

بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز مارون با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک

مهران مقصودی - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
سیدمحمد زمان زاده - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
مجتبی یمانی - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
عبدالحسین حاجی زاده* - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۱۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

چکیده

لندفرم‌های ایجاد شده بوسیله فرایندهای تکتونیک توسط علم ژئومورفولوژی تکتونیک مطالعه می‌شود؛ به عبارتی، ژئومورفولوژی تکتونیک کاربرد اصول ژئومورفیک در حل مسائل تکتونیک می‌باشد. اندازه گیری‌های کمی ژئومورفیک با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از چندین شاخص برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیک با همدیگر تلفیق می‌شوند. در این مقاله به بررسی شاخص‌های ژئومورفیک در این حوضه پرداخت شد. در این مقاله به منظور محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، بازدیدهای میدانی و اصول هندسه و ریاضی و نرم افزار Arc GIS استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه حوضه رودخانه مارون در جنوب غربی ایران و در استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و خوزستان می‌باشد. طول آبراهه ۲۸۰ کیلومتر می‌باشد. شاخص‌های مورد استفاده در این مقاله: شاخص گرادیان طول آبراهه (SL)، شاخص تقارن حوضه (AF)، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع (Vf)، شاخص شکل حوضه (B)، شاخص سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)، شاخص تراکم زهکشی (P)، شاخص سطوح مثلثی شکل (TF)، شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)، می‌باشد. برای بعضی از این شاخص‌ها روابط جدید و برای برخی دیگر نیز فرمول‌هایی برای استاندارد کردن آنها طراحی شد. در انتهای مقاله به بررسی تئوری خطاهای شاخص‌ها پرداخت شد. طبق نتایج بدست آمده از بررسی شاخص‌ها حوضه رودخانه مارون از نظر نوزمین ساختی و بالآمدگی فعال می‌باشد. زیر حوضه‌های بالادست بیشتر از زیر حوضه‌های میانی و انتهایی فعال می‌باشد تکتونیک منطقه تاثیر بسیار زیادی بر لندفرمها و سکونت‌گاهها دارد. این نتایج با داده‌های حاصل از لرزه نگاری و ژئودینامیک که منطقه را منطقه ای لرزه خیز در نظر گرفته‌اند همخوانی دارد.

واژگان کلیدی: مورفوتکتونیک، بهبهان، رودخانه مارون، شاخص‌های ژئومورفیک.

مقدمه

لندفرم‌های ایجاد شده بوسیله فرایندهای تکتونیک توسط علم ژئومورفولوژی تکتونیک مطالعه می‌شود به عبارتی ژئومورفولوژی تکتونیک کاربرد اصول ژئومورفیک در حل مسائل تکتونیک می‌باشد. اندازه گیری‌های کمی از لنداسکیپ‌ها براساس محاسبات شاخص‌های ژئومورفیک با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از چندین شاخص برای ارزیابی درجه فعالیت تکتونیک باهمدیگر تلفیق می‌شود (زوولی^۱ و همکاران، ۲۰۰۴).

رقابت مداوم بین فرایندهای تکتونیک که تمایل به ایجاد توپوگرافی دارند و فرایندهای سطحی که تمایل به فرسایش و متلاشی کردن آنها دارند، اساس ژئومورفولوژی تکتونیک است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۲ به نقل از بوربنک و اندرسون، ۱۹۹۴). در واقع ژئومورفولوژی تکتونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مدل‌های رقومی به شناسایی شواهد سطحی جابجایی‌ها و تغییرشکل‌ها می‌پردازد. این شاخص‌ها ابزارهای قوی برای ارزیابی اثرات تکتونیک فعال می‌باشد (محمود^۲ و همکاران، ۲۰۱۲). مطالعه این شاخص‌ها به منظور دستیابی به نتایج اساسی و مهمی است که معمولاً از طریق مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی حاصل می‌گردد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۱). تکتونیک نقش بسیار مهمی را در تکامل مورفولوژیکی هر حوضه زهکشی بازی می‌کند و به خوبی بوسیله پارامترهای مورفوتکتونیک، آبرفتی و ساختاری بازگو می‌شود. آنالیز تکتونیک فعال بستگی به شاخص‌های ژئومورفیک دارد که به مقاومت سنگها، تغییرات اقلیمی و فرایندهای تکتونیک حساس هستند (بهاث^۳ و همکاران، ۲۰۱۳).

شاخص‌های ژئومورفیک یک طبقه بندی نسبی از تکتونیک ارائه می‌دهند. برای مطالعات و بررسی میزان تاثیر تکتونیک در منطقه مفید است وقتی چندین شاخص ژئومورفیک در یک ناحیه خاص استفاده می‌شود نتایج با معناتر و مستندتر خواهد بود (مقصودی، ۱۳۸۷). شاخص‌های ژئومورفیک معمولاً برای کشف واکنش لندفرمها به فرایندهای تغییر شکل اخیر استفاده می‌شود (آندرنی^۴ و همکاران، ۲۰۱۴). این شاخص‌ها به عنوان یکی از ابزارهای اساسی برای پی بردن به وضعیت و میزان تاثیر فعالیت‌های نئوتکتونیک در سطح زمین می‌باشد که بارها توسط محققان بسیاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این موضوع به دلیل نقش این شاخص‌ها در ارزیابی سریع مناطق وسیع از نظر تکتونیک و سهولت دسترسی به نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی برای اندازه‌گیری این شاخص‌ها می‌باشد (رامشت و همکاران، ۱۳۹۱). در مورد مورفوتکتونیک و شاخص‌های ژئومورفیک پژوهش‌های بسیاری در داخل و خارج انجام گرفته است که در بعضی از آنها کلیه شاخص‌های ژئومورفیک به طور همزمان مورد آنالیز قرار گرفته است و در بعضی دیگر از پژوهش‌ها تعداد کمی از شاخص جهت بررسی محدودتر بدست آمده است. در کلیه مقالات مطالعه شده در پیشینه تحقیقات، شاخص‌های ژئومورفیک و نیز نقشه‌های توپوگرافی، زمین شناسی و بازدیدهای میدانی به عنوان داده و روش کار مورد استفاده قرار گرفت. در بعضی دیگر از پژوهش‌ها، از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های رقومی به طور غالب استفاده شده است. در تحقیقات مورفوتکتونیک حوضه‌های زهکشی و رودخانه‌ها به عنوان مهمترین لندفرم ژئومورفولوژی محور اصلی تحقیق بوده است، زیرا رودخانه‌ها از مهمترین اشکالی هستند که نسبت به فعالیت‌های تکتونیک واکنش نشان می‌دهند و غسل‌ها و فعالیت‌های تکتونیک می‌توانند آثاری چون انفصال یا انحراف در مسیر رود، تغییر الگو، تشکیل رودهای متروک و تغییر و تحول اشکال ژئومورفیک درون و حاشیه‌ی رودخانه ایجاد کنند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۱). آنالیز شاخص‌های ژئومورفیک

^۱ Zovoili^۲ Mahmood^۳ Bhat^۴ Andreani

سیستم های زهکشی می‌توانند فعالیت تکتونیکي اخیر و بالآمدگی را کشف کند، زیرا کانال‌های رودخانه‌ای به تغییرات وارد به شیب و گرادیان آنها بسیار حساس هستند (دورانتی^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). این سیستم‌های زهکشی و چشم اندازهای رودخانه‌ای به صورت‌های گوناگون نسبت به وقوع تغییرات در بستر جریان عکس العمل نشان می‌دهند. تشکیل تراس‌های رودخانه‌ای، تغییر نیمرخ طولی و مقطع عرضی و همچنین جابجایی‌های جانبی در مسیر جریان رودخانه‌ها از جمله این عکس‌العمل‌ها محسوب می‌شوند که با تشدید فرسایش نیز همراه می‌گردند (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸).

از جمله تحقیقات انجام گرفته در زمینه مورفوتکتونیک می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

گورابی و کیارستمی (۱۳۹۴) در تحقیقی حوضه‌های آبریز شمال شرق تهران را از نگاه زمین ساخت و شاخص‌های ژئومورفیک مورد ارزیابی قرار دادند که به علت عدم دسترسی میدانی به یکسری از مناطق از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های رقومی استفاده نمودند. یمانی و همکاران (۱۳۹۱) نیز شواهد مورفولوژیکی و مورفومتریکی تاثیر تکتونیک را بر مخروط افکنه‌های شمال دامغان مورد مطالعه قرار دادند در این تحقیق با استفاده از بازدیدهای میدانی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین شناسی و توپوگرافی جهت استخراج محدوده‌ها و شاخص‌ها و پارامترهای هندسی مورد استفاده قرار گرفت و فعال بودن گسل‌ها را در دوره کواترنری نشان دادند. خسروی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی متمایز در مورد تکتونیک با نگاه به انسان و مدنیت پرداخته است و اثر آن را بر جامعه انسانی با مرور آثار نشر یافته مورد مطالعه قرار داده است و به این دو دیدگاه رسیده اند که گروهی همجواری سکونتگاه‌ها با گسل‌های لرزه‌زا را بهانه قرار داده و با تأکید بر فجایع رخ داده در طول تاریخ تلاش در نشان دادن ویژگی‌های مرگبار این پدیده ی طبیعی دارند. گروه دوم به حضور توأم گسل‌ها و آب اشاره داشته و هم زمانی خطر- حیات را در حواشی گسل‌های فعال یادآور شده مجموعه عواملی مستقل از لرزه خیزی را مورد توجه قرار داده‌اند و تکتونیک را عاملی بسیار با اهمیتی در سیر تکاملی نوع بشر و مدنیت‌ها دانسته و شکل‌گیری و قوام تمدن‌های کلان را ناشی از آن دانسته اند. مقصودی و عمادالدین (۱۳۹۰)، به تحلیل تاثیر عامل تکتونیک فعال در ژئومورفولوژی حوضه شش‌طراز و مخروط افکنه‌های پایین دست آن پرداخته اند، در این تحقیق دریافتند که عامل تکتونیک تاثیر بسزایی در حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه دارد و حوضه‌ی مورد مطالعه از نظر تکتونیکي فعال می‌باشد. بهرامی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نقش تکتونیک را در ناهنجاری‌های مورفومتری شبکه زهکشی در حوضه زاگرس را بررسی نمودند در این تحقیق نیز محدوده شبکه زهکشی‌ها و آبراهه‌ها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی تهیه شده است و روابط بین متغیرهای ژئومورفیک و ضریب همبستگی‌ها را با استفاده از روابط ریاضی و آماری بدست آوردند و میزان تاثیر تکتونیک بر ساختار حوضه‌ها و بی‌نظمی شبکه‌ها را ارائه دادند. بیاتی خطیبی (۱۳۸۸) در تحقیقی، تحلیل‌های مورفومتریکی در حوضه قرنقو بر روی شبکه زهکشی به منظور تعیین اثرات تکتونیک بر روی ویژگی‌های رودخانه‌ها، با استفاده از روش‌های هیپسومتریکی و شاخص‌های مورفوتکتونیک و ژئومورفیک بررسی نمودند. نتایج این بررسی‌ها و تحلیل‌ها نشان داد که فعالیت‌های تکتونیک بر شبکه زهکشی حوضه کاملاً تاثیر گذاشته است. توپوگرافی و اشکال ژئومورفیک و همچنین معماری دره‌ها با بالآمدگی‌ها در بخش‌های جنوبی و میانی حوضه در رابطه هستند. حضور شکستگی‌ها و بی‌نظمی‌ها در نیمرخ طولی رودخانه‌ها، جابجایی‌های جانبی در مسیر جریان آنها و غیرعادی بودن شبکه زهکشی از اثرات بالآمدگی‌های تکتونیکي محسوب می‌شوند. مقصودی و همکاران (۱۳۸۷) به ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه‌ها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین شناسی، بازدیدهای میدانی و نیز شاخص‌های ژئومورفیک پرداخته و دریافتند که در مصب رودخانه‌ها فعالیت‌های تکتونیکي فعال می‌باشد و به واکنش رودخانه نسبت به گسل‌های منطقه پرداخته اند و بهترین راه برای بررسی رفتار رودخانه در یک منطقه فعال تکتونیکي را شاخص گرادیان بستر رودخانه دانست.

