

تحلیل مورفومتری و مخاطرات تکتونیکی گسل زندان در منطقه جاسک به منظور توسعه پایدار

مهرداد سرهنگی

دانشجوی دکتری تکتونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه علوم زمین، تهران، ایران

علی سلگی*

دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه علوم زمین، تهران، ایران

مرتضی طالبیان

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

زهرا ملکی

استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه علوم زمین، تهران، ایران

(دریافت مقاله ۱۴۰۰/۸/۵ - پذیرش مقاله ۱۴۰۰/۱۱/۱)

چکیده

در این مقاله به بررسی شاخص‌های ژئومورفیک حوضه زهکشی جاسک و تأثیر گسل زندان بر این شاخص‌ها و در نتیجه تأثیر آن بر مخاطرات زمین‌ساختی منطقه با استفاده از نرم‌افزارهای Global Mapper و Arc GIS پرداخته شده است. شاخص‌های محاسبه‌شده عبارت‌اند از: شاخص طول-شیب رودخانه (SL)، نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شاخص نبود تقارن حوضه زهکشی (Af)، پیچ‌وخم پیشانی کوهستان (Smf)، شاخص سینوسی رودخانه (Bs)، فاکتور توپوگرافی عرضی (T) و شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat). منطقه پژوهش در جنوب ایران و جنوب شرق استان هرمزگان قرار دارد. در این منطقه، گذر گسل زندان که جداکننده دو صفحه زاگرس و مکران است، سبب ایجاد ساختارهای مختلف زمین‌شناسی و فرایندهای تکتونیکی حاصل از آن شده که عامل اصلی بروز مخاطرات در این منطقه‌اند. براساس نتایج تحقیق و شاخص‌های تکتونیکی، منطقه در شرایط تکتونیکی متوسطی به سر می‌برد. عوامل تهدیدکننده منطقه، از جمله تأثیر گسل زندان بر بالآمدگی منطقه سبب افزایش شیب منطقه در قسمت‌های شمالی و در نتیجه افزایش سرعت جریان آب و طغیان رودخانه‌ها در مناطق پایین دست و ایجاد ناپایداری دامنه‌ای و رانش زمین در منطقه شده‌اند. بنابراین با برنامه‌ریزی درست و آگاهی کامل از شرایط تکتونیکی حاکم بر منطقه می‌توان از توان مخاطرات و حوادث طبیعی پیش‌بینی پذیر کاست.

واژه‌های کلیدی: زمین‌ساخت گسل، گسل زندان، مخاطرات، مورفوتکتونیک.

مقدمه

اصطلاح مورفوتکتونیک بیان‌کننده ارتباط بین ژئومورفولوژی و تکتونیک است و در بسیاری از موارد مورفوتکتونیک، برابر تکتونیک ژئومورفولوژی در نظر گرفته می‌شود. شاخص‌های ژئومورفیک از ابزارهای مهم برای ارزیابی درجه فعالیت تکتونیک ناحیه‌ای خاص هستند که با تحلیل آنها می‌توان در مورد وقوع تغییرات مذکور اظهار نظر کرد. رودخانه‌ها از مهم‌ترین اشکالی هستند که به فعالیت‌های تکتونیک واکنش نشان می‌دهند. گسل‌ها و فعالیت‌های تکتونیک می‌توانند سبب آثاری چون انفصال در مسیر رود، تغییر الگو، تشکیل رودهای متروک و تغییر و تحول اشکال ژئومورفیک درون و حاشیه رودخانه شوند [۱] و مخاطراتی همچون سیلاب و زمین‌لغزش را ایجاد کنند.

شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک ابزاری مفید و قابل اطمینان هستند، زیرا براساس آنها می‌توان نواحی‌ای را که در گذشته فعالیت‌های سریع یا حتی کند تکتونیک را پشت سر گذاشته‌اند، به راحتی شناسایی کرد [۲۵]. استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در بررسی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی توسط بول و مک فادن [۱۸] آغاز شد و محققان دیگری همچون سیلوا و همکاران در سواحل مدیترانه ای اسپانیا [۲۷] و حمدونی و همکاران در جنوب اسپانیا [۱۹] ادامه یافت. در ایران خیام و مختاری در دامنه شمالی میشوداغ [۳]، گورابی و نوحه‌گر برای حوضه آبریز درکه [۷]، یمانی و همکاران در دامنه‌های کرکس [۱۰]، مقصودی و همکاران در مورد رودخانه تجن [۹]، سرهنگی و همکاران در حوضه آبریز مردق‌چای ملکان [۴]، مختاری و همکاران در حوضه تبرکن و گز مکران [۸]، قلیپور و همکاران برای حوضه آجی‌چای [۵] و افشاری و همکاران در راه آهن ناحیه لرستان [۲]، برای مشخص کردن فعالیت‌های نوزمین‌ساختی از این شاخص‌ها استفاده کرده‌اند.

ناحیه تحت بررسی بخشی از چهار ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جاسک [۱۱]، گتان [۱۲]، جگدان [۱۳] و سیرک [۱۴] را در بر می‌گیرد. حوضه آبریز منطقه روند شمالی-جنوبی دارد و اغلب به جز یک مورد که به تنگه هرمز می‌ریزد، بقیه به دریای عمان سرازیر می‌شود و اصلی‌ترین آنها رودخانه‌های بهمدی و تبرکن است. از دیدگاه ژئومورفولوژی، ناحیه تحت بررسی به دو بخش تفکیک‌پذیر است: بخش مرتفع مناطق نزدیک گسل و مناطق پست که به دلتاهای دریای عمان و تنگه هرمز می‌ریزد. مرتفع‌ترین نقاط منطقه، کوه ریمان، سموکی، پرکه و مبارک است. مهم‌ترین عامل‌های کنترل‌کننده ژئومورفولوژیکی در منطقه جاسک عبارت‌اند از جنس واحدهای سنگی، ویژگی‌های ساختاری، اشکال دگرشکل‌یافته. عملکرد پدیده فرسایش به‌دلیل

سستی بیشتر واحدهای سنگی و ترکیب سنگ شناختی آنها بخش‌های زیادی از ناحیه را به صورت زمین‌های پست و فرسوده درآورده است. فرسایش در بخش‌های جنوبی که بیشتر مارنی هستند بسیار بیشتر از قسمت‌های شمالی بوده و تأثیر گسل زندان (شکل ۱) در این فرسایش و در پی آن سیلاب و زمین‌لغزش بسیار مشهود است.

