## **کاربرد دورسنجی در آشکارسازی، شناخت و تحلیل ویژگیهای زمینساختی خطوارههای** مرتبط با دگرسانی در منطقه بجستان، خاور ایران

ریحانه احمدی روحانی'، محمدحسن کریمپور۲\*، بهنام رحیمی۲، آزاده ملکزاده شفارودی۳ و صادق افشار نجفی۶

<sup>۱</sup>دانشجوی دکترا، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران <sup>۲</sup>استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران <sup>۳</sup>دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران <sup>۴</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۳

#### چکیدہ

Jogos (

محدوده مورد مطالعه در خاور شهر بجستان، جنوب باختر استان خراسان رضوی قرار دارد. این محدوده در شمال بلوک لوت، بزرگترین بلوک ساختاری در خاور ایران جای گرفته است. این بخش خود تحت تأثیر فعالیت های گسل های ژرف امتدادلغز در مرز این بلوک قرار دارد. خطواره های موجود در منطقه با استفاده از داده های ماهواره ای اسپات، لندست و داده DEM آشکارسازی شد. مطالعات ساختاری در این ناحیه در دو مرحله انجام گرفت: نخست آشکارسازی، تهیه نقشه و تحلیل ساختاری گسل های اصلی منطقه صورت گرفت و در مرحله بعد به منظور انجام مطالعات تکمیلی، کل خطواره های موجود شامل درزه ها و گسل ها، آشکارسازی و تحلیل شدند. راستی آزمایی مطالعات یاد شده صورت گرفت و در مرحله بعد به منظور انجام مطالعات تکمیلی، کل خطواره های موجود شامل درزه ها و گسل ها، آشکارسازی و تحلیل شدند. راستی آزمایی مطالعات یاد شده استر یوسکوپیک چون اسپات به عنوان یک ابزار کار آمد در مطالعات دور سنجی نشانگر اهمیت فیلتر های آشکار کننده چون فیلترهای استاندارد، روی داده های با ویژگی های استر یوسکوپیک چون اسپات به عنوان یک ابزار کار آمد در مطالعات ساختاری به ویژه آشکارسازی خط واره هاست. مطالعات فر معان منازی یون منطقه شکستگی حاصل از داده های دور سنجی) در منطقه، ضمن مشخص کردن بعد فر کتال در منطقه با ستندارد، روی ساماری شکستگی های ساختاری منطقه و معرفی مناطق با احتمال بیشتر کانی سازی هستند. مطالعات دور سنجی، صحر ایی، تحلیل های آماری و فر کتالی روی سامانه های شکستگی موجود در ساختاری منطقه و معرفی مناطق با احتمال بیشتر کانی سازی هستند. مطالعات دور سنجی، صحر ایی، تحلیل های آماری – ساختاری و فر کتالی روی سامانه های شکستگی موجود در ساختاری منطقه و معرفی مناطق با احتمال بیشتر کانی سازی هستند. مطالعات دور سنجی می توانند به عنوان شکستگی های راید اور په به تحریب در ساختاری منطقه نشانگر احتمالی ارتبال می موجود در منطقه با فعالیت یک سامانه گسلی می می تواند به عنوان شکستگی های راید این مرتب با نظر گرفته شوند. نتایج بالا نشان می دهد که بیشتر خطواره های موجود در مناسایی روند عناصر ساختاری مؤثر در ایجاد انواع پهنه های دگرسانی مرتبط با نظر گرفته شوند. نتایج بالا نشان می دهد که بیشتر خطواره می تواند نقش مهمی در شناسایی روند عناصر ساختاری مؤثر در ایجاد آلتر اسون و مشخص کردن نواحی مستعد کانی سازی های می بد

> **کلیدواژهها:** سنجش از دور، فیلترهای آشکار کننده خطوارهها، سامانه شکستگی برشی، پهنه ساختاری لوت، بجستان. **نویسنده مسئول:** محمدحسن کریم پور

E-mail: karimpur@um.ac.ir

### 1- پیشنوشتار

آشكارسازی خطواره ها و تهیه نقشه از آنها با استفاده از داده ها و روش های دورسنجی یک موفقیت مهم در مطالعات زمین شناسی به ویژه مطالعات زمین ساخت Shupe and Akhavi, 1989; Tibaldi and Ferrari, 1991; Kar, 1994; است (Kresic, 1995; Rolet et al., 1995; Rowen and Bowars, 1995; Philip, 1996; Solomon and Ghebreab, 2006; Masoud and Koike, 2006; (Marghany and Hashim, 2010; Hashim et al., 2013)

از آنجایی که ساختارهای زمین شناسی همچون شکستگیها (گسلها و درزهها)، پهنههای برشی و برگوارگی در سطح زمین به صورت خطواره در تصاویر ماهواره ای و هوایی آشکار و نشان داده شده است (Solomon and Ghebreab, 2006)، برخی از پژوهشگران از روش های سنجش از دور به همراه مطالعات صحرایی در راستای استخراج عوارض ساختاری به ویژه خطواره ها به منظور شناخت منشأ زمین ساختی آنها استفاده کرده اند (غلامزاده، ۱۳۹۳؛ 1994, Aregui and Soriano, 1998; Solomon and Ghebreab, 2006; Morelli and Piana, 2006)

آشکارسازی خطواره ها به وسیله سنجش از دور در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی که در آن سنگ بستر کاملاً نمایان است می تواند نتایج بهتری دربر داشته باشد (Koch and Mather, 1997; Eshghi Molan et al., 2014).

هدف اصلی این پژوهش آشکارسازی، شناخت و تفسیر خطوارهها و چگونگی تشکیل آنها با استفاده از مطالعات دورسنجی و صحرایی و مقایسه نتایج حاصل با یکدیگر در محدوده خاور بجستان (به عنوان بخشی از زون ساختاری لوت) در خاور ایران است.

به منظور آشکارسازی خطوارهها، ابتدا از دادههای لندست <sup>+</sup>ETM (با تفکیک مکانی ۱۵ متر)، مدل ارتفاع رقومی (DEM) با تفکیک مکانی ۱۰ متر و سپس داده اسپات–۵ استفاده شده است که قابلیتهای برتری چون تفکیک مکانی ۲/۵ متر و دید استریو نسبت به داده لندست دارد. درستی نتایج به دست آمده با مطالعات صحرایی بررسی شده است.

تهیه نقشه خطواره ها بر پایه تفسیر دیداری از تصاویر RGB و استفاده از فیلترهای آشکار کننده خطواره ها که شرح آن در پیش رو خواهد آمد، انجام و فیلترهای جهتدار نیز به منظور آشکارسازی بهتر استفاده شده است. در مطالعات دورسنجی انجام شده سعی بر این بوده است تا مرز واحدهای زمین شناسی، آبراههها، گیاهان و خطواره های ایجاده شده توسط انسان چون جاده ها، زمین های کشاورزی و آثار کنده کاری های معدنی به منظور جلوگیری از خطا حذف شود. در این پژوهش از نرمافزارهای Arc GIS 10.3 و R-Mapper 7.01 ENVI 4.7 برای پردازش اطلاعات استفاده شده است. مراحل کار در این پژوهش در نمودار شکل ۱ آورده شده است. آشکارسازی خطواره ها در منطقه بجستان به دلیل آبوهوای خشک و پوشش گیاهی ناچیز به خوبی انجام پذیر بوده است.

### ۲- جایگاه زمینشناسی

محدوده مورد مطالعه در بخش شمالی پهنه لوت، بزرگترین و اصلیترین بلوک در خردقاره خاور مرکز ایران جای گرفته است. خردقاره ایران مرکزی، در کمربند آلپ- هیمالیا، میان دو نوارکوهزایی شمالی و جنوبی و میان دو زمین درز پالئوتتیس

# 

کاربرد دور سنجی در آشکار سازی، شناخت و تحلیل ویژگیهای زمین ساختی مرتبط با دگر سانی...

در شمال و نو تتیس در جنوب باختر جای دارد. زمین ساخت فعال در خردقاره ایران مرکزی نتیجه تقارب میان ورقه عربستان و اوراسیاست، شدت این تقارب در طول جغرافیایی ۶۰ درجه ۲۸ تا ۴۰ میلیمتر در سال است (Jackson et al., 1995). مطالعه دادههای GPS نرخ تقارب کمتری، حدود ۲۶ میلیمتر در سال، نشان داده است (Sella et al., 2002). این تقارب در بخش خاوری ایران ۲۵ میلیمتر در سال بر آورد شده است (Sella et al., 2004). یهنه لوت همچنین، یکی از چندین خردقارهای است که به نظر می رسد از حاشیه شمالی گندوانا در طی بازشدگی نوتتیس در قاره اوراسیا پیوسته است (Golonka, 2004). بر پایه باور بسیاری از پژوهشگران، پهنه لوت به وسیله چهار گسل اصلی دربر گرفته شده است: گسل درونه در شمال، گسل (حوضه) جازموریان در جنوب با فاصلهای در حدود ۲۰۰ کیلومتر، گسل نای بند در باختر و گسل نهبندان در خاور با فاصلهای حدود ۲۰۰ کیلومتر، (Stocklin and Nabavi, 1973; Gansser, 1995; Karimpour et al., 2011)

تاکنون مطالعات زیادی روی لرزه خیزی و ویژگیهای ساختاری و زمین ساخت فعال این گسل ها و پهنه لوت انجام شده است (;Berberian, 1982;) Jackson et al., 1995; Berberian et al., 1999; Walker and Jackson, 2002 and 2004; Jackson et al., 1995; Berberian et al., 2003 and 2004; Walker and Khatib, 2006 (Walker et al., 2003 and 2004; Walker and Khatib, 2006 و جایگاه زمین ساخت دیرین پهنه لوت به وسیله برخی پژوهشگران مطالعه شده Soffel and Forster, 1980; Davoudzadeh et al., 1981;1۳۹۰, 1981; Oamp Imm (ارجمندزاده، ۱981; 1982; Tirrul et al., 1983; (Tarkian et al., 1983; Jung et al., 1983; Karimpour et al., 2011

برخی از پژوهشگران بر این باورند که تکامل زمین ساختی و ماگمایی در پهنه لوت حاصل یک سیستم کششی است (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱؛ 1983 (یا (Tarkian et al., 1983). برخی دیگر از پژوهشگران به وجود یک سیستم فرورانش پوسته اقیانوسی در خاور بلوک باور دارند؛ آنها وجود کمپلکس های افیولیتی در خاور ایران میان بلوک لوت و بلوک هلمند را دلیلی بر وجود فرورانش می دانند (Saccani et al., 2010). افتخارنژاد (۱۳۵۹) بر این باورند که فعالیت ماگمایی در بخش شمالی بلوک لوت حاصل فرورانش سنگ کره اقیانوسی حوضه اقیانوسی نور ایران به زیر بلوک لوت است. به تازگی برخی پژوهشگران مدل فرورانش دوسویه را برای چگونگی تکامل ماگمایی و زمین ساختی بلوک لوت مطرح کرده اند (ارجمندزاده، ۱۳۹۰) 2009).

