

بررسی تأثیرات تکتونیکی گسل کماستان بر شبکه زهکشی و مخروط افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در دامنه‌های شمالی ارتفاعات جغتای

جواد جمال‌آبادی^{۱*}، ابوالقاسم امیراحمدی^۲، قاسم مونسیان^۳، علی‌اکبر شایان‌یگانه^۴

^۱ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری،

^۲ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری،

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

^۴ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۲۴

چکیده

گسل کماستان یکی از گسل‌های مهم دامنه‌های شمالی ارتفاعات جغتای است که از لحاظ داده‌های ساختمانی به ایران مرکزی تعلق دارد. هدف از این پژوهش، ارزیابی اثر تکتونیک بر شبکه زهکشی و مخروط‌افکنه‌های منطقه و مقایسه نتایج حاصله بر اساس شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژیکی است. در این تحقیق از برخی از شاخص‌های کمی ژئومورفیک از قبیل انتگرال فراز نمای منحنی هیپسومتری حوضه‌های آبریز، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (VF)، نسبت (V)، عدم تقارن حوضه‌ها (AF)، شاخص گرادیان - طول رودخانه (SL)، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) و شاخص وسعت مخروط افکنه استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص (AF) در وضعیت بسیار فعال، شاخص‌های (VF) و نسبت (V) در وضعیت فعال و نیمه فعال، شاخص (SL) در وضعیت نیمه فعال تا غیرفعال و شاخص (T) در وضعیت غیر فعال به لحاظ تکتونیکی قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از تلفیق کلیه شاخص‌ها، منطقه مورد مطالعه را از لحاظ تکتونیک در وضعیت نیمه فعال متمایل به غیر فعال (بالغ مایل به پیر) قرار می‌دهد.

واژگان کلیدی: تکتونیک، شاخص‌های مورفومتریک، ژئومورفولوژی، ارتفاعات جغتای، گسل کماستان

مقدمه

هر چند لندفرم‌ها در بسیاری از مناطق دارای فعالیت‌های تکتونیکی می‌تواند حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تأثیرات عوامل مختلف دینامیک درونی و بیرونی باشد، شاخص‌های ژئومرفیک در بررسی فعالیت‌های تکتونیکی، اعم از پالئوتکتونیک و نئوتکتونیک می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید و کارآمد استفاده شود، زیرا با استفاده از آن‌ها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع یا کند تکتونیکی را تجربه کرده‌اند، به آسانی شناسایی نمود (رامیز و هیرا^۱، ۱۹۹۸). با مطالعه و بررسی لندفرم‌های توپوگرافی و الگوی سیستم‌های شبکه‌ی زهکشی با استفاده از شاخص‌های ژئومرفیک و با در نظر گرفتن ساختمان زمین‌شناسی هر منطقه، می‌توان عملکرد تکتونیک فعال را ارزیابی کرد و بود و نبود حرکات تکتونیکی فعال را مشخص نمود (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰).

شواهد ژئومورفولوژیکی، همچون نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (VF)، نسبت (V)،^۲ عدم تقارن آبراه‌ها (AF)، شاخص گرادیان-طول رودخانه (SL)، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) و شاخص وسعت مخروط‌افکنه و برخی از شاخص‌های کمی دیگر، عملکرد فعالیت‌های پالئوتکتونیک و نئوتکتونیک را به نمایش می‌گذارند. با توجه به تعلق منطقه مورد مطالعه به زون ایران مرکزی و تحرک شدید این منطقه در مزوزوئیک و سنوزوئیک، نیروهای تکتونیکی منجر به ایجاد لندفرم‌ها و یا تغییر شکل در فرم‌های قدیمی شده‌اند؛ از این‌رو مطالعه‌ی این تغییرات بر اساس شواهد و شاخص‌های ژئومرفیک، اهمیت ویژه‌ای دارد. شاخص‌های ژئومرفیک در نقاط مختلف دنیا و ایران برای بررسی وضعیت تکتونیک فعال بررسی شده‌اند که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

مسائل مربوط به مخروط‌افکنه‌ها از دهه‌ی ۱۹۶۰ رو به گسترش رفت (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۸۴). هک^۳ (۱۹۷۳) برای کمی کردن نیم‌رخ طولی شاخه اصلی رودخانه‌ها، در سال ۱۹۷۳ شاخص طول-گرادیان رودخانه (SL) را ابداع کرد. وی ضمن مطالعه رابطه میان شیب کانال و اندازه‌ی ذرات بستر رودها در کوه‌های آپالاش به این شاخص دست یافت. او در تجزیه و تحلیل‌هایش به طریق تجربی استدلال نمود که مقدار شاخص (SL) به اختلاف مقاومت سنگ‌ها و اندازه‌ی ذرات تشکیل دهنده‌ی بستر رود بستگی دارد و نتیجه گرفت که با قدرت رود نیز در ارتباط است. تالینگ و همکاران^۴ (۱۹۹۷)، تحقیقی با عنوان «فاصله‌بندی منظم خروجی زهکشی‌ها در بلوک‌های گسلی» انجام دادند و شاخص نسبت فاصله‌ای را در کوه‌های کالیفرنیا و جنوب غربی نیپال بررسی کردند. مطالعه‌ی آن‌ها نشان

1- Ramiez&Heerea

۲ - نسبت مساحت دره به مساحت نیم دایره‌ای با شعاع معادل عمق دره

3- Hack

4- talling et al

داد که فاصله‌ی خروجی شبکه‌های زهکشی تا حدود زیادی متأثر از پهنای رشته کوه‌ها است. کلر^۱ (۱۹۷۷). با مطالعه در کوه‌های سن گابریل جنوب کالیفرنیا مشاهده کرد که در مکان‌هایی با نرخ بالآمدگی زیاد، مقادیر شاخص (SL) نیز است. با این یافته، وی نیز بر فایده‌ی شاخص مزبور به عنوان ابزاری برای حصول اطلاعات مقدماتی درباره‌ی بالآمدگی تأکید کرد. بول و فادن^۲ (۱۹۷۲) از شاخص نسبت پهنای به عمق یا ارتفاع دره (VF) برای شناسایی عامل فرسایش استفاده کرده، ایجاد مورفولوژی دره‌ها را توجیه کردند. آن‌ها تأثیر تکتونیک را از طریق نیمرخ عرضی دره‌ها بررسی کردند. تحقیقات این دو نفر در شمال و جنوب گسل گارلوک انجام شد. نتایج تحقیقات آن‌ها به سه رده‌بندی مهم از نظر تکتونیکی منجر شد. ولز و همکاران^۳ (۱۹۸۸)، به بررسی شاخص‌هایی مانند سطوح مثلثی شکل، شاخص تسطیح شدگی جبهه‌ی کوهستان، سینوسیت جبهه کوهستان، تقعر نیمرخ رودخانه در سواحل کاستاریکا پرداختند.

از تحقیقات دیگری که در این زمینه انجام شده می‌توان به کارهای همبلین^۴ (۱۹۷۶) و بول^۵ (۲۰۰۷) اشاره کرد. ریتز و همکاران^۶ (۲۰۰۰)، پس از انجام مطالعاتی به این نتیجه رسیدند که ژئومورفولوژی مخروطافکنه‌ها به عوامل محیطی مانند رژیم‌های آب و هوایی، وضعیت تکتونیک و لیتولوژی حوضه‌های نواحی بالا دست بستگی دارد. در مطالعه‌ای که چن^۷ و همکاران (۲۰۰۳) در تایوان انجام دادند، دریافتند که هرچه طول رودخانه بیشتر باشد، رودخانه مورد نظر کمتر تحت تأثیر سنگ‌شناسی بستر خود است و برعکس. مالیک^۸ و ماهانتی (۲۰۰۶) به مطالعه تأثیر تکتونیک در تکامل شبکه‌ی زهکشی و چشم‌اندازها با استفاده از شاخص‌های ژئومرفیک در هیمالیای هند پرداختند.

اولین بار در ایران بیومونیت^۹ (۱۹۷۲) در مورد مخروطافکنه‌های پای کوهی البرز مطالعاتی انجام داد. بهرامی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه زهکشی در چهار حوضه‌ی آبریز در شمال شرق ایران پرداخته و شاخص‌هایی مانند ناهنجاری سلسله مراتبی، تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی، شاخص انشعابات و درصد عدم تقارن حوضه را بررسی کردند و بر اساس نتایج حاصله، تمامی حوضه‌ها را از نظر تکتونیکی فعال ارزیابی کردند.

