

## استخراج خطواره‌ها با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸ در پهنه برشی سقز - بانه با تأکیدی بر کانه‌زایی طلا

نرگس دانشور<sup>۱</sup>، محمد معانی جو\*<sup>۱</sup>، حسین عزیزی<sup>۲</sup>، طیبه رضانی<sup>۱</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- گروه مهندسی معدن، دانشکده علوم پایه، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۲/۱۷

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۸/۲۲

### چکیده

منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب سقز و بخشی از زون ساختاری سنندج- سیرجان است. این منطقه شامل تعدادی محدوده‌ی کانه‌زایی طلا به اسامی قلقله، قبلوجه، کرویان، حمزه قرنین، قره‌چر و کسنزان است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی راستای گسل‌ها و ارتباط آن‌ها با مناطق کانه‌زایی به عنوان معیاری برای اکتشافات آتی است. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، گسل‌های منطقه با سه روش دستی، اتوماتیک و نیمه اتوماتیک استخراج گردید. در استخراج خطواره‌ها به صورت دستی از چهار روش رایج عملیات فیلتر، مؤلفه‌های اصلی، نسبت بانندی و ترکیب رنگی استفاده شد، و با استفاده از نتایج حاصل از چهار روش، یک نقشه خطواره تهیه شد. در استخراج خطواره‌ها به صورت اتوماتیک، از الگوریتم رایج Hough transform استفاده شد. در بررسی حاضر، از باند ۴ ماهواره لندست ۸ که در این باند عوارض زمین‌شناسی مانند انواع سنگ‌ها، مواد معدنی، پوشش گیاهی و غیره قابل تشخیص است، استفاده شد. در روش نیمه اتوماتیک پس از استخراج خطواره‌ها به روش اتوماتیک، خطواره‌های مرتبط به عوارض مورفولوژیکی یا انسانی به صورت دستی حذف شده و بعضی عارضه‌های خطی اضافه شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سه راستای گسلی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. راستای غالب گسل‌ها، شمال شرق- جنوب غرب است که بخشی از سنگ‌های میزبان کانه‌زایی طلا را در بر می‌گیرد. دومین راستا، راستای شمال غرب- جنوب شرق است که به موازات راستای غالب زاگرس است و شامل گسل‌های راندگی اصلی در منطقه است. سومین راستا، شرقی- غربی است و بخشی از کانه‌زایی طلا و رخداد دگرشکلی شکنا تا شکل‌پذیر را شامل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: استخراج خطواره‌ها، سنجش از دور، سقز- بانه، کانه‌زایی طلا.

## مقدمه

عکس‌های هوایی ارزان‌ترین راه برای استخراج خطواره‌ها هستند. تصاویر ماهواره‌ای از تغییر فواصل طول موج طیف‌های الکترومغناطیس به دست می‌آید و به دلیل دارا بودن اطلاعات بیشتر، ابزار بهتری برای استخراج خطواره‌ها نسبت به عکس‌های هوایی هستند (Casas et al, 2000). تصاویر ماهواره‌ای به دلیل گستردگی طیف و توان تفکیک بالا در تعیین موقعیت گسل‌ها دارای مزیت بیشتری نسبت به عکس هوایی است. امروزه با پیشرفت در علم سنجش از دور، روش‌های متعددی برای استخراج خطواره‌ها وجود دارد که شامل روش‌های اتوماتیک، نیمه اتوماتیک و دستی است که از این میان استخراج خطواره‌ها به روش اتوماتیک متقاضی بسیار دارد، زیرا روش دستی سخت، زمان‌بر و بسیار وابسته به کیفیت تحلیل است (Masoud and Koike, 2006). هدف از انجام این مطالعه به کار بردن تکنیک سنجش از دور برای استخراج خطواره‌ها در منطقه برشی سقز-بانه است. در این پژوهش خطواره‌ها به سه روش دستی، اتوماتیک و نیمه اتوماتیک استخراج گردید و چگالی و راستا آن‌ها و همچنین ارتباط آن‌ها با کانه‌زایی طلا مورد بررسی قرار گرفته است.

## منطقه مورد مطالعه

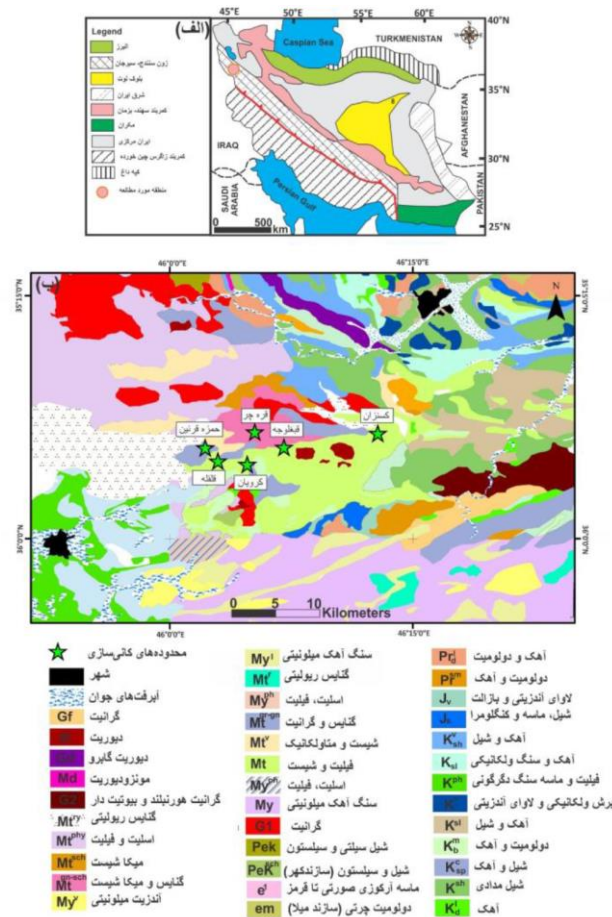
## زمین‌شناسی

منطقه برشی سقز-بانه شامل ناحیه دارای کانه‌زایی طلا است که با راستا شمال‌شرقی دارای سنگ‌های رسوبی، دگرگونی، متاولکانیک‌های مافیک تا حدواسط و نفوذی‌های فلسیک است که در شمال پهنه دگرگونی سندانج-سیرجان واقع شده است (شکل ۱). سنگ میزبان منطقه مورد مطالعه شامل کلریت شیست، گرانیت میلونیتی

تهیه نقشه خطواره‌ها نقش کلیدی در مطالعات زمین‌شناسی به خصوص اکتشاف معادن و نفت دارد (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸، Marphany and Hashim 2010; Rowan and Lahram 1980; به عبارتی دیگر، مطالعات جامع هر منطقه به معنی داشتن اطلاعات ساختارهای موجود به خصوص خطواره‌ها است (Pour and Hashim 2015). خطواره‌ها، عارضه‌های خطی هستند که از دیگر عارضه‌های مجاور قابل تشخیص بوده و احتمالاً پدیده‌های زیر سطحی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (O'Leary et al, 1976). خطواره‌ها شامل عارضه‌های طبیعی مانند هم‌ترازی ساختاری (Faure, 2001)، توالی ژئومورفولوژیک (Corgne et al, 2010)، ساختارهای ضعیف (Masoud and Koike, 2006)، گسل‌ها (Hashim et al, 2013)، دره‌ها (Lacina, 1996; Hung et al, 2005)، نواحی زهکشی، ساختارها یا خط‌هایی که سازندهای مختلف را جدا می‌کنند، هستند (Hobbs, 1912). خطواره‌ها همچنین مرز بین واحدهای سنگ‌شناختی مختلف یا پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (Marpany and Hashim, 2010)؛ و یا عوارضی که توسط انسان ایجاد شده مانند جاده، پل و نظایر آنها را مشخص می‌کند. در مجموع، اهمیت خطواره‌ها اغلب برای ذخایر معدنی بسیار حائز اهمیت است و همچنین تهیه اطلاعات پوشش و شاخص‌های گیاهی، تحلیل مدل‌های بارش-روان‌آب، مطالعات آب‌های سطحی و زیرزمینی، تهیه داده‌های ثانویه برای مطالعات آب‌های زیرزمینی و نحوه مدل سازی آب‌های زیرزمینی از مراحل مهم مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز است (Meshkani et al, 2013; Pour et al, 2016; Pour and Hashim, 2014 a, b). تصاویر ماهواره‌ای و

کرویان، حمزه قرنین، قره چر و کسنزان است (شکل ۱). تمامی این کانی‌زایی‌ها در پهنه برشی شکنا تا شکل‌پذیر سقز-بانه واقع شده و توسط راستا گسل‌های راندگی و نرمال در منطقه کنترل می‌شود (Aliyari et al, 2007, 2009, 2012, 2014؛ تاج الدین، ۱۳۹۰؛ دانشور، ۱۳۹۷؛ معانی جو و دانشور، ۱۳۹۸) که بر اهمیت مطالعه خطواره‌ها در محدوده مورد مطالعه می‌افزاید و همچنین لازم به ذکر است که تاکنون هیچ نقشه‌ی جامعی از خطواره‌ها در این قسمت تهیه نشده است.

