

پتانسیل یابی منابع آب کارست کوه‌های دوان و شاپور براساس تصمیم‌گیری چندمعیاره

مجید دشتی برمکی^{۱*}، محسن رضایی^۲ و جواد اشجاری^۳

چکیده

عامل‌های زیادی در پتانسیل‌یابی منابع آب کارست مهم هستند که می‌توان به عامل‌های هیدروژئولوژیکی (چشمه‌ها)، ساختاری (شکستگی‌ها و گسل‌ها)، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، توپوگرافی (سطح اساس فرسایش محلی و شیب)، نزولات جوی و پوشش گیاهی اشاره کرد. هدف از این بررسی، ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمینی کارستی تاق‌دیس دشتک و عامل‌های مؤثر بر آن است. بر این اساس، نقشه‌های موضوعی مختلف با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور تهیه و در هر نقشه، ارزش‌دهی به سلول‌های مختلف با روش قطعی از ۰ تا ۹ انجام شده است. وزن‌دهی نقشه‌ها با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (مقایسه زوجی) انجام شد و در نهایت نقشه‌ها به روش هم‌پوشانی شاخص با هم تلفیق شدند. نقشه نهایی شامل وزن‌های از ۰ تا ۹ و نقشه طبقه‌بندی شده ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که پتانسیل آب کارست دشتک شمالی بیش از جنوبی است. هماهنگی نواحی با پتانسیل بالا با چشمه‌های با آبدهی زیاد نشان می‌دهد که مدل ارائه شده می‌تواند به طور موفقیت‌آمیزی برای منطقه‌های کارستی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب کارست، تحلیل سلسله‌مراتبی، تاق‌دیس دشتک، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

ارجاع: دشتی برمکی م. رضایی م. و اشجاری ج. ۱۳۹۴. پتانسیل‌یابی منابع آب کارست کوه‌های دوان و شاپور براساس تصمیم‌گیری چندمعیاره. مجله پژوهش آب ایران. ۱۶: ۸۹-۱۰۰.

۱- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران.

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران.

۳- استادیار گروه هیدروژئولوژی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران.

* نویسنده مسئول: majiddashti24@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۱۶

مقدمه

با توجه به ضرورت و اهمیت وجود آب به عنوان منبعی حیات بخش همچنین افزایش جمعیت و به دنبال آن نیاز روزافزون به این منبع، تأمین آب مورد نیاز برای شرب و سایر مصارف یکی از دغدغه‌های جهان امروز است. از این رو در کشورهایی خشک همچون ایران، به ارزیابی منابع آب کارستی توجه شده است.

عامل‌های مؤثر بر پتانسیل آب کارست، نشان از معرفی عامل‌های است که احتمال وجود آب را در یک منطقه کارستی نسبت به دیگر منطقه‌ها بیشتر می‌داند. برای معرفی زون‌های پتانسیل آب کارست، روش‌های مختلفی همچون زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی، ژئوفیزیک و روش‌های سنجش از دور وجود دارد. امتیازی که فن‌آوری سنجش از دور نسبت به دیگر روش‌ها دارد، دسترسی به پوشش وسیع، حتی در منطقه‌های غیرقابل دسترس است.

شاهید و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل‌سازی منابع آب زیرزمینی را در سنگ‌های نرم حوضه میدناپور به وسعت ۱۶۳ کیلومتر مربع در ایالت بنگال غربی هند انجام دادند. نتایج این مدل هماهنگی بالایی با داده‌های واقعی موجود داشت. جایسوال و همکاران (۲۰۰۳) پتانسیل یابی آب زیرزمینی را با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در زیر حوضه‌های گورنا و مالدیا پردازش هند انجام دادند. نتایج این پژوهش برای شناسایی منطقه‌های مناسب برای استخراج آب قابل شرب برای جمعیت‌های روستایی به کار رفته است. سوبارائو (۲۰۰۶) پتانسیل آب‌های زیرزمینی سنگ‌های آذرین حوزه گونتور در آندرا پردیش هند را با استفاده از داده‌های سنجش از دور بررسی کرد. در این پژوهش اطلاعات خاک، سازندهای زمین‌شناسی و شرایط آب‌های زیرزمینی با استفاده از بررسی‌های هیدروژئولوژیکی، شرایط توپوگرافی، و آبراهه‌ها از نقشه‌های توپوگرافی و واحدهای ژئومورفولوژی، شکستگی‌ها، کاربری اراضی و پوشش زمین‌ها از تصاویرهای IRS ID LISS III به دست آمده است. در نهایت یک شاخص پتانسیل آب زیرزمینی (GPI) برای ارزیابی نسبی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از تلفیق عامل‌های مربوط به حرکت و رخداد منابع آب زیرزمینی تهیه شده است. با استفاده از نتایج این پژوهش منطقه مورد بررسی به چند بخش با پتانسیل آب زیرزمینی مختلف طبقه‌بندی شده

است.

رنگزن و همکاران (۱۳۸۳) با روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش عامل‌های ساختاری، لیتولوژیکی و توپوگرافی را در رخنمون چشمه‌های کارستی در تاکدیس پابده- لالی در شمال شرق خوزستان بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داده که چشمه‌ها در شیب کم، فاصله‌های نزدیک به شکستگی‌ها و در جایی که تراکم شکستگی‌ها بالاست، رخنمون بیشتری داشته‌اند.

کاظمی و همکاران (۱۳۸۵) به بررسی نقش عامل‌های ساختاری در فراوانی منابع آب زیرزمینی در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج نشان از ارتباط نزدیک بین خطواره‌ها، عنصرهای تکتونیکی و شیب توپوگرافی با فراوانی منابع آب کارستی دارد.

کاظمی و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی خطواره‌ها در ارتباط با وجود و وقوع آب زیرزمینی در منطقه‌های کارستی پرداختند. نتایج نشان از اهمیت عنصرهای ساختاری در تشریح الگوی چشمه‌ها دارد.

رنگزن و همکاران (۱۳۸۴) به مقایسه تأثیر عامل‌های ساختاری- ژئومورفولوژیکی در جوشیدن چشمه‌ها در دو محدوده مطالعاتی قلعه رزه- بیدروبه و تاکدیس پابده پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داده که در هر دو منطقه بیشترین درصد جوشیدن چشمه‌ها در فاصله‌های نزدیک به شکستگی‌ها، شیب کم و تراکم بالای شکستگی‌ها بوده و فقط تفاوت، جوشش چشمه‌ها در ارتفاع‌های متفاوت بوده است.

هدف از این مطالعه، بررسی کاربرد روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در پتانسیل منابع آب زیرزمینی کارستی و نیز تعیین عامل‌های مؤثر در آن است. در این بررسی از داده‌های سنجش از دور برای آماده‌سازی نقشه‌های موضوعی مختلف مثل زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و خطواره‌ها استفاده شده است. سپس برای کاربری راحت‌تر و استفاده از این نقشه‌ها و همچنین تهیه نقشه‌های دیگری مثل شیب، هیدروژئولوژی، تراکم طول خطواره‌ها، حریم خطواره‌ها (فاصله از خطواره‌ها)، لیتولوژی، بارش و سطح اساس فرسایش به محیط Arc Map رجوع و نقشه‌ها رستری شده است. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ به هر معیار فاکتور وزنی مناسب

قدیمی تر به صورت هسته مرکزی مشخص هستند (آقانباتی، ۱۳۸۳).

