فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال دوازدهم، شماره ۴۲، بهار۹۷

شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی، زمین‌ساخت جنبا و لرزه‌خیزی حوضه‌های لوت و جازموریان (استان کرمان)

فاطمه میلان[۱] و مجید نعمتی*[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری، بخش جغرافیا، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم و مرکز پژوهشی زلزله دانشگاه شهید باهنر کرمان nematimajid_1974@uk.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۱

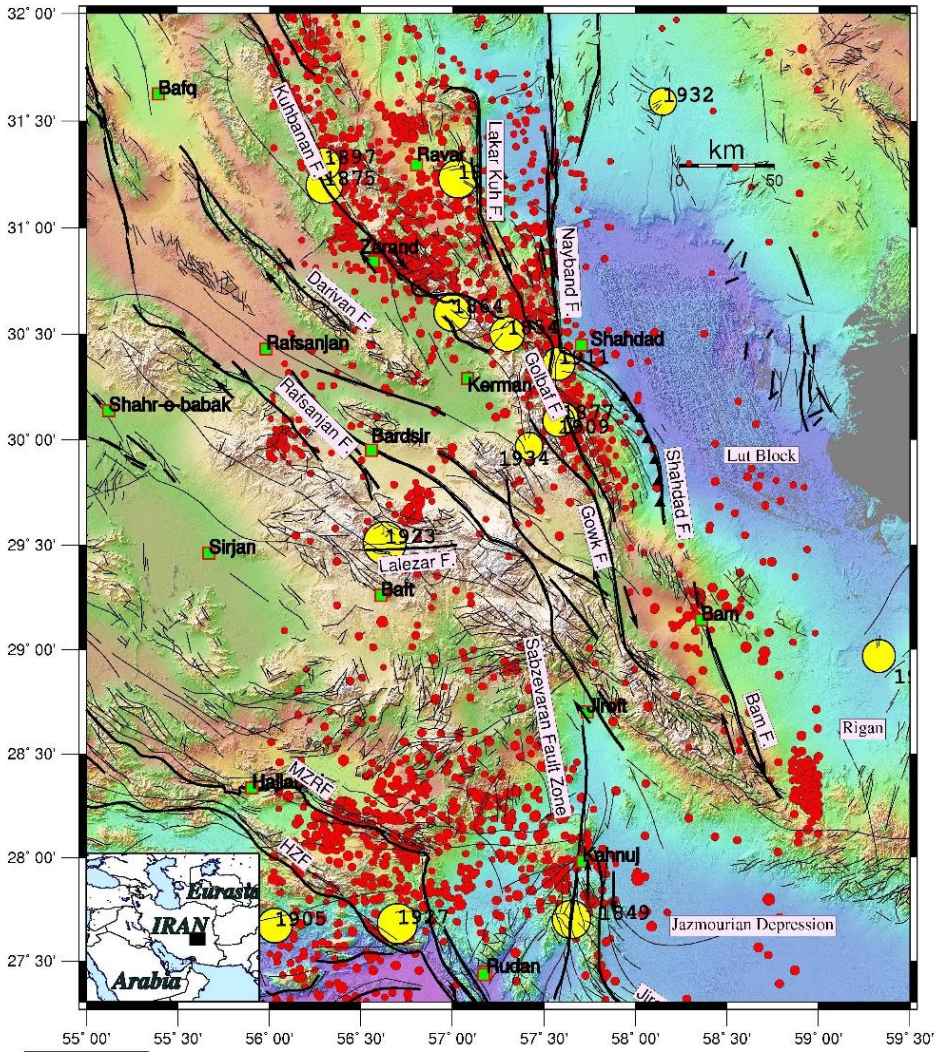
چکیده

استان کرمان یکی از مناطق لرزه‌خیز ایران است که گسل‌های زیادی با روندهای متفاوت در آن به چشم می‌خورد. از این رو پرداختن به بحث زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی در این استان می‌تواند در زمینه‌های مختلف مانند مدیریت بحران مفید باشد. در این راستا ، به بررسی زمین‌ساخت جنبا در حوضه‌های لوت و جازموریان و پیوند آن با لرزه‌خیزی این مناطق پرداختیم. در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و کاتالوگ لرزه‌ای موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران بهره جستیم. از شاخص‌های ژئومورفیک مانند شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکش (AF)، شاخص عامل تقارن توپوگرافی (T) و شاخص نسبت شکل حوضه (BS)، برای پی بردن به وضعیت زمین‌ساختی حوضه‌ها استفاده شده است. هم‌چنین برای نشان دادن زمین‌ساخت جنبا در استان کرمان با استفاده از شاخص‌های کمی ژئومورفیک بهره برده شده است. اگرچه، با به‌کارگیری شاخص ارزیابی نسبی فعالیت تکتونیکی (lat)، زمین‌ساخت در هر حوضه از دیدگاه جنبا بودن یا نبودن، مشخص شد که هر دو حوضه نام‌برده دارای زمین‌ساختی فعال هستند، اندازه جنبایی آنها یکسان نیست. حاشیه غربی حوضه شهداد فعالیت زیاد تا متوسط وحوضه جازموریان فعالیت کمی داشته است. ارزیابی این فعالیت‌ها که به‌کمک ژئومورفولوژی انجام شده است، با زمین‌ساخت جنبا و لرزه‌خیزی این گستره‌ها هم‌خوانی خوبی دارد.

واژگان کلیدی: استان کرمان، زمین‌ساخت جنبا، شاخص‌های ژئومورفیک، لرزه‌خیز.