^۱ Doranti

از سایر تحقیقات داخلی در مورد مورفوتکتونیک می‌توان (سپهر و عبدالله زاده، ۱۳۹۴)، (احمدی، رحیمی چاکدل، ۱۳۹۲)، (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۲)، (سیف و خسروی، ۱۳۸۹)، (شفیعی و همکاران، ۱۳۸۸)، (رجبی و شیرازی طرز، ۱۳۸۴) اشاره نمود که در آنها شاخص‌های ژئومورفیک مبنای روش ارزیابی تأثیرات تکتونیک بر منطقه مورد مطالعه می‌باشد. از تحقیقات خارجی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

دورانتی^۱ و همکاران (۲۰۱۴) نیز آنالیز مورفوتکتونیک حوضه‌های زهکشی جنوب غربی کشور برزیل را با استفاده از شاخص گرادیان شیب رودخانه (SL) و پروفیل طولی مورد مطالعه قرار داد و بیان کردند که این شاخص‌ها برای شناسایی مناطق با تغییر شکل تکتونیک سریع مورد استفاده قرار می‌گیرد و این شاخص به تغییر شیب کانال بسیار حساس است که برای ارزیابی ارتباط بین فعالیت تکتونیک احتمالی، مقاومت سنگ و توپوگرافی به کار می‌رود.

محمود^۲ و همکاران (۲۰۱۲) تکتونیک فعال منطقه هندوکش پاکستان را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شبکه‌های زهکشی مورد مطالعه قرار داد که براساس این شاخص‌ها، لندفرمها را به چهار کلاس نسبت به درجه فعالیت نسبی تکتونیک آنها تقسیم بندی می‌کند. شاخص Vf نشان داده است که اکثر دره‌ها، باریک، عمیق، پرشیب هستند و شاخص ژئومورفیک را با بازدیدهای میدانی و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به خوبی انطباق داد.

زوولی^۳ و همکاران (۲۰۰۴) دو گسل را از نظر ژئومورفولوژی تکتونیک مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق شاخص‌هایی نظیر گرادیان طول جریان (SL)، سینوسیته جبهه کوهستان (Smf) و نسبت عرض دره به ارتفاع (Vf) را استفاده کردند و آنها را در مطالعه تکتونیک فعال موفق آمیز دانستند. شاخص Vf بین ۰٫۴ تا ۱٫۲ بدست آمده نشان از نرخ بالای بالامدگی می‌باشد و در حالی که Smf تقریباً ۱، فعالیت نسبی تکتونیک بالا را آشکار می‌کند. شاخص SL بسیار به فرایندهای غیرتکتونیک (مقاومت سنگها، طول آبراهه) حساس است.

۲- منطقه مورد مطالعه:

محدوده رودخانه مورد مطالعه حوضه رودخانه مارون است. سرچشمه این رودخانه با مختصات تقریبی $\phi: 30^{\circ}46'2.2''$ تا $\lambda: 50^{\circ}03'54.08''$

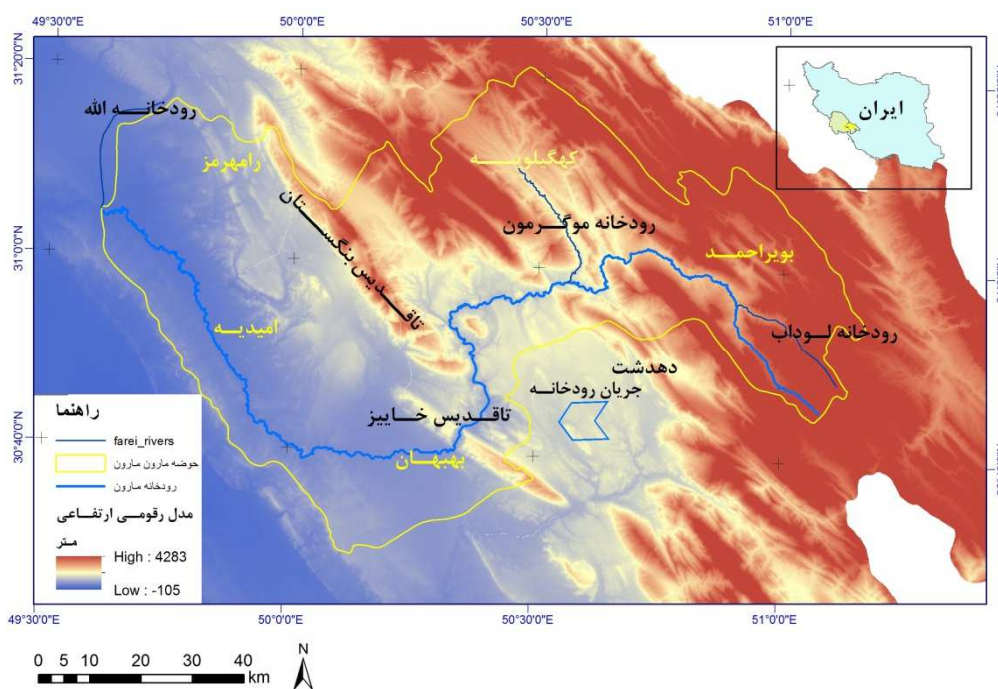
محل ورودی رودخانه مارون به رودخانه جراحی با مختصات جغرافیایی $\phi: 31^{\circ}04'28.77''$ می‌باشد. طول رودخانه مارون $\lambda: 49^{\circ}36'11.09''$

از سرچشمه تا سد مارون حدود ۱۵۰ کیلومتر و از سد مارون تا ابتدای رودخانه جراحی حدود ۱۳۰ کیلومتر می‌باشد. سد مخزنی مارون دومین سد سنگریزه‌ای مرتفع ایران می‌باشد که در فاصله ۱۹ کیلومتری شمال شرقی شهر بهبهان احداث گردیده است (عمادعلی، ۱۳۹۳) (شکل ۱).

^۱ Doranti

^۲ Mahmood

^۳ Zovoili



شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه

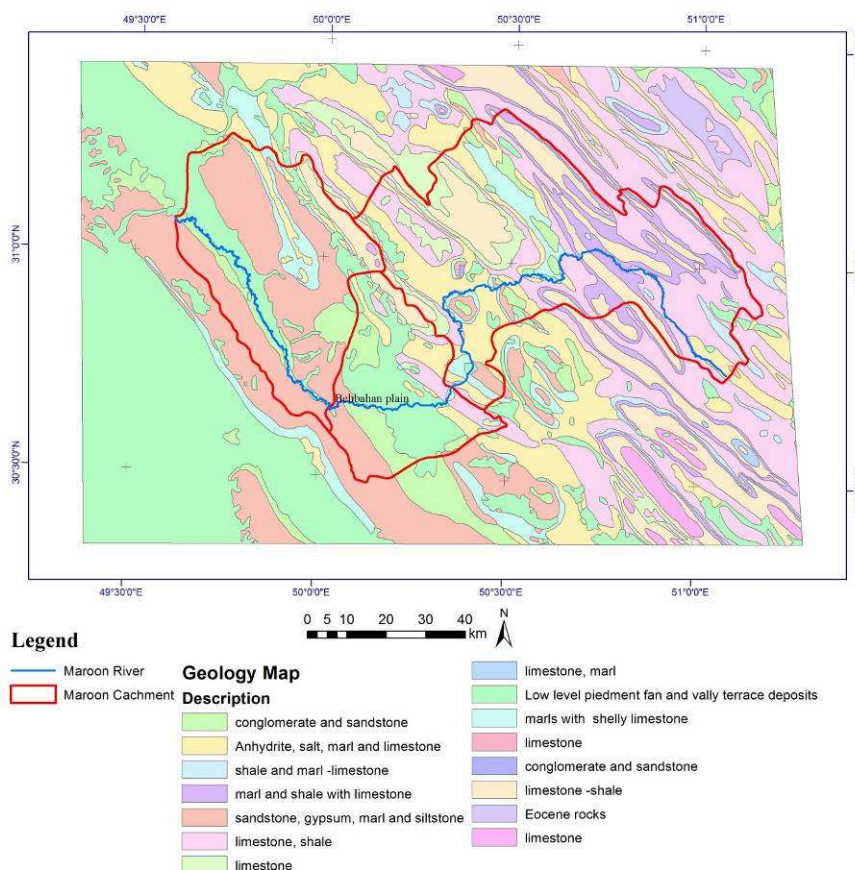
رودخانه مارون از ارتفاعات زاگرس و از چشمه سارهای کوههای سادات و نیل (نیر) سرچشمه گرفته و حوزه آبریز آن، مناطق غربی بویراحمد سفلی و قسمت اعظم طبیعی و دشمن زبیری است که در مسیر عمود بر جهت کلی سلسله جبال زاگرس به طرف جنوب غربی جریان می‌یابد. این رودخانه پس از طی مسیری پرشیب کوهستانی از ارتفاعات حدود ۳۱۰۰ متری عبور نموده و بعد از الحاق چندین رودخانه فرعی دیگر در ارتفاع حدود ۳۵۰ متری از سطح دریا به دشت بهبهان رسیده و پس از مشروب نمودن آن وارد مسیر کوهستانی با دامنه‌های کم ارتفاع می‌شود. رودخانه مارون از طریق تنگ تکاب (محل احداث سد مارون) وارد دشت بهبهان می‌شود. پس از عبور از حدود ۴۵ کیلومتری مسیر کوهستان در جهت شمال غربی ادامه یافته و وارد دشت باریک و کشیده جایزان می‌شود این رودخانه در پایین دست دشت جایزان با دریافت چندین شاخه فرعی دیگر و اتصال به رودخانه الله (اعلا) رودخانه جراحی را تشکیل می‌دهد. رودخانه جراحی پس از مشروب نمودن دشت خلف آباد وارد دشت شادگان شده و به خلیج فارس می‌ریزد.

حوضه آبی مارون بسته به ارتفاع دارای اقلیم متفاوتی می‌باشد با توجه به سیستم تقسیم بندی آب و هوا در سیستم کوپن سه نوع اقلیم مدیترانه‌ای سرد، نیمه گرمسیری و نیمه خشک گرم با تابستان‌های خشک قابل تشخیص است. الف) منطقه مرتفع کوهستانی که قسمتی از حوضه آبخیز مخزن سد را تشکیل می‌دهد، دارای آب و هوای مدیترانه‌ای سرد می‌باشد (ارتفاعات بالاتر از ۲۵۰۰ متر) ب) منطقه تپه ماهوری شامل محل سد که دارای آب و هوای نیمه گرمسیری می‌باشد (ارتفاعات ۱۰۰۰ الی ۲۵۰۰ متر). این بخش غالب مساحت حوزه را شامل می‌شود. ج) مناطق خشک پایین دست (دشتهای با ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر) که دارای آب و هوای نیمه خشک می‌باشد.

