

بررسی شکستگی‌های ساختاری منطقه اخلمد (شمال غرب بینالود) با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای و مطالعه الگوهای فراکتالی سیستم‌های شکستگی

مریم غلامزاده^{1*}، بهنام رحیمی²، فرزین قائمی²، ریحانه احمدی روحانی³

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد تکنیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران (Mary_ghh@yahoo.com)

² دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران (B_rahimi2000@yahoo.com و farzinmail@yahoo.com)

³ دانشجوی دکتری زمین شناسی اقتصادی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران (r_ahmadirohany@yahoo.com)

چکیده

در این تحقیق با استفاده از روش‌های سنجش از دور و پردازش داده‌های ماهواره‌ای، سیستم‌های شکستگی منطقه اخلمد رسم و در مرحله بعد الگوی فراکتالی آنها مورد بررسی قرار گرفت. در اینجا با توجه به مورفولوژی مرتبط با گسلش از چند تکنیک مختلف برای بارزسازی گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در منطقه استفاده شده است. جهت مطالعه محدوده مورد نظر از داده‌های SPOT5، Landsat ETM+ و Aster استفاده گردید. جهت داشتن توان تفکیک مکانی بالاتر، باند Panchromatic، با تصاویر Landsat ETM+ تلفیق گردید. سپس این داده‌ها با هدف بارزسازی خطوط‌های تکنیکی، قطع‌شدگی‌های ناگهانی لیتولوژی و جابجایی ناشی از گسلش با استفاده از نرم‌افزارهای ER Mapper، ENVI و ArcGIS مورد پردازش قرار گرفت. همچنین از روش Sunshading برای شناسایی ناهمواری‌های ناشی از گسل‌ها بر روی داده‌های DEM منطقه مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با استفاده از تصاویر حاصل از تکنیک‌های مذکور نقشه شکستگی‌های ساختاری منطقه ترسیم شد. در مرحله بعد، الگوی فراکتالی حاکم بر شکستگی‌های ساختاری منطقه به روش مربع شمار انجام شد؛ که برای این منظور منطقه مطالعاتی را به 94 محدوده مجزا تقسیم و هر محدوده را بطور جداگانه تحلیل نمودیم. براساس نتایج بدست آمده مقدار بعد فراکتال در سه راستای N-S، NNW-SSE و E-W بیشتر است؛ چرا که مقدار D در این راستاها افزایش می‌یابد تا به 1/6 می‌رسد. به عبارت دیگر در طول تحول ساختاری منطقه این جهات بیشتر متکامل شده‌اند. با توجه به قطعی بودن این سه جهت، فعالیت مجدد منطقه در امتداد این سه روند صورت خواهد پذیرفت.

واژگان کلیدی: شکستگی ساختاری، سنجش از دور، بینالود، ژوراسیک، فراکتال

Investigation of fault and fractures Akhلامad (north west Binalud) based on the satellite data processing and studying fractal characteristics of fracture systems

Gholamzadeh, M.*¹, Rahimi, B.², Ghaemi, F.², Ahmadi Rohani, R.³

Tectonic student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran¹

Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran²

Economics PhD student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran³

Abstract

In this study, fracture systems of Akhلامad area was drawn using remote sensing methods and satellite data processing. Then their fractal pattern examined. Based on the regional fault related morphologies, different techniques were utilized to detect fault lines and fractures. To study the region, data of SPOT5, Landsat ETM+ and ASTER were used. The resulting image of Landsat ETM+ merged with Panchromatic band for increasing the spatial resolution. Then the data were analyzed for detection of tectonic lineaments, lithological interruption and displacements due to faulting in ER-Mapper, ENVI and ArcGIS softwares. Also, Sunshading method was used on the DEM for detecting roughness caused by faults. Finally, the structural map of region was constructed using the fractures detected by the above mentioned techniques. Then, the fractal pattern of the structural fracture zone have done by Box-counting algorithm. For this purpose, the study area is divided into 94 separate areas and each area was analyzed separately. Based on the results, the fractal dimension is more in the direction NS, NNW-SSE and EW. Because the D value increases in these directions that has reached to 1.6. In other words, the directions have been developed further during the structural transformation. Given the certainty of these three direction, reactivation this area undertaken along these three.

Key Words: Structural fractures, Remote sensing, Binalud, Jurassic, Fractal.

1- مقدمه

امروزه برای انجام مطالعات و تحلیل ساختاری شکستگی‌ها، نمی‌توان تنها به یافته‌ها و برداشت‌های صحرائی اکتفا نمود؛ و برای ترسیم نقشه شکستگی‌ها از تکنیک‌های متعددی جهت بارزسازی آنها به کمک پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌گردد. جهت مطالعه محدوده مورد نظر، داده‌های چندطیفی تلفیقی با داده پانکروماتیک SPOT5 با تفکیک مکانی 2/5 متر، به صورت ارتوشده از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه گردید. همچنین از داده‌های ETM+(11g) و ASTER(11b) نیز استفاده گردید.

سنگ‌های آهکی به سن ژوراسیک در منطقه اخلمد به عنوان بخشی از قسمت شمال غربی رشته کوه‌های بینالود (آقناباتی و همکاران، 1365) است که به سه دلیل برای این تحقیق مناسب تشخیص داده شد:

- این منطقه فاقد پوشش فراوان آبرفت می‌باشد.
- مطالعات ساختاری دقیقی در مورد روند شکستگی‌های منطقه صورت پذیرفته است.
- بررسی پتانسیل‌های آبی و معدنی مرتبط با شکستگی‌ها در این منطقه بسیار بااهمیت است.

2- پردازش داده‌های ماهواره‌ای و رسم نقشه ساختاری

برای تشخیص خطوط شکستگی ساختاری بر روی تصاویر ماهواره‌ای چند راه وجود دارد (Solomon & Ghebrea, 2006):

- تشخیص تغییرات ناگهانی مرزهای لیتولوژی و جابجایی لایه‌ها در تصاویر رنگی و قرار گرفتن دو واحد سنگی نامتجانس از لحاظ لیتولوژی و سن.
- بررسی فرورفتگی‌ها و دره‌های مستقیم به عنوان زون‌های شکستگی.
- بررسی برآمدگی‌های خطی به عنوان پرتگاه‌های گسلی (Scarp) و یا دایک‌ها.

در این تحقیق جهت رویت و ترسیم حداکثر خطوط شکستگی و از طرفی پرهیز هرچه تمامتر از بروز خطا (خطوط مربوط به جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی، سازه‌های انسانی و محور چین‌ها و...) از چهار روش جداگانه بهره گرفته شده است.

1-2- استفاده از تصاویر RGB (Composition):

2-1-1- ترکیب بهینه باندها

هدف در اینجا پیدا کردن قطع‌شدگی‌ها و تغییرات ناگهانی واحدهای سنگی و در نتیجه جابجایی امتداد لغزی گسل‌ها است. شش باند 1، 2، 3، 4، 5 و 7 داده‌های ETM⁺ برای مقصود ما مناسب است. از آنجا که برای ساختن یک تصویر RGB سه باند برای سه رنگ اصلی مورد نیاز می‌باشد، از شش باند 1، 2، 3، 4، 5 و 7 (سه جز باند حرارتی 6) برای ترکیب (غیر تکراری) از رابطه ترکیب کمک گرفته می‌شود:

$$C(n,r) = n!/r!(n-r)!$$

که در اینجا n تعداد کل باندهای مرئی (6) و r تعداد باندهای مورد استفاده در هر ترکیب (3) است. به این ترتیب 20 ترکیب مختلف می‌تواند ساخته شود. اینکه کدامیک از این 20 ترکیب مناسبترین است، بستگی به میزان اطلاعاتی دارد که هر کدام از آنها در اختیار قرار می‌دهد. برای یافتن ترکیب مورد نظر، از رابطه OIF (Optimum Index Factor) کمک گرفته می‌شود:

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{j=1}^3 Abs}$$

OIF پارامتری است که مجموع S_k یا انحراف معیار k باند را نسبت به مجموع $Abs(r_j)$ یا مقدار ماتریس همبستگی همان باندها محاسبه می‌کند. یعنی سه باندی که بیشترین وجوه افتراق و کمترین وجوه اشتراک را باهم دارند مشخص می‌نماید. بدین ترتیب اگر OIF را برای هر کدام از ترکیبات سه‌گانه محاسبه کنیم، بزرگترین عدد بین 20 حالت احتمالی، ترکیب مورد نظر خواهد بود. پس از محاسبه مقادیر OIF برای داده‌های

ETM⁺ در منطقه مورد مطالعه، ترکیب 543 انتخاب شد (جدول 1 و شکل 1).