تاقدیس دشتک با روند شمال غربی- جنوب شرقی براساس روند عمومی زاگرس و در قسمت زاگرس چین خورده قرار دارد. این تاقدیس دارای طولی نزدیک به ۴۰ کیلومتر است که متشکل از کوه‌های شاپور (در شمال) و دوان (در جنوب) است. از نظر چینه‌شناسی، سازندهای رخنمون یافته در منطقه مطالعاتی به ترتیب از قدیم به جدید شامل سروک با سن کرتاسه بالایی، گورپی با سن کرتاسه بالایی، پابده با سن ائوسن- پالئوسن، آسماری- جهرم با سن الیگوسن- میوسن، گچساران با سن میوسن، و سازند بختیاری با سن پلیوسن است (کوثر، ۱۳۸۲ و میلانویچ و عقیلی، ۱۹۹۳).

هیدروژئولوژی منطقه مورد بررسی

در این منطقه کارستی سازندهای آسماری- جهرم و سروک شامل ۲۳۳/۶ کیلومترمربع از وسعت کلی این تاقدیس می‌شوند. میزان نفوذ در این منطقه بر اساس اطلاعات تغییرات آب زیرزمینی و بارندگی در چاه شماره ۲ دشتک برابر ۳۶/۵ درصد محاسبه شده است (رضایی، ۱۳۷۷). مهم‌ترین منابع خروجی این زون، چشمه‌های شیر، پیرسبز، چنار شاه‌یجان، سیدحسین، رنجان بالا، رنجان پایین و ساسان است.

تعیین عامل‌های مؤثر

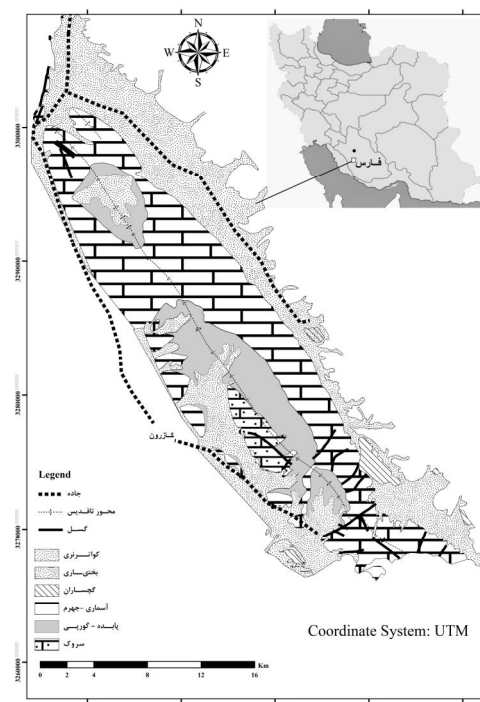
عامل‌های مؤثر در این پژوهش شامل مواردی همچون عامل هیدروژئولوژیکی، ساختاری، زمین‌شناسی و توپوگرافی، نزولات جوی به اضافه پوشش گیاهی است. عامل هیدروژئولوژیکی به صورت نمایه فاصله از محل‌های تخلیه (چشمه‌ها) اعمال شده است، که بیانگر شدت کارستی شدن است. به طور کلی محل‌های تخلیه (چشمه‌ها) به عنوان موقعیت‌های خروج آب از آبخوان، یعنی مکان‌هایی که به احتمال زیاد جریان به سمت آن‌ها متمرکز است، محسوب می‌شوند. پس احتمال حضور آب زیرزمینی کارستی در مجاورت محل‌های تخلیه بیشتر است. بنابراین مکان‌های نزدیک‌تر به محل‌های تخلیه مناسب‌تری را از نظر احتمال رخداد آب زیرزمینی دارند. عامل ساختاری شامل خطواره‌ها (متشکل از شکستگی‌ها و گسل‌ها) است. تراکم بالای طول خطواره‌ها

اختصاص داده شد. در پایان نیز برای اعتبارسنجی نقشه پتانسیل آب کارست، از داده‌های وقوع و آب‌دهی چشمه‌ها استفاده شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

منطقه مورد بررسی در جنوب غرب استان فارس در نزدیکی شهرستان کازرون و در محدوده جغرافیایی ۳۰' ۲۹° تا ۵۰' ۲۹° عرض شمالی و ۳۵' ۵۱° تا ۴۵' ۵۱° طول شرقی قرار دارد. منطقه مطالعاتی از جنوب غرب به شهرستان کازرون، از شمال به شهرستان ممسنی و از جنوب شرق به دشت ارژن و شهرستان شیراز ارتباط می‌یابد (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

کمربند چین‌خورده زاگرس منطقه وسیعی است که در آخرین مراحل کوهزایی آلپین چین‌خوردگی آن تکمیل و به پایان رسیده و به صورت یک‌سری تاقدیس‌ها و ناودیس‌های پی‌درپی درآمده است. روند کلی این چین‌خوردگی، شمال غربی به جنوب شرقی است و تاقدیس‌ها بیشتر کشیده و طولانی یا مخروطی شکلند و در سطح‌های محوری بیشتر شکافته شده و رخساره‌های

نادرست و مشکوک ناشی از فعالیت‌های انسانی و خطای چشم پژوهش‌گر حذف شد. نقشه فاصله از خطوط‌ها به روش ایجاد حریم^۳ و نقشه تراکم طولشان با استفاده از تابع چگالی^۴ از توابع تحلیلی GIS آماده شد. در مرحله بعد در محیط Arc map با استفاده از نقشه رقومی توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع^۵ و از آن‌جا نیز نقشه‌های شیب و افزایش ارتفاع نسبت به سطح اساس محلی تهیه شد. سطح اساس محلی فرسایش در تاق‌دیس با توجه به کم‌ارتفاع‌ترین چشمه رخنمون شده در منطقه مشخص شده است. نقشه زمین‌شناسی در محیط PCI GEOMATICA9 زمین‌مرجع و در Arc Map رقومی شد. در تهیه نقشه فاصله از محل تخلیه، از مختصات محل‌های تخلیه و تابع حریم (بافر) که از توابع مربوط به تحلیل مکانی داده‌ها است، استفاده می‌شود. در این روش می‌توان از هر لایه‌برداری یک لایه رستری با مقادیر پیکسلی فاصله تهیه کرد، بدین صورت که در محیط Arc Map و در فاصله‌های مختلف از محل ترسیم خطواره، تقسیم بندی به‌صورت حریم اطراف آن انجام داد. برای هر کدام از این حریم‌ها در مرحله‌های بعدی ارزش خاصی در نظر گرفته شد.

