادیر در سطرها.

۲. تعیین بردار توافق به وسیله تقسیم بردار مجموع وزنی بر وزنهای معیار که قبلاً تعیین شده است.

شرایط بسیار مناسبی را جهت ذخیره و حرکت آب فراهم آورده و نقش تعیین کننده ای در توسعه کارست در تاقدیس کمستان داشته است.

شکل ۱۱. نقشه موقعیت چشمه‌ها در مناطق پتانسیل یابی شده



جدول شماره ۶. مساحت مناطق با پتانسیل‌های مختلف آب زیرزمینی

پتانسیل	مساحت (km ²)	درصد
پتانسیل بالا	۱۱۳/۴۳	۱۷/۹
خوب	۲۴۲/۹۹	۳۷/۹
متوسط	۲۲۲/۷	۳۴/۷
فقیر	۳۳/۶	۵/۱
خیلی فقیر	۲۸/۵	۴/۴

RI شاخص تصادفی است و به تعداد معیارهای بررسی دارد، این شاخص برای تعداد ۷ معیار برابر ۱/۳۲ می‌باشد. نسبت توافق بصورتی طراحی می‌شود که اگر $CR > 0.1$ باشد نشانگر قضاوت‌های نادرست است و اگر $CR \leq 0.1$ باشد سطح قابل قبول توافق را در مقایسه‌های دوتایی نشان می‌دهد. نسبت توافق برای وزنهای داده شده در این مطالعه ۰/۰۹ می‌باشد که نشان دهنده سازگاری مقایسه‌ها می‌باشد. (جدول ۵)

جدول ۵. شاخص ناسازگاری ماتریسهای تصادفی (قدسی پور، ۱۳۸۷)

تعداد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

ارزیابی دقت

برای ارزیابی دقت از موقعیت و دبی چشمه‌های موجود در منطقه استفاده گردید و موقعیت آنها به محیط نرم‌افزار GIS اضافه و با پتانسیل برآورد شده مقایسه شد. همانطور که در (شکل ۱۱) مشاهده می‌شود اکثر چشمه‌های دارای دبی زیاد در مناطق با پتانسیل بالا وجود دارند، هر چند برخی از آنها نیز در سایر مناطق هستند که این امر می‌تواند به این علت باشد که در آن مناطق شیب بالا بوده و ممکن است جهت لایه‌های خاک در زیر زمین و امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها به گونه‌ای بوده باشد که سبب رخنمون آب در آن مناطق شده باشند در حالی که منبع تغذیه آنها در مناطق بالاتر و با پتانسیل خیلی خوب باشد، به عنوان مثال چشمه‌ای که علامت‌گذاری شده است منبع تغذیه‌اش در آهک ایلام سروک است ولی رخنمون آن در پایین دست منطقه و در محدوده دره و سازند داریان می‌باشد. (جدول ۶) مساحت هر یک از کلاس‌های نقشه پتانسیل آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.

نتیجه گیری

با توجه به قابلیت‌های بالای نرم‌افزار Arc GIS در زمینه مسائل مکانی و جغرافیایی با استفاده از وارد کردن داده‌های مؤثر در تشکیل، توسعه و شواهد آب-های زیرزمینی از سایر منابع مانند نقشه‌های موضوعی، برداشتهای زمینی و یا خروجی‌های سایر نرم‌افزارها مانند ENVI به محیط GIS و تجزیه و تحلیل آنها می‌توان مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی را با دقت قابل قبول تعیین کرد و بدین وسیله بازدهی‌های میدانی برای حفر چاه‌ها و یا سایر استفاده‌های آب زیرزمینی را به این مناطق محدود نمود و در نتیجه در صرف هزینه‌ها و زمان صرفه‌جویی کرد. بر اساس نقشه‌ها و نتایج حاصل، مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی در محدوده میانی تاقدیس کمستان وجود دارند. همان‌طور که در (جدول ۶) توضیح داده شده، حدود ۵۰٪ از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل خیلی خوب و خوب از نظر آب‌زیرزمینی می‌باشد که عمدتاً در گستره‌های آهکی سازند آسماری و ایلام- سروک واقع شده است. تنها ۸٪ منطقه که در گستره لایه‌های مارنی پابده، گورپی و کژدمی قرار دارد دارای پتانسیل خیلی فقیر و فقیر از نظر آب‌زیرزمینی می‌باشد. با توجه به اینکه بخش زیادی از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل آبی بیش از متوسط است، می‌توان نتیجه گرفت که منطقه کمستان از نظر آب‌های زیرزمینی دارای قابلیت بالایی می‌باشد. از دیدگاه زمین شناسی ساختاری عملکرد شدید نیروهای تکتونیکی در منطقه مورد مطالعه موجب گسترش گسل‌ها و سیستم درزه و شکستگی‌ها در لایه‌های آهکی شده و