حدود ۶۵ درصد از سنگهای رخنمون یافته در بلوک لوت نفوذی و آتشفشانی هستند؛ بنابراین پهنه لوت پتانسیل مهمی برای انواع کانیسازی مس پورفیری، مس – طلای همراه با اسپکیولاریت (IOCG)، سولفید تودهای نوع قبرس، مس رگهای، قلع و تنگستن مرتبط با تودههای احیایی سری ایلمنیت، کانیسازیهای طلای اپی ترمال، رگهای سولفید تودهای، اسکارن ها دارد (Xarimpour et al., 2011). همچنین ذخایر غیرفلزی چون بنتونیت و کائولن در این پهنه مورد شناسایی و پژوهش قرار گرفتهاند (Xalikzadeh-Shafaroudi et al., 2015).

سنگهای گرانیتوییدی کرتاسه بالایی و الیگوسن (احمدی روحانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ منگهای گرانیتوییدی کرتاسه بالایی و الیگوسن (احمدی روحانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ مورد مطالعه را دربر گرفته اند. سنگهای دگرگونی شامل اسلیت، فیلیت، ماسه سنگ دگرگونی و چرت در شمال منطقه رخنمون دارند. اسکارن ها در همبری با پهنه های گسلی و توده های نفوذی و مرمر در مجاورت توده های نفوذی دیده می شوند. مناگ های آتشفشانی ائوسن با ترکیب آندزیت و آندزی بازالت بیشتر در خاور و شمال محدوده دیده می شوند (شکل ۲). دایک های اسیدی و بازیک با روند NW-SE ممال محدوده دیده می شوند (شکل ۲). دایک های اسیدی و بازیک با روند NW-SE متفاوت به ویژه در بخش جنوبی فراوان یافت می شوند. کانی سازی های مس، آهن، طلا و باریت همروند با پهنه های دگرسانی در منطقه دیده می شوند.

## ۳- بحث و بررسی

### ۳- ۱. تهیه نقشه شکستگیها با استفاده از دادههای ماهواره

به منظور شناخت سازو کار عملکرد عناصر ساختاری و تعیین ارتباط احتمالی میان شکستگیها با پهنههای دگرسانی در منطقه، نقشه شکستگیهای محدوده مورد مطالعه با استفاده از پردازش دادههای ماهواره \*ETM، مدل ارتفاع رقومی (DEM) و داده اسپات –۵(SPOT-۵) انجام گرفت. آشکارسازی خطوارهها در دو مرحله انجام شد: ابتدا خطوارههای اصلی یعنی گسلها و در مرحله دوم همه خطوارهها شامل گسل و درزه (joint) استخراج و تحلیل شدند. دلیل استفاده دو مرحلهای پردازش، شناخت و تحلیل بهتر سازوکار عملکرد خطوارهها در بخشهای مختلف ناحیه است.

در مرحله اول مطالعات (آشکارسازی خطوارههای اصلی)، ابتدا از داده تلفیق شده چندباندی لندست <sup>+</sup>ETM با باند پانکروماتیک آن با تفکیک مکانی ۱۵ متر استفاده و سپس انواع فیلتر High-Pass روی تصویر ترکیبی آن اعمال شد. بهترین نتیجه حاصل اعمال فیلتر Sharpen 11.11 و فیلتر Directional بهصورت N45E روی تصویر ۲۱۳ (RGB) به دست آمد (شکل ۳– الف). همچنین با توجه به ویژگیهای دادههای مدل ارتفاع رقومی (DEM) در بهره گیری از ضریب تغییرات ارتفاعی برای آشکارسازی خطوارهها، از این داده با تفکیک مکانی ده متر برای ساخت هیل شید (Hillshade) منطقه استفاده شد و با اعمال فیلتر Incetional در جهات ۸ گانه بهترین نتیجه (N90E) مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳– ب).

از دادههای ماهواره اسپات-۵ منطقه افزون بر آشکارسازی خطوارههای اصلی، برای آشکارسازی خطوارههای فرعی نیز استفاده شد. داده چند طیفی اسپات–۵ استفاده شده، دارای تفکیک مکانی ۲/۵ متر و ویژگیهای SPOTCOV\_IRC\_N34E058-A و تاريخ دريافت ۲۰۰۷–۱۰–۱۶ است؛ اين داده پیش از شروع پردازش، از دید هندسی و رادیومتری تصحیح شد. تصویر رنگی ۲/۵ متری به وسیله تلفیق دو تصویر جداگانه تهیه می شود. یک تصویر پانکروماتیک با تفکیک مکانی ۲/۵ متر، با تصویر سه باندی چند طیفی با تفکیک مکانی ۱۰ متر تلفیق می شود. با توجه به اینکه تصویر ۲/۵ مترخود به وسیله تلفیق دو تصویر ۵ متر حاصل می شود، یکی از ابزارهای HRG باید سه تصویر همزمان برای تولید تصویر رنگی ۲/۵ متر تهیه کند، بنابراین تصاویر به دست آمده شبیه یک تصویر رنگی با تفکیک مکانی ۲/۵ متر و دید هندسی پانکروماتیک هستند (spotimage.com). داده اسپات-۵ با توجه به داشتن همزمان دو ویژگی دید استریو و تفکیک مکانی بالا، حتی هنگامی که هیچ نوع فیلتری روی آن اعمال نشده است (شکل ۳–پ)؛ در مقایسه با دادههای لندست و DEM منطقه (شکل های ۳- الف وب)، برتری قابل توجهی در آشکارسازی عوارض ساختاری نشان میدهد. بنابراین با توجه به کارایی این داده، از آن در هر دو مرحله آشکارسازی خطوارهها استفاده شد. مراحل کار روی داده اسپات– ۵ به تفصیل آورده شده است:

آشگارسازی خطوارههای اصلی (گسلها) محدوده (تها از میه تصویر رنگی (rauts) RGB از داده اسپات-۵ (شکل ۳- پ)، فیلترهای آشکار کنندهای چون High-Pass از نوع شارپن (sharpen)، و فیلترهای استاندارد (حد آستانه و سوبل همچنین فیلترهای جهتدار) به کار برده شد.

فیلترهای مکانی یا فراوانی مکانی به تغییرات عددی در میزان روشنایی در واحد فاصله برای هر بخش خاص از یک تصویر گفته می شود (Jensen, 2005). فیلترها به وسیله تولید یک دسته از وزنها به پیکسل های متناظر نسبت به پیکسل های مجاور تولید می شوند. در پردازش تصاویر، عملکرد بسیاری از فیلترها روی تصویر، با انجام یک عملیات خاص به نام عملگر یا کانولوشن (Convolution) انجام می شود که این عملگر خود شامل یک ماتریس است که به این ماتریس هسته یا کرنال می گویند. کرنال ها معمولاً ماتریسی مربعی به صورت ۳×۳ هستند هرچند که گاه ماتریس های ۲×۲، ۴×۴ و ۵×۵ نیز استفاده می شوند. مقادیر ذخیره شده در کرنال ها به طور مستقیم در ارتباط با نتایج حاصل از کاربرد فیلتر مربوطه هستند و فیلترها تنها به وسیله ماتریس

کرنال خود مشخص می شوند (۷۱۹، ۷۵۰، ۷۷۰۰). به عنوان نمونه کرن هایی اورد. شده در زیر به ترتیب نشاندهنده و آشکارکننده لبههای عمودی (KV) و لبههای افقی (Kh) در یک تصویر هستند (Kim and Casper, 2013):

$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	کرنال برای آشکارسازی لبههای عمودی= Kv
$K_{h} = \begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix}$	کرنال برای آشکارسازی لبههای افقی= Kh

اولین فیلتری که برای مشخص کردن خط واره های اصلی مورد استفاده قرار گرفت، یک فیلتر بالاگذر (High- Pass) بود. فیلتر های بالاگذر (High- Pass) فیلتر های مکانی هستند که برای واضح کردن (Sharpening) و صاف کردن (Smoothing) تصویر، استفاده می شوند. این فیلتر ها اجازه می دهند ارزش های خاکستری با بسامد بالا (مناطق دارای ارتفاع) نسبت به بخش های پست تر برجسته تر شود و بنابراین تصاویر حاصل، جزییات بیشتری از ساخت های خطی را قابل مشاهده بسازند (بابا احمدی، ۱۳۸۸؛ 1996, Ichson, در نرم افزار RE-Mapper در منوی فیلترهای بالاگذر (Sharpen Edge) با ماتریس ۱۱×۱۱ و اعمال آن روی هر سه باند RGB داده اسپات – ۵ تا حد زیاد می تواند موجب آشکار سازی خط واره ها شود (شکل ۳ – ت).

به منظور ردهبندی یک تصویر، فیلترهای آستانه می تواند مورد استفاده قرار گیرد. یک فیلتر آستانه (Threshold) این قابلیت را دارد که تصویری با همبری و مقادیر متوازن در آستانه مورد نظر تولید کند. آستانه گیری شامل محدود کردن مقادیر پیکسل نسبت به مقادیر باقیمانده در محدودههای خاص است. این کرنالها به گونهای طراحی شدهاند تا در حد بیشینه، پاسخگوی آشکارسازی و اجرای لبهها به صورت افقی و هم عمودی در شبکه پیکسلی باشند. در این حالت یک کرنال برای دو سوی عمود بر هم استفاده میشود.

