

## نوع مقاله: علمی - پژوهشی

## چکیده

حوزه درون قاره‌ای شمال قم در ایران مرکزی جای گرفته است. راستای عمومی گسل‌های مهم این پهنه شامل گسل قم، البرز و کوشک نصرت، شمال باختر- جنوب خاور بوده و همگی با درازای بیش از ۵۰ کیلومتر تحت تأثیر همگرایی صفحه عربی- اوراسیا، در لرزه‌خیزی و دگرشکلی گستره قم نقش مهمی داشته‌اند. یکی از روش‌های ارزیابی زمین‌ساختی، بهره‌گیری از شاخص‌های زمین‌ریخت‌سنجی است. در این میان، با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناختی و نحوه قرارگیری و پراکندگی حوضه‌ها، شاخص‌های نسبت عرض به ارتفاع دره، هیپسومتری و گرادیان طولی رودخانه برای ارزیابی انتخاب شده و نتایج تحلیل شده‌اند. این داده‌ها، در کنار داده‌های هندسه گسل‌ها و جهت‌یابی تنش توانسته برخی ویژگی‌های زمین‌ساختی گستره را روشن کند. مطالعات زمین‌ریخت‌سنجی، گستره‌های اطراف گسل ساوه و گسل کوشک نصرت در بخش شمال ساوه و همچنین مناطقی از جنوب شهر قم را دارای توان بالاآمدگی نشان می‌دهد. سایر پهنه‌ها بالاآمدگی قابل توجهی ندارند. پایین بودن جنبایی قائم در برآوردهای زمین‌ریخت‌سنجی دلالت بر نبود جنبایی نیست بلکه می‌تواند کارکرد هم‌زمان مؤلفه‌های فشاری و برشی یا همان دگرشکلی خاص ایران مرکزی را نشان دهد. این نوع حرکت با دانستن جهت‌یابی تنش به‌سادگی قابل تفسیر خواهد بود. دگرشکلی برشی - فشاری گستره قم، ناشی از حرکت رو به شمال خاوری ورقه عربی و محدودشدگی ناشی از پوسته سخت خزر است. حرکت‌های راستالغز هم‌زمان با جابه‌جایی معکوس در طول گسل‌ها باعث شکل‌گیری چین‌خوردگی‌هایی نیز شده است. بدون شک، گستره‌ی قم محدوده‌ای است که از نظر مطالعات زمین‌شناسی لرزه‌ای مورد توجه محققین با دیدگاه‌های مطالعاتی متفاوت بوده که مقایسه نتایج این پژوهش‌ها به کشف مجهولات جنبایی گستره کمک کرده است.

**واژگان کلیدی:** جنبایی، گسل‌های قم، البرز و کوشک نصرت، قم، دگرریختی.

## دگرریختی و جنبایی پهنه‌های گسلی قم، البرز و کوشک نصرت در محدوده شمال قم

### هادی طبسی (نویسنده مسئول)

استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده فنی مهندسی و علوم پایه، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران،  
tabassi@damavandiau.ac.ir

### سمیه بهالدینی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده فنی مهندسی و علوم پایه، واحد آشتیان، دانشگاه آزاد اسلامی، آشتیان، ایران

### ۱- مقدمه

از دیرباز، در حوضه ایران مرکزی، مطالعات گسترده‌ی زیادی در زمینه ساختاری و چینه‌شناسی صورت گرفته است [۱-۳]. مطالعات جدیدی نیز در زمینه‌های مختلف دگرشکلی، ساختاری و ژئودزی انجام شده که هر یک، بخشی از ابهام‌های زمین‌شناسی و ژئودزی گستره ایران و ایران مرکزی را روشن نموده است [۴-۱۰].

در طول دوره‌های ائوسن تا الیگوسن، پوسته ایران و اوراسیا تحت تأثیر برخورد قاره- قاره دگرشکل شده‌اند. این دگرشکلی باعث شکل‌گیری زاگرس چین‌خورده، زاگرس گسل خورده مرتفع و حوضه ایران مرکزی شده است. این حرکت‌ها تا به امروز ادامه داشته و رخدادهای لرزه‌ای امروز، نمودی از این دگرشکلی‌هاست.

کوتاه‌شدگی در طول‌های جغرافیایی ۵۰ تا ۶۰ درجه خاوری حدود ۲۵ میلی‌متر بر سال محاسبه شده است [۱۱].

بر پایه دیدگاه محققین ژئودزی، حدود نیمی از این کوتاه‌شدگی کلی، در محل زاگرس مرکزی [۱۲] و بخشی از کوتاه‌شدگی نیز، به صورت فشاری-برشی راست گرد در مرز بین ایران مرکزی و افغانستان صرف شده است [۱۳]. کوتاه‌شدگی‌های شمال ایران (رشته کوه‌های البرز و کپه‌داغ) نیز تحت تأثیر این همگرایی هستند.

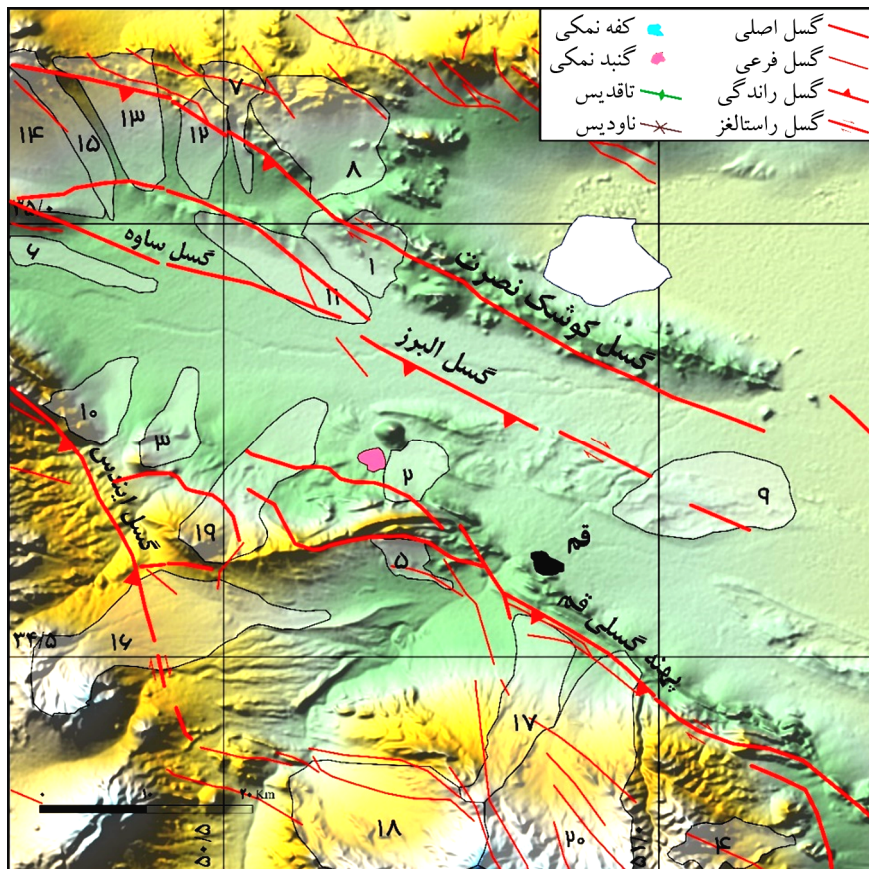
گستره مورد بررسی، از دیدگاه زمین‌ساختی در پهنه ایران مرکزی و بخشی از نوار آتشفشانی ارومیه-دختر جای گرفته است. گسل کوشک نصرت در مرز این پهنه ساختاری قرار گرفته است. بدون شک، تفاوت تاریخچه زمین‌شناسی، کارکرد ساختارها و دگرشکلی متفاوت پهنه‌ها در پیچیدگی ساختارهای گستره نقش اساسی داشته است. نزدیکی ارومیه-دختر به پهنه ساختاری البرز، در بخش‌های شمالی موجب کارکرد راندگی در

