

پهنه‌بندی تکتونیک فعال در گستره ساوه و پیرامون، جنوب غرب تهران

مهسا عبداللهی^۱ و حسین حاجی علی بیگی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. استادیار دانشکده علوم زمین، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۰۷

چکیده

شاخص‌های زمین‌ریخت‌ساختی برای بررسی تاثیر فعالیت زمین‌ساخت فعال و تشخیص ناهنجاری‌های مرتبط با آن به‌ویژه در مناطقی که کار مطالعاتی کمی بر روی این نوع فعالیت‌ها در آن صورت گرفته، می‌تواند ابزار مفیدی باشد. منطقه مورد مطالعه، واقع در گستره ساوه، بخشی از زون ساختاری-رسوبی ایران مرکزی است. با مطالعه نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و به‌کارگیری داده‌های رقومی ارتفاعی، وضعیت فعالیت نسبی زمین‌ساختی این گستره، با استفاده از برخی از شاخص‌های ریخت‌ساختی از جمله (Hi)، (Re)، (Bs)، (AF)، (Vf)، (Vc)، (V)، (SL)، (Smf) و (Iat)، در هشت پیشانی و نه حوضه (شورپایینی، لار، بیدلو، امیرآباد، شوربالایی، اشتهازد، بوئین‌زهرا، عرب و خررود) با هم مقایسه شده است. شاخص انتگرال هیپسومتری، بلوغ نسبی تمام حوضه‌ها و فعالیت زمین‌ساختی بیشتر حوضه عرب نسبت به سایر حوضه‌ها را نشان می‌دهد. شاخص نسبت کشیدگی بیشترین کشیدگی برای حوضه‌های لار، شوربالایی و خررود و کمترین کشیدگی برای حوضه شور پایینی می‌باشد. شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها بیشترین برافرازش را برای حوضه بیدلو نشان می‌دهد که برافرازش در سمت راست حوضه و ارتفاعات بین این حوضه و حوضه امیرآباد می‌باشد. شاخص‌های نسبت پهنای دره به عمق، شکل دره و نسبت عرض دره به ارتفاع دره، همگی بیانگر بیشترین فعالیت زمین‌ساختی در دره‌های واقع در مرز بین حوضه‌های شوربالایی و امیرآباد، قسمت جنوبی حوضه لار و مرز بین بیدلو می‌باشند. شاخص شیب آبراهه، حوضه‌های خررود، بوئین‌زهرا و عرب را فعال‌ترین حوضه‌ها نشان می‌دهد. همچنین شاخص سینوسیته پیشانی کوهستان، فعالیت زمین‌ساختی بالا را برای تمام حوضه‌ها بیان می‌کند. بر اساس نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال نیز می‌توان گفت، ارتفاعات موجود در مرز بین سه حوضه اشتهازد، شور بالایی و امیرآباد، حوضه لار و قسمت‌هایی از ارتفاعات موجود در بین حوضه‌های بیدلو و امیرآباد، دارای بیشترین فعالیت زمین‌ساختی بوده و در کلاس زمین‌ساختی ۱ و بسیار فعال قرار گرفته‌اند که متاثر از عملکرد گسل‌های جارو، گمرکان، ایپک، تکیداق، علیشار می‌باشد. همچنین سایر قسمت‌ها در امتداد پیشانی کوهستان نیز در کلاس زمین‌ساختی ۲ و فعال می‌باشند و مناطق پست‌تر حوضه‌هایی مانند خررود و بوئین‌زهرا و عرب در کلاس زمین‌ساختی ۳، نسبتاً فعال و بخش‌هایی از حوضه‌های شور بالایی و شور پایینی در کلاس زمین‌ساختی ۴ و فعالیت کم قرار گرفته‌اند. سه شاخص SL، Smf و Vf حساس‌ترین شاخص‌ها نسبت به حرکات گسل‌ها می‌باشند. بالاترین نرخ شاخص SL برای حوضه‌های خررود، بوئین‌زهرا و عرب است که منطبق با موقعیت گسل جنب و لرزه زای ایپک می‌باشد. همچنین فعال‌ترین حوضه از نظر شاخص Smf، حوضه امیرآباد است که در امتداد گسل تکیداق می‌باشد. کمترین مقادیر شاخص Vf در مرز بین حوضه‌های شور بالایی و امیرآباد می‌باشد که در اطراف گسل‌های گمرکان و جارو می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های ریخت‌ساختی، فعالیت زمین‌ساخت نسبی، زمین‌ساخت فعال، گستره ساوه.

* نویسنده مرتبط: h-alibeigi@sbu.ac.ir

مقدمه

زمین‌ساختی حوضه‌های شورپایینی، لار، بیدلو، امیرآباد، شوربالایی، اشتهارد، بوئین‌زهر، عرب و خرورد با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیکی و بررسی عملکرد گسل‌های گستره مورد مطالعه با توجه به علائم و شواهد ژئومورفولوژیکی سطح زمین می‌باشد. از جمله خطرناک‌ترین و لرزه‌زا ترین این گسل‌ها می‌توان به گسل ایپک و گسل اشتهارد اشاره کرد. زمین‌لرزه‌های ۱۰ دسامبر ۱۱۱۹ میلادی قزوین با بزرگای $M_s = 6.5$ و زمین‌لرزه ۱ سپتامبر ۱۹۶۲ میلادی بوئین‌زهر با بزرگای $M_s = 7.2$ به سبب عملکرد گسل ایپک بوده است (Ambraseys and Melville, 1982). زمین‌لرزه ۱ سپتامبر ۱۹۶۲ میلادی (دهم شهریور ۱۳۴۱) بوئین‌زهر، پهنه وسیعی در ناحیه دشت قزوین و باختر تهران را به شدت لرزاند، این زمین‌لرزه در برآوردهای رسمی با 12225 کشته، 2776 مجروح و تخریب 21000 خانه همراه بوده است. ناحیه رومرکزی در جنوب شهر بوئین‌زهر و از شمال آوج در باختر تا شمال ساوه (دوزج) و باختر تهران گسترده شده بود. همچنین زمین‌لرزه ۲۰ اکتبر ۱۸۷۶ میلادی با بزرگای $5/7$ به سبب عملکرد گسل اشتهارد بوده است که روستای کله‌دره که به هنگام این زمین‌لرزه ویران شد 35 نفر زن و مرد جان باختند و احشام روستاییان و خانه و درایی‌های آنها زیر خاک مانده و مدفون شد. با توجه به وجود گسل‌های ذکر شده و زمین‌لرزه‌های مهمی که بر روی آن به ثبت رسیده است و چندین گسل فرعی دیگر در گستره مورد مطالعه و وجود شهرهای در حال توسعه مانند بوئین‌زهر و نزدیکی این منطقه به شهر بزرگ تهران که حاوی چندین میلیون جمعیت است، ارزیابی‌های ریخت‌زمین‌ساختی و نو زمین‌ساختی آن را دارای اهمیت می‌کند.

گستره مورد مطالعه واقع در چهارگوش $1:250000$ ساوه و بین عرض‌های جغرافیایی $30^{\circ} 17' 35''$ و $30^{\circ} 53' 35''$ و طول‌های $50^{\circ} 58' 00''$ و $49^{\circ} 36' 00''$ قرار گرفته است (شکل ۱). از دیدگاه تقسیمات کشوری، این گستره در استان‌های مرکزی، تهران، قزوین و قم واقع شده است. بخش‌های باختری شهر کرج و بوئین‌زهر و ساوه، مهم‌ترین شهرهای این گستره به شمار می‌روند. بخش‌هایی از آزادراه‌ها و

زمین‌ساخت فعال و زمین‌ساخت ژئومورفولوژی به مطالعه فرآیندهای پویا و مؤثر در شکل‌دهی زمین و چشم‌اندازهای موجود در آن می‌پردازد، یکی از ابزارهای اساسی مؤثر در تشخیص عوارض زمین‌ساخت فعال و همچنین درک و فهم تاریخچه چشم‌اندازهای کنونی سطح زمین بوده است (Keller and Pinter, 2002). مطالعات ریخت‌زمین‌ساخت، که مشتمل بر مطالعات ژئودینامیکی و ژئومورفولوژی چشم‌اندازها است، در نهایت یک الگوی کلیدی برای تکامل آنها ارائه می‌کند که برای اولین بار توسط (Hack, 1960) معرفی شده است. این مطالعات یا به روش مطالعه چشم‌اندازهای ایجادشده توسط فرآیندهای ریخت‌زمین‌ساختی و یا به روش بررسی مسائل زمین‌ساختی توسط اصول ژئومورفولوژیکی، انجام می‌شود. بخشی از این مطالعات توسط شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی که در ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی، ابزارهای مفید و مطمئنی هستند، انجام می‌شود (Keller and Pinter, 2002). معمولاً از طریق آنها می‌توان مناطقی را که فعالیت‌های سریع و یا حتی کند زمین‌ساختی را پشت سر گذاشته‌اند، شناسایی کرد (خیام و مختاری، ۱۳۸۲). متغیرهای کمی ریخت‌زمین‌ساختی مواردی مانند شکل پیشانی کوه‌ها، انتگرال هیپسومتریک و تحلیل الگوهای زهکشی هستند. در تحلیل الگوی زهکشی، شاخص‌هایی مانند شاخص گرادیان طول رودخانه و نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره، می‌توانند فعالیت‌های زمین‌ساختی را به خوبی بازگو کنند (Hack, 1960). سینوسیتی پیشانی کوه نیز می‌تواند در تعیین زمین‌ساخت فعال یک منطقه مورد استفاده قرار گیرد (Bull, 1977). در این تحقیق به منظور ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال گستره مورد مطالعه، برخی از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی از جمله انتگرال هیپسومتری (Hi)، نسبت کشیدگی (Re) و (Bs)، شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز (AF)، شاخص نسبت پهنای دره به عمق آن (Vf)، شاخص شیب آبراهه (SL)، شاخص سینوسیتی پیشانی کوهستان (Smf) و ارزیابی زمین‌ساخت فعال (Iat) استفاده شده است. هدف از این پژوهش تعیین فعالیت

