نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)، سال ۱۶، شمارهٔ ۳۶، تابستان ۱۳۹۰، صفحات ۱۶۳-۱۴۵

تاریخ دریافت: ۸۸/۳/۱۰
تاریخ پذیرش نهایی: ۸۸/۱۱/۱۲

ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی با استفاده از نیمرخ طولی در حوضهٔ آبریز رودخانه مهاباد

شهرام روستایی[۱]
هادی نیری[۲]

چکیده

نیمرخ طولی رودخانه می‌تواند تغییرات ژئومورفیک و ویژگی‌های حوضه آبریز خود را منعکس کند زیرا شکل آن، معلول فرایندهایی است که بر حوضه اثر می‌گذارد. بر این اساس در این مقاله شدت فعالیت تکتونیکی در حوضه آبریز رودخانه مهاباد با بکارگیری نیمرخ طولی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور ما نیمرخ هاگ، نیمرخ تعادلی و انحراف از آن، شاخص SL شاخص استاندارد (SL/K) و شاخص تراکم زهکش(D) برای هر کدام از شاخه‌های اصلی رودخانه و واحدهای هیدرولوژیکی استخراج کردیم. به منظور مشخص کردن میزان نسبی فعالیت تکتونیکی در این حوضه، تحلیل کمی نیمرخ طولی با نقشهٔ زمین شناسایی محدوده تلفیق شده است. نتایج به دست آمده، نشان‌دهندهٔ این است که محدوده‌هایی که در جنوب و جنوب غربی حوضه قرار دارند از فعالیت تکتونیکی بالاتری برخوردارند. بر اساس شاخص تقعر، حوضهٔ آبریز رودخانه مهاباد در یک حالت نامتعادل قرار دارد و محدودهٔ شمال حوضهٔ بالاآمدگی کمتری نسبت به جنوب دارد. چنین روندی، ارتباط فعالیت تکتونیکی این حوضه با زون بسیار فعال گسل پیرانشهر و منطقه خرد شده زاگرس، را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: فعالیت‌های تکتونیکی، شاخص‌های رودخانه‌ای، نیمرخ طولی، عدم تعادل، حوضه آبریز رودخانه مهاباد.

۱ـ دانشیار دانشگاه تبریز. roostaei@tabrizu.ac.ir.
۲ـ عضو هیئت علمی دانشگاه کردستان. nayyerihadi@yahoo.com.

مقدمه

نیمرخ طولی رودخانه‌ها، تمام محدوده‌های حوضهٔ آبریز را به هم متصل می‌کنند که از طریق ویژگی توپوگرافی از جمله شیب، ارتفاع و طول بررسی می‌شود و منعکس‌کنندهٔ عوامل و فرایندهای مورفوژنیک در حوضهٔ آبریز خود می‌باشد. نیمرخ طولی رودخانه شکل مقعر دارد. مقدار تقعر آن در محدوده‌های بالادست حوضه بیشتر است. چنین شکلی بیشتر از ۳۰۰ سال است که مشخص (Zavoianu، ۱۹۸۵: ۳۰) و به عنوان حالت متعادل پذیرفته شده است.

تعادل نیمرخ طولی در بسیاری از جنبه‌های ژئومورفولوژی و زمین شناسی، ازجمله تعیین فعالیت تکتونیکی، انتقال رسوب، نوسانات سطح دریاها و همینطور در بررسی تاریخ تحول چشم اندازها اهمیت دارد (Goldrick، ۱۹۹۵: ۲۰۰۷) انحراف از تعادل نیمرخ طولی ممکن است ناشی از تکتونیک باشد؛ اگر چه فعالیت‌های تکتونیکی با چشم انسان قابل مشاهده نیست، اما نتیجه آنها در سطح زمین منعکس می‌شود (Chen، ۲۰۰۶: ۲۶۴). با توجه به اینکه در سیستم رودخانه‌ای به تعادل رسیدن در پاسخ به تغییرات تکتونیکی بیش از یک میلیون سال طول می‌کشد (Whipple، ۲۰۰۱) توانایی ارزیابی چنین تغییراتی را دارد. لذا ارزیابی این تغییرات از طریق نیمرخ طولی امکان‌پذیر است (Chen، ۲۰۰۶: ۵۶۵). بکارگیری فراوان شاخص رودخانه‌ای در مناطق مختلف توسط محققان (Bishop، ۲۰۰۵؛ Ramirez Harrera ، ۱۹۸۷؛ Larue ، ۲۰۰۸) نشان‌دهندهٔ این است که مطالعهٔ نیمرخ طولی یک روش مناسب برای تعیین فعالیت نسبی تکتونیکی حتی در مناطق با نوسانات کم است.

هدف این بررسی، تعیین فعالیت نسبی تکتونیک در حوضهٔ آبریز مهاباد با استفاده از ویژگی نیمرخ طولی است. در این تحقیق سعی شده است تا ارتباط بین فعالیت تکتونیکی و شکل نیمرخ طولی ارزیابی گردد که نتایج آن می‌تواند جهت شناسایی نواحی مستعد زمین‌لرزه، و تحول چشم‌اندازها در حوضهٔ مزبور مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس تحقیقات رادونهه و همکاران (Rãdoane ، ۲۰۰۳: ۲۹۴) و دمولاین (Demoulin ، ۱۹۹۸: ۱۹۱) یک شاخص نمی‌تواند فعالیت محیطی را به خوبی نشان دهد. استفاده از یک شیوه اغلب با شک و تردید همراه است به همین دلیل از شاخص‌های مختلفی برای بررسی محدوده استفاده شده که مراحل آن به صورت زیر است:

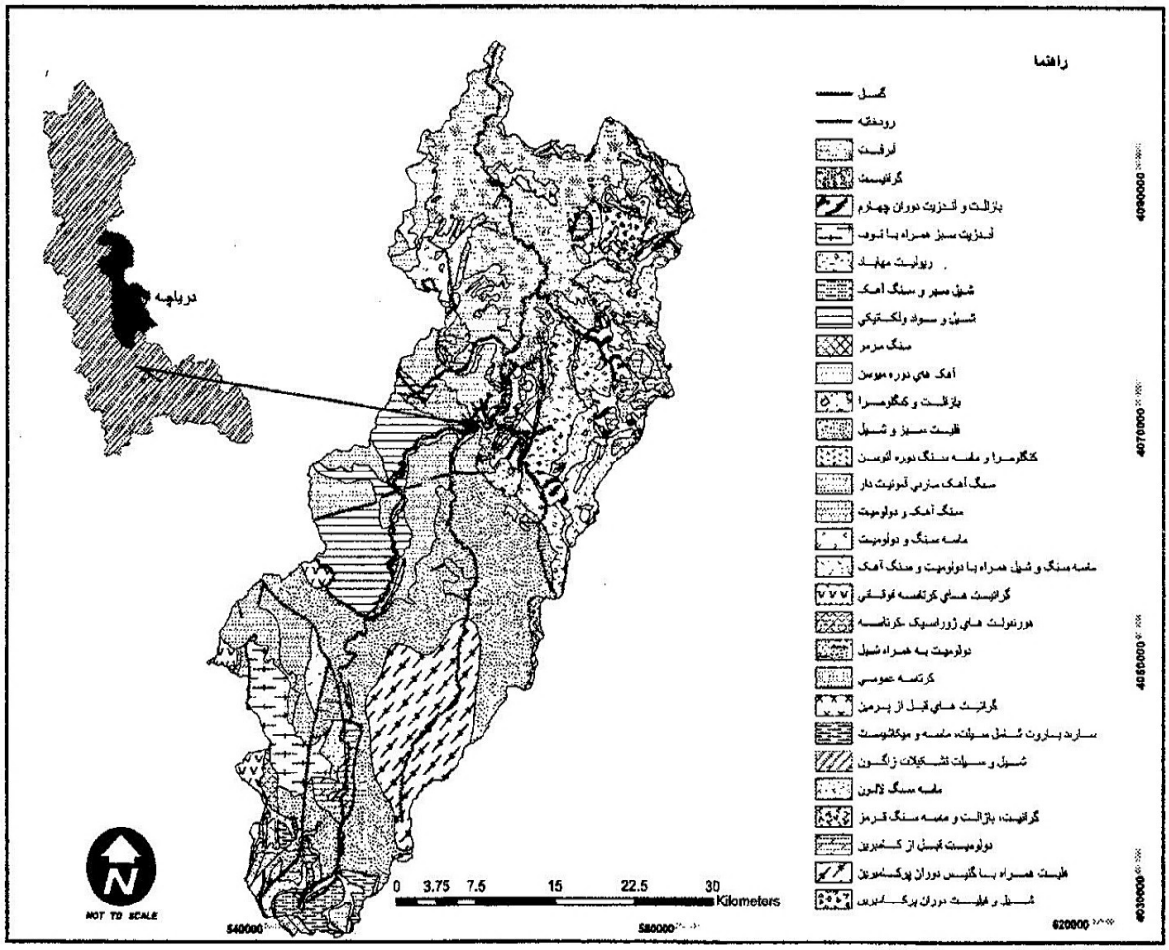
- استخراج نیمرخ طولی از مدل ارتفاعی رقومی[1] و نقشه‌های توپوگرافی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی؛
- ترسیم پروفیل هاگ و نیمرخ تعادلی، محاسبه شاخص SL و شاخص استاندارد شده (SL/K) رودخانه؛
- بررسی شاخص تراکم زهکش (D)؛
- مدل فرسایش سنگ بستر (دیاگرام توزیع و اندازه درجه شیب- مساحت (S_A)، محاسبه میزان تقعر(θ))؛
- جمع‌بندی شاخص‌ها برای تعیین فعالیت تکتونیکی در رودخانه مهاباد.

حوضهٔ آبریز رودخانه مهاباد بین "۹ ′۲۵ °۴۵ الی" ۵۱ ′۴۵ °۵۴ طول شرقی و"۵۱ ′۲۳ °۳۶ الی "۱۱ ′۰۳ °۳۷ عرض شمالی در جنوب دریاچه ارومیه واقع شده است. از لحاظ توپوگرافی محدوده مهاباد یک منطقه غالباً کوهستانی با ارتفاع متوسط ۱۸۲۰ متر است. ناهمواری‌های این محدوده از چندین رشته کوه تشکیل شده است که در قسمت مرکزی حوضه، روند شمالی ـ جنوبی پیدا کرده‌اند. قدیمی‌ترین ساختارها کوارتزیت و شیست‌های متامرفیک همچنین سیلیس‌های پراکنده دورهٔ ژوراسیک است که در قسمت شرقی حوضه واقع شده‌اند. بر روی این ساختار در قسمت بالادست حوضه، سازندها عمدتاً شامل شیست، کوارتزیت و آهک‌های کرتاسه است. در انتهای دوره ائوسن و دورهٔ الیگوسن فعالیت آتشفشانی منجر به برون‌ریزی مواد آتشفشانی می‌شود. در محدوده دشت این سازندها ناپدید و رسوبات الیگو- میوسن جانشین آنها می‌گردند. توزیع سازندها این دوره در محدوده دشت به وسیلهٔ آبرفت و در بسیاری از موارد، به وسیلهٔ تکه‌های شیست، آهک، کوارتزیت، رس‌های قرمز و آهک‌های دگرگون شده مجزا می‌شوند. تراورتن، تراس‌های دریاچه‌ای و آبرفت‌های رودخانه‌ای همراه با آثار روانه‌های گلی متعلق به دوره‌های کواترنر، جدیدترین سازندها می‌باشند (شکل۱).

از دیدگاه زمین ساختی این حوضه در حد فاصل سیستم خطواره‌های ارومیه که دریاچه ارومیه را احاطه نموده‌اند و در ادامهٔ روند سیستم گسله زاگرس و در زون دگرگونی سنندج -

1- Digital Elevation Model

سیرجان واقع شده است (Elektroprojekt Consulting Engineers، ۱۹۶۴: ۳۰-۶). در جنوب غربی و غرب این حوضه گسل فعال پیرانشهر و منطقه خرد شده زاگرس قرار گرفته است، که این قسمت، محدوده‌ای با وقوع زمین زلزله‌های فراوان و ژرف، می‌باشد. مطالعات اخیر در مورد سد مهاباد به نشانه‌های از حرکات زمین ساختی جوان در محل ساختگاه سد از جمله به هم ریختگی تشکیلات کرتاسه و اسکرهای[1] تراورتنی اشاره دارد (زارع،۱۳۷۰). بنابراین اگر چه در این منطقه زلزله مخرب روی نداده است اما وقوع زلزله شدید را نمی‌توان غیر محتمل دانست. با توجه به این که مطالعات گسلی در حوضهٔ رودخانهٔ مهاباد انجام نگرفته است و نیز عدم اطمینان کافی به مطالعات قبلی انجام مطالعه در زمینهٔ فعالیت گسلی در حوضه مزبور ضرورت تام دارد.



