

## آنالیز خطواره های گرانیت کوه سفید و سنگ‌های اطراف، شاهدی بر فعالیت

### گسل‌های پهنه زمین‌درز سیستان، جنوب شرق ایران

شبنم حیدری علی محمد لو؛ کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

عبدالرضا پرتابیان\*؛ دانشیار تکتونیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

علی اصغر مریدی فریمانی؛ استادیار تکتونیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

#### چکیده

گرانیت کوه سفید در پهنه زمین‌درز سیستان، و قسمت مرکزی نوار گرانیتوئیدی زاهدان-سراوان قرار دارد. شکستگی‌های متفاوتی این گرانیت، هاله دگرگونی و سنگ‌های اطراف را تحت تاثیر قرار داده اند. در این مطالعه با بررسی این ساختارها به نقش گسل‌های اصلی و جایگیری توده گرانیتی در توسعه شکستگی‌ها پرداخته شده است. در ابتدا با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات دورسنجی، سیستم شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در توده نفوذی و سنگ‌های میزبان استخراج گردید. سپس جهت تنش حد اکثر در منطقه و روابط قطع شدگی از یکدیگر متمایز و دسته بندی شدند. با توجه به اطلاعات به دست آمده دو فاز دگرشکلی از قدیم به جدید پیشنهاد می‌گردد. فاز پیش‌رونده D1 که با جهت تنش حداکثر شمال شرق- جنوب شرق باعث توسعه خطواره‌های مزدوج شمال شرق-جنوب غرب شده و در ادامه با فعالیت گسل‌های به موازات گسل سراوان محیط مناسب جهت نفوذ توده گرانیتی فراهم شده است. همزمان با نفوذ توده شکستگی‌های شعاعی در سنگ‌های اطراف توسعه پیدا کرده‌اند. بعد از سرد شدن و ایجاد هاله دگرگونی، تداوم تنش با همین امتداد باعث ایجاد شکستگی‌های مزدوج در توده اصلی شده است در ادامه فاز D2 ناشی از تکتونیک فعال منطقه با ایجاد گسل‌های شمالی- جنوبی تمامی ساختارهای قدیمی را قطع و جابجا می‌کند.

کلید واژه‌ها: تاریخچه دگرشکلی، تکتونیک فعال، دگرشکلی شکننا، گسل سراوان.

