

بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب منطقه کارستی مهارلو با استفاده از سنجش از دور و GIS

- ❖ سارا ادريس نيا؛ دانشجوی کارشناسی ارشد بیابانزدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، ایران.
- ❖ احمد پهلوانروی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، ایران.
- ❖ علیرضا مقدم نیا، دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ علی اکبر نظری سامانی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ عباس میری؛ استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، ایران.

چکیده

در مناطق خشک و کم باران مانند ایران، که منابع سطحی آب شیرین محدود بوده و از طرف دیگر این آب‌ها با خطر آلودگی مواجه هستند، یافتن و نگهداری منابع آب زیرزمینی بهترین راه تأمین نیازهای آبی است. همچنین در بعضی از مناطق ایران، اقلیم و ساختار تکتونیکی شرایط خوبی را برای تشکیل سفره‌های کارستی فراهم کرده است. ایران بعد از کشورهای آمریکا، چین و ترکیه، بالاترین درصد کارست را دارد و بیش از ۱۱ درصد سطح کشور را سازندهای کارستی می‌پوشانند. هدف از این تحقیق بررسی ارتباط بین خطواره‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، عناصر تکتونیکی، شبکه هیدروگرافی و عوامل توپوگرافی با فراوانی منابع آب کارستیک در منطقه مهارلو با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور می‌باشد. بدین منظور مبادرت به تهیه لایه‌های اطلاعاتی شامل خطواره‌ها، انحناهای دامنه، طبقات ارتفاعی، شیب، پوشش گیاهی، چشمه‌ها، عناصر تکتونیکی و شبکه هیدروگرافی با استفاده از بازدیدهای صحرایی، نقشه‌های توپوگرافی، زمین شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع شد؛ نتایج این تحقیق با آزمون‌های آماری مانند کای اسکور، ضریب همبستگی پیرسون و آزمون PCA و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که ارتباط نزدیکی بین جنس سازند، توپوگرافی (مانند شیب، ارتفاع و انحناهای دامنه)، خطواره‌ها و عوامل هیدرولوژیکی با فراوانی چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. براساس نتایج آزمون کای اسکور تأثیر فراوانی چشمه با ساختار منطقه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. این روابط نشانگر نقش بارز عوامل ساختاری و محیطی و لزوم توجه به آن در بررسی فراوانی چشمه‌ها و انتقال آب‌های زیرزمینی در مناطق کارستیک می‌باشد.

کلید واژگان: عوامل ساختاری، خطواره، انحناهای دامنه، چشمه، کارست و حوزه مهارلو.

۱. مقدمه

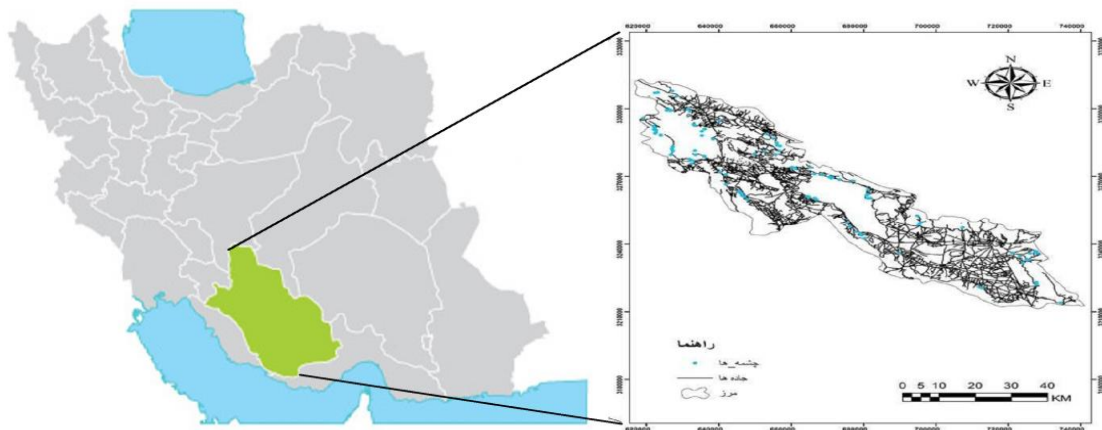
همچنین جهت اکتشافات نفتی حتماً باید الگوی خطواره‌های منطقه مشخص گردد. مشاهدات ژئومورفولوژیکی در مقیاس کوچک و بزرگ به همراه بررسی‌های هیدرولوژیکی کلیدی برای دستیابی به اطلاعاتی در مورد چگونگی شکل‌گیری یک سیستم کارست زیرسطحی می‌باشد [۲]. نمونه‌ای از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به تحقیق خدایی و ناصری [۱۳] که با تهیه نقشه خطواره‌ها به عنوان نمایه برای تعیین آب زیرزمینی در منطقه کارستی شمال انوشیه، با استفاده از داده‌های ماهواره صورت گرفت؛ اشاره کرد. همچنین غیثی [۳] با بهره‌گیری از اطلاعات رقومی دورسنجی و GIS پتانسیل توسعه کارست را در محدوده استان فارس مورد بررسی قرار داد. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی ارتباط بین خطواره‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، عناصر تکتونیکی، شبکه هیدروگرافی و عوامل توپوگرافی با فراوانی منابع آب کارستیک در منطقه مهارلو با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

۲. روش شناسی تحقیق

۱،۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز مهارلو واقع در استان فارس کشور ایران است. محدوده جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه تا ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. کوه قلات در قسمت غربی دشت شیراز با ارتفاعی حدود ۲۹۹۰ متر از سطح دریا، مرتفع‌ترین نقطه حوزه و کف دریاچه مهارلو، با ارتفاعی حدود ۱۴۵۵ متر از سطح دریا پست‌ترین نقطه آن می‌باشد. شیب عمومی منطقه، شمال غربی - جنوب شرقی بوده که در قسمت‌های جنوب شرقی بسیار ملایم است (شکل ۱).

با توجه به نیاز روز افزون به آب خصوصاً آب شرب، شناسایی مناطق توسعه یافته کارست که از ذخایر ارزشمند آب زیرزمینی در کشور محسوب می‌شوند، از اهمیت بالایی برخوردار است. ایران بعد از کشورهای آمریکا، چین و ترکیه، بالاترین درصد کارست را دارد و بیش از ۱۱ درصد سطح این کشور را سازندهای کارستی می‌پوشاند. چون این منابع اصولاً در ارتفاعات وجود دارند، دسترسی انسان به آن‌ها کمتر است و به همین دلیل تقریباً دور از آلودگی‌های انسانی هستند [۱]. بهره‌برداری از مخازن کارستی با توجه به شرایط زمین شناسی، ژئومورفولوژیکی و اقلیمی حاکم بر منطقه می‌تواند در احداث پروژه‌های مختلفی که نیازمند منابع آب هستند، مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این، شناسایی روند تکوین و یا تخریب این اشکال می‌تواند کاهش و یا افزایش پتانسیل آب‌های زیرزمینی منطقه را نیز در درازمدت پیش‌بینی نماید که این خود اقدامات حفاظتی و یا مدیریتی منابع آب کارستی را می‌طلبد. به دلیل اینکه در بسیاری از مناطق کارستی اطلاعات و داده‌های کافی در دست نیست، استفاده از روش‌های سنجش از دور حائز اهمیت است بنابراین تلفیق اطلاعات دورسنجی و داده‌های زمینی به‌ویژه در سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند نتایج ارزشمندی در برداشته باشد. نرم‌افزار GIS با مزیت‌های مکانی، طبیعی، زمانی و با پوشش حجم وسیعی از داده‌ها امکان دستیابی به اطلاعات مناطق صعب العبور را داده و نسبت به ابزارهای دستی دارای توانایی و کاربرد بیشتری است [۶]. یکی از اطلاعات مهم در زمینه تشکیل منابع آب کارست استخراج خطواره‌ها است. استخراج خطواره‌ها، در زمینه‌های مختلف سودمند است، برای مثال در انتخاب مکان مناسب جهت سد سازی، پل سازی، جاده سازی، ارزیابی خطرات لرزشی و لغزشی [۱۵]، اکتشاف کانی‌ها [۱۱]، پیدا کردن چشمه‌های آب گرم، تحقیقات هیدرولوژیکی [۱۳] و