برای تهیه نقشه بارش، با استفاده از اطلاعات پنج ایستگاه باران سنجی موجود در منطقه استفاده شد (جدول ۲). روش کار با تهیه نقشه تیسس از این نقاط شروع می‌شود و آنگاه با استفاده از نظرهای کارشناسی به هر ناحیه تیسس‌بندی شده، وزن خاصی داده می‌شود، که در قسمت هم‌مقیاس‌سازی نقشه‌ها بحث می‌شود.

تاکنون برای بررسی تراکم مربوط به پوشش گیاهی در بحث‌های پتانسیل‌یابی منابع آب، از شاخص NDVI^۶ استفاده شده (آبشیرینی، ۱۳۸۳ و حسینی شفیع، ۱۳۸۲) که رابطه آن به صورت زیر است:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

در این رابطه، NIR بیانگر بازتاب (باند) مادون قرمز نزدیک و Red بیانگر بازتاب (باند) قرمز مرئی است.

اما در برخی منطقه‌ها از شاخصی دیگر با نام SAVI^۷ استفاده می‌شود که دارای فاکتور تصحیح L برای مناطق با پوشش گیاهی کم است. خیلی از منابع اعتقاد دارند که

می‌تواند معرف تکتونیزه شدن بیشتر و در نتیجه کارستی شدن بیشتر باشد (غیثی، ۱۳۸۷). از آنجا که هرچه یک منطقه بیشتر کارستی شده باشد احتمال رخداد آب زیرزمینی در آن بالاتر است، منطقه‌هایی که در آن‌ها تراکم طول خطواره‌ها بیشتر باشد، در تأمین هدف مورد نظر عملکرد بهتری دارند (میجرینک، ۲۰۰۷). عامل توپوگرافی به‌صورت دو نمایه افزایش ارتفاع نسبت به سطح اساس فرسایش محلی و شیب در نظر گرفته شده است. هر چه ارتفاع نسبت به سطح اساس فرسایش محلی بیشتر باشد، دارای مطلوبیت کمتری در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی خواهد بود. به بررسی شیب از این جهت توجه شد که در شیب‌های بالا، رواناب ایجاد شده کمتر روی سطح زمین مانده و نفوذ کمتر می‌شود (پراساد و همکاران، ۲۰۰۷). عامل زمین‌شناسی به‌صورت نمایه لیتولوژی در پتانسیل‌یابی اعمال شده است. به‌دلیل تأثیرگذاری زیاد نوع سازند (سنگ) بر نفوذ آب و قابلیت متفاوت حفظ آب در سازندهای مختلف و همچنین امکان حفاری، این نمایه مدنظر قرار گرفته است. عامل نزولات جوی (بارش) نیز یکی از عامل‌های مهم در پتانسیل‌یابی منابع آب کارست است. در پایان نیز از پوشش گیاهی استفاده شده است. بجز عوامل یاد شده، عامل‌های دیگری همچون شبکه آبراهه‌ها در منطقه مطالعاتی نیز در پتانسیل‌یابی منابع آب کارستی مؤثرند ولی با توجه به اینکه در منطقه مورد بررسی بیشتر آبراهه‌ها بر شکستگی‌ها منطبق هستند، استفاده از این عامل لازم به نظر نمی‌رسید.

تهیه نقشه‌های معیار

داده‌های اولیه به‌کار رفته در این پژوهش شامل نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، اطلاعات منابع آب و تصویرهای ماهواره‌ای لندست^{۱۷} (تاپستان، ۲۰۰۲) منطقه است (جدول ۱).

قدم ابتدایی پژوهش روی آشکارسازی خطواره‌ها متمرکز شد. ابتدا با استفاده از اعمال فیلترهای مختلف (مانند Edge Enhancement, Sobel, Laplace و Prewitt) بر روی باند ۷ تصویر ماهواره‌ای با نرم‌افزار ILWIS^۲ نسبت به آشکارسازی خطواره‌ها اقدام شد و با ایجاد ترکیب رنگی کاذب و به کمک تصاویر Google Earth، خطواره‌های

3- Buffering

4- Density

5- DEM(Digital Elevation Model)

6- Normalized Difference Vegetation Index

7- soil-adjusted vegetation index

1- LANDSAT7 (ETM+)

2- The Integrated Land and Water Information System(ILWIS)

استفاده از نرم افزار ILWIS آماده شد که رابطه آن به شرح زیر است:

$$(NIR - RED) / (NIR + RED + L)(1 + L) \quad (2)$$

NIR بازتاب (باند) مادون قرمز نزدیک، Red بازتاب (باند) قرمز مرئی و L فاکتور تصحیح برای خاک (برابر با ۰/۵) است.

در منطقه‌های با پوشش گیاهی کمتر از بیست درصد به جای استفاده از NDVI بهتر است شاخص SAVI استفاده شود (مثل جلالی و همکاران، ۱۹۹۹).

پوشش گیاهی منطقه با ترکیب باندهای ۲، ۳ و ۴ تصویر ماهواره‌ای سنجنده لندست، به دست آمد. برای تهیه وضعیت پوشش گیاهی در منطقه، شاخص SAVI با

جدول ۱- منابع داده مورد استفاده

منابع داده	نمایه‌های مؤثر
داده‌های صحرایی، آمار و گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای فارس	فاصله از محل‌های تخلیه و بارش
مدل ارتفاعی رقومی و داده‌های صحرایی	افزایش ارتفاع نسبت به سطح اساس فرسایش محلی
تصویر باند ۷ ماهواره لندست با قدرت تفکیک زمینی ۳۰ متر	فاصله از شکستگی‌ها
تصویر باند ۷ ماهواره لندست با قدرت تفکیک زمینی ۳۰ متر	تراکم طول شکستگی‌ها
نقشه‌های ارتفاعی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور	شیب
تصویر ماهواره لندست و نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی	لیتولوژی
تصویر باندهای ۳ و ۴ ماهواره لندست با قدرت تفکیک زمینی ۳۰ متر	پوشش گیاهی
نقشه زمین‌شناسی منطقه و تصویر باند ۷ ماهواره لندست	فاصله از گسل‌ها
نقشه زمین‌شناسی منطقه و تصویر باند ۷ ماهواره لندست	تراکم طول گسل‌ها

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه (سازمان آب منطقه‌ای فارس)

ارتفاع از سطح اساس دریا (م)	مختصات جغرافیایی (م)	طول	عرض	نام ایستگاه
۷۳۵	۶۷۸/۵	۳۲۸۸۲۶۸	۵۴۹۳۲۴	بوشیگان
۱۴۴۶	۸۴۵/۵	۳۲۹۵۳۴۳	۵۷۵۹۲۸	دوسیران
۹۱۵	۷۳۲/۵	۳۳۰۱۳۰۲	۵۵۸۴۱۷	قائمیه
۸۴۴	۵۷۹/۵	۳۲۶۶۷۱۰	۵۷۴۸۸۴	پیشان
۸۴۱	۶۳۶	۳۲۷۵۵۳۶	۵۶۴۰۶۶	کازرون

