

## استخراج گسل‌های البرز مرکزی با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER به روش بصری و رقومی خودکار

مریم سادات میرعابدینی<sup>۱</sup> - کارشناس ارشد تکتونیک دانشگاه گلستان، گرگان، ایران  
شعبان شتایی - دانشیار جنگلداری (سنجش از دور و GIS) دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
مریم آق آتابای - استادیار تکتونیک دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۱۲ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۲/۱۳

### چکیده

یکی از کاربردهای دورسنجی در زمین‌شناسی تهیه نقشه خطواره‌هاست که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موضوعات در مطالعات زمین‌شناسی مناطق مختلف در نظر گرفته می‌شود. هدف از این تحقیق، استخراج خطواره‌های (گسل) البرز مرکزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER به روش بصری و رقومی خودکار است. بعد از انجام تصحیحات هندسی تصاویر تکنیک‌های بارزسازی مکانی شامل فیلترگذاری، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌گیری باندهای بر روی تصاویر سنجنده ASTER اعمال شد. استخراج خطواره‌ها بر روی این تصاویر پردازش شده به دو روش تفسیر بصری و رقومی خودکار انجام شد. سپس خطواره‌های استخراج شده به دو روش بصری و رقومی خودکار با یکدیگر و با خطواره‌های (گسل) استخراج شده از نقشه زمین‌شناسی منطقه مقایسه گردید. نتایج نشان داد که میزان گسل‌های استخراج شده با روش تفسیر رقومی خودکار با میزان گسل‌های نقشه زمین‌شناسی همخوانی ندارد و روش تفسیر رقومی خودکار نتوانسته سبب استخراج و شناسایی خطواره‌های گسلی منطقه (گسل خزر و شمال البرز) شود. ولی میزان خطواره‌های استخراج شده به روش بصری با میزان گسل‌ها در البرز همخوانی بیشتری نشان می‌دهد. بنابراین روش رقومی خودکار به علت دقت پایینی که دارد، برای مطالعات زمین‌شناسی که بر مبنای مطالعات صحرایی دقت بالایی دارد، پیشنهاد نمی‌شود. در نتیجه، بهترین روش برای انجام مطالعات زمین‌شناسی و بررسی‌های ساختاری در مناطق وسیع و یا مناطقی که دسترسی به آنها مشکل است، استفاده از روش تفسیر بصری و رقومی سازی دستی برای استخراج خطواره‌هاست.

**کلید واژه‌ها:** استخراج خطواره، ASTER، تفسیر رقومی خودکار، تفسیر بصری، البرز مرکزی.

## ۱. مقدمه

امروزه سنجش از دور به‌عنوان ابزاری مفید جهت مطالعه در زمینه‌های مختلف علمی از جمله شیلات، محیط‌زیست، جنگلداری و کشاورزی، هیدرولوژی، خاک‌شناسی، هواشناسی، شهرسازی و معماری، کاربردهای نظامی، زمین‌شناسی و اکتشاف شناخته می‌شود. یکی از کاربردهای دورسنجی در زمین‌شناسی تهیه نقشه خطواره‌هاست که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موضوعات در مطالعات زمین‌شناسی مناطق مختلف در نظر گرفته می‌شود. برای مثال در انتخاب محل مناسب ساخت سد، پل، جاده و... برای تشخیص خطر زمین‌لغزه و لرزه‌خیزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی مهم در بسیاری از نقاط کشور، کشف چشمه آب‌گرم و بررسی‌های هیدروژئولوژی، ماهیت و الگوی خطواره‌ها باید شناخته شود. با شناخت الگوی خطواره‌ها و مقایسه آن با الگوی توزیع زمین‌لرزه‌ها می‌توان مناطق مستعد برای وقوع زمین‌لرزه را شناسایی کرد. در نتیجه می‌توان از خسارات احتمالی در زمینه‌های مختلف مثل سدسازی، ساختمان‌سازی، استخراج معادن و... جلوگیری کرد. همچنین با توجه به این‌که گسل‌ها یکی از مهم‌ترین پارامترهای مدلسازی احتمال خطر زمین‌لغزش و پهنه بندی اراضی مختلف می‌باشد و از سویی دیگر استفاده از نقشه‌های موجود زمین‌شناسی به‌عنوان منبع شناسایی و استخراج گسل‌ها به‌دلیل قدیمی بودن این نقشه‌ها و ایجاد گسل‌های جدید در اثر زمین‌لرزه‌های جدید نمی‌تواند جوابگوی استخراج هرچه بیشتر این خطواره برای مدلسازی احتمال خطر زمین‌لغزش باشد، لذا استفاده از منابعی نظیر تصاویر ماهواره‌ای به‌دلیل قابلیت‌های در دسترس بودن در زمان‌های مورد دلخواه و دید وسیع و یکپارچه می‌تواند یک راهکار مناسب جهت جایگزینی با نقشه‌های موجود زمین‌شناسی در زمینه استخراج گسل‌ها مطرح گردد. ساختارهای زمین‌شناسی (درزه‌ها، شکستگی‌ها، گسل‌ها، زون‌های برشی و فولیاسیون‌ها) در مطالعات سنجش از دور خود را به‌صورت خطواره نشان می‌دهند (کمالی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲). بنابراین با تهیه این نقشه‌ها به کمک تکنیک‌های سنجش از دور می‌توان تکنیک و ساختار مناطق را مورد بررسی قرار داد.

عدم دسترسی به بعضی مناطق و همچنین نیاز به صرف هزینه و زمان بسیار برای مطالعه مناطق وسیع، محققان را به سمت یافتن راه‌حلی برای این مشکل کشاند. اولین تحقیقات در مورد کاربرد سنجش از دور در زمین‌شناسی به مطالعه عکس‌های هوایی در قرن ۲۰ برمی‌گردد (کوج، ۲۰۰۵: ۶). به کمک عکس‌های هوایی ساختارها، لیتولوژی‌ها و واحدهای زمین‌شناسی شناسایی و در نهایت نقشه‌های زمین‌شناسی ترسیم می‌گردید. با انتشار تصاویر ماهواره‌ای لندست در سال ۱۹۷۲ استفاده از علم دورسنجی در مطالعات زمین‌افزایش یافت، و امروزه این تصاویر به‌صورت گسترده جهت مطالعات زمین‌شناسی به کار می‌رود. تصاویر ماهواره‌ای از طول موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیس به دست می‌آیند، به همین دلیل به‌عنوان بهترین ابزار برای تشخیص و تفکیک خطواره‌ها در نظر گرفته می‌شوند، و نسبت به عکس‌های هوایی اطلاعات بیشتری را در اختیار ما قرار می‌دهند (کاساس و همکاران، ۲۰۰۰:

۱۰۱). تحقیقات متعددی در زمینه استخراج خطواره‌ها، بررسی ساختارها و تکتونیک مناطق مختلف توسط محققان صورت گرفته است:

- مه و همکاران (۱۹۹۵) برای استخراج خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM از تکنیک‌های سنجش از دور مانند ترکیب‌رنگی و فیلترگذاری استفاده کردند.