(که در حد رخساره شیبست سبز دگرگون شده) و گرانیب گنایسی است (دانشور، ۱۳۹۷). این ناحیه محصول برخورد دو ریزقاره آفروربی و ایران در زمان کرتاسه-ترشیری است (Ghasemi and Talbot 2006; Aliyari et al, 2009). کانه‌زایی طلا در ارتباط با رگه‌های کوارتز در طی دگرشکلی ناحیه در امتداد زون‌های میلونیتی و به صورت دانه پراکنده در سنگ میزبان در زون برشی است (Aliyari, 2009; Daneshvar et al, 2017) این منطقه دارای چندین محدوده دارای کانه‌زایی طلا است که شامل محدوده‌های قلقله، قیغلوچه،



شکل ۱: الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ساختاری ایران (Stocklin, 1968)، ب) نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی سقز (باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲)، آلت (عمرانی و خبازنیا، ۱۳۸۲)، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ بانه-مریوان (نوگل سادات و هوشمندزاده، ۱۳۷۲).

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، استخراج خطوطاره‌ها در ابتدا به دو روش دستی و اتوماتیک انجام شد. سپس، با توجه به این‌که روش نیمه‌اتوماتیک مزیت بهتری نسبت به دو روش مذکور دارد، بنابراین در این روش پس از استخراج خطوطاره‌ها به روش اتوماتیک، تمامی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و خطوطاره‌های مرتبط به عارضه موفولوژیکی یا انسانی به صورت دستی حذف شده و بعضی عارضه‌های خطی با توجه به تحلیل انجام گرفته اضافه شد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره لندست ۸ که در تاریخ ۲۰۱۶/۸/۱۷ در گذر ۱۶۸ و در ردیف ۳۵ برداشت شده، استفاده گردید. ماهواره لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ در مدار قرار گرفت و نسل جدیدی از ماهواره لندست است که دارای دو سنسور است. سنسور اول (Operational land imager) OLI نامیده می‌شود که دارای ۹ باند طیفی: ۴ باند مرئی (VIS) ( $0.43-0.67\mu\text{m}$ )، ۱ باند مادون قرمز نزدیک (NIR) ( $0.85-0.88\mu\text{m}$ ) و ۲ باند مادون قرمز با طول موج کوتاه (SWIR) ( $2.29 - 2.13\mu\text{m}$ ) و یک باند سیروس ( $1.38 - 1.36\mu\text{m}$ ) (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) است. به علاوه، دارای یک باند پانکروماتیک ( $0.50-0.68\mu\text{m}$ ) (با قدرت تفکیک ۱۵ متر) است. سنسور دوم TIRS (Thermal infrared sensor) نامیده می‌شود که دارای دو باند با قدرت تفکیک ۱۰۰ متر که به ترتیب عبارتند از ( $11.19-10.60\mu\text{m}$ ) و ( $12.51-11.50$ ). لندست ۸ دارای چند ویژگی است که عبارتند از قدرت تفکیک رادیومتریک بالا (۱۶ بایت)، پوشش وسیع  $180^*185$  Km رایگان است (Roy et al, 2014). در طی این پژوهش از نرم‌افزارهای مختلفی شامل (version 2015) PCI Geomatica، Envi (version 4.8).

Arc GIS (version 10.3.1) و (version 16) Rock Work استفاده گردید. تحلیل مؤلفه‌های اصلی توسط نرم‌افزار Envi صورت گرفت و تصویر خروجی آن برای استخراج خطوطاره وارد نرم افزار PCI Geomatica گردید و در ادامه خطوطاره‌های کشیده شده وارد نرم‌افزار Arc GIS گردید تا مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت چگالی و راستا خطوطاره‌ها توسط نرم‌افزار Rock Work ترسیم شد.

### نتایج

در این پژوهش، استخراج خطوطاره‌ها در ابتدا به دو روش دستی و اتوماتیک انجام شد. سپس با توجه به این‌که روش نیمه‌اتوماتیک مزیت بهتری نسبت به دو روش مذکور دارد، بنابراین در این روش پس از استخراج خطوطاره‌ها به روش اتوماتیک، تمامی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و خطوطاره‌های مرتبط به عارضه موفولوژیکی یا انسانی به صورت دستی حذف شده و بعضی عارضه‌های خطی با توجه به تحلیل انجام گرفته اضافه شد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره لندست ۸ که در تاریخ ۲۰۱۶/۸/۱۷ در گذر ۱۶۸ و در ردیف ۳۵ برداشت شده، استفاده گردید. ماهواره لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ در مدار قرار گرفت و نسل جدیدی از ماهواره لندست است که دارای دو سنسور است. سنسور اول (Operational land imager) OLI نامیده می‌شود که دارای ۹ باند طیفی: ۴ باند مرئی (VIS) ( $0.43-0.67\mu\text{m}$ )، ۱ باند مادون قرمز نزدیک (NIR) ( $0.85-0.88\mu\text{m}$ ) و ۲ باند مادون قرمز با طول موج کوتاه (SWIR) ( $2.29 - 2.13\mu\text{m}$ ) و یک باند سیروس ( $1.38 - 1.36\mu\text{m}$ ) (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) است. به علاوه، دارای یک باند پانکروماتیک ( $0.50-0.68\mu\text{m}$ ) (با قدرت تفکیک ۱۵ متر) است. سنسور دوم TIRS

مطالعات سنجش از راه دور استفاده می‌شود، بارزسازی شد (Laben and Brower, 2000; ) (Amer et al, 2012).

#### استخراج خطوطها

استخراج خطوطها به سه روش دستی، اتوماتیک و نیمه‌اتوماتیک صورت می‌گیرد:

#### استخراج خطوطها به صورت دستی

در این روش، خطوطها از تصاویر ماهواره‌ای به صورت دستی استخراج می‌شود. خطوط به‌طور معمول به صورت خطوط مستقیم یا لبه‌دار در تصاویر ماهواره‌ای با تفاوت تناژ رنگ دیده می‌شوند که دانش، قدرت چشمی و تبحر کاربر نکته کلیدی است که خط‌های کوچک را بتواند به یکدیگر متصل کند تا بتواند خطوطها را ترسیم کند (Wang et al, 1990). برخی عارضه‌هایی که به صورت خط دیده می‌شوند دره‌های مستقیم، مرزهای مستقیم سنگ‌ها، انحراف رودخانه‌ها، تغییر ناگهانی تناژ و هم‌ترازی پوشش گیاهی است. چندین روش آشکارسازی وجود دارد تا بتوان خطوطها را به صورت دستی استخراج نمود. در این پژوهش چهار روش رایج شناخته شده برای تهیه خطوطها به صورت دستی استفاده شد که شامل عملیات فیلتر، آنالیز مولفه‌های اصلی، نسبت باندی و ترکیب رنگی است. در ابتدا یک نقشه برای هر روش تهیه و در نهایت یک نقشه از تلفیق چهار نقشه تهیه شد. دلیل استفاده از تلفیق چند روش به جای یک روش، از بین بردن محدودیت هر روش برای یافتن خطوطها است تا بتوان استخراج خطوطها به بهینه‌ترین صورت انجام گیرد.

#### عملیات فیلتر

یکی از ویژگی‌های بارز تصاویر ماهواره‌ای پارامتری به نام فرکانس فضایی (Spatial frequency) است

(Thermal infrared sensor) نامیده می‌شود که دارای دو باند با قدرت تفکیک ۱۰۰ متر که به ترتیب عبارتند از (۱۰/۶۰-۱۱/۱۹  $\mu\text{m}$ ) و (۱۱/۵۰-۱۲/۵۱)  $\mu\text{m}$ ). لندست ۸ دارای چند ویژگی است که عبارتند از قدرت تفکیک رادیومتریک بالا (۱۶ بایت)، پوشش وسیع  $180 \times 185 \text{ Km}$  و رایگان است (Roy et al, 2014). در طی این پژوهش از نرم‌افزارهای مختلفی شامل (version 4.8) Envi، (2015) PCI Geomatica، (version 16) Arc GIS و (version 10.3.1) Rock Work استفاده گردید. تحلیل مؤلفه‌های اصلی توسط نرم‌افزار Envi صورت گرفت و تصویر خروجی آن برای استخراج خطوط وارد نرم افزار PCI Geomatica گردید و در ادامه خطوطها کشیده شده وارد نرم‌افزار Arc GIS گردید تا مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت چگالی و راستا خطوطها توسط نرم‌افزار Rock Work ترسیم شد.