شکل شماره (۱) نقشه موقعیت و لیتولوژی حوضهٔ آبریز رودخانه مهاباد

1- Esker

روش تحقیق

این مطالعه بر روی نیمرخ طولی شاخه اصلی و زیر شاخه‌هایی که مستقیماً وارد شاخه اصلی می‌گردند، صورت گرفته است (شکل ۲). نیمرخ طولی مجرا با استفاده از نرم‌افزار $ARC/GIS_{9.2}$ از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ و مدل ارتفاعی رقومی مربوطه استخراج شده است. تحلیل‌ها با بکارگیری $Arc/\ GIS_{9.2}$ همراه با برنامه‌های جانبی[1] از جمله مدل هیدرولوژیکی[2] و آنالیز مکانی[3] صورت گرفته است. فرایند تکمیل داده‌های ارتفاعی در طول شبکهٔ رودخانه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی به دو مرحله تقسیم گشته است:

مرحلهٔ اول پیش پردازش و ایجاد یک نقشه شماتیک با بکارگیری برنامهٔ جانبی مدل هیدرولوژی است این مرحله شامل از بین بردن آنومالی پستی سطح زمین[4]، تعریف الگوهای توزیع جریان و نهایتاً شبکه‌های جریان می‌باشد. بسته به کیفیت و طبیعت منطقه، این فرایند به طور متوالی تکرار شده است در مکان‌هایی با ناهمواری کم، مانند دشت سیلابی، این فرایند چندین بار صورت گرفته است تا شبکه‌هایی دیجیتالی ایجاد شود. شبکهٔ زهکشی استخراج شده با نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای انطباق داده شده است. در بالادست، که جریان به وسیله دره محدود شده، این نرم‌افزار به آسانی قادر به تعریف شبکه‌های رودخانه‌ای است. البته در محدوده‌های وسیع آبرفتی این شبکه‌های زهکشی با شبکه‌های زهکشی رقومی شده از نقشه‌های توپوگرافی همپوشانی شده است.

دومین مرحله شامل آماده‌سازی داده‌ها برای انتقال به فرمت قابل بررسی در داخل صفحه محاسبات[5] می‌باشد. تمامی نقاط در مرحله پیش پردازش در داخل مدل ارتفاعی رقومی دارای ارتفاع و جهت متمرکز می‌شوند. نقاطی که در طول جریان رودخانه قراردارند (برای مثال به ترتیب لایه‌های شماتیکی توصیف ارتفاع و تمرکز جریان) در داخل کاورج[6]

1- Extensions
2- Hydro Tools
3- Spatial Analyst
4- fill sink
5- Spreadsheet
6- Coverage

نقطه‌ای همسان شده‌اند. جداول این کاورج‌ها به هم وصل و به عنوان یک فایل شامل هر دو متغیر برای هر نقطه در طول مسیر داده‌ها مرتب، و متناسب با جهت جریان فراهم شده است.

نیمرخ طولی ترسیم شده دارای تعدادی از شکستگی‌ها که ناشی از نویز ذاتی مدل ارتفاعی رقومی می‌باشد و واقعی نیست، قبل از آنکه نیمرخ ارتفاعی برای تعیین شیب و شاخص‌های مورد نظر به کار رود، این شکستگی‌ها حذف شده‌اند.

نیمرخ هاگ[1]، شاخص شیب رود و شاخص استاندارد شده

رودخانه‌ها در حالت متعادل دارای یک نیمرخ طولی مقعر شیبدار هستند که دارای روند کاهشی به سمت پایین‌دست است. شیب یک پارامتر مستقل نیست و در امتداد مسیر اندازه شیب بر اثر عواملی تغییر اغلب افزایش می‌یابد و از حالت متعادل انحراف پیدا می‌کند. در این پژوهش شیب مسیر رودخانه به دست آمده است، در هر نقطه که شیب حاصله تنازل تدریجی نداشته و برخلاف حالت متعادل افزایش یافته به عنوان نقطه شکستگی و عدم تعادل محسوب شده است و تغییرات شاخص شیب برای آن محاسبه گردیده است.

هاگ شاخص شیب رود (۱۹۷۳) را به عنوان حاصل ضرب شیب بخشی از مسیر رود در فاصله از خط تقسیم حوضه زهکش معرفی کرده است. در یک حوضه آبریز همگن، شاخص شیب یک رودخانه متعادل در طول مسیر تقریبا ثابت است. تغییر شاخص شیب در طول یک رود نشان‌دهندهٔ تغییراتی است که می‌توان آن را به یکی از عوامل بالاآمدگی[2] تکتونیکی، مقاومت لیتولوژیکی و یا پایین رفتن سطح اساس نسبت داد. شاخص شیب می‌تواند برای توصیف کل رودخانه یا هر فاصله‌ای به کار رود. در این تحقیق این شاخص هم برای کل مسیر هر کدام از شاخه‌ها و هم برای بخش‌های از مجرا که در بین شکستگی‌ها قرار دارند محاسبه شده است. این شاخص با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌شود.

1- Hack's Profile
2- Uplift

$$L*SL = (\Delta H/\Delta L)$$

شاخص شیب رودخانه: SL

اختلاف ارتفاع بین ابتدا و انتهای مسیر: ΔH

طول مسیر مورد نظر: ΔL

L: طول آبراهه از مرز حوضه در بالادست آن ـ در امتداد آبراههٔ اصلی ـ تا نقطهٔ میانی مسیر مورد نظر.

