

الگوهای آماری و فرکتالی آرایه شکستگی‌ها در توده گرانیتی شرق بجستان بر پایه تکنیک‌های دورسنجی

صادق افشار نجفی^۱، بهنام رحیمی^۲، فرزین قائمی^{۳*}، ریحانه احمدی روحانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی (تکتونیک)، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی دوره دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۵/۲۳

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۸/۱۰

چکیده

تجزیه و تحلیل شدت (I)، تجمع (ρ)، میانگین طول خطواره (μ) و تقاطع (n)، از پارامترهای کاربردی در محاسبات آماری گسل‌ها و شکستگی‌ها است که در واحد سطح بیان می‌شوند. در این تحقیق بارز سازی خطواره‌ها با به کارگیری تصویر اسپات ۵ انجام شد. شکستگی‌ها در دو دسته سیستماتیک با روند های NW-SE که روند غالب منطقه هستند و NE-SW دسته بندی شدند. با توجه به وسعت منطقه و میزان توزیع شکستگی‌ها، منطقه به ۴۲ شبکه مربعی با طول ضلع ۱/۷ کیلومتر تقسیم و سپس الگوی فرکتالی شکستگی‌های ساختاری منطقه محاسبه شد که بیشترین مقدار آن در جنوب خاور و باختر منطقه به دست آمد. در مرحله بعد پارامترهای فوق برای هر شبکه به طور جداگانه و دستی محاسبه و نقشه کانتور آنها ترسیم شد. بیشترین I و ρ در جنوب خاور، باختر و بیشترین μ و n به ترتیب در شمال خاور و جنوب خاور منطقه حاصل شدند.

واژه‌های کلیدی: تصویر اسپات ۵، دورسنجی، فرکتال، گرانیت بجستان.

مقدمه

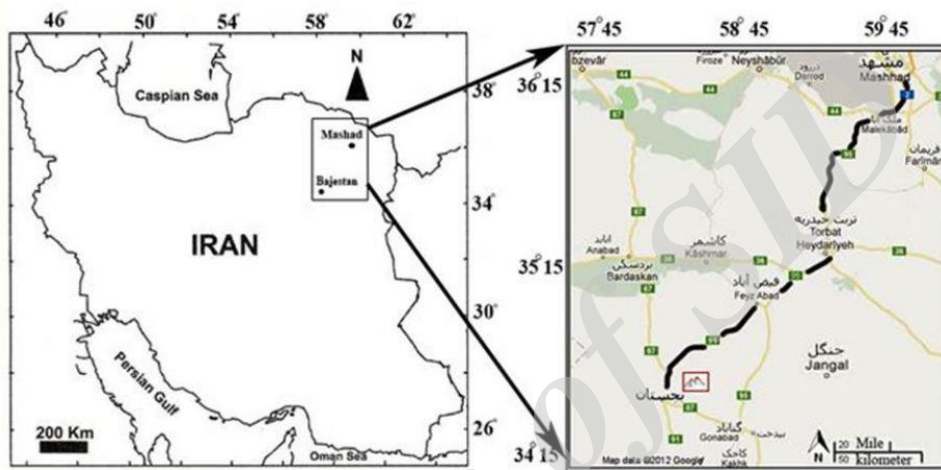
سنجش از دور همیشه به عنوان یک روش یادگیری، بیشتر در مورد تکتونیک در نظر گرفته شده است. استفاده از این داده در تعریف اهمیت خطواره‌های تکتونیکی در اکثر زمینه‌های ناحیه‌ای بیان شده است (بیلی و اندرسون، ۱۹۸۲؛ دروری و هالت، ۱۹۸۰؛ برچی و روتیری، ۱۹۸۶؛ گوپتا و سین، ۱۹۸۸؛ نشیدای و برری، ۱۹۹۰؛ سالوی، ۱۹۹۵). در زمین شناسی ساختمانی، تصاویر ماهواره‌ای به شناسایی مواد و ساختار آنها مستقل از سن و نوع دگرریختی مواد کمک می‌کند (جاتز و گروچ، ۱۹۹۳؛ دروری و برچی، ۱۹۹۳؛ نش و رانکین، ۱۹۹۶). در سال‌های اخیر خطواره‌ها به عنوان ساختارهای طبیعی پوسته‌ای تعریف شده‌اند که مبین یک پهنه ساختاری ضعیف هستند (مسعود و کویکی، ۲۰۰۶). برای شناسایی خطواره‌ها محققان تکنیک‌های دورسنجی مختلفی در پژوهش‌های خود به کار گرفته‌اند. این تکنیک‌ها شامل بارزسازی رادیومتریک، بارزسازی فضایی (Spatial Enhancement) و بارزسازی طیفی است. که توسط پُخارل (۲۰۰۷) برای بارزسازی الگوی شکستگی‌ها در منشورهای بهم افزوده مکران در شمال خاور ایران به کار گرفته شده‌اند. ایشان تکنیک‌ها را بر روی تصاویر لندست ETM+ band 7 در نرم افزار ILWIS 3.3 پیاده کرده است که به شرح هر کدام به طور جداگانه می‌پردازیم. تکنیک رادیومتریک با یک پیکسل ویژه از تصویر سر و کار دارد (جنوسیستمز، ۱۹۹۹). بارزسازی کنتراست یکی از تکنیک‌های رادیومتریک است که شامل کشیدگی (Stretching) خطی و غیر خطی است، همچنین به هیستوگرام برابر سازی (Histogram Equalization) معروف است. کشیدگی خطی مقدار DN تصویر را طوری گسترش می‌دهد که کمترین مقدار ورودی به سوی خروجی صفر و

بالاترین مقدار ورودی به طرف خروجی ۲۵۵ پیش می‌رود (جنوسیستمز، ۱۹۹۹؛ لیسند و کیفیر، ۲۰۰۰). تکنیک بعدی که توسط پُخارل (۲۰۰۷) به کار گرفته شد، بارز سازی فضایی است. بر خلاف بارز سازی رادیومتریک، تکنیک اخیر مقدار پیکسل را بر اساس مقادیر پیکسل‌های اطراف تغییر می‌دهد (جنوسیستمز، ۱۹۹۹). تکنیک بارزسازی فضایی، فیلتر بارزکننده لبه نامیده می‌شود. فیلتر سازی فرایندی است که مقدار هر پیکسل در یک نقشه رستری با یک مقدار جدید جایگزین می‌شود. فیلتر بارزکننده لبه یکی از فیلترهای پیچیده خطی است که شامل یک ماتریکس با مقادیر و یک فاکتور تقویت کننده است. یک فیلتر بارز کننده لبه می‌تواند برای مشخص کردن هر تغییر در گرادیان ویژگی تصویر از قبیل خطوط ساختاری استفاده می‌شود (کاواک و سیتین، ۲۰۰۷؛ مسعود و کویکی، ۲۰۰۶؛ علی و پیراسته، ۲۰۰۴؛ ماینر و همکاران، ۱۹۹۴). بارزسازی طیفی: این تکنیک توسط بیش از یک باند طیفی بدست می‌آید و داده‌های زیادی را شامل می‌شود. به عبارت دیگر حشو (redundancy) را کاهش می‌دهد، باندهای قابل تفسیر بصری جدیدی را استخراج و اطلاعات گوناگون وسیعی را توسط ایجاد ترکیبات رنگی مختلف نمایش می‌دهد (جنوسیستمز، ۱۹۹۹). عبدالله و همکاران (۲۰۱۳) با آزمون باندهای مختلف Landsat ETM-7 باند ۵ را به دلیل نمایش خوب ویژگی‌های خوب زمین شناختی در تحقیق خود برای ناحیه تایز (Taiz) از توابع یمن به کار برده‌اند. سپس با اعمال سه نوع فیلتر از جمله کرنل سوبل (Sobel Kernel Filter) ۳×۳، کرنل لبه (Edge Kernel Filter) ۵×۵ و فیلتر کرنل لبه ۷×۷ نتایج حاصل از فیلتر سوبل در مقایسه با انواع دیگر از نظر آنها بهترین نتیجه بوده که با اعمال آن در

