



شماره ۱۰۷، تابستان ۱۳۹۴

ژئوشیمی آبخوانداری

(پژوهش و سازندگی)

بررسی زمین ساخت فعال در حوضه آبریز لتیان با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی

• هایده آرا

• احمد صادقی پور

دانشگاه سمنان (نویسنده مسئول)

• مجتبی یمانی

• محمد حسین رامشت

تاریخ دریافت: اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: بهمن ماه ۱۳۹۳

Email: a.sadeghipour@profs.semnan.ac.ir

چکیده

حوضه آبریز سد لتیان به عنوان یکی از حوضه‌های کوهستانی کشور در شمال شرق استان تهران واقع شده است. وجود دو سیستم گسلی اصلی مشاء- فشم به طول تقریبی ۱۷۰ کیلومتر و گسل شمال تهران به طول ۷۵ کیلومتر و گسل‌های فرعی متعدد، نشانگر ظهور پدیده‌های مهم زمین ساختی در این منطقه می‌باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی وضعیت نو زمین ساخت در این حوضه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی می‌باشد. جهت دستیابی به این هدف از هفت شاخص ژئومورفولوژیکی عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (VF)، شکل حوضه (Bs)، تقارن توپوگرافی عرضی (T)، منحنی هیپسومتری حوضه (Hc)، پیچ و خم رود (S) و گرادبان طولی رود (SL) به عنوان ابزارهای اصلی پژوهش بهره گرفته شده است. داده‌های مورد استفاده در ارزیابی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین شناسی و تصاویر راداری بوده و در تحلیل داده‌ها و تهیه نقشه‌های مربوطه از سیستم اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار ArcGIS ۹.۳ استفاده شده است. نتایج حاصل از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی حاکی از آن است که حوضه مورد مطالعه این پژوهش از نظر نو زمین ساختی فعال، اما میزان فعالیت حرکات نو زمین ساخت در همه جا یکسان نبوده و مناطق بالادست حوضه از این لحاظ فعال تر می‌باشد.

کلمات کلیدی: نو زمین ساخت، حوضه آبریز سد لتیان، شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، سیستم اطلاعات جغرافیایی

Study of tectonic activity in the Latian dam basin using morphotectonic indicators

By: H. Arara. A. Sadeghipour (Corresponding Author). M. Yamani. M. H. Ramesht

Latian dam basin is one of the mountainous basins located in the North East of Tehran. Existence of two main fault systems including Mosha-Fasham with 170 kilometers length and north Tehran fault with length of 75 km, also numerous minor faults, indicating the emergence of major tectonic events in this region. Therefore, the aim of this study is to investigate the status of neotectonics in the basin using geomorphological indicators. To achieve this goal, seven geomorphological indicators Drainage Asymmetry Factor (AF), Ratio of Valley- Floor with to Valley Height (VF), Basin Shape Factor (Bs), Transverse Topographic Symmetric Factor (T), Hypsometric Integral (Hc), River Sinuosity (S) and Stream Length- Gradient Index (SL) were used as research tools. The data used in the evaluation of geomorphological indicators were topographic maps, geological maps and radar images. The analysis of the data and the maps preparation were done using GIS and ArcGis9.3 software. The results indicate that the basin is active neotectonically, but the activity is not the same everywhere and upstream areas are more active.

Keywords: Neotectonics, Latian dam basin, geomorphological indicators, GIS

مقدمه

زمین سیستمی فعال است و در سطح آن تقریباً منطقه‌ای پیدا نمی‌شود که طی چند هزار سال اخیر، فعالیت‌های نو زمین‌ساختی آن را تحت تاثیر خود قرار نداده باشد. در حقیقت می‌توان گفت که نو زمین‌ساخت فعال در حال تغییر شکل سطح زمین می‌باشد (والاس، ۱۹۷۷) نو زمین‌ساخت فعال به مطالعه فرایندهای پویا و دینامیک موثر در شکل‌دهی زمین و چشم‌اندازهای موجود در آن می‌پردازد (کلو و پینتر، ۲۰۰۲: ۸۰)، در همین ارتباط، می‌توان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال، در مدت زمان کوتاه فعالیت‌های زمین‌ساختی را مطالعه کرد و در تحقیقات دقیق‌تر آینده به کار گرفت. شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در ارزیابی فعالیت‌های نو زمین‌ساختی ابزاری مفید هستند، زیرا با استفاده از آنها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا کند زمین‌ساختی را طی نموده‌اند، به راحتی شناسایی کرد (رامیرز و هررا، ۱۹۹۸: ۳۱۷). برخی از این شاخص‌های ژئومورفولوژیکی به عنوان ابزارهای اساسی برای تشخیص تغییر شکل‌های سریع زمین‌ساختی تجربه و مورد امتحان واقع شده‌اند و به طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. آنگاه نتایج حاصل در طرح‌های تحقیقاتی، جهت کسب اطلاعات جامع و کامل درباره تکتونیک فعال مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شاخص‌ها به طور خاص، برای مطالعات تکتونیک فعال استفاده می‌شوند. این موضوع به دلیل نقش این شاخص‌ها در ارزیابی سریع مناطق وسیع از نظر میزان تاثیر فعالیت‌های تکتونیک می‌باشد (گورابی و نوحه‌گر، ۱۳۸۶: ۱۷۸). استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در مطالعه‌ی فعالیت‌های نو زمین‌ساختی توسط (بول و مک فادن، ۱۹۷۷) آغاز و به وسیله محققین دیگری همچون (راکول و همکاران، ۱۹۸۵) در جنوب غرب آمریکا، (ولز و همکاران، ۱۹۸۸) در سواحل