هاگ (۱۹۷۳) همچنین دریافت برای یک رودخانه متعادل، نمودار نیمه‌لگاریتمی نیمرخ طولی به صورت یک خط مستقیم است که نیمرخ هاگ نامیده شده، و فرمول آن مطابق زیر است:

$$H= c-K \ln (L)$$

H: ارتفاع

L: طول افقی از خط تقسیم

C: مقدار ثابت

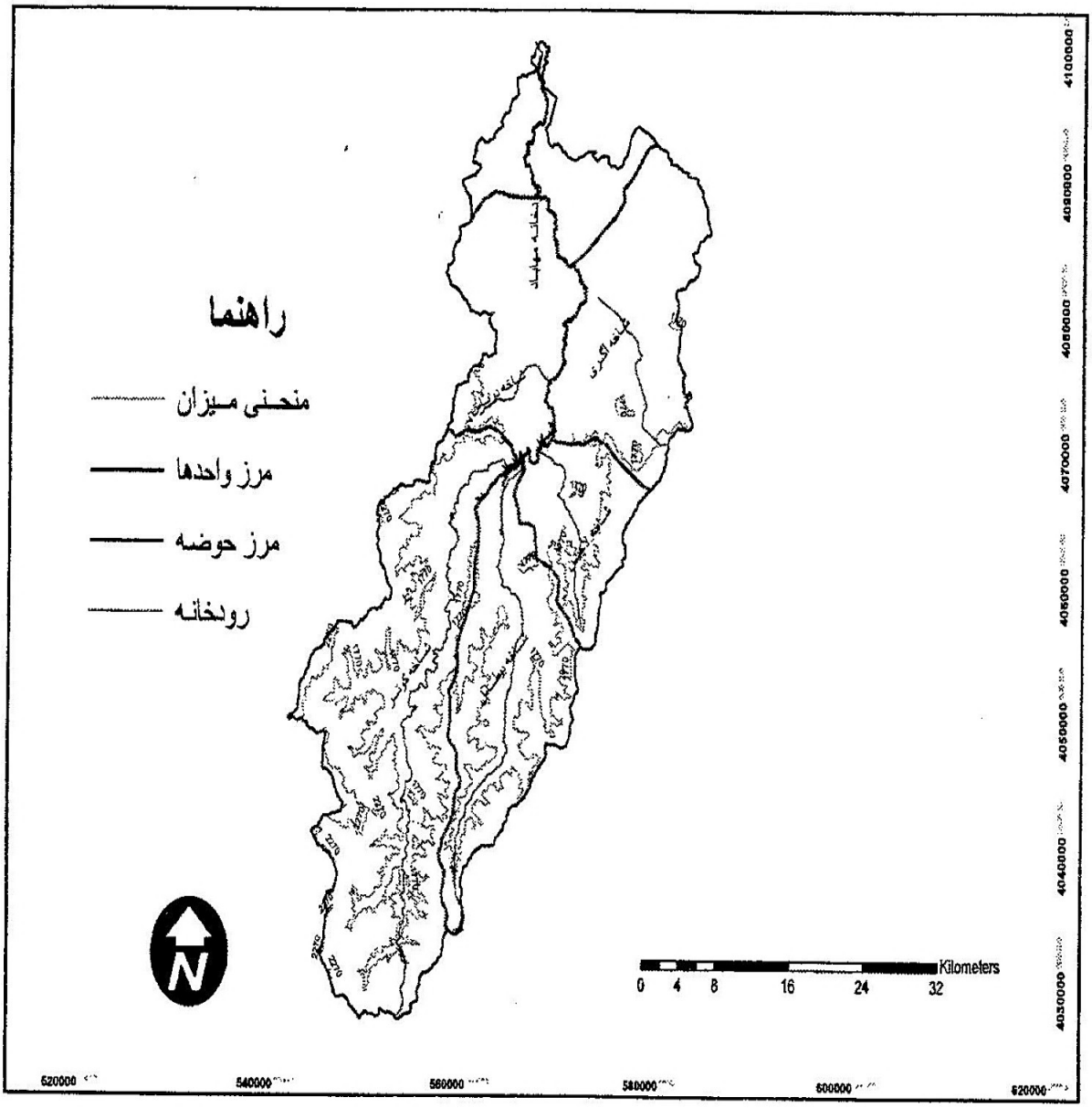
K : شیب خط که از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$K= (H_i- H_j)/(LnL_j- LnL_i)$$

که j و i دو نقطه در طول رودخانه می‌باشند.

شیب این خط در طول‌های مختلف شاخص K نامیده شده است، که برای تغییرات بستر مورد استفاده قرار می‌گیرد. بالا بودن مقدار K نشان‌دهندهٔ فعالیت تکتونیکی زیاد و یا مقاومت بالای سنگ بستر به فرسایش است و میزان پایین‌تر K نشان‌دهندهٔ توانایی بیشتر رودخانه برای تغییر بستر، و فعالیت کم تکتونیکی می‌باشد اما در حالت کلی ضریب بالای این شاخص نشان‌دهندهٔ فعالیت تکتونیکی است. اندازه‌گیری این شاخص و

شاخص SL اجازه محاسبه انحراف از نیمرخ طولی متعادل را خواهد داد. سیبر و گارنت[1] (۱۹۸۳) در یک محدوده‌ای در رودخانهٔ آسور[2] با تقسیم SL و شاخص قدرت رودخانه K مدلی تحت عنوان شاخص استاندارد (SL/K) ارائه نمودند، که با فعالیت تکتونیکی در ارتباط است. میزان بالای آن اغلب نشان‌دهندهٔ فعالیت بیشتر تکتوتیکی است.



شکل شماره (۲) نقشه اروهیدروگرافی حوضه آبریز رودخانه مهاباد

1- Seeber & Gornitz
2- Assor

تراکم زهکش

تراکم زهکش عبارت از نسبت طول جریان به مساحت می‌باشد که رابطهٔ آن به صورت زیر است:

$$D=L/A$$

D= شاخص تراکم زهکش

A = مجموع طول جریان به کیلومتر

L = مجموع مساحت به کیلومتر مربع

این شاخص بیانگر گسیختگی توپوگرافی است که می‌تواند مرتبط با تکتونیک، نوع سنگ بستر و میزان بارش باشد (Ritter، ۱۹۹۵: ۲۳۴). میزان بالای این شاخص نشان‌دهندهٔ فعالیت تکتونیکی بیشتر و برعکس میزان پایین آن نشان‌دهندهٔ گسیختگی کمتر و فعالیت تکتونیکی پاینتر است (Zavoianu ۱۹۸۵: ۱۳۵).