محدوده مورد مطالعه در فاصله بین طول‌های جغرافیایی ۵۰/۲۵ تا ۵۱/۲۵ درجه خاوری و عرض‌های جغرافیایی ۳۴/۲۵ تا ۳۵/۲۵ درجه شمالی جای دارد. تمرکز جمعیتی و سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی اخیر در این محدوده، اهمیت مطالعه این گسل‌ها را دوچندان کرده است.

شواهد مورفولوژی و وجود قطعات گسلی فراوانی که رسوبات کواترنری را بریده‌اند، نشانگر جنبایی جوان این ساختارها در اطراف شهر قم است. با وجود مطالعات ارزشمندی که تا به امروز بر روی گسل‌های قم، البرز و کوشک نصرت انجام شده، هنوز نظرات دوگانه و ابهاماتی در خصوص چگونگی جنبایی این گسل‌ها وجود دارد.

## ۲- زمین‌شناسی

همگرایی صفحه‌های عربی-اوراسیا، عامل اصلی دگرشکلی و جنبایی فلات ایران به شمار می‌رود. آهنک سالیانه



شکل (۱): نقشه ساختاری گستره مورد مطالعه و موقعیت حوضه‌های آبریز بررسی شده.

باختر - جنوب خاور با شیبی به سوی جنوب باختر است که یال شمالی طاق‌دیس البرز را قطع کرده است. گسل البرز نیز، واحدهای الیگومیوسن را بر روی واحدهای کواترنری رانده است. برداشت‌های صحرایی انجام شده از نشانه‌های گسلی (پله‌های گسلی، خش لغزها و جابه‌جایی آبراهه‌ها) در پهنه گسل البرز نشان می‌دهد که حرکت گسل، معکوس با مؤلفه امتدادی است [۱۷]. این گسل دارای امتداد N125 و شیب ۸۰ درجه به سمت جنوب باختر است. به دنبال حفاری‌هایی که توسط شرکت ملی نفت انجام گرفته، مشخص شده که این گسل در ژرفا کم‌شیب‌تر شده و سرانجام در نهشته‌های تبخیری بالایی سازند قم به صورت افقی درمی‌آید [۱۸]. راندگی البرز همچنین باعث شده که واحدهای کواترنری در بخش‌های فرا دیواره و فرو دیواره گسل، شیب‌دار دیده شوند. گسل البرز، رسوبات کواترنری افقی را با شیب ۴۰ درجه کج کرده است [۴]. علاوه بر کج‌شدگی و شیب‌دار شدن رسوبات کواترنری در دو سوی گسل البرز، در تراس‌های آبرفتی رودخانه قم رود در نزدیکی گسل البرز نیز، برش خوردگی شدید ایجاد شده است. تمامی این شواهد، جنبایی جوان گسل البرز را تأیید می‌کند.

### ۳-۳- گسل کوشک نصرت

گسل کوشک نصرت بخشی از سامانه‌ی گسلی است که با طولی بیش از ۶۰ کیلومتر از جنوب خاور دریاچه حوض سلطان و روستای کوشک نصرت آغاز شده و در ادامه مسیر به سمت شمال باختر، به گسل آوج پیوسته است. گسل کوشک نصرت، گسلی معکوس با مؤلفه امتدادی است [۱۹]. راستای کلی گسل کوشک نصرت ۲۸۰ تا ۲۹۰ درجه است و در بیشتر موارد، شیبی بیش از ۸۰ درجه به سمت جنوب دارد. دو دسته خش لغز بر روی آن مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی دو سازوکار متفاوت امتدادی است [۲۰-۲۱]. حرکت قدیمی این گسل، راست گرد معرفی شده است [۲۰]. محققین دیگری نیز جابه‌جایی راست‌الغز راست گرد را گزارش کرده‌اند [۱۰].

برخی گسل‌ها مانند گسل اشتهاورد شده است. در این مناطق، سنگ‌های رسوبی، آذرین و آذرآواری به سن سنوزوئیک دیده شده است.

از دیدگاه ساختاری، این پهنه در دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک گستره‌ی پر تحرکی بوده است. وجود دگرشیبی‌های متعدد و جنبش‌های ماگمایی به صورت سنگ‌های آتش‌فشانی و توده‌های نفوذی از شواهد آن است. در بازه زمانی کواترنری نیز، برونزدهای آتش‌فشانی با ترکیب بازالتی و حرکت‌های گسلی جوان رخ داده است.

نهشته‌های رسوبی این محدوده شامل سنگ‌های آذرآواری به همراه مارن، ماسه‌سنگ و شیل به سن ائوسن بالایی، سازند قرمز زیرین به سن الیگوسن، واحدهای سنگ آهکی، مارن، ماسه‌سنگ، شیل و گچ و در برخی نقاط سنگ‌های آتش‌فشانی سازند قم به سن الیگومیوسن و سازند قرمز بالایی به سن میوسن است. در نهایت، کنگلومرای پلیوسن و نهشته‌های دگرشیب کواترنری دیده می‌شود.

### ۳- گسل‌های گستره

#### ۳-۱- گسل قم

گسل قم - زفره با طول بیش از ۵۰ کیلومتر، یکی از گسل‌ها با روند شمال باختر - جنوب خاور معرفی شده است که از کوه‌های جنوب خاور قم (۵ کیلومتری شهر قم) تا جنوب زفره در ۷ کیلومتری شمال خاور اصفهان ادامه دارد [۱۴-۱۶]. در طول این گسل آهک‌های الیگو میوسن و مارن‌ها بر روی رسوبات کواترنری رانده شده‌اند [۴]. آثار سطحی این گسل نه تنها به صورت تأثیرات زمین‌ریخت‌شناسی تظاهر دارد بلکه گسیختگی سطحی در راستای آن نیز مشاهده می‌شود. جابه‌جایی‌های امتدادی آبراهه‌ها و رشته‌قنات‌ها در طول این گسل در رسوبات کواترنری منطقه دیده شده که شاهدی دیگر بر جنبایی جوان آن است.