منابع

- آبشیرینی، ا.، رنگزن، ک.، خورشیدی، س.، ۱۳۸۷، پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش همپوشانی شاخص در محیط GIS (مطالعه موردی در محدوده تاقدیس پابده)، ژئوماتیک ۱۳۸۷.
- اصغری مقدم، م.، ۱۳۸۶، مبانی ژئومورفولوژی، انتشارات سرا، ص ۱۴ و ۷۸.
- چیت سازان، م.، کشکولی، ح.، ۱۳۸۱، (ترجمه)، مدلسازی آبهای زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی، تالیف نون کرسیک، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۳۶.
- قدسی پور، س. ح.، ۱۳۸۷، فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP؛ انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ص ۷۳.
- کوره پزاندزفولی، ا.، ۱۳۸۷، اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربرد آن در مدل‌سازی مسایل مهندسی آب، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ص ۲۰۹.
- محمودیان شوشتری، م.، ۱۳۸۹، هیدرولیک آبهای زیرزمینی، انتشارات دانشگاه شهید چمران، ص ۱.
- مظاهری، م. ر.، محمودآبادی، م.، فریور، م. ه.، فکری، م.، ۱۳۸۸، بررسی نقش برخی از خصوصیات خاک بر شدت نفوذ آب در شرایط صحرایی، ژئوماتیک ۱۳۸۸.
- موسوی، س. ف.، چیت سازان، م.، میرزایی، ی.، شبان، م.، محمدی بهزاد، ح. ر.، ۱۳۸۸، تلفیق سنجش از دور و GIS به منظور پتانسیل یابی مناطق مناسب جهت تغذیه آب زیرزمینی، ژئوماتیک ۱۳۸۸.
- مهندسین مشاور بهکار آب اهواز؛ ۱۳۸۵؛ مطالعات زمین شناسی تاقدیس کمستان.
- Awawdeh. M. M., Al-Mohammed. M., 2009, Integrated GIS and remote sensing for mapping groundwater potential zones in Tulu al Ashaqif Highlands, NE Jordan, International Symposium Geotunis 2009, 16 -20 December.
- Dar. A. I., Sankar. K., Dar. A. M., 2010, Remote sensing technology and geographic information system modeling: An integrated approach towards the mapping of groundwater potential zones in Hardrock terrain, Mamundiyyar basin, Journal of Hydrology, 394, p:286-295.
- Joven. P. A., Yamaguchi. S., Takada. J., 2010, Use of GIS for Groundwater Development Potential: Characterization of Agusan del Norte, Philippines, Tokyo Institute of Technology, JASID 11th Spring Conference June 5, 2010.
- Malczewski. J., 1999, GIS and Multicriteria Decision Analysis: Evaluation Criteria and Criterion Weighting, John Wiley & Sons, Inc, 392 pp.
- Nagarajan. M., Singh. S., 2009, Assessment of Groundwater Potential Zones using GIS Technique, J. Indian Soc. Remote Sens., 37, p: 69-77.
- Oh. H. J., Kim. Y. S., Choi. J. K., Park. E., Lee. S., 2011, GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea, Journal of Hydrology, 399, p:158-172.
- Prasad. R. K., Mondal. N. C., Banerjee. P., Nandakumar. M. V., Singh. V. S., 2008, Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. Environ Geol. 55, pp: 467-475.
- Rahman. A., 2008, A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India, Applied Geography, 28, p:32-53.
- Rangzan. K., Charchi. A., Abshirini. E., Dinger. J., 2008, Remote Sensing and GIS Approach for Water-Well Site Selection, Southwest Iran. Environmental & Engineering Geoscience, November 2008; Vol.14, No. 4, p:315-326.
- Rao. P. J., Harikrishna. P., Srivastav. S.K., Satyanarayana. P.V.V., Rao. B. V. D., 2009, Selection of groundwater potential zones in and around Madhurawada Dome, Visakhapatnam District - A GIS approach. J. Ind. Geophys. Union, Vol:13, No:4, p:191-200.
- Saha. D., Dhar. Y. R., Vittala. S. S., 2010, Delineation of groundwater development potential zones in parts of marginal Ganga Alluvial Plain in South Bihar, Eastern India. Environ Monit Assess, 165, p:179-191.
- Stöcklin, J., 1968, Structural history and tectonics of Iran: a review: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 52, p: 1229-1258.