وزن‌دهی نقشه‌های معیار

با توجه به اینکه میزان تأثیر هر نمایه در پتانسیل آب زیرزمینی متفاوت است، یکی از مرحله‌های مهم پیش از تلفیق نقشه‌های معیار، تعیین اهمیت نسبی هر یک از نمایه‌های مؤثر و اختصاص وزن به هر کدام از آن‌ها است. در این پژوهش وزن‌دهی به نمایه‌های تأثیرگذار با استفاده از ترکیبی از دانش کارشناسی و داده مبنا و به روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است. روش تحلیل سلسله مراتبی، یکی از فنون کارآمد در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره است. در این روش وزن‌دهی، معیارها دو به دو

هم‌مقیاس‌سازی نقشه‌های معیار

با توجه به اینکه نقشه‌های تهیه شده دارای مقیاس‌های مختلفی مانند متر برای فاصله‌ها و اختلاف ارتفاع، درصد برای تراکم‌ها و درجه برای شیب بودند، برای اینکه تلفیق آن‌ها ممکن شود، هم‌مقیاس‌سازی آن‌ها امری ضروری است. در این پژوهش هم‌مقیاس‌سازی به روش قطعی انجام شد. در این روش با توجه به دانش کارشناسی و با استفاده از تابع طبقه‌بندی دوباره همه نقشه‌ها در محدوده ارزش‌های ۰ تا ۹ دسته‌بندی شدند.

جدول ۴- معیارهای مؤثر در پتانسیل منابع آب کارست و رتبه‌دهی آن‌ها با استفاده از قضاوت کارشناسی

تراکم طول خطواره‌ها (درصد) شامل گسل و شکستگی		رتبه		
۰-۲۵		۲		
۲۵-۵۰		۴		
۵۰-۷۵		۸		
۷۵-۱۰۰		۹		
فاصله از خطواره‌ها شامل گسل و شکستگی (متر)				
<۱۰۰		۹		
۱۰۰-۲۰۰		۸		
۲۰۰-۳۵۰		۷		
۳۵۰-۵۰۰		۶		
۵۰۰-۶۵۰		۵		
۶۵۰-۸۰۰		۴		
۸۰۰-۱۰۰۰		۲		
>۱۰۰۰		۱		
پوشش گیاهی		رتبه	افزایش ارتفاع نسبت به سطح اساس	رتبه
۰-۲۵		۲	۰-۱۰۰	۹
۲۵-۵۰		۴	۱۰۰-۲۰۰	۸
۵۰-۷۵		۸	۲۰۰-۳۰۰	۶
۷۵-۱۰۰		۹	۳۰۰-۴۰۰	۴
			۴۰۰-۵۰۰	۳
			۵۰۰-۶۰۰	۲
			>۶۰۰	۱
شیب (درجه)		رتبه	زمین‌شناسی	رتبه
۰-۱۰		۹	سازند سروک	۹
۱۰-۲۰		۸	سازند آسماری-چهرم	۷
۲۰-۳۰		۷	سازند بختیاری	۱
۳۰-۴۰		۵	نهشته‌های کواترنری	۵
۴۰-۵۰		۴	سایر سازندها	۰
۵۰-۶۰		۳		
۶۰-۷۰		۲		
> ۷۰		۱		
فاصله از محل‌های تخلیه (کیلومتر)				
< ۱		۹	۵۰۰-۶۰۰	۳
۱-۳		۷	۶۰۰-۷۰۰	۵
۳-۵		۵	۷۰۰-۸۰۰	۷
۵-۷		۴	>۸۰۰	۹
۷-۱۰		۳		
>۱۰		۱		

با یکدیگر مقایسه شده و اهمیت آن‌ها نسبت به یکدیگر مشخص می‌شود. روش کار بدین صورت بود که با مقایسه اهمیت زوج معیارها، برتری هر کدام به دیگری (با ضریب‌های ۱ تا ۹) تعیین شد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد (قدسی‌پور، ۱۳۸۵). کلیه مقایسه‌ها در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به‌صورت زوجی انجام می‌گیرد و اهمیت معیار الف بر ب (و یا برعکس) به‌صورت یکی از حالت‌های شرح داده شده در جدول ۳ است.

جدول ۳- قضاوت‌های ارائه شده در روش تحلیل سلسله مراتبی (قدسی‌پور، ۱۳۸۵)

مقدار عددی	۱	۳	۵	۷	۹
بسیار ضعیف	بسیار قوی	ضعیف	بسیار ضعیف	بسیار قوی	بسیار ضعیف

در مرحله بعد، اطلاعات نوشته شده در جدول فرایند سلسله‌مراتبی وارد نرم افزار مربوطه Online شد. سپس یک ماتریس ایجاد شد که ورودی آن همان وزن‌های تعیین شده و خروجی آن وزن‌های نسبی مربوط به معیارها است (مالزفسکی، ۱۹۹۹). عملیات نرم‌افزار با استفاده از لینک <http://www.isc.senshu-u.ac.jp/~thc0456/EHP/AHPweb.html> اجرا شد. در پایان، نرم‌افزار یک شاخص سازگاری (C.I) را نتیجه می‌دهد که برای صحت وزن‌دهی باید کمتر از ۰/۱۵ باشد (مالزویسکی، ۱۹۹۹). شاخص سازگاری در این کار برابر با ۰/۰۸۵ بود. رتبه‌بندی معیارهای مختلف بر اساس نظر کارشناسی در جدول ۴ و وزن‌دهی نهایی به این نمایه‌ها به روش تحلیل سلسله‌مراتبی در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

جدول ۵- وزن‌دهی به معیارها به روش تحلیل سلسله مراتبی

شیب (۰/۴)	فاصله از محل تخلیه (۲)	افزایش ارتفاع نسبت به سطح اساس فرسایش (۱/۴)	فاصله از شکستگی (۱)	تراکم طول شکستگی (۱/۱)
فاصله از گسل (۰/۵)	بارش (۱)	تراکم گسل (۰/۷)	پوشش گیاهی (۰/۳)	لیتولوژی (۱/۶)

صحت‌سنجی

پس از انجام هر پروژه پهنه‌بندی (مکان‌یابی)، لازم است که نتایج به دست آمده با توجه به واقعیت‌ها و اطلاعات موجود پیرامون آن‌ها، مورد بررسی قرار گیرد. بهترین گزینه برای صحت‌سنجی پتانسیل‌یابی انجام شده روش مستقیم یعنی حفاری است، اما به دلیل بالا بودن هزینه‌ها می‌توان از روش‌های ژئوفیزیکی مثل ژئوالکتریک استفاده کرد. همچنین استفاده از اطلاعات چشمه‌ها می‌تواند نکته مهمی در اینجا باشد، بدین صورت که یک چشمه با آبدهی مناسب و بالا می‌تواند از یک سفره کارستی با پتانسیل آبی خوب در بالادست تغذیه شود.

نتایج و بحث

نقشه‌های معیار

با توجه به پارامترهای رتبه‌بندی شده با نظر کارشناسی (جدول ۳)، ده نقشه معیار رسم شد (شکل ۲). رسم این نقشه‌ها با نرم‌افزار Arc GIS (محیط Arc Map) انجام شد.