- نوک و سولیکلیس (۲۰۰۰) برای تهیه نقشه خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و تکنیک‌های سنجش از دور (ترکیب‌رنگی و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی) استفاده کردند.

- کوجال (۲۰۰۴) خطواره‌های (خطواره‌های گسلی) منطقه گولبسی<sup>۱</sup> در آنکارا را با استفاده از روش‌های رقومی - خودکار و تفسیر بصری استخراج و روش تفسیر بصری را به‌عنوان مناسب‌ترین روش در تفسیر و استخراج خطواره‌ها معرفی کرد.

- کوک (۲۰۰۵) هندسه و سازوکار دگرشکلی زون گسلی سورجو<sup>۲</sup> در ترکیه را با استفاده از روش‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای ASTER<sup>۳</sup>، لندست TM، عکس‌های هوایی و SRTM مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که این زون گسلی دارای حرکت امتداد لغز چپ‌بر است.

سارپ (۲۰۰۵) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور خطواره‌های پخش شمالی-جنوبی آنکارا را به‌منظور تهیه نقشه خطواره‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد که علاوه بر زون گسلی شمال آناتولی چند زون گسلی دیگر در منطقه وجود دارد.

هدف از این پژوهش کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و تصاویر سنجنده ASTER برای استخراج خطواره‌ها در البرز مرکزی به دو روش تفسیر بصری و رقومی خودکار، تهیه نقشه گسل‌های منطقه، و در نهایت مقایسه این نقشه‌ها با یکدیگر و با گسل‌های نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه است.

## ۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در زون البرز قرار دارد. این زون مجموعه کوه‌هایی را شامل می‌شود که در متهی‌الیه شمالی ایران با روند شرقی-غربی از آذربایجان تا خراسان ولی با پیچ‌وخم قابل توجه امتداد دارند (درویش‌زاده، ۱۳۸۳: ۱۳۶). این رشته کوه‌ها بخشی از سلسله جبال آلپ-همالیا در آسیای غربی است. دگرشکلی‌های کنونی البرز به‌وسیله گسل‌های راندگی و راستالغز چپ‌بر که به موازات این رشته‌کوه هستند، تعیین می‌شود (جمور و همکاران، ۲۰۱۰: ۱). گسل‌های فعال که به موازات این رشته کوه هستند در قسمت شرقی دارای روند شرق-شمال‌شرق و در قسمت غربی دارای روند غرب-شمال‌غرب می‌باشند، در البرز مرکزی به همدیگر می‌رسند (جکسون و همکاران، ۲۰۰۲: ۲۱۷).

1 Gölbaşı

2 Sürgü

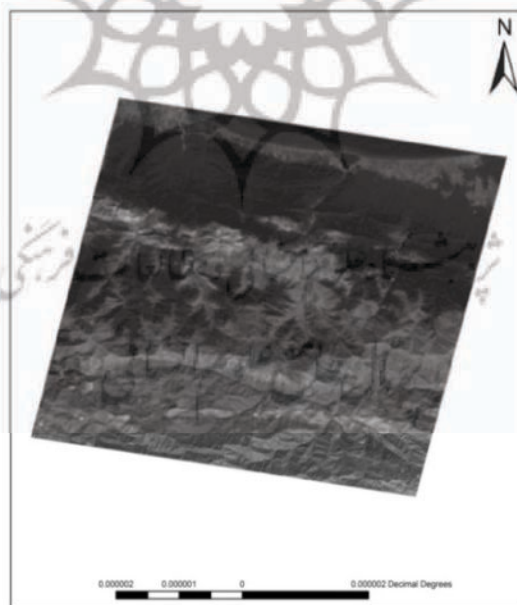
3 Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer

آلن و همکاران، ۲۰۰۳: ۶۶۲). این بخش، تحذب جنوبی دریای خزر را شامل می‌شود که از سمنان تا قزوین ادامه دارد. چارچوب تکتونیکی امروزه البرز مرکزی به وسیله گسل‌های پرشیب با روند غرب-شمال غرب تا شرق-جنوب شرق و شرق-غرب که به موازات این کمربند هستند، مشخص می‌شود. ساختارهای اصلی محدوده مورد مطالعه شامل گسل‌های شمال البرز و خزر است. روند ساختاری گسل شمال البرز، شمال شرق-جنوب غرب و شمال غرب-جنوب شرق است. گسل خزر که طولانی‌ترین ساختار لبه شمالی البرز به شمار می‌رود با راستای خم‌دار شرقی-غربی در دامنه شمالی البرز و جنوب دشت کرانه‌ای مازندران قرار دارد.

### ۳. مواد و روش‌ها

#### ۳.۱. داده‌های مورد استفاده

۱. تصویر ماهواره‌ای: در این تحقیق تصاویر سنجنده ASTER ماهواره TERRA مربوط به اکتبر ۲۰۰۴ در محدوده ۵۱/۱۹-۵۲/۱۳ درجه طول شرقی و ۳۶/۰۱-۳۶/۳۸ درجه عرض شمالی استفاده شد (شکل ۱). سنجنده ASTER دارای سه زیر سیستم به نام‌های VNIR, SWIR و TIR می‌باشد. زیر سیستم VNIR<sup>۱</sup> دارای سه باند مرئی و مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر، زیر سیستم SWIR<sup>۲</sup> دارای شش باند مادون قرمز کوتاه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و زیر سیستم TIR<sup>۳</sup> دارای پنج باند مادون قرمز حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر است.



شکل ۱ یک فریم از باند قرمز تصویر ASTER (داده خام)

- 1 visible and near-infrared
- 2 short wave infrared
- 3 thermal infrared

مهم‌ترین ویژگی تصاویر ASTER در مقایسه با دیگر سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی متوسط نظیر تصاویر سنجنده  $ETM^+$  در قدرت تفکیک مکانی و طیفی نسبتاً بالایی آن‌ها می‌باشد؛ به طوری که تصاویر زیرسیستم VNIR دارای قدرت تفکیک ۱۵ متر است. به همین دلیل در این تحقیق فقط از تصاویر زیرسیستم VNIR به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالاتر و دارا بودن محدوده‌های طیفی مرئی و مادون‌قرمز نزدیک در استخراج خطوطاره‌ها استفاده گردید.