- 1- Keller
- 2- Bull & Fadden
- 3- Wells et al
- 4- Hamblin
- 5- Bull
- 6- Ritter et al
- 7- Chen et al
- 8- Malik et al
- 9- Beaumont

حبیب الهیان و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی وضعیت تکتونیکی بخش علیای زاینده رود بر اساس تکنیک‌های ژئومورفولوژیکی پرداخته و بخش‌های فعال، نیمه فعال و غیر فعال تکتونیکی را شناسایی و تفکیک کردند. رضایی مقدم (۱۳۷۴)، مخروط‌افکنه‌های دامنه‌های جنوبی میشوداغ و خیام و همکاران (۱۳۸۱) نیز مخروط‌افکنه‌های دامنه‌های شمالی میشوداغ را بررسی و مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که به وجود آمدن مخروط‌های چند بخشی در منطقه در نتیجه عملکرد گسل‌ها بوده است. مقصودی (۱۳۸۷) به بررسی مخروط‌افکنه جاجرود با هدف شناخت هر چه بیش‌تر عوامل مؤثر در شکل‌گیری و تحول آن، نظرات ارائه شده را ارزیابی کردند و در نهایت با محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک smf و vf نسبت به تعیین اثر حرکات تکتونیکی در منطقه اقدام کرد. نتایج تحقیق وی نشان می‌دهد که تحول مخروط‌افکنه جاجرود، حاصل عملکرد عوامل طبیعی شامل تغییرات اقلیمی و حرکات تکتونیکی و تغییر سطح اساس و عوامل انسانی بوده است.

رامشت و همکاران (۱۳۸۳) در مطالعه‌ای با عنوان تأثیر تکتونیک جنب‌بر مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های درختگان در منطقه‌ی شهداد کرمان به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های تکتونیکی با تأثیرگذاری در محل استقرار مخروط‌افکنه‌ها، افزایش رسوب‌دهی، افزایش شیب و در نتیجه افزایش توان حمل به مقدار رسوب رودخانه درختگان، نقش خود را در تحول و تکامل امروزی آن ایفا کرده است. مقصودی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی نقش تکتونیک در شکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌های دامنه‌ی تاقدیس قلاجه در جنوب استان کرمانشاه پرداخته‌اند و با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، میزان فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه را ارزیابی نمودند. نتایج تحقیق بیانگر آن است که تکتونیک منطقه (گسل‌ها)، نقش اصلی را در شکل‌گیری و تحول و مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های منطقه دارد. سیف و خسروی (۱۳۸۹)، تکنوتیک‌های فعال را در قلمرو تر است منطقه‌ی فارسان بررسی کرده‌اند. نتایج شاخص‌های متفاوت تبدیل به شاخص Iat شده‌اند و نقشه پهنه‌بندی تکنوتیکی حوضه‌ی فارسان در چهار کلاس بسیار فعال، فعال، نیمه فعال و غیرفعال ترسیم شده است. هدف از این پژوهش، بررسی فعال بودن منطقه از نظر تکتونیکی و تأثیر این نیروها بر شبکه آب‌ها و الگوی زهکشی و مخروط‌افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک است.

مبانی نظری تحقیق

تقریباً هیچ ناحیه‌ای را از جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تاثیر حرکات تکتونیکی قرار نگرفته و لندفرم‌های را دچار تغییر نکرده باشد. از آنجائی که لندفرم‌ها در مناطق دارای فعالیت‌های تکتونیکی می‌تواند در نتیجه ترکیب پیچیده‌ای از تاثیرات عوامل مختلف دینامیک درونی و بیرونی باشد، شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی فعالیت‌های تکتونیکی، اعم از فعالیت‌های قدیم و جدید

می‌تواند به عنوان ابزاری ارزشمند، مفید و کارآمد استفاده شود. زیرا با استفاده از آن می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع یا کند تکتونیکی را تجربه نموده‌اند، به آسانی شناسایی نمود. از مهمترین ویژگی‌ها و محاسن استفاده از این شاخص‌ها، می‌توان به سادگی نسبی در روش محاسبه، سرعت عمل بالا در به کارگیری شاخص‌ها برای بررسی میزان فعالیت تکتونیکی نواحی، آسان‌تر کردن مقایسه منطقی و معقول لندفرم‌ها در مطالعات ژئومورفولوژی و دوری از سلیق و نظرات شخصی در مطالعات اشاره نمود. بر این اساس باتوجه به عدم امکان انجام مطالعات ژئودزی و لرزه‌شناختی در منطقه سعی شده است که از داده‌ها و امکانات و شواهد ژئومرفیک موجود که نشان‌دهنده تکتونیک فعال هستند، استفاده گردد. باتوجه به اینکه از تعداد زیادی شاخص در تحلیل استفاده شده در بخش نتایج و بحث به به اختصار به معرفی هر کدام پرداخته شده است.

روش تحقیق

فعالیت گسل‌ها و اثرات حاصله را می‌توان از طریق بررسی شواهد تاریخی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، زلزله‌شناسی، ژئودزی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک تعیین کرد (مقصودی، ۱۳۹۰: ۱۴۰). با توجه به این‌که امکان انجام مطالعات ژئودزی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و لرزه‌شناختی در منطقه وجود ندارد، از داده‌ها و امکانات و شواهد ژئومرفیک موجود که نشان‌دهنده تکتونیک فعال هستند، استفاده شده است. در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شده است. برای محاسبه‌ی شاخص‌های ژئومرفیک (SL, VF, V, AF, T)، داده‌های مورفومتری لندفرم‌ها لازم است. بنابراین ابتدا لایه‌های رقومی مورد نیاز از روی نقشه‌های پایه مثل نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی تهیه و در محیط نرم‌افزار ArcGIS ویژگی‌های مورفومتری محاسبه گردید و نقشه‌ها و نیمرخ‌های مورد نیاز تهیه شد. نهایتاً تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس داده‌های کمی به دست آمده از شاخص‌های ژئومرفیک انجام شده و میزان فعالیت تکتونیکی و تأثیرات حاصله مشخص و در آخر نتایج حاصل از داده‌های ژئومرفیک با شواهد ژئولوژیکی مقایسه گردید. شاخص‌های مورد استفاده در تحقیق به شرح زیر تعریف می‌گردند:

تعریف شاخص‌ها

الف) شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (vf)

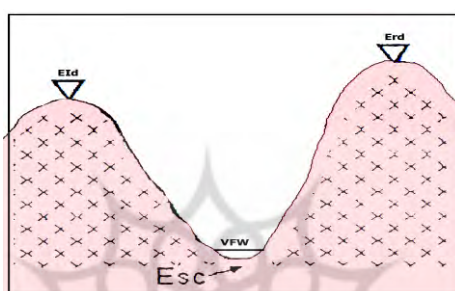
$$Vf = 2vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

این شاخص به صورت زیر تعریف می‌شود:

در اینجا:

Vf = نسبت پهنای کف دره به عمق دره

V_{fw} = پهناى کف دره یا عرض بستر به متر
 E_{sc} = ارتفاع متوسط کف دره از سطح دریا
 E_{ld} = ارتفاع دیواره سمت چپ دره یا ارتفاع خط الرأس سمت چپ رودخانه (خط تقسیم آب سمت چپ از سطح دریا)
 E_{rd} = ارتفاع دیواره سمت راست دره یا ارتفاع خط الرأس سمت راست رودخانه (بول، ۱۹۹۸) شکل (۱).

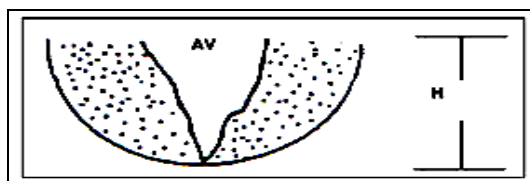


شکل ۱ - نسبت پهناى کف دره به ارتفاع (نمای جانبى) و نحوه‌ی نمایش آن

شاخص نسبت پهنا به ارتفاع دره عبارت است از نسبت دو برابر عرض کف دره به اختلاف ارتفاع دیواره‌ی دو سمت آن و ارتفاع کف دره. این شاخص منعکس‌کننده‌ی اختلاف بین دره‌های V شکل و U شکل است؛ یعنی هر چه مورفولوژی دره به شکل V نزدیک‌تر شود، مقدار VF به صفر نزدیک شده و حاصل رابطه‌ی بالا به عدد صفر نزدیک می‌شود. این نشان‌دهنده‌ی عمل تخریب و فرسایش آب‌های جاری در پاسخ به فرآیندهای تکتونیکی فعال است و هرچه مورفولوژی دره به شکل U نزدیک‌تر شود، مقدار vf افزایش می‌یابد و حاصل رابطه‌ی بالا بزرگ‌تر می‌شود که نشان‌دهنده‌ی تعریض و تسطیح دره توسط آب‌های جاری و کم شدن شدت فرآیندهای تکتونیکی و پایداری دره است (ملک، ۱۳۷۷:۱۳۶). به عبارت دیگر مقدار کم vf نشان‌دهنده‌ی فعال بودن منطقه از نظر تکتونیک و v شکل بودن دره است و مقادیر زیاد این شاخص نشان‌دهنده‌ی عدم فعالیت و کم بودن فعالیت تکتونیکی در منطقه است و رودخانه‌ها در این مناطق بستر خود را به صورت جانبی توسعه داده و دره‌های U شکل را ایجاد نموده‌اند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰:۱۳۰).