#### ۳-۲- گسل البرز

گسل البرز با طول بیش از ۳۰ کیلومتر دارای راستای شمال

#### ۴- زمین ریخت سنجی

منطقه است و مقادیر پایین نشانگر غلبه فرسایش بر بالا آمدگی و پیری است.

بر این اساس، منحنی های محدب هیپسومتری نشان دهنده ی نواحی با فرسایش ضعیف و بالا آمدگی زیاد، شکل S منحنی، نواحی با فرسایش متوسط و منحنی های مقعر، مشخص کننده نواحی با فرسایش بالا و مرحله پیری است [۲۶]. کوتاه اینک، ارزیابی هیپسومتری، ابزاری توانمند برای جداسازی گستره های بالا آمده از غیر جنبا است.

شکل (۲)، نمودارهای هیپسومتری ۲۱ حوضه مطالعه شده را نشان می دهد. آن گونه که مشخص است، فقط حوضه ۷ بالا آمدگی را نشان می دهد و حوضه های ۶، ۸، ۱۲ و ۱۳ تعادل بالا آمدگی با فرسایش را نشان می دهند. باقی حوضه ها بالا آمدگی قائم مشخصی ندارند.

#### ۴-۲- شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)

یکی دیگر از روش های زمین ریخت سنجی است که با مقایسه موقعیت مکانی و گرادیان طولی رودخانه ها، حساسیت جنبایی گستره را بررسی می کند [۲۷]. معمولاً رودخانه هایی که دره های مستقیم دارند، رودخانه های جوان و پرانرژی هستند و رودخانه هایی که حالت مارپیچی پیدا می کنند، تحت تأثیر شیب بستر، دبی و رسوب گذاری قرار گرفته و فرسایش و رسوب گذاری در آنها متعادل است [۲۸]. پدیده های زمین ساختی به صورت بالا آمدگی می تواند شیب بستر رودخانه را تغییر دهد و این تغییر اثر مستقیمی بر از بین رفتن حالت سینوسی و مستقیم شدن مسیر حرکت رودخانه خواهد داشت.

شاخص SL با قدرت دینامیک رودخانه ارتباط داشته و به تغییرات شیب رودخانه ها نیز بسیار حساس است (شکل ۳). قدرت رود بر حسب دبی رود و شیب بستر رود سنجیده می شود. مقدار این شاخص مستقیماً در ارتباط با جنبایی های زمین ساختی، مقاومت سنگ و توپوگرافی است. زمانی که رودخانه، سنگ کف مقاومی داشته باشد و یا رود در پهنه ای جریان داشته باشد که جنبایی زمین ساختی باعث بالا آمدگی در پهنه شده باشد،

جنبایی زمین ساختی، پیوند تنگاتنگی با چگونگی توپوگرافی امروزی دارد. این حرکت ها در قالب جنبش های آرام و زمین لرزه ای دیده می شوند. زمین لرزه های امروزی با روش های دستگاهی قابل بررسی و اندازه گیری هستند، اما برای اندازه گیری حرکت های بطئی و آرام و همچنین، زمین لرزه های گذشته باید به روش های دیگری رجوع کرد. یکی از روش های اندازه گیری این جنبایی ها زمین ریخت سنجی است.

زمین ریخت سنجی به اندازه گیری کمی پدیده های زمین ریختی اطلاق می شود. اندازه گیری های کمی به محققین اجازه می دهد عوارض را با هم مقایسه کنند. این اندازه گیری ها برای شناسایی ویژگی های خاص یک ناحیه، نظیر جنبایی زمین ساختی مفید و کمک کننده است. برخی از شاخص های زمین ریختی، ابزار مقدماتی و پایه برای تشخیص دگرشکلی های زمین ساختی هستند.

#### ۴-۱- منحنی های هیپسومتری

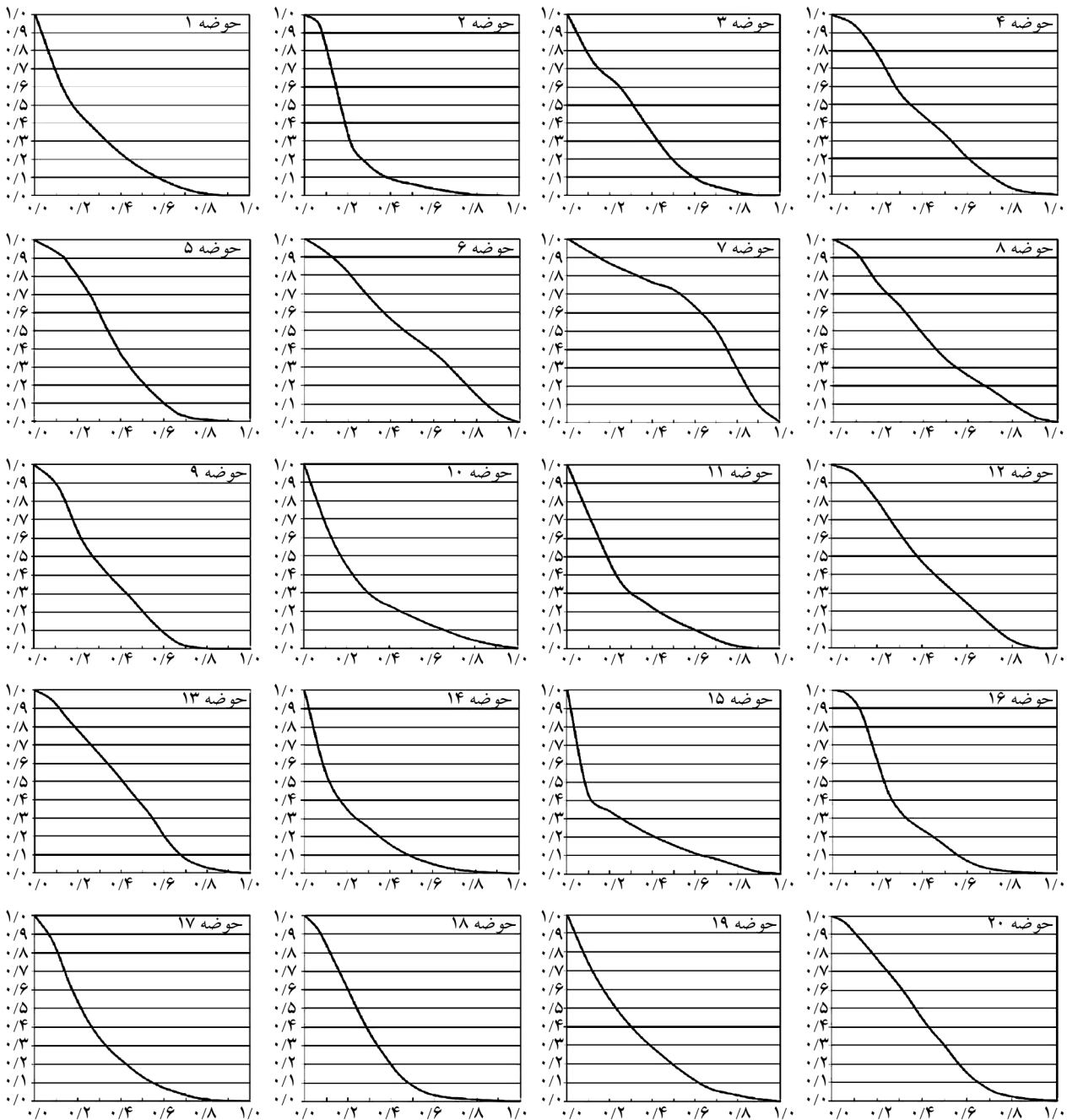
یکی از روش های تحلیلی مناسب در زمین ریخت سنجی، منحنی های هیپسومتری است. در مطالعات زمین شناختی، این نمودارها تقابل فرسایش و ناپایداری دامنه ها را نشان می دهند. همچنین می توانند توزیع سطوح ارتفاعی را در یک حوضه آبریز نشان دهند [۲۲].