مقدمه

فلات ایران یک منطقه چین‌خورده (بخشی از کمربند کوه‌زایی آلپ–هیمالیا) است که هم‌اکنون از دو سوی شمال و جنوب (به‌شماره، پهنه‌های اوراسیا و عربی، شکل ۱) تحت فشار بوده و حرکات زمین‌ساختی هنوز در آن ادامه دارد. کشور ایران یکی از مناطق لرزه‌خیز این کمربند می‌باشد. لرزه‌خیزی استان کرمان، که از لرزه‌خیزترین استان‌های ایران است، روی کمربند گسل‌های کوهبنان – لکرکوه – گلباف – بم – جیرفت وکهنوج با روند شمال‌باختری–جنوب‌خاوری قرار دارد (شکل ۱). وجود گسل‌ها و زمین‌لرزه‌ها در ایران و هم‌چنین استان کرمان از جنبش‌های نوزمین‌ساختی است که می‌تواند در سایر بلایای طبیعی مانند حرکات دامنه‌ای نیز موثر باشد. بنابراین ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی به علت تاثیر در میزان لرزه‌خیزی مناطق مختلف از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند. با استفاده از برخی شواهد و شاخص‌های ژئومورفیک می‌توان به میزان فعالیت نسبی مناطق لرزه‌ای و گسلها پی برد (رضایی مقدم و خیری‌زاده، ۱۳۹۳). بررسی‌های پیشین که در سایر نقاط جهان با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریخت‌سنجی بر روی حوضه‌ها و شبکه‌های آبراهه‌ها صورت گرفته است، حکایت از کارامدی آنها در شناسایی مناطق فعال دارد از مهم‌ترین ویژگی‌های استفاده از این شاخص‌ها می‌توان به سادگی نسبی در روش محاسبه، سرعت عمل بالا در به‌کارگیری شاخص‌ها برای بررسی میزان فعالیت تکتونیکی نواحی، آسان کردن مقایسه منطقی و معقول لندفرم‌ها در بررسی‌های ژئومورفولوژی اشاره نمود .



شکل ۱- نقشه گسل‌ها، زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی استان کرمان و پیرامون. گسل‌های اصلی (خط‌های پررنگ) و فرعی (خط‌های کم‌رنگ) از پایگاه داده های علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، زمین‌لرزه‌های تاریخی (دایره‌های زرد رنگ) از آمبراسیس و ملویل، (۱۹۸۲) و زمین‌لرزه‌های دستگاهی (دایره‌های قرمزرنگ) (سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۷) از کاتالوگ شبکه لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران برگرفته شده‌اند.

یکی از ابزارهای مناسب برای بررسی زمین‌ساخت جنبا هستند. استفاده هم‌زمان از این شاخص‌ها این امکان را به ما می‌دهد که تحلیل درستی از وضعیت نوزمین‌ساخت منطقه داشته باشیم. هر یک از شاخص-ها ارائه‌دهنده‌ی یک طبقه‌بندی نسبی از میزان فعالیت-های زمین‌ساختی می‌باشند. این نتایج در سطح گسترده برای تخمین درجه نسبی فعالیت‌های زمین-ساختی در یک ناحیه مورد استفاده قرار می‌گیرد، یعنی می‌توان منطقه را به نواحی فعال، نیمه‌فعال و یا غیرفعال رده‌بندی نمود (عزتی و آق‌آتابای، ۱۳۹۳). با بررسی لندفرم‌های توپوگرافی، الگوی سیستم شبکه-های زهکشی و با در نظر گرفتن ساختمان زمین-شناسی و لیتولوژی هر منطقه، می‌توان عملکرد زمین-ساخت فعال را در هر منطقه مورد ارزیابی قرار داده و وجود یا عدم‌وجود حرکات زمین‌ساختی فعال را مشخص نمود (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰). رودخانه‌ها نخستین اشکال محیطی هستند که نسبت به وقوع تغییرات در بستر جریان و یا بروز تغییرات در کناره‌ها و پیرامون بستر جریان عکس العمل نسبتا سریعی نشان می دهند (Zamolyi, et al., 2009). بنابراین، در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و واکنش رودخانه‌ها نسبت به وقوع تغییرات

زمین‌ساختی، به ارزیابی وضعیت زمین‌ساختی حوضه-های لوت و جازموریان می‌پردازیم. علت انتخاب این دو حوضه این است که، اگرچه، در رابطه با زمین-ساخت جنبا، لرزه‌خیزی و شاخص‌های ژئومورفیک تاکنون مطالعات زیادی توسط محققان در نواحی مختلف صورت گرفته، در رابطه با استان کرمان و حوضه‌های مورد بررسی، به‌ویژه حوضه جازموریان، تاکنون بررسی‌های جامعی انجام نشده است.

برای دسترسی به اهداف پژوهش، با به‌کارگیری نقشه‌های توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و نرم افزارهای Arc GIS و Global Mapper، شاخص‌های ژئومورفیک شامل گرادیان طولی رودخانه (SL)، نسبت شکل حوضه (Bs)، عامل تقارن توپوگرافی (T) و عامل عدم تقارن حوضه (AF) برای حوضه لوت و جازموریان محاسبه شد.

یکی از روش‌های مناسب برای پی بردن به زمین‌ساخت جنبا در یک منطقه، استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک است. برای محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک ابتدا باید حوضه آب‌خیز محدوده مورد بررسی را شناسایی نماییم. این کار با به‌کارگیری نقشه‌های توپوگرافی و بستن حوضه رودخانه و شبکه زهکش و خط‌القعر آن‌ها انجام می‌شود. در این پژوهش، از حوضه لوت رودخانه شهداد (درختنگان) و از حوضه جازموریان رودخانه هلیل‌رود که مهم‌ترین آنها بودند، انتخاب شدند. حوضه‌های آب‌خیز این رودخانه‌ها مشخص شده و سپس برای هر حوضه به صورت جداگانه شاخص-های ژئومورفیک محاسبه شده و مقایسه گردیده است. در این راستا از نقشه‌های توپوگرافی ۱,۲۵۰۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱,۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱,۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، نقشه‌های رقومی ارتفاعی Dem، نقشه آبراهه‌ها، نیم‌رخ طولی رودخانه‌ها، نقشه گسل‌ها و هم‌چنین در بررسی لرزه‌خیزی از کاتالوگ‌های لرزه‌ای موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران استفاده شده است. در این پژوهش برای ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزارهای ArcGIS و GMT استفاده شده است.