تلفیق نقشه‌های معیار و اجرای مدل هم‌پوشانی شاخص

عملیات تلفیق با استفاده از ارزش‌گذاری و وزن‌دهی لایه‌ها با نرم‌افزار Arc GIS (محیط Arc Map) انجام شده است. در این پژوهش مدل هم‌پوشانی شاخص با استفاده از نقشه‌های معیار قطعی (شکل ۳- الف) و در نهایت تفکیک‌پذیری ظاهری (شکل ۳- ب) آن انجام شد. پتانسیل نهایی آب کارست ارائه شده در شکل ۳، محدوده را به پنج رده خیلی کم، کم، متوسط، به نسبت بالا و بالا تقسیم می‌کند.

همان‌طور که از شکل به دست آمده استنباط می‌شود، دشتک شمالی دارای پتانسیل بالاتری نسبت به دشتک جنوبی است. کمترین پتانسیل در دشتک جنوبی به سازند پابده- گورپی مربوط می‌شود که اهمیت لیتولوژی در پتانسیل‌یابی منابع آب کارست را بیان می‌کند.

صحت‌سنجی مدل پیشنهادی

صحت‌سنجی مدل ارائه شده با چشمه‌ها و چاه‌های پرآب در شکل ۴ نشان داده شده است.

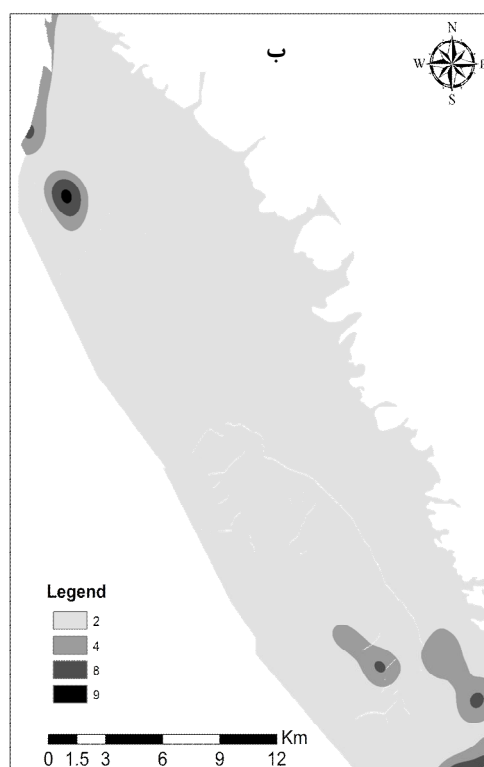
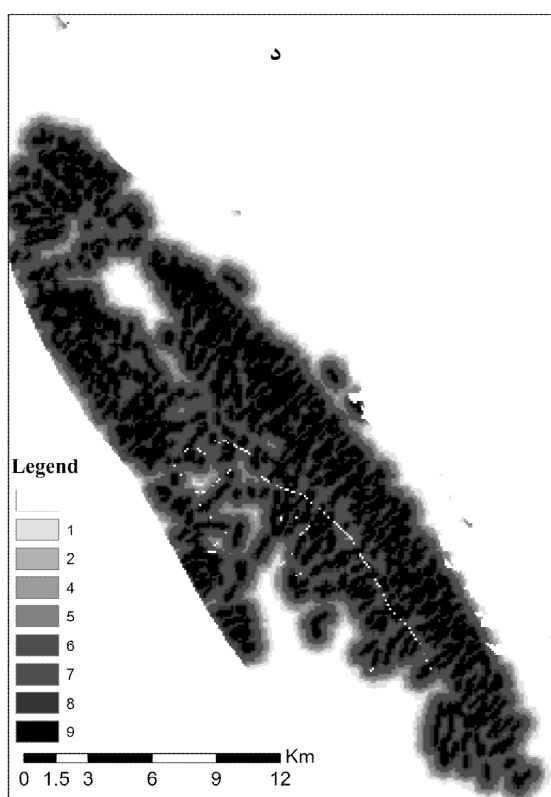
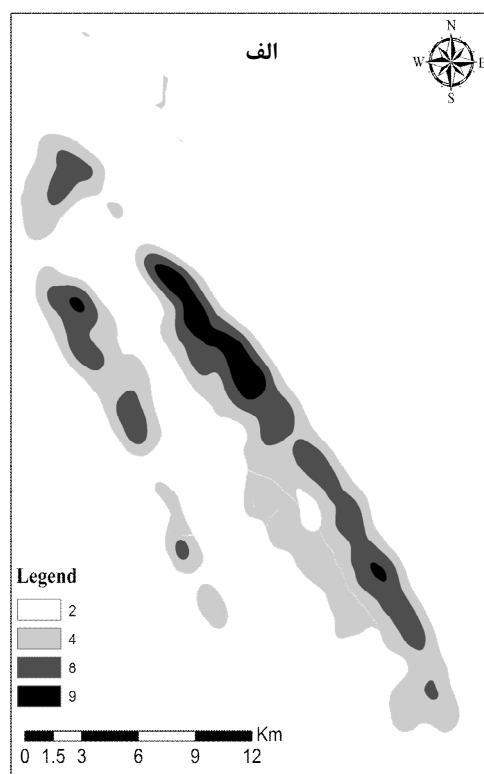
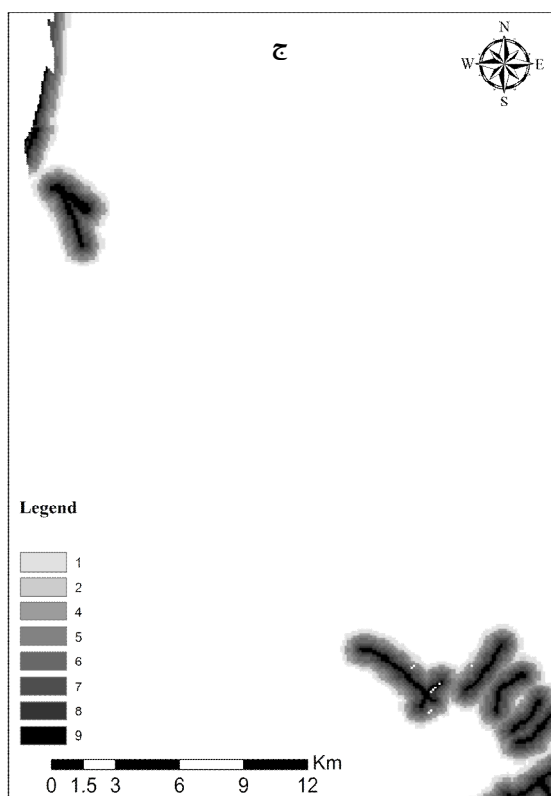
در زون غربی تاقدیس دشتک شمالی، منطقه‌های بالادست چشمه‌های پرآبی مثل ساسان، سرآب شیر و سرآب دختران دارای بیشترین پتانسیل بودند. همچنین در

قسمت شرقی تنگ چوگان چشمه‌های پرآب رنجان و شیر شاخص منطقه‌ها با پتانسیل بالای آب کارست هستند. چشمه‌های مذکور جزء پرآب‌ترین چشمه‌های منطقه مطالعاتی هستند و بر صحت انتخاب منطقه تنگ چوگان به‌عنوان بهترین منطقه برای پتانسیل‌یابی آب کارست تأکید دارند. همچنین پرآب‌ترین قنات‌ها و چاه‌های شرب و صنعتی در حوالی تنگ چوگان، وجود داشتند. پرآب‌ترین قنات‌ها در پایین دست منطقه تنگ چوگان با نام‌های شیخی و سلطان آباد به ترتیب با تخلیه سالانه برابر با ۰/۴۴ و ۰/۲۹ میلیون مترمکعب بودند.

