نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۷۰، پاییز ۱۴۰۲

پهنه‌بندی فعالیت نسبی مورفوتکتونیکی حوضه آبریز کن- سولقان با تأکید بر جایگاه دهانه تونل آزادراه تهران- شمال

دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۱۷ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۶/۵

صفحات: ۳۵۸-۳۴۳

طیبه کیانی: استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران[1]
Email: tayebeh.kiani@gmail.com
امیر کرم: دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران
Email: karam@khu.ac.ir
نسرین حسینائی: دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران
Email: Nasrinhosseinay@gmail.com

چکیده

حوضه آبریز کن- سولقان در دامنه البرز جنوبی قرارگرفته است که از تأثیرات زون فعال زمین‌ساختی آلپ- هیمالیا در طول زمان تأثیر پذیرفته است. به همین لحاظ ارزیابی و بررسی فرآیندهای تکتونیکی فعال و اثرات آن برای بسیاری از فعالیت‌های بشری همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها، سدها، تأسیسات صنعتی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند. گذر تونل آزادراه تهران- شمال از این منطقه، بررسی فعالیت گسل‌هایی که در شکل‌گیری مورفولوژی کنونی این حوضه سهم داشتند را فزونی می‌بخشد. در این پژوهش، شاخص‌های مورفوتکتونیک، شامل شاخص عدم تقارن رودخانه (Af)، شکل حوضه (Bs)، انتگرال هیپسومتریک (Hi)، گرادیان طولی رودخانه (Sl)، سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)، نسبت پهنای دره به ارتفاع دره (Vf) و شاخص تقارن توپوگرافی ارضی (Tp)، محاسبه شد. در نهایت میانگین نتایج شاخص‌ها، تحت عنوان شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (LAT) محاسبه گردید. در پژوهش حاضر، برای محاسبه شاخص‌های مورفوتکتونیک از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و الگوی رقومی ارتفاعی (DEM) با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر (سنجنده ASTER) استفاده‌شده است. حوضه آبریز کن- سولقان، به سه ناحیه‌ی تکتونیکی با فعالیت آرام، نیمه فعال و فعال تقسیم‌بندی شده است و محاسبه شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (LAT) نشان می‌دهد که حوضه آبریز کن- سولقان در وضعیت فعال ازنظر تکتونیکی قرار دارد. ساختارهای تکتونیکی به‌ویژه گسل‌های منطقه در عدم تقارن و شکل حوضه تأثیر داشته است. رودخانه اصلی کن - سولقان، نیز عدم تقارن را نشان می‌دهد که می‌توان گفت به دلیل تأثیر عوامل ساختاری به‌ویژه گسل‌های منطقه، حوضه دارای عدم تقارن و انحراف به سمت چپ حوضه می‌باشد. هم‌چنین احداث آزادراه تهران- شمال و قرارگیری دهانه تونل در مجاورت گسل شمال تهران، ازجمله عوامل انسان‌ساخت متأثر از فعالیت تکتونیکی منطقه می‌باشد که بررسی فعالیت تکتونیکی را ایجاب می‌کند.

کلید واژگان: شاخص‌های مورفوتکتونیکی، تونل آزادراه تهران- شمال، حوضه آبریز کن- سولقان، زمین‌ساخت فعال.

---

۱. **نویسنده مسئول**: تهران، خیابان مفتح جنوبی، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه ژئومورفولوژی.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]

مقدمه

دانش تکتونیک ژئومورفولوژی، بخشی از علوم زمین است که به مطالعه تأثیر متقابل تکتونیک و ژئومورفولوژی می‌پردازد (عبادیان، ۱۳۷۹: ۱۱). ارزیابی ساختمان‌ها و لندفرم‌های زمین در طول تاریخ پیدایش آن‌ها، موضوع دانش تکتونیک ژئومورفولوژی است (استانلی و همکاران، ۲۰۰۰: ۲ و ۳). حوضه آبریز کن - سولقان در یک پهنه پویای زمین ساختی، می‌تواند بیانگر تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی در بخش‌های گوناگون حوضه باشد. از مهم‌ترین عناصر ساختاری در این منطقه گسل‌ها هستند که در به وجود آوردن و شکل دادن مورفولوژی کنونی منطقه سهم بسزایی دارند. حوضه آبریز کن- سولقان به دلیل موقعیت خاصش که در شمال‌غرب تهران واقع‌شده است و روستاهای پیرامون آن به‌عنوان بخشی از کلان‌شهر، هم‌چنین با پیشروی توسعه شهری به داخل روددره‌های تفریحی و فراغتی این منطقه از مناطق خوش‌نشین به‌حساب می‌آید و از طرف دیگر بزرگراه تهران- شمال که در دست احداث است و یک شاه‌راه بسیار مهم در ایران خواهد بود از این منطقه می‌گذرد ازاین‌رو شرایط یادشده در حوضه آبریز کن- سولقان این نیاز را به وجود آورده که بررسی فعالیت تکتونیکی در این منطقه از اهمیت خاصی برخوردار باشد. به همین لحاظ ارزیابی و بررسی فرآیندهای تکتونیکی فعال و اثرات ناشی از آن همچون لرزه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است تا به‌واسطه آن بتوان خطرات و خسارات ناشی ازاین‌گونه فرآیندهای فعال را به حداقل ممکن رساند.

وریوس و همکاران (۲۰۰۴)، تکتونیک گسل ایلکی در غرب خلیج کورنیس یونان را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک موردبررسی قراردادند و به این نتیجه دست یافتند که گسل ایلکی یک عامل تکتونیکی برتر در منطقه است و تغییرات فضایی فعالیت‌های تکتونیکی در جبهه موردمطالعه دلالت بر افزایش فعالیت‌های تکتونیکی در قسمت شرقی جبهه موردمطالعه دارد. سیمونی و همکاران (۲۰۰۳) نقش بالاآمدگی در تفاوت‌های مکانی الگو و تراکم زهکشی در آپنین شمالی ایتالیا را بررسی کردند. مطالعه آن‌ها نشان داد که الگوی زهکشی، تراکم زهکشی و ناهنجاری‌های زهکشی در منطقه، از تکتونیک تأثیریافته‌اند. گاروته و همکاران (۲۰۰۶)، هندسه حوضه زهکشی را در بخشی از خلیج محصور می‌سی‌سی‌پی نزدیک منطقه لرزه‌خیز مادرید به‌منظور تشخیص مناطق مهاجرت این رودخانه (به‌عنوان شاخص تکتونیک فعال) آن را مورد تجزیه‌وتحلیل قراردادند. همدونی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (LAT) به طبقه‌بندی تکتونیک فعال جنوب اسپانیا پرداخته و مناطق فعال تکتونیکی را مشخص نمودند. گارنیری و پیروتا (۲۰۰۸) نیز جهت بررسی تکتونیک در چهار حوضه زهکشی در شمال‌شرق سیسیلی ایتالیا از شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی و شاخص انشعابات، استفاده کرده و دریافتند که تکتونیک‌های فعال، نظم شبکه زهکشی را برهم می‌زنند و مقدار شاخص ناهنجاری زهکشی در حوضه‌های فعال از نظر تکتونیکی بیش از حوضه‌های با فعالیت تکتونیکی کم است. شارما و همکاران (۲۰۱۸) تحلیل مورفوتکتونیکی کمی از حوضه رودخانه Sheer Khadd بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتری انجام داده‌اند. نتایج حاکی از آن است که حوضه به سمت شرق تمایل به کج شدگی و انحراف دارد.

