

بررسی وضعیت خطوارگی سازندهای کارستی حوزه‌های آبخیز مشرف به خلیج فارس

❖ محسن فرزین؛ استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، ایران.

❖ علی اکبر نظری سامانی*؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ سعیده منبری؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد منابع طبیعی، مرکز تحقیقات بیابان، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ سادات فیض‌نیا؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ غلامعباس کاظمی؛ دکتری هیدروژئولوژی، مشاور خصوصی، امیرآباد، آبادان.

چکیده

این پژوهش سعی بر آن دارد تا با تعیین خطواره‌های سازندهای زمین‌شناسی منتهی به خلیج فارس و تبیین سهم نسبی هر سازند، نقش و اهمیت سازندهای کارستی را در نفوذ جریان‌های سطحی و تغذیه منابع آب زیرزمینی منطقه به نمایش بگذارد. بدین منظور، نزدیک‌ترین زیرحوضه‌ها از چهار حوضه رودخانه‌های مند، حله، کل-مهران و زهره به سواحل خلیج فارس جهت استخراج خطواره‌ها، ترسیم نمودارهای گلسرخی و تحلیل آن‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI[®] 5.3، PCI Geomatica، GIS10.3.1 و Rock works 2016 انتخاب گردید. در ابتدا فراوانی، تراکم، تقاطع، جهت، اندازه و شدت خطواره‌ها در سازندهای منطقه تعیین گردید، سپس با تبیین و تعریف شاخص خطوارگی، اهمیت و تأثیر هر سازند در تغذیه بالقوه منابع آب زیرزمینی تعیین گردید. نتایج نشان می‌دهد بیشترین درصد فراوانی، درصد تقاطع و درصد طولی خطواره به سازند آسماری-چهرم و بیشترین درصد شدت خطواره به سازند ایلام-سروک اختصاص دارد؛ مقدار عددی شدت خطواره در سازندهای کارستی، سه برابر سازندهای غیرکارستی است. به طور کلی بررسی وضعیت خطوارگی نشان می‌دهد که خطواره‌ها اساساً در سازندهای کارستی ایجاد شده‌اند به طوری که مقدار عددی شاخص خطوارگی در سازندهای کارستی، ۷/۷۲ است در حالی که این مقدار در سازندهای غیر کارستی ۲/۳ است و اختلاف بیش از سه برابری را نشان می‌دهد. همچنین، جهت‌یافتگی خطواره‌ها بر اساس فراوانی و طول آن‌ها در کل محدوده مورد مطالعه راستای شمال شرق-جنوب غرب دارد که دلیل آن را می‌توان تعداد بسیار زیاد خطواره‌های کارستی با این جهت‌یافتگی و تأثیر آن بر درصد نسبی کل خطواره‌های منطقه دانست، امتداد بخش جنوب غربی این راستا به سواحل خلیج فارس منتهی می‌شود.

کلید واژگان: خطواره، شاخص خطوارگی، کارستی، خلیج فارس

۱. مقدمه

نقشه خطواره‌های هر منطقه برای شناخت عوارض زمین‌شناسی (برای نمونه، گسل‌ها)، توپوگرافی (خط الرأس‌ها و سیستم زهکشی) و خطواره‌های غیر زمین‌شناسی (خطواره‌های بشرساز و مرز زمین‌های کشاورزی) مورد استفاده قرار می‌گیرند، این نقشه‌ها اغلب با استفاده از الگوریتم‌های مناسب از داده‌های مکانی استخراج می‌شوند [۳۴]. شناخت و تهیه نقشه خطواره‌ها به منظور بررسی الگو، تراکم و نحوه شکستگی موجود در سازندهای زمین‌شناسی در محدوده‌های وسیع و دور از دسترس [۳۶]، مطالعه منابع آب [۳۷] و نیز اکتشاف ذخایر معدنی [۳۲] دارای اهمیت فراوانی است.

تاکنون چندین تعریف برای خطواره ارائه شده است: اولین کاربرد اصطلاح خطواره در زمین‌شناسی به احتمال زیاد در مقاله هابس در سال‌های ۱۹۰۴ و ۱۹۱۴ میلادی [۲۸] استفاده شده است که خطواره را به صورت خطوط مشخص موجود در سیمای سرزمین می‌داند که توسط درزه‌ها و گسل‌ها ایجاد شده‌اند و بازگو کننده معماری زیرزمینی سازند است، این تعریف بعد توسط آلیری و همکاران [۲۶] استفاده شد، ایشان خطواره‌ها را عارضه خطی ساده یا پیچیده با اجزاء سطحی می‌دانند که به صورت خطی مستقیم یا با کمی انحنا ردیف شده‌اند به طوری که از الگوی اشکال موجود در کنار آن متفاوت بوده و به احتمال زیاد منعکس کننده یک پدیده زیرسطحی هستند. [۱۲] بیان کرده است که در میان بیشتر عوارض قابل مشاهده در عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، اشکال خطی به نام خطواره دیده می‌شوند که به صورت خطوط مستقیم یا خمیده با طول متفاوت ظاهر شده و اغلب با شکستگی‌ها و مرزهای لیتولوژیک و در برخی موارد با رلیف ژئومرفیک مرتبط می‌باشند و بنابراین در تصویر، با تن متفاوت ظاهر می‌شوند (یعنی تنوع رنگ سیاه و سفید عوارض موجود در تصویر). [۱۴] معتقدند که یک خطواره می‌تواند (۱) جریان مستقیم و دره، (۲) سطح تراز، (۳) تغییرات تن خاک، (۴) نواحی با پوشش گیاهی منظم، (۵)

تغییرات ناشی از تفاوت گونه گیاهی و ارتفاع آن و یا (۶) تغییر سریع توپوگرافی باشد، تمام این پدیده‌ها ممکن است نتیجه پدیده‌های ساختاری همچون گسل‌ها، سری درزه‌ها، چین‌ها، ترک‌ها یا شکستگی‌ها باشد. [۷] خطواره‌ها را ساختارهای زمین‌ساختی خطی طولی توصیف کرده‌اند که دارای اطلاعات مهم سطحی و زیر سطحی هستند و در مقدار نفوذ جریان سطحی، تغذیه آبخوان و یا حرکت آب زیرزمینی مؤثرند. بنابراین خطواره‌ها نمایانگر نقاط ضعف زمین در سازندهای سخت می‌باشند و می‌توانند به عنوان عامل تسهیل کننده عبور آب در این سازندها عمل نمایند. [۳۸] نیز خطواره را عارضه‌ای تعریف کرده‌اند که (۱) در تصویر سطح زمین قابل تشخیص است (۲) خطی پیوسته و بدون شکستگی است (۳) نقاط پایان و مرز جانبی مشخصی دارد (۴) طول بیشتری نسبت به عرض دارد و از این رو آزمون قابلیت توجهی دارد و (۵) احتمالاً با ساختار زمین‌شناسی همبستگی داشته باشد. البته در برخی موارد ممکن است خطواره‌ها عوارض کاذب توصیف شوند. در واقع خطواره کاذب، خطواره‌ای است که هر ۵ معیار بالا را دارد؛ همچنین ممکن است خطواره‌ها به صورت اشکالی دیده شوند که تطابق با توپوگرافی خطی ندارند و به اشتباه خطواره نامیده شوند، مانند جاده‌ها، خطوط لوله، راه آهن‌ها، تراس‌ها و مسیرهای مال‌رو و همه ساختارهای بشرساز خطی. از این رو، همواره باید تلاش نمود که عوارض خطی غیر از خطواره را تشخیص داده و از نقشه نهایی خطواره حذف کرد. در نهایت باید گفت که خطواره‌ها مبهم هستند چرا که همیشه نمی‌توان وجود آن‌ها را در عرصه تأیید نمود [۳۴] و ممکن است خطواره‌ای را که الگوریتم مورد نظر در تصویر تشخیص داده است را نتوان در عرصه طبیعی مشاهده کرد.

به طور کلی می‌توان گفت که خطواره‌ها در زون‌های خرد شده و دچار هوازدۀ محلی، بیشتر است که موجب افزایش نفوذپذیری و تخلخل می‌شوند [۲۵]. در واقع، خطواره‌ها برجسته‌ترین ویژگی ساختاری از نقطه نظر آب زیرزمینی هستند [۲۹] که در شناخت دینامیک جریان

سنگ‌ها در کشور یکنواخت نمی‌باشد و بیشترین گسترش سنگ‌های کربناته به زون زاگرس اختصاص دارد به طوری که بیش از ۵۵ درصد از سازندهای کربناته کارستی ایران را در بر می‌گیرد [۳۰].

