

## پتانسیل یابی منابع آب کارستی با استفاده از RS، GIS و AHP (مطالعه موردی: تاقدیس‌های لیلی و کی‌نو در شمال شرق خوزستان)

سجاد پوراکیبری<sup>۱\*</sup>، نصرالله کلانتری<sup>۲</sup>، آرش مصلح<sup>۳</sup>، یاسر عقدکی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸-۰۱-۲۸ صص: ۹۹-۱۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹-۰۴-۱۵

### چکیده

کشف منابع آب زیرزمینی به عنوان یکی از راههای تامین آب شرب در جهان با توجه به نیاز روز افزون جهانیان به آب، امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. هدف از این مطالعه بررسی پتانسیل منابع آب کارستی تاقدیس‌های لیلی و کی‌نو در شمال شرق خوزستان می‌باشد. بدین منظور پارامترهای مؤثر در پتانسیل منابع آب کارستی شامل بارش، تراکم خطواره، فاصله از خطواره، شیب، تراکم آبراهه، لیتولوژی، پوشش گیاهی و دما شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. با استفاده از نظر گروه کارشناسان خبره و به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن لایه‌های مؤثر در پتانسیل منابع آب کارستی محاسبه شد: بارش (۰/۳۳۱)، تراکم خطواره (۰/۲۵۱)، فاصله از خطواره (۰/۱۵۱)، شیب (۰/۰۹۸)، تراکم آبراهه (۰/۰۶۴)، لیتولوژی (۰/۰۴۷)، پوشش گیاهی (۰/۰۲۹)، دما (۰/۰۲۴) و در پایان نقشه پتانسیل منابع آب کارستی با تلفیق لایه‌های مربوطه با روش همپوشانی در محیط نرم افزار ArcGIS و استفاده از ماژول Raster Calculator استخراج گردید. بر این اساس منطقه مورد مطالعه به ۵ گروه با پتانسیل بسیار زیاد، زیاد، متوسط، پایین و بسیار پایین طبقه‌بندی شده است. نتایج نشان می‌دهد که بخش مرکزی تاقدیس از بیشترین پتانسیل برخوردار است. از طرف دیگر دماغه شمال غربی (سازند گرو) دارای کمترین پتانسیل می‌باشد. چشمه‌ها و دولین‌های موجود، در محدوده با پتانسیل بالا قرار گرفته‌اند.

**کلمات کلیدی:** تاقدیس‌های لیلی و کی‌نو، پتانسیل یابی، AHP، RS، GIS.

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، شرکت آب منطقه ای استان کهگیلویه و بویراحمد

<sup>۲</sup> استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۳</sup> معاونت برنامه ریزی و بهبود مدیریت، شرکت آب منطقه ای استان کهگیلویه و بویر احمد، ایران

<sup>۴</sup> کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، شرکت آب منطقه ای استان اصفهان

\* نویسنده مسئول مقاله: sajadakbari66@gmail.com

## مقدمه

واژه کارست به مجموعه‌ای از فرآیندهای زمین-شناسی اطلاق می‌شود که عمدتاً شامل پدیده‌های حاصل از انحلال سنگ‌هاست و با باززدگی، تخریب و تجزیه ساختمان سنگ‌ها، ایجاد نوع ویژه‌ای از رژیم جریان آب، و نوع خاص توپوگرافی و بالاخره رژیم خاص شبکه زهکشی آشکار می‌گردد (میلانوویچ، ۱۹۸۱). عوامل متعددی در پدیده کارستی شدن و ایجاد منابع آب در سازندهای کربناته حائز اهمیت می‌باشند، که از مهمترین این عوامل می‌توان به سنگ‌شناسی، ساختارهای زمین‌شناسی، اقلیم، توپوگرافی و هیدرولوژی اشاره کرد. حدود ۱۲ درصد از سطح زمین پوشیده از مناطق کارستی می‌باشد. از طرف دیگر بیش از ۲۵ درصد جمعیت جهان به طور عمده آب مورد نیاز خود را از منابع کارستی تأمین می‌کنند (فورد و ویلیام، ۲۰۰۷). در ایران نیز سازندهای کارستی ۱۱ درصد از سطح کل کشور و حدود ۹۰ درصد از ارتفاعات زاگرس را به خود اختصاص می‌دهند (افراسیابیان، ۱۳۷۷). بنابراین شناسایی سیمای کارستی و بررسی عوامل مؤثر در کارستی شدن نقش قابل توجهی در فراهم کردن آب و نگهداری از این منابع برای نیازهای آینده ایفا می‌کند (مختاری و همکاران، ۲۰۱۲).

برای شناسایی منابع آب زیرزمینی در سازندهای کارستی، مشکلات زیادی همچون کمبود اطلاعات در دسترس و هزینه‌ی زیاد جمع‌آوری اطلاعات (تکنیک‌های سطحی و زیر سطحی) وجود دارد. در این شرایط، تکنیک‌های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌توانند ابزارهای کارآمد و مناسبی برای مطالعات مربوط به منابع آب زیرزمینی مذکور محسوب شوند (مور، ۱۹۸۲). داده‌های ماهواره‌ای، اطلاعات پایه‌ای را به شکل سریع و مفید در مورد فاکتورهای متعددی همچون ژئومورفولوژی، شیب، کاربری اراضی، الگوی آبراهه‌ها، خطواره و... که به طور مستقیم یا غیرمستقیم کنترل-کننده‌ی پیدایش و جریان آب زیرزمینی هستند، در اختیار ما قرار می‌دهد (ج‌ها و همکاران، ۲۰۰۷، ۲۰۱۰). علاوه بر این، GIS چارچوب بسیار مفیدی را جهت بررسی اطلاعات مکانی بزرگ و پیچیده به منظور مدیریت منابع طبیعی فراهم می‌کند (چینی و همکاران، ۲۰۱۰، ج‌ها و همکاران، ۲۰۰۶ و مادروچی و همکاران، ۲۰۰۸).

بررسی مطالعات اخیر نشان می‌دهد که روشی با استاندارد کامل برای پتانسیل‌یابی منابع آب به کمک تکنیک‌های RS و GIS وجود ندارد (ماچیوال و همکاران، ۲۰۱۰). در سال‌های اخیر بسیاری از محققان دریافته‌اند که تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) با اضافه کردن ساختار، قابلیت رسیدگی، شفافیت و دقت به تصمیم‌گیری ابزاری کارآمد برای مدیریت آب فراهم می‌کند (دانینگ و همکاران، ۲۰۰۰، فلوگ و همکاران، ۲۰۰۰ و جوهرت و همکاران، ۲۰۰۳). فرآیند سلسله مراتب تحلیلی (AHP<sup>۱</sup>) یکی از روشهای MCDM می‌باشد که به طور گسترده‌ای در زمینه‌ی مهندسی منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش اولین بار توسط توماس ال. ساعتی در سال ۱۹۸۰ ارائه گردید (ساعتی، ۱۹۸۰). از آن زمان این روش کاربرد گسترده‌ای در منابع طبیعی و مدیریت زیست‌محیطی و منابع آب پیدا کرده است (ادیات و همکاران، ۲۰۱۲، چن و همکاران، ۲۰۰۱، چودهاری و همکاران، ۲۰۰۹، ج‌ها و همکاران، ۲۰۱۰، کالت و همکاران، ۲۰۰۶، ماچیوال و همکاران، ۲۰۱۰، میندوزا و همکاران، ۲۰۰۶، پیریرا و همکاران، ۱۹۹۳، درمالوواسان، ۲۰۰۳). فرآیند AHP گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد، همچنین این روش بر مبنای مقایسه‌ی زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت را آسان می‌کند. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این روش در تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد (قدسی پور، ۱۳۹۰). تعیین مناطق توسعه یافته کارستی نیز یک تصمیم‌گیری چند معیاره است و در آن معیارهایی چون شیب توپوگرافی، لیتولوژی، چگالی شکستگی‌ها، میزان بارش، دما و پوشش گیاهی باید مورد توجه قرار گیرد، تا براساس آن‌ها بتوان مناطق توسعه یافته کارستی را تعیین کرد. در چنین شرایطی که معیارهای گوناگون همسو نیستند، تصمیم‌گیری باید در یک فضای چندبعدی صورت پذیرد.