تشکیل شده و نشان از بالآمدگی حوضه دارد. پس از آن در الیگومیوسن مجدداً رژیم کشتی حکم فرما شده که باعث پیشروی دریا و تشکیل واحدهای رسوبی معادل سازند قم می شود. در این زمان ماهیت فورانها عموماً آکالن است. همچنین از نظر شیمیایی ولکانیسم اسیدی غالب بوده که به همراه آن البوین- بازالت و نیز برخی سنگهای حدواسط نیز تشکیل شده اند (دلوری، ۱۳۸۱). با توجه به ارتباط فضایی و همجواری حوضه اقیانوسی نئوتتیس و حاشیه قاره‌ای جنوب اورازیا بسیاری از محققان فعالیت ماگمایی گسترده در حاشیه جنوبی اورازیا از جمله ایران مرکزی (کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر) را متأثر از لیتوسفر فرورانده نئوتتیس می دانند. (Berberian and King, 1981) از نظر فضایی و روند ساختمانی، کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر به موازات کوهزایی زاگرس و زون فرورانش نئوتتیس قرار داشته و به صورت یک قوس ماگمایی در بالای لیتوسفر فرورانده نئوتتیس تشکیل شده است. بعلاوه، اختصاصات ژئوشیمیایی سنگهای ماگمایی کمر بند ارومیه- دختر تایید کننده جایگاه زمین ساختمانی این کمر بند ماگمایی به صورت یک حاشیه فعال قاره‌ای است (Verdel et al., 2011). فعالیت ماگمایی این کمر بند عمدتاً در پالئوژن انجام شده است (Chiu et al., 2013). مکانیسم فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس (زاویه فرورانش، به عقب برگشتگی لیتوسفر فرورانده و یا گسیختگی آن) ممکن است سبب ایجاد تکتونیسم کشتی در لیتوسفر بالای زون فرورانده (ایران مرکزی) شده باشد. به طوری که ولکانیسم بازالتی ژوراسیک میانی- پایانی و کرتاسه شاهدهی از بازشدگی حوضه‌های پشت قوس مرتبط با فرورانش، نئوتتیس در نظر گرفته شده اند (Kazmin, 1986). ماگماتیسم ائوسن در این گستره را می توان به یک محیط کشتی منتسب نمود که باعث تشکیل یک حوضه رسوبی شده و امکان تشکیل ضخامت قابل توجهی از رسوبات و ولکانیسم زیر دریایی همراه با آن را فراهم کرده باشد. بعلاوه، برخی واحدهای آتشفشانی کاملاً روند خطی نشان می دهند. این پدیده نیز با ولکانیسم در امتداد گسل‌های کشتی سازگاری دارد (Berberian, 1983, Ballato, 2009, Brunet, 2011). مطالعات انجام شده توسط

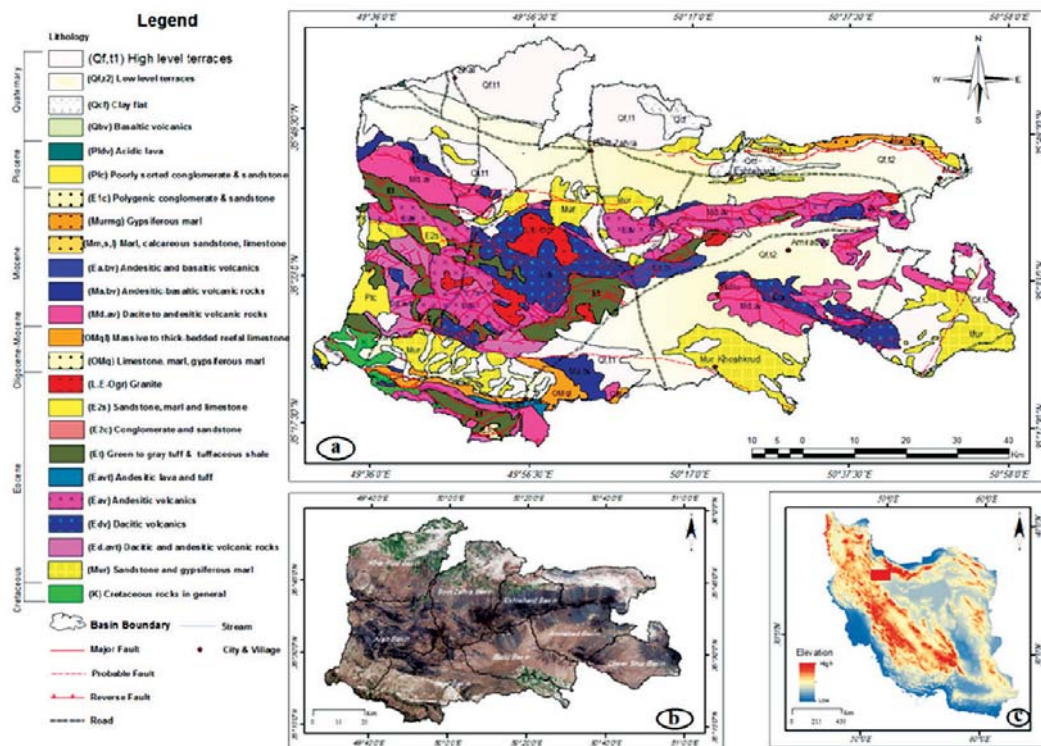
راه‌های اصلی کرج- قزوین، تهران- قم و تهران- ساوه، همراه با راه‌های اصلی ساوه- همدان و کرج- بوئین زهرا- قزوین، از مهم‌ترین راه‌های ارتباطی این گستره می باشند.

جایگاه زمین‌شناسی و زمین‌ساختی

گستره ساوه محل تلاقی میان مناطق ساختاری- رسوبی البرز، ایران مرکزی و کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر محسوب گشته و از این نظر گستره‌ای منحصربه‌فرد به شمار می رود. در این گستره گسل‌های اصلی و جنبه مرز میان فرونشست‌های زمین‌ساختی و کوهستان‌های منطقه را تشکیل می دهند. گوشه شمال خاوری دربرگیرنده زون گسلیده شمال کرج، قسمت شمالی و میانی آن دربردارنده گسل‌های جنبه‌ای اشتهاورد (با طول ۶۰ کیلومتر و مؤلفه امتداد لغز) و ایپک (با طول ۸۵ کیلومتر و مؤلفه امتداد لغز) و جارو و چاقو و گمرکان (با طول ۳۰ کیلومتر و مؤلفه امتداد لغز) و در جنوب این گسل‌ها، گسل تک‌یاق (با طول ۷۵ کیلومتر و مؤلفه امتداد لغز) و گسل علیشار (با طول ۳۰ کیلومتر و مؤلفه امتداد لغز) از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌ساختی جوان منطقه به شمار می روند. بخش جنوبی این گستره دربردارنده زون‌های گسلی کوشک نصرت، نورعلی بیک، ساوه، غرق آباد می باشد. در این گستره، بیشترین فعالیت ماگمایی در زمان ائوسن رخ داده که مشتمل بر گدازه‌ها، رسوبی‌های همراه واحدهای پیروکلاستیک (تا ضخامت ۳ کیلومتر) است. به نظر می رسد طی پالئوژن، از نظر رژیم زمین‌ساختی و فرایندهای ماگمایی تغییراتی را متحمل شده است. به نظر (Caillat et al., 1978)، شروع فعالیت در ائوسن آغازی به صورت تشکیل میان لایه‌های گدازه‌های اسیدی و حدواسط و در یک محیط خشکی انجام شده است. به سمت ائوسن میانی سری‌های ولکانیک- رسوبی ظاهر شده که شامل تنوعی از رخساره‌های پیروکلاستیک و رسوبی‌هایی همچون مارن، ماسه‌سنگ و لنزهای آهکی نومولیت دار است. در این زمان ترکیبات بازیک خیلی نادر بوده و تیپ سنگ‌چینه‌ای حکایت از تشکیل واحدها در یک حوضه دریایی در حال فرونشست است. در ائوسن پسین سری‌های پیروکلاستیک با میان لایه‌های گدازه‌های عمدتاً حدواسط

می‌توان عوامل ساختاری، لیتولوژیکی، دگرسانی و آب و هوایی برشمرد. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن، ارتفاعات و نواحی گسل خورده در مرز جداکننده برجستگی‌ها و مناطق پست جای دارند. گرانیتهای نیز بر تکامل لندفرم‌ها تاثیرگذار بوده و در اثر هوازدگی، گودی‌هایی را در منطقه پدید آورده است. لازم به ذکر است که دگرسانی سنگ نهشته‌های نئوژن نیز به دلیل سست بودن، دچار فرسایش شده و مناطق پست و کم ارتفاعی را به وجود آورده است (یوسفی و همکاران، ۱۳۷۹).

(Caillat et al., 1978)، محیط کششی ریفت درون قاره‌ای را برای ولکانیسم ائوسن این گستره پیشنهاد می‌کند. به نظر (Verdel et al., 2011) نیز شواهد چینه‌شناختی فرونشست در زمان ائوسن و گسلش نرمال در این زمان حاکی از این است که ماگماتیسم گسترده پالئوسن-ائوسن مرتبط با کشش بوده است. منشأ این ماگماتیسم مرتبط با ذوب کاهش فشاری یک گوشته لیتوسفری بوده که تحت تأثیر سیالات زون فرورانشی قرار گرفته بود. عوامل کنترل‌کننده زمین‌ریخت‌شناسی در منطقه را



شکل ۱. نمایش موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به گستره مطالعاتی، (a) نقشه زمین‌شناسی گستره مطالعاتی، (b) تصویر ماهواره‌ای گستره مطالعاتی (Google Earth)، (c) نمایش موقعیت شکل a در ایران

روش مطالعه

هشتگرد، اشتهارد، خیارج، زاویه، ساوه و نوبران و ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه، گسل‌ها، شبکه‌های زهکشی و نه حوضه با نام‌های شورپایینی، لار، بیدلو، امیرآباد، شوربالایی، اشتهارد، بوئین‌زهرا، عرب و خررود استخراج شد (شکل ۲). سپس برای بررسی و مشخص کردن زمین‌ساخت فعال در حوضه‌های نه‌گانه، با استفاده از شاخص‌های ریخت‌شناسی زمین‌ساخت انتگرال هیپسومتری، نسبت کشیدگی،

به‌منظور ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی گستره مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌های ریخت‌شناسی و براساس ویژگی‌های ساختاری و ریخت‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل‌های رقمی ارتفاعی و عکس‌های هوایی مورد بررسی قرار گرفتند. ابتدا از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰

هیپسومتری مربوط به هر حوضه نیز از برنامه کاربردی SagaGIS استفاده شده است. بعد از محاسبه شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت در گستره، در محیط نرم‌افزار ArcGIS نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال تهیه شده از هر شاخص بر روی هم قرار داده شد و در نهایت یک نقشه واحد از عملکرد زمین‌ساخت فعال در گستره تهیه شد.

شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت

به منظور تعیین فعالیت‌های زمین‌ساختی گستره ساوه، اقدام به محاسبه شاخص‌های زمین‌ریختی شامل انتگرال هیپسومتری، نسبت کشیدگی و شکل حوضه، شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز، نسبت پهنای دره به عمق آن، شکل دره، نسبت عرض دره به ارتفاع آن، شیب آبراهه، سینوسیته پیشانی کوهستان و ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال گردید (جدول ۱).

عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز، نسبت پهنای دره به عمق، شکل دره، نسبت عرض دره به ارتفاع دره، شیب آبراهه، سینوسیته پیشانی کوهستان و ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال، نقشه‌ها و نمودارهای لازم در محیط نرم‌افزارهای Google Earth، ArcGIS، Global Mapper و Excel استخراج و ترسیم گردید. کار مطالعه و بررسی ریخت‌زمین‌ساخت گستره با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی آغاز گردید؛ در مرحله بعد شواهد ریخت‌زمین‌ساخت با انجام بررسی‌های دورسنجی و مطالعات صحرایی و تحلیل‌های لازم برای ارزیابی نقش زمین‌ساخت فعال انجام شد. اندازه‌گیری‌ها و محاسبه شاخص‌های زمین‌ساخت فعال، در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 و با استفاده از نقشه ارتفاعی رقومی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر صورت گرفته است. برای اندازه‌گیری انتگرال هیپسومتری و منحنی‌های

جدول ۱. شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی اندازه‌گیری شده در گستره مورد مطالعه

نام شاخص	معادله	اجزا
انتگرال هیپسومتری (Keller and Pinter, 2002, Walcott and Summerfield, 2008, Azor et al., 2002)	$H_i = (H_{mean} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min})$	ارتفاع کمینه حوضه = H_{min} ارتفاع متوسط حوضه = H_{mean} ارتفاع بیشینه حوضه = H_{max}
نسبت کشیدگی (Schumm, 1956)	$Rc = \frac{2}{Lm} \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5}$	طول حوضه در جهت موازی با بزرگ‌ترین آبراهه = Lm مساحت حوضه = A
شکل حوضه (Bull and McFadden, 1977) (Ramirez- Herrera, 1988)	$Bs = Bl/Bw$	طول حوضه آبریز = Bl عرض حوضه = Bw
عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز (Hare and Gardner, 1985, Keller and Pinter, 2002)	$AF = 100(Ar/At)$	مساحت حوضه در سمت راست آبراهه اصلی = Ar مساحت کل حوضه = At
نسبت پهنای دره به عمق (Bull and McFadden, 1977, Keller and Pinter, 2002, Pedrera, Pérez-Peña et al., 2009, Pérez-Peña, Azor et al., 2010)	$Vf = 2V_{rw} / (E_{rd} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})$	عرض کف دره = V_{rw} ارتفاع خط الراس در چپ و راست دره = E_{rd} و E_{rd} ارتفاع کانال از کف دره = E_{sc}
شکل دره (Mayer, 1986)	$Vc = Av / Ac$	مساحت دره در مقطع عرضی = AV مساحت نیم‌دایره به شعاع h = AC
نسبت عرض دره به ارتفاع دره (Bull and McFadden, 1977, Keller and Pinter, 2002)	$V = 2V_w / (E_{rd} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})$	عرض دره = V_w ارتفاع خط الراس در چپ و راست دره = E_{rd} و E_{rd} ارتفاع کانال از کف دره = E_{sc}
شیب آبراهه (Bull and McFadden, 1977, Hovius, 2000, Keller and Pinter, 2002, Menéndez, Silva et al., 2008)	$SL = (\Delta L / \Delta H) \times L$	ΔH = نشانگر تغییرات ارتفاع کانال، ΔL = معرف طول آن L = طول کانال از مرکز کانال تا مرتفع‌ترین نقطه کانال
سینوسیته پیشانی کوهستان (Bull and McFadden, 1977, Keller and Pinter, 2002, Silva, Goy et al., 2003, Pérez-Peña, Azor et al., 2010)	$S_{mf} = L_{mf} / L_s$	طول پیشانی کوهستان = L_{mf} L_s = طول خط وصل کننده ابتدا و انتهای پیشانی کوهستان
ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال (El Hamdouni et al., 2008)	$Iat = S/n$	s = مجموع کلاس‌های شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی محاسبه شده n = تعداد شاخص‌های محاسبه شده

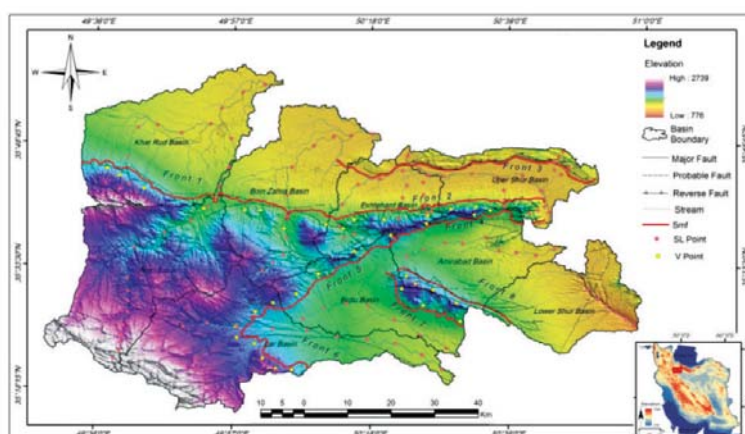
بحث

زمین‌ریختی، فعالیت زمین‌ساختی بالایی را در نزدیکی غسل‌های ایپک، حسن‌آباد، سلطانیه و آوج نشان می‌دهد. خیام و مختاری کشکی (۱۳۸۲)، به ارزیابی عملکرد فعالیت‌های زمین‌ساختی بر اساس مورفولوژی مخروط افکنه‌های دامنه‌های شمالی میشو داغ پرداخته و نتیجه گرفتند که فعالیت‌های زمین‌ساختی در بخش شرقی میشو در دوره‌های اخیر زمین‌شناسی و حتی در کوتاه‌تر نیز تداوم داشته است. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۸۴)، عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش مخروط افکنه رودخانه روئین در دامنه جنوبی آلا داغ را بررسی کرده و نشان دادند که در بین عوامل درونی، نقش زمین‌ساخت از اهمیت بیشتری برخوردار است. مددی و همکاران (۱۳۸۳)، با بررسی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی منطقه تالش نشان دادند که منطقه مورد مطالعه در مرحله جوانی قرار داشته و فرایندهای فرسایشی شدیداً فعال است. گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶)، با استفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی به تحلیل حوضه آبریز درکه پرداخته و نتیجه گرفتند این حوضه از مناطق فعال زمین‌ساختی است. یمانی و همکاران (۱۳۸۷)، به بررسی فعالیت زمین‌ساختی دامنه‌های کوه‌کرکس با استفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی پرداختند. نتیجه گرفتند که دامنه شرقی به علت، وجود غسل‌های فراوان فعال‌تر از دامنه غربی است. کرمی (۱۳۸۸)، شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی در حوضه سعیدآبادچای بررسی و میزان فعالیت زمین‌ساختی را در آنجا محاسبه کرد. همچنین عزتی و همکاران (۱۳۹۱)، به تجزیه و تحلیل حوضه شیرین رود در کپه داغ با استفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی پرداختند. آن‌ها نشان دادند که فعالیت زمین‌ساختی در منطقه مورد مطالعه بالا است و محققانی دیگر در سال‌های اخیر به بررسی زمین‌ساخت با شاخص‌های زمین‌ساختی پرداخته‌اند.

تحلیل شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی

به‌منظور بررسی نحوه عملکرد زمین‌ساخت فعال در گستره مورد مطالعه، نه حوضه‌ی آبریز در منطقه در نظر گرفته شده است (شکل ۲). بعد از محاسبه مقدار هر یک از شاخص‌ها، اقدام به رده‌بندی آنها در چهار کلاس زمین‌ساختی شده است. کلاس ۱ معرف فعالیت

کاربرد شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت در تشخیص حرکات زمین‌ساختی فعال و جوان، به دهه‌ی ۱۹۶۰ برمی‌گردد (Bull and Mcfadden, 1977) از شاخص نسبت پهنای دره به عمق، برای شناسایی عامل فرسایش در شمال و جنوب غسل‌گارلوک استفاده کرده و تأثیر زمین‌ساخت را از طریق نیم‌رخ عرضی دره‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند. مطالعات آنها در منطقه به سه رده‌بندی مهم منجر گردید. مطالعات (Menges, 1987) روی پیشانی کوهستانی شمال نیومکزیکو از درجه فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا و نقش غسل‌های اصلی در ایجاد سطوح مثلثی حکایت داشته است. (Ramirez- Herrera, 1998)، تغییرات مکانی زمین‌ساخت فعال را بر اساس روش‌های ریخت‌زمین‌ساخت ارزیابی نموده و فعالیت زمین‌ساختی سیستم آبرفتی را ارزیابی کرد. (Visteras, 2003)، در منطقه بتیک کوردیلرای اسپانیا به بررسی اشکال مخروط افکنه‌هایی که توسط زمین‌ساخت کنترل می‌شوند پرداختند. (Singh and Tandon, 2008) مخروط افکنه‌های منطقه پینجور شمال غرب کوه‌های هیمالیا را مطالعه کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که زمین‌ساخت نقش مهم‌تری را نسبت به عوامل اقلیمی در تحول مخروط افکنه‌ها داشته است. (El Hamduni et al., 2008)، با استفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت، چهار کلاس فعالیت زمین‌ساختی کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد برای جنوب غرب سیرانوادا در جنوب اسپانیا تعریف کرد. (Figuroa et al., 2010)، در جنوب سیرانوادا در کالیفرنیا نشان داد که فعالیت زمین‌ساختی منطقه در حوالی غسل کرن ریور گورج بیشتر است. (Altin, 2011) در ترکیه نشان داد که میزان بالآمدگی بخش جنوبی آناتولی بیشتر از بخش شمالی است. (Wells et al., 1988; Ramirez- Herrera, 1998; Azor et al., 2002; Keller and Pinter, 2002; Burberry, 2010)، به مطالعه نیروهای زمین‌ساختی و عملکرد فرسایشی آنها در پیشانی کوهستان پرداخته‌اند. (Alaei et al., 2017) به ارزیابی فعالیت تکتونیک نسبی منطقه آوج- بوئین‌زهرا در شمال ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شاخص

