

مطالعه الگوهای آماری و فراکتالی سیستمهای شکستگی منطقه تکنار، ایران مرکزی بر روی نقشه رسم شده از روشهای دورسنجی

عرفان حاجی^{۱*}، بهنام رحیمی^۲

^۱ دانشکده علوم زمین، دانشگاه علوم پایه دامغان، دامغان، ایران

^۲ گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

*مسئول مکاتبات - آدرس الکترونیکی: erfan.haji@gmail.com

(دریافت: ۸۸/۶/۸؛ پذیرش: ۸۹/۸/۲۵)

چکیده

نقشه شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار با توجه به ویژگیهای مورفولوژیک و ساختاری مناسب، به کمک تکنیکهای دورسنجی و پردازش داده‌های ماهواره‌ای ترسیم شد. در این تحقیق ابتدا شکستگیها از نظر روند به ۶ دسته هم راستا تفکیک شدند. سپس نمودارهای گل سرخی شکستگیها در ۵ ناحیه کوچک از منطقه برای بررسی نحوه توزیع دستجات مختلف گسلی رسم شد. بیشترین تعداد و تنوع گسلها در مرکز و جنوب منطقه قرار داشت. از مقایسه مقادیر طول (L) شکستگیها، تمامی آنها در ۳ رده جداگانه از نظر طولی طبقه‌بندی شدند. نیز مشخص شد که تعداد گسلهای هر دسته (از ۶ دسته) با افزایش طول آنها به صورت نمایی کاهش می‌یابد. در بررسی پارامتر فاصله (S) نیز نتایج مشابهی گرفته شد و معلوم گردید که تعداد گسلها با افزایش فاصله به طور نمایی کاهش می‌یابد. سپس نقشه‌های منحنی میزان برای ۲ پارامتر شدت (I) و چگالی (ρ) ترسیم گردید و مشخص شد که هر دو فاکتور یاد شده در بخشهای مرکزی و جنوبی منطقه به بیشترین مقادیر خود می‌رسند. نتایج فوق نشان از معتبر بودن تشخیص گسلها بر اساس تکنیکهای دورسنجی دارند. در مرحله بعد، الگوی فراکتالی حاکم بر شکستگیهای ساختاری رسم شده محاسبه و نمودار مربوطه آن برای تمامی قسمت‌های منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید. تمرکز تعداد، تنوع، شدت و چگالی گسلها در مرکز و جنوب منطقه، همچنین بالاتر بودن بعد فراکتالی (D) شکستگیها در بخشهای مرکزی و جنوبی تکنار می‌تواند بیانگر فعالیت و تاثیر بیشتر گسل درون نسبت به گسل تکنار در تغییر شکل ساختاری و توسعه شکستگیهای منطقه فوق الذکر باشد.

واژه های کلیدی: سنجش از دور، تحلیل آماری، دسته بندی گسل، طول (گسل)، فاصله (گسل)، شدت، چگالی، بعد فراکتالی، گسل درون، منطقه تکنار.

مقدمه

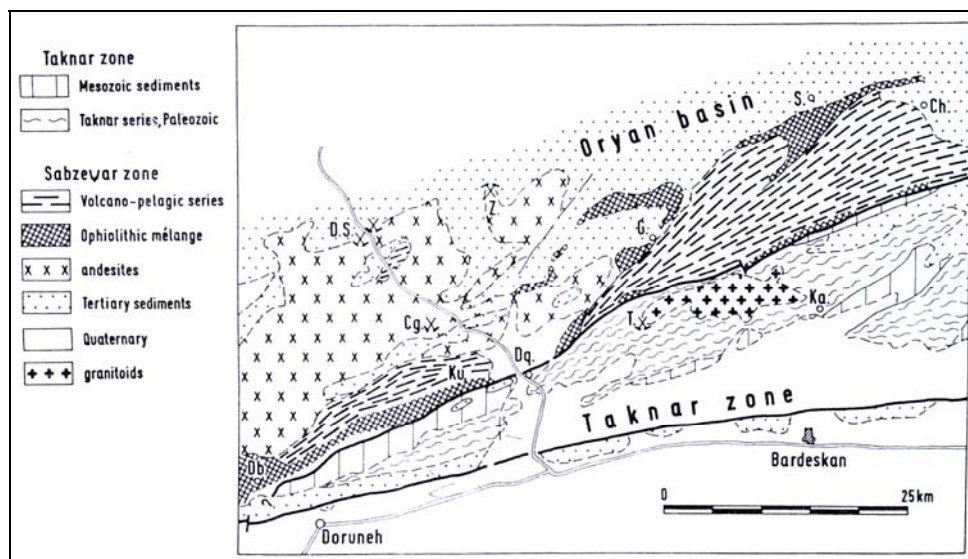
چپگردی بوده که در نتیجه منطقه تکنار به سمت غرب (نوک گوه) هدایت می‌شده است. با این حال حرکات اخیر گسل درون به صورت راستگردی - معکوس لغزی می‌باشد (Muller & Walter 1983, Lindenberg & Jacobshagen 1983).

