

پهنه‌بندی نوزمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی در منطقه لالی - گتوند، خوزستان

طیبه احمدی^۱، عزیز رحیمی^(۲)، حجت اله صفری^۳ و آرش برجسته^۴

۱. کارشناسی ارشد زمین‌شناسی گرایش تکتونیک، دانشگاه گلستان

۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

۳. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

۴. دکتری زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک، سازمان آب و برق خوزستان

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱۱

چکیده

ارزیابی کمی اشکال و عوارض سطح زمین و محاسبه‌ی شاخص‌های ریخت‌سنجی رودخانه‌ها و مجرای رودها و پیشانی کوهستان‌ها از بهترین روش‌های بررسی زمین‌ساخت فعال می‌باشد. گستره مورد مطالعه در پهنه فروبار دزفول، در کمربند ساده زاگرس چین‌خورده قرار گرفته است. در این پژوهش با بهره‌گیری از مدل رقومی ارتفاع، زمین‌ساخت و ریخت زمین‌ساخت منطقه لالی - گتوند تفسیر شده است در این تحقیق برای تعیین فعالیت‌های زمین‌ساختی، با توجه به زمین‌ساخت کلی زاگرس ساده چین‌خورده و فروبار دزفول، سه شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن^۲ و شاخص طول شیب رودخانه^۳ در منطقه‌ی لالی - گتوند در شمال خاوری خوزستان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. پس از محاسبه‌ی شاخص‌های مذکور و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی آن‌ها، نقشه پهنه‌بندی فعالیت نوزمین‌ساختی به صورت کمی در چهار رده خیلی فعال، فعال، نسبتاً فعال و غیرفعال تفکیک گردید. با توجه به نتایج به دست آمده به ترتیب شاخص طول شیب رودخانه حداکثر فعالیت زمین‌ساختی را در شمال خاوری، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن حداکثر فعالیت را در خاور، شمال خاوری و شمال باختری و شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان بیشترین فعالیت را در شمال خاوری، جنوب خاوری و مرکز نشان می‌دهد. نقشه‌ی پهنه‌بندی نوزمین‌ساختی نشان می‌دهد بیشترین میزان فعالیت زمین‌ساختی در شمال، شمال خاوری و مرکز و کمترین فعالیت در جنوب است.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های ریخت‌سنجی، فعالیت نوزمین‌ساختی، لالی - گتوند، کمربند چین‌خورده ساده زاگرس.

مقدمه

ایران به پاکستان وارد شده و از آنجا تا هندوکش هیمالیا ادامه می‌یابد. این کمربند حاشیه تکتونیزه شمال خاوری حوزه خاورمیانه را تشکیل می‌دهد و در اثر حرکات آلی (میوسن پسین - هولوسن) یا کوهزایی زاگرس پدید آمده

رشته کوه‌های زاگرس در ایران، بخشی از سامانه کوهزایی آلپ - هیمالیا می‌باشد، که با روند عمومی شمال باختری - جنوب خاوری، از گسل شرق آناطولی در شرق ترکیه تا خط عمان در جنوب ایران مسافتی حدود ۲۰۰۰ کیلومتر را در بر می‌گیرد (Alavi, 1994). دنباله این رشته کوه‌ها در خاور

1. Mountain front sinuosity (Smf)

2. Ratio of valley width to valley height (Vf)

3. Stream length-gradient index (Sl)

* نویسنده مرتبط: a.rahimi@gu.ac.ir

درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول خاوری واقع گردیده است (شکل ۱). مساحت منطقه در حدود ۱۷۶۶۷۳۰ کیلومتر مربع می‌باشد. حداکثر ارتفاع منطقه در بخش شمال خاوری لالی ۱۵۲۰ متر می‌باشد و کمترین ارتفاع در قسمت جنوبی گتوند در حدود ۴۰ متر می‌باشد (مهندسیین مشاور آب نیرو، ۱۳۸۵). سازندهای رخنمون یافته در گستره مورد مطالعه بیشتر از رسوبات کرتاسه تا رسوبات عهد حاضر می‌باشند که رسوبات آبرفتی عهد حاضر به‌طور پراکنده در بین سازندهای زمین‌شناسی محصور شده‌اند. از لحاظ چین‌شناسی سازندهای گستره مورد مطالعه شامل گروه فارس (گچساران، میشان، آغاچاری، بخش لهری و بختیاری)، کنگلومرای توتک و نهشته‌های آبرفتی عهد حاضر هستند که به ترتیب قدمت قرار گرفته‌اند (مطیعی ۱۳۷۲). در تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه‌های مهم موجود در منطقه (رودخانه شور، تالوک، تراز، هرکش، پلی و میانرودان و کارون) فعالیت‌های زمین‌ساختی نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند. از این رو تغییرات ریخت‌شناسی توسط شاخص‌های ریخت‌سنجی که شرح آنها در زیر آورده شده است، با دقت فراوان محاسبه می‌شود.

روش مطالعه

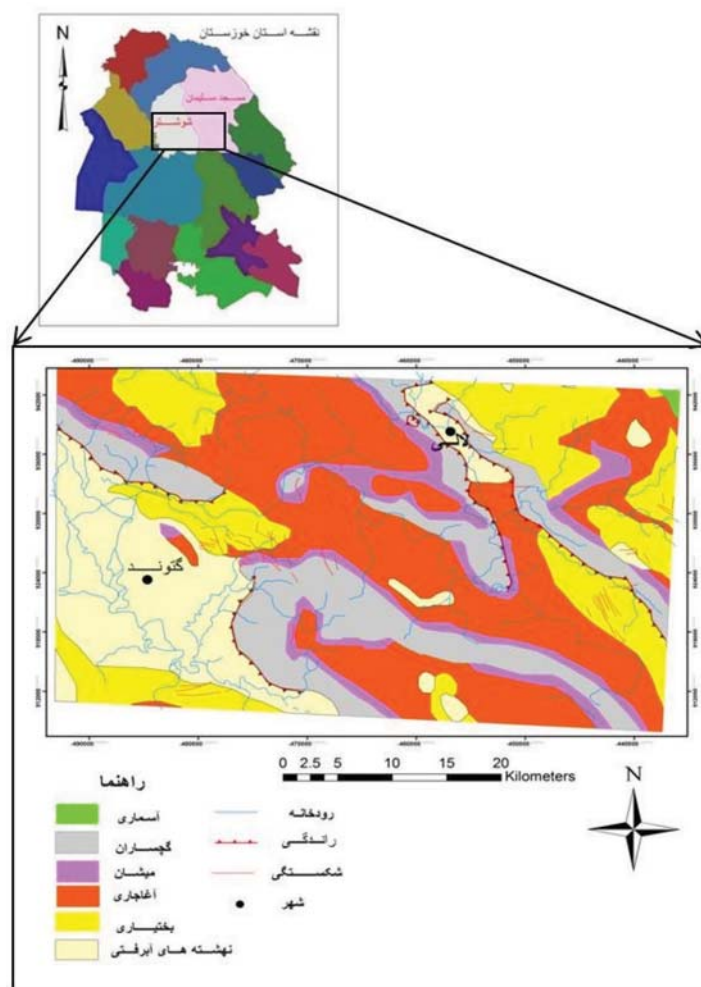
در این پژوهش بر پایه نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰، نقشه آبراهه‌ها ۱/۲۵۰۰۰ و نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ برگرفته از شرکت نفت و سازمان نقشه‌برداری کشور و با بهره‌گیری از مدل رقومی ارتفاع (DEM) در محیط نرم‌افزارهای ENV I4.5، ARC GIS 9.3، IDRISI زمین‌ساخت و ریخت‌زمین‌ساخت منطقه لالی - گتوند تفسیر شده است. جهت دستیابی به این امر تلفیقی از برداشت صحرایی، استخراج خطواره‌ها و آبراهه‌ها از نقشه DEM با استفاده از روش‌های مختلف سنجش از دور و محاسبه شاخص‌های ریخت‌سنجی از قبیل شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان (Smf)، شاخص شیب طول رودخانه (Sl) و شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf) صورت پذیرفته است. بررسی تکتونیک فعال بر مبنای روش‌های ریخت‌سنجی در مقیاس محلی و منطقه‌ای انجام شد. شاخص‌های ریخت‌سنجی ابزار مفید و موثری در تعیین