مدل فرسایش سنگ بستر (دیاگرام توزیع و اندازه درجه شیب- مساحت (S-A)، محاسبه میزان تقعر(θ))

نیمرخ طولی میتواند از طریق خط فرضی در مورد چگونگی تحول یک توده کوهستان به عنوان تابعی از بالاآمدگی و فرسایش اطلاعاتی فراهم آورد (Whipple، ۱۹۹۹: ۱۷۶۱). یکی از مشهورترین نگرش‌ها، آنالیز تحول نیمرخ طولی از طریق معادله توان رودخانه با چگونگی و میزان ابقاء توده کوهستان است (Howard، ۱۹۸۳: ۷۴۱). این مدل بر اساس تئوری تنش برشی استوار است. بر اساس آن وقتي که در امتداد رودخانه انرژی آب جاری سنگ بستر را برش می‌دهد توان فرسایش و عملکرد آن با سنگ بستر در ارتباط است که توانایی بریدگی بستر، تنش برشي τ_b نامیده می‌شود.

$$E = k_b \tau_b^a$$

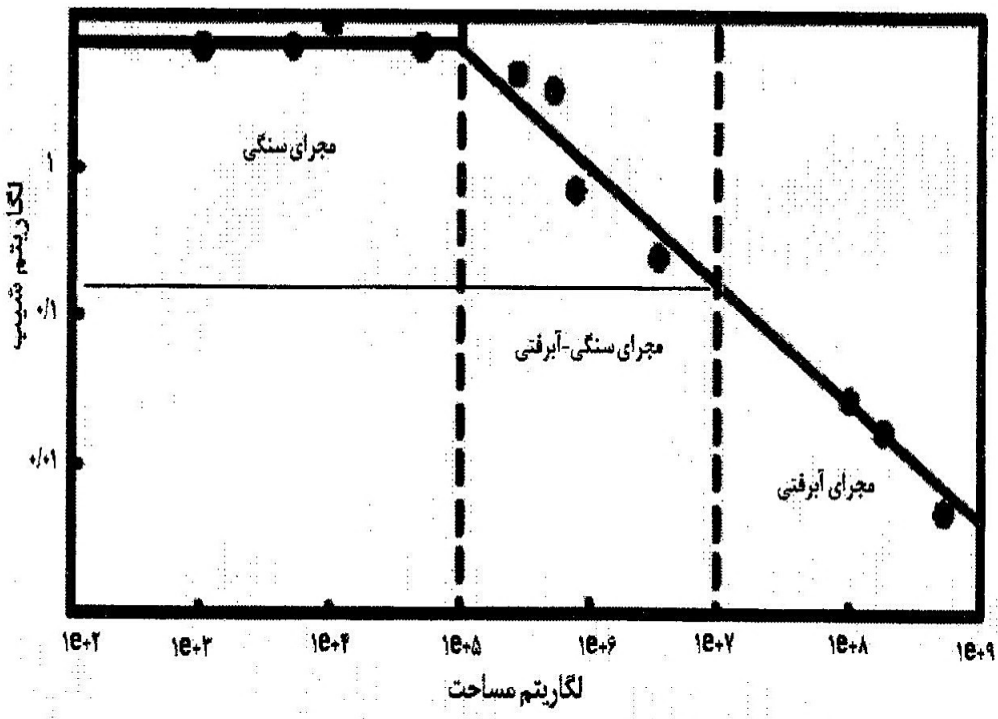
در این معادله E میزان کل فرسایش رودخانه، k_b ضریب بی‌بعد که تابع مقاومت لیتولوژیکی سنگ، مواد بستر رودخانه و اندازه مقطع عرض رودخانه و a ضریب ثابت است.

بر اساس مدل فوق، میزان کل فرسایش رودخانه (E) به وسیلهٔ مساحت بالا دست آبریز (A) و درجهٔ شیب محدوده (S) مطابق معادله زیر تعیین می‌شود (Snyder، ۲۰۰۰؛ Whipple، ۱۹۹۹؛ Anderson ، ۱۹۹۴؛ Howard ، ۱۹۸۳).

$$E = KA^m S^n$$

E میزان کل فرسایش (بریدگی بستر)، A مساحت بالادست حوضهٔ آبگیر (مساحت بالای جریان) S شیب رودخانه در محل و m و n پارامترهای تجربی هستند، K ضریب فرسایش می‌باشد که شامل: مقاومت لیتولوژیکی سنگ، مواد بستر رودخانه و اندازه مقطع عرض رودخانه است، به این ترتیب نشان‌دهندهٔ ارتباط بین فرسایش و قدرت جریان می‌باشد (Snyder ، ۲۰۰۰؛ Whipple، ۱۹۹۹) وقتي رودخانه به تعادل می‌رسد، میزان فرسایش با میزان بالاآمدگی سنگ بستر برابر است. رودخانه در این زمان می‌تواند شیب زیر را پیدا کند.