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه واقع در استان فارس

شکل (۲) نقشه سازندهای منطقه را نشان می‌دهد.

۲.۲. زمین شناسی منطقه

حوزه آبخیز دریاچه مهارلو در زون زاگرس قرار دارد. زون زاگرس شامل سه واحد دشت خوزستان، زاگرس چین خورده یا زاگرس خارجی و زاگرس مرتفع یا زاگرس چین داخلی می‌باشد. حوزه مورد مطالعه بخشی از زاگرس چین خورده است. در این زون رسوبات پالئوزوئیک، مزوزوئیک و ترسیر به طور هم‌شیب روی هم قرار دارند. سازندهای زمین شناسی رخنمون شده در حوزه مورد مطالعه از قدیم به جدید عبارتند از: سازند هرمز، گروه بنگستان، پابده-گورپی، تاربور، ساچون، آسماری-جهرم، گچساران، رازک، آغاچاری، بختیاری و رسوبات کواترنری (جدول ۱).

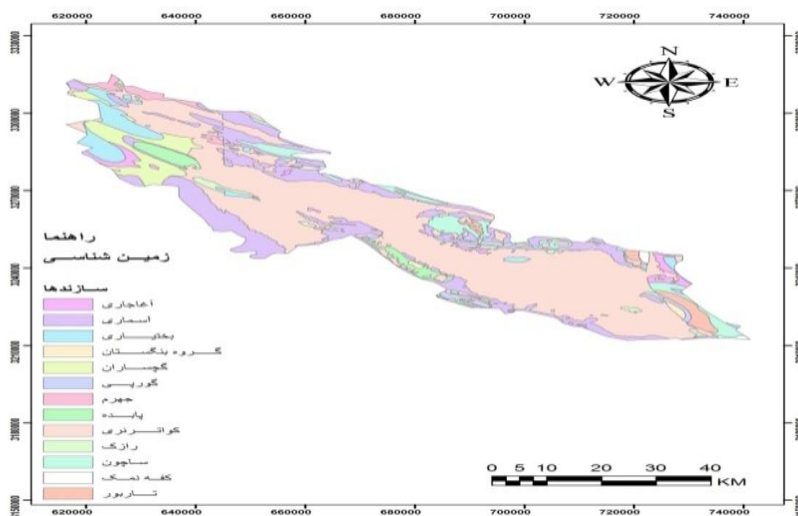
۳.۲. روش تحقیق

۱.۳.۲. تصویر ماهواره‌ای

برای منطقه مورد نظر از تصاویر ماهواره‌ای با طول موج‌های متفاوت استفاده گردید. این تصاویر مربوط به ماهواره لندست هفت (سنجنده ETM^+) می‌باشد، همچنین این سنجنده دارای هشت باند با تفکیک مکانی ۳۰ متر (به جز باند شش که ۶۰ متر و باند پانکروماتیک که ۱۵ متر است) می‌باشد.

جدول ۱. لیتولوژی، سن و علامت اختصاری یافته به سازندهای زمین شناسی حوزه آبخیز مهارلو

ردیف	نام سازند	علامت اختصاری	لیتولوژی	سن
۱	رسوبات کواترنری	Al	رسوبات ریز و درشت دانه	کواترنری
۲	سازند گنگلومرای بختیاری	Bk	گنگومرا و ماسه سنگ آهک چرتی	پلیو- پلیستوسن
۳	سازند آواری آغاچاری	Aj	ماسه سنگ، مارن و سیلت استون	میوسن فوقانی
۴	سازند آواری رازک	Rz	مارن‌های رنگارنگ با آهک سیلتی	میوسن آغازی
۵	سازند تبخیری گچساران	Gs	گچ، نمک، آهک و مارن	میوسن آغازی
۶	سازند آهک دولومیتی آسماری جهرم	As-Ja	آهک و دولومیت	اولیگوسن
۷	سازند مارنی شیلی پابده گورپی	Pd-Gu	مارن‌های رنگین و آهک‌های کرم رنگ	سانتوین تا ائوسن
۸	سازند تبخیری ساچون	Sa	دولومیت، ژپس و مارن	مائسترشتین تا ائوسن پایانی
۹	سازند آهکی تاربور	Ta	آهک توده ای و آهک صخره‌ای	کامپانین تا مائسترشتین
۱۰	گروه بنگستان	Bgp	آهک، شیل، مارن و آهک مارنی	کرتاسه میانی تا بالایی



شکل ۲. نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه در استان فارس

- لایه عناصر تکنونیکي: نظر به اهمیت تحرکات تکتونیکي در ایجاد شرایط لازم برای نفوذ آب در سازندهای سخت کربناته و تسهیل شرایط تشکیل منابع آب زیرزمینی اقدام به تهیه عناصر تکتونیکي گردید. از نظر تکتونیکي حوزه آبخیز مهارلو دارای وضعیتی خاص می باشد در نواحی جنوب، جنوب غربی و جنوب شرقی تاقدیس ها و ناودیس های بلند و کشیده قرار دارد. نواحی مرکزی اغلب تحت تأثیر گسل، شکستگی، فرونشست و بالا آمدگی قرار گرفته است.

- لایه شیب: شیب توپوگرافی یک عامل مهم کنترل کننده سیستم جریان آب زیرزمینی است. گسترش پدیده کارست در شیب های کم در حوزه کارستی مهارلو بیشتر بوده (به دلیل تماس بیشتر آب با آهک) و پدیده انحلال در این شیب ها تشدید می شود. برای این منظور نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه با استفاده از نرم افزار ۹,۳ GIS رقومی شده و پس از تهیه مدل رقومی ارتفاع نقشه شیب منطقه در ۵ کلاس مختلف تهیه گردید.

- لایه انحناى دامنه: مطالعات شکل دامنه محور مطالعات ژئومرفولوژیکي است که می تواند سیستم زهکشی، آب و رسوبات را برای روخانه نشان دهد. در این تحقیق انحناى دامنه با استفاده از نرم افزار ۹,۳ GIS تهیه

۲,۳,۲. لایه های اطلاعاتی مورد استفاده

- لایه پوشش گیاهی: پوشش گیاهی دارای دو نقش منفی و مثبت در پتانسیل آب کارستی دارند. تأثیر مثبت آن ها ناشی از داشتن ریشه های نفوذ کننده در خاک و سنگ و ایجاد یک فضای نفوذ پذیر در کنار آن ها، CO₂ در اطراف ریشه و بالابودن اسیدیته آب که لازمه انحلال سنگ کربناته است؛ می باشد. نقش منفی آن به علت تبخیر و تعرق است که در هنگام متابولیسم صورت می گیرد.