نظر ساختاری براساس تقسیم بندی علوی (۱۹۹۱)، در بخش شمالی بلوک لوت از بلوک‌های ایران مرکزی واقع شده به طوریکه در بخش خاور توسط گسل نهبندان از کمربند زمین ساختی خاور ایران، در باختر توسط گسل نایبند از بلوک طبس و در شمال توسط گسل درونه از ایالت زمین ساختی سبزوار جدا می‌گردد (شکل ۱).

چهار جهت اصلی و ترکیب آنها با یکدیگر یک تصویر فیلتر شده آستانه ایجاد کرده‌اند.

جایگاه زمین شناسی و زمین ساختی منطقه: ناحیه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی $58^{\circ} 14'$ تا $58^{\circ} 21'$ شرقی و عرض‌های $34^{\circ} 29'$ تا $34^{\circ} 34'$ شمالی در جنوب باختر استان خراسان رضوی و در فاصله ۱۰ کیلومتری خاور شهرستان بجستان و از



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و راههای ارتباطی گستره، علامت مستطیل موقعیت گستره مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

پایینی نفوذ کرده است. عاشوری و همکاران (۱۳۸۶) در تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ بجستان، سن توده‌های نفوذی را الیگومیوسن می‌دانند. توده‌های نفوذی که در منطقه رخنمون دارند دارای ترکیب حدواسط و گاه اسیدی هستند. ترکیب غالب این توده‌ها گرانیت، گرانودیوریت، کوارتز مونزونیت و محدوده دیوریت و دیاباز است (شکل ۴ ب). در اثر گامه‌های زمین ساختی، گسل‌ها و شکستگی‌های مختلفی در آنها تشکیل شده‌اند که هندسه به نسبت ساده‌ای دارند. گسل‌های منطقه به طور عمده سازوکار راستالغز چپرو و یا راسترو دارند. با توجه به وجود آلتراسیون-های هیدروترمال در منطقه استخراج این گسل‌ها به همراه شکستگی‌ها و تحلیل آنها در ناحیه برای

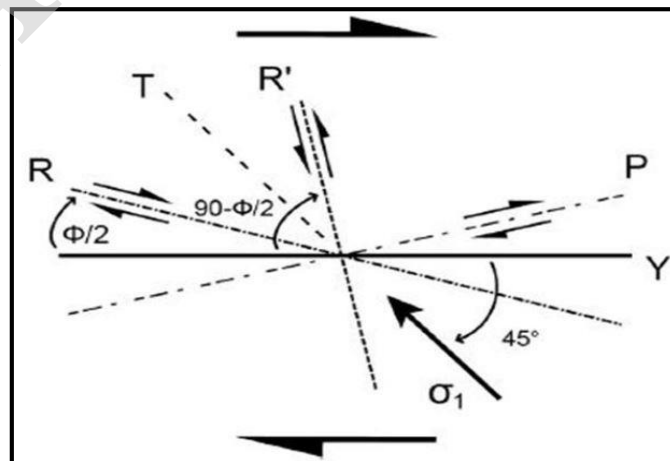
اشتوکلین و نبوی (۱۹۷۳) بیان می‌دارند که مهمترین ویژگی بلوک لوت که آن را از دیگر بخش‌های خرد قاره ایران مرکزی جدا می‌کند، حجم عظیم ماگماتیسیم ترشیاری، به ویژه سنگ‌های آتشفشانی است که با داشتن ضخامتی در حدود ۲۰۰۰ متر بیش از نیمی از بلوک لوت را می‌پوشاند. وجود فعالیت ماگمایی گسترده با ویژگی‌های ژئوشیمیایی متفاوت در نقاط مختلف، باعث شده است تا بلوک لوت پتانسیل بسیار مناسبی برای تشکیل انواع کانی سازی‌های فلزی و غیرفلزی داشته باشد. قورچی روکی و همکاران (۱۳۸۸) توده نفوذی خاور بجستان را گرانیت از نوع احیایی و مربوط به سری ایلمنیت دانسته و موقعیت زمین ساختی زمان تشکیل را پهنه تصادم قاره‌ای می‌دانند. که در سنگ‌های آتشفشانی به سن کرتاسه

پردازش داده‌های ماهواره و مطالعات صحرایی، شکستگی‌های منظم در گستره مورد مطالعه از دو دسته گسل امتداد لغز (Strike Slipe) تشکیل شده‌اند: دسته اول به ویژه دو گسل موجود در شمال و جنوب توده گرانیتی که طول بیشتری داشته و گسل‌های اصلی هستند، امتداد $N 70^{\circ} W$ را دارند. این دسته از گسل‌ها از نوع امتداد لغز راست رو می‌باشند. دسته دوم گسل‌هایی با روند $N 50^{\circ} W$ را شامل می‌شوند که در فاصله میان گسل‌های دسته اول توسعه یافته‌اند. این گسل‌ها با زاویه حدود ۱۵ تا ۲۰ درجه در جهت ساعتگرد نسبت به گسل‌های اصلی قرار گرفته‌اند. ساز و کار این دسته گسلی از نوع امتداد لغز راسترو و مشابه گسل‌های اصلی می‌باشد. با مقایسه این سبک گسلش با سبک ساختاری نوع برشی ساده (Simple Shear) (شکل ۲) در سیستم‌های امتدادلغز، می‌توان گسل‌های دسته دوم را انشعابات R از گسل‌های اصلی دانست که در نتیجه حرکت بر روی گسل‌های دسته اول ایجاد شده‌اند. سپس با به کار گیری این روش شکستگی‌های منطقه ترسیم و دسته بندی شدند. بنابراین دو دسته شکستگی سیستماتیک با روند NW-SE که از لحاظ فراوانی روند غالب و به موازات گسل‌های اصلی منطقه هستند و دسته بعدی با روند NE-SW شناسایی شدند (شکل ۴ الف).