رودخانه مارون دارای آب دائمی بوده و رژیم آن بارانی- برفی است و بخش عمده ریزش‌های جوی حوضه آبریز به صورت باران می‌باشد. حوضه آبخیز مارون در دنباله جبال زاگرس واقع و از ته نشست های دوره کرتاسه تا دوره پلیوسن تشکیل یافته است این ته نشست‌ها بقایای دریایی می‌باشند که قبلا منطقه را می‌پوشانیده است در اعماق این دریا مجموعه‌ای از رسوبات با ضخامت بسیار زیاد ته نشین شده که در اثر مرور زمان و تحت تاثیر عوامل مختلف سخت گردیده است. سنگ‌های تشکیل دهنده آن عبارتند از مارن، شیل، گچ، کنگلومرا و آهک که در اواخر دوره پلیوسن به علت بالا آمدن قسمتی از حوضه ارتفاعات مذکور و چین خوردگی‌های تاق‌دیزی را تشکیل و قسمت‌های پست نیز چین خوردگی‌های

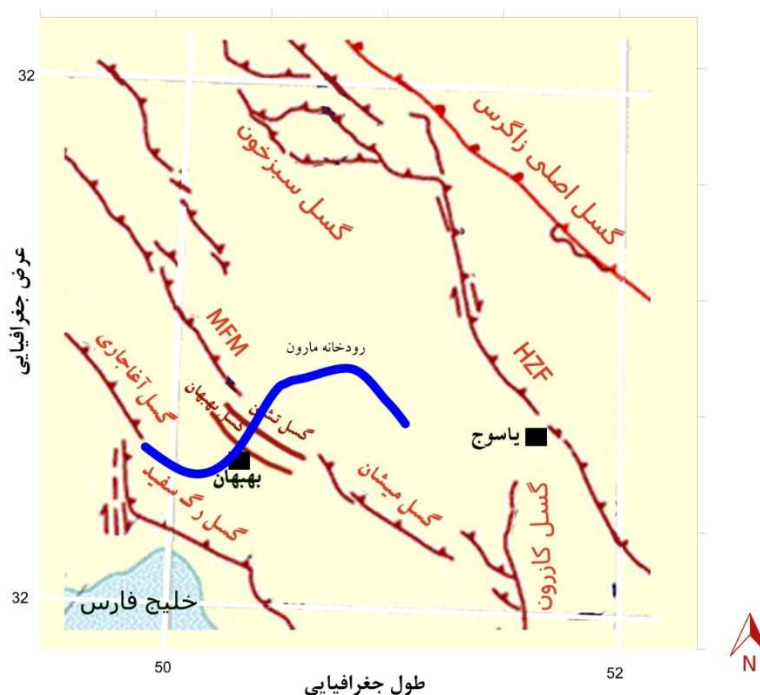
ناودیسی را به وجود آورده است. همزمان با بیرون زدگی های مذکور پدیده فرسایش نیز به شدت فعال بوده است. کنگلومرای بختیاری از بالآمدن لایه های قدیمی تر شکل گرفته است. دگرشیبی ها و ناهمسانی ها در سازند بختیاری نشان می دهد که در طول زمان تشکیل این رسوبات تغییرات مداوم داشته اند.

ته نشست های جدید عبارتند از آبرفت های رودخانه ای، دشت های سیلابی و مخروط های افکنه می باشد. حوضه های ناودیسی اغلب توسط نهشته های آبرفتی که حاصل فرسایش تاقدیس ها و ارتفاعات می باشد پوشیده شده است. این مناطق اغلب در حوضه های پست و کم ارتفاع و در دره های وسیع در پای کوهستان های مرتفع تشکیل شده است بیرون زدگی هایی که از سنگ های مقاوم آهکی تشکیل گردیده مربوط به ساختمان های تاقدیسی و رسوبات می باشد. رودخانه های حوضه که ساختمان های تاقدیسی را قطع می نمایند غالباً دارای شیب تند بوده که بریدگی ها و دره های عمیق را به وجود آورده است این دره ها و دیوارهای پرشیب دارای پرتگاه های فراوانی است که ارتفاع دیواره های عمودی آنها بسیار زیاد می باشد. براساس مطالعات چینه شناسی، رسوباتی که در محدوده توسعه رودخانه مارون وجود دارند متعلق به دوران اتو- الیگوسن، میوسن، پلیوسن و دوران چهارم می باشند. سازندهای تشکیل دهنده حوزه مارون شامل سازند سروک پایده، گورپی، آسماری، میشان، آغاچاری و واحد سنگی آبرفتی می باشد (قربانی، ۱۳۸۵). در شکل شماره ۲ نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه آورده شده است.



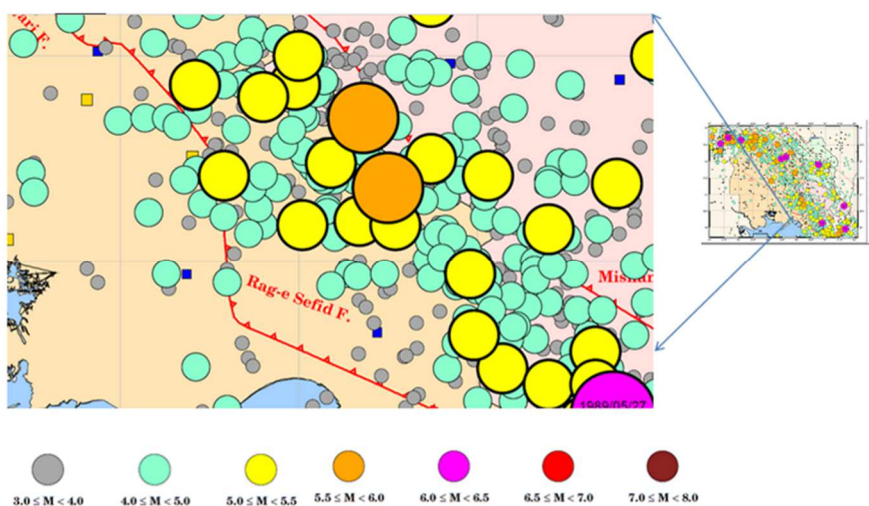
شکل ۲: نقشه زمین شناسی منطقه

در منطقه مورد مطالعه مجموعه های زیادی از گسل ها و شکستگی ها وجود دارد که با الگوهای مشخصی نسبت به همدیگر قرار گرفته اند و واحدهای سنگی را جابجا کرده اند. از جمله این گسل ها می توان به گسل اصلی زاگرس، گسل کازرون، گسل میشان، گسل آغاچاری، گسل ارجان، گسل بهبهان، گسل رگ سفید اشاره نمود. گسل های فرعی زیادی نیز در منطقه وجود دارد (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه گسل‌های حوضه رودخانه مارون (قریشی، ۱۳۹۳)

شکل زیر زلزله‌های چند ده سال اخیر با بزرگای مختلف در مرکز منطقه را نشان می‌دهد، که می‌تواند نشانی از زلزله خیز بودن منطقه را نشان دهد.



شکل ۴: زمین لرزه های مهم منطقه مورد مطالعه (۱۹۰۰ تا ۲۰۱۵ میلادی)، موسسه لرزه نگاری کشوری

۳- داده و روش ها:

به کار بردن شاخص‌های ژئومورفیک بستگی به مقیاس نقشه‌ها دارد، مثلاً برای شاخص Vf نیاز به نقشه‌های بزرگ مقیاس (مثلاً ۱:۵۰۰۰) و برای شاخص‌های Smf, Sl می‌توان از نقشه‌های کوچک مقیاس (۱:۲۵۰۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰) استفاده کرد (زوولی و همکاران، ۲۰۰۴). شاخص‌های ژئومورفیک در مطالعات تکتونیک و برای ارزیابی سریع مناطق بزرگ مورد

استفاده قرار گیرند. بعضی از داده‌ها معمولاً به راحتی از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی بدست می‌آید که در مقیاس‌های مختلف معمولاً موجود می‌باشند (مصدوق^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). در این مقاله نیز داده‌های مورد نیاز از نقشه‌های توپوگرافی و مدل ارتفاعی رقومی (DEM 10m, 30m, 90 m) و تصاویر ماهواره‌ای (لندست ۲۰۰۴، ۱۹۸۶ و ۲۰۱۶)، عکس‌های هوایی (۱۳۴۰ سازمان نقشه برداری)، بازدیدهای میدانی و با استفاده از نرم افزارهای ENVI، ArcGIS، به همراه نرم افزارهای گرافیکی بدست آمده است. روش مورد استفاده در این تحقیق بر مبنای محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک شاخص گرادیان طول آبراهه (SL)، شاخص تقارن حوضه (AF)، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع (Vf)، شاخص شکل حوضه (B)، شاخص سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)، شاخص تراکم زهکشی (P)، سطوح مثلثی شکل (TF)، شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)، می‌باشد که از طریق روابط ریاضی می‌توان آنها را بدست آورد. در زیر روابط و نحوه محاسبه آنها تشریح شده است. بعضی از این روابط توسط نویسندگان بهبود یافته و برای بعضی از آنها نیز استانداردهایی در نظر گرفته شده است.

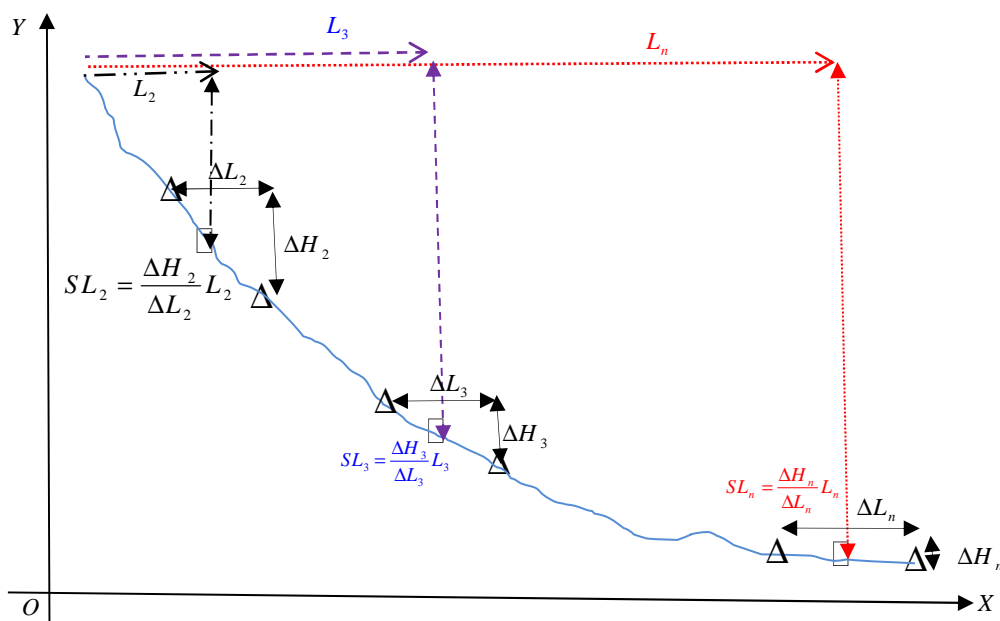
۴- یافته‌های تحقیق:

۴-۱- شاخص گرادیان طول آبراهه SL^۲

این شاخص توسط هک^۳ (۱۹۷۳) برای تشریح اثرات تغییرات محیطی بر روی پروفیل طولی جریان تعریف شده است. فرمول ریاضی آن به صورت زیر می‌باشد (محمود و همکاران، ۲۰۱۲) (شکل ۵):

$$SL = (\Delta H / \Delta L_r) L_i \quad (1)$$

این شاخص به قدرت جریان وابسته است و نسبت به تغییرات شیب، مقاومت سنگ، توپوگرافی و طول آبراهه حساس می‌باشد (زوولی و همکاران، ۲۰۰۴). این شاخص در مناطقی که بستر رودخانه در سنگ‌های سخت قرار دارد افزایش می‌یابد (یمانی ۱۳۸۹، به نقل از کلر و پنتیر، ۱۹۹۶).