#### پیش‌پردازش

تصویر OLI که در این پژوهش استفاده شد به صورت LIT (Corrected terrain) در سیستم مختصات Universal transverse Mercator (UTM) و در سیستم World (WGS84) datum Geodectic system تهیه شده است. بر روی این تصویر تصحیحات رادیومتریک در ابتدا انجام و سپس تصحیحات اتمسفری با استفاده از روش Dark object subtraction (DOS) روی آن انجام شد. از آنجایی که، تفکیک فضایی بر روی توانایی تشخیص خطوطها مؤثر است (Alonso-contes, 2011). باند پانکروماتیک (۱۵ متر) سنسور OLI برای بهبود تفکیک فضایی تصویر OLI استفاده شد. بنابراین، باندهای طیفی با باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک ۱۵ متر با استفاده از روش Pan sharpening Gram-Schmidt که در اکثر

برای لندست ۸ باند ۷ در جهت‌های E-W، N-S، NE-SW و NW-SE برای افزایش فرکانس و کنتراست در تصویر استفاده شد. فیلترهای جهت‌دار در چهار جهت اصلی در جدول ۱ آورده شده است. نتایج حاصل از فیلترهای sobel و prewitt در چهار جهت اصلی که در این مطالعه استفاده شده و در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. دو نقشه تهیه شده از تصاویر فیلتر شده sobel و prewitt در شکل ۴ الف و ب آورده شده است. شماره خطوطاره‌های به‌دست آمده از فیلتر sobel و prewitt به ترتیب عبارتند از ۲۰۴۳ و ۲۳۲۷.

که در حقیقت شمار تغییرات مقدار روشنایی در هر واحد مسافت برای هر قسمت از تصویر است (میرزابابی و همکاران، ۱۳۹۶). فیلترهای جهت‌دار (Directional) (فیلترهایی که لبه را مشخص می‌کنند) طراحی شده تا عارضه‌های خطی را آشکار کند مانند جاده‌ها، رودخانه‌ها، گسل‌ها و غیره. این فیلترها می‌تواند عارضه‌ها را در جهت خاصی آشکار کند. از رایج‌ترین فیلترهای جهت‌دار می‌توان Gradient-Sobel، Gradient-Prewitt، Gradient-Shrivakshan و Gradient-Prewitt (Roberte and Chandrasekar, 2012) را نام برد. فیلترهای جهت‌دار Gradient-sobel و Gradient-Prewitt

جدول ۱: فیلترهای sobel و prewitt در چهار جهت اصلی که در این مطالعه استفاده شده است.

	N-S	NE-SW	E-W	NW-SE
Sobel	-۱ ۰ ۱	-۲ -۱ ۰	-۱ -۲ -۱	۰ ۱ ۲
	-۲ ۰ ۲	-۱ ۰ ۱	۰ ۰ ۰	-۱ ۰ ۱
	-۱ ۰ ۱	۰ ۱ ۲	۱ ۲ ۱	-۲ -۱ ۰
Prewitt	-۱ ۰ ۱	-۱ -۱ ۰	-۱ -۱ -۱	۰ ۱ ۱
	-۱ ۰ ۱	-۱ ۰ ۱	۰ ۰ ۰	-۱ ۰ ۱
	-۱ ۰ ۱	۰ ۱ ۱	۱ ۱ ۱	-۱ -۱ ۰

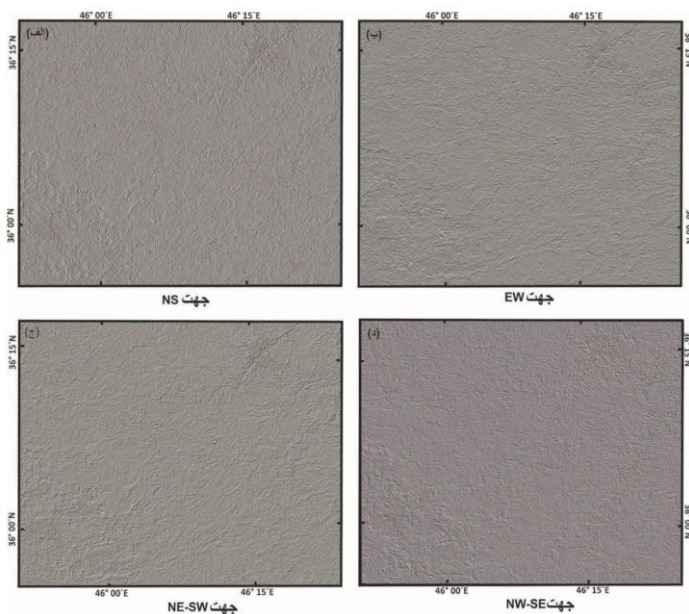
تفسیر بصری خوبی را ایجاد می‌کند (Jensen, 1996; Taghavi et al, 2019). همچنین، خطوطاره‌ها می‌توانند به آسانی با استفاده از PCA در تصاویر لندست ETM معین شود و اطلاعات زائد از داده‌های چند طیف مرئی و NIR حذف گردد (Nama, 2004). برای جدایش خطوطاره‌ها به روش PCA از هفت باند از تصاویر لندست ETM برای فشرده کردن اطلاعات در سه باند استفاده شد. یک ترکیب رنگی کاذب از سه مؤلفه اصلی اول ایجاد و در شکل ۵ الف نشان داده می‌شود.

#### آنالیز مؤلفه‌های اصلی

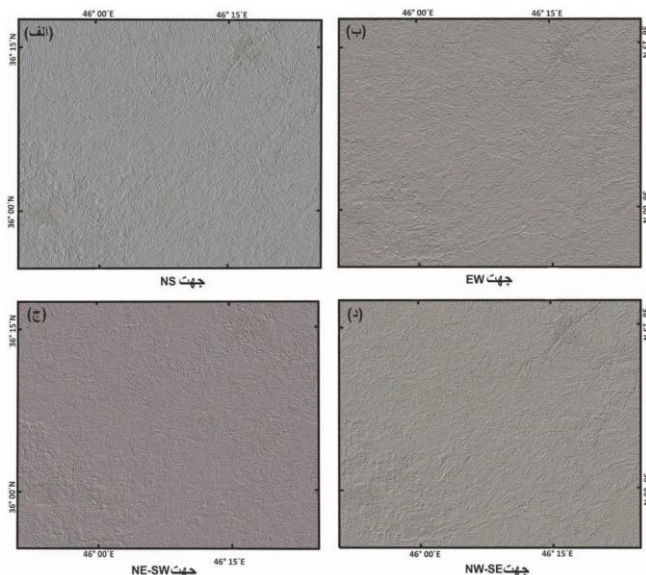
آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) یک روش تغییر تصویر براساس ارزیابی داده‌های چند باند است که می‌تواند برای کاهش ابعاد در داده‌ها و فشرده کردن بیشتر اطلاعات باندهای اصلی به تعداد کمتری باند به کار رود. بنابراین، اطلاعات کاربردی جهت شناسایی عارضه‌ها در کلیه باندها در دو یا سه مؤلفه فشرده می‌شود. اولین مؤلفه PCA شامل اطلاعات هر دو مادون قرمز نزدیک و میانی (باندهای ۴، ۵ و ۷) است و ترکیب رنگی PCA

می‌تواند با استفاده از ترکیب رنگی سه جز اول تصویر بسیار بارزی ایجاد نماید. در مجموع تعداد ۲۰۶۲ خطواره با استفاده از آنالیز مؤلفه اصلی استخراج شده است (شکل ۵ ب).

جدول ۲ همبستگی بین باندهای مختلف را نشان می‌دهد. اولین جز در آنالیز مؤلفه‌های اصلی اطلاعات مادون قرمز نزدیک و میانی است. این روش برای تصویر لندست ۸ که دارای ۸ باند مرئی و مادون قرمز است، بسیار حائز است. این تکنیک



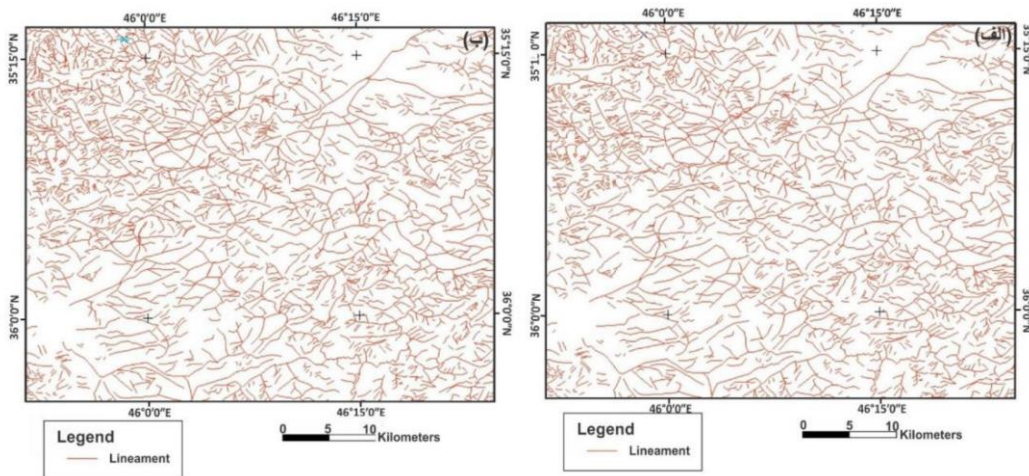
شکل ۲: تصویرهای فیلتر شده با فیلتر جهت‌دار Sobel که روند خطواره‌ها در چهار راستای الف) شمالی- جنوبی (NS)، ب) شرقی- غربی (EW)، شمال شرقی- شمال غربی (NE-SW) و شمال غربی- جنوب شرقی (NW-SE) نشان می‌دهد.