- لایه چشمه: در مطالعه هیدروژئولوژی سازندهای سخت، چشمه ها از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و منبع مناسبی جهت بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیک سفره آب زیرزمینی می باشد. در واقع یکی از بارزترین مظاهر کارست در مناطق مستعد و سطح زمین چشمه ها می باشند. با توجه به وجود چشمه های فراوان در منطقه مورد مطالعه که شامل چشمه های دائمی، فصلی، خشک و زه آب ها می باشد با انجام عملیات صحرایی گسترده با استفاده از نقشه های توپوگرافی و GPS موقعیت مکانی ۱۱۳ مورد از این چشمه ها ثبت شد و یک لایه رقومی از موقعیت مکانی آن ها تهیه گردید. همچنین برای سهولت استخراج عوامل مؤثر در بروز چشمه ها اقدام به ایجاد حریم ۵۰۰ متری در اطراف چشمه ها گردید.

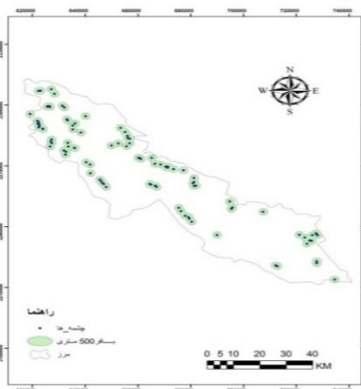
نظر شبکه گسترده‌ای از رودهای دائمی و فصلی و انشعابات مربوطه وجود دارد؛ برای بررسی ارتباط این شبکه با منابع آب موجود، اقدام به رقومی نمودن شبکه هیدروگرافی منطقه از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ گردید.

- لایه خطواره‌ها: بنا بر تعریف خطواره عبارتست از عناصر خطی ساختمان که به نظر می‌رسد در زون‌های شکستگی توسعه پیدا کرده‌اند و در تصاویر ماهواره‌ای یا سنجش از دور قابل مشاهده است. خطواره‌های تفسیر شده می‌توانند به منشاءهای تکتونیکی مختلف متعلق باشند.

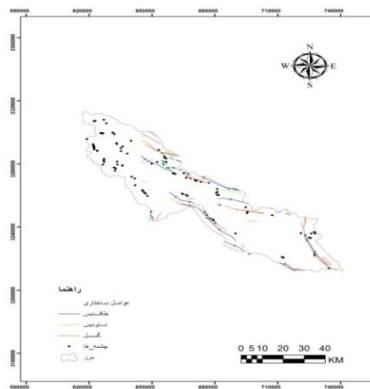
و به سه کلاس مختلف تقسیم شد.

- لایه طبقات ارتفاعی: رفتار سنگ آهک در مقابل عوامل فرساینده و عوامل مؤثر در انحلال آن در ارتفاعات مختلف متفاوت است. از این لایه اطلاعاتی جهت بررسی روابط بین منابع آب موجود و طبقات ارتفاعی استفاده شد. برای تهیه این لایه اطلاعاتی DEM طبقه‌بندی و به صورت یک لایه مجزا مورد استفاده قرار گرفت.

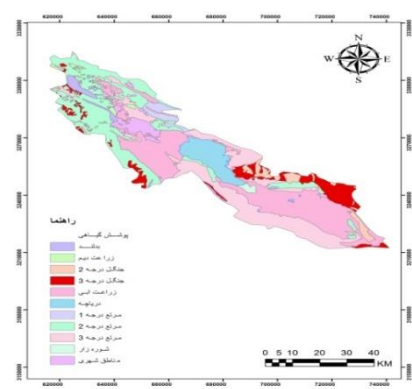
- لایه شبکه هیدروگرافی: با توجه به اینکه در بسیاری نقاط شبکه هیدروگرافی توسط منابع آب زیرزمینی و چشمه‌ها تغذیه می‌شود و با فرض احتمال تکتونیکی بودن بعضی از آبراهه‌ها و نظر به اینکه در منطقه مورد



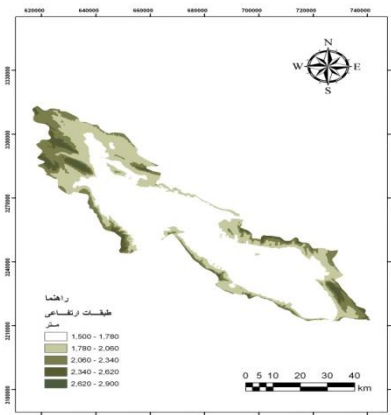
شکل ۵. چشمه‌ها و حريم آن‌ها در منطقه



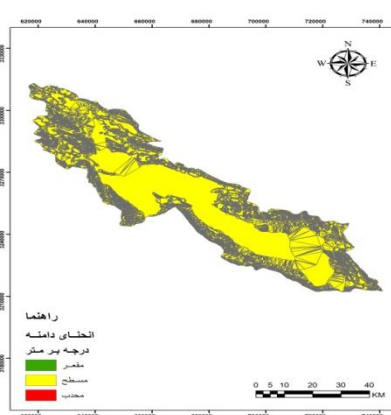
شکل ۴. عناصر تکتونیکی منطقه



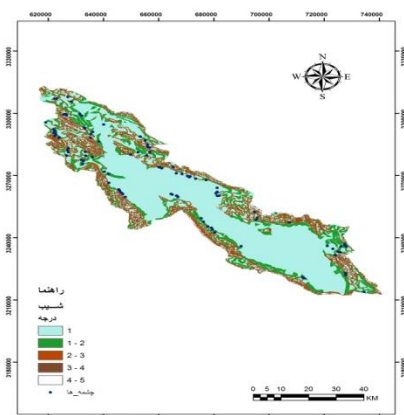
شکل ۳. پوشش گیاهی منطقه



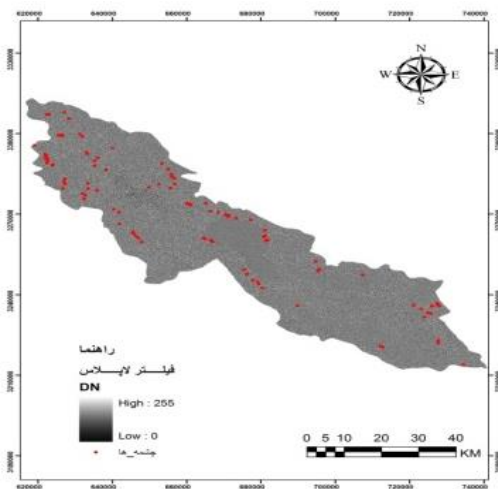
شکل ۸. طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه



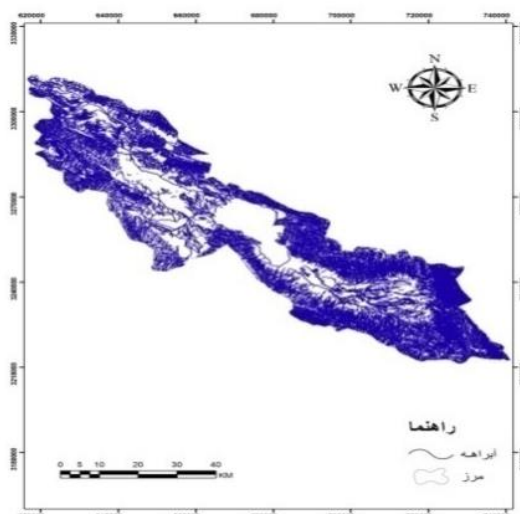
شکل ۷. نقشه انحنای دامنه منطقه مورد مطالعه



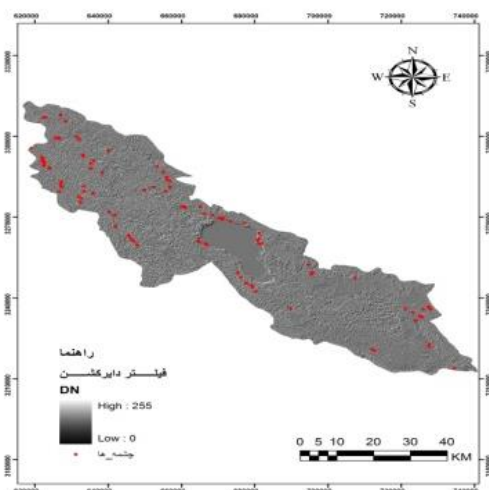
شکل ۶. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



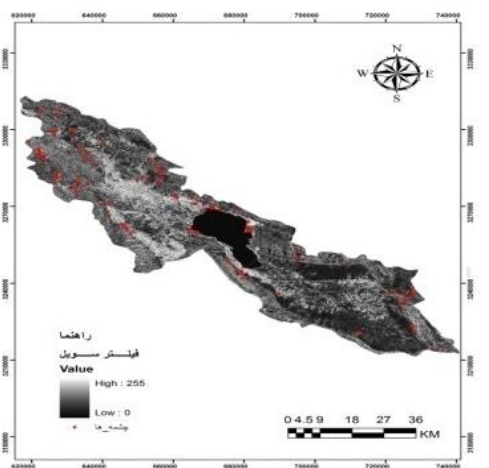
شکل ۱۰. فیلتر لاپلاس



شکل ۹. شبکه هیدروگرافی منطقه مورد مطالعه



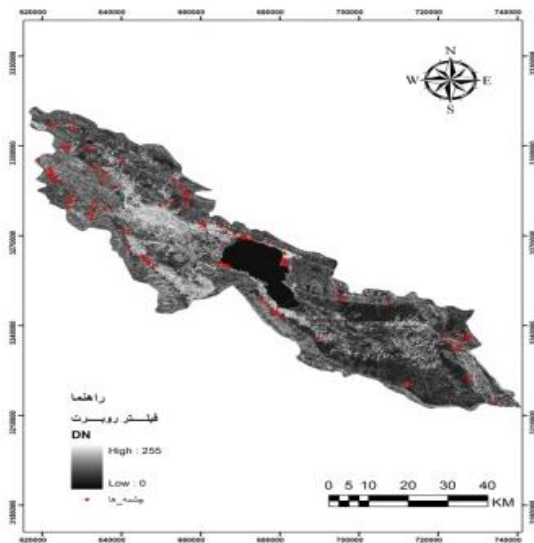
شکل ۱۱. فیلتر دایرکشن



شکل ۱۲. فیلتر سوبل

در این تحقیق به منظور بررسی اهمیت خطواره‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای در استعدادیابی منابع آب زیرزمینی، این لایه اطلاعاتی تهیه شده است. خطواره عبارت است از اشکال خطی یک سطح که ممکن است به صورت ساده یا ترکیبی، قابل نقشه‌برداری باشند [۹]. در نتیجه خطواره‌ها به وسیله یک سری از پیکسل‌های مجاور هم در مرز تغییرات روشنایی در تصاویر مشخص می‌شوند [۱۴]. جهت تعیین این لایه از تفسیر چشمی و تفسیر به کمک رایانه استفاده شد. برای این کار بعد از اجرای تکنیک‌های بارسازی بر روی تصاویر، خطواره‌ها با استفاده از تکنیک‌های آنالیز تصاویر رقومی مانند فیلتر کردن مشخص شد. برای اجرای این روش باند هفت انتخاب شد، چون این باند تأثیر کمتری از اتمسفر می‌پذیرد و به خاطر طول موج بلندتر کمترین پراکنش ۱ را در اتمسفر دارا می‌باشد [۱۲، ۲۲]. فیلترهای آشکارکننده لبه ۲ که بر روی این داده‌ها به کار گرفته شد عبارت بودند از: فیلتر لاپلاس ۳، دایرکشن ۴، سوبل ۵ و روبرت ۶ (به ترتیب اشکال ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳).

۱. Scattering
۲. Edge detection
۳. Laplacian Filter
۴. Directional Filter
۵. Sobel Filter
۶. Robert Filter



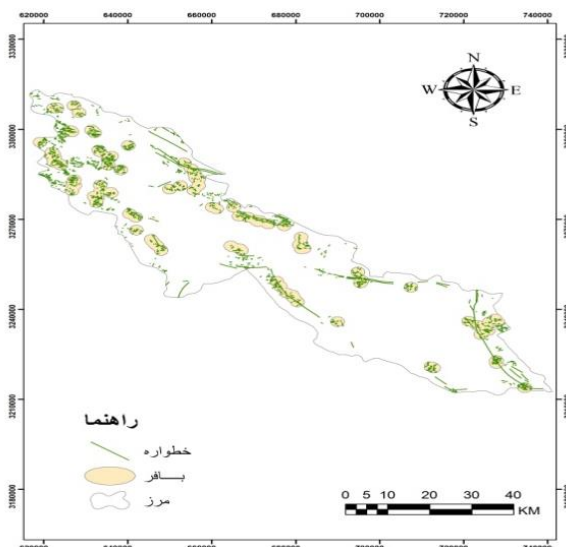
شکل ۱۳. فیلتر روبرت

جدول ۲. اطلاعات فیلترهای دایرکشن و فیلتر لاپلاس

فیلتر لاپلاس با کرنل ۳*۳	فیلترهای دایرکشن زده شده با کرنل ۳*۳ در جهات مختلف			
	N-S	NE-SW	E-W	NW-SE
۰ -۱ ۰	-۱ ۰ ۱	-۱,۴ -۰,۷ ۰,۰	-۱ -۱ -۱	۰,۰ ۰,۷ ۱,۴
-۱ ۴ -۱	-۱ ۰ ۱	-۰,۷ ۰,۰ ۰,۷	۰ ۰ ۰	-۰,۷ ۰,۰ ۰,۷
۰ -۱ ۰	-۱ ۰ ۱	۰,۰ ۰,۷ ۱,۴	۱ ۱ ۱	-۱,۴ -۰,۷ -۰,۰

منطقه مورد نظر از قلم نیفتد (شکل ۱۴).