۲. نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با هدف زمین‌مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای تهیه گردید.

۳. نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۱۳۸۱ و ۱۳۷۹) مربوط به محدوده مورد مطالعه برای انطباق و تأیید نقشه خطوطاره‌های استخراج شده، تهیه گردید.

### ۳.۲. روش‌های مورد استفاده

پیش از استخراج خطوطاره‌ها باید یکسری پردازش‌ها به منظور آماده‌سازی تصویر ماهواره‌ای صورت گیرد که شامل مراحل زیر است:

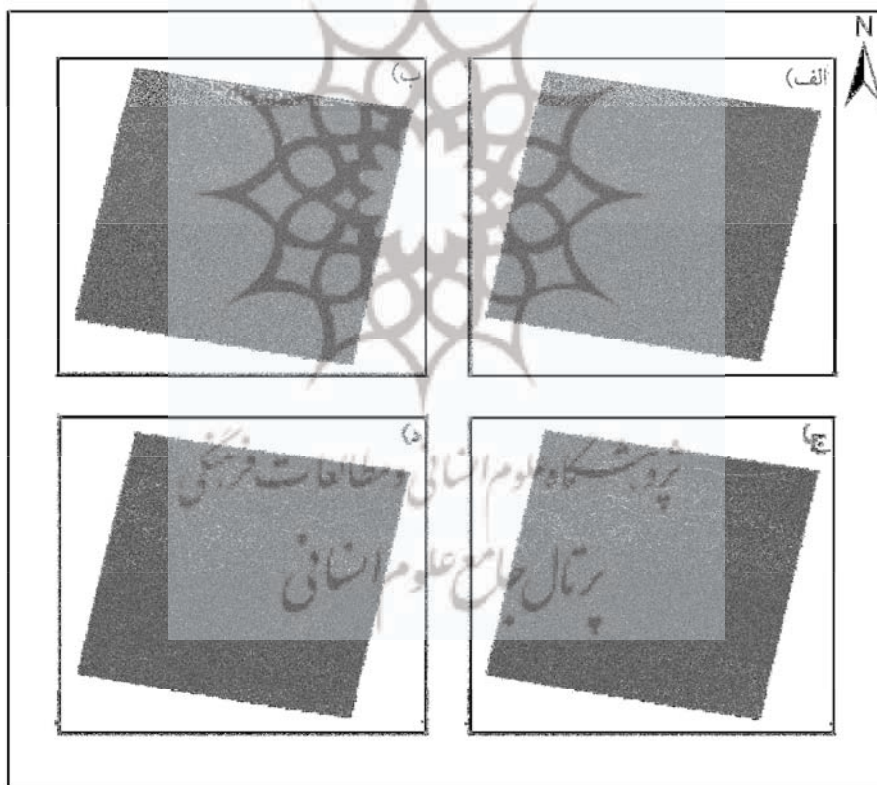
**تصحیح و آماده‌سازی تصاویر:** پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای تصحیحات رادیومتری و هندسی قبل از بکارگیری آنها در استخراج داده‌ها از تصاویر امری ضروری است. در این پژوهش به دلیل نوع و هدف تحقیق و با توجه به این‌که تصحیحات رادیومتری تا حدی بر روی تصویر مورد مطالعه در ایستگاه زمینی به درستی صورت گرفته است، نیاز به تصحیح بیشتر خطای رادیومتری نبوده است. ولی به دلیل عدم تطابق هندسی تصاویر با زمین، تصحیح هندسی و زمین‌مرجع کردن تصاویر VNIR صورت گرفت به همین منظور به کمک روش چندجمله‌ای و با استفاده از نقاط کنترلی استخراج شده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تصحیح هندسی انجام شد (شکل ۲).



شکل ۲ تصویر رنگی کاذب از باندهای VNIR از تصویر ASTER بعد از اعمال تصحیح هندسی

پردازش و بارزسازی تصویر: مجموعه عملیات و پردازش‌هایی را که سبب بارزسازی پدیده‌ها و عوارض مورد مطالعه از سایر پدیده‌های درون تصویر می‌شود، بارزسازی می‌گویند. در این مطالعه پس از تصحیح هندسی تصویر، تکنیک‌های بارزسازی مکانی بر روی تصاویر VNIR صورت گرفت. با توجه به نوع هدف تحقیق (استخراج خطواره‌ها) و براساس تحقیقات مشابه و نتایج تحقیقات انجام شده، تکنیک‌های بارزسازی خطواره‌ها مورد استفاده شامل اعمال فیلتر، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌گیری باندها بوده است.

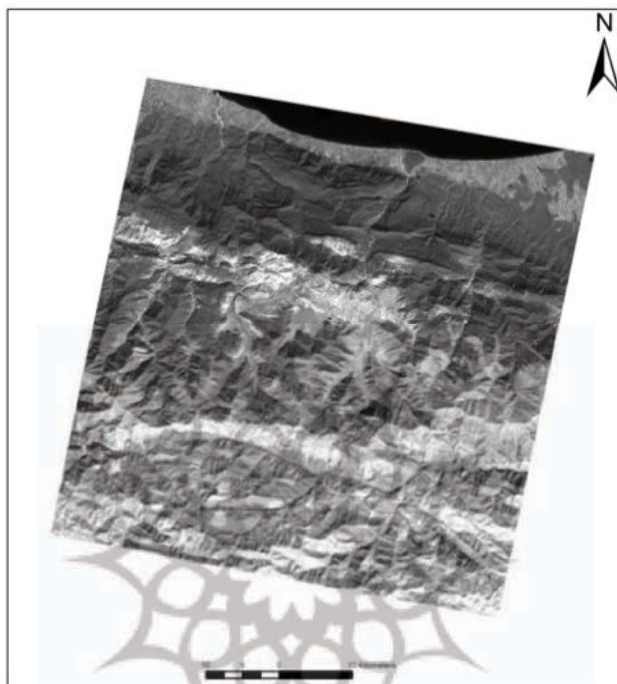
فیلترگذاری: فیلتر کردن نوعی تغییر ارزش‌های طیفی<sup>۱</sup> است که در آن ارزش هر پیکسل نسبت به پیکسل همسایه‌اش تغییر می‌کند (علوی‌پناه، ۱۳۸۵: ۲۴۷). در این تحقیق از فیلتر جهت‌دار به منظور بارزسازی خطواره‌ها که در جهات مختلف گسترش دارند، استفاده گردید. این فیلترها در جهات NS، EW، NE-SW و NW-SE بر روی باند مادون قرمز نزدیک تصویر VNIR اعمال شدند (شکل ۳). تحقیقات قبلی نشان داده است که اعمال فیلتر بر روی این باند در تشخیص بهتر خطواره‌ها از دیگر پدیده‌های مجاور مؤثر است (هانگ و همکاران، ۲۰۰۵: ۴).