^۱ Masdouq

^۲ stream- Length gradient

^۳ Hack

شکل ۵: شاخص گرادیان طول جریان، علامت مثلث نقاط انتهایی بازه و علامت دایره مرکز بازه (منبع: نویسندگان)

در این رابطه ΔH : تغییرات ارتفاع، ΔL_r طول هر بازه (reach) و L_r طولی در امتداد کانال از سرچشمه تا نقطه میانی بازه می باشد. این شاخص می تواند برای ارزیابی فعالیت تکنیکی نسبی استفاده شود (محمود، ۲۰۱۲). مقدار این شاخص در مناطق فعال تکنیکی زیاد می باشد (یمانی ۱۳۸۹، به نقل از کلر و پنتیر، ۱۹۹۶). در تمامی پژوهش های انجام شده توسط دیگران تعداد بازه ها به طور اختیاری توسط محققان انتخاب می گردد و هیچگونه استاندارد و یکسان سازی در تحقیقات جهت مقایسه آنها وجود ندارد در این تحقیق روش استاندارد و یکسان سازی طراحی شده است که می توان با ملاک قراردادن آن در سایر تحقیقات مشابه، اقدام به مقایسه نتایج نمود. برای محاسبه پارامتر ΔL را از طریق مراحل زیر بدست آورده و برای کلیه نقاط مسیر ثابت در نظر می گیریم. این پارامتر برابر با فاصله بین نقاط می باشد که در زیر طریقه بدست آوردن آن محاسبه شده است:

$$\Delta L = m \quad (2) \text{ (منبع نویسندگان)}$$

برای انتخاب تعداد نقاط می توان از رابطه زیر که توسط نویسندگان طراحی شده است استفاده کرد:

$$m = \frac{L \times D}{\Delta H} \times 100 \quad (3) \text{ (منبع نویسندگان)}$$

که در این رابطه $\Delta H, L, D, m$ به ترتیب فاصله بین نقاط انتخاب شده برای نقطه مرکزی به متر، فاصله افقی ابتدا و انتهای حوضه به کیلومتر، طول رودخانه به کیلومتر، اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای رودخانه به متر می باشد که برای مقاله حاضر به صورت زیر بدست آمده است:

$$m = \frac{280 \times 145}{2025} \times 100 \approx 2000 m \rightarrow \quad (4) \text{ (منبع نویسندگان)}$$

$$p = \frac{L}{m} = \frac{280 km}{2 km} = 140$$

در رابطه فوق p تعداد نقاط می باشد. بنابراین در این مقاله برای کل مسیر رودخانه تعداد ۱۴۰ نقطه مرکزی با فاصله حدود ۲ کیلومتر در نظر گرفته شده است که باید شاخص SL را برای نقطه مرکزی آن محاسبه نمود. در جداول (شماره های ۱، ۲ و ۳) مقادیر این شاخص برای سه زیرحوضه مربوط به رودخانه مارون یعنی تخت دراز، بهبهان و جایزان محاسبه شده است.

جدول ۱: شاخص گرادیان طول جریان در حوضه تخت دراز (نویسندگان)

ردیف	ΔH (m)	ΔL_r (km)	L_r (km)	SL	شیب درصد	ردیف	ΔH (m)	ΔL_r (km)	L_r (km)	SL	شیب درصد
۱	۷۷	۲	۲	77	3.85	۲۷	۳۹	۲	۸۰	1560	1.95
۲	۴۶	۲	۴	92	2.3	۲۸	۲۵	۲	۸۴	1050	1.25
۳	۲۲	۲	۶	66	1.1	۲۹	۲۰	۲	۸۶	860	1
۴	۶۴	۲	۸	256	3.2	۳۰	۷	۲	۹۰	315	0.35
۵	۳۷	۲	۱۰	185	1.85	۳۱	۱۴	۲	۹۲	644	0.7
۶	۲۹	۲	۱۲	174	1.45	۳۲	۱۷	۲	۹۴	799	0.85
۷	۸۰	۲	۱۴	560	4	۳۳	۳۴	۲	۹۶	1632	1.7

۸	۹۰	۲	۱۶	720	4.5	۳۴	۱۵	۲	۱۰۰	750	0.75
۹	۱۰۰	۲	۱۸	900	5	۳۵	۱۸	۲	۱۰۴	936	0.9
۱۰	۵۵	۲	۲۰	550	2.75	۳۶	۳۹	۲	۱۰۶	2067	1.95
۱۱	۲۷	۲	۲۲	297	1.35	۳۷	۲۳	۲	۱۰۸	1242	1.15
۱۲	۲۹	۲	۲۴	348	1.45	۳۸	۸	۲	۱۱۲	448	0.4
۱۳	۴۵	۲	۲۶	585	2.25	۳۹	۱۲	۲	۱۱۴	684	0.6
۱۴	۲۰	۲	۲۸	280	1	۴۰	۳	۲	۱۱۸	177	0.15
۱۵	۲۷	۲	۳۸	513	1.35	۴۱	۵	۲	۱۲۰	300	0.25
۱۶	۳۲	۲	۴۲	672	1.6	۴۲	۱۷	۲	۱۲۲	1037	0.85
۱۷	۳۹	۲	۴۶	897	1.95	۴۳	۱۹	۲	۱۲۶	1197	0.95
۱۸	۹	۲	۴۸	216	0.45	۴۴	۶	۲	۱۲۸	384	0.3
۱۹	۱۰	۲	۵۰	250	0.5	۴۵	۳۳	۲	۱۳۰	455	0.35
۲۰	۱۸	۲	۵۴	486	0.9	۴۶	۲۳	۲	۱۳۴	335	0.25
۲۱	۸۷	۲	۵۸	2523	4.35	۴۷	۱۴	۲	۱۳۸	966	0.7
۲۲	۲۴	۲	۶۰	720	1.2	۴۸	۱۱	۲	۱۴۰	770	0.55
۲۳	۲۵	۲	۶۴	800	1.25	۴۹	۲	۲	۱۴۴	144	0.1
۲۴	۶۰	۲	۶۸	2040	3	۵۰	۸	۲	۱۴۶	584	0.4
۲۵	۲۶	۲	۷۰	910	1.3	۵۱	۵	۲	۱۴۸	370	0.25
۲۶	۳۱	۲	۷۸	1209	1.55	۵۲					

توجه: در جدول فوق به علت حجم داده ها، بعضی از نقاط آن در این مقاله حذف شده است.

جدول ۲: شاخص گرادیان طول جریان در حوضه بهبهان (نویسندگان)

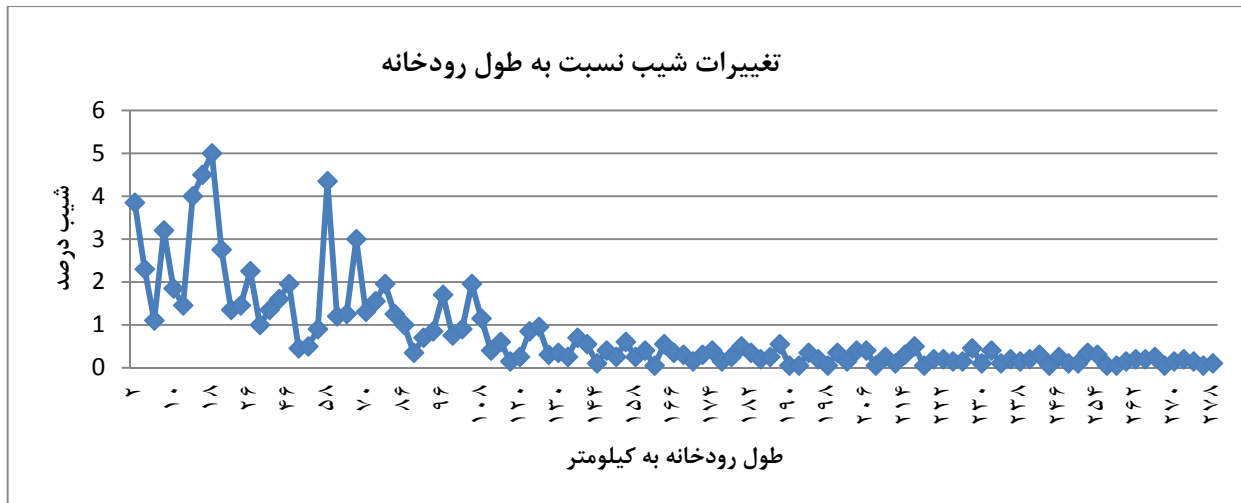
ردیف	ΔH (m)	ΔL_r (km)	L_t (km)	SL	شیب	ردیف	ΔH (m)	ΔL_r (km)	L_t (km)	SL	شیب
۱	۱۲	۲	۱۵۶	۹۳۶	0.6	۱۰	۸	۲	۱۷۴	۶۹۶	0.4
۲	۵	۲	۱۵۸	۳۹۵	0.25	۱۱	۳	۲	۱۷۶	۲۶۴	0.15
۳	۸	۲	۱۶۰	۶۴۰	0.4	۱۲	۵	۲	۱۷۸	۴۴۵	0.25
۴	۱	۲	۱۶۲	۸۱	0.05	۱۳	۱۰	۲	۱۸۰	۹۰۰	0.5
۵	۱۱	۲	۱۶۴	۹۰۲	0.55	۱۴	۷	۲	۱۸۲	۶۳۷	0.35
۶	۷	۲	۱۶۶	۵۸۱	0.35	۱۵	۴	۲	۱۸۴	۳۶۸	0.2
۷	۶	۲	۱۶۸	۵۰۴	0.3	۱۶	۵	۲	۱۸۶	۴۶۵	0.25
۸	۳	۲	۱۷۰	۲۵۵	0.15	۱۷	۱۱	۲	۱۸۸	۱۰۳۴	0.55
۹	۶	۲	۱۷۲	۵۱۶	0.3	۱۸	۱	۲	۱۹۰	۹۵	0.05

جدول ۳: شاخص گرادیان طول جریان در حوضه جازان (نویسندگان)

ردیف	ΔH (m)	ΔL_r (km)	L_t (km)	SL	شیب	ردیف	ΔH (m)	ΔL_r (km)	L_t (km)	SL	شیب
۱	۱	۲	۱۹۲	۹۶	0.05	۲۴	۳	۲	۲۳۸	۳۵۷	0.15
۲	۷	۲	۱۹۴	۶۷۹	0.35	۲۵	۴	۲	۲۴۰	۴۸۰	0.2
۳	۴	۲	۱۹۶	۳۹۲	0.2	۲۶	۶	۲	۲۴۲	۷۲۶	0.3
۴	۱	۲	۱۹۸	۹۹	0.05	۲۷	۱	۲	۲۴۴	۱۲۲	0.05
۵	۷	۲	۲۰۰	۷۰۰	0.35	۲۸	۵	۲	۲۴۶	۶۱۵	0.25
۶	۳	۲	۲۰۲	۳۰۳	0.15	۲۹	۲	۲	۲۴۸	۲۴۸	0.1
۷	۸	۲	۲۰۴	۸۱۶	0.4	۳۰	۲	۲	۲۵۰	۲۵۰	0.1

۸	۸	۲	۲۰۶	۸۳۴	0.4	۳۱	۷	۲	۲۵۲	۸۸۲	0.35
۹	۱	۲	۲۰۸	۱۰۴	0.05	۳۲	۶	۲	۲۵۴	۷۶۲	0.3
۱۰	۵	۲	۲۱۰	۵۲۵	0.25	۳۳	۱	۲	۲۵۶	۱۲۸	0.05
۱۱	۲	۲	۲۱۲	۲۱۲	0.1	۳۴	۱	۲	۲۵۸	۱۲۹	0.05
۱۲	۶	۲	۲۱۴	۶۴۲	0.3	۳۵	۳	۲	۲۶۰	۳۹۰	0.15
۱۳	۱۰	۲	۲۱۶	۱۰۸۰	0.5	۳۶	۴	۲	۲۶۲	۵۲۴	0.2
۱۴	۱	۲	۲۱۸	۱۰۹	0.05	۳۷	۴	۲	۲۶۴	۵۲۸	0.2
۱۵	۴	۲	۲۲۰	۴۴۰	0.2	۳۸	۵	۲	۲۶۶	۶۶۵	0.25
۱۶	۴	۲	۲۲۲	۴۴۴	0.2	۳۹	۱	۲	۲۶۸	۱۳۴	0.05
۱۷	۳	۲	۲۲۴	۳۳۶	0.15	۴۰	۳	۲	۲۷۰	۴۰۵	0.15
۱۸	۳	۲	۲۲۶	۳۳۹	0.15	۴۱	۴	۲	۲۷۲	۵۴۴	0.2
۱۹	۹	۲	۲۲۸	۱۰۲۶	0.45	۴۲	۳۵	۲	۲۷۴	۴۷۹۵	1.75
۲۰	۲	۲	۲۳۰	۲۳۰	0.1	۴۳	۱	۲	۲۷۶	۱۳۸	0.05
۲۱	۸	۲	۲۳۲	۹۲۸	0.4	۴۴	۲	۲	۲۷۸	۲۷۸	0.1
۲۲	۲	۲	۲۳۴	۲۳۴	0.1	۴۵					
۲۳	۴	۲	۲۳۶	۴۷۲	0.2						