رادفر و همکاران (۱۳۸۴)، به مطالعه مورفوتکتونیک گسل کوهبنان در ایران مرکزی پرداخته‌اند و متوجه شدند که میزان فعالیت در قطعات مختلف گسل متفاوت بوده است و به‌صورت قطعات بسیار فعال، نسبتاً فعال و با

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]

فعالیت کم تقسیم‌بندی شده‌اند. مقصودی (۱۳۸۷)، در بررسی عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه جاجرود با استفاده از فرمول تجربی اقدام به تعیین اثر حرکات تکتونیکی در منطقه کرده و به این نتیجه رسیده است که تحول مخروط‌افکنه جاجرود حاصل عملکرد عوامل طبیعی شامل تغییرات اقلیمی، حرکات تکتونیکی و تغییر سطح اساس در درازمدت و عوامل انسانی در کوتاه‌مدت بوده است. آزور و همکاران (۲۰۰۲)، بامطالعه تاقدیس اوکشاریج در جنوب کالیفرنیا، تفاوت میزان بالاآمدگی تاقدیس و فعالیت تکتونیکی آن را بر اساس پارامترهای تراکم زهکشی، شیب لایه‌ها، انتگرال هیپسومتری زیر حوضه‌ها، شاخص شیب رودخانه و سینوزیته جبهه کوهستان محاسبه کردند. کرمی (۱۳۸۸) با محاسبه برخی از شاخص‌های ژئومورفیک به بررسی تحول کواترنری فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه زهکشی سعیدآبادچای پرداخته و این فعالیت‌ها را مورد ارزیابی قرار داده است. خاوری (۱۳۸۹) نیز به بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی حوضه کرج بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک پرداخته و نتایج این بررسی درنهایت به‌عنوان شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (lat) محاسبه و در چهار دره شامل خیلی خیلی فعال تا مناطق با فعالیت کم تقسیم‌بندی شد که نشان‌دهنده فعال بودن حوضه این رودخانه بوده است.

هدف کلی از این پژوهش، بررسی تکتونیک فعال منطقه و تأثیر آن در عناصر طبیعی و انسانی در حوضه آبریز کن- سولقان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک است. از عناصر طبیعی تحت تأثیر تکتونیک فعال منطقه، رودخانه اصلی و شکل حوضه کن- سولقان می‌باشد هم‌چنین یکی از عناصر انسانی تحت تأثیر تکتونیک منطقه، آزادراه تهران - شمال که در دست احداث است و یک شاه‌راه بسیار مهم در ایران خواهد بود این آزادراه از حوضه آبریز کن سولقان می‌گذرد. ازاین‌رو احداث بزرگراه و فعالیت‌های عمرانی در حوضه آبریز کن- سولقان این نیاز را به وجود آورده که بررسی فعالیت تکتونیکی در این منطقه از اهمیت خاصی برخوردار باشد تا به‌واسطه آن بتوان خطرات و خسارات ناشی ازاین‌گونه فرآیندهای فعال را به حداقل ممکن رساند؛ که در این پژوهش به‌منظور بررسی فعالیت تکتونیکی منطقه از شاخص‌های مورفوتکتونیکی استفاده‌شده است. محاسبه و مدل‌سازی شاخص‌های ژئومورفیک، در محیط نرم‌افزار ARC GIS انجام‌شده است و نتایج به‌صورت اطلاعات مکانی- فضایی و هم‌چنین جداول ارائه گردیده است.

روش تحقیق

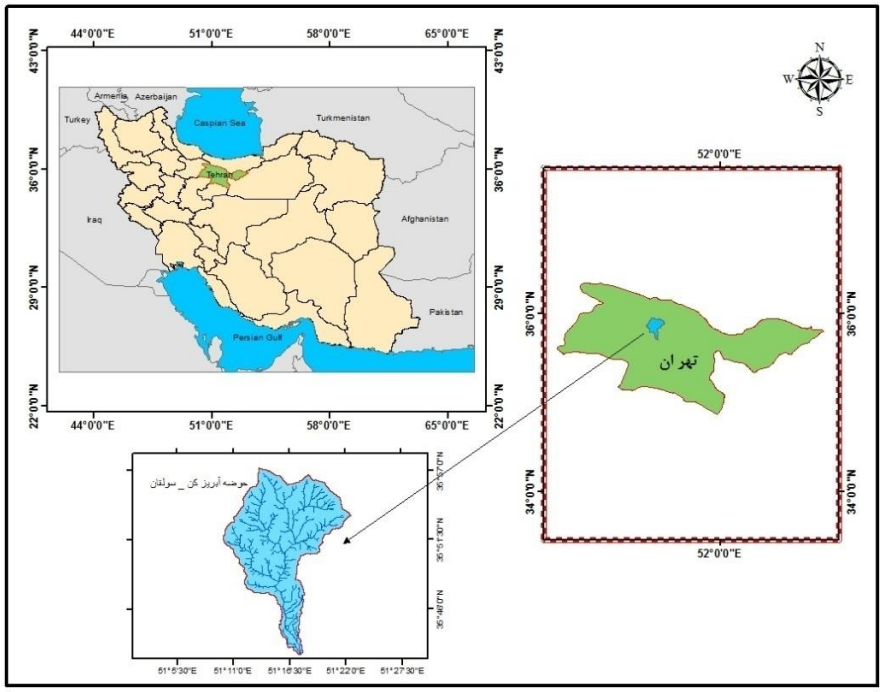
معرفی محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز کن از جنوب به شهر تهران، از شرق به حوضه درکه، از شمال به حوضه سد کرج و از غرب به حوضه رودخانه کرج (پایین‌دست سد) ارتباط دارد. این حوضه حدفاصل ۳۵,۴۶ تا ۳۵,۵۸ عرض جغرافیایی و ۵۱,۱۰ تا ۵۱,۲۳ طول جغرافیایی واقع‌شده است. رودخانه‌های حوضه از مناطق مرتفع شمال تهران سرچشمه گرفته و به همین دلیل از شیب بالایی برخوردار هستند. مهم‌ترین آبراهه حوضه موردمطالعه رودخانه کن می‌باشد که از ارتفاعات مشرف‌به امامزاده داوود سرچشمه گرفته و تا خروجی حوضه ادامه دارد از دیگر آبراهه‌های مهم حوضه می‌توان از رندان، تالون، سنگان و کشار نام برد. گسل‌ها، از مهم‌ترین عناصر ساختاری در گستره موردمطالعه می‌باشند که در به وجود آمدن و شکل دادن مورفولوژی کنونی منطقه سهم بسزایی دارند. روند کلی گسل‌های مهم منطقه شمال‌غرب- جنوب‌شرق است و اکثر آن‌ها رورانده (معکوس) می‌باشند که

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]

دارای حرکت امتدادی راست‌گرد و چپ‌گرد نیز بوده ولی مؤلفه راست‌گرد در این منطقه بیشتر دیده می‌شود در منطقه به علت دگریختی خاص خود روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب نیز در گسل‌ها مشاهده می‌شود (بربریان قریشی و ارژنگ، ۱۳۶۴). گسل بسیار مهمی که در روند شمال غرب- جنوب شرق را دارد گسل امامزاده داوود با حدود ۲۰ کیلومتر طول، روراندگی زیادی دارد. سایر گسل‌های قابل‌مشاهده در جاده کن- سولقان از همین روند پیروی می‌کنند، حدود ۱۱ گسل در امتداد این جاده قابل‌تشخیص هستند و اغلب سطح منقطعی دارند. از مهم‌ترین گسل‌های منطقه عبارت‌اند از گسل امامزاده داوود، گسل رندان، گسل کیگا، گسل کشار، گسل تراستی پورکان- وردیج، گسل عقیل، گسل راندگی شمال تهران.