اکتشاف ذخایر معدنی در آینده به ویژه ذخایر هیدروترمال می‌تواند مورد توجه باشد.

مواد و روش‌ها

یکی از تکنیک‌های لبه یابی که برای بارزسازی خطواره‌ها می‌توان از آن استفاده نمود، بکارگیری فیلتر سوبل (Sobel) است. این فیلتر در راستای افقی یک فیلتر پایین‌گذر و در راستای عمودی یک فیلتر میان‌گذر است. همچنین جهت ناحیه بندی تصویر، می‌توان از فیلترهای آستانه‌گیری استفاده کرد. یک فیلتر آستانه می‌تواند ایجاد یک تصویر با کنتراست و تراز در حد آستانه مورد نظر بنماید. در سیستم RGB استفاده همزمان از فیلترهای استاندارد نرم افزار ER MAPPER شامل یک فیلتر آستانه ۳ (Threshold3) در R و فیلتر سوبل ۲ در G و B تا حد زیادی می‌تواند خطواره‌های اصلی را مشخص نماید (احمدی روحانی، ۱۳۹۱) (شکل ۳ الف). همچنین از فیلتر جهت‌دار (Directional) با زاویه $N 45^{\circ} E$ و سایر پردازش‌های تکمیلی نیز برای بارزسازی کمک گرفته شد. در نهایت خطواره‌ها و شکستگی‌ها استخراج شده از پردازش‌های فوق، بصورت رقومی ترسیم گردید (شکل ۳ ب). مجموع این پردازش‌ها نشانگر جهت یابی بارز NW-SE خطواره‌ها در این منطقه می‌باشد. بر پایه

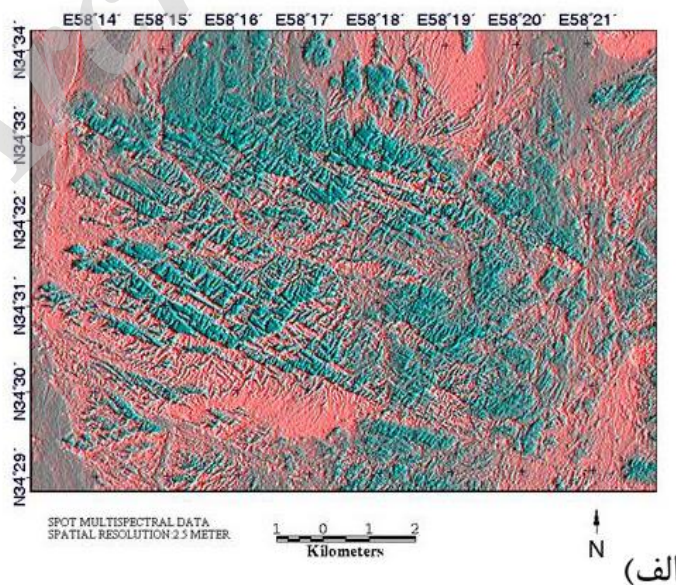


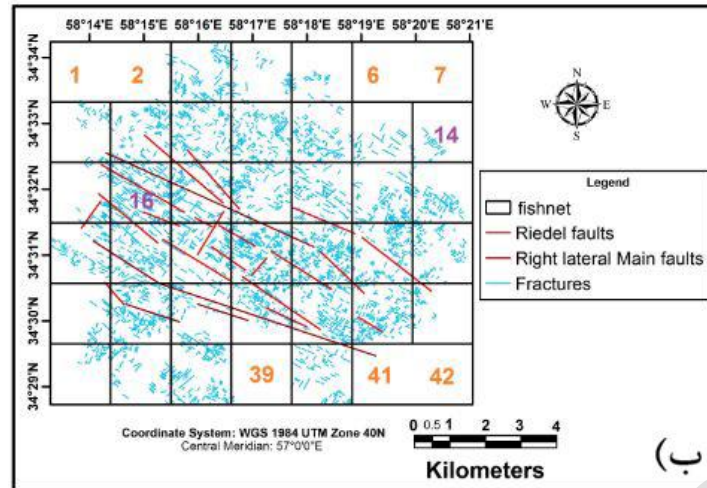
شکل ۲: انواع شکستگی‌های توسعه یافته در یک زون برشی شکننده، اقتباس از (بارلت و همکاران، ۱۹۸۱).

نتایج

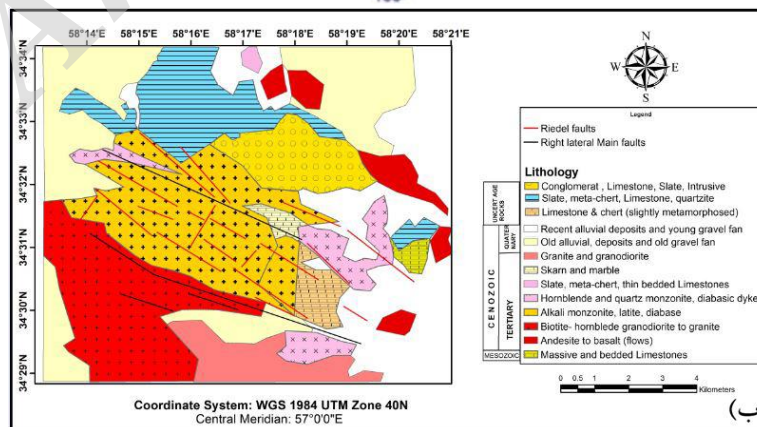
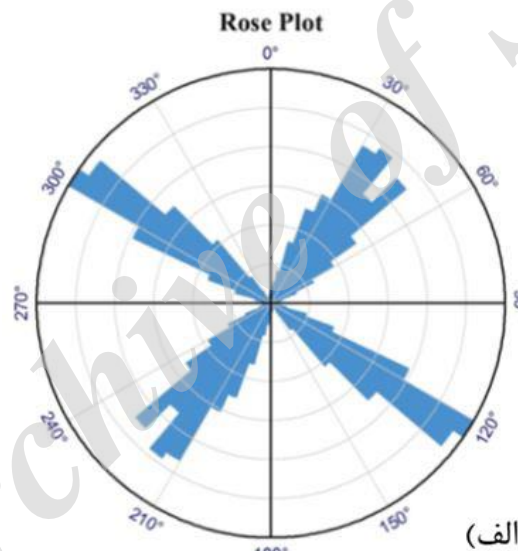
فرکتال نوعی شکل هندسی است که می‌توان آن را به قسمت‌های کوچکتر تقسیم کرد، به طوری که هر قسمت شکلی وابسته به شکل بزرگتر را داشته باشد. در این بخش بر پایه نتایج مطالعات انجام گرفته و همچنین به کارگیری روش شمارش مربعات (Box Counting) که متداول‌ترین روش در تحلیل فرکتالی گسل‌هاست و توسط بسیاری از محققین به کار رفته است، وجود و یا عدم وجود مدل فرکتال در شبکه شکستگی‌های گسترده مورد مطالعه مورد بررسی واقع شده است. در روش شمارش مربعات برای هر محدوده مربع شکل با طول ضلع برابر با D_0 ، با تقسیم محدوده به سلول‌های مربعی کوچکتر (D_0/d^2) با ضلع‌های به طول d که $N(d)$ تعداد سلول‌هایی هستند که خطواره‌ها از آن عبور کرده‌اند، این فرایند برای مربع‌های با سایزهای مختلف تکرار می‌شود و منحنی $\log d$ در برابر $\log N(d)$ رسم می‌شود. در صورت هم‌شکل بودن هندسی دسته گسل‌ها با خود این رابطه $N(d) \sim d^{-D}$ برقرار است که در آن D بعد فرکتال الگو است (هیراتا، ۱۹۸۹). در این پروژه برای رسم