$$S_e=(U/K)^{1/n}A^{-m/n}$$



شکل شماره (۳) خطوط شماتیکی نشان‌دهندهٔ داده‌های شیب- مساحت در امتداد نیمرخ طولی

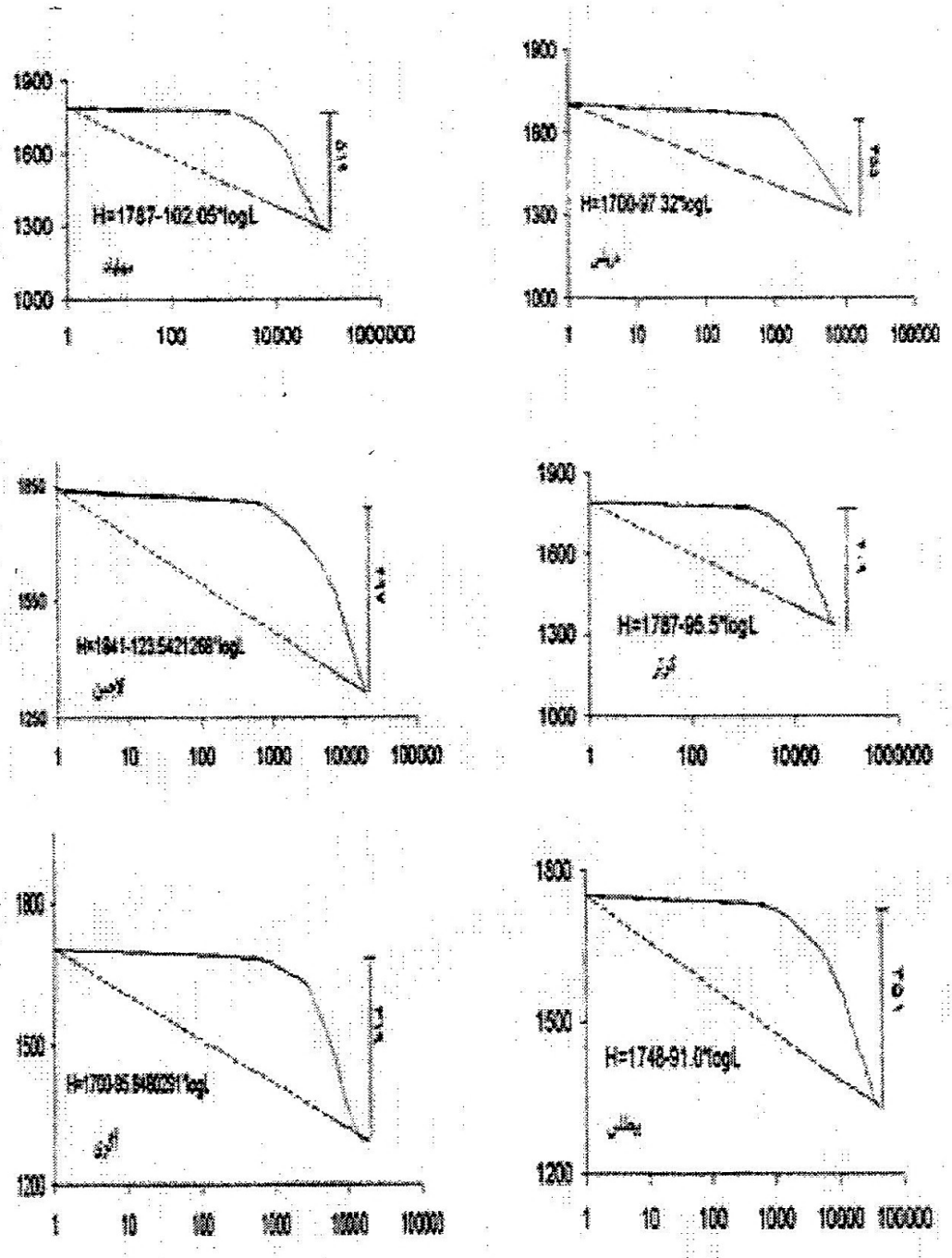
در معادله بالا، شیب رودخانه در حالت تعادل براي بخش مختلف رودخانه با شاخص تقعر ($A^{-\theta=m/n}$) برابـر است، این شـاخص مـی‌تواند مستقیماً از طریق ارتـباط بین داده‌های مساحت- شیب در پلات (لگاریتمی) به دست آید. که تشکیل خط مستقیمی داده که رگرسیون آن شاخـص تقعر (θ) را نشان مـی‌دهد (شکل۳). وپیل و تاکر (۱۹۹۹) به این نتیجه رسیدنـد که این شاخص با مـیزان بالاآمدگی ناشـی از تکتونیک ارتباط دارد.

بحث و بررسی

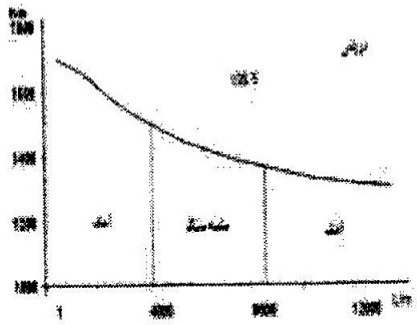
نیمرخ هاگ: نیمرخ هاگ یک شاخص ژئو- تکتونیکی است که اجازه تعیین فعالیت نسبی تکتونیکی را می‌دهد (Chen، ۲۰۰۶: ۵۶۴). این نیمرخ در مناطق با بالاآمدگی کم مقعر و در مناطقی که بین بالاآمدگی و فرسایش تعادل وجود دارد به صورت خط مستقیم، و در مناطق فعال که بالاآمدگی زیادی داشته‌اند محدب خواهد بود (Merritts، ۱۹۸۹). در این پژوهش برای رودخانه مهاباد و شاخه‌های اصلی نیمرخ هاگ ترسیم شده و این نتیجه حاصل شده به استثنای پایین دست شاخه آگری در تمام زیرحوضه‌ها نیمرخ هاگ محدب است (شکل ۴) که نشان‌دهندهٔ غلبهٔ فرایند تکتونیکی بر فرسایش می‌باشد.

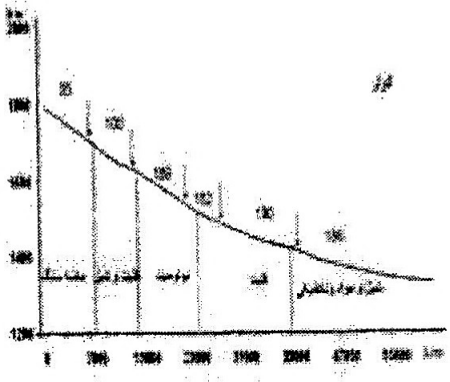
در محدوده آگری که در شرق حوضه قرار دارد تقعر در پایین‌دست، این محدوده را به عنوان تنها زیر حوضه‌ای که از لحاظ تکتونیکی ضعیف است و رودخانه توانایی بیشتری برای تغییر داشته است، معرفی می‌کند. میزان این تحدب در زیر حوضه‌های لاچین و کوتر نسبت به دیگر زیرحوضه‌ها بیشتر است (شکل ۴).

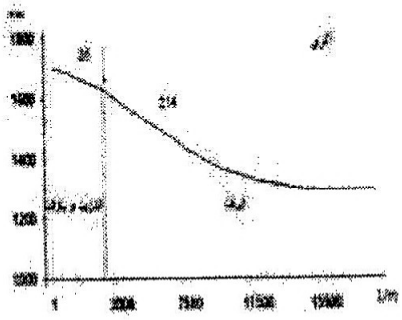
شاخص شیب (SL): این شاخص با فعالیت تکتونیکی ارتباط مستقیم دارد هر چه میزان این فعالیت بالاتر باشد نشان‌دهندهٔ فعالیت بیشتر تکتونیکی زیادتر در منطقه است. این شاخص به ترتیب برای لاچین (SL=۲۶۵)، کوتر (SL=۲۶۳)، بیطاس (SL=۲۰۹)، آگری (SL=۲۰۴) و دریاس (SL=۱۹۹/۵) به دست آمده است.

