فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره اول، بهار ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱۱۲

مجتبی یمانی، استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران
هیوا علمیزاده، استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

M. Yamani
H. Elmizadeh
Email: myamani@ut.ac.ir

شماره مقاله: ۹۳۷ **صص:۲۲-۹**
وصول: ۹۱/۱۱/۲۵ **پذیرش: ۹۲/۸/۱۵**

تاثیر نوزمین ساخت در مورفولوژی شبکه زهکشی حوضه آبخیزنچی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتریک

چکیده

شاخص‌های ژئومورفیکی از ابزارهای مفید در ارزیابی و شناسایی آثار فعالیت‌های زمین‌ساختی نسبتا سریع و یا حتی کند به‌شمار می‌آیند. از آنجا که مورفولوژی و رفتار شبکه‌های زهکشی به تغییرات حاصل از فعالیت‌های زمین‌ساختی بسیار حساس است؛ به نظر می‌رسد وجود شواهدی مانند عبور از خط گسلی و تغییرات عرض بستر رودخانه متاثر ازحرکات نئوتکتونیکی فعال در حوضه نچی(قزلچه‌سو) باشد. از این‌رو، برای شناخت نحوه عملکرد و میزان اثرگذاری فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در مورفولوژی و رفتار این رودخانه با اتکا به یافته‌های میدانی از شاخص‌های مورفومتریک مانند SL, Hi, S, Vf, Br, AF, P و Smf به‌عنوان تکنیک‌های مدلی و مفهومی استفاده شده است. عکس‌های - هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی سایر ابزارهای فیزیکی این تحقیق را تشکیل داده‌اند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده ها در قالب شاخص های ژئومورفیکی و با استفاده از ابزارهای مذکور نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه به‌شدت از فعالیت‌های نئوتکتونیک تاثیر پذیرفته است؛ با این تفاوت که میزان تاثیرگذاری این حرکات در تمامی زیر حوضه‌ها یکسان نبوده؛ به طوری که در قسمت‌های شمالی(زیرحوضه انجیران) تاثیر این فعالیت ها بیشتر است. بدیهی است، ارزیابی واکنش رودخانه به‌منظور دستیابی به روشی برای تعیین میزان پایداری آبراهه می‌تواند اطلاعات پایه را برای مطالعات آمایش سرزمین فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌زهکشی، نئوتکتونیک، شاخص‌های ژئومورفیک، مورفوتکتونیک، حوضه‌نچی

مقدمه

شبکه‌های زهکشی به اشکال مختلف نسبت به وقوع تغییرات در بستر جریان عکس‌العمل نشان می‌دهند. تشکیل پادگانه‌های رودخانه‌ای، تغییر نیمرخ طولی و مقطع عرضی، برش‌بستر و همچنین جابه‌جایی‌های جانبی در مسیر جریان رودخانه‌ها، از جمله این واکنش‌ها محسوب می‌شوند که عمدتا ناشی از تکتونیک بوده، با استفاده از شاخص‌هایی مانند گرادیان طولی رودخانه[1]، عدم تقارن حوضه زهکشی[2]، پیچ و خم پیشانی کوهستان[3]، انتگرال هیپسومتریک[4]، انشعاب-

1- Stream Length-gradient index (SL)

Archive of SID
www.SID.ir

پذیری[5]، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره[6]، ضریب سینوسیته[7] و تراکم شبکه زهکشی[8] می‌توان اطلاعات بسیار مهمی را درباره فعالیت‌های نئوتکتونیکی به‌دست آورد. از این نظر، در بررسی‌های تکتونیک منطقه‌ای، به‌کارگیری و توجه به نتایج حاصل از به‌کارگیری آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج حاصل از شاخص‌های ژئومورفیک به‌خصوص در مواردی که تحلیل‌ها برروی مسیر جریان رودخانه‌ها متمرکز شده است، ابزار مهمی برای ارزیابی درجه فعالیت‌های تکتونیکی و تشخیص مناطق با دگرشکلی تکتونیکی به‌شمار می‌روند. اندازه‌گیری‌های کمی امکان مقایسه و ارزیابی لندفرم‌ها را تسهیل نموده و با محاسبه الگوها و شاخص‌های ژئومورفیک، می‌توان میزان فعالیت تکتونیک یک منطقه را ارزیابی و به تشخیص توصیفی از محدوده اقدام نمود.

برای تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیکی درحوضه‌های آبخیز با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتریک تحقیقاتی انجام‌شده، در این میان *کرزیسکوویچ و همکاران*[9] (۲۰۰۰) تشکیل پادگانه‌های یخچالی رود *نیسا کودزکای*[10] لهستان و *لاتروبس و آلسورانسی*[11] رسوب‌گذاری در قسمت‌های جنوب غربی رودخانه آمازون را ناشی از فعالیت‌های نئوتکتونیک ارزیابی نمودند. *روس‌جی و همکاران*[12] (۲۰۰۲) با سن‌سنجی رسوبات، تکامل رودخانه *نورفولک*[13] انگلستان را در دوره اخیر زمین‌شناسی و در ارتباط با فعالیت‌های نئوتکتونیک بررسی نمودند. *فورتس و همکاران*[14] (۲۰۰۵) تکامل آبراهه‌های فرعی بالادست رودخانه *پرانا*[15] در برزیل را ناشی از تکتونیک فعال دانستند. *پتروسکی و تیمار*[16] (۲۰۰۹) با تجزیه و تحلیل شاخص S، نقش گسلش را در تکامل و شکل‌گیری کانال رودخانه *کوروس*[17] واقع در مرز رومانی و مجارستان مؤثر دانستند. همچنین، *لاتروبس*[18]، *شارما و راجامانی*[19] (۲۰۰۰)، *اسکورل و ولدکمپ*[20] (۲۰۰۳)، *سریواسترا و میسر*[21] (۲۰۰۸) پژوهش‌های ارزشمندی در این رابطه به انجام رسانیدند. از میان دیگر محققان، کرمی و رجایی‌اصل(۱۳۸۳)، مختاری(۱۳۸۴)، گورابی و نوحه‌گر(۱۳۸۶)، وحدتی(۱۳۸۶)، مفاخریان(۱۳۸۶)، مقصودی و کامرانی(۱۳۸۷)، یمانی، مقیمی و تقیان(۱۳۸۷) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به بررسی اثر فعالیت‌های تکتونیکی بر مورفولوژی سامانه رودخانه‌ای پرداختند و این شاخص‌ها را ابزاری مفید در این زمینه ارزیابی نمودند. دراین پژوهش به منظور بررسی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه نچی و تاثیر آن بر ویژگی‌های شبکه زهکشی، سعی

2- Drainage Basin Asymmetry (Asymmetric Factor)
3- Mountain front sinuosity (Smf)
4- Hypsometric Integral (Hi)
5- Bifurcation ratio(Br)
6- Ratio of valley floor width to valley height(Vf)
7- Sinuosity(S)
8- Drainage Density(P)
9- Krzyszkowski.D,et.al
10- Nysa Kodzka River
11- Latrubesse.E, Alceu Rancy.A
12- Rose.J,et.al
13- Norfolk
14- Fortes.E,et.al
15- Parana
16- Petrovszki.J, Timár.G
17- Koros
18- Latrubesse.E.
19-Sharma.A, Rajamani.V.
20- Schoorl, J. M., Veldkamp, A.
21- Srivastava.P, Misra D. K.