نقشه کانتوری حاصل از بعد فرکتال از آنجا که منطقه تجمع شکستگی‌های منطقه مستطیلی با ابعاد تقریباً 11×10 کیلومتر است، کل منطقه مذکور با حداکثر ۴۲ محدوده مربعی با ابعاد 1700×1700 متر از سمت چپ بالا به راست پایین، مطابق شکل ۳(ب) تقسیم شدند. ولی به دلیل فقدان و یا کمبود شکستگی در هفت محدوده (محدوده‌های ۱، ۲، ۶، ۷، ۳۹، ۴۱، ۴۲) مطابق شکل ۳(ب) که این مسأله می‌تواند خطای محاسبات را بالا ببرد، برای احتراز از این امر محدوده‌های مذکور حذف شدند. در این بخش برای محاسبه بعد فرکتال با وارد کردن شکستگی‌های مربوط به هر محدوده به نرم افزار Fractanalysis با لحاظ بازه اندازه‌ای سلول‌ها بین ۲۵۶-۱۰ واحد، رگرسیون بین این بازه با خطای استاندارد از رگرسیون برای محاسبه بعد فرکتال انجام شد (سایب و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین بیشترین بعد در باختر (محدوده ۱۶) در شکل ۳(ب) و جنوب خاور گستره به مقدار $(1/53 - 1/57)$ و کمترین بعد گستره $1/08$ (محدوده ۱۴) در شکل ۳(ب) و میانگین بعد برای کل گستره $1/35$ محاسبه شد.





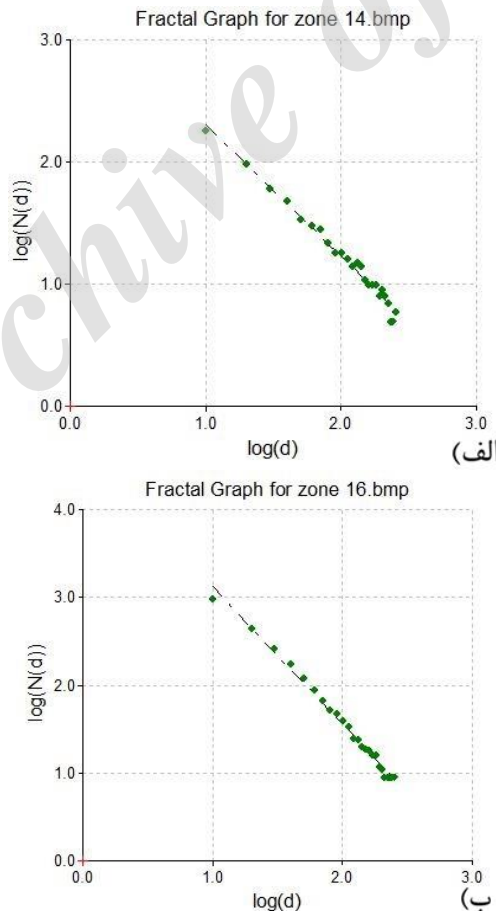
شکل ۳: الف) خطواره‌های بارز شده توسط فیلتر سوپل اعمالی بر تصویر اسپات ۵. ب) نقشه ساختاری گستره به همراه شبکه بندی برای محاسبات آماری و فرکتالی. فلش‌ها دو گسل اصلی شمال و جنوب توده و اعداد، شماره هر محدوده را نشان می‌دهند.



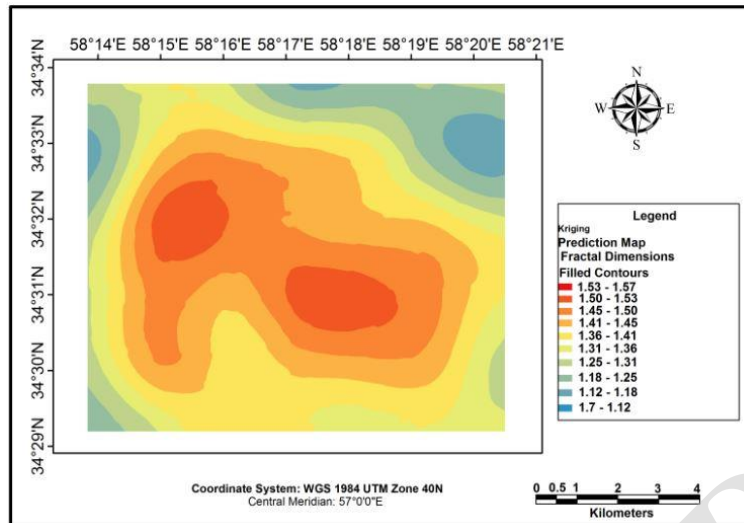
شکل ۴: الف) رزیدیگرام مربوط به کل گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه. ب) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه.

فرکتال (۱/۵۳-۱/۵۷) نسبت به محدوده‌های دیگر به ۱/۶ نزدیکتر است. به عبارت دیگر محدوده‌های مذکور در طول تحولات ساختاری بیشتر تکامل یافته‌اند. لاپونت (۱۹۸۸) با ترسیم نمودار چگالی در برابر بعد فرکتال نشان داد که با افزایش بعد فرکتال، چگالی با شیب کمی افزایش می‌یابد و رابطه بین آنها غیر خطی است. پارک و همکاران (۲۰۱۰) با ترسیم نمودار، یک رابطه خطی بین بعد فرکتال و چگالی شکستگی‌ها نشان دادند و بیان کردند که این رابطه به احتمال عمومیت ندارد زیرا بعد فرکتال همچنین متأثر از جهات، محلی شدن و توزیع طول شکستگی‌ها نیز می‌باشد. شکل (۵) الف و ب) به ترتیب نمودار روش مربع شمار (log-log plot) مربوط به محدوده ۱۴، ۱۶ و شکل (۶) منحنی‌های هم بعد (Contour Diagrams) توزیع بعد فرکتال در کل گستره را نشان می‌دهند.