و نیروهای زمین‌ساختی هنوز هم در آن فعال می‌باشند (Alavi, 1994). ریخت‌شناسی کنونی کمربند چین - راندگی زاگرس حاصل تکامل ساختاری و تاریخی رسوب‌گذاری آن است (Berberian, 1995). گستره مورد مطالعه لالی - گتوند در پهنه ساختاری فروبار دزفول و در کوهپایه‌های زاگرس چین‌خورده قرار دارد. این منطقه شاهد فازهای مختلف زمین‌ساختی بوده که مطالعه و بررسی آن‌ها با توجه به حرکات لرزه‌ای و زمین‌ساختی مشاهده شده در منطقه حائز اهمیت می‌باشد. شاخص‌های ریخت‌سنجی در بررسی زمین‌ساخت فعال مفید و حائز اهمیت هستند، زیرا این شاخص‌ها در ارزیابی سریع مناطق گسترده به کار گرفته می‌شوند و اغلب اطلاعات ضروری به سهولت از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای منطقه به‌دست می‌آیند. مزیت استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی این است که می‌توان نتایج حاصل از چند شاخص را که دارای دقت و اعتبار بیشتری هستند را با هم تلفیق کرد تا مرتبه فعالیت زمین‌ساختی یک منطقه تعیین شود (Keller and Pinter 1996). در زمینه بررسی زمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی، پژوهش‌هایی در ایران و جهان صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به فرهودی و همکاران، ۱۳۸۸؛ خاوری و همکاران، ۱۳۸۹؛ رنگزن و همکاران، ۱۳۸۶؛ Barzegar, 1994؛ Jordan and Csillag 2003؛ Keller and Pinter, 2002؛ El Hamdouni et al. 2007؛ Bull and McFaddn 1997، Burbank and Anderson, 2008 اشاره نمود.

لذا هدف از این تحقیق استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی Sl، Vf و Smf به همراه سایر اطلاعات مانند روندگسل‌های اصلی، سازندهای زمین‌شناسی و نقشه پراکندگی کانون‌های زمین‌لرزه جهت یافتن رده‌بندی فعالیت زمین‌ساختی و تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساختی منطقه در محیط نرم‌افزاری GIS می‌باشد.

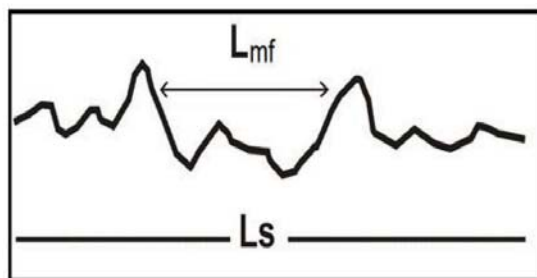
موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

از لحاظ جغرافیایی منطقه لالی - گتوند در ۱۵۰ کیلومتری شمال اهواز و ۴۵ کیلومتری شمال باختری مسجد سلیمان در حوضه کارون میانی با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه تا ۳۲



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی گستره مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (با اندکی تغییر از O'B Perry and Setudehnia, 1967)

پیشانی کوهستان با آبرفت و L_s طول خط مستقیم پیشانی کوهستان می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲. شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (برگرفته از Bull, 2007)

این شاخص توازن بین شدت و تمایل رودها برای ایجاد یک پیشانی نامنظم و فعالیت زمین‌ساختی قائم جهت ایجاد یک پیشانی مستقیم برای کوه است. پیشانی کوه‌هایی که با بالآمدگی فعال همراهند، تقریباً مستقیم است. بنابراین

شدت نسبی فرایندهای زمین‌ساختی و بررسی نسبی میزان بالآمدگی یا فرونشست زمین به شمار می‌روند. با توجه به اینکه شاخص‌های کمی و کیفی ریخت‌سنجی به خوبی گویای فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه هستند با به‌کارگیری سه شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن و شاخص شیب طول رود، زمین‌ساخت منطقه از لحاظ بیشترین و کمترین فعالیت زمین‌ساختی تقسیم‌بندی شده است.

۱. محاسبه شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان

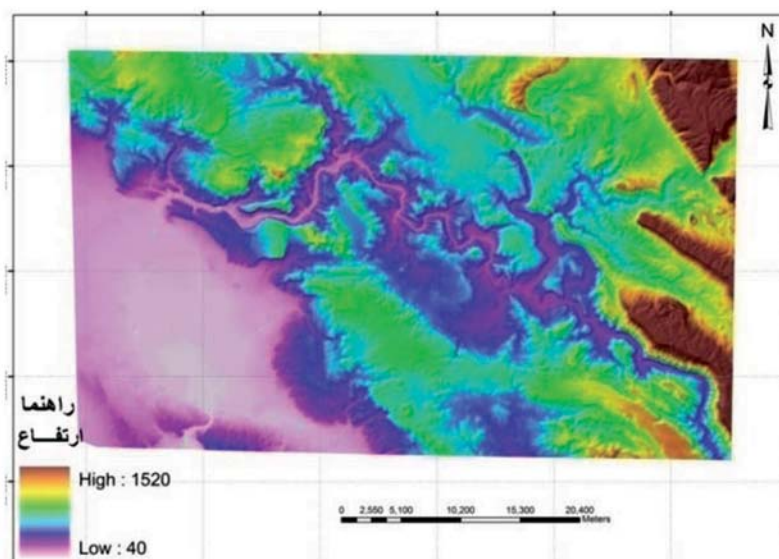
شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان را به‌وسیله معادله زیر محاسبه می‌کنند:

$$S_{mf} = L_{mf}/L_s$$

که در این معادله L_{mf} طول پیشانی کوهستان در طول

عکس‌های هوایی محاسبه شود. بنابراین مقادیر Smf به مقیاس عکس وابسته است و نقشه‌های توپوگرافی کوچک مقیاس (۱/۲۵۰۰۰۰) تنها یک تخمین تقریبی از سینوسیته پیشانی کوهستان فراهم می‌آورند. نقشه‌های بزرگ مقیاس‌تر که بیشتر نشانگر نامنظمی‌های پیشانی کوهستان هستند، برای محاسبه Smf مناسب‌ترند (ثروتی و همکاران، ۱۳۸۷؛ فرهودی و همکاران، ۱۳۸۸). به منظور محاسبه Smf از مدل رقومی ارتفاع (شکل ۳) و تصویر برجسته‌ی سایه روشن^۱ (Hillshade) برای پیشانی‌های کوهستانی اصلی تمام منطقه استفاده شده است. مقدار این شاخص در گستره مورد مطالعه با مقدار ۱/۴ در مناطق فعال تا ۱۲/۶ در مناطق غیرفعال زمین ساختی به دست آمد (شکل ۴). نقشه‌ی میان‌یابی شده بر اساس شاخص Smf تهیه شده و منطقه به چهار ناحیه از لحاظ درجه نسبی فعالیت زمین‌ساختی تقسیم شده است.

خمش پایین در یک پیشانی کوهستانی مستقیم و صاف با یک گسل مرزی فعال دیده می‌شود. اگر نرخ بالآمدگی کم یا متوقف شود. فرایندهای فرسایشی، پیشانی کوهستان را با بی‌نظمی بیشتری خواهند تراشید و شروع به تشکیل پیشانی پریپیچ و خم می‌کند که با گذشت زمان نامنظم‌تر می‌شود و در نتیجه مقدار پیچ و خم پیشانی کوهستان افزایش خواهد یافت (Bull, 2007). بنابراین هرگاه مقدار این پارامتر با یک برابر باشد بیانگر فعال بودن منطقه از نظر زمین‌ساختی است و افزایش در مقدار آن بیانگر کاهش در فعالیت زمین‌ساختی منطقه است. از سوی دیگر جنس سنگ‌های کوه و مقاومت آنها در برابر عوامل فرسایش می‌تواند در مقدار شاخص Smf مؤثر باشد (Doornkamp, 1986). Bull and McFadden (1997) از جمله محققینی بودند که از شاخص Smf برای ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی استفاده کردند. مقادیر Smf در عمل می‌تواند به‌سادگی از روی نقشه‌های توپوگرافی یا



شکل ۳. مدل رقومی ارتفاع گستره مورد مطالعه

۲. محاسبه‌ی شاخص طول شیب رودخانه (SI)

متغیر آب‌شناسی مهمی به شمار می‌آید، زیرا به توانایی رود برای فرسایش کف و انتقال رسوب وابسته است (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۴). شاخص SI همچنین به تغییرات شیب مجرا بسیار حساس است که این حساسیت سبب ارزیابی

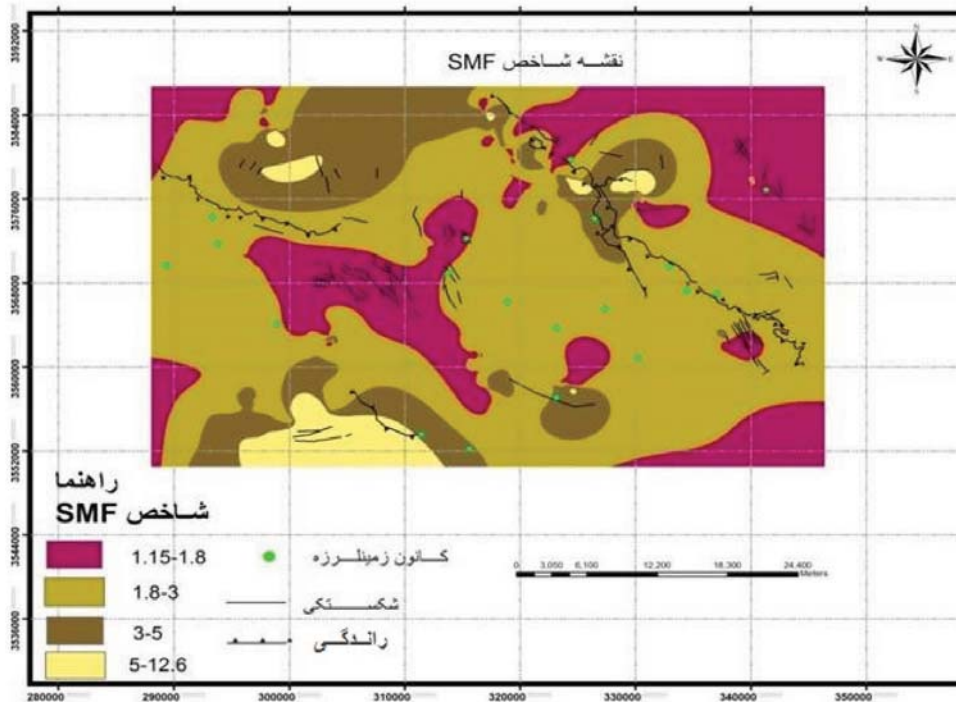
مقدار این شاخص با استفاده از رابطه $SL = \Delta H / \Delta L$ محاسبه می‌شود (شکل ۵). در این معادله SI شاخص طول شیب رودخانه و ΔH نشانگر تغییر ارتفاع مجرا، ΔL معرف طول آن و L طول کل مجرا از نقطه مورد نظر می‌باشند. شاخص SI با توان رود متناسب است، توان مفید رود

1. Hillshade

طیبه احمدی و همکاران

توان فرسایشی شدید آبراهه‌ها می‌باشد. مقدار پایین شاخص SI نواحی با فعالیت کم زمین‌ساختی را نشان می‌دهد. نقشه پهنه‌بندی این شاخص در منطقه تهیه شده است (شکل ۷) که در آن مقدار شاخص SI از ۴۲۶۵ در مناطق فعال تا ۵۰ در مناطق غیرفعال زمین‌ساختی متغیر می‌باشد.