از تمام تکنیک‌هایی که ذکر شد، سعی گردید خطواره‌های منطقه استخراج گردند تا خطواره‌ای از



شکل ۱۴. نقشه نهایی خطواره‌های منطقه مورد مطالعه

قرار گرفت. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود مقدار آماری χ^2 کلیه عناصر مورد بررسی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نشد بجز تأثیر فراوانی چشمه با ساختار منطقه که در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

۳.۲. تجزیه و تحلیل و آنالیز آماری

جهت ارتباط و همبستگی بین عوامل مؤثر بر فراوانی چشمه‌ها اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری گردید.

در این پژوهش از لایه پوشش گیاهی، لایه عناصر تکنونیک، لایه چشمه‌ها، لایه شیب، لایه انحنای دامنه، طبقات ارتفاعی، لایه شبکه هیدروگرافی و لایه خطواره‌ها استفاده شد.

۳. نتایج

۱.۳. آزمون کای اسکور

به منظور یافتن ارتباط میان فراوانی چشمه‌ها با عناصر مورد بررسی عوامل به صورت جداگانه مورد بررسی

جدول ۳. آزمون χ^2 بین فراوانی چشمه و عوامل مورد بررسی

تراوری منطقه	سازند منطقه	ساختار منطقه	انحنای دامنه	شیب منطقه	Chi-Square(a)
۱۱۷/۳۳۳	۲۲/۴۲۹	۶۶/۲۰۲	۱۴/۶۷۰	۵۱/۲۸۴	
۱۱۲	۱۱۲	۱۱۲	۱۱۲	۱۱۲	df
۰/۳۴	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۹	۱/۰۰	Asymp. Sig.

۱.۲،۳. آزمون همبستگی پیرسون

به منظور بررسی تأثیر عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب منطقه کارستی مهارلو آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد (جدول ۳). از این ۲۲ عامل، ۱۳ عامل تأثیر مستقیم و نه عامل تأثیر معکوس بر روی یکدیگر دارند (جدول ۳). در این همبستگی با افزایش ارتفاع، تراکم تعداد و طول خطواره‌ها در واحد سطح افزایش می‌یابد. زیرا هرچه ارتفاع بیشتر شود تأثیر نیروهای کششی در منطقه بیشتر شده، لذا درز و شکستگی‌ها نیز بیشتر می‌شود [۱۵]. مثلاً در قله تأقدیس‌ها تعداد درز و شکستگی‌ها همیشه بیشتر از دامنه‌ها است. همچنین ارتفاع با مقدار کلر و EC نیز رابطه عکس دارد. چون اصولاً در محیط‌های زمین‌شناختی با حرکت آب در زیر سطح زمین ترتیب انحلال فاز کانی‌ها به صورت کلسیت (تولید کننده آنیون بیکربنات - HCO_3^-)، ژپیس (تولید کننده کاتیون سولفات

SO_4^{2-}) و هالیت (تولید کننده آنیون Cl^-) می‌باشد. بنابراین انتظار بر این است که چشمه‌هایی که در ارتفاعات کمتر ظاهر می‌شوند به علت مسیر طولانی‌تر حرکت آب دارای مقدار کلر بیشتری باشند. این موضوع به خوبی از روی ضریب همبستگی منفی ($-0/440$) کلر و ارتفاع (جدول ۳) قابل مشاهده است. هدایت الکتریکی (EC) نیز تابعی از انحلال کانی‌ها در آب می‌باشد و مسلماً در ارتفاعات کمتر به علت مسیر حرکت طولانی‌تر آب، مقدار EC چشمه‌ها بیشتر است (ضریب همبستگی $0/380$ - مطابق جدول ۳). دما با ارتفاع نیز رابطه عکس دارد هرچه ارتفاع بیشتر، دما کمتر می‌شود و در نتیجه انحلال گازها افزایش می‌یابد که این موضوع باعث افزایش پدیده کارستی می‌شود. در واقع در محیط‌های کارستی با افزایش یافتن مسافت طی شده آب به علت برخورد آب به دیواره مجاری کارستی و پدیده اصطکاک، به طور مداوم بر دمای آب افزوده می‌شود. بنابراین می‌توان انتظار داشت

ایجاد شیارهای کوچک انحلالی آغاز شده و به تدریج به سمت ایجاد کارن‌ها (Karren) و حفره‌های انحلالی توسعه می‌یابد. به عبارتی، انحلال باعث مقعر شدن دامنه‌ها می‌شود. در ارتفاعات کمتر به علت پتانسیل زهکشی آب، احتمال رخداد پدیده انحلال بیشتر است. همچنین در مناطق کارستی زمین‌هایی که ارتفاع کمتری دارند منطبق بر محور ناودیس‌ها بوده و به علت افزایش درز و شکستگی‌ها در این مناطق (به علت فعال بودن نیروهای کششی) احتمال افزایش انحلال و مقعر شدن زمین افزایش می‌یابد. بنابراین وجود رابطه معکوس بین ارتفاع و تحدب دامنه دور از انتظار نیست. از طرفی، در شیب‌های کمتر احتمال تجمع آب (عدم روان‌شدگی) و توسعه فرایندهای انحلالی بیشتر است و انتظار می‌رود بین مقدار شیب و تحدب دامنه رابطه معکوسی وجود داشته باشد. هدایت الکتریکی و همچنین مقدار کلر با تراکم تعداد خطواره‌ها رابطه معکوس دارد. در منطقه مورد مطالعه مکان‌هایی که تراکم تعداد خطواره‌ها بیشتر است و چشمه هم در آنجا وجود دارد، این مطلب بیان می‌شود که کانال‌های کارستی بزرگی وجود دارد که آب با دبی زیاد از آنها خارج می‌شود. در مناطق کارستی هر چه آب در کانال‌های بزرگتری حرکت کند، سریع‌تر مسیر بین منطقه تغذیه و تخلیه را طی می‌کند بنابراین مواد کمتری را در خودش حل می‌کند (به عبارتی زمان ماندگاری آب کمتر است) این جریان به نام جریان کانالی معروف است. هر چه درز و شکستگی کمتر باشد سرعت حرکت آب کاهش یافته و هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. هدایت الکتریکی با انحنای دامنه نیز رابطه عکس دارد، هر چه انحنای افزایش یابد، همانطور که قبلاً ذکر شد آب کمتری نیز انحلال یافته لذا عمل انحلال یون‌ها نیز کاهش یافته و هدایت الکتریکی آن نیز کاهش می‌یابد که این مطلب فقط برای منطقه تغذیه کارستی تعریف شده است. دما با کلر نیز رابطه مستقیم دارد، در ارتفاعات پایین که دمای آب بالاتر است، آب مسیر بیشتری را طی کرده و چون ترتیب انحلال کانی‌های رسوبی در آب به صورت کربنات