برای تبدیل شکل منحنی های هیپسومتری به عدد قابل تفسیر در هر حوضه، از مساحت زیر منحنی آن بهره می گیرند. ساده ترین روش برای رسیدن به این سطح، اندازه گیری انتگرال هیپسومتری به کمک بیشترین، کمترین و میانه بلندی در حوضه است.

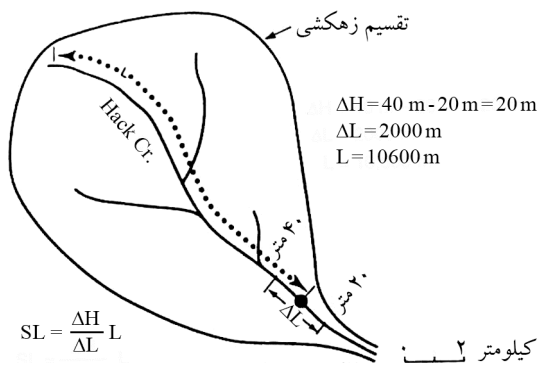
در این نمودارها، مساحت زیر منحنی به تفسیر بالا آمدگی حوضه کمک می کند که به آن، انتگرال هیپسومتری می گویند. انتگرال هیپسومتری را می توان از رابطه (۱) به دست آورد [۲۳-۲۵].

$$H_i = H_{\text{mean}} - H_{\text{min}} / H_{\text{max}} - H_{\text{min}} \quad (1)$$

به عبارت دیگر، هر چه مساحت زیر منحنی در انتگرال هیپسومتری بیشتر باشد، بیانگر بالا آمدگی زیاد و مرحله جوانی



شکل (۲): نمودارهای هیسومتری حوضه‌های مختلف گستره قم.



شکل (۳): نحوه اندازه‌گیری و محاسبه شاخص گرادیان طولی رودخانه.



حوضه‌های جنب‌و جبا و حوضه‌های ۱۵، ۱۶ و ۷ در گروه حوضه‌های در تعادل با فرسایش هستند.

### ۳-۴- نسبت عرض کف به ارتفاع دره

$V_f$  به‌عنوان نسبت عرض بستر دره به ارتفاع متوسط آن است [۳۱-۳۲] و با رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

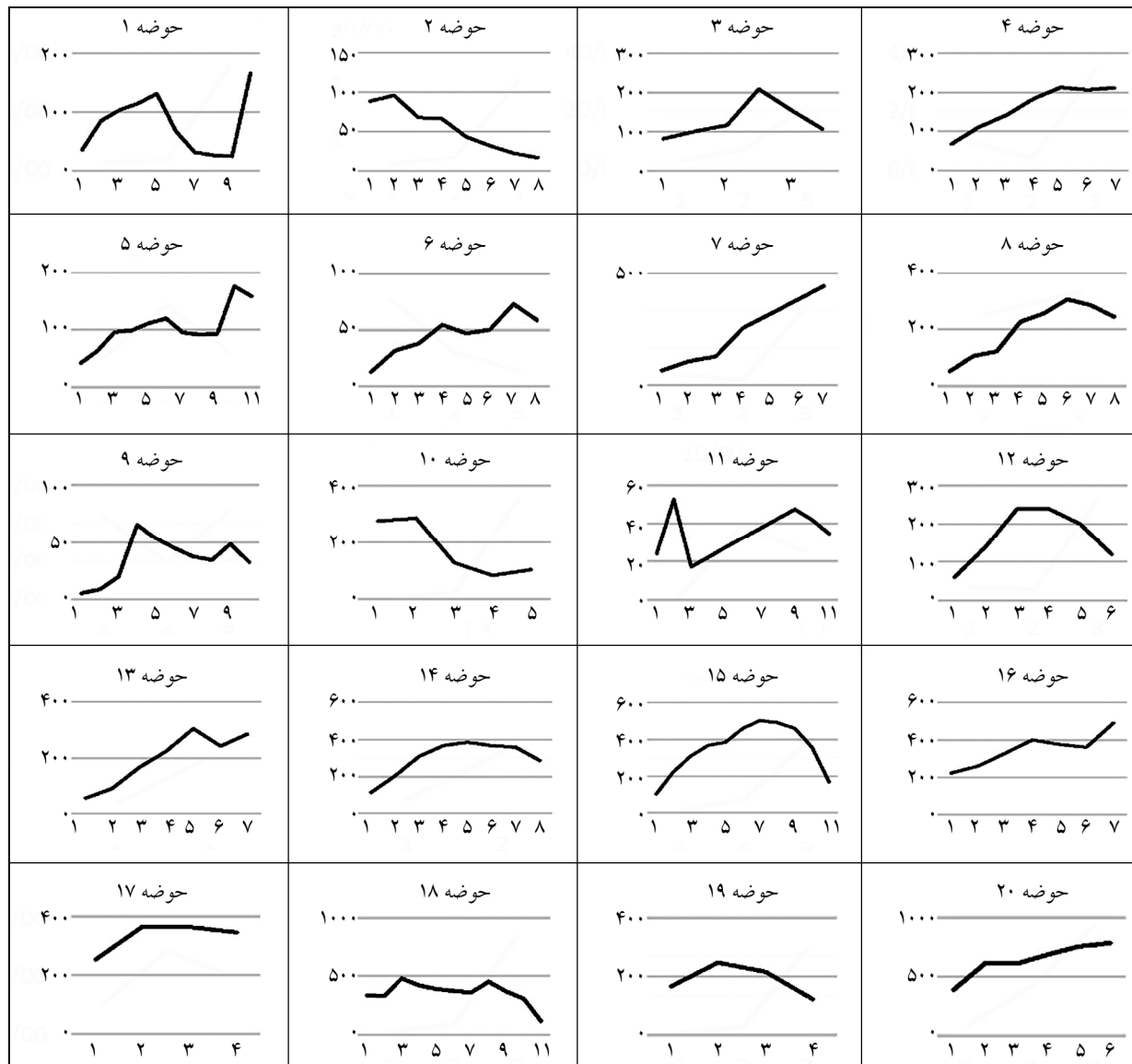
$$V_f = 2V_{fw} / ((E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})) \quad (2)$$