رحیمی و موسوی (۱۳۹۲) به پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش AHP و نرم افزار GIS در حوضه ی آبخیز شاهرود-بسطام پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده پهنه های مستعد برای استخراج منابع آب زیرزمینی بیشتر بر رسوب های درشت دانه ی دوران چهارم و

<sup>1</sup> Analytic Hierarchy Process

خوب و خیلی خوب از نظر آب زیرزمینی دارد؛ دومینگوس و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از سنجش از دور، سامانه ی اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی به پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی حوضه ی کومورو واقع در تیمور شرقی پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده، دشت آبرفتی واقع در شمال غرب منطقه از پتانسیل بالایی برخوردار بوده است. هدف از این تحقیق بررسی پتانسیل منابع آب کارستی تاقدیس های لیلی- کی نو با تلفیقی از روش های GIS، RS و AHP می باشد. با توجه به اینکه تاکنون مطالعاتی در مورد پتانسیل منابع آب تاقدیس های لیلی- کی نو صورت نگرفته و از این منظر کار نوینی محسوب می شود و همچنین تامین آب آشامیدنی پایدار در منطقه شمال شرق خوزستان امری ضرورت است، نتایج به دست آمده از این تحقیق در مدیریت منابع آبی منطقه اهمیت شایان توجهی خواهد داشت.

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (تاقدیس های لیلی وکی نو) در شمال شرق خوزستان و در حد فاصل طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۳ دقیقه ی شمالی تا طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۴ دقیقه ی شرقی و ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه ی شمالی واقع شده است. این محدوده از لحاظ آب وهوایی غالباً تحت تأثیر جریانات مدیترانه ای و مرکز پر فشار جنب حاره قرار دارد و بر اساس اقلیم نمای دومارتن محدوده مورد مطالعه جزء مناطق نیمه مرطوب تا مرطوب است و متوسط بارش سالانه در آن به حدود ۹۰۰ میلی متر در سال می رسد. از لحاظ زمین شناسی تاقدیس های لیلی و کی نو در بخش شمال غربی پهنه ایذه و شرق فروافتادگی دزفول در زون زمین ساختی زاگرس چین خورده واقع شده است. سازندهای موجود در این محدوده از قدیم به جدید شامل آهک های بسیار رسی گرو (کرتاسه) ، آهک ایلام-سروک (کرتاسه فوقانی)، رسوبات شیلی- مارنی و آهک مارنی سازندهای پابده و گورپی (کرتاسه فوقانی- پالئوسن) می باشد. تاقدیس لیلی نامتقارن و با لولاهای چندگانه می باشد که هم در عرض و هم در طول از کوهان هایی متصل تشکیل شده است. اثر محوری این چین مستقیم نبوده و در هر دو دماغه دارای پلانژ می باشد. از طرف دیگر بالآمدگی این تاقدیس در نواحی شمال غربی نسبت به

مخروطه های افکنه و پهنه های با پتانسیل پایین بر ارتفاعات و مناطق آهک رسی منطبق بود؛ مفیدی فر و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش تصمیم گیری تحلیل سلسله مراتبی، منابع آب زیرزمینی در حوضه ی یزد- اردکان را پتانسیل یابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان دادند که حدود ۷۰ درصد از مساحت منطقه ی مطالعه شده دارای پتانسیل خوب و خیلی خوب از نظر آب زیرزمینی است؛ فتحی زاد و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به پتانسیل یابی آبهای زیرزمینی در حوضه ی مهدی شهر پرداختند. در این تحقیق که از لایه های اطلاعاتی سنگ شناسی، خطواره ها، شیب، پستی و بلندی، تراکم زهکشی، پوشش گیاهی و خطوط هم باران استفاده شده بود، نتایج به دست آمده نشان داد که آبرفت های دوران چهارم از اهمیت بیشتری در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی منطقه برخوردار هستند؛ رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش تحلیل شبکه به پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در حوضه ی آبریز منتهی به دشت تبریز پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش دو عامل زمین شناسی و بارش بیشترین نقش را در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی منطقه داشته و پهنه های با پتانسیل بالای آب زیرزمینی بر ارتفاعات پایین و رسوبهای دوران چهارم منطبق است؛ هیون جو و همکاران (۲۰۱۱) به پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی شهر پوهانگ کره با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند، بر اساس نتایج به دست آمده لایه ی خاک بیشترین تاثیر و ارتفاع کمترین اثر بر پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی محدوده ی مطالعه شده را داشته است؛ نگاراجان و سینگ (۲۰۰۹) ، برای پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی منطقه ی تامیل نادو هندوستان از تلفیق لایه های اطلاعاتی عکسهای هوایی، نقشه های زمین شناسی، زمین ریخت شناسی، آبشناسی ، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و نقشه ی شبکه زهکشی به روش هم پوشانی در محیط GIS استفاده کردند و منطقه را به سه ناحیه ی خوب، متوسط و فقیر از نظر پتانسیل آب زیرزمینی تقسیم کردند؛ ایتیشری و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی با استفاده از تحلیل شبکه های، آب زیرزمینی در منطقه ی یونائو هندوستان را پتانسیل یابی کردند. نتایج این تحقیق نشان دادند که حدود ۱۵ درصد از مساحت منطقه، پتانسیل

در آن محفور نشده و پتانسیل منابع آب آن ناشناخته است. از این رو روش‌های نظیر سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به عنوان سریع‌ترین و کم هزینه‌ترین وسیله برای شناسایی عوامل مذکور می‌تواند بسیار سودمند باشد.

## مواد و روش‌ها

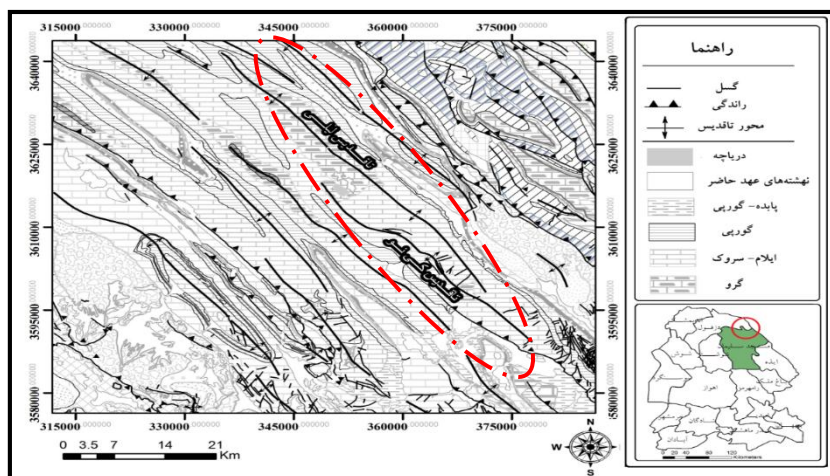
### آماده کردن لایه‌های مورد نیاز

پس از تعیین مختصات نقشه زمین‌شناسی توسط نرم‌افزار ARC GIS10 لایه‌های مورد نیاز به شرح زیر آماده شد:

۱. تهیه لایه اطلاعاتی شیب و تراکم آبراهه از نقشه رقومی ارتفاعی (DEM)
۲. تهیه لایه اطلاعاتی تراکم آبراهه با استفاده از نقشه شبکه آبراهه منطقه با فرمت DGN
۳. تهیه لایه اطلاعاتی اقلیمی شامل نقشه هم‌باران و هم‌دما از طریق برقراری روابط خطی بین اطلاعات هواشناسی و نقشه رقومی ارتفاعی (DEM)
۴. تهیه لایه اطلاعاتی لیتولوژی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و شرکت ملی نفت ایران
۵. برداشت خطواره‌ها به کمک تصاویر ماهواره‌ای ETM سنجنده لندست ۲۰۰۰ و گوگل ارث و تهیه لایه‌های اطلاعاتی تراکم خطواره و فاصله از خطواره
۶. تهیه لایه تراکم پوشش گیاهی از نقشه پوشش گیاهی ۱/۲۵۰۰۰۰ استان خوزستان

نواحی مرکزی و جنوب شرقی آن بیشتر است، بطوریکه در آن ناحیه قدیمترین رخنمون مربوط به سازند گرو می‌باشد در حالیکه در ناحیه جنوب شرقی عمیق‌ترین رخنمون متعلق به سازندهای آهکی ایلام- سروک است (مطیعی، ۱۳۷۴). تاقدیس کی‌نو با یک وضعیت ساختمانی منحصر به فرد و طول محور حدود ۴۰ کیلومتر با روند محوری شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد. این تاقدیس نسبت به سایر تاقدیس‌های محدوده مطالعاتی از خود چرخش‌های متعددی نشان می‌دهد. دماغه جنوب شرقی و تماماً یال شمالی این تاقدیس با دماغه جنوب شرقی و یال جنوبی تاقدیس لیلی با هم ادغام<sup>۱</sup> شده‌اند و دارای آرایش نردبانی<sup>۲</sup> می‌باشد. راندگی مفارون در امتداد یال جنوبی تاقدیس کی‌نو، باعث تغییر ناگهانی در شیب لایه‌ها و برگشتگی آنها در بعضی نواحی شده است. از طرف دیگر حضور گسل‌های طولی و عرضی متعدد ناشی از عملکرد زون برشی ایده نیز به نوبه خود موجب ایجاد خرد شدگی‌ها و شکستگی‌های فراوان در آهک‌های ایلام- سروک در یال مذکور شده و شرایط مساعدی را برای تشکیل آبخوان‌های کارستی در این ناحیه بوجود آورده است (محمدی بهزاد، ۱۳۹۰). ظهور چشمه پرآب تنگ سرد و کدی با متوسط آبدهی به ترتیب ۱/۲ و ۰/۵۱ متر مکعب بر ثانیه در سال آبی ۹۵-۹۶ و شکل‌گیری دولین‌ها و شافت‌های متعدد در این محدوده مؤید همین مسئله است.

از دیدگاه مدیریت منابع آب با توجه به بکر بودن منطقه مورد مطالعه برداشت پایداری از منابع آبی صورت نمی‌گیرد، هیچ گونه چاهی (اکتشافی، بهره برداری و...)



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

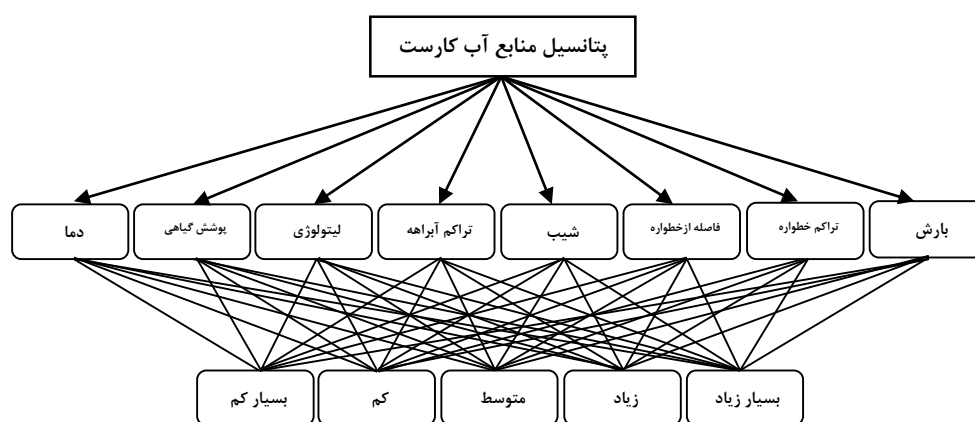
<sup>2</sup> En echelon

<sup>1</sup> Elide

## وزن دهی و نرمالیزه کردن وزن لایه‌ها

در این تحقیق به منظور بررسی پتانسیل منابع آب کارستی در تقادیس‌های لیلی وکی‌نو، از اطلاعات موجود که به‌عنوان معیار در روش AHP در نظر گرفته می‌شوند، استفاده شد. روش AHP در نرم افزار Expert Choice قابل اجراست. در این نرم افزار هدف به عنوان اصلی‌ترین شاخه سلسله مراتبی و معیارها به عنوان زیر شاخه های هدف می‌باشند. معیارهای اصلی مؤثر بر هدف به صورت زیرشاخه هدف در نمودار درختی وارد می‌شود (شکل ۲). در صورت نیاز می‌توان برای هر زیر معیار چند زیر معیار

دیگر نیز تعریف کرد. پس از تعریف معیارها و زیرمعیارهای مربوطه نوبت به وزن دهی آن‌ها می‌رسد که این عمل را به چندین شکل از جمله مقایسه زوجی عددی، گرافیکی و محاوره ای می‌توان در نرم افزار انجام داد (مورانو، ۲۰۰۵). در این تحقیق از روش مقایسه زوجی عددی برای امر وزن دهی بین معیارها استفاده شده است. در اینگونه مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های کارشناسی استفاده می‌کنند، به گونه‌ای که اگر عنصر  $i$  با عنصر  $j$  مقایسه شود تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت  $i$  بر  $j$  یکی از حالات جدول ۱ می‌باشد (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹).



شکل ۲- ساختار سلسله مراتبی جهت بررسی پتانسیل منابع آب کارستی

جدول ۱- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی (قدسی پور، ۱۳۹۰)

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت کارشناسی)	ترجیحات
۹	(Extremely preferred)	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	(Very strongly preferred)	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	(Strongly preferred)	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	(Moderately preferred)	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۱	(Equally preferred)	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲،۴،۶،۸		ترجیحات بین فواصل فوق

سازگاری از طریق محاسبه شاخص سازگاری ( $CI$ )<sup>۱</sup> و معادله زیر حاصل می‌شود:

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

در این معادله  $\lambda_{max}$  عنصر بردار ویژه و  $n$  تعداد معیارهاست. عنصر بردار ویژه از معادله ۲ بدست می‌آید:

$$\lambda_{max} = \frac{\text{وزن معیار} / \text{سطر ماتریس ارزش گذاری} * \text{ستون وزن ها}}{\quad} \quad (2)$$

$\lambda_{max}$  باید به تعداد معیارها و برای همه‌ی آن‌ها محاسبه شده و سپس از مجموع آن‌ها در معادله ۱،  $CI$