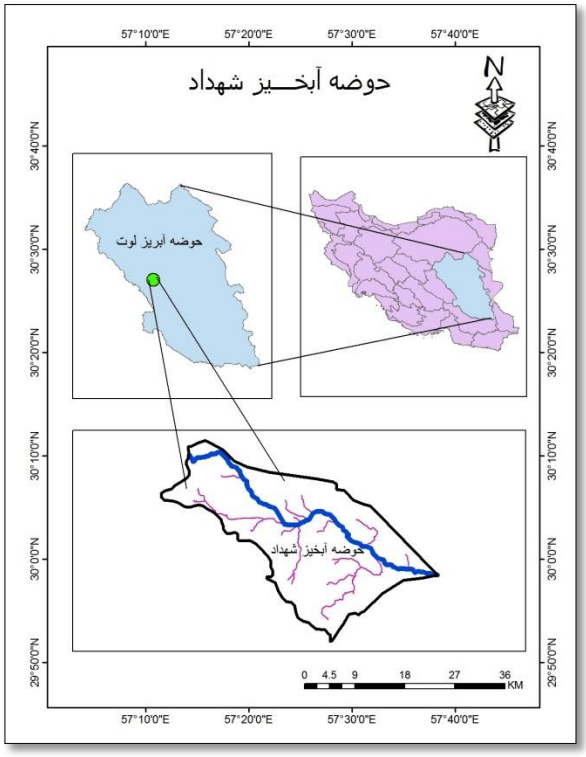
استان کرمان در محدوده ۲۷,۳۲ تا ۳۲,۰۰ درجه عرض شمالی و ۵۴,۳۰ تا ۵۹,۳۰ درجه طول خاوری قرار دارد. پهنای متوسط استان کرمان ۲۵۰ کیلومتر و درازای آن نیز برابر با ۶۶۰ کیلومتر است. از شمال به استان‌های خراسان جنوبی و یزد، از جنوب به استان هرمزگان، از خاور و جنوب‌خاوری به استان سیستان و بلوچستان و از باختر به استان فارس کران دارد. این استان به سبب تنوع سنگ‌شناسی و اختلاف سن رخنمون‌ها از دیربازمورد توجه پژوهشگران علم زمین‌شناسی بوده است. بیش‌تر پهنه نیمه شمالی و شمال‌خاور استان را سنگ‌های رسوبی و نیمه جنوبی و جنوب‌باختر آن‌را سنگ‌های آذرین و دگرگونی می‌پوشانند. از دیدگاه زمین‌ساختی استان کرمان، به‌دلیل تغییرات ژئومورفیک در نهشته‌های دروان چهارم، یکی از مناطق جنبا به شمار می‌رود. چندین گسل مهم مانند گسل بافت، نای‌بند، گلباف، لکرکوه و کوهبنان در این استان هستند. از این رو استان کرمان یکی از جنباترین استان‌های ایران به‌شمار می‌رود.

لوت

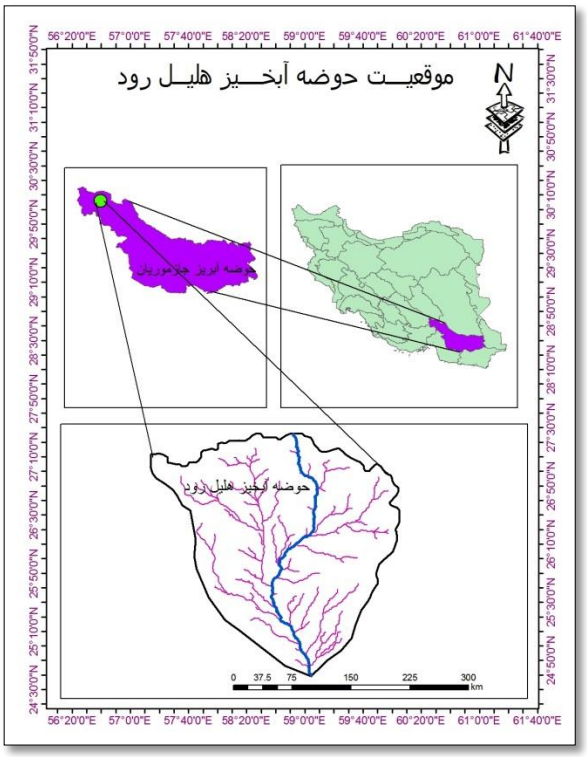
آب‌خیز لوت دومین آب‌خیز بزرگ داخلی ایران است که به‌وسیله ارتفاعات کوتاهی از کویر مرکزی ایران جدا شده است. پست‌ترین و خشک‌ترین فرورفتگی‌های داخلی ایران در این آب‌خیز جای داشته، میزان بارندگی سالانه در آن کمتر از ۵۰ میلی‌متر بوده و احتمال دارد برای چند سال پیاپی هیچ بارندگی در آن صورت نگیرد. تنها رودخانه مهم این حوضه، از بلندی‌های نزدیک بیرجند سرچشمه گرفته و با حرکت به سوی جنوب، به سوی کویر لوت می‌رود (کلینسلی، ۱۳۸۱). این آب‌خیز در بخش جنوب‌خاوری ایران واقع شده و قسمت بزرگی از بلوک لوت را فراگرفته است. از سوی خاور به گسل نه‌بندان باختری و از سوی جنوب باختر به آبخیز یزد محدود است. رودخانه درختنگان که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته در این حوضه جای دارد. حوضه رودخانه درختنگان از خاور به کویر لوت، از باختر به کوه‌های باغ‌بالا و کلیسکی، از شمال به ارتفاعات دهران و از جنوب به کوه جفتان محدود می‌شود.