فیلتر سوبل (Sobel) یک فیلتر پایین گذر ۲ بعدی است که در یک تصویر تأکید به نواحی با بسامد بالا داشته و در واقع منطبق بر لبههاست. در سامانه تصویر رنگی RGB، استفاده همزمان از فیلترهای استاندارد شامل یک فیلتر آستانه ۳ در باند R و فیلتر سوبل-۲ در باندهای G و B داده RGB اسپات-۵ تا حد زیادی می تواند خطواره های اصلی و فرعی را مشخص کند. همچنین برای آشکارسازی بهتر خطواره ها فیلتر جهت دار (Directional) با زاویه ۴۵ درجه در سوی شمال خاور (NE) و عمود بر روند اصلی بیشتر خطواره های موجود در منطقه (SW-SE) انتخاب و به کار برده شد (شکل ۳-ث).

– ماتریس عددی برای کرنال آستانه –۳ بهصورت ۳×۳ استفاده شده در باند R بهصورت زیر است:

	١	۲	٣	
١	١	١	١	
۲	١	١	١	
٣	١	١	١	
Gو B:	ه برای باندهای	کار برده شد	سورت ۳×۳ به ً	-ماتریس عددی برای کرنال سوبل-۲ به
	١	٠	٣	
١	- 1	•	١	
۲	-۲	•	۲	
٣	- 1	•	١	
ت ۳×۳	NW) بەصورى	۴۵ درجه(	تدار با زاويه	– ماتریس عددی برای کرنال فیلتر جھ
				به کار برده شده برای هر سه باند:
	١	۲	٣	

-1

-1

۱

۲

٣

•

١

١

-1

١

## ريحانه احمدي روحاني و همكاران

پس از اعمال فیلترهای بالا، شکستگیهای اصلی استخراج، جانمایی و بهصورت رقومی در قالب Shape File توسط نرمافزار ArcMap روی داده اسپات –۵ رسم و برای انجام تحلیل های لازم در مراحل بعدی کار آماده شد (شکل ۴ – الف). به منظور تحلیل شکستگیهای رسم شده، آزیموت خطوارههای اصلی به دست آمد و نمودار گلسرخی (Rose Diagram) آنها رسم شد (شکل ۴– ب). بر پایه نمودار گلسرخی بالا، سوی بیشتر گسل های موجود در منطقه بهصورت شمال باختر – جنوب خاور (NW-SE) با آزیموت N110 است. در مطالعات یاد شده این دسته از خطوارهها کلاس (Class-A) A نامیده می شود. دسته ها و کلاس های دیگری نیز در این نمودار دیده می شوند؛ ولی فراوانی آنها در برابر خطواره های کلاس A قابل مقایسه نیست. با توجه به نمودار رسم شده (شکل های ۴- الف و ب) آرایه شکستگیها در منطقه یک سیستم برشی ساده را تداعی می کند. طرح نمادین از سازوکار سامانه برشی ساده در شکل ۳- ج نشان داده شده است. شکستگی ها در این سامانه بهطور تیپیک در یک پهنه گسلی شکننده (Brittle) گسترش می یابند (Bartlett et al., 1981). برای مقدار زاویه اصطکاک داخلی میزان ۳۰ Phi درجه بوده (Jaeger et al., 2007) و بر این اساس δ1 دارای زاویه ۴۵ درجه نسبت به پهنه گسلی است که موازی با مؤلفه γ است؛ در این سیستم، R شکستگیهای رایدل و 'R رايدل هاي مزدوج (Conjugate) را مشخص مي کنند.

– آشگارساز کل خطوارهها ( گسلها و درزهها) Total lineament (faults and joints) mapping: افزون بر استخراج خطوارههای اصلی، به منظور انجام مطالعات دقیق تر، درزههای موجود در منطقه نیز استخراج، اندازه گیری و به صورت رقومی رسم شدند. بدین منظور تصاویر فیلتر شده حاصل از مطالعات انجام شده در بخش پیشین، به ویژه روش نمایش داده شده در شکل ۳- ث مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از این روش، ۳۴۷۴ درزه استخراج و رسم شد (شکل ۴- پ) و به منظور تحلیل این درزهها آزیموت آنها به دست آمد و نمودار گل سرخی برای همه خطوارهها رسم شد (شکل ۴- ت).

همان گونه که در نمودار گلسرخی بالا (شکل ۴- ت) دیده می شود، افزون بر سوی شمال باختر - جنوب خاور (NW-SE) یا کلاس A، امتداد اصلی دیگری نیز دیده می-شود؛ این امتداد دارای آزیموت 40-N و سوی شمال باختر - جنوب خاور است که در این مطالعات انجام شده نام کلاس B برای آن در نظر گرفته شده است. به منظور درک بهتر سازو کار عملکرد درزه ها و گسل ها در بخش های مختلف منطقه (و با توجه به تعداد بالای درزه ها)، کل منطقه به ۹ بخش مساوی تقسیم شد (شکل ۵- الف)؛ سپس برای هر بخش، آزیموت خطواره ها شامل گسل و درزه به لازم بر پایه این نمودار گلسرخی هر بخش جداگانه رسم (شکل ۵- ب) و تحلیل های لازم بر پایه این نمودار انجام شد. همانگونه که در شکل ۵- ب) و تحلیل های ام مه بخش ها به جز بخش C، دو کلاس از خطواره ها (کلاس A و کلاس B) کاملاً از هم تفکیک شده است. در بخش های ۹ گانه بالا (به جز بخش C) خطواره ها با امتداد STM (خطواره های کلاس A) فراوانی بیشتری دارند و سوی اصلی هستد. با توجه به شکل های ۵- الف و ب، کلاس A و کلاس B سوهای اصلی را برای همه خطواره ها شامل درزه ها و گسل ها در این منطقه نشان می دهند.

### 3- 2. تحلیل فرکتال نقشه شکستگیهای منطقه مورد مطالعه

تحلیل فرکتال در محدوده مورد مطالعه، به منظور تحلیل کمی ویژگیهای مکانی شکستگیهای موجود، تعیین بعد فرکتال، شناخت میزان نفوذپذیری، ارتباط میان شکستگیها و همچنین نقش آنها در شکل گیری پهنههای دگرسانی در منطقه انجام شد.

واژه فرکتال مشتق شده از واژه لاتین Fractuse به معنی سنگ شکسته و خرد شده است که اولین بار توسط (Mandelbrot (1983 معرفی شد. این واژه برای توصیف سطح سنگهای شکسته شده و نامنظم به کار برده شده است (Hirata, 1989) Mandelbrot (1983) و Brown and Scholz (1985) نشان دادند که هندسه سطح شکستگی سنگها، برای نمونه درزهها و گسل ها فرکتال هستند. در واقع، فرکتال کاربرد دورسنجی در آشکارسازی، شناخت و تحلیل ویژگیهای زمین ساختی مرتبط با دگرسانی... یک واژه کلی برای معرفی خودتشابهی است و به عنوان زیرشاخهای از تحلیل Gonzato et al., 1998; Ram and Roy, 2005; Fagereng, 2011; مختلط برای رفع ضعفهای هندسه اقلیدسی در بیان و مدل سازی از پدیده های طبیعی، بسط و گسترش یافته است. بعد فرکتالی، متغیری برای بررسی میزان پیجیدگی میان داده هاست و بر خلاف بعد اقلیدسی که یک عدد طبیعی است،

بجستان مورد ارزیابی قرار گرفت. در مطالعه انجام شده در خاور بجستان به منظور دقت بیشتر و به کمترین میزان رساندن خطاهای محاسباتی در رسم کنتورهای مشتق شده از بعد فرکتال، کل ناحیه با مساحت ۱۱۰ کیلومتر مربع (۲۰ ۸ ۲ ۱۰)، به ۴۲ مربع مساوی تقسیم بندی شد به طوری که هر سلول مساحتی به صورت ۲۰۰۰ × ۱۷۰۰ متر مربع را شامل شد. برای محاسبه بعد فرکتال، مقادیر شکستگی مربوط به هر سلول مربعی به نرمافزار فراکت آنالیز (Fractanalysis) وارد شد. بر پایه نتایج به دست آمده، بیشترین مقدار بعد فرکتال در ناحیه مورد مطالعه، ۱۸۷۰ به پین مقدار آن جامده، بیشترین مقدار بعد فرکتال در ناحیه مورد مطالعه، ۱۸۷۰ به دست آمد. مربعی به نرمافزار فراکت آنالیز (Fractanalysis) وارد شد. بر پایه نتایج به دست آمده بیشترین مقدار بعد فرکتال در ناحیه مورد مطالعه، ۱۸۷۰ به پین ترین مقدار آن جامده بیشترین مقدار بعد فرکتال در ناحیه مورد مطالعه، ۱۸۷۰ به دست آمد. مامده بیشترین مقدار بعد فرکتال در ناحیه مورد مطالعه، ۱۸۷۰ به دست آمد. آمده بینترین مقدار بعد فرکتال در ناحیه مورد مطالعه، ۱۸۷۰ به دست آمد. مقدام دست آمده است. میانگین بعد فرکتال برای کل منطقه ۱۳۹۵ به در ست آمد. مامده بعد فرکتال، نقشه کنتوری (Countor map) حاصل از توزیع فرکتال رسم شد (شکل ۶– الف) این نقشه می تواند افزون بر نمایش توزیع بعد فرکتال، برای مقایسه چگونگی توزیع شکستگی ها با چگونگی گسترش پهنههای دگرسانی و تشکیل کانی سازی در منطقه نیز مورد استفاده قرار گیرد.