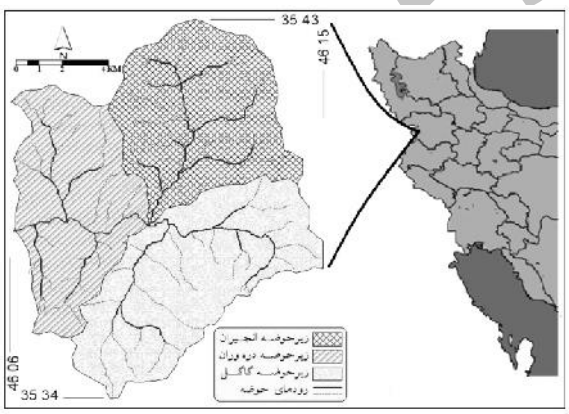
Archive of SID

www.SID.ir

شده است که از مهم‌ترین شاخص های ژئومورفیک استفاده شود و نتایج حاصل از آنها در سطح حوضه مورد مقایسه قرارگیرد. رابطه الگوی زهکشی محدوده با فعالیت‌های نئوتکتونیک کواترنر، موضوع اصلی این تحقیق است و تغییرات مورفولوژی رودخانه قزلچه‌سو و ارتباط آن با عملکرد فعالیت‌های نئوتکتونیک بررسی شده‌است.

حوضه مورد مطالعه

حوضهٔ نچی در ۱۱ کیلومتری شمال شهرستان مریوان واقع‌شده و به سه واحد هیدرولوژیک انجیران، گاگل و دره-وران تقسیم شده‌است(شکل۱ و جدول۱). متوسط ارتفاع حوضه ۱۶۷۰متر، پایین‌ترین نقطه ارتفاعی‌آن ۱۳۲۰ متر در خروجی حوضه و بالاترین نقطه ارتفاعی در شمال‌شرقی حوضه با ۲۵۰۲ متر ارتفاع از سطح دریاست. شیب متوسط حوضه ۳۱/۱۸ درصد و جهت شیب عمومی روبه غرب است و ۱۴۴کیلومترمربع مساحت دارد. از نظر اقلیمی در منطقه سرد و مرطوب واقع شده و۱۰۰روز سال دارای یخبندان است. میانگین بارش آن ۹۹۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۳/۸درجه سانتیگراد است. شکل حوضه از نوع درختی و رودخانه اصلی آن با شیب متوسط ۴ درصد، ۱۶/۸ کیلومتر طول دارد.



شکل۱) حوضه آبخیز مورد مطالعه در استان کردستان

جدول ۱) ویژگی‌های حوضه مورد مطالعه

زیرحوضه	انجیران	گاگل	دره وران	کل حوضه
مساحت به کیلومتر مربع	۴۷,۱۷	۴۲,۹۷	۵۴,۰۸	۱۴۴,۲۲
محیط به کیلومتر	۳۰,۹۰	۳۵,۳۰	۳۲,۵۴	۵۵,۱۹

داده‌ها و روش پژوهش

در این پژوهش برای سهولت و امکان انجام محاسبات و مقایسه نتایج حاصل از به‌کارگیری شاخص‌های مورفوتکتونیکی، حوضه نچی به سه زیرحوضه تقسیم شده‌است(شکل۱). سپس با استفاده از این شاخص‌ها، اثر فعالیت-های تکتونیکی بر دره‌ها و مسیر رودخانه‌ها بررسی شده‌است. برای نیل به این هدف در مرحله نخست، مهم‌ترین

www.SID.ir

شاخص‌های ژئومورفیک مانند SL, Hi, S, Vf, Br, AF, P و Smf برای تشخیص تکتونیک فعال منطقه، از روی نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی منطقه اندازه‌گیری شده و برای برقراری ارتباط میان حرکات زمین‌ساختی و شبکه زهکشی، داده‌های زمین‌شناسی و ژئومورفیک لازم از طریق تفسیر نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و به ویژه بازدیدهای میدانی مکرر به‌دست آمد. در مرحلهٔ بعدی این تحقیق، شواهدی از اثرهای نوزمین‌ساخت در شبکه زهکشی منطقه آورده و به روش تحلیلی- مقایسه‌ای و با استفاده از تکنیک‌های ژئومورفولوژی به تجزیه و تحلیل نئوتکتونیک در حوضه نچی پرداخته شده است. به این منظور، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ به سیستم اطلاعاتی GIS در محیط ArcGIS(9.3) انتقال داده شده و با استفاده از آن لایه‌هایی مانند شبکه‌زهکشی، شیب، مدل رقومی ارتفاع[۲۲] و TIN استخراج گردید و با استفاده از نقشه زمین شناسی منطقه، لایه‌های خطی گسل‌ها و سازندهای تشکیل‌دهنده بستر رودخانه مورد مطالعه استخراج و به لایه‌های فوق اضافه گردید. سپس نتایج حاصله تجزیه و تحلیل شده‌اند. در ادامه، با توجه به مقادیر شاخص‌های تکتونیکی به‌دست‌آمده، مورفولوژی رودخانه در محدوده مورد مطالعه از نظر میزان فعالیت تکتونیک نسبی ارزیابی و تجزیه و تحلیل شده‌است.