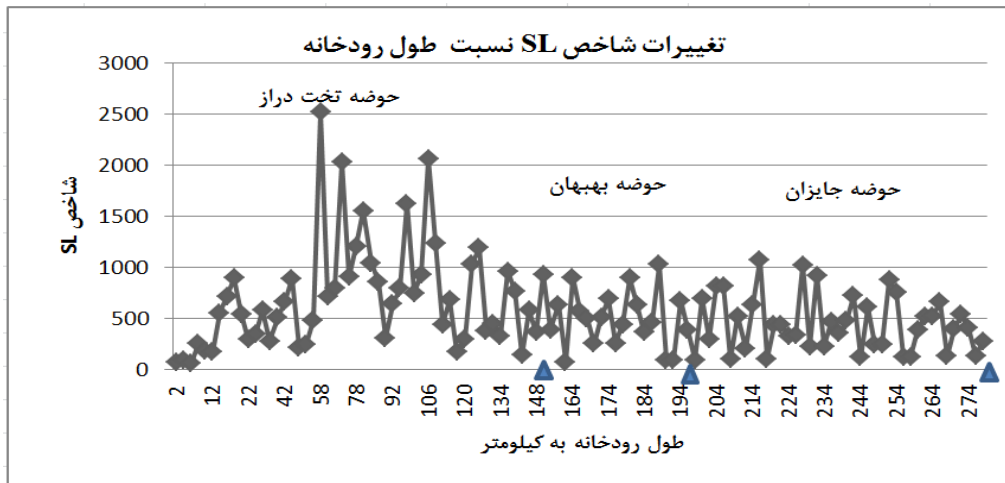
اعداد محورهای X, Y نمودار شماره ۶ از مدل ارتفاعی زمین تهیه شده است، این نمودار تغییرات شیب بستر جریان نسبت به طول رودخانه را نشان می دهد. این شیب براساس مقاطع اندازه گیری شده در شاخص SL بدست آمده است. همان طور که در شکل زیر مشاهده می شود در زیرحوضه تخت دراز شیب بستر تندتر شده ولی با گذشت از تاقدیس خاییز از تغییرات شیب رودخانه کاسته می شود. از تاقدیس خاییز تا انتهای رودخانه مارون، رودخانه در یک منطقه تقریباً همواری جریان دارد. در شکل زیر تا کیلومتر ۱۴۸ مربوط به حوضه تخت دراز، تا کیلومتر ۱۹۴ مربوط به حوضه بهبهان و بعد از متعلق به حوضه جایزان می باشد.



شکل ۶: تغییرات شیب نسبت به طول رودخانه

طبق شکل زیر، زیرحوضه تخت دراز نسبت به زیرحوضه های بهبهان و جایزان دارای شاخص SL بزرگتری می باشد. از نظر ریاضی دلیل آن تغییرات شدید اختلاف ارتفاع در این زیرحوضه و فاصله گرفتن از سرچشمه رودخانه است. یکی از

مزیت‌های مهم یکسان گرفتن مقدار گرفتن مقدار ΔL برای کل نقاط این است که پارامتر اختلاف ارتفاع به خوبی در رابطه شاخص SL (رابطه ۱) خود را نشان می‌دهد.



شکل ۷: تغییرات شاخص SL در طول رودخانه مارون

۴-۲- شاخص تقارن حوضه (AF^{\ddagger})

این شاخص روشی برای ارزیابی وجود تیلت تکتونیک در مقیاس حوضه زهکشی می‌باشد و به وسیله فرمولی که توسط هار و گاردنر (۱۹۸۵) تعریف شده است به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$AF = (A_r / A_t) \times 100 \quad (5)$$

که پارامتر A_r مساحت حوضه در سمت راست جهت جریان (با نگاه به پایین دست)، A_t مساحت کل حوضه زهکشی است. در رابطه بالا اگر مقدار شاخص AF حدود ۵۰ باشد نشان دهنده رودخانه‌ای است که دارای موقعیت مسیر ثابت و جریان مداومی است و نشان از نبود فعالیت تکتونیک در منطقه می‌باشد ولی اگر این شاخص دارای مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ باشد به دلیل تیلت و انحراف کانال اصلی رودخانه، نشان از فعالیت تکتونیک در منطقه دارد (کلر، ۱۹۸۶).

طبق شکل شماره ۱ جهت جریان رودخانه مارون به طور کلی از شرق به طرف غرب می‌باشد و در نگاه اول مشخص است که مساحت حوضه در سمت راست بسیار بزرگتر از سمت چپ می‌باشد و احتمال فعالیت تکتونیک در منطقه را تشدید می‌کند. در جدول ۴، پارامترهای شاخص تقارن حوضه بدست آورده شده است.

جدول ۴: شاخص تقارن حوضه (AF)

حوضه	A_r (کیلومتر مربع)	A_t (کیلومتر مربع)	AF (بدون واحد)
۱: تخت دراز	۲۹۷۸	۳۷۹۹	۷۸/۴
۲: بهبهان	۷۲۳	۱۳۰۱	۵۵/۶
۳: جایزان	۱۷۲۴	۲۲۱۷	۷۷/۸
کل حوضه	۵۴۲۵	۷۳۱۷	۷۴/۱

۴-۳- شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع Vf°

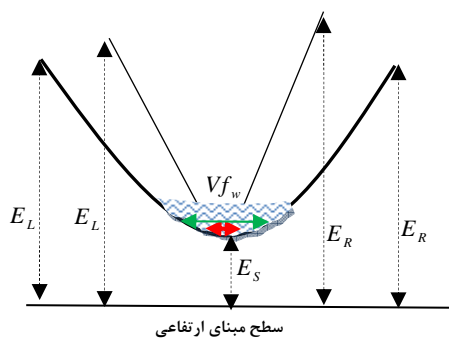
[‡] Asymmetry factor

[°] Ratio of valley floor width to valley height

این شاخص برای دره‌های اصلی که جبهه کوهستان را قطع می‌کنند محاسبه می‌شود (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳). این شاخص مرتبط با شیب دره است و یک شاخص ژئومورفیک است که درک تفاوت بین دره های U شکل، V شکل و دره‌های با کف پهن را ارائه می‌دهد و با رابطه ریاضی زیر محاسبه می‌شود (بول و مک فادن، ۱۹۷۷).

$$Vf = \frac{2Vf_w}{(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})} \quad (6)$$

در این رابطه Vf_w عرض کف دره، E_{ld} , E_{rd} به ترتیب ارتفاع سمت راست و چپ دره و E_{sc} ارتفاع کف دره می‌باشد. می‌توان به طور ریاضی اثبات نمود که با افزایش Vf_w (عرض) دره به صورت U شکل و با کاهش آن دره شکل V می‌شود. دره پهن و وسیع دارای Vf بالایی و همراه با نرخ پایین بالآمدگی هستند به طوری که دره های V شکل دارای مقدار Vf کمتر (نزدیک به صفر) می‌باشد. شاخص Vf مرتبط با شکل دره است (زوولی و همکاران، ۲۰۰۴). این شاخص معمولاً نشان می‌دهد که آیا رود به حفر بستر خود می‌پردازد و یا اینکه عمدتاً فرسایش به صورت جانبی به طرف ارتفاعات و دامنه‌های حاشیه رود انجام می‌گیرد. مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده بالآمدگی اندک نو زمین-ساختی است. مقادیر کم این شاخص نیز نشان دهنده دره‌های عمیق همراه با رودهایی است که به طور فعال کف بستر خود را حفر کرده و به طور معمول همراه با بالآمدگی نو زمین ساختی است.



(ب) نمای ریاضی شاخص SL

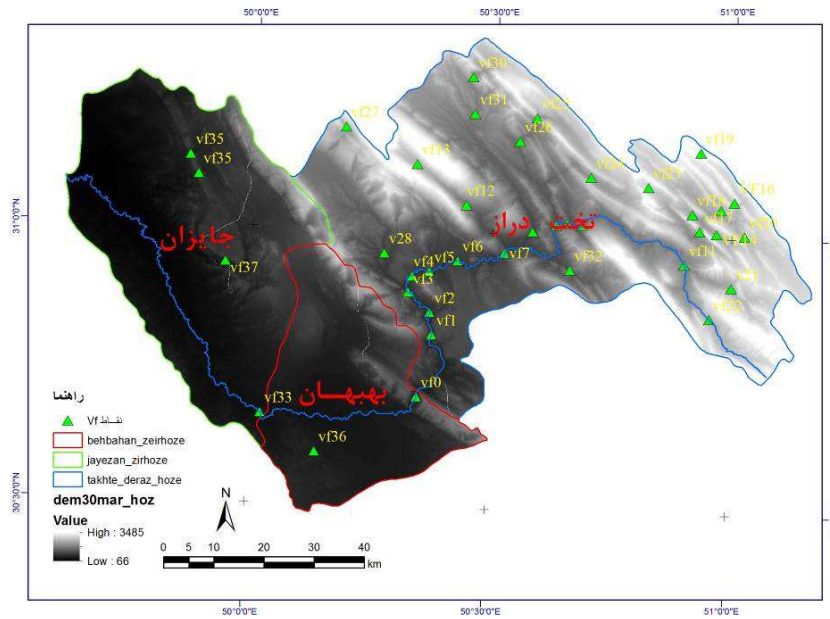


(الف) نمونه ای از دره V شکل

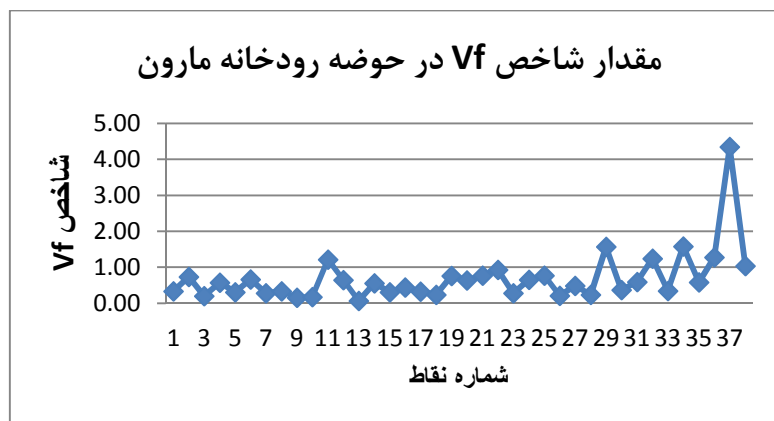
شکل ۸: شاخص Vf (نویسندگان)

اگر نسبت Vf کمتر از ۱ باشد نشان دهنده فعالیت‌های شدید تکتونیک، اگر بین ۱ تا ۲ باشد نشان دهنده فعالیت کم یا متوسط تکتونیک است و اگر بزرگتر از ۲ باشد بر عدم فعالیت‌های تکتونیک در منطقه دلالت خواهد داشت (بول و مک فادن، ۱۹۷۷).

در منطقه مورد مطالعه تعداد ۳۸ نقطه برای محاسبه شاخص Vf در نظر گرفته شده است، این نقاط بیشتر در مکان‌هایی است که تاق‌دیس یا رشته کوه را قطع کرده‌اند و در آنها رودخانه دائمی و فصلی جریان دارد. شکل شماره ۹ موقعیت جغرافیایی نقاط و شکل شماره ۱۰ نمودار تغییرات شاخص Vf آورده شده است. مقدار متوسط این شاخص کمتر از ۱/۵ است. در بعضی از نقاط آن مقدار شاخص بیشتر از ۲ می‌باشد که این نقاط مربوط به زیرحوضه جایزان می‌باشد که در آن مناطق دره‌های آن کم ارتفاع بوده و عرض آنها زیاد می‌باشد.