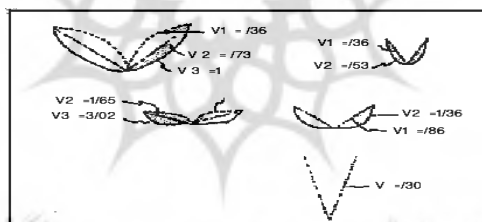
ب) شاخص نسبت (V)

شاخص نسبت (V) عبارت است از نسبت مساحت دره به مساحت نیم دایره‌ای به شعاع معادل عمق دره‌ی ایجاد شده (ملک، ۱۳۷۷). این شاخص با استفاده از رابطه‌ی $V = Av / Ac$ محاسبه شده است. در این رابطه Av مساحت دره در مقطع عرضی به متر مربع، Ac مساحت نیم دایره به شعاع H به متر مربع و H ارتفاع دره به متر است (مایر^۱، ۱۹۸۶: ۱۲۹).



شکل ۲- مقطع قائم از یک دره فرضی و پارامترهای لازم برای محاسبه‌ی (V) (منبع: سلیمانی، ۱۳۷۸)

این شاخص از مقایسه‌ی مساحت مقطع عرضی دره واقعی با مساحت نیم دایره‌ای فرضی که دارای شعاعی برابر با بلندی مرز آبریز دو زهکشی همجوار است، به دست می‌آید. در این شاخص هر چه مقدار عددی شاخص V از عدد یک کوچک‌تر باشد، بیانگر دره‌هایی به شکل V بوده و میزان فعالیت در چنین دره‌هایی بیش‌تر خواهد بود (مایر، ۱۹۸۶: ۱۲۹).



شکل ۳- مقادیر مختلف شاخص مورفومتریک V در رابطه آن با شکل دره (منبع: سلیمانی، ۱۳۷۸)

بر اساس شکل (۳) می‌توان گفت هر چه قدمت دره بیش‌تر باشد، میزان تحدب شیب‌های طرفین دره کم‌تر و دهانه‌ی دره بازتر می‌شود.

ج) شاخص گرادیان طول رودخانه (SL)

این شاخص از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

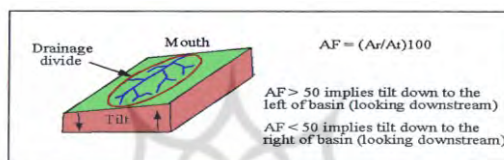
$$SI = (\Delta H / \Delta L) \times L$$

در این رابطه، SL: شاخص گرادیان طول رودخانه، ΔH : اختلاف ارتفاع در یک مقطع مشخص، ΔL : فاصله افقی در آن مقطع مشخص و L: طول رودخانه از نقطه مرکزی مقطع اندازه‌گیری شده تا سرچشمه رودخانه است.

د) شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه‌ی آبریز (Af)

این شاخص که به صورت زیر تعریف می‌گردد، شاخصی برای تشخیص وجود کج شدگی ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های زهکشی است.

$$Af = (Ar / At) \times 100$$



شکل ۴- نمایش نحوه محاسبه عامل عدم تقارن با نمودار مکعبی (مولین و همکاران، ۲۰۰۳)

در این رابطه، Af: عدم تقارن زهکشی، Ar: مساحت حوضه در برگیرنده‌ی زهکش‌های فرعی در ساحل سمت راست آبراهه‌ی اصلی (کیلومتر مربع)، At: مساحت حوضه‌ی در برگیرنده زهکش‌های فرعی در ساحل سمت چپ و راست آبراهه‌ی اصلی (کیلومتر مربع) است.

ه) شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) شاخص دیگری که می‌توان از آن در ارزیابی نامتقارن بودن حوضه و متعاقب آن در بررسی حرکات تکتونیکی فعال سود جست، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) است. این شاخص با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$T = Da / Dd$$

در رابطه بالا، Da فاصله‌ی نوار مئاندري از خط میانی حوضه آبریز و Dd فاصله‌ی خط میانی حوضه-ی آبریز از خط مرز حوضه (خط تقسیم آب) است (کلر و پنیتر، ۱۹۹۶). برای حوضه کاملاً متقارن T=0 است. با افزایش عدم تقارن، شاخص T افزایش می‌یابد و در نهایت به یک نزدیک می‌شود.

و) شاخص سینوسیته جبهه کوهستان^۲ smf

پیچ و خم جبهه کوهستان با رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

1- Kekker & Pinter
2- Mountain –front sinuosity

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls}$$

در اینجا، Smf: شاخص سینوسی جبهه‌ی کوهستان، Lmf: طول جبهه کوهستان در امتداد پای کوه (خط کنیک)، LS: طول خط مستقیم در جبهه‌ی کوهستان است. شاخص Smf برای مناطق بسیار فعال تکتونیکی بین ۱ تا ۱/۶، برای مناطق با فعالیت متوسط بین ۱/۴ تا ۳ و برای جبهه کوهستان غیر فعال تکتونیکی از حدود ۱/۸ تا بیش‌تر از ۵ است (مددی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۳۵).

ز) شاخص انتگرال فرازنا

از روش‌های ساده در تعیین شکل منحنی فرازنا برای یک حوضه‌ی آبریز فرضی، محاسبه‌ی انتگرال فرازنا برای آن است. این انتگرال به صورت مساحت زیر منحنی فرازنا تعریف شده است. این انتگرال از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$I = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$$

در این رابطه، H mean: ارتفاع متوسط حوضه، H min: ارتفاع کم‌میت‌ی حوضه و H max: ارتفاع بیشینه‌ی حوضه است (کلر و پینتر، ۱۹۹۶). مقادیر زیاد انتگرال بیانگر توپوگرافی جوان، پستی و بلندی‌های فراوان به همراه فرایند (حفر قائم) در دره‌ی رودخانه‌ها و مقادیر عددی متوسط تا کم به ترتیب بیانگر توپوگرافی بالغ و پیر است. این مقادیر بین صفر و یک قرار دارد.

ح) شاخص وسعت مخروط افکنه

در شاخص وسعت مخروط افکنه، ارتباطی میان وسعت حوضه زهکشی (Ad) و وسعت مخروط-افکنه (Af) بر قرار شده است که از دو معادله‌ی زیر پیروی می‌کند (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۶۱).

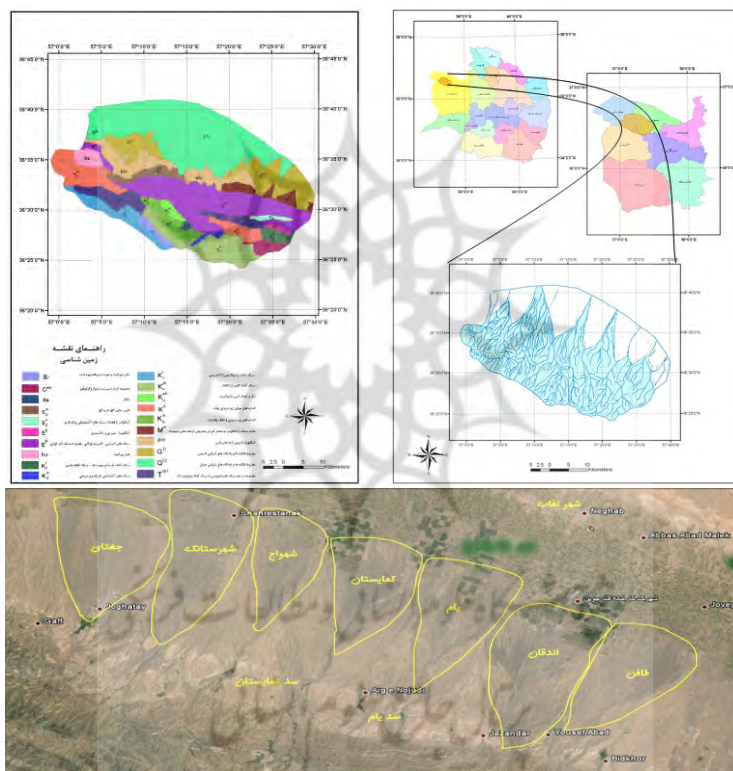
$$Af = 3.34 \times Ad^{0.55} \quad \text{- معادله الف:}$$