زون سبزوار در شمال غرب و بلوک لوت در جنوب این ناحیه قرار گرفته‌اند (طاهری و شمعانیان ۱۳۷۷). شکل ۱ نقشه‌ای از گسلهای اصلی منطقه را نشان می‌دهد. به جز خصوصیات ذکر شده (گسله بودن، وضوح بالای شکستگیها در تصاویر ماهواره‌ای، همچنین مرتفع بودن رخنمونها و پوشیده نبودن توسط آبرفت در گستره بسیار زیاد) از نظر پتانسیل معدنی (کانه‌زایی فلزی) نیز زون تکنار حائز اهمیت فراوانی است (کریمپور و همکاران ۱۳۸۲). ارتباط تجمع کانی‌زایی با نواحی تخریب گسلها، تقاطع آنها با یکدیگر و با لایه‌بندی رسوبی در مناطقی از جهان از جمله استرالیا (ناحیه Ora Banda) تایید گردیده

مطالعه ویژگیهای آماری، هندسی و فراکتالی شکستگیهای ساختاری به‌ویژه برای مناطق وسیع و شکننده (Brittle) اهمیت به‌سزایی در تفسیر مکانیسم تشکیل آنها دارد. امروزه برای انجام مطالعات یادشده، تنها به یافته‌ها و برداشتهای صحرایی اکتفا نگردیده و برای رسم نقشه پایه پراکندگی گسلها از تکنیکهای عدیده‌ای جهت بارسازی آنها به کمک پردازش داده‌های ماهواره‌ای (سنجش از دور) استفاده می‌گردد. منطقه تکنار واقع در شمالی‌ترین برونزد خرده قاره ایران مرکزی به صورت یک ناحیه گوه‌ای شکل بین گسل تکنار (ریوش) در شمال و گسل درون در جنوب محصور گردیده است. روند کلی چین خوردگیها و کوهزایی در منطقه NE-SW بوده، محور چینها از سمت شمال شرق به شرق و از سمت جنوب غرب به غرب کج‌شدگی نشان می‌دهد. حرکات پیشین گسل تکنار راستگردی و گسل درون، در این منطقه

روشهای دورسنجی و در مقیاس وسیع می‌تواند کمک شایانی به توصیف الگوی تغییر شکل ساختاری (شکننده) نماید، این منطقه برای مطالعه مناسب تشخیص داده شد.

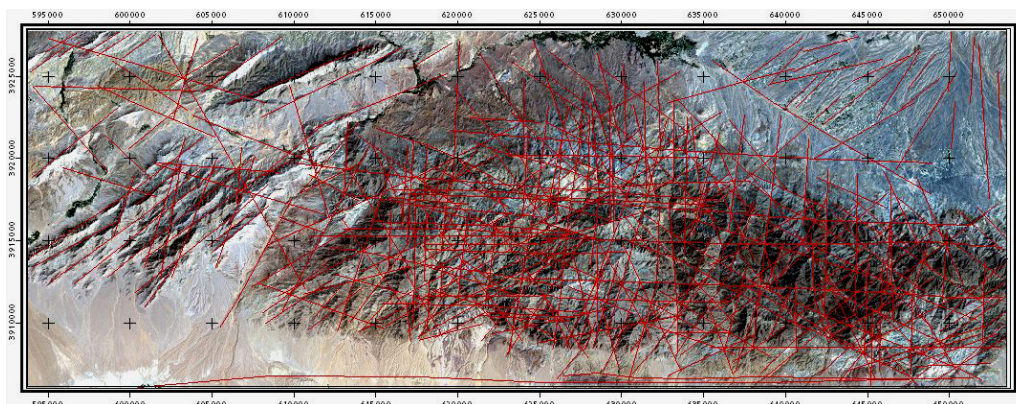
است (Trip & Verncombe 2004). با توجه به دلایل ذکرشده و نیز این مساله که رده‌بندی گسلها و مطالعه پراکندگی و سایر خصوصیات کمی آنها (که تاکنون برای منطقه تکنار انجام نشده) به خصوص با



شکل ۱: نقشه ساختار گوه‌ای شکل منطقه تکنار مابین گسلهای اصلی (اقتباس از Lindenberg & Jacobshagen 1983).

پارامترهای کمی و خصوصیات (الگوهای) آماری حاکم بر گسلهای رسم‌شده، شامل طول، فاصله، تراکم و تجمع آنها را بررسی خواهیم کرد. پس از آن به محاسبه و ترسیم نمودارهای ابعاد فراکتالی شکستگیهای ساختاری یادشده خواهیم پرداخت. در انتها بر مبنای محاسبات صورت گرفته، الگوی تشکیل و توسعه شکستگیها را در ارتباط با سیستمهای گسلی اصلی منطقه (تکنار و درونه) به بحث خواهیم نشست.

بدین ترتیب ابتدا با پردازش داده‌های ماهواره‌ای Landsat ETM+ و IRS و اعمال ۶ تکنیک برای بارسازی خطوط‌های گسلی (تبدیل فوریه، ترکیب $RGB = 753$ ، فیلتر Sunangle، مولفه PC1 از PCA، سایه مجازی Sunshading روی تصویر DEM و اعمال نسبتهای باندی $۳/۱$ ، $۵/۴$ و $۵/۷$ روی تصاویر خاکستری و RGB) نقشه شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار رسم گردید (حاجی و همکاران ۱۳۸۸). شکل ۲ نقشه یاد شده را نشان می‌دهد. در تحقیق حاضر قصد داریم ابتدا خطوط گسلی رسم شده روی نقشه فوق را دسته‌بندی کنیم. سپس



شکل ۲: نقشه شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار روی تصویر ماهواره‌ای $RGB=321$.

دسته‌بندی شکستگیها

در این بخش خصوصیات آماری خطواره‌ها یا همان شکستگیهای ساختاری رسم شده بر اساس روشهای دورسنجی به طور دقیق مورد بررسی و محاسبه قرار خواهد گرفت. بدین منظور ابتدا بایستی تصویری کلی از پراکندگی روند آنها به دست آورد تا در مراحل بعد بر اساس روند، تفکیک و دسته‌بندی گردند.