شکل ۹: نقشه نقاط مربوط به شاخص Vf



شکل ۱۰: مقدار شاخص Vf در رودخانه مارون

۴-۴ شاخص شکل حوضه (B_s^*)

حوضه‌های زهکشی نسبتاً جوان در مناطق تکتونیک فعال تمایل دارند و در شکل موازی با شیب توپوگرافی کوهستان کشیده شوند (محمود و همکاران، ۲۰۱۲). این شاخص از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$B_s = \frac{B_1}{B_w} \quad (7)$$

که B_1 طول حوضه اندازه گیری شده از نقطه سرچشمه تا خروجی حوضه و B_w پهنای حوضه اندازه گیری شده در وسیع‌ترین نقطه آن است. در این مقاله مقدار این شاخص به صورت زیر محاسبه شد:

$$B_s = \frac{B_1}{B_w} = \frac{146km}{80km} = 1.83$$

^۱ Basin shape index

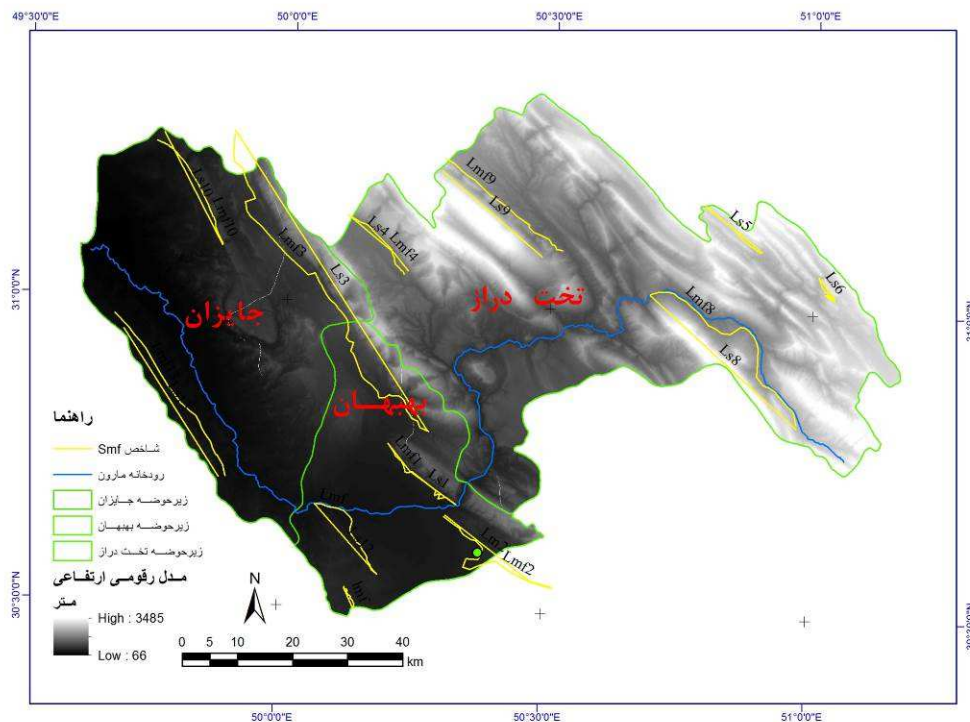
طول ابتدا و انتهای رودخانه در داخل حوضه برای پارامتر B_1 محاسبه شد و برای محاسبه B_w از طریق خطوط عمود بر رودخانه استفاده شد که بزرگترین طول آن در نظر گرفته می‌شود.

۴-۵- شاخص سینوسیته جبهه کوهستان (Smf^y)

این شاخص تعادل بین نیروهای تکتونیک و فرسایش موثر بر جبهه‌های کوهستان را منعکس می‌سازد.

$$S_{mf} = \frac{L_{mf}}{L_s} \quad (8)$$

که L_{mf} طول مسطحاتی منحنی شکل جبهه کوهستان در امتداد تقاطع دشت سر[^]-کوه یا همان خط کنیک کوهستان است و L_s طول مستقیم جبهه کوهستان می‌باشد. مقادیر Smf نزدیک به ۱ نشان می‌دهد که جبهه‌های کوهستان همراه با فعالیت تکتونیکی بالایی هستند. با غالب شدن نیروهای فرسایشی، مقدار این شاخص افزایش می‌یابد و جبهه کوهستان نامنظمی را ایجاد می‌کند (زوولی و همکاران، ۲۰۰۴). در شکل زیر موقعیت ۱۳ مکان برداشته شده برای شاخص Smf مشخص شده است، بیشتر این مکان‌ها در تاقدیس‌ها قرار دارد و و بعضی از آنها در امتداد رشته کوهها در نظر گرفته شده است.



شکل ۱: موقعیت نقاط برداشت شده شاخص Smf در حوضه رودخانه مارون

در جدول شماره ۵ شاخص Smf در ۱۳ نقطه مشخص محاسبه شده است. طبق نتایج این جدول، شاخص Smf بیشتر از ۱ و میانگین این شاخص برای کل منطقه ۱/۱۵ می‌باشد که نشان می‌دهد نیروهای فرسایشی در منطقه

^y Mountain front sinuosity index

[^] Pediment

فعال می‌باشد. در حوضه بهبهان که وسعتی زیاد از آن را دشت بهبهان تشکیل می‌دهد میانگین این شاخص بیشترین مقدار می‌باشد.

جدول ۵: شاخص Smf در ۱۳ موقعیت مشخص

شماره شاخص	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
مقدار Smf	۱/۱۷	۱/۴	۱/۱۵	۱/۰۷	۱/۰۵	۱/۰۹	۱/۰۴	۱/۱۸	۱/۱۶	۱/۰۳	۱/۳۰	۱/۱۱	۱/۱۷

۴-۶- شاخص تراکم زهکشی (P^9)

این شاخص از تقسیم طول شبکه‌های زهکشی اصلی و فرعی حوضه زهکشی به مساحت کل حوضه بدست می‌آید و جهت ارزیابی و شناسایی نتوتکتونیک در حوضه‌های زهکشی ابزار مفیدی به حساب می‌آید. بالا بودن ضریب تراکم بیانگر تکتونیک فعال و حساسیت زیاد سازندهای زمین شناسی حوضه است. این شاخص از رابطه زیر بدست می‌آید (عباسی و علمی زاده، ۱۳۸۹).

$$P = \frac{\sum Li}{A} \quad (9)$$

جدول ۶: شاخص تراکم سطحی آبراهه‌ها

نام و شماره حوضه	مجموعه آبراهه‌ها (کیلومتر)	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	P (درصد)
۱: تخت دراز	۹۸۶	۳۷۹۸	۲۶
۲: بهبهان	۳۸۱	۱۳۰۱	۲۹
۳: جایزان	۷۳۲	۲۲۱۷	۳۳
کل	۲۰۹۹	۷۳۱۶	۲۹

که در این رابطه Li طول آبراهه‌ها به کیلومتر و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع می‌باشد. در حوضه رودخانه مارون، اکثر رودخانه‌ها فصلی و موقتی می‌باشد، ولی در زیرحوضه تخت دراز ۲ رودخانه دائمی موگرمون و لوداب وجود دارد که میزان دبی رودخانه مارون را افزایش می‌دهد. در این مقاله طول رودخانه‌های دائمی و فصلی در نظر گرفته شده است.

۴-۷- سطوح مثلثی شکل ($T.F^{10}$)

لندفرم‌های مثلثی می‌توانند به صورت چندین مثلث پشت سرهم باشند و به عنوان قدیمی‌تر و جوان‌تر شناخته می‌شوند. شکل‌های مثلثی جوان‌تر به جبهه کوهستان نزدیکتر هستند (زوولی و همکاران، ۲۰۰۴). این شاخص یکی از شاخص‌های تعیین کننده فعالیت تکتونیک نسبی جبهه کوهستان می‌باشد. در محل تلاقی کوهپایه با دشت، رسوبات در محل خط گسل بریده می‌شوند که به صورت اشکال مثلثی مشاهده می‌گردند. این اشکال جبهه‌های کوهستانی فعال از نظر تکتونیک را نشان می‌دهند و هر چه گسل فعال‌تر باشد این اشکال واضح‌تر هستند. در نقاطی که مدت زمان زیادی از فعالیت گسل می‌گذرد و نرخ فرسایش از نرخ حرکت گسل بیشتر است دره‌ها وسیع‌تر می‌گردند (ولز و همکاران، ۱۹۸۸). این شاخص از شاخص‌های ژئومورفولوژیک مهم متاثر از عوامل تکتونیک می‌باشد که در جبهه کوهستان‌های متاثر از گسل و فشارهای

⁹ Drainage density¹⁰ Triangular facets

تکتونیک تشکیل می‌شوند (بهرامی و شایان، ۱۳۹۲). در جبهه‌های کوهستانی با تکتونیک فعال و شدید مشخصات ظاهری سطوح مثلثی شکل دارای قاعده بزرگتر و بزرگ‌تر و سطح آن پرشیب تر می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه چنین سطوحی در جبهه‌های کوهستان‌ها وجود دارد که دارای مساحت‌ها و محیط‌های مختلفی می‌باشد. فراوانی این سطوح در زیرحوضه تخت دراز بسیار زیاد است، ولی در زیرحوضه بهبهان به علت اینکه وسعت زیادی از آن در دشت بهبهان قرار دارد چنین سطوحی به ندرت وجود دارد. در زیرحوضه جایزان در قسمت شمالی جبهه کوهستان-های آن سطوح مثلثی نیز وجود دارد. در شکل شماره ۱۲، سطوح با رنگ قرمز قدیمی‌تر از سطوح با رنگ زرد رنگ می‌باشد.



شکل ۱۲: سطوح مثلثی شکل در تاق‌دیس خاییز (با نگاه به سمت شمال)

۴-۸- شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T):

این شاخص در مورد میزان نامتقارن بودن حوضه زهکشی و حرکات تکتونیک فعال به کار می‌رود که از طریق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T = \frac{Da}{Dd} \quad (10)$$

در این رابطه Da فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا رودخانه اصلی منطقه و Dd فاصله خط میانی حوضه تا خط تقسیم آب در سمت راست جهت جریان رودخانه است. در حوضه‌های کاملاً متقارن پارامتر Da صفر می‌شود در نتیجه شاخص T نیز صفر می‌شود. با توجه به این تعاریف شاخص T بین صفر تا یک متغیر است که مقدار $T=1$ مربوط به عدم تقارن است که این مقدار بیانگر تکتونیک فعال است.

از نظر هندسی شاخص T میزان نزدیکی و دوری رودخانه به خط میانی حوضه می‌باشد که هر چه به خط میانی حوضه نزدیکتر باشد مقدار آن به صفر میل می‌کند و هر چه از خط میانی دورتر شود به سمت یک میل می‌کند. براساس توپوگرافی زمین می‌توان گفت هیچ وقت مقدار T نمی‌تواند یک باشد چون در این حالت باید مسیر رودخانه همان خط تقسیم آب باشد یا خط الراس منطقه باشد که در طبیعت چنین چیزی وجود ندارد به عبارت ریاضی (نویسندگان):

$$0 \leq T < 1$$

(۱۱) (منبع: نویسندگان)

بنابراین مقدار T می‌تواند برای مناطق با تکتونیک خیلی فعال نزدیک به ۱ باشد. برای اینکه نتایج دقت بیشتری داشته باشند باید نقاط انتخاب شده در کل منطقه پراکنندگی خوبی داشته باشند و ابتدا زیرحوضه‌های منطقه مشخص شود و در پیشینه تحقیقات برای این شاخص هیچگونه استانداردی در مورد نحوه انتخاب نقاط مشخص نشده است، به همین دلیل نویسندگان اقدام به طراحی رابطه زیر نمودند که متناسب با آن فاصله بین نقاط مشخص شده است:

$$R = \left(\frac{L}{D} \times 1000\right) \quad (۱۲) \text{ (منبع: نویسندگان)}$$

در این رابطه پارامترهای R, L, D به ترتیب طول خط میانی حوضه، طول رودخانه و فاصله بین نقاط به متر می‌باشد که در این تحقیق به صورت زیر بدست آمده است:

$$R = \left(\frac{280}{188} \times 1000\right) = 1489 \approx 1500m$$

$$p = \frac{L}{R} = \frac{2800000}{1500m} \approx 187$$

در رابطه بالا p تعداد نقاط انتخاب شده در طول مسیر رودخانه می‌باشد. در جدول زیر میانگین شاخص T برای حوضه‌ها آورده شده است:

جدول ۷: شاخص تقارن توپوگرافی معکوس در رودخانه مارون

حوضه	طول رودخانه	تعداد نقاط P	Da	Dd	T
تخت دراز	۱۵۰	۱۰۰	۹,۴	۱۵,۷	۰,۶
بهبهان	۴۰	۲۷	۲۱,۲۱	۳۵,۳۴	۰,۶۱
جایزان	۹۰	۶۰	۱۳,۷۷	۲۱,۱۴	۰,۶۵
کل حوضه	۲۸۰	۱۸۷	۲۰,۴	۱۲,۵	۰,۶۱

ستون‌های سوم الی ششم به صورت میانگین حساب شده است.