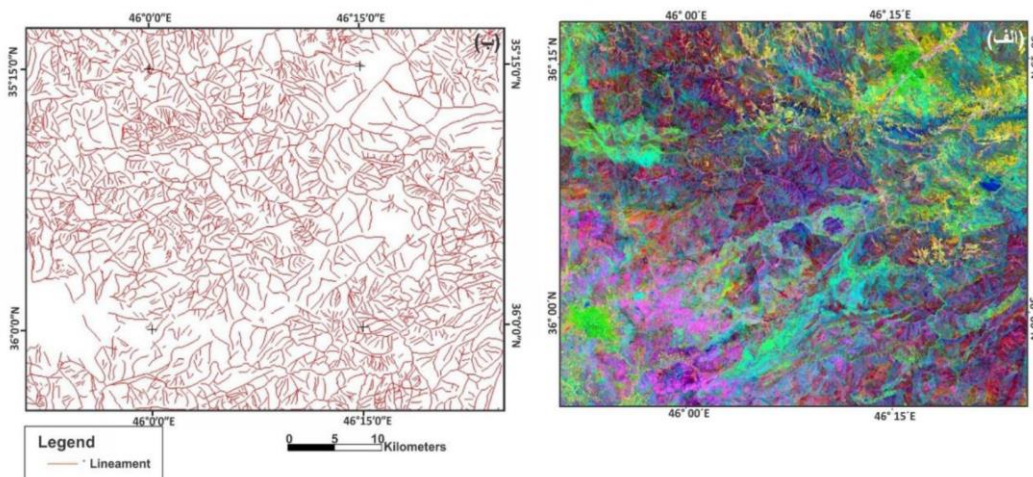
شکل ۳: تصویرهای فیلتر شده با فیلتر جهت‌دار Prewitt که روند خطواره‌ها در چهار راستای الف) شمالی- جنوبی (NS)، ب) شرقی- غربی (EW)، شمال شرقی- جنوب غربی (NE-SW) و شمال غربی- جنوب شرقی (NW-SE) را نشان می‌دهد.

جدول ۲: ماتریس همبستگی باندهای ۱-۷ در تصویر ماهواره‌ای لندست ۸

	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
باند ۱	۱	۰/۹۴	۰/۳۸	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۷۴	۰/۶۷
باند ۲	۰/۹۴	۱	۰/۵۶	۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۶۶	۰/۵۷
باند ۳	۰/۳۸	۰/۵۶	۱	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۳۰
باند ۴	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۴۸	۱	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۸۲
باند ۵	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۴۷	۰/۹۶	۱	۰/۹۷	۰/۹۲
باند ۶	۰/۷۴	۰/۶۶	۰/۳۷	۰/۸۹	۰/۹۷	۱	۰/۹۸
باند ۷	۰/۶۷	۰/۵۷	۰/۳۰	۰/۸۲	۰/۹۲	۰/۹۸	۱



شکل ۴: نقشه‌های خطواره‌های استخراج شده با استفاده از رونده خطواره‌های به‌دست آمده از الف) فیلتر جهت‌دار Sobel و ب) فیلتر جهت‌دار Prewitt که عارضه‌های خطی را در این تصاویر نشان می‌دهد.



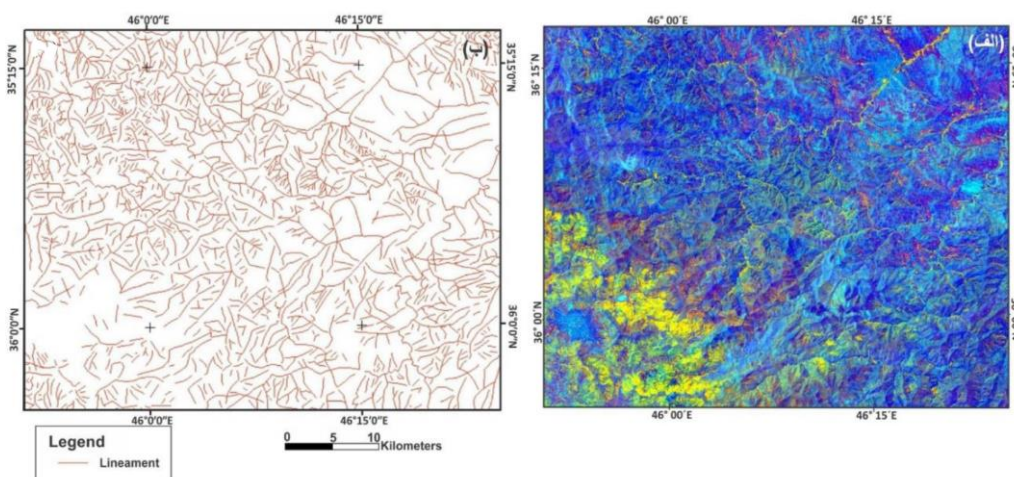
شکل ۵: الف) تصویر ترکیب رنگی PC1 (قرمز)، ۲ (سبز) و ۳ (قرمز)، ب) نقشه استخراج خطواره‌ها از تصویر آنالیز مولفه‌های اصلی



## نسبت بانندی

تصاویر نسبت بانندی برای تعیین تغییرات طیفی در یک تصویر سودمند هستند که به وسیله تغییر در روشنایی ماسک می‌شوند. تصاویر بانندی نسبت بانندی در RGB کنتراست بهتری را بین واحد در تصویر نسبت به ترکیب رنگی کاذب نشان می‌دهد (Sabin, 1996). نسبت‌های بانندی که برای استخراج خطواره‌ها به‌طور دستی در این پژوهش استفاده شد شامل ۵/۷، ۲/۳ و ۴/۵ است. در نسبت بانندی ۵/۷، کانی‌های هیدروکسیل‌دار نشان داده می‌شود. این کانی‌ها می‌توانند یک شاخص خوب برای اثرات آب در امتداد شکستگی باشد (Crippen, 1998). همچنین، نسبت بانندی ۲/۳

کنتراست بین پوشش گیاهی با چگالی بالا نواحی با پوشش گیاهی پراکنده و نسبت ۴/۵ برای نشان دادن نواحی با تن مشکی یا سیاه است (Won-In and Charusiri 2003; Maanijou et al, 2015). این باندها برای ایجاد ترکیب رنگی کاذب (۴/۵، ۲/۳ و ۵/۷) (RGB) برای جدایش خطواره‌ها به صورت دستی استفاده شد (شکل ۶ الف) و در مجموع تعداد خطواره ۱۳۸۹ با استفاده از روش نسبت فازی استخراج گردید. تصویر خروجی استخراج خطواره در شکل ۶ ب نشان داده شده است.



شکل ۶: الف) تصویر نسبت بانندی ۵/۷ (قرمز، کانی‌های هیدروکسیل‌دار که شاخص خوبی برای اثرات آب در امتداد شکستگی است)، ۲/۳ (سبز، کنتراست بین پوشش گیاهی با چگالی بالا و نواحی با پوشش گیاهی متوسط را نشان می‌دهد) و ۴/۵ (آبی، برای نشان دادن نواحی با تن سیاه است)، ب) نقشه استخراج خطواره‌ها از تصویر نسبت بانندی.

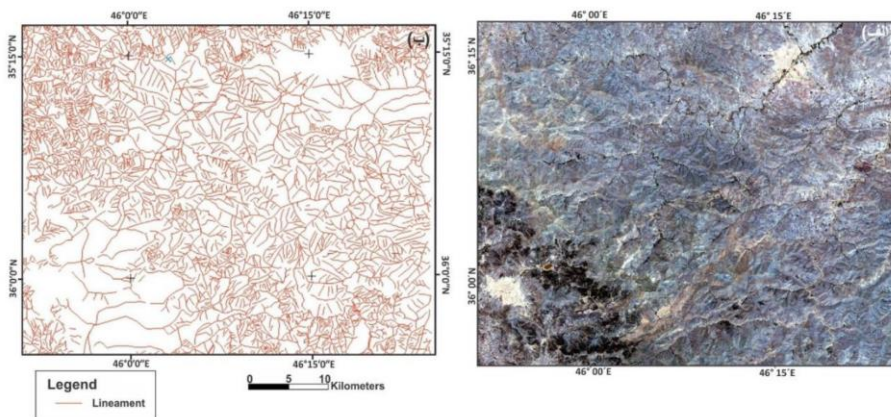
## ترکیب رنگی

چشم انسان تنها قادر به تشخیص تعداد محدودی تن رنگی خاکستری است اما قادر به تشخیص رنگ‌های فراوانی است. بنابراین یک روش رایج آشکارسازی تصویر، دادن عدد خاص دیجیتال (DN) به رنگ خاصی است تا کنتراست مقدار DN نسبت به پیکسل‌های اطراف یک تصویر بیشتر

شود. یک تصویر کلی می‌تواند از مقیاس سیاه و سفید به مقیاس رنگی تبدیل شود. تصاویر رنگی کاذب تولید شده برای استخراج خطواره‌ها به صورت دستی استفاده می‌شود زیرا آن‌ها داده‌های قابل تفسیر را افزایش می‌دهد. ترکیب متفاوت سه باند امتحان شد و در نهایت بهترین کیفیت دید از ترکیب رنگی کاذب باندهای مادون قرمز نزدیک

زمین‌شناسی را میسر می‌سازد (شکل ۷ الف). نتیجه استخراج خطواره‌ها از ترکیب رنگی کاذب در شکل ۷ ب نشان داده شده است.