جازموریان

حوضه جازموریان در جنوب‌خاوری ایران جای داشته و از هر سو توسط رشته‌کوه‌هایی احاطه شده است. رشته‌کوه‌های آتش‌فشانی جبال‌بارز در شمال-خاوری آن، جازموریان را از کویر لوت جدا می‌کند. ارتفاعات باختری و جنوب‌خاوری این چاله از سنگ-های آذرین نفوذی و بیرونی تشکیل شده است. در امتداد حد خاوری آن سنگ‌های گسل‌خورده دوره میوسن مرکب از سنگ‌های تبخیری متعلق به تشکیلات قرمز بالایی قرار داشته و در حاشیه جنوبی آن آمیزه‌های رنگین مکران، جازموریان را از دریای عمان جدا می‌کند. آب‌خیز جازموریان به‌وسیله رودخانه هلیل‌رود از سوی شمال و رودخانه بم‌پور از طرف خاور و در نزدیکی ایرانشهر زهکشی می-شود (کلینسلی، ۱۳۸۱). یکی دیگر از رودخانه‌های بررسی شده در این پژوهش، رودخانه هلیل‌رود است که در این حوضه جای دارد. این رودخانه با درازای نزدیک به چهارصد کیلومتر از کوه‌های بندر واقع در شمال روستای چهارطاق از توابع دهستان گوغر در شمال‌باختری شهرستان بافت سرچشمه می‌گیرد. این رود پس از دریافت سرشاخه‌های بی‌شماری در حوضه‌های آب‌ریز شهرستان بافت، به رودخانه‌ای پرآب و خروشان تبدیل شده و به سوی دشت‌های حاصل‌خیز شهرستان جیرفت سرازیر می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳).



شکل۲- موقعیت حوضه آب‌خیز شهداد



شکل ۳- موقعیت حوضه آب‌خیز هلیل‌رود

بحث و نتایج

شاخص SL به تغییرات شیب رودخانه و قدرت جریان بسیار حساس می‌باشد. این حساسیت برآورد میزان روابط موجود بین فعالیت‌های زمین‌ساختی، مقاومت سنگ و توپوگرافی را امکان‌پذیر می‌سازد (Entezari & et all, 2015). شاخص SL در مناطقی که بستر رودخانه در سنگ‌های سخت قرار دارد، افزایش می‌یابد. میزان

SL در مناطق فعال زمین‌ساختی زیاد می‌باشد. هم‌چنین این شاخص به ساختمان سنگ‌شناسی بسیار حساس بوده و در تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده از مقادیر SL باید تاثیر ساختمان سنگ‌شناسی را به حداقل رساند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰). این شاخص از رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$Sl = (\Delta H / \Delta L).L \qquad (۱)$$

در این رابطه ΔH اختلاف ارتفاع در یک برش خاص از رودخانه، ΔL فاصلهٔ افقی همان محل و L طول رودخانه از نقطهٔ مرکزی همان محل تا سرچشمهٔ رودخانه می‌باشند. چون با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی، بیش‌تر مسیر رودخانه در آبرفت‌ها قرار دارد، نیازی به تصحیحات سنگ‌شناسی نمی‌باشد.

با توجه به مقادیر کمی جدول‌های ۱ و ۲، می‌توان SL به‌دست آمده را در سه دسته طبقه‌بندی کرد. طبقه ۱ بالاترین فعالیت زمین‌ساختی، طبقه ۲ زمین‌ساختی نیمه-فعال و طبقه ۳ زمین‌ساختی غیرفعال را نشان می‌دهند. مقادیر بالای SL در طبقه ۱ و مقادیر پایین SL در طبقه ۳ و مابین آن در طبقه ۲ قرار می‌گیرد. این دسته‌بندی‌ها نسبی بوده و فعال بودن یا نبودن این حوضه از لحاظ زمین‌ساختی، پس از برآورد تمامی شاخص‌ها مشخص خواهد شد.

جدول ۱- مقادیر شاخص (SL) در حوضه شهداد (درختنگان).

نقاط	ΔH(m)	ΔL(m)	ΔH/ΔL	L(m)	Sl	طبقه	وضعیت تکتونیکی
۱	۱۴۰۰	۴۰۹۱	۰,۳۴	۱۷۹۲۳	۶۰۹۳,۸	۱	فعال
۲	۳۲۰	۳۷۷۲	۰,۰۸۵	۱۴۱۷۷	۱۲۰۵	۱	فعال
۳	۲۸۰	۲۳۸۶	۰,۱۲	۱۰۵۸۸	۱۲۷۰,۶	۱	فعال
۴	۴۰۰	۴۱۵۲	۰,۰۹۶	۸۱۲۱	۷۷۹,۶	۲	نیمه‌فعال
۵	۶۰۰	۳۷۷۷	۰,۱۶	۳۸۰۰	۶۰۸	۲	نیمه‌فعال
۶	۳۰۰	۴۱۵۱	۰,۰۷۲	۴۱۹۲	۳۰۱,۸	۳	غیرفعال
۷	۲۰۰	۳۲۶۰	۰,۰۶۱	۷۳۴۰	۴۴۷,۷	۳	غیرفعال
۸	۲۵۰	۴۲۴۹	۰,۰۵۹	۱۱۲۱۰	۶۶۱,۴	۲	نیمه‌فعال
۹	۲۰۰	۴۲۲۲	۰,۰۴۷	۱۵۲۵۹	۷۱۷,۲	۲	نیمه‌فعال
۱۰	۲۵۰	۴۸۲۹	۰,۰۵۲	۱۹۹۲۱	۱۰۳۵,۹	۱	فعال

جدول ۲- مقادیر شاخص(SL) در حوضه هلیل‌رود.

نقاط	ΔH(m)	ΔL(m)	ΔH/ΔL	L(m)	Sl	طبقه	وضعیت تکتونیکی
۱	۵۰۰	۱۷۲۶	۰,۲۹	۲۹۶۶۸	۸۶۰۳,۷	۱	فعال
۲	۲۰۰	۳۹۷۶	۰,۰۵۰	۲۲۶۲۶	۱۱۳۱,۳	۱	فعال
۳	۲۵۰	۸۶۹	۰,۲۹	۱۷۶۴۲	۵۱۱۶,۲	۱	فعال
۴	۱۵۰	۱۳۴۳	۰,۱۱	۱۰۶۰۰	۱۱۶۶	۱	فعال
۵	۲۰۰	۴۵۶۶	۰,۰۴۴	۴۶۶۶	۲۰۵,۳	۳	غیرفعال
۶	۱۰۰	۱۵۶۱	۰,۰۶۴	۵۶۹۰	۳۶۴,۲	۲	نیمه‌فعال
۷	۱۵۰	۸۰۰	۰,۱۹	۱۱۶۶۸	۲۲۱۶,۹	۱	فعال
۸	۱۰۰	۳۶۱۶	۰,۰۲۸	۱۷۲۰۱	۴۸۱,۶	۲	نیمه‌فعال
۹	۱۵۰	۲۸۷۵	۰,۰۵۲	۲۳۰۰۵	۱۱۹۶,۳	۱	فعال
۱۰	۸۰	۲۱۹۴	۰,۰۳۶	۲۹۳۵۰	۱۰۵۶,۶	۱	فعال