$$Af = .59 \times Ad^{0.8} \quad \text{- معادله ب:}$$

محدوده و قلمروی پژوهش

ارتفاعات جغتای از لحاظ موقعیت جغرافیای ریاضی بین ۳۶°۲۴' تا ۳۶°۴۱' عرض شمالی و ۵۶°۵۸' تا ۵۷°۳۰' طول شرقی واقع شده است و مساحتی معادل ۹۲۸/۷۹۷ کیلومتر مربع دارد. از نظر موقعیت نسبی، ارتفاعات جغتای به موازات رشته کوه‌های الاداغ - بینالود و در جنوب آن با روند شمال غرب به جنوب شرقی قرار دارد و پهنای آن بین ۱۲ تا ۳۰ کیلومتر متغیر است. این ارتفاعات، دشت سبزوار را از دشت جوین جدا می‌کند. این منطقه از شمال به شهرستان اسفراین، از جنوب به دشت سبزوار، از شرق به شهرستان خوشاب و از مغرب به بخش میامی شاهرود محدود می‌شود.

از نظر زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه جزء ناهمواری‌های ایران مرکزی بوده که در محدوده‌ی مثلثی شکل داخل فلات ایران پراکنده است که با توجه به گستردگی این واحد ژئومورفوتیکی بر اساس اختلافات ساختاری به واحدهای کوچک‌تر تقسیم شده است. یکی از این واحدها، رشته‌ی شمال شرقی جزء رشته‌های پراکنده‌ی حوضه‌ی دشت کویر است که به رشته کوه جغتای معروف است. این رشته عامل جدایی چاله سبزوار از چاله جاجرم است (علایی طالقانی، ۱۳۸۲: ۲۵۹). از ویژگی‌های این واحد ساختمانی، وجود شکستگی‌ها، گسل‌ها و چین‌های وابسته به این گسل‌ها بوده که از طریق انفصال تکتونیکی در سنگ‌ها مشخص می‌شوند.



شکل ۵- نقشه موقعیت نسبی و زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

بحث اصلی

در این پژوهش، با بررسی و ارزیابی اثرات تکتونیک بر شبکه‌ی آب‌ها و مخروط‌افکنه‌ها به وسیله تعدادی از شاخص‌های مورفومتریک، به تشخیص پدیده‌ی تکتونیک فعال پرداخته شده است. گسل

کمایستان با توجه به وجود دو سد کمایستان و یام در محدوده‌ی گسل و حجم بالای ذخیره آب در پشت آن‌ها و وجود شهر نقاب و روستاهای متعدد در پایین دست آن‌ها، اهمیت ویژه‌ای دارد. بر این اساس هر کدام از شاخص‌ها محاسبه و نتایج آن ارائه شده است. مقادیر محاسبه شده‌ی V_f (جدول ۱) بر اساس این شاخص، دره‌های جغتای، شهرستانک، کمایستان و طافن را به لحاظ فعالیت تکنیکی در وضعیت نیمه فعال نشان می‌دهد. دره‌ی یام با مقدار $3/2$ با توجه به این شاخص، غیر فعال و دره‌های شهواج و اندقان با مقدار $0/64$ و $0/60$ به ترتیب در وضعیت فعال قرار می‌گیرند.

با دقت در شکل (۴) می‌توان به این موضوع پی برد که هر چه قدمت دره بیشتر باشد، میزان تحذب شیب‌های طرفین دره کم‌تر و دهانه‌ی دره بازتر می‌شود و به عبارت دیگر در دره‌های جوان‌تر تحذب شیب‌های طرفین دره بیشتر تر و دهانه‌ی دره بسته‌تر خواهد بود. در این پژوهش میزان V_f و نسبت V هفت مقطع از دره‌ی اصلی محاسبه شد که نتایج آن‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- نتایج میزان V_f و نسبت V در هفت حوضه‌ی آبریز در منطقه‌ی مورد مطالعه

| شماره | نام محل | میزان (F) | وضعیت تکنیکی | نسبت (V) | وضعیت تکنیکی |
|-------|--------------|-----------|--------------|----------|--------------|
| ۱ | دره جغتای | ۱/۰۵ | نیمه فعال | ٪ ۷۵ | فعال |
| ۲ | دره شهرستانک | ۱/۳۷ | نیمه فعال | ۱/۴۱ | نیمه فعال |
| ۳ | دره کمایستان | ۱/۱ | نیمه فعال | ۱/۱۹ | نیمه فعال |
| ۴ | دره یام | ۳/۲ | غیر فعال | ۱/۰۰۸ | نیمه فعال |
| ۵ | دره شهواج | ٪ ۶۴ | فعال | ٪ ۷۹۶ | فعال |
| ۶ | دره اندقان | ٪ ۶۰ | فعال | ٪ ۷۴۹ | فعال |
| ۷ | دره کافن | ۱/۱۴ | نیمه فعال | ٪ ۸۱ | فعال |

برای محاسبه شاخص SL ابتدا با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی ۵۰۰۰:۱ منطقه، نیمرخ طولی رودخانه‌ها ترسیم شد. شکل (۶)، نیمرخ مربوط به هر یک از رودخانه‌ها را نشان می‌دهد که بر اساس آن، میزان SL در طول هر یک از رودخانه‌ها محاسبه شده و به شرح جدول (۲) ارائه گردیده است. شاخص SL به تغییرات شیب بسیار حساس است. این حساسیت برآورد میزان روابط موجود میان فعالیت‌های تکنیکی، مقاومت سنگ و توپوگرافی را میسر می‌سازد (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۱۸). این شاخص در مناطقی که بستر رودخانه در سنگ‌های سخت قرار دارد، افزایش می‌یابد. میزان SL در مناطق فعال تکنیکی زیاد است (کلر و پینتر، ۱۹۹۶، به نقل از مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین شاخص SL به سنگ‌شناسی بسیار حساس است. مقدار زیاد SL در سنگ‌های با مقاومت کم و یا در سنگ‌هایی که از لحاظ مقاومت یکسان هستند، می‌تواند بیانگر حرکات تکنیکی فعال و جوان

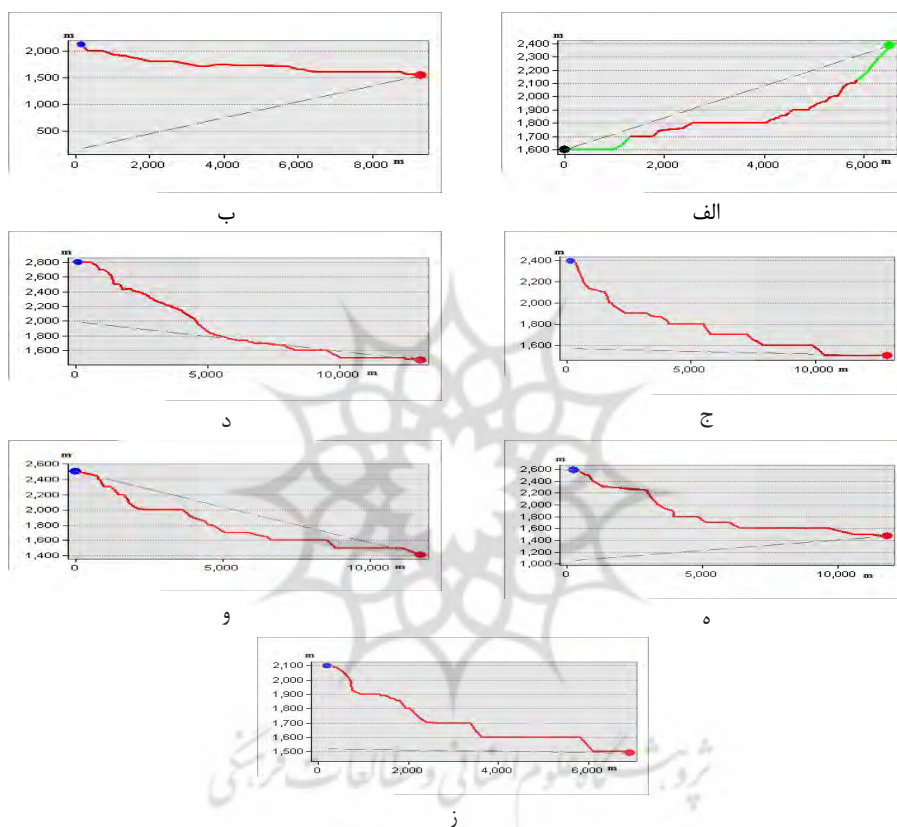
باشد. مقادیر عددی زیاد شاخص گرادیان ($SL > 3000$) بیانگر فرایش فعال و شدید بوده، مقادیر عددی کوچک تر از ۱۰۰۰ بیانگر عدم فعالیت تکتونیکی در منطقه است (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۵۸).