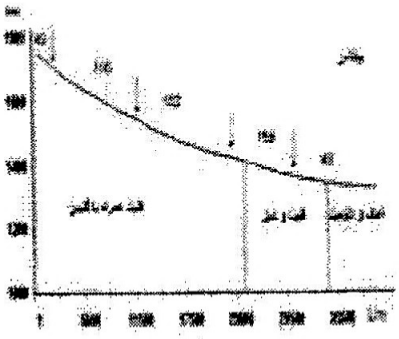


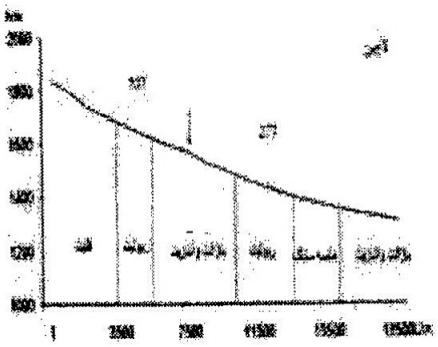
شکل (۴) نتایج ترسیم نیمرخ طولی و نیمرخ متعادل برای شاخه‌های مختلف رودخانه مهاباد، خطوط ممتد نیمرخ هاگ و خطوط منقطع نیمرخ متعادل را نشان می‌دهد؛ محور عمودی ارتفاع بر حسب متر و محور افقی طول شاخه از خط الراس تا مصب می‌باشد که لگاریتمی ترسیم شده است











شکل ۵: مقادیر شاخص شیب (۱) محاسبه شده برای زیر شاخه‌های اصلی رودخانه مهاباد، خطوط عمودی ترسیم شده بر روی نیمرخ طولی محل شکستگی‌ها را نشان می‌دهد.

میزان این شاخص در زیر حوضه‌های لاچین، کوتر و بیطاس که در جنوب و جنوب شرقی قرار دارند رقم بالایی نشان می‌دهد در حالی که در محدوده‌های شمالی رقم پایینی نشان می‌دهد. در زیر حوضه لاچین در بالادست میزان این شاخص نسبتاً کم (۱۳۷) و در محدوده پایین دست میزان این شاخص بسیار بالا (۲۷۷) است (شکل ۵). افزایش این شاخص در پایین دست منطبق با گسلی است که به طول ۱۰ کیلومتر از زیر حوضه کوتر عبور و از شرق شهر مهاباد به طور عمودی این زیر حوضه را قطع می‌کند (شکل، ۱). از جمله شواهد این گسل در طبیعت اسکرهای تراورتن می‌باشد که در پایین دست سد مهاباد دیده می‌شود. چنین ویژگی، (افزایش در پایین دست) نشان‌دهندهٔ بالاآمدگی نسبتاً بالا است (Bull، ۲۰۰۷: ۵۸). در محدوده آگری نیز در بالادست میزان این شاخص کم (۳۵) و در محدودهٔ پایین دست میزان این شاخص بسیار بالا (۲۱۴) است (شکل ۵)، که تغییر این شاخص منطبق با تفاوت مقاومت لیتولوژی است در بالادست این جریان با روانه‌های بازالتی و در پایین دست نهشته‌های آبرفتی دوران چهارم همراه می‌باشد (شکل ۱). شاخص شیب SL در مجموع زیر حوضه بیطاس و کوتر نسبتاً بالا و در بخش‌های بالادست متغیر است. چنین ویژگی حاکی از حرکات زمین ساختی متوسط است (Bull، ۲۰۰۷: ۶۱).

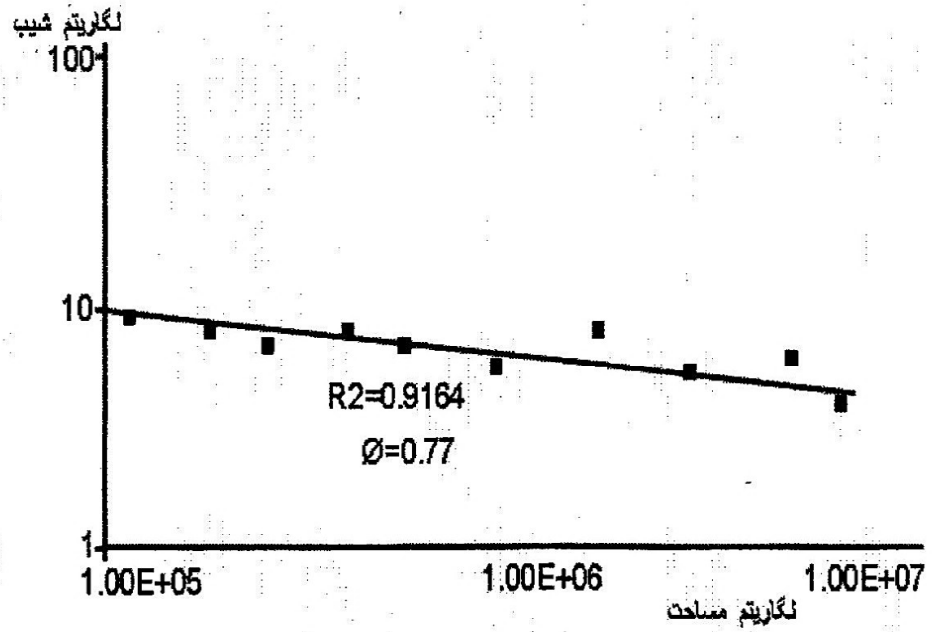
جدول شماره (۱) مقادیر شاخص‌های ژئو تکتونیکی محاسبه شده برای شاخه‌های اصلی حوضه آبریز رودخانه مهاباد

محدوده / شاخص	دریاس	کوتر	بیطاس	لاچین	آگری
شاخص گرادیان	۱۹۹/۵	۲۶۳	۲۰۹	۲۶۵	۲۰۴
شاخص استاندارد شده	۲/۰۴	۳	۲/۲۹	۲/۱۴	۲/۱۳
تراکم زهکش	/۴۵	/۷۶	/۸۵	/۷۵	/۴

شاخص استاندارد شده SL/k: این شاخص به ترتیب مقادیر زیر برای کوتر (۳)، بیطاس (۲/۲۹)، لاچین (۲/۱۴) ،آگری (۲/۱۳) و دریاس (۲/۰۴) نشان می‌دهد. در محدوده‌هایی که در جنوب و جنوب شرقی قرار گرفته‌اند، این شاخص نسبت به محدوده‌های شمال و شمال شرقی مقدار بالاتری نشان می‌دهد (جدول ۱ وشکل ۵).

نتایج شاخص تراکم زهکش برای محدوده‌های بیطاس (۸۵/)، کوتر (۷۶/)، لاچین (۷۵/)، دریاس (۴۵/) و آگری (۴۰/) می‌باشد. بالا بودن این شاخص در محدوده بیطاس به نظر می‌رسد ناشی از گسترش زیاد رسوبات شیل که سازندی نفوذناپذیر است، می‌باشد (شکل۱).