این پژوهش سعی بر آن دارد تا با تعیین خطواره‌های سازندهای زمین‌شناختی منتهی به خلیج فارس و تبیین سهم نسبی هر سازند، نقش و اهمیت سازندهای کارستی را در نفوذ جریان‌های سطحی و تغذیه منابع آب زیرزمینی منطقه به نمایش بگذارد.

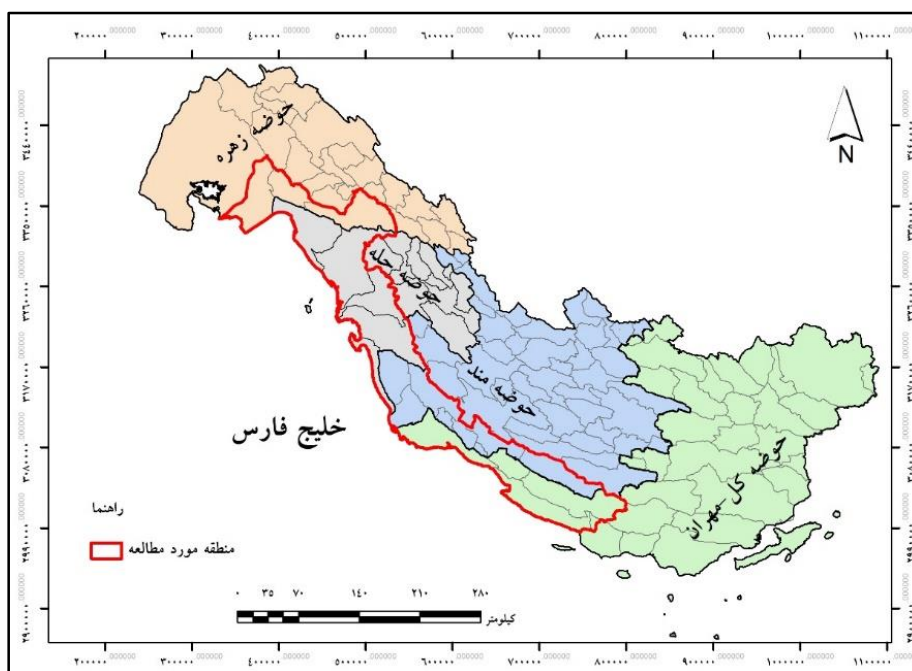
۲. روش‌شناسی

۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه چهار رودخانه مند، حله، کل-مهران و زهره در محدوده منطقه مطالعاتی به خلیج فارس منتهی می‌شوند (شکل ۱). این حوضه‌ها از چندین زیرحوضه تشکیل شده‌اند که وسعت بسیار زیادی را نیز در برمی‌گیرد.

آب زیرسطحی اهمیت زیادی دارند [۳۵]. پتانسیل آب زیرزمینی در سازندهای سخت نیز اساساً توسط خطواره‌های منطبق بر شکستگی‌ها، درزه‌ها و گسل‌ها کنترل می‌شود [۲۸].

گسترش سازندهای کارستی در نقاط مختلف کره زمین متفاوت بوده و به علت شرایط اقلیمی متفاوت، پدیده‌های انحلالی در آن‌ها نیز از منطقه‌ای به منطقه دیگر فرق می‌کند. شرایط اقلیمی سرد و مرطوب حاکم بر اکثر کشورهای اروپایی، زمینه مساعدی را جهت ایجاد پدیده‌های کارستی در سنگ‌های انحلال‌پذیر در این کشورها فراهم کرده است. در صورتی که در کشور ما به علت قرارگیری در ناحیه خشک و نیمه خشک، شکل‌گیری این پدیده‌ها محدود می‌باشد، اما گسترش قابل توجه سازندهای کارستی به ویژه سازندهای کربناته در زون‌های زمین‌شناسی زاگرس، کپه داغ، البرز و به صورت محدود در نواحی مرکزی ایران، شرایط مناسبی در شکل‌گیری مخازن نسبتاً قابل توجه از آب زیرزمینی کارستی را در کشور ایجاد کرده است. حدود ۱۱ درصد از کشور را سازندهای کربناته به خود اختصاص می‌دهند؛ توزیع این



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه در حوضه‌های منتهی به خلیج فارس

منظور استخراج خطواره‌های محدوده مورد مطالعه، با استفاده از فیلترهای رقومی بر روی داده‌های ماهواره‌ای که به دلیل برداشت در فصل تابستان مناسب برای بررسی‌های زمین‌شناسی است، نسبت به آشکار سازی خطواره‌ها اقدام گردید، بدین ترتیب که داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸، باندهای ۷-۱ سنجنده OLI در ۷ فریم به شماره ردیف و گذر ۱۶۱/۴۱، ۱۶۲/۴۱، ۱۶۳/۴۰، ۱۶۳/۴۱، ۱۶۴/۳۹، ۱۶۴/۴۰ و ۱۶۵/۳۹ طی ماه‌های گرم سال ۲۰۱۶ از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) دانلود گردید. سپس در محیط نرم افزار ENVI[®] 5.3 و پس از انجام تصحیحات اتمسفریک و رادیومتریک، با دستور PCA، تصویر رستری PC1 ایجاد شد. خطواره‌ها با استفاده از نرم افزار PCI Geomatica و با مدول PCI-LINE که خطواره‌ها را در هر تصویر ۸ بیتی منفرد در سه مرحله ۱. تشخیص لبه^۲، آستانه‌گذاری^۳، استخراج انحنای^۳ شناسایی می‌نماید، استخراج گردید. در نهایت با تفسیر و استخراج چشمی خطواره‌ها و حذف خطواره‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی، خطواره‌های منطبق بر گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی و شبکه آبراهه‌ها و همچنین بررسی میدانی (گوگل ارث)، نقشه نهایی خطواره در محیط نرم‌افزار GIS10.3.1 تهیه شد [۱۵، ۳۹]. نمودار گلسرخی خطواره‌ها نیز پس از جداسازی و تفکیک خطواره‌های چند بخشی به خطواره ساده و تک بخشی و ویرایش جدول توصیفی خطواره‌ها، در محیط نرم افزار Rock works 2016 تهیه گردید.

بسیاری از مطالعات، ارتباط نزدیکی بین خطواره و پتانسیل آب زیرزمینی را نشان داده‌اند (همچنین برای نمونه، [۹، ۱۸ و ۲۲]؛ برخی از پژوهشگران نیز به طور ویژه‌ای ارتباط بین حضور آب زیرزمینی با تعداد و تراکم خطواره در نواحی مشخصی را مورد مطالعه قرار داده‌اند [۱۱]). با این وجود، به نظر می‌رسد علاوه بر فراوانی و تراکم، ضروری است که تقاطع، جهت و اندازه خطواره‌ها

با توجه به اهمیت احتمالی زیرحوضه‌های نزدیک به ساحل خلیج فارس به عنوان یک پایانه هیدرولیک و نیز محدودیت‌های مربوط به زمان، هزینه و تحلیل نرم افزاری، از هر کدام از چهار حوضه مذکور، نزدیک‌ترین زیرحوضه‌ها به سواحل خلیج فارس در محدوده مورد مطالعه جهت استخراج خطواره‌ها، ترسیم نمودارهای گلسرخی و تحلیل آن‌ها، انتخاب گردید (شکل ۱).

از نگاه جغرافیایی و ارتباط با پهنه‌های ساختاری، محدوده مورد مطالعه بخشی از حاشیه جنوب باختری کوه‌های زاگرس است که در جبهه کوهستانی این ارتفاعات و در کنار خلیج فارس قرار دارد به طوری که بخش بیشتر آن، مرفولوژی مرتفع و کوهستانی دارد و در بخش‌های ساحلی سیمای فیزیوگرافی دشت‌گونه مشاهده می‌شود. بنابراین، دو واحد ژئومرفولوژیک قابل تفکیک می‌باشد: واحد مرفولوژیک کوهستان همانند سایر نواحی زاگرس، روند شمال غرب-جنوب شرق دارد که شامل تناوبی از تاق‌دیس‌های نامتقارن و ناودیس‌های فشرده به سمت جنوب است و دشت ساحلی که زایش فرسایشی دارد و نواحی کوهپایه‌ای تا سواحل دریا را می‌پوشاند.