که در آن  $V_f$  نسبت عرض کف به ارتفاع دره،  $V_{fw}$  عرض کف دره،  $E_{ld}$  ارتفاع دیواره چپ دره،  $E_{rd}$  ارتفاع دیواره راست دره و  $E_{sc}$  ارتفاع متوسط کف دره است.

مقدار عددی شاخص زیاد می‌شود. مقدار شاخص SL در مناطق جنب‌و جبا زمین‌ساختی که بالاآمدگی ایجاد کرده، زیاد خواهد بود [۲۹]. این شاخص در پهنه‌هایی که از لحاظ مقاومت سنگ یکسان هستند، کارایی بیشتری دارد.

حمدونی و همکاران [۳۰] حوضه‌ها را بر اساس شاخص SL در سه گروه دسته‌بندی کرده‌اند.  $SL > 500$ ؛  $300 < SL < 500$ ؛  $SL < 300$  که در گروه‌های مختلف به ترتیب قرار داده است.

تغییرات SL در حوضه‌های منطقه که از نظر سنگ‌شناسی وضعیت مشابهی دارند، در شکل (۴) نمایش داده شده است. همان‌طور که در نمودارها دیده می‌شود، حوضه ۲۰ در گروه



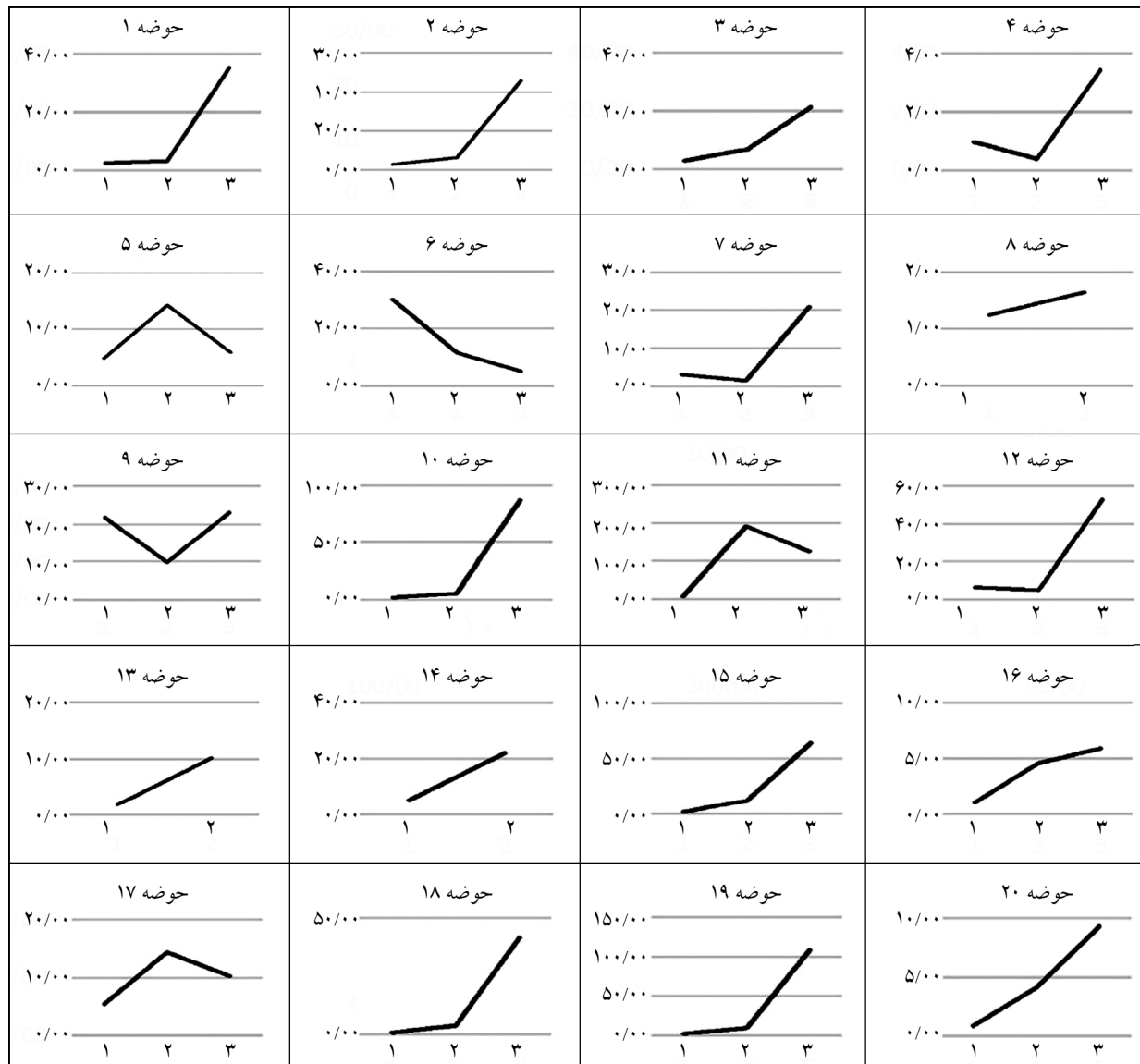
شکل (۴): نمودارهای تغییرات شاخص SL در حوضه‌های گسترده قم.

آن گونه که انتظار می‌رود، دره‌ها اغلب از باریک و V شکل در بالادست تا U شکل در پایین دست تغییر می‌کنند. حال اگر مقدار  $V_f$  به طور غیر عادی در پایین دست عددی کوچک باشد، نشانه بالآمدگی غیر عادی در آن ناحیه است.

البته مقدار عددی  $V_f$  به اندازه حوضه، دبی رودخانه و نوع سنگ‌های بستر نیز بستگی دارد. به این دلیل، مقادیر عددی  $V_f$  باید در شرایط زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی مشابه با هم مقایسه شوند.

نمودار تغییرات  $V_f$  حوضه‌های مختلف در شکل (۵) به صورت نمودار، نمایش داده شده است. حوضه ۶، در حال بالا آمدن و حوضه‌های ۵ و ۱۱ و ۱۷ بالآمدگی در تعادل با فرسایش است.

مقدار این شاخص در دره‌هایی با بستر عریض نسبت به دره‌هایی که دیواره‌های بلند دارند، متفاوت است؛ به عبارت دیگر، دره‌های U شکل و دره‌های باریک V شکل، عدد شاخص متفاوتی دارند. در دره‌های U شکل عموماً مقدار شاخص  $V_f$  عدد بزرگی است. در حالی که دره‌های V شکل، مقادیر نسبتاً کوچکی دارند. بالآمدگی به همراه فرسایش عمقی دره‌های رودخانه‌ای رخ می‌دهد؛ بنابراین، شاخص  $V_f$  در مناطق زمین‌ساختی جنباً از نظر بالآمدگی، عدد کوچکی خواهد داشت. محاسبه شاخص در محدوده‌ی بین بالاترین نقطه رودخانه اصلی تا پیشانی کوهستان در هر حوضه انجام شده است [۳۳].

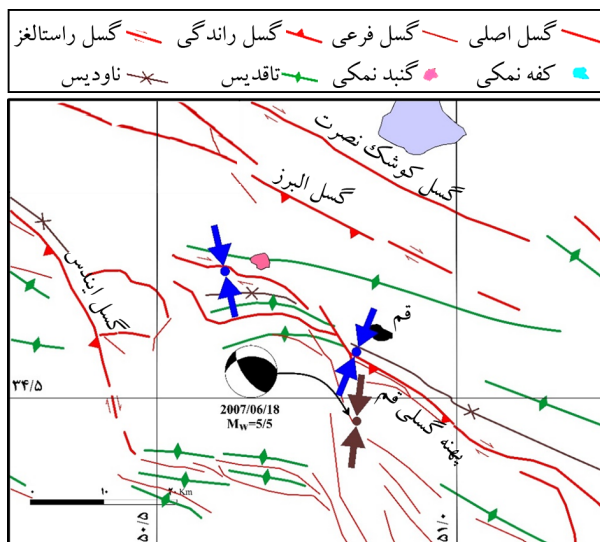


شکل (۵): نمودارهای تغییرات شاخص  $V_f$  در حوضه‌های گستره قم.

## ۵- بحث

دانسته‌اند. از سوی دیگر، گسل البرز و گسل‌های جنوب خاوری منطقه قم را دارای سطح پایین جنبایی از دیدگاه بالآآمدگی و حرکات شیب‌لغز دانسته‌اند و حرکت عمده و غالب این گسل‌ها را راست‌لغز گزارش کرده‌اند. اورنگ و همکاران [۳۵] نیز در دوره‌هایی حرکت گسلی کوشک نصرت را راست‌گرد و معکوس و در دوره‌هایی نیز چپ‌گرد و معکوس معرفی کرده‌اند. این مطالعه با ایده‌ی همراه بودن حرکت‌های امتدادی با بالآآمدگی و در برخی مناطق غالب بودن حرکت‌های امتدادی در پهنه گسلی قم، با این محققین هم‌عقیده است.

با توجه به شکل (۶)، مطالعه هندسه گسل‌ها و ارزیابی جهت‌یابی تنش بیشینه فشاری از گسل‌ها نشان می‌دهد که تنش فشاری بیشینه دارای راستای N330 تا N30 است و با توجه به راستای گسل، حرکت امتدادی گسل‌ها، برشی راست‌گرد برآورد می‌شود. تنش استنتاج شده از رخداد زمین‌لرزه‌ای ۲۰۰۷/۰۶/۱۸ نیز حرکت برشی راست‌گرد همراه با حرکت معکوس در گسل‌های این ناحیه را تأیید می‌کند.



شکل (۶): جهت‌یابی تنش زمین‌ساختی و تنش ناشی از رخداد زمین‌لرزه ۲۰۰۷/۰۶/۱۸ در اطراف شهر قم.

## ۶- نتیجه‌گیری

تجمیع بررسی‌های زمین‌ریخت‌سنجی و جهت‌یابی بیشینه تنش حاکم در منطقه و همچنین بررسی زمین‌لرزه ۲۰۰۷،

جای‌گیری پوسته ایران در محل برخورد صفحه‌های عربی، هند و اوراسیا باعث درهم‌ریختگی زمین‌ساختی و ایجاد ساختارهای گسلی و چین‌خوردگی زیاد همراه با لرزه‌خیزی در پوسته ایران شده است. منطقه شمال قم نیز، از نظر زمین‌ساختی، یک حوضه نسبتاً پیچیده است. وجود گسل‌های بزرگ و کوچک، وجود سازندهای متنوع به لحاظ زمانی در مجاورت هم و ... نشان‌دهنده‌ی این پیچیدگی‌ها است. مشخص بودن برخی گسل‌ها بر روی زمین و برش رسوبات کواترنر در منطقه، مهم‌ترین دلیل بر جابه‌جایی و حرکت گسل‌ها و به تبع آن، تغییر در عوارض سطح زمین است.

برای ارزیابی عملکرد گسل‌ها و بالآآمدگی امروزی منطقه از سه شاخص زمین‌ریخت‌سنجی بهره‌گرفته شده است. همه شاخص‌های مورد استفاده نسبتاً بالآآمدگی را ناچیز و در تعادل با فرسایش نشان می‌دهند.

به‌طور کلی، برحسب نتایج حاصله از شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی و همچنین مطابقت آنها با نقشه‌های زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه (از نظر تعداد، امتداد و موقعیت یا محل قرارگیری آنها)، می‌توان بیان داشت که حوضه‌های آبریز شمال قم، از نظر بالآآمدگی در وضعیت نسبتاً پایدار تا کمی ناپایدار قرار دارند اما برش خوردگی کواترنر و رخداد زمین‌لرزه‌های نسبتاً بزرگ وضعیت ناپایدار را تأیید می‌کند.

بالآآمدگی ناچیز، جابه‌جایی آبراهه‌ها و شواهد جنبایی زمین‌ساختی، ایده غالب بودن حرکت‌های برشی و راست‌لغز را در منطقه شمال قم تقویت می‌کند. بر اساس مطالعه الیاس‌زاده و همکاران [۲۰] گسل البرز در ابتدا، حرکتی به صورت معکوس همراه با امتدادی راست‌گرد داشته است و این حرکت تا ابتدای پلیوسن ادامه داشته است. جابه‌جایی امتدادی در گسل البرز، کنگلومرای پلیوسن را نیز متأثر کرده است.

قربانی و همکاران [۳۴] در ارزیابی میزان جنبایی زمین‌ساختی و پویایی گسل‌های پهنه قم - ساوه، جنبایی زمین‌ساختی کواترنری گسل کوشک نصرت را بسیار بالا



## مراجع

- Huber, H. (1951) *Geology of Parts of the Western Kavir Area and Oil Possibilities of Northern Region* No. 2. National Iranian Oil Company Geological Report No. 19, 39 p.
- Gansser, A. (1955) New aspects of the geology of Central Iran. *Proceedings of Fourth World Petroleum Congress*, Section 1/A/5, Carlo Colombo, Rome, 286-305.
- Furrer, M.A. and Sonder, P.A. (1955) The Oligo-Miocene marine formation in the Qum region (Central Iran). *Proceedings of Fourth World Petroleum Congress*, Section 1/A/5, Carlo Colombo, Rome, 270-277.
- Babaahmadi, A., Safaei, H., Yassaghi, A., Vafa, H., Naeimi, A., Madanipour, S., and Ahmadi, M. (2010) A study of Quaternary structures in the Qom region, West Central Iran. *Journal of Geodynamics*, **50**(5), 355-367, doi:10.1016/j.jog.2010.04.006.
- Walker, R. and Jackson, J. (2004) Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. *Tectonics*, **23**(5), doi:10.1029/2003tc001529.
- Allen, M., Jackson, J., and Walker, R. (2004) Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. *Tectonics*, **23**(2), doi:10.1029/2003TC001530.
- Talbot, C. and Aftabi, P. (2004) Geology and models of salt extrusion at Qum Kuh, central Iran. *Journal of the Geological Society*, **161**(2), 321-334, doi:10.1144/0016-764903-102.
- Letouzey, J. and Rudkiewicz, J.L. (2005) *Structural geology in the Central Iranian Basin*. Institut Français du Pétrole report F0214001, 79p.
- Ehteshami-Moinabadi, M. and Yassaghi, A. (2007) Geometry and kinematics of the Mosha Fault, South Central Alborz Range, Iran: An example of basement involved thrusting. *Journal of Asian Earth Sciences*, **29**(5-6), 928-938.
- Morley, C.K., Kongwung, B., Julapour, A.A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., and

حرکت‌های زمین‌ساختی گسل‌های گستره قم را معکوس و راست‌گرد نشان می‌دهد، به شکلی که می‌توان حرکت‌های امتدادی آن را مهم دانست.

نتایج مطالعه حاضر، با ایده‌ی نوکل سادات [۳۶] در زمینه‌ی حرکت برشی راست‌گرد کل ساختارهای ایران مرکزی متأثر از جابه‌جایی صفحه عربی همخوانی دارد. او معتقد بود که چین‌خوردگی‌ها و گسل‌ها به دلیل حرکت برشی دو صفحه عربی و ایران از زمان میوسن به صورت معکوس با مؤلفه راست‌گرد تشکیل شده‌اند. خمیدگی محور تاقدیس البرز [۳۷]، درزه‌های عرضی و گسل‌های فرعی راست‌گرد نیز در ارتباط با این سازوکار شکل گرفته‌اند. بر این اساس:

۱. وجود گسله‌های فراوان که برخی از آنها کوتاه‌تر و جوان هستند، حاکی از بالا بودن توان لرزه‌زایی آنها و جنبایی گستره است.

۲. با توجه به شاخص‌های زمین‌ریخت‌سنجی، در هیچ‌یک از گسل‌های معرفی شده حرکت راندگی به تنهایی رخ نداده است. جنبایی قائم تنها در مناطقی از گسل کوشک نصرت (شمال و شمال خاور ساوه) و بخش‌هایی از خاور قم بارز است.

۳. بر پایه جهت‌یابی تنش‌های حاکم بر منطقه و شواهد ریخت‌زمین‌ساختی و ...، حرکت برشی گسل‌های منطقه، هم‌وزن حرکت بالآآمدگی آنها بوده و در برخی مناطق با اهمیت بیشتری نسبت به بالآآمدگی در دگرشکلی گستره مؤثر بوده است.

۴. بریده شدن رسوبات کوتاه‌تر در محدوده شمال قم توسط گسل‌های البرز و کوشک نصرت و همچنین رخداد زمین‌لرزه‌ای در این گستره به همراه بالآآمدگی‌ها و حرکت‌های امتدادی تشریح شده، روشن‌گر جنبای بودن این گسل‌هاست.

۵. با استناد به اثرگذاری یکسان بردارهای فشاری و برشی در راستای گسل‌های جوان گستره قم، احتمال رخداد زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای متوسط تا بزرگ دور از تصور نیست.

- Alborz Fault (North Qom) evidence for transfer of inversion from central-west Alborz faults to the same oriented faults in South Alborz. *Journal of Geoscience*, **21**(83), 13-22 (in Persian), doi:10.22071/gsj.2012.54511.
21. Khodaparast, S., Madanipour, S., Enkelmann, E., Nozaem, R., and Hessami, K. (2020) Fault inversion in central Iran: Evidence of post Pliocene intracontinental left lateral kinematics at the northern Iranian Plateau margin. *Journal of Geodynamics*, **140**, 101784, doi:https://doi.org/10.1016/j.jog.2020.101784.
22. Strahler, A.N. (1952) Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, **63**(11), 1117-1142, doi:10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2.
23. Mayer, L. (1990) *Introduction to Quantitative Geomorphology: an Exercise Manual*. Englewood Cliffs, NJ 07632: Prentice-Hall International, Inc.
24. Keller, E.A. and Pinter, N. (2002) *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Upper Saddle River (N.J.): Prentice Hall.
25. Bull, W.B. (2007) *Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology*. Blackwell, Malden.
26. Pérez-Peña, J.V., Azor, A., Azañón, J.M., and Keller, E.A. (2010) Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology*, **119**(1) 74-87, doi:10.1016/j.geomorph.2010.02.020.
27. Merritts, D. and Vincent, K.R. (1989) Geomorphic response of coastal streams to low, intermediate, and high rates of uplift, Medocino triple junction region, northern California. *GSA Bulletin*, **101**(11), 1373-1388, doi:10.1130/0016-606(1989)101<1373 grocst>2.3.co;2.
28. Burbank, D. and Anderson, R. (2011) *Tectonic Geomorphology*. 274, doi:10.1002/9781444345063.
29. Keller, E.A. and Pinter, N. (1996) *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Prentice Hall.
30. El Hamdouni, R., Irigaray, C., Castillo, T., Chacón, Kazemi, H. (2009) Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran: The Central Basin in the Qom-Saveh area. *Geosphere*, **5**(4), 325-362, doi:10.1130/ges00223.1.
11. Sella, G.F., Dixon, T.H., and Mao, A. (2002) REVEL: A model for recent plate velocities from space geodesy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **107**(B4), ETG 11-11-ETG 11-30, doi:10.1029/2000jb000033.
12. Hessami, K. (2002) *Tectonic History and Present-Day Deformation in the Zagros Fold-Thrust Belt*. Ph.D. Thesis, University of Uppsala, Uppsala, Sweden. Published thesis.
13. Vernant, P., Nilforoushan, F., Chéry, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., and Tavakoli, F. (2004) Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data. *Earth and Planetary Science Letters*, **223**(1-2), 177-185, doi:10.1016/j.epsl.2004.04.017.
14. Nabavi, M.H. (1976) A Preface to Iran's Geology. *Geology Survey and Mineral Exploration of Iran*, 109.
15. Berberian, M. (1976) *Documented Earthquake faults in Iran, Rep. 39*. Geological Survey of Iran, Tehran.
16. Nogol-Sadat, M.A., Ahmadzadeh Heravi, M., Almasian, M., Poshtkuhi, M., and Hushmandzadeh, A. (1993) *Tectonic Map of Iran*. Scale 1: 1 000 000, Tehran: Geological Survey of Iran.
17. Omidi, P. (1990) *Structural Analysis of Alborz Anticline, North Qom*. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, 218p. (in Persian).
18. Baghbani, D., Allahyari, M., and Shakeri, A. (1996) *Investigation of Qom Sedimentary Basin and Evaluation of its Hydrocarbon Potential*. Geological Rep. 1838, National Iranian Oil Company (in Persian).
19. Ghalamghash, J., Fonodi, M., and MehrParto, M. (1998) *Geological Map of Saveh, 1:100000*. Geological Survey of Iran, Tehran.
20. Elyaszadeh, R., Mohajjel, M., Farahani, B., and Jafari, S.R. (2012) New structural evidence of