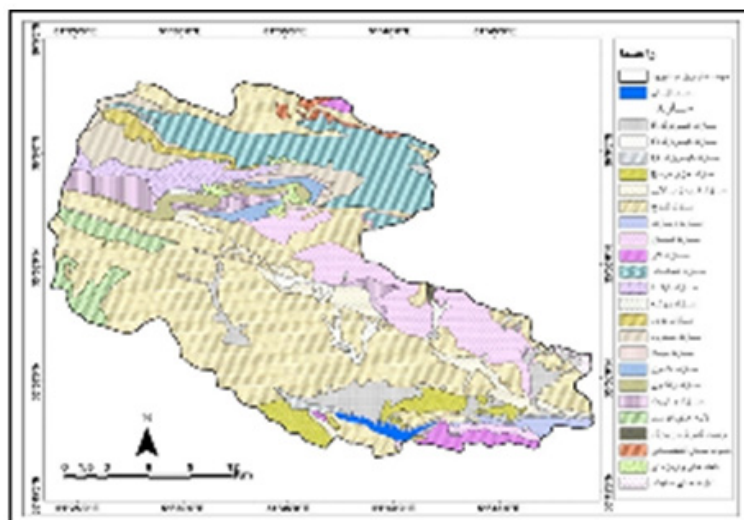
کاستاریکا، (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳) در سواحل مدیترانه‌ای اسپانیا، (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸) در شمال شرقی سیسیل مورد استفاده و آزمون قرار گرفته است. در جدیدترین مطالعات انجام گرفته در رابطه با تکتونیک فعال (بهرامی، ۲۰۱۳) در تحقیقی بر اساس مورفومتری مخروط افکنه‌های پیرامون طاق‌دیس دانه خشک در ارتفاعات زاگرس به بررسی وضعیت تکتونیک این منطقه پرداخته است. (باغا و همکاران، ۲۰۱۴) به بررسی فعالیت تکتونیک نسبی در حوضه تهران در البرز مرکزی واقع در شمال ایران پرداخته‌اند. در ایران (خیام و مختاری، ۱۳۸۲) در دامنه شمالی میشو داغ، (مددی و همکاران، ۱۳۸۳) در دامنه شمال غربی تالش، (وحدتی دانشمند و همکاران، ۱۳۸۵) برای سپید رود و دشت گیلان، (گورابی و نوحه‌گر، ۱۳۸۶) برای حوضه آبریز درکه، (یمانی و همکاران، ۱۳۸۷) در دامنه‌های کرکس، (مقصودی و کامرانی دلیر، ۱۳۸۷) در مورد رودخانه تجن، (کریمی، ۱۳۸۸) برای حوضه آبریز اوجان چای، (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸) برای حوضه آبریز قرقچای، (رامشت و همکاران، ۱۳۸۸) در مخروطه افکنه درختگان شهداد کرمان، (روستایی و همکاران، ۱۳۸۸) در مورد مخروطه افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلاداغ و (سیف و خسروی، ۱۳۸۹) در قلمرو تراس زاکرس منطقه فارس، (کریمی، ۱۳۹۱) در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند، (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱) در مورد مخروط افکنه‌های شمالی دامغان، (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲) در حوضه‌های شمالی شهر چای میانه، (فتوحی، ۱۳۹۲) در شرق حوضه زاگرس و تاثیر فعالیت‌های تکتونیک بر تشکیل مخروط افکنه دو قلو و وزیره، جهت مشخص کردن فعالیت‌های نو زمین‌ساختی از این شاخص‌ها، استفاده کرده‌اند. فعال بودن سیستم‌های گسلی اصلی و فرعی در حوضه مورد مطالعه، وجود تراس‌های آبرفتی متعدد در حاشیه رود جاجرود و سرشاخه‌های فرعی آن، تندآبها، پهن و باریک

مناطق حفاظت شده سازمان محیط زیست، در دامنه‌های جنوبی سلسله جبال البرز مرکزی قرار گرفته است (اصغری، ۱۳۸۷: ۲۴). این حوضه از شمال و شمال خاوری به حوضه رودخانه لار، از خاور به حوضه رودخانه حبله رود، از خاور و جنوب خاوری به حوضه نمرود و از شمال باختری به حوضه رود کرج و از باختر به رودهای کوچک جنوب تهران و کویر نمک محدود می‌شود (جنت دوست، ۱۰: ۱۳۷۲) (شکل ۱). از نظر لیتولوژی، حوضه مورد مطالعه دارای ۲۶ سازند متفاوت زمین شناسی است که بخش اعظم مساحت آن را سازندهای کرج، فجن، شمشک، الیکا و هزار دره تشکیل می‌دهند که عمدتاً از توف، سنگ‌های آذر آواری، شیل، آهک، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و لای سنگ می‌باشد. سن قدیمی ترین رسوب‌های حوضه به پره کامبرین و سن جدیدترین نهشته‌ها به دوره کواترنر باز می‌گردد (شکل ۲).

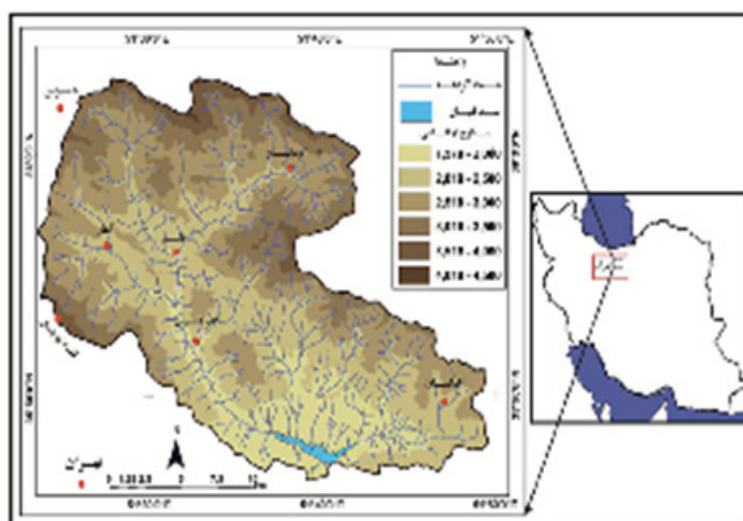
شدن بستر کانال و تغییر مسیر و تغییر در نیمرخ طولی و عرضی رود، همه نشان‌های گذر از یک منطقه فعال تکتونیکی می‌باشند. بنابراین با توجه به اهمیت ارزیابی کامل فعالیت‌های تکتونیکی، به خصوص حرکات تکتونیکی معاصر و جوان و خطرات ناشی از آن که از جمله این خطرات از بین بردن تعادل نسبی دامنه‌ها و فراهم نمودن شرایط برای بروز انواع حرکات بعضاً مخاطره آمیز دامنه‌ای می‌باشد. هدف از این پژوهش نیز مشخص نمودن وضعیت فعالیت‌های نو زمین‌ساختی در حوضه آبریز سد لتیان در شمال شرق استان تهران می‌باشد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه سد لتیان بین طول ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه الی ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه الی ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی واقع شده است و با مساحتی در حدود ۷۱۰ کیلومترمربع از



شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه سد لتیان در استان تهران (ماخذ: مدل ارتفاعی رقومی حوضه سد لتیان)



شکل ۲- نقشه زمین شناسی حوضه سد لتیان (ماخذ: نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ حوضه سد لتیان، سازمان زمین شناسی ایران، ۱۳۸۷)

لتیان در محیط نرم‌افزاری Arc GIS، زمین مرجع و رقومی گردید. همچنین جهت اندازه گیری شاخص گرادیان طولی رود، نیمرخ طولی رودخانه جاجرود با استفاده از DEM (بدست آمده از تصاویر راداری ماهواره پالسار) حوضه ترسیم گردید. تکنیک اصلی این پژوهش، تحلیل نتایج حاصل از اندازه گیری شاخص های ژئومورفولوژیکی حوضه مورد مطالعه می باشد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از محاسبه شاخص های ژئومورفولوژیکی