نتیجه‌گیری

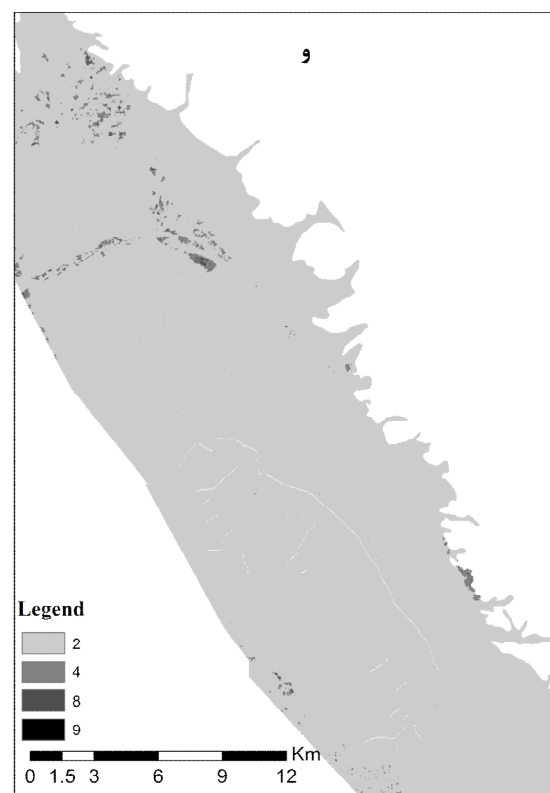
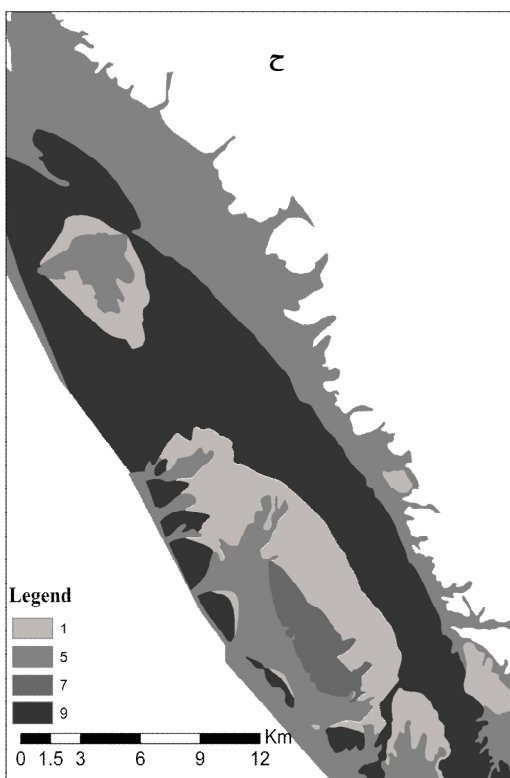
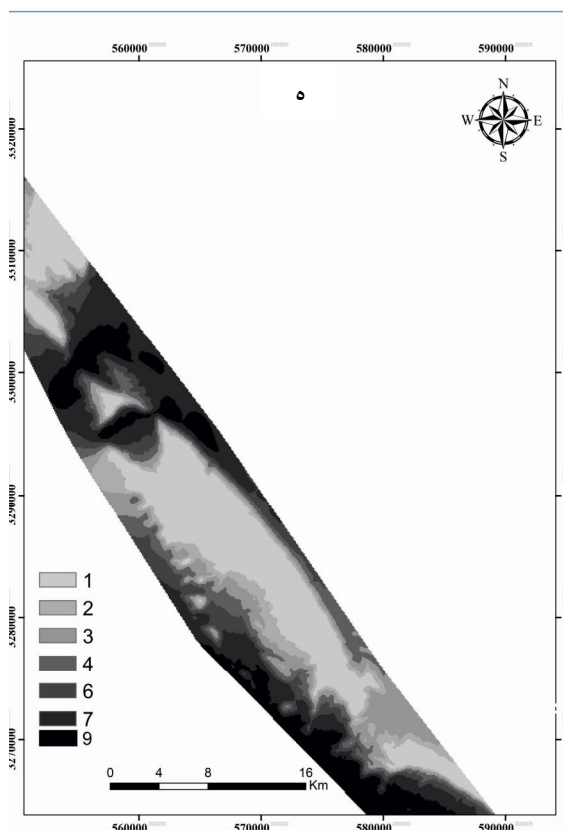
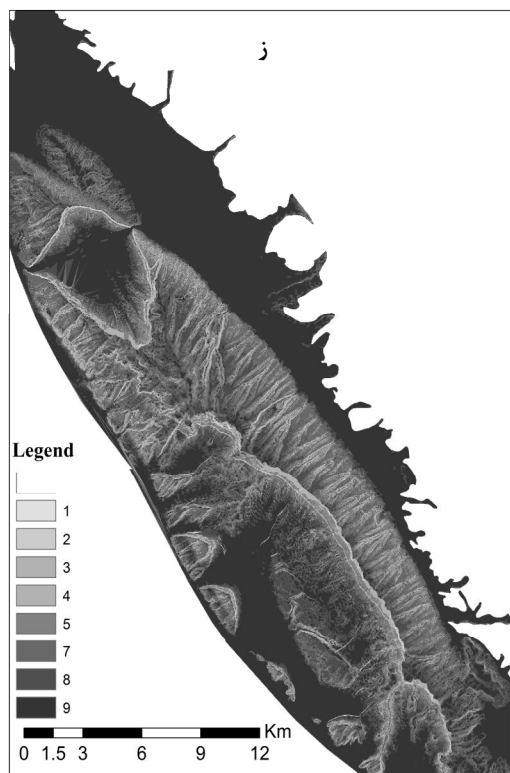
- تلفیق و تحلیل نقشه‌های موضوعی مختلف و تصاویر ماهواره‌ای ابزار مفیدی برای تعیین مناطق پتانسیل آب زیرزمینی در محیط‌های کارستی محسوب می‌شوند. در مطالعه حاضر، از تلفیق مطالعات دورسنجی، داده‌های صحرایی، نقشه‌های موضوعی مختلف و سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی در تاقدیس دشتک (کوه‌های دوان و شاپور) استفاده شده است. عوامل مؤثر در تعیین پتانسیل منابع آبی کارست شامل شیب لایه‌ها، سنگ‌شناسی، پوشش گیاهی، فراوانی و فاصله شکستگی‌ها و گسل‌ها، نزولات جوی و توپوگرافی است.
- پهنه‌بندی یک سازند کارستی به محدوده‌های رده‌بندی شده با ارزش‌های متفاوت، به این معنا نیست که به طور قطع در محدوده‌های دارای ارزش پتانسیلی بالا هرگونه حفاری چاه، توأم با موفقیت خواهد بود (و یا بر عکس) و این فقط درصد احتمالات و میزان شانس موفقیت در وجود منابع آبی را بیان می‌دارد. مشخص کردن بهترین منطقه‌ها برای انجام بررسی‌های دقیق‌تری همچون اکتشافات ژئوفیزیکی و سپس حفاری‌های اکتشافی است.
- پتانسیل نهایی آب کارست در پایان به پنج رده خیلی کم، کم، متوسط، به نسبت بالا و بالا تقسیم شد که پتانسیل کم، وسعت بالایی از منطقه را دارد. در تاقدیس دشتک، منطقه‌های بالادست چشمه‌های ساسان، سرآب شیر و سرآب دختران دارای بیشترین پتانسیل (به نسبت بالا) بودند. منطقه‌های با پتانسیل کم و خیلی کم در تاقدیس دشتک شامل سازند پابده-