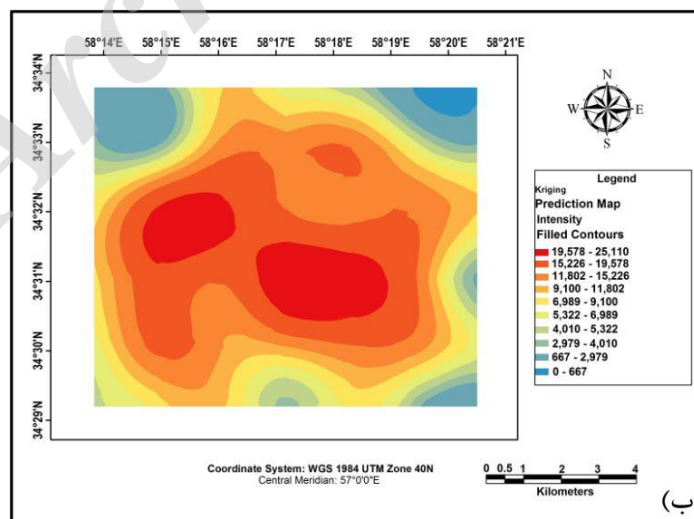
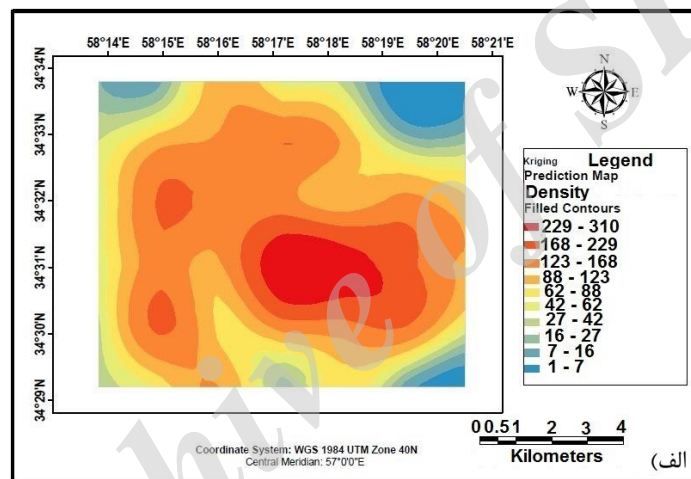
افزایش بعد به دلیل توسعه بیشتر انشعابات گسلی و نیز تراکم بالای شبکه، افزایش اتصال شکستگی‌ها و به تبع آن افزایش کرنش و تغییرات ساختاری در این مناطق است (بأتن، ۱۹۹۵؛ فدر، ۱۹۸۸). یک پهنه گسلی مادامیکه یک گسل منفرد باشد بعد آن ۱ (خطی) بوده و با توسعه پهنه گسلی و افزایش پهنه تخریب و در نتیجه توسعه رایدل‌ها (Riedels) یا انشعابات آن بعد فرکتالی هم افزایش یافته و ما بین ۱ و ۲ تغییر می‌کند (سلو، ۱۹۹۷). به عبارت دیگر پهنه گسلی از وضعیت خطی به سمت سطح میل می‌کند. با افزایش کرنش و بلوغ پهنه، بعد فرکتالی به ۱/۶ نزدیک می‌شود. هیراتا (۱۹۸۹) این مقدار را حد بالای بعد فرکتال در یک شبکه گسلی بالغ تعیین نموده است. با توجه به این موضوع تکامل شبکه گسلی در محدوده‌های باختر و جنوب خاوری منطقه بیشتر است چرا که مقدار بعد



شکل ۵: نمودار روش مربع شمار (log-log plot) مربوط به الف: محدوده ۱۴ و ب: محدوده ۱۶



شکل ۶: نقشه منحنی‌های میزان توزیع بعد فرکتال شکستگی‌ها در کل گستره مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۷: الف) نقشه منحنی‌های میزان چگالی (ρ) شکستگی‌ها؛ اعداد بیانگر تعداد شکستگی‌ها در واحد سطح هستند. ب) نقشه منحنی‌های میزان تراکم (I) شکستگی‌های منطقه؛ ارقام به متر در واحد سطح می‌باشند.

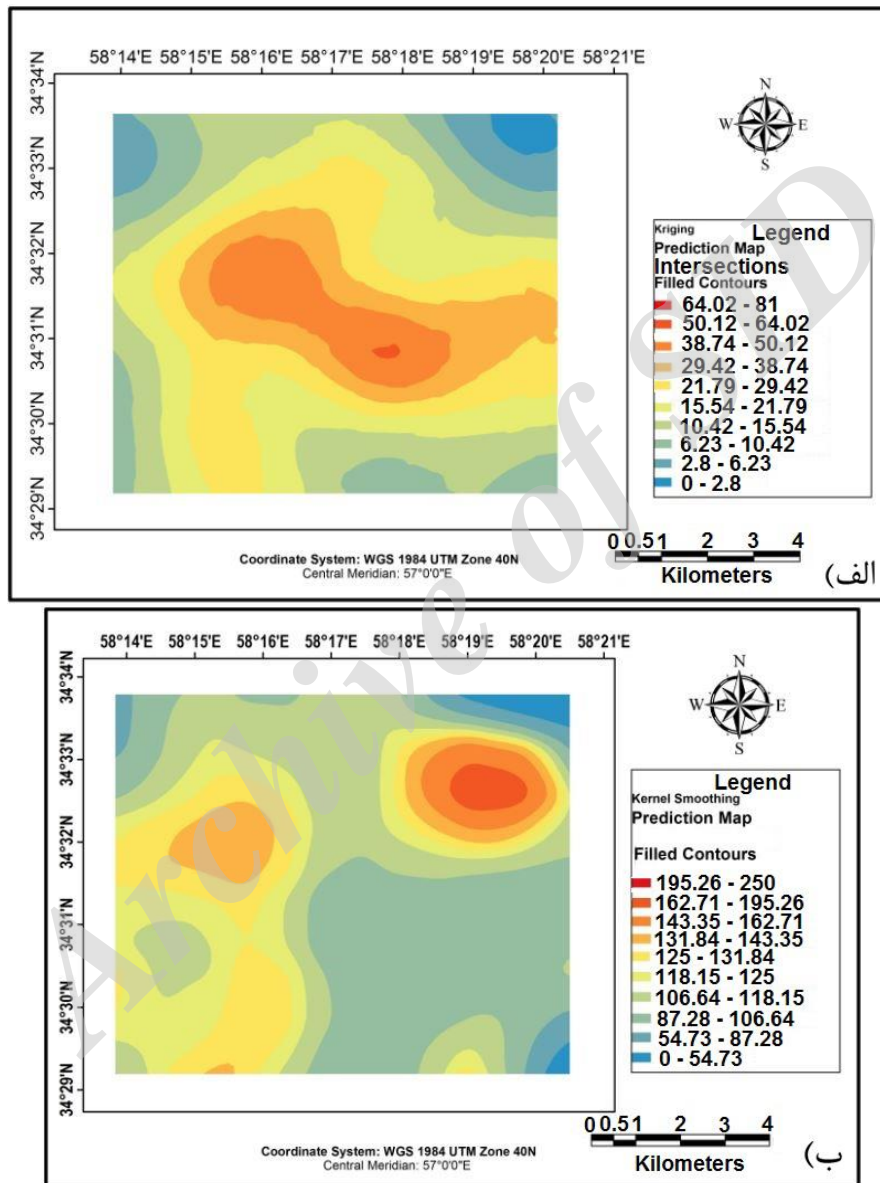
بخش جنوب خاوری گستره بیشترین چگالی شکستگی‌ها مشاهده می‌شود. تجزیه و تحلیل تراکم طول (شدت) راهنمای مفیدی برای تفسیر نقشه خطواره‌ها است. مجموع طول بر واحد سطح، به خطوط یا بخشی از خطوط که به طور کامل در داخل سلول قرار دارد بستگی دارد. این تجزیه و تحلیل همچنین به عنوان تراکم طول خطواره شناخته شده است (گرین بام، ۱۹۸۵). مجموع طول خطواره‌های اندازه گیری شده در شبکه انتخاب شده قرار داده شدند تا نقشه شدت طول بدست آمد (شکل ۷ ب). بیشترین مشخصه این نقشه این است که بالاترین تمرکز طول همانند بعد فرکتال در جنوب خاور و باختر منطقه به ترتیب با راستای WNW-ESE و NE-SW به دست آمد. این نشان دهنده تمرکز شکستگی‌ها با طول بزرگتر است.