چشمه‌هایی که در ارتفاعات بالاتر قرار گرفته‌اند دمای کمتری نیز داشته باشند. ضریب همبستگی پیرسون برابر با $0/637-$ (جدول ۳) به خوبی نشان دهنده ارتباط معکوس ارتفاع چشمه و دمای آن می‌باشد. ارتفاع با آبدهی چشمه نیز رابطه عکس دارد، زیرا هر چه ارتفاع بیشتر شود، آبخوان چشمه کوچکتر و آبدهی کمتر می‌شود و هر چه چشمه کارستی در تراز ارتفاعی پایین‌تری ظاهر شود مساحت حوزه آبخیز و احتمالاً حجم مخزن تأمین‌کننده آب آن نیز بیشتر خواهد شد. بنابراین می‌توان انتظار داشت در منطقه کارستی مهارلو با کاهش ارتفاع ظهور چشمه، آبدهی آن افزایش نشان دهد. این موضوع با ضریب همبستگی $0/242-$ ارائه شده در جدول (۴) قابل نتیجه‌گیری است. آبدهی را می‌توان از طریق مجموع دبی‌های سالانه در واحد زمان که بر حسب لیتر بر ثانیه بیان می‌گردد، محاسبه کرد. همان‌طوری که در بالا ذکر شد، هر چه ارتفاع ظهور چشمه کمتر باشد دبی چشمه بیشتر خواهد شد. از طرفی هر چه آبدهی چشمه کارستی بیشتر باشد، سهم جریان کانالی در آبدهی آن افزایش خواهد یافت. از آنجا که در سیستم‌های کانالی سرعت حرکت آب زیاد است، سیستم به شدت تحت تاثیر تغذیه (بارش) بوده و دبی چشمه‌ها ضمن متغیر بودن در طول سری‌های زمانی، تابع نوسانات بارش است. از نکات ذکر شده در بالا می‌توان نتیجه گرفت هر چه ارتفاع ظهور چشمه کمتر باشد نوسانات آبدهی آن نیز بیشتر است. این موضوع را می‌توان با استفاده از جدول (۴) اثبات کرد. شیب با انحنای دامنه رابطه مستقیم دارد؛ به طور عام منظور از انحنای دامنه، محدب بودن دامنه است و با توجه به اینکه هر چه شیب بیشتر شود، آب کمتر تجمع می‌یابد پس انحلال کمتر است و به عبارت دیگر هر چه تقعر (گودشدگی) کمتر، پس تحدب بیشتر و در نتیجه انحنای بیشتر است. در واقع هر چه تحدب یک دامنه کارستی بیشتر باشد، فرایندهای فرسایشی و به ویژه پدیده‌های انحلالی تأثیر کمتری را بر روی آن می‌گذارند. انحلال و فرسایش انحلالی دامنه‌های کارستی با

← سولفات ← کلر می‌باشد در نتیجه آبی که دمای و یون کلر از همه آن‌ها بیشتر است. بیشتری دارد مواد محلول بیشتری نیز در خود حل کرده

جدول ۴. ضریب همبستگی پیرسون

شیب	انحنای دامنه	PH	پوشش گیاهی	تغییرات دبی	کلر	EC	دما	آبدی	دبی	ارتفاع	تراکم تعداد خطواره	تراکم طول خطواره	
۰.۲۳	-۰.۳۶	۰.۲۱	۱.۰۰	-۰.۷۰	-۰.۲۰۹*	-۱.۶۰	-۰.۴۵	-۰.۱۸۷*	-۰.۱۰۹	۰.۲۷۹**	۰.۵۴۵**	۱	تراکم طول خطواره
۰.۱۱	۰.۱۲۶	۰.۳۹	۱.۰۷	-۰.۱۷۶	-۰.۳۹۱**	-۰.۲۸۹**	-۰.۱۶۶	-۰.۲۳۴*	-۰.۲۲۱*	۰.۴۰۰**	۱	۰.۵۴۵**	تراکم تعداد خطواره
۰.۴۵۲**	۰.۲۳۷*	۰.۳۰۴**	۰.۵۴۱**	-۰.۱۰۲	-۰.۴۴۰**	-۰.۳۸۰**	-۰.۶۳۷**	-۰.۲۴۲**	-۰.۲۳۵*	۱	۰.۴۰۰**	۰.۲۷۹**	ارتفاع
-۰.۱۶۵	-۰.۰۲۵	۰.۰۰۹	-۰.۱۰۱	۰.۶۹۹**	۰.۱۲۱	۰.۰۴۸	۰.۲۱۵*	۰.۷۹۱**	۱	-۰.۲۳۵*	-۰.۲۲۱*	-۰.۱۰۹	دبی
-۰.۱۶۰	-۰.۰۴۳	۰.۰۳۹	-۰.۰۹۶	۰.۵۲۸**	۰.۱۸۹*	۰.۰۸۹	۰.۲۰۶*	۱	۰.۷۹۱**	-۰.۲۴۲**	-۰.۲۳۴*	-۰.۱۸۷*	آبدی
-۰.۳۵۷**	-۰.۱۵۵	-۰.۱۹۰*	-۰.۳۹۴**	۰.۰۵۰	۰.۲۹۹**	۰.۲۲۲*	۱	۰.۲۰۶*	۰.۲۱۵*	-۰.۶۳۷**	-۰.۱۶۶	-۰.۰۴۵	دما
-۰.۱۹۹*	-۰.۲۵۶**	-۰.۰۲۰	-۰.۱۶۴	-۰.۰۴۳	۰.۶۰۱**	۱	۰.۲۲۲*	۰.۰۸۹	۰.۰۴۸	-۰.۳۸۰**	-۰.۲۸۹**	-۰.۱۶۰	EC
-۰.۲۲۵*	-۰.۱۳۹	-۰.۰۷۷	-۰.۱۵۲	-۰.۰۰۸	۱	۰.۶۰۱**	۰.۲۹۹**	۰.۱۸۹*	۰.۱۲۱	-۰.۴۴۰**	-۰.۳۹۱**	-۰.۲۰۹*	کلر
-۰.۱۵۸	-۰.۰۳۲	-۰.۰۰۳	-۰.۰۲۴	۱	-۰.۰۰۸	-۰.۰۴۳	۰.۰۵۰	۰.۵۲۸**	۰.۶۹۹**	-۰.۱۰۲	-۰.۱۷۶	-۰.۰۷۰	تغییرات دبی
۰.۲۴۶**	۰.۱۹۴*	۰.۳۱۲**	۱	-۰.۰۲۴	-۰.۱۵۲	-۰.۱۶۴	-۰.۳۹۴**	-۰.۰۹۶	-۰.۱۰۱	۰.۵۴۱**	۰.۱۰۷	۱.۰۰	پوشش گیاهی
۰.۲۳۵*	۰.۰۰۰	۱	۰.۳۱۲**	-۰.۰۰۳	-۰.۰۷۷	-۰.۰۲۰	-۰.۱۹۰*	۰.۰۳۹	۰.۰۰۹	۰.۳۰۴**	۰.۰۳۹	۰.۰۲۱	PH
۰.۲۵۰**	۱	۰.۰۰۰	۰.۱۹۴*	-۰.۰۳۲	-۰.۱۳۹	-۰.۲۵۶**	-۰.۱۵۵	۰.۰۴۳	-۰.۰۲۵	۰.۲۳۷*	۰.۱۲۶	-۰.۰۳۶	انحنای دامنه
۱	۰.۲۵۰**	۰.۲۳۵*	۰.۲۴۶**	-۰.۱۵۸	-۰.۲۲۵*	-۰.۱۹۹*	-۰.۳۵۷**	-۰.۱۶۰	-۰.۱۶۵	۰.۴۵۲**	۰.۰۱۱	۰.۰۲۳	شیب

کافی می‌باشد. همچنین مقدار sig آزمون بارتلت، کوچکتر از پنج درصد است که نشان می‌دهد تحلیل عاملی برای شناسایی ساختار، مدل عاملی، مناسب است (جدول ۴).