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)

این شاخص برای تشخیص وجود کج‌شدگی در حوضه‌های زهکشی براثر فعالیت‌های زمین‌ساختی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Pérez-Peña, et al., 2010). برای رودخانه‌های در حال تعادل که تداوم جریان در حالت ثابتی وجود دارد، AF برابر ۵۰ است؛ این خود بیان‌گر وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه‌های اصلی و در نتیجه، نبود کج‌شدگی براثر بالا آمدگی خواهد بود. مقادیر بیش‌تر از ۵۰ بیان‌گر بالاآمدگی در ساحل راست و کم‌تر از ۵۰ بیان‌گر بالاآمدگی در ساحل چپ آبراهه اصلی است (یمانی و علیزاده، ۱۳۹۵). به طور کلی شاخص عدم‌تقارن حوضه زهکشی تغییرات انحراف عمودی مسیر آبراهه را نشان داده و از طریق رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$Af = (Ar / At) \times 100 \qquad (۲)$$

در این رابطه AR مساحت حوضه در سمت راست آبراهه اصلی (به طرف پایین‌دست حوضه) و AT مساحت کل حوضه می‌باشند. چنانچه در حوضه‌ای در شرایط ثابت انحراف حوضه اندک باشد، مقدار AF مساوی یا نزدیک ۵۰ است. مقادیر بیش‌تر یا کم‌تر از ۵۰ انحراف را مشخص می کنند. از نظر زمین‌ساختی$۱۵ < AF - ۵۰$ کلاس یک بوده و حوضه فعال را نشان می دهد. در حالی‌که اگر $۱۵ < AF - ۵۰ < ۷$ باشد، کلاس ۲ و فعالیت متوسط حوضه را بیان می کند. آرامش زمین‌ساختی زمانی مشخص می شود که $۷ > AF - ۵۰$ باشد (شکل ۴ و جدول‌های ۳ تا ۶).

شکل ۴- رودخانه درختنگان و شبکه زهکش آن.

جدول ۳- میزان شاخص(Af) و متغیرهای آن در حوضه مورد مطالعه.

حوضه موردنظر	Ar(km2)	At(km2)	Af	Af-50	کلاس فعالیت
حوضه آبخیز شهداد(درختنگان)	۱۷۹۱,۸	۵۶۶۷,۷	۳۱,۶۱	-۱۸,۳۹	۳

جدول ۴- تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی حوضه‌ها براساس میزان شاخص AF

حوضه‌ها	فعال	نیمه‌فعال	غیرفعال
میزان AF	Af-50>15	7<Af-50<15	Af-50<7

جدول ۵- میزان شاخص(Af) و پارامترهای آن در حوضه مورد مطالعه

حوضه موردنظر	Ar(km2)	At(km2)	Af	Af-50
حوضه آبخیز هلیل‌رود	۸۴۰۱,۴	۱۸۵۵۶,۶	۴۵,۲۷	-۴,۷۳

جدول ۶- تقسیم‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی حوضه‌ها براساس میزان شاخص AF.

حوضه‌ها	فعال	نیمه‌فعال	غیرفعال
میزان AF	Af-50>15	7<Af-50<15	Af-50<7

بنابراین حوضه درختنگان غیرفعال است. با توجه به این شاخص و بر اساس کلاس‌بندی ارائه شده، حوضه‌ی هلیل‌رود جزء حوضه‌های غیرفعال معرفی می‌شود.

شاخص عامل تقارن توپوگرافی (T)

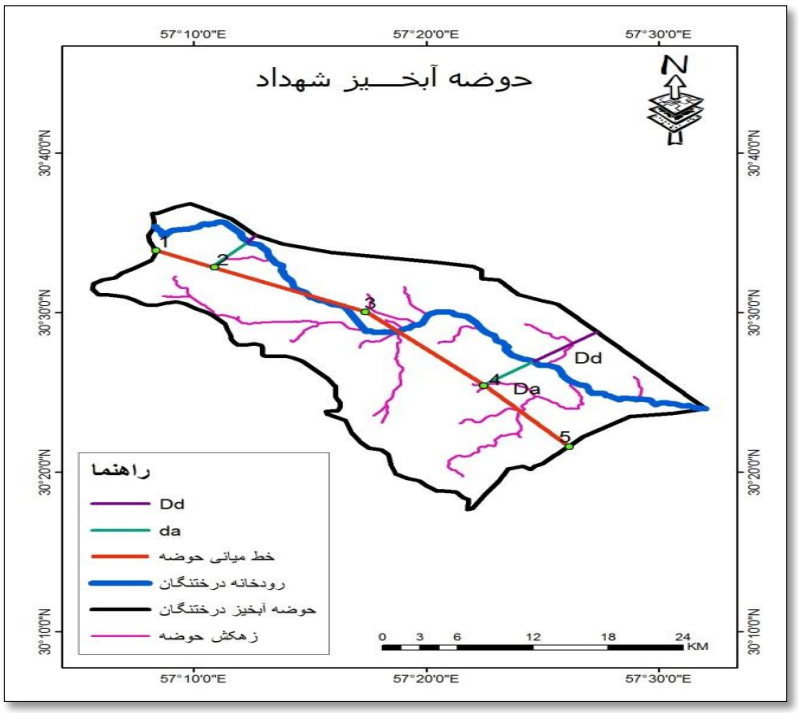
شاخص دیگری که می‌توان برای ارزیابی نامتقارن بودن حوضه و درپی آن، در بررسی حرکات زمین‌ساختی فعال از آن سود جست، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی می‌باشد (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۴). این شاخص از طریق رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$T = Da / Dd \quad (۳)$$

در این رابطه Da فاصله بین خط میانی حوضه تا خط میانی رودپیچ فعال و Dd فاصله خط میانی حوضه تا مرز آن می‌باشند. برای حوضه‌های کاملا متقارن این شاخص مساوی صفر خواهد بود. هر چه میزان نامتقارن بودن توپوگرافی حوضه ای افزایش یابد، مقدار شاخص T نیز افزایش یافته و به عدد ۱ نزدیک‌تر می‌شود.