-محاسبه نقاط تلاقی و میانگین طول شکستگی‌ها: تراکم تقاطع خطواره‌ها، نیز در این تحقیق به کار گرفته شد. این روش عمدتاً برای تشخیص شکستگی‌های مرتبط با گسل به کار می‌رود (الفولی، ۲۰۰۰). نقاط تلاقی یک نقشه از فراوانی تقاطع‌هایی است که در سلول واحد اتفاق افتاده‌اند که با شمارش تعداد تقاطع شکستگی‌ها بر واحد سطح بدست می‌آید. هدف از استفاده نقشه تراکم تقاطع خطواره‌ها، برآورد مناطقی از جهت‌گیری متنوع خطواره‌ها است. اگر خطواره‌ها در یک منطقه یکدیگر را قطع نکنند، نقشه حاصل شده، یک نقشه ساده یا تقریباً بدون کانتور تراکمی خواهد بود. این بدین معناست که در این منطقه خطواره‌ها اگر از نظر طول کوتاه نباشند، تقریباً موازی تا نیمه موازی هستند. بنابراین این پارامتر برای شکستگی‌های ساختاری منطقه محاسبه و بیشترین تراکم تقاطع در جنوب خاور منطقه بدست آمد. نتیجه تجزیه و تحلیل در نقشه شکل ۸ (الف) نشان داده شده است. میانگین طول اثر گسل یکی از پارامترهایی است که

-محاسبه چگالی (ρ) و شدت (I) : از پارامترهای کاربردی در محاسبات آماری خطواره‌ها، شدت (Intensity) و چگالی یا ρ (Density) که توسط محققانی از جمله زایپولیس و کوکولاس (۲۰۰۴) انجام شده است. چگالی (ρ) برابر با تعداد شکستگی‌ها در واحد سطح و شدت (I) بیانگر مجموع طول شکستگی‌ها در واحد سطح می‌باشد. بایستی کل گستره مورد مطالعه را شبکه بندی نمود. برای رسم یک شبکه مناسب، وسعت گستره و مقدار پخش شدگی مکانی شکستگی‌ها باید در نظر گرفته شوند. وسیع بودن گستره، ابعاد بزرگتر شکستگی‌ها و تجمع بالای آنها در یک یا چند ناحیه ابعاد کوچکتری را برای سلول‌های شبکه ایجاب می‌کند. با توجه به وضعیت تراکم شکستگی‌ها در منطقه، برای محاسبه فاکتورهای مذکور در این پژوهش از شبکه بندی ترسیم شده برای فرکتال استفاده شد (شکل ۳ ب). سپس پارامترهای شدت، چگالی، نقاط تلاقی و میانگین طول اثر شکستگی‌ها برای هر سلول به طوردستی و جداگانه محاسبه گردید. برای مطالعه تغییرات مکانی چگالی، شدت، نقاط تلاقی و میانگین طول اثر در منطقه بجستان، مقادیر هر یک از آنها به صورت نقشه منحنی‌های تراز ارائه شده است. شکل (۷ الف و ب) به ترتیب منحنی‌های میزان مربوط به چگالی، شدت، شکستگی‌ها را برای گستره مورد مطالعه به نمایش می‌گذارند. هدف از تجزیه و تحلیل چگالی، محاسبه فراوانی خطواره‌ها در واحد سطح است که به عنوان فراوانی خطواره‌ها شناخته شده است (گرین بام، ۱۹۸۵). از این تجزیه و تحلیل یک نقشه نمایشی از تمرکز خطواره‌ها بوجود می‌آید. این تجزیه و تحلیل با شمارش تعداد خطواره‌های موجود در سطوح مشخص شده، انجام شده است. اگر اندازه سلول‌های شبکه افزایش یابد، فراوانی مناطق چگالی بالا هم افزایش می‌یابد. با توجه به نقشه رسم شده، در

بعد توزیع مکانی این پارامتر را با حداکثر مقدار در شمال خاوری منطقه با راستای NW-SE نشان می‌دهد. ارائه موقعیت و ضخامت پهنه‌های گسلی عمده، از مزیت‌های این پارامتر است.

توسط زایپولیس و کوکولاس (۲۰۰۴) برای ترسیم گسل‌های عمده در یک منطقه ریفتی به کار رفت. آنها در بررسی‌های خود نشان دادند که مقادیر بالای μ بر مراکز سطحی زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه منطبق است. شکل ۸ (ب) نقشه منحنی‌های هم



شکل ۸: الف) نقشه منحنی میزان نقاط تلاقی (n) شکستگی‌های ساختاری. ب) نقشه منحنی‌های میزان میانگین طول (μ) شکستگی‌های ساختاری منطقه؛ ارقام به متر در واحد سطح می‌باشند.



شکل ۹: دایک دیابازی به موازات گسل‌های اصلی گستره.