گورپی در ارتفاعات کوه دوان و راس تاقدیس است.



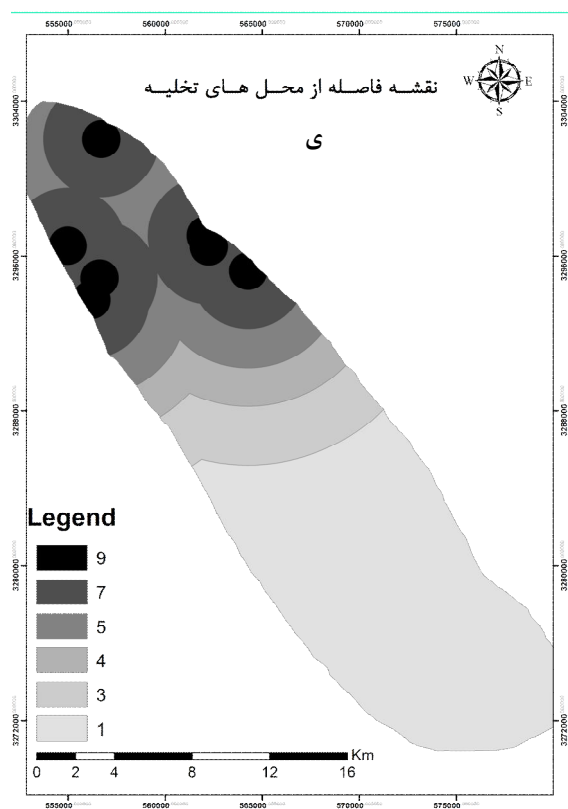
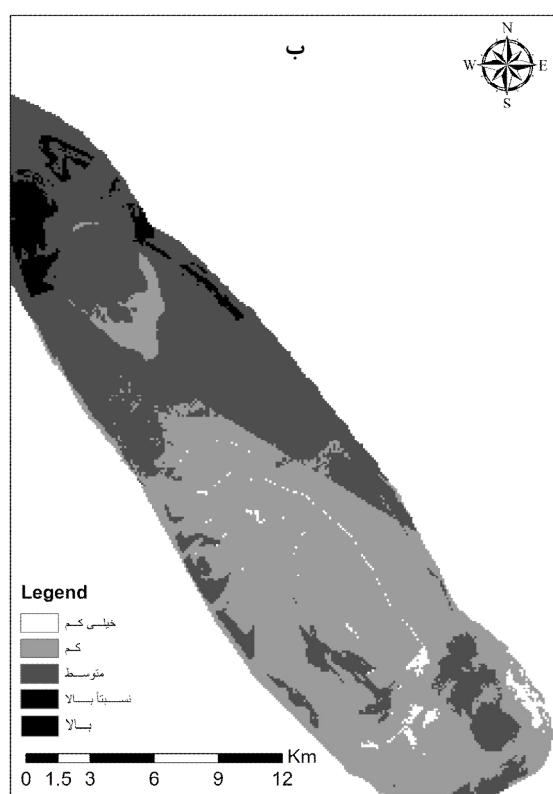
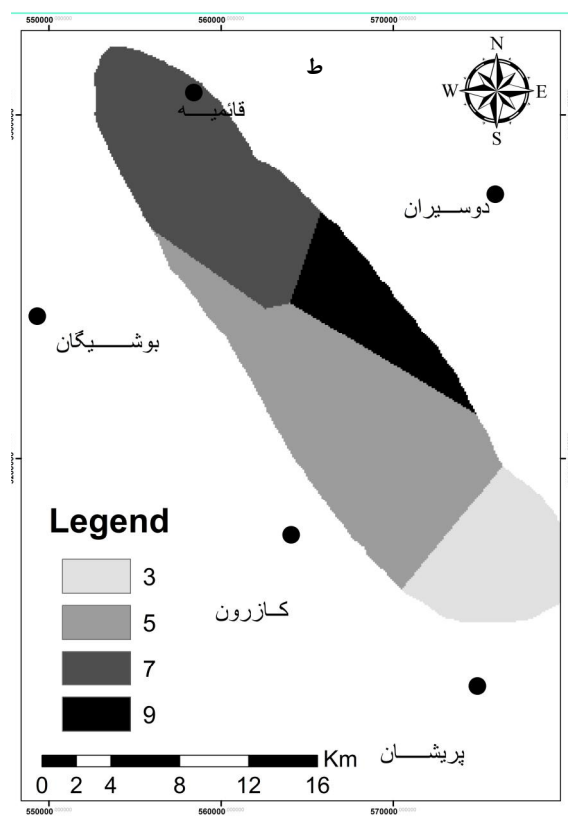
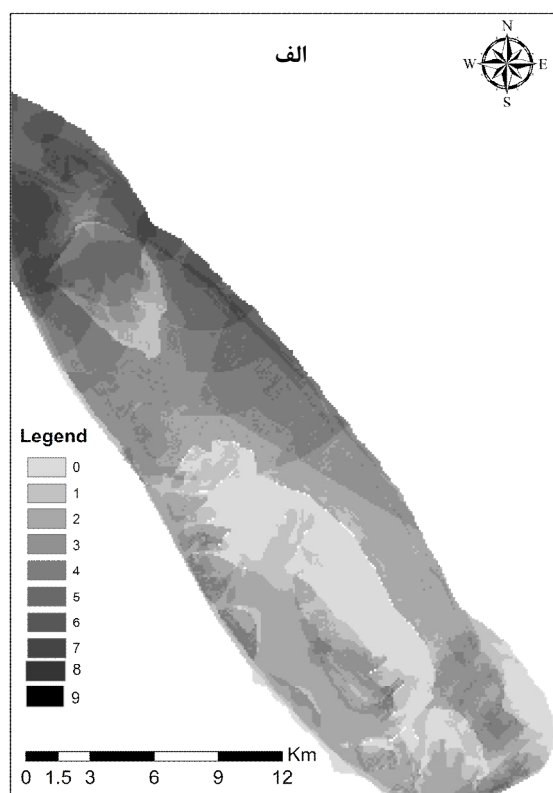
شکل ۲- نقشه‌های هم‌مقیاس‌سازی شده معیار: نقشه تراکم طول شکستگی‌ها (الف) و گسل‌ها (ب)