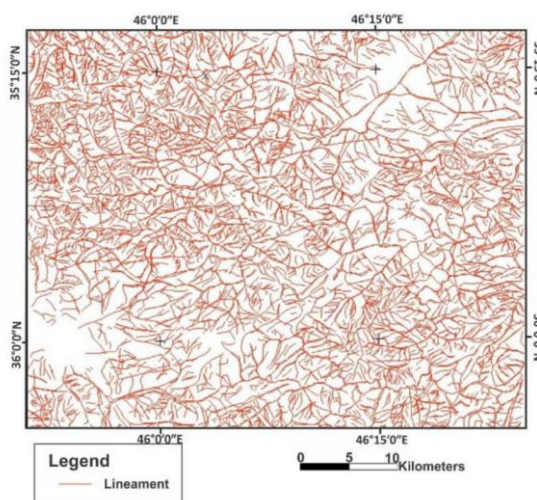
۲، ۳ و ۴ (آبی، سبز و قرمز) به دست آمد که تشخیص بین مرز پوشش گیاهی، مرز واحدهای زمین‌شناسی، رودخانه و زون‌های مختلف



شکل ۷: الف) تصویر رنگی کاذب با استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک ۲، ۳ و ۴ (آبی، سبز، قرمز) که تشخیص بین مرز پوشش گیاهی، مرز واحدهای زمین‌شناسی، رودخانه و زون‌های مختلف زمین‌شناسی را میسر می‌سازد، ب) نقشه استخراج خطواره‌ها از تصویر رنگی کاذب.

گرفته شد تا خطواره‌ای نادیده نماند. دلیل این امر این است که زمین از لحاظ ویژگی سطحی هموزن نیست و اعتقاد بر این است که هر روشی از یک لحاظ سطح را آشکار می‌کند. نتایج حاصل از این روش در شکل ۸ نشان داده شده است.

تهیه نقشه نهایی روش‌های بالا برای استخراج خطواره‌ها در تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. یک روش رایج برای تهیه نقشه نهایی وجود ندارد. گرچه هر یک از این روش‌ها برای جدایش خطواره‌ها به کار می‌رود، در این پژوهش ۴ روش برای تهیه خطواره‌ها به کار

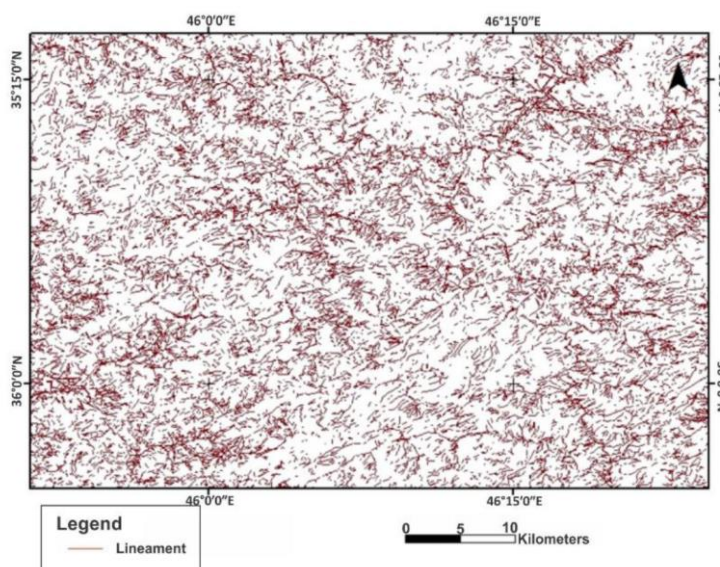


شکل ۸: نقشه نهایی استخراج خطواره‌ها به روش دستی.

## استخراج خطوطاره‌ها به صورت اتوماتیک

خطواره‌ها از تصویر ماهواره‌ای با استفاده از روش اتوماتیک استخراج و با خطواره مستخرج از روش دستی مقایسه شد. مزایای مهم استخراج خطواره‌ها به روش اتوماتیک نسبت به روش دستی، یکنواخت بودن عملیات برای تصاویر مختلف، زمان کم و عاری بودن از خطای دید برای ترسیم خطواره‌ها است. نرم‌افزارهای در دسترس دارای الگوریتم‌های متفاوتی برای استخراج به روش اتوماتیک هستند که سه الگوریتم رایج عبارتند از Hough transform، Harranform و Segment tracing algorithm (STA) (Koçal, 2004). الگوریتم Hough transform روشی است که برای جدایش عارضه‌ها با شکل خاص در یک تصویر استفاده می‌شود. استخراج خطواره‌ها به روش اتوماتیک در این مطالعه به وسیله مودول خط در نرم افزار geomatica انجام گرفت. منطق این روش شبیه به STA است که یک خلاصه‌ای از توضیحات الگوریتم در این مدول در زیر آورده شده است. این اطلاعات توسط Geomatica users

2001 manual فراهم شده است. الگوریتم استخراج خطواره به روش اتوماتیک توسط نرم‌افزار Geomatica در این مطالعه، مودول خط است که عارضه‌های خطی توسط نرم‌افزار Geomatica توسط ۶ پارامتر استخراج و در قطعات برداری گزارش می‌شود و این پارامترها عبارتند از: (گرادیان) RAD (شعاع فیلتر)، (حدآستانه خط مناسب)، FT (حدآستانه)، (حدآستانه طول منحنی)، AT (حدآستانه تفاوت زاویه) و DT (حدآستانه مسافت اتصال). در این پژوهش باند ۴ ماهواره لندست با قدرت تفکیک ۳۰ متر برای تهیه خطواره‌ها به صورت اتوماتیک انتخاب شد که در این باند عوارض زمین‌شناسی مانند انواع سنگ‌ها، مواد معدنی، پوشش گیاهی و غیره قابل تشخیص است. در این پژوهش شش پارامتر که به صورت تجربی مورد استفاده قرار گرفت در جدول ۳ آورده شده است. نتیجه حاصل از استخراج خطواره‌ها به روش اتوماتیک در شکل ۹ نشان داده شده است.



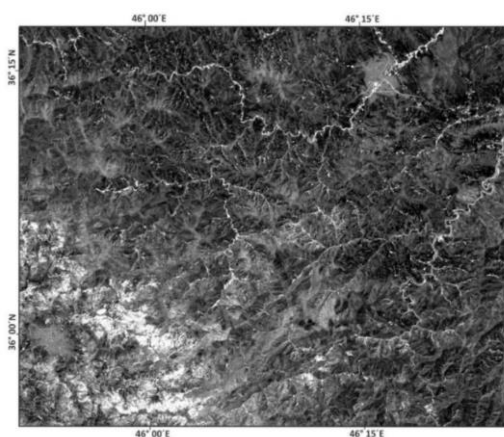
شکل ۹: نقشه استخراج خطواره‌ها به روش اتوماتیک