شاخص تقعر: برای تعیین اهمیت نسبی تکتونیک بر اساس شاخص تقعر، برای حوضه آبریز مهاباد، ابتدا مجرای اصلی به مجاری سنگی، سنگی- آبرفتی و آبرفتی تقسیم شده است. مجاری سنگی – آبرفتی، شامل مجاریی می‌باشد که سنگ بستر ۵ تا ۶۰ درصد از مجموع مساحت بستر را بپوشانده است. اغلب در محدوده سنگی بستر تنگ و در محدودهای آبرفتی بستر پهن است (Howard، ۱۹۹۸: ۲۹۰-۲۹۸)، که این قسمت از قسمت‌های دیگر بستر، جدا شده است. رگرسیون مساحت- شیب آن به شرح شکل۵ است. با استفاده از G.P.S و اندازه‌گیری میدانی مشخص شد که این نوع مجرا شامل محدوده $10^5 m^2 - 10^7 m^2$ می‌شود. ساندر (۲۰۰۰)، ویپل (۱۹۹۹) و ویپل (۲۰۰۴) نیز در مطالعات خود چنین محدوده‌ای را برای این مجاری تشخیص دادند.



شکل شماره (۶) رگرسیون شیب ـ مساحت حوضه آبریز رودخانه مهاباد

نتایج شاخص تقعر در حوضه‌های مختلف محدوده‌ای بین ۱/۲ – ۰/۳ را نشان می‌دهد (Whipple، ۲۰۰۴؛ Snyderet، ۲۰۰۰؛ Kirby ، ۲۰۰۳). در محدودهٔ مورد مطالعه میزان آن θ =۰/۷۷ است که نشان‌دهندهٔ تقعر بالا است، چنین تقعری حاکی از عدم تعادل می‌باشد. نبود تعادل در نیمرخ طولی از ویژگی رودخانه‌هایی که کاهش موقتی در میزان بالاآمدگی در پایین دست مجرا و مقاومت سنگ داشته باشند (Kirby، ۲۰۰۳: ۱۳-۱۲؛ Whipple، ۲۰۰۴: ۱۶۱؛ Kirby، ۲۰۰۱: ۱۷) که سبب می‌گردد، محدودهٔ پایین دست به حالت کاملاً آبرفتی تبدیل شوند (Whipple، ۲۰۰۴: ۱۶۱).

نتیجه‌گیری

مطالعه نیمرخ طولی رودخانه نشان می‌دهد که بررسی شاخص‌های مرتبط با شیب و شکل رودخانه شواهد ژئومورفولوژیکی خوبی برای آشکار نمودن ویژگی‌های تکتونیکی است. بویژه اگر نتایج چند شاخص با هم تلفیق شود زیرا در این حالت از تأثیر پارامترهای دیگر کاسته می‌شود. با کمی اغماض، بر اساس محاسبه شاخص‌ها نیمرخ هاگ، شاخص SL و نتایج حاصل حوضه آبریز رودخانه مهاباد در جنوب غربی حوضه نسبت به قسمت‌های شمال شرقی از فعالیت تکتونیکی و پتانسیل لرزه‌خیزی بالاتری برخوردارند. بر اساس شاخص تقعر (θ=۰ /۷۷)، حوضهٔ آبریز رودخانه مهاباد در یک حالت نامتعادل قرار دارد، که در آن فرسایش و بالاآمدگی برابر نیست. در این حوضه، بویژه در محدوده‌های در جنوب و جنوب غربی، بالاآمدگی ناشی از تکتونیک بر فرسایش تفوق دارد و در حال حاضر مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر ژئومورفولوژی محدوده می‌باشد. محدودهٔ شمالی حوضه از بالاآمدگی کمتری نسبت به جنوب آن برخوردار است. به ویژه در بخش شمال شرقی که در نیمرخ هگ ترسیم شده، نیز دیده می‌شود. نبود تعادل می‌تواند ناشی از گسل‌های فعالی باشد که در شاخاب‌های حوضه وجود دارد. چنین ویژگی، کاهش میزان فعالیت تکتونیکی از جنوب غربی به شمال شرق و عبور گسل پیرانشهر به فاصله از جنوب و جنوب شرقی منطقه، تأثیرپذیری و ارتباط فعالیت تکتونیکی این حوضه با زون بسیار فعال گسل پیرانشهر و منطقه خرد شده زاگرس، را نشان می‌دهد.

منابع

۱ـ حقی‌پور، نگار (۱۳۸۶)، «بررسی ریخت زمین ساختی گستره کپه‌داغ ـ بینالود بر پایه شاخص‌های شیب شیب رود و هیپسومتری»، ***نشریه علوم زمین***، شماره ۶۴.

۲ـ زارع، مهدی (۱۳۷۱)، «معرفی گسل سد مهاباد»، ***نشریه عمران***، دانشگاه صنعتی شریف، شماره هشتم.

3- Anderson, R.S., (1994), "The Growth and Decay of the Santa Cruz Mountains", ***Journal of Geophysical Research***, 99: 20161-20180.

4- Bishop, P., T.B. Hoey., J.D. Jansen and I.L. Artza, (2005), "Knickpoint Recession Rates and Catchment Area: The Case of Uplifted Rivers in Escotland", ***Earth Surface Processes and Landforms***, 30: 767-778.

5- Bull, W.B., (2007), "***Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleseismology***", Blackwell, 316.

6- Chen, Y. Ch., Q.Ch. Sung., Ch.N. Chen and L.C. Kuo, (1997), "Velocity Field of GPS Stations in the Taiwan Area", ***Tectonophysics***, 274, 41-59.

7- Demoulin, A. (1998), "Testing the Tectonic Significance of Some Parameters of Longitudinal River Profiles: The case of the Ardenne (Belgium, NW Europe)", ***Geomorphology***, 24, 189- 208.

8- Elektroprojekt Consulting Engineers -ZAGREB-Yugoslavia, (1964), "***Ministry of Water and Power Azerbaijan: Water and Power Authority Final Hydrogeological Report of Mahabad Plain and Shahpur***", Vol. 1and 2.

9- Goldrick, G. and P. Bishop, (1995), "Differentiating the Roles of Lithology and Uplift in the Steepening of Bedrock River Long Profile: An Example from Southeastern Australia", ***Journal of Geology***, 103: 227-241.

10- Goldrick, G. and P. Bishop, (2007), "Regional Analysis of Bedrock Stream Long Profiles: Evaluation of Hack's SL form, and