

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۱۳، زمستان ۱۳۹۳

وصول مقاله: ۱۳۹۲/۶/۲۴

تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۲/۶

صفحات: ۱۵۲ - ۱۴۱

تفسیر مورفوتکتونیک حوضه سولوکلو (خراسان شمالی) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی

مریم عزتی^۱، دکتر مریم آق آتابای^۲

چکیده

با شناسایی اثر فعالیت‌های تکتونیک بر روی سیستم‌های رودخانه‌ای، به ارزش رودخانه‌ها در مطالعه فعالیت‌های تکتونیک پی‌برده شده است. مطالعه کانال‌های رودخانه‌ای و نهشته‌های جابه‌جا شده آن‌ها بوسیله گسلش زمان زمین‌لرزه، مقدار جابجایی توسط گسل، به همراه اطلاعات ویژه که در ارزیابی خطرات، زلزله آینده را آشکار می‌کند. منطقه مورد مطالعه در کپه‌داغ مرکزی (خراسان شمالی) و شمال غربی بجنورد قرار دارد. گسل‌های کپه‌داغ، عامل رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ تاریخی بوده‌اند و نشان‌دهنده خطر لرزه‌خیزی در منطقه پرجمعیت شمال شرق ایران می‌باشند. در این پژوهش برای بررسی مورفوتکتونیک حوضه سولوکلو، برخی از شاخص‌های ژئومورفیک شامل فاکتور عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، فاکتور تقارن توپوگرافی معکوس (T)، طول - شیب رودخانه (SL)، منحنی هیپسومتر (Hc) و انتگرال هیپسومتری (Hi) محاسبه گردید. شکستگی‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از باندهای سبزر، قرمز و مادون قرمز نزدیک مربوط به تصویر Aster استخراج گردید. هدف از این پژوهش شناسایی مناطق فعال تکتونیک و پرخطر لرزه‌ای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی می‌باشد. محاسبه شاخص‌های مختلف نشان‌دهنده فعالیت تکتونیک در منطقه مورد مطالعه می‌باشد، کمترین فعالیت مربوط به قسمت شمالی و بیشترین فعالیت مربوط به قسمت جنوبی حوضه سولوکلو است. محاسبه شاخص‌های مختلف، نشان می‌دهد که مناسب‌ترین مکان برای ساختمان‌سازی و توسعه شهری، قسمت بالایی حوضه و نامناسب‌ترین منطقه برای شهر سازی قسمت انتهایی حوضه می‌باشد.

کلید واژگان: مورفوتکتونیک، حوضه زهکشی، شاخص‌های ژئومورفیک، خراسان شمالی

مقدمه

شاخص‌های ژئومورفیکی برای مطالعه زمین‌ساختی مفید می‌باشند و از این شاخص‌ها برای ارزیابی سریع فعالیت تکتونیکی در یک ناحیه خاص استفاده می‌شود (Keller and Pinter, 2002: 121). مطالعه ارتباط بین کانال‌های رودخانه‌ای و فعالیت تکتونیکی در حال پیشرفت می‌باشد. مدل‌های ارتفاع عددی (DEM) و تنوع تصاویر ماهواره‌ای، باعث شناخت بیشتر از الگوهای رودخانه‌ای شده‌است. با شناسایی اثر فعالیت‌های تکتونیکی بر روی سیستم‌های رودخانه‌ای به ارزش رودخانه‌ها در مطالعه فعالیت‌های تکتونیکی پی‌برده شده‌است؛ بنابراین برای درک بهتر از میزان فعالیت تکتونیکی منطقه می‌توان ژئومورفولوژی رودخانه و تکتونیک را با هم ادغام نمود (Keller & Pinter, 2002: 185). در سال‌های اخیر تکتونیک ژئومورفولوژی یکی از ابزارهای عمده، اساسی و مؤثر در شناسایی مناطق فعال تکتونیکی و همچنین تهیه نقشه‌های خطر لرزه‌ای بوده‌است (Keller and Pinter, 2002: 50). در این پژوهش برای شناسایی مناطق فعال تکتونیکی و پرخطر لرزه‌ای از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی استفاده شده‌است. سؤالی که در این پژوهش مطرح است، این است که آیا با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیکی می‌توان مناطق پرخطر لرزه‌ای را شناسایی کرد؟

سرزمین ایران در بخش میانی کمربند آلپ-همیالیا قرار دارد، این کمربند از مغرب اروپا به طرف ترکیه و ایران کشیده شده‌است و تا همیالیا و از آنجا تا سواحل اقیانوس آرام ادامه می‌یابد. ایران بین دو پوسته‌ی قاره‌ای قدیمی یکی عربستان در جنوب غربی و دیگری توران در شمال شرقی، فشرده شده‌است (درویش‌زاده، ۱۳۸۵: ۴۷).

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق ایران و کپه‌داغ مرکزی قرار دارد. کپه‌داغ از برخورد پلیت ایران با اوراسیا بوجود آمده‌است و از چین‌ها و گسل‌های با روند شمال غرب-جنوب شرق تشکیل شده‌است.

کپه‌داغ مرکزی محل برخورد گسل‌های موجود در غرب و شرق کپه‌داغ است که از گسل‌های امتداد لغز راست‌گرد با روند شمال غرب-جنوب شرق و تعدادی گسل تراستی تشکیل شده‌است. گسل‌های این ناحیه باعث به هم ریختگی زمین‌شناسی منطقه گردیده‌است، این گسل‌ها عامل رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگی بوده‌اند و نشان‌دهنده خطر لرزه‌خیزی در منطقه پرجمعیت شمال شرق ایران می‌باشند. بیشترین تعداد زمین‌لرزه‌های بزرگ کپه‌داغ مربوط به قسمت مرکزی آن است (Hollingsworth et al., 2006: 1161). تحقیقات مورفوتکتونیکی نشان می‌دهند که عناصر ساختاری (چین‌ها و گسل‌ها) عامل اصلی کنترل‌کننده ژئومورفولوژی ناحیه هستند

(Ramazani Oomali et al., 2008: 313)

در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در ارتباط با کاربرد شاخص‌های ژئومورفولوژیکی برای ارزیابی نوزمین‌ساخت مناطق مختلف دنیا و ایران صورت گرفته‌است. سیلوا و همکاران (۲۰۰۳) پیدایش گسل پیشانی کوهستان در جنوب شرق اسپانیا: ارزیابی ژئومورفولوژیکی فعالیت‌های تکتونیکی و زمین‌لرزه‌ای را انجام دادند (Silva et al., 2003). در سال ۲۰۰۴ وریور و همکاران ریخت‌زمین‌ساخت گسل‌های را مورد بررسی قرار دادند (Verrier et al., 2004).

فورتس و همکاران (۲۰۰۵) نوزمین‌ساخت و تغییرشکل کانال رودخانه پایین‌آب‌ها: شاخه‌ی سمت راست رودخانه پرانای بالایی، برزیل را مورد بررسی قرار دادند (Fortes et al., 2005). در سال ۲۰۰۶ آریسکو و همکاران نوزمین‌ساخت و ریخت‌زمین‌ساخت شمال سیسیلی را مورد بررسی قرار دادند (Arisco et al., 2006). کریستفر و ایدو (۲۰۱۰)، آنالیز هیدرولوژیکی انیتشا، شمال شرق حوضه زهکشی را با استفاده از تکنیک‌های ژئواینفرماتیک انجام دادند (et al., 2010). Christopher.

مطالعات دستگاهی نشان می‌دهد که گسل‌های منطقه مورد مطالعه فعال می‌باشند (جدول ۱). مدل رقومی ارتفاع (DEM) از منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین ارتفاع در بخش ابتدایی حوضه اصلی (بالارود) و کمترین ارتفاع مربوط به قسمت انتهایی حوضه اصلی (پایین‌رود) است. چین‌های حوضه سولوکلو باعث بالآمدگی منطقه و کج‌شدگی آبراهه‌های منطقه به سمت جنوب شرق و شمال غرب گردیده‌اند (شکل ۲). نقشه شیب (بر حسب درجه) در منطقه مورد مطالعه، نشان می‌دهد که بیشترین شیب مربوط به ارتفاعات و کمترین شیب مربوط به مناطق پست‌تر می‌باشد (شکل ۳).

در این تحقیق گسل‌ها و شکستگی‌ها، با استفاده از تصویر ASTER محدوده امواج VNIR شامل باندهای سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک ۱۵ متر، فیلترهای بارزسازی لبه، فیلترهای جهت‌دار 45° ، 90° ، 135° ، 180° و نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه استخراج شد. برای شناسایی گسل‌ها از روش‌های بصری شامل قطع‌شدگی ناگهانی واحدها، جابجایی واحدها، ساختارها و تغییر مسیر آبراهه‌ها استفاده گردید (شکل ۴). در این تحقیق برای راستی‌آزمایی گسل‌های استخراج شده از اطلاعات ثبت شده توسط دستگاه‌های لرزه‌نگار استفاده گردید (جدول ۱). گسل‌های منطقه مورد مطالعه از روند گسل‌های کپه‌داغ مرکزی تبعیت می‌کنند و دارای روند شمال غرب- جنوب شرق می‌باشند (شکل ۵). در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک مختلف شامل: عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، فاکتور تقارن توپوگرافی معکوس (T)، انتگرال هیپسومتریک (Hi)، طول- شیب رودخانه (SL)، خصوصیات مورفوتکتونیک حوضه سولوکلو مورد بررسی قرار گرفت.

تفسیر مورفوتکتونیک حوضه سولوکلو (خراسان شمالی) با استفاده از ...

ده‌بزرگی و همکاران (۲۰۱۰) به تجزیه و تحلیل کمی فعالیت‌های نسبی تکتونیک در ناحیه سروستان، زاگرس مرکزی پرداختند (Dehbozorgi et al., 2010). خادمی (۱۳۸۷) پژوهشی در رابطه با محاسبه و تفسیر برخی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی پیرامون گسل ترود، جنوب دامغان انجام داد. در سال ۱۳۸۴ رادفر و پورکرمانی ریخت‌زمین‌ساخت گسل کوهبنان را مورد بررسی قرار دادند. گورابی و نوحه‌گر در سال ۱۳۸۴ پژوهشی در رابطه با بررسی فعالیت تکتونیک حوضه آبخیز در که انجام دادند. در سال ۱۳۸۵ وحدتی‌دانشمند و قاسمی، نوزمین‌ساخت سپیدرود و دشت گیلان را بررسی کردند. در سال ۱۳۹۰ احمدی و همکاران، پهنه‌بندی تکتونیک با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی در منطقه لالی‌گنوند- استان خوزستان را انجام دادند. در سال ۱۳۹۱ اسماعیلی و همکاران اثرات مورفوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه واز؛ البرز شمالی، استان مازندران را بررسی کردند. در سال ۱۳۹۱، قائمی و همکاران نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال گسل کارده (شمال مشهد) را مورد بررسی قرار دادند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در کپه‌داغ مرکزی، خراسان شمالی و شمال‌غربی بجنورد قرار دارد و دارای طول‌های $57^\circ 14'$ و $57^\circ 23'$ شرقی و عرض‌های $37^\circ 39'$ تا $37^\circ 45'$ شمالی است. منطقه مورد مطالعه (حوضه سولوکلو) دارای سه روستای سولوکلو، شاه اجاقی و قلعه‌طاق می‌باشد و جمعیت این روستاها به ترتیب ۱۱۹۲، ۵۸۴، ۲۱۶ می‌باشد که بیشترین تراکم جمعیت مربوط به روستای سولوکلو است. حوضه سولوکلو از لحاظ سنگ‌شناسی، از آهک اوربیتولین‌دار (سازند تیرگان) و مارن اوربیتولین‌دار (سازند سرچشمه) تشکیل شده‌است (شکل ۱).

زهکشی است. در پایین‌ترین نقطه از حوضه زهکشی به دلیل صفر بودن h ، $y=h/H=0$ است ولی در بالاترین نقطه از حوضه زهکشی $h/H=1$ است. A مساحت کل حوضه زهکشی است، a مساحت از یک خط کانتوری خاص تا بلندترین نقطه‌ی آن حوضه می‌باشد. مقادیر بالای انتگرال هیپسومتری (بالاتر از ۰.۵) دلالت بر وجود پستی و بلندی و توپوگرافی بالا می‌باشد. مقادیر حدواسط تا کم انتگرال هیپسومتری حاکمی از برش شبکه زهکشی در یک سطح هموارتر و با فعالیت تکتونیکی کمتر می‌باشد

(Keller and Pinter, 2002: 124).

شاخص طول - شیب رودخانه (SL):^۴

شاخص طول - شیب رودخانه (SL) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \quad (3)$$

$\Delta H / \Delta L$ شیب محلی رودخانه بین دو خط کانتوری خاص است (ΔH) تغییرات ارتفاع بین دو نقطه‌ی اندازه-گیری شده و ΔL تغییرات طول بین دو نقطه‌ی اندازه-گیری شده) و L طول کل کانال رودخانه از نقطه‌ای که در آن شاخص محاسبه می‌شود به سمت بالا رود تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است. شاخص طول - شیب رودخانه به تغییرات شیب رودخانه حساس می‌باشد. شاخص SL به مقاومت سنگ حساس می‌باشد، زیرا سنگ‌های مقاوم یک کانال شیب‌دار ایجاد می‌کنند. وقتی که رودخانه از سنگ‌های نسبتاً سخت عبور می‌کند شاخص SL افزایش پیدا می‌یابد، در صورتی که وقتی گسل از سنگ‌های سست عبور می‌کند تغییر قابل توجهی در میزان SL روی نمی‌دهد. یک ناحیه با شاخص SL بالا، روی سنگ‌های نرم و سست ممکن است که بیانگر فعالیت تکتونیکی اخیر باشد (Keller and Pinter, 1996, 129-130). در این مطالعه شاخص‌های

عدم تقارن حوضه زهکشی (AF):^۱

فاکتور عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$AF = 100(Ar/At) \quad (1)$$

(Ar) مساحت قسمت راست حوضه زهکشی (دید از بالا رود) و (At) مساحت کل حوضه زهکشی است. شاخص AF روشی برای تعیین کج‌شدگی تکتونیکی در مقیاس حوضه زهکشی می‌باشد. برای یک رودخانه که در محیط پایدار تکتونیکی شکل گرفته و اکنون در محیط پایدار در جریان است، AF باید در حدود ۵۰ باشد که نشان دهنده حوضه زهکشی کاملاً متقارن است. مقدار کمتر یا بیشتر از ۵۰، نشان دهنده عدم تقارن در حوضه زهکشی است

(Keller and Pinter, 1996: 126).

فاکتور تقارن توپوگرافی معکوس (T):^۲

شاخص فاکتور تقارن توپوگرافی معکوس T از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T = Da/Dd \quad (2)$$

Da فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا خط میانی کمربند مآندری و Dd فاصله میان خط میانی حوضه زهکشی تا خط تقسیم حوضه زهکشی می‌باشد، برای یک حوضه کاملاً متقارن $T=0$ است و اگر عدم تقارن افزایش پیدا کند T افزایش پیدا می‌کند و به مقدار عددی ۱ نزدیک می‌شود. مقدار T برای بخش‌های مختلف دره‌ها محاسبه می‌شود، شاخص T مهاجرت ترجیحی رودخانه‌ها عمود بر محور حوضه زهکشی را نشان می‌دهد. تجزیه آماری شاخص T برای ارزیابی جهت مهاجرت رودخانه استفاده می‌شود (Keller and Pinter, 1996: 128).

منحنی هیپسومتری (Hc) و انتگرال هیپسومتری (Hi):^۳ منحنی هیپسومتری با به‌دست آوردن نسبت‌های a/A و h/H رسم می‌شود که $y=h/H$ و $x=a/A$ است. h ارتفاع یک سطح کانتوری خاص و H ارتفاع کل حوضه

4. Stream Length-gradient Index

1. Drainage Basin Asymmetry
2. Transverse Topographic Symmetry Factor
3. Hypsometric Curve & Hypsometric Integral

روند شمال شرق - جنوب غرب سبب کج شدگی آبراهه‌ی اصلی به سمت شمال غرب (زیرحوضه ۲) و جنوب شرق (زیرحوضه ۱) گردیده است، همچنین در محلی که تراکم چین‌های منطقه بیشتر است نیز شاهد بالآمدگی و کج-شدگی بیشتر آبراهه‌ی اصلی در سمت مخالف چین‌های منطقه می‌باشیم.

شاخص منحنی هیپسومتری (Hc) و انتگرال هیپسومتری (Hi) در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید، مقدار شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi) در حوضه مورد مطالعه ۰.۸۵ می‌باشد (شکل ۹). از آن جا که مقدار شاخص انتگرال هیپسومتری بیشتر از ۰.۵ می‌باشد نشان‌دهنده مرحله‌ی جوانی منطقه مورد مطالعه می‌باشد و نشان‌دهنده بیشتر بودن نرخ بالآمدگی نسبت به نرخ فرسایش در این حوضه می‌باشد، و این خود حاکی از فعالیت تکتونیکی منطقه مورد مطالعه است.

محاسبه‌ی شاخص SL در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که مقدار شاخص SL در زیر حوضه شماره‌ی ۱ بیشتر از زیرحوضه شماره‌ی ۲ می‌باشد (جدول ۵). مقدار شاخص SL در حوضه سولوکلو بین ۱۵۸ تا ۲۹۷۶ متغیر است. بیشترین مقدار شاخص SL مربوط به قسمت انتهایی حوضه اصلی (بخش جنوبی حوضه سولوکلو) می‌باشد (شکل ۱۰)، دلیل افزایش شاخص SL در قسمت انتهایی حوضه سولوکلو تراکم گسل‌ها در این ناحیه می‌باشد. همان‌گونه که در پروفیل طولی رودخانه اصلی (شکل ۱۱) مشاهده می‌گردد تراکم گسل‌ها در انتهایی-ترین قسمت حوضه اصلی سبب ایجاد پرتگاه و افزایش شاخص SL در این نواحی گردیده است، افزایش ناگهانی شاخص SL در قسمت انتهایی حوضه اصلی (بخش جنوبی حوضه سولوکلو) خود حاکی از افزایش ناگهانی شیب (در جهت عمود بر امتداد کلی رودخانه) تحت تاثیر گسل‌های منطقه می‌باشد. در قسمت شمالی تر حوضه اصلی اغلب شاهد کاهش شاخص طول - شیب رودخانه (SL) می‌باشیم اما به صورت جزئی در بعضی نقاط

تفسیر مورفوتکتونیکی حوضه سولوکلو (خراسان شمالی) با استفاده از ... مختلف بر اساس روش (El Hamdouni et al., 2008) رده‌بندی گردید (جدول ۲).

بحث

در این پژوهش با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ آبراهه‌ها و مرز حوضه مورد مطالعه مشخص گردید (شکل ۶). برای ارزیابی میزان فعالیت تکتونیکی در منطقه مورد مطالعه شاخص‌های مختلف شامل عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، فاکتور تقارن توپوگرافی معکوس (T)، طول - شیب رودخانه (SL)، انتگرال هیپسومتریک (Hi) و منحنی هیپسومتریک (Hc) محاسبه شد.

محاسبه‌ی شاخص AF در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در زیرحوضه شماره‌ی ۱، $AF=۸۱$ و $|AF-۵۰|=۳۱$ می‌باشد و در زیرحوضه شماره‌ی ۲، $AF=۲۵$ و $|AF-۵۰|=۲۵$ می‌باشد (جدول ۳). تقسیم‌بندی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی نشان-می‌دهد که زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه در رده-ی ۱ قرار می‌گیرند. اندازه‌گیری شاخص AF نشان‌دهنده کج‌شدگی زیرحوضه شماره‌ی ۱ تحت تاثیر چین واقع در قسمت غربی این زیرحوضه می‌باشد، همچنین چین موجود در قسمت جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه سبب کج‌شدگی زیرحوضه شماره‌ی ۲ به سمت شمال-غربی گردیده است. محاسبه‌ی این شاخص نشان می‌دهد که میزان کج‌شدگی در زیرحوضه شماره‌ی ۱ بیشتر از زیرحوضه شماره‌ی ۲ می‌باشد (شکل ۷).

ارزیابی شاخص فاکتور تقارن توپوگرافی معکوس (T) در زیرحوضه رودخانه اترک نشان‌دهنده کج‌شدگی بیشتر آبراهه‌ی رده‌ی ۳ می‌باشد و میزان شاخص T در زیرحوضه شماره‌ی ۱ بیشتر از زیرحوضه شماره‌ی ۲ می‌باشد (جدول ۴). آبراهه‌ی اصلی در زیرحوضه شماره-ی ۱ تحت تاثیر چین موجود در منطقه به سمت جنوب شرق کج شده است (شکل ۸)، همان‌گونه که در نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه مشاهده می‌گردد وجود چین‌های با

محاسبه شاخص منحنی هیپسومتری (Hc) و انتگرال هیپسومتری (Hi) نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه در مرحله جوانی به سر می‌برد و در این حوضه نرخ بالآمدگی بیشتر از نرخ فرسایش می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که زیرحوضه شماره ۱ فعال‌تر از زیرحوضه شماره ۲ می‌باشد. محاسبه شاخص‌های مختلف نشان‌دهنده کمترین فعالیت تکتونیکی در قسمت ابتدایی و بیشترین فعالیت تکتونیکی در قسمت انتهایی (جنوبی) حوضه اصلی می‌باشد. محاسبه شاخص‌های مورفومتریک نشان می‌دهد که قسمت انتهایی (جنوبی) حوضه اصلی به دلیل تراکم بیشتر گسل‌ها، مستعدترین منطقه برای وقوع زمین‌لرزه است و قسمت شمالی حوضه اصلی، کم‌خطرترین و مناسب‌ترین منطقه برای ساخت و ساز و توسعه شهری است.

شاخص SL افزایش یافته است که افزایش شاخص SL در قسمت‌های شمالی حوضه سولوکلو را می‌توان به سنگ‌شناسی مقاوم این ناحیه منطقه نسبت داد.

نتیجه‌گیری

با استفاده از مطالعات مورفوتکتونیکی می‌توان میزان فعالیت منطقه مورد مطالعه را تعیین نمود و مناطق فعال تکتونیکی را شناسایی کرد. در این پژوهش شاخص‌های مختلف شامل: عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، فاکتور تقارن توپوگرافی معکوس (T)، طول-شیب رودخانه (SL)، منحنی هیپسومتری (Hc) و انتگرال هیپسومتری (Hi) برای بررسی مقدار فعالیت تکتونیکی منطقه مورد محاسبه گردید. اندازه‌گیری شاخص AF نشان‌دهنده کج‌شدگی زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر چین‌های منطقه می‌باشد. افزایش شاخص AF در منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر چین‌های منطقه است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در مناطقی که شاخص AF افزایش یافته است شاهد بالآمدگی تکتونیکی و فعالیت تکتونیکی بیشتر هستیم. مطالعات انجام شده توسط (et al. 2010) Dehbozorgi نشان می‌دهد که نامتقارنی زیاد حوضه وابسته به فعالیت تکتونیکی می‌باشد. محاسبه شاخص T نشان می‌دهد که بیشترین کج‌شدگی مربوط به آبراهه رده ۳ می‌باشد. مطالعات (Kavari, et al. 2009) نشان داد که شاخص T در حوضه زهکشی یک جهت خاص را نشان نمی‌دهد. محاسبه شاخص طول-شیب رودخانه (SL) نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت تکتونیکی مربوط به قسمت انتهایی حوضه سولوکلو می‌باشد که دلیل آن تراکم گسل‌ها در قسمت انتهایی (جنوبی) حوضه اصلی است. محاسبه شاخص SL توسط (Verrior et al. , 2004) نشان می‌دهد که قسمت‌های مختلف یک گسل فعالیت تکتونیکی متفاوت نشان می‌دهند.

جدول ۱: مهم ترین زمین لرزه های منطقه مورد مطالعه اطلاعات ثبت شده توسط دستگاه
برگرفته از (McKenzie 1972; Jackson et al. 2002).

تاریخ	زمان	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بزرگی	عمق	امتداد	شیب	ریک
۱۹۹۷.۰۲.۰۴	۰۹:۵۳:۵۸.۶۷	۳۷.۴۰	۵۷.۱۶	۵.۴	۱۳	۳۳۸	۶۷	۱۵۰
۱۹۹۷.۰۲.۰۴	۱۰:۳۷:۲۳.۱۴	۳۷.۴۳	۵۷.۱۹	۶.۴	۸	۳۲۶	۷۵	۱۷۳

جدول ۲: رده بندی شاخص های مورفوتری

رده	Af	Hi	SL
۱	$ Af-50 > 15$	۰.۵۵-۱	$(SL) \geq 500$
۲	$-50 \leq Af-50 \leq 15$	۰.۴۵-۰.۵۵	$(SL) 300 \leq (SL) < 500$
۳	$ Af-50 < 7$	۰-۰.۴۵	$(SL) < 300$

منبع: (El Hamdouni et al., 2008)

جدول ۳: تقسیم بندی شاخص Af در حوضه سولوکلو

شماره زیر حوضه	Af	$ Af-50 $	Af رده
۱	۸۱	۳۱	۱
۲	۲۵	۲۵	۱

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲

جدول ۴: مقادیر شاخص T در حوضه سولوکلو

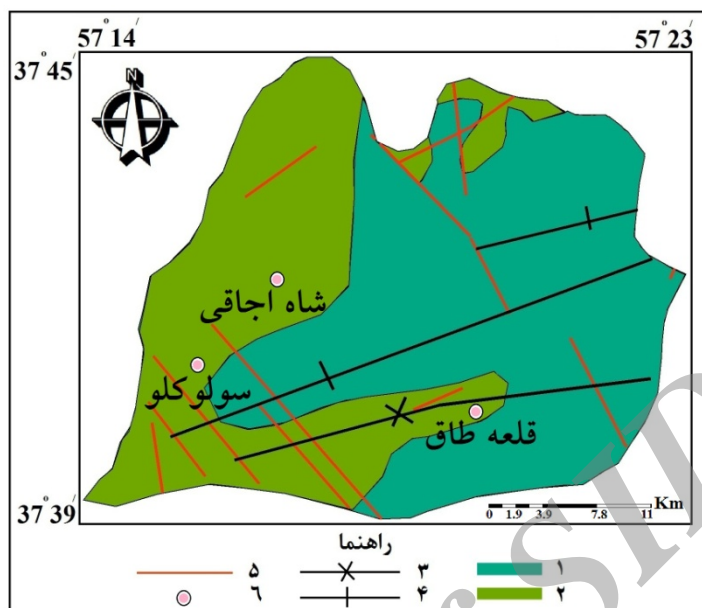
شماره زیر حوضه	Da	Dd	T
۱	۰.۵۹	۱.۵۶	۰.۳۸
۲	۰.۵۳	۱.۶۲	۰.۳۳

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲

جدول ۵: مقادیر شاخص SL در حوضه سولوکلو

شماره زیر حوضه	SL	SL رده
۱	۳۲۸	۲
۲	۲۹۶	۳

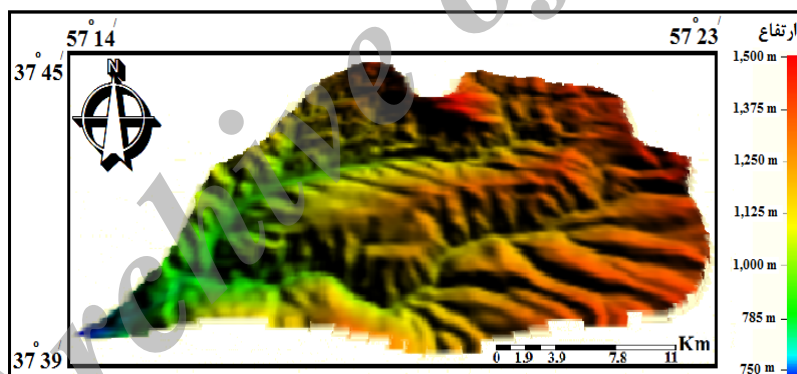
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

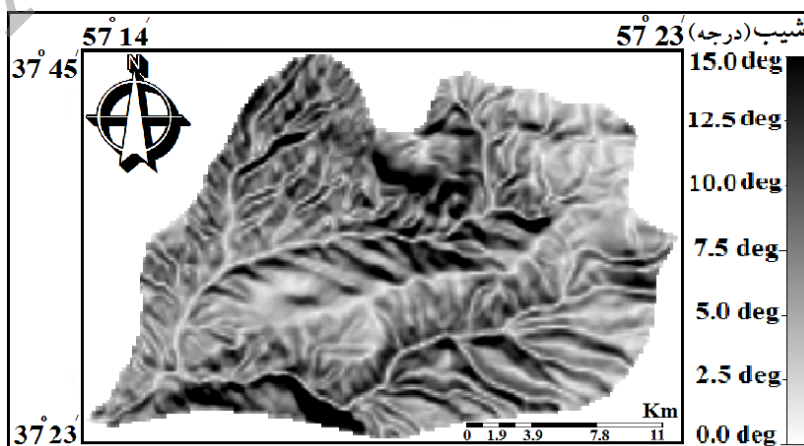
منبع: برگرفته از بلورچی و مهرپرتو، ۱۳۶۵ با کمی تغییرات

۱. آهک اوربیتولین‌دار (سازند تیرگان)، ۲. مارن اوربیتولین‌دار (سازند سرچشمه)، ۳. ناودیس، ۴. تاق‌دیس، ۵. گسل، ۶. روستا.



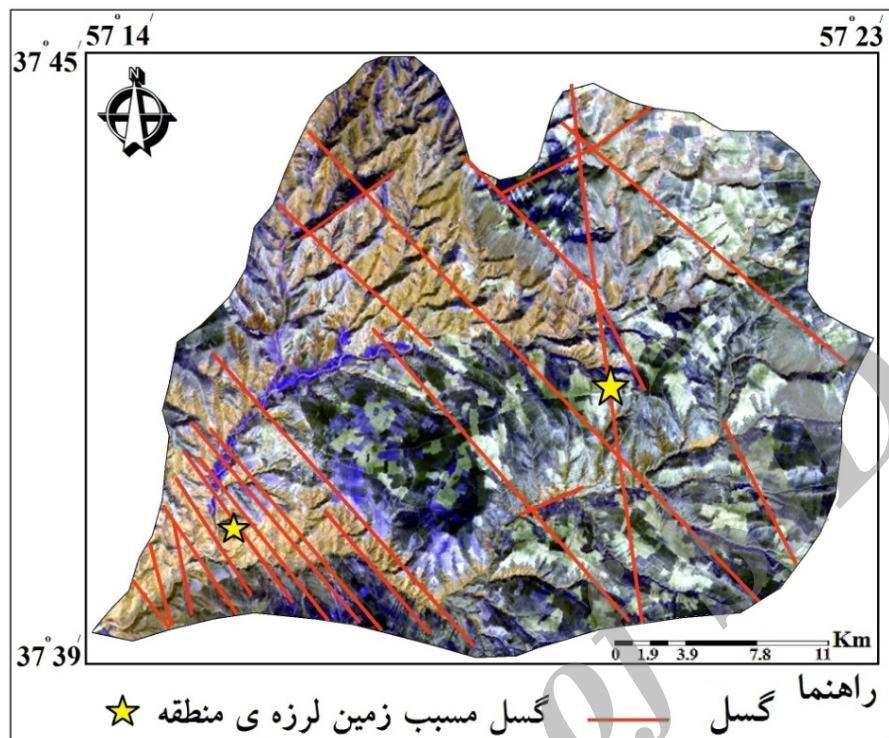
شکل ۲: تصویر سه بعدی از مدل رقومی ارتفاع (DEM) در حوضه سولوکلو

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲

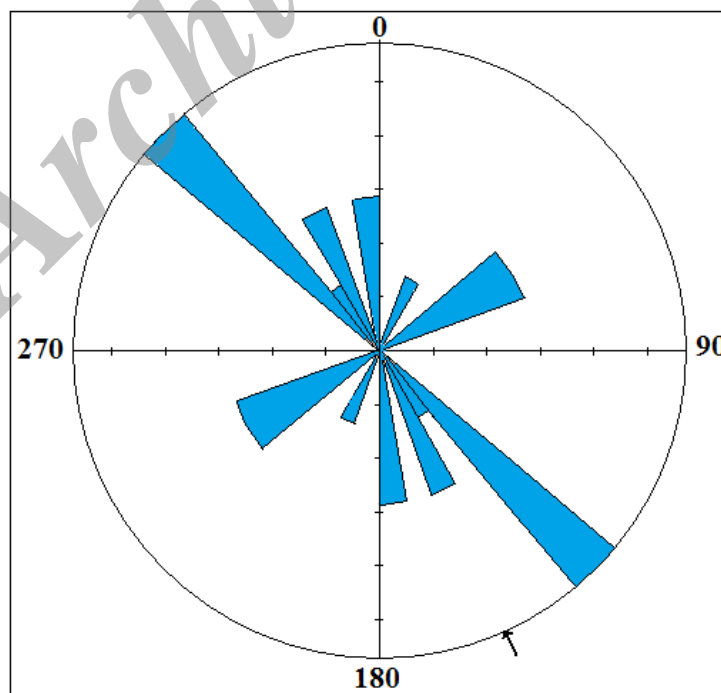


شکل ۳: نقشه‌ی وضعیت شیب در منطقه مورد مطالعه

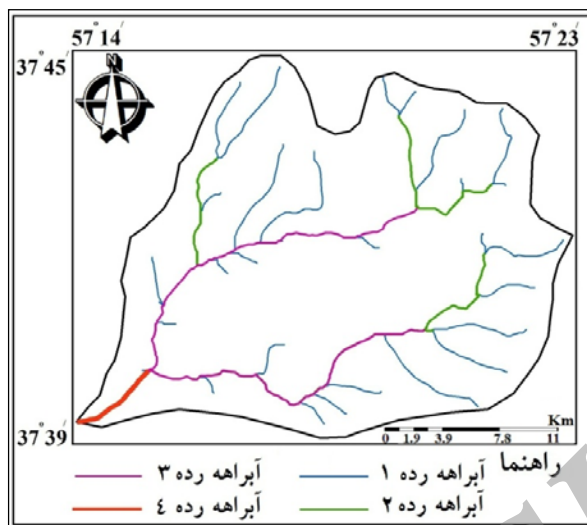
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۴: تصویر ASTER، محدوده VNIR و باندهای سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک و شکستگی‌های استخراج شده مربوط به منطقه مورد مطالعه
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲

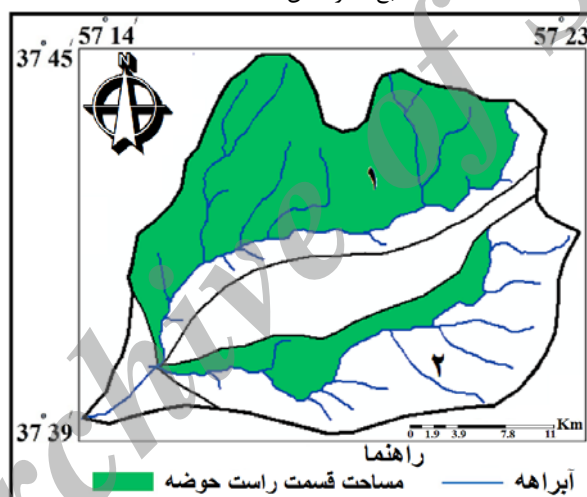


شکل ۵: نمودار گل سرخی از شکستگی‌های استخراج شده در منطقه مورد مطالعه
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲



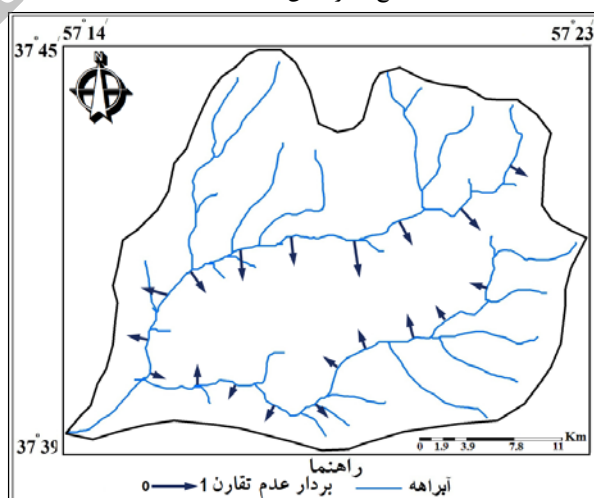
شکل ۶: حوضه اصلی و آبراهه‌های آن

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲



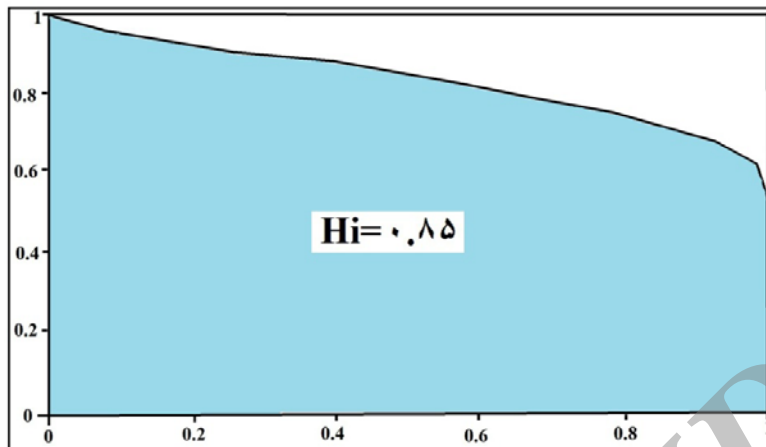
شکل ۷: نقشه تغییرات شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) در حوضه اصلی

منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲

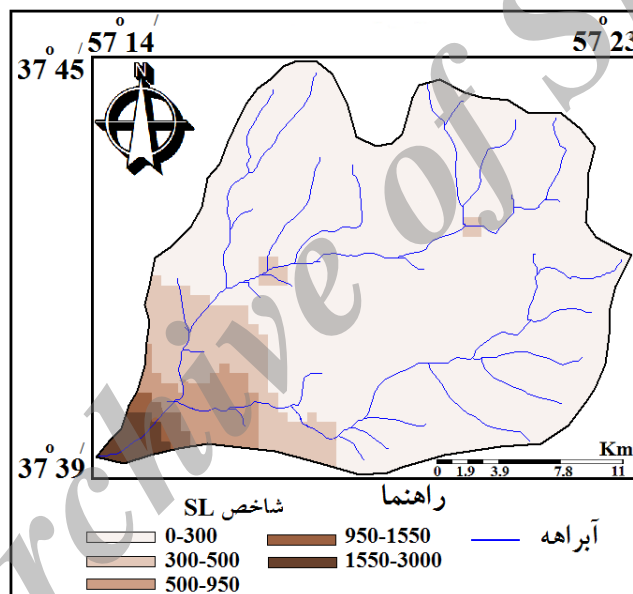


شکل ۸: ارزیابی شاخص فاکتور تقارن توپوگرافی معکوس (T) در حوضه اصلی

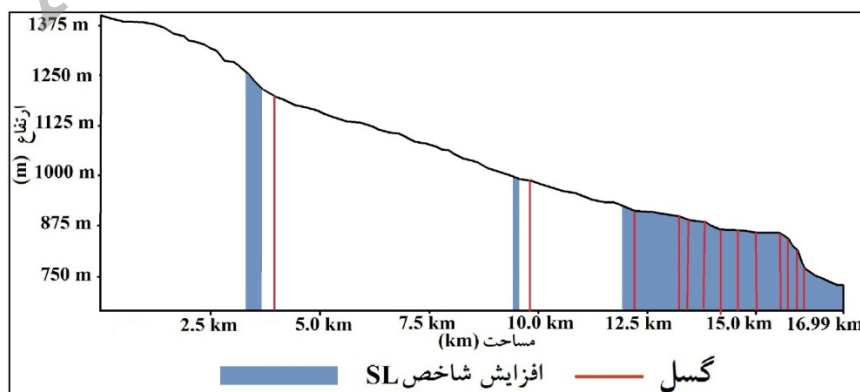
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۹: منحنی هیپسومتری (Hc) در حوضه اصلی
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۱۰: نقشه تغییرات شاخص طول - شیب آبرهه (SL) در منطقه مورد مطالعه
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۱۱: پروفیل طولی رودخانه اصلی، بدست آمده از DEM منطقه
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۲

- activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. *Geomorphology* 121, Volume 13.
- EL Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., and Keller, E.A (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*. Article in press. Volume 24.
- Fortes, E. Stevaux, J., C. Volkmer, S (2005). Neotectonics and channel evolution of the Lower Ivinhema River: A right-bank tributary of the upper Parana River, Brazil. *Geomorphology* 70, Volume 14.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Gheitanchi, M. R., Bolorchi, MJ (2006). Strike-slip faulting, rotation, and along-strike elongation in the Kopeh Dagh mountains, NE Iran. *Geophys. J. Int* 166, Volume 17.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. & Berberian, M (2002). Active tectonics of the South Caspian Basin, *Geophys. J. Int.*, 148, 214-245.
- Keller E. A., and Pinter N (2002). *Active tectonic, Earthquakes, Uplift and Landscape*. Prentice Hall P. Volume 362.
- Keller, Edward, A., and Nicholas, Pinter (1996). *Active tectonic, Earthquakes, Uplift and Landscape*. Prentice Hall Publisher. New, Jersey. Volume 362.
- Khavari R., Arian M (2009). Neotectonic of the South Central Alborz Drainage Basin, in NW Tehran, N Iran. *Journal of Applied Science* 9, Volume 11.
- McKenzie, D (1972). Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 30, 109-185.
- Ramazani Oomali, R., Shahriari, S., Hafezi Moghaddas, N., Omidi, P., Eftekharijad, J (2008). A model for active tectonics in Kopeh Dagh (north-east Iran). *World Applied Sciences Journal* 3 (2): Volume 6.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardajm, T (2003). Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity. *Geomorphology* 250, Volume 24.
- 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. xxx VL, Volume 10.
- احمدی، طیبیه؛ رحیمی چاکدل، عزیز؛ برجسته، آرش (۱۳۹۰). پهنه‌بندی تکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی در منطقه لالی-گتوند- استان خوزستان، سیمین گردهمایی علوم زمین، تهران.
- اسماعیلی، رضا؛ متولی، صدرالدین؛ حسین‌زاده، محمد مهدی (۱۳۹۱). بررسی اثرات مورفوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه واز؛ البرز شمالی، استان مازندران، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، تهران.
- خادمی، محسن (۱۳۸۹). محاسبه و تفسیر برخی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی پیرامون گسل تروند، جنوب دامغان، فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۷۵، تهران.
- درویش‌زاده، علی (۱۳۸۵). زمین‌شناسی ایران، بر اساس مصوبه شورای عالی برنامه‌ریزی وزارت علوم، چاپ دوم، تهران.
- رادفر، شهباز؛ پورکرمانی، محسن (۱۳۸۴). ریخت‌زمین‌ساخت گسل کوه‌بنان، فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۵۸، تهران.
- قائمی، فرزین؛ قائمی، فرخ؛ سلیمانی، زهره (۱۳۹۱). نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال گسل کارده (شمال مشهد)، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز.
- گورابی، ابولقاسم؛ نوحه‌گر، احمد (۱۳۸۴). شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه. پژوهش جغرافیایی، شماره ۶۰، تهران.
- وحدتی دانشمند، بهارک؛ قاسمی، محمد رضا؛ قرشی، منوچهر؛ حقی پور، نگار (۱۳۸۵). نو زمین ساخت سپید رود و دشت گیلان، فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۶۵، تهران.
- Arisco, G., Arnone, G., Favara, R., Nigro, F., Perricone, M., Renda, p & Mondello, C (2006). Integrated neotectonic and morphometric analysis of northern Sicily, *Boll. Soc. Geol. It*, 125, Volume 24.
- Christopher, O., Idowu, A.O., Olugbenga, A.S (2010). Hydrological Analysis of Onitsha North East Drainage Basin Using Geoinformation Techniques. *World Applied Sciences Journal* 11 (10): Volume 6.
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A. A., Motamedi, H., Hosseiniasl, A (2010). Quantitative analysis of relative tectonic