Archive of SID

کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی
سال ششم، شماره یک، بهار و تابستان ۱۳۹۷
تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۰۳/۲۷ تاریخ تأیید نهایی: ۱۳۹٦/۰۹/۱۲
صص: ۱۷٤-۱٤۹

بررسی تکتونیک فعال در حوضه سمنان (جنوب سمنان) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک

مجتبی یمانی، استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران
سعیده امیری نژاد ترک[۱]، کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تهران، ایران
فرزانه غلامی، کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تهران، ایران
رقیه نژاد حسینی، کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

شاخص‌های ژئومورفولوژیکی از روش‌های بسیار مفید در ارزیابی و شناسایی آثار فعالیت‌های تکتونیکی (کند و سریع) به شمار می‌آیند و می‌توان با استفاده از این شاخص‌ها به طور معقول و واقعی لندفرم‌های مختلف را با هم مقایسه کرد. این تحقیق به شناخت نحوه عملکرد و میزان اثرگذاری حرکات تکتونیکی در حوضه سمنان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک مانند گرادیان طولی رودخانه، انتگرال هیپسومتریک، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، تقارن توپوگرافی معکوس، عدم تقارن حوضه زهکشی ، پیچ‌وخم رودخانه اصلی، پیچ‌وخم پیشانی کوهستان، تراکم سطحی آبراهه‌ها، انشعاب‌پذیری و شاخص شکل حوضه به‌عنوان تکنیک‌های مدلی و مفهومی می‌پردازد. ابزارهای فیزیکی مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل تصاویر ماهواره‌ای IRS، نقشه‌های توپوگرافی و همچنین نقشه زمین‌شناسی و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. به این منظور یک مدل رقومی ارتفاع از داده‌های توپوگرافی SRTM10M برای محدوده مورد مطالعه تهیه شد. سپس در محیط نرم‌افزار ARCMAP ترسیم آبراهه‌ها، اندازه‌گیری شاخص‌ها و تجزیه و تحلیل‌های آماری مربوط به شاخص‌های ذکر شده صورت گرفته و نتایج در قالب نقشه استخراج شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها با استناد به شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و با استفاده از ابزارهای فیزیکی ذکر شده نشان می‌دهد که فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه سمنان فعالیت متوسطی داشته، محاسبه ۱۰ شاخص ژئومورفیک درحوضه مورد مطالعه بیانگر وجود حرکات نئوتکتونیکی نسبتاً فعال در حوضه سمنان است. بر اساس طبقه‌بندی شاخص IAT، حوضه سمنان از نظر فعالیت‌های تکتونیکی در کلاس ۳ قرار می‌گیرد. وجود دره‌های V شکل و عمیق در قسمت‌های شمالی منطقه می‌تواند دال بر وجود همین فعالیت‌های تکتونیکی درحوضه باشد.

۱- نویسنده مسئول: saeide.amiri@ymail.com

www.SID.ir

Archive of SID

کلمات کلیدی: شاخص‌های مورفوتکتونیک؛ شواهد ژئومورفولوژیکی؛ تکتونیک؛ حوضه سمنان؛ شبکه زهکشی.

مقدمه

عبارت ریخت زمین‌ساخت یا زمین ریخت شناسی در ۲ معنی به کار می‌رود: ۱) زمین ساخت برای توضیح چشم‌اندازها (Landforms)، و ۲) چشم‌اندازها برای توضیح الگوی زمین ساختی (کلر[۲] و همکاران، ۲۰۰۲) که کاربرد دوم رایج‌تر است. اندازه‌گیری کمّی این چشم‌اندازهای ریخت شناسی در یک منطقه، در تشخیص برخی ویژگی‌های آن منطقه از جمله فعالیت‌های زمین ساختی آن سودمند است (خادمی، ۱۳۸۷). در سال‌های اخیر تکتونیک ژئومورفولوژی به طور چشمگیر، یکی از ابزارهای عمده و اساسی و مؤثر در تشخیص شکل‌های تکتونیکی فعال و تهیه نقشه‌های خطر لرزه‌ای و همچنین درک و فهم تاریخچه چشم‌اندازهای کنونی سطح زمین بوده است (کلر و دیگران، ۲۰۰۲).

شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی فعالیت‌های تکتونیکی ابزار مفید و قابل اطمینانی هستند؛ زیرا با استفاده از آن‌ها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع یا کند تکتونیکی را تجربه کرده‌اند، به راحتی شناسایی نمود(رامیز و هرار[۳]، ۱۹۹۸). استفاده همزمان از شاخص‌های ژئومورفیک به ما امکان می‌دهند که تحلیل درستی از وضعیت نئوتکتونیک منطقه داشته باشیم (همدونی و همکاران[۴]، ۲۰۰۸). منطقه مورد مطالعه یک منطقه فعال از نظر تکتونیک است، به طوری‌که گنبدهای نمکی در اطراف محدوده به صورت قله بالا آمده است. ساختارهای که باعث شکل‌گیری مورفولوژی دشت کویر و حاشیه شمالی آن (منطقه مورد مطالعه) شده، دارای ۲ روند کلی هستند: یکی از این روندها از گسل اصلی البرز (N-NE) تبعیت می‌کند و ساختارهای قدیمی‌تر را تشکیل می‌دهد و روند دیگر که از جهت روند گسله اصلی

[2] Keller and Pinnter
[3] Ramiez and Heerea, 1998
[4] Hamdouni et al, 2001

www.SID.ir

Archive of SID

زاگرس (NW-SE) تبعیت می‌کند و ساختارهای جوان‌تر منطقه را تشکیل می‌دهد و روندهای قدیمی‌تر را قطع می‌کند (شریعتی،۱۳۹۰).

برخی از شاخص‌های ژئومورفیک، به عنوان ابزارهای اساسی برای تشخیص شکل‌های سریع تکتونیکی آزمون شده و به طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته‌اند، آن‌گاه نتایج حاصل در طرح‌های تحقیقاتی جهت کسب اطلاعاتی جامع و کامل درباره تکتونیک مورد استفاده قرار گرفته‌اند (گورابی، ۱۳۸٤). با مطالعه و بررسی لندفرم‌های توپوگرافی و الگوی سیستم زهکشی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و با در نظر گرفتن ساختمان زمین شناسی و لیتولوژی هر منطقه، می‌توان عملکرد تکتونیک فعال را در هر منطقه مورد ارزیابی قرار داد و وجود یا عدم وجود حرکات تکتونیکی فعال را مشخص نمود.

شاخص‌های ژئومورفیک در نقاط مختلف دنیا و ایران برای بررسی تکتونیک فعال مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مقصودی و همکاران (۱۳۸۹)، به بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند، نتایج حاصل از مطالعات آن‌ها حاکی از فعال بودن نئوتکتونیک و حاکم بودن فعالیت‌های نئوتکتونیکی شدید در حوضه کفرآور می‌باشد. گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸٦)، در تحقیقی به بررسی شواهد ژئومورفیکی تکتونیک فعال در حوضه آبخیز درکه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. آن‌ها دریافتند که مقادیر کمّی این شاخص‌ها حاکی از تکتونیک فعال در منطقه است. یمانی و علمیزاده (۱۳۹۱)، به مطالعه تأثیر نوزمین‌ساخت در مورفولوژی شبکه زهکشی حوضه نچی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند، نتایج بررسی‌ها حاکی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی فعال در حوضه نچی بود، به‌طوریکه قسمت‌های شمالی (زیرحوضه انجیران) تأثیر این فعالیت‌ها بیشتر است. خادمی (۱۳۸۷)، در تحقیقی به محاسبه و تفسیر برخی از شاخص‌های زمین‌ریخت ساختی پیرامون گسل ترود پرداخت، نتایج حاصل از بررس یژوهش دلالت بر جنبایی منطقه ترود به ویژه در ۲ بخش مرکزی (نزدیکی پیشانی کوه‌ها) و شمال باختری (در

www.SID.ir

Archive of SID

نزدیکی خط تقسیم اصلی کوه‌های ترود) آن دارد و رده ۱ پویایی نوزمین‌ساختی را برای منطقه ترود نشان داد. یمانی و همکاران (۱۳۸۹)، به بررسی نقش نوزمین ساخت در تحول شبکه‌ی زهکشی حوضه آبخیز رودخانه چله با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی پرداختند، نتایج به دست آمده از این شاخص‌ها حاکی از فعال بودن نوزمین ساخت منطقه و تأثیر این فعالیت بر الگوی شبکه زهکشی و مورفولوژی بستر رودخانه چله است. مختاری (۱۳۸۵)، با استفاده از داده‌های حاصل ازتحلیل‌های توپوگرافی، بررسی سامانه‌های رودخانه‌ای منطقه و شواهد زمین ریخت شناسی حاصل از مشاهدات میدانی، نشان می‌دهد که دست کم در اواخر پلیستوسن و هولوسن، حرکات اریب لغز با مؤلفه افقی راستگرد گسل بیشتر از حرکات بالا آمدگی و فعالیت گسل در میشو باختری بیشتر از میشو خاوری بوده است. در حال حاضر، دامنه‌ی شمالی میشوداغ در حال تطبیق تدریجی خود با شرایط زمین ساختی فعالی است که چشم‌انداز کلی آن را تحت تأثیر قرار داده است. هدف از این پژوهش بررسی فعال بودن تکتونیک منطقه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک می‌باشد.

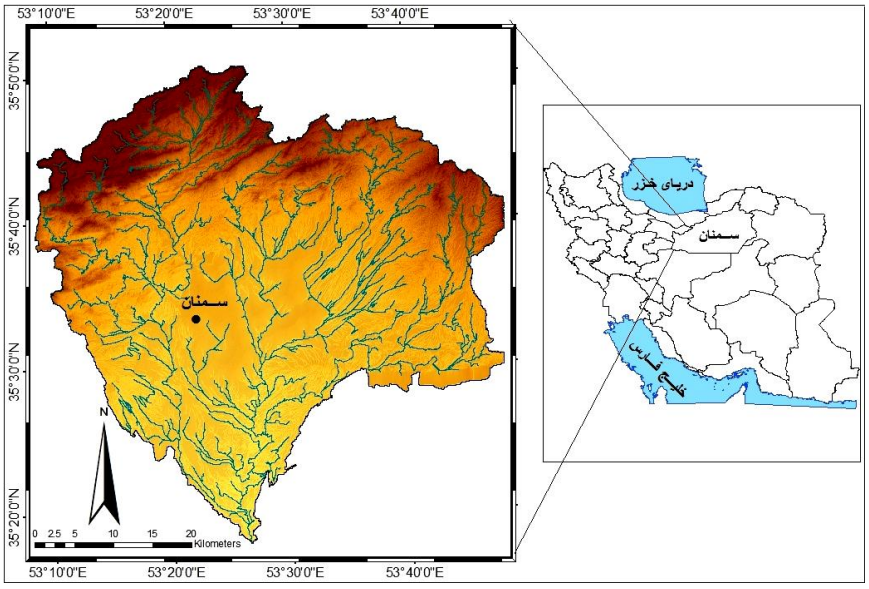
محدوده مورد مطالعه

استان سمنان در لبه شمالی کویر مرکزی ایران دارای مساحتی در حدود ۸۱۵۹۶ کیلومترمربع و جمعیتی بالغ بر ۵۳۸۰۰۰ هزار نفر هست. این استان از شمال به استان‌های گلستان و مازندران، از طرف جنوب به استان‌های یزد و اصفهان، از شرق به استان‌های خراسان شمالی و خراسان رضوی و از طرف غرب به استان‌های تهران و قم محدود است. از شهرهای مهم این استان می‌توان به شهرهای دامغان، سمنان، شاهرود، گرمسار و مهدی‌شهر اشاره کرد. این منطقه در جنوب رشته‌کوه‌های البرز قرار گرفته است. ارتفاع متوسط حوضه ۱۱۳۰ متر، پایین‌ترین نقطه ارتفاعی آن ۳۰۰ متر در خروجی حوضه و بالاترین نقطه ارتفاعی ۳۲۰۰ متر در شمال حوضه قرار دارد. میانگین شیب کلی در این محدوده در حدود ۲۸ /۶۱ ٪ می‌باشد (شکل۱). جهت عمومی شیب

www.SID.ir

Archive of SID

در حوضه مورد مطالعه به سمت شمال غرب است که ۵/ ۳۳۷ کیلومترمربع وسعت دارد. از نظر اقلیمی آب و هوای منطقه تحت تأثیر جریان‌های هوایی گرم و خشک دشت کویر قرار دارد. میانگین سالانه دما در حوضه معادل ۳/ ۱۸ درجه سانتی‌گراد است و بارش این مطقه در حدود ۲۰/ ۱۴۱ میلی متر می‌باشد. بر اساس داده‌های اقلیمی منطقه، رطوبت نسبی سمنان در حدود ۵۱٪ گزارش شده است. از نظر زمین‌شناسی این منطقه در شمال زون تکتونیکی ایران مرکزی و شمال حوضه ترشیری دشت کویر قرار دارد (Akashe& Berckhamer,1980. Berberian, 1981).



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

روش پژوهش

در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای ۱/۲۵۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای IRS استفاده شده است. برای نیل به هدف مورد بررسی مهم‌ترین شاخص‌های ژئومورفیک مانند SL, Hi, Vf, Bl, Af, T, Smf, Br و ... برای تشخیص تکتونیک فعال منطقه از روی نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای منطقه

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیری شد. در مرحله بعدی این تحقیق، به روش تحلیلی- مقایسه‌ای و با استفاده از تکنیک‌های ژئومورفولوژی به تجزیه و تحلیل نئوتکتونیک در حوضه سمنان پرداخته شد. به این منظور ابتدا لایه‌های اطلاعاتی نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ به سیستم اطلاعاتی GIS انتقال داده شده و با استفاده از لایه‌هایی مانند شبکه زهکشی، شیب، مدل ارتفاعی رقومی[5] استخراج گردید و با استفاده از نقشه‌های زمین شناسی منطقه، لایه‌های خطی گسل‌ها استخراج و به لایه‌های فوق اضافه شد، سپس نتایج حاصله تجزیه و تحلیل گردید.

یافته‌های پژوهش

لرزه- زمین ساخت و تحولات ساختمانی منطقه

به لحاظ تقسیم‌بندی ساختارهای ایران، منطقه مورد مطالعه در زون ایران مرکزی قرارگرفته است. بخش مهمی از استان سمنان، در پهنه ایران مرکزی جای داشته، ولی بخش‌های شمالی آن، در رشته‌کوه‌های فعال کپه داغ و البرز قرار دارد. بدین ترتیب، بخش‌های شمالی استان از فعالیت نو زمین ساختی و لرزه‌های بالاتری نسبت به بخش‌های مرکزی و جنوبی آن برخوردار است. تغییر شکل فعال در این پهنه در قالب گسل‌های رانده و گسل‌های امتدادلغز تمرکزیافته که با روند محور تنش زمین ساختی فشاری (NE) سازگار است (شکل۲).

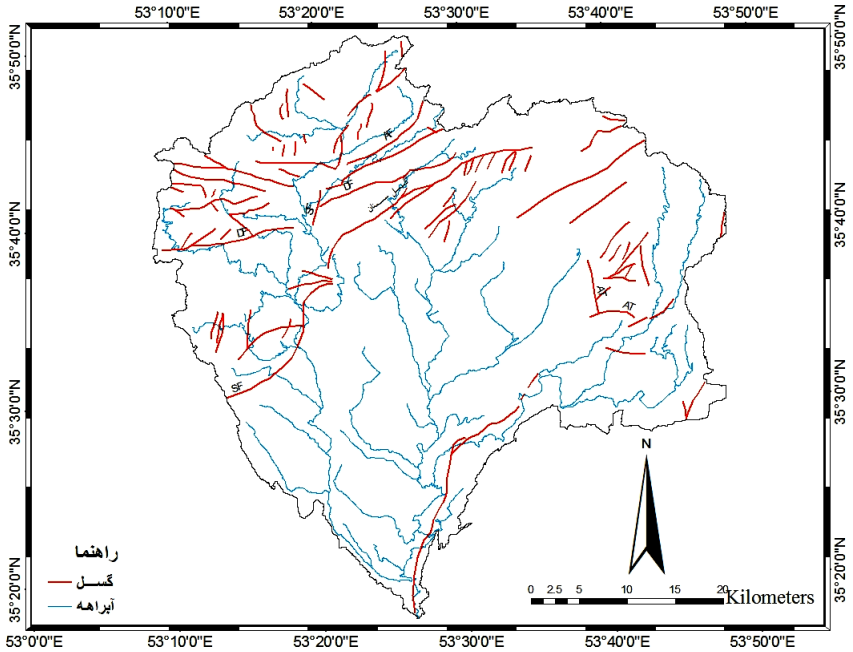
رسوبات حوضه دشت کویر با ضخامت ۷- ٦ کیلومتر، در گودالی که فرونشینی اصلی آن در کرتاسه صورت گرفته نهشته گردیده‌اند. این فرونشینی به علت ریفتی شدن میکروپلاتفرم‌های ایرانی (بلوک لوت) و فعالیت شدید گسل‌ها از کرتاسه به بعد بوده است. بررسی فعالیت‌های این گسل‌ها نشان می‌دهد که تمام آن‌ها دارای مؤلفه راستا لغز معکوس و امتدادلغز هستند. گسل‌ها به سمت شمال دشت کویر فعال‌ترند که مکان گسل‌های فعال توسط محل وقوع زمین‌لرزه‌های دشت کویر معلوم شده است.

[5] DEM

www.SID.ir

Archive of SID

طی فاز کوهزایی آلپی در زمان کرتاسه تا پلیوسن، پس از فعال نمودن گسل‌های ترانسفورم در سراسر حوضه دشت، آن را دچار چین‌خوردگی کرده‌اند. ازجمله گسل‌های بنیادی در پهنه استان سمنان می‌توان به گسل درونه، گسل میامی، گسل سمنان و گسل دامغان، گسل عطاری اشاره کرد. قابل ذکر است که در محدوده دشت کویر در جنوب و جنوب خاور استان سمنان، گسل مهمی به جز گسل‌های بنیادی درونه وجود دارد، این گسل یک ساختار منطقه‌ای عظیم است که بخشی از آن از جنوب محدوده استان می‌گذرد و داده‌های زمین‌لرزه‌ای موجود در پهنه استان سمنان نشان می‌دهد که این بخش از گسل درونه سهم ناچیزی در رهاسازی الاستیک در زمین‌لرزه داشته است (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۲۳).

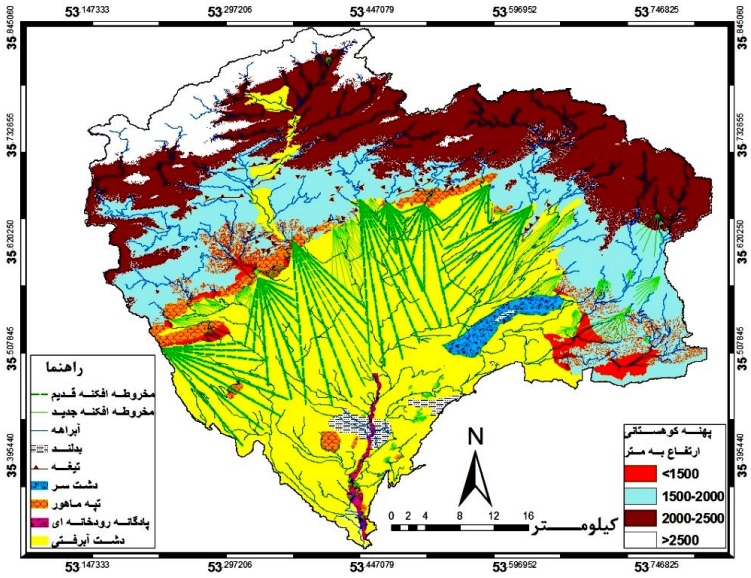


شکل۲. نقشه ارتباط گسل‌ها با شبکه زهکشی در محدوده موردمطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

منطقه مورد مطالعه از دیدگاه ژئومورفولوژی حوضه سمنان است که از سه واحد ژئومورفولوژیکی یعنی کوهستان، دشت و تپه ماهور تشکیل‌شده است. در شکل‌گیری رخساره‌های کویری معمولاً به عواملی از قبیل سطح ایستابی و موقعیت توپوگرافی از نظر شیب و پستی و بلندی و بارندگی دخالت دارند. علاوه بر این سه واحد بزرگ واحدهای کوچک‌تری از جمله مخروطه افکنه‌های قدیم و جدید، دشت‌های آبرفتی، تپه‌ماهور، تراس‌های آبرفتی، گنبدهای نمکی، بدلند و ... مشاهده می‌شود. در بیشتر نواحی ایران به ویژه در ایران مرکزی، مخروطه افکنه‌ها توسعه و گسترش یافته‌اند. در نواحی پای کوهی دامنه‌های جنوبی البرز اشکال ناهمواری مانند مخروطه‌افکنه‌ها چشم‌انداز غالب را به وجود می‌آورند (رهنمایی،۱۳۷۰). تپه‌ماهورها در منطقه مورد مطالعه از شواهد تحولات تکتونیکی دوران سوم زمین‌شناسی هستند که در آبرفت‌های عهد حاضر(کواترنر) به صورت چین‌های ملایم ظاهر شده‌اند (شکل۳).



شکل۳. نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص‌های ژئومورفیک

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی[6] (AF)

در مناطقی که شبکه زهکشی در حضور تغییر شکل‌های تکتونیکی توسعه پیدا می‌کند، شبکه زهکشی اغلب دارای شکل هندسی و الگوی متمایزی است. این شاخص برای تجزیه و تحلیل وجود کج شدگی تکتونیکی در حوضه‌های زهکشی ارزیابی می‌شود.

عامل عدم تقارن از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

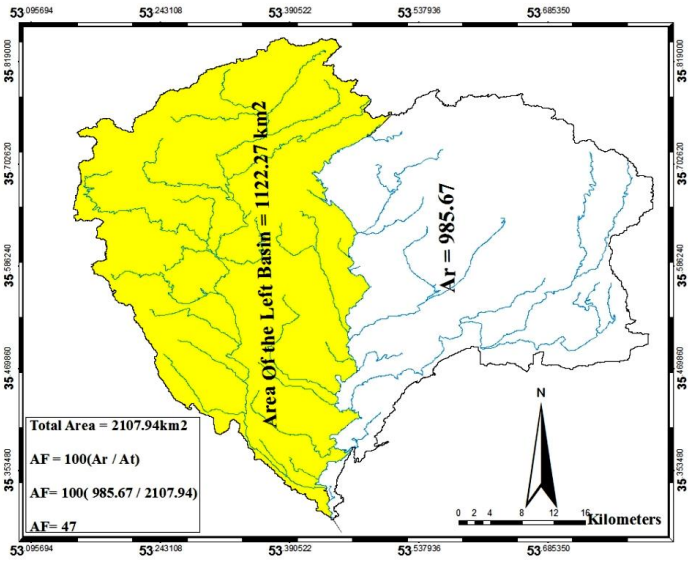
$$AF= 100 (Ar / At) \quad (۱)$$

در رابطه فوق Ar مساحت قسمت راست حوضه(در جهت پائین رود) نسبت به رود اصلی و At مساحت کل حوضه زهکشی است. برای شبکه زهکشی در حالت پایدار و عدم کج شدگی بر اثر بالاآمدگی، AF برابر با ۵۰ است. این شاخص به خم شدگی عمودی بر امتداد رود اصلی در حوضه زهکشی حساس است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ ممکن است حاکی از کج شدگی حوضه زهکشی باشد. در حوضه زهکشی سمنان که جریان رود به سمت جنوب جاری است، چرخش تکتونیکی به طرف غرب است (شکل٤)، شاخه‌های روی کناره‌های سمت راست نسبت به شاخه‌های کناره‌های سمت چپ رود اصلی، کوتاه‌تر هستند و AF کوچک‌تر از ۵۰ است.

[6]Drainge Basin Asymmetry (Asymmetry Factor)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل٤. ارزیابی عدم تقارن حوضه زهکشی

اگر خم شدگی در جهت عکس باشد، شاخه‌های بزرگ‌تر رود بر روی دامنه‌های شرقی (راست) رود اصلی قرار می‌گیرد و AF بیش‌تر از ۵۰ است. این شاخص مانند اغلب شاخص‌های ژئومورفیک که در مناطق و حوضه‌های زهکشی در سنگ‌های یکسانی گسترده‌اند، بهترین عملکرد را دارد. در روش AF برای تجزیه و تحلیل ژئومورفیک فرض بر این است که کنترل سنگ‌شناسی (مانند شیب طبقات- رسوبی) و شرایط اقلیمی و اکولوژیک(همچون اختلاف پوشش گیاهی بین شمال و جنوب دامنه‌ها) در منطقه باعث عدم تقارن نمی‌شود.

شاخص تراکم سطحی آبراهه‌ها[۷] (P)

این عامل از تقسیم طول شبکه هیدروگرافی حوضه به مساحت حوضه به دست می‌آید و شاخص مفیدی برای ارزیابی و شناسایی نئوتکتونیک در حوضه‌های زهکشی است. در این شاخص ضریب تراکم بیشتر باشد، بیانگر تکتونیک فعال و حساسیت زیاد

[7]Drainge Density

www.SID.ir

Archive of SID

سازندها و تشکیلات زمین‌شناسی موجود در حوضه است. این شاخص از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{\sum L_i}{A} \quad (۲)$$

در این رابطه، P: تراکم زهکشی ؛ L_i، طول آبراهه‌ها به کیلومتر و A: مساحت حوضه به کیلومتر مربع است. در حوضه سمنان این شاخص دارای نتایج زیر بود:

جدول۱. شاخص p محاسبه شده حوضه سمنان

شماره انشعاب	رده ۱	رده ۲	رده ۳	رده ٤
طول آبراهه (L_i) به Km	٥٤٨ /٦٨	١٥١ /٧٠	١٢٤ /٤٤	٣١ /٣٧
P	٤٠٦Km2			

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ فعالیت تکتونیکی در حوضه سمنان متوسط تا کم است.

شاخص انشعاب پذیری[8] (BR)

انشعاب پذیری به نسبت تعداد قطعات یک رده به تعداد قطعات بالاتر گفته می‌شود. این شاخص به علت تغییرات تصادفی در هندسه حوضه آبریز از مرتبه‌ای به مرتبه دیگر یکسان نخواهد بود. هر قدر نسبت انشعاب بزرگتر باشد، بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی بیشتر و جوان بودن حوضه است، این شرایط باعث افزایش آبراهه‌های رده پایین‌تر می‌گردد. نسبت انشعاب پایین‌تر از خصوصیات حوضه‌هایی است که آشفتگی‌های ساختاری کمتری دارند و الگوی زهکشی در آن‌ها غیرطبیعی نیست.

$$BR = \left\{\frac{N_1}{N_2} + \frac{N_2}{N_3} \ldots\ldots + \frac{N_{n-1}}{N_n}\right\}\left\{\frac{1}{n-1}\right\} \quad (۳)$$

[8]Bifurcation Ratio

www.SID.ir

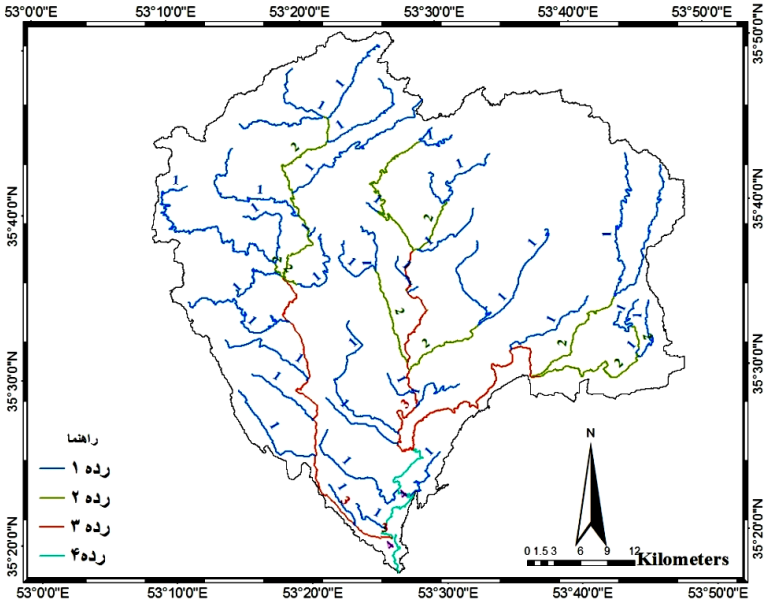
Archive of SID

در فرمول فوق: N1 تعداد شاخه‌های رده ۱، N2 تعداد شاخه‌های رده ۲، N3 تعداد شاخه‌های رده سوم و در نهایت n تعداد شاخه‌های رده n می‌باشد.

جدول ۲. شاخص Br محاسبه شده حوضه سمنان

شماره انشعاب	رده ۱	رده ۲	رده ۳	رده ٤
تعداد انشعاب	۱۵۲	٦۲	٤۲	۸
BR	۳ /۰٦			

با توجه به محاسبات صورت گرفته و مطالب فوق می‌توان گفت با توجه به اینکه رده ۱ دارای بیشترین تعداد و نسبت انشعاب رقم نسبتاً بالایی را نشان می‌دهد، فعالیت تکتونیکی تقریباً زیادی در حوضه حاکم است (شکل۵).



شکل ۵. رده بندی به روش استرالر حوضه سمنان

www.SID.ir

Archive of SID

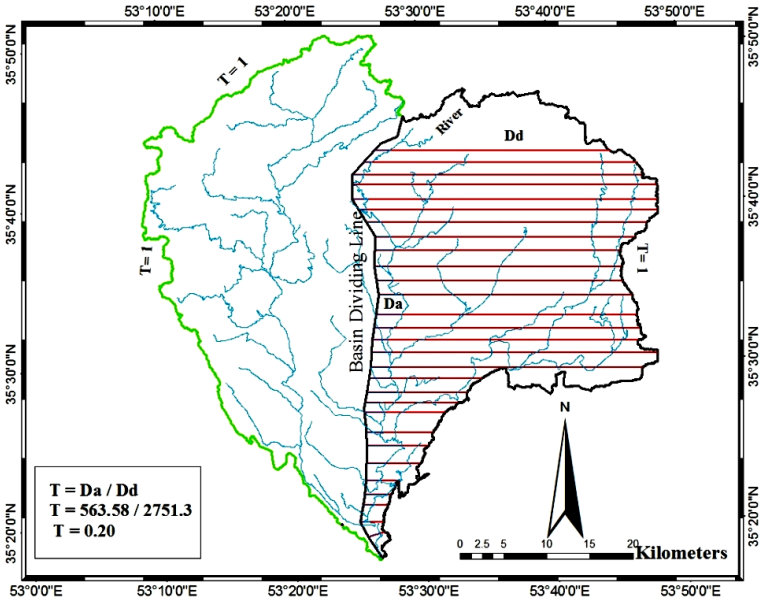
شاخص تقارن توپوگرافی معکوس[9] (T)

دیگر شاخص کمی برای ارزیابی عدم تقارن حوضه، عامل تقارن توپوگرافی معکوس است (T) است. شاخص تقارن توپوگرافی معکوس از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$T = Da / Dd \qquad (٤)$$

Da ⟵ فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمربند فعال مئاندری حوضه (مسیر رود اصلی)

Dd ⟵ فاصله خط میانی حوضه و خط تقسیم آب (شکل ٦).



شکل ٦. ارزیابی شاخص تقارن توپوگرافی معکوس

برای حوضه‌های کاملاً متقارن، T= 0 می‌باشد. با افزایش عدم تقارن، شاخص T افزایش پیدا می‌کند و در نهایت به ۱ نزدیک می‌شود. T بیانگر یک بردار با جهت و مقدار (۱-

[9] Reverse Topographic Symmetry

www.SID.ir

Archive of SID

۰) است. این تجزیه و تحلیل بیشتر برای حوضه‌های زهکشی با الگوی دندرتیک مناسب می‌باشد. مناطقی که ارزیابی انشعاب دره‌ها به خوبی دره باشد مقادیر بزرگتر T مجاز است.

برای برآورد پارامترهای مورد نیاز شاخص T، در حوضه آبخیز سمنان، مقادیر Dd و Da در ۲۸ مقطع محاسبه و نتایج حاصل در جدول ۳ آورده شده است. مقادیر هر یک از آن‌ها طبق رابطه فوق محاسبه شد که میانگین آن ۲۰٪ از این عدد حاکی از فعال بودن نوزمین‌ساخت در محدوده مورد مطالعه است.

شاخص گرادیان طولی رودخانه[10] (SL)

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

$$SL= (\Delta H / \Delta L) . L \qquad (۵)$$

در این رابطه، SL: شاخص گرادیان طولی رود، ΔH : اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه‌گیری شده و ΔL فاصله افقی بین دو نقطه اندازه‌گیری شده در نهایت L طول رودخانه از نقطه اندازه‌گیری شده تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است. بالا بودن مقدار این شاخص، نشان دهنده 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 بسیار حساس است. این حساسیت، شرایط لازم برای ارزیابی مقدار فعالیت تکتونیکی با مقاومت سنگ و توپوگرافی را فراهم می‌کند.

[10]Stream Lengh – gradient index

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. شاخص تقارن توپوگرافی معکوس در حوضه آبخیز سمنان

مسیر مورد ارزیابی	Da	Dd	T
۱	۵۶۳ /۵۸	۲۷۵۱ /۳	۰ /۲۰
۲	۱۲۷۸ /۳۷	۲۸۷۱ /۳۳	۰ /۴۴
۳	۲۵۷۴ /۴۵	۳۰۳۲ /۹	۰ /۸۴
۴	۱۷۲۴ /۱۸	۳۷۸۹ /۹۷	۰ /۴۵
۵	۲۲۱۰ /۹۷	۶۲۲۸ /۹	۰ /۳۵
۶	۳۹۹۲ /۳۴	۷۱۴۵ /۳	۰ /۵۵
۷	۱۹۰۵ /۴۹	۷۷۹۰ /۹۲	۰ /۲۴
۸	۲۳۶۸ /۳۲	۹۴۲۱ /۳۵	۰ /۲۵
۹	۱۷۷۰ /۸۴	۱۰۷۹۶ /۴	۰ /۱۷
۱۰	۳۵۳۰ /۰۱	۱۱۶۲۸ /۰۱	۰ /۳۰
۱۱	۲۵۰۲ /۲۱	۱۳۱۵۰ /۲۲	۰ /۱۹
۱۲	۲۲۴۶ /۲۳	۳۱۶۶۰ /۶۷	۰ /۰۷۰
۱۳	۲۲۶۷ /۰۲	۳۳۱۹۹ /۷۶	۰ /۰۷
۱۴	۱۷۷۵ /۹۳	۳۰۹۲۴ /۹۶	۰ /۰۶
۱۵	۲۱۷۷ /۹۹	۳۰۸۱۳ /۵۲	۰ /۰۷
۱۶	۲۹۵۱ /۴	۳۰۲۲۵ /۶	۰ /۰۹
۱۷	۲۷۰۳ /۳	۲۹۳۶ /۰۳	۰ /۹۲
۱۸	۱۸۶۹ /۸۷	۲۸۵۳۱ /۰۳	۰ /۰۶۵
۱۹	۱۵۶۴ /۰۴	۲۸۶۳۴ /۷۹	۰ /۰۵۴
۲۰	۲۰۶۲ /۰۹	۲۸۴۹۶ /۴۸	۰ /۰۷۲
۲۱	۱۷۲۳ /۵۰	۳۰۰۵۲ /۷	۰ /۰۵۷
۲۲	۱۷۰۹ /۱۳	۳۲۵۴۲ /۶۸	۰ /۰۵۲
۲۳	۸۷۱ /۵۹	۳۴۶۱۷ /۶۸	۰ /۰۲۵
۲۴	۱۸۲۹ /۵	۳۵۳۵۱ /۶	۰ /۰۵
۲۵	۴۴۲ /۳۵	۳۵۲۹۰ /۱	۰ /۰۱
۲۶	۱۳۴۳ /۷	۳۵۵۶۸ /۷	۰ /۰۳
۲۷	۸۳۵ /۵۴	۳۱۶۶۲ /۸	۰ /۰۲۶
۲۸	۱۷۷۸ /۶۳	۲۷۴۸۲ /۰۱	۰ /۰۶۴

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به اطلاعات جدول٤، مشخص می‌شود که روند این شاخص در طول مسیر مورد ارزیابی با شیب یکسانی تداوم ندارد، بلکه در قسمت‌های مختلف مسیر با تغییر همراه است. داده‌های زمین شناسی نشان می‌دهد که شاخص SL به ساختمان سنگ‌شناسی بسیار حساس است. مقدار شاخص SL در مسیر ٤ دارای بیشترین مقدار است که حاکی از فعالیت تکتونیکی متوسط در این مسیر می‌باشد.

جدول ٤. شاخص SL محاسبه شده حوضه سمنان

تعداد مسیر مورد ارزیابی	Δh	Δl	$\Delta h/\Delta l$	L	SL
١	٢٠	٢٨٦٩ /١٨	٠ /٠٠٧	٧١٦٥٥/١٩	٥٠١ /٥٧
٢	٤٠	٣٦٥٣ /١٢	٠ /٠١٠	٥٨٦٤ /١٦	٥٨٤ /٤٠
٣	٣٠	٤٦١٢ /٧٦	٠ /٠٠٦	٣٢٤٢٨/٧٦	١٩٤ /٥٨
٤	٢٦٠	٥٧٨٠ /٣٤	٠ /٠٤٥	١٥٣٠٦ /٧٨	٦٨٨ /٨٠

شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان[11] (**Smf**)

این شاخص بین نیروهای فرسایش دهنده و تکتونیکی را منعکس می‌کند. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Smf = Lmf / Ls \quad (٦)$$

در رابطه فوق، Smf ⟵ شاخص سینوسی جبهه کوهستان، Lmf ⟵ طول جبهه کوهستان در امتداد کوهپایه و در محل شکست مشخص شیب(کنیک) و Ls طول خط مستقیم جبهه کوهستان را نشان می‌دهد (شکل ٧). اگر نرخ بالاآمدگی کم یا متوقف شود، فرآیندهای 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

[11]Mountain Front sinuosity

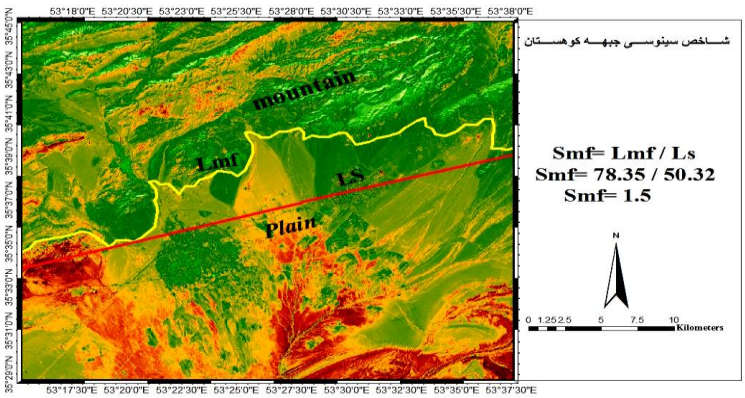
www.SID.ir

Archive of SID

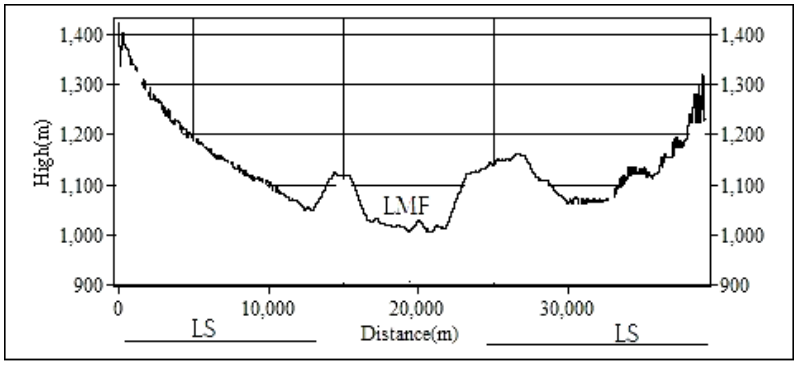
تکتونیکی منطقه است. در حالت کلی می‌توان گفت که اگر مقدار Smf کمتر از ۱ یا ۱ باشد = نیروهای فعال تکتونیکی

مقدار Smf بین ۱ – ۱/۵ = تغییرات متوسط تکتونیکی

مقدار Smf بیشتر از ۱/۵ باشد نشان دهنده فعالیت اندک تکتونیکی است. در حوضه مورد مطالعه مقدار این شاخص برابر با ۲ می‌باشد که بیانگر این مطلب است که نرخ برآمدگی در این حوضه کاهش یافته، درنتیجه، فرآیندهای فرسایشی جبهه کوهستان را به‌طور قهقرایی حفر می‌کنند.



شکل ۷- ارزیابی شاخص Smf برای حوضه سمنان



شکل ۸. روش ارزیابی شاخص Smf

www.SID.ir

Archive of SID

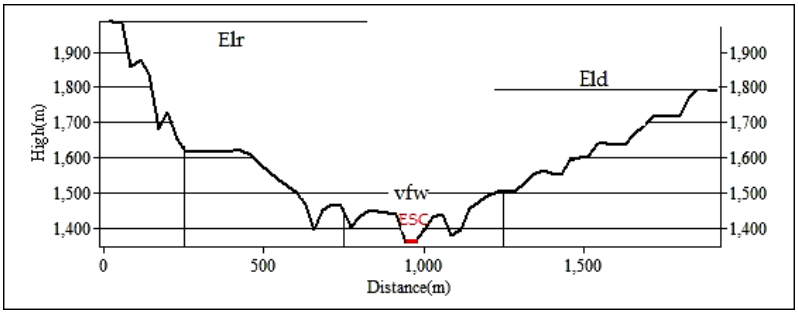
شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره[12] (Vf)

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

$$\left\{ VF = 2\,VFW / \; (Eld - Esc) + (Erd - Esc) \right\} \qquad (۷)$$

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

این پارامتر در فواصل مختلف از جبهه کوهستان برای هر دره بررسی می‌شود. این شاخص دره‌های پهن(با مقدار زیاد Vf) را از دره‌های V شکل(مقادیر کم Vf) تفکیک می‌کند.مقادیر زیاد Vf مرتبط با بالاآمدگی کم است. در این حالت، آبراهه‌ها پهنای بستر خود را فرسایش داده، پهنای دره افزایش می‌یابد. مقادیر کم شاخص بیانگر دره‌های عمیق و V شکل و رودهایی است که به‌طور عمقی کف بستر خود را حفر می‌کنند و معمولاً با بالاآمدگی همراه است. جدول ۵ پارامترهای لازم را برای محاسبه Vf حوضه آبخیز سمنان را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۵ مشخص شده است، برای ارزیابی منطقی از مقدار Vf، ۱۱ برش عرضی در جهت عمود بر آبراهه اصلی ترسیم و مقدار Vf برای هر یک محاسبه شد. آنگاه میانگین Vf کل حوضه آبخیز محاسبه شده و به عنوان مقدار عددی مبنای سنجش فعالیت‌های تکتونیکی لحاظ شد (شکل۹).



شکل ۹- محاسبه نسبت عرض به کف دره به ارتفاع دره (Vf) در امتداد نیمرخ AB

[12]Ratio of vally floor width to vally height

www.SID.ir

Archive of SID

میزان Vf همان‌طور که در جدول مشخص است، برای کل حوضه برابر ۲ /۰۳۰ می‌باشد. بیشترین میزان Vf در راستای نیمرخ شماره ۱۱، ۸ و ۹ می‌باشد (جدول ۵).

جدول ۵. مقادیر شاخص Vf در حوضه آبخیز سمنان

پارامتر	Vf	Vfw	Eld	Esc	Elr
۱	۱ /۰۷	٤۹۷	۱۹۱۵	۱۵٤۹	۲۱۰۷
۲	۰ /٦٤	۲۵٦	۲٤۵۳	۱۸۷۵	۲۱٤۸
۳	۲ /۰۸	۷۵٦	۲۱۲۵	۱٦۸۵	۱۹۷۱
٤	۰ /۹۸	۳۷۹	۲٦۰۵	۲۲۸۵	۲۷٤۰
۵	۱ /۳۰	٦۱۵	۲۷۷٤	۲۲۵۷	۲٦۸۵
٦	۲ /۱۸	٤۲۵	۲۲٤٦	۲۰٦۲	۲۲٦۸
۷	۰ /۹۲	۲۹۰	۲٦۸۳	۲۳٤٦	۲٦٤۰
۸	۳	٤۸۰	۲۵۹۸	۲٤۲٤	۲۵۷۰
۹	۲ /۱۳	۱۸۹	۱۸۲۱	۱۷۷۸	۱۹۹۱۳
۱۰	۱ /٤۹	۳۹٦	۲۳۱۹	۱۹۹۲	۲۱۹٦
۱۱	٦ /۵۵	۷۲۰	۱۹٦۵	۱۸۹٦	۲۰٤۷
Mean	۲ /۰۳۰	٤۵٤ /۸۲	۲۳۱۸ /۵۵	۲۰۱۳ /۵۵	۲۲۹۸ /٦٤
Min	۰ /٦٤	۱۸۹	۱۸۲۱	۱۵٤۹	۱۹۱۳
Max	٦ /۵۵	۷۵٦	۲۷۷٤	۲٤۲٤	۲۷٤۰

شاخص شکل حوضه (BL)

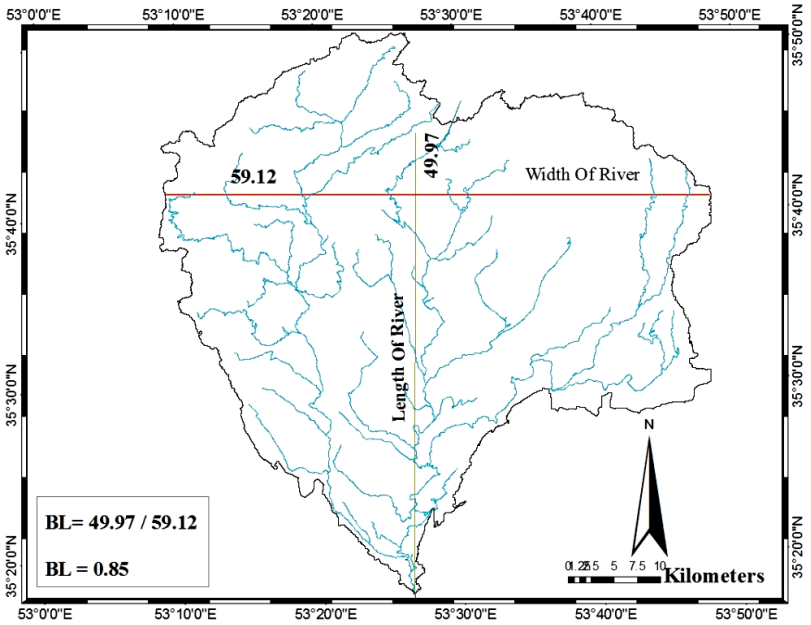
نسبت شکل حوضه زهکشی یک شاخصی است که در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی به کار می‌رود. معمولا حوضه‌هایی که از لحاظ زمین ساخت فعال هستند شکل کشیده دارند. با توقف فعالیت، شکل حوضه به تدریج در طول زمان دایره‌ای می‌شود و شاخص کاهش می‌یابد. این شاخص از طریق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$BL=\frac{L}{W} \qquad (۸)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در این رابطه L طول رودخانه به خط مستقیم می‌باشد و W عرض حوضه به خط مستقیم است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. ارزیابی شاخص BL در حوضه سمنان

مقدار عددی bl برای محدوده مورد مطالعه ۰/۸۵که در کلاس ۳ (غیرفعال) قرار دارد.

شاخص انتگرال هیپسومتری[۱۳] (Hi)

تجزیه و تحلیل سطوح ارتفاعی از طریق محاسبه انتگرال هیپسومتریک از ساده‌ترین راه‌ها برای شناخت میزان فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های زهکشی به شمار می‌آید. انتگرال هیپسومتریک حوضه به‌وسیله مساحت زیرمنحنی هیپسومتریک مشخص می‌شود.این شاخص از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$HI = (h - H_{min}) / (H_{max} - H_{min}) \quad \text{.....} \quad (۹)$$

[13]Hypsometric Integral

www.SID.ir

Archive of SID

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

مقادیر بالای انتگرال هیپسومتریک (نزدیک ۰/۵) بیانگر توپوگرافی جوان و وجود پستی‌وبلندی زیاد نسبت به میانگین حوضه زهکشی است و با برش‌های عمیق، برجستگی‌های ناهموار، سطوح بالاآمده و بریده شده توسط شبکه زهکشی مشخص می‌شود و هر چه رقم به صفر نزدیک باشد، گذر از مرحله بلوغ به پیری را شاهد خواهیم بود. ارتباط بین انتگرال هیپسومتریک و درجه بریدگی باعث شده تا انتگرال هیپسومتریک به عنوان شاخص و معیاری جهت تشخیص چرخه مرحله فرسایش چشم‌انداز استفاده شود.

چرخه فرسایش به‌طور نظری یک چشم‌انداز را در خلال چندین مرحله فرسایش به قرار زیر توصیف می‌کند:

مرحله جوانی: مرحله‌ای که با برش‌های عمیق و برجستگی‌های ناهموار و ناصاف توصیف می‌شود.

مرحله بلوغ: مرحله‌ای که بسیاری از فرآیندهای ژئومورفیک تقریباً به‌طور متوازن و متعادل روی می‌دهد.

مرحله پیری: مرحله‌ای که با چشم‌اندازهای نزدیک به سطح اساس با برجستگی‌های بسیار هموار شده و مقهور توصیف می‌شود.

میزان انتگرال هیپسومتریک برای حوضه آبخیز سمنان برابر است با:

۰/۲۴۵ = ۶۶۳- ۳۱۵۵ / ۶۶۳ - ۱۲۷۲ = انتگرال هیپسومتریک حوضه سمنان

با توجه به محاسبات صورت گرفته در بالا، حوضه سمنان شاهد گذر از مرحله بلوغ هستیم و می‌توان گفته به‌طورکلی حوضه در مرحله پیری به سر برده و فرآیندهای فرسایشی بر حوضه حاکم شده است (جدول۶).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦. مقادیر شاخص H_i در حوضه آبخیز سمنان

ارتفاع متوسط حوضه	H_{max}	H_{min}	h	Hi
۱۸۲۸ /٤٨ Km^2	۳۱٥٥	٦٦۳	۱۲۷۲	۰ /۲٤٥

شاخص پیچ‌وخم رودخانه اصلی (S)

تغییر شیب بستر رودخانه به علت فعالیت‌های تکتونیکی رابطه‌ی مستقیمی با پیچ خم در مسیر رودخانه دارد. هر چه میزان شاخص S بیشتر باشد، نشان‌دهنده‌ی فعال بودن تکتونیک در منطقه است.

این شاخص به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$S= C / V \qquad (۱۰)$$

S = شاخص پیچ خم رودخانه اصلی ، C = طول رودخانه، V= طول دره به خط مستقیم است.

جدول ۷. مقادیر شاخص S در حوضه آبخیز سمنان

نام حوضه	C	V	S
سمنان	۹٤ /۰۳ KM	٥۰ /۲۰ KM	۱ /۹

بر اساس جدول ۷ مقدار شاخص S نشان می‌دهد که رودخانه شوراب به حالت تعادل رسیده و فعالیت نئوتکتونیکی در حوضه سمنان فعال بوده و در کلاس ۱ تکتونیکی قرار دارد (شکل۱۱).

طبقه‌بندی شاخص‌ها بر اساس شاخص IAT[14]

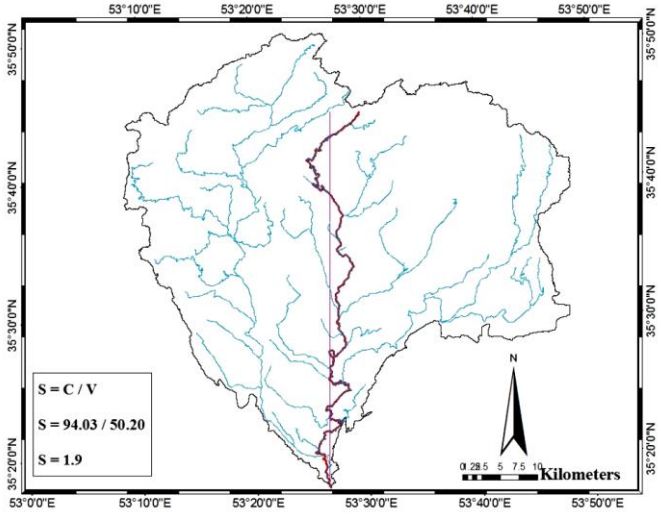
در طبقه‌بندی ارائه شده برای شاخص‌های SL، Smf، Vf، Br، Af توسط همدونی و همکاران(۲۰۰۸)، این شاخص‌ها بر اساس مقدار کمی به دست آمده در سه کلاس ۳،

[14]Index Active Tectonic

www.SID.ir

Archive of SID

۲ و ۱ طبقه‌بندی شده است (جدول۸). در این طبقه‌بندی کلاس ۱ بالاترین فعالیت و کلاس ۳ کمترین فعالیت نئوتکتونیکی را دارا هستند.



شکل ۱۱. ارزیابی شاخص S در حوضه سمنان

جدول ۸. طبقه‌بندی ارائه شده توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸)

شاخص	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳
SL	میزان تغییرات زیاد	میزان تغییرات کم	بدون تغییرات
Smf	Smf< 1.1	Smf: 1.1 – 1.5	Smf > 1.5
Vf	Vf < 0.5	Vf: 0.5- 1	Vf > 1
Br	Br < 4	Br: 4- 3	Br> 3
Af	Af – 50> 15	Af-50: 7- 15	Af – 50< 7
Hi	Hi< 0.5	Hi: 0.4- 0.5	Hi> 0.4

شاخصIAT به‌وسیله میانگین کلاس‌های مختلف شاخص‌های ژئومورفیک(S/n) به دست می‌آید و بر اساس مقدار به دست آمده از (S/n) به چهار کلاس تقسیم می‌گردد که در این تقسیم‌بندی کلاس ۱ با فعالیت بسیار بالای نئوتکتونیکی، کلاس ۲ با فعالیت

www.SID.ir

Archive of SID

نئوتکتونیکی بالا، کلاس ۳ با فعالیت نئوتکتونیکی متوسط و کلاس ٤ با فعالیت نئوتکتونیکی کمی فعال مشخص می‌شوند (جدول۹).

جدول ۹. طبقه‌بندی شاخص IAT

IAT	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ٤
(S/n)	۱ -۱/۵	۱ /۵ -۲	۲ -۲/۵	۲ /۵ < (S/n)

بر اساس شاخص IAT فعالیت‌های نئوتکتونیکی حوضه‌ی مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول زیر آمده است:

جدول ۱۰. طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص IAT

نام حوضه	کلاس شاخص‌ها							S/n	IAT
سمنان	SI کلاس ۲	Af کلاس۲	Vf کلاس ۳	S کلاس ۱	Br کلاس ۲	BL کلاس ۳	Smf کلاس ۲	۲ /۸	کلاس۳

بر اساس داده‌های محاسبه شد در جداول ۹ و ۱۰ حوضه‌ی سمنان در کلاس ۳ قرار می‌گیرد، بدین معنا که فعالیت نئوتکتونیکی در حوضه مورد مطالعه فعالیت متوسط تا نسبتا زیاد دارد.

نتیجه‌گیری

به لحاظ تقسیم‌بندی ساختارهای ایران، منطقه مورد مطالعه در زون ایران مرکزی قرارگرفته است. بخش مهمی از استان سمنان، در پهنه ایران مرکزی جای داشته، ولی بخش‌های شمالی آن، در رشته‌کوه‌های فعال کپه داغ و البرز قرار دارد. بدین ترتیب، بخش‌های شمالی استان از فعالیت نو زمین‌ساختی و لرزه‌های بالاتری نسبت به

www.SID.ir

Archive of SID

بخش‌های مرکزی و جنوبی آن برخوردار است. هر یک از شاخص‌های محاسبه شده یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت‌های تکتونیکی ارائه می‌دهد. برای بررسی همه‌جانبه‌ی حوضه، شاخص‌ها در ۲ دسته کمیت‌های توپوگرافی Smf، Vf، Vwf برای جبهه کوهستان‌ها و شاخص‌های زهکشی T، S، AF، SL، برای بررسی سامانه رودخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مقادیر به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک وطبقه‌بندی میزان آن‌ها نشان‌دهنده‌ی تکتونیک متوسط تا نسبتا فعال در حوضه است و فعالیت‌های نو زمین ساختی به‌صورت فعال‌تر در قسمت‌های شمالی حوضه ادامه دارند. بر اساس طبقه‌بندی شاخص IAT، حوضه سمنان از نظر فعالیت‌های تکتونیکی در کلاس ۳ قرار می‌گیرد. در کل بر اساس کلاسه بندی شاخص‌های مورد محاسبه می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های نئوتکتونیکی در حوضه سمنان نسبتا فعال بوده، مخصوصا در قسمت‌های شمالی حوضه که در محدوده رشته کوههای فعال کپه داغ و البرز قرار دارد.

منابع

سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه توپوگرافی و اطلاعات رقومی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه.

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، بررسی زمین‌ساخت جنبا در حوضه‌های آبریز ارس و تلخه رود بر اساس شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی، سی و دومین گردهمایی بین‌المللی تخصصی علوم زمین، بهمن ۱۳۹۲، ص ۳۰-۲۷.

سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تصاویر ماهواره‌ای IRS محدوده مورد مطالعه.

شریعتی نیا، ز، و رحیم‌پور بناب، ح(۱۳۹۰)، ژئوشیمی تبخیرهای معدن نمک ملحه در جنوب سمنان، مجله نمک، ص ۷۰-۱۳۹۰.

خادمی، م(۱۳۸۷)، محاسبه و تفسیر برخی شاخص‌های زمین ریخت ساختی پیرامون گسل ترود، جنوب دامغان، پژوهش‌های علوم زمین، شماره ۷۵، ص ٥٦- ٤٧.

www.SID.ir

Archive of SID

رهنمایی، م(۱۳۷۰)، توان‌های محیطی ایران، وزارت مسکن و شهرسازی، ص۹٤.

قطبی،ح(۱۳٦۳)، گزارش پی‌جویی املاح تبخیری کویر سمنان تا ترود(مناطق قابل عبور)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

گورابی، ا؛ و نوحه‌گر، ا(۱۳۸٦)، شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز درکه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ٦۰.

مقصودی، م؛ جعفری اقدم، م؛ باقری سید لشکری، س؛ و مینایی، م(۱۳۹۰)، بررسی تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفیکی، مجله جغرافیا و توسعه، ص ۱۳٦- ۱۱۱.

مختاری، د (۱۳۸۵)، کاربرد شاخص‌های ریخت سنجی در تعیین میزان فعالیت گسل‌ها (مورد مطالعه: گسل شمالی میشو)، مجله علوم زمین، شماره ۵۹.

نیری، ع؛ امیر لیراوی، ف؛ و امیری، ن(۱۳۹۰)؛ مطالعه لرزه‌زمین‌ساخت و برآورد خطر زمین‌لرزه در استان سمنان، مرکز تحقیقات و مسکن (وزارت مسکن و شهرسازی)،گزارش تحقیقاتی، شماره نشر: گ – ۵۵٦.

یمانی، م؛ باقری، س؛ و جعفری اقدم، م (۱۳۸۹)، تأثیر نو زمین‌ساخت در مورفولوژی آبراهه‌های حوضه آبریز چله (زاگرس غربی)، مجله محیط جغرافیایی، شماره۱.

یمانی، م؛ علمیزاده، ه (۱۳۹۱)، تأثیر نو زمین‌ساخت در مورفولوژی شبکه زهکشی حوضه آبخیز نچی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتریک، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره۱.

Berberian, M. 1976. Contribution to the seismotectonic of Iran. Part II: Geological Survey of Iran Report 39, 516P.

Keller, E.A., Pinter, N.,2002- Active tectonics: earthquake, uplift and landscapes, 2 ed. Prentice – Hall, Upper Saddler River, N.J.

Hamdouni, R.EI. Iriggaray, C. Fernandez, T. Chacon, J. Keller, EA (2008). Assessment Of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). Geomorphology.96.

Ramiez – Heerea, M.T(1998). Seismic zoning of Iran, dissertation for ph.d degree in Geophysics, Institute of Geophysics, state semi logical Bureau, Beijne, People Republic Of china, Publisher.

www.SID.ir