وضعیت زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه با نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران شامل بهبهان، بوشهر، کازرون، خورموج و بایرام پوشش داده می‌شود. طبق این نقشه‌ها، محدوده مورد مطالعه از سازندهای هرمز، گروه خامی، کژدمی، سروک، گروه بنگستان، ایلام، گورپی، پابده، جهرم، آسماری، گچساران، بخش آهک گوری، میشان، آغاچاری، بخش لهری سازند آغاچاری، بختیاری و نهشته نهشته‌های دوره کواترنر تشکیل شده است (جدول ۱).

۲.۲. روش‌شناسی

۲.۲.۱. استخراج خطواره

به طور معمول، خطواره‌ها به صورت دستی یا خودکار از تصاویر ماهواره‌ای استخراج و تفسیر می‌شود [۲۵]. به

^۲Thresholding

^۳Curve Extraction

Edge Detection

را نیز در تحلیل خطواره‌ها مد نظر قرار دهیم:

جدول ۱. سازندهای زمین‌شناسی برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران

پتانسیل کارستی شدن	مساحت		نام سازند	سنگ‌شناسی	علامت	سن		
	درصد	هکتار (ha)				دور	دوره	دوران
	۴۴/۷	۱۵۴۱۳۲۱	کواترنری	نهشته‌های عهد حاضر - خاک‌های کواترنری	Q	-	کواترنر	
	۹	۳۱۰۱۰۴	بختیاری	کنگلومرا، کنگلومرای مارنی ماسه‌ای	Bk	پلیستوسن		
	۱/۸	۶۱۶۷۷	بخش لهری (آغاچاری)	سیلت‌سنگ، مارن	Lbm	میوسن-پلیستوسن		
	۱۵/۳	۵۲۹۱۰۲	آغاچاری	ماسه سنگ، مارن، سیلت- سنگ	Aj	میوسن-پلیستوسن		
	۵/۳	۱۸۱۱۷۰	میشان	مارن خاکستری با میان- لایه‌های آهک رسی	Mn	میوسن		
*	۲	۶۸۹۷۳	آهک گوری	آهک	Grm	میوسن	ترسیر	سنوزوئیک
	۸/۷	۲۹۸۸۱۴	گچساران	مارن، انیدریت و نمک	Gs	میوسن		
*	۰/۴	۱۴۴۲۰	آسماری	آهک درزه‌دار	As	الیگومیوسن		
*	۵/۲	۱۷۹۱۷۰	آسماری-چهرم	آهک-دولومیت	As-Ja	ائوسن-الیگوسن		
*	۰/۶	۲۲۱۳۱	چهرم	آهک-دولومیت	Ja	پالئوسن-میوسن		
	۰/۱	۳۴۹۳	پابده	شیل آهکی و مارن	Pd	پالئوسن		
	۰/۶	۱۹۲۸۷	پابده-گورپی	شیل و مارن	Pd-Gu	پالئوسن		
	۱/۴	۴۷۰۹۸	گورپی	مارن، شیل و آهک نازک لایه	Gu	کامپانین		
*	۰/۲	۶۴۱۰	ایلام-سروک	سنگ آهک نازک لایه خاکستری	Il-Sv	سانتونین		
*	۳/۱	۱۰۸۲۴۵	گروه بنگستان	آهک رسی	Bgp	آلبین-کامپانین		
*	۰/۱	۵۱۰۸	سروک	آهک رسی	Sv	آلبین-تورونین		
	۰/۱	۲۴۷۲	کژدمی	شیل	Kz	آلبین-سنومانین		
*	۰/۲	۵۸۱۳	داریان	آهک توده ای خاکستری تا قهوه‌ای	Dr	آپتین-آلبین	کرتاسه	مزوزوئیک
	۰/۰۱	۲۴۹	گدوان	شیل خاکستری با میان لایه‌های آهکی	Gv	آپتین-آلبین		
*	۰/۰۲	۸۴۶	داریان-گدوان	سنگ آهک و آهک دولومیتی ضخیم	Da-Gv	آپتین-آلبین		
*	۰/۱	۴۴۳۰	داریان-فهلپان	سنگ آهک دولومیت	Dr-Fa	نئوکومین-آپتین		
*	۱	۳۳۶۷۱	گروه خامی	آهک، آهک شیلی، آهک دولومیتی	Kgp	نئوکومین-آلبین		
*	۰/۰۳	۱۱۲۱	هیث-سورمه	انیدریت، آهک دولومیتی و دولومیت	Hi-Sm	تیتونین	ژوراسیک	
	۰/۱	۴۴۸۱	سری هرمز	رسوبات تبخیری و گنبد نمکی	Hz	-	کامبرین	پالئوزوئیک

۲.۲.۲. فراوانی خطواره^۱ (LF)

نقشه خطواره و فراوانی آن، نشان دهنده پراکنش و همگنی خطواره در هر منطقه است. با این نقشه می توان تعداد خطواره در هر سازند را تعیین نمود و توزیع کمی خطواره را در سطح منطقه تحلیل کرد. بدیهی است که سازندهایی که خطواره بیشتری دارند، مستعد تغذیه بیشتر آبخوان بوده و در نتیجه پتانسیل بالاتری را در وجود آب زیرزمینی نیز خواهند داشت. بنابراین، فراوانی خطواره، نشانگر اولیه تکنیک فعال و رفتار هیدروژئولوژیکی سازندها به ویژه های سازندهای سخت می باشد. فراوانی خطواره با استفاده از نرم افزار GIS10.3.1 تعیین گردید.

۳.۲.۲. تراکم خطواره^۲ (LD)

تراکم خطواره، محاسبه فراوانی خطواره در هر واحد سطح است. با داشتن نقشه تراکم خطواره، تمرکز خطواره ها در سطح ناحیه مورد مطالعه نمایان می شود به طوری که نواحی با تراکم بیشتر خطواره نشان دهنده وجود ارتباط هیدرولیکی قوی تر از سطح سازند مورد نظر است. تراکم خطواره در سطح هر سازند و نقشه آن در کل منطقه، با استفاده از نرم افزار GIS10.3.1 تهیه شد.

۴.۲.۲. تقاطع خطواره^۳ (LI)

تراکم خطواره ها همراه با درجه خطواره های متقاطع، حد ناهمسانی جریان آب زیرزمینی در شبکه درز و شکاف ها را تعیین می کند؛ هرچه درجه ارتباط درونی یک محیط بیشتر باشد، جریان آب زیرزمینی روان تر و یکنواخت تر است. بنابراین، مناطقی که خطواره های متقاطع زیادی دارد را می توان مناطق با پتانسیل بالای

آب زیرزمینی دانست [۲۸]. نقشه تراکم خطواره های متقاطع، فراوانی تقاطعات را در واحد سطح نشان می دهد. در واقع، هدف از تهیه نقشه تراکم تقاطع، ارزیابی تنوع جهت، در خطواره ها است به طوری که چنان چه شکستگی ها در ناحیه ای متقاطع نباشند، آنگاه نقشه خطواره ها ساده و تقریباً بدون خطوط متراکم بوده و شکستگی ها تقریباً موازی یا شبه موازی است. تقاطع خطواره در سطح هر سازند و نقشه آن در کل منطقه، با استفاده از نرم افزار GIS10.3.1 تهیه شد.

۵.۲.۲. جهت خطواره^۴ (LO)

جهت خطواره ها با ترسیم نمودار گلسرخی مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند. اگرچه این نمودار طولی-وزنی نیست با این وجود، جهت یا جهت های غالب شکستگی ها را نشان می دهد. از آنجایی که در بیشتر موارد جهت شکستگی نشانگر جهت ترجیحی مسیر جریان آب است [۱۲]، تحلیل نمودار گلسرخی برای مطالعه جریان آب زیرزمینی بسیار حیاتی است. با تفسیر نمودار گلسرخی خطواره ها در محیط نرم افزار Rock works 2016، جهت و امتدادیافتگی خطواره ها تعیین گردید.