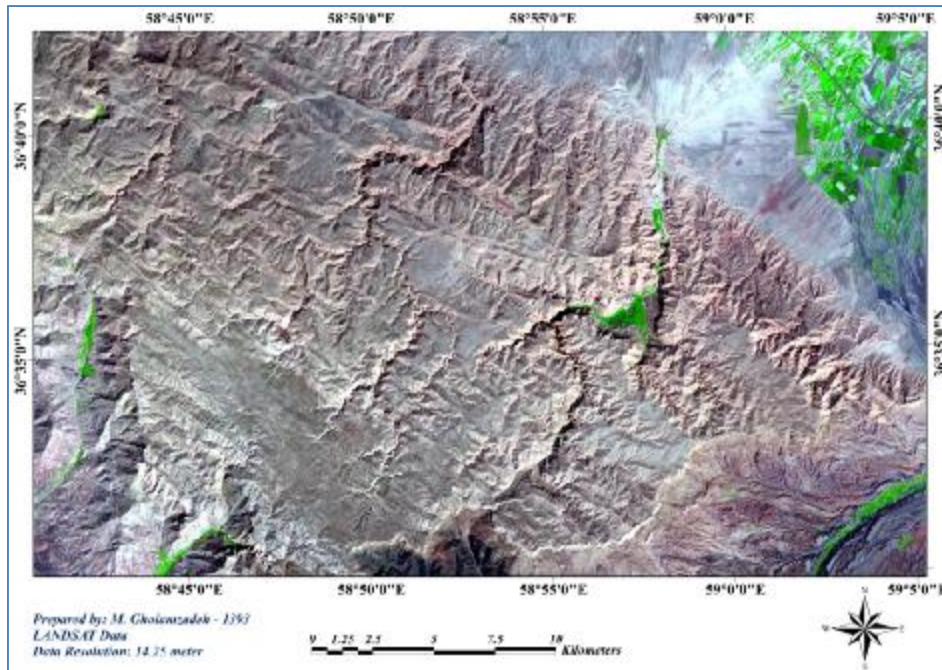
جدول 1. مقادیر مورد استفاده جهت بدست آوردن ترکیب بهینه داده‌های ETM⁺.

OIF	مجموع ماتریس همبستگی	مجموع انحراف معیار	باند‌های ترکیب شده
15/29	2/852	42/4	1و2و3
15/62	2/561	40/001	1و2و4
17/376	2/627	45/64	1و2و5
16/127	2/649	42/721	1و2و7
18/946	2/507	47/5	1و3و4
19/947	2/6	52/138	1و3و5
18/627	2/642	49/218	1و3و7
20/171	2/406	48/536	1و4و5
19/36	2/356	45/616	1و4و7
20/042	2/557	51/255	1و5و7
18/808	2/643	49/715	2و3و4
20/108	2/753	55/353	2و3و5
18/875	2/778	52/434	2و3و7
20/182	2/564	51/751	2و4و5
19/45	2/511	48/831	2و4و7
20/064	2/715	54/47	2و5و7
22/328	2/9	58/249	3و4و5
21/6	2/561	55/329	3و4و7
21/722	2/807	/968	3و5و7
21/873	2/623	57/366	4و5و7

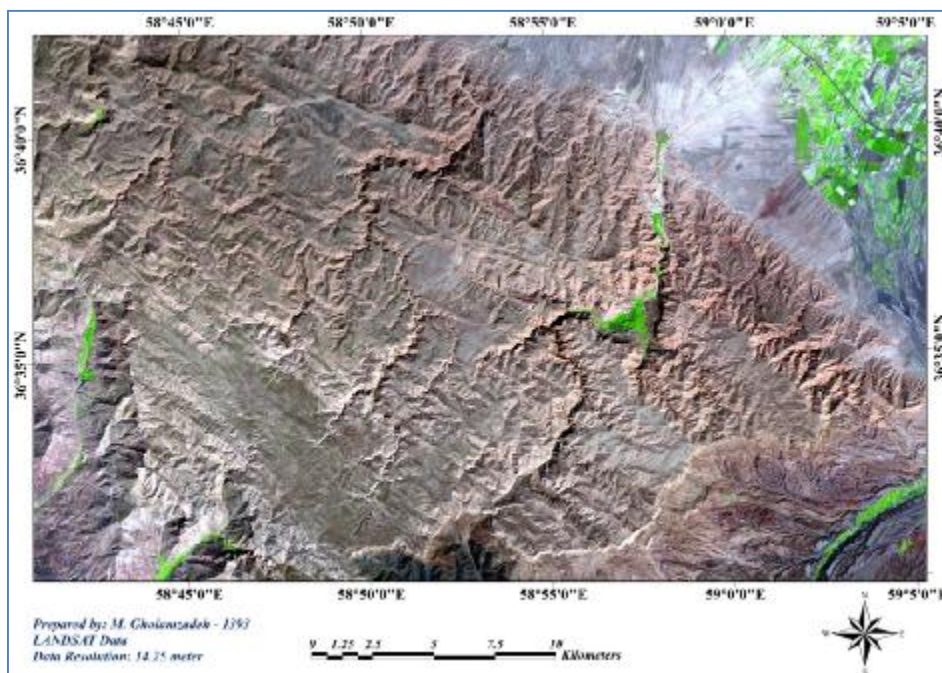
2-1-2- افزایش توان تفکیک مکانی تصویر
برای افزایش توان تفکیک تصویر، داده‌های چند طیفی ETM⁺ با پیکسل‌هایی با ابعاد تقریبی 30×30 متر، با باند پانکروماتیک با اندازه پیکسلی 15×15 متر تلفیق گردید، به این ترتیب توان تفکیک مکانی به دو برابر قبل افزایش یافت؛ که این روش برای یافتن خطواره‌های کوچکتر کمک شایانی می‌کند (شکل 2).

2-2- بهره‌گیری از نسبت بانندی
برای شناسایی آثار سطحی شکستگی‌های ساختاری، بررسی سه پدیده مرتبط با آنها (در صورت خطی بودن) مفید است:

از آنجایی که داده‌های لندست ETM⁺ با وجود تفکیک نسبتاً خوب واحدها، قادر به جداسازی برخی واحدها و تفکیک کامل نمی‌باشد؛ لذا در مرحله بعدی سعی بر این شد تا با استفاده از داده‌های ASTER و انجام مطالعات با جزئیات بیشتر و موضوعی، آلتراسیون‌های احتمالی محدوده که می‌توانند در ارتباط با شکستگی‌ها باشند، تفکیک شود. که در نتیجه از ترکیب باندهای 2 و 4 و 7 (2 در B و 4 در G و 7 در R) نیز با توجه به نتیجه خوب، برای بارزسازی خطواره‌های موجود در محدوده استفاده گردید (شکل 3).



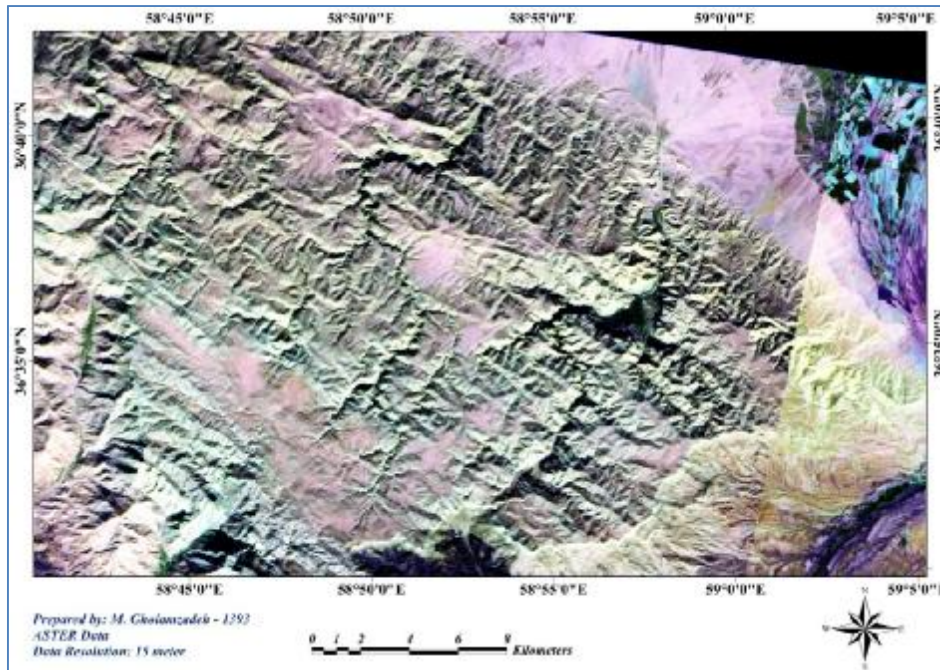
شکل 1. تصویر $ETM^+(RGB=543)$ ، تغییر رنگ عمدتاً بیانگر تغییر لیتولوژی است.