روابط فعالیت‌های زمین‌ساختی، مقاومت سنگ و توپوگرافی می‌شود. با استفاده از نقشه توپوگرافی و شبکه آبراهه‌های استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع، شاخص SI برای تمامی رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی که روند غالب کوهستان را قطع کرده‌اند محاسبه شد (شکل ۶). بالا بودن مقدار این شاخص نشان‌دهنده مناطق با فعالیت زمین‌ساختی بالا و

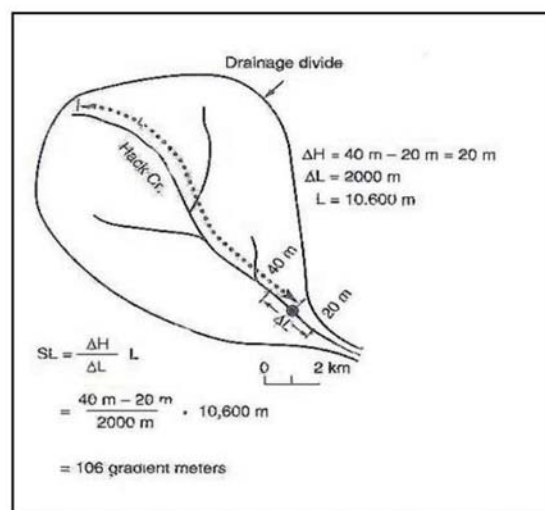


شکل ۴. نقشه حاصله از شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان در چهار ناحیه از لحاظ فعالیت نسبی زمین‌ساختی

۴.۳. محاسبه نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (VF) شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، دره‌های U شکل با مقادیر Vf نسبتاً زیاد را از دره‌های V شکل با مقادیر نسبتاً کم Vf از یکدیگر تفکیک می‌کند. مقادیر زیاد Vf مرتبط با نرخ‌های کم بالآمدگی و مقادیر کم Vf بیانگر دره‌های عمیق با بالآمدگی زیاد می‌باشند (Keller and Pinter 2002).

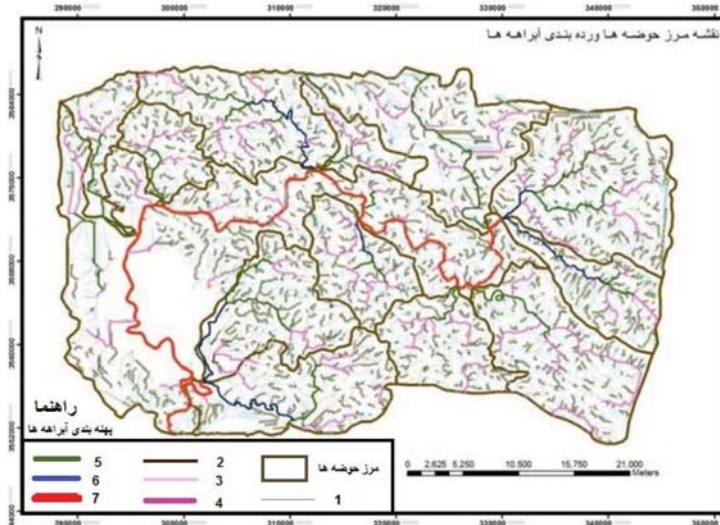
پهنای کف دره به ارتفاع دره را می‌توان به صورت معادله زیر نوشت:

$$VF = 2Vf_w / (Erd - Esc) + (Eld - Esc)$$



شکل ۵. شاخص شیب طول رودخانه (Keller and Pinter 2002)

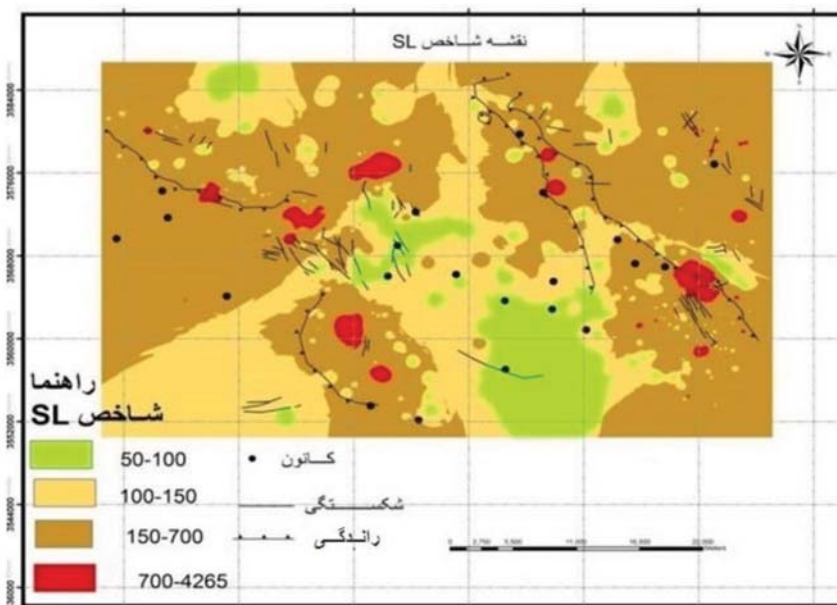
$$VF=2Vfw/(Erd-Esc)+(Eld-Esc)$$



شکل ۶. مرز حوضه‌ها و شبکه آبراهه‌های گستره مورد مطالعه

غیرفعال محاسبه شد. نقشه‌ی میان‌یابی شده بر اساس این شاخص در شکل ۱۰ ارائه شده است. در زمان محاسبه‌ی VF لازم است تا این پارامترها به صورت مجموعه فواصل از پیشانی کوهستان برای هر دره محاسبه و برداشت شود. در واقع این شاخص بازتابی از اختلاف بین دره‌های با کف وسیع و عریض و مقدار نسبتاً زیاد VF و دره‌های V شکل با میزان کم VF می‌باشد (شکل ۱۱).

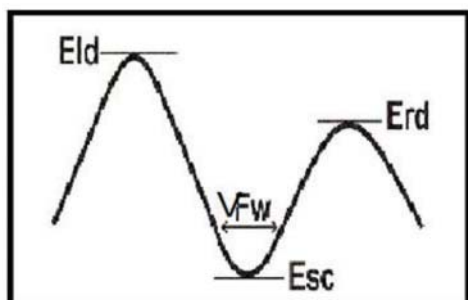
با توجه به معادله و شکل ۸، نسبت بهنای کف دره به ارتفاع دره، Vfw بهنای کف دره، Erd و Eld ارتفاع دیواره‌های سمت راست و چپ دره و Esc ارتفاع کف دره می‌باشد. در این تحقیق شاخص VF بر اساس مدل ارتفاعی رقومی در مقطعی که آبراهه اصلی، دره‌ها را قطع کرده باشد (شکل ۹) با فاصله‌های مساوی اندازه‌گیری شده و مقدار این شاخص از ۰/۳۳ در مناطق فعال تا ۱۴۱/۶ در مناطق