شکل ۳ نمونه‌هایی از فیلترهای جهت‌دار اعمال شده بر روی تصویر مادون قرمز. الف) EW، ب) NE-SW، ج) NS و د) NW-SE



تجزیه مؤلفه‌های اصلی: این روش برای تبدیل مختصات و کاهش داده‌ها در سنجش از دور به کار می‌رود (کوجال، ۲۰۰۴: ۱۷؛ سارپ، ۲۰۰۵: ۳۱). با توجه به این که معمولاً سه مؤلفه اول دارای بیشترین واریانس اطلاعات هستند، تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی ۳ بانده اول صورت گرفت، و مؤلفه اول به دلیل دارا بودن ۸۰ درصد از اطلاعات برای شناسایی خطواره‌ها به کار گرفته شد (شکل ۴).

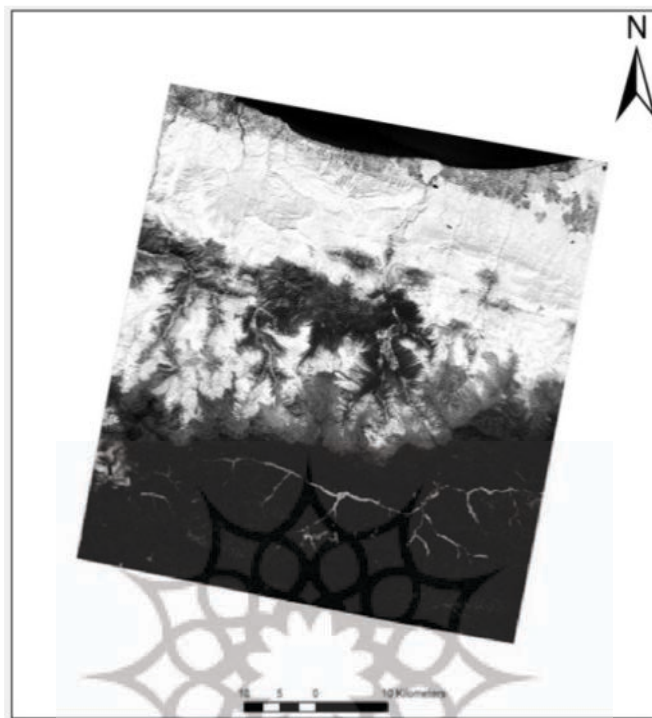


شکل ۴ تصویر مؤلفه اول حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای VNI.

**نسبت‌گیری باندها:** فرآیند اعمال محاسبات حسابی بر روی پیکسل‌های دو یا چند تصویر و پیکسل‌های متناظر آن در تصویر دیگر را نسبت‌گیری می‌نامند. مفسران معمولاً از این تکنیک نیز در تشخیص تغییرات به کمک تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌کنند. در مطالعات مختلف از نسبت‌گیری‌های متفاوتی استفاده شده است. انتخاب بهترین و مناسب‌ترین نسبت‌گیری باندها یکی از قسمت‌های مهم در هر تحقیق می‌باشد. در این تحقیق برای انتخاب نسبت-گیری باندهای مناسب به دلیل عدم گزارشات مناسب از معرفی بهترین نسبت‌گیری در زمینه استخراج گسل، از روش آزمون و خطا استفاده گردید. یکی از نسبت‌گیری‌های مناسب نسبت باندهای OS<sub>AVI</sub><sup>1</sup> (رونلدائوگس و همکاران، ۱۹۹۶: ۱۰۲) می‌باشد (شکل ۵). این نسبت که شاخص بین پوشش گیاهی و خاک است از نسبت بین باندهای مادون قرمز نزدیک به قرمز به دست می‌آید.

<sup>1</sup>Optimized Soil Adjusted Vegetation Index

$$OSAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + 0.16)}$$



شکل ۵ تصویر شاخص OSAVI حاصل از نسبت‌گیری باندها در مادون قرمز نزدیک به قرمز

استخراج خطوطها عموماً از طریق روش‌های مختلفی نظیر روش بصری، رقومی خودکار و رقومی-بصری صورت می‌گیرد (کوجال، ۲۰۰۴؛ ۱۷؛ کوچ، ۲۰۰۵؛ ۶؛ سارپ، ۲۰۰۵؛ ۳۱؛ کوجال و همکاران، ۲۰۰۷؛ ۳۹۱۷؛ قاری و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۱۰۱). این روش‌ها می‌تواند بر روی باندهای اصلی و یا باندهای حاصل از پردازش‌های مختلف و با اعمال تکنیک‌های مختلف انجام گیرد. در این تحقیق پس از اتمام عملیات آماده‌سازی تصویر استخراج خطوطها به دو روش بصری و رقومی خودکار انجام شد.

۱. روش بصری: با استفاده از تفسیر بصری در محیط نرم افزار ArcGIS تمام خطوطهای گسلی موجود در منطقه بر روی تصاویر حاصل از اعمال فیلترهای جهت‌دار، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، نسبت‌گیری باندها و ترکیب‌رنگی استخراج گردید. در استخراج خطوطهای گسلی، نشانه‌هایی برای شناسایی این خطوطها استفاده گردید. این نشانه‌ها شامل جابه‌جایی لایه‌ها، رودخانه‌ها و مخروط افکنه‌ها، خطی شدن پوشش گیاهی، دره‌های خطی، پرتگاه‌های گسلی، تغییرات مربوط به لیتولوژی (رنگ و جنس)، تغییرناگهانی شیب و سن لایه‌ها، قطع شدگی امتداد بیرون‌زدگی‌ها؛ درزه‌ها و شکستگی‌ها بوده است. در نهایت خطوطهای استخراج شده از این



تصاویر به صورت نقشه خطواره‌ها تهیه (شکل ۶)، و رزدیگرام آنها برای تعیین جهت‌یابی در منطقه ترسیم گردید (شکل ۷).