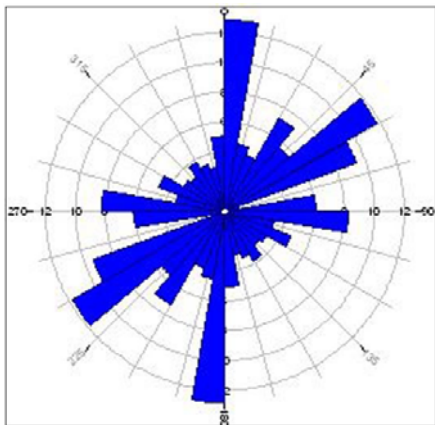
شکل ۳ نمودار گل سرخی کل شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار را با توجه به آزیموتهای محاسبه شده (روی نقشه) نشان می‌دهد. در محاسبه روند شکستگیها علاوه بر تعداد، به مقادیر طول آنها هم توجه گردید. به این مفهوم که شکستگیهای طویل تر بسته به مقدار طول بیش از یک بار قرائت شده‌اند (Ekneligoda & Henkel 2006).

همانگونه که مشاهده می‌شود، روندهای شمال - جنوب و شمال شرق - جنوب غرب روندهای غالب محدوده مطالعاتی را تشکیل می‌دهند. برای مطالعه دقیقتر، روندهای فوق به چهار جهت اصلی N-S، NE-SW، E-W و NW-SE تفکیک و برای هر ۴ دسته نمودار جداگانه‌ای رسم شد. خطواره‌های N-S و E-W در محدوده زاویه‌ای ۲۰ درجه و دو دسته دیگر در محدوده ۷۰ درجه تعریف شدند. از آنجا که روندهای NE-SW و NW-SE پراکندگی زیادی از خود نشان می‌دادند، هر کدام از این دو دسته مجدداً به دو گروه (هر کدام در محدوده زاویه‌ای ۳۵ درجه) تفکیک گردیدند. به این ترتیب پراکندگی روند تا حد زیادی برطرف شده، همگرایی هر دسته از نظر روند بسیار بالاتر رفت.

بنابراین ۶ دسته خطواره به صورت ذیل تفکیک گردید:

- ۱) دسته شماره ۱؛ از ۱ تا ۱۰ و از ۱۷۱ تا ۱۸۰ درجه (N-S)
- ۲) دسته شماره ۲؛ از ۱۱ تا ۴۵ درجه (NNE-SSW)
- ۳) دسته شماره ۳؛ از ۴۶ تا ۸۰ درجه (ENE-WSW)
- ۴) دسته شماره ۴؛ از ۸۱ تا ۱۰۰ درجه (E-W)
- ۵) دسته شماره ۵؛ از ۱۰۱ تا ۱۳۵ درجه (WNW-ESE)

۶) دسته شماره ۶؛ از ۱۳۶ تا ۱۷۰ درجه (NNW-SSE)

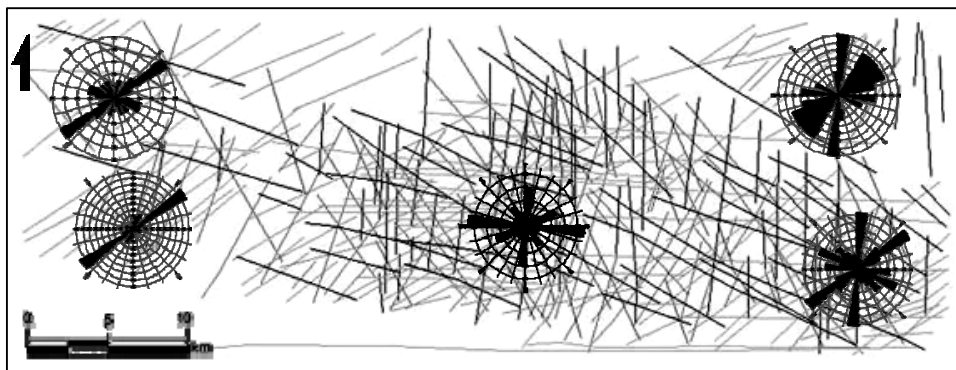


شکل ۳: نمودار گل سرخی کل شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار.

تفکیک منطقه با توجه به روندهای غالب شکستگیها

پس از تفکیک شکستگیها به دسته‌های شش‌گانه، با کمی دقت در نقشه ساختاری رسم شده، می‌توان محدوده‌های متفاوتی را از نظر میزان حضور یا عدم حضور خطواره در منطقه مشخص کرد (Solomon & Ghebreab 2006). در شکل ۴، ۵ محدوده متفاوت انتخاب گردیده، نمودارهای گل سرخی مربوط به هر یک بر روی محل مربوطه نشان داده شده است. بدیهی است در اینجا نیز مقادیر طول خطواره‌ها در تعداد دفعات شمارش آنها موثر بوده است.

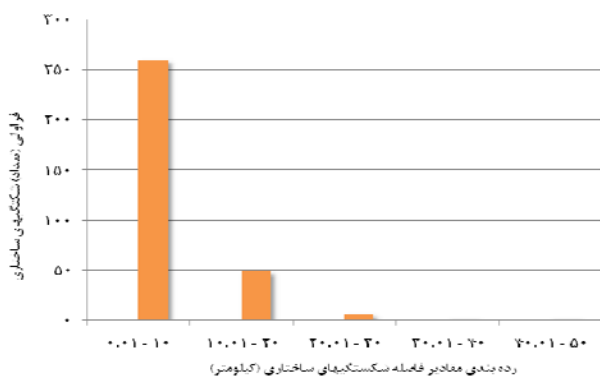
همانگونه که مشاهده می‌شود، خطواره‌های NE-SW (دستجات ۲ و ۳) در کل منطقه با نسبت‌های مشابهی توزیع شده‌اند. روند N-S (دسته ۱) در مرکز، شرق و جنوب منطقه، روند E-S (دسته ۴) در مرکز و جنوب و روند NW-SE (دستجات ۵ و ۶) در شرق و جنوب منطقه تمرکز یافته‌اند. در همین یک نگاه اجمالی می‌توان چنین نتیجه گرفت که بخشهای مرکز و جنوب مرکزی منطقه دارای بالاترین تنوع و تعداد شکستگیهای ساختاری می‌باشند.