ادامه شکل ۲- نقشه فاصله از گسل‌ها (ج) و شکستگی‌ها (د)



ادامه شکل ۲- نقشه شیب (ز) و لیتولوژی (ح)

ادامه شکل ۲- نقشه افزایش ارتفاع از سطح اساس فرسایش (و) و پوشش گیاهی (و)



شکل ۳- نقشه پتانسیل آب کارست حاصل از اجرای مدل هم پوشانی شاخص با لایه‌های قطعی (الف) و تفکیک پذیری ظاهری آن (ب)

ادامه شکل ۲- نقشه بارش (ط) و فاصله از محل های تخلیه (ی)

ساختاری، لیتولوژیکی، و توپوگرافی در رخنمون چشمه‌های تاقدیس کارستی پابده- لالی در شمال شرق خوزستان، چکیده بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۲۰۸ ص.

۷. رنگزن ک. چرچی ع. و امیری ف. ۱۳۸۴. مقایسه تأثیر عوامل ساختاری- ژئومورفولوژیکی در ظهور چشمه‌های محدوده قلعه رزه - بیدروبه با محدوده تاقدیس پابده در شمال غرب و شمال شرق خوزستان، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. ۵۲۶-۵۳۹.

۸. غیثی ح. ۱۳۸۷. بررسی عوامل مؤثر در توسعه کارست در پهنه‌های کارستی زاگرس با استفاده از اطلاعات رقمی سنجش از دور و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. بخش علوم زمین دانشگاه شیراز. ۱۳۰ ص.

۹. قدسی‌پور س. ح. ۱۳۸۵. مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره: فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر. چاپ پنجم. ۲۲۰ ص.

۱۰. کاظمی ر. غیومیان ج. و جلالی ن. ۱۳۸۵. بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و GIS. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. ۷۳: ۳۳-۴۱.

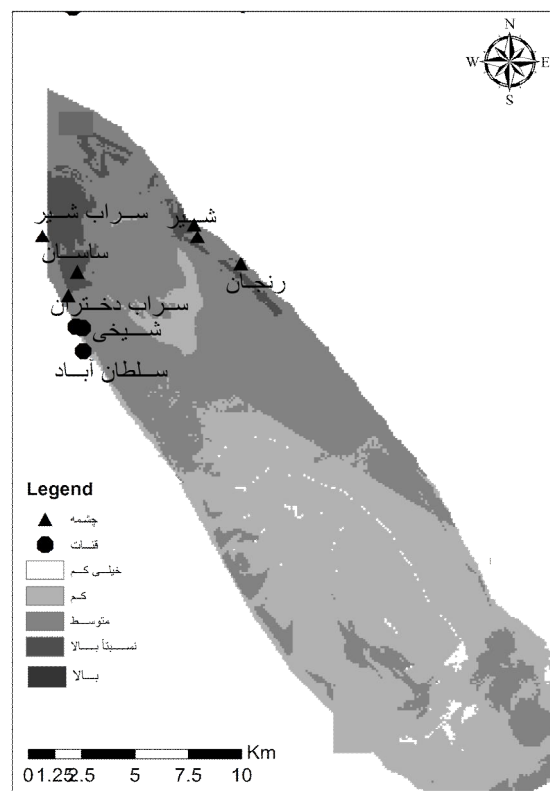
۱۱. کوثر ن. ۱۳۸۲. بررسی هیدروژئولوژیکی و غارشناسی غار شاپور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. بخش علوم زمین دانشگاه شیراز. ۳۵۶ ص.

12. Jalali N. Fatehi A. Norouzi A. A. Kheirkhah M. M. and Mirghasemi S. A. 1999. Change Detection of Natural Vegetation Cover in the Territory of Iran Caused by Pollution Resulting from the Kuwaiti Oil well fires during the 1991 Persian Gulf War. Soil Conservation & Watershed Management Research Center of I.R of Iran. ISBN: 90 6164 160 8, ITC publication Number 67.

13. Jaiswal R. K. Mukherjee S. Krishnamurthy J. and Saxena R. 2003. Role of remote sensing and GIS techniques for generation of groundwater prospect zones towards rural development - an approach. International Journal of Remote Sensing. 24(5): 993-1008.

14. Malczewski J. 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis: Evaluation Criteria and Criterion Weighting (book). John Wiley and Sons. Inc. 392 p.

Meijerink A. M. J. 2007. Remote sensing applications to groundwater. 2007. the United Nations Educational. Scientific and Cultural Organization. 312 p.



شکل ۴- صحت‌سنجی مدل ارائه شده با چشمه‌ها و چاه‌های پر آب

منابع

۱. آمار و اطلاعات منابع آب و هواشناسی. شرکت آب منطقه‌ای استان فارس.
۲. آبشیرینی ا. ۱۳۸۳. کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در شناخت و پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی کارست در تاقدیس پابده- لالی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۱۸ ص.
۳. آقابات‌ی س. ع. ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۷۰۸ ص.
۴. حسینی‌شفیعی ل. ۱۳۸۲. پهنه‌بندی نفوذپذیری تاقدیس کارستی پودنو در استان فارس با استفاده از داده‌های دورسنجی و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. بخش علوم زمین دانشگاه شیراز. ۱۸۵ ص.
۵. رضایی م. ت. ۱۳۷۷. گزارش مطالعه نیمه‌تفصیلی منابع آب کارست منطقه کازرون و سواحل خلیج فارس. مرکز تحقیقات کارست کشور. ۶۸۱ ص.
۶. رنگزن ک.، آبشیرینی ا. و چرچی ع. ۱۳۸۳. بکارگیری تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در بررسی نقش

15. Milanovic P. and Aghili B. 1993. Hydrogeological Characteristic and groundwater mismanagement of Kazerun karstic aquifer, Zagros, Iran (Proceedings of the Antalya Symposium and Field Seminar, October 1990). IAHS publ. 207: 163-171.
16. Prasad R. K. Mondal N. C. Banerjee P. Nandakumar M. V. and Singh V. S. 2007. Deciphering Potential Groundwater Zone in hard rock through the application of GIS. Environ Geology. 55: 467-475.
17. Shahid S. Nath S. K. and Roy J. 2000. Groundwater potential modelling in a soft rock area using a GIS, International Journal of Remote Sensing. 21(9): 1919-1924.
18. Subba Rao N. 2006. Groundwater potential index in a crystalline terrain using remote sensing data. Journal Environmental Geology. 50(7): 1067-1076.