سلسله جبال البرز خود جزئی از قسمت شمالی کوهزایی آلپ- هیمالیا در آسیای غربی به شمار می‌رود و از شمال به بلوک فرورفته کاسپین و از جنوب به فلات ایران مرکزی محدود می‌شود. روند ساختاری کوه‌های بخش غرب- جنوب‌شرق و تا اندازه‌ای با نوار شمالی زاگرس چین‌خورده و امتداد ساختمانی قفقاز کوچک و بزرگ هم‌جهت است. درحالی‌که روند ساختمانی بخش شرقی کوه‌های البرز تقریباً شمال‌شرقی- جنوب‌غربی بوده و تا امتداد گسل بزرگ کویر یا گسل درونه موازی است (بربریان ۱۹۷۶، نوگل ۱۹۷۸). توده سنگ‌های مسیر تونل‌ها از جنوب به شمال از توف سنگ‌های سازند کرج و توده‌های گچی همراه با سن ائوسن، سنگ‌آهک‌ها و دولومیت‌های پرمین و توالی شیل و ماسه‌سنگ ژوراسیک (معادل سازند شمشک) و با روندی تقریباً عمود بر مسیر تونل‌ها تشکیل‌شده‌اند. قرارگیری این واحدهای سنگی در کنار یکدیگر تکتونیکی بوده و متأثر از حرکت راندگی گسل کندوان و مجموعه سنگ‌های همراه صورت گرفته است شکل(۱).



شکل (۱). موقعیت حوضه آبریز کن- سولقان (البرز جنوبی)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]

داده و روش کار

شاخص‌های مورفوتکتونیکی

شاخص عدم تقارن رودخانه (Af): در این شاخص عدم تقارن رودخانه را نسبت به تکتونیک سنجیده می‌شود هرچقدر عدم تقارن باشد تکتونیک فعال است. هروگاردنر در سال ۱۹۰۵ و کلر و پنتر در سال ۲۰۰۲ در رابطه با این شاخص کار کرده‌اند. فرمول آن به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$AF=100\frac{Ar}{At}$$ رابطه (۱)

که در آن، Af، عدم تقارن رودخانه، Ar مساحت حوضه از پایین‌دست تا سرشاخه و At، مساحت کل حوضه می‌باشد جدول (۱).

جدول (۱). میزان آستانه شاخص عدم تقارن رودخانه (Af)

فعالیت	رده	شاخص
فعال	۱	|Af- ۵۰| <۷
متوسط	۲	۷<|Af- ۵۰|<۱۵
آرام	۳	|Af - ۵۰|>۱۵

شاخص شکل حوضه (BS): حوضه زهکشی نسبتاً جوان در مناطق تکتونیکی فعال تمایل به طویل شدن از شکل عادی به سمت شیب توپوگرافی کوهستان دارند. با ادامه تکامل یا کمتر شدن فعالیت فرایندهای زمین ساختی، شکل دراز بیشتر به شکل دایره متمایل می‌شود (Bull & McFadden, 1977).

طرح افقی شکل حوضه با یک نسبت طولی توصیف می‌شود، BS که در آن BL بلندترین طول اندازه‌گیری شده حوضه از سرچشمه تا خروجی و BW، بزرگ‌ترین عرض اندازه‌گیری شده است، حوضه که عریض‌ترین نقطه می‌باشد. مقادیر بالای BS، همراه با طویل‌ترین حوضه، عموماً با فعالیت تکتونیکی نسبتاً بالای همراه است. مقادیر کم BS، بیشتر بیانگر شکل مدور حوضه است که عموماً با فعالیت تکتونیکی کم همراه است. به‌طورکلی جبهه کوه‌های مرتفع به‌سرعت گسترش‌یافته و حوضه متوقف می‌شود؛ و وقتی‌که فعالیت‌های زمین ساختی تقلیل یافته و یا متوقف می‌شود، گسترش حوضه از جبهه کوه اتفاق می‌افتد (Ramirez- Herrera, 1998). نکته مهم این شاخص این است که، اگر شاخص شکل حوضه برابر با BS باشد یعنی برابر با نسبت طول و عرض است جدول (۲).

جدول (۲). میزان آستانه شاخص شکل حوضه (Bs)

نوع	فعالیت	Class	شاخص
حوضه کشیده	فعال	۱	۳<Bs
———	متوسط	۲	۳≤Bs<۴
حوضه مدور	کم	۳	۳>Bs

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]

شاخص انتگرال هیپسومتری (hypsometric): انتگرال هیپسومتریک شاخصی است که توزیع ارتفاعی یک مساحت معین از یک چشم‌انداز را توضیح می‌دهد (استالر ۱۹۵۲). به‌طورکلی انتگرال به دست می‌آید برای یک حوضه زهکشی خاص و شاخصی است که مستقل از مساحت حوضه است این شاخص به‌عنوان مساحت زیر خط منحنی هیپسومتری تعریف می‌شود و بنابراین بیان می‌کند حجمی از حوضه را که فرسایش پیدا نکرده است (ولدی، ۱۳۹۰) رابطه (۲).

$$HI=\frac{Hmean-Hmin}{Hmax-Hmin}$$ رابطه (۲)

انتگرال هیپسومتریک به‌طور مستقیم به تکتونیک نسبی فعال، مربوط نیست. این شاخص شبیه به شاخص SL است که در آن مقاومت سنگ و همچنین عوامل دیگر تأثیر دارد. مقادیر بالای شاخص به‌طورکلی به معنی این نیست که بسیاری از ارتفاعات فرسایش یافته‌اند و ممکن است بیانگر چشم‌انداز جوان‌تری باشد که شاید توسط یک تکتونیک به وجود آمده باشد.

شاخص شیب رودخانه (SL): این شاخص توسط HaCK در سال ۱۹۷۳ ارائه شده است که مقاومت سنگ‌ها را در تغییر پروفیل طولی یک رودخانه را بررسی می‌کند. شاخص شیب رودخانه، وابسته به نیروی جریان است و به‌عنوان $SI=L(\Delta H/\Delta L)$ تعریف می‌شود که L طول جریان از نقطه شروع (نزول) می‌باشد، ΔH تغییرات ارتفاعی در مقطع موردنظر و ΔL طول آبراهه هست ((1973HaCK. شاخص SL به تغییرات شیب مجرا (کانال)، مقاومت سنگ، توپوگرافی و طول جریان خیلی حساس است جدول (۳).

جدول (۳). میزان آستانه شاخص گرادیان طولی رودخانه (SI)

فعالیت	رده	شاخص
فعال	۱	SL>۵۰۰
متوسط	۲	۳۰۰ <SL <۵۰۰
کم	۳	۳۰۰<SL

شاخص سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)[1]: شاخص Smf به میزان فرسایش و نیروی تکتونیکی متأثر از جبهه کوهستان برمی‌گردد و به‌عنوان $Smf=\frac{lmf}{lf}$ تعریف می‌شود، از طریق نسبت دو طول به دست می‌آید. Lmf طول جبهه کوهستان (طول پلانیمتری) و Lf طول خط مستقیم جبهه کوهستان است. مقدار Smf نزدیک به ۱ نمایش داده می‌شود که بیانگر جبهه کوهستان با فعالیت تکتونیکی شدید است (خط مستقیم جبهه کوهستان). درنتیجه افزایش مقدار فرآیندهای غالب فرسایشی، بیشتر جبهه بی‌قاعده کوهستان ایجاد می‌شود (Bull& McFadden.۱۹۷۷) جدول (۴).

[1]. Mountain front sinuosity

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]

جدول (۴). میزان آستانه شاخص سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)

فعالیت	رده	شاخص
فعال	۱	smf <۱
متوسط	۲	۱.۱< smf <۱.۵
آرام	۳	۱.۵< smf

شاخص نسبت عرض بستر دره با ارتفاع دره (vf)[1]: شاخص vf وابسته به شکل دره است و با رابطه (۳) تعریف می‌شود.

Vf=2vfw/[(Erd-Esc)+(EId-Esc)] رابطه (۳)

که vfw عرض بستر دره، EId و Erd به ترتیب بخش‌های چپ و راست دره، Esc ارتفاع (بلندی) بستر دره است. بستر پهن دره‌ها، مقدار بالای شاخص vf را نشان می‌دهد که بیانگر میزان فعالیت کم تکتونیک است، درصورتی‌که شکل v دره‌ها کم vf (نزدیک صفر) متناظر به‌سرعت برش دره‌ها است (Bull & McFadden.1977) جدول(۵).

جدول (۵). میزان آستانه شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع دره (Vf)

نوع	فعالیت	رده	شاخص
V	فعال	۱	Vf <۰.۵
-	متوسط	۲	۱> Vf >۰.۵
U	کم	۳	۱>Vf

شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (TP)[2]: این شاخص از نسبت دو تا فاصله به دست می‌آید که فاصله اولی را با Da و فاصله دومی را با Dd نمایش می‌دهند. معادله این شاخص به‌صورت رابطه (۴) است:

$$DP=\frac{Da}{Dd}$$ رابطه (۴)

که Da، فاصله خط تقارن (خط میانی) تا خط مرز حوضه و Dd، فاصله خط تقارن م (خط میانی) تا آبراهه است. در این شاخص دو حالت وجود دارد:

الف- در حالت اول، اگر TP=0 باشد که در این صورت Da=0 است؛ یعنی آبراهه ممکن است درست برخط تقارن منطق باشد که بیانگر حوضه متقارن است.

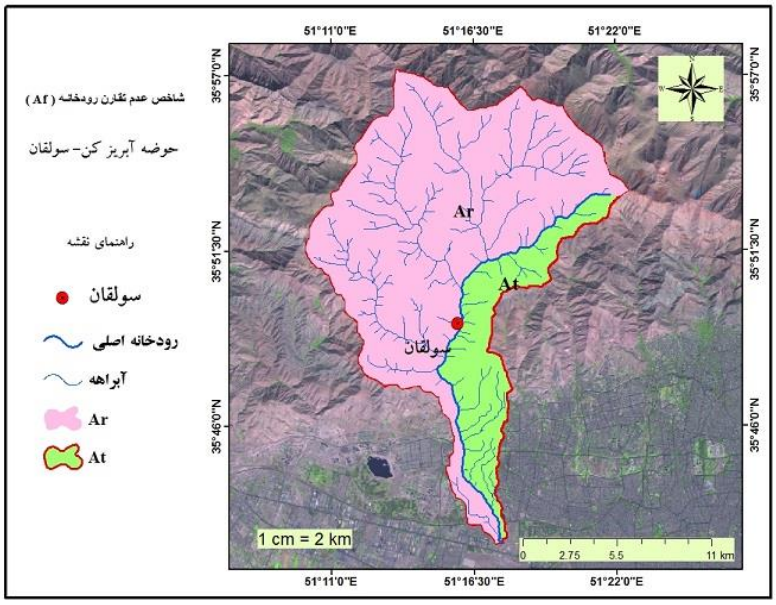
ب- این در حالتی است که آبراهه به حدی از خط تقارن فاصله بگیرد که درست در مرز حوضه قرار گیرد که در این صورت Tp=1 می‌شود. البته این حالت غیرممکن است و فقط به‌صورت فرضی قابل‌تصور می‌باشد. جایی که تقارن عرضی از صفر (۰) به سمت یک (۱) میل کند، فعالیت تکتونیکی در حوضه بیشتر و فعال‌تر است.

1. the ratio of width to valid
2. Transverse topographic symmetric factor

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]

نتایج

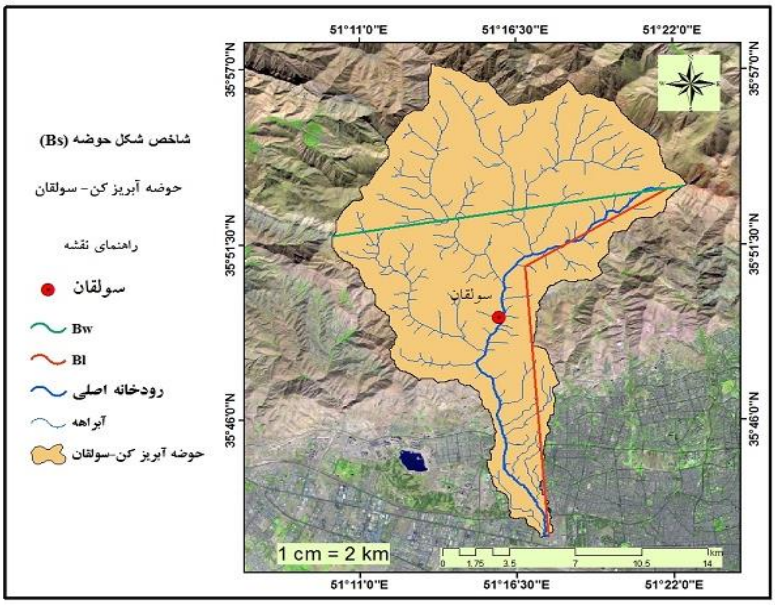
جهت بررسی و ارزیابی فعالیت تکتونیکی و اثرات آن بر روی شکل حوضه و رودخانه اصلی کن- سولقان شاخص‌های ژئومورفیک در سطح کل حوضه به‌صورت داده‌های فضایی- مکانی و به‌صورت نقشه و جدول ارائه‌شده است.



شکل (۲). نقشه شاخص عدم تقارن (Af) حوضه آبخیز کن- سولقان

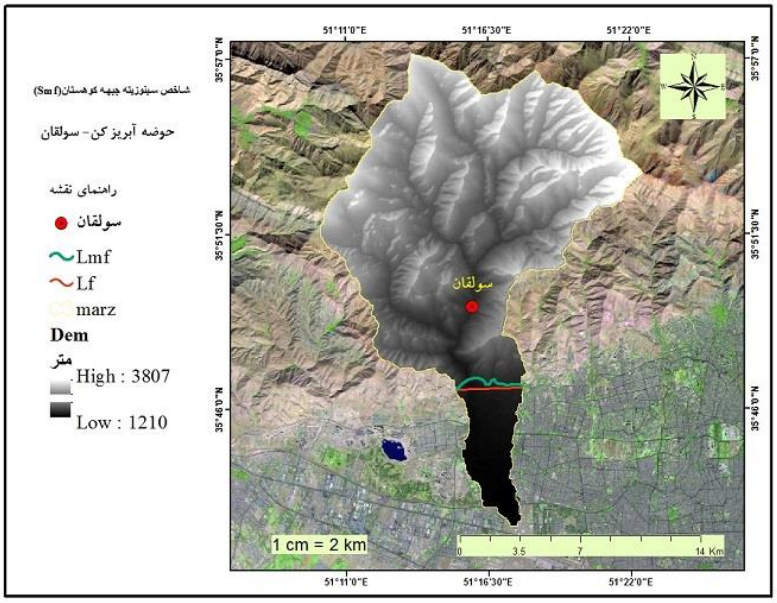
شاخص عدم تقارن زهکشی که نشان‌دهنده‌ی تقارن رودخانه نسبت ساحل‌های حوضه می‌باشد؛ که ساحل راست حوضه (نگاه به سمت خروجی حوضه) نسبت به‌کل مساحت حوضه در نظر می‌گیرند. در حوضه کن- سولقان، مقدار شاخص عدم تقارن زهکشی بر اساس رابطه (۱) عدد ۲۹ به‌دست‌آمده است، بر طبق عدد به‌دست‌آمده می‌توان گفت که حوضه دارای عدم تقارن و انحراف به سمت چپ حوضه می‌باشد شکل (۲).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]



شکل (۳). نقشه شاخص شکل حوضه (Bs) حوضه آبخیز کن- سولقان

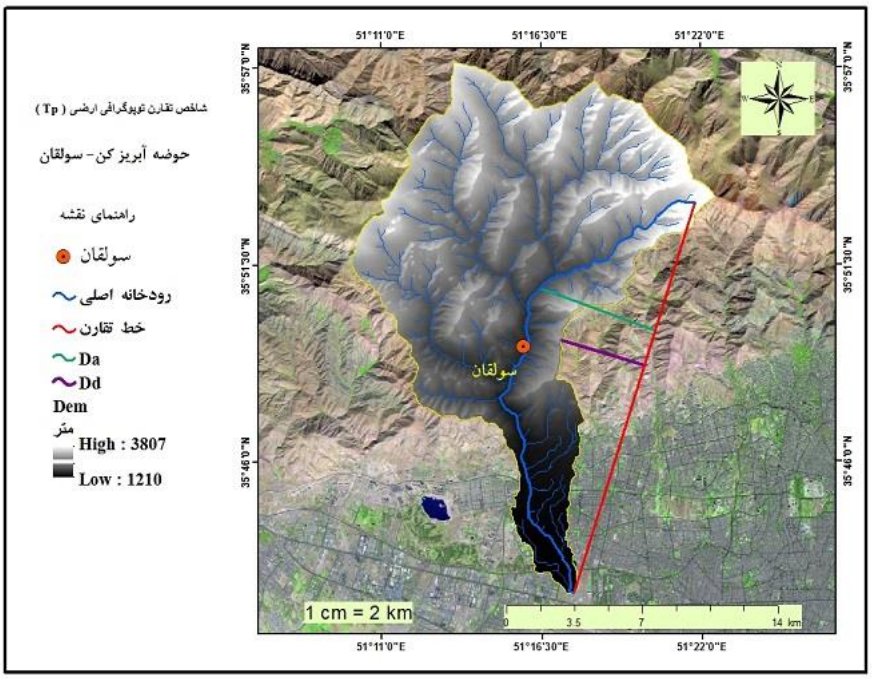
شاخص شکل حوضه در حوضه کن – سولقان شکل (۳) طول رودخانه اصلی و پهنای بزرگ آن استخراج شد مقدار این شاخص برای حوضه برابر ۱/۲۹ هست که این مقدار با توجه به جدول (۲) نشان می‌دهد که حوضه در رده تکتونیکی سه یعنی غیرفعال می‌باشد و حوضه دارای شکل نزدیک به دایره می‌باشد.



شکل (۴). نقشه شاخص سینوزیته جبهه کوهستان (Smf) حوضه آبخیز کن- سولقان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]

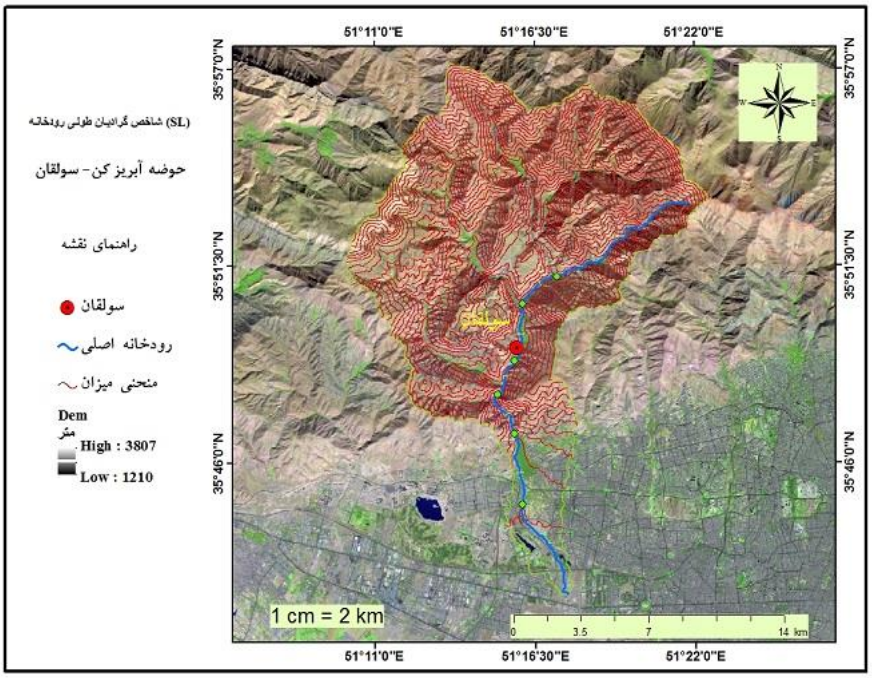
شاخص سینوزیته جبهه کوهستان که بر اساس طول پلانیمتری و طول مستقیم در کوهستان حوضه کن- سولقان به دست آمد مقدار این شاخص برابر ۱/۲۲ برآورد شد نشان می‌دهد که حوضه در رده نیمه فعال قرار دارد هم‌چنین نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی در منطقه می‌باشد در واقع نیروهای زمین‌ساختی تمایل به بالاآمدگی حوضه در برابر نیروهای فرسایش‌دهنده است شکل (۴).



شکل (۵). نقشه شاخص تقارن توپوگرافی (Tp) حوضه آبخیز کن- سولقان

شاخص تقارن توپوگرافی ارضی که تقارن رودخانه را نسبت به مرز حوضه سنجیده می‌شود در حوضه کن- سولقان نیز محاسبه‌شده است. این شاخص وضعیت تقارن و درنتیجه فعال و غیرفعال بودن حوضه را تشخیص داد. نقشه تقارن توپوگرافی در حوضه آبریز کن- سولقان نشان‌دهنده فعال بودن حوضه و در نهایت عدم تقارن رودخانه اصلی را نمایش می‌دهد که متأثر از عوامل ساختاری به‌خصوص گسل‌های منطقه می‌باشد که این عامل ساختاری موجب انحراف و کج‌شدگی رودخانه گردیده است شکل (۵).

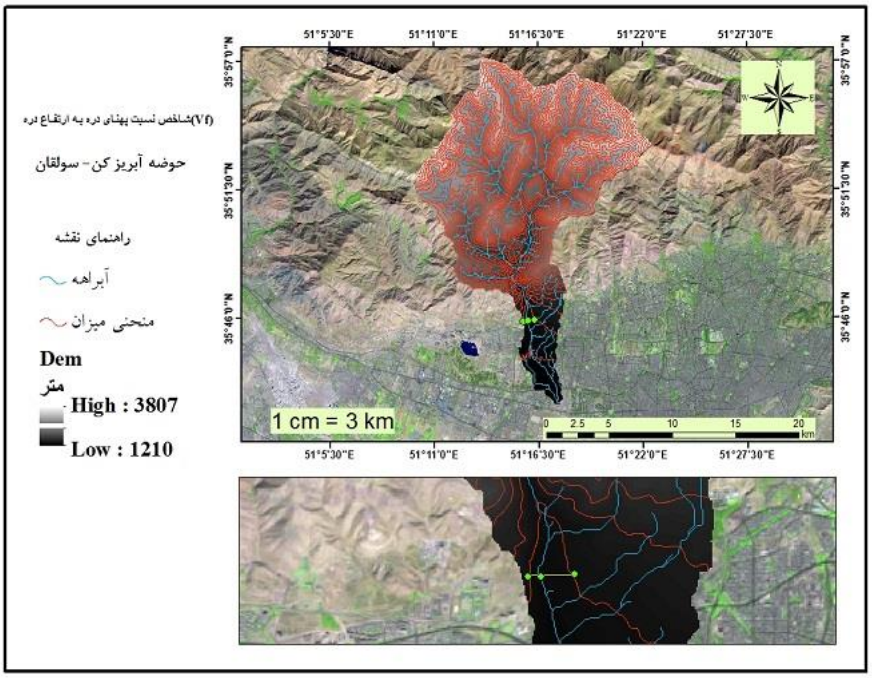
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]



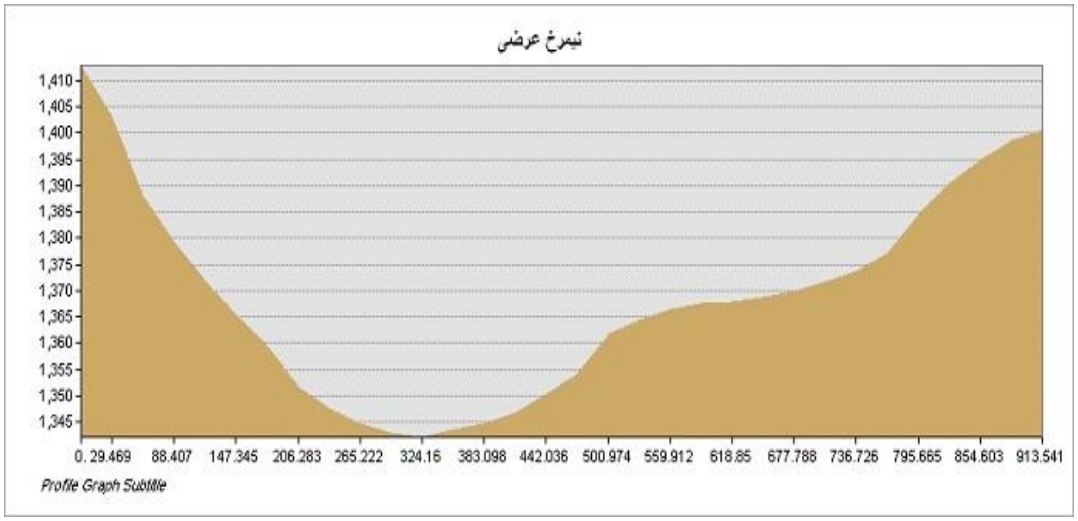
شکل (۶). نقشه شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) حوضه آبخیز کن- سولقان

شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)، بیانگر اثر لیتولوژی بر شکل و رودخانه و قدرت رود در فرسایش بستر و حمل مواد آن در ارتباط می‌باشد. در حوضه کن-سولقان مقدار شاخص برابر با ۶۴۶/۷۴ که نشان‌دهنده حوضه نیمه فعال بوده و درواقع حاکی از لیتولوژی نسبتاً مقاوم در سطح حوضه می‌باشد منطقه موردمطالعه از سنگ‌های آتش‌فشانی و آذرآواری سازند کرج تشکیل یافته که بر روی گستره کوهپایه‌ای تهران رانده‌شده‌اند. رسوب‌های این سازند گسترش وسیعی در محدوده نقشه داشته و بیشتر شامل توف‌های سبز، توفیت، شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا است که نشان از پراکندگی لیتولوژی با مقاومت‌های متفاوتی در گستره‌ی حوضه می‌باشد شکل (۶).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]



شکل (۷). نقشه شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع دره (Vf) حوضه آبخیز کن- سولقان



شکل (۸). نیمرخ عرضی حوضه موردمطالعه

شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره در شکل (۷) نشان‌دهنده فرسایشی یا تکتونیکی بودن حوضه می‌باشد که می‌توان با استفاده از این شاخص دره‌های جوان و فرسوده و قدیمی را تشخیص داد. در حوضه کن- سولقان شاخص Vf در رده تکتونیکی غیرفعال بوده و نشان‌دهنده‌ی دره فرسایشی در سطح حوضه می‌باشد. شکل نیمرخ عرضی رود و مخصوصاً درجه تقعر آن به عوامل مختلفی ازجمله تمرکز دبی جمع شده از

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]

شبکه‌های زهکشی به مجرای اصلی رود، میزان فرسایش رسوب در امتداد مجرا، سنگ‌شناسی، توپوگرافی و ویژگی‌های تکتونیکی حوضه بستگی دارد. با توجه به نیمرخ عرضی حوضه کن سولقان، حوضه موردمطالعه در پایین‌دست، دارای نیمرخ U شکل می‌باشد که نشان از غلبه فرسایش کاووشی در منطقه است شکل (۸).

شاخص انتگرال هیپسومتریک در ارتباط با ارتفاعات حوضه می‌باشد که بر اساس الگوی رقومی ارتفاعی، نقاطی جهت برآورد حداکثر، حداقل و میانگین ارتفاع به‌صورت تصادفی استخراج شد. مقادیر شاخص حاکی از فعالیت تکتونیکی فعال بوده و نشان‌دهنده‌ی کوهستانی بودن و ارتفاعات زیاد در سطح حوضه می‌باشد بلندترین ارتفاع منطقه در شمال شرقی حوضه و در سرشاخه امامزاده داود با ارتفاع ۳۹۰۰ متر و پست‌ترین نقطه محدوده، ۱۴۰۵ متر در محل خروجی رودخانه کن به دشت می‌باشند.

درنهایت با توجه به رده تکتونیکی شاخص‌های ژئومورفیک اجراشده در سطح حوضه آبریز کن – سولقان، مقادیر فعالیت نسبی تکتونیکی محاسبه شد که در جدول (۶) ارائه‌شده است. میزان شاخص حاکی از فعال بودن حوضه ازنظر تکتونیکی می‌باشد.

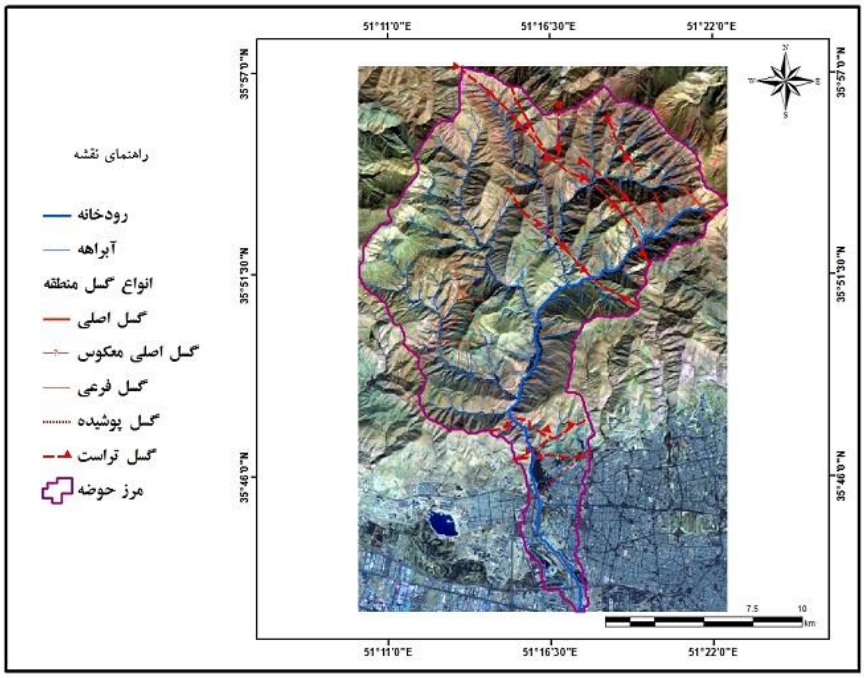
جدول (۶). تقسیم‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک و زمین‌ساخت فعال نسبی حوضه آبخیز کن- سولقان

شاخص	Af	Bs	Smf	Vf	Tp	Sl	Hi	Lat
مقادیر شاخص	۲۹	۱/۲۹	۱/۲۲	۲۳/۱۰	۱/۴۲	۴۶۴/۷۴	۵/۵۳	۱/۸۵
رده تکتونیکی	۱	۳	۲	۳	۱	۲	۱	۲
وضعیت تکتونیکی	فعال	غیرفعال	نیمه فعال	غیرفعال	فعال	نیمه فعال	فعال	فعال

مآخذ: نگارندگان،۱۳۹۷

یکی از عناصر طبیعی تحت تأثیر تکتونیک منطقه، رودخانه اصلی کن- سولقان، می‌باشد که به دلیل تأثیر عوامل ساختاری به‌ویژه گسل‌های منطقه، حوضه دارای عدم تقارن و انحراف به سمت چپ حوضه می‌باشد؛ که انطباق رودخانه اصلی با گسل‌های منطقه در شکل (۹) ارائه‌شده است.

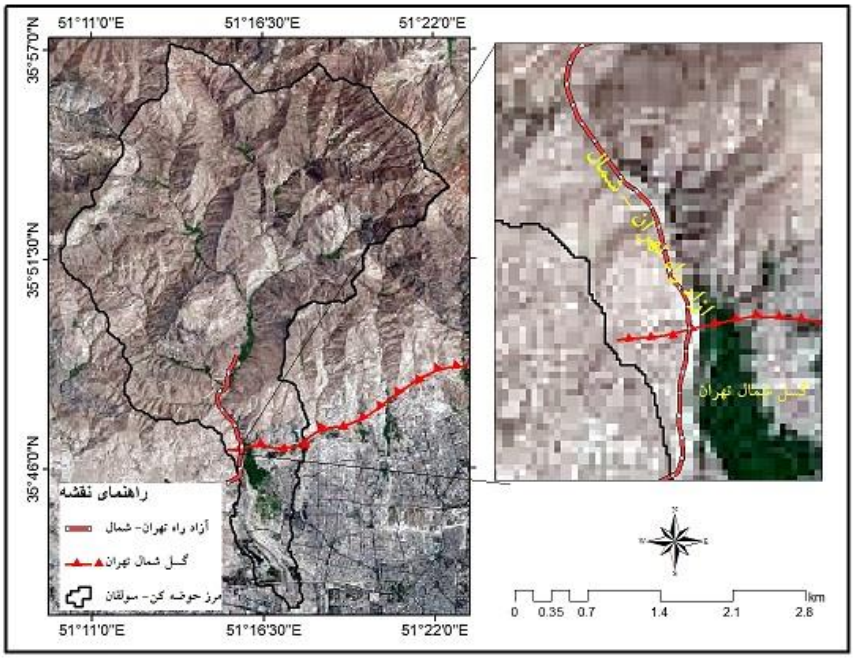
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]



شکل (۹). نقشه انطباق رودخانه اصلی با گسل‌ها حوضه آبخیز کن- سولقان

منطقه موردمطالعه بر اساس نتایج شاخص‌های مورفوتکتونیکی و توسعه گسل‌های فعال ازجمله گسل شمال تهران، واجد پیچیدگی‌های خاص زمین‌شناختی – ساختاری می‌باشد که نشان‌دهنده وضعیت تکتونیکی فعال در منطقه است. در چنین مناطقی عدم اطمینان از شرایط زمین‌شناختی و تکتونیکی منطقه که می‌تواند با خطراتی در هنگام ساخت آزادراه و بعدازآن همراه باشد، ضرورت ارزیابی و بررسی وضعیت تکتونیکی و ساختارهای متأثر از آن را ایجاب می‌نماید. از عناصر تحت تأثیر تکتونیک منطقه، آزادراه تهران- شمال می‌باشد که گسل فعال شمال تهران از آن عبور می‌کند شکل (۱۰).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]



شکل (۱۰). نقشه موقعیت آزادراه تهران- شمال در حال احداث و گسل فعال شمال تهران

نتیجه‌گیری

به دلیل پیچیدگی‌های زمین ساختاری در البرز جنوبی و تأثیرپذیری عوارض طبیعی (شکل حوضه و مسیر رودخانه) و انسان‌ساخت (آزادراه تهران- شمال) از شرایط تکتونیکی منطقه، بررسی و مطالعه وضعیت تکتونیکی منطقه ضرورت می‌یابد. امروزه، شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتریک ابزاری برای تحلیل‌های مورفوتکتونیکی مناطق مختلف هستند. ازاین‌رو، در این پژوهش، شاخص‌های مختلف شامل شاخص عدم تقارن رودخانه (Af)، شکل حوضه (Bs)، انتگرال هیپسومتریک (H)، شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)، سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)، نسبت پهنای دره به کف دره (Vf) و تقارن توپوگرافی ارضی (Tp) محاسبه‌شده و نتایج این تجزیه‌وتحلیل با هم جمع گردیده و با شاخصی تحت عنوان زمین‌ساخت فعال نسبی (LAT) بیان گردید. داده‌های مورداستفاده، برای محاسبه شاخص‌های مورفوتکتونیک نقشه‌ی توپوگرافی و الگوی رقومی ارتفاعی منطقه با توان تفکیک ۳۰ متر (سنجنده ASTER) می‌باشد. درنهایت، حوضه کن- سولقان، به سه ناحیه‌ی تکتونیکی با فعالیت آرام، نیمه فعال، فعال تقسیم‌بندی شده است. محاسبه شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (LAT) نشان می‌دهد که منطقه ازنظر زمین‌ساخت فعال بوده و نیروهای زمین‌ساختی تمایل به بالاآمدگی حوضه دارند. هم‌چنین انطباق گسل‌ها و آبراهه‌های حوضه نشان داد که گسل‌های منطقه در انحراف آبراهه‌ها و رودخانه نقش داشته است. نتایج کلی محاسبات شاخص‌های مورفوتکتونیک در این پژوهش، زمین‌ساخت فعال را در بخش‌های شمال و شمال خاوری حوضه واقع در دهستان سولقان و همچنین در بخش جنوبی حوضه کن- سولقان که با گسل شمال تهران نیز مطابقت دارد را نشان می‌دهد؛ بنابراین، با توجه به فعال بودن منطقه به لحاظ تکتونیکی و گذر تونل آزادراه تهران- شمال در چنین مناطقی، عدم اطمینان از شرایط زمین‌شناختی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]

و تکتونیکی منطقه که می‌تواند با خطراتی در هنگام ساخت آزادراه و بعدازآن همراه باشد، ضرورت ارزیابی و بررسی وضعیت تکتونیکی و ساختارهای متأثر از آن را ایجاب می‌نماید. بررسی و انطباق موقعیت گسله‌های اصلی منطقه، ازجمله گسله شمال تهران با مسیر آزادراه تهران- شمال نشان می‌دهد که گسله مذکور مسیر آزادراه تهران – شمال را قطع کرده و منطبق بر هم می‌باشند لذا فعالیت تکتونیکی بالا در حوضه کن- سولقان و احتمال رخداد زلزله ناشی از گسل شمال تهران، احتمال وقوع حرکات توده‌ای دامنه‌ای، تخریب تونل‌ها و مسیر آزادراه را افزایش خواهد داد در نتیجه ضروری است که اقدامات حفاظتی و مهندسی موردنیاز در مورد مسیر آزادراه و سازه‌های مرتبط با آن موردتوجه خاص قرار گیرد تا در صورت وقوع چنین مخاطراتی، حداقل خسارات وارد گردد.

منابع

بربریان، مانوئل؛ قریشی، منوچهر؛ ارژنگ، بهرام؛ مهاجران، ارسلان. (۱۳۶۴). **پژوهش و بررسی ژرف نو زمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه، گسلش در گستره تهران و پیرامون** (گزارش ۵۶، سازمان زمین‌شناسی کشور) مؤسسه اطلاعات.

چورلی، ریچارد؛ شوم، استانلی رای؛ سودن یوید ای. (۱۳۷۹). **ژئومورفولوژی (جلد سوم)، فرآیندهای دامنه‌ای، آبراهه‌ای، ساحلی و بادی**، ترجمه احمد معتمد، چاپ اول، انتشارات سمت.

حاجی کریمی، زهرا، (مهر ۱۳۸۸). **مخاطرات ژئومورفولوژیکی جاده کن امامزاده داوود**، استاد راهنما: منصور جعفر بیگلو، دانشگاه تهران.

خاوری، رضوان؛ قریشی، منوچهر؛ آرین، مهران؛ خسرو تهرانی، خسرو. (۱۳۸۹)، **نشانه‌های زمین ریختی زمین‌ساخت فعال حوضه رودخانه کرج در دامنه جنوبی البرز مرکزی**، شمال ایران، علوم زمین، ۷۵، ۷۴-۶۷.

دورنکامپ و کینگ و همکاران، (۱۳۷۰)، **تحلیل‌های کمّی در ژئومورفولوژی**، ترجمه جمشید فریفته، انتشارات دانشگاه تهران.

رادفر، شهباز؛ پور کرمانی، محسن، (۱۳۸۴)، **ریخت زمین‌ساخت گسل کوه بنان**، مجله علوم زمین، سال ۱۵، شماره ۵۷، ۱۸۳-۱۶۶.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. (۱۳۷۵). دفتر امور فنی و تدوین معیارها.

سیف، عبداله؛ خسروی، قاسم. (زمستان ۱۳۸۹). **بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارسان**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴، ۱۴۶-۱۲۵.

عبادیان، سارا. (زمستان ۱۳۷۹). **تحلیل ساختاری و زمین‌ساختی طاقدیس سبزپوشان بر اساس آنالیز مورفوتکتونیکی منطقه**، سید احمد علوی، دانشگاه شهید بهشتی.

کرمی، فریبا، (۱۳۸۸)، **ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه زهکشی سعید چای**، پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۹،۶۷-۸۲.

مطالعات تفضیلی- اجرایی حوزه آبخیز کن گزارش زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و ژئومورفولوژی (۱۳۷۶). وزارت کشاورزی.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]

مقصودی، مهران. (۱۳۸۷). **بررسی عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط افکنه جاجرود)**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵.

ولدی، مونا، (تابستان ۱۳۹۲). **ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز بادآورد (نورآباد- لرستان) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک**، استاد راهنما: دکتر امیر صفاری، دانشگاه خوارزمی.

Bull W.B., Mcfadden, LD. (1977). **Tectonic Geomorphology North and South of the Garlock Fault, Califrnia, in: Doehring, D.O.(Ed),** Geomorphology in Arid Regions, Proceeding of the 8th Annual Geomorphology Syposium, state University of New York, Binghamton, 115-138.

Guarnier, P., pirro a, C. (2008). **the response of drainage basins to the late quaternary tectonics in the sicillan side of the messina Strait(NE Sicily),** Geomorphology, 95: 260-273.

Hamdonuni, R.E., lrigaray, C., Fernadez, T., Chacon,J.,Keller E.A. (2008), **Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada(Southern spain),** Geomorphology, 96, 150- 173.

Keller, E.A., printer, N. (2002). **Ac Ve Tectonics: Earthquake Upil, and Landscape**, Prentice Hall, Newjersey.

Simoni, A., Elmi, C., Picotti, V. (2003). **Late Quaternary Uplift and Valley Evolution in the Northern Apennines, Lamone Catchment,** Quaternary International, Vol. 101-102, 253-267.

Stanly, E. (2000). **Active Tectonic Alluvial River.** Cambridge University Press.

Sharma, A., Singh, P., & Rai, P. K. (2018). **Morphotectonic analysis of Sheer Khadd River basin using geo-spatial tools.** Spatial Information Research, 26(4), 405-414.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.38.1]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.343]