شکل ۷. نقشه شاخص شیب رودخانه

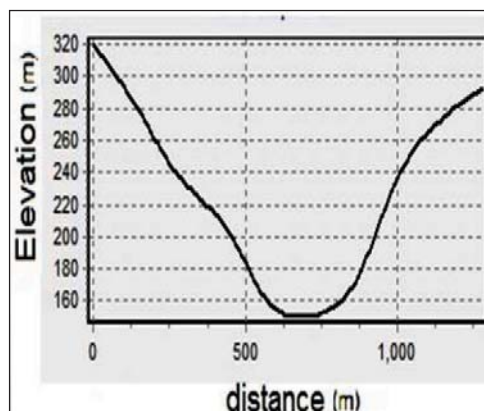
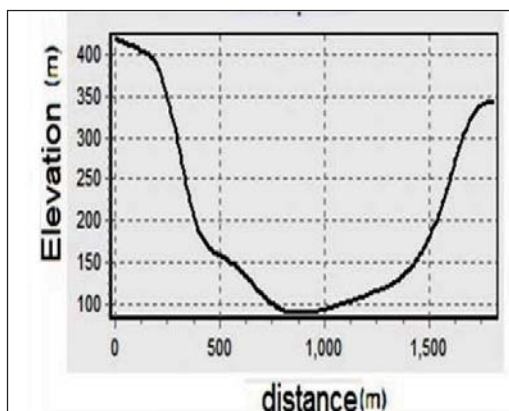
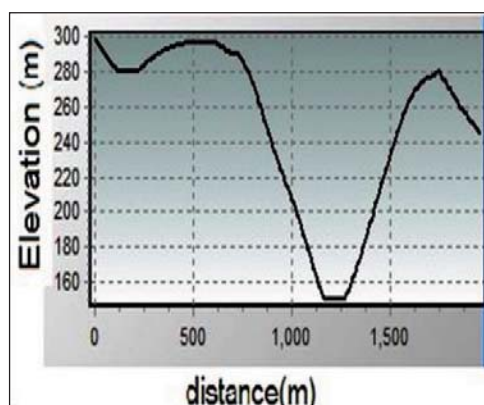
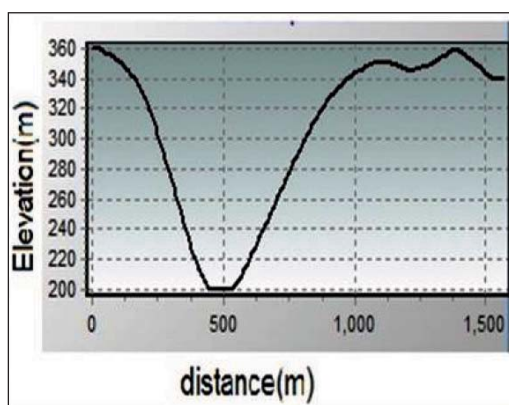
بحث: فعالیت زمین ساختی

Hamdouni et al., 2007 و Keller and Pinter, 2002
چهار دسته بندی زیر برای تعیین درجه فعالیت زمین ساختی
از طریق شاخص های ریخت زمین ساختی ارایه می گردد:



شکل ۸. نحوه استفاده از شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Silva et al., 2003)

شاخص های ریخت زمین ساختی علاوه بر انعکاس وضعیت زمین ساختی منطقه، تحت الشعاع وضعیت آب و هوایی، ساختار زمین شناسی، مقاومت سنگ و جنس سنگ ها و سازندهای منطقه نیز قرار دارند. لذا نمی توان حد و مرز مشخصی برای این شاخص های ریخت زمین ساختی، جهت ارائه یک رده بندی دقیق برای فعالیت های زمین ساختی معین کرد (Wolman and Gerson, 1978). اطلاعات این شاخص ها که به کمک نقشه ها حاصل می شوند، برای نواحی که مطالعات دقیق صحرایی در مورد آنها نمی تواند انجام گیرد، مفید است. با استفاده از نظرات Bull and McFadden, 1997؛ Bull, 2007؛ Mayer, 1986؛ El



شکل ۹. نمایی از نمودارهای ترسیمی به شکل دره های V و U براساس مدل ارتفاعی رقومی در گستره مورد مطالعه



شکل ۱۰. نمای کلی از دره‌های الف) U شکل در بالا رود ب) V شکل در رودخانه جلوبر لالی

اما هنوز مرز کوه و دشت به مقدار قابل توجهی صاف است. دسته ۴: شاخص‌های Smf و Vf در این دسته بسیار بزرگ‌تر از یک می‌باشد. در این دسته علاوه بر U شکل بودن نیمرخ آبراهه‌ها، مرز کوه و دشت نیز دارای فرورفتگی‌های زیادی است. در این حالت فرایندهای فرسایشی بر فرایندهای زمین‌ساختی غلبه کرده و گسترش اولیه دشت آبرفتی قابل مشاهده است. مرزبندی بین رده‌های یاد شده در بالا اختیاری است و تنها به تفاوت نسبی اشاره می‌کند. پس نمی‌توان مرز مشخصی را برای مقدار مشخصی از شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناختی قرار داد.

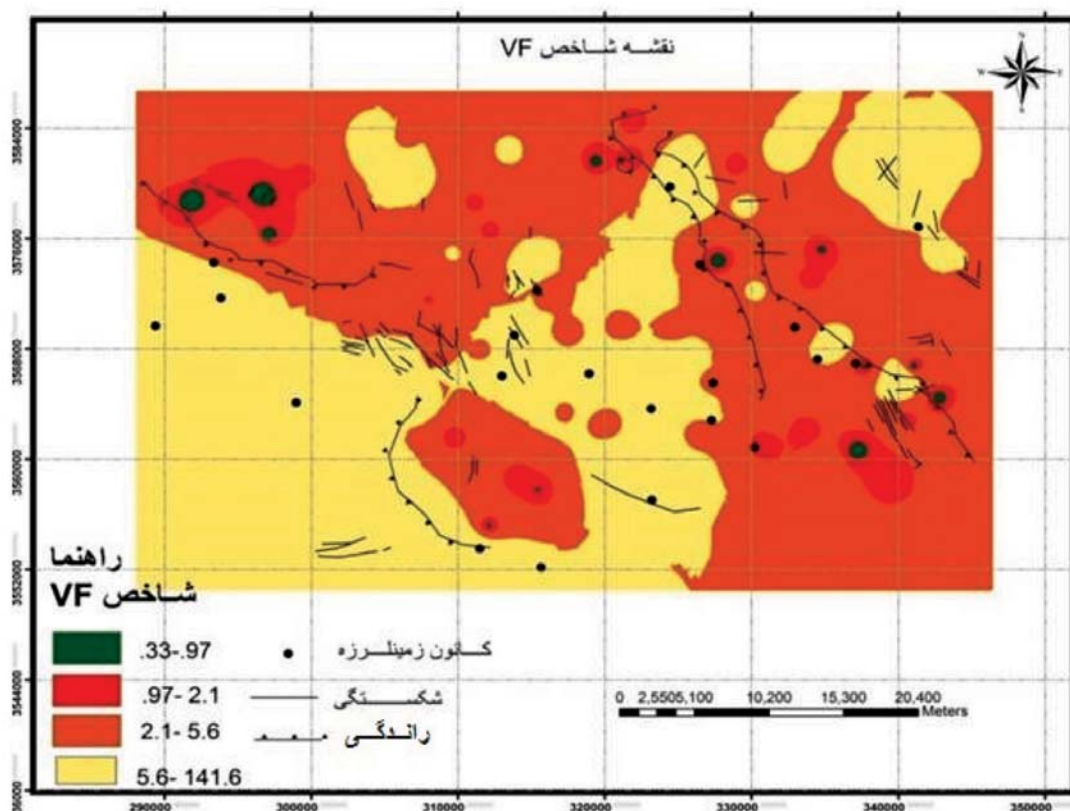
با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و توابع تحلیلی (مدل فازی تخصیص برای کاربری‌های چندگانه)، به همراه تلفیق لایه‌های اطلاعاتی SI، Vf و Smf از کوهستان‌ها، دره‌ها و رودخانه‌های منطقه، نقشه پهنه‌بندی فعالیت نسبی زمین‌ساختی تهیه شد (شکل ۱۲). با توجه به مطالب فوق منطقه مورد مطالعه به چهار ناحیه زمین‌ساختی خیلی فعال، فعال، نسبتاً فعال و غیرفعال تقسیم می‌شود (جدول ۱). برای هر ناحیه از منطقه مقادیر شاخص ریخت‌سنجی مشخص شده و شدت فعالیت زمین‌ساختی طبق جدول (۱) تعیین شده است.