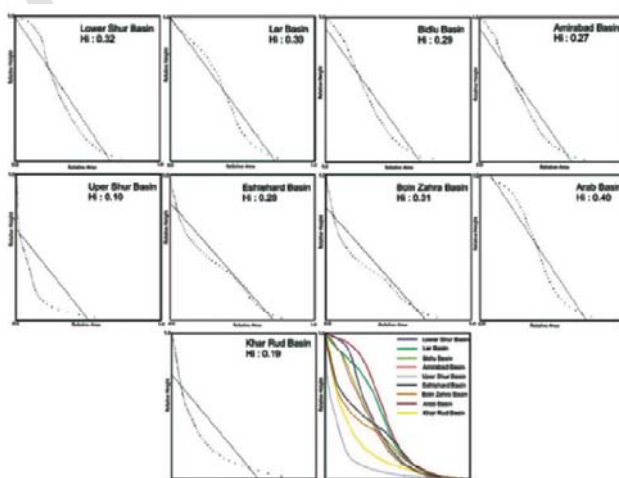


شکل ۲. نمایش موقعیت حوضه‌ها در گستره مطالعاتی

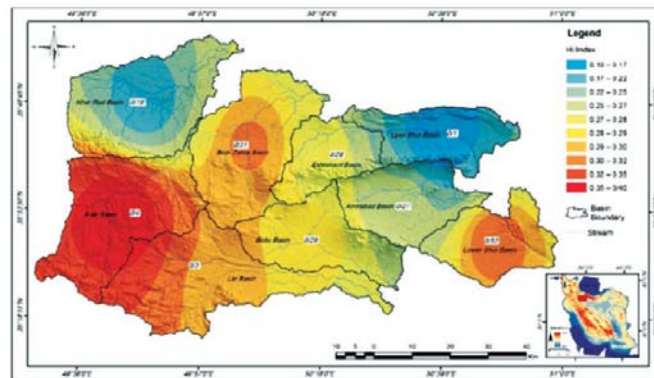
۵۰ نقطه مفروض از حوضه لحاظ می‌گردد. محاسبات انجام شده، نشان می‌دهد که تقریباً تمام حوضه‌های منطقه از بلوغ نسبی برخوردارند، اما حوضه عرب براساس این شاخص نسبت به سایر حوضه‌ها، بیشترین فعالیت زمین‌ساختی (مقدار ۰/۴) را دارا می‌باشد. حوضه‌های شور بالایی (مقدار ۰/۱) و خررود (مقدار ۰/۱۹) نیز کمترین مقدار فعالیت را نشان می‌دهند. حوضه‌های عرب و لار، بوئین‌زهرا و بیدلو و شور پایینی، فعالیت بیشتری را نسبت به سایر حوضه‌ها نشان می‌دهد. نمودارهای هیپسومتری حوضه‌های گستره مورد مطالعه نشان می‌دهد حوضه‌های عرب و لار، دارای بیشترین پستی و بلندی و حوضه‌های خررود و شور بالایی نیز کمترین مقدار فعالیت زمین‌ساختی داشته و کمترین مقدار پستی و بلندی را نشان داده است. سایر حوضه‌ها نیز از بلوغ نسبی برخوردارند (شکل ۴).

زمین‌ساختی بسیار بالا، کلاس ۲ نمایانگر حوضه‌هایی با فعالیت بالا، کلاس ۳ نشان‌دهنده حوضه‌های نسبتاً فعال و کلاس ۴ معرف حوضه‌هایی با فعالیت کم می‌باشد.

۱- *انتگرال هیپسومتری (Hypsometric Integral)*: مقدار عددی هیپسومتری، برای نه حوضه در گستره مورد مطالعه، بین ۰/۱ تا ۰/۴ متغیر است (شکل ۳-ا). برای مشخص کردن کلاس زمین‌ساختی حوضه‌ها، علاوه بر مقدار عددی، نمودارهای هیپسومتری آنها نیز در نظر گرفته شده است (شکل ۳). زیرا منحنی هیپسومتری بهتر می‌تواند تکامل و بلوغ حوضه را نشان دهد، چرا که در تهیه این منحنی‌ها، تمامی نقاط ارتفاعی حوضه، مورد بررسی قرار گرفته و بلوغ حوضه بیان می‌شود. ولی زمانی که مقدار عددی انتگرال هیپسومتری با روش میانگین‌گیری ارتفاع از ۵۰ نقطه تصادفی، به دست می‌آید، تنها ارزش ارتفاعی



شکل ۳. نمودارهای هیپسومتری مربوط به حوضه‌های گستره مورد مطالعه

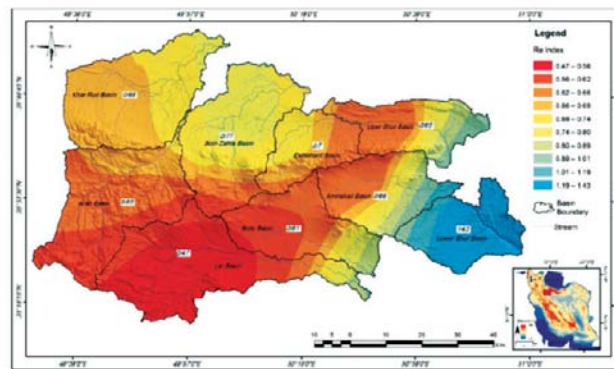


شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی شاخص انتگرال هیپسومتری در حوضه‌های گستره مورد مطالعه

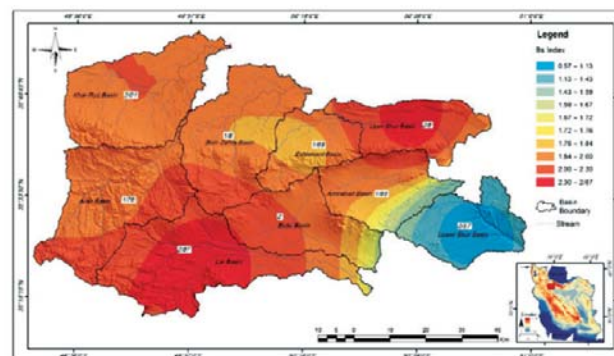
حوضه‌های گستره از کشیدگی نسبی برخوردارند؛ مقدار عددی این شاخص بین ۰/۵۷ تا ۲/۸۷ متغیر است (شکل b-۱۳). حوضه‌های لار (مقدار ۲/۸۷) و شور بالایی (مقدار ۲/۸) و خررود (مقدار ۲/۰۱) نسبت به سایر حوضه‌ها کشیده‌تر بوده و در کلاس زمین ساختی ۱ قرار گرفته‌اند. حوضه شور پایینی کمترین مقدار کشیدگی را داراست و در کلاس زمین‌ساختی ۴ قرار دارد (شکل ۶).

۲- نسبت کشیدگی (*Elongation Ratio*): مقدار عددی شاخص نسبت کشیدگی (*Re*) در حوضه‌های گستره مورد مطالعه بین ۰/۴۷ تا ۱/۴۳ متغیر است (شکل b-۱۳). بر این اساس نیز حوضه لار (مقدار ۰/۴۷) به‌عنوان کشیده‌ترین حوضه و دارای کلاس زمین ساختی ۱ و حوضه شور پایینی (مقدار ۱/۴۳)، دارای کمترین کشیدگی بوده و کلاس زمین ساختی ۴ دارد (شکل ۵).

بر اساس شاخص نسبت کشیدگی (*Bs*) تمامی



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی شاخص *Re* در حوضه‌های گستره مورد مطالعه

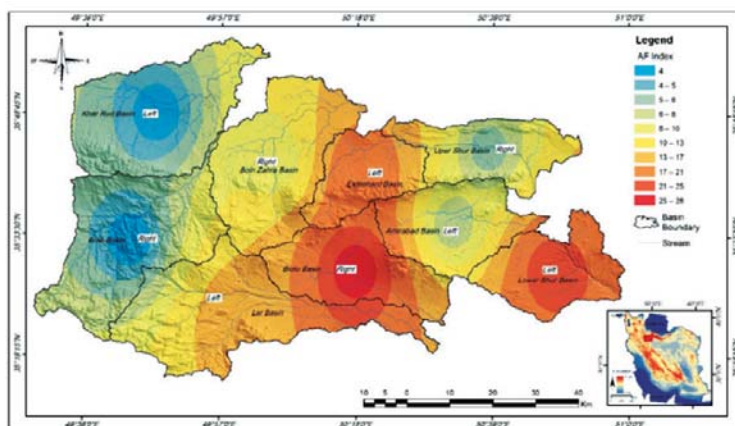


شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی شاخص *Bs* در حوضه‌های گستره مورد مطالعه

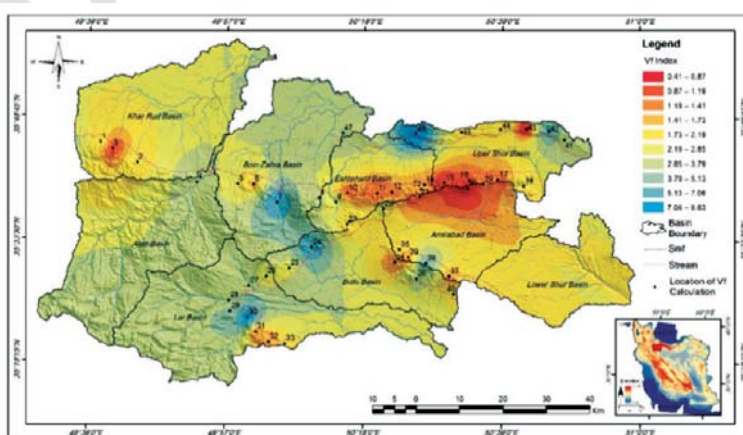
تقریبی ۱۵۰۰ متر بالاتر از پیشانی کوهستان، برای ۴۷ دره در گستره مورد مطالعه اندازه‌گیری شده است (شکل ۸). مقدار عددی این شاخص، بین ۰/۴۱ تا ۹/۸ متغیر است (شکل d-۱۳). دره‌هایی که مقدار این شاخص در آنها بالاتر از ۳ محاسبه شده، از فراوانی کمتری برخوردارند. تغییرات این شاخص در امتداد پیشانی کوهستان به یک اندازه و ثابت نبوده است. مقدار این شاخص بر روی آبراهه‌های جوان موجود در مرز بین حوضه‌های شور بالایی و امیرآباد (دره‌های ۱۰ تا ۲۲)، فعالیت زمین ساختی بالایی را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص برای رودهای بزرگ منطقه از قبیل رودخانه شور (دره شماره ۴۶) و یا رودخانه لار (دره شماره ۳۰)، نشان از بالا بودن این شاخص بود. نشان می‌دهد که این رودها به‌جای حفر قائم مسیر خود، اقدام به فرسایش دیواره‌ها و عریض‌تر کردن بستر خود نموده‌اند.