۳.۳. آزمون PCA

از آنجایی که مقدار شاخص KMO برابر ۰/۷۱۸ است (نزدیک به یک)، تعداد چشمه‌ها برای تحلیل عاملی

جدول ۴. آزمون Bartlett و KMO از آزمون PCA

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	۰.۷۱۸	
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	۵۰۳,۸۸۷
	Df	۷۸
	Sig.	۰.۰۰۰

تحلیل باقی می‌مانند. این چهار عامل می‌توانند تقریباً ۶۵/۵ درصد از تغییرپذیری (واریانس) متغیرها را توضیح دهند (جدول ۵).

در این مطالعه عامل اول (تراکم طول خطواره)، عامل دوم (تراکم تعداد خطواره)، عامل سوم (ارتفاع) و عامل چهارم (دبی) دارای مقدار ویژه بزرگتر از یک هستند و در

جدول ۵. خروجی Total Variance Explained از آزمون PCA

Component	Initial Eigenvalues		Extraction Sums of Squared Loadings				Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
۱	۳,۶۲۶	۲۷,۸۹۴	۲۷,۸۹۴	۳,۶۲۶	۲۷,۸۹۴	۲۷,۸۹۴	۲,۴۳۵	۱۸,۷۳۱	۱۸,۷۳۱
۲	۲,۱۴۳	۱۶,۴۸۷	۴۴,۳۸۱	۲,۱۴۳	۱۶,۴۸۷	۴۴,۳۸۱	۲,۳۱۲	۱۷,۷۸۱	۳۶,۵۱۲
۳	۱,۵۷۷	۱۲,۱۲۹	۵۶,۵۱۰	۱,۵۷۷	۱۲,۱۲۹	۵۶,۵۱۰	۱,۹۴۵	۱۴,۹۶۳	۵۱,۴۷۵
۴	۱,۱۵۷	۸,۸۹۸	۶۵,۴۰۸	۱,۱۵۷	۸,۸۹۸	۶۵,۴۰۸	۱,۸۱۱	۱۳,۹۳۳	۶۵,۴۰۸
۵	.۹۰۱	۶,۹۳۳	۷۲,۳۴۱						
۶	.۷۸۶	۶,۰۴۵	۷۸,۳۸۶						
۷	.۶۹۰	۵,۳۰۹	۸۳,۶۹۶						
۸	.۵۶۵	۴,۳۴۷	۸۸,۰۴۳						
۹	.۴۳۱	۳,۳۱۳	۹۱,۳۵۶						
۱۰	.۳۹۰	۲,۹۹۸	۹۴,۳۵۴						
۱۱	.۳۲۷	۲,۵۱۴	۹۶,۸۶۸						
۱۲	.۲۴۴	۱,۸۷۶	۹۸,۷۴۴						
۱۳	.۱۶۳	۱,۲۵۶	۱۰۰,۰۰۰						

تغییرات (واریانس) متغیر مورد نظر دارد. با توجه به انجام تحلیل عاملی روی ۱۳ متغیر مؤثر در بروز چشمه، چهار عامل به‌عنوان عامل‌های اصلی شناسایی می‌شود.

جدول ۶ ماتریس چرخیده شده اجزا را نشان می‌دهد که شامل بارهای عاملی هر یک از متغیرها در عامل‌های باقی مانده پس از چرخش می‌باشد. هر چه قدر مقدار این ضرایب بیشتر باشد، عامل مربوطه نقش بیشتری در کل

جدول ۶. خروجی Rotate Component Matrix از آزمون PCA

Component	Component			
	۴	۳	۲	۱
تراکم طول خطواره	.۸۳۳	.۰۴۳	.۰۷۳	.۰۶۴
تراکم تعداد خطواره	.۷۹۳	.۲۲۲	.۰۷۱	.۱۷۲
ارتفاع	.۳۱۰	.۳۹۰	.۷۲۲	.۱۵۵
دبی	.۰۹۱	.۰۲۰	.۰۹۰	.۹۲۹
درجه حرارت	.۰۳۴	.۳۱۵	.۶۴۷	.۱۶۱
هدایت الکتریکی	.۲۸۷	.۷۷۲	.۰۵۹	.۰۳۹
کلر	.۴۱۶	.۶۶۷	.۱۳۷	.۰۴۲
تغییرات دبی	.۰۰۵	.۰۵۰	.۰۱۱	.۸۳۸
پوشش گیاهی	.۰۶۹	.۰۸۵	.۷۴۳	.۰۱۰
PH	.۰۴۵	.۲۱۹	.۶۹۹	.۱۰۹
انحنای دامنه	.۲۰۲	.۶۲۵	.۱۲۱	.۰۲۲
شیب	.۲۱۷	.۳۸۸	.۰۵۲۱	.۲۱۱
آبدهی	.۱۸۰	.۰۵۹	.۰۶۷	.۸۵۲

داشته است. شرایط هیدرولوژیکی [۱۲] و شرایط ژئومورفولوژی [۵] یکی از عوامل مهم در توسعه آبخوان کارستی به شمار می‌رود. همچنین به دلیل پراکندگی نامتناسب بارش در فصل‌های مختلف سال، بالا بودن میانگین دمای سالانه و وضعیت خاص زمین شناسی منطقه، حوزه مهارلو از نظر جریان‌های سطحی فقیر بوده و به همین دلیل از نظر تغذیه به وسیله آب‌های زیرزمینی حائز اهمیت می‌باشد. همچنین مقایسه نقشه سازندهای زمین شناسی و فراوانی چشمه‌ها به خوبی نشان می‌دهد که فراوانی چشمه‌ها در سازند آسماری- جهرم با جنس آهک و دولومیت بیشتر می‌باشد. مقایسه نقشه تراکم خطواره‌ها و فراوانی چشمه‌ها نیز حاکی از آن است که عناصر تکتونیکی در سازندهای کارستی نقش بارزتری را در تغذیه منابع آب دارند. مطالعه دیگری نیز بر روی پدیده‌های کارستی با استفاده از داده‌های لندست TM در یونان صورت گرفته که هدف از این تحقیق ارائه روشی برای بررسی راه‌های تشخیص پدیده کارست در داده‌های لندست بود. طی این مطالعه مورفولوژی، شبکه آبراهه‌ها، پوشش گیاهی، پوشش خاک و نشت آب از سطح آب زیرزمینی سواحل کارستی به طرف دریا مورد توجه قرار گرفت [۱۰]. Kazemi و همکاران در بررسی خود در خصوص نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب کارست به این نتیجه رسیدند که ارتباط نزدیکی بین خطواره‌ها، عناصر تکتونیکی، شبکه هیدروگرافی و شیب توپوگرافی با فراوانی منابع آب کارست در منطقه لار وجود دارد [۷]. همچنین خدیری و همکاران در مطالعه خود بر روی توسعه کارست در جنوب ایران پارامترهای مؤثر بر توسعه کارست مثل لیتولوژی، شیب، پوشش گیاهی، تراکم گسل‌ها، فاصله از گسل‌ها، تراکم خطواره، فاصله از خطواره، بارش و دما مورد ارزیابی قرار دادند و با استفاده از روش سلسله‌مراتبی زوجی (AHP) وزن تأثیر هر کدام از لایه‌ها در توسعه کارست به دست آمد. نتایج نشان داد شاخص زمین شناسی، تراکم گسل و فاصله از گسل بیشترین اهمیت را دارند [۴].