یافته‌های پژوهش

لرزه- زمین‌ساخت و تحول ساختمانی حوضه

حوضه نچی جزء کوچکی از قلمرو شمالی زون دگرگونی سنندج- سیرجان است. با مطالعه ناهمواری‌های موجود از طریق عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات میدانی می‌توان آثار حرکات زمین‌ساختی را شناسایی نمود. شواهد زمینی نشان می‌دهند که محور ساختمانی تغییر شکل‌ها در امتداد شمال‌غربی- جنوب‌شرقی؛ یعنی موازی با جهت ناهمواری‌های زاگرس شکل گرفته‌اند، اما گسل‌های فرعی غالباً روند شرقی- غربی دارند. علاوه بر دگرگونی سازندهای قدیمتر، تغییرشکل‌های محلی بر اثر ایجاد گسل‌های متعدد هم قابل ذکر است. روندهای ساختاری حوضه تابع روندهای حاکم بر زون ساختاری سنندج- سیرجان، شمال‌غرب- جنوب‌شرقی است و گسل‌هایی که عمود بر امتداد مذکور هستند نیز تابع نیروهای حاکم بر سیستم و روند اصلی هستند. عناصر ساختاری شامل چین، گسل، درزه و ساختمان‌های حاصل از فعالیت‌های ماگمایی، در بخش‌های مختلف موجب تنوع مورفولوژی در منطقه شده‌اند. این عناصر ساختاری عوامل کنترل‌کننده شکل ظاهری زمین بوده و همچنین، فرایندهای فرسایشی و ژئومورفیکی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ به‌طوری که عوامل طبیعی فرساینده نظیر شبکه زهکشی اغلب در مسیرهای خاصی که توسط این عناصر به‌وجود آمده‌اند، روان هستند. بزرگترین گسلی که از نزدیکی حوضه نچی می‌گذرد، گسل زاگرس است. فروافتادگی دریاچه زریوار در جنوب غربی حوضه که کشیدگی آن به موازات روند زاگرس است، از نتایج عملکرد این گسل است. این فروافتادگی بر حوضه نچی تأثیر گذاشته است. مشاهدات زمین‌شناسی حرکات راست گرد گسل زاگرس را تایید می‌کند و احتمالاً این حرکات باعث انحنای لایه‌های شیلی و آهکی حاشیه آبراهه‌ها و رودخانه‌های داخل حوضه شده است. مطابق (شکل۲) در حوضه نچی سه گسل اصلی وجود دارد که در آن دو سیستم گسلی تقریباً عمود بر هم دیده می‌شود که بر

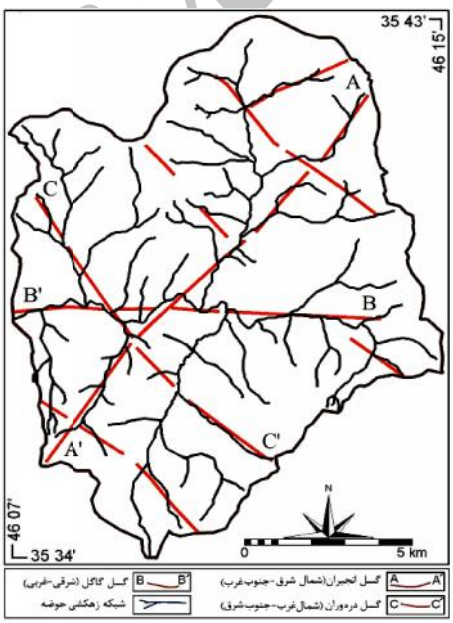
22-DEM(Digital Elevation Model)

Archive of SID

www.SID.ir

مسیر آبراهه‌های اصلی منطبق است. اولین گسل مهم و بزرگ حوضه از نظر طول گسل انجیران با امتداد شمال‌شرق – جنوب‌غرب و طول ۱۴ کیلومتر است. حرکت این گسل نرمال و راست‌گرد است و از دره شمال روستای انجیران شروع و به روستای محمده واقع در جنوب حوضه ختم می‌شود. این گسل در خارج از حوضه به طرف جنوب ادامه داشته، به زیر دریاچه زریوار می‌رسد. احتمالاً راست‌گرد بودن این گسل به علت ارتباط مستقیم آن با گسل زاگرس است. دومین گسل مهم حوضه از نظر طول، گسل گاگل با امتداد شرقی - غربی و طول ۱۱ کیلومتر است. حرکت آن نرمال، ولی چپ‌گرد است. این گسل از دره شرق گاگل شروع و به خروجی حوضه ختم می‌شود و احتمالاً در زیر دشت قزلچه سو ادامه دارد. گسل گاگل از گسل انجیران جوانتر است، زیرا آن‌را قطع و جابه‌جا نموده، همچنین انحنای لایه‌های کنار آبراهه آن مؤید این قضیه است. سومین گسل حوضه، گسل دره‌وران با امتداد شمال‌غربی – جنوب‌شرقی و طول ۶ کیلومتر است. تمامی چین‌های مجاور آبراهه‌های منطبق بر این گسل‌ها، دارای انحنای مشخصی هستند که حرکت آنها را تایید می‌کند؛ به‌طوری که در برخی از نقاط(شرق و مرکز حوضه)، آبراهه‌ها در مسیر گسل‌ها قرار گرفته‌اند(شکل۲).

از نظر لرزه‌خیزی حوضه نچی جزو کمربند غربی و جنوب‌غربی ایران(زاگرس) است که دارای فرکانس بالایی بوده و حدود۵۱ درصد از زمین‌لرزه‌های یکصد سال اخیر ایران را دربرداشته است(آرین و هاشمی،۶۵:۱۳۸۷). ثبت زلزله‌های تاریخی در این منطقه از وقوع زلزله‌های فراوان حکایت دارد که بیشتر این زلزله‌ها دارای کانون سطحی و در عمق صفر تا ۵۰ کیلومتری رخ داده‌اند. با توجه به توزیع آماری زمین لرزه‌های ثبت شده تا شعاع ۳۵ کیلومتری مرکز حوضه، مقدار شتاب ثقل افقی زمین در این گستره برای زمین لرزه‌های به بزرگی ۶/۵ تا ۶ ریشتر برای یک‌دوره ۵۰ ساله محاسبه شده و شتاب افقی برابر با ۰/۴۱ و شتاب قائم برابر با ۰/۲۶۵ با احتمال ٪۵۰ = R برآورد شده است (علمی‌زاده،۱۷:۱۳۸۵).



شکل۲) نقشه ارتباط گسل‌ها با شبکه زهکشی در محدوده مورد مطالعه

Archive of SID

www.SID.ir

شاخص‌های ژئومورفولوژیک

شاخص گرادیان طولی رودخانه[۲۳](SL):

این شاخص که نشان‌دهنده تغییر ارتفاع و معرف طول کانال است، برای مسیر مشخص شبکه زهکشی بر اساس رابطه زیر محاسبه و مشخص می‌شود:

$$SL = (\Delta H / \Delta L).L \quad (۱$$

که در آن، SL شاخص گرادیان طولی رود؛ ΔH اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه گیری شده و ΔL فاصله افقی بین دو نقطه اندازه گیری شده؛ وL طول رودخانه از نقطه اندازه‌گیری شده تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است.

بالا بودن مقدار این شاخص، نشان‌دهنده مناطق با فعالیت تکتونیکی بالا و قدرت فرسایشی شدید آبراهه‌ها و مقدار پایین آن مناطق با فعالیت کم را نشان می‌دهد. این شاخص با قدرت رود ارتباط دارد و به تغییرات شیب رودخانه نیز بسیار حساس است. این حساسیت، شرایط لازم برای ارزیابی مقدار ارتباط فعالیت تکتونیکی با مقاومت سنگ و توپوگرافی را فراهم می‌کند. نیروی قابل دسترس رود در یک محدوده مشخص کانال، متغیر هیدرولوژیکی مهمی است؛ زیرا به توانایی یک رود در فرسایش کف بستر آن و همچنین، حمل مواد حاصل از فرسایش ارتباط دارد. این نیرو متناسب با شیب سطح آب و دبی است که ارتباط زیادی با شیب کانال دارد.

جدول۲) مقادیر میانگین شاخص SL در حوضه آبخیز نچی

زیرحوضه‌ها	نقطه میانی	Δh(m)	ΔL(m)	L(m)	SL
انجیران	۱۹۲۰,۵	۱۱۶۳	۹۹۱۴	۸۷۸۴	۱۰۳۰,۴
گاگل	۱۷۴۵	۶۹۴	۹۸۹۶	۴۹۶۸	۳۴۸,۵
دره‌وران	۱۸۰۵	۹۷۰	۱۶۸۱۲	۱۱۴۹۲	۶۶۳,۱
کل حوضه	۱۹۱۱	۱۱۸۲	۱۶۸۱۲	۱۱۴۹۲	۸۰۷,۹

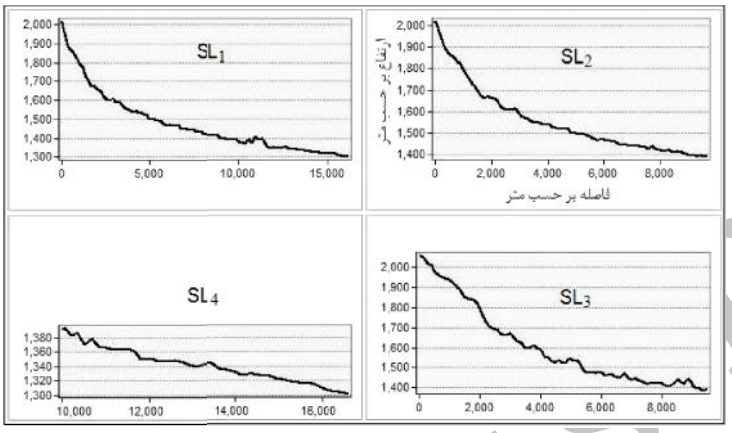
شکل۳ مقادیر شاخص SL را در امتداد نیمرخ طولی رود قزلچه‌سو نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، روند این شاخص در طول مسیر با شیب یکسانی تداوم ندارد، بلکه در قسمت‌های مختلف مسیر با تغییر همراه است(مقادیر میانگین شاخص در جدول۲ نشان داده شده‌است). بررسی‌های میدانی و داده‌های زمین شناسی نشان می‌دهد که شاخص SL به ساختمان سنگ‌شناسی بسیار حساس است. مقادیر بالای SL در حوضه نچی، به‌ویژه در زیرحوضه انجیران که به ۱۰۳۰ می‌رسد، حاکی از بالاآمدگی و فعالیت‌های شدید تکتونیکی در منطقه است. تغییر قابل توجه SL۱ (مربوط به کل حوضه) در کیلومتر۱۲ ناشی از تغییر لیتولوژیکی بستر رودخانه در تقاطع گسل دره‌وران و گسل انجیران است. گسلی‌شدن مسیر آبراهه در این قسمت باعث افزایش شاخص شده‌است. شیب زیاد نیمرخ طولی در ابتدای مسیر SL۱ و SL۲ ناشی از وجود سازند ولکانیکی(آندزیت) در بخش‌های شمالی حوضه است. تغییر ناگهانی شیب نیمرخ طولی آبراهه در SL۳ در کیلومتر ۲ نیز به‌علت برخورد به سنگ‌های سست و فرسایش پذیر شیل است. همچنین، تغییرات شیب ملایم در SL۴ به علت وجود سازندهای سست آبرفتی در انتهای حوضه است. بررسی‌ها و مطالعه شاخص

23- Stream Length-gradient index

Archive of SID

www.SID.ir

گرادیان طولی رود در حوضه نچی، وجود ارتباط بین سنگ‌های مقاوم و شاخص گرادیان طولی رود را اثبات می‌کند و از طرف دیگر، لندفرم‌های زمین با مقاومت سنگ‌ها تطابق خوبی دارد.



شکل۳) نیمرخ طولی رودخانه قزلچه‌سو به‌همراه مقادیر شاخص SL(شماره ۱تا۴ به‌ترتیب مربوط به کل‌حوضه، زیرحوضه‌های انجیران، دره‌وران و گاگل است)

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی[۲۴](AF):

این شاخص برای تجزیه وتحلیل وجود کج‌شدگی تکتونیکی در حوضه‌های زهکشی ارزیابی می‌شود. در مناطقی که شبکه زهکشی بر اثر تغییر شکل‌های تکتونیکی توسعه پیدا می‌کند، شبکه زهکشی اغلب دارای شکل هندسی و الگوی متمایزی است. شاخص عدم تقارن از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$AF = 100(Ar / At) \quad (۲$$

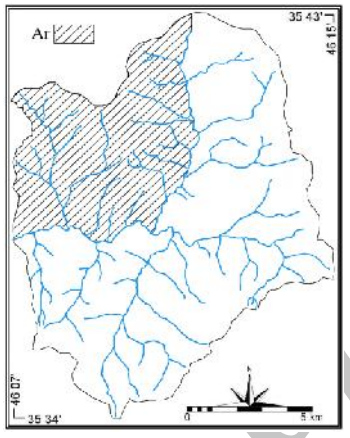
در رابطه فوق Ar مساحت قسمت راست حوضه(در جهت پایین‌رود) نسبت به رود اصلی و At مساحت کل حوضه زهکشی است. برای شبکه‌های زهکشی در حالت پایدار و عدم کج‌شدگی بر اثر بالاآمدگی، AF برابر ۵۰ است. این شاخص به خم‌شدگی عمودی بر امتداد رود اصلی در حوضه‌زهکشی حساس است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ ممکن است حاکی از کج‌شدگی حوضه زهکشی باشد. در حوضه‌زهکشی مورد مطالعه که جهت جریان به‌طرف غرب است، چرخش تکتونیکی به‌طرف شمال‌غرب است(شکل۴)، شاخه‌های روی کناره‌های سمت‌راست نسبت به شاخه‌های کناره-های جانب چپ رود اصلی، کوتاه‌تر هستند و AF کوچکتر از ۵۰ است(جدول۳). این شاخص مانند اغلب شاخص‌های ژئومورفیک که در مناطق و حوضه‌های زهکشی در سنگ‌های یکسانی گسترده اند، بهترین عملکرد را دارد. در روش AF برای تجزیه و تحلیل‌های ژئومورفیک فرض بر این است که کنترل کننده‌های سنگ‌شناسی (مانند شیب طبقات-رسوبی) و شرایط اقلیمی واکولوژیک (همچون اختلاف پوشش‌گیاهی بین شمال و جنوب دامنه‌ها) در منطقه باعثِ عدمِ تقارن نمی‌شوند.

24- Drainage Basin Asymmetry (Asymmetric Factor)

www.SID.ir

جدول۳) مقادیر میانگین شاخص AF در حوضه آبخیز نچی

زیرحوضه‌ها	At	Ar	٪Af
انجیران	۴۷,۱۷	۱۷,۸۵	٪۳۷,۸۴
گاگل	۴۲,۹۷	۱۶,۱۱	٪۳۷,۴۹
دره‌وران	۵۴,۰۸	۲۷,۲۷	٪۵۰,۴۲
کل حوضه	۱۴۴,۲۲	۴۴,۶۵	٪۳۰,۹۵



شکل۴) ارزیابی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی(AF)

شاخص پیچ وخم رودخانه اصلی[۲۵](S):

ضریب سینوسیته شاخص دیگری است که برای بررسی تغییرات بستر رودخانه و فعالیت‌های نئوتکتونیک استفاده می‌شود. تغییرات سینوسیته در یک سامانه رودخانه‌ای به‌طور معمول ناشی از افرایش و فرونشست‌هایی است که در بستر رودخانه روی می‌دهد؛ حتی مقادیر اندک دگرشکلی می‌تواند سینوسیته یک رودخانه را تغییر دهد(زامولی‌و همکاران۵،۲۰۰۹). هر دگرشکلی زمین‌ساختی که نشیب دره رودخانه را تغییر دهد، سینوسیته رود همتراز آن و برای حفظ تعادل نشیب کانال تغییر می‌کند. متناسب با تغییرات تکتونیکی که به تغییر شیب دره رودخانه منجر می‌شود، برای حفظ تعادل شیب رودخانه، پیچ و خم رودخانه نیز جابه‌جا می‌شود. این شاخص از نسبت طول کانال به فاصله مستقیم همان مسیر به‌دست می‌آید:

$$S = La / Ls \qquad (۳$$

در رابطه بالا؛ S ضریب سینوسیته، La طول رودخانه و Ls طول مستقیم دره است.

هرگاه مقدار این پارامتر به یک نزدیکتر باشد، بیانگر زون فعال از نظر تکتونیکی است. افزایش در مقدار آن(S>۱)، بیانگر کاهش در فعالیت تکتونیکی منطقه و حاکی از نزدیک‌شدن رودخانه به حالت تعادلی است. با بررسی‌های انجام گرفته میزان سینوسیته رودخانه از ۱/۱۳در زیرحوضه انجیران تا۱/۹۹در زیرحوضه گاگل تغییر می‌کند(جدول۴). با توجه به مقادیر به‌دست آمده فوق می‌توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی فعال بوده و به حالت تعادل

25- Sinuosity

Archive of SID

www.SID.ir

نرسیده و این مسأله در مناطق شمالی‌حوضه مشهودتر است؛ همچنین، نیروهای درونی و زمین‌ساختی هنوز در تحول مورفولوژی منطقه نقش بسزایی دارند.

جدول۴) محاسبه شاخص سینوسیته رودخانه در زیرحوضه‌های محدوده مورد مطالعه

زیرحوضه	La	Ls	S
انجیران	۹۹۱۴	۸۷۸۴	۱,۱۳
گاگل	۹۸۹۶	۴۹۶۸	۱,۹۹
خروجی	۶۸۹۸	۵۴۷۹	۱,۲۵
کل حوضه	۱۶۸۱۲	۱۱۴۹۲	۱,۴۶

شاخص تراکم سطحی آبراهه‌ها[۲۶](P):

این عامل از تقسیم طول شبکه هیدروگرافی حوضه(شامل شبکه‌های اصلی و فرعی) به مساحت حوضه به‌دست می‌آید و شاخص مفیدی برای ارزیابی و شناسایی نئوتکتونیک در حوضه‌های زهکشی به‌شمار می‌آید. در این شاخص هرچه ضریب تراکم بیشتر باشد، بیانگر تکتونیک فعال و حساسیت زیاد سازندها و تشکیلات زمین‌شناسی موجود در حوضه است. همچنین، نشان از جوان بودن و نرسیدن به مرحله تعادل حوضه زهکشی دارد. این شاخص از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$P = \frac{\Sigma Li}{A} \qquad (۴$$

در رابطه بالا؛ P: تراکم زهکشی؛ Li: طول آبراهه ها به کیلومتر و A: مساحت حوضه به کیلومتر مربع است. با توجه به‌نتایج به‌دست آمده برای زیرحوضه‌های مختلف، زیرحوضه انجیران فعالیت تکتونیکی بیشتری دارد(جدول۵).

جدول۵) شاخص P محاسبه شده برای زیرحوضه‌های محدوده مورد مطالعه

واحد هیدرولوژیکی	انجیران	گاگل	دره‌وران	کل حوضه
Li	۹۴,۸۱	۷۲,۶۱	۹۷,۸۸	۲۶۶,۸
A	۴۷,۱۷	۴۲,۹۷	۵۴,۰۸	۱۴۴,۲۲
P	۲,۰۱	۱,۶۹	۱,۸۱	۱,۸۵

شاخص انشعاب‌پذیری[۲۷](Br):

انشعاب‌پذیری به نسبت تعداد قطعات یک‌رده به تعداد قطعات مرتبه بالاتر گفته می‌شود. این شاخص به علت تغییرات تصادفی در هندسه حوضه‌آبریز از مرتبه‌ای به مرتبه دیگر یکسان نخواهد بود؛ اما تمایل دارد که در تمام سری‌ها ثابت باشد. هر قدر نسبت انشعابات بزرگتر باشد، بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی بیشتر و جوان‌بودن حوضه است، این شرایط باعث افزایش آبراهه‌های رتبه پایین می‌گردد. نسبت انشعاب پایین از خصوصیات حوضه‌هایی است که آشفتگی‌های

26- Drainage Density
27-Bifurcation ratio

www.SID.ir

ساختاری کمتری دارند و الگوی زهکشی در آنها غیر طبیعی نیست. شاخص مورد بحث از رابطه زیر به‌دست می-آید:

$$BR = \left(\frac{N_1}{N_2} + \frac{N_2}{N_3} + ... + \frac{N_{n-1}}{N_n} \right) \left(\frac{1}{n-1} \right) \quad (۵)$$

که در آن: N1 تعداد شاخه‌های ردهٔ یکم، N2 تعداد شاخه‌های ردهٔ دوم، N3 تعداد شاخه‌های ردهٔ سوم و، n تعداد شاخه‌های ردهٔ n ام است.

با توجه به محاسبات صورت‌گرفته زیرحوضه انجیران با بیشترین نسبت انشعاب(۵,۴۴) به عنوان فعالترین زیرحوضه و حوضه دره‌وران با کمترین نسبت انشعاب(۳,۱)، کمترین فعالیت تکتونیکی را نشان می‌دهند(جدول۶).

جدول۶) محاسبه شاخص BR برای حوضه نچی

واحد هیدرولوژیکی	انجیران	گاگل	دره‌وران	کل حوضه
نسبت انشعابات (BR)	۵,۴۴	۴,۵۹	۳,۱۰	۴,۰۴

شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان[۲۸](Smf):

این شاخص تعادل بین نیروهای فرسایش دهنده و تکتونیکی را منعکس می‌کند. سینوسیته پایین در یک جبهه کوهستانی مستقیم و صاف با یک گسل مرزی فعال دیده می‌شود. اگر نرخ بالاآمدگی[۲۹] کم یا متوقف شود، فرایندهای فرسایشی، جبهه کوهستان را با بی‌نظمی بیشتر تخریب خواهند کرد و مقدار شاخص افزایش می‌یابد. هرگاه مقدار این پارامتر با یک برابر باشد، بیانگر زون فعال از نظر تکتونیکی است و افزایش در مقدار آن، بیانگر کاهش در فعالیت تکتونیکی منطقه است. شاخص سینوسی جبهه کوهستان از رابطه زیر به دست می آید:

$$Smf = Lmf / Ls \quad (۶$$

در رابطه فوق، Smf شاخص سینوسی پیشانی کوهستان، Lmf طول جبهه کوهستان در امتداد کوهپایه و در محل شکست شیب(کنیک) و Ls طول خط مستقیم جبهه کوهستان است.

با استفاده از این شاخص در محدوده‌هایی از منطقه مورد مطالعه که مقدار پیچ و خم پیشانی کوهستان کمتر را نشان می‌دهند، مناطق فعال تکتونیکی هستند. با توجه به مقادیر میانگین شاخص Smf حوضه مورد مطالعه جزو مناطق با فعالیت زیاد تکتونیکی محسوب می‌گردد. در این میان، زیرحوضه انجیران با میزان شاخص۱/۶۹ فعالترین جبهه کوهستانی از نظر تکتونیکی محسوب می‌شود(جدول۷).

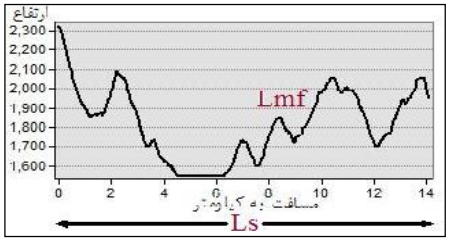
28- Mountain front sinuosity
29- uplift

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۷) مقادیر میانگین شاخص Smf برای زیرحوضه‌های محدوده مورد مطالعه(با رسم شکل شماتیک)

زیرحوضه	Lmf(m)	Ls(m)	Smf
انجیران	۱۱۰۸۹	۶۵۶۲	۱/۶۹
گاگل	۱۱۸۴۸	۵۸۹۵	۲/۰۱
دره‌وران	۱۰۰۶۹	۵۳۸۵	۱/۸۷
کل حوضه	۱۰۹۶۱	۵۷۳۹	۱/۹۱

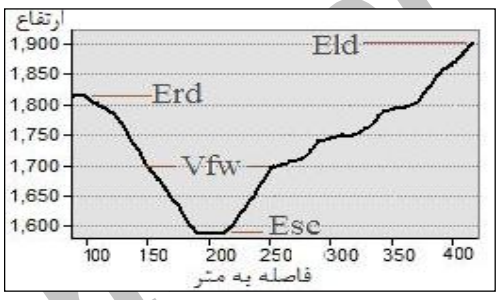


شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره[۳۰](Vf):

از دیگر شاخص‌های ژئومورفیک که برای مطالعه و تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک به‌کار می‌رود، نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع دره(Vf) است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$VF = 2VFW / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)] \quad (۷)$$

در رابطه فوق؛ Vf نسبت عرض به ارتفاع دره، Vfw پهنای کف دره، Eld و Erd ارتفاع خط تقسیم آب(دیواره‌ها) در قسمت راست و چپ دره و ESC ارتفاع کف دره است(شکل۵).



شکل۵) روش ارزیابی شاخص Vf در حوضه مورد مطالعه

این پارامتر در فواصل مختلف از جبهه کوهستان برای هر دره بررسی می‌شود. این شاخص دره‌های پهن(با مقادیر زیاد VF) را از دره‌های V شکل(مقادیر کمVF) تفکیک می‌کند. مقادیر زیاد VF مرتبط با بالاآمدگی کم است. در این حالت، آبراهه‌ها پهنای بسترِخود را فرسایش داده، پهنای دره افزایش می‌یابد. مقادیر کم شاخص بیانگر دره‌های عمیق و Vشکل و رودهایی است‌که به‌طور عمیقی کف بستر خود را حفر می‌کنند و معمولا با بالاآمدگی همراه است. این شاخص برای محدوده مورد مطالعه، در دره‌های اصلی و مقاطعی که شاخص SL به‌دست آمده‌بود، محاسبه گردید. مقدار این شاخص از ۱,۵۴۹ در مناطق فعال تکتونیکی(شمال حوضه) تا ۱,۸۰۵در مناطق نسبتا غیر فعال(خروجی حوضه) متغیر است که دامنه تغییر پذیری کمی را نشان می‌دهد. نتایج در (جدول۸) نشان داده‌شده‌است.

30- Ratio of valley floor width to valley height

www.SID.ir

جدول۸) مقادیر میانگین شاخص VF برای محدوده مورد مطالعه

زیرحوضه‌ها	Esc	Eld	Erd	VFW	VF
انجیران	۱۶۸۵	۱۹۶۸	۱۸۹۲	۳۷۸	۱,۵۴۹
گاگل	۱۵۵۶	۱۸۲۲	۱۷۹۶	۴۱۲	۱,۶۲۸
دره‌وران	۱۳۹۸	۱۷۴۵	۱۷۲۶	۶۰۹	۱,۸۰۵
کل حوضه	۱۵۵۲	۱۸۲۵	۱۷۹۰	۴۱۴	۱,۶۲۰

شاخص انتگرال هیپسومتری[۳۱](Hi):

تجزیه و تحلیل سطوح ارتفاعی از طریق محاسبه انتگرال هیپسومتریک از ساده‌ترین راه‌ها برای شناخت میزان فعالیت-های تکتونیکی در حوضه‌های زهکشی به‌شمار می‌آید. انتگرال هیپسومتریک حوضه به وسیله مساحت زیر منحنی-هیپسومتریک مشخص می‌شود. این شاخص از طریق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$Hi = (h-H_{min}) / (H_{max}-H_{min}) \quad (۸$$

که در آن؛ Hi انتگرال هیپسومتریک، H_{max} و H_{min} به‌ترتیب حداکثر و حداقل ارتفاع و h میانگین ارتفاع حوضه است.

مقادیر بالای انتگرال هیپسومتریک (نزدیک ۰/۵)[۳۲] بیانگر توپوگرافی جوان و وجود پستی و بلندی زیاد نسبت به میانگین حوضه زهکشی است و با برش‌های عمیق، برجستگی‌های ناهموار، سطوح بالاآمده و بریده شده توسط شبکه زهکشی مشخص می‌شود و هرچه این رقم به صفر نزدیکتر باشد، گذر از مرحله بلوغ به پیری را شاهد هستیم که تعادل در فرایندهای ژئومورفیک و برجستگی‌های نسبتا هموار از ویژگی‌های آن است. ارتباط بین انتگرال هیپسومتریک و درجه بریدگی باعث شده تا از این شاخص به‌عنوان معیاری برای تشخیص چرخه مرحله فرسایشی چشم انداز استفاده شود. با توجه به محاسبات صورت‌گرفته در (جدول۹) قسمت‌های شمالی حوضه(زیرحوضه انجیران) فعالترین بخش از نظر فعالیت‌های تکتونیکی است. همچنین، در بخش‌های جنوب‌شرقی(زیرحوضه گاگل) شاهد گذر از مرحله بلوغ هستیم و بین فرایندهای ژئومورفیک تعادل نسبی در مقایسه با سایر مناطق برقرار است. شاخص Hi به‌طورکلی بر جوانی حوضه‌آبخیز نچی دلالت دارد.

جدول ۹) شاخص Hi محاسبه شده برای زیرحوضه‌های محدوده مورد مطالعه

زیرحوضه	H_{max}	H_{min}	h	Hi
انجیران	۲۵۰۲	۱۳۳۹	۱۷۹۷	۰,۳۹۳
گاگل	۲۹۰۲	۱۳۹۸	۱۶۷۱	۰,۱۸۱
دره‌وران	۲۲۹۰	۱۳۲۰	۱۵۳۰	۰,۲۱۶
کل حوضه	۲۵۰۲	۱۳۲۰	۱۶۷۰	۰,۲۹۶

نتیجه‌گیری

بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که تحت تأثیر فرایندهای زمین‌ساختی شدید، طاقدیس‌ها بر اثر فشار گسل‌های

31- Hypsometric Integral (Hi)

۳۲- شایان ذکر است که مقادیر بالاتر از این عدد در حوضه‌های زهکشی کمتر مشاهده شده‌است.

Archive of SID

www.SID.ir

موجود بریده و جابه‌جا شده‌اند. همچنین، وجود گسل‌های فراوان در جهت‌های مختلف، روراندگی‌های شدید و آشفتگی و درهم‌ریختگی‌هایی که در وضع چین ها و محورهای آنها به‌وجود آمده، به‌خوبی نشان می‌دهند که حوضه نچی به شدت با فعالیت‌های تکتونیکی همراه بوده‌است. انعکاس این فعالیت‌ها به‌صورت سیستم‌های مختلف گسلش و درز و شکاف مشخص است و عملکرد راندگی‌ها و نقش آنها در ریخت شناسی منطقه چشمگیر است. حرکات تکتونیکی باعث به‌وجود آمدن گسل‌های متعدد در جهات مختلف شده و تداوم این حرکات، روراندگی‌های زیادی را موجب شده است. فعالیت گسل‌های منطقه، پیدایش پدیده‌های ژئومورفیکی و شکل‌گیری سیمای توپوگرافیک و شبکه-های زهکشی فعلی منطقه را به‌دنبال داشته‌است. در این منطقه تکتونیک و کوهزایی تاثیر چشمگیری در ایجاد آبراهه‌ها داشته است. به همین دلیل است که بالادست نیمرخ طولی اکثر آبراهه‌های حوضه دارای شیب تندی است. سیستم آبراهه-های موجود و رودخانه‌های اصلی سازگاری زیادی با روندهای شکستگی و گسلش منطقه دارد، همچنین از نشانه‌های فعالیت گسل‌ها، تشکیل و ظهور چشمه‌های گسلی در راستای شکستگی‌های موجود است؛ به‌طوری که تعداد ۱۲۴دهنه چشمه دایمی و ۷۰ دهنه چشمه فصلی در حوضه تشکیل داده‌است[۳۳].

به‌طورکلی، براساس نتایج این پژوهش سیمای توپوگرافیک و ژئومورفیک فعلی به‌شدت از فعالیت‌های زمین‌ساختی کواترنر متأثر شده و بر اساس شواهد موجود، فعالیت‌های زمین‌ساختی کواترنر مهم‌ترین نقش را در مورفولوژی شبکهٔ آبراهه‌ها داشته‌اند. ارقام حاصل از به‌کارگیری شاخص‌های مختلف نیز نشان‌دهنده فعال بودن تکتونیک در بخش‌های مختلف حوضه، به‌ویژه در بخش‌های بالادست(مربوط به زیرحوضه انجیران) است. به‌این ترتیب، بین حرکات زمین-ساخت و تغییرات شبکه زهکشی نوعی تعامل وجود دارد و واکنش سامانه‌های رودخانه‌ای به شدت و نوع این فعالیت‌ها و مورفومتری رودخانه وابسته است.

در نهایت، شایان ذکر است که مدیریت پایدار سامانه رودخانه‌ای بدون توجه به نحوه عملکرد فرایندهای ژئومورفیکی و نیز عدم مطالعه پیامدهای فعالیت‌های تکتونیکی نمی‌تواند به نتیجه قابل انتظار دست یابد. درک درست تغییرات در مسیر جریان رودخانه‌ها، مستلزم نگرش سیستمی به حوضه‌های آبخیز و اعتقاد به سوق یافتن کل سیستم به ایجاد برقراری تعادل است که گاه به‌علت تغییرات طبیعی به‌هم می‌خورد.

منابع

۱- آرین، مهران و فرانک فیضی . (۱۳۸۴). «کاربرد شاخص‌های زمین ریختی در تشخیص سطح فعالیت زمین‌ساختی نسبی در مرز البرز- ایران مرکزی»، *علوم پایه (دانشگاه آزاد اسلامی)*، ۱۵(۵۷)، صص۳۷۸-۴۰۳.

۲- آرین، مهران و سیداحمد هاشمی .(۱۳۸۷). «پهنه‌بندی لرزه زمین ساختی زاگرس» ، *علوم پایه (دانشگاه آزاد اسلامی)*، ۱۸(۶۹)، صص۶۳-۷۶.

۳- شهریاری، سهراب و حمید ثمری.(۱۳۸۲). «تفسیر زمین‌ساختی زاگرس در قالب مطالعه هندسه حرکت»، *مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان*، ۱۸(۲)، صص۱۹-۳۶.

۳۳ -متوسط آبدهی چشمه‌های دایمی ۱/۵ لیتر در ثانیه و چشمه‌های فصلی ۰/۷ لیتر در ثانیه است. حجم کل آبدهی سالانه چشمه‌های دایمی ۵/۹ میلیون متر مکعب و چشمه-های فصلی (که ۶ ماه در سال آب دارند) ۰/۶ میلیون متر مکعب است.

Archive of SID

www.SID.ir

۴- علمی‌زاده، هیوا.(۱۳۸۵). *هیدروژئومورفولوژی حوضه نچی با تاکید بر رسوب*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، صص۱-۱۴۵.

۵- کرمی، فریبا و عبدالحمید رجایی اصل .(۱۳۸۳). «نقش زمین ساخت در تحول زمین ریخت شناسی پایکوهای شمالی کوه بزقوش»، *علوم زمین*، ۱۱(۵۲-۵۱)، صص۶۸-۷۷.

۶- گورابی، ابوالقاسم و احمد نوحه‌گر .(۱۳۸۶).« شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۹(۶۰)،صص۱۷۷-۱۹۶.

۷- مختاری‌کشکی، داوود. (۱۳۸۴). «نقش نوزمین‌ساخت در تکامل سامانه‌های رودخانه‌ای در کواترنر(مطالعه موردی رودخانه-های دامنه شمالی میشو)»، *علوم زمین*، ۱۵(۵۷)،صص۶۴-۷۷.

۸- مفاخریان، سیدعلی و محسن پورکرمانی.(۱۳۸۶). «اثرات تکتونیک پویا در منطقه خرم آباد»، *علوم پایه (دانشگاه آزاد اسلامی)*، ۱۷(۶۵)، صص۸۱-۹۰.

۹- مقصودی، مهران و حمید کامرانی.(۱۳۸۷).« ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه تجن»، *پژوهش‌های جغرافیایی*،۳۹(۶۰)،صص۳۷-۵۵.

۱۰- وحدتی، دانشمند و همکاران.(۱۳۸۶).« نو زمین‌ساخت سپیدرود و دشت گیلان»، *علوم زمین*، ۱۷(۶۵)، صص۱۲-۲۵.

۱۱- یمانی، مجتبی، ابراهیم مقیمی و علیرضا تقیان.(۱۳۸۷). «ارزیابی تاثیرات نوزمین‌ساخت فعال در دامنه‌های کرکس با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی»، *تحقیقات جغرافیایی*، ۲۳(پیاپی ۸۸):۱۱۷-۱۳۶.

12-Fortes, E., &et.al(2005):Neotectonics and channel evolution of the Lower Ivinhema River: A right-bank tributary of the upper Paraná River, Brazil, Geomorphology, Volume 70, Issues 3-4, pp325-338.

13-Krzyszkowski, D., Przybylski, B., Badura, J. (2000):The role of neotectonics and glaciation on terrace formation along the Nysa Kodzka River in the Sudeten Mountains (southwestern Poland),Geomorphology, Volume 33, Issues 3-4, pp149-166.

14-Latrubesse, E., Alceu Rancy.A(2000):Neotectonic influence on tropical rivers of southwestern Amazon during the late quaternary: the Moa and Ipixuna river basins, Brazil,Quaternary International, Volume 72, Issue 1, pp67-72.

15-Srivastava, P., Misra D. K.(2008):Morpho-sedimentary records of active tectonics at the Kameng river exit, NE Himalaya, Geomorphology, Volume 96, Issues 1-2,pp187-198.

16-Petrovszki, J., Timár.G(2009):Channel sinuosity of the Körös River system, Hungary/Romania, as possible indicator of the neotectonic activity, Geomorphology, In Press, Corrected Proof, Available online.

17-Rose, J., & et.al(2002):Early and early Middle Pleistocene river, coastal and neotectonic processes, southeast Norfolk, England, Proceedings of the Geologists' Association, Volume 113, Issue 1, pp 47-67.

18-Schoorl, J., M., Veldkamp, A. (2003): Late Cenozoic landscape development and its tectonic implications for the Guadalhorce valley near Alora (Southern Spain): Geomorphology50.pp 43-57.

19-Sharma, A., Rajamani,V. (2000):Weathering of gneissic rocks in the upper reaches of Cauvery river, south India: implications to neotectonics of the region, Chemical Geology, Volume 166, Issues 3-4, Pages 203-223.

20-Zámolyi, A., Székely, B., Draganits.E, Timár.G(2009): Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain, Geomorphology, In Press, Corrected Proof, Available online. Pages1-13.

Archive of SID

www.SID.ir