جدول ۲- مشخصات محدوده‌های تعیین شده و میزان SI و وضعیت رودخانه‌ی منطقه

| نام رودخانه | نام محل | ΔH به متر | ΔL به متر | L به متر | میزان SL | وضعیت |
|------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------|----------|-----------|
| رودخانه جغتای | نقطه‌ی اول | ۵۰۰ | ۲۰۰۰ | ۵۵۰۰ | ۴۱۲/۵ | نیمه فعال |
| | نقطه‌ی دوم | ۱۰۰ | ۲۵۰۰ | ۳۵۰۰ | ۱۴۰ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی سوم | ۲۰۰ | ۱۵۰۰ | ۱۵۰۰ | ۲۰۰ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی چهارم | ۴۱۲ | ۵۰۰ | ۵۵۰ | ۴۲۰/۲۴ | نیمه فعال |
| رودخانه شهرستانک | نقطه‌ی اول | ۲۰۰ | ۲۰۰۰ | ۱۰۰۰ | ۱۰۰ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی دوم | ۳۰۵ | ۲۰۰۰ | ۳۰۰۰ | ۴۵۷/۵ | نیمه فعال |
| | نقطه‌ی سوم | ۱۰ | ۱۸۰۰ | ۵۰۰۰ | ۲۷/۷۷ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی چهارم | ۲۰۰ | ۲۶۰۰ | ۷۵۰۰ | ۵۷۶/۹۲ | نیمه فعال |
| رودخانه کمایستان | نقطه‌ی اول | ۳۰۰ | ۸۰۰ | ۷۰۰ | ۲۶۲/۵ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی دوم | ۲۵۰ | ۲۰۰۰ | ۲۵۰۰ | ۳۱۲/۵ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی سوم | ۱۰۰ | ۱۷۰۰ | ۴۸۰۰ | ۲۸۲/۳۵۲ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی چهارم | ۱۲۰ | ۴۰۰۰ | ۷۷۰۰ | ۲۳۱ | غیر فعال |
| رودخانه یام | نقطه‌ی اول | ۴۰۰ | ۲۰۰۰ | ۱۲۰۰ | ۲۴۰ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی دوم | ۴۱۰ | ۱۳۵۰ | ۴۵۰۰ | ۱۳۶۶/۶۶ | فعال |
| | نقطه‌ی سوم | ۱۱۰ | ۴۰۰۰ | ۶۲۰۰ | ۱۷۰/۵ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی چهارم | ۱۰۹ | ۲۳۵۰ | ۱۱۲۰۰ | ۵۱۹/۴۸۹ | نیمه فعال |
| رودخانه شهواج | نقطه‌ی اول | ۳۲۵ | ۸۰۰ | ۲۰۰۰ | ۸۱۲/۵ | نیمه فعال |
| | نقطه‌ی دوم | ۳۲۰ | ۱۳۰۰ | ۳۵۰۰ | ۸۶۱/۲۳۸ | نیمه فعال |
| | نقطه‌ی سوم | ۱۰۰ | ۳۸۰۰ | ۶۹۰۰ | ۱۸۱/۵۷۸ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی چهارم | ۹۵ | ۴۰۰۰ | ۹۸۰۰ | ۲۳۲/۷۵ | غیر فعال |
| رودخانه اندقان | نقطه‌ی اول | ۵۵۰ | ۲۱۰۰ | ۱۸۰۰ | ۴۷۱/۴۲۸ | نیمه فعال |
| | نقطه‌ی دوم | ۲۱۰ | ۲۳۰۰ | ۳۸۵۰ | ۳۵۱/۵۲۱ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی سوم | ۲۰۰ | ۳۵۰۰ | ۷۲۰۰ | ۴۱۱/۴۲۸ | نیمه فعال |
| | نقطه‌ی چهارم | ۲۲۵ | ۵۳۰۰ | ۹۸۰۰ | ۴۱۶/۰۳۷ | نیمه فعال |
| رودخانه طافن | نقطه‌ی اول | ۱۸۰ | ۱۷۰۰ | ۱۰۰۰ | ۱۰۵/۸۸۲ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی دوم | ۴۰۰ | ۲۰۰۰ | ۳۱۵۰ | ۶۳۰ | نیمه فعال |
| | نقطه‌ی سوم | ۵۰ | ۱۸۰۰ | ۴۷۰۰ | ۱۳۰/۵۵ | غیر فعال |
| | نقطه‌ی چهارم | ۷۰ | ۱۹۰۰ | ۶۵۰۰ | ۲۳۹/۴۷۳ | غیر فعال |

مقادیر عددی کوچک این شاخص ($SL < 100$) در منطقه را می‌توان به دو صورت تفسیر کرد:

- ۱- وجود سنگ‌های رسوبی نرم و فراوان
- ۲- خرد شدگی زیاد سنگ‌های منطقه بر اثر حرکات افقی گسل‌های امتداد لغز که باعث ایجاد منطقه‌ای با مقاومت مکانیکی کم‌تر و در نتیجه حساس‌تر نسبت به فرآیند فرسایش صورت می‌گیرد.



شکل ۶- نیمرخ‌های طولی رودخانه‌های

الف: جغتای، ب: شهرستانک، ج: کماستان، د: یام، ه: شهواج، و: اندقان، ز: طافن.

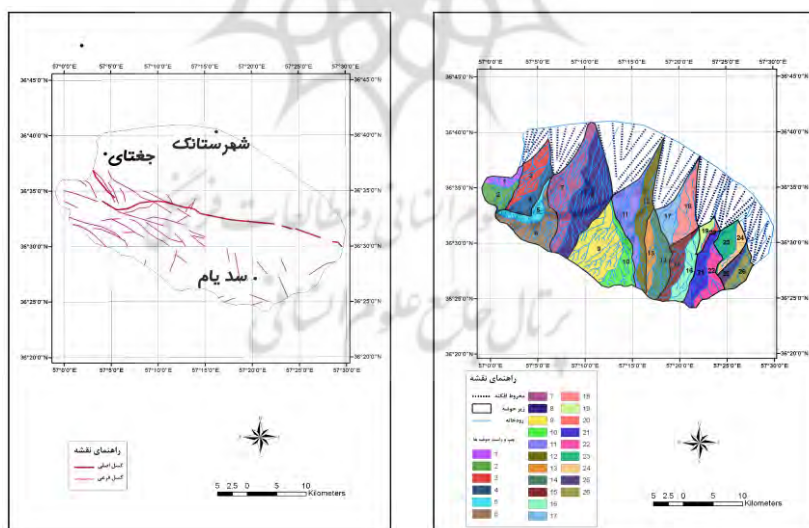
در منطقه مورد مطالعه، بی‌نظمی مقادیر کم شاخص SL ممکن است بیانگر فعالیت تکتونیکی باشد. به‌عنوان مثال، در امتداد دره‌هایی که گسل‌ها ایجاد کرده‌اند، تصور می‌شود که شاخص‌ها مقدار کمی دارند، زیرا سنگ‌های دره‌ها اغلب در اثر حرکات گسل، خرد و متلاشی شده‌اند و جریان رودها از میان این سنگ‌های خرد و متلاشی شده‌ی دره‌ها، باید شیب کم‌تری داشته باشند. چون گسل کماستان در سنگ‌های سست روی داده است، تغییر فراوانی در میزان SL روی نداده است.

شاخص عدم تقارن برای رودخانه‌های منطقه محاسبه شد. بر اساس این شاخص، رودخانه‌های در حال تعادل که تداوم جریان در حالت ثابتی وجود دارد، Af برابر با پنجاه بوده که بیانگر وجود تقارن میان زهکش‌های فرعی و آبراهه‌ی اصلی است. در نتیجه نبودن کج شدگی بر اثر بالآمدگی خواهد بود. مقادیر بیش از پنجاه، نشان‌دهنده‌ی بالآمدگی در ساحل راست و کم‌تر از پنجاه، بیانگر بالآمدگی در ساحل چپ آبراهه‌ی اصلی است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۶).