بحث

مقدار ۱,۵۵ رسید. پیک افزایش در مرحله دوم ($D = 1,51$) رخ داد. آنها علت این افزایش را به توسعه وسیع شکستگی‌های جدید به صورت محلی معمولاً در پایانه و اتصال شکستگی‌های از پیش موجود نسبت داده‌اند. همچنین چگالی شکستگی‌ها نیز در مرحله دوم تکامل، به بالاترین مقدار خود رسید که این الگو شبیه به بعد فرکتال است. افزایش چگالی درزه‌ها به طرف پهنه‌های گسلی یکی از خصوصیات مهم درزه‌ها است که وابسته یا همزمان بودن آنها را نسبت به گسل نشان می‌دهد. این قبیل تخریب در اطراف گسل‌ها محلی شدن تنش و کرنش را بیان می‌کند (استیورت و هنکاک، ۱۹۹۰). پُن (۱۹۸۱) با ترسیم نقشه کانتر شدت درزه‌ها در

بعد فرکتالی، پارامتری برای بررسی میزان پیچیدگی بین داده‌ها است و برخلاف بعد اقلیدسی که یک عدد طبیعی است، می‌تواند بصورت یک عدد حقیقی باشد. هدف هندسه فرکتالی، محاسبه و یافتن بعد فرکتالی برای مطالعه بهتر و پیش بینی در رفتار آینده مجموعه‌ای از داده‌ها می‌باشد. پارک و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیق خود ارتباط میان تکامل شکستگی‌ها و بعد فرکتال را با تحلیل تکامل شکستگی‌ها در شش مرحله بررسی کردند. در مرحله اول با یک شاخه گسلی، بعد ۱,۱۱ بدست آوردند و در مراحل بعدی با یک افزایش پیشرونده در بعد فرکتال مواجه شدند که در مرحله آخر به

می‌رسد که در این مورد انتشار جانبی محدود گسل‌ها برای اتصال نیاز است. با افزایش در مقدار تراکم و میانگین طول گسل و ثبات چگالی، بیان می‌کند که انتشار جانبی پیشرونده گسل‌های کوچک، مکانیزم اصلی با سرعت بیش از اتصال گسل برای افزایش اندازه میانگین گسل‌ها است.

نتیجه‌گیری

شکستگی‌های منطقه در دو دسته با روندهای NW-SE و NE-SW شناسایی شدند که دسته نخست از لحاظ فراوانی روند غالب منطقه و به موازات گسل-های اصلی هستند. مطالعات صحرائی حاکی از انطباق خطواره‌های مشاهده شده با نتایج حاصل از پردازش داده‌های ماهواره‌ای بوده و منجر به شناسایی و معرفی دستجات شکستگی فوق و تمرکز بالای آنها در باختر و جنوب خاور منطقه جهت انجام مطالعات تفصیلی در این ناحیه گردید. تمرکز مقادیر بالای بعد فرکتال در باختر و جنوب خاوری منطقه نمایانگر توسعه بیشتر انشعابات گسلی و نیز تراکم بالای شبکه شکستگی‌ها، افزایش اتصال شکستگی‌ها و به تبع آن افزایش کرنش و تغییرات ساختاری در این مناطق است و اکنون یک شبکه شکستگی بالغ و خوب توسعه یافته است. بالاترین مقادیر شدت و چگالی و نقاط تلاقی در دو محدوده فوق نیز شواهدی دیگر بر تکامل بیشتر ساختاری و توسعه خوب شکستگی‌ها در این محدوده‌ها است. با توجه به وجود آلتراسیون‌های هیدروترمال در منطقه و به دلیل اهمیت بالای جریان سیالات کانه-دار و نیز هیدروکربورها در پهنه‌های تخریب گسل-های امتداد لغز (پیکوک و سندرسون، ۱۹۹۵) استخراج این گسل‌ها به همراه شکستگی‌ها و تحلیل آنها در ناحیه برای اکتشاف ذخایر معدنی در آینده به ویژه ذخایر هیدروترمال می‌تواند مورد توجه باشد. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده در این

پیش بوم آپالاچین نیویورک و پنسیلوانیا نشان داد در پهنه‌هایی که درزه‌ها افزایش پیدا می‌کنند مبین وقوع گسلش است. بطور مشابهی ویلر و دیکسون (۱۹۸۰) نشان دادند که فراوانی درزه‌ها در مناطق خطواره افزایش می‌یابد. با توجه به این موضوع و مقادیر بالای دو فاکتور مذکور در جنوب خاور و تا حدودی هم در باختر منطقه، تکامل و توسعه خوب شبکه گسلی در گرانیته خاور بجنستان در این دو محدوده رخ داده است. که شکستگی این محدوده‌ها متأثر از تکامل و توسعه دو گسل امتدادی راستروی موجود در شمال و جنوب توده گرانیته با روندهای NW-SE است. موقعیت این گسل‌ها در شکل ۳ (ب) با علامت فلش مشخص شده است. موازی بودن رگه‌های داسیتی و دایک‌های دیابازی با گسل‌های مذکور در منطقه، مبین اینست که گسل‌ها ابتدا به صورت رگه‌های کششی تشکیل شده سپس با تغییر میدان تنش به گسل تبدیل شده‌اند (شکل ۹). شکستگی‌های اطراف گسل‌ها نیز در پاسخ به جابجایی در سطوح گسلی در اثر فعالیت بعدی و بر هم کنش میان آنها به دلیل محلی شدن تنش و کرنش تشکیل شده‌اند. مقایسه تصویری نقشه‌های بعد فرکتال و شدت خطواره‌ها نشان می‌دهد که هر دو نقشه از نظر تراکم مشابه یکدیگرند و هر دو در جنوب خاور و باختر منطقه به بالاترین مقدار خود می‌رسند. همچنین نقاط تلاقی نیز در جنوب خاور منطقه بیشترین مقدار نشان می‌دهد. بنابراین در این تحقیق الگوی فرکتال علاوه بر مطابقت با چگالی، با شدت و نقاط تلاقی نیز انطباق خوبی نشان می‌دهد. روابط میان سه پارامتر چگالی، شدت و میانگین طول اینطور بیان می‌شود که کاهش مقدار چگالی، به اتصال گسل‌های کوچک منفرد و ایجاد گسل‌های بزرگ دلالت می‌کند. چون افزایش پیشرونده اندازه گسل (μ) نمی‌تواند به طول کلی گسل‌ها در واحد سطح (I) تاثیر بگذارد، به نظر

محل مستعد برای آزاد سازی انرژی ذخیره شده سنگها در آینده، پیش بینی می شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از حمایت های سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی شمال شرق کشور جهت فراهم نمودن داده های ماهواره ای تشکر می نمایند.

-عاشوری، ع.، کریم پور، م.ح. و سعادت، س.، ۱۳۸۶. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ : ۱ بجنستان، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی شمال شرق کشور.
-قورچی روکی، م.، سعادت، س. و عاشوری، ع.، ۱۳۸۸. پترولوژی، آلتراسیون و کانی سازی توده های نفوذی مناطق طاهرا باد و بجنستان، مجله زمین شناسی اقتصادی، شماره ۱، ۸۳-۱۰۱.