شکل ۴: نمودارهای گل سرخی محلی مربوط به ۵ محدوده انتخابی بر روی نقشه شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار.

یک اندازه‌گیری اکتفا می‌شود و برای یافتن نزدیکترین فاصله به میانگین از چشم کمک گرفته می‌شود. این روش کاملاً دستی (Manual) است. در روش دقیقتر طول یکی از شکستگیها را به فواصل مساوی تقسیم می‌کنند و از هر نقطه کوتاهترین خط تقاطع به درزه مجاور را رسم می‌نمایند. سپس از طولهای خطوط تقاطع میانگین می‌گیرند (Ekneligoda & Henkel 2006). روشهای پیچیده‌تر و دقیقتری نیز وجود دارد که به کمک نرم‌افزارهای خاص خود قابل اجرا است. در این تحقیق از روش نخست بهره گرفته شده است.

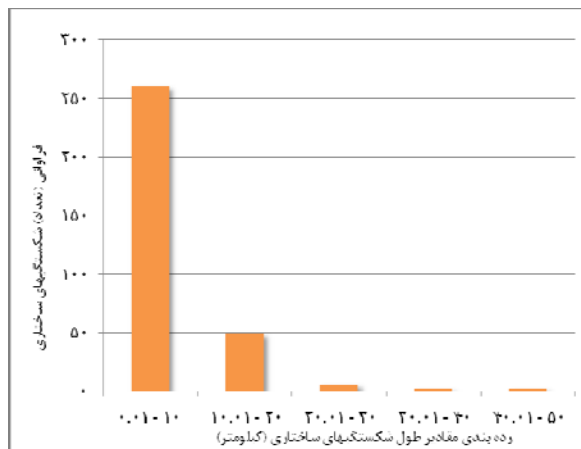
سیمای کلی فواصل شکستگیهای تکنار را در نمودار شکل ۶ مشاهده می‌کنیم. کاهش بودن فراوانی نسبت به افزایش فاصله به صورت نمایی در خور توجه است. بررسی هر کدام از دستجات شکستگی به طور مجزا در هیستوگرام نیز موید رفتار نمایی است که خصوصیت طبیعی یک زون گسلی بالغ می‌باشد. در اینجا نیز اعتبار روشهای دورسنجی در تشخیص و ترسیم گسلهای منطقه به وضوح نشان داده می‌شود.



شکل ۶: نمودار میله‌ای فراوانی مقادیر فاصله شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار

محاسبه شدت (I) و چگالی (ρ)

از پارامترهای کاربردی دیگر در محاسبات آماری گسلها، یکی شدت یا Intensity (I) و دیگری چگالی یا Density (ρ) است. هر دو این فاکتورها در واحد سطح (مساحت واحد) تعریف می‌شوند. شدت (I) بیانگر مجموع طول شکستگیها در واحد سطح و چگالی (ρ) برابر با تعداد شکستگیها در واحد سطح می‌باشد. ناگفته پیداست برای انجام اینگونه محاسبات ابتدا باید واحد سطح را تعریف کرد. به عبارت دیگر بایستی کل محدوده مورد مطالعه را شبکه بندی نمود. برای رسم یک شبکه مناسب از نظر ابعاد، وسعت منطقه و مقدار پخش شدگی مکانی شکستگیها باید در نظر گرفته شوند. وسیع بودن محدوده، ابعاد بزرگتر شکستگیها و تجمع بالای شکستگیها در یک یا چند ناحیه ابعاد کوچکتری را برای سلولها شبکه ایجاد می‌کند. روش دیگر محاسبه



شکل ۵: نمودار میله‌ای فراوانی مقادیر طول شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار

محاسبه و طبقه‌بندی طول شکستگیها

طول (Length) شکستگیها پارامتر مناسبی برای بررسی تکامل ساختاری و سایر خصوصیات آماری آنها است (Xypolias & Koukouvelas 2004). نمودار میله‌ای طول در کلاسهای ۱۰ کیلومتری برای کل شکستگیهای تکنار رسم شد. شکل ۵ نمودار فوق را نشان می‌دهد. چنانکه می‌بینیم، توزیع مقادیر در نمودار نمایی است. به عبارت دیگر با افزایش طول، از تعداد شکستگیها به صورت نمایی کاسته می‌شود. در یک نگاه کلی به نمودار، می‌توان تمامی شکستگیها را به ۳ گروه از نظر مقادیر طول دسته‌بندی نمود:

- ۱) شکستگیهای کوتاه، با طول ۰/۱ تا ۱۰ کیلومتر، با فراوانی غالب (بیش از ۲۵۰)
- ۲) شکستگیهای متوسط، دارای طول ۱۰/۱ تا ۲۰ کیلومتر، با فراوانی کم (۵۰)
- ۳) شکستگیهای بلند، با طول ۲۰/۱ تا ۵۰ کیلومتر، دارای فراوانی بسیار کم (۱۰)