### ۳- ۳. تحلیل خطوارهها با استفاده از متغیرهای آماری شامل محاسبه شدت، چکالی و تقاطع شکستگیها

از جمله متغیرهای کاربردی که در محاسبات آماری به منظور تحلیل خطوارهها استفاده می شود، می توان به متغیرهای شدت یا تراکم (Intensity) و چگالی یا تجمع (Density) اشاره کرد که توسط پژوهشگران مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (غلامزاده، ۱۳۹۳؛ Greenbaum, 1985 In-). همچنين محاسبه نقاط تلاقي شكستگي ها (Xypolias and Koukouvelas, 2004 tersection)، همراه با دو متغیر یادشده، متغیر کاربردی دیگریست که افزون بر مبحث تحلیل شکستگیها، در بحث اکتشاف ذخایر معدنی نیز کاربرد ویژه دارند. همه این متغیرها در واحد سطح (مساحت واحد) تعریف می شوند. شدت یا تراکم (I) بیانگر مجموع طول شکستگیها در واحد سطح، تجمع (ρ) برابر با تعداد شکستگیها در واحد سطح و نقاط تلاقی نشاندهنده تعداد نقاط تلاقی شکستگی ها در واحد سطح است. به منظور انجام محاسبات بالا، تعريف واحد سطح امري ضروري است؛ به عبارت ديگر كل محدوده مورد مطالعه باید شبکهبندی شود؛ در رسم یک شبکه مناسب، گسترش منطقه و مقدار پخش شدگی مکانی شکستگی ها باید در نظر گرفته شود. گسترده بودن محدوده، ابعاد بزرگ تر شکستگیها و تجمع بالای آنها در یک یا چند ناحیه، انتخاب ابعاد کوچکتر را برای سلولهای شبکه ایجاب می کند. با توجه به وضعیت تراکم شکستگیها در منطقه، برای به دست آوردن متغیرهای یاد شده از شبکه رسم شده برای مطالعات فرکتال استفاده شد؛ سپس متغیرهای تراکم، تجمع و نقاط تلاقی برای هر سلول بهصورت جداگانه به دست آمد. به منظور نمایش بهتر تغییرات مکانی تراکم، تجمع و نقاط تلاقی خطوارهها، مقادیر هر یک از متغیرها بهصورت نقشه منحنیهای تراز تهیه شد. شکل های ۶- ب، پ و ت به ترتیب نقشه منحنی های میزان مربوط به میزان تراکم، تجمع و نقاط تلاقی شکستگی ها را برای محدوده خاور بجستان نشان میدهند. در نقشه شدت یا تراکم طول خطواره (شكل ۶- ب)، بالاترين تمركز طول در جنوب خاور و شمال باختر منطقه به ترتیب دیده میشود. همچنین بخش کوچکی در شمال باختر منطبق با محدوده روستای تلخابوند (شکل۲) دارای تمرکز شکستگیها با طول بیشتر است. در نقشه چگالی یا تجمع، محاسبه فراوانی خطوارهها در واحد سطح (Greenbaum, 1985) بهصورت نقشه همتراز تمركز خطوارهها نشان داده شده است (شکل ۴- پ). این تحلیل با شمارش تعداد خطوارههای موجود در سطح مشخص شده انجام می گیرد؛ در محاسبه میزان تجمع اگر اندازه سلول های شبکه افزایش یابد، فراوانی مناطق تراكم بالا هم افزايش مي يابد. با توجه به اين نقشه، بخش جنوب خاوري منطقه، بيشترين تراكم خطوارهها را دارد. اين منطقه از ديد تطابق، همخواني فراواني با ميزان شدت خطوارهها (شکل ۶- ب) نشان ميدهد. مختلط برای رفع ضعف های هندسه اقلیدسی در بیان و مدل سازی از پدیده های طبیعی، بسط و گسترش یافته است. بعد فرکتالی، متغیری برای بررسی میزان پیچیدگی میان داده هاست و برخلاف بعد اقلیدسی که یک عدد طبیعی است، می تواند به صورت یک عدد حقیقی باشد. هدف هندسه فرکتالی، به دست آوردن و یافتن بعد فرکتالی برای مطالعه بهتر و پیش بینی رفتار آینده مجموعه ای از داده هاست (غلام زاده، ۱۳۹۳). به طور کلی شکل هندسی یک فرکتال دارای سه ویژگی مهم است: ۱) دارای ساختاری خود مشابه باشد؛ برای نمونه بخش هایی از تصویر همانند بخش های بزرگتری از تصویر باشد؛ مانند گل کلم به این ویژگی مهم است: ۱) دارای ساختاری نویژگی امندا مانند گل کلم به این ویژگی بتوان آن شی را باز تولید کرد. این ویژگی Iterative Formation نامیده می شود؟ ۳) بعد آن شی، اعشاری (است که هر خود تشابهی (Fractional Strik از ماه ایک فر کتال باید به این نکته دقت داشت که هر خود تشابهی (عال ماند) الزاماً یک فر کتال ناست؛ برای نمونه می توان به خط راست (دارای بعد یک) یا صفحه شطرنجی (دارای

در دهههای اخیر، مفهوم فرکتال بهطور گستردهای در بسیاری از مطالعات، برای نمونه تحلیل های ویژگی های کمی مکانی و تقسیمبندی شکستگی ها به La Pointe, 1988; Hirata, 1989; Davy et al., 1990;) كار برده شده است Velde et al., 1990 and 1991; Gillespie et al., 1993; Walsh and Watterson, 1993; Zhang and Sanderson, 1998; Odling et al., 1999; Volland and Kruhl, 2004; Seung-Ik et al., 2010). بهطور سنتی، مطالعه و توصيف شبکه شکستگیها بهطور بنيادين بر شناخت و مشخص کردن ویژگیهای دسته های شکستگی بر پایه عامل هایی چون سو، طول، فاصله، میزان پرشدگی توسط مواد و دیگر موارد مشابه متمرکز بوده است (;Rives et al., 1992 .(Bons, 2001; Kim et al., 2001; Kim and Park, 2006; Seung-Ik et al., 2010 شکستگیها می توانند به عنوان کلیدی شاخص در مطالعات تکوینی زمین ساخت ناحیهای در نظر گرفته شوند؛ اما خود می توانند یک فاکتور کنترلی برای شناخت تغيير شكل در توده سنگی و ميزان نفوذپذيری هم باشند (;La Pointe, 1988 Odling, 1992 and 1997; Odling et al., 1999; Berkowitz, 2002; .(Kim and Park, 2006; Baghbanan and Jing, 2007; Seung-Ik et al., 2010 همچنین در تئوری نفوذ پذیری (Percolation theory) بعد فرکتال به منظور مشخص کردن میزان ارتباط میان شکستگی ها استفاده شده است (;Feder, 1988 .(Barton, 1995; Seung-Ik et al., 2010

همچنین پژوهشگران در سالهای اخیر با انجام تحلیل بر روی الگوهای شکستگی گسلها و به ویژه گسلهای فعال و جوان دریافتهاند که این سامانهها از الگوی فرکتالی با خود مشابهی آماری پیروی میکنند (;King, 1983 Aviles and Scholz, 1987; Hirata, 1989; Barton, 1995; Poulimenos, 2000; Babadagli, 2002 (badagli, 2002) و بسیاری از آنها از مدل فرکتال برای بررسی ارتباط میان متغیرهای خاص الگوهای گسلی مانند طول گسلها، میزان جابهجایی، مقدار بازشدگی، فاصله میان گسل ها و چگونگی توزیع آنها در مقیاسهای مختلف استفاده کردهاند اصله میان گسل ها و چگونگی توزیع آنها در مقیاسهای مختلف استفاده کردهاند اینکه مجموعهای از دادهها دارای الگوی فرکتالی است، می توان یک بعد فرکتالی برای آن یافت تا مطالعه و پیش بینی رفتار مجموعه داده در آینده آسان تر باشد (غلام زاده، ۱۳۳۳).

در این بخش، برپایه نتایج مطالعات انجام گرفته و نقشه شکستگی های تهیه شده بر پایه داده های دورسنجی در مراحل پیشین و با به کارگیری روش شمارش مربعات (Box counting) که متداول ترین روش در تحلیل فرکتالی گسل هاست و توسط بسیاری از پژوهشگران به کار گرفته شده است (;Mandelbrot, 1983) Hirata, 1989; Turcotte, 1992; Idziak and Teper, 1996; Cello, 1997; ريحانه احمدي روحاني و همكاران

هدف از استفاده نقشه تراکم تقاطع خطواره ها، بر آورد مناطقی از جهت گیری گوناگون خطواره هاست. اگر خطواره ها در یک منطقه یکدیگر را قطع نکنند، نقشه حاصل شده، یک نقشه ساده بدون کانتور تراکمی خواهد بود و این نشانگر این موضوع است که خطواره های منطقه اگر از دید طول کوتاه نباشند، تقریباً موازی تا نیمه موازی هستند. محاسبه تقاطع شکستگی ها همچنین به شناخت احتمال وجود یا قابلیت ایجاد مسیرهای عبوری سیال ها کمک می کند. نتیجه تحلیل تقاطع شکستگی ها به صورت نقشه منحنی های همتراز در شکل ۶-ت آورده شده است. این شکل افزون بر همخوانی کلی با نقشه های همتراز تراکم و تجمع (شکل های ۶- ب و پ)، با نقشه توزیع بعد فرکتال (شکل ۶- الف) نیز تطابق خوبی نشان می دهد.

### ۳- ۴. پردازش دادهها با هدف آشکارسازی دگرسانیها

به منظور تعیین انواع دگرسانی های موجود در منطقه، پردازش داده های ماهواره در خاور بجستان انجام شده است (احمدی روحانی و همکاران، ۱۳۹۳). با پردازش داده های سنجنده استر (ASTER) و روش تحلیل طیفی نوع نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) بسیاری از دگرسانی های موجود در منطقه از جمله دگرسانی های اپیدوتی- کلریتی با گستردگی بالا و دگرسانی های هماتیتی، سرسیتی، کائولینیتی و سیلیسی در بخش های مختلف محدوده آشکار شدند (شکل ۶-ث).

همچنین با استفاده از ایند کس های آشکار کننده کانی های دگرسانی، با توجه به وجود اسکارن و سنگ های کربناته در منطقه، وجود کانی های کربناته و دگرسانی های دارای کربنات با استفاده از ایند کس سنگ های کربناته (CI) و ایند کس کلسیت (Pour and Hashim, 2012) (201) روی داده استر مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به همانندی نتایج حاصل از پردازش دو ایند کس یادشده، نتیجه حاصل از پردازش ایند کس کلسیت (شکل ۶- ج) نشانگر روند چیره واحدها و دگرسانی های کربناته از جمله واحدهای اسکارنی به صورت NW-SE همانند دیگر انواع دگرسانی های موجود در منطقه (شکل ۶- ث) است.