حوضه لوت (رودخانه شهداد یا درختنگان)

برای برآورد متغیرهای موردنیاز شاخص (T) در منطقه مورد بررسی، مقادیر Da و Dd برای حوضه در ۵ مقطع بررسی شده (شکل ۵) و نتایج این شاخص نیز در جدول ۷ مشاهده می‌شود.



شکل ۵- محاسبه شاخص عامل تقارن توپوگرافی

جدول ۷- مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص (T) در حوضه شهداد

شماره مقطع	Da(m)	Dd(m)	T
۱	۲۹۰۰	۴۷۵۴	۰,۶۱
۲	۵۲۲۹	۵۸۳۸	۰,۸۹
۳	۱۱۷۳	۶۷۶۶	۰,۱۷
۴	۴۳۹۵	۹۹۱۸	۰,۴۴
۵	۹۰۸۶	۱۰۱۳۸	۰,۹۰
میانگین	۴۵۵۶,۶	۷۴۸۲,۸	۰,۶۱

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میانگین مقادیر این شاخص در حوضه شهداد (درختنگان) برابر با ۰,۶۱ بوده و به یک نزدیک‌تر است. بنابراین می‌توان گفت که این حوضه تقریبا نامتقارن است.

حوضه جازموریان (رودخانه هلیل‌رود)

برای برآورد متغیرهای موردنیاز شاخص (T) در این منطقه نیز مقادیر Da و Dd برای حوضه در ۵ مقطع بررسی شده و نتایج این شاخص نیز در جدول شماره ۸ دیده می‌شود.

جدول۸- مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص (T) در حوضه هلیل‌رود

شماره مقطع	Da(m)	Dd(m)	T
۱	۵۷۵۰	۹۱۶۹	۰,۶۳
۲	۴۲۹۰	۲۲۶۸۷	۰,۱۹
۳	۴۴۷	۲۰۰۶۷	۰,۰۲۲
۴	۱۶۵۳	۱۳۱۷۴	۰,۱۲
۵	۷۳۶	۳۶۱۷	۰,۲۰
میانگین	۲۵۷۵,۲	۱۳۷۴۲,۸	۰,۱۹

همان‌گونه که در جدول ۸ آمده است، میانگین مقادیر این شاخص در حوضه هلیل‌رود برابر با ۰,۱۹ بوده و به صفر نزدیک‌تر است. بنابراین، می‌توان گفت که این حوضه تقریبا متقارن است.

نسبت شکل حوضه (BS)

نسبت شکل حوضه زهکشی (BS) یکی از شاخص‌هایی است که برای ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی به‌کار می رود. معمولا، حوضه‌هایی که از نظر زمین‌ساختی فعال هستند، شکل کشیده دارند. با توقف فعالیت یا غلبه فرایندهای فرسایشی، شکل حوضه در طول زمان به تدریج دایره‌ای شکل شده و این شاخص کاهش می‌یابد (رامشت و همکاران، ۱۳۹۱). این شاخص از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$BS = BI / BW \quad (۴)$$

در این رابطه Bl درازای حوضه از انتهایی ترین مقسم آب تا خروجی حوضه و Bw پهنای حوضه در پهن ترین قسمت می‌باشند. حوضه‌هایی که مقدار شاخص در آنها بیش‌تر از ۴ باشد، از دیدگاه زمین‌ساختی جنبا هستند، اگر مقدار شاخص بین ۳ تا ۴ باشد حوضه‌ها از نظر زمین‌ساختیدر کلاس ۲ قرار گرفته و اگر مقدار شاخص کم‌تر از ۳ باشد حوضه از نظر زمین‌ساختیغیرفعال است (جدول‌های ۹ و ۱۰).

جدول ۹- مقادیر شاخص BS در حوضه شهداد

نام حوضه	Bl(m)	Bw(m)	BS	کلاس	وضعیت تکتونیک
شهداد(درختنگان)	۴۴۲۷۶,۹۷	۲۰۲۳۶,۱۹	۲,۱۹	۳	غیرفعال

جدول ۱۰- مقادیر شاخص BS در حوضه هلیل‌رود

نام حوضه	Bl(m)	Bw(m)	BS	کلاس فعالیت	وضعیت تکتونیک
هلیل‌رود	۵۸۴۸۱,۴۸	۴۹۱۲۰,۸۶	۱,۱۹	۳	غیرفعال

ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی (Iat)

شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی از رابطه زیر به‌دست می آید:

(۵)

$$Iat = S/N$$

در این رابطه S مجموع کلاس‌های شاخص‌های برآورد شده و N تعداد شاخص‌های محاسبه شده است. اگر ۱/۵ > Iat > ۱ باشد نشان‌دهنده فعالیت‌های زمین‌ساختی شدید، ۲> Iat > ۱/۵ فعالیت‌های زمین‌ساختی زیاد بوده، ۲/۵ > Iat >۲ فعالیت‌های زمین‌ساختی متوسط و اگر Iat > ۲/۵ بیان‌گر فعالیت‌های زمین‌ساختی کم و ناچیز است.

حوضه لوت (رودخانه شهداد یا درختنگان)

برای ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی در حوضه شهداد (درختنگان) از ۴ شاخص ژئومورفیک به‌دست آمده استفاده شده که نتایج آن در جدول ۱۱ آورده شده است.