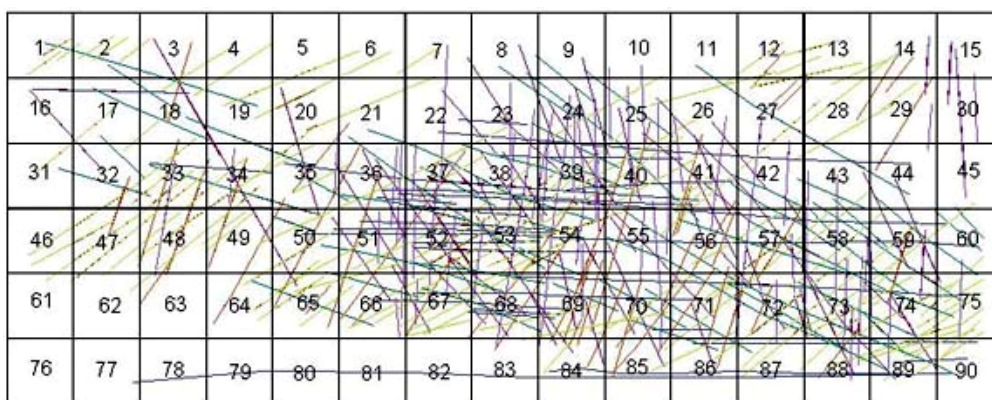
نمودارهای رسم شده برای هر دسته گسل نیز از توزیع نمایی برخوردارند و این امر به عنوان خصوصیتی طبیعی برای گسلهای خوب توسعه یافته (بالغ) اعتبار بالای تکنیکهای دورسنجی برای تشخیص گسلها را نشان می‌دهد.

محاسبه و طبقه بندی فاصله شکستگیها

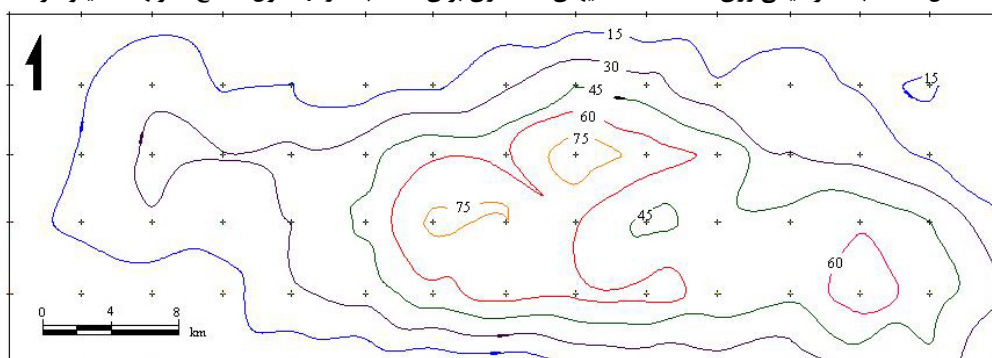
از جمله فاکتورهای کاربردی در مطالعه سیستمهای شکستگی، فاصله (Spacing) آنهاست (Casas et al. 2000). از آنجا که شکستگیهای متعلق به یک دسته به طور کامل و آرمانی با هم موازی نیستند و به طور معمول فاصله دو شکستگی در امتداد آنها متغیر است، بایستی از داده‌های مربوط به هر دو خطواره میانگین گرفت. روشهای متفاوتی برای محاسبه میانگین فاصله وجود دارد. در ساده‌ترین حالت تنها به

محاسبه پارامترهای I و ρ کاربردهای گوناگونی در مطالعات مکانی یک ناحیه دارد. برای مطالعه تغییرات مکانی تراکم و تجمع در تکنار، مقادیر هر یک از آنها به صورت نقشه منحنیهای تراز (Contour Diagram Map) محاسبه و ارائه شده است. شکلهای ۸ و ۹، به ترتیب منحنیهای میزان مربوط به I و ρ را برای محدوده مورد مطالعه به نمایش می‌گذارند. به وضوح مشاهده می‌شود که بالاترین مقادیر I و ρ مربوط به نواحی مرکزی و جنوبی می‌باشند.

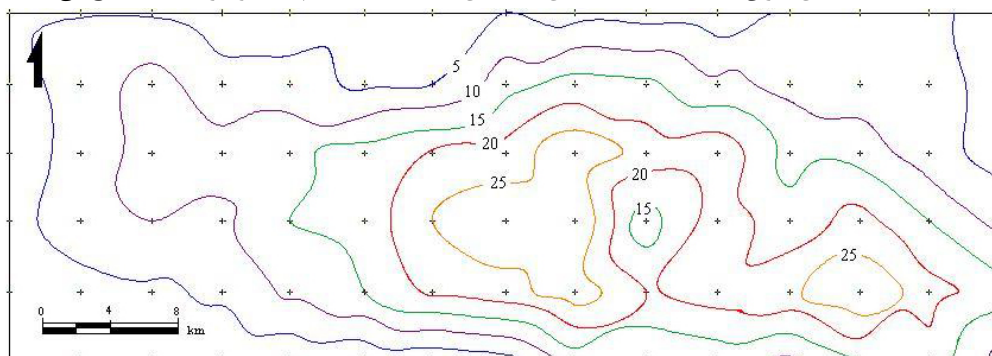
پارامترهای فوق روش دایره‌ای است که محاسبات درون دوایر انتخابی در محدوده تجمع خطواره‌ها انجام می‌شوند (Xypolias & Koukouvelas 2004). در اینجا روش اول برای محاسبه I و ρ انتخاب گردید. با توجه به وضعیت تراکم شکستگیها در محدوده تکنار، این منطقه از قسمت چپ بالا به راست پایین، به ۹۰ سلول مربعی با اضلاع ۴ در ۴ کیلومتر شبکه‌بندی شد. سپس پارامترهای I و ρ برای هر سلول به طور دستی و جداگانه محاسبه گردید. شکل ۷ شبکه رسم شده را بر روی نقشه پراکنندگی شکستگیها به همراه شماره هر سلول نمایش می‌دهد.



شکل ۷- شبکه ترسیمی روی نقشه شکستگیهای ساختاری برای محاسبه I و ρ : طول اضلاع سلولها: ۴ کیلومتر



شکل ۸: نقشه منحنیهای میزان شدت (I) شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار؛ ارقام به کیلومتر در واحد سطح می‌باشند.