۲. روش تفسیر و استخراج رقومی خودکار: با استفاده از قابلیت‌های برخی ماژول‌های تعبیه شده در نرم افزار PCI Geomatica استخراج خودکار خطواره‌ها (در این تحقیق گسل‌ها) صورت گرفت و نتایج با خطواره‌های حاصل از روش بصری مورد مقایسه قرار گرفت. استخراج خطواره‌ها به روش خودکار دو مزیت اصلی دارد: ۱- در مدت زمان کوتاهی تمام خطواره‌ها را شناسایی و استخراج می‌کند؛ ۲- خطواره‌هایی را که با چشم قابل رویت نیستند، ترسیم می‌کند (سارپ، ۲۰۰۵: ۴۴). روش‌های زیادی برای استخراج خودکار وجود دارد. یکی از معروف‌ترین روش‌ها انجام فیلترهای خاص بر روی تصاویر پردازش شده می‌باشد. به علت بیشتر بودن تعداد خطواره‌های استخراج شده با فیلترهای جهت‌دار در روش بصری، در این روش نیز از فیلترهای جهت‌دار استفاده شد. به همین منظور تصاویر حاصل از اعمال فیلترها (در جهات NE-SW، NS، EW و NW-SE) برای استخراج خطواره‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای استخراج رقومی خودکار خطواره‌ها، چند پارامتر را باید در نظر گرفت (جدول ۱).

جدول ۱ پارامترهای مورد نیاز برای استخراج رقومی خودکار خطواره‌ها

Parameters of Line Module	Parameters values
<sup>1</sup> RADI	15
GTHR <sup>2</sup>	140
<sup>3</sup> LTHR	30
FTHR <sup>4</sup>	3
ATHR <sup>5</sup>	15
DTHR <sup>6</sup>	20

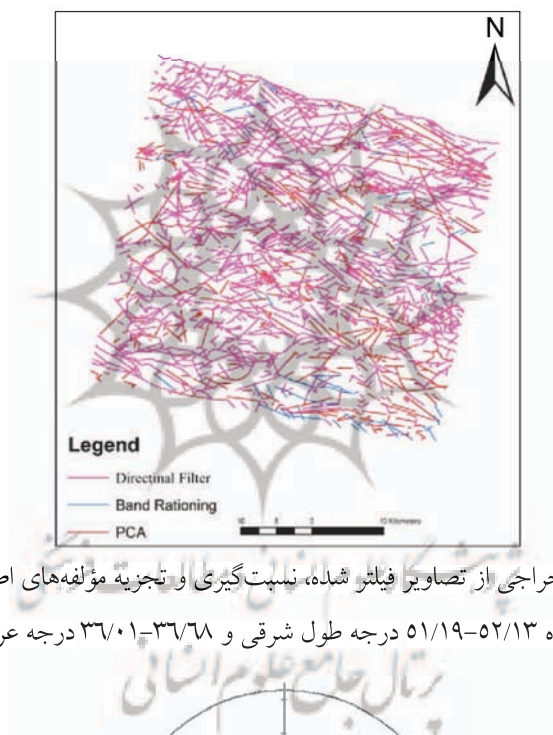
در این پژوهش، پارامترها به روش آزمون و خطا تغییر داده شد، و در نهایت اعدادی که نشان دهنده درست‌ترین نقشه خطواره بود، انتخاب شدند. به دلیل اینکه برنامه توانایی تشخیص خطواره‌های گسلی از بقیه خطواره‌ها (جاده، لبه ساختمان‌ها، شبکه زهکشی و...) را ندارد، تصحیحاتی در این مورد صورت گرفت. این خطواره‌ها با خطواره‌های استخراج شده به روش بصری (که با نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه تطبیق داده شده بود)

- 
- 1 Radius of filter in pixels
  - 2 Threshold for edge gradient
  - 3 Threshold for curve length
  - 4 Threshold for line fitting error
  - 5 Threshold for angular difference
  - 6 Threshold for linking distance

مقایسه، خطواره‌های اضافی حذف و نقشه نهایی تهیه گردید (شکل ۸). سپس رزדיاگرام این خطواره‌ها برای تعیین جهت‌یابی آنها در منطقه ترسیم شد (شکل ۹).

#### ۴. بحث و نتایج

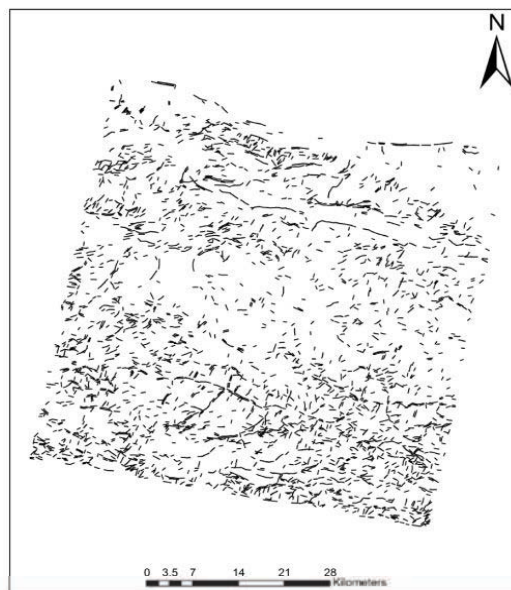
پس از استخراج خطواره‌ها به روش بصری نقشه خطواره‌ها تهیه، و رزדיاگرام آنها ترسیم شد (شکل ۶ و ۷). در شکل ۶ خطواره‌های استخراج شده از اعمال فیلتر، نسبت‌گیری و تجزیه مؤلفه‌های اصلی با رنگ‌های متفاوت نشان داده شده است. رزדיاگرام این خطواره‌ها روندهای غالب شرقی-غربی و شمال‌غرب-جنوب‌شرق را نشان می‌دهند (شکل ۷). نقشه خطواره‌های استخراج شده به روش رقومی خودکار و رزדיاگرام آنها نیز در شکل‌های ۸ و ۹ به نمایش درآمده است. این رزדיاگرام روند کلی شرقی-غربی را نشان می‌دهد.



شکل ۶ نقشه خطواره‌های استخراجی از تصاویر فیلتر شده، نسبت‌گیری و تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهای VNIR به روش بصری (محدوده ۵۲/۱۳-۵۱/۱۹ درجه طول شرقی و ۳۶/۶۸-۳۶/۰۱ درجه عرض شمالی)



شکل ۷ رزدياگرام خطواره‌های استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای به روش بصری



شکل ۸ نقشه خطواره‌های استخراج شده به روش رقومی خودکار



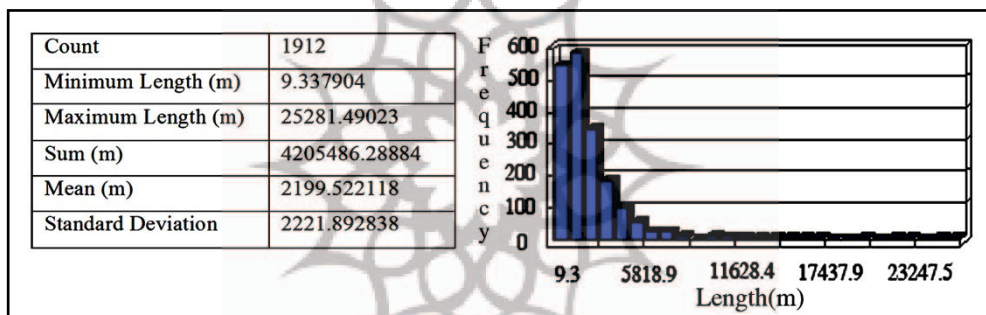
شکل ۹ رزدياگرام خطواره‌های استخراج شده به روش رقومی خودکار