Calcite Index (CLI)-	BAND 6	BAND9	()
Culence index (CEI)-	BAND8	BAND8	0

# Carbonate Index (CI)= $\frac{BAND13}{BAND14}$ (r

به منظور درستی سنجی پردازش های انجام شده با داده استر برای تفکیک پهنه های دگرسانی در محدوده مورد مطالعه به ویژه روش AAA، چک صحرایی از جمله روی پیکسل هایی با امتیاز بالا (پیکسل های تیره تر در روش AAA) انجام شد. در انتخاب این نواحی، نوع ترکیب سنگی و دگرسانی و ارتباط آنها با معدنکاری های کهن نیز مورد نظر بوده است. دگرسانی های هماتیتی در محدوده آهن تلخابوند، پروپیلیتیک در محدوده علی آباد و آرژیلیک و سریسیتیک در محدوده مس کلاته گوک نشانگر درستی خوب پردازش ها است. مقایسه و بررسی نتایج حاصل از مطالعات فرکتال، متغیرهای آماری شکستگی ها و آشکارسازی انواع دگرسانی در منطقه (شکل ۶)، می تواند راهنمایی مناسب برای شناخت و مکانیابی توزیع کانیسازی در منطقه باشد. **۳ - ۵. مطالعات صحرایی** 

به منظور تأیید نتایج بهدست آمده از پردازشهای دورسنجی و بررسی وضعیت ساختارها و مطالعه پراکنش شکستگیها به بررسی و برداشت دادههای صحرایی در منطقه پرداخته شد. بیشتر اطلاعات برداشت شده شامل اطلاعات مربوط به امتداد، شیب، سوی شیب درزهها، دایکها، گسلها و همچنین متغیرهای جنبشی روی سطوح شامل خشهای گسلی، مقدار زاویه ریک و سوی ریک آنها و توجه به وضعیت گسلها و دیگر ساختارهای موجود بوده است. در این ناحیه همه واحدهای سنگی به ویژه گرانیتویید بجستان دچار شکستگیهای فراوان بر اثر تنشهای وارد شده به منطقه شدهاند (شکلهای ۷– الف و ب) و شکستگیهای اصلی در این محدوده در مطالعات صحرایی بیشتر آزیموتی میان ۱۰۰ تا ۱۳۰ درجه و شیب میانگین ۸۵ درجه

به سوی شمال خاور دارند. طول اثر گسل ها متغیر است و از ۵ تا ۳۰۰۰ متر با فراوانی متفاوت دیده می شوند. دایک های فلسیک و دیابازی در گرانیتوییدهای منطقه نفوذ کردهاند. این دایک ها افزون بر صحرا، در تصاویر ماهواره ای نیز قابل ردیابی هستند (شکل ۷- پ و ت). بیشتر دایک های منطقه در امتداد شکستگی های اصلی جایگزین شده اند. جوان تر بودن دایک های دیابازی با توجه به اینکه در برخی موارد دایک های فلسیک را قطع کرده اند (شکل ۷- ت) دیده می شود. دایک های SW- یا ماسی ک و دیابازی هستند؛ اما دایک های SW-SW تنها ترکیب دیابازی دارند.

بهطور کلی گسل های منطقه مورد مطالعه همان گونه که در مطالعات دورسنجی نیز مشخص شد شامل دو دسته با روند شمال باختری- جنوب خاوری و شمال خاوری-جنوب باختری هستند. دسته با روند شمال باختری– جنوب خاوری، روند چیره منطقه و به موازات دایکها و رگههای دیابازی و فلسیک منطقه هستند. این توازی نشاندهنده این است که این گسل ها در ابتدا به فرم درزههای کششی بودهاند؛ اما القای حرکت سبب تبدیل آنها به گسل شده است. تشکیل شکستگی های با زاویه ۱۵ تا ۲۰ درجه ساعت گرد از این دسته گسل ها نشاندهنده چرخش میدان تنش در ناحیه است. دسته دوم گسل های منطقه دارای روند شمال خاوری- جنوب باختری هستند و تنها برخی دایک های دیابازی در این راستا دیده می شوند. نمودار های گل سرخی رسم شده حاصل از داده های صحرایی در شکل ۸ چگونگی توزیع گسل ها و شکستگیها (شکل ۸- الف) و دایکهای موجود در منطقه (شکل ۸- ب) و امکان مقایسه میان این دو عارضه ساختاری را نشان میدهد. همان گونه که در شکل ۸- الف دیده می شود، دو دسته دایک در منطقه وجود دارند که امتداد چیره آنها NW-SE و به موازات گسل.های اصلی هستند؛ دایکهای با امتداد NW-SE ترکیب دیابازی و فلسیک و بیشتر آنها شیب زیاد دارند و میانگین شیب آنها ۸۵ درجه است. دسته دیگر دایکها امتداد NE-SW دارند. این دایکها از دید فراوانی بسیار کمتر از دسته پیش هستند و تنها ترکیب دیابازی دارند.

نتایج حاصل از برداشت.های صحرایی نیز تأییدکننده این موضوع است که دسته شکستگیهای NW-SE از دید فراوانی روند اصلی منطقه هستند و بهصورت نیمهموازی با گسل های اصلی ظاهر شدهاند. هر دو دسته شکستگی اصلی معرفی شده در منطقه، ابتدا بهصورت درزههای کششی تشکیل شده و پس از آن با ادامه تنش بهصورت گسل در آمدهاند. شواهد نشان دهنده این رخدادها، وجود دایک ها (شکل ۸- ب) و رگههای موازی با شکستگیها و گسلهای منطقه، وجود ساختارهای درختی در پهنههای تخریب پایانهای و همچنین وجود عدسیهایی در پهنههای تخریب اتصالی هستند. همچنین فعالیت دوباره گسل.ها از وجود خش لغزش های گسلی با سوی حرکت متفاوت به ویژه در سطوح گسل های شمال باخترى- جنوب خاورى به خوبي دريافت مي شود (افشارنجفي و همكاران، ١٣٩٤). شواهد صحرایی موجود در منطقه تا حدودی بیانگر چگونگی تشکیل شکستگیهای منطقه هستند. شواهد کینماتیکی موجود، روابط سنی یاد شده را نشان میدهند: ۱) شکستگیهای NW-SE جوانتر از دایکها و رگههای همروند خود هستند، چون درون دایکها و رگهها شکل گرفتهاند. ۲) شکستگیهای NE-SW نیز جوانتر از دایکهای اخیر هستند؛ چون درون آنها نیز تشکیل و حتی سبب جابهجایی آنها بەصورت چپرو نىز شدەاند.

با توجه به شواهد صحرایی، برای همه روندهای گسلی، دو مؤلفه حرکتی امتدادلغز راسترو و امتدادی چپرو تعیین شد. با توجه به شکل ۳- ج، دو گسل راسترو موجود در جنوب و شمال توده گرانیتی خاور بجستان به عنوان عامل برش (Y) رفتار می کند و سپس القای حرکت روی این گسلها در نتیجه چرخش تنش های زمین ساختی، سبب ایجاد شکستگی های دسته A با زاویه ۱۰ تا ۱۵ درجهای ساعت گرد و با مؤلفه امتدادی راسترو قابل مقایسه با شکستگی های نوع R از این سامانه می شود و تشکیل گسل های چپرو با روند شمال خاوری – جنوب باختری (دسته B) را می توان به عنوان 'R در نتیجه ادامه دگرریختی پیشرونده و القای حرکت روی شکستگی های نوع R دانست.

## ۴- بحث و نتیجهگیری

در مقایسه با داده های لندست +ETM و مدل ارتفاع رقومی (DEM)، داده های اسپات –۵ با دو ویژگی آشکار و ارزشمند خود شامل تفکیک مکانی قابل توجه (۲/۵ متر) و دید استریوپیک، ابزاری پایه، کاربردی و ارزشمند در زمینه استخراج خطوارهها هستند. دادههای اسپات می توانند در زمینه آشکارسازی، تشخیص بیشتر خطوارهها و در نتیجه تحلیل ساختاری مرتبط با خطوارهها به ویژه در نواحی مانند خاور بجستان که در آن تودههای گرانیتوییدی و دیگر واحدهای زمین شناسی به خوبی برونزد یافتهاند و پوشش گیاهی کمینه است، کمک شایانی کند. استفاده از فیلترهای آشکارسازی مکانی (Spatial filters) مانند فیلترهای High-Pass (فیلتر ۱۱\*۱۱ Sharpen) و فیلترهای استاندارد (مانند Threshold و Sobel) در نرمافزار Er-Mapper روی داده اسپات-۵ این امکان را فراهم می سازد تا بتوان خطواره های اصلي (گسلها) و فرعي (درزهها) موجود در منطقه را به خوبي آشکارسازي و تحليل کرد. در مطالعات انجام شده به وسیله پردازش دادهها در طی دو مرحله، دو دسته شکستگی اصلی در منطقه شناسایی شدند که بررسیها و شواهد صحرایی نیز وجود این دو دسته را کاملا تأیید می کند. دسته A دارای امتداد NW-SE و دسته B دارای امتداد NE-SW هستند. بررسیها و شواهد صحرایی شامل پایانهها، نوع تقاطع، روابط بریدگی و قطع شدگی دسته های مختلف نشان می دهد که گسل ها و درزه های موازی با آنها، دسته اصلي و اولیه در منطقه هستند که دسته شکستگی های A و B در اثر القای حرکت روی این گسل ها تشکیل شدهاند.