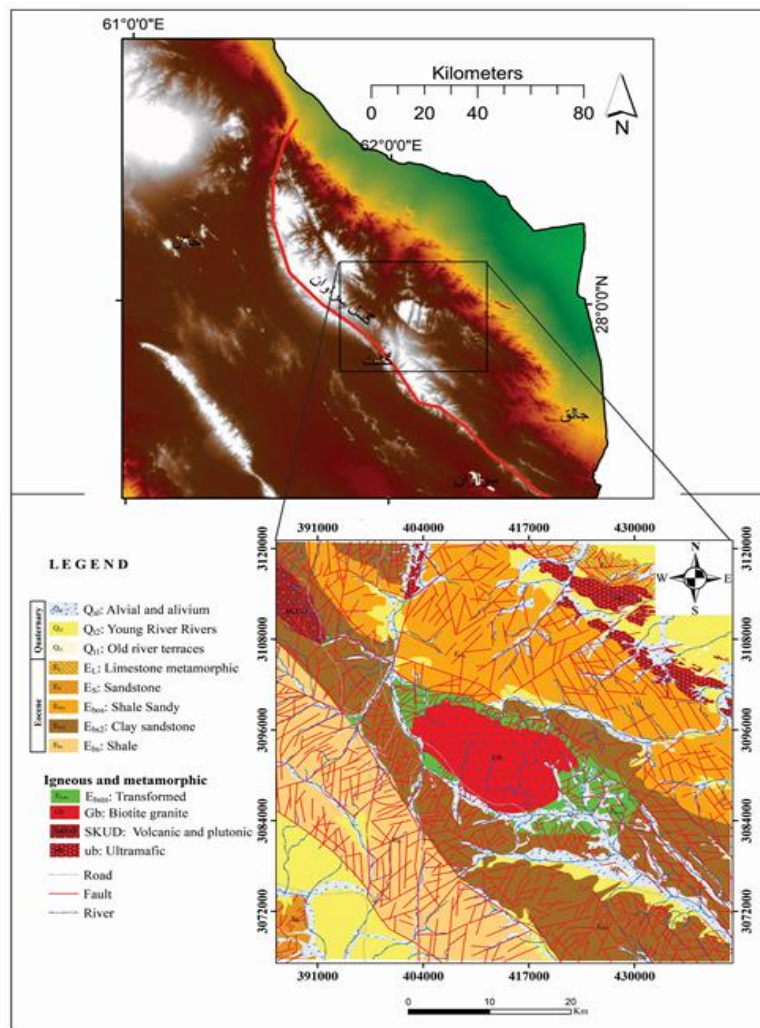
**مقدمه**

دو مکانیسم تنش اصلی افقی و عمودی می تواند باعث ایجاد شکستگی و گسل در سنگ ها شود. اولی نیروهای زمین ساختی در نتیجه حرکت تکتونیک صفحه و دومی نیروهای شناوری در نتیجه فعالیت ماگمایی است (Ruch et al., 2016). توده گرانیته کوه سفید با نفوذ در سنگهای فیلیشی شرق ایران فرصت مناسبی را جهت مطالعه تاثیر تکتونیک و فعالیت ماگمایی در ایجاد شکستگی ها در این منطقه را فراهم کرده است. با توجه به شواهد فراوان مبنی بر فعالیت تکتونیکی در دوران های مختلف شکل گیری قسمت جنوبی پهنه زمین درز سیستان و همچنین نقش ساختارهای تکتونیکی در کانی زایی تاکنون مطالعات اندکی در این منطقه انجام شده است. که به شرح زیر است فراند (۱۹۷۰) با مطالعه جهت لغزش گسل های شمال زاهدان، دو مجموعه گسل مزدوج با مقدار جابجایی مختلف که موجب تغییر شکل برشی این منطقه شده اند را معرفی کرده است. تیرول و همکاران (۱۹۸۳) گرانیتهای زاهدان-سراوان را قسمتی از پهنه زمین درز سیستان معرفی می کند. کامپ و گریفیس (۱۹۸۱) ویژگی های کلی سنگ های نفوذی و بیرونی موجود در پهنه زمین درز را تشریح کردند اما هیچ اشاره ای به رخداد های دگرشکلی منطقه نکرده اند. رهنما راد و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی ریزترک ها در گرانیته کوه سفید (سراوان) و تأثیر آن بر مقاومت برشی و فشارشی سنگ، بیان کرد که با افزایش خطی ریزترک ها در سنگ مقاومت برشی این گرانیته کاهش می یابد. مریدی فریمانی و دهقانی (۱۳۹۳) با مطالعه، نقش گسل تراستی سراوان در تشکیل و توسعه ی حوضه ی آبریز سراوان بیان کرد که تکامل تکتونیکی حوضه ی فیلیشی شرق ایران از پالئوسن-ائوسن با یک رژیم فشارشی و به دنبال آن فشارشی-برشی آغاز شده که در این زمان تشکیل فلیش ها و گوه های به هم افزوده و توسعه گسل های تراستی قابل توجه است. کاشانی و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه اندیس های مورفوتکتونیکی در امتداد گسل سراوان به بررسی فعالیت تکتونیکی منطقه و نقش گسل سراوان در تعدیل فعالیت تکتونیکی بین پهنه زمین درز سیستان و پهنه مکران پرداختند. در این مطالعه گسل های راست گرد شمالی- جنوبی که به صورت عرضی گسل سراوان را قطع کرده اند را به عنوان عوارض ساختاری فعال در منطقه معرفی شده اند. تا کنون مطالعات زیادی در خصوص استخراج خطواره های تکتونیکی با استفاده از تصاویر ماهواره ای به منظور مطالعات زمین شناسی، آبهای زیر زمینی، اکتشاف ذخایر معدنی و بررسی گسلها انجام شده است. استخراج خطواره ها از دو روش بصری و اتوماتیک انجام میگیرد و با توجه به دقت مکانی تصاویر ماهواره ای استفاده شده می تواند نتیجه بهتری را ارائه کند. (کریم پولی و دیگران ۱۳۹۴؛ علی پور و دیگران ۱۳۹۸؛ علی نیا و دیگران ۱۳۹۸؛ چراغی و دیگران ۱۳۹۴). از مهمترین محدودیت های این روش ها می توان به عدم تشخیص خطواره ها از ساختارهای خطی مانند ساخت بشر مانند راه و دیگر ساختارهای خطی طبیعی مانند برش حاشیه رودخانه و غیره اشاره کرد که باید بعد از استخراج به صورت بصری این ساختارهای غیر تکتونیکی را از اطلاعات به دست آمده حذف کرد (Ahmadi and Pekkan, 2021).

در این پژوهش سعی شده است با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات دورسنجی خطواره‌های تکتونیکی استخراج، و بامطالعه آماری آن‌ها به بررسی رژیم تکتونیکی حاکم بر این منطقه قبل و بعد از جای‌گیری توده نفوذی در سنگ‌های میزبان و تاریخچه دگرشکلی در منطقه پرداخته شود. به عبارت دیگر هدف اصلی این مقاله بررسی نقش تکتونیک و گسل‌های اصلی در جای‌گیری توده کوه سفید و ایجاد شکستگی‌های بارز در این توده و سنگ‌های اطراف است که می‌تواند مبنای مناسبی برای مطالعات بعدی بر روی این منطقه کمتر شناخته شده باشد.

### ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه:

توده گرانیتی کوه سفید با ارتفاع حداکثر ۲۰۶۶ متر از سطح دریا و اختلاف ارتفاع ۶۰۰ متر نسبت به زمین‌های اطراف بین طول‌های ۶۱ درجه و ۵۸ ثانیه تا ۶۲ درجه ۱۵ ثانیه و عرض‌های ۲۷ درجه ۵۰ ثانیه تا ۲۸ درجه قرار گرفته و از نظر جغرافیایی ۷۰ کیلومتری شمال غرب سراوان قرار دارد. ترکیب سنگ‌شناسی عبارت است از بیوتیت-گرانودیوریت که به شکل استوک و با سن الیگوسن درون واحدهای فلیشی پهنه زمین‌درز سیستان به سن ائوسن نفوذ کرده است (Tirrul et al, 1983; Eftekhar Nezhad and McCall 1993) و باعث ایجاد یک هاله دگرگونی در اطراف خود شده است. گرانیت کوه سفید قسمتی از نوار گرانیتوئیدی زاهدان-سراوان (با وسعت ۷۵۰ کیلومتر مربع) با روند شمال غربی-جنوب شرقی است که در امتداد یک زون باریک در جنوب شرق ایران نفوذ کرده است (درویش زاده ۱۳۸۳). وجود گسل‌ها و شکستگی‌ها فراوان و بارز با روندهای متفاوت در توده نفوذی، هاله دگرگونی و سنگ‌های دربرگیرنده آن (شکل ۱)، نشان از تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر روی این مجموعه است لذا بامطالعه خطواره‌های تکتونیکی و گسل‌های منطقه می‌توان به تاریخچه تکتونیکی و نقش گسل‌های اصلی در منطقه پی برد.