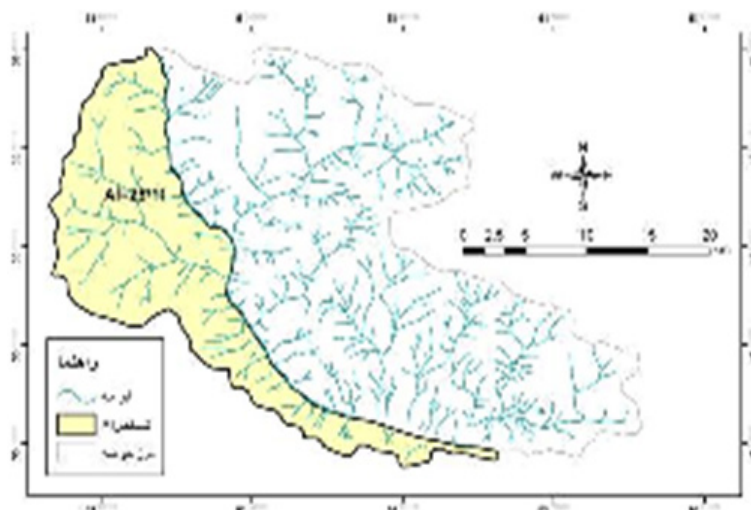
شاخص های ژئومورفیک به عنوان یکی از ابزار های اساسی جهت پی بردن به وضعیت و میزان تاثیر فعالیت های نئوتکتونیک در سطح زمین می باشند که بارها توسط محققان بی شماری مورد استفاده قرار گرفته اند. این موضوع به دلیل نقش این شاخص ها در ارزیابی سریع مناطق وسیع از نظر تکتونیک، تکونیک و سهولت دسترسی به نقشه های توپوگرافی، تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی جهت اندازه گیری این شاخص ها می باشد. بر این اساس نتایج حاصل از اندازه گیری شاخص های مذکور در حوضه مورد مطالعه به شرح ذیل می باشد:

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی: شکل هندسی شبکه رودها را می توان از نظر کیفی و کمی با روش های متعددی توصیف کرد. در مناطقی که شبکه زهکشی در حضور تغییر شکل های تکتونیک توسعه پیدا می کند، شبکه زهکشی اغلب دارای شکل هندسی و الگوی متمایزی می باشد. عامل عدم تقارن، برای توصیف و درک ارتباط کج شدگی تکتونیک در نواحی ای با مقیاس حوضه زهکشی و بزرگ تر ارتباط داده شده است (گورابی و نوحه گر، ۱۳۸۶: ۱۸۲). شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی به کج شدگی زمین در اثر فعالیت های زمین ساختی دلالت داشته و با رابطه ۱ محاسبه می شود:

نهشته های کواترنر حوضه عمدتاً شامل آبرفت های کانال رودخانه ای، پادگانه های آبرفتی قدیمی و جدید، مخروط افکنه ها، واریزه ها و آبرفت های عهد حاضرند که حدود ۸ درصد مساحت حوضه را به خود اختصاص داده اند (کرم و همکاران، ۱۳۸۹: ۵۶). ویژگی های زمین شناسی و لیتولوژیکی حوضه لتیان و سیستم های گسلی مهمی چون گسل مشاء - فشم و گسل شمال تهران در این محدوده، به عنوان بخشی از سیستم تکتونیک پیچیده یال جنوبی البرز، باعث گردیده تا حوضه مورد نظر محدوده فیلد میدانی مناسبی جهت ارزیابی شاخص های تکتونیک جنبا باشد.

مواد و روش ها

در این پژوهش جهت دستیابی به هدف تحقیق، اطلاعات کتابخانه ای، نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ حوضه مورد مطالعه (۵ ورقه) و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استان تهران به منظور شناسایی منطقه مطالعاتی، بررسی عوارض سطحی زمین، وضعیت زمین شناسی، لیتولوژیکی منطقه، ترسیم مقاطع عرضی رود، ترسیم لایه خطی گسل های منطقه، تصاویر راداری ماهواره پالسار، جهت تهیه DEM یا مدل ارتفاعی رقومی جهت محاسبه شاخص گرادیان طولی رود مهمترین ابزارهای پژوهش بوده اند. به منظور تحلیل و ارزیابی وضعیت نو زمین ساختی محدوده مورد مطالعه یا به طور دقیق تر جهت پی بردن به درجه فعالیت های تکتونیک در سطح منطقه و اینکه مناطق شمالی و جنوبی حوضه چه تفاوت هایی به لحاظ درجه فعالیت های تکتونیک با یکدیگر دارند از شاخص های ژئومورفولوژیکی، عدم تقارن حوضه زهکشی، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، شکل حوضه، تقارن توپوگرافی عرضی، منحنی هیپسومتری حوضه، پیچ و خم رود و گرادیان طولی رود استفاده شده که به منظور محاسبه و اندازه گیری این شاخص ها و ترسیم شبکه آبراهه ها، نقشه های توپوگرافی حوضه



شکل ۳- برآورد شاخص Af در حوضه لتیان

به حفر بستر خود می پردازد و یا اینکه عمدتاً فرسایش به صورت جانبی به طرف ارتفاعات و دامنه های حاشیه رود انجام می گیرد. مقادیر بالای این شاخص (بالاتر از ۲) نشان دهنده بالآمدگی اندک نو زمین ساختی می باشد. بنابراین رود پهنای بستر خود را فرسایش می دهد و در حال تعریض بستر خود می باشد. مقادیر کم این شاخص (کمتر از ۱) نیز بیانگر دره های 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. این شاخص بر طبق رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$\text{رابطه ۲: } Vf = \frac{2Vfw}{(Eld - Esc) + (Erd - Esc)} \quad (\text{بر حسب متر})$$

در این رابطه، Vf = نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره بر حسب متر، Vfw = پهنای کف دره بر حسب متر، Esc = ارتفاع متوسط کف دره از سطح دریا بر حسب متر، Erd = ارتفاع خط الرأس سمت راست رودخانه بر حسب متر، خط تقسیم سمت راست (از سطح دریا) بر حسب متر، Eld = ارتفاع خط الرأس سمت چپ رودخانه، خط تقسیم سمت چپ (از سطح دریا) بر حسب متر (جدول ۱).

جهت اندازه گیری این شاخص در محدوده مورد مطالعه، ۱۵ مقطع عرضی تهیه و مقادیر شاخص Vf برای هر یک از این مقاطع با استفاده از نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ محاسبه گردید (شکل ۴). با توجه به میانگین مقادیر بدست آمده در بالا دست (ارتفاع ۲۸۵۱ متری تا ۴۲۰۰ متری)، میانه و پائین حوضه (ارتفاع ۱۵۵۶ متری تا ارتفاع ۲۸۵۰ متری)، می توان گفت که در راس حوضه حرکات نو زمین ساختی فعال تر از قسمت های پایین دست و خروجی حوضه می باشد (شکل ۵ و جدول ۲). در نتیجه بالآمدگی حوضه در بخش های بالایی (ارتفاع ۲۸۵۱ متری تا ۴۲۰۰ متری) آن بیشتر و دره ها تنگ تر می باشند که می توان دلیل آن را فعالیت گسل مشاء - فشم در این بخش از حوضه دانست.