شکل 2. تصویر $ETM^+(RGB=543)$ تلفیق شده با باند 8.

روش نسبت بانندی در دو حالت تصاویر خاکستری (Grayscale) و تصاویر مرکب RGB قابل انجام می-باشد.

1. تجمع کانی‌های رسی و دیگر مواد هیدروترمال در اطراف نواحی تخریب گسل‌ها.
2. تجمع اکسیدهای آهن در بازشدگی شکستگی‌ها.
3. تجمع پوشش گیاهی در اطراف گسل‌ها و شکستگی-های ساختاری.



شکل 3. تصویر ASTER (RGB=742) برای بارزسازی خطوط‌های محدوده مورد مطالعه

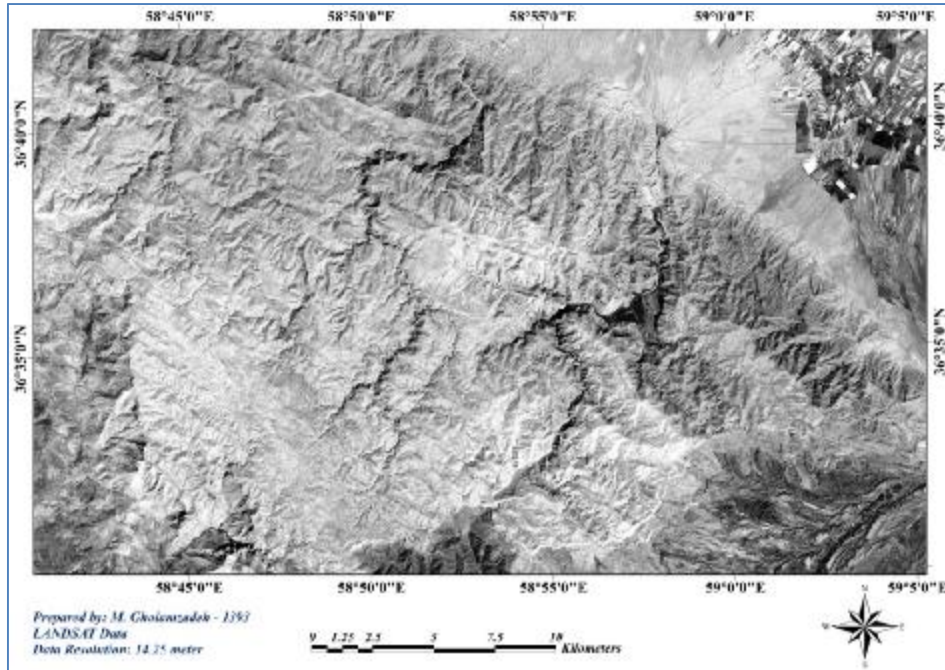
2-3- فیلترگذاری بر روی تصویر

فیلترهای بالاگذر برای بارزسازی خطوط‌ها بر روی ترکیب باندهی 7,4,2 داده‌های ASTER و فیلتر بارزکننده تصویر بر روی داده‌های چندباندی SPOT در نرم‌افزار ER Mapper استفاده گردید. نتیجه پردازش (بارزسازی خطوط‌های موجود در منطقه) در شکل‌های 6 و 7 نشان داده شده است.

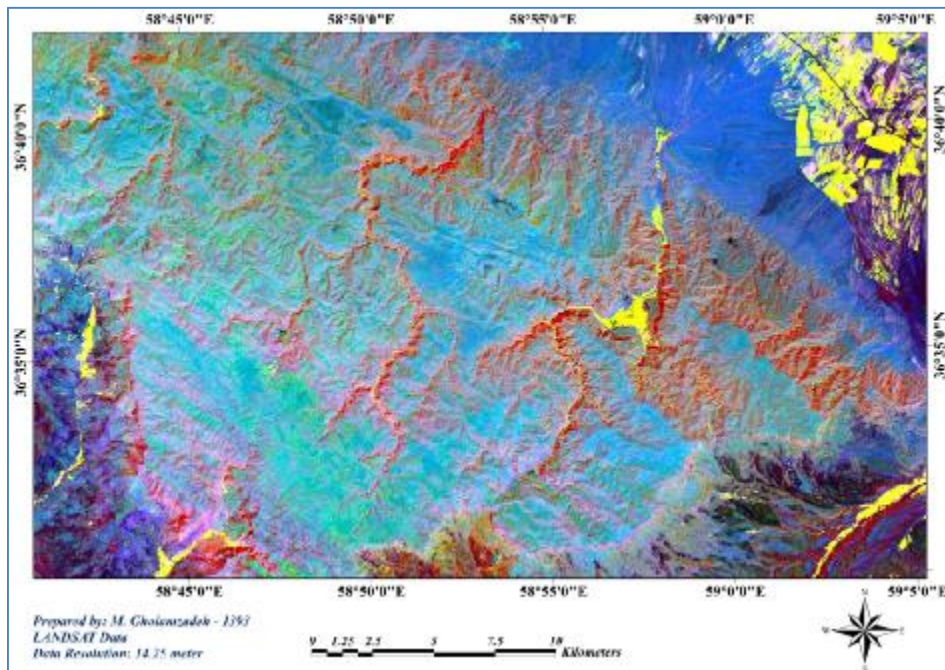
از جمله روش‌های ساده ولی بسیار مفید جهت بارزسازی لبه‌ها (مانند خطوط شکستگی) فیلتر جهتی (Directional Filters) است. بدین ترتیب 8 نوع فیلتر را برای 8 جهت اصلی و فرعی جغرافیایی بر روی تصویر SPOT در نرم‌افزار ENVI می‌توان به کار گرفت. در هر کدام از تصاویر یاد شده گروهی از خطوط‌های گسلی برجسته‌تر از سایر خطوط دیده می‌شوند. در شکل 8 یکی از تصاویر برای نمونه آورده شده است، در این تصویر جهت مجازی تابش خورشید از شمال می‌باشد.

در تصاویر خاکستری عارضه هدف نسبت به عوارض دیگر به رنگ روشن‌تر دیده می‌شود. شکل 4 تصویر خاکستری نسبت باندهی 3/1 برای کانی‌های آهن‌دار را نشان می‌دهد.

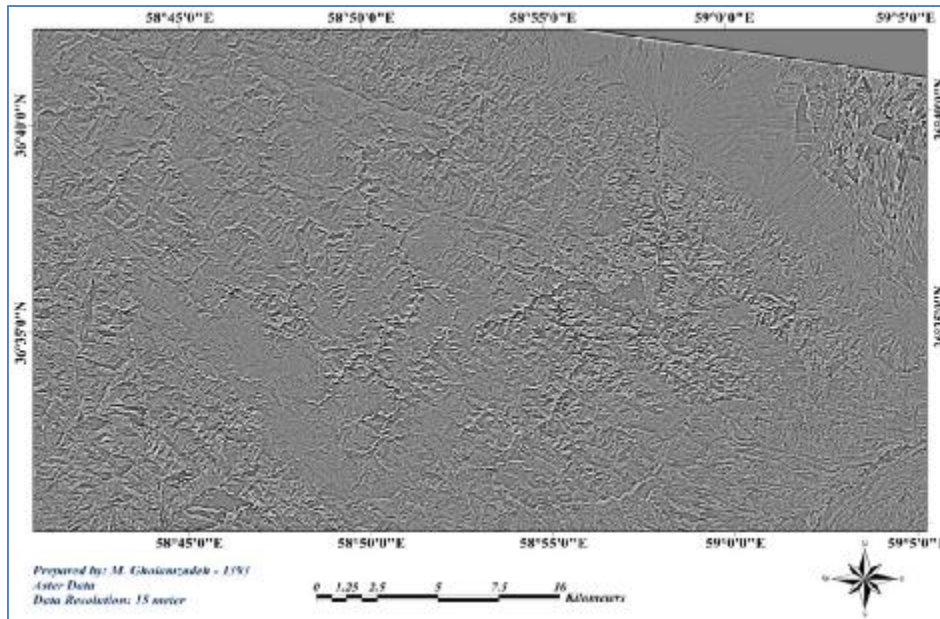
در حالت دوم، تصویر مرکب از نسبت‌های باندهی 5 به 7 در کانال قرمز، 4 به 2 در کانال سبز و 3 به 1 در کانال آبی استفاده شده است. با استفاده از این نسبت‌های باندهی مناطق با احتمال وجود آلتراسیون و کانی‌های رسی به رنگ قرمز تا صورتی و اکسیدهای آهن به رنگ آبی و سبز مشاهده می‌شود. همچنین، پوشش گیاهی به رنگ زرد مشخص شده است. همانطور که در شکل 5 مشاهده می‌شود، امتداد آبراهه‌ها و عمدتاً شکستگی‌ها به رنگ قرمز درآمده و احتمال وجود آلتراسیون و کانی‌های رسی را نشان می‌دهند و عمده منطقه به رنگ آبی و سبز مشاهده می‌شوند که احتمال وجود اکسیدهای آهن را در سنگ‌های آهکی نشان می‌دهند.