در منطقه مورد مطالعه، هفت حوضه مورد بررسی قرار گرفته است و مساحت حوضه‌های در برگیرنده‌ی آبراهه‌های فرعی در ساحل سمت راست آبراهه‌ی اصلی و مساحت حوضه در برگیرنده آبراهه‌های فرعی در ساحل سمت چپ آن است. نتیجه‌ی حاصل در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳- جدول نتایج شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه‌های مورد مطالعه

| Af | At | Ar | پارامترها |
|--------|--------|--------|-----------------------|
| ۶۷ | ۲۵/۳۷۵ | ۱۷/۰۰۳ | حوضه رودخانه جغتای |
| ۷۰/۸۶ | ۴۸/۰۸۸ | ۳۴/۰۷۷ | حوضه رودخانه شهرستانک |
| ۳۰/۶۲ | ۸۹/۸۷۴ | ۲۷/۵۲۴ | حوضه رودخانه کمایستان |
| ۶۵/۰۲۳ | ۴۴/۳۵۶ | ۲۸/۸۴۲ | حوضه رودخانه یام |
| ۵۱/۰۴۹ | ۴۳/۴۴۶ | ۲۲/۱۷۹ | حوضه رودخانه شهواج |
| ۴۷/۲۵۳ | ۴۱/۶۰۵ | ۱۹/۶۶۰ | حوضه رودخانه اندقان |
| ۶۱/۸۹۲ | ۲۱/۹۲۲ | ۱۳/۵۶۸ | حوضه رودخانه طافن |



شکل ۷- الف: نقشه‌ی هیدروگرافی، کرانه‌های چپ و راست رودخانه‌های اصلی و زیر حوضه‌های منطقه؛
ب: نقشه‌ی تکتونیک منطقه مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

در منطقه مورد مطالعه با توجه به نتایج به دست آمده در حوضه‌ی جغتای، شهرستانک، یام، شهواج و طافن که مقادیر عددی بیش از پنجاه بوده، می‌توان گفت که به فرض یکسان بودن عواملی مانند لیتولوژی، پوشش گیاهی و... عملکرد فرایش در ساحل سمت راست بیش‌تر از چپ بوده و در حوضه‌های کمایستان و اندقان عملکرد فرایش در ساحل سمت چپ بیش‌تر از ساحل سمت راست است.

معیار دیگری که می‌توان از آن در ارزیابی نامتقارن بودن حوضه که خود می‌تواند دلیلی بر فعالیت‌های تکتونیکی باشد، استفاده از شاخص تقارن توپوگرافی عرضی T است. برای برآورد این شاخص ابتدا خط میانی حوضه (خط تقارن) ترسیم شده و سپس با توجه به وضعیت قرارگیری خطوط مماندیری و میانی حوضه نسبت به یکدیگر و این‌که خطوط مماندیری و میانی حوضه در میان حوضه تقریباً بر هم منطبق هستند، دو محل از شمال و دو محل از جنوب حوضه برای محاسبه T انتخاب شده که مشخصات آن‌ها در جدول (۴) آمده است و موقعیت آن‌ها نیز در شکل (۸) ارائه شده است.

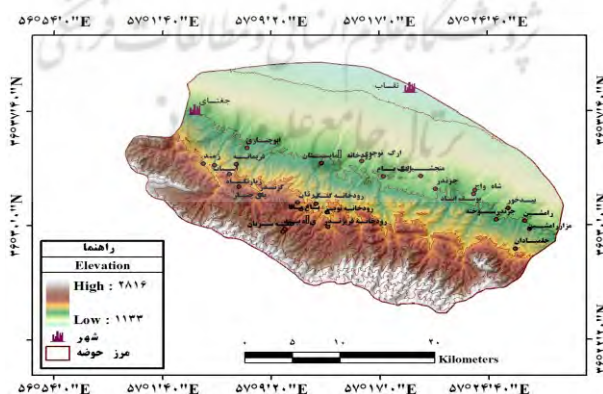
جدول ۴- محاسبه شاخص T و میانگین پارامترها در رودخانه‌های منطقه

| نام حوضه | محل | میزان Da (به متر) | میزان Dd (به متر) | میزان T |
|--------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|---------|
| رودخانه‌ی جغتای | محدوده‌ی شهر جغتای | ۷۰۰ | ۱۵۰۰ | ۰/۴۶۶ |
| | محدوده‌ی روستای گغت | ۷۰۰ | ۱۵۰۰ | ۰/۴۶۶ |
| | محدوده‌ی امام‌زاده گغت | ۱۰۰۰ | ۲۵۰۰ | ۰/۴ |
| | محدوده‌ی معدن | ۲۲۰۰ | ۲۲۵۰ | ۰/۹۷۷ |
| رودخانه‌ی شهرستانک | محدوده‌ی روستای شهرستانک | ۷۵۰ | ۳۰۰۰ | ۰/۲۵ |
| | محدوده‌ی روستای زمند | ۲۰۰۰ | ۵۰۰۰ | ۰/۴ |
| | محدوده‌ی کلاته زمند | ۱۵۰۰ | ۳۲۵۰ | ۰/۴۶ |
| | محدوده‌ی روستای فریمانه | ۵۰۰ | ۱۷۵۰ | ۰/۲۸۵ |
| رودخانه‌ی کمایستان | محدوده‌ی سد | ۸۵۰ | ۱۲۵۰ | ۰/۶۸ |
| | محدوده‌ی سیاه ترکه | ۱۲۵۰ | ۲۰۰۰ | ۰/۶۲۵ |
| | محدوده‌ی سر آسیاب | ۲۲۵۰ | ۳۵۰۰ | ۰/۶۲۴ |
| | محدوده‌ی روستای زرقان | ۲۵۰۰ | ۴۷۵۰ | ۰/۵۲۴ |
| رودخانه‌ی یام | محدوده‌ی سد یام | ۵۰۰ | ۱۵۰۰ | ۰/۳۳ |
| | محدوده‌ی بند منجشرین | ۷۵۰ | ۲۰۰۰ | ۰/۳۷ |
| | محدوده‌ی باغ‌های زرقان | ۱۲۵۰ | ۲۱۵۰ | ۰/۵۸ |
| | محدوده‌ی زرگ ستان | ۶۰۰ | ۱۷۵۰ | ۰/۳۴ |
| رودخانه‌ی شهواج | محدوده‌ی روستای جزندر | ۲۵۰ | ۲۲۵۰ | ۰/۱۱۱ |
| | محدوده‌ی باغ‌های روستای جزندر | ۲۵۰ | ۲۳۵۰ | ۰/۱۰۶ |
| | محدوده‌ی کلاته انتظام | ۵۰۰ | ۱۷۵۰ | ۰/۲۸۵۰ |
| | محدوده‌ی پلنگ دره | ۱۰۰۰ | ۱۵۰۰ | ۰/۶۶۶ |

ادامه جدول ۴-

| | | | | |
|-------|-------|------|----------------------|------------------------------|
| ۰/۲۵ | ۱۰۰۰ | ۲۵۰ | محدوده‌ی ارتفاع ۱۳۰۰ | رودخانه‌ی اندقان |
| ۰/۱۱۱ | ۲۲۵۰ | ۲۵۰ | محدوده‌ی ارتفاع ۱۶۰۰ | |
| ۰/۲ | ۲۵۰۰ | ۵۰۰ | محدوده‌ی ارتفاع ۲۰۰۰ | |
| ۰/۱۴ | ۲۵۰۰ | ۳۵۰ | محدوده‌ی ارتفاع ۲۲۰۰ | رودخانه‌ی طافن |
| ۰/۸۵۷ | ۱۷۵۰ | ۱۵۰۰ | محدوده‌ی ارتفاع ۱۵۰۰ | |
| ۰/۲۸۵ | ۱۷۵۰ | ۵۰۰ | محدوده‌ی ارتفاع ۱۵۵۰ | |
| ۰/۲۵ | ۲۰۰۰ | ۵۰۰ | محدوده‌ی ارتفاع ۱۶۰۰ | میانگین پارامترها در حوضه‌ها |
| ۰/۷۱۴ | ۱۷۵۰ | ۱۲۵۰ | محدوده‌ی ارتفاع ۱۶۵۰ | |
| ۰/۵۹ | ۷۷۵۰ | ۴۴۰۰ | جغتای | |
| ۰/۳۶ | ۱۳۰۰۰ | ۴۷۵۰ | شهرستانک | |
| ۰/۵۹ | ۱۱۵۰۰ | ۶۸۵۰ | کمایستان | |
| ۰/۴۰ | ۷۴۰۰ | ۳۰۰۰ | یام | |
| ۰/۲۷ | ۷۸۵۰ | ۲۰۰۰ | شهوآج | |
| ۰/۱۶ | ۸۲۵۰ | ۱۳۵۰ | اندوقان | |
| ۰/۴۸ | ۶۷۵۰ | ۳۷۵۰ | کافن | |

شاخص Smf از شاخص‌های دیگری است که برای ارزیابی تکتونیک فعال از آن استفاده می‌شود و مقدار آن برای مناطق بسیار فعال تکتونیکی بین ۱ تا ۱/۶، مناطق با فعالیت متوسط بین ۱/۴ تا ۳ و برای جبهه‌ی کوهستان غیر فعال تکتونیکی از حدود ۱/۸ تا بیش‌تر از ۵ است (مددی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۳۵). بنابراین با توجه به فعالیت تکتونیکی در منطقه، این شاخص ۱/۸ به دست آمد که بر اساس طبقه‌بندی یاد شده، در گروه مناطق نیمه فعال تکتونیکی قرار می‌گیرد.