رابطه ۱: (بر حسب کیلومتر مربع) $100 = Af (Ar/At)$
در این رابطه Af شاخص عدم تقارن حوضه، Ar مساحت بخش غرب حوضه نسبت به رود اصلی بر حسب کیلومتر مربع و At مساحت کل حوضه بر حسب کیلومتر مربع می باشد. باید توجه داشت که بخش غربی و شرقی حوضه را می بایست در جهت جریان رود در نظر گرفت. اگر مقدار عددی این شاخص در حدود ۵۰ باشد، بیانگر وجود تقارن در دو سمت آبراهه اصلی و در نتیجه عدم فعالیت نو زمین ساختی است. در صورتی که حوضه آبریز تحت تاثیر این نیروها قرار داشته باشد ممکن است که مقدار عددی به دست آمده Af کمتر یا بیشتر از ۵۰ باشد. اگر میزان این شاخص بزرگتر از ۵۰ باشد بیانگر فرازش در سمت غرب آبراهه اصلی است و اگر میزان شاخص کوچکتر از ۵۰ باشد بیانگر فرازش در سمت شرق آبراهه اصلی است. (شکل ۳) (گورابی و نوحه گر، ۱۳۸۶: ۱۸۳).

بر اساس نتیجه حاصل از اندازه گیری ها در رابطه ۱: $100 = AF$ (۲۹,۱۱ = ۶۹۶,۸۳/۲۱۲,۷۳) بر حسب کیلومتر مربع، می توان گفت که حوضه مورد مطالعه از نظر نو زمین ساختی فعال بوده و بخش شرقی حوضه نسبت به بخش غربی آن فعال تر می باشد. تحت تاثیر این فعالیت، شاخه های فرعی در بخش شرقی حوضه طولانی تر از بخش غربی بوده و در نتیجه کج شدگی یا تمایل به سمت غرب حوضه یعنی ساحل غربی رود می باشد.

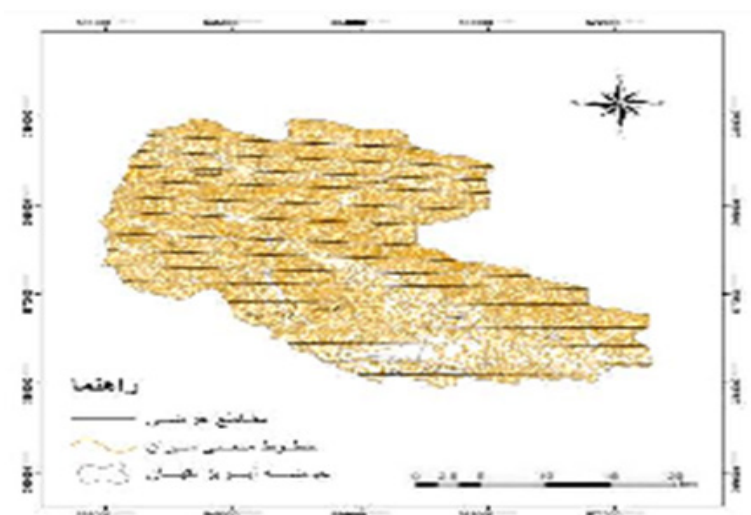
شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره: نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن، دیگر شاخص ژئومورفولوژی است که برای بررسی میزان فعالیت نیروهای زمین ساختی در یک منطقه استفاده می شود. بدون شک مورفولوژی دره ها متفاوت است. به عنوان مثال، بعضی دره ها V شکل و بعضی از آنها که عمدتاً در پایکوه قرار دارند، دارای کف پهن یا U شکل هستند. بنابراین نسبت پهنای دره ها به ارتفاع دیواره ها متفاوت خواهند بود. نسبت پهنای دره به ارتفاع آن را معمولاً در فاصله معینی از جبهه کوهستان (معمولاً یک کیلومتر از جبهه کوهستان به طرف بالادست رود) اندازه می گیرند (بول و مک فادن، ۱۹۷۷: ۱۲۶). این شاخص معمولاً نشان می دهد که آیا رود

جدول ۱- میزان فعالیت زمین ساختی با توجه به مقدار Vf (بول و مک فادن، ۱۹۷۷)

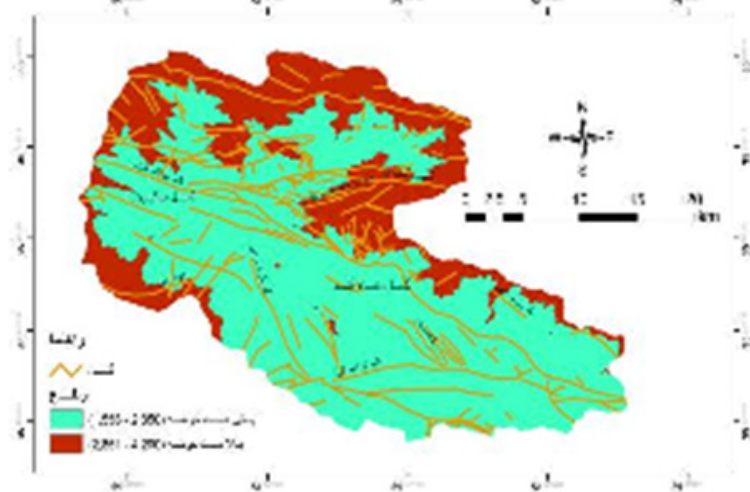
مقدار Vf (بر حسب متر)	وضعیت تکتونیکی
کمتر از ۱	فعال
۱ تا ۲	نیمه فعال
بیشتر از ۲	غیر فعال

جدول ۲ - مقادیر اندازه گیری شده شاخص Vf در حوضه مورد مطالعه (ماخذ: نویسندگان)

مقدار شاخص Vf بر حسب متر	منطقه
۰/۶۰	بالا دست حوضه
۰/۲۷	میانه حوضه
۱/۱	پائین دست حوضه



شکل ۴- موقعیت مقاطع عرضی انتخاب شده بر روی نقشه توپوگرافی حوضه



شکل ۵- مناطق پائین دست و بالا دست حوضه

دهنده فعال بودن نو زمین ساخت حوضه آبریز است. شکل کشیده و مقدار عددی بالای شاخص BS برای حوضه آبریز مورد مطالعه که ۱/۲۲ کیلومتر بوده، بیانگر فعال بودن حرکات نو زمین ساختی در این حوضه می باشد.

شاخص تقارن توپوگرافی عرضی: این شاخص هم می تواند وضعیت تقارن و در نتیجه فعال یا غیرفعال بودن منطقه را مشخص نماید. این شاخص با رابطه ۴ محاسبه می شود.

$$T = \frac{Da}{Dd} \quad \text{رابطه ۴} \quad (\text{بر حسب کیلومتر})$$

T = شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، Da فاصله نوار مئاندری فعال