همانطور که گفته شد از نظر هندسی شاخص T میزان دوری و نزدیکی رودخانه به خط میانی است یا به عبارتی بر عکس آن نزدیکی و دوری از خط تقسیم آب می‌باشد. همان طور که در نقشه منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود رودخانه مارون در زیرحوضه اول با توجه به عرض کمتر حوضه فاصله کمتری نسبت به خط میانی دارد و در زیرحوضه دوم فاصله رودخانه مارون از خط میانی بیشتر شده است ولی چون عرض حوضه در این قسمت بیشتر از بازه اول است میزان شاخص T تقریباً مشابه زیرحوضه اول شده است در زیرحوضه سوم فاصله رودخانه به خط تقسیم آب کمتر از سایر زیرحوضه‌ها می‌باشد. در حوضه اول در دو مکان رودخانه خط میانی حوضه را قطع می‌نماید که شاخص T در این مکان‌ها صفر شده است در نیمه دوم حوضه اول طبق نتایج آماری مشخص شد که شاخص T افزایش می‌یابد. در زیرحوضه دوم منطقه، عرض حوضه نسبت به سایر زیرحوضه‌ها بزرگتر می‌باشد و فاصله رودخانه از خط میانی نیز بیشتر شده است این زیرحوضه در دشت بهبهان قرار دارد. برای رودخانه‌هایی که کل مسیر رودخانه در یک سمت خط میانی حوضه قرار دارد به نام رودخانه‌های یکطرفه و رودخانه‌هایی که مسیر رودخانه خط میانی حوضه را قطع می‌کند به نام رودخانه‌های دوطرفه عنوان می‌شود که رودخانه مارون طبق این تعریف جزء رودخانه‌های دوطرفه می‌باشد.

۵- بررسی خطاها:

طبق مطالعات نویسندگان، مبحث خطاها در تحقیقات ژئومورفولوژیکی به ندرت بررسی می‌شود در صورتی که برای بالابردن دقت کمی و پیش بینی اثرات فرایندها نیاز است یکسری از خطاها و اشتباه‌ها به دقت مورد مطالعه قرار گیرد تا روند پیش بینی و بررسی فرایندها با صحت بیشتری انجام گیرد. اختلاف بین کمیت اندازه گیری شده با مقدار واقعی آن

کمیت را خطا گویند. این اختلاف ناشی از نقص در دستگاه‌های اندازه‌گیری، روش اندازه‌گیری، عوامل طبیعی، عوامل انسانی می‌باشد. چنانچه مقدار اختلاف بیشتر از حد مجاز باشد به آن اشتباه گویند. اشتباه باید از مشاهدات اندازه‌گیری حذف شود ولی در مورد خطاها باید کاهش و یا صفر گردد که جهت رسیدن به این هدف می‌باید مقدار عوامل خطا و روش‌های فرموله کردن خطاهای آنها را شناسایی و میزان تصحیحات آنها را در نتایج اعمال نمود. این حقیقتی است که صحت تفسیر عوارض خطاها را به طور وسیعی به صحت مدل‌های توپوگرافی رقومی^{۱۱} بستگی دارد (جیلینیک، ۲۰۰۸). شاخص‌های ژئومورفیک به علت اینکه تنوع آنها زیاد می‌باشد و هر کدام از آنها تابع یکسری از کمیت‌ها می‌باشد بنابراین می‌باید این کمیت‌ها با بیشترین دقت محاسبه شود. به طوری کلی سه خطا را می‌توان در نظر گرفت که شامل سه خطای انسانی، محیطی و دستگاهی می‌باشد.

خطاهای انسانی: منبع اصلی این خطا، شخص محقق می‌باشد که در اثر بی‌توجهی به اصول صحیح برداشت و اندازه‌گیری یا هنگام مطالعه نقشه‌ها بوجود می‌آید.

خطاهای محیطی: منشا این خطا محیط اطراف محقق و در هنگام برداشت مشاهدات و اندازه‌گیری می‌باشد خطاهای دستگاهی: منشا خطاهای دستگاهی مربوط به دستگاه اندازه‌گیری نظیر دوربین‌های نقشه برداری، GPS، مترهای لیزری، تجهیزات نمونه برداری می‌باشد که باید در انتخاب آنها طبق استانداردهای علمی دقت کرد (رنجبر، حاجی زاده، ۱۳۹۴).

در این مقاله می‌باید هر کدام از شاخص‌ها را به طور جداگانه از نگاه تئوری خطاها مورد بررسی داد به عنوان مثال می‌توان شاخص گرادیان طول را در نظر گرفت که این شاخص از طریق رابطه $SL = (\Delta H / \Delta L_r) L_t$ بدست می‌آید در این رابطه در مقاله حاضر پارامتر ΔL ثابت در نظر گرفته شده است و دو پارامتر دیگر یعنی L_t و ΔH از طریق مشاهدات اندازه‌گیری شده است بنابراین دقت این شاخص تابعی از دقت پارامترهای L_t و ΔH است.

$$\sigma_{SL} = f(\sigma_{\Delta H}, \sigma_{L_t}) \quad (12)$$

طبق قانون انتشار خطاها^{۱۲} داریم:

$$\sigma_{SL} = f(\sigma_{\Delta H}, \sigma_{L_t}) = \sqrt{\left(\frac{\partial SL}{\partial SL_t}\right)^2 \sigma_{L_t}^2 + \left(\frac{\partial SL}{\partial \Delta H}\right)^2 \sigma_{\Delta H}^2} \quad (14)$$

$$\sigma_{SL} = \sqrt{\left(\frac{L_t}{\Delta L_r}\right)^2 \sigma_{\Delta H}^2 + \left(\frac{\Delta H}{\Delta L_r}\right)^2 \sigma_{L_t}^2} = \frac{1}{\Delta L_r} \sqrt{L_t^2 \sigma_{\Delta H}^2 + \Delta H^2 \sigma_{L_t}^2} \quad (15)$$

بنابراین طبق رابطه (۱۵) خطای اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع و خطای طول در دقت شاخص گرادیان طول موثر است و هر چه این دو کمیت با دقت بالاتری بدست آید خطای شاخص کمتر می‌شود. با توجه به اینکه در رابطه (۱۵) ضریب خطای اختلاف ارتفاع یعنی L_t^2 با توجه به اندازه‌گیری‌ها مقدار بالایی می‌باشد بنابراین اگر خطای اختلاف ارتفاع بیشتر شود تاثیری زیادی در دقت شاخص گرادیان طول دارد بنابراین خطای اختلاف ارتفاع بسیار بیشتر از خطای طول در محاسبه

^{۱۱} Digital Relief Models: DRM

^{۱۲} این قانون مربوط به مبانی تئوری خطاها در علم نقشه برداری می‌باشد.

دقت شاخص گرادیان طول موثر است. در مورد سایر شاخص‌ها نیز طریقه اثبات آن نیز طبق قانون انتشار خطاها می‌باشد که باید از روش‌های مختلف خطاهای مختلف دستگاهی، انسانی و محیطی را به حداقل و یا حذف کرد. بعضی از مشاهدات مربوط به کمیت‌های شاخص‌ها به سلیقه محقق نیز مرتبط است که بهتر است در تحقیقات آتی برای آنها استانداردهایی تعریف شود که خطاهای انسانی در محاسبه این شاخص‌ها به حداقل برسد و بتوان مقایسه بین نتایج تحقیقات در مناطق مختلف به طور صحیح تری انجام شود (رنجبر، حاجی زاده، ۱۳۹۴).

۶- نتیجه گیری:

نتایج بدست آمده از بررسی شواهد ژئومورفیکی یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت تکتونیک را نشان دهد که برای مطالعات و شناسایی اولیه منطقه مفید هستند. وقتی از چندین شاخص ژئومورفیکی جهت بررسی فعالیت تکتونیک یک منطقه استفاده می‌شود نتایج مستدل تری را ارائه می‌دهد. شاخص‌های ژئومورفیک مورد بررسی در این تحقیق نشان دهنده فعال بودن منطقه از نظر تکتونیک می‌باشد. آثار فعالیت گسل‌ها نیز در شاخص‌های ژئومورفیک نمایان شده است براساس مقادیر شاخص AF کل منطقه از نظر تکتونیک فعال می‌باشد که زیر حوضه تخت دراز بیشتر فعالیت تکتونیک را دارد. اکثر دره‌های حوضه تخت دراز به صورت V شکل می‌باشد. در دره‌هایی که رودخانه مارون از آنها می‌گذرد شکل دره به V شکل نزدیکتر بوده و دیواره‌های پرشیب و بلندی دارند. در زیرحوضه‌های بهبهان و جایزان به علت دشت بودن منطقه به جزء پادگانه‌های رودخانه نمی‌توان مکان‌های زیادی برای محاسبه شاخص فوق در نظر گرفت.

براساس شاخص Vf، کلیه نقاط مربوط به حوضه مارون دارای شاخص Vf کمتر از یک می‌باشد که نشان دهنده فعال بودن تکتونیک در منطقه است ولی در زیرحوضه بهبهان و زیرحوضه جایزان به علت دشت بودن و تقریباً هموار بودن منطقه، امکان محاسبه شاخص فوق نقاط بیشتری از حوضه وجود ندارد. طبق شاخص تقارن حوضه (AF)، مقدار این شاخص بیشتر از ۵۰ بوده که نشان دهنده فعال بودن منطقه از نظر تکتونیک می‌باشد و براساس این شاخص زیرحوضه تخت دراز بیشترین فعالیت تکتونیک را دارا می‌باشد. شاخص Smf در سه زیر حوضه کمتر از مقدار ۱/۵ و با متوسط ۱/۱۵ می‌باشد که نشان دهنده فعال بودن تکتونیک در منطقه است. میزان شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T) در کل حوضه رودخانه مارون به طور متوسط ۰/۶۲ می‌باشد که نشان دهنده فعال بودن منطقه از نظر تکتونیک می‌باشد. به طور کلی نتایج حاصل از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و داده‌های ژئودینامیکی حاکی از آن است که حوضه مورد مطالعه این پژوهش از نظر نو زمین‌ساختی فعال است و میزان فعالیت حرکات نو زمین ساخت در همه جا یکسان نبوده و مناطق بالادست حوضه از این لحاظ فعال تر است.

تقدیر و تشکر:

این مقاله از رساله دکتری استخراج شده است و از انجمن ایرانی ژئومورفولوژی و گروه ژئومورفولوژی دانشگاه تهران تشکر می‌گردد. نویسندگان از جناب آقای دکتر عباس مقدم، استادیار پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری به خاطر راهنمایی ارزشمند و در اختیار قرار دادن امکانات سفر و بازدید تشکر می‌نمایند.