شکل ۹: نقشه منحنیهای میزان چگالی (ρ) شکستگیهای ساختاری تکنار؛ اعداد بیانگر تعداد شکستگیها در سطح واحدند.

به میزان زیادی بالا ببرد. برای احتراز از این امر، ۶ محدوده واقع در سمت چپ ردیف سوم حذف شدند. شکل ۱۰ تصویری از ۲۷ محدوده نهایی را با رنگهای متمایز نشان می‌دهد. محدوده‌های ذکر شده از قسمت چپ بالا به راست پایین بر روی هم قرار گرفته‌اند. بنابراین با کوچکتر کردن سلولها در ۵ مرحله و محاسبه بعد فراکتالی، این پارامتر در ۵ مقیاس مختلف برای خطواره‌ها محاسبه شد. در جدول ۱ تعداد سلولها در هر محدوده و نیز در هر ضلع هر یک از محدوده‌ها در مقیاسهای مختلف نشان داده شده است. بدیهی است در تمامی مقیاسها مساحت کل محدوده ثابت و برابر ۱۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد.

جدول ۱: تعداد سلولها در هر کدام از محدوده‌های ۲۷ گانه و هر کدام از اضلاع آنها در هر مرحله از محاسبه.

شماره مرحله (مقیاس)	تعداد سلولهای محدوده (شبه‌ک)	تعداد سلولها در یک ضلع محدوده (شبه‌ک)
مرحله ۱	۴	۲
مرحله ۲	۱۶	۴
مرحله ۳	۶۴	۸
مرحله ۴	۲۵۶	۱۶
مرحله ۵	۱۰۲۴	۳۲

نتایج حاصل از محاسبات را می‌توان به صورت نموداری ارائه کرد که محور افقی آن لگاریتم تعداد سلولها در هر ضلع از شبکه و محور قائم لگاریتم تعداد سلولهای حاوی خطواره در کل شبکه است. هر چه روند خط گذرنده از نقاط تلاقی دو محور خطی‌تر باشد، گسلهای مورد مطالعه از نظر آماری بیشتر خود مانند (Self Similar) هستند. به عبارت دیگر شیب خط نمودار ثابت و بدون تغییر می‌ماند (Hirata 1989). در شکل ۱۱ نمودار بعد فراکتالی محدوده‌های ۱ و ۲ برای نمونه نشان داده شده است. مقادیر محاسباتی ابعاد فراکتالی محدوده‌های ۲۷ گانه تعریف شده در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲: مقادیر ابعاد فراکتال محاسبه شده برای محدوده‌های انتخابی ۲۷ گانه منطقه تکنار.

شماره محدوده	بعد فراکتال	شماره محدوده	بعد فراکتال	شماره محدوده	بعد فراکتال
۱	۱/۳۸	۱۰	۱/۳۸	۱۹	۱/۶
۲	۱/۳۸	۱۱	۱/۳۸	۲۰	۱/۴۳
۳	۱/۴۳	۱۲	۱/۳۳	۲۱	۱/۵۴
۴	۱/۳۳	۱۳	۱/۴۳	۲۲	۱/۳۳
۵	۱/۴۳	۱۴	۱/۳۸	۲۳	۱/۶
۶	۱/۴۸	۱۵	۱/۵۴	۲۴	۱/۴۸
۱۶	۱/۵۴	۱۶	۱/۴۸	۲۵	۱/۶
۱۷	۱/۳۸	۱۷	۱/۶	۲۶	۱/۵۴
۹	۱/۴۳	۱۸	۱/۵۴	۲۷	۱/۵۴

شکل ۱۲ نقشه منحنی‌های هم‌بعد (Contour Diagram) مقادیر ابعاد فراکتالی تکنار را در محدوده مورد مطالعه به تصویر کشیده است. چنانکه دیده می‌شود نواحی مرکزی و جنوبی دارای بالاترین مقادیر (۱/۴ تا ۱/۶) و نواحی شمال و شمال غرب واجد پایینترین مقادیر (۱/۲۸ تا ۱/۳۵) ابعاد فراکتال هستند. میانگین بعد فراکتال نیز برابر

این امر بیانگر آن است که فعالیت اصلی سیستم گسلش در منطقه تکنار از مرکز به سمت جنوب متمایل بوده و احتمالاً به دلیل تاثیر بیشتر سیستم گسل درونه بر منطقه بوده است. مقدار شدت و چگالی شکستگیهای ساختاری یک ناحیه بستگی فراوانی به فعالیت برپاییهای (Uplifts) محلی عهد حاضر داشته و در نتیجه سهم به سزایی در مطالعات تکتونیک فعال (Active Tectonics) آن ناحیه دارد (Xypolias & Koukouvelas 2004). با توجه به این امر به نظر می‌رسد که سیستم گسلی درونه فعالیت بیشتری نسبت به گسل تکنار در کوآترنری داشته و این مساله تاثیر مستقیمی در بالا آمدن و گسترش توده های نفوذی شمال کاشمر و بخش جنوبی منطقه داشته است.

محاسبه بعد فراکتال و ارائه مدل

در این بخش، بر پایه نتایج مطالعات انجام گرفته و همچنین به‌کارگیری روش شمارش مربعات (Box Counting) که متداول‌ترین روش در تحلیل فراکتالی گسلها است و توسط بسیاری از محققین به کار گرفته شده است، وجود و یا عدم وجود مدل فراکتال در شبکه شکستگیهای زون تکنار مورد بررسی واقع شده است.