- J., and Keller, E. (2008) Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, **96**(1-2), 150-173, doi:10.1016/j.geomorph.2007.08.004.
31. Bull, W.B. and McFadden, L.D. (1977) Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California, In: Doehring, D.O. (Ed.) *Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium*, State University of New York, Binghamton, 115-138.
32. Bull, W.B. (1978) *Geomorphic Tectonic Classes of the South Front of the San Gabriel Mountains, California*. U.S. Geological Survey Contract Report, 14-08-001-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, CA.
33. Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., and Azcárate, T. (2003) Fault-generated Mountain fronts in Southeast Spain: Geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology*, **50**(1-3), 203-225, doi:10.1016/S0169-555X(02)00215-5.
34. Ghorbani, E., Dowlati, A., and Pourkermani, M. (2016) Morphotectonic analysis and dynamics of north-western Central Iran, the Qom-Saveh Basin. *Quaternary Journal of Iran*, **1**(4), 293-306 (in Persian).
35. Orang, K., Mohajjel, M., and Tajbakhsh, G.R. (2015) Slip sense inversion on the Koushk-e-Nosrat Fault, North Saveh. *Journal of Geoscience*, **24**(1393), 315-328 (in Persian), doi:10.22071/gsj.2015.43429.
36. Nogol-Sadat, M.A.A. (1985) *Transpressional Structures in Iran; Results of Structural Analysis of Qom Region*. Geological Surveying of Iran, Report 55.
37. Zamani, P. and Hosseini, H. (2008) *Geological Map of Qom, 1:100000*. Geological Survey of Iran, Tehran.

## Deformation and Movement of Qom, Alborz and Kushk-e Nosrat Fault Zones in the Northern Part of Qom

Hadi Tabassi<sup>1\*</sup> and Somayeh Bahauddini<sup>2</sup>

1. Assistant Professor, Department of Geology, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran, \*Corresponding Author, email: tabassi@damavandiau.ac.ir
2. M.Sc. Student, Department of Geology, Ashtian Branch, Islamic Azad University, Ashtian, Iran

The placement of the Iranian crust at the junction of the Arabian, Indian and Eurasian plates has caused tectonic disruption. The creation of numerous faults and many folds along with seismicity in the Iranian crust are signs of this disruption. The continental basin of northern Qom is located in central Iran. The general trend of the important faults in this area including Qom, Alborz and Kushk-e Nosrat faults, is northwest-southeast. These faults with a length of more than 50 km affected by Arab-Eurasian plate convergence, and have played an important role in seismicity and deformation of Qom area.

Morphological evidence and the existence of numerous fault fragments that have cut Quaternary sediments indicate the activity of these structures around the city of Qom. Despite the valuable studies that have been done on the faults of Qom, Alborz and Kushk-e Nosrat, there are still ambiguous opinions and ambiguities about how these faults move and their seismic potential. Qom fault with a length of more than 50 km, has a northwest-southeast trend that continues from the mountains southeast of Qom to the south of Zefreh in the northeast of Isfahan. Along this fault, Oligo-Miocene limestone and marl are driven on Quaternary sediments. Alborz fault has also a northwest-southeast trend with a dip to the southwest that has cut the northern limb of the Alborz anticline. Alborz fault has also driven Oligo-Miocene units on Quaternary units. Kushk-e Nosrat fault is part of the fault system. It starts from the southeast of Hoz-e Soltan Lake and continues to the Avaj fault. The general direction of Kushk-e Nosrat fault is 280 to 290 degrees, and in most cases, it has a dip more than 80 degrees to the south. One of the objectives of this study is to identify how these faults displacement and activity are occurred.

One of the methods of tectonic assessment is the use of geometric indices. Among these, according to the lithological characteristics and the location and distribution of the basins, the indices of  $V_f$ , hypsometry and  $S_L$  have been selected and the results have been analyzed. Results of morphometric indices with fault geometry and stress orientation data, have been able to elucidate some tectonic features of the area. Morphometric studies show the areas around Saveh fault and Kushk-e Nosrat fault in the northern part of Saveh as well as areas in the south of Qom have the potential to rise. Other zones do not have any significant uplift.

The geometry of the faults and orientation of the maximum compressive stress show that the maximum compressive stress direction is N30 to N330, and according to the direction of the fault, the fault mechanism is estimated to be Dextral. The stress inferred from the seismic event of 2007/06/18 also confirms the right-lateral shear motion along with the reverse motion in the faults.

The low vertical uplifts does not indicate the absence of activities, but can indicate the compressive and shear components or the specific deformation of Central Iran. This type of movement can be easily interpreted by knowing the stress orientation. The shear-compressive deformation of the Qom area is due to the northeastern movement of the Arabian plate and the limitation due to the Caspian hard crust.

Undoubtedly, Qom is an area that is considered and studied by different seismic researchers with different views and study styles. Comparing the results of these studies has helped to discover the Unknown activity zone.

In general, the northern part of Qom is an area with high seismicity in which the mechanism of earthquakes is mostly strike-slip with thrust. Therefore, moderate to large earthquakes are expected to occur in the future.

**Keywords:** Activity, Qom, Alborz and Kushk-e Nosrat Faults, Deformation, Movement.