

ارزیابی نسبی زمین ساخت فعال با استفاده از تحلیل ریخت‌سنجی، بررسی موردی حوضه آبریز رودخانه دز، جنوب باختری ایران

محمد آبدیده^۱، منوچهر قرشی^۲، کاظم رنگزن^۳، مهران آبرین^۴

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

^۴گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۲/۲۸

چکیده

در این مقاله روش نوینی به منظور ارزیابی فرگشت زمین‌ساخت فعال نسبی بر پایه شاخص‌های ریخت‌سنجی (مورفومتریک) و کاربرد آنها در تکامل زمین ریخت‌شناسی و توپوگرافی ارائه شده است. شاخص‌های مورد استفاده شامل نسبت انشعاب، برجستگی حوضه، تراکم آبراهه، عدد نامواری، فراوانی آبراهه، ضریب شکل، عامل شکل، چم و خم آبراهه و نسبت کشیدگی هستند. نتیجه جمع‌بندی شاخص‌های بیان شده و تحلیل آنها، منجر به تقسیم‌بندی نسبی فعالیت زمین‌ساختی گستره مورد مطالعه از رده‌های بالا به پایین شد. حوضه آبریز رودخانه دز واقع در کمربند چین‌خورده - رانده شده زاگرس در جنوب باختری ایران، یک پهنه بسیار ایده‌آل برای آزمودن مفهوم این شاخص‌ها در پیش‌بینی فعالیت نسبی زمین‌ساختی بر اساس بررسی سامانه رودخانه‌ای یا جبهه کوهستان است. گستره مورد مطالعه دارای نرخ‌های متفاوتی از فعالیت زمین‌ساخت است که این مورد ناشی از برخورد قاره‌ای بین صفحه عربی و بلوک ایران که بخشی از صفحه اوراسیاست، می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: زمین‌ساخت فعال، شاخص‌های ریخت‌سنجی، رودخانه دز، کمربند زاگرس، جنوب باختر ایران

*نویسنده مسئول: محمد آبدیده

E-mail: m.abdideh@yahoo.com

۱- مقدمه

برای ارزیابی خطر زمین‌لرزه بسیار با اهمیت است (Keller & Pinter, 2002). در مقیاس ناحیه‌ای، به دست آوردن نرخ زمین‌ساخت فعال و به طور خاص بررسی کمی مناطق از نظر زمین‌ساخت فعال دشوار است. در این پژوهش سعی شده است روشی برای ارزیابی کمی زمین‌ساخت فعال معرفی شود. روش‌هایی که بیشتر مورد توجه است، استفاده از شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناختی مانند انتگرال ارتفاع سنجی، چم و خم جبهه کوهستان، گرادیان طول رودخانه، نسبت ارتفاع به پهنای دره و غیره هستند که در بررسی‌های زمین‌ساخت فعال سودمند شناخته شده‌اند. این روش‌ها پیش‌تر به عنوان یک ابزار با ارزش در بررسی تفاوت‌های زمین‌ساخت فعال در مناطق مختلف آزموده شده‌اند.

در این پژوهش از شاخص‌ها و ویژگی‌های نوین ریخت‌سنجی حوضه آبریز برای تفسیر و ارزیابی کمی زمین‌ساخت فعال استفاده شده است. به عنوان نمونه می‌توان به شاخص‌های برجستگی حوضه، نسبت انشعاب، چم و خم آبراهه‌ها، نسبت کشیدگی حوضه و ... اشاره کرد. هر کدام از این شاخص‌ها شاهدهی بر فعالیت زمین‌ساختی منطقه هستند، برای نمونه از شاخص تراکم زهکش‌ها می‌توان برای شناسایی تکامل مناطق چین‌خورده وابسته به گسل‌های رانندگی استفاده کرد. هدف از این پژوهش تعیین کمی شاخص‌های ریخت‌سنجی برای ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال و توسعه توپوگرافی در گستره مورد بررسی است. به این منظور از داده‌های نرم افزاری GIS، مشاهدات صحرایی (ساختاری و زمین‌ریخت‌شناسی) و همچنین داده‌های زیرزمینی (نیمرخ‌های لرزه‌ای) استفاده شده است.

۲- گستره مورد بررسی

کمربند کوهستانی زاگرس در ایران بخشی از سیستم آلپ-همالیای است که از شمال‌باختری (NW) تا جنوب‌خاوری (SE) ایران امتداد دارد (شکل ۱). این کمربند کوهزایی حاصل برخورد قاره‌ای بین صفحه عربی و بلوکی که بخشی از اوراسیاست و ایران خوانده می‌شود، است (Berberian & King, 1981).

این گونه استنباط می‌شود که نخستین فاز فشارش در این کمربند در خلال کرتاسه

اندازه‌گیری‌های کمی سبب محاسبه شاخص‌های زمین‌ریختی (ژئومورفیک) به عنوان ابزارهای مقدماتی و پایه برای تشخیص نواحی دچار دگرشکلی زمین‌ساختی و بررسی‌های نوزمین‌ساختی هستند. به طور کلی، شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی در بررسی‌های زمین‌ساختی مفید هستند، زیرا می‌توانند برای ارزیابی سریع مناطق وسیع به کار گرفته شوند و داده‌های ضروری آن اغلب به سرعت از نقشه‌های رقومی و تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آیند.

(Jordan et al., 2005) در بررسی‌های خود با استفاده از مدل ارتفاع رقومی، پدیده‌ها و عوارض ریخت‌زمین‌ساختی را در یونان شناسایی و استخراج کرده و روشی سیستماتیک برای تجزیه ریخت‌سنجی عوارض زمینی ایجاد نمودند. آنها زمین‌ساخت زمین‌ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی) رقومی (Digital tectonic geomorphology) را به عنوان ترکیبی از سه مؤلفه زمین‌شناسی ساختمانی، زمین‌ریخت‌شناسی و تجزیه رقومی عوارض (Digital terrain analysis) معرفی نموده و برای منطقه مورد مطالعه، بررسی کردند.

(Verrios 2004) با استفاده از چهار شاخص زمین‌ریخت‌شناختی، پیچ و خم پیشانی کوهستان (شاخص S_{mf})، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (شاخص Vf)، طول-گرادبان رود (شاخص SL) و عامل (فاکتور) تقارن توپوگرافی عرضی (T) بر روی نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی در زون گسلی Eliki (خلیج Corinth در یونان)، زمین‌ساخت فعال را برآورد کرد و این منطقه را به عنوان یک رده با فعالیت زمین‌ساختی خیلی زیاد تعیین نمود.

فعالیت زمین‌ساختی عهد حاضر در گستره مورد بررسی با برپایی قاره‌ای در جنوب باختری ایران (کمربند چین‌خورده - رانده شده زاگرس) که با شواهدی مانند دره‌های گسلی، شکاف‌های ژرف رودخانه‌ای، نهشته‌های کوتاه‌تری در طول جبهه کوهستان و حوضه‌های با کران گسلی مشخص است، شناخته می‌شود.

نگاشت‌های لرزه‌ای منطقه‌ای با تکرار و تناوب زیاد با بزرگای کم (کمتر از ۴ ریشتر) و همچنین گاه با زمین‌لرزه‌های فاجعه بار مشخص می‌شوند. بررسی زمین‌ساخت فعال و بویژه بررسی نسبی فعالیت زیاد در هولوسن و پلیستوسن پایانی

برای تشخیص تأثیر ریخت‌سنجی زهکش‌ها و شبکه آبراهه‌ها بر روی عوارض سطحی و ویژگی‌های آنها است. پارامترهای ریخت‌سنجی در سه گروه خطی (Linear)، برجسته (Relief)، و سطحی (Areal) گروه‌بندی و محاسبه می‌شوند (Savindra Singh, 1998).

الف) ویژگی‌های خطی حوضه آبریز (Linear parameters)

ویژگی‌های خطی حوضه شامل بررسی رتبه آبراهه‌های حوضه (μ)، تعداد آبراهه ($N\mu$)، نسبت انشعاب (BR) و طول تجمعی آبراهه‌ها است. قانون طول آبراهه Horton (Stream Lengths) بیانگر وجود یک رابطه هندسی میان تعداد آبراهه‌های مجزا در رده‌های متوالی آبراهه‌ها و شکل‌های سطحی زمین است (Horton, 1945).

— **رتبه آبراهه‌ها (Stream Order):** در یک حوضه زهکشی کوچک‌ترین سرشاخه با مرتبه ۱ مشخص می‌شود. در جایی که دو کانال مرتبه ۱ به هم می‌پیوندند، یک کانال مرتبه ۲ تشکیل می‌شود و در جایی که دو کانال مرتبه ۲ به هم متصل می‌شوند، یک کانال مرتبه ۳ شکل می‌گیرد و الی آخر. رودخانه اصلی که همه دبی آب و رسوب از آن عبور می‌کند، قطعه با بالاترین مرتبه است (Horton, 1945). شماره مرتبه به طور مستقیم با اندازه حوضه آبریز، ابعاد کانال و دبی آبراهه در آن مکان از سیستم متناسب است. تعداد قطعات هر مرتبه به صورت $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ قابل تعیین هستند.

— **انشعاب پذیری (Bifurcation Ratio):** نسبت تعداد قطعات یک مرتبه بویژه، به تعداد قطعات مرتبه بالاتر، نسبت انشعاب (Bifurcation ratio: BR) نامیده می‌شود (Keller & Pinter, 2002). این نسبت به علت تغییرات تصادفی در هندسه حوضه آبریز دقیقاً از مرتبه‌ای به مرتبه دیگر یکسان نخواهد بود. اما تمایل دارد که در تمام سری‌ها ثابت باشد و بدین صورت محاسبه می‌شود:

$$R\mu = N\mu / N_{\mu+1}$$

رابطه (۱)

$N\mu$: تعداد انشعابات هر آبراهه

$N_{\mu+1}$: تعداد انشعابات رده بالاتر

رابطه زیر را نیز می‌توان برای برآورد نسبت انشعاب شبکه استفاده کرد (علیزاده، ۱۳۸۲):

$$BR = \text{Anti log} \left[\frac{\log n_i - \log n_{i-1}}{i-1} \right] \quad (2)$$

n_i : تعداد آبراهه‌های رده ۱

n_i : تعداد آبراهه‌های رده i (آخرین رده)

i : شماره رده رودخانه اصلی (بالاترین رده)

نسبت انشعاب درون یک حوضه با افزایش رده کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش رده، درصد آبراهه‌هایی که به هم می‌پیوندند و رده بالاتر را ایجاد می‌کنند افزایش می‌یابد. مقدار میانگین این نسبت برای حوضه‌های مسطح ۲ و برای حوضه‌های کوهستانی، بین ۳ تا ۴ متغیر است (Savindra Singh, 1998). نسبت انشعاب برای حوضه‌های آبریزی که ساختارهای زمین‌شناختی آنها را دستخوش تغییر کرده‌اند، متغیر است. نسبت انشعاب پایین از ویژگی‌های حوضه‌هایی است که آشفته‌گی‌های ساختاری کمتری دارند و الگوی زهکشی در آنها غیر طبیعی نیست (Strahler, 1964).

ب) ویژگی‌های برجستگی حوضه آبریز (Relief parameters)

ویژگی‌های پستی و بلندی (relief) حوضه آبریز به بررسی ویژگی‌های سه بعدی حوضه مانند مساحت، حجم، ارتفاع، شیب، منحنی‌های هیپسومتر، عدد ناهمواری (Ruggedness number) و برجستگی نسبی (Relative Relief) می‌پردازد (Keller & Pinter, 2002).

— **برجستگی نسبی:** برجستگی نسبی حوضه اختلاف میان مرتفع‌ترین تا پست‌ترین نقطه در حوضه را نشان می‌دهد.

$$Bh = h_{max} - h_{min}$$

رابطه (۳)

برجستگی نسبی حوضه نقش مهمی در توسعه زهکشی، حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی، تراوایی، توسعه اشکال سطحی زمین و ویژگی‌های فرسایشی عوارض

پایینی باعث فرارانش افیولیت‌ها در حاشیه شمال‌خاوری صفحه عربی می‌شود. این حرکت فشارشی ادامه پیدا کرده تا برخورد قاره-قاره در زمان میوسن اتفاق بیفتد (Falcon, 1969; Stocklin, 1968). این همگرایی در عهد حاضر نیز فعال است به طوری که جهت آن N-S و نرخ آن در حدود $25-30 \text{ mmy}^{-1}$ در حاشیه خاوری صفحه عربی است. این جهت در کمربند کوهزایی NW-SE می‌شود. سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها و داده‌های GPS صحرائی نیز نشان‌دهنده این کوتاه‌شدگی مایل در طول گسل‌های زاگرس هستند (Talebian & Jackson, 2002). کمربند چین‌خورده-رانده‌شده زاگرس در این پژوهش به چهار پهنه به شرح زیر تقسیم می‌شود:

- زون سندج-سیرجان (SSZ)

- زون هم‌آغوش (Imbricate) یا زاگرس مرتفع

- کمربند چین‌خورده زاگرس (ZFB)

- توالی (سکانس) پوششی مولاس با ویژگی‌های زمین‌شناختی و ژئوفیزیکی ویژه (Molasse Cover Sequence).

این تقسیم‌بندی بر اساس داده‌های زمین‌ریخت‌شناسی و زمین‌ساخت فعال ایجاد شده است (Rangzan, 1993). منطقه مورد بررسی در جنوب‌باختری ایران (شکل ۲) حد فاصل شهرهای دزفول در شمال استان خوزستان و خرم‌آباد و درود در شمال استان لرستان واقع شده است. این دو استان از نظر جنبه‌های زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی و همچنین ذخایر هیدروکربنی بسیار دارای اهمیت هستند. این منطقه پاره‌ای از کمربند چین‌خورده-رانده شده زاگرس است. گستره مورد بررسی از تنوع چینه‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی بالایی برخوردار است. ارتفاع بیشینه و کمینه از سطح دریا در این گستره به ترتیب ۴۲۰۰ تا ۱۴۲ متر است.

۳- مبانی نظری پژوهش

۳-۱. ریخت‌سنجی حوضه آبریز

ویژگی‌های زهکشی سطحی بسیاری از حوضه‌های رودخانه‌ها و زیرحوضه‌های آنها در بخش‌های مختلف جهان با استفاده از روش‌های مرسوم و متداول مورد بررسی قرار گرفته است (Horton, 1945; Strahler, 1964; Morisawa, 1985). بررسی‌های ریخت‌سنجی یک حوضه آبریز شامل ارزیابی آبراهه‌ها از طریق اندازه‌گیری ویژگی‌ها مختلف آبراهه‌ها است. حوضه‌های آبریز رودخانه منطقه‌ای با ریخت‌شناختی ویژه و مجزا همراه با الگوی آبراهه خاص و مرتبط با زمین‌ریخت‌شناسی منطقه است (Jordan, 2003).

وجود پستی و بلندی‌ها در سطح زمین باعث می‌شود که در هنگام نزول باران و ایجاد جریان سطحی، آب از ارتفاعات در امتداد شیب زمین و در جهات مختلف جریان پیدا کرده و به سمت نقاط پست زمین حرکت کند (Jordan, 2003). خط الرأس ارتفاعات در واقع خطوط تقسیم آب بوده و خط القعرها محل تمرکز رواناب هستند. یک حوضه آبریز به مساحتی از زمین گفته می‌شود که پیرامون آن را ارتفاعات در برگرفته و از این رو، رواناب حاصل از بارندگی روی این سطح در پست‌ترین نقطه آن تمرکز پیدا کرده و از نقطه‌ای که پایین‌ترین ارتفاع را دارد از حوضه خارج می‌شود. به عبارت دیگر حوضه آبریز مساحتی است که رواناب سطحی در آن به طور طبیعی به نقطه واحدی به نام نقطه تمرکز هدایت می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۲). حوضه‌های آبریز دارای ویژگی‌ها متفاوتی هستند که متغیرهای ریخت‌سنجی یا ویژگی‌ها هندسی حوضه، از مهم‌ترین ویژگی‌های حوضه‌های آبریز به شمار می‌روند. پارامترهای ریخت‌سنجی حوضه‌های آبریز، به مجموعه عوامل فیزیکی گفته می‌شود که مقادیر آنها برای هر حوضه به نسبت ثابت است و نشان‌دهنده وضع ظاهری حوضه آبریز است.

تحلیل و ارزیابی جزئیات پارامترهای حوضه‌های آبریز کمک مؤثری

Lb: طول حوضه

اگر حوضه به صورت مستطیلی با طول L و عرض متوسط b فرض شود آنگاه $L \times A = b$

خواهد بود، از این رو:

$$FF = \frac{bL}{L^2} = \frac{b}{L} \quad \text{رابطه (۶)}$$

بیشترین ضریب شکل (FF) برابر با یک برای حوضه‌های گرد یا مربعی شکل است. هر چه مقدار آن کمتر باشد نشان‌دهنده کشیدگی شکل حوضه است. حوضه‌های با ضریب شکل بالا دارای دبی اوج بالا هستند (علیزاده، ۱۳۸۲).

۲- نسبت کشیدگی (Elongation ratio): در یک حوضه اگر مساحت برابر با A باشد قطر دایره معادل آن $2\left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5}$ خواهد بود. در چنین حوضه‌ای نسبت کشیدگی (Elongation ratio) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Re = \frac{2}{L_m} \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5} \quad \text{رابطه (۷)}$$

L_m : طول حوضه در جهت موازی با بزرگ‌ترین آبراهه حوضه

A : مساحت حوضه

نسبت کشیدگی برابر است با نسبت قطر دایره فرضی هم‌مساحت حوضه به طول حوضه (علیزاده، ۱۳۸۲).

۴- روش پژوهش

در ابتدا بیش از ۹۰ نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به قالب سازگار با GIS تغییر داده شد. سپس خطاهای موجود تصحیح و از این نقشه‌ها به عنوان داده‌های ارتفاعی پایه استفاده شد. مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه با استفاده از روش درون‌یابی معکوس فاصله وزنی (IDW) و اندازه سلول ۳۰×۳۰ متر تهیه شد (شکل ۳). به منظور بررسی‌های تکمیلی و جدید ریخت‌زمین‌ساختی در گستره مورد بررسی، در ابتدا زهکش‌های حوضه آبریز که شامل ۱۱ رده هستند، استخراج شد (شکل ۴). سپس ۸۴ زیر حوضه بر اساس آبراهه‌های رده ۸ مشخص شد و ویژگی‌های این حوضه‌ها تعیین شد (شکل ۵). اطلاعات توصیفی مربوط به پارامترهای ریخت‌سنجی حوضه‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

حال با توجه به توانایی‌های نرم‌افزار GIS و توابع تحلیلی آن نقشه پهنه‌بندی برای هر یک از شاخص‌ها تهیه شد (شکل‌های ۶ تا ۱۴). پس از آماده‌سازی لایه‌های ریخت‌سنجی حوضه‌ها، با یکسان در نظر گرفتن تأثیر پارامترها، همپوشانی ۸ لایه (نسبت انشعاب، برجستگی حوضه، عدد ناهمواری، فراوانی آبراهه‌ها، ضریب و عامل شکل، چم و خم رودخانه و نسبت کشیدگی) صورت گرفت و نقشه فعالیت نسبی زمین‌ساختی برای حوضه آبریز رودخانه دز تهیه شد (شکل ۱۶).

۴- بحث و نتیجه‌گیری

بیشتر بررسی‌های گذشته و حاضر در زمینه زمین‌ساخت فعال به کمک شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی زمین‌ساختی مرسوم مانند گرادیان طول رودخانه، نسبت ارتفاع به پهنای دره و غیره انجام می‌گیرد. در این پژوهش سعی شده است از شاخص‌های نوین مربوط به حوضه‌های آبریز استفاده شد. تحلیل این شاخص‌های ریخت‌سنجی نشان داد که می‌توان از این عوامل به منظور ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی استفاده نمود. همان‌طور که پیش‌تر عنوان شد، انشعاب‌پذیری به نسبت تعداد قطعات یک رده به تعداد قطعات مرتبه بالاتر گفته می‌شود. تراکم زهکشی، سنگ‌شناسی منطقه، شیب و پوشش گیاهی بر این نسبت تأثیرگذار است. حوضه‌های کشیده نسبت انشعاب‌پذیری بیشتر و هر چه حوضه پهن‌تر باشد، این مقدار کاهش می‌یابد. منحنی تغییرات دبی نسبت به زمان (هیدروگراف) در حوضه‌های با نسبت انشعاب پایین دارای نقطه اوج تیزتر است (علیزاده، ۱۳۸۲). حوضه‌های آبریز واقع شده در مناطق فعال‌تر دارای بیشترین نسبت انشعاب هستند. بر اساس شکل ۶ بیشترین نسبت انشعاب در مجاورت گسل‌ها و حاشیه واحدهای ریخت‌زمین‌ساختی است. به طور مشخص گستره زاگرس

زمینی دارد. مقدار بالای Bh نشان‌دهنده شدت جریان آب، نفوذ پایین و مقدار بالای رواناب است.

ج) ویژگی‌های سطحی حوضه آبریز (Areal parameters)

ویژگی‌های سطحی حوضه در برگزیده ویژگی‌های ریخت‌سنجی مهمی مانند تراکم زهکشی، چم و خم آبراهه‌ها و شکل حوضه است.

– **تراکم زهکشی (Drainage Density)**: تراکم زهکشی نسبت طول کل کانال‌های حوضه آبریز به مساحت حوضه است. به طور کلی مقادیر پایین تراکم زهکشی در مناطق خیلی مقاوم و دارای مواد زیر خاکی نفوذپذیر، دارای پوشش گیاهی زیاد بوده و در مناطقی که برجستگی کم است دیده می‌شود، اما مقادیر بالای آن بیانگر این است که منطقه دارای مواد زیر سطحی ضعیف یا نفوذناپذیر، با پوشش گیاهی اندک و پستی و بلندی زیاد است. با استفاده از تراکم زهکشی می‌توان به یک اندازه‌گیری کمی از تشریح منظر زمینی و پتانسیل رواناب رسید. تراکم زهکشی یا بافت به خطوط زهکشی میان واحد مساحت گفته می‌شود که دارای سه نوع دسته‌بندی درشت، متوسط و بافت زهکشی ریز است (علیزاده، ۱۳۸۲).

– **چم و خم آبراهه (Sinuosity)**: این متغیرهای نسبت طول کانال به طول دره اندازه‌گیری می‌شود و مقادیر کم دگرشکلی می‌تواند این مقدار را تغییر دهد. هر گونه دگرشکلی زمین‌ساختی که شیب دره رودخانه را تغییر دهد می‌تواند چم و خم را دچار تغییر کند به طوری که بیشترین مقدار آن در مناطق فرو دره (Downtilt) و کمترین مقدار در مناطق فراخاست (Uptilt) است. هر گاه مقدار این متغیر با یک برابر باشد ($SI=1$) بیانگر زون فعال از نظر زمین‌ساختی است (Burbank & Anderson, 2001). افزایش در مقدار آن ($SI>1$) بیانگر کاهش در فعالیت زمین‌ساختی منطقه است. در مورد رودخانه‌های ماندری مقادیر کم دگرشکلی می‌تواند چم و خم آنها را تغییر دهد.

چم و خم آبراهه بر اساس رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$SI = L_a / L_s \quad \text{رابطه (۴)}$$

L_a : طول انحادار آبراهه از نقطه مورد نظر تا آبراهه رده بالاتر

L_s : طول مستقیم آبراهه از نقطه مورد نظر تا آبراهه رده بالاتر

به طور کلی در یک سیستم رودخانه‌ای در تعادل بین مقدار بده و بار رسوبی برای تأمین شیب، مجرا دچار چم و خم می‌شود. رودخانه هنگامی چم و خم پیدا می‌کند که شیب خط مستقیم دره برای رسیدن به تعادل بسیار تند باشد. مسیر چم و خم دار ماندرها، شیب مجرا را کاهش می‌دهد. هر گونه دگر ریختی زمین‌ساختی که شیب دره را عوض کند سبب می‌شود تغییر مناسبی در چم و خم مجرا به وجود آید تا حالت تعادل شیب حفظ شود. در مرحله پهن شدن رودخانه (Valley Widening) در صورت پویا شدن زمین‌ساخت‌های ماندردر وجود می‌آیند. اثر دیگر این تعدیل هنگامی است که انتقال رودخانه از یک چم و خم به دیگری صورت گیرد که نرخ مهاجرت ماندردر و کنده شدن دشت سیلابی از آن نشأت می‌گیرد. این اثر ثانویه خود به تنهایی به عنوان ابزار و شاخصی در شناسایی مناطق دارای زمین‌ساخت پویا تأیید شده است (Keller & Pinter, 2002).

– **شکل حوضه (Shape Basin)**: حوضه‌های آبریز از نظر ظاهری دارای شکل‌های گوناگون هستند. تأثیر شکل حوضه بر رواناب سطحی، زمان تمرکز و آب‌نگار (هیدروگراف) سیل محرز است. حوضه‌های پهن نسبت به حوضه‌های کشیده دبی اوج بیشتر و مدت دوام سیلاب در آنها کمتر است. حوضه‌های آبریز معمولاً شکل هندسی خاصی ندارند بنابراین برای مقایسه از ضرایب خاص استفاده می‌شود. در زیر به دو ضریب اشاره می‌شود.

۱- ضریب شکل (Form factor): عبارت است از نسبت مساحت حوضه (A) به مجذور طول حوضه (L^2) و با علامت FF نشان داده می‌شود.

$$FF = \frac{A}{L^2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

A : مساحت برحسب کیلومتر مربع

با استفاده از رابطه ارائه شده برای نسبت کشیدگی و پارامترهای استخراج شده برای حوضه‌ها بر اساس شکل ۱۴ نقشه این نسبت برای منطقه تهیه شد. حوضه‌های فعال دارای نسبت کشیدگی کمتر، در نتیجه کشیده‌تر بوده و هر چه فعالیت زمین‌ساختی کاهش می‌یابد، حوضه‌ها نسبت کشیدگی بیشتر دارند.

با توجه به این که در جنوب‌باختری ایران و کمربند چین‌خورده - رانده شده زاگرس بررسی‌های سن‌سنجی برای تعیین سن مطلق انجام نشده است، استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی و ریخت‌سنجی حوضه‌های آبریز یکی از بهترین روش‌های دستیابی به ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال و بررسی توسعه زمین‌منظرها است.

در این پژوهش سعی شد، عوامل ریخت‌سنجی حوضه آبریز که متأثر از فعالیت زمین‌ساختی بوده شناسایی شوند و در بررسی‌های بعدی مبنایی برای ارزیابی زمین‌ساختی قرار گیرند. استخراج عوامل ریخت‌سنجی حوضه‌های آبریز (شبکه آبراهه‌ها، تراکم آبراهه، چم و خم رودخانه و ...) به عنوان عوامل (فاکتورهای) تکمیلی برای تجزیه و تحلیل‌های آب‌شناختی و زمین‌ساختی، در زمان کم و دقت بالاتری نسبت به روش‌های معمول امکان پذیر است.

شاخص‌های ریخت‌سنجی نسبت انشعاب، عدد ناهمواری، چم و خم رودخانه، ضریب شکل و نسبت کشیدگی از روند پهنه‌بندی زمین‌ساختی انجام شده پیروی کرده و ضرایب همبستگی بالا را نشان می‌دهند. حوضه‌های آبریز واقع شده در مناطق فعال‌تر دارای بیشترین نسبت انشعاب و عدد ناهمواری هستند، اما عوامل چم و خم رودخانه، ضریب شکل و نسبت کشیدگی این حوضه کمترین مقدار است. بررسی انجام گرفته همچنین مشخص کرد در تراکم و فراوانی زهکش‌ها سنگ‌شناسی و جنس سازندها مؤثر است (شکل ۱۵). نیروهای زمین‌ساختی و تنش‌های حاصل از آنها بر سازندهای مختلف تأثیر متفاوت داشته در نتیجه پهنه‌بندی انجام شده که تنها متأثر از فعالیت زمین‌ساختی بوده نمی‌تواند به درستی روند تراکم و فراوانی آبراهه در حوضه‌ها را مشخص نماید. نقشه حاصل از شاخص‌های ریخت‌سنجی، هماهنگی نسبی خوبی با نقشه پهنه‌بندی شاخص‌های زمین‌ریختی (شکل ۱۷) دارد. بنابراین می‌توان از آن برای ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال استفاده کرد. لازم به یادآوری است این امر مستلزم به کارگیری این روش در گستره‌های مختلف و مقایسه آن با روش‌های مرسوم است.

بازدید از گستره مورد بررسی انواع زمین‌ریخت‌های نشانگر عملکرد زمین‌ساخت فعال مانند دره‌ها و برش‌های باریک و ژرف، نهشته‌های کواترنری در طول جبهه کوهستان، تغییر شکل در بادبزنی‌های آبرفتی، پهنه‌های با کران گسلی، چین‌خوردگی‌های مرتبط با فعالیت گسل‌ها و زمین‌ریخت‌های ویژه حاصل از پاسخ رودخانه به عملکرد زمین‌ساخت را نشان می‌دهد (شکل‌های ۱۹ تا ۲۴).

بررسی‌های گذشته و این پژوهش نشان می‌دهد که در کمربند برخوردی زاگرس چهار تکه راندگی بزرگ پنهان فعال با جهت‌گیری جنوب‌باختری وجود دارد. پهنه‌های ریخت‌زمین‌ساختی با مشخصات ویژه در میان این راندگی‌ها دیده می‌شوند. مرز این راندگی‌ها با ویژگی‌هایی مانند تاقدیس‌های نامتقارن همجوار، پرتگاه‌های برجسته و تغییر شکل در نهشته‌های کواترنری در روی سطح مشخص می‌شوند. افزون بر این در میان این پهنه‌ها نیز بی‌هنجاری‌هایی در شاخص‌ها و زمین‌ریخت‌های روی زمین دیده می‌شود.

مرتفع و بخش جنوبی گسل MZRF بیشترین فعالیت زمین‌ساختی را بر اساس تحلیل این شاخص نشان می‌دهند.

شاخص برجستگی حوضه نشان دهنده ارتفاع نسبی حوضه آبریز است. به طور کلی ارتفاع بیشتر بیانگر نرخ فرازش بالاتر و در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی افزون‌تر است. با توجه به شکل ۷ بیشترین برجستگی در گستره‌های زاگرس مرتفع و زاگرس چین‌خورده است.

تراکم زهکشی نسبت طول کل کانال‌های حوضه آبریز به مساحت حوضه است. مقادیر بالای آن بیانگر این است که منطقه دارای مواد زیر سطحی ضعیف یا نفوذ ناپذیر، با پوشش گیاهی اندک و پستی و بلندی زیاد است. از این شاخص می‌توان برای بررسی توسعه چین‌خوردگی‌های مرتبط با گسل که مهم‌ترین سبک چین‌خوردگی در گستره مورد بررسی است (شکل ۱۸)، استفاده نمود. به طوری که کاهش تراکم آبراهه‌ها و کاهش درجه فرسایشی در سطح چین، تغییر شکل تدریجی در نهشته‌های جوان و زمین‌ریخت‌ها و کاهش ارتفاع در طول ستیغ چین، از نشانه‌های توسعه چین‌خوردگی‌های مرتبط با گسل‌هاست. شکل ۸ پهنه‌بندی این شاخص را در حوضه آبریز رودخانه دز نشان می‌دهد (Burbank & Anderson, 2001).

عدد ناهمواری از حاصل ضرب تراکم آبراهه در برجستگی حوضه به دست می‌آید. این شاخص نشان‌دهنده پیچیدگی ساختاری حوضه است. حوضه‌هایی که دارای مقدار بالای عدد ناهمواری هستند مستعد برای فرسایش هستند. برجستگی حوضه (Basinrelief) نقش مهمی در توسعه زهکشی، حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی، تراوایی، توسعه اشکال زمینی و ویژگی‌ها فرسایشی عوارض زمینی دارد. برجستگی زیاد حوضه نشانگر شدت جریان آب، نفوذ پایین و مقدار بالای رواناب است (Obi Reddy et al., 2004). حوضه‌های آبریز واقع شده در مناطق فعال‌تر زمین‌ساختی دارای بیشترین عدد ناهمواری هستند (شکل ۹).

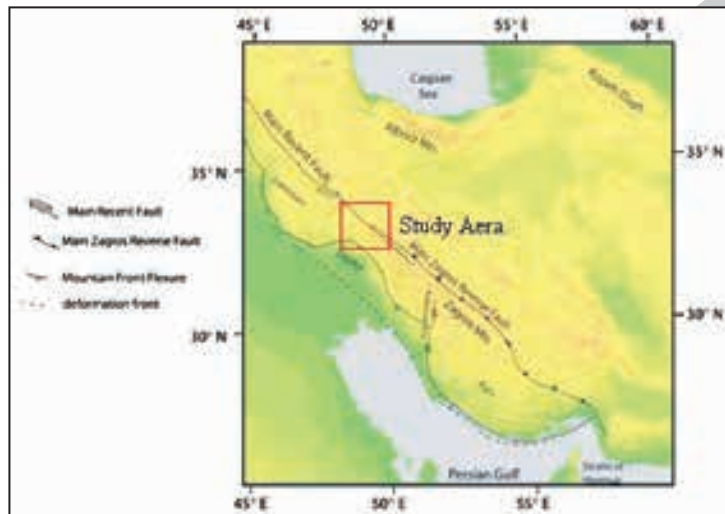
شاخص فراوانی آبراهه مجموع کل آبراهه‌ها را نشان می‌دهد. مرز باختری حوضه آبریز دز بیشترین فراوانی را نشان می‌دهد (شکل ۱۰). شکل ۱۱ نقشه ضریب شکل تهیه شده از منطقه را نشان می‌دهد. در منطقه، حوضه‌های فعال زمین‌ساختی دارای ضریب شکل کمتر و حوضه با فعالیت کمتر ضریب شکل بیشتری دارند. هر چه مقدار ضریب شکل کمتر باشد، نشان‌دهنده کشیدگی شکل حوضه است. همان‌طور که در شکل می‌توان دید، گستره‌های مجاور گسل‌ها، کمترین ضریب شکل در نتیجه بیشترین فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی عامل شکل نیز گویای نتایج پهنه‌بندی ضریب شکل است (شکل ۱۲).

شاخص چم و خم رودخانه به صورت نسبت طول کانال به طول دره اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱۳). در بررسی انجام شده چم و خم رودخانه به دست آمده برای منطقه با رده‌بندی زمین‌ساختی انجام شده همخوانی دارد. مناطق فعال زمین‌ساختی دارای چم و خم رودخانه کمتر بوده و مناطق با فعالیت کمتر دارای چم و خم رودخانه زیادتر هستند. با دقت در نقشه تهیه شده چم و خم افزایش این شاخص را در حوالی ستیغ چین‌های در حال رشد حاصل از فعالیت راندگی‌های پنهان دیده می‌شود. به طور کلی در مناطق تحت تأثیر برخاستگی در الگوی کانال‌ها تغییرات زیر دیده می‌شود:

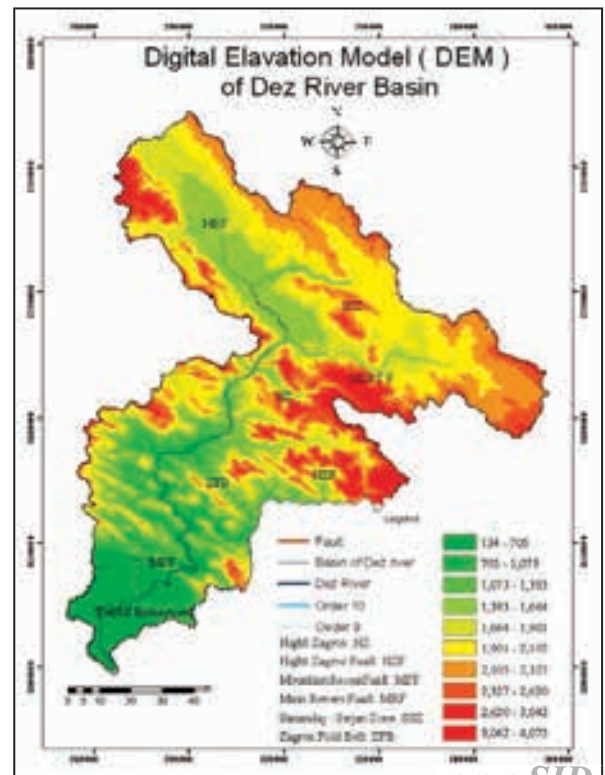
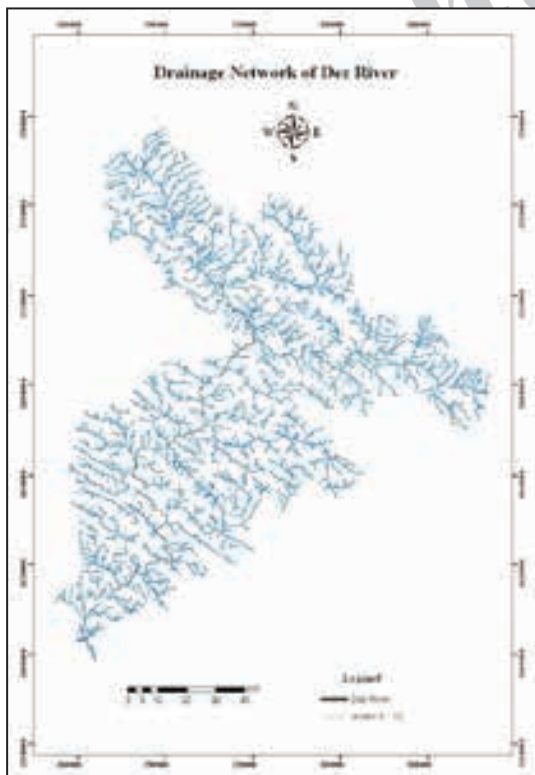
- پیش از برخاستگی: رودخانه مآندری شکل
- در خلال برخاستگی: در پایین دست افزایش چم و خم کانال و در بالا دست افزایش نهشته‌ها و حالت بریده بریده
- ادامه برخاستگی: cut off مآندر در پایین دست و گسترش الگوی بریده بریده در ستیغ چین‌ها
- کاهش برخاستگی: پایداری دوباره الگوی مآندری کانال



شکل ۱- جایگاه ساختاری کمربند چین خورده - رانده شده زاگرس همراه با گسل های اصلی

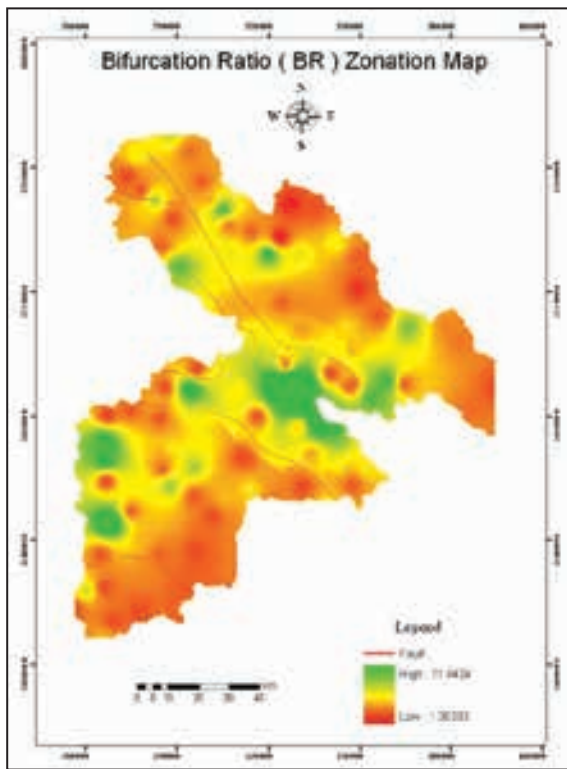


شکل ۲- گستره مورد مطالعه (Colman-Sadd, 1998)

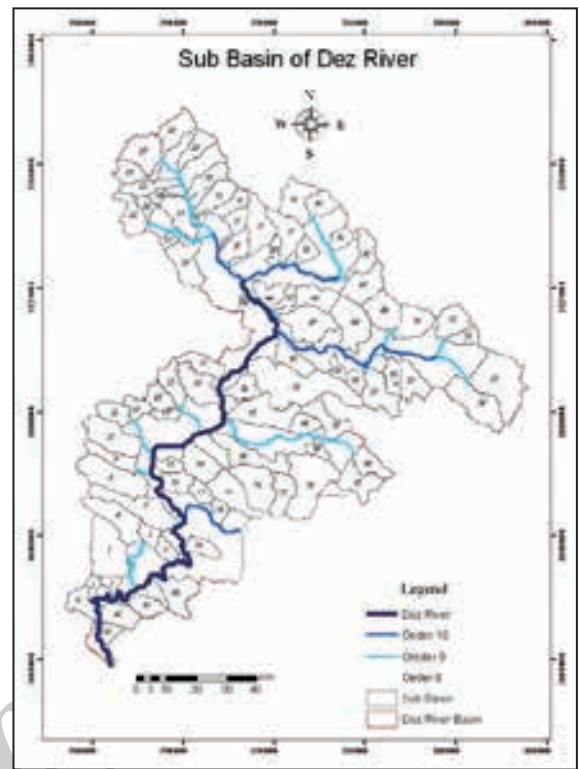


شکل ۴- آبراهه های حوضه آبریز دز

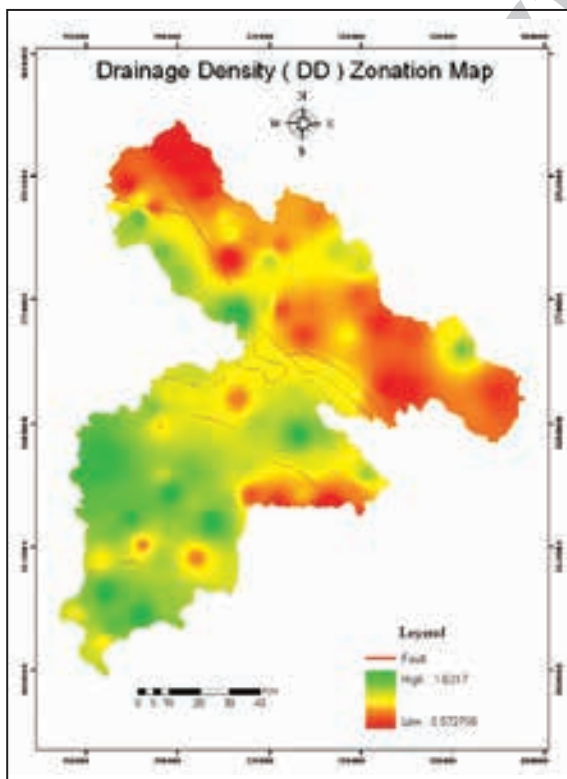
شکل ۳- مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه



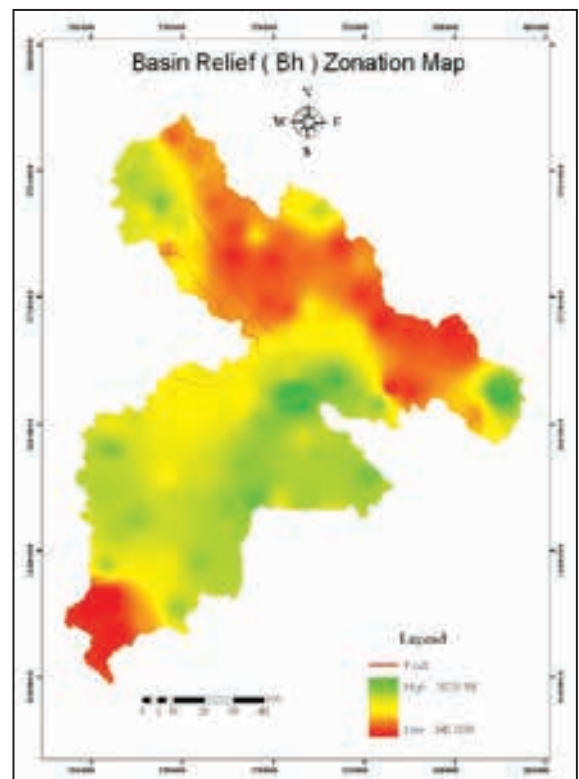
شکل ۶- پهنه‌بندی شاخص نسبت انشعاب حوضه آبریز



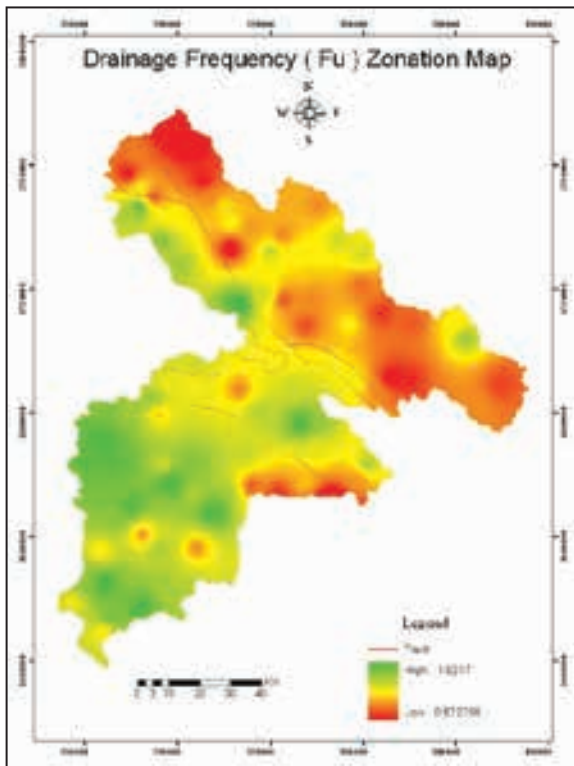
شکل ۵- زیر حوضه‌های رودخانه دز



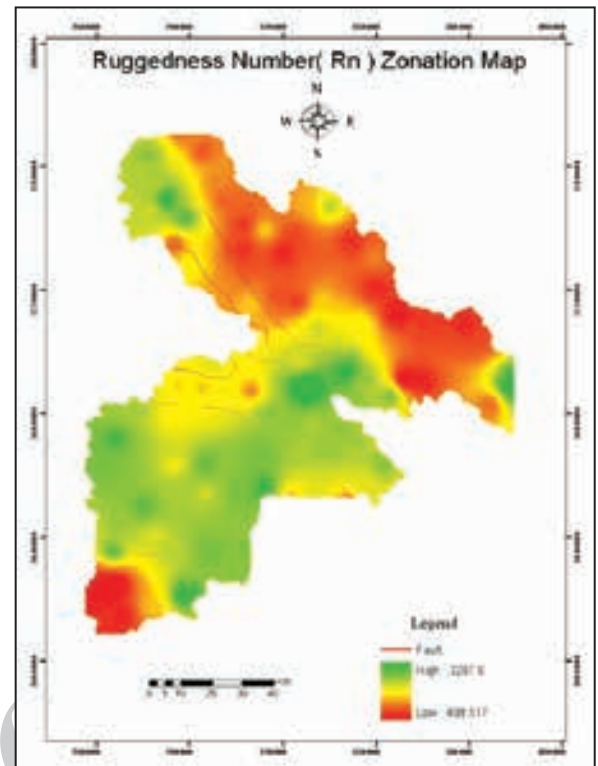
شکل ۸- پهنه‌بندی شاخص تراکم زهکشی حوضه آبریز



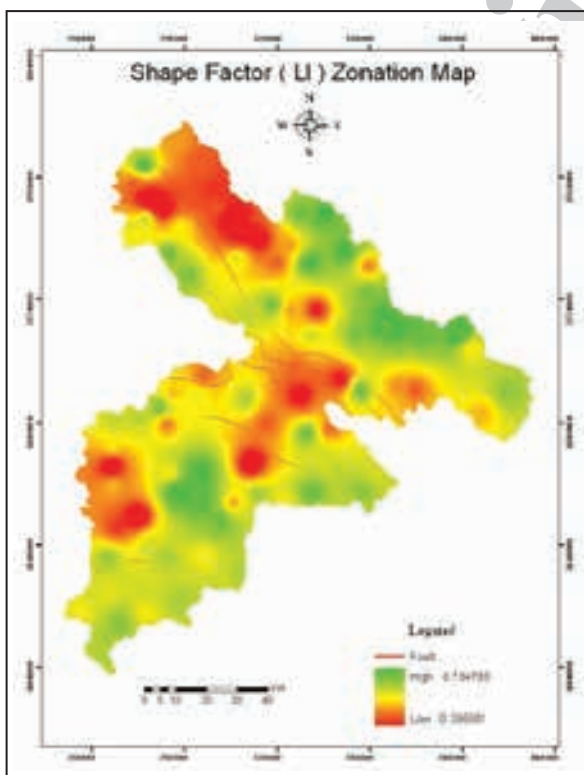
شکل ۷- پهنه‌بندی شاخص برجستگی حوضه آبریز



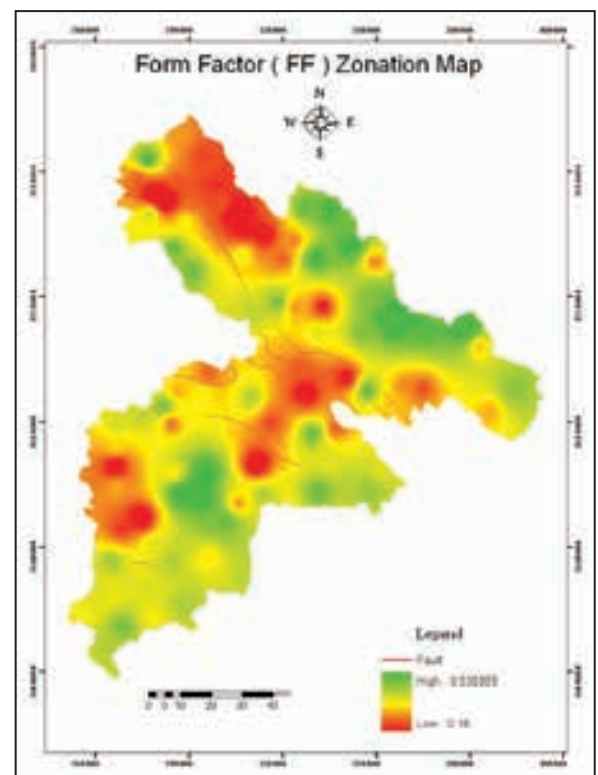
شکل ۱۰- پهنه‌بندی شاخص فراوانی آبراهه‌ها حوضه آبریز



شکل ۹- پهنه‌بندی شاخص عدد ناهمواری حوضه آبریز



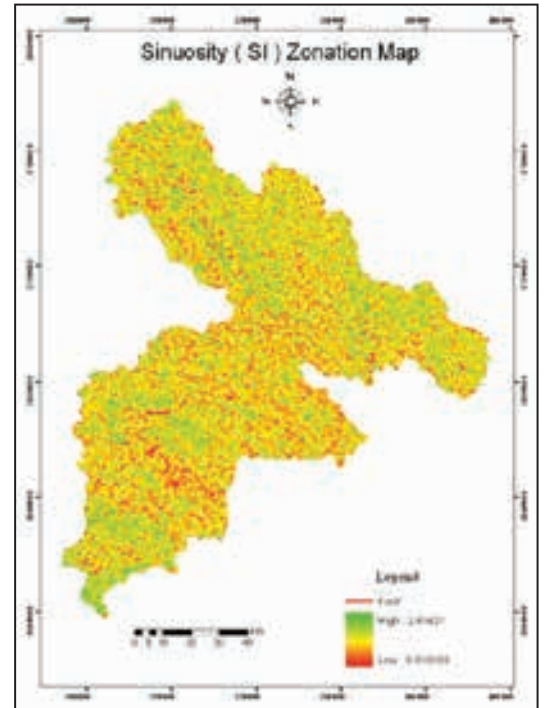
شکل ۱۲- پهنه‌بندی شاخص عامل شکل حوضه آبریز



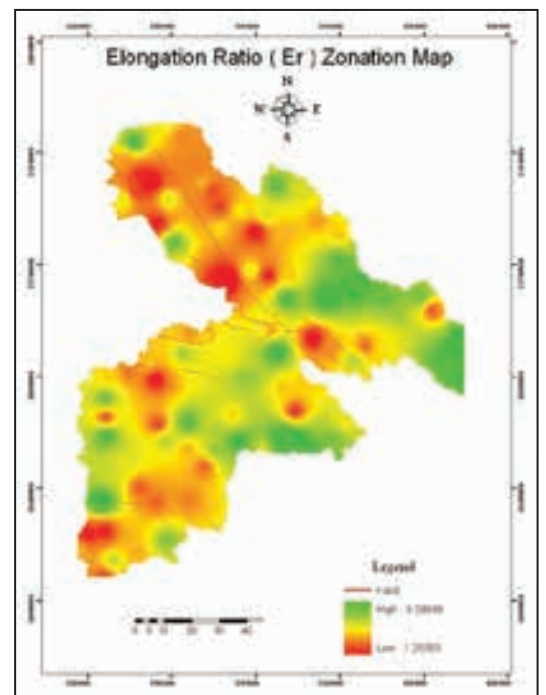
شکل ۱۱- پهنه‌بندی شاخص ضریب شکل حوضه آبریز



شکل ۱۵- نقشه سنگ‌شناسی منطقه



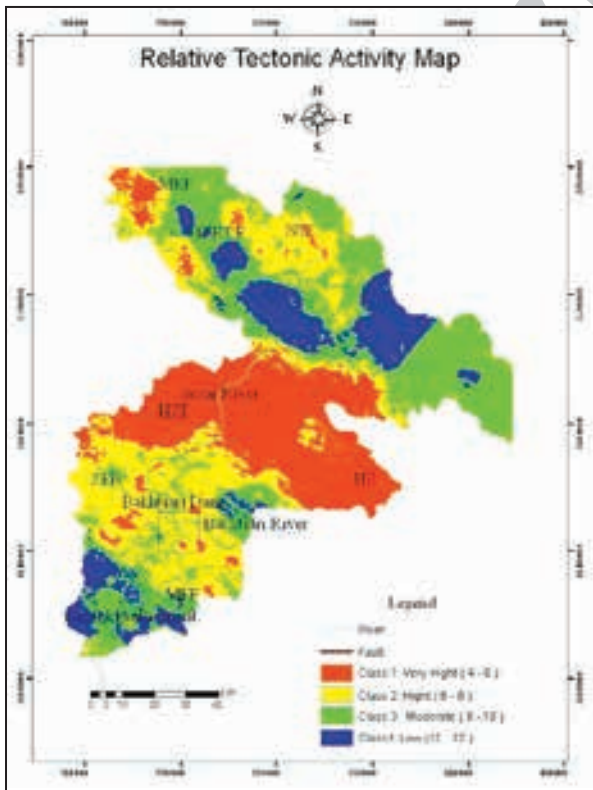
شکل ۱۳- پهنه‌بندی شاخص چم و خم آبراهه‌های حوضه آبریز



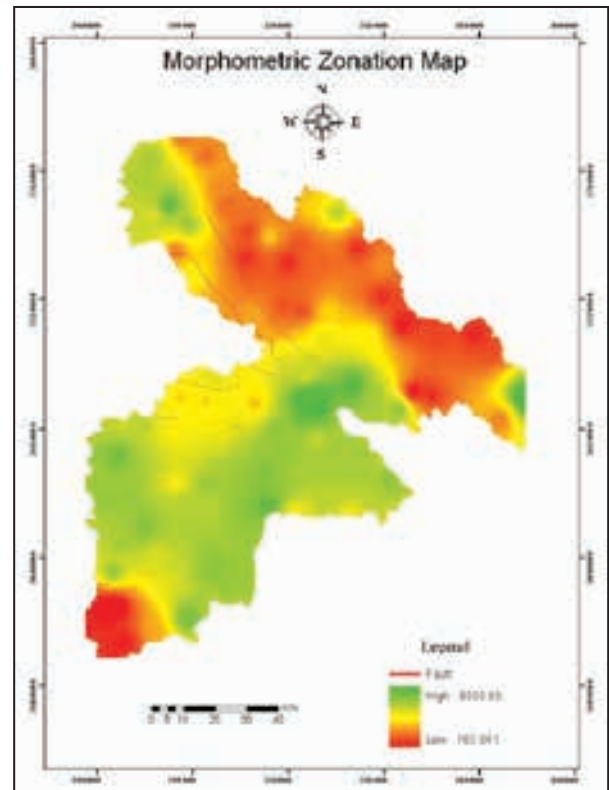
شکل ۱۴- پهنه‌بندی شاخص نسبت کشیدگی حوضه آبریز



شکل ۱۵- راهنمای نقشه سنگ‌شناسی منطقه



شکل ۱۷- پهنه‌بندی زمین‌ساختی منطقه با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی (SL, Hi, Vf, Smf)



شکل ۱۶- پهنه‌بندی زمین‌ساختی حوضه آبریز با استفاده از متغیرهای ریخت‌سنجی (مورفومتری) حوضه



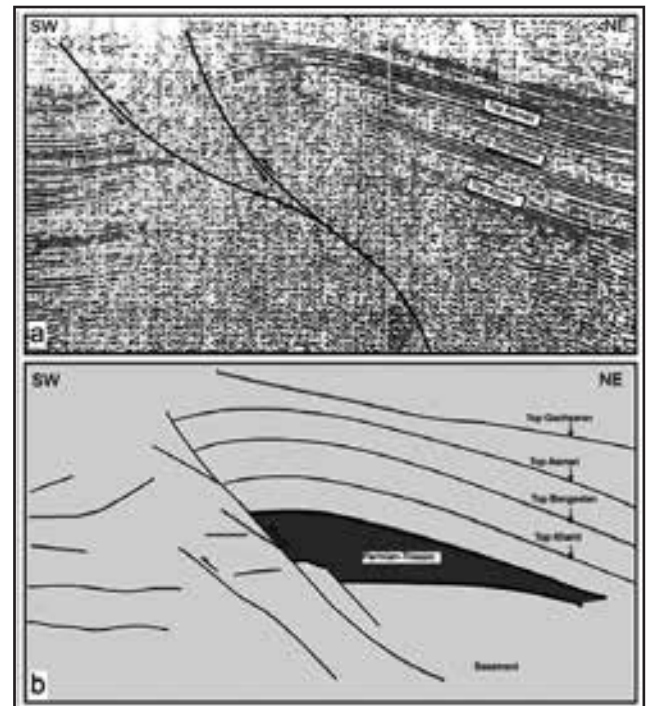
شکل ۲۰- عملکرد گسل شوستر در امتداد جبهه کوهستان با روند شمال‌باختر - جنوب‌خاور



شکل ۲۱- دره ژرف حاصل از برش رودخانه (ساختگاه سد بختیاری، زاگرس چین خورده)



شکل ۲۲- بسترسای و تحمیل رودخانه به زمین‌ریخت‌ها در مسیر رودخانه (بالا دست ساختگاه سد بختیاری، زاگرس چین خورده)



شکل ۱۸- نیمرخ لرزه‌ای طاق‌دیس رنگ سفید نمونه‌ای از یک چین خوردگی وابسته به گسل (فروار دزفول) (Sepehr, & Cosgrove, 2004)



شکل ۱۹- گسل دیده شده در زون گسلی شوستر



شکل ۲۴- توالی چین خوردگی های جناغی در طول مسیر رودخانه (ساختگاه سد بختیاری، زاگرس چین خورده)



شکل ۲۳- کج شدگی لایه ها در مسیر رودخانه (ساختگاه سد بختیاری، زاگرس چین خورده)

جدول ۱- تعریف پارامترهای ریخت سنجی

توضیحات	فرمول	پارامترهای مورفومتریک
مجموع طول تمامی آبراهه ها در هر حوضه	$L = \sum Ni$	Cumulative length of streams (L)
تعداد آبراهه هر رده به آبراهه رده پس از خود	$BR = Ni / (Ni + 1)$	Bifurcation ratio (BR)
فاصله عمودی بین بالاترین و پایین ترین نقطه	$Bh = h_{max} - h_{min}$	Basin Relief (Bh)
مجموع طول آبراهه ها در هر واحد مساحت	$DD = L / A$	Drainage Density (DD)
حاصل ضرب تراکم و برجستگی حوضه	$Rn = Bh * Dd$	Ruggedness number (Rn)
مجموع تعداد آبراهه ها در هر واحد مساحت	$Fu = N / A$	Stream frequency (Fu)
رابطه بین مساحت و مربع طول حوضه	$FF = A / L^2$	Form Factor (FF)
رابطه بین طول آبراهه اصلی و فاصله تا مرکز گرانش حوضه	$LI = (L * L_{ca})^{0.3}$	Shape Factor (LI)
رابطه بین انحنای و طول مستقیم آبراهه	$SI = La / Ls$	Sinuosity (SI)
رابطه بین قطر دایره های هم مساحت حوضه و بیشترین طول حوضه	$Re = (2 / L_m) * (A / \pi)^{0.5}$	Elongation ratio (Re)

جدول ۲- پارامترهای ریخت سنجی محاسبه شده برای حوضه ها

Sub basin	Total length	BR	Bh	DD	Rn	Fu	FF	LI	Re
1	79.3596233	1.73888889	660	1.20571228	795.77010632	1.20024852	.32	.56298174	2.91
2	29.9942348	3.10000000	345	1.18698319	409.50919961	1.38507989	.34	.58324145	1.87
3	31.0351928	1.72962963	367	1.16498474	427.54940009	1.57657661	.33	.57799827	1.90
4	242.4590780	1.79974260	1935	1.24072097	2400.79508598	1.15649594	.38	.61867769	5.51
5	155.1359340	5.82106863	1921	1.14830533	2205.89453271	1.39896477	.23	.47733455	3.53
6	43.1655386	2.35714286	1679	1.10533776	1855.86210247	1.04988492	.34	.58500656	2.33
7	50.1990615	1.90000000	1559	1.30167414	2029.30998726	1.32244268	.37	.60629485	2.40
8	204.0166170	1.85855119	2032	1.22561650	2490.45272736	1.51387354	.16	.40557150	3.33
9	221.6108130	1.68286648	1936	1.19938739	2322.01398524	1.44503975	.29	.53543982	4.64
10	90.5418966	4.58081502	1855	1.26575378	2347.97326568	1.62165190	.18	.42708194	2.30
11	183.2238520	4.62452354	2140	1.22726299	2626.34280849	1.53387904	.31	.55680213	4.33

Sub basin	Total length	BR	Bh	DD	Rn	Fu	FF	LI	Re
12	86.5048979	1.65129870	1604	1.34372368	2155.33278349	1.41354834	.35	.59342035	3.03
13	51.6582503	1.79653680	1753	1.20102223	2105.39196966	1.34846397	.36	.59978267	2.51
14	28.5125441	1.80000000	1569	1.02546141	1608.94895374	1.11492344	.26	.50929600	1.71
15	65.3198512	2.28362573	1505	1.17943337	1775.04721989	1.37227710	.41	.63718444	3.02
16	90.5758617	1.74259259	1287	1.18690265	1527.54371154	1.20556450	.29	.53998597	3.00
17	126.3153850	4.93297101	1327	1.12919011	1498.43527964	1.18894690	.32	.56605472	3.81
18	83.8015206	1.69870130	1631	1.14441209	1866.53611887	1.27002856	.25	.49907008	2.72
19	16.9495385	2.27777778	1034	1.43182702	1480.50913369	1.60504153	.36	.59616243	1.31
20	130.8626480	3.89629966	1424	1.14988487	1637.43605504	1.35319186	.41	.63646566	4.32
21	22.8915190	1.88888889	1022	1.10486166	1129.16861659	1.39968816	.42	.64443898	1.87
22	96.8987888	2.22390572	1764	1.11470940	1966.34738919	1.33444693	.33	.57445120	3.41
23	39.3688540	2.48148148	1553	1.23376593	1916.03848484	1.47291558	.36	.59935561	2.16
24	130.5915450	1.74837902	1784	1.38228972	2466.00486065	1.15374682	.32	.56228428	3.48
25	30.9022634	3.30555556	2223	1.28267205	2851.37996019	.95466978	.16	.39998716	1.25
26	75.8452779	1.78357753	1891	1.10522802	2089.98618668	1.15119907	.16	.39689696	2.09
27	78.3898087	1.69615385	1964	1.05783216	2077.58237145	.85015422	.25	.49645748	2.72
28	147.3987320	2.72652821	1862	1.20901180	2251.17997677	1.00888556	.44	.66642593	4.69
29	129.1145040	3.06696429	869	1.36221736	1183.76688867	.69633034	.28	.52632933	3.26
30	72.5274848	1.96025641	985	1.05656199	1040.71356196	.80122604	.24	.49487402	2.61
31	86.8696688	1.82556333	1029	1.21897190	1254.32208214	.85596373	.23	.47880558	2.57
32	108.6386100	2.32892416	853	1.30905823	1116.62667149	1.02422104	.25	.49717936	2.88
33	76.9705092	4.03598485	945	1.16390783	1099.89289944	1.14923230	.18	.42765858	2.22
34	64.7661739	2.01481481	742	1.17969235	875.33172438	1.18395141	.20	.45171082	2.13
35	99.3076897	2.83333333	615	1.39669729	858.96883083	.80166748	.33	.57806411	3.10
36	151.2662440	1.86805556	1317	1.12945859	1487.49696643	1.05280370	.19	.43238772	3.19
37	31.9424687	4.20000000	669	1.13923190	762.14614350	1.28394423	.25	.49683451	1.68
38	115.8231760	1.36234568	874	1.07417338	938.82753594	1.02016778	.27	.52332991	3.46
39	53.3815574	2.93611111	888	1.19828767	1064.07945449	1.18972263	.46	.67840749	2.88
40	116.8050130	1.44401154	1417	1.00504402	1424.14737172	1.07555745	.42	.64722852	4.44
41	70.9314564	1.77368421	1880	1.07121813	2013.89008311	1.02694681	.45	.67426571	3.49
42	47.2372278	2.71031746	700	1.17609989	823.26992566	1.26978439	.46	.67555814	2.73
43	91.9546082	1.85873016	1081	1.13747914	1229.61495420	1.26174071	.27	.51628070	2.96
44	137.4360220	1.58364681	709	1.11800139	792.66298492	.98429921	.40	.63580701	4.49
45	86.6688723	2.29769231	784	1.29901719	1018.42947431	1.25901539	.41	.64171542	3.34
46	38.9931879	1.87962963	799	1.16354502	929.67246939	.95487039	.28	.52762243	1.95
47	118.3204620	2.12962963	1348	1.12196340	1512.40666888	1.02410053	.21	.45520402	2.98
48	204.7655230	2.22803030	1452	1.34108995	1947.26260658	.93001385	.34	.58213726	4.58
49	196.7281580	2.55359033	1433	1.22434978	1754.49322828	1.17002955	.40	.63557930	5.13
50	126.3359690	1.82131661	597	1.09992318	656.65413993	.89675243	.54	.73481921	5.02
51	132.3075010	3.60149573	720	1.27167638	915.60699058	.95154062	.43	.65348217	4.25
52	114.5305140	2.07543573	614	1.27694118	784.04188628	1.15953276	.49	.69794676	4.21

Sub basin	Total length	BR	Bh	DD	Rn	Fu	FF	LI	Re
53	57.9135395	1.99166667	727	1.34939032	981.00676398	1.35140486	.30	.55161016	2.30
54	300.2832510	1.73976881	2639	1.24341975	3281.38471650	.91512185	.39	.62322533	6.17
55	179.2825940	1.95457516	1038	1.12335198	1166.03935025	1.03385985	.29	.53542322	4.31
56	102.1613520	1.88879552	701	1.06587619	747.17920581	.87639404	.24	.49321046	3.08
57	50.7915636	4.13468013	622	.93430904	581.14022545	.82777343	.27	.51919513	2.44
58	125.4269180	4.06376344	2071	1.09824774	2274.47106033	1.03321707	.30	.54654711	3.72
59	43.5699487	1.81452991	2073	1.04159073	2159.21758020	1.19530865	.42	.64754736	2.67
60	33.8995959	1.73333333	2367	1.16329157	2753.51114708	1.20105281	.20	.45156628	1.55
61	90.6087225	2.09558824	1721	1.11973351	1927.06137018	1.17400048	.25	.50125527	2.87
62	356.7848330	#####	3029	1.08537741	3287.60817547	1.26855835	.19	.44124721	5.10
63	65.6079416	2.62888199	1364	.97446411	1329.16904159	1.02484580	.37	.60639982	3.17
64	169.9256240	1.76354016	2070	1.08982220	2255.93195136	1.30835905	.24	.49421440	3.93
65	63.9639760	2.44704433	1716	1.22308607	2098.81569931	1.54884011	.42	.64758368	2.98
66	106.7959860	5.71269841	1835	1.20472914	2210.67796445	1.36495978	.25	.50234066	3.01
67	78.3755755	2.57282913	2154	1.03833325	2236.56981465	1.31156921	.34	.58387746	3.23
68	102.5510570	1.83562290	1985	.94614070	1878.08929702	1.04254313	.39	.62129996	4.12
69	32.8726828	2.27083333	1958	1.12620875	2205.11672752	1.23334974	.34	.58624804	2.02
70	159.8168720	1.75064499	2089	1.14361906	2389.02021289	1.28088986	.16	.40111805	3.02
71	153.0427720	3.30562457	1737	1.42021087	2466.90628854	1.41053413	.48	.69629282	4.60
72	46.5165011	1.90277778	1431	1.22178097	1748.36857381	1.26074587	.31	.55663633	2.19
73	75.2597802	3.37444444	1844	1.16309642	2144.74980770	1.57635107	.51	.71681359	3.67
74	45.2007613	1.81428571	1886	1.03000553	1942.59042036	1.32166624	.45	.67438533	2.85
75	38.8576079	1.74553571	1932	1.17473724	2269.59235072	1.60228787	.42	.64704395	2.37
76	154.3193180	2.39696970	2064	1.15459042	2383.07462515	1.34672884	.28	.53173546	3.92
77	182.9824330	2.61882716	2279	1.19275720	2718.29365251	.95820842	.37	.61093268	4.82
78	223.0187390	1.70811306	2010	.94020521	1889.81247363	1.10454290	.42	.65091571	6.39
79	107.8063660	2.82156863	1596	.60387908	963.79100739	.32488792	.35	.59112161	5.03
80	60.9250798	1.72980769	2022	1.17146943	2368.71118625	1.03831377	.31	.56057463	2.57
81	154.3014340	1.91718886	2011	1.36663749	2748.30798377	1.33739691	.37	.60875742	4.12
82	86.3326982	1.74064171	1057	1.37529166	1453.68328922	1.54522324	.32	.56353025	2.84
83	108.3589330	1.76261373	561	1.35639233	760.93609711	1.43952246	.41	.63797044	3.63
84	47.6559808	2.34285714	596	1.42629205	850.07005933	1.16722789	.37	.61044853	2.25

کتابنگاری

علیزاده، ا.، ۱۳۸۲- اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ ۱۶، دانشگاه امام رضا (ع)، صفحات ۴۳۹-۴۹۱.

References

- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- "Towards the paleogeography and tectonic evolution of Iran", Canadian Journal of the Earth Sciences, 18, 210-265.
- Berberian, M., 1995- "Master 'blind' thrust faults hidden under the Zagros folds: Active basement tectonics and surface morph tectonics", Tectonophysics, 241, 193-224.
- Burbank Douglas, W. & Anderson, Robert S., 2001- "Tectonic Geomorphology", Department of Geosciences, The Pennsylvania State University, 80-198.

- Colman-Sadd, S. P., 1978- "Fold development in Zagros Simply Folded Belt, southwest, Iran", *Bulletin American Association of Petroleum Geologist*, 62, 984-1003.
- Falcon, N. L., 1969- "Problems of relationship between surface structure and deep displacements illustrated by the Zagros Range", *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 3: 9-22
- Horton, R. E., 1945- "Erosional development of streams and their drainage basins: approach to quantitative morphology", *Bull. Geol. Soc. Am.* 56, p.75 –270.
- Jordan, G., Meijninger, B. M. L., Van Hinsbergen, D. J. J., Meulenkamp, J. E. & Van Dijk, P. M., 2005- "Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas In Hungary and NW Greece", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (65), p.301–319.
- Jordan, G., 2003- "Morphometric analysis and tectonic interpretation of digital terrain data: a case study", *Earth Surf. Process. Landforms* 28, p. 807–822.
- Keller, E. A. & Pinter, N., 2002- "Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape", Prentice Hall, New Jersey.
- Morisawa, M. & Hack, J. T., 1985- "Tectonic Geomorphology", Boston: Allen & Unwin, p.390.
- Obi Reddy, G. P., Maji, A. K. & Gajbhiye, K. S., 2004- "Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India – a remote sensing and GIS approach", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 6, p. 1–16.
- Rangzan, K., 1993- "Structure and Tectonics of Zagros Structural Belt, Iran", Unpublished PhD. Thesis, Aligar Muslim University, India.
- Savindra Singh, 1998- *Geomorphology*, Department of Geology, University of Allahabad INDIA, Printed at Artiorinters Sarvodaya Nagar, Allahpur, p.330-353.
- Sepehr, M. & Cosgrove, J. W., 2004- "Structural framework of the Zagros Fold–Thrust Belt, Iran", *Marine and Petroleum Geology*, 21, 829–843.
- Strahler, A. N., 1964- "Quantitative geomorphology of basins and channel networks", In: Chow, V.T. (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw Hill Book Company, New York, p.62-79.
- Talebian, M. & Jackson, J., 2002- "Offset on Main recent fault of NW Iran and implication for the late Cenozoic tectonics of the Arabia–Eurasia collision zone", *Geophysical Journal International*, 150(2), 422–439.
- Verrios, S., Zygouri, V. & Kokkalas, S., 2004- "Morphotectonic analysis in the Eliki fault zone (Gulf of Corinth, Greece)", *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol. XXXVI, p: 1706-1715.