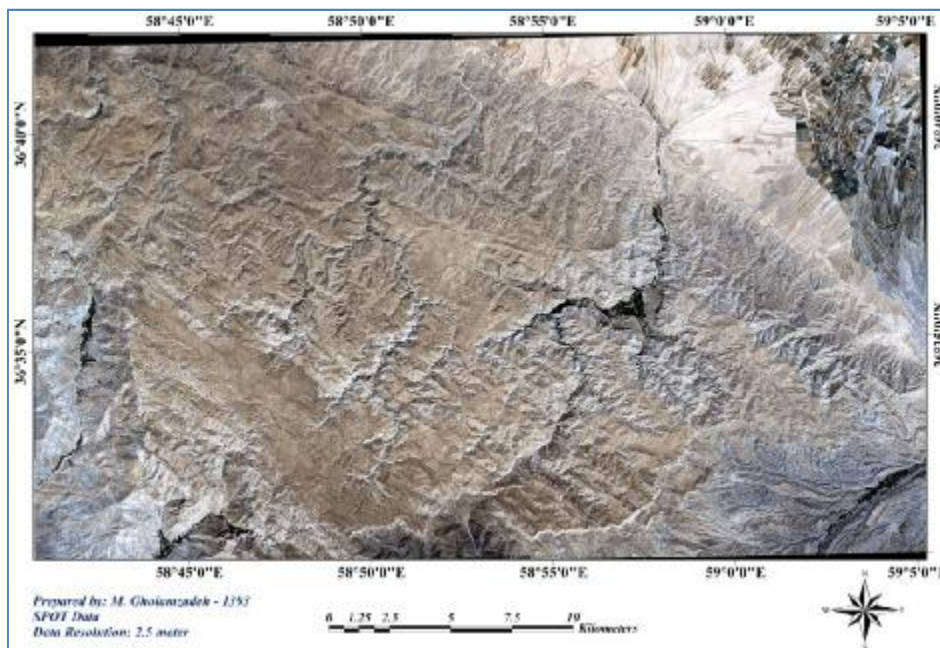
شکل 4. نسبت بانندی 3/1 بر روی داده ETM^+ جهت آشکارسازی هماتیت و گوتیت؛ کانی‌های فریک روشن‌تر از مناطق دیگر دیده می‌شوند.



شکل 5. بارزسازی آلتراسیون با استفاده از نسبت بانندی 3/1، 4/2، 5/7 با استفاده از داده ETM^+ .



شکل 6. بارزسازی خطواره‌ها با استفاده از پردازش داده‌های ASTER و اعمال فیلتر بالاگذر از نوع 11 × 11 Sharpen Edge

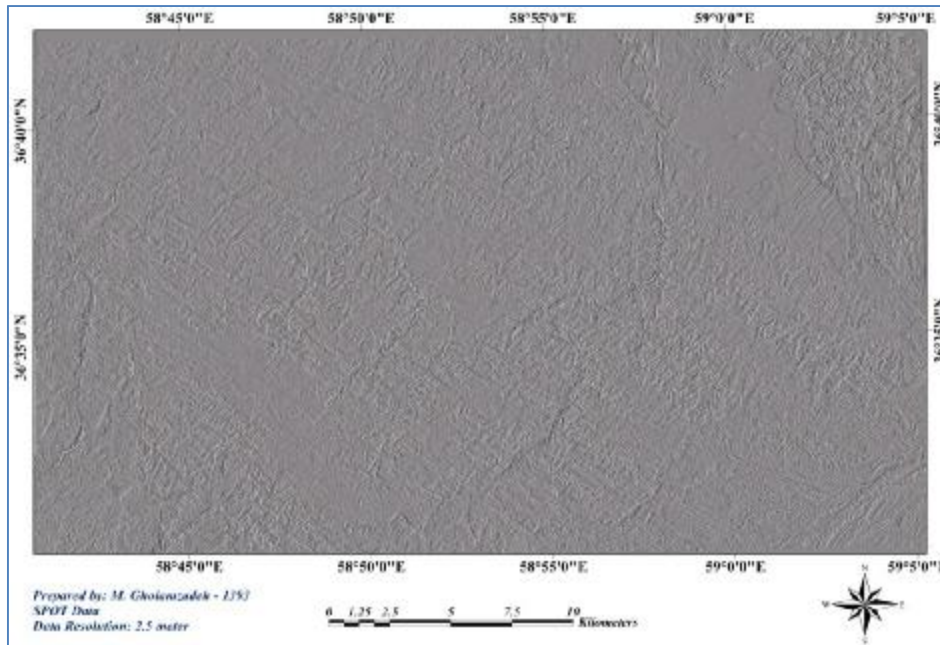


شکل 7. تصویر محدود مورد مطالعه با استفاده از پردازش داده‌های SPOT5 و اعمال فیلتر بارزکننده تصویر (Enhancement Filters) جهت بارزسازی خطواره‌ها در نرم‌افزار ER Mapper

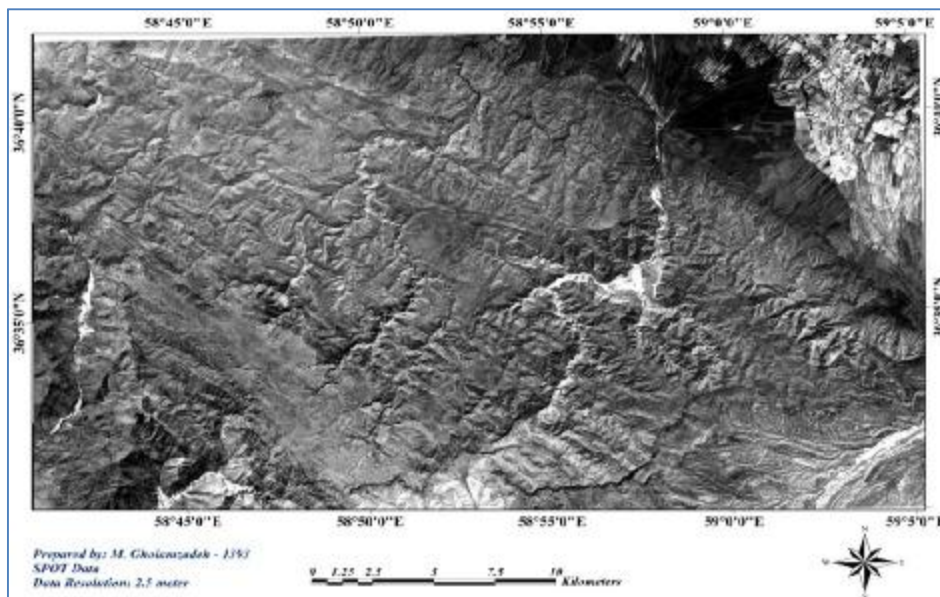
شده دارد؛ به طور مثال PC1 دارای 80 تا 95 درصد اطلاعات است و مولفه‌های بعدی به ترتیب دارای مقادیر کمتری از اطلاعات می‌باشند. در این مرحله از مولفه اول (PC1) داده‌های SPOT5 جهت رویت بهتر خطواره‌ها کمک گرفته شد (شکل 9).