شکل ۶- لرزه‌خیزی استان کرمان

جدول۱۱- ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی حوضه درختنگان

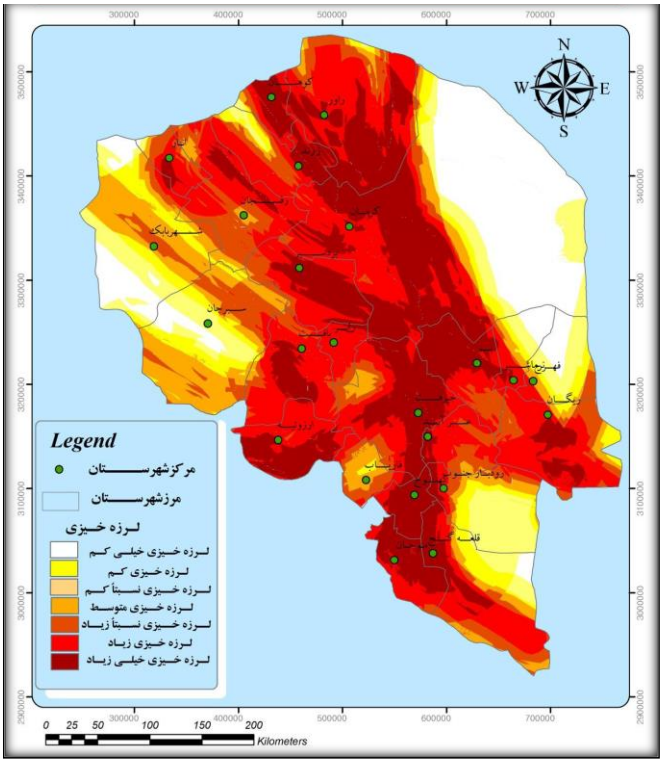
حوضه	S	AF	B	T	Ia	کلاس
شهداد(درختنگان)	۱	۳	۳	۲	۲,۲۵	متوسط

جدول ۱۲- ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی حوضه هلیل‌رود.

حوضه	Sl	AF	Bs	T	Iat	کلاس فعالیت
هلیل‌رود	۱	۳	۳	۳	۲,۵	کم

حوضه جازموریان (رودخانه هلیل‌رود)

برای ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی در حوضه هلیل‌رود نیز از ۴ شاخص ژئومورفیک به دست آمده استفاده شده که نتایج آن در جدول ۱۲ آورده شده است. شکل ۷ آ و ب به‌ترتیب بیان‌گر لرزه‌خیزی و زمین-ساخت جنبا و خطر لرزه‌ای و استان کرمان است (اخلاص‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). این نقشه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP و با برهم‌نهی لایه‌های اطلاعاتی مختلف مانند پراکندگی روکانون و ژرفای زمین‌لرزه‌ها، پراکندگی گسل‌ها، نوع گسل‌ها و استحکام مواد بستری به‌دست آمده است. با نگاهی به شکل‌های ۱ و ۷ درمی‌یابیم که کناره حوضه‌ی لوت که از نظر زمین‌ساخت جنبا (منتج از ژئومورفولوژی) در وضعیت متوسط تا فعال قرار دارد، از نظر لرزه‌خیزی و خطر لرزه‌ای هم فعال به‌شمار رفته (بخش‌های قرمز و قهوه‌ای به‌ترتیب در شکل ۷ آ و ب) و حوضه جازموریان (جنوب خاوری نقشه ب در بخش رنگ‌های روشن) که از نظر زمین‌ساختی (منتج از ژئومورفولوژی) فعالیت کمی داشته است، از نظر لرزه‌خیزی هم فعالیت کمی دارد.



شکل ۷- نقشه طیفی لرزه‌خیزی

نتیجه‌گیری

ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی در اجرای برنامه‌های توسعه و عمران، مقاوم‌سازی بناهای مسکونی، صنعتی و تجاری اهمیت داشته و می‌توان به‌کمک آن دستورالعملهای ساخت و سازهای عمرانی و زیربنایی (مانند آئین‌نامه ۲۸۰۰) را در منطقه بهینه نمود. از سوی دیگر، برنامه‌ریزان مراکز مدیریت بحران، نهادهای وابسته به زلزله‌شناسی و دانشجویان نیز می‌توانند از نتایج این پژوهش استفاده کنند. ارزیابی‌هایی که در حوضه‌های منتخب، به‌منظور پی بردن به وضعیت زمین‌ساختی آن‌ها انجام شد به نتایج زیر انجامید:

۱- حاشیه حوضه لوت (درختنگان) از نظر زمین‌ساختی در وضعیت فعالی قرار دارد و این فعالیت در حد متوسط است.

۲- حوضه جازموریان (هلیل‌رود) در وضعیت فعال زمین‌ساختی است اما فعالیت کمی دارد.

اگرچه، در این پژوهش فقط از ۴ شاخص ژئومورفیک برای ارزیابی استفاده شده است، مشخص شد که این حوضه‌ها از نظر تکتونیکی فعال هستند. اما اینکه دقیقا وضعیت فعالیت آنها در چه حد باشد نیازمند سنجش پارامترهای دیگری مانند جبهه کوهستان، مخروط‌افکنه‌ها و غیره نیز هست که در این نوشتار نمی‌گنجد.

فعالیت‌های زمین‌ساختی روی آبرفت‌ها که دائما فعال و جوان بوده و نقش خود را در تغذیه سفره‌های زیرزمینی ایفا نمایند، تاثیر دارند. مسلما، گسل‌ها در تامین و تغذیه منابع آب‌های زیر زمینی نقش دارند. امروزه می‌دانیم که مورفودینامیک جدید تحت تاثیر تکتونیک می‌تواند در شکل‌گیری آبرفت‌ها و مخروط افکنه‌ها تاثیر داشته باشد. مخروط افکنه‌های جدید به علت بافت غیرمنظم و درشت می‌توانند زمینه نفوذ آب را در سطح داشته و بنابراین به صورت غیرمستقیم در تامین آب زیرزمینی در مخروط افکنه‌ها و دشت‌ها نقش داشته باشند. گسل‌های فرعی و شکستگی‌های نه چندان بزرگ نیز معمولا نقش به‌سزایی در نفوذ آب‌های جاری و تغذیه آبخوان‌های مجاور دارند. این گسل‌ها راه‌های مناسبی برای حرکت آب‌ها و پیوستن به منابع آب‌های زیرزمینی ایجاد می‌کنند. بنابراین، بررسی ژئومورفولوژی رودخانه‌ها ناشی از جنبش‌های زمین‌ساختی که می‌تواند پیوند نزدیکی با محیط زیست داشته باشد، بسیار مهم است.