جدول ۳: پارامترهای به کار رفته شده برای استخراج خطوطها به روش اتوماتیک

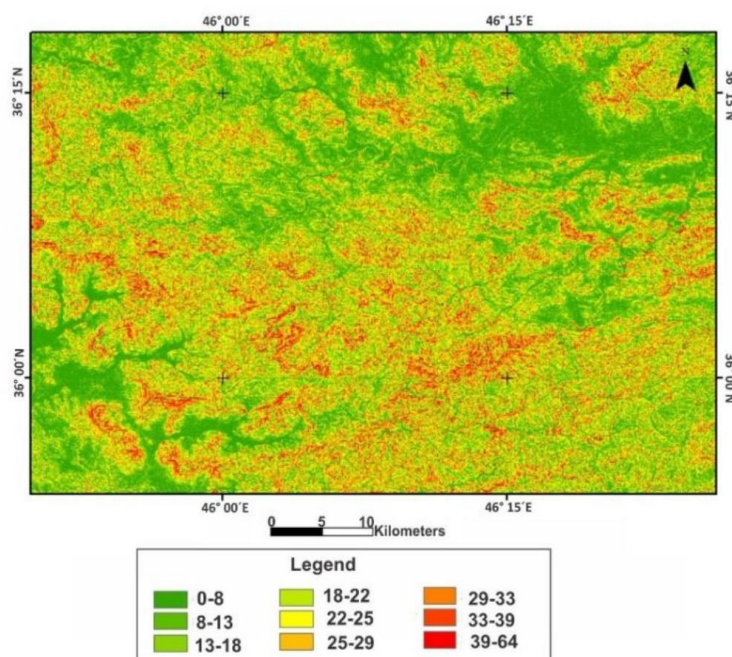
	N-S	NE-SW	E-W	NW-SE
Sobel	-۱ ۰ ۱	-۲ -۱ ۰	-۱ -۲ -۱	۰ ۱ ۲
	-۲ ۰ ۲	-۱ ۰ ۱	۰ ۰ ۰	-۱ ۰ ۱
	-۱ ۰ ۱	۰ ۱ ۲	۱ ۲ ۱	-۲ -۱ ۰
Prewitt	-۱ ۰ ۱	-۱ -۱ ۰	-۱ -۱ -۱	۰ ۱ ۱
	-۱ ۰ ۱	-۱ ۰ ۱	۰ ۰ ۰	-۱ ۰ ۱
	-۱ ۰ ۱	۰ ۱ ۱	۱ ۱ ۱	-۱ -۱ ۰

انعکاس کم در باندهای مادون قرمز میانی (mid) (TM4) است (Lillesand, 1999). تمامی عارضه‌های راه استخراج شده از مجموع خطوطها حذف گردید. یکی از مواردی که می‌تواند برای استخراج نقشه‌های نظارت شده بسیار حائز اهمیت باشد استفاده از DEM منطقه مورد بررسی است. در این پژوهش، در ابتدا نقشه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه از نقشه DEM و با استفاده از ابزار هیدرولوژی در نرم‌افزار Arc GIS ترسیم گردید. از آنجایی که احتمال وجود گسل دره و آبراهه‌ها بیشتر است در نتیجه نقشه شیب با استفاده از DEM در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد (شکل ۱۱).

**استخراج خطوطها به صورت نیمه اتوماتیک**  
در این روش، به تصحیح خطوطهای استخراج شده از مراحل قبل پرداخته می‌شود. با هم‌پوشانی نقشه استخراج خطوطها به روش دستی و اتوماتیک، خطوطی که ترسیم شده اضافه و برخی خطوط که اشتباه ترسیم شده است، حذف می‌گردد. در ابتدا، نقشه راهها ترسیم گردید. هدف از تهیه نقشه راهها، حذف این عارضه‌های خطی از خطوطهای مرتبط با گسل و شکستگی‌ها است. تصویر تهیه شده از نسبت باندهای TM3/TM4 در شکل ۱۰ نشان داده شده است که در این تصویر راهها با تن رنگی بالایی نشان داده می‌شوند که به دلیل انعکاس نسبتاً بالا در باند قرمز (TM3) و



شکل ۱۰: تصویر نسبت باندهای ۳/۴ تصویر ماهواره لندست ۸ برای جدایش راهها که در این تصویر راهها با تن رنگی بالایی نشان داده می‌شوند که به دلیل انعکاس نسبتاً بالا در باند قرمز (TM3) و انعکاس کم در باندهای مادون قرمز میانی (TM7).



شکل ۱۱: نقشه شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از DEM.

گردید (شکل ۱۴). برخی لایه‌ها در نقشه زمین‌شناسی به نظر می‌رسد که توسط فعالیت برخی خطواره‌ها جابجا شده است.

#### ارزیابی نقشه خطواره‌ها

در این پژوهش، سه روش برای ارزیابی خطواره‌های استخراج شده مورد استفاده قرار گرفت. (۱) تحلیل چگالی خطواره‌ها، (۲) تحلیل طول خطواره‌ها و (۳) تحلیل جهت خطواره‌ها.

#### ارزیابی چگالی خطواره‌ها

هدف از ترسیم نقشه چگالی خطواره‌ها، محاسبه فراوانی خطوط در هر واحد است که با نام فراوانی خطواره هم شناخته می‌شود (Greenbaum, 1985). تراکم خطواره‌ها بیشتر در مرکز محدوده مورد مطالعه و در شمال، غرب و جنوب غرب بانه متمرکز بوده که این نواحی، با مناطق با شیب بالا نیز منطبق است (شکل ۱۵). تراکم گسل‌ها در مرکز محدوده مورد مطالعه و در شمال، غرب و جنوب غرب شهر بانه بیشتر است. از آنجایی که

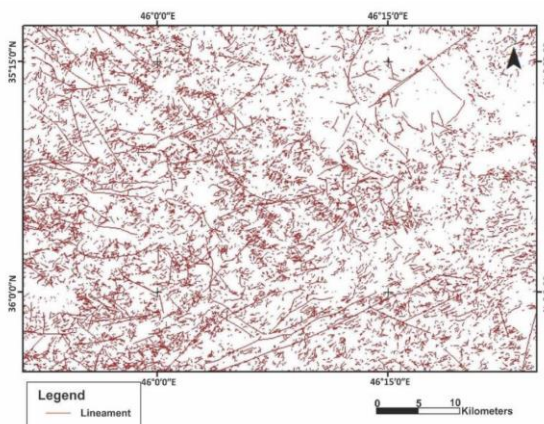
تمامی آبراهه‌ها به جز آنهایی که نشان‌دهنده گسل در مناطق با شیب بالا بوده، با توجه به بررسی نقشه‌هایی موجود و مطالعات صحرایی تشخیص داده شد، حذف گردید. یکی از موانع تشخیص گسل در مناطق پوشیده شدن آن با رسوبات است که در منطقه مورد مطالعه با توجه به توپوگرافی مرتفع این مشکل وجود ندارد. سپس، تمامی خط الرأس‌ها و ستیغ‌ها، مرز بین نواحی، مرز بین واحدهایی زمین‌شناسی (به جز آنهایی که تراست را نشان می‌دهد) با بررسی نقشه DEM و زمین‌شناسی منطقه حذف گردید. نقشه خطواره‌ها با نقشه‌ی گسل‌ها و برخی عارضه‌ها با توجه به مطالعات صحرایی (شکل ۱۲) و بررسی جابجایی برخی لایه‌ها در نقشه زمین‌شناسی و گسل‌ها اضافه شد. درنهایت، نقشه گسل تهیه شده در منطقه مورد مطالعه به روش نیمه اتوماتیک در شکل ۱۳ نشان داده شده است. نقشه گسل‌های استخراج شده بر روی نقشه زمین‌شناسی پلات

بیشتر است و نشان می‌دهد که این کانی‌زایی توسط راستا گسلش کنترل می‌شود (شکل ۱۲ تا ۱۵).

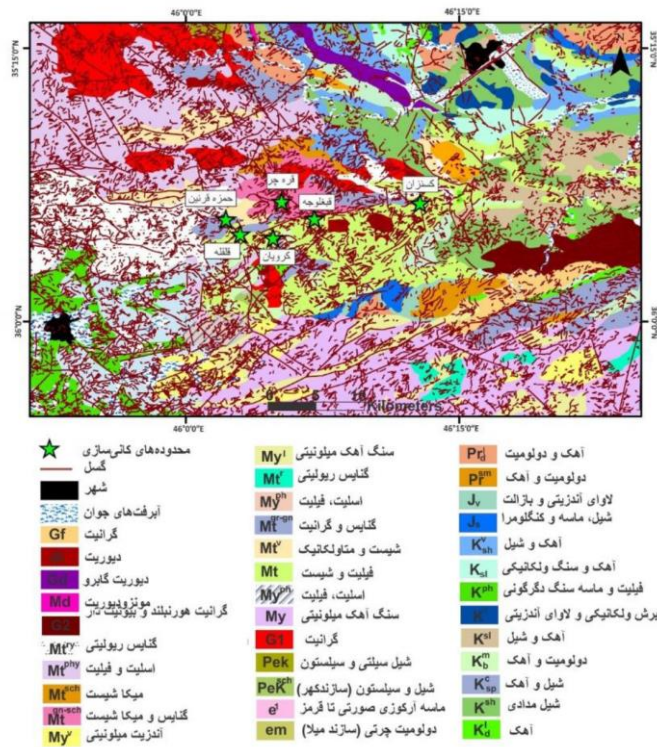
گسلش باعث ایجاد معبری برای عبور سیالات هیدروترمال می‌گردد و یکی از عوامل مؤثر در کانی‌زایی محسوب می‌شود. تراکم خطواره‌ها در نواحی دارای کانی‌زایی در ناحیه مورد مطالعه



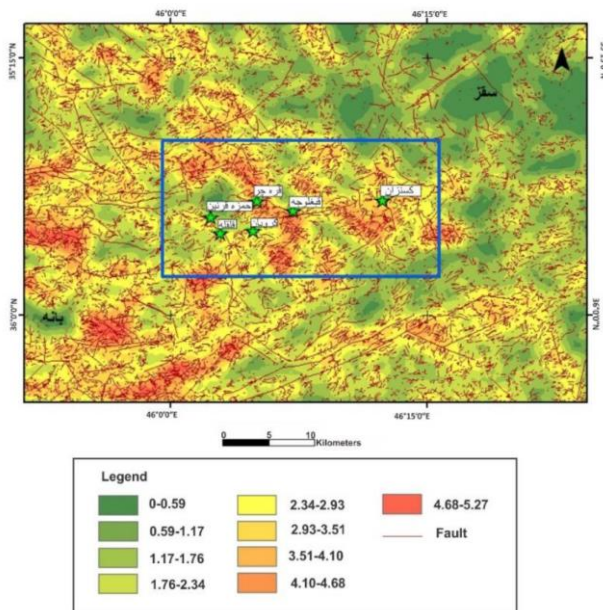
شکل ۱۲: مشاهدات صحرایی گسل‌های منطقه مورد مطالعه. (الف) قفله، (ب) کرویان، (ج) شرق بانه، (د) قبل‌غوجه و (ه) حمزه قرنین، لایه‌های قدیمی بر روی لایه‌های جوانتر تراست شده است.