نقشه شکستگی حاصل از مطالعات دورسنجی و صحرایی افزون بر کاربرد در تحلیلهای زمین ساختی، نقش مهمی در شناخت نقش شکستگیهای موجود در انتقال جریان سیالها، ایجاد دگر سانیها و در نتیجه کنترل کانی سازی تو سط محلولهای گرمابی دارند. به منظور بررسی و تحلیل ویژگی های شکستگیها از جمله نفوذپذیری و ارتباط میان آنها و شناخت نقش آنها در تشکیل پهنههای کانی سازی در منطقه، تحلیل فرکتال بر پایه نقشه شکستگی های حاصل از پردازش داده ها به روش شمارش مربعات انجام گرفت. (1989) Hirata پیشنهاد کرد که حد بالای بعد فرکتال شمارش مربعات انجام گرفت. (۱۹89) Hirata پیشنهاد کرد که حد بالای بعد فرکتال فرکتال در یک شبکه گسلی تو سعه یافته (۱۹۵۲) است. با توجه به میزان محاسبه شده بعد فرکتال در محدوده مورد مطالعه (میان ۲۰/۸ تا ۱/۵۷) و تعیین میزان متو سط آن (۱/۳۵)، با استفاده از الگوریتم شمارش مربعات (Box counting)، می توان نتیجه

همچنین افزایش در بعد فرکتال، یک شاخص برای نشان دادن گسترش بیشتر شاخههای گسلی، چگالی بالای شبکه گسلی و همچنین افزایش تغییر شکل در ناحیه است (Hirata, 1989). مقادیر بعد فرکتال در دو محدوده باختر (شمال باختر) و جنوب خاور محدوده مورد مطالعه افزایش می یابد. تجمع بعد فرکتال در این دو منطقه نشانگر تکامل و تغییرات ساختاری بیشتر و گسترش شاخههای گسلی در این مناطق است؛ بنابراین شبکه شکستگی در این مناطق گسترش یافته و بالغ است.

در تئوری نفوذپذیری (Feder, 1988; Barton, 1995) ارتباطی مستقیم میان بعد فرکتال و شبکه شکستگی ها در نظر گرفته شده است. این مفهوم که گسل ها و شکستگی ها قابلیت گسترده ای در تولید فضاها و مسیرهای سیالات گرمابی در پوسته دارند کاملاً شناخته شده و غیر قابل انکار است (Knipe, 1993; Sibson, 1994). تحلیل های آماری چون تراکم، تجمع و تحلیل تقاطع شکستگی ها، افزون بر تحلیل های ساختاری، اطلاعات کاربردی مفیدی در زمینه محاسبه ارتباطات میان شکستگی ها به ویژه تعیین مقدار نفوذپذیری سیالها،

کاربرد دورسنجی در آشکارسازی، شناخت و تحلیل ویژگیهای زمینساختی مرتبط با دگرسانی...

تشکیل دگرسانی و احتمال کانیسازی در آنها مشخص می کند. این اطلاعات کمک می کند تا افزون بر شناخت سامانه ساختاری اصلی منطقه، چگونگی ارتباط میان مسیرهای عبور سیالها شناخته شود (Elfouly, 2000). نتیجه تحلیل تقاطع شکستگی ها بهصورت نقشه منحنی های هم تراز درشکل ۴- ت افزون بر همخوانی کلی با نقشه های هم تراز تراکم (شکل ۶-ب) و تجمع (شکل ۶- پ)، با نقشه توزیع بعد فراکتال (شکل ۶-الف) نیز تطابق خوبی نشان میدهد و نشانگر چگونگی ارتباط میان مسیرهای عبور سیالها و تمرکز آنها در دو ناحیه جنوب خاور محدوده با راستای شمال باختر – جنوب خاور و شمال باختر محدوده منطبق بر بخش شمالي توده اصلي گرانیتوییدی بجستان است. مقایسه تصویری نقشههای تراکم (شکل ۶- ب)، تجمع (شکل ۶- پ) و نقاط تلاقی خطوارهها (شکل ۶- ت) نشان میدهد که هر سه نقشه از بسیاری جهات تطابق و همخوانی بالایی دارند. برای نمونه نقشه تراکم، افزون بر نمایش بیشترین مقدار در دو ناحیه، همه بخشهای دارای بیشترین نقاط تلاقی را نیز تحت پوشش قرار داده است. به عبارت دیگر در مناطقی که تراکم طول خطواره ها بيشتر است؛ امكان تلاقى خطواره ها با يكديگر نيز بيشتر است. تطابق محدوده اكتشافي اسکارن آهن کلاته اوبی و مس کلاته کوک در جنوب خاور منطقه و بی هنجاری مس علىآباد در شمال توده گرانيتوييدي (شكل ۲) با محدوده هاي با بيشترين ميزان شدت و چگالی بهروشنی بیان کننده ارتباط میان شکستگیها با کانیسازیهای موجود در منطقه است.

آشکارسازی دگرسانی های محدوده پردازش داده های استر (ASTER) منطقه با استفاده از روش های ترکیب باندی، نسبت باندی و تحلیل طیفی به روش SAM انجام شد. نتایج نشانگر وجود دگرسانی های پروپلیتیک با روند اصلی SE-NW-SE و همچنین شد. نتایج نشانگر وجود دگرسانی های پروپلیتیک با روند اصلی SE-NW-SE و همچنین بر محدوده کانی سازی های مهم در منطقه است (شکل ۹- ث) همچنین با توجه به فراوانی کانی سازی نوع اسکارن در منطقه و همراهی کانی کلسیت در دگرسانی پروپلیتیک، از ایند کس آشکارسازی کربنات برای مشخص کردن کانی های کربناته استفاده شد. در پردازش انجام شده مناطق گستردهای با روند SE-NW و بخش هایی در جنوب خاور محدوده با میزان کربنات بالا مشخص شدند (شکل ۶- ج). نتایج پردازش های آشکارسازی دگرسانی، نشانگر انطباق آنها با روند شکستگی های اصلی منطقه و نتایج حاصل از تحلیل فرکتال و متغیرهای آماری در منطقه است.

تلفیق اطلاعات حاصل از نتایج بیان شده (نقشه شکستگیها) و تحلیل زمین ساختی آنها، آشکارسازی و شناخت انواع دگرسانیها، تحلیل و اندازه گیری بعد فرکتال و محاسبات متغیرهایی چون: تراکم، تجمع و تلاقی خطوارهها، نشانگر احتمال بالای کانیسازی در طول شکستگیهای با روند SE است. حضور دو محدوده معدنی شناخته شده چون مس کلاته کوک و آهن کلاته اوبی و چندین بیهنجاری معدنی (اندیس مس علیآباد) در این روند تأییدکننده پردازشها و نتایج حاصل و راهنمایی مفید برای شناسایی مکانهای مستعد کانهزایی در مراحل اکتشاف تفضیلی در منطقه است.

## سپاسگزاری

این مقاله در ارتباط با طرح پژوهشی به شماره ۱۸۳۰۰/۳ مورخ ۱۳۹۰/۴/۱۲ دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است. نویسندگان مقاله از سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور به ویژه آقای دکتر جعفر طاهری مدیر کل اداره زمین شناسی و اکتشافات معدنی شمال شرق کشور که در تهیه دادههای لازم و انجام مراحل مختلف این پژوهش همکاری داشتهاند؛ سپاسگزاری می کنند.

### ریحانه احمدی روحانی و همکاران





شکل ۱- نمودار نشاندهنده مراحل کار در این پژوهش.



شکل ۲– نقشه زمینشناسی ساده شده از محدوده مورد مطالعه، حاصل تغییر و پیوستن دو نقشه زمینشناسی به مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ بجستان (عاشوری و همکاران، ۱۳۸۶) و فردوس (پورلطیفی، ۱۳۸۱) .



شكل ۴- الف) نقشه خطوارههاي اصلی(گسل ها) منطقه با استفاده از داده لندست،DEM و داده اسپات- ۵؛ ب) نمودار گلسرخی (Rose Diagram) برای خطواره های اصلی منطقه؛ پ) نقشه کل خطوارهها (گسلها و درزهها)؛ ت) نمودار گلسرخی برای همه خطوارههای موجود در منطقه، استخراج شده از پردازش دادههای اسيات-۵.





N



High-Pass روی داده لندست+ETM؛ ب) تصویر Hill shade حاصل از DEM محدوده مورد مطالعه با اعمال فيلتر Directional بهصورت N90E؛ پ) تصوير RGB از داده اسپات –۵ محدوده مورد مطالعه پیش از اعمال فیلتر؛ ت) اعمال فيلتر Sharpen 11.11 روى تصوير اسپات-٥؛ ث) به کارگیری همزمان فیلترهای آستانه۳ و سوبل۲ برای آشکارسازی خطوارهها در محدوده مورد مطالعه روی داده اسپات-۵؛ ج) طرح نمادین از سازو کار سامانه برشی ساده.

Archive of SID





شکل ۵-الف) تقسیم محدوده مورد مطالعه به ۹ بخش مساوی برای انجام مطالعات دقیق روی همه خطوارهها در بخش های مختلف منطقه؛ ب) محاسبه آزیموت و رسم نمودار گلسرخی برای هر بخش.

المارويد و

58°14'E 58°15'E 58°16'E 58°17'E 58°18'E 58°19'E 58°20'E 58°21'E







ب



الف

58"14'E 58"15'E 58"16'E 58"17'E 58"18'E 58"19'E 58"20'E 58"21'E

### ريحانه احمدي روحاني و همكاران



شکل ۷- الف) انواع مختلف گسل ها و شکستگی ها (نشانگر های سرخ) در محدوده مورد مطالعه؛ ب) شکستگی های ایجاد شده در سنگ های گرانیتوییدی در جنوب محدوده مورد مطالعه؛ پ) دایک دیابازی برونزد یافته همسو با سوی اصلی شکستگی ها NW-SE در مطالعات صحرایی. ت) تصویر ماهوارهای از یک دایک ستبر فلسیکی در سنگ های گرانیتوییدی که بهصورت همسو با سوی اصلی گسل ها NW-SE برونزد یافته و به وسیله یک دایک دیابازی با سوی NE-SW قطع شده و بیانگر کهن تر بودن دایک های اسیدی در منطقه است؛



شکل ۸- نمودار گل سرخی حاصل از داده های صحرایی. الف) گسل ها و شکستگی های منطقه؛ ب) نمودار دایک های موجود.