می‌توان گفت اگرچه گسل‌ها و زمین‌ساخت جنبا باعث ایجاد برخی از بحران‌های زیست‌محیطی مانند زمین‌لرزه می‌گردند، به عنوان یک پتانسیل به‌خصوص در زمینه تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی منطقه نیز محسوب شوند. جنبش‌های زمین‌ساختی ممکن است در زمان کوتاه جنبه تخریبی داشته باشد، حال آنکه در زمان طولانی، ویژگی‌های زمین‌ساختی در تاثیر روی محیط زیست می‌تواند مفید باشد. بنابراین شناخت ژئومورفولوژی یک منطقه از دیدگاه زمین‌ساختی می‌تواند سودمند واقع شود.

منابع

- **اخلاص‌پور، پ.، عباس‌نژاد، ا.، نعمتی، م.، (۱۳۹۵)**، "پهنه-بندی خطر زلزله استان کرمان با کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی"، دومین کنگره بین‌المللی علوم زمین و توسعه شهری، ص ۱۵- ۱.
- **امیراحمدی، ا.، ابراهیمی، م.، پورهاشمی، س.، (۱۳۹۴)**، "شاخص‌های ارزیابی تکتونیک فعال در برآورد وضعیت تکتونیکی در حوضه آبخیز حبله‌رود"، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۱، ص ۱۸۴- ۱۶۱.
- **جمال‌آبادی، ج.، امیراحمدی، ا.، مونسیان، ق.، شایان‌یگانه، ع.، (۱۳۹۳)**،" بررسی تاثیرات تکتونیکی گسل کمایستان بر شبکه زهکشی و مخروط‌افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در دامنه‌های شمالی ارتفاعات جغتای"، مجله آمایش جغرافیایی فضا، فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان، سال ۴، شماره ۱۱، ص ۸۴- ۶۳.
- **رامشت، م.، آرا، ه.، شایان، س.، یمانی، م.، (۱۳۹۱)**، "ارزیابی دقت و صحت شاخص‌های ژئومورفولوژیکی با استفاده از داده‌های ژئودینامیکی"، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۲، ص ۵۲- ۳۵.
- **رضایی‌مقدم، م.، خیری‌زاده آروق ، م.، (۱۳۹۳)**، "ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های کمی ژئومورفیک"، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ۵، شماره ۱۸، ص ۳۶- ۱۹.
- **عزتی، م.، آق‌آتابای، م.، (۱۳۹۳)**، "تحلیل زمین‌ساخت فعال حوضه‌ی بجنورد با کمک شاخص‌های مورفوتکتونیکی"،

پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۴، ص ۱۴۴- ۱۳۰.

- **کلینسلی، د.، (۱۳۸۱)**، "کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیماتولوژی آن"، مترجم: دکتر عباس پاشایی، تهران، چاپ اول، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

- **مقصودی، م.، جعفری‌اقدم، م.، باقری سیدشکری، س.، مینایی، م.، (۱۳۹۰)**، "بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی"، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۵، ص ۱۳۶- ۱۱۱.

- **منصوری، ر.، صفاری، ا.، (۱۳۹۴)**، "تحلیل فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز فرحزاد از طریق شاخص‌های ژئومورفیک"، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۴، شماره ۹۵، ص ۱۰۵- ۹۳.

- **یمانی، م.، علیزاده، ش.، (۱۳۹۵)**، "بررسی فعالیت‌های نوزمین‌ساخت حوضه آبخیز کرج از طریق شاخص‌های ژئومورفیک"، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۹، شماره ۳۱، ص ۱۸- ۱.

Ambraseys, N.N., Melville, C.P., (1982), "A History of Persian Earthquakes", Cambridge University Press, New York, p 103.

-**Ansari Lari, A., Ansari, M., Ansari, S., (2016)**, "Analysis Neotectonic Activities in Khafr Basin", Journal of Geology, pp 484-497.

Entezari, M., Ranjbarmanesh, N., Salari, N., (2015), Basin by Morphometric Indices", Journal of Geography, Environment and Earth Science International, pp 126- 138.

-**Pérez-Peña, J., Azor, A., Miguel Azañón, J., Keller, E., (2010)**, "Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain)" ,Insights from, journal homepage, Geomorphology, 119, pp 74–87.

-**Zamolyi, A., Szekely, B., Draganits. E., Timar, G., (2009)**, "Neo Tectonic Control on River Sinuosity at The Western Margin of the Little Hungarian Plain", Geomorphology, In Press, Corrected Proof, Available Online, pp 1-13."Evaluating Tectonics Activities of Sirch

Geomorphology indicators, active tectonic and seismicity of Lut and Jazmourian basins in Kerman province (SE Iran)

Fatemeh Milan[1] & Majid Nemati[*2]

1- MSc student of Urban Planning, Geography Department, Shahid Bahonar University of Kerman
2- Associate Professor of Department of Geology, faculty of Science and Earthquake Research Center Shahid Bahonar University of Kerman

Abstract

Kerman Province is one of the seismic regions of Iran, which has many faults with different trends. Therefore, addressing the issue of tectonic and seismicity in this province can be useful in various fields such as crisis management. In this research, we used topographic maps, geological maps, aerial photos, satellite imagery and seismic catalogs of the Institute of Geophysics of the University of Tehran. In this way, the active tectonics of Kerman province in the Lut and Jazmurian basins and their relations with the seismicity of this province were examined. From geomorphic indicators such as longitudinal river gradient (SL), drainage asymmetry index (AF), topographic symmetry factor (T) and index and basin shape ratio (BS) has been used to determine the tectonic condition of the basins. Although, using the Relative Ratio Index tectonic activity (lat) in the tectonic of each basin was determined that both basins are active, but their tectonic activity is not the same. Shahdad basin has high to moderate activity and Jazmurian basin has a low activity. Also, in order to investigation of active tectonic of the province, geomorphic quantitative indicators were also used.

Keywords: Kerman province, active tectonics, geomorphic indicators, seismicity