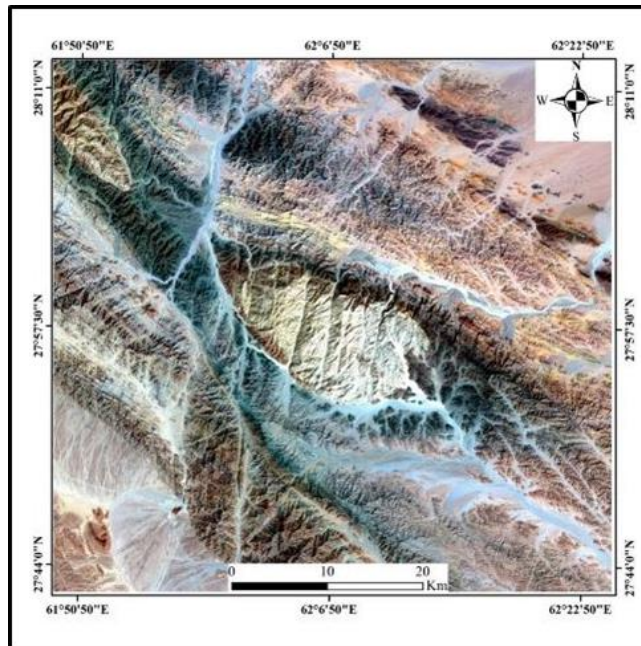


شکل ۱: نقشه زمین شناسی گرانیت کوه سفید و سنگ های میزبان

### مواد و روشها:

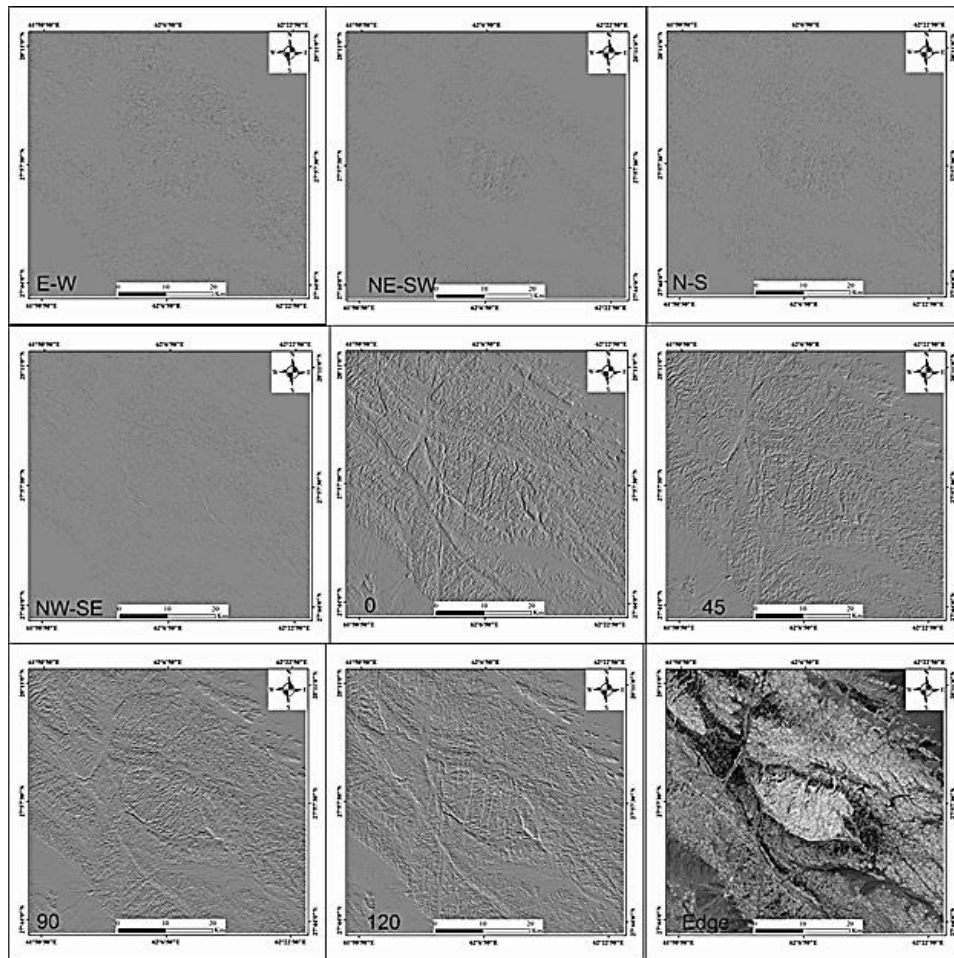
با توجه به وسعت منطقه و عدم دسترسی سعی شد با استفاده از علم سنجش از دور و مطالعه تصاویر ماهواره‌ای خطواره‌های تکتونیکی با دقت بالا استخراج گردد. بیشتر خطواره‌ها به دلیل شرایط نوردهی مناسب، هم امتدادی با آبراهه‌ها و نیز نوع پوشش گیاهی قابل تشخیص هستند، تعدادی دیگر به علت تغییرات ناگهانی واحدهای زمین‌شناسی، تشکیل پرتگاه‌های گسله قابل شناسایی هستند. برای شناسایی خطواره‌های پنهان از روش فیلترگذاری استفاده شده است، فیلترگذاری روشی مناسب برای مشخص کردن خطواره‌ها است (هنرمند و همکاران، ۱۳۸۴). در این مطالعه جهت شناسایی خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ با شماره گذر LC08\_L1TP\_156041 استفاده شده است. در ابتدا با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب ۶۴۲ واحدهای زمین‌شناسی منطقه، جهت بررسی وضعیت شکستگی‌ها از یکدیگر تفکیک شد. بدین صورت که R-6 به دلیل جذب بالای کانی‌های فلدسپار، G-4 به علت جذب بالای کانی‌های فرومینیم و B-2 به علت جذب بالای اکسیدهای موجود در رسوبات می‌تواند به خوبی واحدهای منطقه را از هم تفکیک می‌کند.

در این ترکیب باندی واحدهای هورنقلسی به علت حضور کانی‌های فرو منیریم تیره‌تر از واحدهای دیگر، واحدهای فلیش به علت متغیر بودن ترکیب به رنگ آبی واحدهای دگرگونی به علت تغییر ترکیب به سمت کانی‌های فرومنیزیم سبز تیره، گرانیت به علت وجود کانی‌های فلدسپار دارای رنگ کرم روشن و رسوبات به علت ترکیب متفاوت بارنگ‌های متفاوت به هم ریخته قابل مشاهده می‌باشند. گسل‌ها به علت تغییر ناگهانی رنگ و جابجایی واحدها قابل شناسایی هستند (شکل ۲).