۶.۲.۲. اندازه خطواره^۵ (LS)

تعیین بعد سوم خطواره ها بسیار دشوار است به طوری که اندازه گیری عمق هر خطواره به بررسی های بسیار دقیق و پیچیده نیازمند می باشد. با این وجود، سنجش طول خطواره ها در عین سادگی، بسیار با اهمیت است چرا که بدیهی است که شکستگی های طولی تر نسبت به شکستگی های کوتاه تر، تأثیر بیشتر و غالب تری در جریان آب زیرزمینی دارند. با استفاده از نمودار گلسرخی

^۱Lineament Intersection

^۲Lineament Orientation

^۳Lineament Size

^۴Lineament Frequency

^۵Lineament Density

زیر تعریف و تبیین گردید تا بتوان وضعیت کمی شکستگی هر کدام از سازندهای منطقه را به صورت وزنی محاسبه نموده و مبنایی برای مقایسه وضعیت خطوارگی سازندهای مختلف نسبت به یکدیگر باشد:

$$(1) \quad \text{شاخص خطوارگی} = \frac{\frac{\text{مجموع تعداد خطواره‌های سازند}}{\text{مجموع تعداد کل خطواره‌ها}} + \frac{\frac{\text{مساحت سازند}}{\text{مساحت کل منطقه}}}{\frac{\text{مجموع تقاطع خطواره‌های سازند}}{\text{مجموع تقاطع کل خطواره‌ها}} + \frac{\frac{\text{مجموع طول خطواره‌های سازند}}{\text{مجموع طول کل خطواره‌ها}}}{\frac{\text{مساحت سازند}}{\text{مساحت کل منطقه}}}$$

در نهایت این رابطه را می‌توان به صورت زیر برای کل منطقه در نظر گرفت:

$$Total \ Lineament \ Index = FI + LI + II \quad (2)$$

که در این رابطه؛ FI، LI و II به ترتیب تعداد کل خطواره، مجموع طول کل خطواره‌ها و تعداد کل تقاطع خطواره‌ها در هر سازند نسبت به مساحت کل منطقه است.

۳. نتایج

شکل‌های (۲-۴) پراکنش خطواره‌های منطقه، خطواره‌های کارستی و تقاطع خطواره‌ها را نشان می‌دهد.

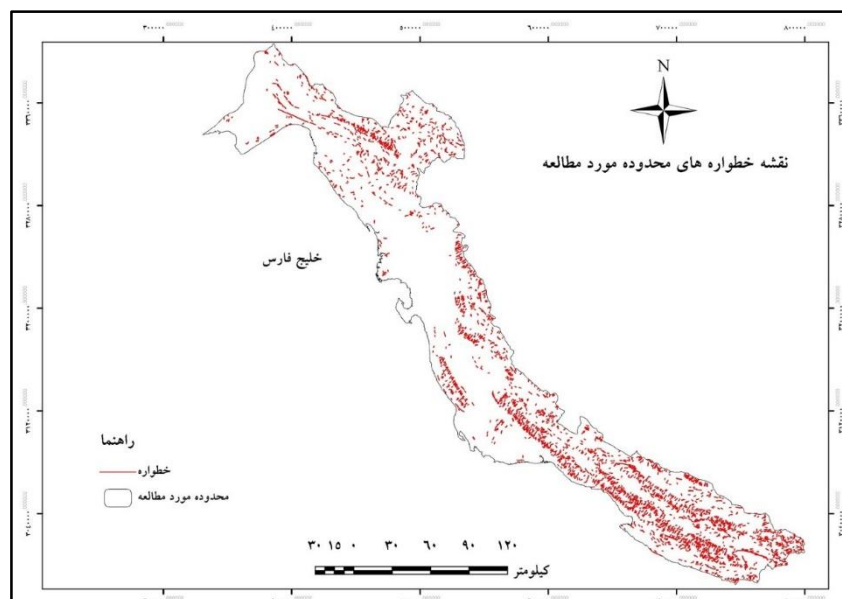
خطواره‌های استخراجی در محیط نرم‌افزار Rock works ۲۰۱۶، اندازه و طول خطواره‌ها در هر سازند تعیین گردید.

۷،۲،۲. شدت خطواره (LI)

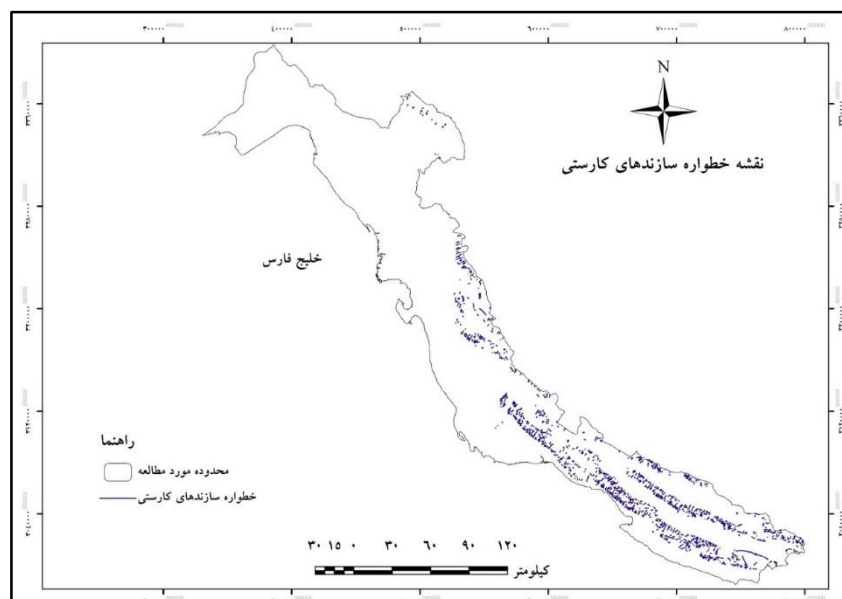
شدت خطواره‌ها در هر ناحیه، الگوی مشخصی است که دو ویژگی تراکم و اندازه خطواره را در بر می‌گیرد [۶، ۱۹]؛ شدت شکستگی به صورت تعداد شکستگی‌ها در واحد طول نمونه (تک بعدی)، طول شکستگی در واحد سطح (دو بعدی) یا سطح شکستگی در واحد حجم سنگ (سه بعدی) تعریف می‌شود [۳۱]. در این پژوهش وضعیت خطواره‌ها به صورت دو بعدی دارای اهمیت می‌باشد، بنابراین شدت مکانی خطواره‌ها برای هر سازند مورد سنجش و مقایسه قرار گرفت به این صورت که با محاسبه مجموع طول شکستگی در هر سازند و تقسیم آن بر سطح سازند، شدت خطوارگی سازند مورد نظر به دست آمد.

۸،۲،۲. شاخص خطوارگی (Lineament Index)

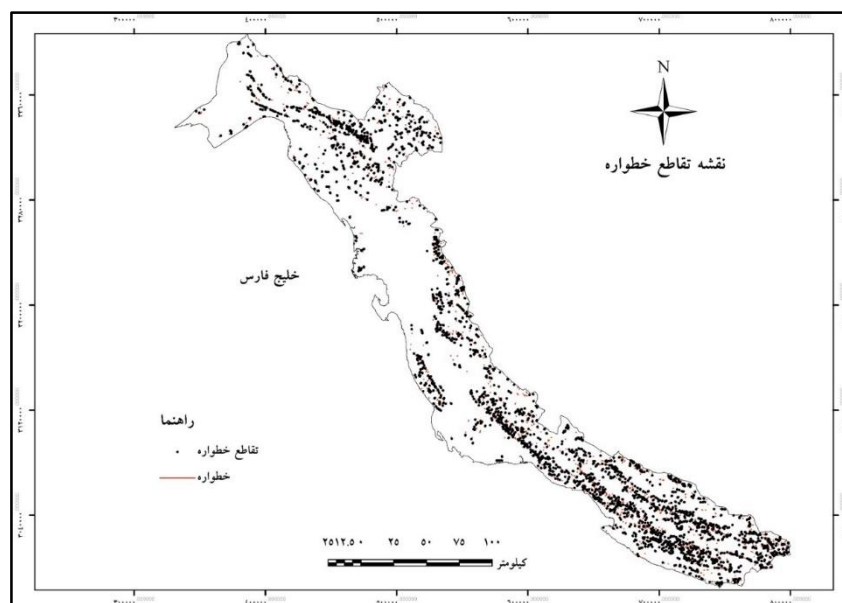
شاخص خطوارگی نشان‌دهنده وضعیت شبکه شکستگی و ساختار آن در واحد سطح است. در واقع شاخص خطوارگی تابعی است از طول، تعداد و تقاطع خطواره‌ها در واحد سطح [۲۱]. این شاخص می‌تواند نشانگر اهمیت و تأثیر هر سازند در تغذیه بالقوه منابع آب زیرزمینی باشد، از این رو، این شاخص به صورت رابطه



شکل ۲. نقشه خطواره های منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. نقشه پراکنش خطواره سازندهای کارستی منطقه مورد مطالعه