۳- عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز (*Drainage Asymmetry Factor*): پس از محاسبه مقدار شاخص AF برای حوضه‌ها، مقدار اختلاف آنها از یک حوضه پایدار (AF=50) محاسبه شده (شکل c-۱۳) و سپس نقشه پهنه‌بندی آن بر اساس این اختلاف از حوضه پایدار تهیه گردیده است (شکل ۷). حوضه بیدلو (مقدار ۷۸)، دارای بیشترین برافرازش بوده که این برافرازش در سمت راست حوضه و ارتفاعات بین این حوضه و حوضه امیرآباد بروز کرده است. حوضه شور پایینی نیز (مقدار ۲۶)، دارای فعالیت نسبتاً بالا ارزیابی شده است. این برافرازش در سمت چپ حوضه بوده و به دلیل برافرازش در همان ارتفاعات مذکور رخ داده است.

۴- نسبت پهنای دره به عمق (*valley floor width-to-height ratio*): شاخص نسبت پهنای دره به عمق با فاصله

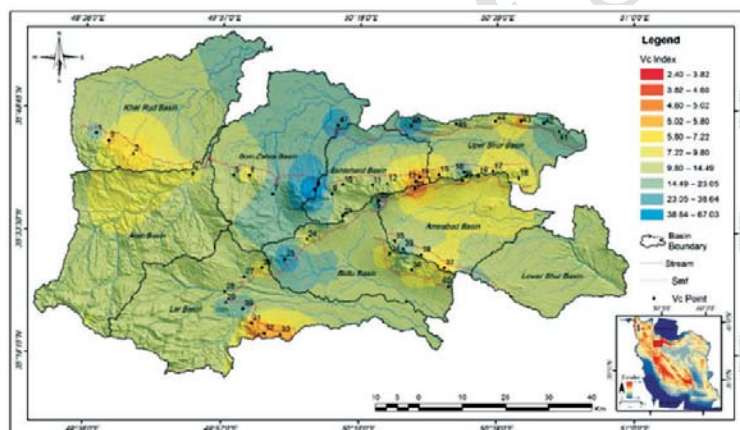


شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی شاخص AF در حوضه‌های گستره مورد مطالعه

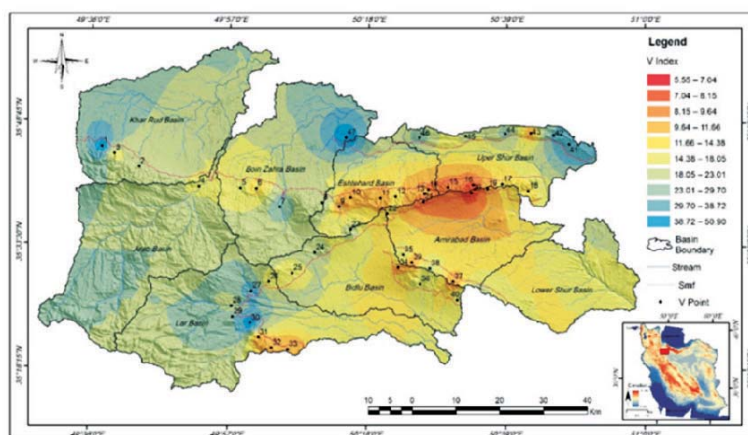


شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی شاخص Vf در حوضه‌های گستره مورد مطالعه

۵- شکل دره (*Valley Cross-Section Ratio*): شاخص شکل دره مقدار عددی، بین ۲/۴ تا ۶۷ متغیر است (شکل e-۱۳). تنها در دو دره مقادیر بالاتر از ۳۰ اندازه‌گیری شده و در سایر دره‌ها مقدار این شاخص کمتر از ۳۰ می‌باشد. مقدار این شاخص نیز نشان از یکسان نبودن میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی در امتداد پیشانی کوهستان می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی شاخص *Vc* همخوانی قابل توجهی با سایر شاخص‌های محاسبه شده بر روی این دره‌ها دارد (شکل ۹). این شاخص نیز مرز بین حوضه‌های شور بالایی و امیرآباد و قسمت جنوبی حوضه لار و همچنین ارتفاعات موجود در مرز بین حوضه امیرآباد و بیدلو و همچنین ارتفاعات موجود در حوضه خررود (دره‌های شماره ۲ و ۳)، را به‌عنوان دره‌های فعال (با حفر قائم) معرفی می‌کند که همخوانی نزدیکی با نقشه پهنه‌بندی شاخص‌های *V* و *Vf* دارد (شکل ۸).



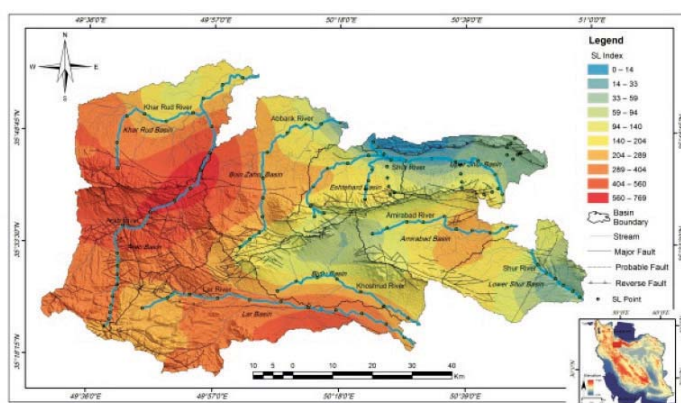
شکل ۹. نقشه پهنه‌بندی شاخص *Vc* در حوضه‌های گستره مورد مطالعه



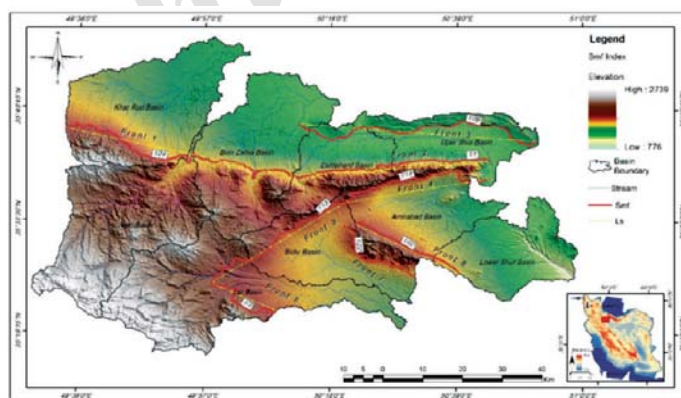
شکل ۱۰. نقشه پهنه‌بندی شاخص *V* در حوضه‌های گستره مورد مطالعه

مناطق با فعالیت پایین مشخص شده است.
 ۸- سینوسیته پیشانی کوهستان (*Mountain-Front Sinuosity*): بررسی مقادیر شاخص سینوسیته پیشانی کوهستان در ۸ پیشانی گستره (شکل h-۱۳) نشان می‌دهد که کمترین مقدار این شاخص مربوط به پیشانی ۸ (معادل ۱/۰۲) و بیشترین مقدار این شاخص متعلق به پیشانی ۶ (معادل ۱/۳) می‌باشد، که اختلاف چندانی باهم نداشته و نشان‌دهنده فعالیت بالا و کلاس زمین ساختی ۱ در تمام پیشانی‌ها می‌باشد (شکل ۱۲).

۷- شیب آبراهه (*Stream gradient*): مقدار شاخص شیب آبراهه (شکل g-۱۳)، و نقشه پهنبندی شاخص SL گستره (شکل ۱۱)، نشان می‌دهد، ارتفاعات موجود در محدوده حوضه خررود، بوئین‌زهرا و عرب (دارای بالاترین مقدار SL)، واجد فعالیت زمین‌ساختی بالاتری نسبت به سایر مناطق می‌باشد. همچنین اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی حوضه لار، این منطقه را دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا معرفی کرده است. برخی قسمت‌های واقع در حوضه شور بالایی و پایینی و همچنین بخش کوچکی از حوضه بیدلو به‌عنوان



شکل ۱۱. نقشه پهنبندی شاخص SL در حوضه‌های گستره مورد مطالعه، اندازه‌گیری‌های انجام شده برای شاخص SL در حوضه خررود، بر روی رودخانه خررود، در حوضه عرب، بر روی رودخانه عرب، در حوضه لار، بر روی رودخانه لار، در حوضه شور بالایی و شور پایینی، بر روی رودخانه شور، در حوضه بوئین‌زهرا، بر روی رودخانه آب باریک، در حوضه بیدلو، بر روی رودخانه خشک‌رود، در حوضه اشتهارد، بر روی بخش غربی رودخانه شور و در حوضه امیرآباد؛ بر روی رودخانه امیرآباد انجام شده است.