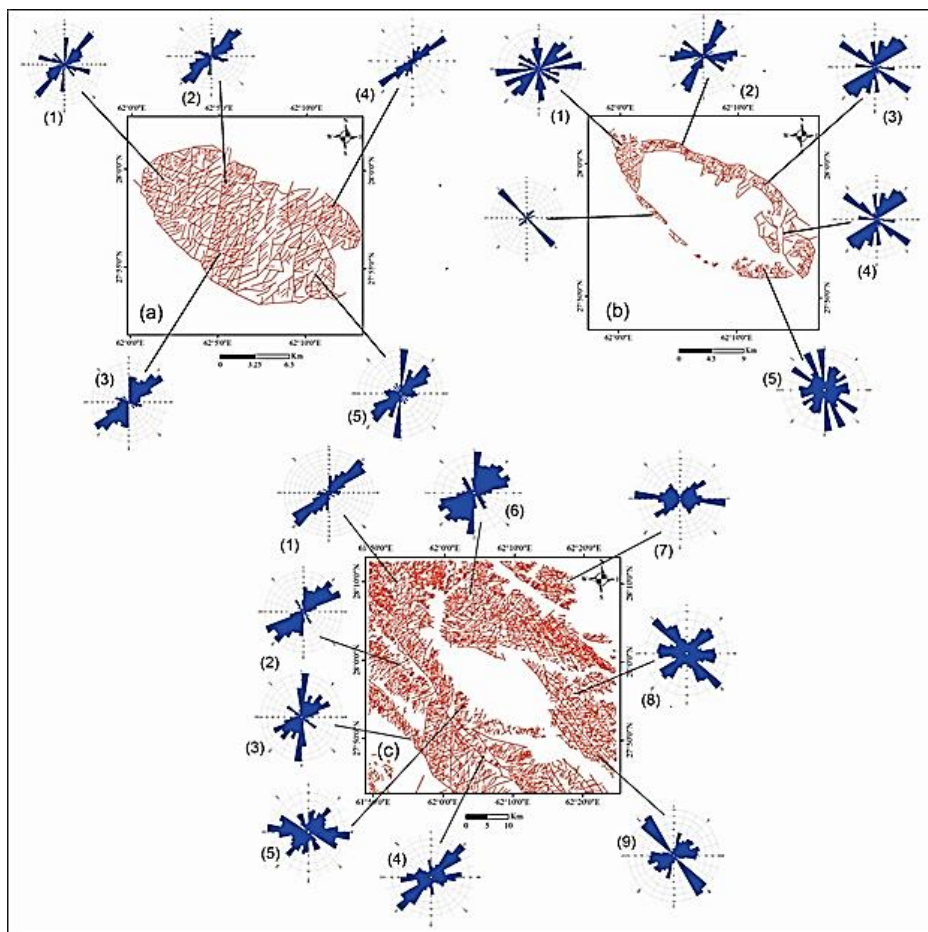
شکل ۲: ترکیب باندی R-6، G-4 و B-2 باندهای سنجنده OLI واحدهای زمین‌شناسی منطقه را از یکدیگر تفکیک می‌کند.

سپس با استفاده از روش فیلترگذاری جهتی در چهار جهت مختلف، دایرکشنال با چهار زاویه متفاوت و بازسازی لبه (Rosenfeld, 1982) وضعیت خطواره‌ها در جهت‌های شرقی-غربی، شمال شرقی-جنوب غربی، شمالی-جنوبی، شمال غربی-جنوب شرقی و با زاویه‌های انحراف ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ در نرم‌افزار Envi بررسی و استخراج گردید (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل ۳: فیلترهای جهتی (E-W، NE-SW، N-S، NW-SE) – دایرکشنال (0، 45، 90 درجه) و بازسازی لبه (Edge) جهت بارز سازی و استخراج خطواره‌ها

خطواره‌ها پس از بارز سازی در محیط نرم‌افزار GIS ترسیم شد. پس از رسم خطواره‌ها لایه وکتوری آبراهه‌ها و جاده‌ها به محیط نرم‌افزار GIS، جهت جلوگیری از رسم خطواره‌های کاذب اضافه شد، انطباق این لایه‌ها با لایه گسل‌های رسم شده با استفاده از مطالعات دورسنجی از رسم خطواره‌های کاذب جلوگیری می‌کند. با توجه به هدف این مطالعه مبنی بر مقایسه خطواره‌ها و گسل‌های توده اصلی، هاله دگرگونی و سنگ‌های فیلیشی اطراف، خطواره‌ای استخراج شده بر اساس مرز این سه محدوده از هم تفکیک و سپس در محیط نرم‌افزار Rockworck مورد پردازش آماری قرار گرفتند. (شکل ۴)



شکل ۴: (a) رز دیاگرام خطواره‌های تکتونیکی موجود در سنگ‌های گرانیتی کوه سفید (b) رز دیاگرام خطواره‌های تکتونیکی موجود در سنگ‌های دگرگونی (c) رز دیاگرام خطواره‌های تکتونیکی موجود در سنگ‌های فلیشی

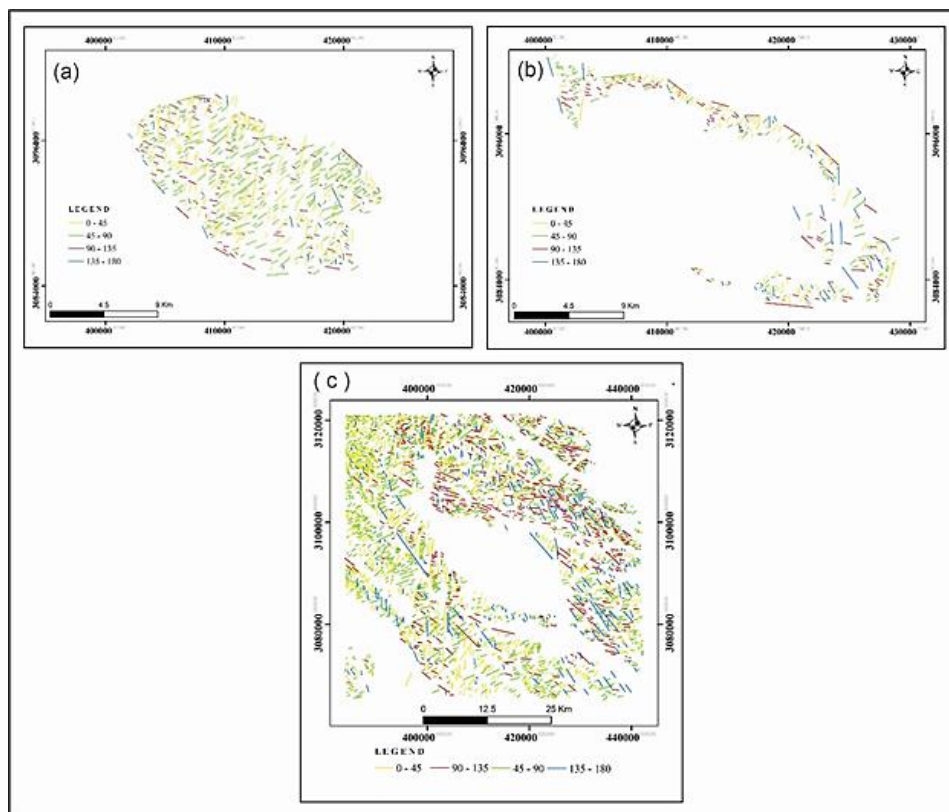
### یافته‌های پژوهش:

به منظور بررسی بهتر روند خطواره‌ها، دسته‌بندی و سپس مقایسه آن‌ها در مناطق مختلف از دور روش ترسیم رز دیاگرام و دسته‌بندی آن‌ها استفاده شد (شکل‌های ۴ و ۵). در روش اول به منظور بررسی توزیع فضایی روند خطواره‌ها در هر محدوده، آن محدوده را به قسمت‌های مساوی تقسیم و سپس رز دیاگرام آن قسمت ترسیم گردید (شکل ۴). در نگاه اول توده اصلی دارای چند خطواره اصلی شمالی جنوبی به موازات یکدیگر است. این خطواره‌های اصلی با حرکت امتدادلغز راست‌گرد دیگر خطواره‌ها را قطع و جابجا کرده است بنابراین این خطواره‌های اصلی از دیگر خطواره‌ها در این توده جوان‌تر می‌باشند. به منظور بررسی خطواره‌های قدیمی‌تر واحد گرانیتی به ۵ قسمت مجزا تقسیم و رز دیاگرام‌های مربوطه ترسیم گردید (شکل ۳). با توجه به این رز دیاگرام‌ها خطواره‌های موجود در قسمت‌های مختلف واحد گرانیتی به‌طور کلی دارای روند شمال شرقی-جنوب غرب می‌باشند ولی در قسمت‌های جنوب و غرب توده شاهد دسته‌های دیگر با روند متفاوت هستیم که نشان‌دهنده پراکندگی بیشتر در این قسمت‌ها است. در واحدهای دگرگونی، بر اساس موقعیت این واحد نسبت به واحد گرانیتی، این خطواره‌ها به پنج قسمت مساوی تقسیم شد.

(شکل ۳) به طور کلی در این ۵ محدوده شاهد ۳ دسته خطواره با امتداد متفاوت هستیم. دسته اول شمال شرق - جنوب غرب و دسته دوم شمال غرب - جنوب شرق این دو دسته زاویه ای بیش از ۴۵ درجه با یکدیگر می سازند. دسته سوم شمالی - جنوبی. رز دیاگرام های قسمت غرب و جنوب محدوده (۱ و ۵) بر خلاف دیگر دیاگرام ها پراکندگی بیشتری را نشان می دهند. آنالیز خطواره ای سنگ های رسوبی (فیلیش)؛ بر اساس موقعیت این واحد نسبت به واحد گرانیتی، این خطواره ها را به نه قسمت مساوی تقسیم و سپس رز دیاگرام هر قسمت ترسیم گردید (شکل ۳) رز دیاگرام ها در این محدوده در کل تعداد دسته های بیشتر و تغییرات فضایی بیشتری را نسبت به دو محدوده قبلی به نمایش می گزارند به صورتی که محدوده های نزدیک تر به توده اصلی نشان دهنده خطواره های در تمام جهات یا به عبارت دیگر شعاعی هستند (شماره های ۶-۸-۵) و آنهایی که نسبت به توده در فاصله بیشتری قرار گرفته اند یک دسته دارای تعداد بیشتری می باشند به طور مثال رز دیاگرام ۱ عمدتاً روند شمال غرب - جنوب شرق، رز دیاگرام ۷ عمدتاً روند شرقی غربی و رز دیاگرام ۹ عمدتاً روند شمال شرق - جنوب غربی را نشان می دهند. با توجه به مکان رز دیاگرام شماره ۱ در شمال غرب، شماره ۷ در شمال شرق و شماره ۹ در جنوب غرب توده اصلی به نظر می رسد دسته های غالب این رز دیاگرام ها نیز به صورت شعاعی از توده اصلی تبعیت می کنند.

