

جغرافیا و توسعه شماره ۳۳ زمستان ۱۳۹۲

وصول مقاله : ۱۳۹۰/۷/۲۴

تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۹/۱۴

صفحات : ۱۷۲ - ۱۵۹

تحلیل تکتونیک فعال طاقدیس گلیان با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک

دکتر شهرام بهرامی^۱، دکتر محمدعلی زنگنه‌اسدی^۲، یوسف غلامی^۳

چکیده

طاقدیس گلیان در جنوب شیروان در استان خراسان شمالی قرار دارد و از نظر زمین‌شناسی بخشی از زون ساختمانی آلاداغ-بینالود محسوب می‌شود. هدف این تحقیق ارزیابی تکتونیک‌های فعال طاقدیس گلیان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک است.

برای دستیابی به هدف فوق، داده‌های مورد نیاز از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای کویک برد استخراج شد. همچنین مطالعات میدانی از اشکال و فرآیندهای ژئومورفولوژیک انجام شد. داده‌های مورد نیاز برای محاسبه شاخص‌های k ، سطوح مثلثی شکل، دره‌های ساغری شکل، سینوسیته جبهه‌ی کوهستان و نسبت فاصله‌بندی رودخانه (R)، بعد از ورود به نرم‌افزار ILWIS به دست آمد. طاقدیس مورد مطالعه، بر اساس شیب، ارتفاع و عرض طاقدیس، به ۳ زون تکتونیک تقسیم شد.

نتیجه‌ی این تحقیق نشان می‌دهد که مقدار شاخص‌های W, K (نسبت حداکثر عرض دره ساغری به عرض خروجی دره)، R، شیب، طول قاعده و مساحت سطوح مثلثی در زون ۳ بیشتر از دیگر زون‌ها می‌باشد. مقدار سینوسیته جبهه‌ی کوهستان در تمام زون‌ها، نزدیک به ۱ است. به طور کلی بررسی شاخص‌های ژئومورفولوژیک در طاقدیس گلیان نشان می‌دهد که اولاً طاقدیس گلیان از نظر تکتونیک فعال است و ثانیاً میزان فعالیت‌های تکتونیک از جنوب شرق طاقدیس به سمت شمال غرب آن افزایش می‌یابد. کلیدواژه‌ها: تکتونیک، گلیان، سطوح مثلثی شکل، دره‌های ساغری شکل، نسبت فاصله‌بندی.

s.bahrami@hsu.ac.ir
asadi@hsu.ac.ir
gholamiyosof@yahoo.com

۱- استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری
۲- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری

مقدمه

بررسی کمی لندفرم‌ها، در بازسازی تاریخچه‌ی تکتونیک و درک تکامل لندفرم‌های مربوط به مناطق تکتونیک فعال ابزاری بسیار مناسب است (Shtober-Zisu et al, 2008: 93). برخی از شاخص‌های ژئومورفولوژیک به عنوان ابزارهای اساسی برای تشخیص تغییر شکل‌های سریع تکتونیک، به‌طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تاکنون شاخص‌های ژئومورفولوژیک زیادی مانند سطوح مثلثی شکل، شیب نیم‌رخ طولی رودخانه (شاخص K)، نسبت فاصله‌بندی شبکه زهکشی، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، عدم تقارن حوضه زهکشی، سینوسیته جبهه کوهستان، انتگرال هیپسومتری، به عنوان ابزارهای مهمی جهت تشخیص تکتونیک‌های فعال توسط محققان مختلف مورد استفاده قرار گرفته است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود: بررسی سینق و جین^۱ (2009) روی رشته موهند در شمال غرب هیمالیا نشان داد که افزایش شیب موجب افزایش تعداد آبراهه‌های درجه یک و افزایش شاخص k می‌شود. همچنین مطالعات سینق و تاندون (2008) در شمال غرب هیمالیا با استفاده از شاخص‌هایی مانند k، تراکم زهکشی، منحنی هیپسومتری، نسبت پهنای دره به ارتفاع دره (Vf) و تقارن حوضه زهکشی نشان داد که جبهه‌ی کوهستانی مورد مطالعه از نظر تکتونیک فعال است. گوارنیری و پیروتا^۲ (2008) با استفاده از شاخص‌هایی مانند عدم تقارن حوضه، SL، انتگرال هیپسومتری و نسبت انشعابات، تداوم میزان بالاآمدگی و فعالیت‌های تکتونیک در کواترنری را در جنوب شرق سیلیسی در ایتالیا ارزیابی کردند. همدونی^۳ و همکاران (2008) با استفاده از شاخص‌های SL، انتگرال هیپسومتری، Vf، سینوسیته جبهه‌ی کوهستان و شیب حوضه، چهار

کلاس فعالیت تکتونیک (Iat) کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد را برای جنوب غرب سیرا نوادا در جنوب اسپانیا تعریف کرد. بررسی شاخص‌های سینوسیته جبهه‌ی کوهستان، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره و نسبت ارتفاع توسط فیگوروا^۴ و همکاران (2010) در جنوب سیرا نوادا در کالیفرنیا آمریکا نشان داد که فعالیت تکتونیک در جنوب منطقه‌ی مذکور در حوالی گسل کرن‌ریورگورج^۵ بیشتر است. بررسی شاخص SL (شیب طولی رودخانه) توسط آلتان (2011) در ناحیه آتشفشانی آناتولی ترکیه نشان داد که میزان بالاآمدگی بخش جنوبی بیشتر از بخش شمالی منطقه مذکور است. به‌طور کلی سینوسیته جبهه‌ی کوهستان، رابطه میان نیروهای فرسایشی در جبهه‌ی کوهستان که تمایل به ایجاد اشکال خلیجی دارند و نیروهای تکتونیک که در پی جبران فرسایش هستند، را نشان می‌دهد که توسط ولز^۶ و همکاران (1988)، رامیرز هررا^۷ (1998)، آزور^۸ و همکاران (2002)، کلا و پینتر^۹ (2002)، باربری^{۱۰} و همکاران (2010) بررسی شده است. از دیگر اشکال ژئومورفولوژیک که در نتیجه‌ی عملکرد فرآیندهای تکتونیک و فرسایشی به وجود می‌آیند دره‌های ساغری شکل^{۱۱} می‌باشند. این دره‌ها در قسمت بالا به سبب فرسایش جانبی عریض و در جبهه‌ی کوهستان به علت فعالیت تکتونیک باریک می‌باشند (Burbank & Anderson, 2001: 202). این دره‌ها در جبهه‌ی کوهستان تحت تأثیر برش تکتونیک، عمیق و به شکل V هستند (Azor et al, 2002: 748). بررسی نقش تکتونیک در تشکیل دره‌ای ساغری شکل همچنین توسط پیکاردی^{۱۲} و همکاران (1999)، موناکو

4-Figueroa
5-Kern river Gorge
6-Wells
7-Ramírez-Herrera
8-Azor
9-Keller and Pinter
10-Burbary
11-Wine- glass valleys
12-Piccardi

1-Singh and Jain
2-Guarnieri and Pirrotta
3-El Hamdouni

می‌باشد. در ایران نیز استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک جهت تعیین تکتونیک‌های فعال توسط رجبی و همکاران (۱۳۸۵) در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ- بینالود، گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶) در حوضه‌ی درکه در دامنه‌ی جنوبی توچال، خطیب و همکاران (۱۳۸۷) در نهبندان، شفیعی و همکاران (۱۳۸۸) در بینالود، یمانی و همکاران (۱۳۸۷) در دامنه‌های کرکس، سیف و خسروی (۱۳۸۷) در منطقه‌ی فارسان در زاگرس، مقصودی و همکاران (۱۳۹۰) در طاقدیس گیلان غرب در استان کرمانشاه، ده‌بزرگی و همکاران (۲۰۱۰) در منطقه‌ی سروستان در زاگرس مرکزی و علیپور و همکاران (۲۰۱۱) در سد رودبار در لرستان انجام شده است. هدف این تحقیق بررسی وضعیت تکتونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک مانند، شاخص K (شاخص شیب رودخانه)، سینوسیته جبهه‌ی کوهستان، دره‌های ساغری شکل، سطوح مثلثی و نسبت فاصله‌بندی آبراهه‌ها در طاقدیس گلیان می‌باشد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

طاقدیس گلیان در جنوب شیروان با مساحت ۳۵،۰۱۱ کیلومتر مربع از ارتفاعات شمال آلاداغ- شاه جهان در خراسان شمالی است. طاقدیس مطالعاتی در محدوده‌ی روستاهای گلیان، سنگچین، قوینالو، خادمی، فجرآباد و زوارم از توابع شهرستان شیروان واقع شده است. حداکثر ارتفاع طاقدیس مورد مطالعه، ۱۷۴۶ متر در بخش مرکزی آن قرار دارد و کمترین سطح ارتفاعی طاقدیس، ۱۳۳۰ متر در محل بستر تنگ‌های ایجاد شده می‌باشد (شکل ۱). طاقدیس گلیان دارای فرود محوری دو طرفه به سمت شمال غرب و جنوب شرق است. واحد کوهستانی طاقدیس گلیان در قسمت جنوب به ناودیس گلیان و از شمال به دشت‌های فجرآباد، مشهد طرقي و رزمغان محدود می‌شود.

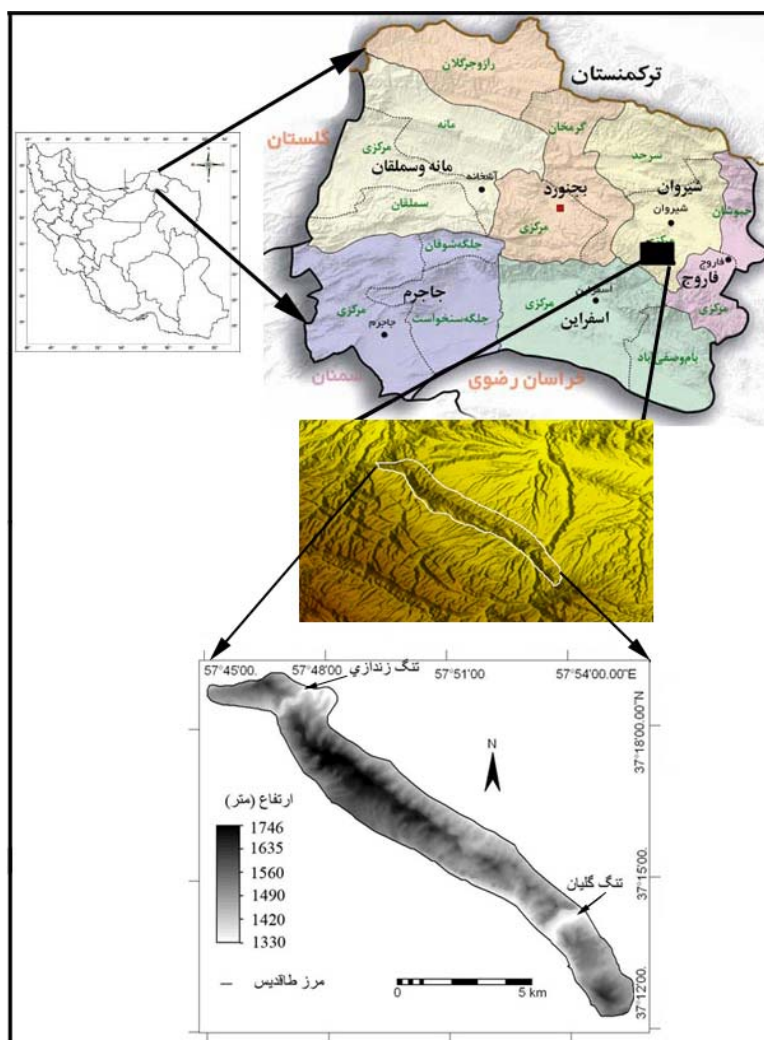
و تورنویسی^۱ (۲۰۰۰)، پالمبو^۲ و همکاران (۲۰۰۴) و کاتالانو^۳ و همکاران (۲۰۰۸) بررسی شده است.

از دیگر اشکال ژئومورفولوژیک جبهه‌های کوهستانی که در تعیین فعالیت‌های تکتونیکی مفید واقع می‌شوند، سطوح مثلثی شکل^۴ هستند. سطوح مثلثی شکل یا خط‌الرأس‌های پهن شده، دامنه‌های سنگی مثلثی یا چندضلعی هستند که در جبهه‌ی کوهستان، بین دره‌هایی که از کوهستان به سمت دشت جریان دارند، تشکیل می‌شوند (Menges, 1990: 302).

درجه فعالیت‌های تکتونیکی و ویژگی گسل‌ها نقش اصلی را در کنترل مشخصات سطوح مثلثی مانند اندازه، شیب و ارتفاع، ایفا می‌کنند در حالی که جنس سنگ، نقش فرعی را در ویژگی‌های سطوح مثلثی دارد (Menges, 1987: 218). سطوح مثلثی شکل که در این تحقیق بررسی شده است از جمله فاکتورهای جالب تعیین‌کننده تکتونیک‌های فعال در جبهه‌های کوهستانی است که توسط محققانی مانند همبلین^۵ (۱۹۷۶)، ایس^۶ و همکاران (۱۹۹۹)، زوچیویکز و مک‌کاپلین^۷ (۲۰۰۰)، پتیت و همکاران (۲۰۰۹)، اوسموندسن^۸ و همکاران (۲۰۱۰) بررسی شده است.

از دیگر شاخص‌هایی که بر اساس آن می‌توان رابطه بین تکتونیک و مورفولوژی دره‌ها را شناسایی کرد، نسبت فاصله‌بندی رودخانه^۹ است. در کوهستان‌هایی با تکتونیک فعال، شبکه‌های زهکشی دارای نظم خاصی هستند (Hovius, 1996: 29). مطالعات تالینگ^{۱۰} و همکاران (۱۹۹۷) نشان داد که فاصله‌ی خروجی شبکه‌های زهکشی تا حدود زیادی متأثر از تکتونیک و میزان بالآمدگی تکتونیکی رشته‌کوه‌ها

- 1-Monaco and Tortorici
- 2-Paumbo
- 3-Catalano
- 4-Triangular facets
- 5-Hamblin
- 6-Ellis
- 7- Zuchiewicz and McCaplin
- 8-Osmundsen
- 10-Stream Spacing ratio
- 10-Talling

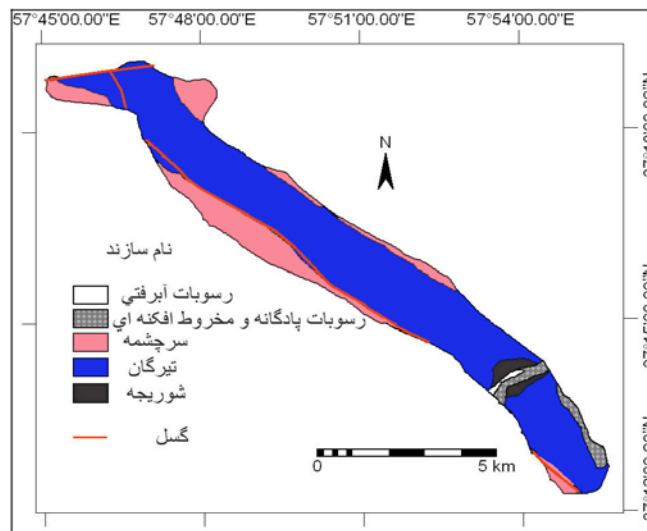


شکل ۱: نقشه موقعیت و سطوح ارتفاعی طاقدیس گلیان

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

تشکیل شده روی یال‌های طاقدیس، ۷ شکل‌اند که نشان‌دهنده‌ی بالآمدگی تکتونیکی طاقدیس است. این دره‌ها در بعضی قسمت‌های طاقدیس دارای دیواره‌های بلندی از کف دره است که نمایانگر فرسایش فعال همزمان با بالآمدگی تکتونیکی است. به طور کلی مهم‌ترین لندفرم‌های طاقدیس مورد مطالعه، روزها و تنگ‌ها در یال‌های طاقدیس هستند. تنگ گلیان در جنوب شرق و تنگ زندازی در شمال غرب طاقدیس قرار دارند.

از نظر زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از زون آاداغ- بینالود محسوب می‌شود. به لحاظ چینه‌شناسی طاقدیس گلیان از سازندهای تیرگان (آهک)، شوربچه (ماسه‌سنگ و کنگلومرا)، سرچشمه (مارن با میان لایه‌های از آهک) و رسوبات کواترنری تشکیل شده است (شکل ۲). بخش عمده طاقدیس از سازند تیرگان تشکیل شده است. سازند سرچشمه در روی یال‌های طاقدیس به‌طور محدود باقی‌مانده است. سازند شوربچه در محل تنگ گلیان برونزد دارد. دره‌های



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

مأخذ: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳)

مواد و روش‌ها

هدف تحقیق حاضر بررسی درجه فعالیت‌های تکتونیکی بر اساس اشکال ژئومورفولوژیک است. جهت دستیابی به هدف مذکور، از روش استقرایی استفاده شده است، به طوری که از شاخص‌های ژئومورفولوژیک در بخش‌های مختلف منطقه‌ی مورد مطالعه، جهت رسیدن به درجه فعالیت‌های تکتونیکی طاقدیس استفاده شده است.

ابتدا نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه‌ی مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ILWIS رقومی گردید. بعد از رقومی‌سازی خطوط ارتفاعی ۲۰ متر، نقشه‌ی سطوح ارتفاعی و شیب منطقه استخراج شد. شبکه‌ی زهکشی طاقدیس بر اساس نقشه توپوگرافی و تصویر ماهواره‌ای Quickbird استخراج گردید. با کراس دادن نقشه آبراه‌ها با نقشه DEM منطقه، جدول مربوط به ارتفاع و فاصله از بالادست آبراه‌ها تهیه و وارد نرم‌افزار Excel گردید. برای هر آبراهه، فاصله از مبدا، روی محور X و ارتفاع روی محور Y ترسیم و سپس نمودار لگاریتمی آن ترسیم شد و بر اساس آن مقدار شاخص K برای شبکه‌ها به دست آمد. اطلاعات زمین‌شناسی منطقه از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شیروان استخراج

گردید. محدوده‌ی دره‌های ساغری، سطوح مثلثی و سینوسیته جبهه کوهستان در روی دو یال طاقدیس به کمک تصاویر ماهواره‌ای Quickbird و مشاهدات میدانی مشخص شد. شیب توپوگرافی سطوح مثلثی با کراس دادن نقشه سطوح مثلثی با نقشه شیب توپوگرافی طاقدیس به دست آمد. طاقدیس مورد مطالعه، بر اساس ارتفاع طاقدیس، عرض طاقدیس و شیب پهلوئی طاقدیس به ۳ زون تکتونیکی تقسیم شد. مقدار شاخص‌های ژئومورفولوژیک در هر زون تکتونیکی محاسبه شد و سپس میانگین، انحراف معیار و دقت نسبی (انحراف معیار نسبی) پارامترها برای هر یک از زونها به دست آمد و نقش تکتونیک در شاخص‌های ژئومورفولوژیک تجزیه و تحلیل شد.

شاخص‌های مورفوتکتونیک

شاخص k

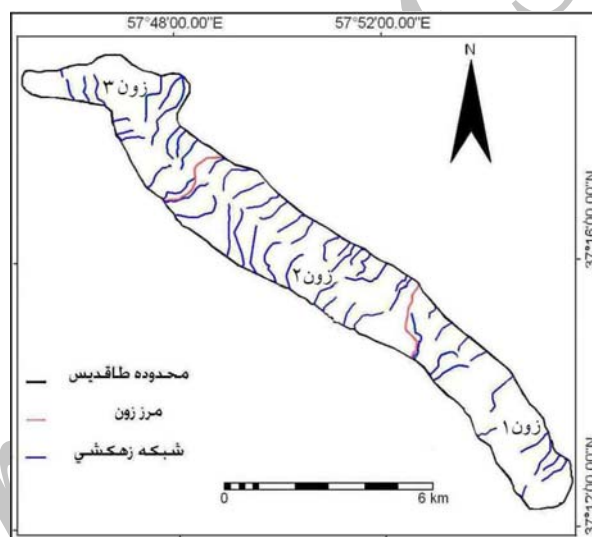
پروفیل طولی رودخانه‌ها نسبت به تغییرات تکتونیکی بسیار حساس بوده و معیار مناسبی جهت بررسی تأثیر تکتونیک محسوب می‌شود. فشردگی چین و افزایش شیب دامنه طاقدیس‌ها، باعث افزایش شیب نیمرخ طولی آبراه‌ها می‌شود و این افزایش شیب باعث

می‌تواند فاصله از شروع رودخانه تا محل خروج رودخانه باشد. برای محاسبه‌ی شاخص k ، ابتدا ۵۵ شبکه‌ی زهکشی اصلی در سه زون طاقدیس (۱۴ شبکه‌ی زهکشی در زون ۱، ۲۷ شبکه در زون ۲ و ۱۴ شبکه در زون ۳) در نرم ILWIS ترسیم گردید (شکل ۳). فاصله‌ی طولی بین خطوط تراز از بالاترین نقطه‌ی رودخانه به پایین و ارتفاع هر خط تراز برای هر شبکه رودخانه اندازه‌گیری شد. فاصله از مبدأ روی محور X و ارتفاع روی محور Y ترسیم و سپس نمودار لگاریتمی آن ترسیم شد و بر اساس آن مقدار شاخص k برای شبکه‌ها به دست آمد.

افزایش مقادیر شاخص‌های SL و k می‌شود. شاخص k نشان‌دهنده‌ی شیب رودخانه در طول نیمرخ طولی آن است و قدرت جریان رود را بیان می‌کند (سینق و جین، ۲۰۰۹: ۲۳۶). به طور ایده‌آل مقدار k به صورت زیر به دست می‌آید (Singh and Tandon, 2008: 376):

$$K = \frac{H_i - H_j}{\ln L_j - \ln L_i}$$

که در آن k : ضریب شیب، H_i : ارتفاع نقطه i که می‌تواند مبدأ رودخانه باشد، H_j : ارتفاع نقطه j که می‌تواند انتهای رودخانه باشد، L_i : طول نقطه i که می‌تواند مبدأ رودخانه باشد، L_j : طول نقطه j که



شکل ۳: شبکه‌های زهکشی اصلی و مرز زون‌های تکتونیک طاقدیس گلیان

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

ترتیب ۱۲/۴۴، ۱۶/۲۲، ۱۸/۱۴ می‌باشد که این موضوع بیانگر افزایش فعالیت‌های تکتونیک از جنوب شرق به سمت شمال غرب طاقدیس است.

میانگین شاخص k در هر زون در جدول ۱ مشخص شده است. داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که مقدار شاخص مذکور در زون‌های ۱، ۲ و ۳ به

جدول ۱: میانگین شاخص k برای هر یک از مناطق طاقدیس گلیان

منطقه	۱	۲	۳
تعداد شبکه زهکشی	۱۴	۲۷	۱۴
میانگین k	۱۲/۴۴	۱۶/۲۲	۱۸/۱۴
انحراف معیار	۳/۹	۶/۸	۶/۶۴
انحراف معیار نسبی یا دقت نسبی (درصد)	۳۱/۵	۴۱/۹	۳۶/۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

جدول ۲: مقدار شاخص سینوسیته جبهه کوهستان برای

زون‌های تکتونیکی طاق‌دیس گلیان

منطقه	۱	۲	۳
میانگین شاخص Smf	۱/۰۵	۱/۰۳	۱/۰۳

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

دره‌های ساغری شکل

دره‌های ساغری شکل در نتیجه عملکرد فرآیندهای تکتونیکی و فرسایشی به وجود می‌آیند. فرسایش در قسمت‌های بالای دره‌ها باعث توسعه‌ی جانبی دره‌ها و پهن شدن آن می‌شود اما در قسمت پایین دست (منطبق بر جبهه‌ی کوهستان)، به علت فعالیت تکتونیکی بالا، دره به شکل V ظاهر شده و عرض آن کاهش می‌یابد. بنابراین، دره‌های مذکور که در قسمت پایین دست باریک هستند و به سمت بالا عریض می‌شوند دارای شکلی شبیه کاسه بوده و به دره‌های ساغری شکل معروف هستند. این اشکال نشان‌دهنده‌ی بالآمدگی تکتونیکی سریع جبهه کوهستان هستند. شکل دره‌های ساغری بسته به درجه فعالیت تکتونیکی در جبهه کوهستان و مقدار فرسایش بالا رود بسیار متفاوت است (Burbank and Anderson, 2000: 202). در این تحقیق محدوده ۲۸ دره ساغری بر اساس تصاویر ماهواره‌ای کویک برد و مطالعات میدانی در طاق‌دیس گلیان تعیین گردید (شکل ۴). جهت بررسی تکتونیک در مورفولوژی دره‌های ساغری، شاخصی به نام W تعریف شد که از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$W = \frac{m}{o}$$

که در آن m، حداکثر عرض دره ساغری (به متر) و O عرض دره در خروجی آن (به متر) می‌باشد (شکل ۵). هر چه پارامتر W بزرگتر باشد، تکتونیک در جبهه کوهستان فعالتر است (Bahrami, 2012: 48).

شاخص سینوسیته جبهه‌ی کوهستان

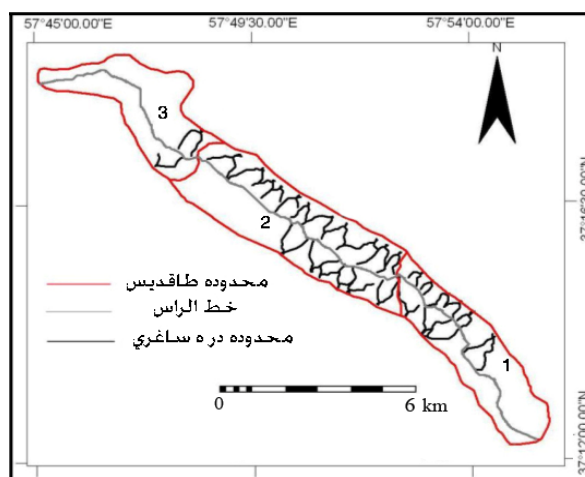
شاخص مذکور نشان‌دهنده‌ی تعادل بین نیروهای فرسایشی در جبهه‌ی کوهستان، که تمایل به ایجاد اشکال خلیجی مانند دارند، و نیروهای تکتونیکی که تمایل به ایجاد یک جبهه‌ی کوهستانی مستقیم دارند، می‌باشد. در مناطقی که بالآمدگی تکتونیکی ضعیف است، نیروهای فرسایشی باعث ایجاد یک خط یا جبهه کوهستانی دارای انحنا یا سینوسی شکل می‌شود. در حالتی که اگر بالآمدگی تکتونیکی وجود داشته باشد، جبهه‌ی کوهستان به صورت خطی مستقیم ظاهر می‌شود. شاخص سینوسیته جبهه‌ی کوهستان (Smf) از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید (Keller & Pinter, 2002: 134):

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls}$$

در رابطه‌ی فوق Lmf، طول واقعی و پیچ‌وخم دار جبهه کوهستان در محلی که شیب می‌شکند، است و Ls، طول خط مستقیم جبهه کوهستان است. شاخص مذکور برای مناطق با فعالیت تکتونیکی بالا، به عدد ۱ نزدیک است در حالی که در مناطق با فعالیت تکتونیکی کمتر، عوامل فرسایشی باعث سینوسی شدن جبهه‌ی کوهستان شده و بنابراین مقدار شاخص مذکور افزایش می‌یابد (Hamdouni et al, 2008: 164). برای محاسبه‌ی Smf، خط جبهه‌ی کوهستان و خط مستقیم جبهه‌ی کوهستان در سه زون تکتونیکی طاق‌دیس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کویک برد تعیین گردید. جدول شماره‌ی ۲ مقدار Smf را برای سه‌زون تکتونیکی طاق‌دیس گلیان نشان می‌دهد. مقادیر محاسبه شده شاخص Smf برای هر سه زون نزدیک به هم بوده و نشان‌دهنده‌ی فعالیت بالای تکتونیک در هر سه منطقه است.

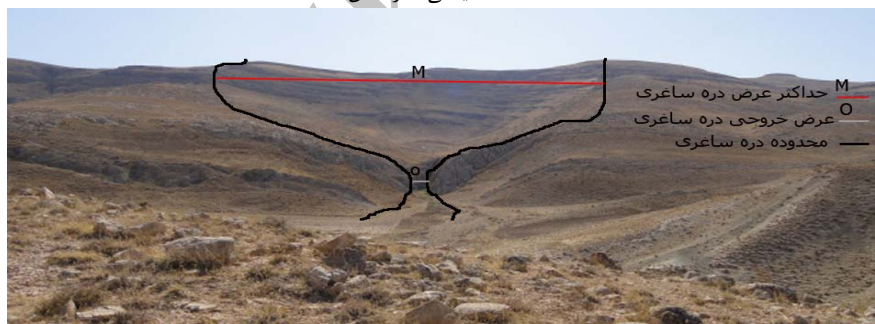
علت بالا بودن عرض خروجی دره (O)، مقدار W کاهش می‌یابد. پارامتر W در زون‌های ۱ و ۳ که در بخش‌های انتهایی و جواتر طاقدیس قرار دارند، به علت کمتر بودن مقدار O که در مخرج کسر قرار دارد، افزایش می‌یابد.

جدول شماره ۳، میانگین پارامترهای m، O و W را در زون‌های تکتونیکی منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که در زون ۲ به علت بالاآمدگی بیشتر و توسعه‌ی بیشتر فرسایش جانبی، مقدار پارامتر m بیشتر است. با این وجود به



شکل ۴: موقعیت و تعداد دره‌های ساغری در زونهای تکتونیکی طاقدیس گلستان

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۵: نمایی از یک دره ساغری در بال جنوبی طاقدیس گلستان

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

جدول ۳: میانگین پارامترهای مربوط به دره‌های ساغری در زونهای طاقدیس گلستان

منطقه			دره ساغری	
۳	۲	۱		
۲	۱۷	۹		تعداد
۵۴۱/۱۰۵	۶۳۴/۹۳	۵۳۷/۹۱۴		m(متر)
۷/۲	۱۳/۷۳	۷/۷۶		O(متر)
۷۵/۱۵	۶۰/۵	۶۹/۳۱		W
۴/۱۴	۳۷/۲۱	۳۳/۳۲	انحراف معیار	
-۵/۵	۶۱/۵	۴۸/۱	انحراف معیار نسبی (درصد)	

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

سطوح مثلثی شکل

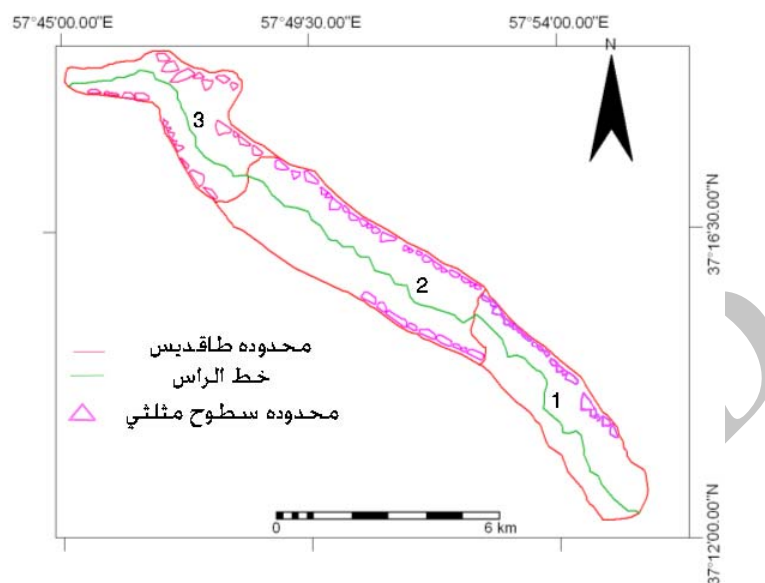
بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی تعداد ۷۹ سطح مثلثی در طاقدیس گلپایان شناسایی و ترسیم گردید (شکل ۷). مساحت، شیب توپوگرافی و طول قاعده سطوح مثلثی در ۳ زون تکتونیکی محاسبه و میانگین پارامترهای مذکور در هر زون به دست آمد (جدول ۴). به طور کلی بیشترین تعداد سطوح مثلثی مربوط به منطقه ۲ (مرکز طاقدیس) می‌باشد. بررسی جدول ۴ نشان می‌دهد که از جنوب شرق (زون ۱) به سمت شمال غرب طاقدیس (زون ۳) مساحت، شیب توپوگرافی و طول قاعده سطوح مثلثی افزایش می‌یابد. مقدار بالای قاعده سطوح مثلثی در زون ۳ بیانگر آن است که سطوح مثلثی، کمتر تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته‌اند. به عبارت دیگر زون ۳ از نظر تکتونیکی نسبت به زون‌های دیگر جوان‌تر است و فرسایش کمتری را تجربه کرده است.

سطوح مثلثی شکل از جمله اشکالی هستند که جبهه‌های کوهستانی فعال از نظر تکتونیکی را نشان می‌دهند. تشکیل اشکال مذکور حاصل عملکرد فرآیندهای درونی در مقابل فرآیندهای بیرونی است. سطوح مثلثی شکل شامل سطوح صاف تشکیل شده بین دو آبراهه در پهلوی طاقدیس هستند که در قسمت پایین دست (جبهه کوهستان) عریض و به سمت بالا دست کوچکتر می‌شوند (شکل ۶). سطوح مثلثی، دارای شکل مثلثی و در مواردی چند ضلعی می‌باشند. به‌طور کلی جبهه‌های کوهستانی با تکتونیک شدیدتر، دارای سطوح مثلثی بزرگتر و پرشیب‌تر و دارای قاعده‌ی طولانی‌تری هستند در حالی که جبهه‌های کوهستانی با تکتونیک ضعیف‌تر، به علت فرسایش بیشتر، دارای سطوح مثلثی کمتر، کوچکتر، با قاعده‌های کوتاه‌تر هستند (Wells et al, 1988: 251).



شکل ۶: نمایی از سطوح مثلثی شکل در یال شمالی طاقدیس مورد مطالعه در نزدیک روستای سنگچین

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۷: موقعیت و تعداد سطوح مثلثی شکل در ۳ زون طاق‌دیس گلیان
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

جدول ۴: میانگین پارامترهای مربوط به سطوح مثلثی در طاق‌دیس گلیان در زونهای تکتونیکی

زون			مشخصات سطوح مثلثی شکل	
۳	۲	۱		
۲۳	۳۴	۲۲		تعداد
۴۱/۶۶	۲۶/۶	۲۴/۵		شیب(درصد)
۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۱۳		انحراف معیار
۳۸/۲	۱۸/۳۵	۱/۵۴		انحراف معیار نسبی(درصد)
۳۳۲/۹۶	۲۴۲/۵۸	۲۳۵/۹۹		طول قاعده(متر)
۱۰۷/۳	۱۳۰/۶	۱۰۳/۸		انحراف معیار
۳۲/۲	۵۳/۸	۴۴		انحراف معیار نسبی(درصد)
۰/۰۳۸	۰/۰۳۶	۰/۰۲۹۵	مساحت(کیلومتر مربع)	
۰/۰۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲	انحراف معیار	
۸۰/۱۵	۶۵/۱	۶۷/۱	انحراف معیار نسبی(درصد)	

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

نسبت فاصله‌بندی

فرسایش جانبی باعث افزایش عرض آبراهه شده و بنابراین فاصله آبراهه‌های اصلی از هم زیاد می‌شود. این تحقیق جهت نمایش نقش تکتونیک در فاصله آبراهه‌ها از هم، از شاخصی به نام R استفاده شده است. نسبت فاصله‌بندی شبکه‌ی زهکشی (R) از تقسیم طول شبکه (یا فاصله افقی بین خط‌الرأس و پایین‌ترین نقطه‌ی حوضه واقع بر پهلو طاق‌دیس)، بر عرض

فرم یا شکل قرارگیری آبراهه‌ها در مناطق تکتونیکی فعال و غیرفعال، متفاوت است. فاصله‌ی بین شبکه‌های زهکشی از جمله پارامترهایی است که با میزان فعالیت‌های تکتونیکی در ارتباط است. در مناطق تکتونیکی جوان، آبراهه‌های موازی نزدیک به هم تشکیل می‌شوند، درحالی‌که در مناطق قدیمی‌تر،

جدول ۵: میانگین شاخص R در زون‌های تکتونیکی طاقدیس مورد مطالعه

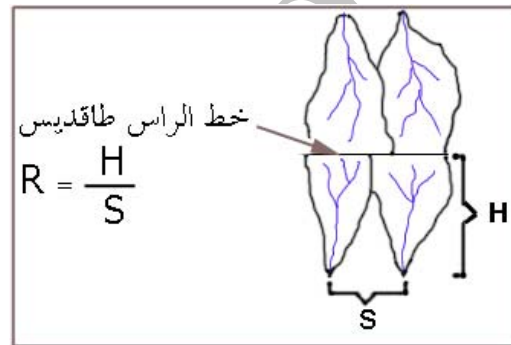
شماره زون	۱	۲	۳
R	۱/۹۹	۱/۸۳	۲/۷۴
انحراف معیار	۰/۹۲	۰/۵	۰/۸۵
انحراف معیار نسبی (درصد)	۴۶/۲	۲۷/۵	۳۱

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

بحث و نتیجه

طاقدیس گلیان بخشی از زون ساختمانی آلاداغ-بینالود محسوب می‌شود و نمونه‌ای از یک طاقدیس در حال بالآمدگی است. در این تحقیق با هدف بررسی رابطه بین تکتونیک و اشکال ژئومورفولوژی، طاقدیس گلیان به سه زون تکتونیکی تقسیم شد. زون‌های ۱ و ۳ بخش انتهایی جنوب شرقی و شمال غربی و زون ۲ بخش مرتفع و مرکزی طاقدیس را شامل می‌شوند. شاخص‌های K، سینوسیته جبهه‌ی کوهستان، سطوح مثلثی‌شکل، دره‌های ساغری شکل و نسبت فاصله‌بندی در هر زون بررسی و میانگین آن‌ها در زون‌ها محاسبه شد. این تحقیق نشان می‌دهد که میانگین شاخص K از جنوب شرق به سمت شمال غرب افزایش می‌یابد. مقدار بالای شاخص K در انتهای شمال غربی (۱۸/۱۴) بیانگر فعالیت تکتونیکی بالا در رأس شمال غربی طاقدیس نسبت به مرکز و رأس جنوب شرقی آن است. دلیل افزایش مقدار شاخص K در شمال غرب (زون ۳) را می‌توان این‌گونه توضیح داد که در این بخش از طاقدیس، اختلاف ارتفاع خط‌الرأس تا جبهه‌ی طاقدیس بیشتر و فاصله افقی کمتر است که این امر موجب افزایش شیب شده و مقدار بالای شاخص K را باعث شده است. شاخص سینوسیته جبهه‌ی کوهستان در هر سه زون طاقدیس، عددی نزدیک یک را نشان می‌دهد که بیانگر وجود جبهه‌ی کوهستانی فعال از نظر تکتونیک در همه‌ی زون‌های طاقدیس است.

حوضه‌ی (S) یا فاصله بین خروجی دو حوضه مجاور به‌دست می‌آید (Talling et al, 1997: 277). شکل ۸ نحوه‌ی محاسبه شاخص R را به‌طور شماتیک نشان می‌دهد. مقدار کم شاخص R بیانگر فرسایش بیشتر و مقدار بالای این شاخص نشان‌دهنده جوانتر بودن منطقه از نظر تکتونیکی است.



شکل ۸: طرحی شماتیک از نسبت فاصله‌بندی شبکه‌ی زهکشی (R) واقع بر روی پهلوهای طاقدیس

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، شاخص R برای ۵۵ حوضه‌ی زهکشی محاسبه شد. جدول شماره ۵ میانگین شاخص R را در ۳ زون منطقه نشان می‌دهد. داده‌های جدول ۵ بیانگر آن است که حوضه‌های زون ۲ (در مرکز طاقدیس) فرسایش جانبی بیشتری را نسبت به دو منطقه مجاور تجربه کرده‌اند. عملکرد بیشتر فرسایش جانبی در حوضه‌های زون ۲ باعث شده است که عرض حوضه‌ها (S) بزرگتر شده و بنابراین مقدار شاخص R در زون ۲ نسبت به زون‌های ۱ و ۳ کمتر باشد. در حوضه‌های ۱ و ۳ که از نظر تکتونیکی جدی‌تر هستند، عرض حوضه‌ها کوچکتر است و بنابراین مقدار شاخص R بزرگتر از مرکز طاقدیس (زون ۲) می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص R را زون ۳ به خود اختصاص داده است که بیانگر این مطلب است که زون ۳ بعد از زون ۱ و ۲ بالا آمده است و کمترین مقدار فرسایش جانبی را متحمل شده است.

در این تحقیق، جهت بررسی دقت نسبی شاخص‌های ژئومورفولوژیک، ابتدا انحراف معیار و سپس انحراف معیار نسبی (انحراف معیار تقسیم بر میانگین ضریب ۱۰۰) پارامترها محاسبه شد. نتایج داده‌ها نشان می‌دهد که انحراف معیار نسبی شاخص K در هر سه زون تکتونیکی، کمتر از ۴۲ درصد است که بیانگر دقت نسبتاً خوب این پارامتر است. انحراف معیار نسبی شاخص W در زون‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۴۸/۱، ۶۱/۵ و ۵/۵ درصد است که بیانگر تغییرات زیاد شاخص مذکور در زون‌های تکتونیکی است. بررسی انحراف معیار نسبی پارامترهای مربوط به سطوح مثلثی نشان‌دهنده تغییرات زیادتر مساحت سطوح مثلثی نسبت به شیب و طول قاعده سطوح مثلثی است به طوری که مقادیر انحراف معیار نسبی مساحت سطوح مثلثی در هر سه زون بالای ۶۵ درصد است.

مقادیر انحراف معیار نسبی به دست آمده برای شاخص R در زون‌های ۱ تا ۳ به ترتیب ۴۶/۲، ۲۷/۵ و ۳۱ درصد است که بیانگر تغییرات کمتر نسبت فاصله‌بندی در زون‌های ۲ و ۳ می‌باشد.

به طور کلی بررسی شاخص‌های ژئومورفولوژیک نشان می‌دهند که طاق‌دیس گلیان از نظر تکتونیک فعال می‌باشد. با این وجود از جنوب شرق طاق‌دیس به سمت شمال غرب، میزان فعالیت‌های تکتونیک بیشتر می‌شود. به طور کلی از مجموع مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت شاخص‌هایی مانند K ، نسبت فاصله‌بندی، سطوح مثلثی‌شکل، دره‌های ساغری شکل و سینوسیته جبهه‌ی کوهستان ابزار مناسبی جهت شناخت و تعیین درجه فعالیت‌های تکتونیکی طاق‌دیس‌ها می‌باشند.

بررسی دره‌های ساغری شکل نشان می‌دهد که بیشترین تعداد این لندفرم در زون ۲ (مرکز طاق‌دیس) قرار دارند که بیانگر مقدار بیشتر فرسایش جانبی در این منطقه است. میانگین پارامتر m در این منطقه تفاوت قابل توجهی نسبت به زون ۱ و ۳ دارد (۶۳۴/۹ متر) که نشان می‌دهد این منطقه بیشترین مقدار فرسایش جانبی را متحمل شده است. مقدار میانگین پارامتر O نیز در زون ۲ با زون‌های ۱ و ۳ تفاوت معنی‌داری دارد. این افزایش مقدار O موجب افزایش نسبت مخرج به صورت کسر شده و مقدار میانگین W در این منطقه کمتر از دو منطقه‌ی دیگر است.

منطقه ۳ فقط دارای دو دره ساغری است که بیانگر مقدار کمتر فرسایش جانبی نسبت به دو منطقه‌ی دیگر است. میانگین مقدار O در زون ۳ نسبت به دو زون دیگر، کمتر است (۷/۲ متر). به طور کلی پارامتر W در زون‌های ۱ و ۳ که در بخش‌های انتهایی و جوانتر طاق‌دیس قرار دارند، به علت کمتر بودن مقدار O ، افزایش می‌یابد.

بررسی کمی سطوح مثلثی در زون‌های سه‌گانه‌ی طاق‌دیس گلیان نشان می‌دهد که مقدار مساحت، شیب توپوگرافی و طول قاعده‌ی مثلث‌ها از جنوب شرق به شمال غرب طاق‌دیس افزایش می‌یابد که بیانگر افزایش فعالیت تکتونیک از جنوب شرق به شمال غرب طاق‌دیس است. بررسی نسبت فاصله‌بندی شبکه‌ی زهکشی (R) بیانگر این نکته است که حوضه‌های زون ۲ در مرکز طاق‌دیس زودتر بالا آمده و فرسایش جانبی بیشتری را نسبت به دو منطقه‌ی انتهایی طاق‌دیس تجربه کرده‌اند. عملکرد بیشتر فرسایش جانبی در حوضه‌های زون ۲ باعث شده است که عرض حوضه‌ها (S) بزرگتر شده و بنابراین مقدار شاخص R در زون ۲ نسبت به زون‌های ۱ و ۳ کمتر باشد.

- Azor, A., Keller, E.A., Yeats, R.S (2002). Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain–Oak Ridge anticline, Ventura basin, southern California. *Geological Society of America bulletin*, 114(6).
- Bahrami, S (2012). Morphotectonic evolution of triangular facets and wine-glass valleys in the Noakoh anticline, Zagros, Iran: implications for active tectonics. *Geomorphology*, 159.
- Burbank, D.W., and Anderson, R.S (2001). *Tectonic geomorphology*, Blackwell Science, Oxford.
- Burbery, C. M, Cosgrove, J. W, Liu, J. G (2010). A study of fold characteristics and deformation style using the evolution of the land surface: Zagros Simply Folded Belt, Iran, Geological Society of London.
- Catalano, S., De Guidi, G., Monaco, C., Tortorici, L (2008). Active faulting and seismicity along the Siculo–Calabrian Rift Zone (Southern Italy). *Tectonophysics*, 453.
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamed, H., and Hosseiniasl, A (2010). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. *Geomorphology*, 121.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E.A.(2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96.
- Ellis, M. A., Densmore, A. L., Anderson, R. S (1999). Development of mountainous topography in the Basin Ranges, USA. *Basin Research*, 11.
- 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., Pirrotta, C (2008). The response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95.
- Hamblin, W. K (1976). Patterns of displacement along the Wasatch Fault, *Geology*, 4.
- Hovius, N., 1996. Regular spacing of drainage outlets from linear mountain belts, *Basin Research*, 8.
- Keller, E.A. and Pinter, N (2002). *Active Tectonics. Earthquakes, Uplift and Landscape*, New Jersey: Prentice Hall.

منابع

- خطیب، محمدمهدی؛ اسماعیل سالاروند؛ محمد بومری (۱۳۸۷). تأثیر حرکات سیستم گسلی نهبندان بر ژئومورفولوژی اطراف شهر نهبندان، جغرافیا و توسعه. شماره ۱۲.
- رجبی، معصومه؛ شهرام روستایی؛ غلامرضا مقامی مقیم (۱۳۸۵). تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در شمال شرق ایران، جغرافیا و توسعه. شماره ۸.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳). نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰، شیت شیروان.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۵). نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰ شماره‌های ۱-۷۵۶۴ و ۲-۷۵۶۴.
- سیف، عبدالله؛ قاسم خسروی (۱۳۸۹). بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۴.
- شفیع‌الهی، سیداحمد علوی؛ نصیر نادری‌میقان (۱۳۸۸). تکتونیک فعال در رشته‌کوه بینالود با تکیه بر بررسی‌های مورفوتکتونیک، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۰.
- گورابی، ابوالقاسم؛ احمد نوحه‌گر (۱۳۸۶). شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال؛ حوضه آبخیز درکه، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶.
- مقصودی، مهران؛ سجاد باقری؛ محمود داودی (۱۳۹۰). راندگی گیلان غرب با استفاده از شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژیک، جغرافیا و توسعه. شماره ۲۱.
- یمانی، مجتبی؛ ابراهیم مقیمی؛ علیرضا تقیان (۱۳۸۷). ارزیابی تأثیرات نوزمین ساخت فعال در دامنه‌های کرکس با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی، تحقیقات جغرافیایی. شماره ۲۳.
- Alipoor, R., Poorkermani, M., Zare, M., El Hamdouni, R (2011). Active tectonic assessment around Rudbar Lorestan dam site, High Zagros Belt (SW of Iran). *Geomorphology* 128.
- Altan, T.B and Altan, B.N (2011). Development and morphometry of drainage network in volcanic terrain, Central Anatolia, Turkey. *Geomorphology*, 125.

- Ramírez-Herrera, M. T (1998). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic Belt. *Earth Surface Processes and Landforms* 23.
- Singh, T and Jain, V (2009). Tectonic constraints on watershed development on frontal ridges: Mohand Ridge, NW Himalaya, India. *Geomorphology*, 102.
- Singh, v and Tandon, S. K (2008). The Pinjaur dun (intermontane longitudinal valley) and associated active mountain fronts. NW Himalaya: tectonic geomorphology and morphotectonic evolution., India, *geomorphology*, 106.
- Shtober-Zisu, N., Greenbaum, N., Inbar, M., Flexer, A (2008). Morphometric and geomorphic approaches for assessment of tectonic activity, Dead Sea Rift (Israel). *Geomorphology*, 102.
- Talling, P. J., M. D. Stewart, C. P. Stark, S. Gupta, and S. J. Vincent (1997). Regular spacing of drainage outlets from linear fault blocks, Basin Research, 9.
- Wells, S. G., Bullard, T. F., Menges, C. M., Drake, P. G., Karas, P. A., Kelson, K. I., Ritter, J. B. and Wesling, J. R (1988). Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology* 1.
- Zuchiewicz, W.A and McCaplin, J.P (2000). Geometry of faceted spurs on an active normal fault: case study of the Central Wasatch Fault, Utah, U.S.A. *Annals Societatis Geologorum Poloniae*, 70.
- 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: U.S. Geological Survey Open-File Report 87-673.
- Menges, C. M (1990). Soils and geomorphic evolution of bedrock facets on a tectonically active mountain front, western Sangre de Cristo Mountains, New Mexico. *Geomorphology*, 3.
- Monaco, C., Tortorici, L (2000). Active faulting in the Calabrian arc and eastern Sicily. *Journal of Geodynamics*, 29.
- Palumbo, L., Benedetti, L., Bourles, D., Cinque, A., Finkel, R (2004). Slip history of the Magnola fault (Apennines, Central Italy) from ³⁶Cl surface exposure dating: evidence for strong earthquakes over the Holocene. *Earth and Planetary Science Letters*, 225.
- Petit, C., Gunnell, Y., Gonga-Saholiariliva, N., Meyer, B., Seguinot, J (2009). Faceted spurs at normal fault scarps: Insights from numerical modeling. *Journal of Geophysical Research*, 114.
- Piccardi, L., Gaudemer, Y., Tapponnier, P., Boccaletti, M (1999). Active oblique extension in the central Apennines (Italy): evidence from the Fucino basin. *Geophys. J. Int.*, 139.
- Osmundsen, P.T., Redfield, T.F., Hendriks, B.H.W., Bergh, S., Hansen, J.-a., Henderson, I.H.C., Dehls, J., Lauknes, T.R., Larsen, Y., Anda, E., Davidsen, B (2010). Fault-controlled alpine topography in Norway. *Journal of the Geological Society*, 167.