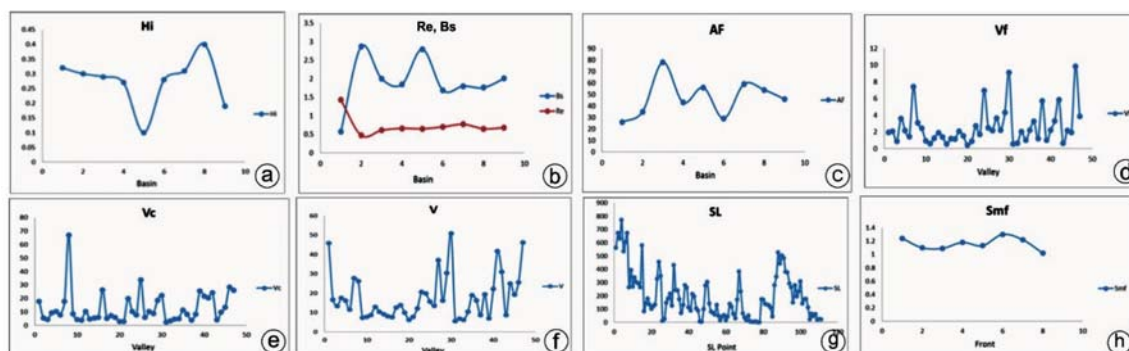
شکل ۱۲. محل اندازه‌گیری مرز کوهستان و دشت و شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان

زمین‌ساختی آن منطقه را برآورد کرد. اگر مقدار این شاخص بین ۱ تا ۱/۵ باشد، حاکی از فعالیت‌های زمین‌ساختی خیلی زیاد بوده و در صورتی که این شاخص بین ۱/۵ تا ۲ باشد، نشان از فعالیت‌های زمین‌ساختی زیاد می‌باشد. اعداد بین ۲

۹- ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال (*Index of Relative Active Tectonics*): پس از محاسبه شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت برای منطقه مطالعاتی، می‌توان با استفاده از شاخص نسبی زمین‌ساخت فعال (*Iat*) فعالیت

قسمت پیشانی ۱، ارتفاعات موجود در مرز بین سه حوضه‌ی اشتهاارد، شور بالایی و امیرآباد در پیشانی ۲ و ۴، حوضه لار در قسمت پیشانی ۶ و قسمت‌هایی از ارتفاعات موجود در بین حوضه‌های بیدلو و امیرآباد در پیشانی‌های ۷ و ۸ که دارای بیشترین فعالیت زمین‌ساختی بودند، در این نقشه در کلاس زمین‌ساختی ۱ و بالاترین درجه از فعالیت قرار گرفته‌اند. همچنین سایر قسمت‌ها در امتداد پیشانی کوهستان نیز در کلاس زمین‌ساختی ۲ و فعال قرار گرفته‌اند و مناطق پست‌تر حوضه‌هایی مانند خررود، بوئین‌زهرا، شوربالایی و شورپایینی در کلاس زمین‌ساختی ۴ و فعالیت کم قرار گرفته‌اند.

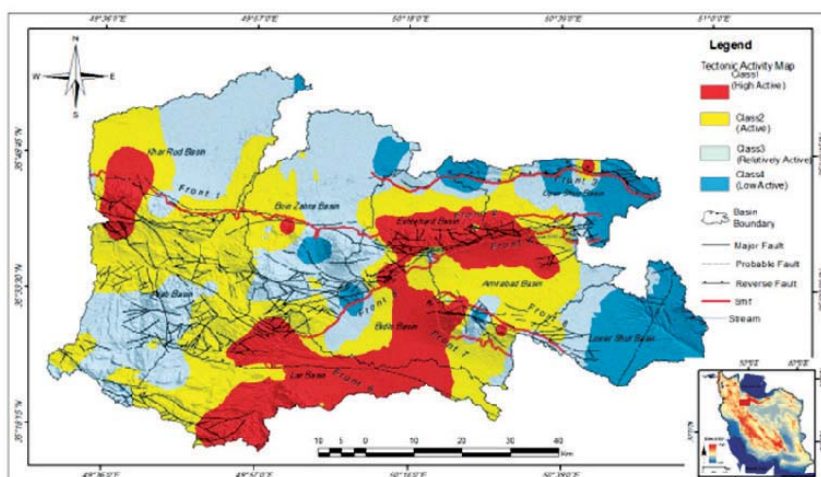
تا ۲/۵ نیز فعالیت زمین‌ساختی متوسط دارند و اعداد بیش از ۲/۵ نیز نشان از فعالیت زمین‌ساختی کم می‌باشند. برای گستره مورد مطالعه نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال نیز بر اساس کلاس زمین‌ساختی در شکل ۱۳ و جدول ۲ تهیه و ترسیم شد. در این نقشه حوضه‌های گستره مورد مطالعه، در چهار کلاس زمین‌ساختی رده‌بندی شده‌اند. کلاس ۱ معرف فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، کلاس ۲ نمایانگر حوضه‌هایی با فعالیت بالا، کلاس ۳ نشان‌دهنده حوضه‌های نسبتاً فعال (متوسط) و کلاس ۴ معرف حوضه‌هایی با فعالیت کم می‌باشد (شکل ۱۴). بخشی از حوضه خررود در



شکل ۱۳. نمودارهای نشان‌دهنده مقادیر عددی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی، a- نمودار شاخص انتگرال هیپوسومتری، b- نمودار شاخص نسبت کشیدگی، c- نمودار شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز، d- شاخص نسبت پهنای دره به عمق، e- شاخص شکل دره، f- شاخص نسبت عرض دره به عمق، g- شاخص شیب آبراهه، g- شاخص سینوسیته پیشانی کوهستان

جدول ۲. مقادیر شاخص زمین‌ساخت فعال (Iat) در گستره مورد مطالعه

Name of Basin	Tectonic class of Hi	Tectonic class of Re	Tectonic class of Bs	Tectonic class of AF	Tectonic class of Vf	Tectonic class of V	Tectonic class of Vc	Tectonic class of SL	Tectonic class of Smf	S/n	Tectonic class of Iat
Lower Shur	2	4	4	1	2	2	3	4	1	2.5	4
Lar	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1.4	1
Bidlu	3	1	1	1	2	2	2	2	1	1.6	2
Amirabad	3	2	2	3	1	1	1	2	1	1.7	2
Upper Shur	4	2	1	3	1	1	2	4	1	2.1	3
Eshtehard	3	3	3	2	1	1	2	2	1	2	2
Boin Zahra	2	3	2	3	3	2	3	1	1	2.2	3
Arab	1	1	1	4	3	3	3	1	1	2	2
Kharrud	4	2	1	4	1	1	1	1	1	1.7	2

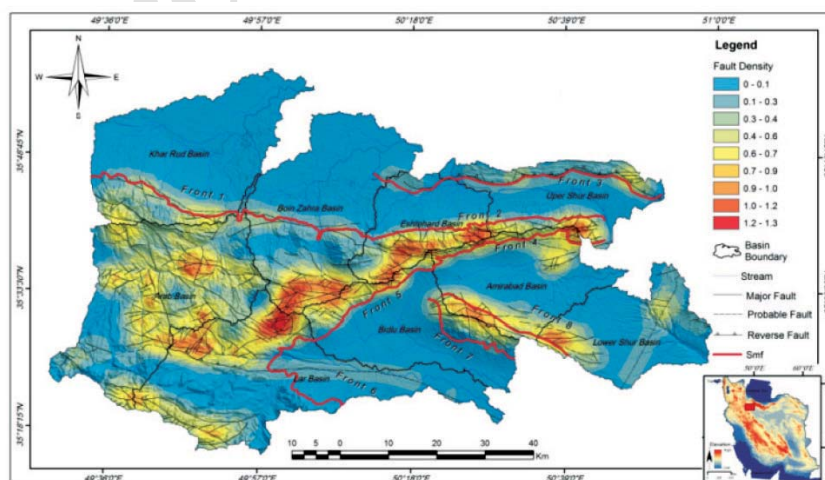


شکل ۱۴. نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال براساس کلاس زمین‌ساختی در حوضه‌های گستره مورد مطالعه

چگالی گسل‌های گستره مورد مطالعه

مناطق با چگالی بالا نشان داده شده است. مقایسه نقشه چگالی گسل‌های گستره مورد مطالعه و نقشه پهنه‌بندی زمین‌ساختی (شکل ۱۴) نشان می‌دهد که در اکثر حوضه‌ها، مناطق فعال زمین‌ساختی با چگالی بالای گسل‌ها همراه می‌باشد. براین اساس، ارتفاعات موجود در مرز بین سه حوضه اشتهارد، شور بالایی و امیرآباد در پیشانی ۲ و ۴، بخشی از حوضه‌های بیدلو و لار در پیشانی ۵ و قسمت‌هایی از ارتفاعات موجود در بین حوضه‌های بیدلو و امیرآباد در پیشانی‌های ۷ و ۸ که دارای بیشترین فعالیت زمین‌ساختی بودند، در این نقشه نیز دارای چگالی بالا ارزیابی شده‌اند.

به‌منظور روشن شدن رابطه بین نحوه عملکرد فعالیت زمین‌ساختی و پراکندگی گسل‌های منطقه اقدام به تهیه نقشه چگالی گسل‌ها شده است. ابتدا گسل‌های نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه، در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی شده و سپس نقشه چگالی گسل‌ها ترسیم گردید (شکل ۱۵). در این نقشه، مرز بین کوه و دشت (یا همان محل اندازه‌گیری شاخص سینوسیتهی پیشانی کوهستان) را می‌توان به‌عنوان مرز بین مناطق با چگالی بالا و پایین در نظر گرفت. به‌گونه‌ای که مناطق پایین‌تر و پست‌تر از این مرز به‌عنوان مناطق با چگالی پایین و مناطق بالادست این مرز به‌عنوان



شکل ۱۵. نقشه چگالی گسل‌های گستره مطالعاتی

ریخت زمین‌ساخت گستره مورد مطالعه

سه شاخص گرادیان طول رودخانه، نسبت عرض بستر دره به ارتفاع دره و شاخص سینوسیته پیشانی کوهستان از جمله شاخص‌های پرکاربرد در مطالعات مربوط به ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی است. از ویژگی این شاخص‌ها حساسیت آن‌ها به حرکات گسل‌ها است. در ادامه به‌منظور برداشت شواهد مربوط به مناطق زمین‌ساختی فعال برای اثبات نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات روش کمی بازدیدهای صحرائی انجام گرفته است. از آنجا که این گستره از جمله مناطق صنعتی با شهرهای پرجمعیت محسوب می‌شود، ارزیابی میزان فعالیت زمین‌ساختی و شناخت گسل‌های فعال آن برای تعیین مناطق پرخطر از لحاظ لرزه‌خیزی ضروری است.