4-2- بهره‌گیری از روش PCA (Principal Component Analysis):

در این روش اطلاعات چند بانده در یک بانده مترامک شده و اختلاف درجات روشنایی به حداکثر می‌رسد. تعداد PCA ساخته شده بستگی به تعداد باندهای انتخاب



شکل 8. تصویر SPOT منطقه مورد مطالعه پس از اعمال فیلتر Directional؛ تابش مجازی نور از شمال

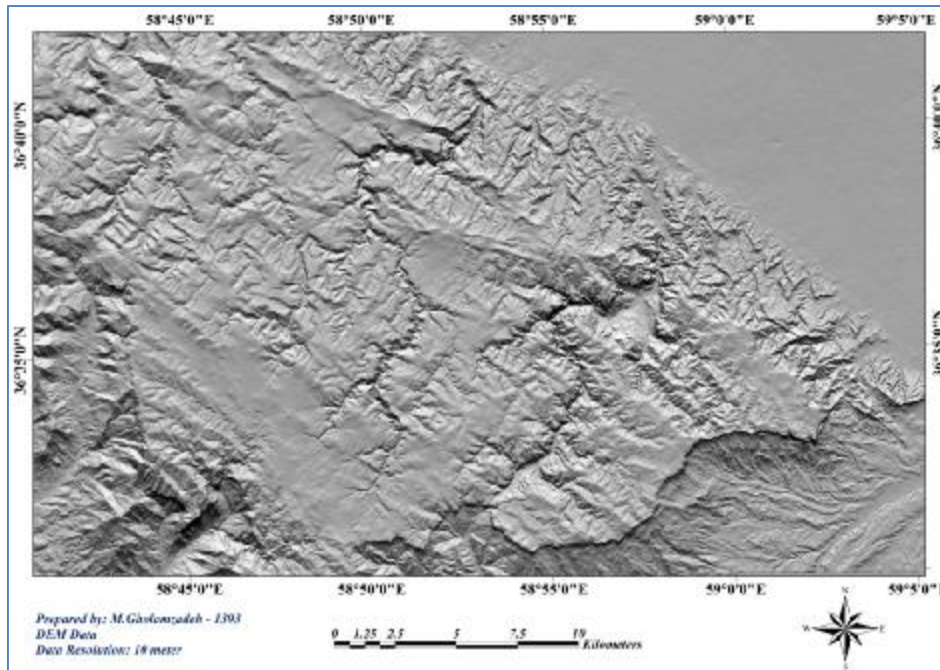


شکل 9. تصویر PCI از داده‌های تلفیق شده SPOT5

و با زاویه ارتفاعی 45° به کار گرفته شد؛ و سپس از این تصاویر برای رسم خطوط ایجاد شده توسط سایه‌های مجازی استفاده گردید. شکل 10 یکی از این تصاویر را با جهت تابش مجازی نور از سمت شمال نمایش می‌دهد.

2-5- به کارگیری داده‌های مدل ارتفاعی رقومی (DEM)

از جمله روش‌های مفید برای داشتن دید بهتر از پستی و بلندی‌های یک منطقه، استفاده از تصاویر Hill-Shade بدست آمده از DEM می‌باشد. در ساخت این تصاویر، آزیموت تابش مجازی در هشت جهت اصلی جغرافیایی

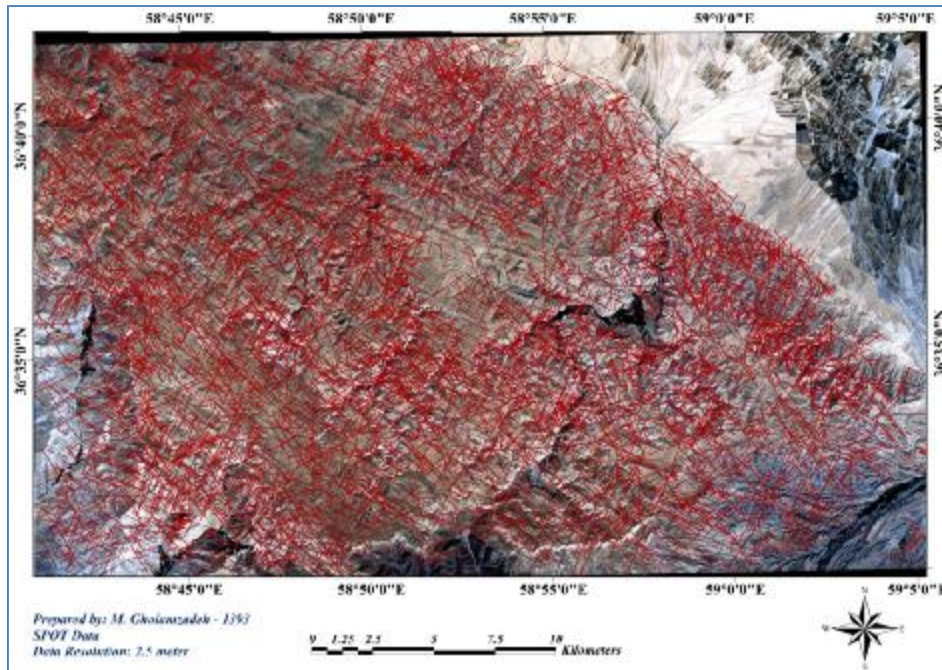


شکل 10. تصویر Hillshade منطقه مورد مطالعه؛ تابش مجازی نور از شمال

آثار خطی مربوط به شکستگی‌های ساختاری موجود در منطقه مورد مطالعه ترسیم گشت و به منظور ارائه نقشه شکستگی‌های ساختاری (Structural Fracture Map) روی تصویر SPOT5 منطقه منتقل شد که در شکل 11 مشاهده می‌شود. نقشه رسم شده، سیستم‌های شکستگی حاکم بر منطقه اخلمد را به خوبی نمایش می‌دهد.

3- ترسیم نقشه ساختاری

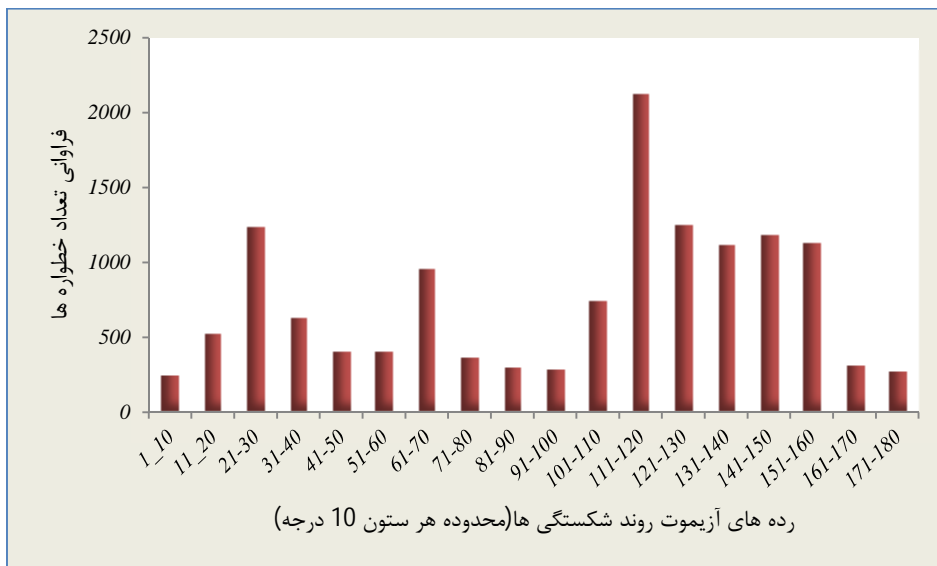
با استفاده از تصاویر حاصل از مراحل فوق، شامل تصویر با RGB=543 بدست آمده از تلفیق داده‌های ETM⁺ Landsat با اندازه پیکسلی در حدود 15 متر و ترکیب-باندی ASTER 742 و آن با اندازه پیکسلی 15 متری، تصاویر با نسبت‌های بانندی مشخص شده، تصاویر فیلترشده و تصویر تک‌باند SPOT5 PC1 با اندازه پیکسلی 2/5 متری و همچنین تصاویر DEM سایه‌دار،



شکل 11. نقشه شکستگی های ساختاری منطقه مورد مطالعه روی تصویر ماهواره ای SPOT5 با تفکیک پذیری 2/5 متری

های مربوط به یک محدوده 10 درجه ای است. همانطور که مشاهده می شود، روند 110-120 درجه روند غالب در محدوده مطالعاتی است.

شکل 12 هیستوگرام کل شکستگی های رسم شده در منطقه مورد نظر را با توجه به آزمون های محاسبه شده نشان می دهد. در نمودار فوق تمامی خطواره ها در 18 دسته (ستون) رده بندی شده اند که هر دسته نماینده داده-



شکل 12. هیستوگرام فراوانی آزمون امتداد شکستگی های ساختاری منطقه اخلمند (شمال غرب بینالود)

سلول‌های مربعی کوچکتر (R_0/r^2) با ضلع‌هایی به طول r که $N(r)$ تعداد سلول‌هایی هستند که خطوط گسل از (داخل) آنها عبور کرده‌اند، در صورت هم‌شکل بودن هندسی دسته گسل‌ها با خود (Self Similarity) رابطه زیر برقرار است (Hirata, 1989):

$$N(r) \sim r^{-D}$$

که D بعد فراکتالی است. بعد فراکتالی را می‌توان با توجه به شیب خط رسم شده در یک دستگاه نمودار دوگساریمی بدست آورد (شکل 13 پ). در شکل 13 پ، در نمودار ترسیم شده فراکتالی، طول سلول‌های مربعی شکل با d نمایش داده شده است.