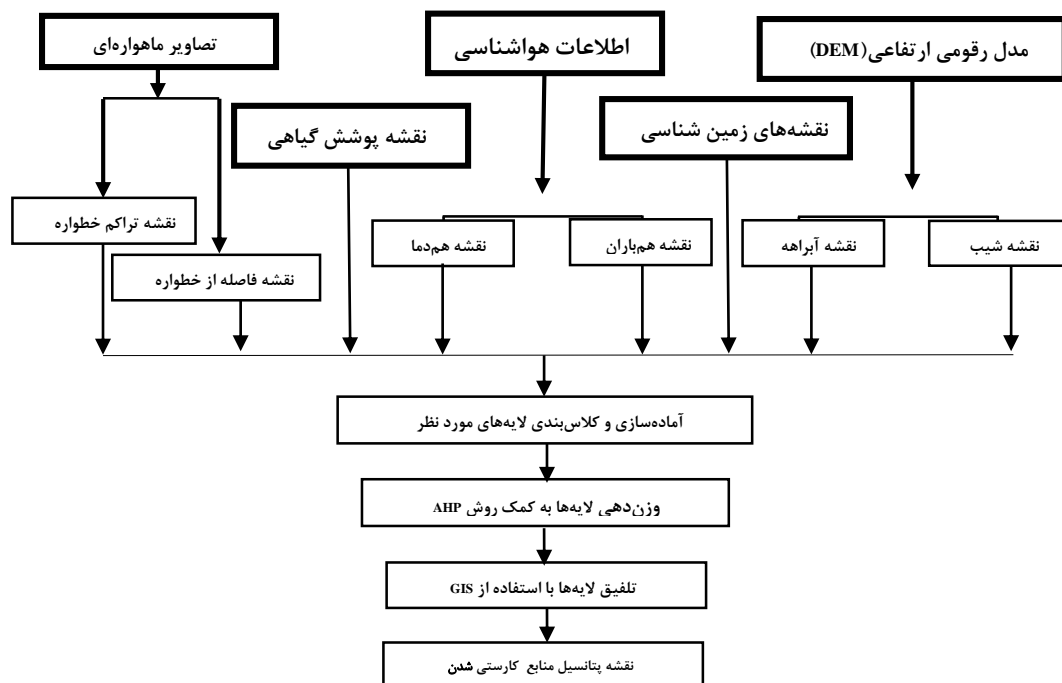
در حین مقایسه زوجی برای هر مجموعه، شاخص ناسازگاری تصمیم توسط نرم افزار به‌دست می‌آید. نرخ سازگاری در روش AHP شاخصی است که سازگاری مقایسه‌ها را نشان می‌دهد. این نرخ گویای درجه صحت و دقت ارزش گذاری‌ها در مقایسات زوجی است، به‌طوری‌که اگر نرخ مذکور برابر و کمتر از ۰/۱ باشد می‌توان ارزش گذاری‌ها و مقایسات را خوب و صحیح دانست، در غیر این صورت ارزش گذاری و مقایسات زوجی باید دوباره انجام گرفته یا اصلاح شود (پیریرا و همکاران، ۱۹۹۳). نرخ

<sup>1</sup> Consistency Index

### بررسی پتانسیل منابع آب کارست

مراحل پتانسیل منابع آب کارستی در این مطالعه با استفاده از روش‌های AHP، RS و GIS در شکل ۳ نشان داده شده است.

حاصل می‌گردد. شاخص مورد نیاز دیگر شاخص تصادفی (RI<sup>۱</sup>) است که متناسب با تعداد معیارها از جدول ۱ بدست می‌آید و نهایتاً نرخ سازگاری از معادله ۳ محاسبه می‌شود.

$$CR = CI / RI \quad (3)$$


شکل ۳- فلوجارت مراحل تهیه نقشه پتانسیل منابع آب کارستی با استفاده از روش‌های AHP، RS و GIS

### نتایج و بحث

#### لایه بارندگی

وجود آب فاکتور اصلی اقلیمی در توسعه کارست و اصلی‌ترین متغیر در کنترل انحلال و فرسایش می‌باشد. به علت عدم وجود ایستگاه‌های هواشناسی در سرتاسر محدوده مورد مطالعه، با استفاده از ارتفاع و آمار بارندگی ۳۵ ساله (۱۳۹۶-۱۳۶۱) مربوط به ایستگاه‌های باران سنج نزدیک محدوده مطالعاتی، گرادیان بارندگی در محیط نرم-افزار Microsoft Excel 2010 به دست آمده و در مرحله بعد جهت بسط این منحنی به کل منطقه مدل رقومی ارتفاع منطقه در محیط GIS تهیه گردید. در نهایت گرادیان بارندگی حاصل بر مدل رقومی ارتفاع اعمال شد و بدین ترتیب نقشه بارندگی محدوده مطالعاتی تهیه شد (شکل ۴).

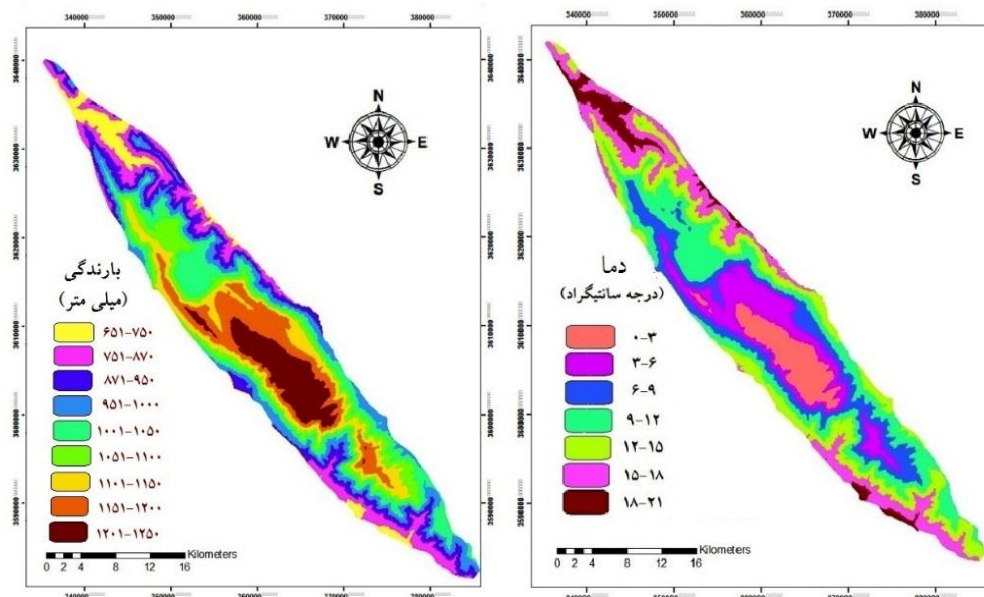
به منظور تبدیل نقشه‌های واقعی به نقشه‌های معیار، ابتدا لایه‌های وکتوری با استفاده از تابع تحلیلی ۲ به لایه-های رستری تبدیل شدند. سپس با اعمال وزن‌های محاسبه شده به لایه‌های حاصل در نرم افزار GIS و تلفیق آنها به روش همپوشانی شاخص نقشه پتانسیل منابع آب کارستی منطقه مورد تهیه گردید (شکل ۱۰).

#### صحت‌سنجی نقشه پتانسیل منابع آب کارست

پس از انجام هر مطالعه مکان‌یابی، لازم است که نتایج حاصل با توجه به واقعیات و اطلاعات موجود در منطقه، مورد بررسی قرار گرفته و صحت آنها تأیید گردد. در محیط‌های کارستی این اطلاعات می‌تواند شامل آبدهی چاه‌های بهره‌برداری و چشمه‌های موجود و همچنین پدیده‌های ژئومورفولوژیک باشد. در این مطالعه نقشه پتانسیل کارستی شدن منطقه مورد مطالعه از طریق مقایسه با چشمه‌های موجود و همچنین پدیده‌های ژئومورفولوژیکی از جمله دولین صحت‌سنجی شده است.

<sup>2</sup> Reclassification

<sup>1</sup> Random Index



شکل ۴- لایه دما و بارش

فرآیند کارستی شدن ایفا می‌کنند (دگنان و همکاران، ۲۰۰۹).