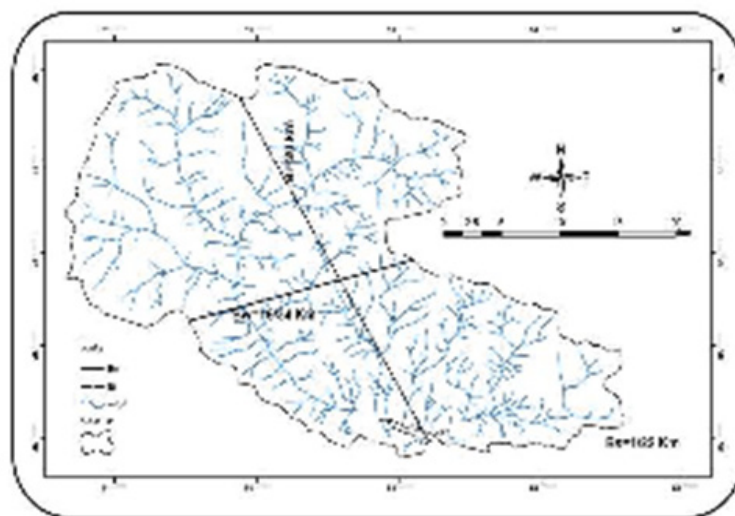
۱-۳- شاخص شکل حوضه: نسبت شکل حوضه زهکشی نیز شاخصی است که در ارزیابی فعالیت های تکتونیکی به کار می رود. معمولاً حوضه هایی که از نظر زمین ساختی فعال هستند، شکل کشیده دارند. با توقف فعالیت یا غلبه فرآیندهای فرسایشی، شکل حوضه به تدریج در طی زمان دایره ای می شود و شاخص کاهش می یابد (کرمی، ۱۳۸۸: ۱۴۹) (شکل ۶). این شاخص از طریق رابطه ۳ بدست می آید:

$$Bs = BI/BW \quad \text{رابطه ۳} \quad (\text{بر حسب کیلومتر})$$

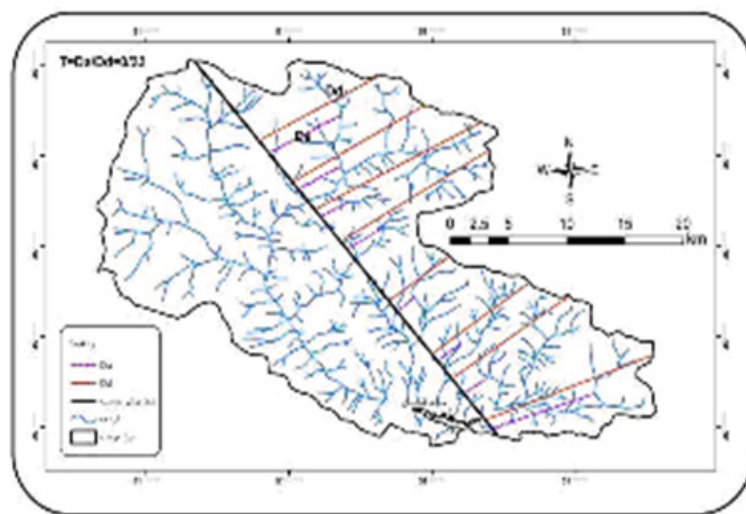
در این رابطه BI طول حوضه آبریز بر حسب کیلومتر بوده که از خروجی حوضه تا انتهایی ترین بخش حوضه را در بر گرفته و BW عرض حوضه آبریز بر حسب کیلومتر می باشد. مقادیر بالای BS نشان

مناسب می باشد. مناطقی که ارزیابی انشعاب دره ها به خوبی دره یا تنه اصلی باشد، محدوده های مقادیر بزرگ T مجاز می باشد (گورابی، نوحه گر، ۱۳۸۶: ۱۸۴). مقادیر عددی نزدیک به یک بیانگر فرایش در منطقه و در نتیجه نو زمین ساخت فعال است. برای محاسبه این شاخص در حوضه آبریز لتیان، ۸ مقطع بر روی حوضه مشخص و مقادیر هر یک از آنها طبق رابطه ۴ محاسبه شد که میانگین آن ۰/۳۳ کیلومتر می باشد (جدول ۳). این عدد حاکی از فعال بودن نو زمین ساخت در حوضه است و همچنین می توان گفت که رود در حال فرسایش بستر خود می باشد.

از خط میانی حوضه آبی بر حسب کیلومتر، Dd فاصله خط میانی حوضه آبی از خط مرز حوضه بر حسب کیلومتر (شکل ۷). در حوضه های کاملاً متقارن مقدار عددی این شاخص صفر می باشد. اما با کاهش تقارن حوضه، میزان شاخص افزایش یافته و به عدد یک نزدیک می شود. فرض بر این است که شیب طبقات بر مهاجرت مجرای اصلی رود تاثیر ناچیزی داشته است، در این صورت مهاجرت عمومی و کلی دلیلی بر کج شدگی زمین در جهت خاص می باشد. بنابراین T بیانگر یک بردار با جهت و مقدار (۰-۱) می باشد. این تجزیه و تحلیل بیشتر برای حوضه های زهکشی با الگوی دندریتیک



شکل ۶- پارامترهای لازم برای محاسبه شاخص BS در حوضه آبریز مورد مطالعه



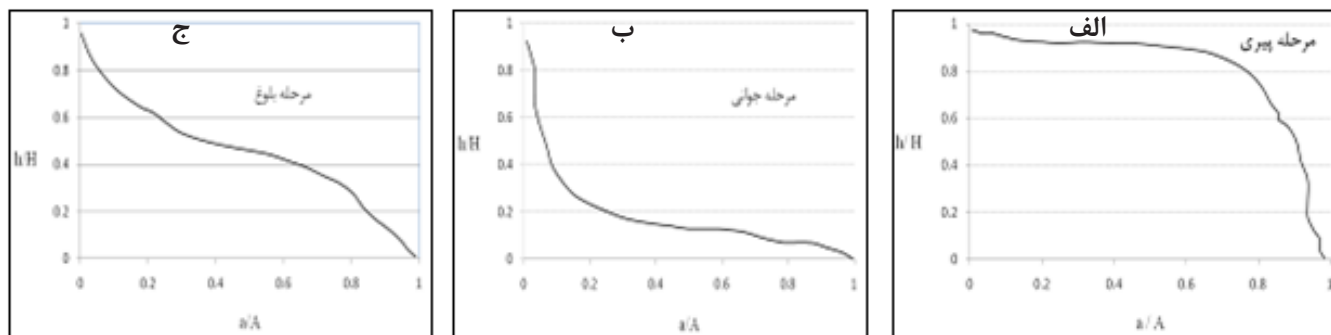
شکل ۷- نحوه محاسبه شاخص تقارن توپوگرافی عرضی

جدول ۳- مقادیر شاخص تقارن توپوگرافی حوضه آبریز لتیان (ماخذ: نویسندگان)

مسیر	Da (Km)	Dd (Km)	T
۱	۵/۸۴	۱۰/۰۵	۰/۵۸
۲	۳/۴۵	۱۱/۲۰	۰/۳۱
۳	۲/۲۲	۱۳/۸۱	۰/۱۶
۴	۳/۰۸	۱۲/۷۴	۰/۲۴
۵	۱/۵۸	۵/۷۳	۰/۲۸
۶	۲/۰۸	۹/۲۴	۰/۲۳
۷	۲/۲۱	۱۰/۵۳	۰/۲۱
۸	۷/۷۳	۱۲/۹۹	۰/۶۰
میانگین	-	-	۰/۳۳

وضعیت نوزمین ساخت حوضه را مشخص کرد. در منحنی های نظری مذکور، مرحله جوانی، با برش های عمیق و برجستگی های ناهموار و ناصاف، مرحله بلوغ با بروز فرایندهای ژئومورفیک تقریباً به طور متوازن و متعادل و مرحله پیری با چشم انداز های نزدیک به سطح اساس با برجستگی های بسیار هموار شده و مقهور توصیف می شود (شکل ۸).