در هر کدام از چهار عامل ذکر شده یکسری از متغیرها دارای ارزش کمی بیشتری نسبت به سایر متغیرها می‌باشند. مثلاً در عامل اول متغیرهای دبی، تغییرات دبی و آبدهی دارای بیشترین مقدار می‌باشند، به همین دلیل این عامل تحت عنوان عامل هیدرولوژیکی نامگذاری می‌شود؛ در عامل دوم ارتفاع، شیب و پوشش گیاهی دارای بیشترین مقدار می‌باشند به همین دلیل این عامل تحت عنوان عامل توپوگرافی و پوشش گیاهی نام‌گذاری می‌شود. در عامل سوم متغیرهای هدایت الکتریکی و کلر دارای بیشترین مقدار می‌باشند، به همین دلیل این عامل تحت عنوان عامل کیفی نام‌گذاری می‌شود و در نهایت در عامل چهارم تراکم طول خطواره و تراکم تعداد خطواره در واحد سطح دارای بیشترین مقدار می‌باشند که باعث شده عامل چهارم به عنوان عامل ساختاری در نظر گرفته شود.

۴. بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق رابطه بین عوامل ساختاری با فراوانی منابع آب کارست در منطقه مهارلو بررسی گردید. نتایج نشان داد که رابطه زیادی بین فراوانی چشمه‌ها با عناصر تکتونیکی، خطواره و شبکه هیدروگرافی وجود دارد. با توجه به انجام آزمون‌های متعدد و پنج عامل به دست آمده از انجام آزمون PCA (عوامل هیدرولوژیکی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، کیفی و ساختاری) ویژگی‌های حوزه کارستی مهارلو در بروز چشمه چنین توجیه می‌شود: نقش توپوگرافی و پستی و بلندی زمین در پتانسیل آب‌های کارستی با ایجاد تغییرات دما نسبت به ارتفاع، میزان بارش، رشد پوشش‌های گیاهی خاص در منطقه، تبخیر و نیز ایجاد شیب‌های مختلف و تغییر میزان تولید رواناب بر روی آن‌ها اعمال می‌گردد. در این حین نقش تکتونیک منطقه با توجه به مطالب ذکر شده که خود بر روی هیدرولوژی و هیدروژئولوژی نیز تأثیر گذارند، بسیار بارز بوده و باعث توسعه چشمگیر کارست در حوزه گردیده و به نوبه خود آبدهی چشمه‌ها را نیز در پی

References

- [۱] Afrasyab, A. (۱۹۹۸) The importance of karst studies in Iran. Articles World Water Conference in karst formations, Tehran, Kermanshah.
- [۲] Ford, D. C., Williams, P., ۲۰۰۷, "Karst Hydrogeology and Geomorphology", John Wiley & Sons, ۵۷۶ pp.
- [۳] Ghiyasi, H. (۲۰۰۸) Factors affecting the development of karst in Zagros karst zones digital information using remote sensing and GIS. Master thesis hydrology. Shiraz university.
- [۴] Khedri, A. Rezaei, M. Ashjari, J. (۲۰۱۳) Assessing Karst Development Potential in Poyon Anticline using GIS,RS and Analytical Hierarchy Process (AHP) (in Persian). Iran-Water Resources Research. ۹ (۳): ۳۷-۴۶.
- [۵] Khanlari, Gh, Momeni, A, A. (۲۰۱۲) Geomorphology, hydrology and study the factors of karst development in the region Crane, West Iran. Journal of Geography and urban-regional planning. No: ۳. ۶۱-۷۴.
- [۶] Khedri, A. Rezaei, M. and Ashjari, J. (۲۰۱۴) Assessing Karst Development Potential in Poyon Anticline using GIS,RS and Analytical Hierarchy Process (AHP). Iran-Water Resources Research. Volume ۹, No. ۳. ۳۷-۴۶.
- [۷] Kazemi, R. Ghayoumian, J. Jalali, N. (۲۰۰۷) Investigation the effect of structural elements on the karst water resource abundance in the LAR catchment's using RS and GIS. Pajouhesh & Sazandegi. No: ۷۳. PP : ۳۳-۴۱.
- [۸] Madani, A. A., (۲۰۰۱). Selection of the Optimum Landsat Thematic Mapper Band for Automatic Lineaments Extraction. Wadi Natash Area, South Eastern Desert, Egypt. Asion Conference on Remote Sensing, ۵-۹ November ۲۰۰۱. P ۲۲-۱۳.
- [۹] O'Leary, D.W., Friedman, G.D. and Pohn, H.A., (۱۹۷۶). "Lineament, Linear, Lination: Some proposed new standards for old terms." Geological Society America Bulletin, Vol. ۸۷, ۱۴۶۳-۱۴۶۹.
- [۱۰] Parcharidis, I., Psomiadis, E. and Stamatis, G. (۱۹۹۸). Using Landsat TM images to study the Karstic phenomenon. ITC Journal, NO. ۲, p: ۱۱۸-۱۲۳.
- [۱۱] Rowan, L.C. and E.H. Latham, (۱۹۸۰). Mineral Exploration. Chapter ۱۷, in Remote Sensing in Geology (B.S. Siegal and A.R. Gillespie, editors), John Wiley and sons, New York, pp. ۵۵۳-۶۰۰.
- [۱۲] Raeisi, E. Pezeshkpoure, P. Moore, F (۱۹۹۳) Characteristics of karst aquifer as indicated temporal changes of the spring's physicochemical parameters. International journal of science, Shiraz University, ۱۷(۱).
- [۱۳] Sabins, F.F., (۱۹۹۶). Remote Sensing: Principles and Interpretation, ۳rd ED. :W.H. Freeman and Company, New York, ۴۹۴ Pp.
- [۱۴] Shorth, N.M., (۲۰۰۴). "Lineaments and fractures". Remote Sensing Tutorial. http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect۳/Sect۳_۱.html. visited on ۲۴, ۱۱, ۰۴.
- [۱۵] Smith, M.J. and Clark, C. D., (۲۰۰۵). Methods for the Visualization of digital elevation models for landform mapping. Earth Surface Processes and Landforms, ۳۰ (۷): ۸۸۵-۹۰۰.
- [۱۶] Stefouli, M.A. Angellopoulos, S. Perantonis, N. Vassilas, N. Ambazis, E. Charou, (۱۹۹۶). "Integrated Analysis and Use of Remote Sensed Data for the Seismic Risk assessment of the southwest Peloponessus Greece", First Congress of the Balkhan Geophysical Society, ۲۳-۲۷ September, Athens Greece.
- [۱۷] Suzen, M.L., and Toprak, V., (۱۹۹۸). "Filtering of Satellite Images in Geological Lineament Analyses: An Application to a Fault Zone in Central Turkey." International Journal of Remote Sensing, Vol. ۱۹, No. ۶, ۱۱۰۱-۱۱۱۴.