### دسته بندی خطواره ها

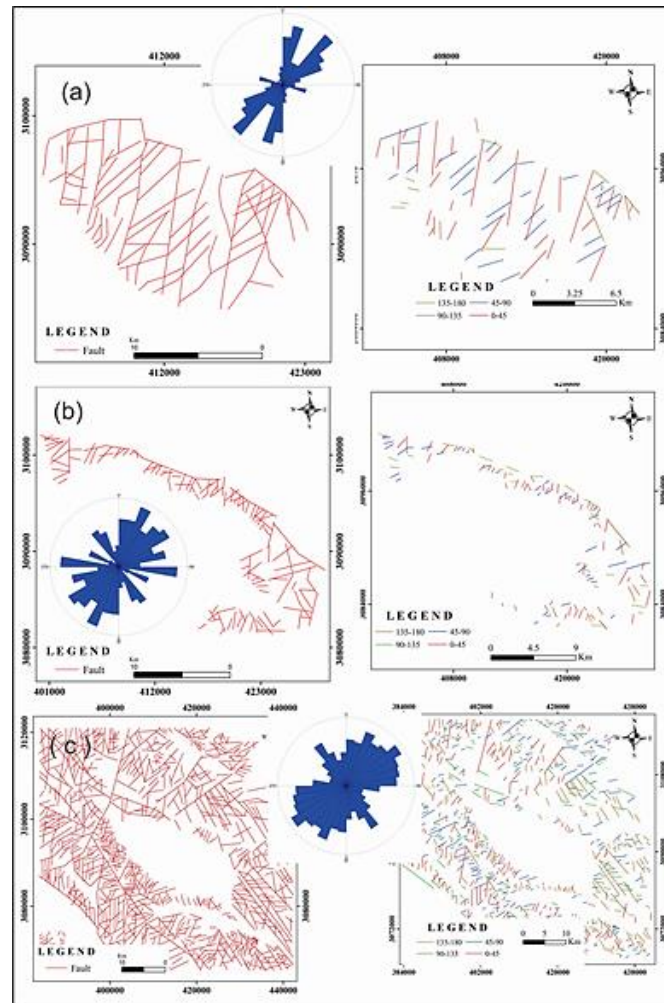
تفکیک خطواره ها به دسته های متفاوت می تواند محدوده های متفاوتی از نظر حضور یا عدم حضور هر دسته خطواره در یک منطقه را مشخص کند (Solomon and Ghbryb, 2006). خطواره های استخراج شده از تصاویر ماهواره ای را در محیط Rock Work بر اساس امتداد به چهار گروه ۰-۴۵، ۴۵-۹۰، ۹۰-۱۳۵ و ۱۳۵-۱۸۰ تقسیم گردید. خطواره هایی با روند ۰-۴۵ و ۴۵-۹۰ در توده گرانیتی بیشترین روند را به خود اختصاص داده اند به عبارت دیگر در این واحد خطواره ها عمدتاً در دو دسته شمال غرب - جنوب شرق با یک زاویه حاده نسبت به هم قرار گرفته اند. در سنگ های دگرگونی خطواره ها با روند ۰-۴۵ و ۴۵-۹۰ در این واحد نسبت به دیگر خطواره ها غالب هستند و ۹۰ درصد خطواره ها را به خود اختصاص داده اند که نسبت به واحد گرانیتی زاویه بازتری نسبت به هم دارند. خطواره های موجود در سنگ های فلیشی در جهات مختلف پراکنده و خطواره های با روند ۰-۴۵ و ۴۵-۹۰ نسبت خطواره های با روند ۹۰-۱۳۵ و ۱۳۵-۱۸۰ فراوانی بیشتری دارند (شکل ۵)



شکل ۵: (a). دسته‌بندی خطواره‌های توده گرانیتی، (b). دسته‌بندی خطواره توده دگرگونی و (c). دسته‌بندی خطواره‌های توده فلیشی.

### استخراج و بررسی آماری گسل‌ها

با توجه به ارتباط ژنتیکی ساختارهای شکنا و جهت تنش حداکثر در منطقه (Angelier, 1989; 1991) سعی شد در هر سه منطقه (توده اصلی، هاله دگرگونی و سنگ‌های اطراف) خطواره‌های با طول بیشتر و دارای جابجایی از خطواره‌های استخراج‌شده جدا شود و سپس از آن‌ها به‌عنوان گسل برای تحلیل تنش‌های اعمال‌شده در منطقه استفاده شود. بعد از ترسیم نقشه گسل‌های اصلی آن‌ها را بر اساس روند به چهار دسته ۰-۴۵، ۴۵-۹۰، ۹۰-۱۳۵ و ۱۳۵-۱۸۰ تفکیک و در نهایت رز دیاگرام پراکندگی فضایی آن‌ها نیز رسم گردید (شکل ۵).



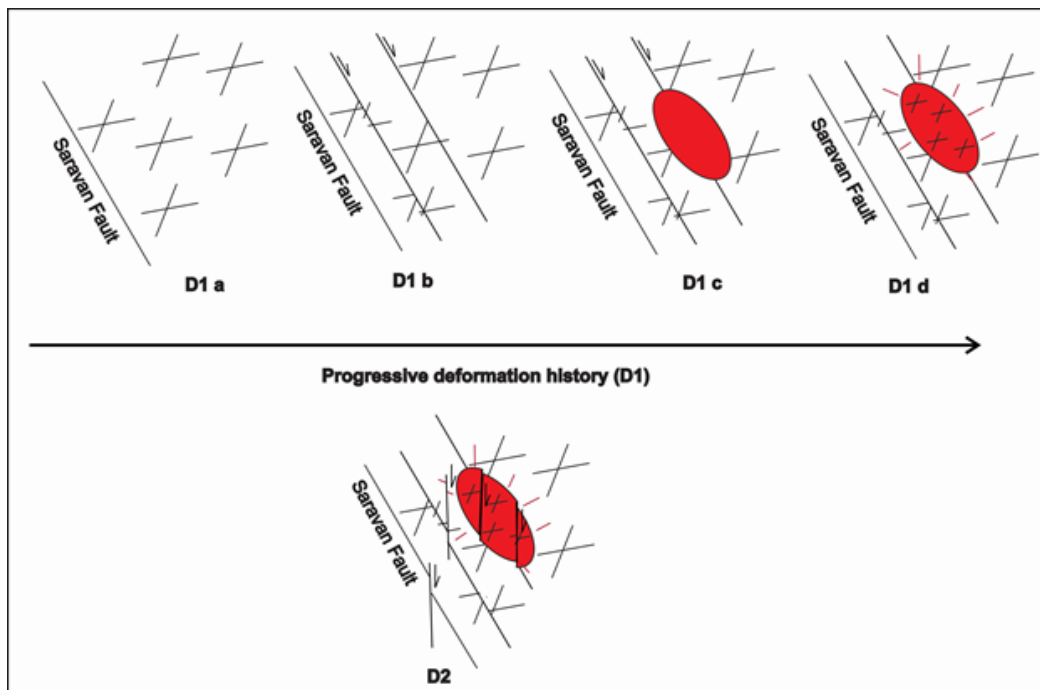
شکل ۶: گسل‌های اصلی تفکیک‌شده از خطواره‌ها، طبقه‌بندی و رز دیاگرام مربوطه. (a) واحد گرانیتی کوه سفید، (b) گسل‌های مربوط به واحد دگرگونی و (c). نقشه گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

به‌طور کلی در هر سه منطقه به‌خوبی می‌توان گسل‌های با طول زیاد با روند تقریبی شمالی-جنوبی با میل به سمت-شمال شرق مشاهده کرد که گسل‌های دیگر را قطع کرده‌اند. در سنگ‌های فیلیشی اطراف توده شاهد گسل‌های طولانی با روند شمال شرق-جنوب غرب هستیم که باعث جابجایی دیگر گسل‌ها شده ولی خود توسط گسل‌های اصلی شمالی-جنوبی قطع شده‌اند. با توجه به رز دیاگرام‌ها گسل‌های با روند ۴۵-۰ و ۴۵-۹۰ در گرانیت‌ها بیشترین روند را به خود اختصاص داده‌اند. در سنگ‌های دگرگونی گسل‌های با روند ۴۵-۰ و ۴۵-۹۰ نسبت به دیگر گسل‌ها غالب بوده و دارای پراکندگی بیشتری نسبت به واحد گرانیتی می‌باشند. گسل‌های موجود در سنگ‌های فیلیشی با روند ۴۵-۰ و ۴۵-۹۰ نسبت گسل‌های با روند ۹۰-۱۳۵ و ۱۳۵-۱۸۰ فراوانی بیشتری دارند (۵).