تحقیق، باختر و جنوب خاور منطقه مورد توجه می باشد. زایپولیس و کوکولاس (۲۰۰۴) در بررسی های خود نشان دادند که مقادیر بالای میانگین طول (μ) بر مراکز سطحی زمین لرزه های رخ داده در منطقه منطبق است. بنابراین مقدار بالای میانگین طول در شمال خاور، این محدوده به عنوان

منابع

-احمدی روحانی، ر.، کریم پور، م.ح.، رحیمی، ب. و ملک زاده شفارودی، آ.، ۱۳۹۱. بارز سازی زون های آلتراسیونی و ساختارهای تکتونیکی در محدوده شرق بجنستان با استفاده از پردازش Landsat ETM, STER, SPOT و داده های ژئوفیزیک، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۴، ۲۵۳-۲۶۲.

-Abdullah, A., Nassr, S. and Ghaleeb, A., 2013. Remote Sensing and Geographic Information System for Fault Segments Mapping a Study from Taiz Area, Yemen: Journal of Geological Research, doi.org/10.1155/2013/201757, v. 2013, Article ID 201757, 16 p.
-Alavi, M., 1991. tectonic map of middle east, scale 1:5/000/000, Tehran: Geological survey of Iran.
-Ali, S.A. and Pirasteh, S., 2004. Geological applications of Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM) data and Geographic Information System (GIS): mapping and structural interpretation in south-west Iran, Zagros Structural Belt: International Journal of Remote Sensing, v. 25(21), p. 4715-4727.
-Bailey, G.B. and Anderson, P.D., 1982. Applications of Landsat imagery to problems of petroleum exploration in the

Qaidam Basin, China: Association of PetroleumGeologists Bulletin, v. 66, p. 1348-1354.
-Bartlett, W.L., Friedman, M. and Logan, J.M., 1981. Experimental folding and faulting of rocks under pressure: Tectonophysics, v. 79, p. 255-277.
-Barton. C.C., 1995. Fractal analysis of scaling and spatial clustering of fractures, In: Barton, C.C. and La Ponte, P.R. (ed.),. Fractals inthe Earth Sciences. Plenum Press, New York and London, p. p.141-178.
-Berhe, S.M. and Rothery, D.A., 1986. Interactive processing of satellite images for structural and lithological mapping in northeast Africa: Geological Magazine, v. 123, p. 393-403.
-Cello, G., 1997. Fractal analysis of a Quaternary fault array in the central Apennines, Italy: Journal of Structural Geology, v. 19, p. 945-953.

- Drury, S.A. and Holt, R.W., 1980. The tectonic of the south Indian craton: A reconnaissance involving Landsat imagery: *Tectonophysics*, v. 65, p. 1–15.
- Drury, S.A. and Berhe, S.M., 1993. Accretion tectonics in northern Eritrea revealed by remotely sensed imagery: *Geological Magazine*, v. 130, p.177-190.
- Elfouly, A., 2000. Major Structure Patterns Identification and Hydrothermal Delineation using Density of Lineament Intersections: ASPRS 2000, The Image and Geospacial Information Society, Annual Convention May, p. 23-26, 2000, Washington, DC, USA.
- Feder, J., 1988. *Fractals*, Plenum Press, New York, 283 p.
- Geosystems, L., 1999. *ERDAS Field Guide Fifth Edition*: Atlanta, GA. ERDAS, 698 p.
- Greenbaum, D., 1985. Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith: *British Geological Survey, Report*, v. 85, 36 p.
- Gupta, R.P. and Sen, A.K., 1988. Imprints of the ninety-east ridge in the Shillong Plateau, Indian Shield: *Tectonophysics*, v. 154, p. 335–341.
- Hirata, T., 1989. Fractal dimension of fault systems in Japan: fractal structure in rock fracture geometry at various scales: *Pure and Applied Geophysics*, v. 131, p.157–169.
- Jutz, S.L. and Chorowicz, J., 1993. Geological mapping and detection of oblique extensional structures in the Kenyan Rift Valley with a SPOT/LANDSAT-TM data merge: *International Journal of Remote Sensing*, v. 14, p. 1677-1688.
- Kavak, K. S. and Cetin, H., 2007. A detailed geologic lineament analysis using landsat TM data of Gölarmara/Manisa region, Turkey: *Online Journal of Earth Sciences*, v. 1(3), p.145- 153.
- La Pointe, P.R., 1988. A method to characterize fracture density and connectivity through fractal geometry, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, v. 25, p. 421–429.
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*, New York, John Wiley & Sons. 736p.
- 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.
- Minor, T. B., 1994. -An integrated approach to groundwater exploration in developing countries using GIS and remote sensing. in *Proceedings of the International American Congress on Surveying and Mapping/ American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ACSM/ASPRS '94)*, p. 418-428.
- Nash, C.R. and Rankin, L.R., 1996. Leeming, P.M., Harris, L.B., Delineation of lithostructural domains in northern Orissa (India) from Landsat Thematic Mapper imagery: *Tectonophysics*, p. 260, v. 245-257.
- Nishidai, T. and Berry, J.L., 1990. Structure and hydrocarbon potential of the Tarin Basin (NW China) from satellite imagery: *Journal of Petrology and Geology*, v.13, p. 35–58.
- Park, S.I., Kim, Y.S., Ryoo, C.R. and Sanderson, D.J., 2010. Fractal analysis of the evolution of a fracture network in a granite outcrop, SE Korea: *Geoscience Journal*, v.14, p. 99-234.
- Peacock, D.C.P. and Sanderson, D.J., 1995. Strike–slip relay ramps, *Journal of Structural Geology*, v.17, p.1351- 1360.
- Pohn, H.A., 1981. Joint spacing as a method of locating faults, *Geology*, v.9, p.258- 261.
- Pokharel, S.B., 2007. Remote sensing

and GIS analysis of spatial distribution of fracture patterns in the Makran accretionary prism, southeast Iran, Department of Geosciences, Geosciences Theses, v. 8, p.1-100.

-Salvi, S., 1995. Analysis and interpretation of Landsat Synthetic Stereo Pair for the detection of Active Fault Zone in the Abruzzi Region (Central Italy), Remote Sensing of Environment, v.53, p.153-163.

-Sayab, M., Jadoow, Q. K., Khattak, G.A. and Parachn, S., 2005. 2D fractal analysis of synfolding fractures in the Khushalgrah area, eastern Kohat plateau, northern Pakistan. Geological Bulletin, University of Peshawar. v. 38, p. 1-8

-Stewart, I.S. and Hancock, P.L., 1990. Brecciation and fracturing within

neotectonic normal fault zones in the Aegean region. In: Knipe, Deformation Mechanisms, Rheology and Tectonics, R.J., Rutter, E.H. (Eds.): Special Publication 54, Geological Society of London, p.105-119.

-Stocklin, J. and Nabavi, M.H., 1973. Tectonic map of Iran, Geological Survey of Iran.

-Wheeler, R. D., 1980. Intensity of systematic joints: methods and application: Geology, v.8, p. 230-233.

-Xypolias, P. and Koukouvelas, I., 2004. Fault trace parameters as a tool for analyzing remotely sensed fault arrays: an example from the eastern Gulf of Corinth: International Journal of Remote Sensing, v. 25(21), p. 4685-4699.

Archive of SID