شکل ۴. نقشه پراکنش تقاطع خطواره در منطقه مورد مطالعه

خطواره‌های کارستی را نشان می‌دهد؛ جهت‌یافتگی و امتدادیافتگی این خطواره مشابه بوده و به طور مشخص راستای شمال شرق-جنوب غرب دارند، بر خلاف خطواره‌های غیرکارستی (شکل ۶) که چند راستایی بوده و امتداد غالب آن‌ها تقریباً مشابه خطواره کارستی است. به طور کلی، جهت‌یافتگی خطواره‌ها بر اساس فراوانی و طول آن‌ها در کل محدوده مورد مطالعه (شکل ۷) را می‌توان راستای شمال شرق-جنوب غرب دانست که دلیل آن را می‌توان تعداد بسیار زیاد خطواره‌های کارستی با این جهت‌یافتگی و تأثیر آن بر درصد نسبی کل خطواره‌های منطقه دانست؛ امتداد بخش جنوب غرب این راستا به سواحل خلیج فارس ختم می‌شود. شکل (۸) نمودار گلسرخی در صد فراوانی و در صد طولی گسل‌های محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد؛ جهت‌یافتگی گسل‌های منطقه کاملاً متفاوت از خطواره‌هاست و راستای شرقی-غربی دارد به عبارت دیگر، خطواره‌ها، عمود بر گسل‌های منطقه است و از امتداد گسل‌ها پیروی نمی‌کند.

بررسی فراوانی، تقاطع، طول و شدت خطواره‌ها در سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (جدول ۲) نشان می‌دهد که سازندهای کارستی بیشترین درصد را به خود اختصاص داده‌اند به طوری بیشترین درصد فراوانی، در صد تقاطع و در صد طولی خطواره به سازند آسماری-چهرم و بیشترین درصد شدت خطواره به سازند ایلام-سروک اختصاص دارد؛ مقدار عددی شدت خطواره در سازندهای کارستی، سه برابر سازندهای غیرکارستی است (جدول ۴). سازندهای کارستی همچنین بیشترین مقدار شاخص خطوارگی را دارد (جدول ۳). به طور کلی بررسی وضعیت خطوارگی کل منطقه و مجموع سازندهای کارستی و غیر کارستی (جدول ۵) نشان می‌دهد که خطواره‌ها اساساً در سازندهای کارستی ایجاد شده‌اند به طوری که مقدار عددی شاخص خطوارگی کل در سازندهای کارستی، $7/72$ است در حالی که این مقدار در سازندهای غیر کارستی $2/3$ است و اختلاف بیش از سه برابری را نشان می‌دهد.

شکل (۵) نمودار گلسرخی درصد فراوانی و طولی

جدول ۲. فراوانی، تقاطع، طول و شدت خطواره‌ها در سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

سازند	فراوانی خطواره	تقاطع خطواره	طول خطواره	شدت خطواره
-------	----------------	--------------	------------	------------

نماد	(Km ²)	تعداد	%	تعداد	%	(km)	%	۱/(km)	%
Aj	۵۲۹۱	۹۳۱	۱۱/۴۷	۲۰۵	۵/۸	۵۵۴	۱۲/۷۱	۰/۱۰۵	۱/۹۴
As	۱۴۴	۳۶	۰/۴۴	۲۱	۰/۶	۱۴	۰/۳۲	۰/۰۹۷	۱/۸۱
As-Ja	۱۷۹۱	۱۲۶۹	۱۵/۶۳	۶۳۴	۱۷/۹	۶۹۵	۱۵/۹۴	۰/۳۸۸	۷/۲۰
Bgp	۱۰۸۲	۳۶۲	۴/۴۶	۱۹۰	۵/۴	۱۸۴	۴/۲۲	۰/۱۷۰	۳/۱۶
Bk	۳۱۰۱	۶۹۵	۸/۵۶	۱۹۱	۵/۴	۴۰۳	۹/۲۵	۰/۱۳۰	۲/۴۱
Da-Gv	۸/۵	۶	۰/۰۷	۷	۰/۲	۴	۰/۰۹	۰/۴۷۱	۸/۷۴
Dr	۵۸	۲۲	۰/۲۷	۱۷	۰/۵	۸	۰/۱۸	۰/۱۳۸	۲/۵۶
Dr-Fa	۴۴	۳۳	۰/۴۱	۹	۰/۳	۲۳	۰/۵۳	۰/۵۲۳	۹/۷۱
Grm	۶۹۰	۴۶۴	۵/۷۱	۳۵۹	۱۰/۱	۱۹۰	۴/۳۶	۰/۲۷۵	۵/۱۱
Gs	۲۹۸۸	۱۴۵۳	۱۷/۹۰	۷۳۹	۲۰/۹	۷۶۵	۱۷/۵۳	۰/۲۵۶	۴/۷۵
Gu	۴۷۱	۴۴۵	۵/۴۸	۲۹۷	۸/۴	۲۰۳	۴/۶۵	۰/۴۳۱	۸/۰۰
Hi-Sm	۱۱	۳	۰/۰۴	۳	۰/۱	۱	۰/۰۴	۰/۰۹۱	۱/۶۹
Hz	۴۵	۹	۰/۱۱	۳	۰/۱	۵	۰/۱۱	۰/۱۱۱	۲/۰۶
il-sv	۶۴	۵۱	۰/۶۳	۱۶	۰/۵	۳۱	۰/۷۱	۰/۴۸۴	۸/۹۹
Ja	۲۲۱	۱۶۵	۲/۰۳	۳۹	۱/۱	۱۰۲	۲/۳۴	۰/۴۶۲	۸/۵۷
Kgp	۳۳۷	۱۴۴	۱/۷۷	۵۵	۱/۶	۸۸	۲/۰۳	۰/۲۶۱	۴/۸۵
Kz	۲۵	۴	۰/۰۵	۷	۰/۲	۱	۰/۰۳	۰/۰۴۰	۰/۷۴
Lbm	۶۱۷	۱۱۰	۱/۳۵	۲۸	۰/۸	۶۴	۱/۴۶	۰/۱۰۴	۱/۹۳
Mn	۱۸۱۲	۵۳۲	۶/۵۵	۲۶۵	۷/۵	۲۵۶	۵/۸۷	۰/۱۴۱	۲/۶۲
pd	۳۵	۲۱	۰/۲۶	۱۸	۰/۵	۱۰	۰/۲۳	۰/۲۸۶	۵/۳۰
Pd-Gu	۱۹۳	۱۱۶	۱/۴۳	۹۰	۲/۵	۵۰	۱/۱۴	۰/۲۵۹	۴/۸۱
Q	۱۵۴۱۳	۱۲۳۷	۱۵/۲۴	۳۴۳	۹/۷	۷۰۴	۱۶/۱۴	۰/۰۴۶	۰/۸۵
Sv	۵۱	۱۱	۰/۱۴	۸	۰/۲	۶	۰/۱۴	۰/۱۱۸	۲/۱۸
جمع	۳۴۴۹۲/۵	۸۱۱۹	۱۰۰	۳۵۴۴	۱۰۰	۴۳۶۱	۱۰۰	۵/۳۸۶	۱۰۰

جدول ۳. وضعیت خطوارگی در سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

سازند	FI	LI	II	Lineament Index
Aj	۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۳۸	۱/۹۵
As	۱/۰۶	۰/۷۷	۱/۴۲	۳/۲۵
As-Ja	۳/۰۱	۳/۰۷	۳/۴۵	۹/۵۲
Bgp	۱/۴۲	۱/۳۵	۱/۷۱	۴/۴۸
Bk	۰/۹۵	۱/۰۳	۰/۶۰	۲/۵۸
Da-Gv	۳/۰۰	۳/۷۲	۸/۰۲	۱۴/۷۴
Dr	۱/۶۱	۱/۰۹	۲/۸۵	۵/۵۶
Dr-Fa	۳/۱۹	۴/۱۳	۱/۹۹	۹/۳۱
Grm	۲/۸۶	۲/۱۸	۵/۰۶	۱۰/۱۰
Gs	۲/۰۷	۲/۰۲	۲/۴۱	۶/۵۰
Gu	۴/۰۱	۳/۴۱	۶/۱۴	۱۳/۵۶
Hi-Sm	۱/۱۶	۰/۷۲	۲/۶۵	۴/۵۳
Hz	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۶۵	۲/۳۸
il-sv	۳/۳۹	۳/۸۳	۲/۴۳	۹/۶۵