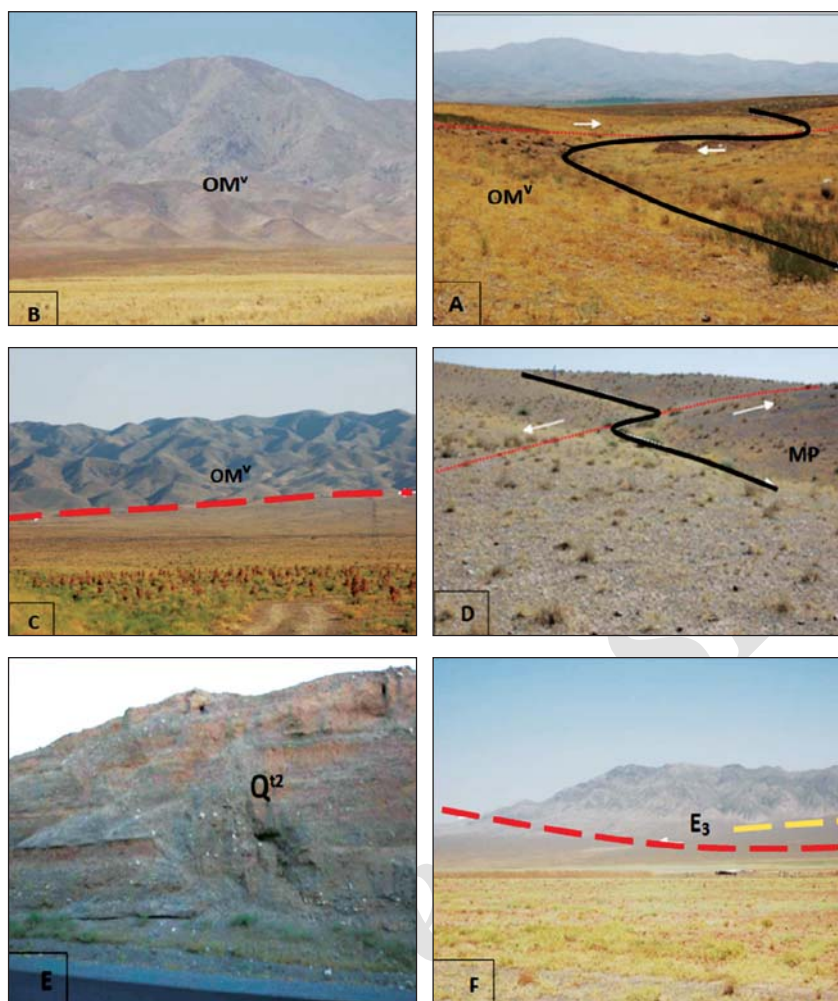
بر اساس اندازه‌گیری‌ها بالاترین نرخ شاخص SL برای حوضه‌های خرورد، بوئین‌زهر و عرب است که منطبق با موقعیت گسل جنب و لرزه زای ایپک می‌باشد. این گسل متشکل از قطعات متعدد گسلی با آرایش پلکانی با راستای خاوری-باختری و شیب به‌سوی جنوب با درازای بیش از ۸۵ کیلومتر می‌باشد. بر این اساس می‌توان این نواحی را حوضه‌هایی با شیب گرادیان رودخانه‌ای بالا دانست که خاص نواحی فرسایش یافته و با فرایش بالا است. این مطلب به فعالیت کواترنری گسل‌های مجاور یا منطبق با حوضه‌های مرتبط است. از طرف دیگر، انحراف منظم و سیستماتیکی آبراهه‌ها به‌خوبی بیانگر فعالیت گسلی راستالغز نیز است. از آنجاکه عموماً این مناطق دارای گسل‌هایی با سازوکار راستالغز است، به نظر می‌رسد هر دو سیستم گسلی فعال باشد. در خاور روستای ینگه کهریز و در پای پرتگاه‌های گسلی شاخه‌های جوان گسل ایپک، مجاور روستای چسکین، جابه‌جایی آبراهه‌ها به‌صورت راستالغز راستبر قابل مشاهده است (شکل A-۱۶).

در محل تلاقی کوهپایه با حاشیه جنوبی فرونشست اشتهازد، در جنوب روستای ینگه کهریز، نهشته‌های رسوبی در محل خط گسل ایپک بریده می‌شوند، که به‌صورت اشکال مثلثی شکل مشاهده می‌گردند. این اشکال، پیشانی‌های کوهستانی فعال از نظر زمین‌ساختی

را نشان می‌دهند و هر چه گسل فعال‌تر باشد این اشکال واضح‌تر هستند. در نقاطی که مدت زمان زیادی از فعالیت گسل می‌گذرد و نرخ فرسایش از نرخ حرکت گسل بیشتر است دره‌ها وسیع‌تر می‌گردد. این اشکال با زوایای گرد شده دیده می‌شوند (Menges, 1990). سطوح مثلثی شکل ایجاد شده در راستای گسل ایپک از جمله عوارضی است که فعالیت زمین‌ساختی زیاد این گسل را نشان می‌دهد (شکل B-۱۶-C).

حوضه‌های مجاور یا در امتداد گسل‌های اصلی دارای بالاترین میزان فعالیت Smf هستند. همچنین فعال‌ترین حوضه از نظر سینوسیته پیشانی کوهستان در گستره مورد مطالعه، حوضه امیرآباد است که در امتداد گسل تکیداق می‌باشد. گسل تکیداق با راستای شمال باختر-جنوب خاور در گستره شمال پرندهک و جنوب رودخانه شور سبب بریده شدن سنگ‌ها و نهشته‌های جوان گردیده است. آبراهه‌ها و دیگر عوارض ریخت‌زمین‌ساخت خطی در تقاطع با این زون گسلی به‌صورت راستالغز راستبر جابه‌جا گردیده‌اند (شکل D-۱۶). علاوه بر جابه‌جایی راستالغز، حرکت در طول گسل تکیداق سبب کج شدگی، چین‌خوردگی و گسلش در نهشته‌های جوان با سن کواترنری نیز شده است (شکل E-۱۶).

پایین بودن مقدار عددی شاخص Vf در یک حوضه، وجود دره‌های تنگ و باریک را نشان می‌دهد که از جمله لند فرم‌های نواحی زمین‌ساختی فعال محسوب می‌شود. مقدار این شاخص در مرز بین حوضه‌های شور بالایی و امیرآباد فعالیت زمین‌ساختی بالایی را نشان می‌دهد که در اطراف گسل‌های گمرکان و جارو می‌باشد. گسل گمرکان با راستای شمال باختر- جنوب خاور کوه‌های جارو را قطع نموده و سبب جابه‌جایی واحدهای سنگی و رسوبی شده است. گسل گمرکان پس از قطع کوه‌های جارو (در جنوب خاوری گمرکان)، در شمال کوه‌های چاقو ادامه یافته و با عبور از بخش‌های جنوبی روستای گمرکان با راستایی تقریباً خاوری-باختری حاشیه جنوبی کوه‌های جارو را می‌برد (شکل F-۱۶).



شکل ۱۶. A) جابجایی راستبرآبراهه در تقاطع با شاخه‌های جوان گسل ایپک و در مجاورت روستای چسکین در واحد سنگ‌های آذراواری، گدازه و ایگنمیریت ریولیتی (OM^v)، (نگاه به‌سوی جنوب)، B) سطوح مثلثی شکل ایجاد شده در راستای گسل ایپک و در حاشیه جنوبی فرونشست اشتهاورد نیز در واحدهای OM^v می‌باشند (نگاه به‌سوی جنوب)، C) گسل ایپک و سطوح مثلثی شکل تشکیل شده در کوهپایه‌های کوهستان، جنوب روستای ینگه کهریز (نگاه به‌سوی جنوب باختر)، D) جابجایی راستالغز راستبر آبراهه در محل پرتگاه‌گسلی گسل تکیداق در جنوب رودخانه شور مجاور جاده قدیم تهران-ساوه و در واحدهای کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن معادل (MP)، (نگاه به‌سوی شمال خاور)، E) درهم‌ریختگی و گسلس در نهشته‌های جوان کواترنری و در نتیجه عملکرد گسل تکیداق در واحدهای پادگانه‌های آبرفتی با ارتفاع متوسط معادل (Q^{12}) (نگاه به‌سوی خاور)، F) گسل‌های گمرکان و جارو در حاشیه جنوبی کوه‌های جارو. عملکرد جنبای گسل گمرکان (خط‌چین‌های قرمز) در مقایسه با گسل جارو (خط‌چین زرد) در واحدهای آندزیت‌های پیروکسن دار معادل (E_3)، برپایه وضعیت توپوگرافی دامنه کوهستان قابل توجه است (نگاه به‌سوی شمال).

نتیجه‌گیری

زمین‌ساخت فعال نیز می‌توان گفت، ارتفاعات موجود در مرز بین سه حوضه اشتهاورد، شور بالایی و امیرآباد، حوضه لار و قسمت‌هایی از ارتفاعات موجود در بین حوضه‌های بیدلو و امیرآباد، دارای بیشترین فعالیت زمین‌ساختی بوده و در کلاس زمین‌ساختی ۱ و فعال قرار گرفته‌اند. که متاثر از عملکرد گسل‌های جارو، گمرکان، ایپک، تکیداق، علیشار می‌باشد. همچنین سایر قسمت‌ها در امتداد پیشانی

پهنه‌بندی زمین‌ساخت فعال گستره ساوه که در حوضه‌های نه‌گانه آن، شاخص‌های ریخت زمین‌ساخت، اندازه‌گیری و محاسبه شده، منجر به تنظیم چند کلاس زمین‌ساختی برای این گستره شده است. به‌طوری‌که عملکرد زمین‌ساخت فعال در این گستره طیفی از فعالیت‌های پایین تا فعالیت بالا را دربر می‌گیرد. بر اساس نقشه پهنه‌بندی

فعالیت تکتونیکی بر اساس مورفولوژی مخروط افکنه ها،
مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۴، ۱۰-۱.

- دلاوری، م.، ۱۳۸۱ ژئوشیمی و پتروژنز ولکانیک‌های
زرد ساوه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

- رضایی مقدم، م.، مقامی مقیم، غ. و رجبی، م.،
۱۳۸۴. عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش مخروط افکنه
رودخانه روئین در دامنه جنوبی آلاداغ در شمال شرق ایران،
فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۷۹، ۱۹-۵.