دسته ۱: این دسته دارای بیشترین فعالیت زمین‌ساختی برمبنای رده‌بندی Bull and McFadden, 1997 می‌باشد در این دسته شاخص Smf بین یک تا ۱/۶ و شاخص Vf مقادیری کوچک‌تر از یک را به خود اختصاص می‌دهد. وجود آبرفت‌های بادبزنی پرنشده، حوضه آبراهه کشیده، کف دره‌های باریک و کم‌عرض و شیب تند تپه‌ها از دیگر خصوصیات این دسته است. مقدار شاخص SI بر مبنای رده‌بندی El Hamdouni et al., 2007 بیشتر از ۷۰۰ می‌باشد.

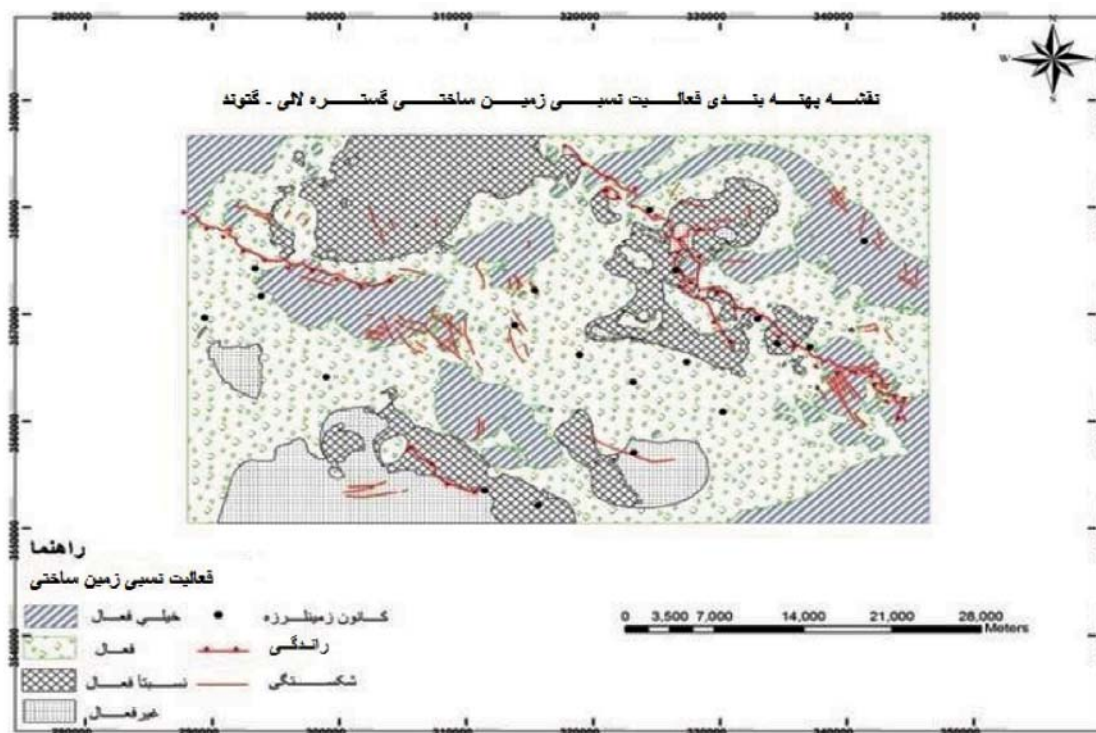
دسته ۲: در این دسته برمبنای رده‌بندی Bull and McFadden, 1997 شاخص Smf بین ۱/۴ تا سه متغیر و شاخص Vf اندکی بیشتر از یک است. سرعت حفر آبراهه‌ها در این دسته در حدی است که نیمرخ عرضی آبراهه‌ها در بالا رود آن هنوز V شکل است. مقدار شاخص SI بر مبنای رده‌بندی El Hamdouni et al., 2007 در این روش بین ۵۰۰-۷۰۰ می‌باشد.

دسته ۳: در این دسته برمبنای رده‌بندی Bull and McFadden, 1997 شاخص Smf بین ۱/۸ تا پنج متغیر است و شاخص Vf بسیار بزرگ‌تر از یک (دو تا هفت) هستند. حفر آبراهه‌ها در این دسته بر مقدار بالآمدگی پیشانی کوه کاملاً فزونی دارد به طوری که نیمرخ آبراهه‌ها در بالا رود U شکل است

طیبه احمدی و همکاران



شکل ۱۱. نقشه تهیه شده بر اساس شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن



شکل ۱۲. نقشه پهنه بندی فعالیت نسبی نوزمین ساختمانی گستره لالی- گتوند

جدول ۱. رده‌بندی فعالیت نسبی نوزمین‌ساختی براساس شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گستره مورد مطالعه

| SI | Vf | Smf | رده فعالیت زمین‌ساختی |
|----------|-----------|---------|-----------------------|
| ۷۰۰-۴۲۶۵ | ۰/۳۳-۰/۹۷ | ۱/۱-۱/۸ | خیلی فعال |
| ۱۵۰-۷۰۰ | ۰/۹۷-۲/۱ | ۱/۸-۳ | فعال |
| ۱۰۰-۱۵۰ | ۲/۱-۵/۶ | ۳-۵ | متوسط |
| ۵۰-۱۰۰ | ۵/۶-۱۴/۶ | ۵-۱۲/۶ | کم |