شکل ۱۳: نقشه استخراج خطواره‌های منطقه مورد مطالعه به وسیله روش نیمه اتوماتیک.



نقشه ۱۴: پلات نقشه استخراج گسل‌ها بر روی نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه.



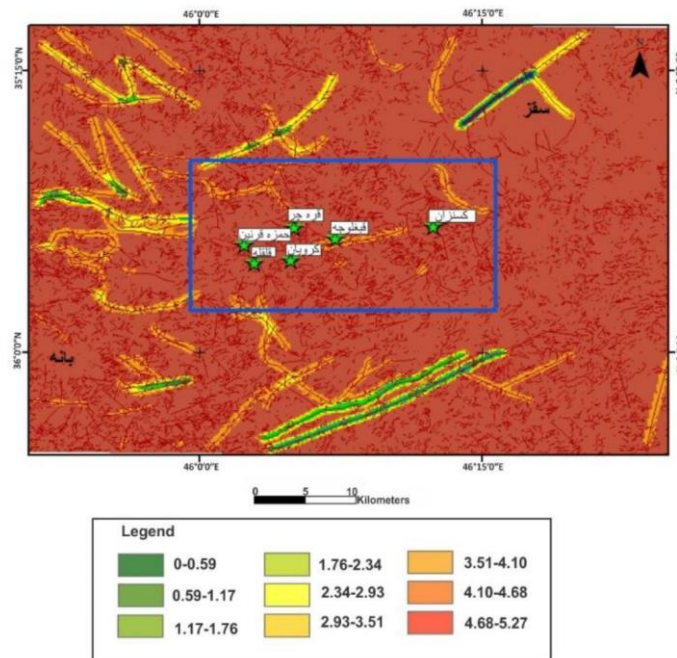
شکل ۱۵: نقشه چگالی خطواره‌ها منطقه مورد مطالعه.

خطواره‌ها در قسمت جنوب، غرب و شمال‌غرب منطقه منطبق بوده (شکل ۱۶) که شامل گسل‌های راندگی با مؤلفه چپ‌بر است که با توجه

ارزیابی طول خطواره‌ها تحلیل طول خطواره‌ها برای تفسیر نقشه خطواره‌ها به‌کار می‌رود. بیشترین تراکم طول

و باعث جابجایی برخی لایه‌های زمین‌شناسی در راستای برش شده است.

به برخی مطالعات صحرایی باعث روراندگی نهشته‌های قدیمی‌تر بر روی جوانتر شده و اکثراً مرز بین واحدهای زمین‌شناختی را در بر می‌گیرد



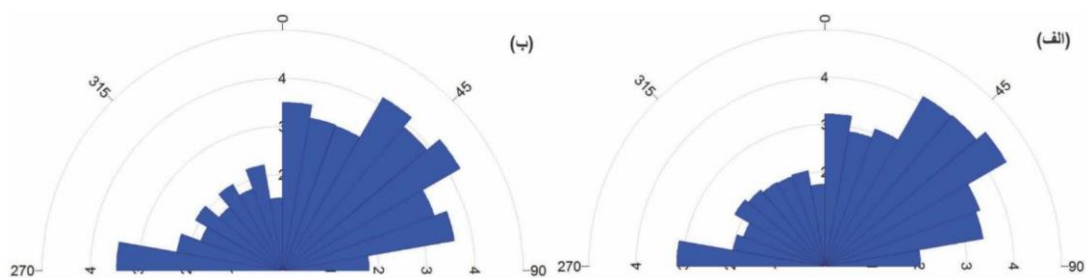
شکل ۱۶: نقشه تراکم طول خطواره‌ها منطقه مورد مطالعه.

را به خود اختصاص داده‌اند. این گسل‌ها معمولاً باعث جابه‌جایی پالئوزوئیک و واحدهای پرکامبرین در جنوب‌غرب سقز می‌شود، و یک راهنما برای اکتشافات بعدی در مقیاس محلی به خصوص در تقاطع با سیستم‌های گسلی با راستاهای EW و NW-SE است. بیشتر کانه‌زایی‌های طلا در جنوب غرب سقز (برای مثال قلقله، کریوان، قیبلوجه و کسنزان) در ارتباط با این سیستم گسلی هستند. دومین راستا، راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق است که به موازات راستای غالب زاگرس است و شامل گسل‌های راندگی اصلی در منطقه است که باعث راندگی طبقات قدیمی‌تر بر روی سازندهای جوانتر می‌شود. سومین راستا شرقی-غربی است که بخشی از کانی‌زایی طلا و رخداد دگرشکلی شکنا تا شکل‌پذیر را شامل می‌شود (شکل ۱۷).

#### ارزیابی جهت خطواره‌ها

نقشه جهت خطواره‌ها معمولاً توسط نمودارهای گل‌سرخ کشیده می‌شود. این نمودارها برای بیان فراوانی خطواره‌ها به کار می‌رود. دو نمودارهای گل‌سرخ برای این پژوهش ترسیم گردید. اولین نمودار توسط محاسبه فراوانی هرگسل بدون توجه به طول گسل تهیه شده و دیگری در ارتباط با طول خطواره تهیه شده است (شکل ۱۷ الف و ب). نمودارهای گل‌سرخ نشان می‌دهد که سه راستا در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. زون غالب گسل‌ها شمال‌شرق-جنوب‌غرب است که بخشی از سنگ‌های میزبان کانی‌زایی طلا را در بر می‌گیرد. این پهنه‌های برشی شامل طیفی از ساختارهای شکل‌پذیر تا شکنا است که عموماً معکوس هستند و همچنین طولانی‌ترین خطواره‌ها





شکل ۱۷: رزدياگرام گسل‌های منطقه مورد مطالعه. الف) با احتساب روند گسل‌ها، ب) با احتساب طول گسل‌ها.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، گسل‌های موجود در منطقه به روش دستی، اتوماتیک و نیمه‌اتوماتیک استخراج و نتایج حاصل از این روش‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که با استفاده از روش نیمه اتوماتیک می‌توان گسل‌های موجود در این منطقه را با دقتی مناسب استخراج نمود. تراکم گسل‌ها در مرکز محدوده مورد مطالعه و در شمال، غرب و جنوب غرب شهر بانه بیشتر است و از آنجایی که گسلش باعث ایجاد معبری برای عبور سیالات هیدروترمال می‌گردد بنابراین یکی از عوامل مؤثر در کانی‌زایی محسوب می‌شود. بیشترین تراکم طول خطواره‌ها در قسمت جنوب، غرب و شمال غرب منطقه منطبق بوده که شامل

گسل‌های راندگی با مؤلفه چپ‌بر است که باعث روراندگی نهشته‌های قدیمی‌تر بر روی جوانتر شده است. سه راستای غالب گسلش در منطقه شناسایی گردید. راستای گسل و ارتباط آن با کانی‌زایی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان می‌دهد که غالب‌ترین راستای گسل‌ها، راستای شمال‌شرق-جنوب‌غرب است که بخشی از سنگ‌های میزبان کانی‌زایی طلا را در بر می‌گیرد. دومین راستا، راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق شامل گسل‌های راندگی و معکوس است که به موازات راستای غالب زاگرس است و سومین راستا شرقی-غربی است که بخشی از کانی‌زایی طلا را در بر می‌گیرد.

### منابع

- دانشور، ن.، ۱۳۹۷. ژئوشیمی و ژئودینامیک کانی‌زایی طلا در جنوب غرب سقز، رساله دکتری، دانشگاه بوعلی سینا، ۲۵۰ ص.  
- علی‌پور، ر.، صدر، ا.ح. و ایزدی، م.، ۱۳۹۸. تحلیل خطواره‌ها و شکستگی‌های مرتبط با پهنه گسلش صحنه با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و فرکتال (باختر ایران)، پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۳۷، ص ۱۸۶-۲۰۵.