منابع:

- احمدی، طیب، رحیمی چاکدل، عزیز، ۱۳۹۲، ژئومورفولوژی و مورفوتکتونیک ناحیه لالی گتوند، استان خوزستان، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان سال سوم/ شماره مسلسل هفتم/ بهار، صص ۱۲۱-۱۴۰
- اسکانی کزازی، غلامحسین، ۱۳۹۰، تشکیل و تکامل تنگ‌ها در زاگرس چین خورده مورد مطالعه: تنگ تکاب در تاقدریس خاویز، شمال شرق بهبهان، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی پژوهشی، سال هشتم، شماره ۳۱،
- اسماعیلی، رضا، متولی، صدرالدین، حسین زاده، محمد مهدی، ۱۳۹۱، بررسی اثرات مورفوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه واز، البرز شمالی، استان مازندران، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، صص ۱۰۱-۱۱۴

- بیاتی خطیبی، مریم، ۱۳۸۸، تشخیص فعالیت های نئوتکتونیک در حوضه آبریز قرنقوچای، فصلنامه فضای جغرافیایی، شماره ۲۵
- جعفری، ر.، مقصودی، مهران، هدایی آرانی، م.، چزغه، س.، ۱۳۹۱، تحلیل و بررسی تکتونیک فعال حوضه ی حبله رود با استفاده از شاخص های ژئومورفیک، دومین همایش ملی جایگاه مطالعات ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط، تهران، اردیبهشت ماه
- داوودی، الهام، شبانیان بروجنی، ناهید، داودیان دهکردی، علیرضا، ۱۳۹۲، ارزیابی ویژگی های مورفوتکتونیک رودخانه زایندرود در شمال شرقی استان چهارمحال و بختیاری، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۹
- رامشت، محمد حسین، آراء، هایده، شایان، سیاوش، یمانی، مجتبی، ۱۳۹۱، ارزیابی دقت و صحت شاخص های ژئومورفولوژیکی با استفاده از داده های ژئودینامیکی، مطالعه موردی: حوضه آبریز جاجرود در شمال شرق تهران، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی سال ۲۳، پیاپی ۴۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۱
- رجبی، معصومه، شیرازی طرزم، علی، ۱۳۸۸، تکتونیک نمکی و آثار ژئومورفولوژیکی آن در آذربایجان، مطالعه ی موردی: گنبد های نمکی شمال غرب تبریز، جغرافیا و توسعه - شماره ۱۶ - صص ۴۷-۷۰
- رضایی مقدم، محمد حسین، خیری زاده آروق، منصور، سرافروزه، سلیمان، ۱۳۹۲، ارزیابی تکتونیک فعال در دامنه جنوبی میشو داغ، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳، صص ۱۴۱-۱۵۸
- رنجبر، ابوالفضل، حاجی زاده، عبدالحسین، (۱۳۹۴) تئوری خطاها، انتشارات ماهواره، چاپ دوم
- سپهر، عادل، عبدالله، زهرا، ۱۳۹۴، تحلیل درجه مخاطره مخروط افکنه های بینالود جنوبی بر پایه مقبولیت شاخص های مورفوتکتونیک، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، صص ۱۶۱-۱۷۸
- سیف، عبدالله، خسروی، قاسم، ۱۳۸۹، بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، صص ۱۲۵-۱۴۶
- شفیع، الهه، علوی، سید احمد، نادری میقان، نصیر، ۱۳۸۸، تکتونیک فعال در رشته کوه بینالود با تکیه بر بررسی های مورفوتکتونیک، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۰، زمستان ۱۳۸۸
- شهرام بهرامی، سیاوش شایان، ۱۳۹۲، بررسی تاثیر تکتونیک در ویژگی های مورفومتریک شبکه زهکشی و سطوح مثلثی شکل تاقدیس دانه خشک، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره ۳، صص: ۲۱۰-۱۹۷
- طباطبایی، نجمه السادات نیا، کلانترزاده، زهرا، ۱۳۹۲، بررسی محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنری سازند آسماری در برش چینه شناسی تنگ بن شمال غرب بهبهان، ماهنامه علمی - ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۱۰، صص ۷۷-۸۲
- علیرضا عباسی، هیوا علمی زاده، ۱۳۸۹، تجزیه و تحلیل نقش نئوتکتونیک در مورفولوژی و رفتار شبکه زهکشی، مطالعه موردی: حوضه انجیران، جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای، دو فصلنامه، سال اول، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۸۹
- عمادعلی، لطف اله، ۱۳۹۳، رفتار سنجی سد خاکی مارون بهبهان با استفاده از مشاهدات ژئوتکنیکی و ژئودتیکی، مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دوره پنجم، شماره ۴
- قریشی، منوچهر (۱۳۹۳): پژوهش و بررسی نو زمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه-گسلش در گستره چهارگوش بهبهان، پژوهش و بررسی لرزه زمین ساخت ایران زمین: بخش دوازدهم، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مجری فنی: منوچهر قرشی
- گورابی، ابوالقاسم، کیارستمی، فاطمه، ۱۳۹۴، ارزیابی زمین ساخت حوضه های آبریز با استفاده از اختصاصات ژئومورفولوژیکی در قالب الگوی *TecDEM*، مورد مطالعه: حوضه آبریز رودک در شمال شرق تهران، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۳، صص ۴۶۵-۴۷۹
- محمدرزاده، ن.، یزدجردی، ک.، رحمانیان، م.، ۱۳۹۲، مکان یابی نسبی فعالیت تکتونیک حوضه آبریز خیرآباد و ساختگاه پیرامون سد، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، آبان ماه، دانشگاه فردوسی مشهد

- مددی، عقیل، رضایی مقدم، محمدحسین، رجایی، عبدالحمید، ۱۳۸۳، تحلیل فعالیت‌های تئوتکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۸
- مقصودی، م.، کامرانی دلیر، حمید، ۱۳۸۷، ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه‌ها، مطالعه موردی: رودخانه تجن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶
- مقصودی، مهران؛ عمادالدین، سمیه؛ ۱۳۹۰، تحلیل شواهد مورفوتکتونیک گسل درونه در محدوده ی حوضه ی آبریز شش‌طراز و مخروط افکنه ی پایین دست آن، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، بهار و تابستان ۱۳۹۰ - شماره ۱۶، صص ۱۰۷-۱۲۴
- مقصودی، مهران، زمان زاده، سید محمد، یمانی، مجتبی، حاجی‌زاده، عبدالحسین، (۱۳۹۶)، ارزیابی تغییرات الگوی پیچان-رودی رودخانه مارون و تحلیل هیدروژئومورفولوژی منطقه مطالعه موردی: رودخانه مارون (از سرچشمه تا ورودی آن به رودخانه جراحی)، نشریه جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد لارستان (در حال چاپ)
- منصوری، رضا، صفاری، امیر، ۱۳۹۴، تحلیل فعالیت زمین ساختی حوضه آبخیز فرحزاد از طریق شاخص‌های ژئومورفیک، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۴، شماره ۹۵، صص ۹۳-۱۰۵
- مهران مقصودی، مریم جعفری اقدم، سجاد باقری سیدشکری، مسعود مینایی (۱۳۹۰)، بررسی تکتونیک فعال حوضه ی آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، جغرافیا و توسعه شماره ۲۵، زمستان ۱۳۹۰، صفحات ۱۳۶-۱۱۱
- یمانی، م.، کامرانی دلیر، ح.، باقری، س.، ۱۳۸۹، مورفومتري و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال غربی)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۹۷، صص ۱-۲۶
- یمانی، مجتبی، مقصودی، مهران، قاسمی، محمد رضا، محمدنژاد، وحید، ۱۳۹۱، شواهد مورفولوژیکی و مورفومتريکی تأثیر تکتونیک فعال بر مخروط افکنه‌های شمال دامغان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شماره ۲، (پیاپی ۸۰)، صص ۱-۱۸

- Andreani, L., Stanek, P., K., Gloaguen, R., Krentz, O., Domínguez, G., L., 2014, DEM-Based Analysis of Interactions between Tectonics and Landscapes in the Ore Mountains and Eger Rift (East Germany and NW Czech Republic), *Remote Sens.* 2014, 6, 7971-8001
- Bhat F. A., Bhat I. M., Hamid Sana, Mohd Iqbal, Akhtar R. Mir, 2013, Identification of geomorphic signatures of active tectonics in the West Lidder Watershed, Kashmir Himalayas: Using Remote Sensing and GIS, *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATICS AND GEOSCIENCES*, Volume 4, No 1
- Bull, W.B. and McFadden, L.D., 1977, tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California, in Doehring, D.O. (Ed), *Geomorphology in Arid regions*, Proceeding of Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, PP. 115-138
- Cotilla, M. O., Córdoba, D., Calzadilla, M., 2007, Morphotectonic Study of Hispaniola, *Geotectonics*, Vol. 41, No. 5, pp. 368-391.
- Doranti-Tiritan, C., Christian Hackspacher, P., Henrique de Souza, D., Siqueira-Ribeiro, C., M., (2014) *The Use of the Stream Length-Gradient Index in Morphotectonic Analysis of Drainage Basins in Poços de Caldas Plateau, SE Brazil*, *International Journal of Geosciences*, 5, 1383-1394
- Field, J., Tambunan, B., Floch, P., 2014, PYANJ RIVER MORPHOLOGY AND FLOOD PROTECTION, Publication Stock No. WPS146649, Philippines
- <http://pubs.usgs.gov/>
- JELÍNEK, J., Jan, 2008, MORPHOTECTONIC ANALYSIS OF DIGITAL RELIEF MODEL - A SUITABLE MEANS OF SEARCHING FOR ZONES OF ROCK MASS BRITTLE FAILURE, *GeoScience Engineering*, Volume LIV, No.3, p. 1-13,
- Keller, E.A., 1986, Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes, in Wallace, R.E. (Ed), *Active Tectonics*, Studies in Geomorphology, Washington DC: National Academy Press.

- Kleython de Araújo MONTEIRO, Ronaldo MISSURA, Antonio Carlos de Barros CORREA, (2010), APPLICATION OF THE HACK INDEX – OR STREAM LENGTH-GRADIENT INDEX (SL INDEX) – TO THE TRACUNHAÉM RIVER WATERSHED, PERNAMBUCO, BRAZIL, São Paulo, UNESP, Geociências, v. 29, n. 4, p. 533-539,
- Maroukian, H., Gaki-Papanastassiou, K., Karymbalis, E., Vouvalidis, K., Pavlopoulos, K., Papanastassiou, D., Albanakis., K , 2008, Morphotectonic control on drainage network evolution in the Perachora Peninsula, Greece, Geomorphology 102, 81–92
- MASDOUQ, A., FATHI, SH., MOHAMMAD, A., 2007, MORPHOTECTONIC INDICES OF THE DEAD SEA TRANSFORM, JORDAN, Geogr. Fis. Dinam. Quat. 30, 5-11, 4 figg., 1 tab.
- Mayer, L., 1986, Tectonic Geomorphology of Escarpments and Mountain Fronts, in Active Tectonics, National Academy of Sciences Press, Washington DC.
- Roy, S., Sahu, A. S., 2015, Quaternary tectonic control on channel morphology over sedimentary low land: A case study in the Ajay-Damodar interfluvium of Eastern India, Geoscience Frontiers 6, 927e946
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardajam, T., 2003, Fault Generated Mountain Fronts in Southeast Spain: Geomorphologic Assessment of Tectonic and Earthquake Activity, Geomorphology.
- Syed Amer Mahmood, Richard Gloaguen, 2012, Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis, GEOSCIENCE FRONTIERS 3(4) 407e428
- Zovoili E., Konstantinidi E., Koukouvelas I.K. , 2004, TECTONIC GEOMORPHOLOGY OF ESCARPMENTS: THE CASES OF KOMPOTADES AND NEA ANCHIALOS FAULTS, Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVI, Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004.
- Wells, S.G, Bullard, T.F, Menges, C.M, Drake, P.G, Karas, P.A, Kelson.K.L, Ritter, J.B, Wesling, J.R, 1988, Regional variation in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, pacific coast of coast Rica. Geomorphology, 239-265