شاخص منحنی هیپسومترى حوضه: منحنی های هیپسومتری، پراکنش سطوح ارتفاعی یک حوضه را از سطح آبهای آزاد ارزیابی و توصیف می کنند. این منحنی ها با ترسیم ارتفاع کل در مقابل مساحت کل حوضه ترسیم می گردند (علیزاده، ۱۳۸۰: ۴۴۸). با تقسیم مساحت و ارتفاع این نمودار بر مساحت کل حوضه و حداکثر ارتفاع حوضه، می توان آن را به صورت بی بعد نشان داد. از طریق مقایسه منحنی هیپسومتری بدست آمده با منحنی های نظری می توان



جدول ۳- مقادیر شاخص تقارن توپوگرافی حوضه آبریز لتیان (ماخذ: نویسندگان)

حاصل می شود:

رابطه ۶: $S = c / v$ (بر حسب کیلومتر)

در این رابطه C طول رود بر حسب کیلومتر و v طول دره در خط مستقیم بر حسب کیلومتر، می باشند. هر چه مقادیر بدست آمده زیاد باشد (بالاتر از یک)، حاکی از نزدیک شدن رود به حالت تعادل بوده و هر اندازه کمتر باشد دلیل فعال بودن نو زمین ساخت در حوضه است (مددی و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۳۱). میزان این شاخص بر اساس رابطه

۶ برابر است با: $S = 3.4 / 4.6 \quad S = 1.35 \text{ km}$

در شکل ۹ منحنی هیپسومتری حوضه آبریز مورد مطالعه نشان داده شده که حاکی از مرحله جوانی در آن است. همچنین تحدب در منحنی بی بعد بیانگر غلبه فعالیت نو زمین ساختی حوضه بر فعالیت های فرسایشی می باشد در حالی که تقعر در منحنی بی بعد بیانگر غلبه فعالیت های فرسایشی بر فعالیت نو زمین ساختی است. با توجه به نوع شکل نیز می توان گفت که این حوضه از نظر نو زمین ساختی وضعیتی فعال دارد.

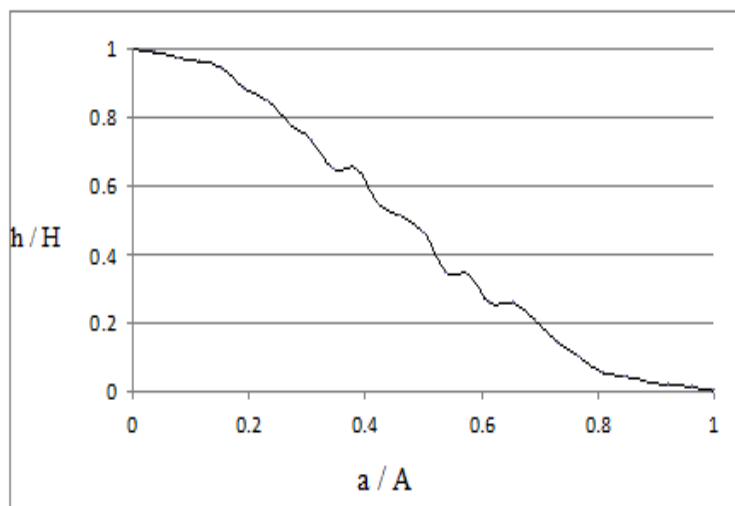
شاخص پیچ و خم رود: بالا بودن پیچ و خم رود بیانگر پایداری نسبی نو زمین ساختی حوضه است. این شاخص از طریق رابطه ۶

دریافت که این شاخص به تغییرات شیب حساس بوده و همین مسئله سبب شده تا بتوان روابط میان فعالیت‌های زمین‌ساختی، مقاومت سنگ و توپوگرافی را ارزیابی کرد (مددی و همکاران، ۱۳۸۳). مقادیر زیاد SL در سنگ‌های با مقاومت کم و یا در سنگ‌هایی که از نظر مقاومت یکسان هستند، می‌تواند بیانگر حرکات نو زمین‌ساختی فعال و جوان باشد. برای ارزیابی شاخص گرادیان طولی رود در حوضه آبریز مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع نیمرخ طولی رود تهیه و منحنی‌های ۱۰۰ متری از آن ترسیم شد (شکل ۱۰). مقدار این شاخص در فاصله‌های ۱۰۰ متری محاسبه گردید. با توجه به نتایج حاصل از محاسبات، این شاخص بین ۰/۱۶ تا ۴۸/۶۳ متر می‌باشد. بیشترین مقدار مربوط به نقاط ۱۶۰۰ متر و ۱۸۰۰ متر بوده و کمترین آنها ارتفاع ۳۴۰۰ متری است.

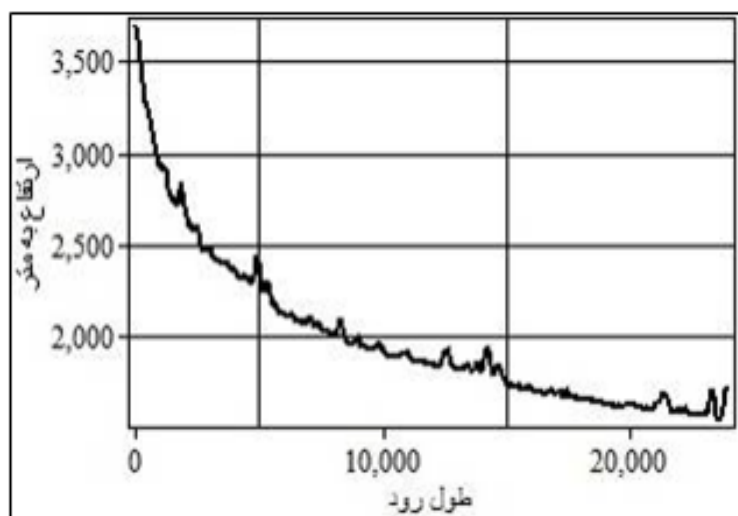
شاخص گرادیان طولی رود: این شاخص مرتبط با قدرت جریان رود است. نیروی قابل دسترس رود در محدوده مشخص مجرا، متغیر هیدرولوژیکی مهمی می‌باشد، زیرا به توانایی یک رود در فرسایش کف بستر آن و همچنین حمل مواد فرسایشی ارتباط دارد (گورابی و نوحه‌گر، ۱۳۸۶: ۱۸۵). این شاخص از طریق رابطه ۷ حاصل می‌شود:

$$\text{رابطه ۷: } SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} \times L \quad (\text{بر حسب متر})$$

در این رابطه ΔH اختلاف ارتفاع دونقطه معین بر حسب متر، L فاصله افقی همان دو نقطه بر حسب متر و L طول رود از نقطه مرکزی تا سرچشمه رود بر حسب متر است. با توجه به رابطه می‌توان گفت که $\Delta H / \Delta L$ در واقع همان رابطه شیب است. میزان قدرت رود به مقدار دبی و شیب بستر بستگی دارد. از این طریق می‌توان



شکل ۹- منحنی هیپسومتری بی بعد حوضه آبریز مورد مطالعه (ماخذ: نویسندگان)



شکل ۱۰- نیمرخ طولی رود جاجرود در حوضه آبریز مورد مطالعه (ماخذ: نویسندگان)