در روش Box Counting برای هر محدوده مربع شکل، با طول هر ضلع برابر R_0 ، با تقسیم محدوده به سلولهای مربعی کوچکتر (R_0 r^2) با ضلعهای به طول r که $N(r)$ تعداد سلولهایی هستند که خطوط گسلی از (داخل) آنها عبور کرده‌اند، در صورت هم‌شکل بودن هندسی دسته گسلهای با خود (Self Similar بودن) رابطه زیر برقرار است (Hirata 1989):

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

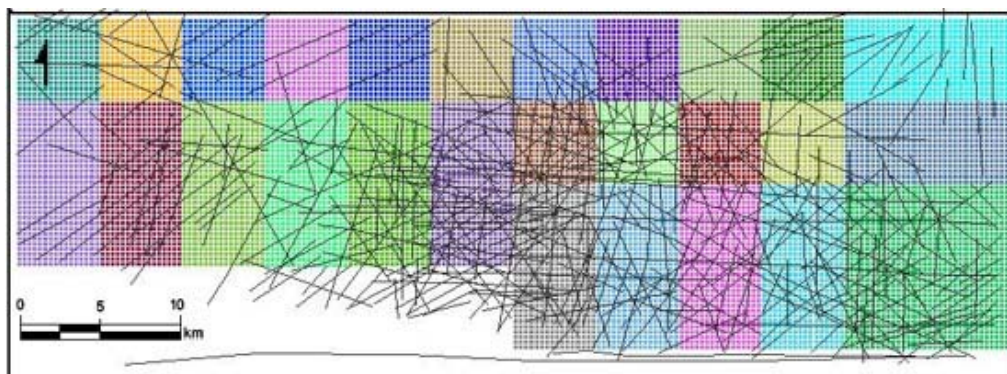
که D بعد فراکتالی است.

در اینجا محدوده‌های مربعی با اضلاع ۱۰ کیلومتر (۱۰۰ کیلومتر مربع) تعریف شدند. تقریباً تمام منطقه تجمع خطواره‌ها زیر پوشش محدوده‌های تعریف شده قرار گرفت. از آنجا که منطقه تجمع شکستگیهای مورد مطالعه مستطیلی با ابعاد تقریبی ۶۰ در ۲۰ کیلومتر (۱۲۰۰ کیلومتر مربع) است، کل منطقه یاد شده با حداکثر ۱۲ محدوده مربعی (۲ ردیف ۶ تایی) قابل پوشش می‌باشد.

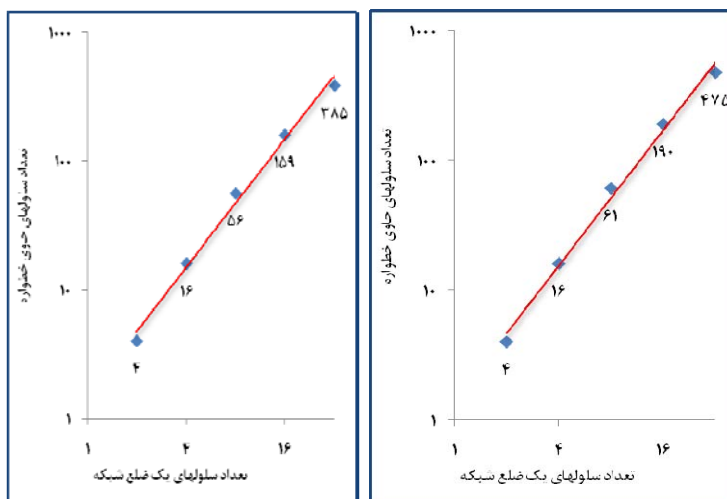
برای دقت بیشتر و به حداقل رسانی خطای محاسبات به خصوص در رسم نقشه منحنی میزان، محدوده‌های محاسبه افزایش داده شد. به این نحو که مراکز این محدوده‌ها روی شبکه نقاطی با فواصل ۵ کیلومتر از هم قرار گرفت. بدین ترتیب ۳۳ محدوده (۳ ردیف ۱۱ تایی) در فضای زیر پوشش خطواره‌ها ایجاد گشت که هر کدام با محدوده مجاور خود ۵۰٪ همپوشانی (فضای مشترک) دارد. از سوی دیگر آثار خطواره‌ها در قسمت جنوب غربی محدوده به دلیل پوشش زیاد آبرفت کاهش زیادی نشان می‌دهد که این مساله می‌تواند خطای محاسبات را

تراگذر (Transcurent) آپنیز مرکزی در ایتالیا ($1/65 < D < 1/52$) سازگار می‌باشد.

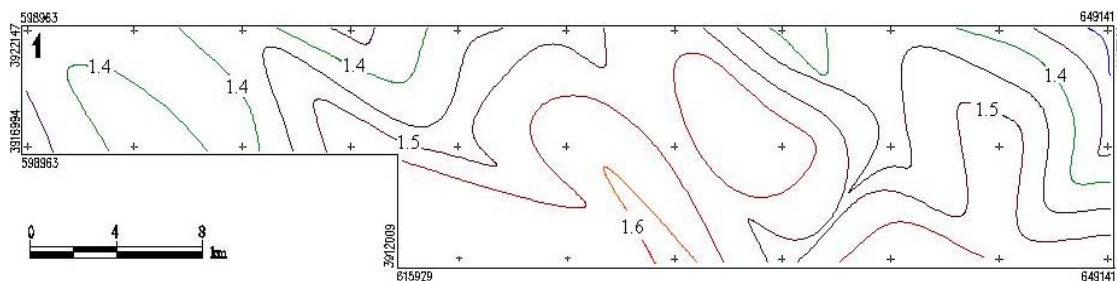
۱/۴۶ محاسبه گردید. مقادیر بدست آمده بسیار شبیه مقادیری است که در مطالعه گسلها در ژاپن و ایتالیا توسط هیراتا (Hirata 1989)، تعیین شده است. همچنین با مقادیر ارائه شده برای زونهای گسلی



شکل ۱۰- تصویر محدوده‌های ۲۷ گانه انتخابی دارای همپوشانی ۵۰ درصدی جهت محاسبات بعد فراکتالی شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار؛ محدوده شماره ۱ در سمت چپ بالا و شماره ۲۷ در سمت راست پایین قرار دارد



شکل ۱۱: نمودار خطی مربوط به ابعاد فراکتال محدوده‌های ۱ (راست) و ۲ (چپ).