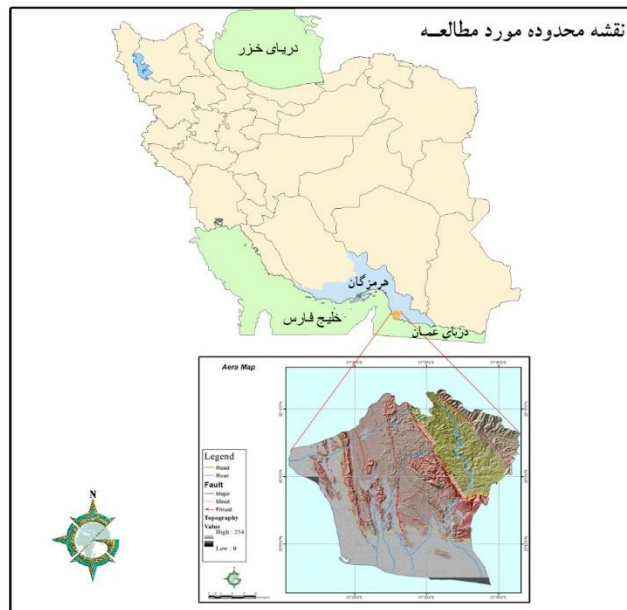
روش تحقیق

این منطقه به دلیل قرارگیری در مرز بین دو صفحه زاگرس و مکران و تنش فشاری حاصل از حرکت این دو صفحه یکی از مناطق مخاطره‌آمیز جنوب کشور است؛ از این رو برای درک بهتر و شناسایی، پیشگیری و مقابله با حوادث و مخاطرات طبیعی در این مقاله با استفاده از شاخص‌های ژئومورفوزیکی SL, S_{mf}, V_f, Af, T, Bs, Iat که مشخص‌کننده شرایط تکتونیکی حاکم بر هر منطقه‌اند، به بررسی نقاط پرمخاطره از لحاظ فرایندهای دینامیکی زمین در منطقه و تأثیر گسل زندان بر این شاخص‌ها پرداخته شده است. [۲۷، ۲۳، ۱۸، ۱۵].

داده‌ها و بحث

شاخص‌های ژئومورفیک و زمین‌ساخت فعال

از مجموع چند شاخص زمین‌ریختی می‌توان برای بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی استفاده کرد. این شاخص‌ها را می‌توان به عنوان روش کمی برای بررسی زمین‌ریختی مرتبط با فرایندهای فرسایشی و رسوبگذاری در مجرای رودخانه، نیمرخ طولی و ریخت‌شناسی دره رود، یا سیمای زمین‌ساختی مانند پرتگاه‌های گسلی به کار برد. شاخص‌های زمین‌ساختی قادر به تعیین پهنه‌های مختلف ایجادشده در نتیجه تغییر محلی فعالیت زمین‌ساختی هستند. در این پژوهش، چند شاخص زمین‌ریختی در حوضه‌های منطقه جاسک بررسی و نتایج مربوط به هر شاخص براساس مقادیر به دست آمده برای آن شاخص تحلیل شد [۶] (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه تکتونیکی و محدوده پژوهش روی نقشه ایران

شاخص طول - شیب رودخانه (SL)

شاخص طول - شیب رودخانه به صورت رابطه ۱ توصیف شده است:

$$SL = (\Delta h / \Delta L)L \quad (1)$$

$\Delta h / \Delta L$ شیب بخشی از مجرا و L طول مجرا از بالادست تا نقطه‌ای است که برای آن شاخص محاسبه می‌شود. این شاخص برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی مفید است. زمانی که رودخانه‌ها و آبراهه‌ها در نواحی با بالآمدگی زیاد جریان دارند، مقدار SL افزایش می‌یابد، اما وقتی که جریان رودخانه به موازات ساختارهایی مانند دره‌های حاصل از گسل راستالغز باشد، SL کاهش می‌یابد [۲۳] (شکل ۲).

مقادیر این شاخص با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه شد (شکل ۳). حوضه ۱ در ۱۵ مقطع محاسبه شد که می‌توان آنها را به دو بخش تقسیم کرد: ۱. بخش بالایی حوضه مربوط به رسوبات مارنی و آهکی سازند میشان که تحت تأثیر گسل زندان با شاخص SL زیاد و متوسط است؛ ۲. بخش پایین‌دستی و زمین‌های پست و دشت با شاخص SL کم و فعالیت تکتونیکی کم. حوضه ۲ سه مقطع دارد که در هر سه، مقدار SL و