شکل ۸- موقعیت برخی از عوارض که در تعیین شاخص T مطالعه شده‌اند.

شاخص انتگرال فرازنا

از روش‌های ساده در تعیین شکل منحنی فرازنا برای یک حوضه‌ی آبریز فرضی، محاسبه انتگرال فرازنا برای آن است. انتگرال منحنی فرازنا برای حوضه‌ها محاسبه و میزان آن‌ها در جدول (۵) آورده شده است. بر این اساس، تمامی رودخانه‌ها از نظر توپوگرافی در وضعیت تکامل یافته و بالغ قرار می‌گیرند.

جدول ۵ - میزان محاسبه انتگرال فرازنا برای حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

| شماره | نام حوضه | میزان محاسبه‌ی انتگرال فرازنا | وضعیت توپوگرافی |
|-------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|
| ۱ | حوضه‌ی رودخانه‌ی جغتای | ۰/۴۱۲ | بالغ |
| ۲ | حوضه‌ی رودخانه‌ی شهرستانک | ۰/۵۴۸ | بالغ |
| ۳ | حوضه‌ی رودخانه‌ی کمایستان | ۰/۴۵۳ | بالغ |
| ۴ | حوضه‌ی رودخانه‌ی یام | ۰/۴۱۱ | بالغ |
| ۵ | حوضه‌ی رودخانه‌ی شهواج | ۰/۴۶۰ | بالغ |
| ۶ | حوضه‌ی رودخانه‌ی اندقان | ۰/۴۸۲ | بالغ |
| ۷ | حوضه‌ی رودخانه‌ی اندقان | ۰/۴۸۰ | بالغ |

بر اساس شاخص وسعت مخروط‌افکنه، ارتباطی میان وسعت حوضه‌ی زهکشی (Ad) و وسعت مخروط‌افکنه (Af) برقرار شده است که از دو معادله‌ی زیر پیروی می‌کند (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۶۱).

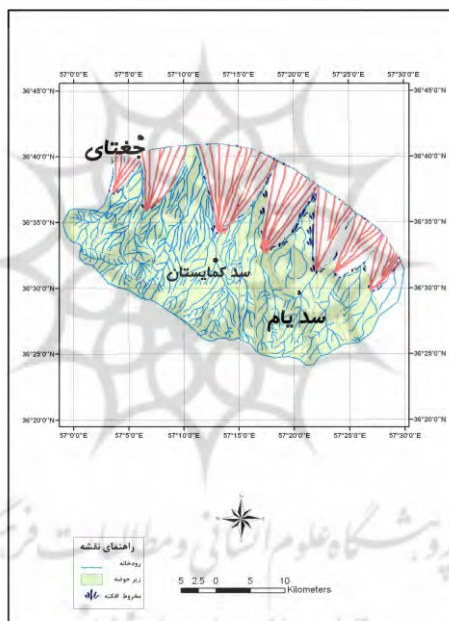
$$Af = 3.34 \times Ad^{0.55} \quad \text{معادله الف:}$$

$$Af = .59 \times Ad^{0.8} \quad \text{معادله ب:}$$

معادله (الف) مشخص‌کننده مخروط‌افکنه‌هایی است که در جبهه کوهستان فعال و در نتیجه نرخ فرایش زیاد به وجود آمده‌اند. معادله (ب) بیانگر مخروط‌افکنه‌هایی است که در مناطق با آرامش تکتونیکی نسبتاً بیش‌تر تشکیل شده‌اند که هر دو معادله برای منطقه‌ی مورد مطالعه محاسبه شده است. بر اساس داده‌های جدول (۶) مشخص می‌شود که نرخ فرایش در همه حوضه‌ها بالا بوده، در نتیجه مخروط‌افکنه‌ها توانسته‌اند در شرایط تقریباً آرام تکتونیکی ایجاد شده و توسعه یابند.

جدول ۶- محاسبه شاخص وسعت مخروط افکنه‌ها در منطقه مورد مطالعه

| شماره | نام مخروط افکنه | وسعت حوضه‌ی آبریز Km^2 | وسعت مخروط افکنه Km^2 | معادله‌ی شماره‌ی (الف) $Af = 3.34 \times Ad^{0.55}$ | معادله‌ی شماره‌ی (ب) $Af = .59 \times Ad^{0.8}$ |
|-------|-----------------|--------------------------|-------------------------|--|--|
| ۱ | جغتای | ۲۵/۳۷۵ | ۱۵/۷۵۵ | ۱۹/۷۷ | ۷/۸۴ |
| ۲ | شهرستانک | ۴۸/۰۸۸ | ۳۴/۴۱۰ | ۲۵/۱۱ | ۱۳/۰۷۵ |
| ۳ | کمایستان | ۸۹/۸۷۴ | ۷۹/۳۸۲ | ۳۹/۶۵۰ | ۲۱/۵۶۵ |
| ۴ | یام | ۴۴/۳۵۶ | ۵۰/۹۵۴ | ۲۶/۶۸۸ | ۱۲/۲۵۷ |
| ۵ | شهوآج | ۴۳/۴۴۶ | ۳۹/۲۳۰ | ۲۶/۵۸۳ | ۱۲/۰۵۶ |
| ۶ | اندقان | ۴۱/۶۰۵ | ۳۱/۳۲۲ | ۲۵/۹۵۸ | ۱۱/۶۴۵ |
| ۷ | کافن | ۱۹/۵۳۵ | ۲۱/۹۲۲ | ۱۸/۲۴۸ | ۶/۹۷۵ |



شکل ۹- هیدروگرافی زیر حوضه‌ها و مخروط افکنه‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

هر یک از شاخص‌های یادشده، یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت‌های تکتونیکی ارائه می‌دهند که برای مطالعات شناسایی و بررسی مقدماتی مفید هستند. وقتی چندین شاخص در یک ناحیه برای طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل فعالیت تکتونیک به کار برده می‌شود، نتایج با معناتر و مستدل‌تری در بر

خواهند داشت. بر اساس محاسبات انجام شده مشخص شد که شاخص انتگرال فراز نمای هیپسومتریک حوضه‌های زهکشی، بیانگر غیر فعال بودن منطقه است که می‌توان گفت منطقه مورد مطالعه در حالت بالغ مایل به پیر قرار دارد. مطالعه‌ی شاخص SL، منطقه را در وضعیت غیر فعال قرار داده و از لحاظ شاخص VF و نسبت T، دره‌ها به شکل U هستند که نشان‌دهنده دوره پایداری و غلبه‌ی فرسایش است. از لحاظ شاخص تقارن توپوگرافی عرض T، شمال و جنوب حوضه از وسط آن فعال‌تر، ولی در کل شدت زیادی ندارد. از نظر شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه‌ی آبریز، سمت چپ رودخانه نسبت به سمت راست فعالیت بیش‌تری دارد. عدد به دست آمده از سینوسی جبهه‌ی کوهستان (SmF)، برابر ۱/۸ است که جزء مناطق با فعالیت متوسط تکنیکی قرار می‌گیرد. در کل با توجه به نتایج کلی همه شاخص‌ها، منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ نئوتکتونیک در وضعیت نیمه فعال متمایل به غیر فعال قرار دارد. پیشنهاد می‌شود هر گونه برنامه‌ریزی سکونت‌گاهی، صنعتی و... در منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس نتایج حاصل از تحقیق (نیمه فعال بودن منطقه به لحاظ تکنیکی) برای دوری از هرگونه مخاطرات محیطی انجام گیرد.