- عزتی، م.، آق‌تابای، م.، رقیمی، م. و شتایی، ش.،
۱۳۹۱. تجزیه و تحلیل برخی از شاخص‌های ریخت زمین
ساختی حوضه شیرین رود، کپه داغ مرکزی، مجله آمایش
جغرافیایی فضا، ۶، ۱۶-۱.

- عمیدی، س.، ۱۳۶۳. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰
ساوه، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی
کشور.

- کرمی، ف.، ۱۳۸۸. ارزیابی نسبی فعالیت‌های
تکتونیکی با استفاده از تحلیل‌های شکل سنجی در حوضه
اوجان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳، ۱۵۴-۱۳۵.
- گورابی، ا. و نوحه‌گر، ا.، ۱۳۸۶. شواهد
ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبریز درکه، مجله
پژوهش‌های جغرافیایی، ۶، ۱۹۶-۱۷۷.

- مددی، ع.، رضایی مقدم، م. و رجایی اصل،
ع.، ۱۳۸۳. تحلیل فعالیت‌های تکتونیک با استفاده از
روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال غربی تالش،
مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۸، ۱۳۸-۱۲۲.

- یمانی، م.، مقیمی، ا. و تقیان، ع.، ۱۳۸۷. ارزیابی
تاثیرات نوزمین ساخت فعال در دامنه‌های کرکس با
استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی، تحقیقات جغرافیایی،
۸۸، ۱۳۶-۱۱۷.

- یوسفی، م.، امامی، م.، علوی، م. و عروج نیا،
پ.، ۱۳۷۹. نقشه زمین‌شناسی اشتهارد با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰،
انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور،
تهران.

- Alaei, M., Dehbozorgi, M. and Ghassemi,
M.R., 2017. Evaluation of relative tectonic activity
of Buin Zahra-Avaj area, northern Iran., Arabian
Journal of Geosciences, 10, 229.

- Ambraseys N.N. and Melville C.P., 1982.

کوهستان نیز در کلاس زمین‌ساختی ۲ و فعال قرار گرفته‌اند
و مناطق پست‌تر حوضه‌هایی مانند خررود و بوئین‌زهرها و
عرب در کلاس زمین‌ساختی ۳، نسبتاً فعال و بخش‌هایی از
حوضه‌های شور بالایی و شور پایینی در کلاس زمین‌ساختی
۴ و فعالیت کم قرار گرفته‌اند.

شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی که بر مورفولوژی و شکل
دره حساسیت دارند، نشان می‌دهند که رودخانه‌های بزرگ
منطقه (از جمله لار، شور و خررود) در بالادست خود و در
ارتفاعات و در نزدیکی پیشانی کوهستان، تمایل به حفر قائم
در مسیر خود دارند و زمانی که به پایین دست و رسوبات
کواترنری می‌رسند بیشتر تمایل به عریض‌تر کردن بستر خود
دارند، که احتمالاً ممکن است بیشتر به دلیل وجود گسل‌ها
و پرتگاه‌ها و یا تفاوت در نوع سنگ‌شناسی این ناحیه باشد.
همچنین وجود گسل‌های پیشانی کوهستان از جمله ایپک،
اشتهار، تکیداق، گمرکان و جارو باعث برافرازش و ارتفاع
گرفتن بخش‌هایی از حوضه‌ها بخصوص در محل پیشانی
کوهستان شده است. نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های
SL و Vf به‌روشنی این تغییرات ریخت زمین‌ساختی را
نشان می‌دهد. سه شاخص SL، Smf و Vf حساس‌ترین
شاخص‌ها نسبت به حرکات گسل‌ها می‌باشند که بالاترین
نرخ شاخص SL برای حوضه‌های خررود، بوئین‌زهرها و عرب
است و منطبق با موقعیت گسل جنب و لرزه زای ایپک
می‌باشد. همچنین فعال‌ترین حوضه از نظر شاخص Smf،
حوضه امیرآباد است که در امتداد گسل تکیداق می‌باشد.
کمترین مقادیر شاخص Vf در مرز بین حوضه‌های شور
بالایی و امیرآباد می‌باشد که در اطراف گسل‌های گمرکان و
جارو قرار دارد.

منابع

- اعلایی، م.، ده‌بزرگی، م.، قاسمی، م. و نوزعی، ر.،
۱۳۹۷. ارزیابی زمین‌ساخت جنب در گستره بوئین‌زهر-آوج،
جنوب قزوین، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، ۱، ۱۵۲-۱۲۳.
- آق‌تابای، ع.، ۱۳۸۵. زمین‌شناسی ایران، انتشارات
سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ دوم،
۶۰۳.
- خیام، م. و مختاری، د.، ۱۳۸۲. ارزیابی عملکرد

- A History of Persian Earthquake, Cambridge University Press, New York, 46, 219.
- Amidi, S., Emami, M. and Michel, R., 1984. Alkaline character of Eocene volcanism in the middle part of Central Iran and its geodynamic situation, *Geologische Rundschau*, 73, 917- 932.
 - Altin, T.b. and Altin, B.N., 2011. Development and morphometry of drainage network in volcanic terrain, Central Anatolia, Turkey, *Geomorphology* 125, 485-503.
 - Azor, A., Keller, E.A. and Yeats, R.S., 2002. Geomorphic indicators of active fold growth, South Mountain-Oak Ridge Ventura Basin, Southern California, *Geological Society of America Bulletin*, 114, 745-75.
 - Berberian, M., 1983. The Southern Caspian: A compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 163-183.
 - Berberian, M. and King, G., 1981. Towards a Paleogeography and Tectonic Evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-265.
 - Ballato, P., Mulch, A., Landgraf, A., Strecker, M. R., Dalconi, M. C., Friedrich, A. and Tabatabaei S. H., 2011. Arabia-Eurasia continental collision, Insights from Late Tertiary foreland-basin evolution in the Alborz Mountains, Northern Iran, *Geological Society of America Bulletin*, 123, 106-131.
 - Brunet, M.F., Granath, J.W. and Wilmsen, M., 2009. South Caspian to Central Iran basins, Introduction, *Geological Society, London, Special Publications*, 312, 1-6.
 - Bull, W.B., 2007. *Tectonic Geomorphology of Mountains, a New Approach to Paleo Seismology*, Blackwell, Malden, 328.
 - Bull, W.B. and McFadden, L.D., 1977. Tectonic geomorphology North and South of the Garlock Fault, California, *Geomorphology in arid regions, Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton*, 115-138.
 - Burbery, C.M., Cosgrove, J.W. and Liu, J.G., 2010. A study of fold characteristics and deformation style using the evaluation of the land surface, Zagros simply folded Belt, Iran, *Geological Society of London*, 10, 139-154.
 - Caillat, C., Dehlavi, P. and Jantin, B.M., 1978. Géologie de la région de Saveh (Iran), Contribution à l'étude du Volcanisme et du plutonisme tertiaires de la zone de l'Iran central, *Université Scientifique et Médicale de Grenoble*.
 - Chiu, H.Y., Chung, S.L., Zarrinkoub, M.H., Mohammadi, S.S., Khatib, M.M. and Iizuka, Y., 2013. Zircon U-Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan Subduction and Zagros Orogeny, *Lithos*, 162, 70-87.
 - El Hamdouni, R. C., Irigaray, T., Fernández, J. Chacón, and Keller, E.A., 2008. Assessment of Relative Active Tectonics, Southwest Border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96,1, 150-173.
 - Figueroa, A.M. and Knott, J.R., 2010. Tectonic geomorphology of the Southern Sierra Nevada Mountains (California): Evidence for uplift and basin formation. *Geomorphology*, 123, 1-2.
 - Guarnieri, P. and Pirrotta, C., 2008. The response of drainage basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait(NE), *Geomorphology*, 95, 260-273.
 - Hack, J.T., 1960. Interpretation of Erosional Topography in Humid Temperate regions:

American Journal of Science, 258, 80-97.

- Hare, P. W. and Gardner, T., 1985. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica, Binghamton Symposia in Geomorphology, 15, 75-104.

- Horton, R.E., 1945. Erosional development of Stream and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology, Geological Society of America Bulletin, 56, 275-370.

- Hovius, N., 2000. Macroscale Process Systems of Mountain Belt Erosion, Geomorphology and Global Tectonics, In: Summerfield, M. A. (Ed.), 77-105.

- Kazmin, V.G., Sbotshikov, I. M., Ricou, L. E., Zonenshain, L. P., Boulin, J. and Knipper, A. L., 1986. Volcanic belts as markers of the Mesozoic- Cenozoic active margin of Eurasia, Tectonophysics, 123, 123-152.

- Keller, E.A., and Pinter, N., 2002. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape (2nd Ed). Prentic Hall, New Jersey, 362.

- Mayer, L., 1986. Tectonic Geomorphology of Scarps and Mountain Fronts. Active tectonics, Chapter7, 125-135.

- Menéndez, I., Silva, P. G. and Martín-Betancor, M., Pérez-Torrado, F. J., Guillou, H. and Scaillet, S., 2008. Fluvial dissection, isostatic

uplift, and geomorphological evolution of volcanic islands (Gran Canaria, Canary Islands, Spain), Geomorphology 102,1, 189-203.

- Menges, C. M., 1987. Temporal and spatial segmentation of the Pliocene-Quaternary fault rupture along the Western Sangre de Cristo Mountain Front, northern New Mexico, Geological Society of America, 131.

- Ramirez- Herrera, M.T., 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt, Earth Surface Processes and Land Forms, 23, 317-322.

- Singh, V., Tandon, S.K., 2008. The Pinjaur Dun and associated active mountains fronts, NW Himalaya, tectonic geomorphology and morphotectonic evolution, Geomorphology 102, 376-394.

- Visteras, C., Calvache, M., Juses, M. and Fernandez, J., 2003. Differential features of alluvial fans controlled by tectonic of ecstiatric accommodation space, Examples from the Betic Cordillera, Spain, Geomorphology, 50, 181-202.

- Wells, S. G., Bullard, T. F., Menges, C. M., Drake, P. G., Karas, P. A., Kelson, K. I. and Ritter, J. B., 1988. Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific Coast of Costa Rica, Geomorphology 1, 239-265.