اللي المحافظة





### كتابنگاري

- احمدی روحانی، ر.، کریمپور، م. ح.، رحیمی، ب. و ملکزاده شفارودی، آ.، ۱۳۹۳-بارزسازی پهنههای دگرسانی و ساختارهای خطی در محدوده خاور بجستان با استفاده از پردازش دادههای SPOT Landsat ETM و +Landsat ETM و دادههای ژئوفیزیک: فصلنامه علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، زمستان ۹۳، مص. ۲۵۲
- ارجمندزاده، ر.، ۱۳۹۰- مطالعات کانیسازی، ژئوشیمی، سنسنجی و تعیین جایگاه تکتنوماگمایی تودههای نفوذی در اندیس معدنی دهسلم و چاه شلغمی، بلوک لوت، شرق ایران، پایاننامه دکترا، دانشگاه فردوسی مشهد، ص. ۲۱۵.
  - افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹- تفکیک بخش های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضههای رسوبی: نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، صص. ۱۹ تا ۲۸.
- افشار نجفی، ص.، رحیمی، ب.، قائمی، ف. و احمدی روحانی، ر.، ۱۳۹۴- الگوهای آماری و فرکتالی آرایه شکستگیها در توده گرانیتی شرق بجستان بر پایه تکنیکهای دورسنجی: پژوهش های دانش زمین، سال ششم، شماره ۴۲، زمستان ۱۳۹۴، ص. ۱ تا ۱۵.

بابااحمدی،ع.، ۱۳۸۸ - کاربردهای سنجش از دور (RS) در زمین شناسی، نشر آوای قلم، ۱۷۶ .

پورلطيفي، ع.، ١٣٨١- نقشه زمين شناسي ٠٠٠, ١:١٠ فردوس: انتشارات سازمان زمين شناسي و اكتشافات معدني كشور.

سامانی، ب. و اشتری، ش.، ۱۳۷۱ - تکوین زمین شناسی ناحیه سیستان و بلوچستان: فصلنامه علوم زمین، شماره ۴، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

عاشوری، ع.، کریمپور، م.ح. و سعادت، س.، ۱۳۸۶- نقشه زمین شناسی ۲۰۰۰, ۱:۱۰ بجستان: انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

غلامزاده، م.، ۱۳۹۳ – تحلیل ساختاری و فرکتالی سیستمهای شکستگی سنگهای آهکی ژوراسیک منطقه اخلمد، شمال غرب بینالود، با استفاده از دادههای سنجش از دور و مطالعات صحرایی، پایانانامه کارشناسی ارشد. ۱۵۶ ص.

#### References

- Arlegui, L.E. and Soriano, M.A., 1998- Characterizing lineaments from satellite images and field studies in the central Ebro basin (NE Spain): International Journal of Remote Sensing 19: 3169–3185.
- Aviles, C. A. and Scholz, C. H., 1987- Fractal analysis applied to characteristic segments of the San Andreas fault: Journal of geophys. Res 92(B1): 331- 344.
- Babadagli, T., 2002- Scaling method to determine the fractal nature of 2-D fracture networks: Journal of Math. Geol 34: 647-670.
- Baghbanan, A. and Jing, L., 2007- Hydraulic properties of fractured rock masses with correlated fracture length and aperture: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 44: 704–719.
- Bartlett, W. L., Friedman, M. and Logan, J. M., 1981- Experimental folding and faulting of rocks under pressure. Tectonophysics 79: 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 in the Earth Sciences, Plenum Press, New York and London, p. 141–178.
- Berberian, M. and King G. C. P., 1981- Towards paleogeogeraphy and tectonic evolution of Iran: Canadian Journal of Earth Science 18: 210-265.
- Berberian, M., 1982- Aftershock tectonics of the 1978 Tabas-e-Golshan (Iran) earthquakesequence:adocumentedactive 'thin-andthick-skinned tectonic' case Geophys: Journal R. astr. Soc 68: 499–530.
- Berberian, M., Jackson, J. A., Qorashi, M., Khatib, M. M., Priestley, K., Talebian, M. and Ghafory-Ashtiany, M., 1999- The 1997 may 10 Zirkuh (Qa'enat) earthquake (Mw 7.1): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran: Geophys. J.Int 136: 671-694.
- Berkowitz, B., 2002- Characterizing flow and transport in fractured geological media. A review advances in Water Resources 25: 861–884. Bons, P. D., 2001- The formation of large quartz veins by rapid ascent of fluids in mobile hydrofractures: Tectonophysics 336: 1–17.
- Brown, S. R. and Scholz, C. H., 1985- Broad bandwidth study of the topography of natural surfaces: d. Geophys. Res 90: 12575-12582.
- Camp, V. and Griffis, R., 1982- Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran: Lithous 15: 221–239.
- Cello, G., 1997- Fractal analysis of a Quaternary fault array in the central Apennines, Italy: Journal of Structural Geology 19: 945-953.
- Davoudzadeh, M., Soffel, H. and Schmidt, K., 1981- On the rotation of the central-east-Iran microplate: Neues Jahrbuch Geologie und Palaeontologie, Abhandlungen, Monatshefte 3: 180-192.
- Davy, PH., Sornette, A. and Sornette, D., 1990- Some consequences of a proposed fractal nature of continental faulting: Nature 348: 56–58.
- Doglioni, C., Tonarini, S. and Innocenti, F., 2009- Mantle wedge asymmetries and geochemical signatures along W- and E-NE directed subduction zones: Lithos 113: 179–189.
- Drury, S. A., Kelley, S. P., Berhe, S. M., Collier, R. E. and Abraham, M., 1994- Structures related to Red Sea evolution in northern Eritrea: Tectonics 13:1371–1380.
- Elfouly, A., 2000- Major Structure Patterns Identification and Hydrothermal Delination using Density of Lineament Intersections. ASPRS 2000, The Image and Geospacial Information Society, Washington, DC, USA.
- Eshghi Molan, Y., Refahi, D. and Hosseinmardi Tarashti, A., 2014- Mineral mapping in the Maherabad area, eastern Iran, using the HyMap remote sensing data: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 27: 117-127.
- Fagereng, A., 2011- Fractal vein distributions within a fault-fracture mesh in an exhumed accretionary mélange, Chrystalls Beach Complex, New Zealand: Journal of Structural Geology 33: 918-927.
- Feder, J., 1988- Fractals. Plenum Press, New York, 283 pp.
- Gansser, A., 1995- New aspects of the geology in central Iran: 4th World Petroleum Cong. Proc: Rome, Sec, I/A/5, Paper2, p. 279-300.
- Ghosh, A. and Daemen, J. K., 1993- Fractal characteristics of rock discontinuities: Eng. Geol34: 1-9.
- Gillespie, P. A., Howard, C. B., Walsh, J. J. and Watterson, J., 1993- Measurement and characterization of spatial distributions of fractures: Tectonophysics 226: 131-141.

حانه احمدي روحاني و همكاران	ري
-----------------------------	----



- Golonka, J., 2004-Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic: Tectonophysics 38: 235–273.
- Gonzato, G., Mulargia, F. and Marzocchi, W., 1998- Practical application of fractal analysis: problems and solutions: Geopys. J. Int, V.132.
- Greenbaum, D., 1985- Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith: Brit Geol. Surv. Rep. OD 85/8, 36pp.
- Hashim, M., Ahmad, S., Md Johari, M. A. and Beiravand Pour, A., 2013- Automatic lineament extraction in a heavily vegetated region using Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) imagery: Advances in Space Research 51: 874–890.
- Hirata, T., 1989- Fractal dimension of fault systems in Japan: fractal structure in rock fracture geometry at various scales: Pure and Applied Geophysics 131: 157–169.
- Idziak, A. and Teper, L., 1996- Fractal Dimention of Fault Network in the Upper Silesian Coal Basin (Poland): Preliminary Studies. J. of Pu. Appl. Geophys, V.147, No.2.
- Jackson, J., Haines, J. and Holt, W., 1995- The accommodation of Arabia-Eurasia Plate convergence in Iran: Journal of Geophysical Research 100: 205-215.
- Jaeger, J. C., Cook, N. G. W. and Zimmerman, R. W., 2007- Fundamentals of Rock Mechanics: Blackwell publishing, p. 1-475.
- Jensen, J. R., 1996, Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Prentice Hall, 316 pp.
- Jensen, J. R., 2005- Introductory Digital Image processing (3rd edition), Prentice Hall.526 pp.
- Jung, D., Keller, J., Khorasani, R., Marcks, C., Baumann, A. and Horn, P., 1983- Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, East of Iran: Geological Survey of Iran, Geodynamic Project (Geotraverse) in Iran 51: 285–336.
- Kar, A., 1994- Lineament control on channel behavior during the 1990 flood in the south- eastern Thar Desert: International Journal of Remote Sensing 15: 2521-2530.
- Karimpour, M. H., Malekzadeh-Shafaroudi, A., Stern, C. R. and Hidarian, M. R., 2008- UsingETM+ and airborne geophysics data to locating porphyry copper and epithermalgold deposits in Eastern Iran: Journal of Applied Science 8: 4004–4016.
- Karimpour, M. H., Stern, C. R., Farmer, L., Saadat, S. and Malekezadeh-Shafaroudi, A., 2011- Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran: Journal Geope 1: 19-36.
- Kim, S. and Casper, R., 2013- Applications of convolution in image processing with MATLAB: University of Washington, p. 1-20.
- Kim, Y. S. and Park, J. Y., 2006- Cenozoic deformation history of the area aroung Yangnam–Yangbuk, SE Korea and its tectonic significance: Journal of Asian Earth Sciences 26: 1–20.
- Kim, Y. S., Andrews, J. R. and Sanderson, D. J., 2001- S Reactivated strike-slip faults: examples from north Cornwall, UK: Tectonophysics 340: 173–194.
- King, G., 1983- The accommodation of large strains in the upper lithosphere of the earth and other solids by self-similar fault system: The geometrical origin of the b-value: Journal of Pure Appl. Geophys 121:761-815.
- Knipe, R. J., 1993- The influence of fault zone processes and diagenesis on fluid flow, in Horbury, A.D., and Robinson, A.G., eds., Diagenesis and Basin Development: American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology 36: 135–151.
- Koch, M. and Mather, P. M., 1997- Lineament mapping for groundwater resource assessment: a comparison of digital Synthetic Aperture (SAR) imagery and stereoscopic Large Format Camera (LFC) photographs in the Red Sea Hills, Sudan: International Journal of Remote Sensing 18: 1465–1482.
- Korvin, G., 1992- Fractal models in the earth sciences, Amsterdam, Elsevier, 408 pp.
- Kresic, N., 1995- Remote sensing of tectonic fabric controlling groundwater flow in Dinaric Karst: Remote Sensing of Environment 53: 85-90.
- La Pointe, P. R., 1988- A method to characterize fracture density and connectivity through fractal geometry: International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts 25: 421-429.
- Liu, R., Jiang, Y., Li, B. and Wang, X., 2015- A fractal model for characterizing fluid flow in fractured rock masses based on randomly distributed rock fracture networks: Computers and Geotechnics 65: 45-55.
- Malekzadeh-Shafaroudi, A., Karimpour, M. H. and Stern, C. R., 2015- The Khopik porphyry copper prospect, Lut Block, Eastern Iran: Geology, alteration and mineralization, fluid inclusion, and oxygen isotope studies: Ore Geology Review 65: 522-544.
- Mandelbrot, B. B., 1983- The Fractal Geometry of Nature. W. H. Freeman, New York.
- Marghany, M. and Hashim, M., 2010- Lineament mapping using multispectral remote sensing satellite data: International Journal of the Physical Sciences 5 (10):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 Afric. Earth Sci 45: 467–477.
- Morelli, M. and Piana, F., 2006- Comparision between remote sensed lineaments and geological structures in intensively cultivated hills, Monferatto and Langhe domains, NW Italy: International Journal of Remote Sensing 27 (20): 4471-4493.
- Odling, N. E., 1992- Network properties of a two-dimensional natural fracture pattern: Pure and Applied Geophysics 138: 95–114.
- Odling, N. E., 1997- Scaling and connectivity of joint systems in sandstones from western Norway: Journal of Structural Geology 19: 1257–1271.
- Odling, N. E., Gillespie, P., Bourgine, B., Castaing, C., Chilés, J. P., Christensen, N. P., Fillion, E., Genter, A., Olsen, C., Thrane, L., Trice, R., Aarseth, E., Walsh, J. J. and Watterson, J., 1999- Variations in fracture system geometry and their implications for fluid flow in fractured hydrocarbon reservoirs: Petroleum Geoscience 5: 373-384.
- Philip, G., 1996- Landsat Thematic Mapper data analysis for Quaternary tectonics in parts of the Doon Valley, NW Himalaya, India: International Journal of Remote Sensing 17: 143-153.