- باباخانی، ع.، حریری، ع. و فرجندی، ف.، ۱۳۸۲. نقشه زمین‌شناسی ورقه سقز با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
- تاج‌الدین، ح.، ۱۳۹۰. عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی طلا در سنگ‌های دگرگونه منطقه سقز-سردشت شمال باختر پهنه دگرگونه سنندج-سیرجان، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۹۲ ص.

- به توزیع کانسارها و نشانه‌های معدنی مس با کاربرد فاکتور خطوارگی در نیمه جنوبی کمربند مس کرمان، پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۳۰، صفحه ۳۵-۴۸.
- نوگل سادات، م.ع. و هوشمندزاده، ع.، ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بانه- مریوان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Aliyari, F., Rastad, E. and Mohajjel, M., 2012. Gold Deposits in the Sanandaj-Sirjan Zone: Orogenic Gold Deposits or Intrusion- Related Gold Systems?: Resource Geology, v. 62, p. 296-315.
- Aliyari, F., Rastad, E. and Zengqian, H., 2007. Orogenic gold mineralization in the Qolqoleh deposit, northwestern Iran: Resource Geology, v. 57, p. 269-282.
- Aliyari, F., Rastad, E., Goldfarb, R.J. and Sharif, J.A., 2014. Geochemistry of hydrothermal alteration at the Qolqoleh gold deposit, northern Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, northwestern Iran: Vectors to high-grade ore bodies: Journal of geochemical exploration, v. 140, p. 111-125.
- Aliyari, F., Rastad, E., Mohajjel, M. and Arehart, G.B., 2009. Geology and geochemistry of D-O-C isotope systematics of the Qolqoleh gold deposit, Northwestern Iran: Implications for ore genesis: Ore Geology Reviews, v. 36(4), p. 306-314.
- Alonso-Cortes, C.A., 2011. Lineament mapping for groundwater exploration using remotely sensed imagery in a karst terrain: Rio Tanama and Rio de Arecibo basins in the northern karst of Puerto Rico, Michigan Technological University.
- عمرانی، ج. و خبازنیا، ع.، ۱۳۸۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ ورقه آوت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- معانی جو، م. و دانشور، ن.، ۱۳۹۸. ژئوشیمی پیریت و ژنز کانی‌سازی طلا در سقز، یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، صفحات ۱-۸.
- میرابابایی، غ.، شهاب‌پور، ج. و حیات‌الغیب، س.م.، ۱۳۹۶. بررسی کنترل ساختاری خطواره‌ها
- Amer, R., Kusky, T. and El Mezayen, A., 2012. Remote sensing detection of gold related alteration zones in Um Rus area, Central Eastern Desert of Egypt: Advances in Space Research, v. 49, p. 121-134.
- Casas, A.M., Cortes, A.L., Maestro, A., Soriano, M.A., Riaguas, A. and Bernal, J., 2000. LINDENS: a program for lineament length and density analysis: Computers & Geosciences, v. 26, p. 1011-1022.
- Corgne, S., Magagi, R., Yergeau, M. and Sylla, D., 2010. An integrated approach to hydro-geological lineament mapping of a semi-arid region of West Africa using Radarsat-1 and GIS: Remote Sensing of Environment, v. 114, p. 1863-1875.
- Crippen, R.E., 1988. The dangers of underestimating the importance of data adjustments in band ratioing: Remote Sensing, v. 9, p. 767-776.
- Daneshvar, N., Maanijou, M., Azizi, H. and Asahara, Y., 2018. Study of the zircon morphology and internal structures as a tool for constraining magma source: example from granitoid bodies in the northern Sanandaj Sirjan zone (SW Saqqez): Geopersia, v. 8, p. 245-259.
- Faure, S., 2001. Analyse des linéaments géophysiques en relation

- avec les minéralisations en or et métaux de base de l'Abitibi: Projet, 03A
- Geomatics, P.C.I. and Version, O.O.S.E., 2001. 8.2 The User's Manual, Richmond Hill.
- Ghasemi, A. and Talbot, C.J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran): *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 26, p. 683-693.
- Greenbaum, D., 1985. Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith.
- Hashim, M., Ahmad, S., Johari, M.A.M. and Pour, A.B., 2013. Automatic lineament extraction in a heavily vegetated region using Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) imagery: *Advances in Space Research*, v. 51, p. 874-890.
- Hobbs, W.H., 1912. Earth features and their meaning: an introduction to geology for the student and the general reader: The Macmillan Company, New York, 347 p.
- 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, In *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V* (Vol. 5983, p. 59830T): International Society for Optics and Photonics.
- Jensen, J.R., 1996. *Introductory Digital Image Processing*, Prentice Hall Series in Geographic Information Science: New Jersey, 316 p.
- Kocal, A., 2004. A methodology for detection and evaluation of lineaments from satellite imagery: The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 122 p.
- Koçal, A., 2004. A methodology for detection and evaluation of lineaments from satellite imagery: The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University.
- Laben, C.A. and Brower, B.V., 2000. U.S. Patent No. 6,011,875. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Lacina, C., 1996. Interprétation structural des linéament par traitement d'image satellitaire; Cas des sous-provinces d'abitibi et dopatica (Québec).
- Lillesand, T.M. and Keifer, R.W., 1999. *Remote Sensing and Image Interpretation: 4th Edition*, 387 p.
- Maanijou, M., Puyandeh, N., Sepahi, A. and Dadfar, S., 2015. Mapping of Hydrothermal Alteration of Dashkasan (Sari Gunay) Epithermal Gold Mine Using Aster Sensor Images and XRD Analysis: *Geosciences*, v. 24, p. 95-104.
- Marghany, M. and Hashim, M., 2010. Lineament mapping using multispectral remote sensing satellite data: *International Journal of Physical Sciences*, v. 5, p. 1501-1507.
- Masoud, A. and Koike, K., 2006. Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt: *Journal of African Earth Sciences*, v. 45, p. 467-477.
- Meshkani, S.A., Mehrabi, B., Yaghubpur, A. and Sadeghi, M., 2013. Recognition of the regional lineaments of Iran: Using geospatial data and their implications for exploration of metallic ore deposits: *Ore Geology Reviews*, v. 55, p. 48-63.
- Nama, E.E., 2004. Lineament detection on Mount Cameroon during the 1999 volcanic eruptions using Landsat ETM: *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, p. 501-510.
- O'leary, D.W., Friedman, J.D. and Pohn, H.A., 1976. Lineament, linear,

- lineation: some proposed new standards for old terms: Geological Society of America Bulletin, v. 87, p. 1463-1469.
- Pour, A.B. and Hashim, M., 2014a. ASTER, ALI and Hyperion sensors data for lithological mapping and ore minerals exploration: Springerplus, v. 3, p. 130.
- Pour, A.B. and Hashim, M., 2014b. Structural geology mapping using PALSAR data in the Bau gold mining district, Sarawak, Malaysia: Advances in Space Research, v. 54, p. 644-654.
- Pour, A.B. and Hashim, M., 2015. Geological structure mapping of the bentong-raub suture zone, peninsular Malaysia using palsar remote sensing data, ISPRS Annals of the Photogrammetry: Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 2, p. 89-108.
- Pour, A.B., Hashim, M., Makoundi, C. and Zaw, K., 2016. Structural Mapping of the Bentong-Raub Suture Zone Using PALSAR Remote Sensing Data, Peninsular Malaysia: Implications for Sediment-hosted/Orogenic Gold Mineral Systems Exploration: Resource Geology, v. 66, p. 368-385.
- Rowan, L.C. and Lathram, E.H., 1980. Mineral exploration: Chapter, v. 17, p. 553-605.
- Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R. and Scambos, T.A., 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research: Remote Sensing of Environment, v. 145, p. 154-172.
- Saadi, N.M., Zaher, M.A., El-Baz, F. and Watanabe, K., 2011. Integrated remote sensing data utilization for investigating structural and tectonic history of the Ghadames Basin, Libya: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 13, p. 778-791.
- Sabins, F.F., 1996. Remote Sensing: Principles and Interpretation, 3rd Ed: W. H. Freeman and Company, New York, 494 p.
- Shrivakshan, G.T. and Chandrasekar, C., 2012. A comparison of various edge detection techniques used in image processing: International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), v. 9, p. 269-276.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review: AAPG Bulletin, v. 52, p. 1229-1258.
- Wang, J. and Howarth, P.J., 1990. Use of the hough transform in automated lineament. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, v. 28, p. 561-567.
- Taghavi, A., Maanijou, M., Lentz, D. and Sepahi, A.A., 2019. Partial sub-pixel and pixel-based alteration mapping of porphyry system using ASTER data: regional case study in western Yazd, Iran: International Journal of Image and Data Fusion, p. 1-27.
- Won-In, K. and Charusiri, P., 2003. Enhancement of thematic mapper satellite images for geological mapping of the Cho Dien area, Northern Vietnam: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 4, p. 183-193.