تجزیه و تحلیل الگوی آبراهه‌ها و تأثیر حرکات زمین‌ساختی بر روند آبراهه‌ها

لحاظ زمین‌ساختی جزء مناطق فعال است. زهکشی‌های طرح شاخه درختی در نواحی که رودخانه‌های شاخه درختی جریان دارد دیده می‌شوند. علت تشکیل آنها همان جهت فقدان اصلی است که سبب می‌شود زهکشی شبیه شاخه‌های پیچیده درختان شود. انشعابات فرعی با هر زاویه‌ای به شاخه اصلی راه می‌یابند و رودخانه‌ها بستری نامنظم خواهند داشت. در مناطق با زمین‌ساخت شدید، تحت شرایط خاصی این قبیل زهکشی‌ها تشکیل می‌شوند که در واقع الگوی اصلی آبراهه‌های گسترده مورد مطالعه می‌باشد. درحالی‌که زهکشی‌های طرح عمود بر هم از دنبال کردن تقاطع شکستگی‌ها و گسل‌ها به‌وسیله آب به‌وجود می‌آیند. رودخانه‌هایی که در این نواحی جریان دارند دارای طرح عمود برهم هستند. مناطق دربرگیرنده این قبیل زهکشی‌ها شامل سنگ‌های متجانس متبلور یا سنگ‌های رسوبی افقی یا کمی شیب‌دار است. این الگو بیشتر در بخش شمال خاوری و مرکز منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود.

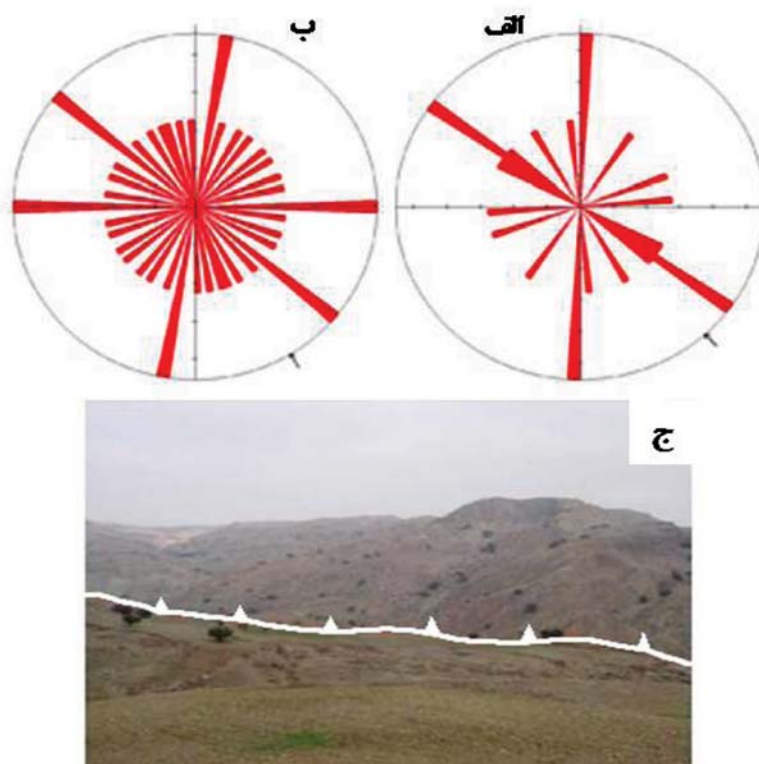
نتیجه‌گیری

براساس آنچه که در رده‌بندی فعالیت نسبی زمین‌ساختی بیان شد و همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از محاسبه شاخص‌های SI، Vf و Smf و استخراج خطوط آبراهه‌ها از نقشه DEM و ترسیم نمودار گلسرخی خطوط آبراهه‌ها نتایج تفسیر زمین‌ساختی منطقه به شرح زیر می‌باشد:

- بر اساس مدل رقومی ارتفاع، نقشه نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره ترسیم شد. در این نقشه بیشترین میزان فعالیت زمین‌ساختی در خاور، شمال و شمال

آبراهه‌ها و شکل الگوی آنها در تفسیر مسائل سنگ‌شناسی و زمین‌ساختی منطقه، راهنماهای فوق‌العاده کاربردی هستند. از آنجاکه آبراهه‌ها به‌عنوان تأثیرپذیرترین عنصر از فعالیت‌های زمین‌ساختی شناخته می‌شوند به‌منظور بررسی این فعالیت‌ها، پس از اندازه‌گیری راستای آبراهه‌ها با استفاده از نرم‌افزار (GEORIENT) نمودار گلسرخی آبراهه‌ها برای تمام آبراهه‌های گسترده مورد مطالعه تهیه شده است (شکل ۱۳). بنابراین مشخصات آبراهه‌ها، در ارتباط با وضعیت سنگ و ناهمواری منطقه می‌باشند. گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌توانند سبب هدایت آبراهه‌ها در مسیر شکستگی‌ها شوند. البته شبکه زهکشی تا حد زیادی تابعی از پارامترهایی نظیر سرشت سنگ، لیتولوژی و آنومالی‌های توپوگرافی می‌باشد. این پارامترها، در هدایت و یا تغییر مسیر آبراهه‌ها موثر هستند.

با توجه به استخراج خطوط آبراهه‌ها (شکستگی‌ها و یا گسل‌ها) و آبراهه‌ها از نقشه DEM و ترسیم نمودار گلسرخی خطوط آبراهه‌ها که بیشترین فراوانی در جهت N04E و N50W و بیشترین فراوانی راستای آبراهه‌های منطقه در جهت‌های N10E، N47W و N90E هستند (شکل ۱۳) می‌توان چنین استنباط کرد که راستای آبراهه‌ها از روند شکستگی‌های زمین‌ساختی منطقه تبعیت می‌کند و ریخت‌شناسی رودخانه‌ها تحت تأثیر زمین‌ساخت منطقه قرار گرفته است. همچنین الگوی کلی آبراهه‌های استخراج شده از نقشه DEM به‌صورت اجتماعی از زهکش‌های عمود بر هم و شاخه درختی و شاهدهی از تقاطع شکستگی و گسل‌ها با یکدیگر می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که این منطقه از



شکل ۱۳. الف) روند کلی شکستگی‌ها و یا گسل‌ها (ب) راستای کلی آبراهه‌ها و (ج) نمایی از گسل راندگی شمال لالی

تهیه شد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی بیشتر منطقه از لحاظ زمین‌ساختی در ناحیه زمین‌ساختی فعال قرار می‌گیرد.