کوهزایی زمین و مجاورت با پلایت های تکتونیکی جوان بوده و از نظر حرکات زمین ساختی این حوضه فعال می باشد اما به لحاظ شدت وقوع این فعالیت ها و آثار و پیامدهای آنها می توان تفاوت های بارزی را در سطح این منطقه شاهد بود. فعالیت بیشتر حرکات تکتونیکی در مناطق شمالی حوضه باعث گردیده علاوه بر ارتفاع قابل توجه ناهمواریها، فرایندهای فرسایشی در سطح حوضه تفاوت های بارزی با مناطق جنوبی آن داشته باشد. پرتگاه های با شیب تند یکی از لندفرم های قابل توجه در این منطقه است که با شیب زیاد و بیش از ۲۵ درجه، در نقاط مختلف به ویژه در شمال حوضه دیده می شوند. این پرتگاه ها در توسعه شبکه آبراهه ها و شکل زایی آنها اهمیت بسیاری دارند. شیب های تند پرتگاه ها، سهم فراوانی در شدت فرسایش و تغییر شکل دامنه ها بر عهده دارد و با وجود عامل تشدید کننده شرایط فرسایشی چون انسان، وقوع ریزش ها و لغزش های غالباً عظیم در این نوع دامنه ها اجتناب ناپذیر است. در مجموع تندی شیب و وجود گیلوئی در این دامنه ها، برتری هوازگی مکانیکی را تضمین می کند و منطقه کوهستانی را به یک محیط دینامیکی و فعال مبدل می سازد. چنین شرایطی، بسیاری از فعالیت های خاک زایی را محدود می کند.

روند نیمرخ طولی رود جاجرود با توجه به نمودار بالا در طول مسیر، شیب یکسانی ندارد و در قسمت های مختلف آن با تغییراتی همراه است. مراجعه به نقشه زمین شناسی حوضه مشخص کرد که شاخص گرادیان طولی رود، ارتباط نزدیکی با شرایط لیتولوژیکی و عملکرد گسل های منطقه دارد. غلبه سنگ های بازالتی و ماسه سنگ های مقاوم با بافت ریزدانه سیلیس در قلمرو ارتفاعی ۲۵۰۰ متری تا ۴۰۰۰ متری (سازند جیرود)، ماسه سنگ، سنگ آهک و شیل با بافت ریزدانه سیلیسی و ساختمان توده ای و لایه لایه در قلمرو ارتفاعی ۲۵۰۰ متری تا ۳۵۰۰ متری (سازند میلا)، ماسه سنگ با بافت ناهمگن در همین قلمرو ارتفاعی (سازند لالون)، شیل و تناوب شیل و ماسه سنگ در قلمرو ارتفاعی ۲۵۰۰ متری تا ۲۷۰۰ متری (سازند زاگون) که همگی از درجه مقاومت بالایی برخوردارند با مناطق افزایش شاخص گرادیان طولی رود در حوضه مورد مطالعه منطبق است و بررسی ها وجود ارتباط میان افزایش و کاهش شاخص SL و میزان مقاومت سنگها و عملکرد گسل ها را به خوبی ثابت کرده است. بر اساس نتایج حاصل از محاسبه شاخص های ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال در حوضه سد لتیان (جدول ۴) می توان گفت که هر چند ناهمواریهای این حوضه به دلیل قرار گیری در قلب آخرین کمربند

جدول ۳- نتایج حاصل از ارزیابی شاخص های ژئومورفیک تکتونیک فعال در حوضه آبریز لتیان

شاخص	نماد	توصیف کمی	توصیف کیفی
عدم تقارن حوضه زهکشی (بر حسب کیلومتر مربع)	Af	۲۹/۱۱	فعال
شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (بر حسب متر)	Vf	۰/۶۹	فعال
شاخص شکل حوضه (بر حسب کیلومتر)	Bs	۱/۲۲	فعال
شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (بر حسب کیلومتر)	T	۰/۳۳	فعال
شاخص منحنی هیپسومتری حوضه	HC	-	مرحله جوانی
شاخص پیچ و خم رود (بر حسب کیلومتر)	S	۱/۳۵	فعال
شاخص گرادیان طولی رود (بر حسب متر)	SL	۴۸/۶۳ - ۰/۱۶	فعال

مشاء □ فشم، گسل تلو، گسل لشکرگ، وجود درزها و چین خوردگی ها در واحدهای سنگی مختلف حوضه، فعال بودن سیستم های گسلی اصلی و فرعی، وجود تراس های آبرفتی متعدد در حاشیه رود جاجرود و سرشاخه های فرعی آن، تندآبها، پهن و باریک شدن بستر کانال، تغییر مسیر و تغییر در نیمرخ طولی و عرضی رود، تایید کننده این وقایع تاریخی و وقوع رخداد های زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی است. حضور چنین آثاری نه تنها نشان دهنده وضعیت طبیعی گذشته، بلکه نشان دهنده بخش های بالقوه فعال از نظر تکتونیک این منطقه است. در همین رابطه، شاخص های ژئومورفولوژیکی در ارزیابی فعالیت های تکتونیکی می توانند بسیار با اهمیت می باشند، چرا که با استفاده از این شاخص ها می توان مناطقی که در گذشته فعالیت های سریع یا کند تکتونیکی را تجربه کرده اند به راحتی شناسایی کرد. نتایج حاصل از تحلیل های شکل سنجی در این پژوهش نیز

بنابراین محاسبه و اندازه گیری میزان و شدت وقوع فعالیت های تکتونیکی در مناطق و حوضه های مختلف که خود پیامدهای فرسایشی و محیطی متفاوتی به دنبال خواهد داشت و انجام مطالعات محیطی و کسب اطلاعات مورد نیاز در این رابطه، می تواند کمک بسزایی به برنامه ریز های دقیق تر ملی و منطقه ای کشور داشته باشد.

بحث و نتیجه گیری

حوضه آبریز لتیان به دلیل قرار گیری در یال جنوبی البرز مرکزی یکی از فعال ترین حوضه های کشور به لحاظ تکتونیکی می باشد. بررسی سابقه زلزله خیزی منطقه حاکی از وقوع زلزله های قابل توجه در طول تاریخ و قرون اخیر در این منطقه است. آثار فعالیت های تکتونیکی همچون شکستگی ها، گسل های معروفی چون گسل

۹. عزیزاده، امین، (۱۳۸۰)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان مقدس رضوی، چاپ نوزدهم، مشهد، ۸۷۲ صفحه.

۱۰. فتوحی، صمد، (۱۳۹۲)، تاثیر تکتونیک فعال در شرق حوضه ی زاگرس بر تشکیل مخروط افکنه ی دو قلو ی زیره، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۲، ص ۱۶۳ - ص ۱۷۶.

۱۱. کرم، امیر، عبدالمهدی فوزی، حسین و محمودی، مهران، (۱۳۸۹)، ارزیابی و پهنه بندی حساسیت به زمین لغزش، با استفاده از مدل شبکه های عصبی مصنوعی مطالعه موردی: حوضه آبریز جاجرود - شمال شرق تهران، محیط جغرافیایی، شماره یک، ص ۴۹ - ص ۶۶.