در این پژوهش از دو روش بصری و رقومی خودکار برای استخراج خطواره‌های البرز مرکزی استفاده گردید. سپس به کمک روش‌های مختلف بارزسازی تصویر و با در نظر گرفتن پارامترهای مذکور در بخش استخراج خطواره‌ها تعداد ۱۹۱۲ خطواره به روش بصری و ۳۸۸۶ خطواره به روش رقومی خودکار استخراج شد. تعداد خطواره‌های گسلی استخراج شده از تصاویر فیلتر شده جهت‌دار ۱۴۴۰، تجزیه مؤلفه‌های اصلی ۴۱۱ و نسبت‌گیری باندها ۵۷ است. از میان روش‌های استفاده شده در بارزسازی، تصویر فیلترهای جهت‌دار و تجزیه مؤلفه‌های اصلی در شناسایی و تشخیص خطواره‌ها بیشترین نقش را داشتند. دلیل این امر بارزسازی بیشتر خطواره‌ها با استفاده از اعمال فیلترهای جهت‌دار و همچنین وجود ۸۰ درصد از اطلاعات در مؤلفه اول تجزیه مؤلفه‌های اصلی است. به کمک نسبت‌گیری باندها نیز خطواره‌هایی که با دو روش قبل قابل تشخیص نبودند و اکثر آن‌ها در بخش جنوبی تصویر قرار

داشتند، ترسیم گردید (خطواره‌های آبی رنگ در شکل ۶). استفاده از این روش‌ها در پردازش تصویر و شناسایی خطواره‌ها نشان داد که اعمال فیلترهای جهت‌دار بهترین گزینه برای شناسایی خطواره‌ها در مناطق دارای پوشش گیاهی هستند.

#### ۴.۱. خطواره‌های استخراج شده به روش بصری

به منظور مقایسه این روش با روش رقومی خودکار ابتدا باید خصوصیات خطواره‌ها را مورد بررسی قرار داد. این خصوصیات شامل: تعداد، طول، تراکم، تراکم طولی، الگوی توزیع مکانی و جهت‌یابی آنها در منطقه است. نتایج نشان داد که تعداد خطواره‌ها ۱۹۱۲ است (شکل ۱۰). میانگین طول خطواره‌ها ۲/۱۹ کیلومتر است که با میانگین طول گسل‌ها در نقشه زمین‌شناسی (۱/۹۳ کیلومتر) تفاوت قابل توجهی ندارد. حداکثر طول خطواره‌ها حدود ۲۵ کیلومتر است (شکل ۱۰). این مقدار با توجه به طول گسل‌ها در البرز مرکزی (مانند گسل‌های خزر، شمال البرز و مشا حدود ۱۵۰ کیلومتر) که دارای قطعاتی با طول زیاد هستند می‌تواند صحیح باشد.

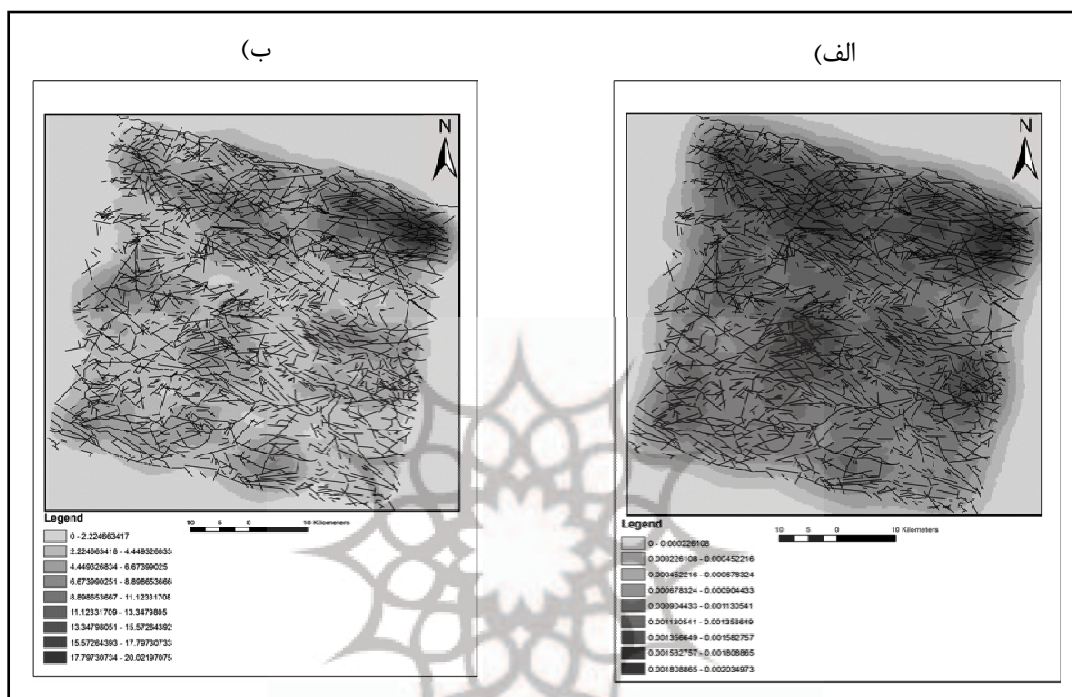


شکل ۱۰ توزیع فراوانی خطواره‌های استخراج شده به روش بصری

۱. رزدیگرام خطواره‌ها نشان دهنده دو روند غالب شرقی-غربی و شمال‌غرب-جنوب‌شرق و یک روند فرعی شمال‌شرق-جنوب‌غرب در منطقه است. غالب دگرشکلی‌های البرز گسل‌های تراستی و امتداد لغز چپ‌بر موازی با این رشته کوه‌ها هستند که به دلیل همگرایی شمالی-جنوبی بین ورق‌های عربی و اوراسیا و حرکت به سمت غرب حوضه خزر جنوبی نسبت به ایران به وجود آمده‌اند. این کوتاه‌شدگی شمالی-جنوبی بر روی گسل‌هایی که به سمت داخل رشته کوه شیب دارند، رخ می‌دهد (آلن و همکاران، ۲۰۰۳: ۶۵۹). روندهای غالب مشخص شده در این رزدیگرام که در جهات شرقی-غربی و شمال‌غرب-جنوب‌شرق قرار دارند نیز تأییدی بر این مدعاست.