جهت برداشت خطواره‌های منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست حسگر ETM+ استفاده شده است. به همین منظور، لایه تراکم خطواره‌ها با اعمال فیلتر-های جهتی (جدول ۳) بر باندهای ۷، ۴ و ۱ تصویر ماهواره-ای لندست سنجنده (ETM+) در نرم افزار ENVI 4.7 تهیه و پس از تصحیح و حذف خطاهای موجود (امتداد جاده‌ها، مرز زمین‌های کشاورزی، خط‌الرأس کوه‌ها)، نقشه خطواره‌های منطقه تهیه گردید. در این مطالعه از نقشه حاصل دو لایه تراکم خطواره و فاصله از خطواره در محیط GIS تهیه شده است (شکل ۵). تأثیر این دو عامل با توجه به ماهیت آن‌ها کاملاً مشخص می‌باشد، به طوریکه هرچه فاصله از خطواره‌ها کمتر و تراکم خطواره‌ها بیشتر باشد احتمال کارستی شدن بالاتر خواهد بود. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده، روند اصلی خطواره‌ها در تقادیس-های لیلی-کی‌نو شمال شرق- جنوب غرب می‌باشد. این خطواره‌ها که نشان‌دهنده گسل‌ها و شکستگی‌های عرضی (عمود بر محور تقادیس) هستند نقش مهمی در ارتباط کانال‌های انحلالی ایفا می‌کنند (چرچی و همکاران، ۱۳۸۹).

## دما

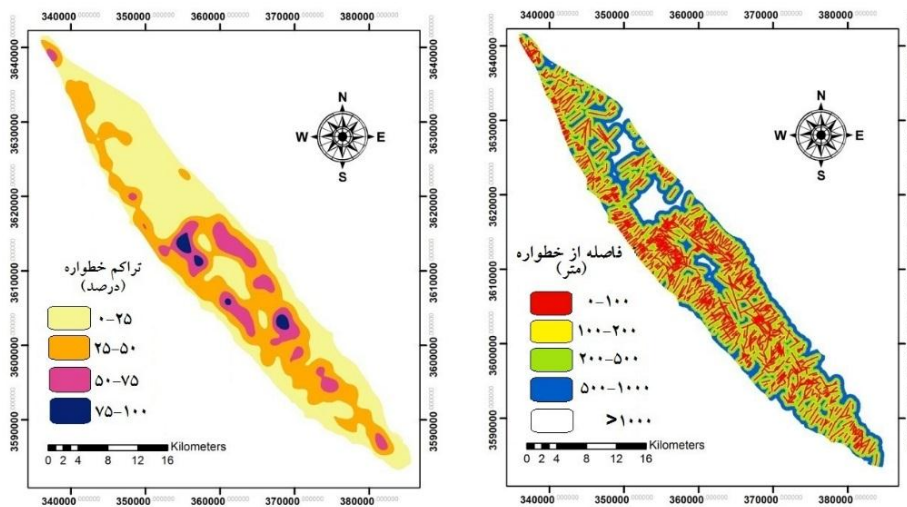
در بررسی و تجزیه و تحلیل پارامتر درجه حرارت، جهت تعیین رابطه درجه حرارت- ارتفاع محدوده مطالعاتی، از آمار درجه حرارت سال‌های آماری ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۶ مربوط به شش ایستگاه نزدیک به ناحیه مورد مطالعه استفاده شده است. نظیر بارش، در اینجا نیز از مدل رقومی ارتفاع منطقه استفاده گردید و با اعمال رابطه ارتفاع- درجه حرارت برای سال آبی ۹۶-۹۵ بر روی DEM حاصله، مدل رقومی درجه حرارت محدوده مطالعاتی در سال آبی مذکور تهیه شد (شکل ۱۱). نقش دما بیشتر در رابطه با آب مطرح است، بطوریکه هر چه دمای محیط پایین‌تر باشد، به همان میزان دمای آب نیز کاهش پیدا خواهد کرد. با کاهش دمای آب مقدار جذب دی اکسید کربن بیشتر و در نتیجه شرایط برای انحلال بیشتر فراهم خواهد شد (فورد و ویلیام، ۲۰۰۷).

## خطواره

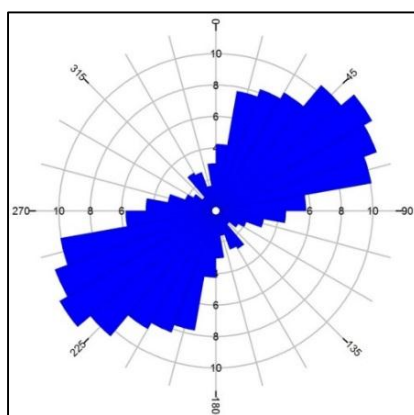
خطواره‌ها سیمای خطی طویل، باریک و نسبتاً مستقیم ناشی از تکنیک هستند که بر روی تصاویر ماهواره‌ای به‌طور کامل از اشکال پیرامون خود متمایز بوده و منعکس‌کننده اطلاعات مهمی در مورد عوارض سطحی و زیرسطحی هستند. این سیمای نشان‌دهنده نفوذپذیری ثانویه محیط‌های آهکی بوده و بنابراین نقش مؤثری در

جدول ۳- ماتریس مقایسه زوجی ساعتی برای معیارها

معیار	بارش	تراکم خطواره	ف. از خطواره	شیب	تراکم	لیتولوژی	پوشش	دما
بارش	۱	۲	۳	۵	۶	۷	۷	۸
تراکم خطواره		۱	۳	۳	۵	۶	۷	۷
ف. از خطواره			۱	۳	۳	۳	۴	۵
شیب				۱	۲	۳	۵	۵
تراکم آبراهه					۱	۲	۳	۴
لیتولوژی						۱	۳	۳
پوشش گیاهی							۱	۲
دما								۱



شکل ۵- لایه‌های تراکم خطواره و فاصله از خطواره



شکل ۶- رزداگرام خطواره‌ها

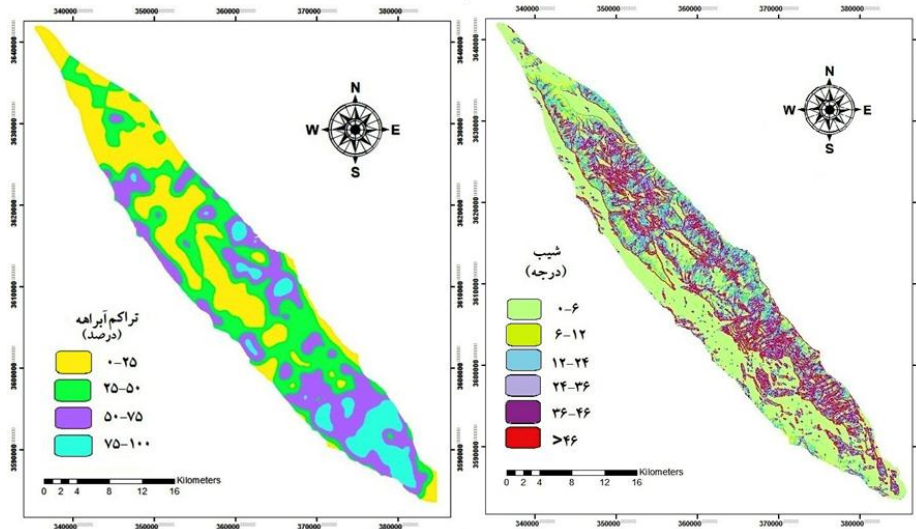
در مناطق با شیب زیاد جریان رواناب راحت‌تر صورت می‌گیرد و این امر باعث کاهش نفوذ آب باران می‌شود (مطیعی، ۱۳۷۴). نقشه شیب منطقه مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاعی ۱ و با استفاده از نرم‌افزار GIS تهیه شده است (شکل ۷).

**شیب**

شیب نقش مهمی در سرعت جریان آب ایفا می‌کند. این عامل نفوذ آب به درون زمین را کنترل می‌کند. در مناطقی که شیب ملایم است، رواناب سطحی فرصت بیشتری جهت تماس با محیط و نفوذ را دارد، در حالیکه

<sup>1</sup> DEM





شکل ۷- لایه شیب و تراکم آبراهه

از دیدگاه کارستی شدن به سه دسته تقسیم شده‌اند: الف) سازند آهکی ایلام- سروک با قابلیت بالای کارستی شدن ب) سازندهای گرو، پابده و گورپی که ناتراوا محسوب شده و فاقد قابلیت کارستی شدن می‌باشند و ج) سازند تارپور که دارای قابلیت متوسط در فرآیند کارستی شدن می‌باشد.