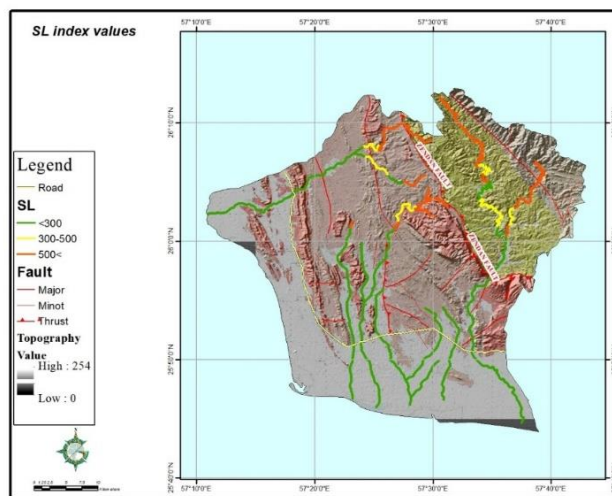
فعالیت تکتونیکی کم است که متأثر از رسوبات دشتی و فن‌هاست. حوضه ۳ در ۳۷ مقطع به سه بخش تقسیم می‌شود: ۱. سرشاخه حوضه که فعالیت تکتونیکی شدید و شاخص SL زیاد متأثر از رسوبات شیل، آهک و ماسه و فرایندهای تکتونیکی فرودیواره گسل زندان دیده می‌شود؛ ۲. قسمت میانی روی فرایندهای گسل زندان که به صورت سد در مقابل جریان رودخانه‌ای عمل کرده و سبب ته‌نشست رسوبات و در نتیجه کاهش مقادیر SL و در نتیجه فعالیت تکتونیکی متوسط شده است؛ ۳. قسمت پایین‌دستی حوضه مربوط به رسوبات فن و دشتی که کمترین مقدار SL و فعالیت تکتونیکی کم را نشان می‌دهند. حوضه ۴ در ۲۸ مقطع و سه بخش رده‌بندی می‌شود: ۱. بخش‌های ابتدایی حوضه در بستر سازند میشان و نزدیک گسل زندان با SL زیاد و فعالیت تکتونیکی شدید؛ ۲. میانه‌های حوضه با مقدار SL متوسط و فعالیت تکتونیک متوسط؛ ۳. انتهای حوضه با مقدار SL کم و فعالیت تکتونیکی بسیار کم است. حوضه ۵ دو مقطع دارد: ۱. ابتدای حوضه با فعالیت شدید روی سازند میشان؛ ۲. انتهای حوضه با فعالیت کم روی رسوبات تراستی. در نهایت براساس تفسیر داده‌های SL گسل زندان تأثیر زیادی در فرایند تکتونیکی حاکم بر منطقه را دارد، به طوری که در اطراف گسل، فعالیت تکتونیکی در همه حوضه‌ها شدید است و در مناطق پست و دشتی شرایط فعالیت تکتونیکی کم حاکم است (جدول ۱).



شکل ۲. دیاگرام ایدئال برای نشان دادن شاخص SL [۲۳]

جدول ۱. دسته‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص SL [۲۴]

Low tectonic activity	Medium tectonic activity	High tectonic activity	Activity Tectonic
SL < ۳۰۰	۳۰۰ < SL < ۵۰۰	SL > ۵۰۰	SL



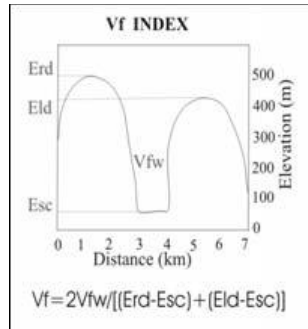
شکل ۳. پراکنندگی میزان شاخص طول - شیب رودخانه (SL)

نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)

Vf نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن [۱۸] است که به صورت رابطه ۲ توصیف شده است:

$$Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc)] + (Erd - Esc)] \quad (2)$$