4-2- بعد فراکتالی و تغییرات آن در گستره منطقه شمال غرب بینالود

برای تحلیل فراکتالی منطقه، محدوده‌های مربعی با اضلاع 3 کیلومتر تعریف شدند. تمام منطقه تجمع خط-واره‌ها زیر پوشش محدوده‌های تعریف شده قرار گرفت. از آنجا که منطقه تجمع شکستگی‌های مورد مطالعه مستطیلی با ابعاد 39 در 24 کیلومتر (936 کیلومتر مربع) است، کل منطقه آهک‌های ژوراسیک با حداکثر 104 محدوده مربعی قابل پوشش می‌باشد. 10 محدوده واقع در قسمت شمال شرق و جنوب شرق منطقه به دلیل پوشش زیاد آبرفت‌های کواترنری و کاهش آثار خط-واره‌ها در آنها، به منظور کاهش خطای محاسبات حذف شدند. شکل 13 الف) تصویری از 94 محدوده نهایی را نشان می‌دهد. محدوده‌های مذکور از قسمت چپ بالا تا سمت راست پایین روی هم قرار گرفته‌اند. بنابراین با کوچک کردن سلول‌ها در 4 مرحله، بعد فراکتالی برای خطوطاره‌های قرار گرفته در هر سلول محاسبه شد. در جدول 2 تعداد سلول‌ها در هر محدوده و نیز در هر ضلع هریک از محدوده‌ها در مقیاس‌های مختلف آمده است.

4- محاسبه بعد فراکتال و ارائه مدل

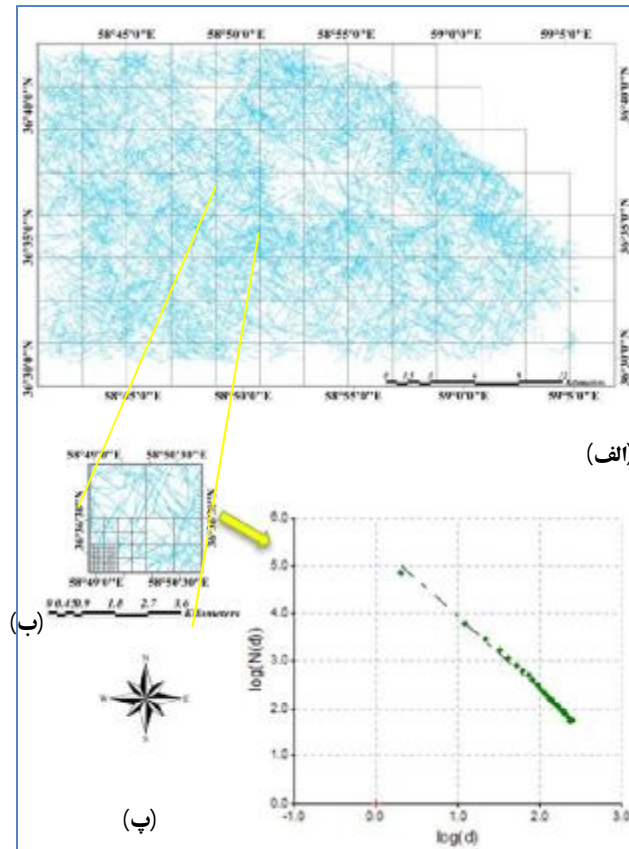
اهمیت سیستم‌های شکستگی در زمینه‌هایی مانند تجمع مواد هیدروکربنی، انتقال آلودگی، زمین‌شناسی مهندسی و زمین‌لرزه، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. شکستگی‌ها در طیف گسترده‌ای، از میکرون (در مقاطع نازک) تا هزاران کیلومتر (به عنوان صفحات گسلی) دیده می‌شوند. آنها به طور معمول، الگوی پیچیده‌ای را در یک منطقه به عنوان رویداد شکستگی در طول زمان نشان می‌دهند. این ترکیب ویژگی‌ها به طور بالقوه آنها را هدف مناسبی برای آنالیز فراکتالی می‌سازد.

فراکتال‌ها نهادهایی هستند که خودمشابهی را در هندسه-شان نشان می‌دهند، به طوریکه هر بخشی از سیستم رونوشتی از کل آن است، که در مقیاس بزرگتر دیده می‌شود. این مقیاس‌بندی توسط بعد فراکتال اندازه‌گیری شده است. بعد فراکتالی، پارامتری برای بررسی میزان پیچیدگی بین داده‌ها است و برخلاف بعد اقلیدسی که یک عدد طبیعی است، می‌تواند بصورت یک عدد حقیقی باشد.

4-1- روش مطالعه فراکتالی

در این بخش، برپایه نتایج مطالعات انجام گرفته و همچنین به کارگیری روش شمارش مربعات (Box counting) که متداولترین روش در تحلیل فراکتالی گسل‌ها است و توسط بسیاری از محققین به کار گرفته شده (Gonzato et al., 1998, Ddziak Teper, 1996, Hirata, 1989) وجود یا عدم وجود مدل فراکتال در شبکه شکستگی‌های منطقه شمال غرب بینالود (منطقه اخلمد) مورد تحلیل واقع شده است.

روش Box counting بخوبی خودمشابهی Statistical self-similarity را آشکار می‌سازد. در این روش، بدینگونه عمل می‌شود که برای یک محدوده مربع شکل، با طول هر ضلع برابر R_0 ، با تقسیم محدوده به



شکل 13. الف) سیستم شکستگی‌های منطقه اخلمد (شکستگی‌ها در شکل توسط روش‌هایی که در مرحله قبل ذکر شد رسم شده- اند). تصویر محدوده‌های 94 گانه انتخابی جهت محاسبه بعد فراکتالی شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه؛ محدوده شماره 1 در سمت چپ بالا و شماره 94 در سمت راست پایین قرار دارد. ب) روش مربع شمار برای محدوده 35 شبکه به منظور تحلیل فراکتالی به نمایش درآمده است. پ) الگوریتم تعداد مربع‌های اشغال شده توسط خطوط شکستگی در مقابل الگوریتم تعداد مربع‌های در طول یک ضلع مربع شبکه‌بندی شده رسم شده است. بعد فراکتال برای محدوده شماره 35 برابر با $1/54$ است.

خودمشابه (Self similar) هستند. به عبارت دیگر شیب خط نمودار ثابت و بدون تغییر می‌ماند (Hirata, 1989). در شکل و 15 نمودار بعد فراکتالی محدوده‌های 1 و 2 برای نمونه نشان داده شده است. مقادیر محاسباتی ابعاد فراکتالی در جدول 3 قابل مشاهده می‌باشد.

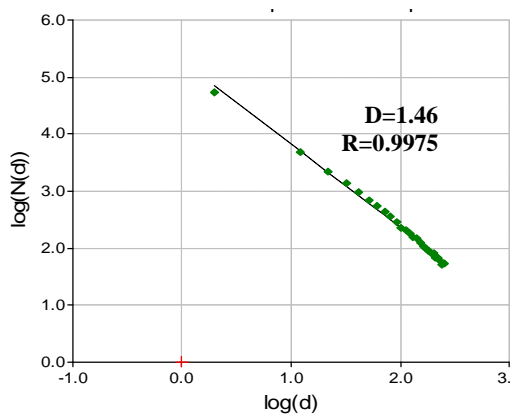
نتایج هر کدام از محاسبات را می‌توان به صورت نموداری ارائه کرد که محور افقی آن لگاریتم تعداد سلول‌ها در هر ضلع از شبکه رسم شده و محور قائم لگاریتم تعداد سلول‌های حاوی خط‌واره در کل شبکه است. هرچه راستای خط گذرنده از نقاط تلاقی دو محور خطی‌تر باشد، گسل‌ها از دید آماری بیشتر

جدول 2. تعداد سلول‌های شبکه در هر کدام از محدوده‌های 94 گانه منطقه مورد بررسی و هر ضلع آنها در هر مرحله از محاسبه

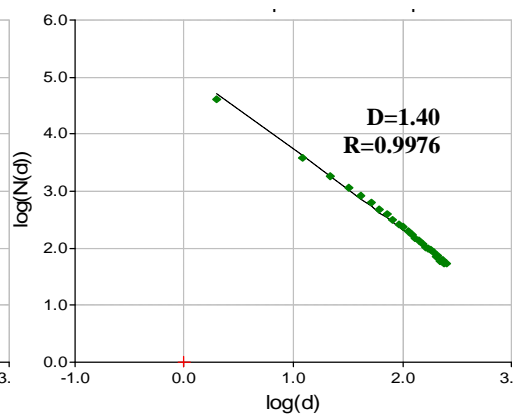
شماره مرحله (مقیاس)	تعداد سلول‌ها در یک ضلع محدوده (شبکه)	تعداد سلول‌های محدوده (شبکه)
مرحله 1	2	4
مرحله 2	4	16
مرحله 3	8	64
مرحله 4	16	256