## بحث

توده گرانیتی به‌عنوان جوان‌ترین واحد زمین‌شناسی منطقه در سنگ‌های فیلیشی (رسوبی) نفوذ کرده و باعث ایجاد یک هاله دگرگونی در آن‌ها شده است. وجود شکستگی‌های توده اصلی نشان از متأثر شدن از تنش‌های تکتونیکی بعد از سرد شدن است ولی باید به این نکته هم توجه کرد که بالا آمدن توده‌های گرانیتی خود می‌تواند باعث اعمال تنش قائم در سنگ‌های میزبان گردد. علاوه بر آن شکل‌گیری پهنه زمین‌درز سیستان که این توده در آن نفوذ کرده است خود حاصل فرایندهای تکتونیکی است (Tirull et al 1983). این ویژگی‌ها یک موقعیت مناسب جهت بررسی تاریخچه تکتونیکی منطقه و تأثیر گسل‌های اصلی و بالا آمدن توده گرانیتی بر ایجاد ساختارهای شکننده مانند شکستگی‌ها و گسل‌ها را فراهم کرده است. نقشه‌های به‌دست‌آمده از مطالعات دورسنجی و تحلیل‌های آماری خطواره‌ها و گسل‌ها در یک‌چشم‌انداز یک تکتونیک نسبتاً فعال متأثر از فازهای مختلفی را در منطقه نشان می‌دهد، با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از پردازش‌های به تفسیر نتایج این مطالعه پرداخته خواهد شد. آرایش خطواره‌های تکتونیکی حاکی از تأثیرات رژیم تکتونیکی حاکم بر واحدهای زمین‌شناسی است (Zalohar, and Vrabec 2010). جوان‌تر بودن توده گرانیتی نشانگر این است که توده تحت تأثیر فاز یا فازهای جوانتر بعد از جایگیری قرار گرفته است. علاوه بر آن تغییرات بیشتر در قسمت غرب و جنوب توده نشان‌دهنده نزدیکی به گسل سراوان و تأثیر آن می‌تواند باشد. وجود پراکندگی فضایی بیشتر خطواره‌ها در هاله دگرگونی و در سنگ‌های فیلیشی یا به‌عبارت‌دیگر شعاعی بودن خطواره‌ها نشان از تأثیر بالا آمدن توده اصلی و ایجاد خطواره‌های شعاعی در این است. علاوه بر اینکه خطواره‌های بافاصله دورتر نسبت به توده اصلی در سنگ‌های فیلیشی دارای الگوی متفاوتی نسبت به هم هستند به‌عبارت‌دیگر قسمت‌های شمال و شرق دارای یک دسته غالب ولی رز دیاگرام‌های غرب و جنوب دارای پراکندگی بیشتری می‌باشند که مانند دو منطقه دیگر می‌تواند ناشی از تأثیر گسل اصلی منطقه باشد. با توجه به امتداد گسل‌ها خطواره‌های استخراج‌شده، روابط قطع‌شدگی بین آن‌ها و نفوذ و تأثیر توده گرانیتی بر شکستگی‌ها و سنگ‌های اطراف می‌توان دو مرحله دگرشکلی پیش‌رونده D1 و D2 را برای تاریخچه دگرشکلی و تکامل تکتونیکی منطقه پیشنهاد داد (شکل ۷). قدیمی‌ترین مرحله دگرشکلی در منطقه (D1a) مربوط به گسل‌های مزدوج شمال غرب- جنوب شرق می‌باشند که جهت فشارش تکتونیکی شمال شرق- جنوب غرب را نشان می‌دهند. این جهت تنش غالب در منطقه در هنگام شکل‌گیری ساختارهای اصلی پهنه زمین‌درز مانند چین‌ها و گسل‌هایی مانند گسل سراوان بوده است (Kashani et al. 2019). در ادامه فعالیت گسل‌های هم‌راستا با گسل سراوان باعث جابجایی شکستگی‌های قبلی و یک محیط مناسب برای نفوذ توده گرانیتی را مهیا کرده است (D1b) سپس نفوذ توده گرانیتی در امتداد گسل شمال شرق- جنوب غرب در سنگ‌های فیلیشی (D1c) باعث اعمال یک تنش عمودی ناشی از نیروی بویانسی به سمت بالا و هم‌زمان با جایگیری توده باعث ایجاد شکستگی‌های شعاعی (Nakamura 1977) در منطقه شده است. گرمای ناشی از توده گرانیتی علاوه بر ایجاد هاله دگرگونی باعث تغییر رفتار سنگ‌ها در این محدوده ایجاد شکستگی‌های تکتونیکی با زاویه بازتر (Twiss and Moores 2007) در این محدوده شده است (D1c).

بعد از سرد شدن توده رژیوم فشارش شمال شرق - جنوب شرق همچنان فعال بوده و باعث ایجاد شکستگی‌های مزدوج شمال شرق - جنوب غرب در توده گرانیتی شده است. هم‌زمان بر اثر این سیستم تنش حرکت گسل سراوان و گسل‌های سینتتیک به موازات آن علاوه بر آشفته‌گی در قسمت غرب و جنوب هر سه منطقه باعث بریده شدن شکستگی‌های سنگ‌های فیلیشی در این امتداد شده است (D1d). جدیدترین مرحله دگرشکلی (D1) در منطقه، گسل‌های شمالی - جنوبی هستند که در هر سه منطقه مشاهده می‌شوند و تمامی ساختارهای قدیمی‌تر را جابجا کرده‌اند. مطالعه تکتونیک فعال توسط کاشانی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی گسل سراوان نشان از جابجایی این گسل توسط گسل‌های عرضی شمالی - جنوبی است که در تطابق با وضعیت تکتونیک فعال منطقه است.