شکل ۱۲: نقشه منحنی میزان پراکندگی مقادیر بعد فراکتال شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار

می‌کند. به عبارت دیگر پهنه گسلی از وضعیت خطی به سمت سطح میل می‌کند. با افزایش کرنش و بلوغ منطقه، بعد فراکتالی به $1/6$ نزدیک می‌شود. هیراتا این مقدار را حد بالای بعد فراکتال در یک شبکه گسلی بالغ تعیین نموده است (Hirata 1989). با توجه به این موضوع تکامل شبکه گسلی در منطقه تکنار به سمت جنوب بوده، چرا

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 پهنه گسلی مادامی که یک گسل منفرد باشد بعد آن ۱ (خطی) بوده و با توسعه پهنه گسلی و افزایش پهنه تخریب و در نتیجه توسعه انشعابات آن بعد فراکتالی هم افزایش یافته و مابین ۱ و ۲ تغییر

تمرکز یافته که احتمالاً ارتباط بیشتر سیستم گسلی درونه را با تکامل ساختاری و توسعه شکستگیهای منطقه نشان می‌دهد. میانگین بعد فراکتال شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار به میزان $1/46$ محاسبه گردید. این مقدار بسیار نزدیک به مقادیر بدست آمده توسط محققین دیگر در ژاپن و ایتالیا بوده و بر اساس نتایج بدست‌آمده توسط هیرتا (Hirata 1989) نمایانگر یک شبکه بالغ و خوب توسعه یافته گسلی است. با در نظر گرفتن اینکه بالاترین مقادیر بعد فراکتال در نواحی جنوبی و مرکزی منطقه متمرکز است یکبار دیگر تاثیر گسل درونه به عنوان عامل اصلی توسعه شکستگیها، گسترش توده‌های نفوذی و تکامل ساختاری منطقه نسبت به گسل تکنار استنباط می‌گردد.

که مقدار بعد فراکتال در این راستا افزایش می‌یابد و در بالاترین حد خود به $1/6$ می‌رسد. از این رو می‌توان این شبکه را بیشتر حاصل فعالیت پهنه گسلی درونه دانست تا پهنه گسلی تکنار. به عبارت دیگر گسل درونه عامل اصلی ایجاد شبکه شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار و توسعه آن بوده است.

بحث و نتیجه‌گیری

تمامی گسله‌های منطقه تکنار را می‌توان به ۶ دسته جداگانه تفکیک و دسته بندی کرد. مقادیر طول و فاصله گسلها از نظر فراوانی از یک کاهش نمایی با افزایش تعداد برخوردارند که این امر تکامل ساختاری و توسعه خوب شکستگیهای ساختاری منطقه را می‌رساند. بالاترین مقادیر شدت و چگالی گسلها در نواحی مرکزی و جنوب مرکزی منطقه

منابع:

- طاهری ج.، شمعانیان ق. ۱۳۷۷. نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشمر. انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- کریمیپور م. ح.، ملک زاده سفارودی آ. ۱۳۸۲: پتروگرافی توده های نفوذی، کانی شناسی آلتراسیونهای زمانهای مختلف و تاثیر دگرگونی ناحیه ای و همبری بر آن، تک II. گزارش ارائه شده به مجتمع صنایع مس تکنار.
- حاجی ع.، رحیمی ب.، سلطانی، م. ۱۳۸۸: رسم نقشه شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار، ایران مرکزی با استفاده از روشهای دورسنجی. مقاله ارائه شده در همایش ملی ژئوماتیک ۸۸.
- Avilez C. A., Scholz C., Boatwright J. 1987: Fractal analysis applied to characteristic segments of the San Andreas Fault. *J. of Geophys. Res.* **92.**, B1.
- Casas A. M., Cortes A. L., Maestro A. 2000: LINDENS: A program for lineament length and density analysis. *J. of Comp. & Geos.* **26.**
- Ekneligoda T. C., Henkel H. 2006: The spacing calculator software-A Visual Basic program to calculate spatial properties of lineaments. *J. of Com. & Geos.* **32.**
- Hirata T. 1989: Fractal dimension of fault systems in Japan: fractal structure in rock fracture geometry at various scales. *J. of Pu. Appl. Geophy.* **123.** 6.
- Lindenberg H. G., Jacobshagen V. 1983: Post-Paleozoic geology of the Taknar Zone and adjacent areas (NE Iran, Khorasan). *Rep. of Geody. Proj. (Geotraverse) In Iran.*, 51.
- Muller R., Walter R. 1983: Geology of the Precambrian-Paleozoic Taknar Inlier northwest of Kashmar, Khorasan Province northeast Iran. *Rep. of Geody. Proj. (Geotraverse) In Iran.* 51.
- Solomon S., Ghebreab W. 2006: Lineament Characterization and their tectonics significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea. *J. of African Earth Sciences.*
- Trip G. I., Vearncombe J. R. 2004: Fault/fracture density and mineralization: a contouring method for targeting in gold exploration. *J. of Struc. Geol.* **26.**
- Xypolias P., Koukouvelas I. K. 2004: Fault trace parameters as a tool for analyzing remotely sensed fault arrays: an example from the eastern Gulf of Corinth, Greece. *J. of Remote Sensing.* **25.** 21.