۲. نقشه تراکم خطواره‌ها (زکیر و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۰۷۳)، (شکل ۱۱-الف) نشان دهنده: الف) افزایش تراکم به صورت شرقی-غربی در بخش‌های شمالی منطقه است. این افزایش بیان‌گر وجود زون شکستگی در این بخش است (سارپ، ۲۰۰۵: ۴۴). با مقایسه نقشه زمین‌شناسی بلده با نقشه تراکم خطواره‌ها مشاهده می‌شود که این روند افزایشی در امتداد گسل‌های خزر، شمال البرز و کجور است. ب) افزایش تراکم در بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه نشان

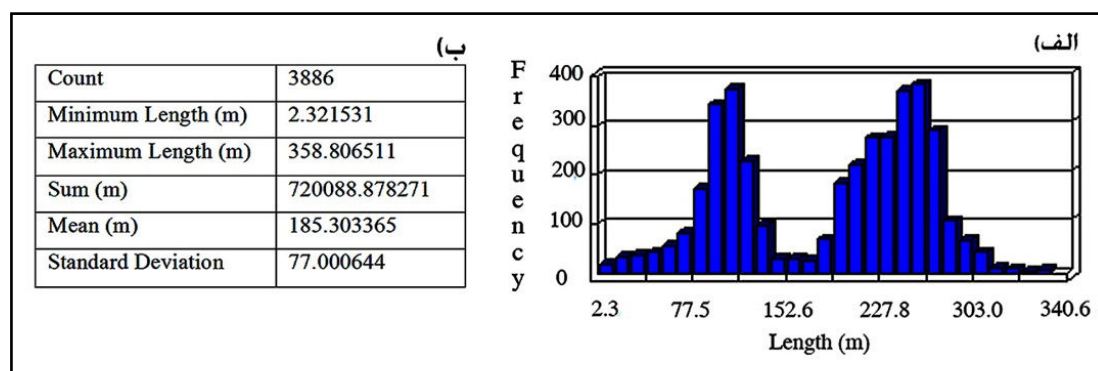
دهنده وجود شکستگی‌هایی در این بخش است. در نقشه زمین‌شناسی بلده در این بخش گسل بلده قرار دارد. در نقشه تراکم طولی خطواره‌ها (شکل ۱۱-ب) نیز در بخش‌های شمالی (در امتداد گسل‌های خزر و شمال البرز) یک روند افزایشی مشاهده می‌شود. افزایش تراکم طولی نیز بیان‌گر وجود زون گسلی در منطقه است (سارپ، ۲۰۰۵: ۶۲). بنابراین می‌توان گفت که خطواره‌های استخراج شده با این روش گسلی هستند.



شکل ۱۱ الف) نقشه تراکم خطواره‌ها، ب) نقشه تراکم طولی خطواره‌ها

## ۴.۲. خطواره‌های استخراج شده به روش رقومی خودکار مطالعات زمینشناسی

۱. تعداد خطواره‌ها در این روش ۳۸۸۶ است (شکل ۱۲). بیشتر بودن تعداد خطواره‌ها در این روش به دو دلیل است: الف) کوتاه بودن طول خطواره‌ها. زیرا طول اکثر خطواره‌هایی که توسط برنامه شناسایی می‌شوند کوتاه است، و برنامه توانایی اتصال خطوط برای ایجاد یک تکه خط را ندارد. ب) عدم توانایی برنامه در تشخیص خطواره‌های گسلی از بقیه خطواره‌ها (جاده، لبه ساختمان، شبکه زهکشی و...).
۲. میانگین طول خطواره‌ها ۰/۱۸ کیلومتر است (شکل ۱۲). با توجه به اینکه تعداد خطواره‌های استخراج شده به این روش بیشتر است، ولی میانگین طول آنها نسبت به روش بصری (۲/۱۹) کوتاه‌تر است.
۳. حداکثر طول خطواره‌ها حدود ۰/۳۶ کیلومتر است (شکل ۱۲). این مقدار با توجه به طول گسل‌ها در البرز مرکزی نمی‌تواند صحیح باشد.



شکل ۱۲ توزیع فراوانی خطواره‌های استخراج شده به روش رقومی خودکار

۴. رزدیگرام این خطواره‌ها روند شرقی-غربی را نشان می‌دهد. با اینکه روند غالب در البرز مرکزی به صورت شرقی-غربی است، ولی دو روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق و شمال‌شرق-جنوب‌غرب هم در این منطقه بسیار است. خصوصیات خطواره‌های استخراج شده مانند طول و جهت‌یابی با گسل‌های منطقه همخوانی ندارد. گسل‌های خزر و شمال البرز از ساختارهای مهم منطقه هستند که با این روش شناسایی نشده‌اند. بنابراین مقایسه خطواره‌های استخراج شده به این دو روش بیان‌گر قابل اعتماد بودن روش بصری برای تجزیه و تحلیل خطواره‌های گسلی است. زیرا در روش بصری طول، جهت‌یابی، توزیع مکانی، تراکم و تراکم طولی خطواره‌ها با وضعیت گسل‌ها در البرز همخوانی بیشتری دارد. همچنین یک زمین‌شناس به کمک تجربه و شناخت پارامترهای لازم در تشخیص خطواره‌های گسلی می‌تواند آنها را با دقت بیشتری نسبت به یک برنامه استخراج کند.

### ۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش خطواره‌های منطقه البرز مرکزی به کمک تکنیک‌های بارزسازی از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و با استفاده از دو روش بصری و رقومی خودکار استخراج شد. نتایج نشان داد که از بین تکنیک‌های بارزسازی مورد استفاده، روش‌های اعمال فیلترهای جهت‌دار بر روی باندها مودون قرمز نزدیک، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌گیری بانندی در شناسایی خطواره‌ها تأثیر بسزایی دارند. دلیل این مسئله داشتن ویژگی بارزسازی لبه در فیلترهای جهت‌دار و همچنین وجود ۸۰ درصد اطلاعات در باند اول تجزیه مؤلفه‌های اصلی است. به کمک نسبت‌گیری بانندی نیز خطواره‌هایی که اکثراً در بخش جنوبی تصویر قرار داشتند، و با این دو روش قابل تشخیص نبودند، شناسایی شد. خطواره‌های گسلی که به کمک این تکنیک استخراج شد با گسل‌هایی که در نقشه زمین‌شناسی بلده توسط سازمان زمین‌شناسی ترسیم شده، همخوانی دارد. استفاده از این روش‌ها در پردازش تصویر و شناسایی خطواره‌ها نشان داد که اعمال فیلترهای جهت‌دار (سارپ، ۲۰۰۵: ۴۳؛ کوجال، ۲۰۰۴: ۱۵) بهترین گزینه برای شناسایی خطواره‌ها در مناطق دارای پوشش گیاهی هستند. خصوصیات خطواره‌های استخراج شده با روش رقومی خودکار از قبیل تعداد، طول و جهت‌یابی با گسل‌های نقشه زمین‌شناسی همخوانی



ندارد. گسل‌های خزر و شمال البرز که از ساختارهای مهم منطقه هستند در این روش شناسایی نشده‌اند که دلیل آن عدم توانایی برنامه در تفکیک خطواره‌های گسلی از بقیه خطواره‌ها است. بنابراین روش رقومی خودکار به دلیل دقت پایینی که دارد، برای مطالعات زمین‌شناسی که همیشه بر مبنای مطالعات صحرایی بوده است و نیازمند دقت بیشتری است، پیشنهاد نمی‌شود. ولی در روش بصری طول، جهت‌یابی، تراکم و تراکم طولی خطواره‌ها با وضعیت گسل‌ها در البرز همخوانی بیشتری دارد. در نتیجه بهترین روش برای انجام مطالعات زمین‌شناسی و بررسی‌های ساختاری در مناطق وسیع و یا مناطقی که دسترسی به آنها مشکل است، استفاده از روش بصری برای استخراج خطواره‌هاست.

### کتابنامه

- درویش‌زاده، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ۴۳۴ ص.
- علوی پناه، س. ک.، ۱۳۸۵، سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران.
- کمالی، ز.، سرکاری‌نژاد، خ.، کشاورز، س.، ۱۳۹۰، بررسی زمین‌ساخت ناحیه دشت ارژن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور: سی‌امین گردهمایی علوم زمین.
- Aboyeji, O.S., Mogaji, K.A., Oyinloye, R.O., 2012. Structural interpretation of remotely sensed data sets, ITS hydrogeological implication over ILE-IFE and environs. *Ozean Journal of Applied Science*, 5 (1).43-54.
- AlaviPanah, S. K., 2006. Thermal remote sensing and its application in the earth sciences. Tehran University press, Tehran.
- Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Shahrabi, M., Qorashi, M., 2003. Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. *Journal of Structural Geology*. 25, 659–672.
- Casas, A. M., Cortes, Angel L., Maestro, A., Soriano, M.A., Riaguas, A., Bernal, J., 2000. A program for lineament length and density analysis. *Computers and Geosciences*, 26 (9/10), 1011-1022.
- Darvishzadeh, A., 2004. *Geology of Iran*, Amir Kabir Publication, 434pp.
- Djamour, Y., Vernant, Ph., Bayer, R., Nankali, H.R., Ritz, J-F., Hinderer, J., Hatam, Y., Luck, B., Moigne, N.L., Sedighi, M., Khorrami, F., 2010. GPS and gravity constraints on continental deformation in the Alborz mountain range, Iran. *Geophysical Journal International*, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04811.x, 1-15.
- Geological Survey of Iran., 2002. Baladeh, Geological Survey of Iran, Tehran, scale 1:100,000.
- Geological Survey of Iran., 2001. Marzan Abad, Geological Survey of Iran, Tehran, scale 1:100,000.
- Hung, L. Q., Batelaan, O., De Smedt, F., 2005. Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V*, edited by Manfred Ehlers, Ulrich Michel, Proc. of SPIE Vol. 5983, 59830T, 0277-786X/05/\$15 · doi: 10.1117/12.627699.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M., Berberian, M., 2002. Active tectonics of the south Caspian basin. *Geophysical Journal International* 148, 214–245.

- Kamali, Z., Sarkarinejad, kh., Keshavarz, S., 2012. Tectonic investigation of Dasht-e-Arjan region using satellite images and remote sensing technics. 30<sup>th</sup> meeting of Geology science. Tehran.
- Koç, A., 2005. Remote sensing of Sürgü fault zone, Malatya, Turkey. Thesis, for the degree of master of science. 90 p. Assist. Prof. Dr. Nuretdin Kaymakçı, Geodetic and Geographic Information Technologies, School of Natural and Applied Sciences.
- Koçal, A., 2004. A methodology for detection and evaluation of lineaments from satellite imagery. Thesis, for the degree of master of science. 122. Prof. Dr. Celal Karpuz, Mining Engineering, School of Natural and Applied Sciences.
- Koçal, A., Duzgun, H.S., Karpuz, C., 2007. An accuracy assessment methodology for the remotely sensed discontinuities: a case study in Andesite Quarry area, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*. 28 (17), 3915–3936.
- Koike, K., Nagano, S., Kawaba, K., 1998. Construction and analysis of interpreted fracture planes through combination of satellite image derived lineaments and digital elevation model data. *Computers and Geosciences*. 24 (6), 573-583.
- Madani, A.A., 2001. Selection of the optimum landsat thematic mapper bands for automatic lineaments extraction, Wadi Natash Area, South Eastern Desert, Egypt. 22<sup>rd</sup> Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001.
- Mah, A., Taylor, G.R., Lennox, P., Balia, L., 1995. Lineament analysis of landsat TM images, Northern Territory, Australia. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 61(6), 761-773.
- Novak, I.D., Soulakellis, N., 2000. Identifying geomorphologic features using landsat-5 TM data processing techniques on Lesvos, Greece *Geomorphology* 34, 101-109.
- Qari, M.H.T., Madani, A.A., Matsah, M.I.M., Hamimi, Z., 2008. Utilization of Aster and Landsat data in geologic mapping of basement rocks of Arafat area, Saudi Arabia. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 33(1c), 99-116.
- Richetti, E., 2002. Structural geological study of southern Apennine (Italy) using landsat 7 imagery. *IEEE*. 211-213.
- Rondeaux, G., Steven, M., Baret, F., 1996. Optimization of soil adjusted vegetation indices. *Remote Sensing Environment* 55 (2): 95–107.
- Sarp, G., 2005. Lineament analysis from satellite images, North-West of Ankara. Thesis, for the degree of master of science. 76 p. Prof. Dr. Vedat Toprak, Geodetic and Geographic Information Technologies School of Natural and Applied Sciences
- Süzen, M.L., Toprak, V., 1998. Filtering of satellite images in geological lineament analyses: an application to a fault zone in central Turkey. *International Journal of Remote Sensing*. 19 (6), 1101-1114.
- Vanderbrug, G.J., 1976. Line detection in satellite imagery. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*. 1, 37-44.
- Zakir, F.A., Quari, M.H.T., Mostafa, M.E., 1999. A new optimizing technique for preparing lineament density maps. *International Journal of Remote Sensing*, 20 (6), 1073-1085.