### پوشش گیاهی

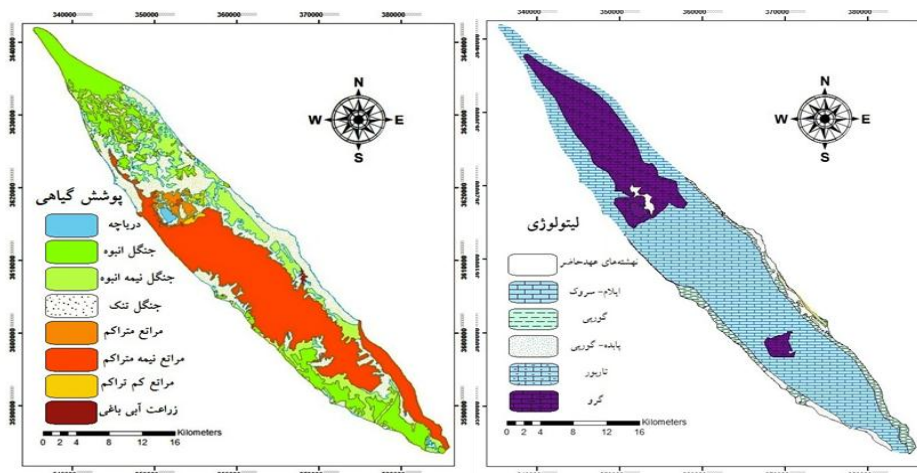
پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه به صورت ترکیبی از جنگل‌های انبوه، جنگل‌های نیمه انبوه، جنگل‌های تنک، زراعت آبی و باغات، مراتع کم تراکم، مراتع نیمه متراکم و مراتع متراکم می‌باشد (شکل ۸). پوشش گیاهی نقش قابل توجهی را در توسعه کارست ایفا می‌کند (چن و همکاران، ۲۰۰۱). مواد سطحی والگوی پوشش گیاهی میزان نفوذ و رواناب سطحی را کنترل می‌کند (دانش کومار و همکاران، ۲۰۰۷). در مناطقی که پوششی از خاک بر روی سطح سنگ وجود دارد، به علت وجود  $CO_2$  در ترکیب خاک که حاصل تجزیه گیاهان می‌باشد، آب حاصل از بارندگی می‌تواند ترکیب اسیدی پیدا کرده و انحلال توده آهکی را افزایش دهد. در مناطق جنگلی به علت وجود برگ گیاهان، میزان هوموس خاک افزایش یافته و نفوذپذیری را افزایش می‌دهد. همچنین فشار ریشه گیاهان در این مناطق سبب تخریب و شکستگی سنگ‌ها شده که عامل موثری در افزایش میزان نفوذپذیری است. هر چه تراکم پوشش گیاهی بیشتر باشد، از میزان رواناب ناشی از بارندگی‌های شدید جلوگیری شده و زمان لازم جهت نفوذ ریزش‌های جوی فراهم می‌گردد.

### تراکم آبراهه

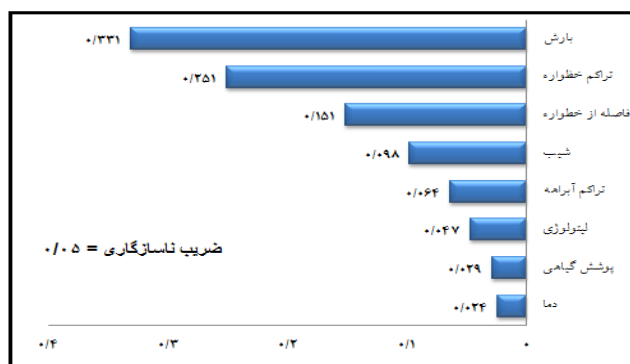
شبکه‌های آبراهه‌های هر حوضه نشان دهنده چگونگی تخلیه رواناب از حوضه بوده و توسط لیتولوژی، واحدهای زمین شناسی، توپوگرافی و ساختارهای تکتونیکی منطقه کنترل می‌شود. در مناطق آبرفتی یا در سازندهای غیر آهکی آبراهه نقش انتقال رواناب را داشته و با نفوذپذیری زمین رابطه عکس دارند حال آنکه در سازند های سخت و آهکی، آبراهه‌ها نقش متفاوتی را جهت پتانسیل یابی دارند و از آن‌ها به عنوان نقاط ضعف در سازندها یاد می‌شود که بر اثر پدیده انحلال توسعه یافته و به صورت آبراهه در آمده‌اند (کریمی وردجانی، ۱۳۸۹). همچنین به دلیل تبعیت زیاد رده‌های ۱ آبراهه از توپوگرافی منطقه رده‌های بالاتر جهت تهیه لایه تراکم آبراهه در نظر گرفته شده‌اند. جهت آماده کردن لایه تراکم آبراهه ابتدا نقشه شبکه آبراهه منطقه با فرمت dgn با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS10 به صورت رستر درآمده و سپس لایه مورد نظر تهیه گردیده است (شکل ۷).

### لیتولوژی

به علت تاثیرگذاری شدید نوع سازند بر نفوذ آب و قابلیت متفاوت حفظ آب در سازندهای مختلف این نمایه مد نظر قرار گرفته است. این لایه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و شرکت ملی نفت ایران تهیه شده است (شکل ۸). سازند های زمین شناسی موجود در محدوده مورد مطالعه



شکل ۸- لایه لیتولوژی و پوشش گیاهی



شکل ۹- وزن‌های محاسبه شده برای معیارها

زمین نقاط ضعفی در نظر گرفته می شوند که اهمیت آنها در سازندهای سخت و آهکی بیشتر است. بنابراین به عنوان پارامتر مثبتی جهت پتانسیل یابی آب زیرزمینی در نظر گرفته می شود. باتوجه نظر کارشناسان وزن ۰/۲۵۱ به لایه تراکم خطواره و وزن ۰/۱۵۱ به فاصله از خطواره اختصاص داده شد.

شیب عامل مهمی در شناسایی مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی می باشد. در نتیجه شیب بیشتر رواناب بیشتری جاری شده لذا نرخ فرسایش بیشتر شده و تغذیه کمتری صورت می پذیرد از این رو مناطق با شیب کم پتانسیل منابع آب کارست بیشتری دارند (وزن اختصاص داده شده. باتوجه نظر کارشناسان ۰/۰۹۸ است). در سازندهای سخت و آهکی که عمده لیتولوژی این منطقه را شامل میشود، نقش

### محاسبه وزن عوامل مؤثر در پتانسیل منابع آب کارستی

به منظور تهیه نقشه ی پتانسیل یابی منابع آب در محدوده مطالعه شده ابتدا نقشه عوامل مؤثر در پتانسیل یابی تهیه گردید (اشکال ۴ تا ۸) و سپس با استفاده از نظر گروه کارشناسان خبره و به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن لایه‌های مؤثر در پتانسیل منابع آب کارست محاسبه شد:

با توجه به آنکه بارش در منطقه مورد مطالعه قابل توجه و غالباً به شکل برف است، لذا بالاترین ارجحیت و وزندهی باتوجه نظر کارشناسان به آن اختصاص داده شد (۰/۳۳۱).

شکستگی ها و ساختارهای خطی که اصطلاحاً خطواره نیز نامیده می شوند به دلیل ایجاد فضاهایی در سازندها و واحدهای زمین شناسی جهت عبور آب و حرکت آن به نقاط پایین تر درون

با توجه به تأثیر معکوس دما با توسعه کارست (بطوریکه افزایش دما موجب کاهش انحلال گاز کربنیک در آب باران می‌گردد) دما های پایین ارزش بیشتر و دماهای بالاتر ارزش کمتر در توسعه منابع آب کارست دارند علیرغم تأثیر زیاد دما بر پتانسیل منابع آب کارستی با توجه به وسعت کم منطقه (۳۰۰ کیلومتر مربع) و دامنه تغییرات پایین دمای با توجه به نظر کارشناسان وزن ۰/۰۲۴ به آن اختصاص داده شد.

با توجه به اینکه نقشه‌های تهیه شده دارای مقیاسهای مختلفی مانند متر برای فاصله‌ها، درصد برای تراکم‌ها، درجه برای شیب و ... می‌باشند، لذا برای اینکه تلفیق آن‌ها امکان‌پذیر گردد، هم‌مقیاس‌سازی آن‌ها امری ضروری است. به همین منظور با توجه به دانش کارشناسی و با استفاده از تابع طبقه‌بندی مجدد همه‌ی نقشه‌ها در محدوده‌ی ارزش‌های ۰ تا ۹ ارزش‌دهی شدند، ارزش‌های انتخاب شده در جدول ۴ قابل ملاحظه می‌باشد.

آبراهه‌ها جهت پتانسیل یابی آب زیرزمینی متفاوت بوده و از آنها به عنوان نقاط ضعفی در سازندها یاد میشود که بر اثر شکستگی و پدیده انحلال توسعه یافته و به صورت آبراهه درآمده‌اند. از این رو تراکم آبراهه نشان دهنده پتانسیل بالا منابع آب کارست است (وزن اختصاص داده شده ۰/۰۶۴).

از طرف دیگر علیرغم نقش قابل توجه لیتولوژی در فرآیند کارستی شدن به دلیل عدم تنوع لیتولوژیکی در منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس نظر کارشناسان وزن ۰/۰۴۷ برای آن در نظر گرفته شد.

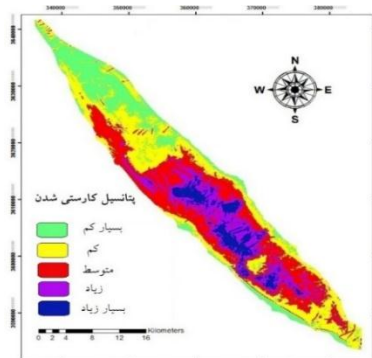
هر چه پوشش گیاهی در منطقه بیشتر باشد فرصت نفوذ بیشتری فراهم بوده لذا در مناطق با پوشش گیاهی متراکم پتانسیل آب زیرزمینی بیشتر می‌باشد. با توجه به اینکه تنوع پوشش گیاهی در منطقه زیاد نیست وزن ۰/۰۲۹ به آن اختصاص داده شد.

جدول ۴- ارزش‌های داده شده به لایه‌های مورد نظر

رتبه بندی	پارامتر	رتبه بندی	پارامتر
	تراکم آبراهه(درصد)		بارش (میلی متر)
۲	۰-۲۵	۱	۶۵۱-۷۵۰
۴	۲۵-۵۰	۲	۷۵۱-۸۷۰
۷	۵۰-۷۵	۳	۸۷۱-۹۵۰
۹	۷۵-۱۰۰	۴	۹۵۱-۱۰۰۰
	دما(درجه سانتیگراد)	۵	۱۰۰۱-۱۰۵۰
۹	۰-۳	۶	۱۰۵۱-۱۱۰۰
۸	۳-۶	۷	۱۱۰۱-۱۱۵۰
۷	۶-۹	۸	۱۱۵۱-۱۲۰۰
۶	۹-۱۲	۹	۱۲۰۱-۱۲۵۰
۵	۱۲-۱۵		تراکم خطواره (درصد)
۴	۱۵-۱۸	۲	۰-۲۵
۳	۱۸-۲۱	۴	۲۵-۵۰
	پوشش گیاهی	۷	۵۰-۷۵
۹	جنگل انبوه	۹	۷۵-۱۰۰
۷	جنگل نیمه انبوه		فاصله از خطواره (متر)
۵	جنگل تنک	۹	۰-۱۰۰
۴	مراتع کم تراکم	۷	۱۰۰-۲۰۰
۶	مراتع نیمه متراکم	۴	۲۰۰-۵۰۰
۸	مراتع متراکم	۲	۵۰۰-۱۰۰۰
۲	زراعت آبی و باغات	۱	> ۱۰۰۰
	لیتولوژی		شیب (درجه)
۹	ایلام - سروک	۹	۰-۶
۴	تارپور	۸	۶-۱۲
۰	سایر سازندها	۷	۱۲-۲۴
		۵	۲۴-۳۶
		۴	> ۳۶

## نقشه پتانسیل منابع آب کارست

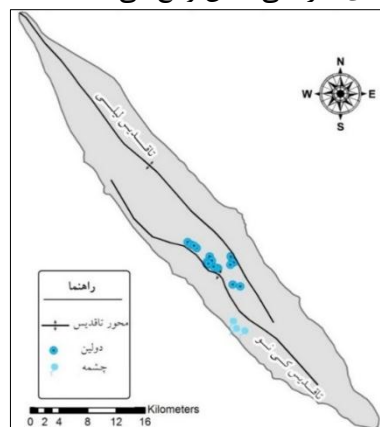
نقشه نهایی منطقه مورد مطالعه شامل ۵ محدوده با پتانسیل منابع آب کارستی بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد می‌باشد (شکل - ۱۰). براساس این نقشه بیشترین پتانسیل کارستی شدن مربوط به بخش‌های مرکزی تاقدیس‌های لیلی- کی نو می‌باشد. همچنین پتانسیل کمتر غالباً مربوط به دماغه شمال غربی تاقدیس‌ها می‌باشد که در آن سازند گرو رخنمون دارد.



شکل ۱۰- نقشه پتانسیل منابع آب کارستی تاقدیس‌های لیلی وکی‌نو

## صحت‌سنجی نقشه پتانسیل منابع آب کارست

جهت صحت‌سنجی نقشه نهایی ابتدا تصاویر ماهواره- ای و عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس مشخص شد که در بخش مرکزی تاقدیس‌های لیلی وکی‌نو پدیده‌های ژئومورفولوژیکی متعددی به شکل دولین توسعه یافته که این امر خود نشان‌دهنده توسعه زیاد کارست در این بخش می‌باشد (شکل - ۱۱). همچنین در این تاقدیس‌ها دو چشمه تنگ سرد با دبی بیش از ۱ لیتر بر ثانیه و چشمه کدی با دبی متوسط ۵۰۰ لیتر بر ثانیه وجود دارد که در محدوده با پتانسیل بالای کارستی شدن واقع می‌باشند.



شکل ۱۱- موقعیت دولین‌ها و چشمه‌های موجود در تاقدیس‌های لیلی وکی‌نو

## نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور پتانسیل‌یابی تاقدیس‌های لیلی وکی‌نو از لحاظ منابع آب کارستی از تکنیک‌های سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شده است. داده‌های مدل رقومی ارتفاع، هواشناسی، نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار ARC GIS10 به ۸ لایه بارش، تراکم خطواره، فاصله از خطواره، شیب، تراکم آبراهه، لیتولوژی، پوشش گیاهی و دما تبدیل شده و پس از وزن دهی آن‌ها به روش AHP، نقشه نهایی ناشی از این ۸ پارامتر با روش همپوشانی وزنی تهیه و مناطق دارای پتانسیل‌های مختلف حاصل گردید.

نقشه نهایی نشان‌دهنده اینست که بخش‌های مرکزی تاقدیس از پتانسیل کارستی شدن بالاتری نسبت به سایر بخش‌ها برخوردار می‌باشد. همچنین پتانسیل کمتر غالباً مربوط به دماغه شمال غربی تاقدیس می‌باشد که در آن سازند گرو بیشترین رخنمون را داراست. بررسی‌های صحرایی حاکی از آنست که چشمه‌های ظهور یافته در منطقه و همچنین چندین دولین در بخش میانی محدوده مورد مطالعه وجود دارد که در محدوده با حداکثر پتانسیل منابع آب کارست واقع شده است. این موضوع صحت نتایج حاصل از این تحقیق را نشان می‌دهد.

## منابع

- ۱) افراسیابیان، ا. ۱۳۷۷. اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران، مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی، کرمانشاه.
- ۲) چرچی، ع. کلاتری، ن. و م. ر. کشاورزی. ۱۳۸۹. بررسی آبخوان کارستی ادیو شمال شرق استان خوزستان. مجله علمی- پژوهشی پژوهش‌های دانش زمین، سال اول، شماره ۱، ۸۴-۹۶.
- ۳) قدسی پور، ح. ۱۳۹۰. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر. چاپ نهم، ۲۲۰ ص.
- ۴) فتحی زاد، ح.، علیپور، ح.، هاشمی نسب، ن. و کریمی، ح. ۱۳۹۵. پتانسیل یابی آبهای زیرزمینی از طریق فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) با استفاده از سنجش از دور

- potential in West Medinipur district, West Bengal, India. *Int J Remote Sens*, 30(1): 231–250.
- 14) Degnan, J. R. and S. F. Clarck. 2002. Fracture-correlated lineaments at Great Bay, Southeastern New Hampshire. U.S. Geological Survey, Open File-Report 2-13.
- 15) Dinesh Kumar, P. K., Gopinath, G. and P. Seralathan. 2007. Application of remote sensing and GIS for the demarcation of groundwater potential zones of a river basin in Kerala, southwest cost of India. *Int J Remote Sens*, 28(24): 5583–5601.
- 16) Domingos, P., Sangam, S., Mukand, S. and Sarawut, N. 2017. Delineation of groundwater potential zones in the Comoro watershed, Timor Leste using GIS, Remote Sensing and Analytic Hierarchy Process (AHP) technique. *Applied Water Science*, 7(1): 503-519.
- 17) Dunning, D. J., Ross, Q. E. and M. W. Merkhofer. 2000. Multiattribute utility analysis for addressing Section 316(b) of the Clean Water Act. *Environ Sci Policy*, 3: 7–14.
- 18) Etishree, A., Rajat, A., Garg, R. D. and Garg, P. K. 2013. Delineation of groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. *Journal of Earth System Science*. 122(3): 887-898.
- 19) Flug, M., Seitz, H. L. H. and J. F. Scott. 2000. Multicriteria decision analysis applied to Glen Canyon Dam. *J Water Resour Plan Manage ASCE*, 126(5): 270–276.
- 20) Ford, D. C. and P. W. Williams. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester.
- 21) Goli Mokhtari, L., Velayati, S. and Z. Dadashzadeh. 2012. Investigation of the relationship between tectonics and karstification. *International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology*. IACSIT Press, Singapore, 41: 250-254.
- 22) Hyun-Joo, O., Yong-Sung, K., Jong-Kuk, C., Eungyu, P. and Saro, L. 2011. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*. 399 (3-4), 158-172.
- 23) Jha M. K., Chowdhury A., Chowdary V. M. and S. Peiffer. 2007. Groundwater management and development by integrated remote sensing and geographic information systems: prospects and constraints. *Water Resour Manag*, 21(2): 427–467.
- 24) Jha, M. K., Chowdary, V. M. and A. Chowdhury. 2010. Groundwater assessment in Salboni Block, West Bengal (India) using remote sensing, geographical information system and multi-criteria decision analysis techniques. *Hydrogeol J*, 18(7): 1713–1728.
- 25) Jha, M. K. and S. Peiffer. 2006. Applications of remote sensing and GIS technologies in groundwater hydrology: past, present and future. *BayCEER, Bayreuth, Germany*, 201 p.
- 26) Joubert, A., Stewart T. J. and R. Eberhard. 2003. Evaluation of water supply augmentation and و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه مهدیشهر. نشریه هیدروژئومورفولوژی ۸: ۱–۲۰.
- ۵) رحیمی، دو. موسوی، س. ج. ۱۳۹۲. پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شاهرود-بسطام). نشریه جغرافیا و برنامه ریزی ۱۷ (۴۴): ۱۳۹–۱۵۹.
- ۶) رضایی مقدم، م. ح.، رحیمپور، ت. و نخستین روحی، م. ۱۳۹۵. پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ای در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه های آبریز منتهی به دشت تبریز). نشریه اکوهیدرولوژی ۳ (۳): ۳۷۹–۳۸۹.
- ۷) کریمی وردنجانی، ح. ۱۳۸۹. هیدروژئولوژی کارست: مفاهیم و روش ها. چاپ اول، انتشارات ارم شیراز، ۴۱۴ ص.
- ۸) محمدی بهزاد، ح. ر. ۱۳۹۰. شناسایی منشأ تغذیه و بررسی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی چشمه کارستی بی-بی تلخون. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۹) مفیدیفرم، م. المدرسی، س. ع.، اصلاح، م. و ملک زاده بافقی، ش. ۱۳۹۳. پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل تصمیمگیری تحلیل سلسه مراتبی در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه دشت یزد اردکان). همایش ملی کاربرد مدل های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین. دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد. ص ۱–۱۰.
- مطیعی، ه. ۱۳۷۴. زمین شناسی نفت زاگرس او ۲. انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۰۰۹ ص.
- 10) Adiat, K. A. N., Nawawi, M. N. M. and K. Abdullah. 2012. Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool – A case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 440: 75–89.
- 11) Chen, K., Blong, R. and C. Jacobson. 2001. MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. *Environ Model Softw*, 16: 387–397.
- 12) Chenini, I., Mammou, A. B. and M. E. May. 2010. Groundwater recharge zone mapping using GIS-based multi-criteria analysis: a case study in central Tunisia (Maknassy basin). *Water Resour Manag*, 24: 921–939.
- 13) Chowdhury A., Jha, M. K., Chowdary, V. M. and B. C. Mal. 2009. Integrated remote sensing and GIS-based approach for assessing groundwater

- water demand management options for the City of Cape Town. *J Multi-Criteria Decis Anal*, 12(1): 17–25.
- 27) Kolat, C., Doyuran, V., Ayday C. and M. Süzen. 2006. Preparation of a geotechnical microzonation model using geographical information systems based on multicriteria decision analysis. *Environ Geol*, 87: 241–255.
- 28) Nagarajan, M. and Singh, S. 2009. Assessment of Groundwater Potential Zones using GIS Technique. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 37: 69–77.
- 29) Machiwal, D., Jha, M. K. and B. C. Mal. 2010. Assessment of Groundwater Potential in a Semi-Arid Region of India Using Remote Sensing, GIS and MCDM Techniques. *Water Resour Manage*, 25: 1359–1386.
- 30) Madrucci V., Taioli, F. and C. C. de Araújo. 2008. Groundwater favorability map using GIS multicriteria data analysis on crystalline terrain, São Paulo State, Brazil. *Hydrol*, 357: 153–173.
- 31) Mendoza, G. A. and H. Martins. 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *For Ecol Manag* 230 (1–3): 1–22.
- 32) Millanovic, P. T. 1981. *Karst Hydrogeology*. Water resources Publication. Littleton, Colorado, USA.
- 33) Moore, G. 1982. Groundwater applications of remote sensing. Open file report 82 – 240. U.S. Department of Interior Geological Survey. EROS Data Center, Sioux Falls, South Dakota.
- 34) Moreno-Jimenez, J. M. 2005. A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP-group decision making, *Group Decision and Negotiation* 14: 89–108.
- 35) Pereira, J., M. and L. Duckstein. 1993. A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation. *Int J Geogr Inf Syst* 7(5): 407–424.
- 36) Saaty, T. L. 1980. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill, New York, 287 p.
- 37) Shaban, A., Khawlie, M. and C. Abdallah. 2006. Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. *Hydrogeol J.*, 14: 433–443.
- 38) Thirumalaivasan, D., Karmegam M. and K. Venugopal. 2003. AHP-DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. *Environ Model Softw*, 18: 645–656.