منابع

- ۱- بهرامی، شهرام، محمد معتمدی‌راد و الهه اکبری. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه‌ی زهکشی (چهار حوضه زهکشی در شمال شرق ایران)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره دوازدهم، صفحات ۸۵-۱۰۲.
- ۲- پورکرمانی، محسن و شهبازرادفر. ۱۳۸۴. ریخت زمین ساخت گسل کوهبنان، مجله‌ی علوم زمین، سال پانزدهم، شماره‌ی ۵۸، صفحات ۱۶۶-۱۸۳.
- ۳- حبیب الهیان، محمود و محمدحسین رامشت. ۱۳۹۰. کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبا در برآورد وضعیت تکتونیکي بخش علیای زاینده رود، جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۲۶، صفحات ۹۹-۱۱۲.
- ۴- خیام، مقصود و داود مختاری کشکی. ۱۳۸۱. ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیکي بر اساس ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه‌های دامنه‌ی شمالی میشوداغ)، پژوهش‌های جغرافیایی شماره ۴۴، صفحات ۱-۱۰.
- ۵- رامشت، محمد حسین؛ عبدالله سیف؛ سمیه سادات شاه زیدی و مژگان انتظاری. ۱۳۸۸. تأثیر تکتونیک جنبا بر مورفولوژی مخروط‌افکنه درختگان در منطقه‌ی شهداد کرمان، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۶، صفحات ۲۹-۴۶.
- ۶- رضایی مقدم، محمد حسین. ۱۳۷۴. پژوهش در تشکیل کوهپایه‌ها و دشت‌های انباشته‌ی دامنه‌ی جنوبی میشوداغ، پایان‌نامه دکتري، استاد راهنما: مقصود خیام، دانشگاه تبریز، گروه جغرافیا.

- ۷- رضایی مقدم، محمد حسین؛ غلامرضا مقامی مقیم و معصومه رجبی. ۱۳۸۴. عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه‌ی رودخانه‌ی روئین در دامنه جنوبی آلاداغ در شمال شرق ایران، فصل‌نامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۹، صفحات ۶۴-۸۰.
- ۸- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ جغتای، نقاب، حکم‌آباد، دلبر، مهر، ریواده.
- ۹- سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰، شیت جغتای.
- ۱۰- سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰، شیت‌های سبزوار، جاجرم.
- ۱۱- سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه قابلیت ارزیابی منابع و قابلیت اراضی منطقه‌ی میامی و سبزوار.
- ۱۲- سلیمانی، شهریار. ۱۳۷۸. بررسی مورفوتکتونیک و حرکات تکتونیکی جوان در منطقه تهران- کرج. مجموعه مقالات سومین کنفرانس زلزله‌شناسی و مهندس زلزله، جلد سوم، تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندس زلزله.
- ۱۳- سیف، عبدالله و قاسم خسروی. ۱۳۸۹. بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه‌ی فارس، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۷۴، صص ۱۲۵-۱۴۶.
- ۱۴- عباس‌نژاد، احمد. ۱۳۷۵. پژوهش‌های ژئومورفولوژی دشت رفسنجان، پایان‌نامه‌ی دکتری، استاد راهنما: مقصود خیام دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز، گروه جغرافیا.
- ۱۵- علایی طالقانی، محمود. ۱۳۸۲. ژئومورفولوژی ایران. تهران، نشر قومس.
- ۱۶- گورابی، ابوالقاسم و احمد نوحه‌گر. ۱۳۸۶. شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال با حوضه‌ی آبخیز درکه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۶، صفحات ۱۷۷-۱۷۹.
- ۱۷- ملک، علیرضا. ۱۳۷۷. کاربرد شاخص‌های مورفومتریک در مطالعات نفوتکتونیکی بخش‌های جنوبی البرز مرکزی، پایان‌نامه‌ی دوره‌ی کارشناسی ارشد، استاد راهنما: احمد زمانی، دانشگاه شیراز، دانشکده علوم پایه (زمین‌شناسی).
- ۱۸- مختاری، داود. ۱۳۸۶. تحلیل‌های زمین‌ساخت-رسوبی چاله‌ی تکتونیکی و در حال گسترش مرنده، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صفحات ۱۲۹-۱۴۶.
- ۱۹- مختاری کشکی، داود؛ فریبا کرمی و مریم بیاتی. ۱۳۸۶. اشکال مختلف مخروط‌افکنه‌ای در اطراف توده‌ی کوهستانی میشوداغ (شمال غرب ایران) با تأکید بر نقش فعالیت‌های تکتونیکی کواترنر در ایجاد آن‌ها، فصل‌نامه‌ی مدرس علوم انسانی، صفحات ۲۵۷-۲۹۲.
- ۲۰- مقصودی، مهران. ۱۳۷۸. بررسی عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها (مطالعه‌ی موردی: مخروط‌افکنه جاجرود)، پژوهش جغرافیایی، شماره‌ی ۶۵، صفحات ۷۳-۹۲.
- ۲۱- مقصودی، مهران و سجاد باقری. ۱۳۸۸. بررسی نقش تکتونیک در شکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه‌های تاق‌دیس قلاجه)، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۱۲، صفحات ۹۹-۱۲۲.

- ۲۲- مقصودی، مهران؛ مریم جعفری اقدم؛ سجاد باقری سید شگری و مسعود مینایی. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز کفر آور با استفاده از شاخص‌های ژئومرفیک و شواهد ژئومرفولوژیکی، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۵، زمستان ۱۳۹۰.
- ۲۳- مددی، عقیل؛ محمد حسین رضایی مقدم و عبدالحمید رجایی. ۱۳۸۳. تحلیل فعالیت‌های نئو تکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومرفولوژی در دامنه‌های شمال غربی تالش (باغر و داغ)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۴۸، صفحات ۱۲۳-۱۳۸.
- ۲۴- همتی، فریبا. ۱۳۸۹. بررسی نقش تکتونیک در پیدایش اشکال ژئومورفولوژی در طاق‌دیس پی کلا در زاگرس چین خورده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، استاد راهنما: شهرام بهرامی دانشگاه تربیت معلم سبزوار، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی.
25. Beaumont, 1972. Alluvial fans along the foothills of the Elburz Mountains, Iran. *Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol.* pp 12.
26. Bull, W.B., and MCFaden, L.D. 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California; annual Geomorphology symposium; state university of New York.
27. Bull, W.B. 2007. Tectonic Gomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology, Blackwell Malden, Usa, pp 316.
28. Chen, Y.C. et al. 2003. Along-Strike variation of morphotectonic features in the western Foothills of Taiwan: tectonic implication based on Stream-gradient and hypsometric analysis. *Geomorphology*, Vol 56.
29. Hamblin, W.K. 1976. Patterns of displacement along the wasatoh fault, *Geology*, 4:619-622.
30. Harrey, Advean M. eters. 1999. The impact of quaternary sea-level and climatic change on coastal alluvial fans in the Cabo de Gate range, southeast Spain. *Geomorphology* 28: 1-22.
31. Hack, J.T. 1973. Stream profile analysis and stream-gradient index, *J. Res. U.S. Geol. Surv.*, 1(4): 421-429.
32. Keller, E.A., and Pinter, N. 1996. *Active Tectonic*, Prentice Hall, upper saddle River, Nj, p 338
33. Keller, E.A. 1977. Fluvial systems: selected observations. In *Riparian Forests in California. Their Ecology and conservation* Annesads (ed), university of California Davis, Institute of Ecology, publication. 15(5): 39-46.
34. Malik, J. Mahanty. 2006. Active tectonic influence on the evolution of drainage and landscape: geomorphic signatares from frontal and hinterland areas along the Northwestern Himalaya, *Indi. Journal fasin.*
35. Mayer, L. 1986. Tectonic geomorphology of escarpments and mountain fronts. In: Wallace, R.E. (Ed.), *Active Tectonics Studies in Geophysics*. National Academy Press, Washington D.C., pp. 125-135
36. Molin, P. Pazzaglia, F.J., and Dramis, F. 2003. Geomorphologic Expression of Active Tectonics in Rapidly Deforming Arc, Sila Massif, Calabria, Southern Italy. *Dipartime Di Scienze Geologiche, Universita Degli Roma Tre.*

37. Ritter, John B, Etc., 2000. Environmental controls on the rolupion of all urial eans Buena Vesta vally, North cendralNerada, during late Quaternary time. *Geomorphology* 36: 63-87.
38. Ramiez–Heerea, M.T. 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graban, Mexican Volcanin belt. *Earth surface process and land forms*. Vol. 23.
39. Talling. P.J., Stewart, M.D., stark, C.P., and Vin cent, S.J. 1997. Regular spacing of drainage outlets from linear fault blocks, *basin res*, 9:275-302.
40. Wells, S.G., Bullard, T.F., Menges, C.M., Drake, P.G., Karas, P.A., Kelson, K.I., Ritter, J.B. and Wesling, J.R. 1988. Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica *Geomorphology*, 1: 239–265.