جدول شماره 3. مقادیر ابعاد فراکتال محاسبه شده برای محدوده‌های انتخابی 94 گانه منطقه مورد بررسی

شماره محدوده	بعد فراکتال	شماره محدوده	بعد فراکتال	شماره محدوده	بعد فراکتال	شماره محدوده	بعد فراکتال
1	1/40	25	1/43	49	1/57	73	1/46
2	1/46	26	1/47	50	1/55	74	1/32
3	1/46	27	1/43	51	1/52	75	1/39
4	1/36	28	1/58	52	1/50	76	1/45
5	1/43	29	1/56	53	1/	77	1/47
6	1/58	30	1/26	54	1/44	78	1/45
7	1/45	31	1/44	55	1/03	79	1/42
8	1/32	32	1/58	56	1/31	80	1/20
9	1/21	33	1/51	57	1/53	81	1/20
10	1/53	34	1/48	58	1/53	82	1/30
11	1/53	35	1/54	59	1/46	83	1/27
12	1/45	36	1/38			84	1/31
13	1/35	37	1/36	61	1/50	85	1/32
	1/51	38	1/42	62	1/51	86	1/33
15	1/55	39	1/49	63	1/52	87	1/19
16	1/55	40	1/58	64	1/49	88	1/20
17	1/58	41	1/54	65	1/49	89	1/25
18	1/44	42	0/94	66	1/46	90	1/31
19	1/18	43	1/29	67	1/43	91	1/30
20	1/49	44	1/50	68	1/10	92	1/26
21	1/48	45	1/51	69	1/41	93	1/18
22	1/50	46	1/55	70	1/51	94	1/13
23	1/53	47	1/57	71	1/52		
24	1/56	48	1/59	72	1/52		



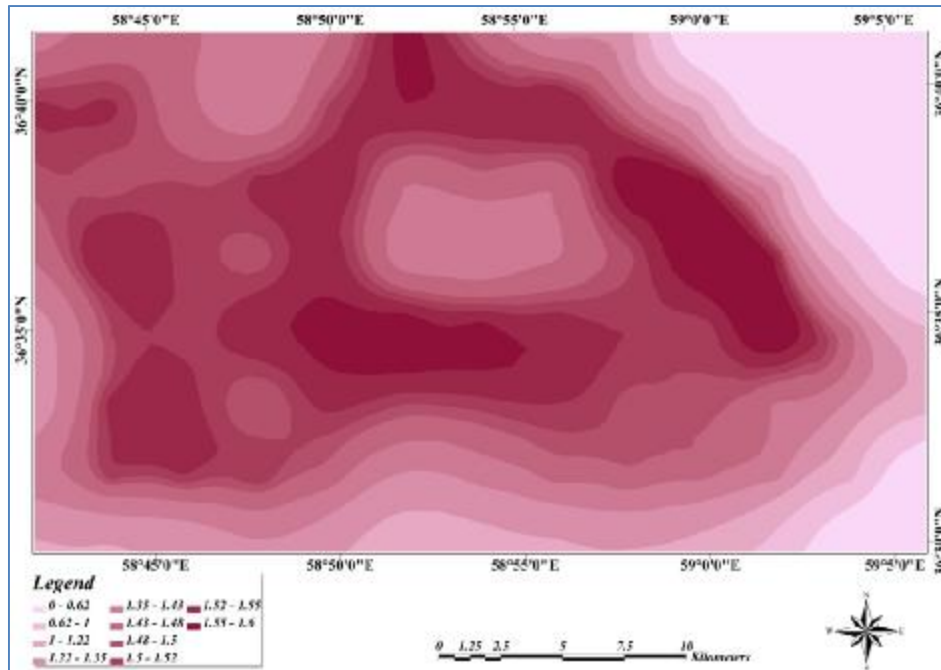
شکل 15. نمودار لگاریتمی الگوی فراکتالی محدوده شماره 2 منطقه مورد بررسی



شکل 14. نمودار لگاریتمی الگوی فراکتالی محدوده شماره 1 منطقه مورد بررسی

بخش مرکزی پایین‌ترین مقادیر (1/35 تا 1/43) بعد فراکتال را دارند. میانگین بعد فراکتال منطقه مورد نظر برابر 1/41 تعیین گردید.

شکل 16 منحنی‌های هم‌بعد را در محدوده مطالعه نشان می‌دهد. چنانچه دیده می‌شود نواحی مرکزی، شرقی و شمالی بالاترین (1/55 تا 1/6) و نواحی غربی و شمال



شکل 16. نقشه منحنی میزان پراکندگی مقادیر بعد فراکتال شکستگی های نهشته های ژوراسیک منطقه اخلمد

برآورد شد که میانگین مقدار بعد فراکتال شکستگی ها به میزان 1/41 محاسبه گردید.

تنوع در مقادیر D نشان دهنده تغییر در میزان پیچیدگی الگوی ساختاری شکستگی ها است. پیچیدگی سطحی گسل صرفاً تحت تاثیر ویژگی های موادی است، که بالاترین قسمت پوسته را تشکیل می دهد. پیچیدگی گسلی در واقع با کاهش عمق در مناطق گسلش یافته، افزایش می یابد. میزان این پیچیدگی سطحی و عمقی می تواند با رابطه زیر به یکدیگر مرتبط شوند (Okubo, P.G. & Aki, K., 1987).

$$D_{surface} = D_{trace} + 1$$

کمی کردن پیچیدگی ساختاری الگوهای شکستگی، موضوعی است که برای بحث جریان سیالات بسیار حائز اهمیت است (Babadagli, T., 2001).

الگوی فراکتال در مطالعات بسیاری از شبکه های شکستگی مشخص شده است. (Barton & Larsen, 1985) مقدار بعد فراکتال بین 1/12 تا 1/16 را برای الگوهای شکستگی منطقه Yucca Mountain با بکار بردن روش شمارش مربعها برآورد کرد. (Barton, 1988) مقدار بعد فراکتال بین 2/37 تا 2/72 را برای شبکه شکستگی در رخنمون کوه های راکی

5- بحث و نتیجه گیری

استفاده از روش های دورسنجی مانند فیلترگذاری، نسبت باندی و مدل ارتفاع رقومی، می تواند نقش مهمی در تشخیص و ترسیم بسیاری از خطواره های ناشی از گسلش ایفا نماید که در حالت عادی یا قابل مشاهده نیستند، یا به سختی می توانند رویت شوند. نقشه بدست آمده در مقایسه با نقشه معمولی (بدون استفاده از هرگونه تکنیک) نمایانگر شکستگی های ساختاری بسیار بیشتر است، و همین طور برای هرگونه پردازش های کمی و کیفی مرتبط با مطالعات آماری و فراکتالی مناسب از نظر تطابق با شرایط واقعی حاکم بر منطقه می باشد.

با توجه به هیستوگرام مربوط به کل شکستگی های رسم شده منطقه، روند 110-120 درجه روند غالب محدوده مورد مطالعه را تشکیل می دهد.

تجزیه و تحلیل فراکتالی روی برآورد یک عدد حقیقی تکیه دارد، که برآورد این تجزیه و تحلیل بعد فراکتال (D) است. مقدار بعد فراکتال شکستگی های ساختاری منطقه اخلمد با بکار بردن روش شمارش مربعات، بین 0/94 و 1/6

منطقه فراکتال است؛ و میانگین آن مشابه بعد فراکتالی گسل های فعال در بخش مرکزی آرک ژاپن (Hirata, 1989) است. افزایش بعد به دلیل توسعه بیشتر انشعابات گسلی و نیز تراکم بالای شبکه و به تبع آن افزایش استرین و تغییرات ساختاری در این مناطق است. یک زون گسلی مادامی که یک گسل منفرد باشد بعد آن 1 (خطی) بوده و با توسعه زون گسلی و افزایش پهنه تخریب و در نتیجه توسعه گسل- های فرعی یا انشعابات آن بعد فراکتالی هم افزایش یافته و مابین 1 و 2 تغییر می کند (Cello, 1997). به عبارت دیگر زون گسلی از وضعیت خطی به سمت سطح میل می کند. با افزایش کرنش و بلوغ زون، بعد فراکتالی به $1/6$ نزدیک می شود (Hirata, 1989). این مقدار را حد بالای بعد فراکتال در یک شبکه گسلی بالغ تعیین نموده است. با توجه به این موضوع تکامل شبکه گسلی نهشته های ژوراسیک منطقه در سه جهت N-S، NW-SE و E-W و در مناطق شرقی، شمالی و مرکزی بیشتر است، چرا که مقدار بعد فراکتال در این راستا افزایش می یابد تا به $1/6$ می رسد. به عبارت دیگر در طول تحول ساختاری منطقه این جهات بیشتر تکامل یافته اند. با توجه به قطعی بودن این سه جهت، فعالیت مجدد منطقه در امتداد این سه روند صورت خواهد پذیرفت.