۸/۵۴	۱/۷۲	۳/۶۵	۳/۱۷	Ja
۵/۴۷	۱/۵۹	۲/۰۷	۱/۸۲	Kgp
۳/۷۲	۲/۷۳	۰/۳۲	۰/۶۸	Kz
۲/۰۲	۰/۴۴	۰/۸۲	۰/۷۶	Lbm
۳/۷۹	۱/۴۲	۱/۱۲	۱/۲۵	Mn
۹/۸۱	۵/۰۱	۲/۲۶	۲/۵۵	pd
۹/۱۴	۴/۵۴	۲/۰۵	۲/۵۵	Pd-Gu
۰/۹۲	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۳۴	Q
۳/۳۷	۱/۵۳	۰/۹۳	۰/۹۲	Sv

جدول ۴. فراوانی، تقاطع، طول و شدت خطواره‌ها به تفکیک مجموع سازندهای کارستی و غیر کارستی

شدت خطواره		طول خطواره		تقاطع خطواره		فراوانی خطواره		سازند	
۱/(km)	%	(km)	%	تعداد	%	تعداد	%	(Km ²)	نماد
۰/۳	۳۱	۱۳۴۶	۳۸/۳	۱۳۵۸	۳۱/۶	۲۵۶۶	۱۳	۴۵۰۱	سازندهای کارستی
۰/۱	۶۹	۳۰۱۵	۶۱/۷	۲۱۸۶	۶۸/۴	۵۵۵۳	۸۷	۲۹۹۹۱	سازندهای غیر کارستی
۰/۱۳	۱۰۰	۴۳۶۱	۱۰۰	۳۵۴۴	۱۰۰	۸۱۱۹	۱۰۰	۳۴۴۹۲	کل

جدول ۵. وضعیت خطواری کل منطقه و مجموع سازندهای کارستی و غیر کارستی

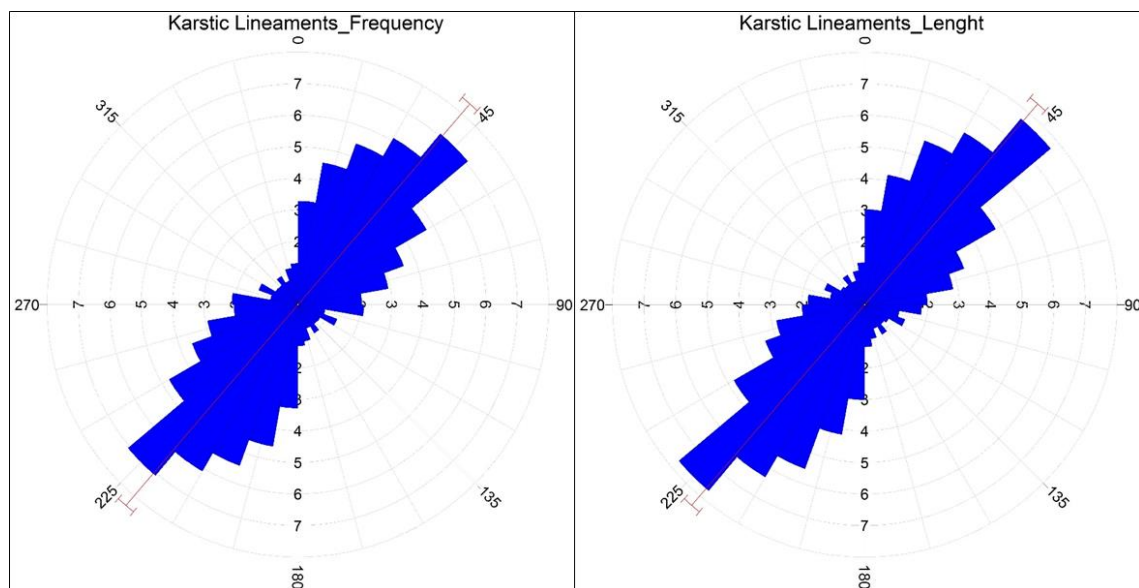
Total Lineament Index	II	LI	FI	سازند
۷/۷۲	۲/۹۴	۲/۳۷	۲/۴۲	سازندهای کارستی
۲/۳	۰/۷۱	۰/۸۰	۰/۷۹	سازندهای غیر کارستی
۰/۴۷	۰/۱	۰/۱۳	۰/۲۴	کل منطقه

و تحلیل خطواره‌های منطقه اختصاص یافته است.

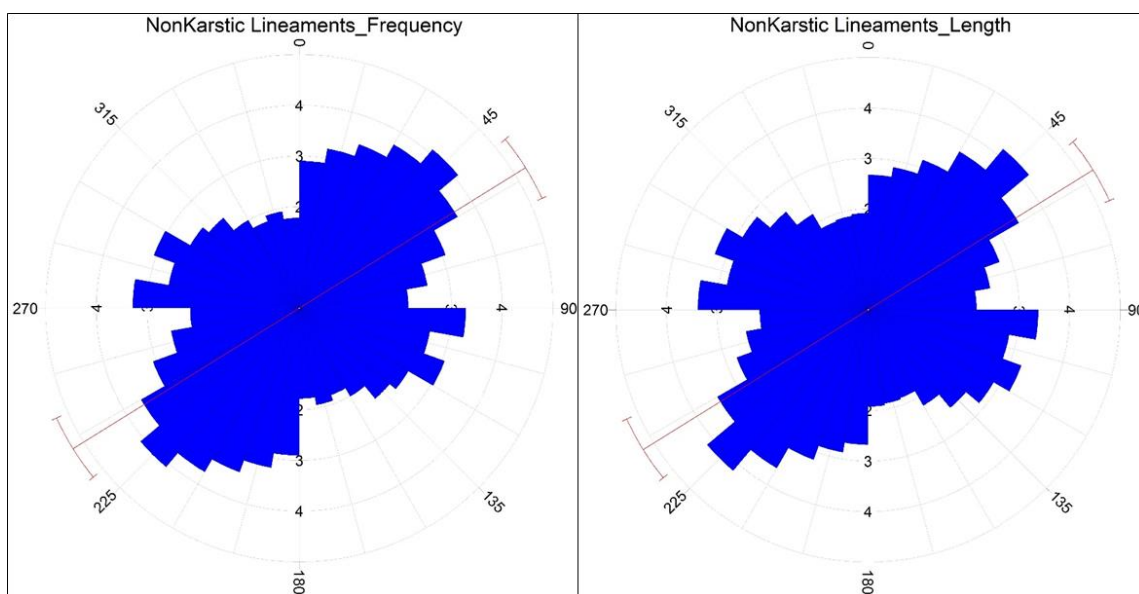
جهت شکستگی‌ها می‌تواند یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر جهت جریان‌های زیرزمینی باشد. انتظار بر این است که جهت و امتداد یافتگی گسل‌ها و خطواره‌ها، راستای ظهور چشمه‌ها را نشان دهد؛ شاید بتوان گفت که خطواره‌ها در ظهور چشمه‌های محلی و گسل‌ها در پیدایش چشمه‌های منطقه‌ای نقش مؤثرتری دارند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

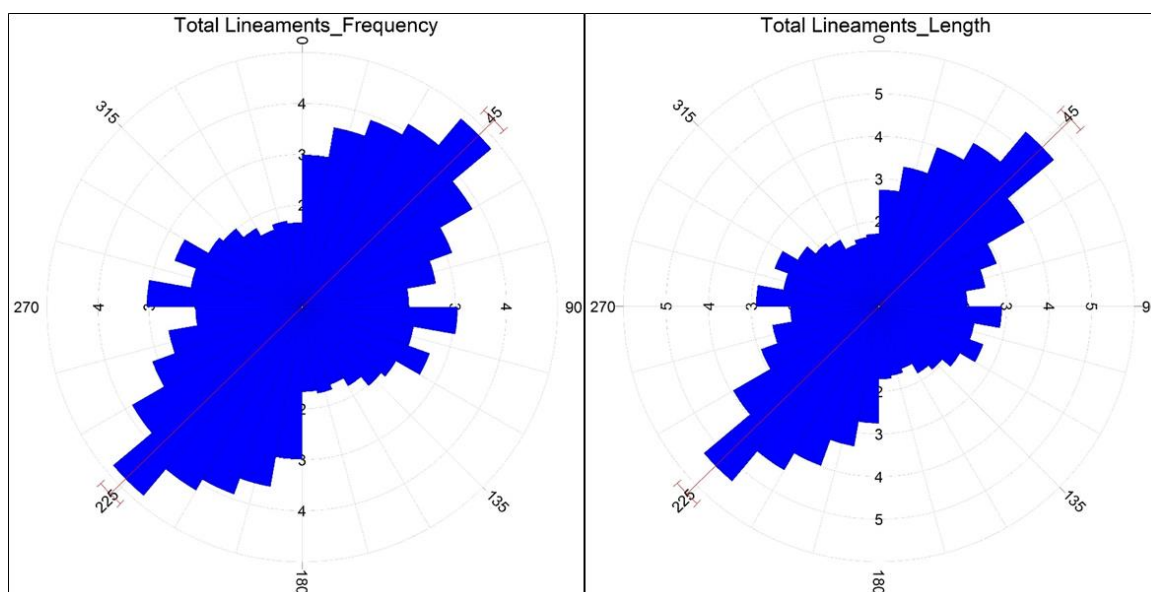
همواره سیستم گسلی، شکستگی‌ها و درزه‌های موجود در منطقه خلیج فارس به ویژه گسل قطر-کازرون به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغذیه و تخلیه آبخوان‌های مجاور این گسل و نیز مسیر جریان آب شیرین از زاگرس به سوی نواحی جنوبی خلیج فارس مطرح بوده است. از این رو، این پژوهش صرفاً به استخراج



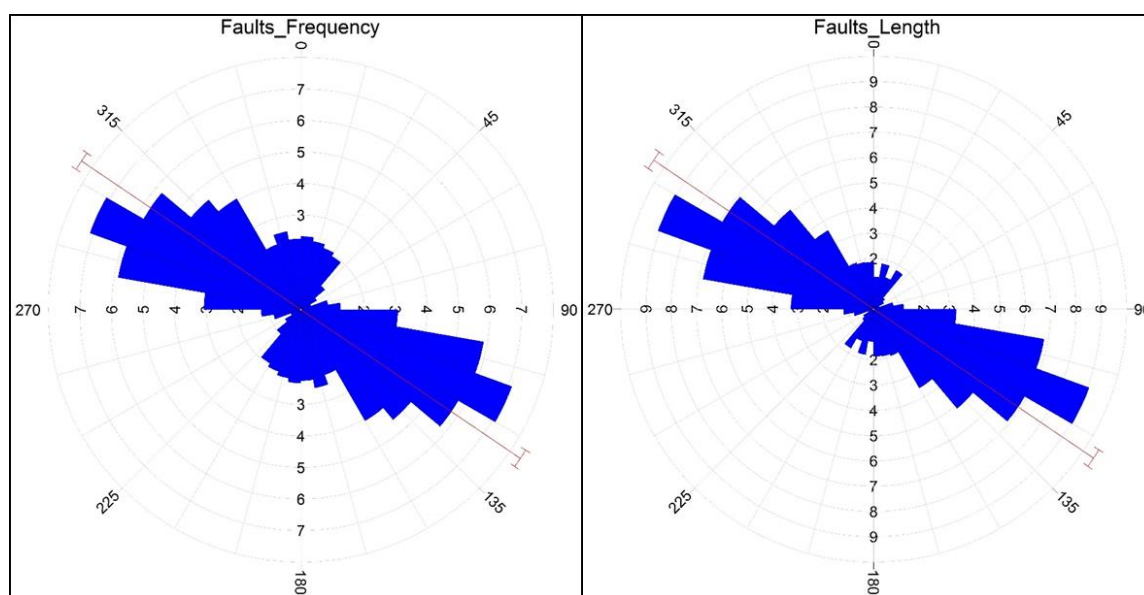
شکل ۵. نمودار گلسرخی درصد فراوانی و درصد طولی خطواره‌های کارستی منطقه مورد مطالعه



شکل ۶. نمودار گلسرخی درصد فراوانی و درصد طولی خطواره‌های غیر کارستی منطقه مورد مطالعه



شکل ۷. نمودار گلسرخی درصد فراوانی و درصد طولی کل خطواره‌ها در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸. نمودار گلسرخی درصد فراوانی و درصد طولی گسل‌های منطقه مورد مطالعه

موجود در منطقه دانست که عموماً در سازندهای سخت و آهکی منطقه پدیدار گشته‌اند و به عنوان زون‌های خرد شده گسلی، این الگوی شکستگی را به خود گرفته‌اند [۱۶]؛ زون خرد شده به عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل زمین‌شناسی مدرن ساختاری [۳]، حجمی از سنگ‌های

ایجاد خطواره‌ها را می‌توان ناشی از فعالیت گسل‌های منطقه دانست؛ در واقع این خطواره‌ها نشانگر زون خرد شده گسلی می‌باشند که بر اثر جابجایی گسل‌ها، به صورت شکستگی‌ها و درز و شکاف‌هایی عمود بر گسل نمایان می‌شوند. این خطواره‌ها را می‌توان رابط گسل‌های

دیواره‌ای اطراف گسل هستند که از ایجاد، گسترش، برهمکنش و ایجاد لغزش در امتداد گسل ایجاد می‌شود [۵ و ۲۰]. این زون را می‌توان زون نفوذپذیر ساختاری به حساب آورد؛ شناخت ساختارها و الگوهای مختلف این زون، اطلاعات ارزشمندی از چگونگی جریان مایعات در آن ارائه می‌دهد [۳۳]. علی‌رغم این که گسل‌ها مسیر جریان آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۴]، چگونگی جریان مایعات در زون‌های فعال گسلی توسط هیدروژئولوژیست‌ها چندان مورد توجه قرار نگرفته است [۱۰]، به ویژه در آبخوان‌های کربناته [۲۷]؛ این در حالی است که بسیاری از زون‌های گسلی فعال، حجم عظیمی از آب زیرزمینی را دریافت کرده و آن را اغلب با فشار زیاد انتقال می‌دهد؛ حضور چشمه‌ها در طول زون‌های گسلی نشان دهنده این ادعا می‌باشد. حضور گسل می‌تواند موجب رسیدن سطح آب زیرزمینی به سطح زمین و ظهور برخی از چشمه‌ها شود [۲]. یک زون گسلی عظیم مانند وضعیت گسل خوردگی و خطوارگی محدوده مورد مطالعه، در بردارنده دو بخش عمده نفوذپذیری است: یکی نفوذپذیری مغزه (هسته) و دیگری نفوذپذیری زون خردشده [۱۰، ۸، ۱۶]. بنابراین، ارتباطی که خطواره‌ها به عنوان زون خردشده با گسل‌ها به عنوان مغزه دارد می‌تواند جریانات نفوذی را در مغزه متمرکز می‌کند و در راستای گسل و شیب هیدرولیک انتقال می‌دهد. بنابراین، با توجه به ساختار، گسل‌ها و خطواره‌های منطقه مورد مطالعه، انتقال جریان آب نفوذی در سرتاسر منطقه و حتی فراتر از آن، یعنی ارتفاعات زاگرس مرتفع، به سوی

خلیج فارس و نواحی جنوبی آن محتمل می‌باشد. یکی از مهم‌ترین گسل‌های موجود در منطقه، گسل قطر-کازرون می‌باشد که می‌تواند این جریانات نفوذی را انتقال دهد. شواهد اصلی که گسل کازرون می‌تواند بر سیستم هیدروژئولوژیک هم‌جوار خود مؤثر باشد عبارتند از (۱) اختلاف کم در تراز آب چاه‌های مشاهده‌ای نزدیک گسل کازرون [۲۳]، (۲) وجود دو چشمه ترمال در سمت جنوب تاقدیس گیسکان که در معرض سیستم گسلی قرار دارد [۱۷]، (۳) ارتفاع زیاد (تا ۴۵۰۰ متر) و مقدار قابل توجه بارش در بخش‌هایی از حوضه خلیج فارس که به این سیستم گسلی مرتبط هستند و (۴) معادله نامتقارن بیلان آبی منطقه با توجه به همه اجزاء شناخته شده آبخوان‌های کارستی نزدیک به این سیستم گسلی [۲۴].

به طور کلی، سیستم درز و شکاف و شکستگی‌های منطقه مورد مطالعه اساساً در سازندهای کارستی شکل گرفته‌اند که به عنوان زون خرد شده با مغزه‌ها یا گسل‌های منطقه در ارتباط هستند. این سیستم گسلی می‌تواند آب ناشی از بارش فراوان را نفوذ داده و ضمن تجمع آب زیرزمینی، جریان را مطابق شیب هیدرولیکی و امتداد یافتگی شکستگی‌ها، به سوی نواحی جنوبی انتقال دهد. بنابراین، دور از انتظار نخواهد بود که با وجود ارتباط عمقی سیستم درز و شکاف و گسلی حوضه زاگرس، آب‌های ناشی از بارش‌های ارتفاعات زاگرس (به ویژه ناحیه پر بارش دنا)، طی مسیر کرده و در نواحی ساحلی خلیج فارس به ویژه نواحی جنوبی با شیب کمتر رخنمون یافته و توسط چشمه‌های احتمالی تخلیه شوند.

References

- [1] Caine, J.S., Evans, J.P. and Forster, C.B. (1996). Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, (24), 1025-1028.
- [2] Celico, F., Petrella, E. and Celico, F. (2014). Hydrogeological behavior of some fault zones in a carbonate aquifer of Southern Italy: an experimentally based model. *Terra Nova*, 18(5), 308-313.

- [3] Choi, J-H., Edwards., P., Ko, K. and Kim, Y-S. (2016). Definition and classification of fault damage zones: A review and a new methodological approach. *Earth-Science Reviews*, 152: 70–87.
- [4] Cilona, A., Aydin, A. and Johnson, N.M. (2015). Permeability of a fault zone crosscutting a sequence of sandstones and shales and its influence on hydraulic head distribution in the Chatsworth Formation, California, USA. *Hydrogeology Journal*, 23: 405–419.
- [5] Cowie, P.A. and Scholz, C.H. (1992). Physical explanation for the displacement-length relationship of faults, using a post-yield fracture mechanics model. *Journal of Structural Geology*, 14: 1133–1148.
- [6] Dershowitz, W.S. and Herda, H.H. (1992). Interpretation of fracture spacing and intensity, In J.R., Tillerson and Wawersik, W.R., Eds., *Proceedings of the 33rd U.S. Symposium on Rock Mechanics*: Rotterdam, Balkema, p. 757–766.
- [7] Elewa, H.H. and Qaddah, A.A. (2011). Groundwater potentiality mapping in the Sinai Peninsula, Egypt, using remote sensing and GIS-watershed-based modeling. *Hydrogeology Journal*, 19 (3): 613–628.
- [8] Evans, J.P., Forster, C.B. and Goddard, J.V. (1997). Permeability of fault-related rocks, and implications for hydraulic structure of fault zones. *Journal of Structural Geology*, 19: 1393–1404.
- [9] Fernandes, A. and Rudolph, D. (2001). The influence of Cenozoic tectonics on the groundwater production capacity of fractured zones: a case study in Sao Paulo, Brazil. *Hydrogeology Journal*, 9 (2): 151-167.
- [10] Gudmundsson, A. (2000). Active fault zones and groundwater flow. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 27 (18): 2993-2996.
- [11] Hardcastle, K. (1995). Photolineament factor: a new computer-aided method for remotely sensing the degree to which bedrock is fractured. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(6): 739-747.
- [12] Hariri, M. (1995). Lineaments studies and fracture control on the Tertiary gold-silver deposits, northern Black Hills, South Dakota, USA, PhD Thesis. South Dakota School of Mines and Technology 1995.
- [13] Hobbs, W. H. (1912). *Earth Features and Their Meaning: An Introduction to Geology for the Student and General Reader*. Macmillan Co., New York, 347.
- [14] Hung, L.Q., Batelaan O. and De Smedt, F. (2005). Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam. Published in SPIE Proceedings Vol. 5983: Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V.
- [15] Kazemi, R., Shadfar, S. and Bayat. R. (2015). Investigation of the effective elements in water resource exploration of the hard formations, case study: Lar catchment. *Watershed Engineering and Management*, 7(4): 389-401
- [16] Kim, Y-S., Peacock, D.C.P. and Sanderson, D.J. (2004). Fault damage zones. *Journal of Structural Geology*, 26: 503–517.
- [17] Kompani-Zare, M. and Moore, F. (2001). Chemical thermometry and origin of the Dalaki mineral springs, Bushehr Province, Iran. *Journal of Hydrology (New Zealand)*, 40 (2): 189-204.
- [18] Magowe, M. and Carr, J.R. (1999). Relationship between lineaments and ground water occurrence in western Botswana. *Ground Water*, 37 (2): 282-286.
- [19] Mauldon, M. and Dershowitz, W. (2000). A multi-dimensional system of fracture abundance measures: Geological Society of America Abstracts with Programs, 32 (7): A474.
- [20] McGrath, A.G. and Davison, I. (1995). Damage zone geometry around fault tips. *Journal of Structural Geology*, 17: 1011–1024.
- [21] Moeinzadeh, S.H. (2015). Investigating the Relationship between Photoliniament Factor and the Origin of Alterations in Mosahim and Bidkhan Calderas. *Journal of Geosciences*, 24 (94): 197-208.
- [22] Mogaji, K.A., Aboyeji, O.S. and Omosuyi O. (2011). Mapping of lineaments for groundwater targeting in the basement complex region of Ondo State, Nigeria, using remote sensing and geographic information system (GIS) techniques. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 3(7): 150-160.
- [23] Mohammadi, Z., Salimi, M. and Faghih, A. (2014). Assessment of groundwater recharge in a semi-arid groundwater system using water balance equation, southern Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 95: 1-8.

- [24] Karst National Center of Iran. (2002). Regional study of Karst in Persian Gulf Basin. 324 p.
- [25] Ndatuwong, L.G. and Yadav, G.S. (2014). Integration of Hydrogeological Factors for Identification of Groundwater Potential Zones Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal of Geosciences and Geomatics*, 2 (1): 11-16.
- [26] O'Leary, D., Friedman J. and Pohn. H. (1976). Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, 87(7): 1463-1469.
- [27] Petrella, E., Aquino, D. Fiorillo, F. and Celico. F. (2015). The effect of low-permeability fault zones on groundwater flow in a compartmentalized system. Experimental evidence from a carbonate aquifer (Southern Italy). *Hydrological Process*, 29: 1577–1587.
- [28] Prabu, P. and Rajagopalan. B. (2013). Mapping of lineaments for groundwater targeting and sustainable water resource management in hard rock hydrogeological environment using RS-GIS. *Intech Climate Change and Regional/Local Responses*, 10: 253-247.
- [29] Pradhan, B. (2009). Groundwater potential zonation for basaltic watersheds using satellite remote sensing data and GIS techniques. *Central European Journal of Geosciences*, 1 (1): 120–129.
- [30] Raeisi E. (2002). Carbonate karst caves in Iran. In: Kranjc A (ed) *Evolution of karst: from prekarst to cessation*, Ljubljana-Postojna: 339–344.
- [31] Rohrbaugh M.B.J., Dunne, W. and Mauldon. M. (2002). Estimating fracture trace intensity, density, and mean length using circular scan lines and windows. *AAPG Bulletin*, 89 (12): 2089-2104.
- [32] Rowan, L.C. and Lathram. E.H. (1980). Mineral exploration, Chapter 17 in *Remote Sensing in Geology* (B.S. Siegal and A.R. Gillespie, editors), John Wiley & Sons, New York, pp. 553-605.
- [33] Sibson, R.H. (1996). Structural permeability of fluid-driven fault-fracture meshes. *Journal of Structural Geology*, 18: 1031–1042.
- [34] Sukumar, M., Venkatesan, N. and Nelson Kennedy Babu. C. (2014). A Review of Various Lineament Detection Techniques for high resolution Satellite Images. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 4 (3): 72-78.
- [35] Teikeu Assatse, W., Njandjock Nouck, P.C., Tabod Tabod., Martial Akame J. and Nshagali Biringanine. G. (2016). Hydrogeological activity of lineaments in Yaounde' Cameroon region using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 19 (1): 49–60.
- [36] Tibaldi, A. and Ferrari. L. (1991). Multisource remotely sensed data, field checks and seismicity for the definition of active tectonics in Ecuadorian, Andes. *International Journal of Remote Sensing*, 12 (11): 2344-2358.
- [37] Waters, P. (1990). Methodology of lineament analysis for hydrogeological investigations, Chapter 11 in *Satellite Remote Sensing for Hydrology and Water Management* (E.C. Barret, C.H. Power, and A. Micallef, editors), Gordon and Breach Science Publications, New York, pp. 197-214.
- [38] Woodruff, K., Talley J. and Miller, J. (1982). Selection of sites for high productivity well. Maryland America. Abstracts with Programs. N.E. Geol Soc Am, Baltimore.
- [39] Yassaghi, A. (2006). Integration of Landsat imagery interpretation and geomagnetic data on verification of deep-seated transverse fault lineaments in SE Zagros, Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (20): 4529–4544.

