جغرافیا و توسعه شماره ۳۵ تابستان ۱۳۹۳
وصول مقاله : ۱۳۹۰/۱۱/۲۱
تأیید نهایی : ۱۳۹۲/۲/۲۹
صفحات : ۶۶- ۴۹

ارزیابی فعالیّت‌های نوزمین‌ساخت در حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای از طریق شاخص‌های ژئومورفولوژی

دکتر موسی عابدینی[۱]، شنو شبرنگ[۲]

چکیده

حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای بخشی از دامنه‌های شمالی ارتفاعات سبلان- قوشه‌داغ و قسمتی از فرورفتگی ساختمانی مشکین –اهر است. فعالیّت‌های نو زمین‌ساخت در این منطقه سبب تشدید ناپایداری دامنه‌ها (لغزش، جریانات واریزه‌ای و غیره) شده است. آگاهی از وضعیت عملکرد فعالیّت‌های نوزمین‌ساخت جهت برنامه‌ریزی اصولی و اجتناب از ساخت و سازها و پروژه‌های عمرانی در اراضی گسلی فعال و پرخطر در حوضه‌ی مورد تحقیق ضروری است. هدف از این تحقیق ارزیابی فعالیّت‌های نوزمین‌ساخت در حوضه‌ی آبخیز مشکین-چای می‌باشد که جهت دستیابی به این امر روش‌های کمی از جمله شاخص شکل حوضه (Bs)، شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی (AF)، شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)، شاخص سینوسی جبهه کوهستان (J)، انتگرال هیپسومتری (Hi)، منحنی هیپسومتریک (Hc)، شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)، شاخص سینوسی رودخانه (S)، شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) و شاخص ارزیابی نسبی فعالیّت‌های زمین‌ساختی (Iat) استفاده شده است. نتایج شاخص‌های ژئومورفولوژی نشان داد که کل حوضه‌ی مورد مطالعه از لحاظ فعالیّت‌های زمین‌ساختی پویا است و زیرحوضه‌ی مشکین‌چای نسبت به زیرحوضه‌های بینوچای و کرکرچای از فعالیّت زمین‌ساختی بیشتری برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: نوزمین‌ساخت، مشکین‌چای، شاخص‌های ژئومورفولوژی.

۱- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسؤول) Abedini@uma.ac.ir
۲- دانش‌آموخته ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی Sabrang@uma.ac.ir

مقدمه

هر گونه فعالیّت‌های زمین ساختی منجر به بروز تغییرات در توپوگرافی و تغییر رفتار سیستم‌های مورفوژنز و موردینامیک می‌شود. جهت پی بردن به وضعیت زمین‌ساخت مناطق کوهستانی از روش‌های متفاوتی استفاده می‌شود که یکی از آن‌ها شاخص‌های ژئومورفیک است. بررسی آثار و منابع منتشره نشان داد که هیچ‌گونه‌تحقیقی درباره‌ی فعالیّت‌های‌نوزمین‌ساخت حوضه‌ی مورد بررسی به عمل نیامده است. بنابراین خلاء تحقیقی با موضوع تحقیق حاضر کاملاً محسوس بود. با وجود این تحقیقات زیادی در سال‌های اخیر در داخل‌کشورمان و خارج در زمینه‌ی ارزیابی زمین‌ساخت فعال به عمل آمده است که به اجمال به آن‌ها در ذیل اشاره می‌شود: امروزه در ارزیابی زمین‌ساخت فعال یا نوزمین ساخت شاخص‌های ژئومورفیک در کنار سایر روش‌های متنوع بیشتر استفاده می‌شود که به اجمال چند نمونه ذکر می‌شود:

روستایی و نیری در مورد فعالیّت‌های نوزمین‌ساختی به تجزیه و تحلیل نیمرخ طولی رودخانه‌ی مهاباد با بهره‌مندی از شاخص‌های ژئومورفومیک پرداختند و بالاآمدگی بخش جنوبی و جنوب غرب در ارتباط با گسل فعال پیرانشهر و زون خرد شده زاگرس را بررسی نموده‌اند *(روستایی و نیری، ۱۳۹۰: ۱۴۵)*. برای نمونه محققانی نظیر ده‌بزرگی و همکاران(۲۰۱۰) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک ناحیه سروستان در بخش زاگرس مرکزی را مطالعه کرده‌اند و این ناحیه را به چهار منطقه به لحاظ فعالیّت‌های نو زمین‌ساختی به صورت بسیار فعال، فعال، نسبتاً فعال و با فعالیّت بسیار پایین طبقه‌بندی نموده‌اند *(Dehbozorgi et al,2010)* . به علاوه آنوپ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تجزیه و تحلیل ژئومورفومتریک و محاسبه‌ی شاخص‌های ژئومورفیک نشان دادند که زمین‌ساخت فعال از عوامل مهم حاکم بر چشم‌انداز دره اسپیتی در شمال غرب هیمالیا است و تغییرات توگرافی آن در ارتباط با زمین‌ساخت فعال و نقش سایر عوامل مؤثر است

در تحقیقی که دلکلیو و همکاران (۱۹۹۸) از ماسیف اوزلیره در مراکش داشته‌اند با استفاده از چندین شاخص کمّی و مشاهدات میدانی معلوم می‌کنند که این توده‌ی تحت تأثیر بالاآیی ناشی از فعالیّت‌های زمین‌ساختی از تغییرپذیری زیادی برخوردار است *(Delcaillau et al, 1998:263-290)*

با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک AF، Smf، VF، Hi، Hc، SL، گیکونیا و همکاران، (۲۰۱۲) فعالیّت‌های زمین‌ساختی مؤثر بر تغییر شکل آبراهه‌ها و دامنه‌های سیرا در جنوب شرق اسپانیا را مربوط به دو منطقه‌ی گسلی،گسل معکوس از خطالرأس به سمت شمال‌وشرق و دیگری گسل نرمال از خطالرأس به‌طرف جنوب‌می‌دانند*(Giaconia et al,2012:45-146)*.

در تحقیقی تاندون و سینگ (۲۰۰۸) فعالیّت‌های نوزمین ساخت جبهه‌های کوهستان فعال شمال غرب هیمالیا را با تجزیه و تحلیل گسل‌ها و شاخص‌ها مورد مطالعه می‌دهند و به این نتیجه دست می‌یابند که گسل‌های مرتبط با پیشانی کوهستان و ساخت‌های مربوطه فعال هستند*(Tandon&Singh,2008:376-394)*.

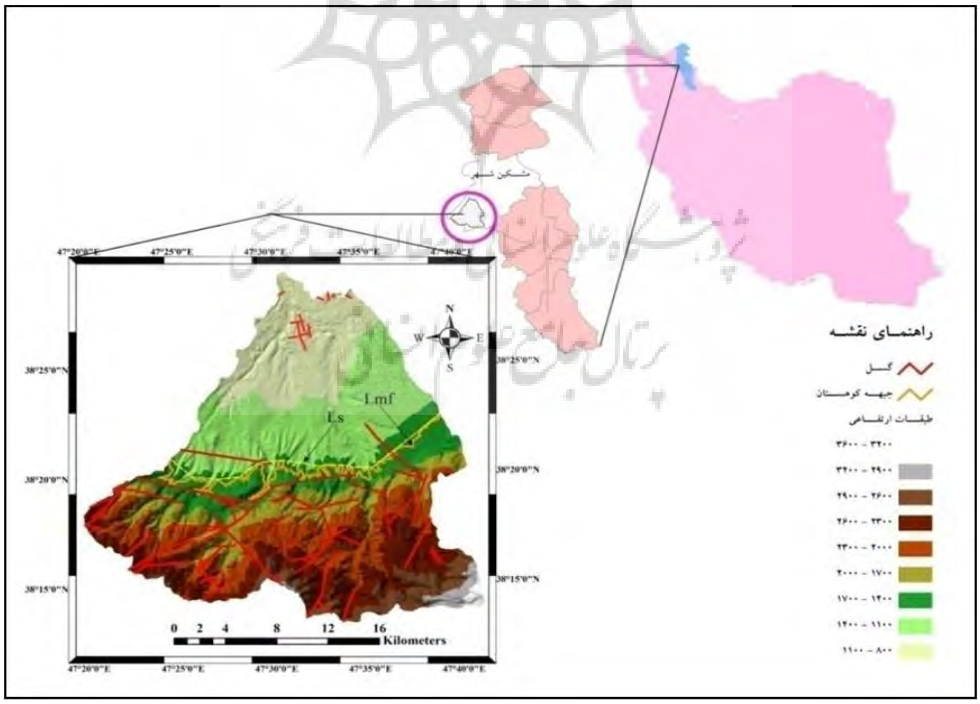
در مورد تأثیر بالاآیی تکتونیکی ابرین پنسولیا[1] وییانا و همکاران (۲۰۱۳) کار کرده‌اند و پیدایش شکاف‌ها در سازندهای سخت و شکل‌گیری تراس در کنار دره‌های رودخانه مؤنو در نتیجه‌ی فرو رفتن رودخانه در بستر آبرفت‌ها را با استفاده از عکس‌های هوایی و کارهای ژئومورفومتری در غالب نقشه‌ها به‌خوبی نشان داده‌اند *(Viveena et al, 2013)*.

برای اولین بار زائولاین و همکاران (۲۰۱۳) با بهره‌مندی از داده‌های پیمایشی استاندارد شده سنجش از دور LIDAR با قدرت تفکیک ۰/۲۵ تا ۱۰ متر موفق به شناسایی تشخیص گسل‌های جدید، گسل‌های

1-NW Iberian Peninsula

فعال، دیگر عارض‌های ژئومورفیک شدند و قدرت تفکیکی ۰/۵متر را بهترین قدرت تفکیکی این سنجدها در شناسایی عوارض ژئومورفولوژی عنوان نموده‌اند *(Zhou Lin et al, 2013: 104-115)*.

حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای با وسعت ۵۲۱/۹ کیلومتر مربع در طول شرقی ´۲۰ °۴۷ تا´۴۲ °۴۷ و عرض شمالی ″۳۰ ´۱۴ °۳۸ تا ″۳۰ ´۲۵ °۳۸ گسترده شده است (شکل ۱). این رودخانه از دامنه‌های شمالی ارتفاعات سبلان در جنوب‌غرب مشکین‌شهر سرچشمه می‌گیرد و در روستای کوجنق به رود اهرچای می‌ریزد. حوضه‌ی مورد مطالعه جزء واحدساختمانی البرز غربی- آذربایجان می‌باشد *(علایی‌طالقانی، ۱۳۸۵: ۴۸)*. منطقه‌ی مورد مطالعه پس از حرکات زمین ساختی در پلیوسن و کواترنر شکل‌گرفته است.شکل‌گیری‌طبقات واحدهای سنگی، دگرشکلی آن‌ها و انواع پدیده‌های تکتونیکی حاصل عملکرد آتشفشان‌های این دوران می‌باشد که پس از تشکیل واحدهای سنگی سخت بر اثر تنش‌های وارده،گسل‌ها و شکستگی‌های وسیعی ایجاد شده است. اهمیت‌گسل‌ها و عملکرد آن‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری آبراهه‌ها، پرتگاه‌ها، دامنه‌ها و از همه مهمتر قطع یا امتداد واحدهای سنگی داشته است. پژوهش حاضر نیز با استفاده از تحلیل‌شاخص‌های‌ژئومورفولوژی به بررسی فعالیّت‌های نوزمین‌ساخت در این حوضه می‌پردازد. استفاده از چندین شاخص ژئومورفیک در حوضه‌های زهکشی به ما اجازه می‌دهد تا بررسی مناسبی از این شاخص‌ها برای شناسایی ساختارهای فعال داشته باشیم. لذا از طریق مطالعات زمین‌ساخت می‌توان محل احتمالی وقایع آینده را پیش‌بینی کرد و نتایج حاصل از این‌مطالعات را در راستای شناخت مخاطرات طبیعی، برنامه‌ریزی‌های کاربری زمین و مدیریت مناطق مسکونی به کار برد.



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۱۱

مواد و روش‌ها

در این تحقیق با بهره‌گیری از نرم‌افزار Arc GIS در محیط Arc map نقشه‌های‌توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰،نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین مرجع و مختصات‌دار شده، داده‌های رستری به فرمت وکتوری تبدیل (رقومی شده) و اقدام به ترسیم نقشه‌های محدوده‌ی‌مطالعاتی گردید. برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر در محاسبه‌ی شاخص‌ها و ترسیم نیمرخ‌ها از نقشه‌های توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استفاده شد. سپس شاخص‌های مورفومتریک نظیر شاخص Bs، SL، AF، J، T، VF، S، Hc، Hi، Iat در وضعیت زمین‌ساختی حوضه‌ی مورد نظر ارزیابی گشت. به‌علاوه از نرم‌افزار Excel برای ترسیم نمودارها استفاده شد.در نهایت جهت شناخت مسائل زمین‌ساخت حوضه اقدام به مشاهدات میدانی (بازدید صحرایی، مشاهده گسل‌ها، وضعیت آبراهه‌ها و تهیه‌ی عکس) از حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای گردید.

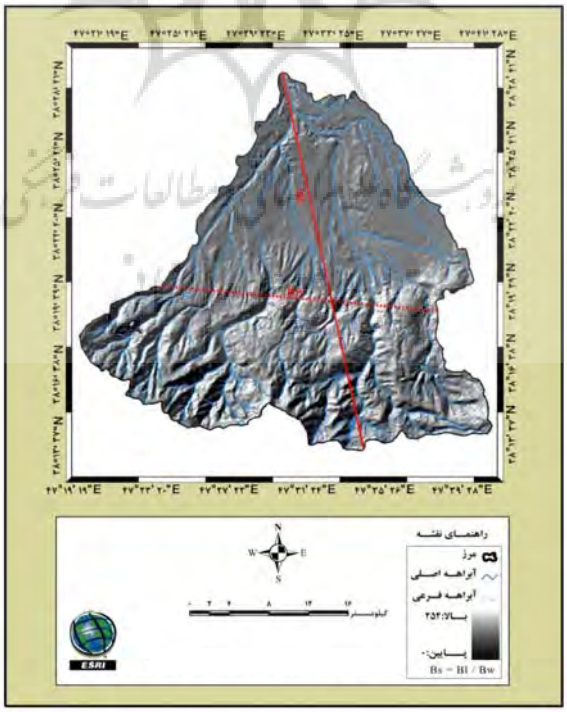
تحلیل‌فعالیّت‌های‌نوزمین‌ساختی‌ازطریق‌شاخص‌های ژئومورفولوژی

- شاخص شکل حوضه (Bs)

شاخص Bs جهت ارزیابی فعالیّت‌های زمین‌ساختی مناطق کوهستانی به‌کار می‌رود. این‌شاخص با معادله‌ی زیر تعریف می‌شود:

معادله ۱: $Bs = Bl / Bw$

شاخص Bs شاخص فرم حوضه؛ Bl= طول دورترین نقطه تا خروجی حوضه؛ Bw= طول پهن‌ترین بخش حوضه می‌باشد (شکل۲). بر اساس طبقه‌بندی مقادیر زیاد شاخص شکل‌حوضه (Bs>۴) حوضه‌های طولی با زمین‌ساخت‌فعال(Bs>3<۴) حوضه‌هایی با فعالیّت‌های متوسط زمین‌ساختی ومقادیر پایین (Bs<۳)حوضه‌های دایره‌ای‌شکل با فعالیّت‌زمین‌ساختی‌کم را نشان‌می‌دهند *(Dehbozorgi, 2010: 335)(Hamadouni,2008: 150).*



شکل۲: نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع به همراه نحوه‌ی محاسبه شاخص Bs

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۵۷

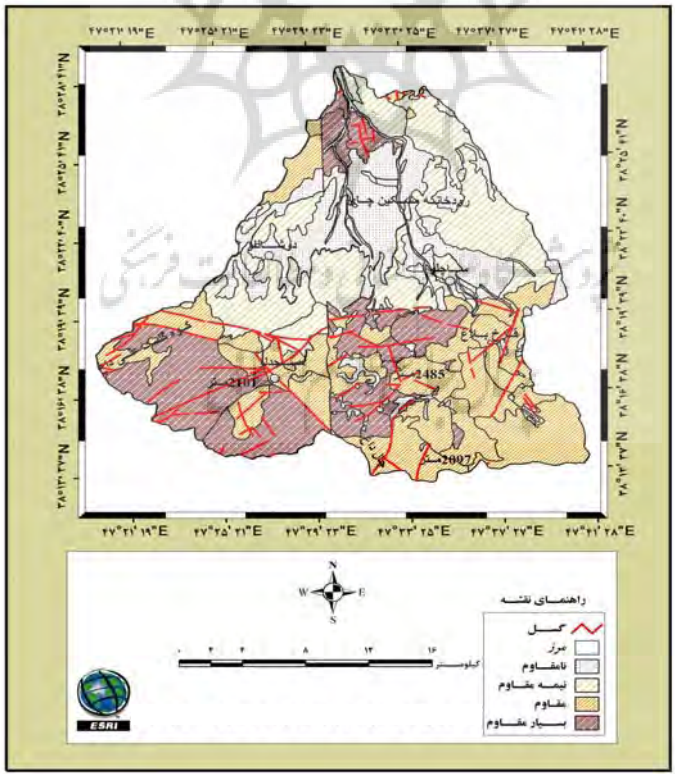
با توجه به نتایج جدول (۱) زیرحوضه‌های مشکین‌چای و کرکرچای در مقایسه با زیرحوضه‌ی بینوچای کشیده‌تر و از لحاظ زمین‌ساخت فعال‌تر بوده و زیرحوضه‌ی بینوچای تقریباً دایره مانند و اثرات فعالیّت‌های نئوتکتونیکی در آن چندان محسوس‌نیست.

جدول ۱: مقادیر محاسبه شده شاخص شکل حوضه برای هر یک از زیرحوضه‌ها

نام زیرحوضه	BL	Bw	Bs	وضعیت زمین‌ساخت حوضه
مشکین‌چای	۳۲/۲	۹/۲	۳/۳	نسبتاً فعال
بینوچای	۲۵/۶	۱۴/۵	۱/۷	ضعیف
کرکرچای	۱۸/۶	۵/۸	۳/۲	نسبتاً فعال
کل حوضه	۳۰/۲	۲۰/۱	۱/۵	ضعیف

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۵۸

با توجه به نقشه‌ی لیتولوژی حوضه بیشترین گسل‌ها عمدتاً با روندشرقی- غربی در سازندهای مقاوم و بسیار مقاوم بخش‌کوهستان شکل گرفته‌اند (شکل۳). به تبع بالاآیی تحت فعالیّت‌های نوزمین‌ساختی بخش دشت با تراکم مواد آبرفتی فرونشست دارد و گسل‌های موازی حوضه‌ی مشکین‌چای با جبهه کوهستان نیز محصول همین عمل می‌باشند. گسل‌ها علاوه بر نقش مستقلی که در شکل‌گیری ساختارهای اولیه‌ی زمین دارند، در تحول شکل بسیاری از عوارض فرسایشی نیز مشارکت‌گسترده‌دارند(*عطایی‌طالقانی‌ورحیم‌زاده،۱۳۹۲: ۱۸۰*).



شکل۳: نقشه پراکنش گسل‌ها در سازندهای مختلف از لحاظ لیتولوژی

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۵۶

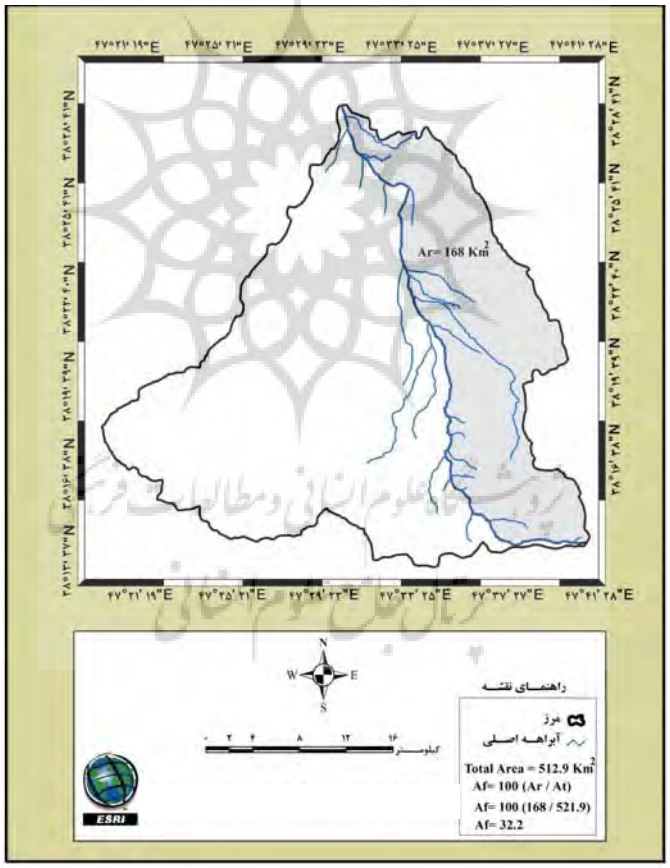
- شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی تغییرات انحراف عمودی مسیر آبراهه را نشان می‌دهد *(Hamadouni, 2008: 150)*.

این معادله بدین صورت بیان می‌شود:

معادله۲: $AF= 100(Ar / At)$

AF= عامل عدم تقارن حوضه؛ Ar= مساحت سمت راست حوضه در سمت راست آبراهه‌ی اصلی (به طرف پایین‌رود) وAt=مساحت کل حوضه‌ی زهکشی می‌باشد. مقادیر بالاتر AF>۶۵ یا پایین‌تر از AF<۳۵ بیانگر کج‌شدگی حوضه‌ها و مقادیر ۴۳<AF<۵۷ بیانگر حوضه‌های پایدار می‌باشند. مقدار متوسط این شاخص ۳۵<AF<۴۳ یا ۵۷<AF<۶۵ حوضه‌های نسبتاً پایدار را نشان می‌دهد *(Dehbozorgi, 2010: 333)*. در شکل (۴) کج‌شدگی آبراهه‌ی اصلی به سمت راست حوضه بیانگر فرازش به واسطه‌ی بالاآیی زمین‌ساختی و عدم تقارن است. میزان عدم تقارن حتی در کل سیستم زهکش حوضه‌ی‌مشکین‌چای در دامنه‌ی شمالی سبلان شکل (۵) نقشه سیستم آبراهه‌ها مشخص می‌باشد.



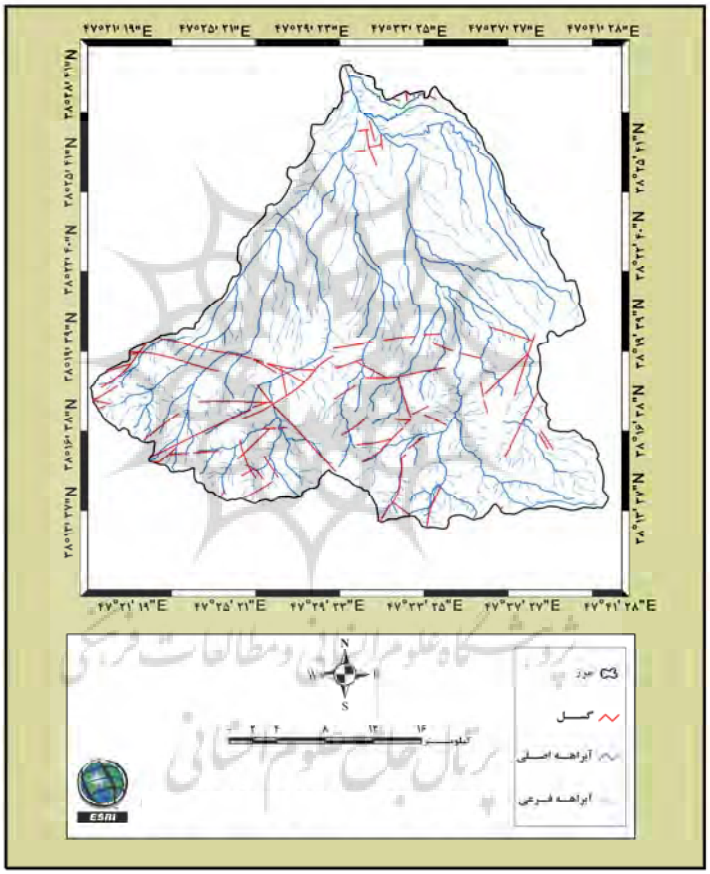
شکل۴: نقشه ارزیابی شاخص عدم تقارن حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۵۹

جدول۲: مقادیر محاسبه شده شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی

نام زیر حوضه	Ar	At	AF	وضعیت زمین‌ساخت حوضه
مشکین‌چای	۱۲۴/۸	۲۲۶/۸	۵۵	ضعیف
بینوچای	۹۷/۱	۲۵۲	۳۸/۵	نسبتاً فعال
کرکرچای	۱۸/۷	۴۳/۱	۴۳/۳	ضعیف
کل حوضه	۱۶/۸	۵۲۱/۹	۳۲/۲	فعال

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۵۹



شکل۵: نقشه‌ی پراکنش گسل‌ها و آبراهه‌های حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۵۶

- شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)

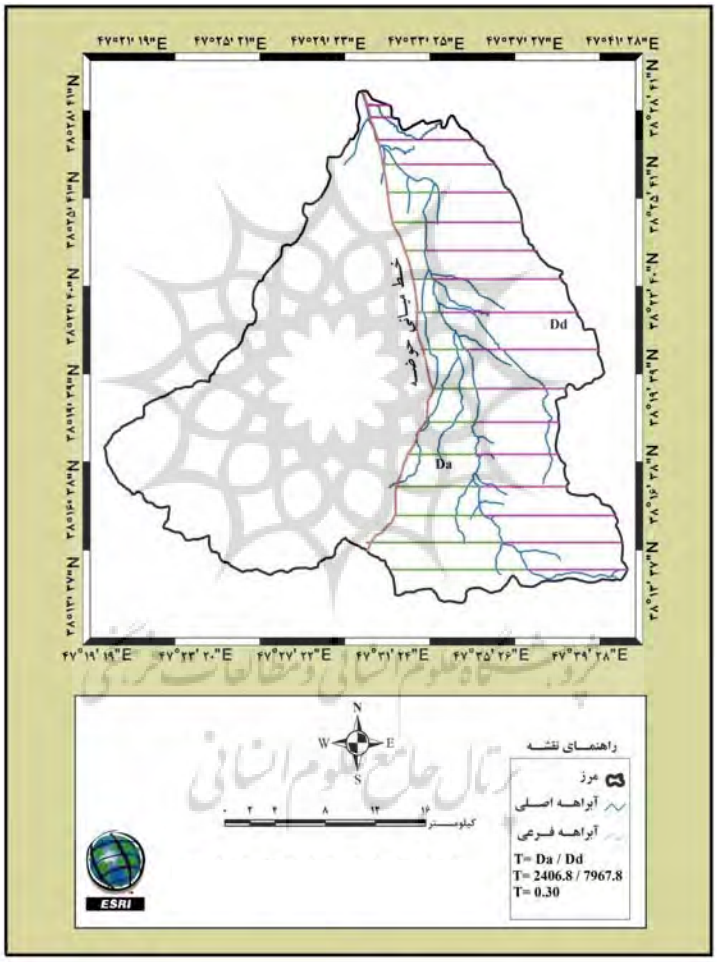
شاخص تقارن توپوگرافی معکوس یکی از شاخص‌هایی است که جهت بررسی فعالیّت‌های نوزمین‌ساختی در مناطق کوهستانی استفاده می‌شود. این شاخص از معادله (۳) به دست می‌آید.

معادله ۳:

$$T = Da / Dd$$

در این معادله T= عامل تقارن توپوگرافی؛ Da= فاصله بین خط‌میانی حوضه زهکشی تا کمربند فعال مئاندری حوضه؛ Dd= فاصله بین خط میانی حوضه و خط تقسیم آب می‌باشد. برای محاسبه‌ی شاخص تقارن

توپوگرافی معکوس (T) ابتدا خط میانی حوضه زهکشی ترسیم شد سپس پارامترهای Da و Dd در ۱۷ مقطع تعیین و با استفاده از این معادله برآورد گردید.T برداری است با جهت و مقدار ۱-۰ که برای حوضه‌های کاملاً متقارن T=۰ می‌باشد. با افزایش عدم تقارن، شاخص توپوگرافی T افزایش پیدا می‌کند و در نهایت به ۱ نزدیک می‌شود. در مناطقی که مقدار عددی شاخص عدم تقارن توپوگرافی از ۱ فاصله گرفته باشد منطقه فعال زمین‌ساختی محسوب می‌شود و زمانی‌که مقادیر به‌عدد۱ نزدیک‌تر شوند منطقه از ثبات و آرامش نسبی برخوردار است (*گورابی و نوحه‌گر، ۱۳۸۶: ۱۸۴*).



شکل۶: نقشه‌ی ارزیابی شاخص تقارن توپوگرافی معکوس حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۶۲

نتایج حاصله در جدول (۳) نشان می‌دهد که مقدار شاخص T در حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای، با مقدار ۰/۳ از نظر توپوگرافی نامتقارن و از لحاظ زمین‌ساخت فعال می‌باشد.

جدول۳: پارامترهای مورفومتری محاسبه شده‌ی شاخص تقارن توپوگرافی معکوس

مسیرهای مورد ارزیابی	Da (m)	Dd (m)	T	مسیرهای مورد ارزیابی	Da (m)	Dd (m)	T
۱	۶۵/۴	۵۴۹/۳	۰/۱۲	۱۰	۱۱۵۷/۵	۷۹۵۳/۵	۰/۱۵
۲	۱۷/۶	۱۲۶۲/۲	۰/۰۲	۱۱	۱۹۴۵/۷	۹۹۹۶/۳	۰/۲
۳	۱۰۵/۲	۱۵۲۵/۱	۰/۰۷	۱۲	۲۶۰۹/۸	۱۹۵۸۷/۸	۰/۲۵
۴	۶۵/۴	۱۷۱۲/۷	۰/۰۴	۱۳	۲۸۰۶/۸	۱۰۶۶۰/۸	۰/۲۷
۵	۸۴/۳	۵۷۷۷/۹	۰/۰۲	۱۴	۳۱۰۲/۲	۷۸۰۴/۸	۰/۴
۶	۸۶۱/۵	۶۵۱۳/۹	۰/۱۴	۱۵	۵۰۹۶/۵	۱۰۲۶۷/۶	۰/۵
۷	۲۸۴۱/۳	۷۰۷۳/۹	۰/۴۱	۱۶	۸۰۰۳/۱	۱۵۱۴۴/۶	۰/۵۳
۸	۲۱۴۵/۶	۷۸۱۸/۳	۰/۳	۱۷	۸۳۴۷/۷	۱۴۱۷۰/۹	۰/۶
۹	۱۵۰۲/۷	۷۶۳۳/۱	۰/۲	میانگین	۲۴۰۶/۸	۷۹۶۷/۸	۰/۳۰

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۶۱

- شاخص سینوسی جبهه کوهستان (J)

شاخص سینوزیته جبهه‌ی کوهستان توازن میان نیروهای فرسایشی و زمین‌ساختی را نشان می‌دهد. نیروی فرسایشی سعی در ایجاد فرسایش سطوح کوهستانی دارد و نیروی زمین‌ساختی باعث ایجاد جبهه‌ی مستقیم در طول گسل می‌شود. این شاخص از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود.

معادله۴: $J= Lj \div Ls$ $J= ۵۸ \div ۲۵/۸ = ۲/۲$

که در آن J= شاخص سینوسی جبهه کوهستان؛ Lj= طول جبهه کوهستان در امتداد کوهپایه و در محل شکست شیب و Ls= طول خط مستقیم جبهه کوهستان است. شاخص J برای مناطق فعال زمین ساختی مقادیر کمتر از ۱/۱، مناطق با فعالیّت متوسط بین ۱/۱ تا ۱/۵ و جبهه‌های کوهستانی غیر فعال زمین‌ساختی مقادیر بیشتر از ۱/۵ را شامل می‌شود *(Dehbozorgi, 2010: 335)*. طبق محاسبات صورت گرفته می‌توان گفت حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای با مقدار ۲/۲ جزء جبهه‌های کوهستانی غیرفعال می‌باشد.

- انتگرال هیپسومتریک (Hi) و منحنی هیپسومتریک (Hc)

انتگرال هیپسومتریک بیانگر مساحت زیر منحنی هیپسومتریک است انتگرال هیپسومتریک بدین وسیله برآورد می‌شود *(Rüdiger, 2009: 206)*.

معادله۵: $Hi= Hmean – Hmin \div Hmax – Hmin$

$۲۱۴۲ – ۸۲۰ \div ۳۶۰۰ – ۸۲۰ = ۰/۴۷۵$

در معادله‌ی فوق‌الذکر Hi= انتگرال هیپسومتریک؛ Hmean= ارتفاع متوسط حوضه؛ Hmin= حداقل ارتفاع حوضه و Hmax= حداکثر ارتفاع حوضه است.

مقادیر بالای انتگرال هیپسومتریک (Hi>۰/۵) بالاآمدگی‌ها و شکل‌گیری توپوگرافی جدید، مقادیر متوسط (۰/۴<Hi<۰/۵) وضعیت زمین‌ساختی نسبتاً فعال و مقادیر پایین (Hi<۰/۴) حوضه‌های پست با فعالیّت‌های زمین‌ساختی کم را بیان می‌کنند *(Dehbozorgi,2010: 333)*.

منحنی‌های هیپسومتریک (Hc) مقدار نسبی مساحت پایین یا بالای حوضه‌های آبخیز را در ارتفاع معین نمایش‌می‌دهند *(Chieh chen, 2003:118)*.

منحنی‌های هیپسومتریک ابزار مفیدی در ارزیابی مسائل ژئومورفولوژی عمدتاً در مطالعات زمین‌ساختی و فرایندهای فرسایش و ناپایداری دامنه‌ها هستند *(Zisu, 2008: 100)*.

در این شاخص A= مساحت کل حوضه برابر با جمع مساحت بین خطوط میزان موجود در حوضه می‌باشد و a= مساحتی از حوضه که بالاتر از ارتفاع (h) قرار دارد. مقدار مساحت نسبی (a/A) بین ۱ در پایین‌ترین نقطه حوضه(h/H=۰) تا ۰ در بالاترین نقطه حوضه (h/H=1) تغییرمی‌کند(جدول۴).

شکل منحنی‌های هیپسومتریک (Hc) مقدار مواد فرسایش یافته را به تصویر می‌کشند. تحدب منحنی هیپسومتریک مشخص‌کننده نواحی با فرسایش ضعیف (جوان)، شکل منحنی S نواحی با فرسایش آرام (بلوغ) و منحنی تعقر مشخص‌کننده نواحی با فرسایش بالا و مرحله‌ی پیری می‌باشد *(Peña, 2010: 80)*.

مقدار انتگرال هیپسومتریک و شکل منحنی‌های هیپسومتریک به تنهایی بیانگر مراحل فرسایش حوضه نیستند زیرا زمین‌ساخت، آب و هوا و لیتولوژی جزء عوامل کنترل‌کننده‌ی فرسایش حوضه می‌باشند *(Pedrera, 2009: 228)*.

در تحلیل منحنی هیپسومتریک حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای می‌توان گفت نظر به اینکه در بخش بالایی تعقر وجود دارد و بخش پایینی محدب است به علاوه‌ی مقدار خود شاخص، فرض را بر این گذاشتیم که بخش پایین محدب است به نظر می‌رسد این بخش در امتداد گسل‌ها بالا آمده باشد (شکل ۷). نتایج برآوردی شاخص‌ها در موارد فوق و نیز وجود گسل‌های زیاد از ارتفاع ۲۷۰۰ متری تا نزدیکی پیشانی جبهه کوهستان مؤید زمین‌ساخت فعال در منطقه می‌باشد.

شکل۷: منحنی هیپسومتریک حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۶۵

جدول۴: شاخص هیپسومتریک حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای

ردیف	a	h	h/H*	a/A*
۱	۵۲۱/۹	۰	۰	۱
۲	۵۲۰/۹	۸۰۰	۰/۲۲	۰/۹۹
۳	۵۱۷/۹	۹۰۰	۰/۲۵	۰/۹۵
۴	۴۹۹/۹	۱۰۰۰	۰/۲۷	۰/۸۶
۵	۴۵۳/۹	۱۱۰۰	۰/۳	۰/۷۸
۶	۴۰۷/۹	۱۲۰۰	۰/۳۳	۰/۷۱
۷	۳۷۰/۵	۱۳۰۰	۰/۳۶	۰/۶۴
۸	۳۳۵/۹	۱۴۰۰	۰/۳۸	۰/۵۷
۹	۳۰۱/۹	۱۵۰۰	۰/۴۱	۰/۵۳
۱۰	۲۷۶/۹	۱۶۰۰	۰/۴۴	۰/۴۹
۱۱	۲۵۸/۴	۱۷۰۰	۰/۴۷	۰/۴۶
۱۲	۲۴۰/۹	۱۸۰۰	۰/۵	۰/۴۲
۱۳	۲۲۱/۹	۱۹۰۰	۰/۵۲	۰/۳۸
۱۴	۲۰۲/۵	۲۰۰۰	۰/۵۵	۰/۳۴
۱۵	۱۷۸/۵	۲۱۰۰	۰/۵۸	۰/۲۹
۱۶	۱۵۲/۵	۲۲۰۰	۰/۶۱	۰/۲۳
۱۷	۱۲۴/۵	۲۳۰۰	۰/۶۳	۰/۱۸
۱۸	۹۷/۵	۲۴۰۰	۰/۶۶	۰/۱۴
۱۹	۷۳/۵	۲۵۰۰	۰/۶۹	۰/۰۹
۲۰	۵۰/۵	۲۶۰۰	۰/۷۲	۰/۰۶
۲۱	۳۲/۵	۲۷۰۰	۰/۷۵	۰/۰۳
۲۲	۲۰/۵	۲۸۰۰	۰/۷۵	۰/۰۲
۲۳	۱۲/۵	۲۹۰۰	۰/۸	۰/۰۱
۲۴	۸/۵	۳۰۰۰	۰/۸۳	۰/۰۱
۲۵	۵/۵	۳۱۰۰	۰/۸۶	۰/۰۰۶
۲۶	۳/۵	۳۲۰۰	۰/۸۸	۰/۰۰۴
۲۷	۲/۵	۳۳۰۰	۰/۹۱	۰/۰۰۲
۲۸	۱/۵	۳۴۰۰	۰/۹۴	۰/۰۰۲
۲۹	۰/۵	۳۵۰۰	۰/۹۷	۰/۰۰۱
۳۰	۰	۳۶۰۰	۱	۰

* A = ۵۲۱/۹ km2 , * H = ۳۶۰۰ m

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۶۵

- شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)

از شاخص‌های مهم در ارزیابی فعالیّت‌های نوزمین ساختی، پهنای کف دره یا نسبت ارتفاع دره (Vf) است. این شاخص با معادله زیر بیان می‌گردد:

معادله۶ : $Vf= 2Vfw /(Ald –Asc) + (Ard - Asc) /2$

که در آن Vf= شاخص پهنای دره به ارتفاع آن؛ Vfw= پهنای کف‌دره؛ Ard= ارتفاع متوسط خط تقسیم آب در سمت راست دره؛ Ald= ارتفاع متوسط خط تقسیم آب در سمت چپ دره و Asc= ارتفاع متوسط کف دره از سطح آب‌های آزاد می‌باشد (شکل۸).

شکل۸: نحوه محاسبه شاخص پهنای کف دره به ارتفاع آن (دره‌ی مشکین‌چای)

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۶۸

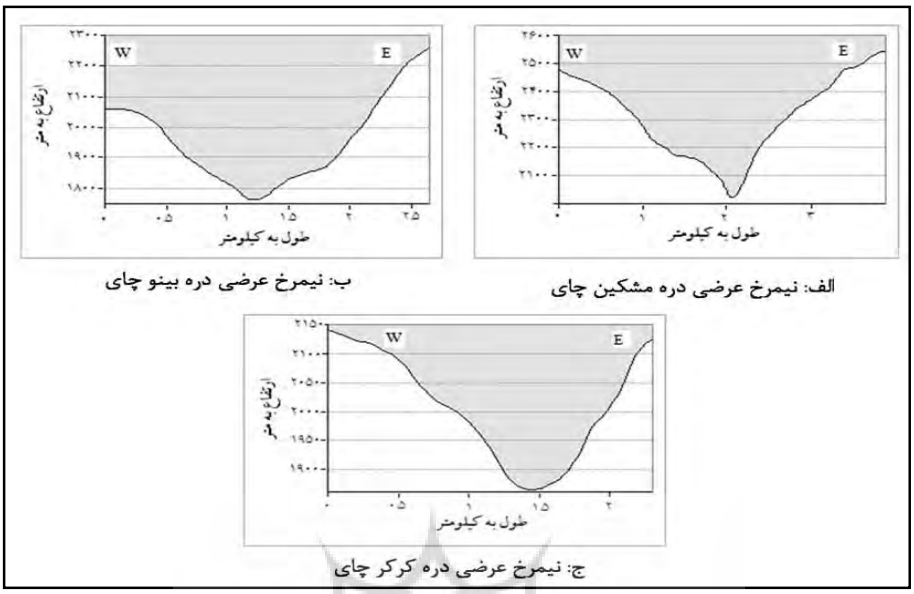
محل اندازه‌گیری Vf ۰/۵ تا ۱ کیلومتری جبهه کوهستان در نظر گرفته شده زیرا دره‌ها بالاتر از جبهه کوهستان در نزدیکی سرچشمه‌ی رودخانه تمایل به باریک شدن دارند. بر اساس محاسبات صورت گرفته مقادیر (Vf<۰/۵) مناطق فعال (Vf >۱) غیر فعال و (۰/۵<Vf<۱) با فعالیّت متوسط می‌باشد.

با توجه به مقادیر به‌دست آمده (جدول ۵) دره‌ها از لحاظ زمین‌ساختی فعال می‌باشند. مقادیر پایین Vf مشخصه مناطقی است که دره‌های عمیق Vشکل دارند و رودخانه‌ها به‌طور فعال بستر خود را حفر می‌کنند و مقادیر بالا معرف دره‌های عریض U شکل است که نشان‌دهنده‌ی آرامش نسبی زمین‌ساختی و نزدیک شدن رودخانه به سطح اساس خود است *(عابدینی، ۱۳۹۱: ۸)(Peña, 2010: 80)*. جهت درک بهتر وضعیت زمین‌ساختی دره‌های مطالعه شده اقدام به ترسیم نیمرخ عرضی آن‌ها با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) گردیده است (شکل ۹).

جدول ۵: نتایج محاسبات شاخص (Vf) در منطقه‌ی مورد مطالعه

نام دره‌ها	Vfw (m)	Ard (m)	Ald (m)	Asc (m)	Vf	وضعیت زمین‌ساخت
دره مشکین‌چای	۱۰۱	۲۵۴۰	۲۴۸۰	۲۰۱۷	۰/۰۶	فعال
دره بینوچای	۲۲۱	۲۲۶۰	۲۰۶۰	۱۷۶۵	۰/۱۷	فعال
دره کرکرچای	۲۴۲	۲۱۵۰	۲۲۰۰	۱۸۸۵	۰/۱۳	فعال

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۶۷



شکل۹: نیمرخ‌های عرضی دره‌های حوضه‌ی مشکین‌چای
مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۶۶

- شاخص سینوسی رودخانه (S)

تغییرات سینوسی در یک سامانه رودخانه‌ای، به طور معمول ناشی از بالاآمدگی و فرونشست‌هایی است که در بستر روی می‌دهد. روش برآورد شاخص سینوسی رودخانه مشابه روش شاخص سینوسی جبهه کوهستان است. این شاخص به صورت زیر تعریف می‌گردد *(Keller & Pinter, 1996: 155)*.

معادله ۷:

$$S = C / V$$

S= سینوزیته یا پیچ و خم رودخانه؛ C= طول مسیر رود و V= طول مستقیم دره در معادله فوق می‌باشد. مقادیر بالای این شاخص گویای آن است که رودخانه‌های دارای پیچ و خم زیاد به تعادل رسیده‌اند در حالی‌که مقادیر کمتر این شاخص نشان‌دهنده‌ی رودخانه‌های با مسیر مستقیم می‌باشند که برای رسیدن به تعادل عمل حفر بستر را انجام می‌دهند. طبق محاسبات انجام گرفته میزان شاخص پیچ و خم رودخانه بر روی آبراهه‌های اصلی مربوط به هر زیرحوضه ۱ تا ۱/۲ است که نمایانگر فعالیّت‌های نوزمین‌ساخت در منطقه می‌باشد (جدول۶).

جدول۶ : برآورد مقادیر شاخص پیچ و خم آبراهه‌های اصلی منطقه

نام زیر حوضه	C	V	S	وضعیت زمین‌ساخت حوضه
مشکین‌چای	۳۴/۷	۳۱/۶	۱	فعال
بینوچای	۲۵/۳	۲۳/۳	۱	فعال
کرکرچای	۲۱/۸	۱۸/۲	۱/۲	متوسط

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۶۸

- شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)

شاخص SL یک روش عملی برای اندازه‌گیری تغییرات ناگهانی شیب در مسیر طولی بستر رودخانه می‌باشد. زیرا جریان آب نسبت به تغییرات به وقوع پیوسته در شیب بستر حساسیت نشان می‌دهد *(Troiani and Della seta, 2008: 159)*.

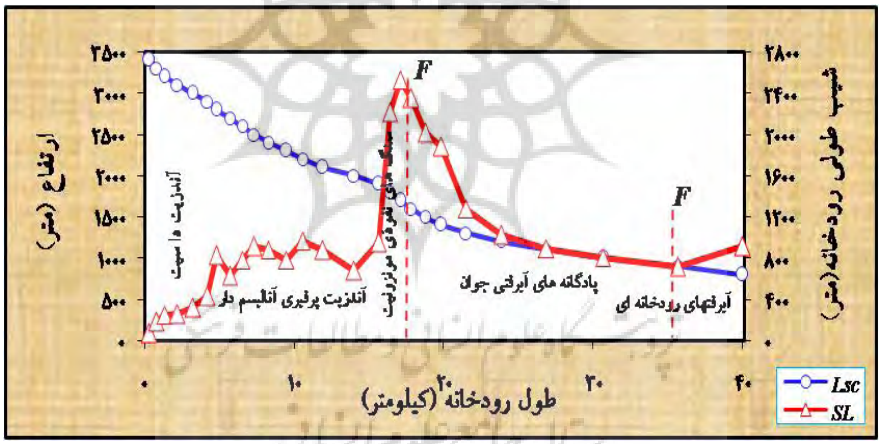
این شاخص با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید:

معادله ۸: $SL = (\Delta H \div \Delta L r) \times LSC$

در معادله‌ی فوق SL = شاخص شیب طولی رودخانه؛ ΔH= اختلاف ارتفاع قطعه مورد نظر؛ ΔLr= طول شاخه مورد نظر و Lsc= طول آبراهه از نقطه‌ای که شاخص محاسبه می‌شود تا مرتفع‌ترین نقطه آبراهه در بالادست می‌باشد. شاخص SL یک روش مفید برای پی بردن به نحوه‌ی عملکرد و جابجایی ناشی از نیروهای زمین ساخت باشد *(Chieh Chen, 2003: 114)*.

پارامترهای مورد نظر در هر قطعه از آبراهه‌ی اصلی با فواصل‌منحنی میزان ۱۰۰متر توسط نقشه‌های‌توپوگرافی زمین مرجع شده ۱:۵۰۰۰۰ در نرم‌افزار Arc GIS اندازه‌گیری و میانگین کل SL در هر زیرحوضه به دست آمد. آستانه‌های این شاخص در سه کلاس طبقه‌بندی می‌گرددمقادیر SL>۵۰۰ زمین‌ساخت فعال، ۳۰۰<SL<۵۰۰ با فعالیّت متوسط و SL<۳۰۰ مناطق غیرفعال می‌باشد *(Dehbozorgi, 2010: 333)*.

در بالادست نیمرخ طولی رودخانه‌ی مشکین‌چای (شکل۱۰) نوساناتی در امتداد شیب آبراهه به وجود آمده که در ارتباط با لیتولوژی و گسل حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. وجود لایه بسیار مقاوم Om (سنگ نفوذی مونزونیت) معرف بالاآمدگی شدید در نیمرخ طولی آبراهه‌ی اصلی می‌باشد. این لایه در ارتفاع ۱۷۰۰-۱۸۰۰ متری منطقه قرار دارد. نتایج نشان می‌دهد در این زیرحوضه لیتولوژی، گسل، شیب از عوامل کنترل‌کننده‌ی مقادیرشاخصSLبه‌شمارمی‌آیند.

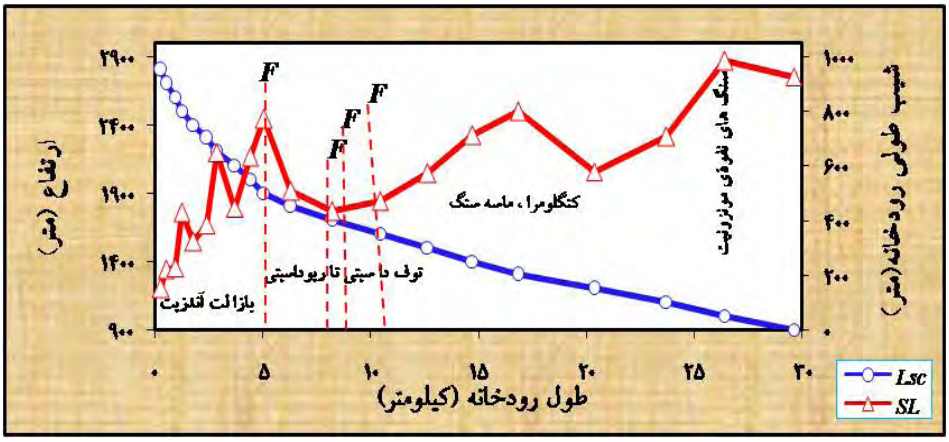


شکل۱۰: نمودار نوسانات شیب رودخانه و نیمرخ طولی آبراهه‌ی اصلی مشکین‌چای

Lsc: نیمرخ طولی رودخانه، SL: مقادیر شاخص و F: گسل

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۶۹

با توجه به شکل (۱۱) این شاخص در سازندهای سست مقادیر پایینی را شامل می‌شود و در سازندهای مقاوم بالعکس است. در نتیجه نوسانات گرادیان رودخانه‌ی بینوچای متأثر از لیتولوژی حوضه می‌باشد. از طرفی در این زیر حوضه نقش گسل‌ها در تغییرات گرادیان رودخانه بارز است.

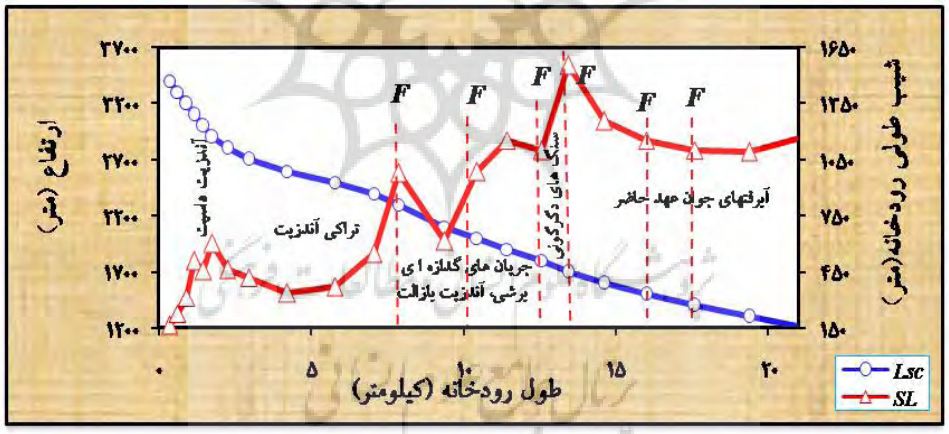


شکل ۱۱: نمودار نوسانات شیب رودخانه و نیمرخ طولی آبراهه اصلی بینوچای

Lsc: نیمرخ طولی رودخانه، SL: مقادیر شاخص و F: گسل

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۶۹

بررسی نمودار نوسانات شیب رودخانه حوضه کرکرچای در شکل (۱۲) حاکی از آنست که عملکرد گسل‌ها سبب افزایش مقدار SL در سنگ‌های با مقاومت متفاوت شده است که طبق نظر پورکرمانی و آرین (۱۳۷۶) مقادیر بالای این شاخص در سنگ‌های کم مقاومت معرف زمین‌ساخت فعال می‌باشد.



شکل ۱۲: نمودار نوسانات شیب رودخانه و نیمرخ طولی آبراهه اصلی کرکرچای

Lsc: نیمرخ طولی رودخانه، SL: مقادیر شاخص و F: گسل

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

نتایج شاخص SL نشان می‌دهد که حوضه‌های مشکین‌چای و کرکرچای درمقایسه با حوضه‌ی‌بینوچای از فعالیّت‌های نوزمین‌ساخت بیشتری متأثرند (جدول ۷). مقادیر بالای شاخص SL معرف زمین‌ساخت فعال است *(Delcaillau, 2010: 272)*.

این مطلب بیانگر آن است در این مناطق از حوض اثرات فعالیّت‌های نوزمین‌ساختی منجر به تشدید فعالیّت‌های و مورفودینامیکی نظیر زمین‌لغزش، ریزش، جریانات واریزه‌سنگی می‌شود.

جدول۷: میزان شاخص SL آبراهه‌های اصلی حوضه‌ی مشکین‌چای

نام زیرحوضه	میانگین کل SL در هر زیرحوضه	وضعیت زمین‌ساخت حوضه
مشکین‌چای	۹۷۷/۷	فعال
بینوچای	۵۴۵/۲	فعال
کرکرچای	۷۵۳/۳	فعال

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰: ۷۰

- شاخص‌ارزیابی نسبی‌فعالیّت‌های زمین‌ساختی(Iat)

شاخص Iat در تجزیه و تحلیل شاخص‌های ژئومورفولوژیک و جمع‌بندی نتایج آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد تا وضعیت‌نسبی فعالیّت‌های زمین‌ساختی در منطقه مشخص گردد.

شاخص فعالیّت نسبی زمین‌ساخت (Iat) از تقسیم مجموع‌کلاس‌های شاخص‌های ژئومورفولوژیک محاسبه شده (S) بر تعداد شاخص‌های محاسبه شده (N) به دست می‌آید.

معادله ۹: $Iat = S / N$

شاخص فعالیّت نسبی زمین‌ساخت در ۴ کلاس مناطق با فعالیّت زمین‌ساختی شدید۱/۵>Iat>۱؛ فعالیّت‌های زمین‌ساختی‌زیاد۲>Iat>۱/۵؛فعالیّت‌های زمین‌ساختی متوسط ۲/۵>Iat>۲ و فعالیّت‌های کم و ناچیز Iat>۲/۵ طبقه‌بندی می‌شود *(Hamadouni,2008:166)*.

نتایج شاخص Iat بیانگر فعالیّت‌های زمین‌ساختی زیاد کل حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای است (جدول ۸).

جدول ۸: نتایج شاخص فعالیّت نسبی زمین ساخت (Iat) حوضه‌ی آبخیز مشکین چای

زیرحوضه	Bs	Af	T	J	Hi	Hc	Vf	S	SL	Iat	وضعیت زمین‌ساخت
مشکین‌چای	۲	۱	۱	۳	۲	۲	۱	۱	۱	۱/۵	زیاد
بینوچای	۳	۲	-	-	-	-	۱	۱	۱	۱/۶	زیاد
کرکرچای	۲	۳	-	-	-	-	۱	۲	۱	۱/۸	زیاد

مأخذ : مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

نتیجه

حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای از لحاظ ساختمانی به بخشی از فلات آتشفشانی آذربایجان تعلق دارد که بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی دوران سوم تشکیل‌شده و در دامنه‌ی شمالی کوه مرتفع آتشفشانی سبلان واقع‌شده است. واحدهای سنگی مقاوم به‌صورت متراکم بخش زیادی (مساحتی در حدود ۱۷۰ کیلومتر مربع) از حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای را در بر گرفته‌اند. سازندهای مقاوم و بسیار مقاوم حوضه بر اثر عملکرد فاز نوزمین‌ساختی با تراکم بسیار بالای گسلی (۳/۱۸ کیلومتر بر کیلومترمربع) و میکروگسل‌ها و درز ترکهای زمین‌ساختی شکسته و جابه‌جا شده‌اند (شکل ۲). بیشتر گسل‌ها تحت تأثیر بالاآیی سبلان و فرونشست ناشی از رسوبگذاری در پای دامنه‌ی شمالی به صورت پلکانی عمود بر روند رودخانه‌ی مشکین و به موازات خطوط میزان شکل گرفته‌اند (شکل ۲).

مناطقی که در پای دامنه منطبق با گسل‌ها می‌باشند به‌صورت بالقوه خطرپذیری بالایی به لحاظ ناپایداری زمین برای ساخت و سازها دارند.

جهت بررسی فعالیّت‌های نوزمین‌ساختی حوضه‌ی آبخیزمشکین‌چای علاوه بر مشاهدات میدانی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (۹ شاخص) اقدام به ارزیابی وضعیت‌نوزمین‌ساخت نمودیم.نتایج ارزیابی فعالیّت‌های زمین‌ساختی از طریق شاخص‌های ژئومورفیک در حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای نظیر Bs، SL، AF، J، T، VF، S، Hc، Hi و Iat نشانگر فعالیّت‌های نوزمین‌ساختی است. فرازش بخش کوهستان در امتداد جبهه آن موجب پیدایش گسل‌های امتدادی در سازندهای با لیتولوژی مقاوم و بسیار مقاوم شده است. به علاوه سازندهای مقاوم و بسیار مقاوم حوضه از لحاظ لیتولوژیکی بیشترین تراکم گسل را دارند .در اثر فرازش بخش کوهستان آبراهه‌ها در بستر تنگ V شکل موجب حفر کاوش بستر خود می‌شود. در نتیجه جابجایی‌های فرازشی و افزایش انرژی دامنه‌ها پدیده‌های مورفودینامیک نظیر ریزش، لغزش و گسیختگی‌های دامنه‌ای موجب تشدید ناپایداری دامنه‌ای و افزایش توان رسوبدهی رودخانه‌ی مشکین‌چای می‌شوند. به علاوه نتایج شاخص‌های ژئومورفولوژی نشان داد که زیرحوضه‌ی مشکین‌چای نسبت به سایر زیرحوضه‌ها از فعالیّت نوزمین‌ساختی و به‌تبع آن تغییرات توپوگرافیکی بیشتری برخوردار است. هر گونه برنامه‌ریزی محیطی در این حوضه بهتر است با در نظر گرفتن حریم گسل‌های فعال انجام شود.

منابع

- پورکرمانی،محسن؛ مهران آرین (۱۳۷۶). سایزموتکتونیک لرزه زمین‌ساخت، چاپ اول. نشر شرکت مهندسی مشاور دزآب.
- روستایی،شهرام؛ هادی نیری (۱۳۹۰). ارزیابی فعالیّت‌های تکتونیکی با استفاده از نیمرخ طولی در حوضه‌ی آبریز مهاباد، جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز. شماره ۳۶.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه.
- علایی‌طالقانی،محمود (۱۳۸۵). ژئومورفولوژی ایران، چاپ دوم. تهران. انتشارات قومس.
- عابدینی، موسی (۱۳۹۱). بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌ی آبخیز باسمنج‌چای با تأکید بر شاخص‌های هیدراقلیمی، تکتونیک و فرسایندگی باران، مجله محیط جغرافیای ناحیه‌ای. شماره ۳. سال دوم. تابستان.
- گورابی، ابوالقاسم؛ احمد نوحه‌گر (۱۳۸۶). شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز درکه، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره۶۰.
- علایی‌طالقانی، محمود؛ حیدر رحیم‌زاده (۱۳۹۲). نقش گسل‌کرند در تحول شکل چین‌ها در شمال غرب زاگرس. مورد: ناودیس ریجاب، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۳۰.
- Anoop, A. Prasad, S. Basavaiah, N. Brauer, A. Shahzad, F. Deenadayalan, K (2011). Tectonic versus climate influence on landscape evolution: A case study from the upper Spiti valley, NW Himalaya, Geomorphology 145-146.
- Chieh Chen, Y. Sungb, Q. Yu Cheng, K(2003). Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis, Geomorphology 56.

- Eña, J. Azor, A. Azañón, J. M .Keller, E.A(2010). Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis, Geomorphology 119.
- Rüdiger, Z.R. Fodor, L. Horváth, E.Telbisz, T (2009).Discrimination of fluvial, eolian and neotectonic features in a low hilly landscape: A DEM-based morphotectonic analysis in the Central Pannonian Basin, Hungary, Geomorphology 104.
- Singh, V. Tandon, S. K (2008). The Pinjaur dun (intermontane longitudinal valley) and associated active mountain fronts, NW Himalaya: Tectonic geomorphology and morphotectonic evolution, Geomorphology 102.
- Troiani, F. Della Seta, M (2008).The use of the Stream Length–Gradient index in morphotectonic analysis of small catchments: A case study from Central Italy, Geomorphology 102.
- Viveena, .W. b, Schoorla, J.M. Veldkampc, A. van Balend, R.T., Desprate, S. Vidal-Romanib, J.R. (2013).Reconstructing the interacting effects of base level, climate, and tectonic uplift in the lower Miño River terrace record: A gradient modelling evaluation.
- Zisu, N.S. Greenbaum, N. Inbar, M. Flexer, A (2008).Morphometric and geomorphic approaches for assessment of tectonic activity, Dead Sea Rift (Israel) Geomorphology 102.
- Zhou Lina. B, Heitaro Kanedac. B, Sakae Mukoyamad, Norichika Asadad, Tatsuro Chibae, (2013). Detection of subtle tectonic–geomorphic features in densely forested mountains by very high-resolution airborne LiDAR survey. Geomorphology, Volume 182.
- Dehbozorgi, M. Pourkermani, M. Arian, M. Matkan, A.A. Motamedi, H. Hosseiniasl, A(2010). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, Geomorphology 121.
- Delcaillau, B. Deffontaines, B. Floissac, L. Angelier, J. Deramond, J. Souquet, P. Chu, H.T. Lee f, J. F (1998). Morphotectonic evidence from lateral propagation of an active frontal fold, Pakuashan anticline, foothills of Taiwan, Geomorphology 24.
- Delcaillau, B. Laville, E .Amhrar , M. Namous, M. Dugué, O. Pedoja , K (2010). Quaternary evolution of the Marrakech High Atlas and morphotectonic evidence of activity along the Tizi N'Test Fault, Morocco, Geomorphology 118.
- Delcaillau, B. Amrhar, M. Namous, M. Laville, E. Pedoja, K. Dugué, O (2011). Transpressional tectonics in the Marrakech High Atlas: Insight by the geomorphic evolution of drainage basins, Geomorphology 134.
- El Hamdouni, R.El. Irigaray, C. Fernández, T. Chacón, J. Keller, E.A (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the SierraNevada(southern Spain),Geomorphology 96.
- Giaconia, F. Rea, G.B. Martinez, J.M.M. Azañón, J.M. Peña, J.V.P. Romero, J. P(2012). Geomorphic evidence of active tectonics in the Sierra Alhamilla (eastern Betics,SE Spain),Geomorphology145-146.
- Keller, E.A. Pinter, N (1996). Active tectomics; Prentice Hall publisher, New jersey.
- Pedrera, Antonio. Peña, José Vicente Pérez. Zaldívar, Jesús Galindo. Azañón, José Miguel. Azor, Antonio (2009).Testing the sensitivity of geomorphic indices in areas of low-rate active foldin (eastern Betic Cordillera, Spain), Geomorphology 105.