۱۲. کرمی، فریبا، (۱۳۸۸)، ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک با استفاده از تحلیل‌های شکل سنجی مورد نمونه: حوضه اوجان چای، شمال شرقی کوهستان سهند، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۳، صفحه ۱۴۹.

۱۳. کرمی، فریبا، (۱۳۹۱)، ارزیابی نسبی تکتونیک فعال با استفاده از روش های مورفومتری در حوضه های شمالی و شرقی کوه سهند، فصلنامه فضای جغرافیایی، شماره ۳۷، ص ۱ - ص ۱۸.

۱۴. کرمی، فریبا، بیاتی خطیبی، مریم، نیکجو، محمدرضا، مختاری، داود، (۱۳۹۲)، بررسی و تحلیل شواهد ژئومورفولوژیک و تکتونیک فعال در حوضه‌های شمالی شهر چای میانه، فضای جغرافیایی، شماره ۳۲، ص ۳۳ - ص ۵۳.

۱۵. گورابی، ابوالقاسم، نوحه گر، احمد، (۱۳۸۶)، شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، ص ۱۷۸ - ص ۱۹۶.

۱۶. مددی، عقیل، رضائی مقدم، محمدحسین، رجایی، عبدالمجید، (۱۳۸۳)، تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال غربی تالش، باغرو داغ، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۸، ص ۱۲۳ - ص ۱۳۸.

۱۷. مقصودی، مهران، کامرانسی دلیر، حمید، (۱۳۸۷)، ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه ها، مطالعه موردی: رودخانه تجن، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، ص ۳۷ - ص ۵۵.

۱۸. وحدتی دانشمند، بهارک، قاسمی، محمد رضا، قریشی، منوچهر، حقی پور، نگار، (۱۳۸۶)، نو زمین ساخت سپیدرود و دشت گیلان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۵، ص ۱۲ - ص ۲۵.

۱۹. یمانی، مجتبی، مقیمی، ابراهیم، تقیان، علیرضا، (۱۳۸۷)، ارزیابی تاثیرات نو زمین ساخت فعال در دامنه‌های کرکس با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۳، ص ۱۱۷ - ص ۱۳۶.

۲۰. یمانی، مجتبی، مهران، مقصودی، قاسمی، محمدرضا، محمدنژاد، وحید، (۱۳۹۱)، شواهد مورفولوژیکی و مورفومتریکی تاثیر تکتونیک فعال بر مخروط افکنه های شمالی دامغان، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۲، ص ۱ - ص ۱۸.

21. Bagha, N. (2014). Arian, M., Ghorashi, M., Pourkermani, M., El Hamdouni, R., Solgi, A., Evaluation of relative tectonic activity in the Tehran basin, Central Alborz, Northern Iran, Geomorphology, 213, pp:87-66.

نشان داد که این حوضه از لحاظ فعالیت های نئوتکتونیک فعال بوده، اما میزان تاثیر این فعالیت ها در همه جای آن یکسان نیست و مناطق بالادست در مقایسه با سایر بخش ها از این نظر فعال تر می باشند که بررسی های میدانی از سطح منطقه نیز تائید کننده نتایج حاصل از محاسبات شاخص های تکتونیک می باشد. فشردگی بیشتر چین ها در بخش های شمالی حوضه و متراکم تر شدن امواج موجود در لایه های سنگی و کاهش فشارها با کاهش شدت امواج و تبدیل آنها به چین های ملایم به طرف جنوب حوضه، ارتفاع بیشتر رشته کوه های شمالی حوضه نسبت به جنوب حوضه، دره های تنگ و باریک همراه با پرتگاه های دیواره ای در بخش شمالی در مقایسه با دره های بازتر با شیب دامنه های کمتر در بخش های جنوبی حوضه خود تائیدی بر میزان فعالیت بیشتر حرکات تکتونیک در مناطق بالادست حوضه مورد مطالعه این پژوهش می باشد.

منابع مورد استفاده

۱. اصغری سراسکانرود، صیاد، (۱۳۸۷)، ارزیابی توان سیل خیزی حوضه رودخانه جاجرود در ایجاد سیلاب، به راهنمایی منوچهر فرج زاده، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۲۶ صفحه.

۲. بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۸۸)، تحلیل اثرات نئوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه‌های حوضه قرقوچای واقع در دامنه‌های شرقی سهند، مجله فضای جغرافیایی اهر، شماره ۲۷، ص ۷۹ - ص ۱۱۳.

۳. جنت دوستف نادر، (۱۳۷۲)، بررسی فرسایش و انتقال رسوب در حوزه جاجرود و انباشتگی آن در مخزن سد لتیان، به راهنمایی علی بهادری، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هیدرولوژی، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی، ۲۵۰ صفحه.

۴. خیام، مقصود، مختاری، داود، (۱۳۸۲)، ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیک بر اساس مورفولوژی مخروط افکنه ها: مورد نمونه مخروط افکنه های دامنه شمالی میشو داغ، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۴، ص ۱ - ص ۱۰.

۵. رامشت، محمد حسین، سیف، عبدالله...، شاه زیدی، سمیه و انتظاری، مژگان، (۱۳۸۸)، تاثیر تکتونیک جنبه بر مورفولوژی مخروط افکنه درختگان در منطقه شهداد کرمان، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ص ۲۹ - ص ۴۶.

۶. روستایی، شهرام، رجبی، معصومه، زمردیان، محمد جعفر و مقامی مقیم، غلامرضا، (۱۳۸۸)، نقش فعالیت های تکتونیک در شکل گیری و گسترش مخروط افکنه های دامنه های جنوبی آلاداغ، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، ص ۱۳۷ - ص ۱۵۶.

۷. سازمان زمین شناسی ایران، (۱۳۸۷)، نقشه زمین شناسی شرق تهران به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.

۸. سیف، عبدالله و خسروی، قاسم، (۱۳۸۹)، بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۴۲، ص ۱۲۵ - ص ۱۴۶.

- Mexican volcanic belt. Earth surface and landforms, 23, pp:322-317.
27. Rockwell, T. k. & et al. (1984). A late Pleistocene-Holocene soil chronosquence in the Ventura basin southern California, U.S.A., Allen and Unwin, London, pp:327-309.
28. Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardji, T. (2003). Fault generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology* 50, pp:225-203.
29. Wallace, R.E. (1977). Profiles and ages of young fault scarps north central Nevada, *Geological society of America bulletin*: 6, pp:132-114.
30. 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, pp: 265–239.
22. Bahrami, Sh. (2013). Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekhosk anticlinal, Zagros, Iran, *Geomorphology*, 180, pp:-217 230.
23. Bull, W.B., Mcfadden, L.D.(1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California; In: Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in arid regions*. Proceedings of the 8th annual geomorphology symposium. State University of New York, Binghamton, pp:138-115.
24. Guarnieri, P., Pirrotta, C. (2008). The response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95, pp:273-260.
25. Keller Edward, A. & Pinter, N. (2002). *Active tectonics earthquake, uplift, and landscape*. Prentice Hall Publisher, New Jersey.
26. Ramirez- Herrera, M.T. (1998). *Geomorphic assessment of active tectonic in the Acambay Graben*,

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■