زگیهای زمینساختی مرتبط با دگرسانی	ِساری، شناخت و تحلیل وی	کاربرد دورسنجی در آشکار
-----------------------------------	-------------------------	-------------------------

- Poulimenos, G., 2000- Scaling properties of normal fault populations in the Western Corinth Networks, Greece: Implication for fault growth in large strain setting: Journal of struct. Geol 22: 307-322.
- Pour, A. B. and Hashim, M., 2012- The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits: Ore Geol Rev 44: 1-9.
- Ram, A. and Roy, P. N. S., 2005- Fractal dimensions of blocks using a box-counting technique for the 2001 Bhuj earthquake, Gujarat, India 162: 531-548.
- Rives, T., Razack, M., Petit, J. P. and Rawnsley, K. D., 1992- Joint spacing: analogue and numerical simulations: Journal of Structural Geology 14: 925–937.
- Rolet, J., Ye'sou, H. and Besnus, Y., 1995- Satellite image analysis of circular anomalies and fracturing networks in the Armorican Massif, France: Mapping Science and Remote Sensing 32: 21-43.
- Rosenberg, F., 1981- Geochemische and petrologische underssuchungen und magmatiten der intrusion Bejestan ostiran diplomarabeit: Min. Petr.Humburg.
- Rowen, L. C. and Bowers, T. L., 1995- Analysis of linear features mapped in Landsat Thematic Mapper and Side-Looking Airborne Radar images of the Reno 10 by 20 Quadrangle, Nevada and California, Implications for mineral resource studies: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 61: 749-759.
- Saccani, E., Delavari, M., Beccaluva, L. and Amini, S. A., 2010- Petrological and geochemical constraints on the origin of the Nehbandan ophiolitic complex (eastern Iran): implication for the evolution of the Sistan Ocean: Lithos 117: 209–228.
- Sella, G. F., Dixon, T. H. and Mao, A., 2002- A model for recent plate velocities from space geodesy: Journal Geophys. Res., 107, 10.129/2000JB000033.
- Seung-Ik, P., Young-Seog, K., Chung-Ryul, R. and Sanderson, D. J., 2010- Fractal analysis of the evolution of a fracture network in a granite outcrop, SE Korea: Geosciences Journal 14(2): 201-215.
- Shupe, S. M. and Akhavi, M. S., 1989- Integration of remotely sensed and GIS data for mineral exploration: Halifax Pluton area, Nova Scotia, Canada: Geocarto International, 4-3, p. 49-54.
- Sibson, R. H., 1994- Crustal stress, faulting, and fluid flow, in Parnell, J., ed., Geofluids: Origin, Migration, and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins: Geological Society of London Special Publication 78: 69–84.
- Soffel, H. and Forster, H., 1980- Apparent pollar wander path of central Iran and its Geotectonic interpretation: Journal Geomag. Geoelectr 32, Suppl. III, p. 117-135, Tokyo.
- Solomon, S. and Ghebreab, G., 2006- Lineament characterization and their tectonic significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea: Journal of African Earth Sciences 46: 371-378.
- Stocklin, J. and Nabavi, M. H., 1973- Tectonic map of Iran. Geological Survey of Iran.
- Tarkian, M., Lotfi, M. and Baumann, A., 1983- Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran: Geological Survey of Iran, geodynamic project (geotraverse) in Iran 51: 357–383.
- Tibaldi, A. and Ferrari, L., 1991- Multisource remotely sensed data, field checks and seismicity for the definition of active tectonics in Ecuadorian Andes: International Journal of Remote Sensing 12: 2343-2358.
- Tirrul, R., Bell, I. R., Griffis, R. J. and Camp, V. E., 1983- The Sistan suture zone of Eastern Iran: Geological Society of America Bulletin 94: 134–156. Turcotte, D. L., 1992- Fractals and Chaos in Geology and Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge, 221pp.
- Velde, B., Dubois, J., Moore, D. and Touchard, G., 1991- Fractal patterns of fractures in granites: Earth and Planetary Science Letters 104: 25-35.
- Velde, B., Dubois, J., Touchard, G. and Badri, A., 1990- Fractal analysis of fractures in rocks: the Cantor's Dust method: Tectonophysics 179: 345-352.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiany, M., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chéry, J., 2004- Contemporary crustal deformation and plate kinematics in the Middle East Constrained by GPS measurements in Iran and Northern Oman: Geophysical Journal International 157: 381-398.
- Volland, S. and Kruhl, J. H., 2004- Anisotropy quantification: the application of fractal geometry methods on tectonic fracture patterns of a Hercynian fault zone in NW-Sardinia: Journal of Structural Geology 26: 1489-1500.
- Walker, R. and Jackson, J., 2002- Offset and evolution of the Gowk fault, S.E. Iran: a major intra continental strike-slip system: Journal Struct. Geol 24: 1677-1698.
- Walker, R. and Jackson, J., 2004- Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran: Tectonics, V. 23, TC5010.
- Walker, R. and Khatib, M. M., 2006- Active fulting in the Birjand region of in eastern Iran: Tectonics 25: 1-17.
- Walker, R., Jackson, J. and Baker, C., 2003- Surface expression of thrust faulting in eastern Iran: Source parameters and surface deformation of the 1978 Tabas and 1968 Ferdows earthquake sequences: Journal Geophys 152: 749 765.
- Walker, R., Jackson, J. and Baker, C., 2004- Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran: Geophysical Journal International 157: 265-282.
- Walsh, J. J. and Watterson, J., 1993- Fractal analysis of fracture patterns using the standard box-counting technique: valid and invalid methodologies: Journal of Structural Geology 15: 1509- 1512.
- Weinhaus, F., 2014- Digital Image Filtering, electronic version, p. 1-39.
- 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. INT. J. REMOTE SENSING (in press).
- Zhang, X. and Sanderson, D. J., 1998- Numerical study of critical behaviour of deformation and permeability of fractured rock masses: Marine and Petroleum Geology 15: 535–548.

## Application of remote sensing to enhance, recognize and analysis of the structural characteristics of alteration-related lineations in the Bajestan area, East of Iran

### R. Ahmadi Rouhani<sup>1</sup>, M. H. Karimpour<sup>2\*</sup>, B. Rahimi<sup>2</sup>, A. Malakzadeh Shafaroudi<sup>3</sup> and S. Najafi Afshar<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
 <sup>2</sup>Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
 <sup>3</sup>Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
 <sup>4</sup>M.Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
 Received: 2016 May 02
 Accepted: 2016 September 19

### Abstract

The studied area is located at the east of Bajestan city and south west of Khorasan Razavi province. This region is at the north of the Lut Block, the largest structural block in east of Iran. Structure of this area is affected by activity of deep strike-slip faults in the boundary of the blocks. Lineaments are mapped by the means of SPOT-5 and Landsat satellite data and DEM data. Structural studies were carried out in two stages: at first, main faults were indicated, mapped and analyzed and then for more detail research, total lineaments (faults and joints) were mapped and analyzed. Verification studies were conducted with field surveys. Remote sensing studies indicate importance of applying enhancement filters like standard kernels on stereoscopic data like SPOT as an efficient tool for structural studies, especially for lineament extracting. Fractal studies and using fractures statistical parameters (based on fracture map obtained by remote sensing data) in the area in addition to determining fractal dimension, were used as complementary methods for recognition structural evolution and specifying the most probability of mineralization occurrence. Fractal, structural-statistical analyzes, field and remote sensing studies on fracture systems in the area indicate that structural elements in the studied area, most probably are related to the main strike-slip faults activities and can be considered as Riedel shear fractures in its wall of damage zone. Also the results indicate that most of the lineaments in this area are extensional fractures corresponding to both dykes emplacement and alteration zones associated with mineralization. Combining the mentioned information can play important role in identifying structural evolution processes and specifying areas with more mineralization potential.

**Keywords:** Remote sensing, lineaments enhancement filters, shear fracture system, Lut structural Block, Bajestan. For Persian Version see pages 169 to 182 \*Corresponding author: M. H. Karimpour; E-mail: Karimpur@um.ac.ir