6- منابع

منابع فارسی:

- آقائباتی، ع.، 1365 - نقشه زمین شناسی چهار گوش مشهد، مقیاس 1:250000، سازمان زمین شناسی کشور.
- احمدی روحانی، ر.، 1390. گزارش دورسنجی شهرستان گناباد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت منطقه شمال شرق.
- بابا احمدی، ع.، 1388. کاربردهای سنجش از دور (RS) در زمین شناسی، انتشارات آوای قلم، تهران، 177ص.
- حاجی، ع.، رحیمی، ب.، سلطانی، م.، 1388. رسم نقشه شکستگی های ساختاری منطقه تکنار (ایران مرکزی) با استفاده از روشهای دورسنجی، همایش ملی ژئوماتیک.
- حاجی، ع.، رحیمی، ب.، 1389. مطالعه الگوهای آماری و فراکتالی سیستمهای شکستگی منطقه تکنار، ایران مرکزی بر

که از طریق آن مایعات در سنگ حرکت می کند، تعیین کرد. (Ghosh & Daemen 1993) تکنیک شمارش مربع را برای الگوی شکستگی دوبعدی معدن مس آریزونا بکار بردند. آنها متوجه شدند که شبکه فراکتال است و دارای تنوع بعد فراکتالی بین $1/34$ و $1/92$ می باشد (Sammis et al. 1991). بعد شمارش مربع الگوی شکستگی میدان ژئوترمال Geysers را مقداری بین $1/6$ و $1/95$ بدست آوردند. (Hirata, 1989) مقدار بعد فراکتال بین $1/05$ و $1/6$ را برای سیستم گسلی در ژاپن گزارش داد. (Matsumoto et al, 1992) بعد فراکتال گسلی برای رسم طول گسل در مقابل شعاع دایره های استفاده شده برای اندازه گیری طول گسل را بدست آوردند. آنها تنوع بعد فراکتالی بین $1/05$ تا $1/42$ را برای مناطق ژئوترمال ژاپن بدست آوردند و نتیجه گرفتند که بعد فراکتال بالاتر، بیشتر مربوط به مجموعه سیستم های گسلی است. آنها همچنین بعد فراکتالی سیستم گسلی در فیلیپین را اندازه گرفتند؛ و مقدار زیر 1 را به جوان شدن سیستم های گسلی فیلیپین در مقایسه با ژاپن نسبت دادند. (V.P.Dimri, 2009) بعد فراکتال $1/63$ را برای خطواره و بعد فراکتال $1/82$ را برای الگوی زه کشی دره Doon هیمالیا بدست آورد که این دو ارتباط خوبی را با یکدیگر دارند و این نشان می دهد که خطواره ها از نظر تکتونیکی در منطقه، فعال هستند. و مقدار بالای بعد فراکتال خطواره ها و سیستم زه کشی، فعالیت های زمین ساختی جدید را در منطقه تایید می کند. (Tsuchiya & Nakatsuka 1995) با مطالعه و تعیین بعد فراکتال در الگوی شکستگی ها در مخازن ژئوترمال ژاپن، دریافتند که با افزایش میزان دانسیته شکستگی ها، مقادیر D افزایش می یابد. (Idziak & Teper, 1996) بعد فراکتالی برابر با $1/6$ برای حوضه زغال Silesian در لهستان بدست آوردند، و آنها پیشنهاد دادند که مقدار D نزدیک به 2 برای یک منطقه شاهدی بر اعمال نیروهای خارجی متعدد است که در توده سنگ فعال بودند.

با توجه به مقادیر محاسباتی ابعاد فراکتالی می توان نتیجه گرفت محدوده های شبکه رسم شده بر روی شکستگی های

- problems and solutions, International Geophysics Journal, Vol.132.
- Greenbaum, D., 1985. Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith, Brit Geology Survey Represent, OD 85/8, 36pp.
- Hirata, T., 1989. Fractal dimation of fault systems in Japan: fractal structure in rock fracture geometry at various scales, Journal of Pageoph, Nos 1/2, Vol.131.
- Idziak, A. & Teper, L., 1996. Fractal Dimation of Fault Network in the Upper Silesian Coal Basin (Poland): Preliminary Studies, Journal of Pageoph, No.2, Vol. 7.
- Korvin, G., 1992. Fractal models in the earth sciences, Amsterdam, Elsevier, 408 pp.
- Matsumoto, N., Yomogida, K., Honda, S., 1992. Fractal analysis of fault systems in Japan and the Philippines, Geophysical Research Letters 19(4), pp. 357-3.
- Okubo, P. G., and Aki, K., 1987. Fractal geometry in the San Andreas fault system, Journal of Geophysical Research, Vol. 92, NO. B1, P. 345-355.
- Sarp,G., 2005. Lineament analysis from satellite images, north-west of Ankara, A thesis submitted to the graduate school of natural and applied sciences of Middle East Technical University, 79 pp.
- Sammis,C.G., An,L.J., Ershaghi, I.,1991. Three dimensional of the fracture network at the Geysers Geothermal Field, Paper presented at the 17th Annual Workshop Geothermal Reservoir Engineering, Stanford.
- Solomon, S., Ghebreab, W., 2006. Lineament Characterization and their tectonics significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea, Journal of African Earth Sciences, Vol. 46, P. 371-378.
- Tsuchiya, N. and Nakatsuka, K., Fractal Analysis and Modeling of a Two-Dimensional Fracture Network, Proceedings of the GRC 1995 annual meeting, October 8-11, 1995, Reno,USA.
- Turcotte, D. L., 1992. Fractals and chaos in geology and geophysics, university press, Cambridge, New York.
- <http://www.prenhall.com> (Natural Resources Canada Web site).
- <http://www.satimagingcorp.com> (Satellite Imaging Corporation Web site). <http://www.spotimage.com>.
- روی نقشه رسم شده از روشهای دورسنجی، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد 36، شماره 1، ص 129-136.
- مر،ف، مدبری، س، هاشمی تنگستانی، م، 1382. سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- یزدان بخش، ش، الماسیان، م، سلطانی، م، عزیززاده، م، 1391. بررسی شکستگی های ساختاری سامانه گسله کویر بزرگ (تریت حیدریه، کاشمر، خارتوران) با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای، فصلنامه زمین، سال 7، شماره 24.
- وب سایت NPA SATELITE MAPPING - داده های سازمان زمین شناسی کشور
- REFERENCES:
- Aviles, C. A. and Scholz, C. H., 1987. Fractal analysis applied to characteristic segments of the San Andreas fault, Journal of geophysics Research, Vol. 92, No. B1, p. 331- 344.
- Babadagli, T., 2002. Scaling method to determine the fractal nature of 2-D fracture networks, Journal of Mathematic Geology, Vol. 34, p. 647-670.
- Babadagli, T., 2001. Fractal analysis of 2-D fracture networks of geothermal reservoirs in south- western Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol.112, p. 83- 103.
- Barton, C.C., Larsen, E., 1985, Fractal geometry of two dimensional fracture networks at Yucca Mountain, south western Nevada, Proceedings of International Symposium on Fundamentals of Rock Joints, Bjorkliden, Sweden, pp.77-84.
- Barton, C.C, 1988, Fractal mathematics used to characterize fracture networks through which fluids move through rock: The Outcrop, Rocky Mountain Association of Geologists, December, p. 8.
- Chica- Olmo, M., Abarca, F. and Rigol, J. P., 2002. Development of a decision support system based on remote sensing and GIS techniques for gold-rich area identification in SE Spain, International Journal of Remote sensing, Vol. 23, p. 4801- 48.
- Dimri, V.P., Ravi Prakash, M., Chamoli, A., 2009. Seismicity of Doon Valley, northwest Himalaya, India: A fractal approach, Geophysical Research Abstracts, Vol.11.
- Ghosh, A., Daemen, J.K., 1993. Fractal characteristics of rock discontinuities, Engineering Geology, Vol. 34.
- Gibson, P.J., and Power, C.H., 2000. Introductory remote sensing: Digital image processing and applications, The Routledge, New York., 249 pp.
- Gonzato, G., Mulargia, F. and Marzocchi, W., 1998. Practical application of fractal analysis: