

نقش نوزمین‌ساخت در تحولات ژئومورفولوژیک مرز ساختاری البرز جنوبی - ایران مرکزی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی حبله‌رود)

مریم جابری - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس
سیاوش شایان* - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
مجتبی یمانی - دانشیار دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران
محمد رضا قاسمی - استادیار پژوهشکده‌ی سازمان زمین‌شناسی
محمد شریفی کیا - استادیار دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۳/۰۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۸/۲۹

چکیده

رودخانه‌ی حبله‌رود، جریان دائمی حوضه‌ی آبریز کویر مرکزی است که در مرز ساختاری البرز جنوبی - ایران مرکزی واقع شده است. به دلیل فعال‌بودن زمین‌ساخت البرز، لندفرم‌های کواترنری در این محدوده تا اندازه‌ی زیادی تحت تأثیر گسل‌های اصلی و فعال منطقه قرار دارند. در این پژوهش، برای شناسایی مناطق فعال از نظر حرکات زمین‌ساختی، شاخص‌های ژئومورفولوژیکی زمین‌ساختی از تصاویر ماهواره‌ای و DEM10 استخراج شده است. این شاخص‌ها شامل: شاخص گرادیان طولی رودخانه (SI)، عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی (Af)، انتگرال فرازسنجی (Hi)، سینوسیتی پیشانی کوهستان (Smf)، شکل حوضه (Bs) و نسبت عرض بستر دره به ارتفاع آن (Vf) هستند. علاوه بر آن، به دلیل تراکم زیاد گسل‌ها، در بررسی‌ها برای نخستین بار شاخص دیگری به نام چگالی گسل (Fd) مورد استفاده قرار گرفت. به دلیل همگن نبودن شاخص‌ها برای تمامی بخش‌های منطقه، تمام متغیرها در یک جدول ماتریسی قرار گرفته و بر اساس ویژگی‌های منطقه، ارزش‌گذاری و پس از بی‌بعدسازی، در مدل SAW قرار گرفت و به چهار رده‌ی بسیار فعال، فعال، متوسط و فعالیت کم، تقسیم‌بندی شدند. به منظور ارزیابی نتایج به دست آمده با پژوهش میدانی و دستگاه GPS، مناطق فعال حوضه مورد بررسی قرار گرفت و با شواهد ژئومورفولوژیکی به دست آمده مانند پادگانه‌ی رودخانه‌ای ارتفاع یافته، دره‌های V شکل، توالی مخروط افکنه‌ها، تغییر مورفولوژی رودخانه و... نتایج به دست آمده مورد تأیید قرار گرفت. بررسی‌ها نشان می‌دهند با وجود حضور گسل‌های اصلی و فعالی همچون گسل مشا، فیروزکوه، سرخه کلوت، سیدآباد و حصارین، میزان فعالیت در تمامی بخش‌های منطقه یکسان نبوده و بخش‌های جنوبی منطقه دارای بیشترین فعالیت است، بنابراین بر اساس این پژوهش، فعال‌ترین گسل منطقه، راندگی گرمسار معرفی می‌شود.

کلیدواژه‌ها: نوزمین‌ساخت، شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، مدل SAW، البرز جنوبی، حوضه‌ی حبله‌رود.

مقدمه

تکتونیک ژئومورفولوژی، علم میان‌رشته‌ای به نسبت جدیدی بین زمین‌شناسی ساختمانی - تکتونیک و فرآیندهای سطحی است. رایج‌ترین هدف تکتونیک ژئومورفولوژی، استفاده از لندفرم‌های کواترنری و چینه‌شناسی برای پی بردن به ماهیت، الگوها، نرخ‌ها و تاریخچه‌ی فرآیندهای تکتونیکی نزدیک سطح زمین است. تکتونیک ژئومورفولوژی، جعبه ابزار کاملی را برای رمزگشایی فعالیت‌های اخیر در سازندهای حال حاضر فراهم می‌کند (کلر و پینتر^۱؛ ۲۰۰۲؛ پینتر، ۱۹۹۶). این جعبه‌ابزار در واقع اندازه‌گیری کمی چشم‌اندازهای زمین‌ساختی است که اطلاعات مفیدی را از فعال بودن نوزمین‌ساخت در اختیار ما می‌گذارد. شاخص‌های ژئومورفولوژیکی که در بیشتر مطالعات ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی استفاده می‌شوند، به‌طور معمول شامل: شاخص گرادیان طولی رودخانه (SI)، انتگرال فرازسنجی (Hi)، سینوسیتی پیشانی کوهستان (Smf) و نسبت عرض بستر دره به ارتفاع آن (Vf) هستند و بستگی به هدف مطالعه (حوضه‌ی زهکشی یا پیشانی کوهستان) دارند. مطالعات در غالب شاخص SI و نیمرخ طولی رودخانه بر اساس مدل هگ^۲ (۱۹۷۳)، هافمن^۳ (۲۰۰۶)، کارهای استپانسیکف^۴ و دیگران (۲۰۰۸)، کات^۵ و دیگران (۲۰۱۰)، خطیبی نیا (۱۳۸۸)، کرمی (۱۳۸۸) و روستایی (۱۳۸۸) یا به‌صورت ترکیب و رده‌بندی شاخص‌های مربوط به پیشانی کوهستان و ویژگی دره‌ها مانند مطالعات ارفع‌نیا (۱۳۸۹)، خطیبی نیا (۱۳۸۷) و خادمی (۱۳۸۷) است. برخی دیگر از شاخص‌ها مانند، عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی (Af)، شاخص شکل حوضه (Bs)، تقارن توپوگرافیکی عرضی دره (T)، به‌دلیل اهمیت کمتری که دارند، بیشتر به‌صورت مطالعه و جمع‌بندی با شاخص‌هایی که در بالا بیان شد، در مطالعات نوزمین‌ساخت استفاده می‌شوند (سینگ^۶ و دیگران، ۲۰۰۸؛ گورابی، ۱۳۸۴). بسیاری از این مطالعات بر پایه‌ی نقشه‌های توپوگرافی است (بهرامی، ۱۳۹۰)؛ ولی در سال‌های اخیر با پیدایش مدل‌های رقومی - ارتفاعی (DEM) و تصاویر ماهواره‌ای، به‌دلیل بالا بودن دقت آنها و نیز، تسهیل در محاسبات، به‌صورت گسترده در مطالعات مورد استفاده قرار گرفته و با افزایش قدرت تفکیک آنها، به‌طبع مقیاس مطالعات بزرگتر و اندازه‌گیری‌ها بسیار دقیق‌تر شده است، مانند کاری که ارواسمیت و زیکل^۷ (۲۰۰۹) روی گسل سن آندریاس به طول ۱۵ کیلومتر با استفاده از مدل رقومی - ارتفاعی با قدرت تفکیک ۰/۵ تا ۰/۲۵ متر انجام دادند.

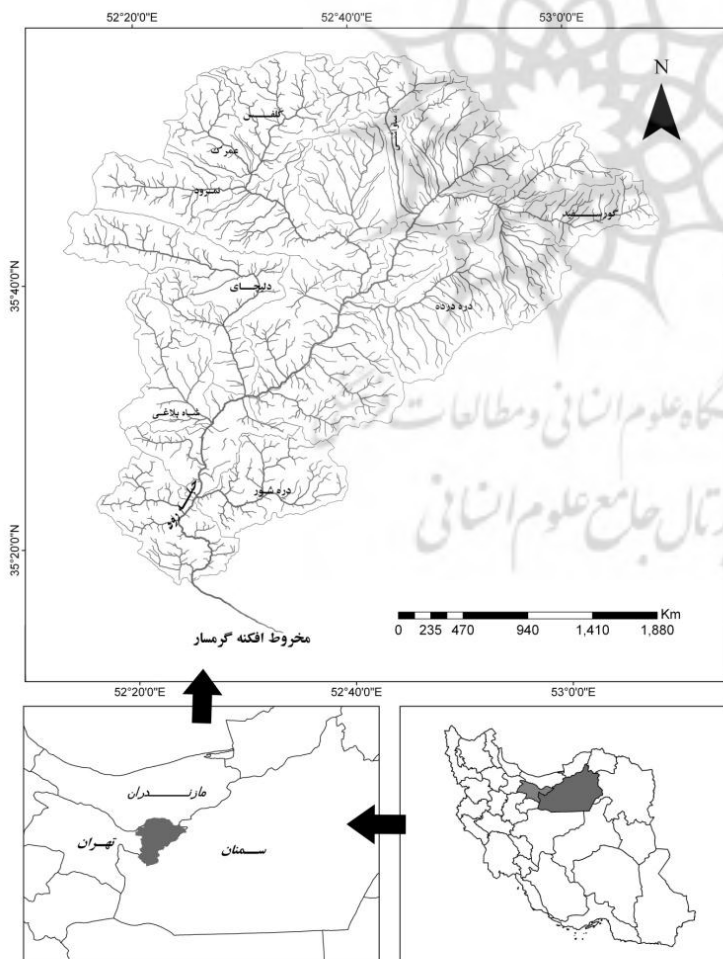
همدونی^۸ (۲۰۰۸)، برای نخستین‌بار با استفاده از شش شاخص SI، Af، Vf، Smf، Bs و Hi به ارزیابی نسبی تکتونیک فعال در حوضه‌ی نوادا در جنوب اسپانیا پرداخت. وی با محاسبه و رده‌بندی شاخص‌های مذکور و گرفتن میانگین (شاخص S/N)، در نهایت در چارچوب مدل IAT به رده‌بندی زمین‌ساخت فعال به چهار رده‌ی بسیار فعال تا نسبتاً دارای فعالیت کم پرداخت که بعدها این مدل در بسیاری از مناطق استفاده شد و نتایج قابل قبولی را به‌دست آورد

1. Keller and Pinter
2. Hack
3. Hofmann
4. t p n kovv
5. Katt
6. Singh
7. Arrowsmith and Zikle
8. Hamdouni

(خاوری، ۱۳۸۷؛ کرمی، ۱۳۸۷؛ خسروی، ۱۳۸۸؛ مقصودی، ۱۳۹۰؛ ده‌بزرگی، ۲۰۱۰). در این مدل، نقطه‌ی قوت کار همدونی، تطبیق شاخص‌ها با ویژگی‌های زمین‌شناسی است. یکی از ایرادهایی که به روش IAT وارد است، همسان نبودن شاخص‌ها برای تمامی مناطق است، از این‌رو، در این پژوهش با توجه به کثرت متغیرها، پس از بی‌بُعد کردن آنها، در قالب مدل مجموع ساده وزین^۱ (SAW)، نوزمین‌ساخت منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برای نخستین بار در این‌گونه مطالعات، چگالی گسل، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های فعالیت‌های نوزمین‌ساختی مورد بررسی قرار گرفت.

موقعیت جغرافیایی گستره‌ی مورد مطالعه

برای بررسی نوزمین‌ساخت در البرز جنوبی، حوضه‌ی آبخیز حبله‌رود در فاصله‌ی بین استان‌های تهران و سمنان با وسعت ۴۰۱۱ کیلومترمربع انتخاب شد (شکل شماره ۱). از نظر موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی آبخیز حبله‌رود بین ۳۵°۰۶' تا ۳۵°۲۲' عرض شمالی و ۵۲°۱۵' تا ۵۲°۳۸' طول شرقی واقع شده است



شکل ۱. موقعیت حوضه‌ی رودخانه‌ی حبله‌رود

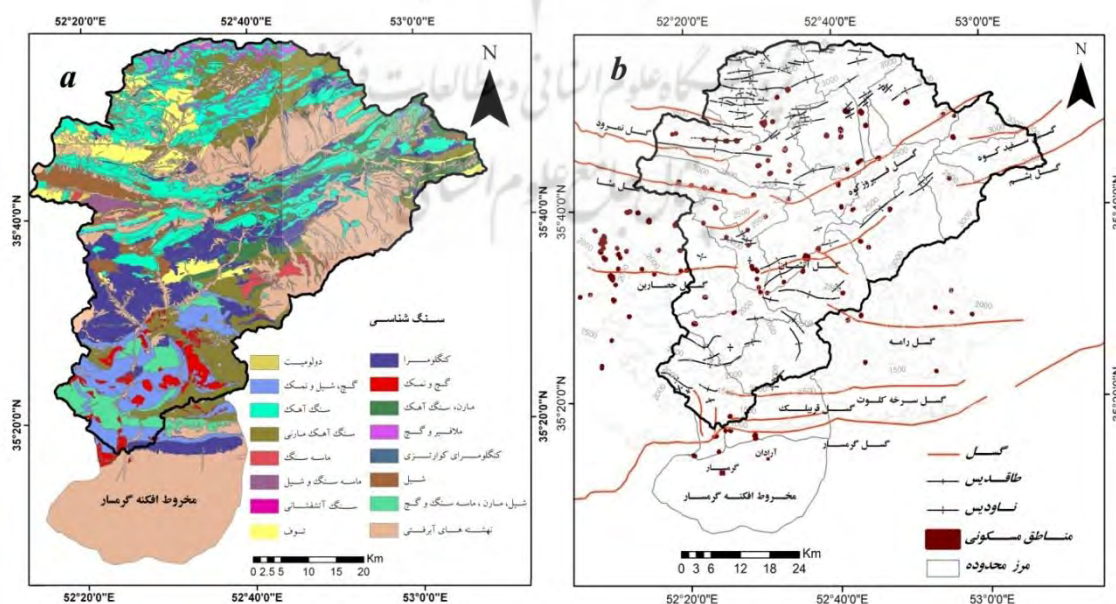
(شکل شماره ۱). این حوضه‌ی آبخیز از ۲۲ زیرحوضه و یک واحد هیدرولوژیک (مخروط‌افکنه‌ی گرمسار) تشکیل شده است.

ویژگی‌های طبیعی محدوده‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی رودخانه‌ی حبله‌رود در جنوب رشته‌کوه البرز و در پهنه‌ی زمین‌ساختی البرز مرکزی قرار دارد. روند کوه‌ها شرقی - غربی بوده و تحت تأثیر کوه‌زایی آلپی به‌شکل کنونی درآمده است. حوضه‌ی رودخانه‌ی حبله‌رود، درواقع یک پیشینه رود است که در مسیر خود، ساختارهای زمین‌شناسی بسیاری همچون تاقدیس‌ها، ناودیس‌ها و دره‌های

گسلی را قطع کرده که این مسأله شاید بیانگر داشتن اقلیم بسیار پویا در دوره‌های بارانی کواترنری است. در تقسیم‌بندی زیرحوضه‌های آبریز کشور، رودخانه‌ی حبله‌رود به‌عنوان زیرحوضه‌ی کویر مرکزی در نظر گرفته شده که درواقع یکی از مهم‌ترین جریان‌های دائمی این منطقه است. ویژگی بارز این حوضه، واقع شدن در مرز ساختاری البرز جنوبی - ایران مرکزی است، با این حال، حد جنوبی البرز چندان روشن نیست و با وجود رخنمون رسوب‌های شاخص ایران مرکزی - یعنی سازندهای تبخیری سرخ پایین، قم و سازند سرخ بالا از گسل‌های مشا و فیروزکوه - بربریان (۱۳۷۵) گسل گرمسار را مرز البرز جنوبی معرفی می‌کند. با وجود این، گمان می‌رود که مرز شاخصی در جنوب البرز وجود نداشته باشد و گذر از پهنه‌ی البرز به ایران مرکزی تدریجی باشد (آقا نباتی، ۱۳۸۹).

اطلاعات کمی در رابطه با تغییرات انجام‌شده در دوره‌ی سنوزوئیک منطقه موجود است. این مسأله زمانی اهمیت می‌یابد که بخش کلانی از رسوب‌های منطقه، مربوط به دوره‌ی سنوزوئیک است. ساختار این گستره از قدیم به جدید شامل سازند فجن، زیارت (پالئوسن)، کند، کرج (ائوسن)، سرخ پایین، قم (الیگوسن)، سرخ بالا (میوسن)، هزاردره (پلیو - پلیوستوسن)، کهریزک و آبرفت‌های کواترنری است که از دیدگاه سنگ‌شناسی، به‌طور عمده متشکل از مارن، شیل، سنگ آهک، نمک، گچ، سنگ ماسه، کنگلومرا، توف و نهشته‌های آبرفتی است. (شکل شماره ۲- a). عناصر ساختاری شامل گسل‌ها، تاقدیس‌ها، ناودیس‌ها و گنبد‌های گچی با هسته‌ی نمکی هستند. راندگی گرمسار، راندگی سرخه کلوت، راندگی حصاربن، گسل راستالغز مشا و گسل راستالغز فیروزکوه، از گسل‌های اصلی منطقه هستند (شکل شماره ۲). مرتفع‌ترین نقطه‌ی منطقه با ارتفاع ۴۱۰۰ متر در غرب منطقه و در ارتفاعات کوه سفیدآب و پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۷۷۶ در قاعده‌ی مخروط افکنه‌ی گرمسار مشاهده می‌شود.



شکل ۲. (a) نقشه‌ی سنگ‌شناسی حوضه‌ی رودخانه‌ی حبله‌رود؛ (b) عناصر ساختاری حوضه‌ی رودخانه‌ی حبله‌رود به‌همراه پراکندگی مناطق مسکونی

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور بالا بردن دقت در محاسبه‌ی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی حوضه‌ی آبریز حبله‌رود، برای ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در بخش‌های مختلف، از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متر و دقت ارتفاعی بیش از ۶ متر بر مبنای نقشه‌های ارتفاعی رقومی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شده است. جهت استخراج شبکه‌ی آبراهه‌ها و رتبه‌بندی آنها برای استفاده در محاسبات شاخص‌ها نوزمین‌ساختی، مدل رقومی ارتفاعی منطقه در نرم‌افزار ArcGIS3.2 و با دستور رتبه‌بندی جریان^۱، بر اساس روش استرالز^۲ از ۱ تا ۷ رتبه‌بندی شد. برای استخراج شاخص‌های مورفولوژیکی، مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متر منطقه در نرم‌افزار ERDAS 9.1 سه بعدی و با دقت بسیار بالا مورد استفاده قرار گرفت که این روش بسیار خوبی در استخراج عوارض مورفولوژیکی است.

به دلیل کثرت متغیرها، روش مورد استفاده در این پژوهش بر مبنای استفاده از مدل مجموع ساده وزین (SAW) است. این مدل بر مبنای روش پارامترهای مرکزی در علم آمار شکل گرفته است. به بیان دیگر، تابع مطلوبیت تصمیم‌گیرنده‌ی این روش، خطی است و بدین ترتیب قابلیت جمع‌پذیری شاخص‌ها تضمین شده است. در این روش از نرم خطی برای بی‌مقیاس‌سازی ماتریس داده‌ها استفاده می‌شود. مدل‌سازی در این روش، به‌وسیله‌ی تشکیل ماتریس انجام می‌گیرد و ضرایب اهمیت شاخص‌ها تعیین می‌شود. پس از تعیین ضرایب شاخص‌ها، برای حل این مدل از رابطه‌ی شماره‌ی ۱ استفاده شده است (عادل آذر، ۱۳۸۵):

$$A^* = \{Max. (\sum_{j=1}^n W_j. nij)\} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

بردار W : ضریب اهمیت یک شاخص؛ nij : درایه‌های بی‌مقیاس‌شده‌ی ماتریس و A^* مناسب‌ترین گزینه است (اصغریور، ۱۳۹۰).

پس از قرار گرفتن متغیرها در مدل SAW، نتیجه‌ی به‌دست‌آمده به چهار رده در نرم‌افزار ArcGIS3.2 و با دستور شکست‌های طبیعی^۳ تقسیم شد که در ادامه به تشریح آن پرداخته می‌شود.

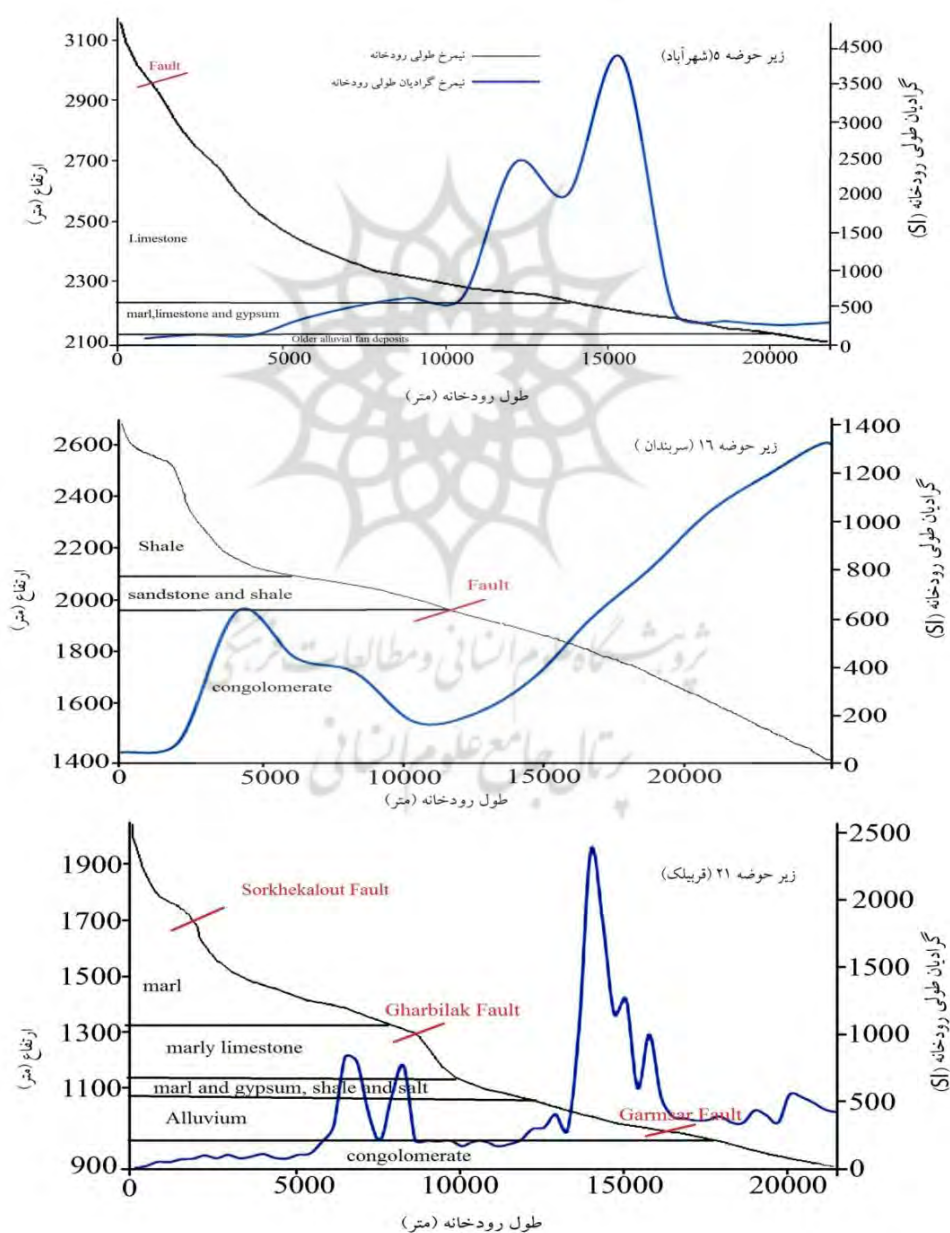
یافته‌های پژوهش

برای محاسبه‌ی شاخص‌های مورفومتری، حوضه‌ی رودخانه‌ی حبله‌رود به ۲۲ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد. گفتنی است که تمامی رده‌بندی‌ها بر اساس روش همدونی (۲۰۰۸) اجرا شده است. البته در ادامه به دلیل ویژگی‌های خاص، زیرحوضه‌ی ۲۲ از مطالعات حذف شد.

محاسبه‌ی شاخص گرادیان طولی رودخانه (SI)^۴ گویای این مطلب است که برخی از زیرحوضه‌ها، مانند زیرحوضه‌ی عمرک در شمال منطقه، به دلیل عبور بستر رودخانه از سازندهای آهکی لار، رسوب‌های کواترنری و توف‌های کرج،

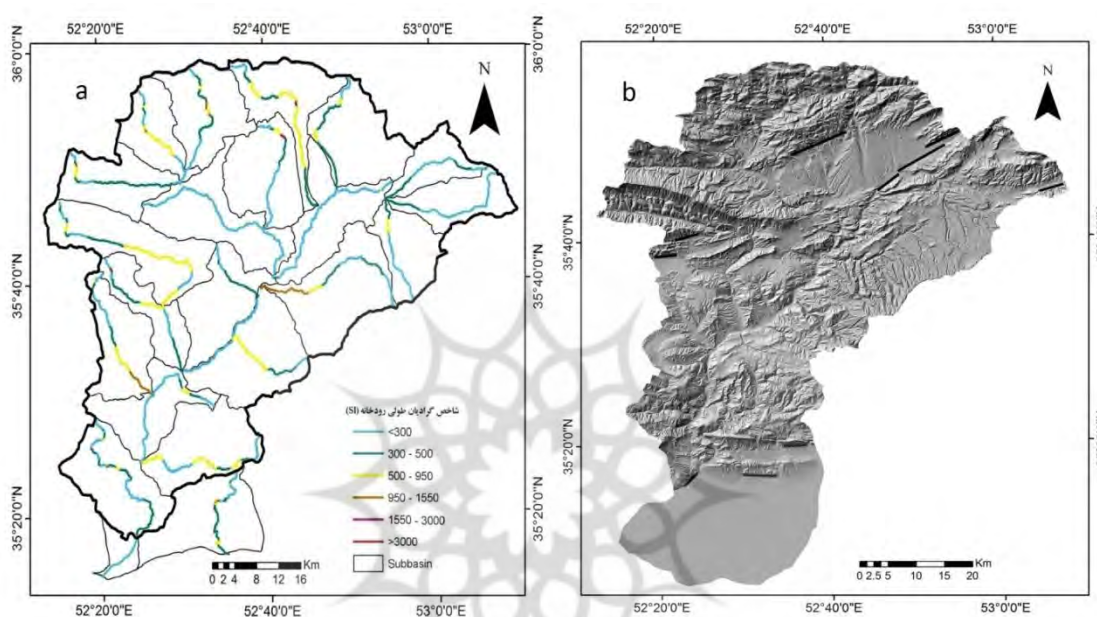
1. Stream Order
2. Strahler
3. Natural Breaks
4. Stream Length-Gradient Index

ناهنجاری‌های زیادی را نمایش می‌دهد که کاملاً دلیل سنگ‌شناسی دارد. همین حالت در زیرحوضه‌ی گور سفید تکرار شده است. در مقابل بسیاری از حوضه‌های شمال، شمال‌غرب و جنوب منطقه، ناهنجاری‌های ایجاد شده در شاخص SL، تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بوده است، به‌ویژه در اطراف گسل‌های اصلی و فعال منطقه، از جمله گسل گرمسار، گسل مشا و حصاربن، ناهنجاری‌های چشمگیری در مسیر جریان مشاهده می‌شود (شکل شماره ۳). گسل فیروزکوه با وجود فعال بودن، ولی به دلیل واقع شدن در نهشته‌های سست آبرفتی، تغییر قابل توجهی در شاخص SL ایجاد نکرده است (شکل شماره ۵).



شکل ۳. نمایش نیمرخ طولی همراه با گرادیان طولی رودخانه (SI)، در تعدادی از زیرحوضه‌های آبخیز حبله‌رود

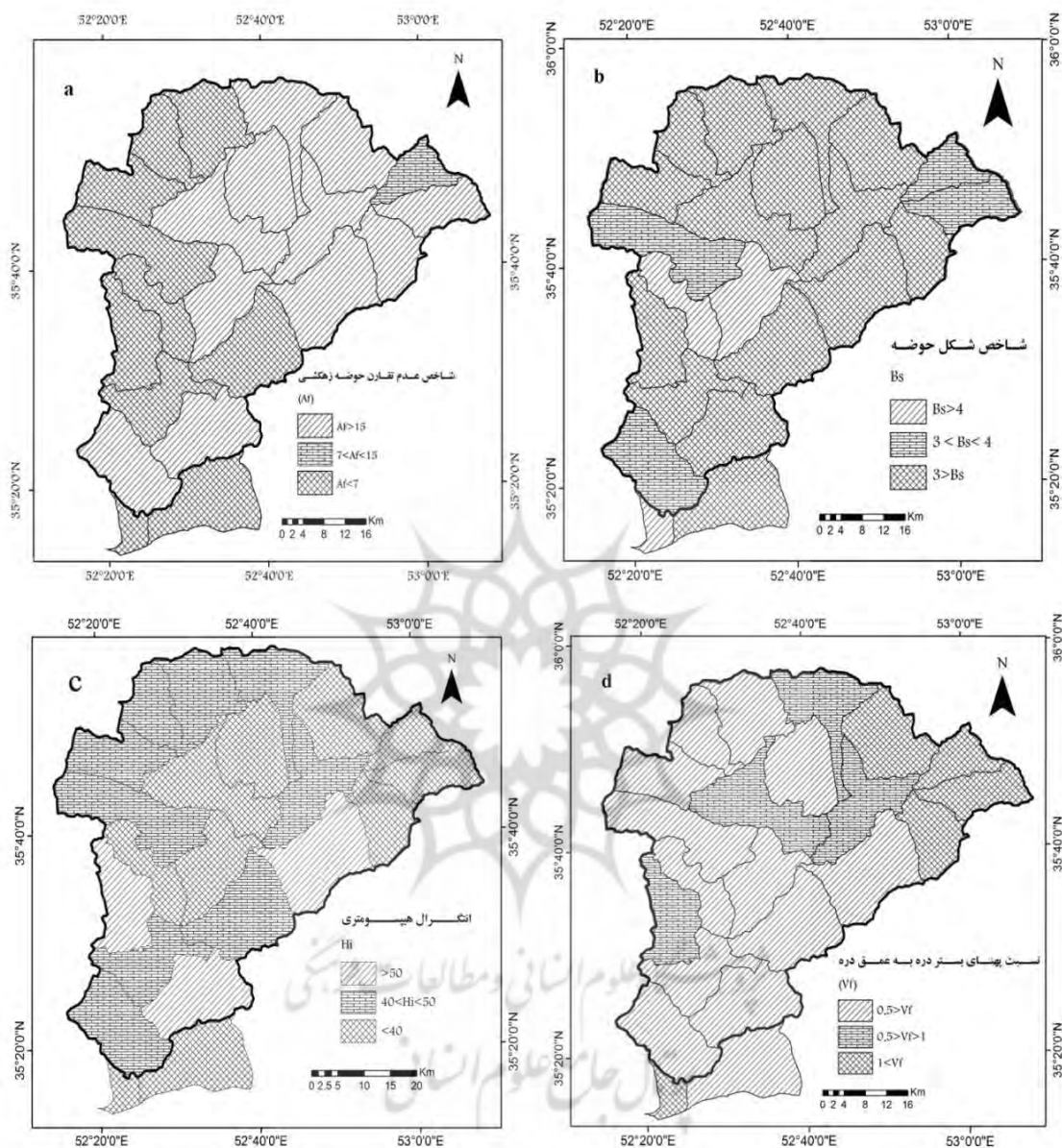
محاسبه‌ی شاخص سینوسیته‌ی پیشانی کوهستان (Smf)^۱ در ۱۲ پیشانی کوهستان در سراسر حوضه انجام شد و همان‌گونه که در جدول شماره‌ی ۱ مشاهده می‌شود، فعال‌ترین پیشانی کوهستان مربوط به گسل گرمسار به میزان ۱/۰۷ بود (شکل شماره‌ی ۴). همچنین نتایج این شاخص در منطقه نشان داد که بیشتر قسمت‌های شمالی، غربی و جنوبی منطقه دارای تکتونیک فعال هستند و تنها قسمت شرقی منطقه در این رابطه از فعالیت کمی برخوردار هستند (شکل شماره‌ی ۴).



شکل ۴. (a) شاخص گرادیان طولی حوضه‌ی رودخانه‌ی حبله‌رود و ناهنجاری‌های ایجاد شده در مسیر رودخانه؛ (b) شاخص اندازه‌گیری شده‌ی سینوسیته‌ی پیشانی کوهستان

اجرای شاخص انتگرال فراسنجی^۲ (Hi) برای ۲۲ زیرحوضه‌ی منطقه نشان داد که زیرحوضه‌های شوردره و دره دره در جنوب و جنوب شرقی منطقه و سربندان در جنوب غربی بیشترین فعالیت را دارند که زیرحوضه‌ی شوردره، محل فعالیت گنبد‌های نمکی دوره‌ی الیگوسن است که گمان می‌رود دلیل قرار گرفتن در این رده، فعالیت گنبد‌های نمکی باشد. بررسی شاخص نسبت پهنای بستر دره به عمق دره^۳ (Vf) در منطقه نشان داد که بیشتر قسمت‌های شمالی، غربی و جنوبی منطقه، تکتونیک فعالی دارند و تنها قسمت شرقی منطقه در این رابطه فعالیت کمی دارد. بر اساس محاسبه‌ی شکل حوضه شاخص^۴ (Bs)، بیشتر زیرحوضه‌ها در محدوده‌ی غیرفعال قرار داشتند. فعال‌ترین منطقه زیرحوضه‌ی سیدآباد است که تحت تأثیر گسل راندگی سیدآباد، شکل کشیده‌ای دارد. شاخص تقارن حوضه‌ی زهکشی^۵ (Af) نیز مقادیر انحراف را بیشتر در جنوب و شرق منطقه نشان می‌دهد (شکل شماره‌ی ۵).

1. Mountain Front sinuosity Index
2. Hypsometric Integral Index
3. Ratio of valley floor width to valley height Index
4. Drainage Basin Asymmetry Index
5. Drainage Basin Shape Index



شکل ۵. (a) شاخص عدم تقارن زیرحوضه‌های زهکشی؛ (b) شاخص شکل حوضه؛ (c) انتگرال هیپسومتری و (d) شاخص نسبت پهنای بستر دره به عمق دره در حوضه‌ی آبخیز حبله‌رود است. تمامی تقسیم‌بندی‌ها در این نقشه بر اساس روش همدونی (۲۰۰۸) انجام شده است.

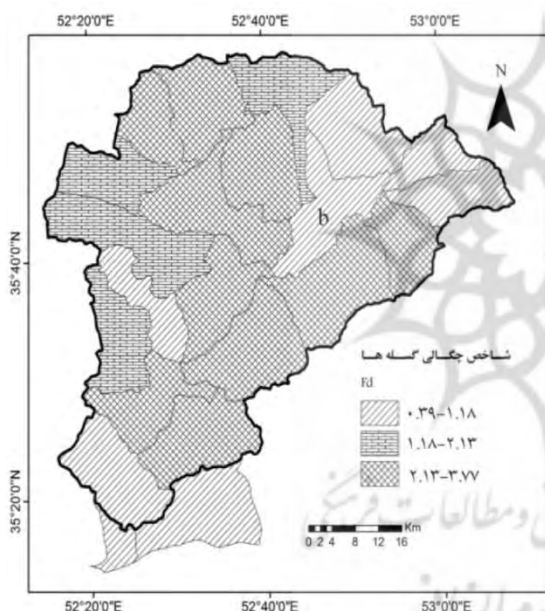
در این پژوهش، با توجه به فراوانی گسل در منطقه، یک شاخص جدیدی با نام چگالی گسله‌ها^۱ (Fd) به شاخص‌های مورد بررسی افزوده شد. گسل در این دیدگاه، به‌عنوان یک لندفرم نوزمین‌ساختی در نظر گرفته شده است. شاخص چگالی گسل (Fd) از رابطه‌ی شماره‌ی ۲ به‌دست می‌آید:

رابطه‌ی ۲)

$$Fd = 100(Fl/Fa)$$

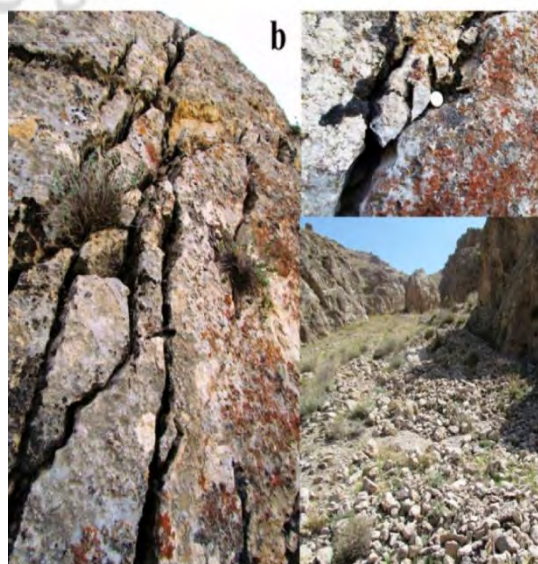
در این رابطه: Fl طول گسل و Fa مساحت منطقه است.

از آنجاکه گسل‌ها، نتیجه‌ی واکنش سنگ‌ها در برابر تنش‌های پویای درون زمین بوده و بیشتر آنها در زمان شکل‌گیری با زمین‌لرزه همراه هستند و جابه‌جایی همراه با زمین‌لرزه به‌طور معمول در بخشی از گسل یا در تمام آن روی می‌دهد، از این‌رو میزان این جابه‌جایی‌ها، نشان‌دهنده‌ی میزان فعالیت‌های نوزمین‌ساختی است. تشکیل درزه‌های همزمان با گسلش، می‌تواند سبب کاهش مقاومت مکانیکی سنگ‌ها و افزایش فرسایش‌پذیری آنها شود. بر اساس محاسبات انجام‌شده، کمترین چگالی مربوط به زیرحوضه‌ی شماره‌ی ۲ به میزان ۰/۳۹ کیلومتر در کیلومتر مربع و بیشترین چگالی مربوط به حوضه‌ی ۲۲ به میزان ۳/۷۷ کیلومتر در کیلومتر مربع است (شکل شماره‌ی ۶). در جدول شماره‌ی ۱، نتیجه‌ی محاسبات تمامی شاخص‌ها آورده شده است.



شکل ۶. a) شاخص چگالی گسل‌ها در زیرحوضه‌های حبله‌رود

b) درزه‌های ایجاد شده در سازند آهکی لار و واریزه‌های ناشی از آن در زیرحوضه‌ی فیروزکوه



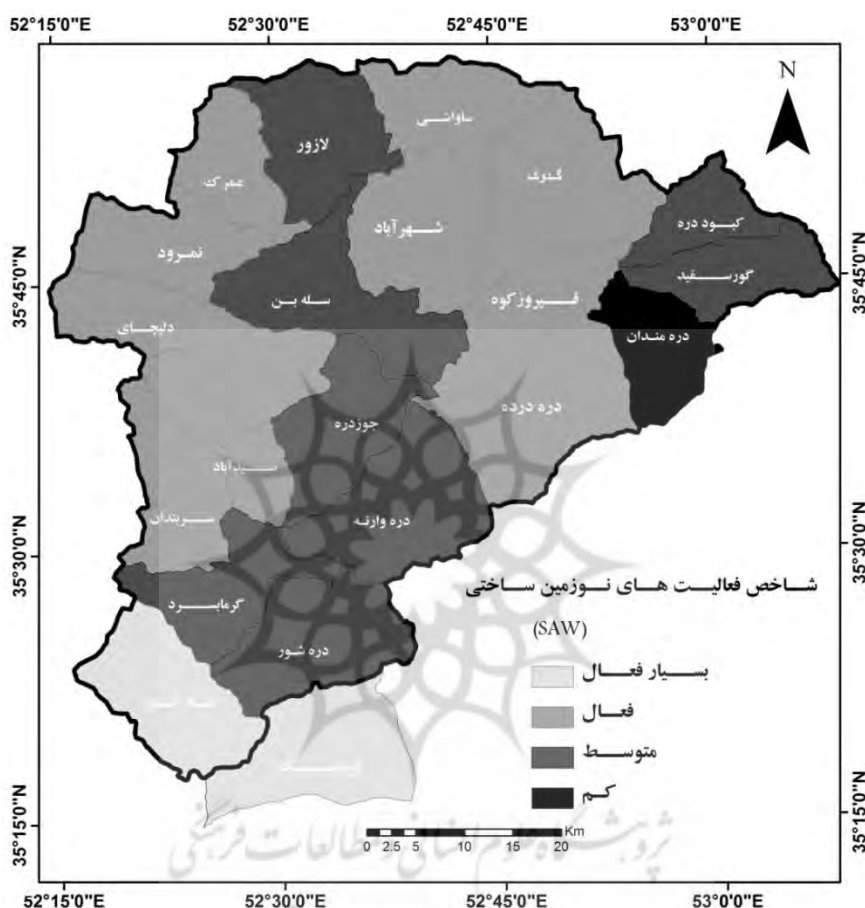
جدول ۱. شاخص‌های تکنیک ژئومورفولوژی محاسبه شده در حوضه آبخیز جله رود و نتایج آن

ردده (SAW)	(SAW)	ردده (Hi)	(Hi)	ردده (Bs)	(Bs)	ردده (Atf)	(Atf - 50)	ردده (Vf)	(Vf)	ردده (Smf)	(Smf)	ردده (Fd)	(Fd)	ردده (SL)	نام زیرحوضه	شماره زیرحوضه
۲	۱/۷۵	۲	۰/۴۷	۳	۲	۱	-۱۲/۶۲	۲	۰/۷	۳	-	۲	۱/۵۷	۱	ساوانشی	۱
۳	۲/۲	۲	۰/۳۴	۳	۱/۵	۳	-۹/۷۲	۱	۰/۷۵	۳	-	۳	۰/۳۹	۲	لازور	۲
۲	۱/۹	۳	۰/۳۰	۳	۱/۴	۱	-۳۴/۷۴	۳	۰/۱۰	۲	۱/۳	۱	۲/۶۱	۲	گدوک	۳
۲	۱/۹	۲	۰/۴۴	۳	۱/۸	۳	-۰/۸۵	۱	۰/۱۶	۳	-	۳	۱/۱۸	۱	عمرک	۴
۲	۱/۸۳	۳	۰/۲۸	۳	۱/۸	۱	۱۱/۰۱	۱	۰/۴۰	۱	۱/۰۱	۳	۰/۶۹	۱	شهرآباد	۵
۳	۲/۳	۳	۰/۳۳	۲	۳	۲	۶/۴۶	۳	۱/۶۲	۲	۱/۴	۱	۲/۶۴	۳	کبود دزه	۶
۲	۱/۸	۲	۰/۳۳	۳	۲/۶	۱	-۷۸/۹۲	۲	۰/۶۵	۲	۱/۲۷	۱	۲/۷۵	۲	فیروزکوه	۷
۳	۲/۳	۳	۰/۲۶	۳	۲	۱	۱۷/۰۳	۲	۰/۶۰	۳	-	۳	۰/۹۵	۲	سله بن	۸
۲	۱/۷	۲	۰/۴۱	۳	۲/۶	۳	-۰/۰۵	۱	۰/۱۲	۳	-	۲	۱/۳۳	۱	نمرد	۹
۳	۲/۱۹	۳	۰/۳۸	۲	۲/۱	۱	۱۴/۵۷	۳	۱/۷۹	۲	۱/۳۴	۱	۲/۲۸	۳	گوسفند	۱۰
۴	۲/۹	۳	۰/۲۶	۳	۲/۵	۱	۲۰/۰۹	۳	۰	۳	-	۳	۱/۰۴	۳	دره شمال	۱۱
۲	۱/۶۴	۲	۰/۴۱	۲	۲/۲	۳	-۹/۷۰	۱	۰/۱۸	۳	-	۲	۲/۱۳	۱	دلچای	۱۲
۲	۱/۷۶	۱	۰/۵۷	۳	۲/۶	۱	-۲۸/۷۸	۱	۰/۲۵	۳	-	۳	۰/۸۹	۱	دره دره	۱۳
۳	۲/۴	۳	۰/۲۸	۱	۴/۳	۱	۲۷/۸۷	۱	۰/۴۸	۳	-	۳	۰/۸	۲	جوزدزه	۱۴
۲	۱/۵	۳	۰/۲۸	۱	۴/۱	۳	-۲/۴۷	۱	۰/۶۴	۲	۱/۳	۱	۲/۵۶	۲	سیدآباد	۱۵
۲	۱/۸۲	۱	۰/۵۱	۳	۱/۷	۳	-۱/۶۱	۲	۰/۷۸	۲	۱/۳	۲	۱/۵۳	۱	سربندان	۱۶
۳	۲/۴	۲	۰/۴۴	۳	۲/۱	۳	-۲/۳۰	۱	۰/۵۷	۳	-	۳	۱/۰۶	۳	آتمن	۱۷
۳	۲/۲	۲	۰/۴۷	۳	۲	۳	۲/۲۵	۱	۰/۰۹	۳	-	۳	۰/۷۵	۲	گرماسرد	۱۸
۳	۲/۰۷	۱	۰/۵۲	۳	۲/۶	۱	۲۲/۴۰	۱	۰/۳۱	۳	-	۳	۰/۴۰	۲	دره شور	۱۹
۱	۱/۲	۲	۰/۴	۲	۲/۳	۱	۱۲/۱۸	۱	۰/۱۱	۳	-	۱	۲/۷۹	۱	بنه کوه	۲۰
۱	۱/۱۴	۳	۰/۲۷	۳	۲/۲	۳	-۷/۹۱	۱	۰/۱۵	۱	۱/۰۷	۱	۲/۷۷	۱	قریلق	۲۱
-	-	۳	۰/۲۶	-	۵/۴	-	۵/۷۷	-	-	-	۱/۳	-	۲/۷۷	۳	سراب رود	۲۲

در این پژوهش برای ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی، از روش جدیدی برای ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی، بر اساس روش وزن‌دهی به شاخص‌های ژئومورفولوژیکی استفاده شده است. این روش برپایه‌ی یک روش آماری است که دارای قابلیت جمع‌پذیری شاخص‌ها است. برای این کار نخست هفت شاخص ژئومورفولوژیکی شامل، شاخص گرادیان طولی رودخانه (SI)، تقارن حوضه‌ی زهکشی (Af)، انتگرال فراسنجی (Hi)، سینوسیتی پیشانی کوهستان (Smf)، شکل حوضه (Bs)، نسبت عرض بستر دره به ارتفاع آن (Vf) و چگالی گسل (Fd)، در نرم افزار ArcGIS3.2 محاسبه شد (جدول شماره‌ی ۱). سپس با توجه به هدف مطالعه، یعنی شناسایی گسل‌های فعال و تأثیرگذار در تحوّل لندفرم‌های کواترنری در گستره‌ی مطالعاتی، روش همدونی (۲۰۰۸) مورد استفاده قرار گرفت که همه‌ی شاخص‌های مورد نظر برای ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در محدوده‌ی مطالعاتی را شامل می‌شد، ولی طی انجام محاسبات، برخی از شاخص‌ها نتیجه‌ی مورد نظر ما را دربرداشت که به‌طور قطع در نتیجه‌ی نهایی تأثیر عکس می‌گذاشت. به این دلیل پس از محاسبه‌ی شاخص‌ها و رده‌بندی آنها، تمامی شاخص‌ها به‌ترتیب اهمّیت، رتبه‌بندی و در یک جدول ماتریسی قرار گرفتند و ضرایب اهمّیت شاخص‌ها محاسبه شدند. هدف از این کار، دادن ارزش به شاخص‌ها بر اساس واقعیت موجود بوده است. از آنجایی که گسل یکی از پدیده‌های تکتونیکی مهمّ منطقه است، بنابراین برای نخستین‌بار، شاخصی با عنوان چگالی گسل محاسبه و در مدل قرار گرفت. در این روش از دیدگاه کمی‌بودن، بالاترین ارزش در جدول ماتریسی را شاخص (SI) به خود اختصاص داد؛ زیرا که این شاخص قابلیت خود را برای تشخیص مناطق فعال نوزمین‌ساختی ثابت کرده است. شاخص (Fd) نیز با توجه به فراوانی گسله‌ها و لرزه‌زایی محدوده، شاخص خوبی است؛ ولی جنبایی گسله‌ها در این شاخص مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد. شاخص (Vf) با توجه به آنکه در عرض گسله‌های واحد باید مورد ارزیابی نسبی قرار گیرد و همه‌ی حوضه‌های مورد بررسی از این دیدگاه با هم برابر نیستند، در رده پایین‌تر قرار گرفته است. شاخص (Hi) با وجودی که شاخص کمی بسیار خوبی است؛ ولی به‌دلیل بالابودن نرخ فرسایش و سست‌بودن سازندهای مرکزی و جنوبی منطقه، نمی‌تواند به‌درستی مناطق فعال زمین‌ساختی را از مناطق غیرفعال مشخص کند. (Smf) در محل گسله‌ها و پیشانی کوهستان باید محاسبه شود و از این رو، قابل محاسبه برای تمامی زیرحوضه‌ها نیست. (Bs) نیز شاخصی است که سنگ‌شناسی حوضه، بیشتر از تکتونیک بر آن نقش دارد و شاخص (Af) در مناطقی بهترین کارکرد را دارد که نوع سنگ یکسان باشد و فرض بر این است که نه کنترل‌های سنگ‌شناسی باعث عدم تقارن شده‌اند و نه اقلیم محلی (کلر و پینتر، ۲۰۰۲). از این رو، این شاخص بیشتر در گستره‌های گسلش عادی و جاهایی اهمّیت دارد که کج‌شدگی بر اثر چین‌خوردگی روی می‌دهد و باید حوضه موازی محور کج‌شدگی باشد تا نتیجه‌ی قابل اعتمادی به‌دست آید، بنابراین اهمّیت کمتری به آن داده شده است.

عدد به‌دست‌آمده از مدل ارقامی، برابر ۱/۱۴ تا ۲/۹۴ بود که با روش شکست طبیعی^۱ به چهار رده‌ی ۱/۱۴-۱/۲۷ (بسیار فعال)، ۱/۲۷-۱/۹ (فعال)، ۲/۵-۱/۹ (فعالیت متوسط) و ۲/۵-۲/۹۵ (فعالیت کم) رتبه‌بندی شدند (شکل شماره‌ی ۷). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، ۱۱ درصد از کل منطقه در محدوده‌ی بسیار فعال (۳۷۸ کیلومتر مربع)،

۴۸/۳ درصد در محدوده‌ی فعال (۱۶۸۳/۶ کیلومتر مربع)، ۳۷/۴ درصد در محدوده‌ی فعالیت متوسط (۱۳۰۰/۹ کیلومتر مربع) و ۳/۴ درصد در محدوده‌ی فعالیت کم (۱۱۹/۶ کیلومتر مربع) قرار می‌گیرد. در جدول شماره ۱ نتیجه‌ی مدل SAW برای هر حوضه و طبقه‌بندی آن مشاهده می‌شود.

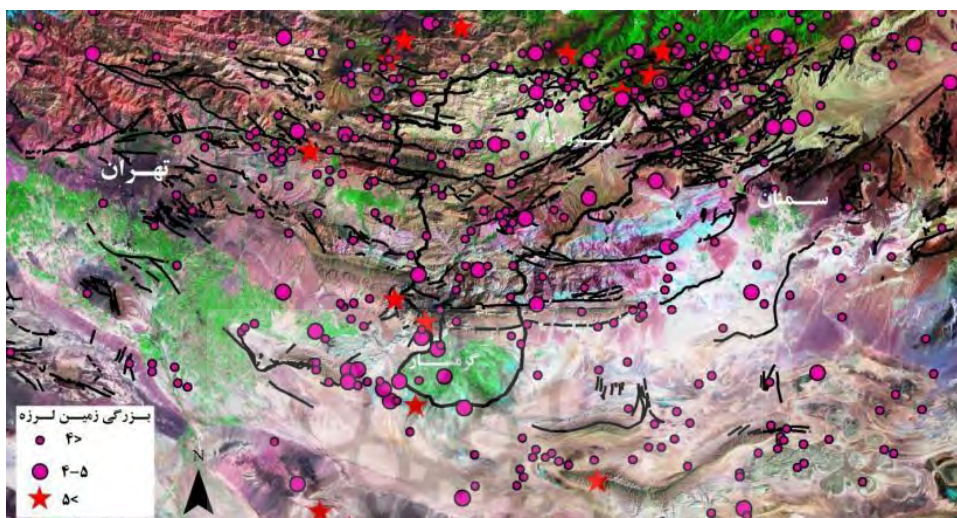


شکل ۷. نقشه‌ی ترکیبی شاخص‌های فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در حوضه‌ی رودخانه‌ی حبله‌رود

بحث و نتیجه‌گیری

پایه‌ی سنگ‌های رسوبی البرز مرکزی، به شکل ده‌ها تاقدیس و ناودیس چین خورده‌اند که گسل‌های بزرگ موازی با محور چین‌ها، دیواره‌های عظیم گسلی در آن ایجاد کرده‌اند. بررسی و تحلیل داده‌های GPS در این بخش از ایران، میزان کوتاه‌شدگی شمالی - جنوبی آن را 2 ± 5 میلی‌متر در سال نشان می‌دهد (ورنانت و دیگران، ۲۰۰۴). ماسون (۲۰۰۳)، میزان کوتاه‌شدگی البرز را با فرض اینکه بیشتر کوتاه‌شدگی در پیشانی راندگی‌های جنوب تهران در کویر ایران مرکزی صورت گرفته است، ۸ میلی‌متر در سال به دست آورده است. همچنین مطالعات گراویتی نرخ بالآآمدگی را در البرز جنوبی در سایت ABAL به میزان $1/5 \pm 3/3$ تا ۲ میلی‌متر در سال نشان داده‌اند (جمور و دیگران، ۲۰۱۰). این مطالعات افزون‌بر تاریخچه‌ی زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه، نشان از فعالیت بالای نوزمین‌ساخت در محدوده‌ی مورد مطالعه دارد. گسل مشا (Ms ۷/۷ در سال ۹۵۸، Ms ۶/۵ در سال ۱۶۶۵ و Ms ۷/۱ در سال ۱۸۳۰) و گسل گرمسار (Ms

۷/۶ در قرن چهارم قبل از میلاد، ۷/۲ Ms در سال ۷۴۳ بعد از میلاد (آمبراسیز و ملویل، ۱۹۸۲). مطالعات اشتری (۲۰۰۴) در محدوده‌ی تهران، تمرکز فعالیت‌های لرزه‌خیزی را در شمال گسل گرمسار و گسل مشا نشان می‌دهد. داده‌های مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران (۲۰۱۲-۱۹۳۷)، بیشترین زمین‌لرزه را در حوالی گسل گرمسار، به‌ویژه قسمت‌های غربی آن ثبت کرده است و این‌گونه به نظر می‌رسد که نسبت به بخش شرقی خود فعالیت بیشتری دارد (شکل شماره ۸)



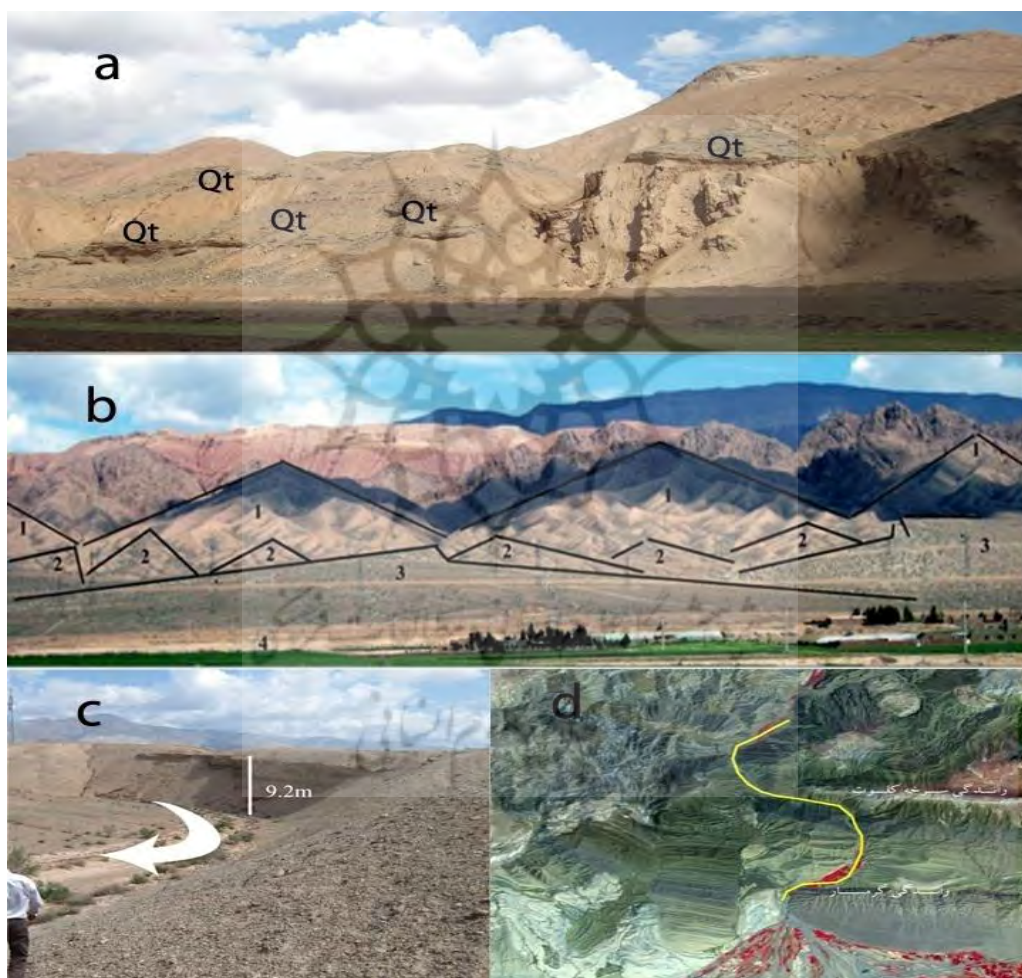
شکل ۸. پراکندگی زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه طی سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۳۷ روی تصویر TM، نشان‌دهنده‌ی فعال بودن نوزمین ساخت در البرز جنوبی است (اطلاعات لرزه‌شناسی بر اساس داده‌های مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران است).

مناطق بسیار فعال در این مطالعه، بر اساس مدل SAW منطبق بر مناطق جنوبی، یعنی زیرحوضه‌های بنه‌کوه و قریبک است؛ جایی که محل فعالیت راندگی گرمسار، راندگی سرخه کلوت و گسل فشاری قریبک و نیز محل تمرکز گنبد‌های نمکی فعال است که با انجام فعالیت‌های میدانی و ثبت شواهد ژئومورفولوژیک با دستگاه GPS، پویایی آن اثبات شد. بر این اساس مشاهده شد که فعالیت گسل گرمسار، سبب ارتفاع پادگانه‌های آبرفتی شرق روستای بنه‌کوه شده است (شکل ۹-a). همچنین مطالعه‌ی پیشانی گسل گرمسار در سازند هزاردره پلیوسن، توالی مخروط افکنه‌ها را در ۴ سطح نشان داد (شکل ۹-b). در ادامه با مطالعه‌ی بستر مخروط افکنه در بخش جنوبی گسل گرمسار، حفر عمودی بستر رودخانه‌های فصلی مشاهده شد که بیانگر تغییر سطح اساس سطوح جنوبی، بر اثر بالآمدن گسل گرمسار است (شکل ۹-c). همچنین بر اثر این تغییر سطح اساس، رودخانه‌ی حبلرود در مسیر شمال به جنوب، به محض رسیدن به گسل سرخه کلوت تغییر مسیر داده و شروع به تعریض بستر خود می‌کند و با ایجاد قوس‌های مئاندری شدید در ادامه‌ی راه، گسل گرمسار را قطع کرده و وارد دشت گرمسار می‌شود (شکل ۹-d). از دیگر اشکال ژئومورفولوژیکی مشاهده شده در این قسمت، می‌توان به گالی‌های در حال توسعه و نیز بدلند‌های گسترده در بخش جنوب‌غربی منطقه اشاره کرد که فعالیت گسل گرمسار، نقش عمده‌ای در ایجاد و گسترش آنها دارد.

بعد از بخش جنوبی، بیشترین فعالیت مربوط به بخش‌های غربی و شرقی منطقه است؛ جایی که محل فعالیت گسل راستالغز مشا، گسل راستالغز فیروزکوه، راندگی حصاربن، راندگی سیدآباد و گسل آتشان است که سبب شده این مناطق،

فعالیت بیشتری را نسبت به بخش‌های مرکزی نشان دهند. گسل مشا در طول ۱۸۰ کیلومتری خود، به‌طور مشخصی سبب تغییر الگوی زهکشی منطقه شده است (آلن و همکاران، ۲۰۰۳)، نرخ لغزش این گسل ۳ میلی‌متر در سال (ریتز و همکاران، ۲۰۰۶) و نرخ لغزش گسل راست‌الغز فیروزکوه، ۲ میلی‌متر در سال برآورد شده است (نظری و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین تغییر مسیر رودخانه‌ی دلیچای در دره‌ی گسلی مشا در ورود به دره‌ی رودافشان، بیانگر فعال بودن نوزمین‌ساخت در این محدوده است.

حدود ۴۰ درصد از مساحت گستره را مناطق با فعالیت کم و متوسط تشکیل می‌دهد که به‌طور عمده منطبق بر مناطق مرکزی و جنوب‌شرقی محدوده است، به‌گونه‌ای که می‌توان گفت این مناطق کمتر تحت تأثیر گسل‌خوردگی قرار گرفته‌اند.



شکل ۹. (a) ارتفاع یافته‌ی پادگانه‌های آبرفتی (Qt) در شمال روستای بنه‌کوه روی سازند سرخ بالایی، (b) فعالیت گسل گرمسار سبب ارتفاع یافتن مخروط‌افکنه آبرفتی گرمسار و توالی مخروط‌ها شده است، (c) حفر عمودی بستر رودخانه‌ی فصلی که از کوه‌های قریب‌یک سرچشمه می‌گیرد، در سطح مخروط‌افکنه واقع در بخش جنوبی گسل گرمسار (دید از جنوب)، (d) سینوسیته رودخانه‌ی حبله‌رود در محل راندگی گرمسار در جنوب منطقه.

در این مطالعه به‌منظور بررسی نقش نوزمین‌ساخت بر تحولات ژئومورفولوژیک، حوضه‌ی رودخانه‌ی حبله‌رود در مرز ساختاری البرز جنوبی - ایران مرکزی انتخاب شد. به‌دلیل واقع شدن گستره‌ی مطالعاتی در حاشیه‌ی کویر مرکزی ایران و حاکمیت شرایط بیابانی و نیمه‌بیابانی بر قسمت‌های وسیعی از منطقه و نیز سست بودن عمومی سازندهای تشکیل دهنده،

نرخ فرسایش بسیار بالا است، به گونه‌ای که کمترین تغییر در سطح اساس، سبب تغییر شکل در رسوب‌گذاری و مورفولوژی می‌شود.

یکی از بهترین روش‌های ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی، استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی زمین‌ساختی است. از این‌رو، در این پژوهش از هفت شاخص ژئومورفولوژیکی (SI)، (Af)، (Hi)، (Smf)، (Bs) و (Vf) استفاده شد. با توجه به تعدد متغیرها، روش مجموع ساده‌ی وزین (SAW) برای تجمیع شاخص‌ها استفاده شد. برتری این روش نسبت به روش IAT، ارزش‌گذاری متغیرها با توجه به ویژگی‌های گسترده‌ی مورد مطالعه است. نتیجه‌ی بررسی‌ها نشان داد که محدوده‌ی جنوب منطقه، فعال‌ترین بخش آن از لحاظ فعالیت‌های زمین‌ساختی است. علت این امر، واقع‌شدن راندگی سرخه کلوت و نیز راندگی گرمسار با سابقه‌ی تاریخی لرزه‌خیزی در این محدوده است. ضمن آنکه فعالیت‌های گنبد‌های نمکی در افزایش فعالیت‌های نوزمین‌ساختی این محدوده کاملاً مشخص است.

گرچه گستره‌ی مورد مطالعه در کمربند زلزله‌ی ایران واقع شده و دارای پتانسیل بالای لرزه‌خیزی است، اما با این حال، اهمیت چنین مطالعاتی به دلیل قرارگیری سکونتگاه‌های شهری و روستایی در محدوده‌ی گسل‌ها است. به طوری که نتایج این پژوهش نشان داد، بسیاری از گسل‌های این منطقه توانایی ایجاد زلزله‌های ویرانگر را دارند. تعداد زیادی از مناطق مسکونی نیز روی خط گسل و محدوده‌ی آن ایجاد شده‌اند که به طور عمده از بافت سنتی و غیرمقاوم ساخته شده‌اند و در صورت فعال‌شدن هر یک از این گسل‌ها و ایجاد زلزله، خسارات جانی و مالی زیادی به ساکنان این محدوده و مناطق مجاور، به ویژه کلان‌شهر تهران، وارد می‌شود.

نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی، مطالعات لرزه‌خیزی و نیز تصاویر ماهواره‌ای، دقت مدل به دست آمده را نشان داد. از آنجاکه در این روش، وزن‌دهی بر اساس ویژگی‌های طبیعی منطقه انجام می‌شود، بنابراین قابلیت اجرا در مناطق مختلف با ویژگی‌های متفاوت را دارد.

منابع

- آذر، عادل؛ عبدالعلی‌پور، امیرحسین. ۱۳۸۵، ارزیابی سازمان‌های بازرگانی استان‌ها با رویکرد MADM، پژوهشنامه‌ی بازرگانی، شماره ۱۰، صص. ۱۸۹-۱۵۷.
- آقانباتی، سیدعلی. ۲۰۱۰، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، تهران.
- ارفع‌نیا، رامین. ۱۳۸۹، تکتونیک فعال در منطقه‌ی اقلید، کاربرد مدل رقومی سرزمین (DTM) در مورفوتکتونیک، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۴، صص. ۲۵۶-۲۴۵.
- اصغرپور، محمدجواد. ۱۳۸۸، تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- بربریان، مانوئل؛ قریشی، منوچهر؛ شجاع‌طاهری، جعفر و طالبیان، مرتضی. ۱۳۷۵، پژوهش و بررسی نوزمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه - گسلش در گستره‌ی سمنان (پژوهش و بررسی لرزه‌زمین‌ساخت ایران زمین: بخش هفتم)، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.
- بهرامی، شهرام؛ مقصودی، مهران و بهرامی، کاظم. ۱۳۹۰، بررسی نقش تکتونیک در ناهنجاری مورفومتری شبکه‌ی زهکشی در چهار حوضه‌ی آبخیز در زاگرس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶، صص. ۷۰-۵۱.

- بیاتی خطیبی، مریم و رجبی، معصومه. ۱۳۸۵، تحلیل تحول ژئومورفولوژیکی نیمرخ طولی دره‌ها در نواحی کوهستانی، مطالعه‌ی موردی: یازده دره‌ی اصلی توده‌ی کوهستانی سهند، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۷، صص. ۴۳-۵۹.
- بیاتی خطیبی، مریم. ۱۳۸۸، تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک در حوضه‌ی آبریز قرنق‌چای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک، مجله‌ی علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، سال نهم، شماره ۲۵، صص. ۲۳-۵۰.
- خادمی، محسن. ۱۳۸۸، محاسبه و تفسیر برخی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی پیرامون گسل طرود، جنوب دامغان، مجله‌ی علوم زمین، شماره ۷۵، صص ۴۷-۵۶.
- خاوری، رضوان؛ قریشی، منوچهر؛ آرین، مهران و خسرو تهرانی، خسرو. ۱۳۸۷، نشانه‌های زمین ریخت فعال حوضه‌ی رودخانه‌ی کرج در دامنه‌ی جنوبی البرز مرکزی، شمال ایران، مجله‌ی علوم زمین، شماره ۷۵، صص. ۶۴-۷۴.
- خسروی، قاسم و سیف، عبدالله. ۱۳۸۹، بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه‌ی فارس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، صص. ۱۲۵-۱۴۶.
- روستایی، شهرام و نبیری، هادی. ۱۳۹۰، تحلیل کمی تأثیر لیتولوژی و تکتونیک بر پروفیل طولی رودخانه در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی مهاباد، مجله‌ی جغرافیا و توسعه، شماره ۲۴، صص. ۱۳۷-۱۵۳.
- سلیمانی، شهریار. ۱۳۷۸، رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه‌ی لرزه‌شناسی، انتشارات پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- فرج‌زاده، منوچهر. ۱۳۷۸، طرح آمایش استان تهران، مطالعات منابع آب، وزارت نیرو.
- کریمی، فریبا. ۱۳۸۸، ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک در حوضه زهکشی سعیدآبادچای، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۹، صص. ۶۷-۸۲.
- کریمی، فریبا. ۱۳۸۸، ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک با استفاده از تحلیل‌های شکل‌سنجی (مورد نمونه: حوضه‌ی اوجان‌چای، شمال شرقی کوهستان سهند)، مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳۵، صص. ۱۳۵-۱۵۴.
- گورابی، ابوالقاسم و نوحه‌گر، احمد. ۱۳۸۶، شواهد ژئومورفولوژیکی فعال حوضه‌ی آبخیز درکه، نشریه‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص. ۱۷۷-۱۹۶.
- مقصودی، مهران؛ جعفری اقدم، مریم؛ باقری سیدشکری، سجاد و مینایی، مسعود. ۱۳۹۰، بررسی تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، مجله‌ی جغرافیا و توسعه، شماره ۲۵، صص. ۱۱۱-۱۳۶.
- نظری، حمید؛ رینز، ژان فرانسوا؛ واکر، ریچارد؛ سلامتی، رضا؛ قاسمی، عباس و شافعی، علیرضا. ۱۳۸۹، گاه‌نگاری جنبش لرزه‌ای گسل فیروزکوه با استفاده از روش کربن ۱۴، مجله‌ی علوم زمین، شماره ۷۶، صص. ۹۵-۹۸.
- Aghanabati, S.A., 2004, **Geology of Iran**, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Allen, M.B., Ghassemi, M.R., Sharabi, M., Qoraiishi, M., 2003, **Accommodation of Late Cenozoic Oblique Shortening in the Alborz Range, Northern Iran**, Journal of Structural Geology, Vol. 25, PP.659- 672.
- Ambraseys, N.N., Melville, C.P., 1982, **A History of Persian Earthquakes (Cambridge Earth Science Series)**, Cambridge University Press, London.
- Arfania, R., 2010, **Active tectonics in Eghlid-Fars, Applied of DTM in Morphotectonics**, Applied Geology, No. 4, PP. 245-256.

- Arrowsmith, R.J., Zielke, O., 2009, **Tectonic Geomorphology of the San Andreas Fault Zone from High Resolution Topography: An Example from the Cholame Segment**, *Geomorphology*, Vol. 113, PP. 70-81.
- Asgarpour, M.J., 2009, **Multiple Criteria Decision Making**, University of Tehran Press, 9th Edition, Tehran.
- Ashtari, M., Hatzfeld, D., Kamalian, M., 2005, **Microseismicity in the Region of Tehran**, *Technophysics*, Vol. 395, PP.193-208.
- Azar, A. and Abdolali, A.H., 2006, **Evaluation of Province Commercial Organizations Using MADM Approach**, *Trade Studies*, No.10, PP. 157-189.
- Bahrami, S., Maghsoudi, M., Bahrami, K., 2011, **Evaluating the Effect of Tectonic in Anomaly of Drainage System Morphometry in Four Catchments in Zagros**, *Geography Researches*, No.76, PP.51-70.
- Bayati Khatibi, M., Rajabi, M., 2006, **The Analysis on Geomorphological Evolution of Longitudinal Valley Profiles in Mountain Region, Case Study: 11 Main Valleys of the Sahand Mountain**, *Geography Researches*, No.57, PP.43-59.
- Bayati Khatibi, M., **The Assessment of Neotectonic Activities in Garango-Chay By Using Geomorphic And Morphometric Index**, *Geographic Space*, No.25, PP.23-50.
- Berberian, M., Ghoreishi, M., Arjangraves, B., Mohajerashjae, A., 1996, **Seismotectonic and Earthquake-fault Hazard Investigations in the Semnan Region, Contribution to the Seismotectonics of Iran (Part VII)**, Geological Survey of Iran, Report No.63, Tehran.
- Djamour, Y. and et al., 2010, **GPS and Gravity Constraints on Continental Deformation in the Alborz Mountain Range, Iran**, *Geophysical Journal International*, Vol. 183, PP.1287-1301.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E.A., 2008, **Assessment of Relative Active Tectonics, Southwest Border of the Sierra Nevada (Southern Spain)** *Geomorphology*, Vol. 96, PP. 150-173.
- Goorabi A., 2007, **Evidences of Active Geomorphology of Darake Basin**, *Geography Researches*, No.60, PP. 177-196.
- Hofmann, M.H., Hendrix, M.S., Sperazza, M., Moore, J.N., 2006, **Neotectonic Evolution and Fault Geometry Change Along a Major Extensional Fault System in the Mission and Flathead Valleys, NW-Montana**, *Journal of Structural Geology*, Vol. 28, PP. 1244-1260.
- IIIES, 2012, **Earthquake Catalogue of Iran, Seismology Department**, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Online Resource (<http://www.iiies.ac.ir/iiies/EQsearch>)
- Kademi, M., 2010, **Calculation and Interpretation of Some Morphotectonic Indices around the Torud Fault, South of Damghan**, *Geology Science*, No.75, PP.47-56.
- Karami, F., 2008, **Assessment of Relative Active Tectonics by Morphometric Method (Case Study: Ojan-chay, NE Sahand Mountain)**, *Geography and Environmental Planning*, No.35, PP.135-154.
- Karami, F., 2008, **Geomorphic Assessment of Active Tectonic in the Saeedabad-Chay Basin (North Slope of Sahand Mountain)**, *Geography Researches*, No.69, PP.67-82.

- Keller, E.A. and Pinter, N., 1996, **Active Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscape**, Prentice Hall Publication, London.
- Khavari, R., Ghorashi, M., Arian, M., Khosrotehrani, KH., 2008, **Geomorphic Signatures of Active Tectonics in the Karaj Drainage Basin in South Central Alborz, North Iran**, *Geology Science*, No.75, PP.64-74.
- Khosravi, Gh., Seif, A., **Investigation of Active Tectonics in Zagros Trust Belt Farsan Region, Geography Researches**, No.74, PP.125-146.
- Maghsoudi, M., Jafari Aghdam, M., Bagher, S. SH., Minayee, M., 2011, **Study the Active Tectonic of Kefravar Catchment Area by Using Geomorphic Indices and Geomorphological Evidences**, *Geography and Development*, No.25, PP. 111-136.
- Masson, F., Nilforoushan, F., Vernant, P., Abassi, M., Hatzfeld, D., Vigny, C., Tavakoli, F., Bayer, R., Chéry, J., Doerflinger, E. and Martinod, J., 2003, **Tectonic Implications of GPS Measurements in Iran**, Fourth International Conference of Earthquake Engineering and Seismology, 12-14 May, Tehran, Iran.
- Nazari, H., Ritz, J.F., Walker, R., Salamati, R., Ghassemi, A. and Shafei A., 2010, **Chronology of Last Earthquake on Firouzkuh Fault Using by C14**, *Geology Science*, No.76, PP.95-98.
- Pinter, N., 1996, **Exercises in Active Tectonics: Earthquakes and Tectonic Geomorphology**, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Ritz, J., Balescu, S., Soleymani, S., Abbasi, M., Nazari, H., Fegghi, K., Shabanian, E., Tabassi, H., Farbod, Y., Lamothe, M., Michelot, J.L., Massault, M., Chery, J. and Vernant, P., 2006, **Determining the Long-term Slip Rate Along the Mosha Fault, Central Alborz, Iran, Implications in Terms of Seismic Activity**, 4th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, 12-14 May, Tehran.
- Roostaei, S., Nayeri, H., 2011, **Quantities of Lithology and Tectonic Effect on Longitudinal Profile of the River in Catchment Area of Mahabad River, Geography and Development**, No.24, PP. 137-153.
- 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*, Vol. 102, PP. 376-394.
- Soleymani, S., 1999, **Guidance for Investigation of Recent and Active Tectonic Movement "With Reference to Preliminary Paleoseismology**, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran.
- Stemberk, J., Vilímek, V., Kořán, M., 2008, **Neotectonic Development of Drainage Networks in the East Sudeten Mountains and Monitoring of Recent Fault Displacements (Czech Republic)**, *Geomorphology*, Vol. 102, PP. 68-80.
- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Chéry, J., Bayer, J., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, Ritz, J.F., Sedighi, M., Tavakoli, F., 2004a, **Deciphering Oblique Shortening of Central Alborz in Iran Using Geodetic Data**, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 223, No.1-2, PP. 177-185.

*The Role of Neotectonics on Geomorphologic Evolution at
Structural Boundaries in Southern Alborz- Central Iran
(Case study: Habblerud basin)*

Jaberi M.

Ph.D. Student of Geomorphology, Dep. of Physical Geography, University of Tarbiat Modares

Shayan S. *

Assistant Prof., Dep. of Physical Geography, University of Tarbiat Modares

Yamani M.

Associated Prof., Faculty of Geography, University of Tehran

Ghassemi M.R.

Assistant Prof. Geological Survey of Iran

Sharifikia M.

Assistant Prof., Dep. of RS and GIS, University of Tarbiat Modares

Received: 21/05/2012 Accepted: 19/11/2012

Extended Abstract

Introduction

Tectonic geomorphology is a relatively new and interdisciplinary field between structural geology/tectonics and Earth surface processes. The most common goal of tectonic geomorphology research is to use Quaternary landforms and stratigraphy to infer the nature, patterns, rates, and history of near-surface tectonic processes. Tectonic geomorphology provides a whole set of tools for deciphering the most recent activity on live structures (Keller and Pinter 2002; Pinter 1996). These tools kit is a quantitative measure of neotectonics landscapes giving useful information about neotectonic activities. In this work, Geomorphologic indices include : stream length-gradient index (SL), drainage basin asymmetry (Af), hypsometric integral (Hi), ratio of valley-floor width to valley height (Vf), index of drainage basin shape (Bs), and index of mountain front sinuosity (Smf) . In this study fault density (Fd) index is investigated as one of the most important geomorphologic indices. The study area is located between the southern

central Alborz and northern central Iran structural zone boundaries, two different tectonic active zones which are an ideal location to test new model (SAW).

Methodology

In this research, in order to increase the accuracy of calculating geomorphological indices in

Hable Rud basin extract digital elevation model (DEM) by resolution and accuracy of 10 meters, from topographic maps at the scale of 1:25000 was used. Also, we used geologic maps of Tehran and Semnan (1:250000), Garmsar and Damavand (1:100000), satellite imagery include ASTER (2007), Landsat ETM (2002), TM (1988) and topographic maps (1:50000), 1:25000 shape files. The various indices were divided into three classes: form class one being high activity to class three being low activity. We set geomorphic indices in a matrix table and got values based on characteristics and field observations. The approach of this paper is a quantitative method based on local characteristics concentrating to distinguish the role of neotectonics on evaluation of quaternary landforms, so we used a simple additive weighting model (SAW) to accumulate variables and they are ranked.

Results and Discussion

Some studies used a combination of two indexes (Smf and Vf) or Length gradient river to provide semi-quantitative information of relative degree of active tectonics. El Hamduni(2008) studied Izbor River basin using 6 indices including : stream length-gradient index (SL), drainage basin asymmetry (Af), hypsometric integral (Hi), ratio of valley-floor width to valley height (Vf), index of drainage basin shape (Bs) and index of mountain front sinuosity (Smf). He divides them into four classes from relatively low to highest tectonic activity. Due to the multitude variables, the technique in this study is a simple model (SAW) through GIS technique.

In this method, Hable Rud basin was selected and divided into 22 sub basins, after calculating and classification of 7 tectonic geomorphology indices, in first place, all indexes were ranked and set in matrix table giving values to the index. Faults are one of the important tectonics phenomena; therefore we calculate the fault density as an index in the model. The classification used in this paper for each geomorphic index is calculated from El Hamdouni's method. Within the study area, about 1% (378 km²) belong to class 1 (very high relative tectonic activity) as measured by SAW; 48.3% (1683.6km²) shows high relative tectonic activity as measured by SAW (class 2); 37.4% (1300.9km²) moderate values of tectonic activity in terms of SAW (class 3); and 3.4% (119.6km²) belong to the lowest values of relative tectonic activity (class 4) based upon SAW. Thus, we can conclude that 1/3 of the study area is classified into classes 2 or 1 of high to very high tectonic activity in terms of the apparent geomorphic response.

Conclusion

The study area is located between the southern Alborz and Central Iran structural zones, characterizing by active structural zone. Because of the lack of chronology of Quaternary units, Vertical rates of active tectonics in southern Alborz are unknown. N-S shortening across central Alborz has been evaluated to 5 mm/yr using GPS measurements (Vernant et al. 2004). The Mosha fault as one of the most active faults in this region causes several earthquakes greater than MS = 6.5 (Berberian and Yeats 2001). One of the greatest shocks (Ms~ 7.6) occurred in the

Garmsar fault during the third century BC and in 743AD. Ashtari (2005) indicated a concentration of earthquake activities located north of the Garmsar and Mosha faults. Finally, the result of this method has been linked to seismic map showing concentration of seismic activity around of Garmsar fault. The descriptions of tectonic landforms corresponded to the classification of SAW of moderate to high tectonic activity very well. As an advantage of this method relative to the IAT, those indices is adapted to the characteristics of the studied area. Geomorphic indices of active tectonics are useful tools to analyze the influence of active tectonics. These indices have the advantage of being calculated using GIS and remote sensing packages over large areas as accurate tool to identify geomorphic anomalies related to active tectonics. The SAW result showed that the most active part of Hable Rud is Garmsar fault. Since the weighting in this model is based on natural characteristics, so it can be applied in different areas with different characteristics.

Keywords: *Neotectonics, Geomorphologic Index, SAW Model, Southern Alborz, Hable Rud Basin.*