● با توجه نمودار گلسرخی می‌توان چنین استنباط کرد که بیشترین فراوانی راستای گسل‌های منطقه در جهت $N40E$ و $N50W$ می‌باشد و بیشترین فراوانی راستای آبراهه‌ها در منطقه در جهت‌های $N10E$, $N47W$ و $N90E$ می‌باشد که نشان می‌دهد راستای آبراهه‌ها از روند شکستگی‌های زمین‌ساختی منطقه تبعیت می‌کند.

● الگوی کلی آبراهه‌ها که اجتماعی از زهکش‌های عمود بر هم و شاخه درختی را نشان می‌دهند مربوط به مناطقی است که شکستگی‌ها و گسل‌ها یکدیگر را قطع کرده و این مناطق از لحاظ زمین‌ساختی جزء مناطق فعال هستند و در بخش شمال خاوری و مرکز منطقه لالی- گتوند قرار می‌گیرند.

باختر و کمترین در جنوب باختر می‌باشد.

- نقشه به‌دست‌آمده از شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان، منطقه را به چهار ناحیه از لحاظ درجه نسبی فعالیت زمین‌ساختی تقسیم می‌کند که با توجه به بازدهی‌های صحرایی و برونزد سازند گچساران می‌توان نتیجه گرفت که کمترین مقدار شاخص فوق در جایی بوده که سازند گچساران رخنمون داشته است و چون رخنمون‌های سازند گچساران بر محل راندگی‌های اصلی منطقه منطبق است، بنابراین این مناطق بیشترین فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهند.
- نقشه به‌دست‌آمده از محاسبه شاخص SI منطقه را به چهار ناحیه از لحاظ درجه نسبی فعالیت زمین‌ساختی تقسیم کرده که بر اساس این شاخص بیشتر بخش‌های منطقه از لحاظ زمین‌ساختی فعال می‌باشد.
- نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساختی منطقه لالی- گتوند در چهار رده زمین‌ساختی خیلی فعال، فعال، نسبتاً فعال و غیرفعال با تلفیق سه لایه اطلاعاتی Vf ، Smf و SI

قدردانی

نویسندگان از پشتیبانی و همکاری معاونت آموزشی و پژوهشی دانشگاه گلستان و همچنین سازمان آب و برق خوزستان که باعث سهولت در انجام این تحقیق شده است، تشکر می‌کند. همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از زحمات و پیشنهادهای بسیار ارزنده دو داور محترم که سبب بر طرف شدن ایرادات و اشکالات علمی پیش‌نویس مقاله فوق شده تشکر و قدردانی کنند.

منابع

- سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۳۶.
- مهندسین مشاور آب نیرو، ۱۳۸۵، مطالعات ژئوتکتونیک محل سد و نیروگاه و تأسیسات وابسته. طرح سد و نیروگاه تالوگ ۲۰۱.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran new data and interpretation. *Tectonophysics*, 229, 211-238
- Barzegar, F., 1994. Basement fault mapping of Zagros folded belt (S. W. Iran) based on Space-Born Remotely Sensed Data. *Proceeding of the 10th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing: Exploration, Environment and Engineering*, San Antonio, 455-466.
- Berberian, M., 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonic. *Tectonophysics*, 241, 193-22
- Bull, W.B. and MacFadden, L.D., 1997. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California. *Proceeding of 8th Annual Geomorphology Symposium*, New York.
- Bull, W.B., 2007. *Tectonic Geomorphology of Mountains a New Approach to Paleoseismology*. Blackwell, 325.
- Burbank, D.W. and Anderson, R.S., 2008. *Tectonic Geomorphology*. Department of Geosciences, The Pennsylvania State University.
- Doornkamp, J.C., 1986. Trend-surface analysis of planation surfaces, with an East-African case study, In: Chorley, R.J. (Ed.), *Spatial Analysis in Geomorphology*, Methuen, London, 247-281.
- El Hamdouni R., Irigaray C., Fernandez T., Chacón J. and Keller E.A., 2007. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96, 150-173
- احمدی، ط.، ۱۳۹۲. تحلیل ریخت زمین‌شناختی منطقه لالی- گتوند، استان خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گلستان، ۱۰۶.
- ثروتی، م. ر.، صدوق، س. ح.، غلامی نیا، ح.، ۱۳۸۷. ژئومورفولوژی و مورفوتکتونیک تاقدیس گچ. مجله پژوهش‌های علوم زمین، ۱، ۷۰-۵۴.
- خاوری، ر.، قرشی، م.، آری، م. و خسرو تهرانی، خ.، ۱۳۸۹. نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال حوضه رودخانه کرج در دامنه جنوبی البرز مرکزی، شمال ایران. فصلنامه علوم زمین، ۷۵، ۶۷-۷۴.
- رنگرن، ک.، زرگرزاده، م.، چرچی، ع. و آبشیرینی، ا.، ۱۳۸۶. کاربرد علوم سنجش‌ازدور و GIS در پهنه‌بندی نئوتکتونیک کوه‌های زاگرس با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک. یازدهمین انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- سلیمی، س.، ۱۳۸۵. مطالعه نئوتکتونیک محدوده شوشتر - هفتگل با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۴۸.
- فرهودی، ق. ا. و شرفی، ه.، ۱۳۸۸. بررسی مورفوتکتونیک باباکوهی واقع در شمال شیراز. فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، ۲، ۱۳۴ - ۱۲۶.
- فقیه، ع.، سامانی، ب.، خبازی، س. و روشنگر، ر.، ۱۳۹۰. تحلیل زمین‌ریخت‌شناسی فعالیت‌های زمین‌ساختی مؤثر در شکل‌گیری دریاچه مهارلو. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۱، ۶۵-۶۲.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲. چینه‌شناسی زاگرس. انتشارات

- Hack, J. T., 1973. Stream - profile analysis and stream - gradient index. United State Geological Survey Journal Research. 1,421- 429.
- Jordan, G. and Csillag, G., 2003. A GIS Framework for Morphotectonic Analysis-a case study. Proceedings of Fourth European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, Bologna, Italy, Proceedings, 1, 2, Regione Emilia-Romana, Servizio Geologico, Bologna, 516-519.
- Keller, E. A. and Pinter, N., 2002. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landforms. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 362.
- Mayer, L., 1986. Tectonic Geomorphology of Scarps and Mountain Fronts, in Active Tectonic compiled by Wallace, R.E, Washington, Nation Academic Press ,125-135, Washington, D.C.
- Oberlander, T. H., 1965. The Zagros streams: A new inter orientation of transverse drainage in on orogenic zone, Syracuse Geography, Series No, 1.
- O'B Perry, J. T. and Setudehnia, A., 1967. Geological Compilation map of Shushtar, 1:100000, No.25470, Iranian Oil Operating Companies, Tehran, IRAN.
- Silva, P. G., Goy, J. L., Zazo. C. and Bardajim, T., 2003. Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity. Geomorphology, 250, 203-226.
- Wolman, M. G. and Gerson, R. 1978. Relative scale of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology, Earth Surface Processes, 3(2), 189-208.