شکل ۷: تاریخچه دگرشکلی منطقه. D1 فاز دگرشکلی پیش‌رونده قدیمی. D2 فاز دگرشکلی حاصل از تکتونیک فعال منطقه

### نتیجه‌گیری

استخراج خطواره‌ها (شکستگی‌ها) و گسل‌های گرانیت کوه سفید، هاله دگرگونی و سنگ‌های فیلیشی اطراف بیان‌کننده نقش تکتونیک و فعالیت ماگمایی در ایجاد این ساختارها و ایجاد یک محیط مناسب برای نفوذ توده گرانیتی با این امتداد در منطقه است. مطالعه روابط قطع‌شدگی و دسته‌بندی این ساختارها دو فاز دگرشکلی در منطقه را نشان می‌دهد. فاز ابتدایی که متناسب با تنش کلی با امتداد شمال شرق - جنوب غرب است یک فاز پیش‌رونده و فاز انتهایی در تطابق با رژیوم تکتونیک فعال منطقه به صورت گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد شمالی - جنوبی عمل کرده است.

با توجه به دسترسی سخت و مطالعات اندک بر روی این توده گرانیتی و احتمال وجود منابع معدنی بالقوه در این منطقه، نتایج این پژوهش بیان کننده نقش تکتونیک و بالا آمدن ماگما در ایجاد خطواره ها و گسلها(به عنوان مکان مناسب کانی زایی) است و می تواند علاوه بر پی بردن به تاریخچه تکتونیکی منطقه به عنوان یک منبع پایه در پی جویی و اکتشاف نیز مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع

درویش زاده. علی، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، موسسه انتشارات امیر کبیر، تهران ۹۰۰ ص.

رهنماراد. جعفر، مسکانزهی. زیتون، کیخا. طیبه، انصاری فر. (۱۳۹۲). مصطفی، بررسی ریزترک ها در گرانیته کوه سفید (سراوان) و تأثیر آن بر مقاومت برشی و فشارشی سنگ، هشتمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، صص ۳۷۲-۳۸۰.

علی پور رضا، صدر امیرحسین، ایزدی معصومه. ۱۳۹۸. تحلیل خطواره ها و شکستگی های مرتبط با پهنه گسلی صحنه با استفاده از تکنیک های دورسنجی و فرکتالی (باختر ایران). پژوهش های دانش زمین، ۱۰(۳۷)، ۱۸۶-۲۰۵.

علی نیا، هادی و مریدی فرمانی، علی اصغر و نادری میقان، نصیر، ۱۳۹۰، بررسی خطواره ها و ساختارهای زمین شناسی شمال نیشابور با استفاده از تصاویر ماهواره ای و تکنیک های سنجش از دور، پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران،

کریم پولی صادق، عباسی زاده سعید، امینی اقبال. ۱۳۹۴. تشخیص خودکار خطواره ها در تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی با استفاده از تبدیل رادون. مهندسی معدن، ۱۰(۲۹)، ۴۱-۴۹.

مریدی فریمانی، علی اصغر، و دهقانی. سعید، (۱۳۹۳). نقش گسل تراستی سراوان در تشکیل و توسعه ی حوضه ی آبریز سراوان، مجله جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان صص، ۱۹-۳۲.

هنرمند. مهدی، رنجبر. حجت اله.، ۱۳۸۴، کاربرد روش های مختلف پردازش تصویر روی داده های ETM+ به منظور اکتشاف کانسارهای مس نوع پورفیری و رگه ای در منطقه کوه ممزار- کوه پنج در استان کرمان، مجله علوم زمین سازمان - زمین شناسی، شماره ۵۷، صص ۱۱۰-۱۲۷.

- Ahmadi, H., & Pekkan, E. (2021). Fault-based geological lineaments extraction using remote sensing and GIS—a review. *Geosciences*, 11(5), 183.
- Angelier, J. 1989; From orientation to magnitudes in paleostress determinations using fault slip data. *Journal of Structural Geology*. 11. 37-50.
- Angelier, J. 1991; Inversion directe et recherche 4-D: comparaison physique et mathematique de deux methodes de determination des tenseurs des paleocontraintes en tectonique failles. *C.R. Acad Sci., Paris*, 312(B). 1213-1218.
- Camp, V.E. Griffis, R.J. 1982; Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan Suture Zone, Eastern Iran, *Lithos*, Vol. 15, 221-239.
- Eftekhari Nezhad, J. McCall, G.J.H. 1993. Geological map of Saravan quadrangle (1:250000): Geological Survey of Iran.
- Freund, R. 1970; Rotation Of Strike Slip Faults In Sistan, Southeast Iran, University of Chicago Press, *The Journal of Geology*, 78, 188-200.
- Kashani, R. Partabian, A. Nourbakhsh, A. 2019; Tectonic implication of geomorphometric analyses along the Saravan Fault: evidence of a difference in tectonic movements between the Sistan Suture Zone and Makran Mountain Belt. *Journal of Mountain Science*, 16(5), 1023-1034. DOI:10.1007/s11629-019-5421-z
- Nakamura, K. 1977; Volcanoes proposal, *Journal of volcanology and Geothermal Research* 2:1-16
- Rosenfeld. A. Kak .A .C. 1982; Digital picture processing, Second edition, v. 1, Academic Press, New York.
- Solomon, S. Ghebream, W. 2006; Lineament Characterization and their tectonics significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea, *Journal of*

AfricanEarth Sciences, v. 46, p. 371-378. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2006.06.007

Tirrul R, Bell IR, Griffis RJ. Camp, VE . 1983 The Sistan Suture Zone of eastern Iran. Geological Society of America Bulletin, 94: 134-150.

Twiss, R.J., Morres, E.M. 2007. Structural Geology. second edition: W. H. Freeman and Company, 2007, ISBN-13: 978-0-7167-4951-6, ISBN-10: 0-7167-4951-3

Žalohar, J. Vrabc, M. 2010; Kinematics and dynamics of fault reactivation: The Cosserat approach. Journal of Structural G.ology, 32(1), 15-27.