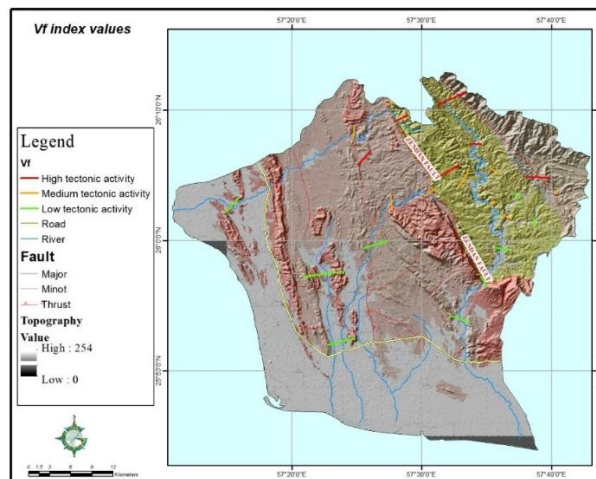
Vfw عرض کف دره، Eld ارتفاع دیواره سمت چپ دره، Erd ارتفاع دیواره سمت راست دره و Esc ارتفاع میانگین کف دره است. مقدار این شاخص برای دره‌های U شکل بالا و برای دره‌های باریک و تند V شکل پایین است (شکل ۴). منطقه پژوهش به پنج رودخانه و سرشاخه اصلی دسته‌بندی شده و شاخص Vf روی قسمت‌های مشخص شده اندازه‌گیری شد و براساس داده‌های به دست آمده نوع فعالیت تکتونیکی از لحاظ شاخص Vf به شرح زیر و براساس جدول دسته‌بندی مشخص شد [۲۰] (جدول ۲). در مناطق شمال شرقی نقشه که سرشاخه‌های رودخانه‌ها قرار دارد، نسبت تکتونیکی شدیدی دیده می‌شود که در ادامه به نسبت تکتونیکی متوسط می‌رسد و در پایین دست حوضه‌ها مناطقی با فعالیت بسیار کم در دشت مشهود است. تأثیر گسل زندان در این شاخص متفاوت است، به طوری که در قسمت‌های شمالی گسل فعالیت بیشتر و در قسمت‌های پایینی فعالیت کمتری را نشان می‌دهد (شکل ۵).



شکل ۴. دیاگرام ایدئال برای محاسبه شاخص Vf [۲۳]

جدول ۲. دسته بندی فعالیت های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص Vf [۲۰]

Low tectonic activity	Medium tectonic activity	High tectonic activity	Tectonic activity
$Vf > 1$	$0.5 < Vf < 1$	$Vf < 0.5$	Vf



شکل ۵. پراکنده گی شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (Vf)

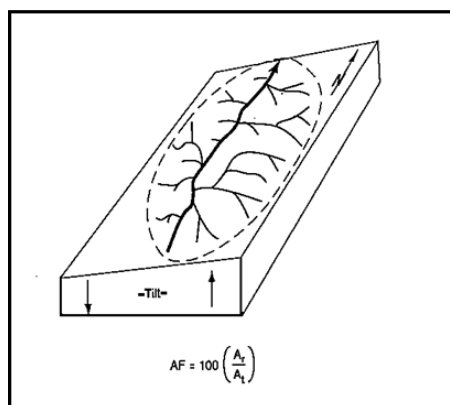
شاخص نبود تقارن حوضه زهکشی (Af)

محاسبه این شاخص روشی برای تعیین میزان کج شدگی زمین ساختی در مقیاس حوضه زهکشی است. از این روش می توان برای نواحی به نسبت بزرگ استفاده کرد [۲۱، ۲۲].

شاخص Af بر اساس رابطه ۳ محاسبه می شود:

$$Af = 100(Ar / At) \quad (۳)$$

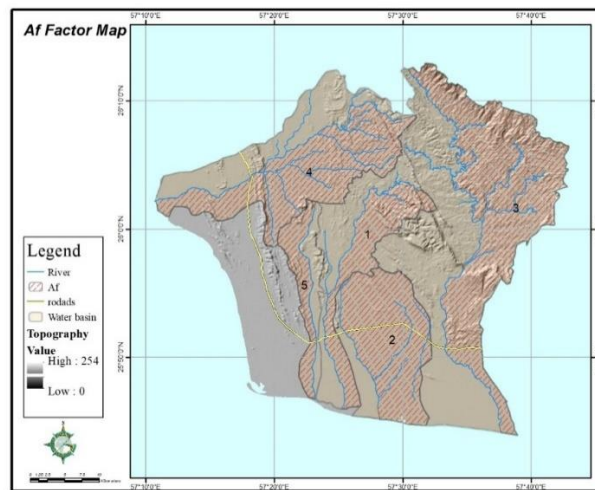
AF عامل نبود تقارن حوضه، A_r مساحت حوضه در سمت راست آبراهه اصلی (به طرف پایین دست حوضه) و A_t مساحت کل حوضه است. اگر حوضه‌ای دارای شرایط پایدار بدون کج‌شدگی یا کج‌شدگی کم باشد، شاخص Af برابر ۵۰ است. این شاخص به تغییر میزان کج‌شدگی در راستای عمود بر روند مجرا حساس است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰، نشان‌دهنده کج‌شدگی حوضه است که ممکن است در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی یا ساختارهای حاصل از ویژگی‌های سنگ‌شناسی باشد (جدول ۱-۳) (شکل ۶). مقادیر به‌دست‌آمده Af در منطقه برای حوضه ۱ معادل ۴۹/۸ و نشان‌دهنده کج‌شدگی در سمت راست با مقدار فعالیت تکتونیکی متوسط، در حوضه ۲ برابر با ۱۷/۷ و نشان‌دهنده کج‌شدگی در سمت راست با مقدار فعالیت تکتونیکی بسیار شدید، در حوضه ۳ برابر با ۴۶/۳ و نشان‌دهنده کج‌شدگی در قسمت راست با فعالیت تکتونیکی متوسط، در حوضه ۴ برابر با ۳۸ و نشان‌دهنده کج‌شدگی در سمت راست حوضه با فعالیت تکتونیکی متوسط و در نهایت در حوضه ۵ با مقدار ۶۱/۶ و نشان‌دهنده کج‌شدگی در سمت چپ حوضه با فعالیت تکتونیکی متوسط است. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از پنج حوضه، به جز حوضه ۵ که کج‌شدگی‌ها در سمت چپ بود، بقیه حوضه‌ها کج‌شدگی سمت راست داشتند که نشانه تأثیر گسل زندان در بالآمدگی حوضه‌ها در شرق و نزدیک بر گسل زندان است. میانگین فعالیت تکتونیکی متوسط حاصل از ارقام به‌دست‌آمده حوضه‌ها هم تأییدی بر این موضوع است (شکل ۷).



شکل ۶. بلوک دیاگرام نحوه محاسبه فاکتور نبود تقارن حوضه زهکشی (AF) [۲۳]

جدول ۳. دسته‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص (Af) [۲۰]

Low tectonic activity	Medium tectonic activity	High tectonic activity	Tectonic activity
$Af < 5$	$5 < Af < 15$	$Af > 15$	میزان Af



شکل ۷. شاخص نبود تقارن حوضه زهکشی (Af)

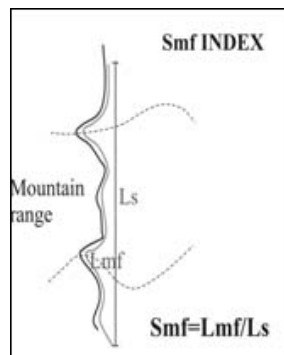
شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان (Smf)

شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوه براساس رابطه ۴ محاسبه می‌شود [۱۷]:

$$Smf = Lmf / Ls \quad (4)$$

در این رابطه Lmf طول پیشانی کوه در دامنه آن است، یعنی جایی که شیب بین کوه و حوضه پیشانی تغییر می‌کند و Ls طول مستقیم پیشانی کوهستان است (شکل ۸). مقادیر کمتر از ۱/۱ این شاخص، خاص نواحی فعال زمین‌ساختی است، در حالی که اگر نرخ بالآمدگی کاهش یابد و فرایندهای فرسایشی، تشکیل پیشانی نامنظم را آغاز کنند، مقدار Smf افزایش می‌یابد. مقادیر بین ۱/۱ تا ۱/۵ پیشانی‌های نیمه‌فعال زمین‌ساختی را نشان می‌دهد، در حالی که مقادیر بیشتر از ۱/۵ به پیشانی‌های غیرفعال مربوط است که در آنها پیشانی گسل بیش از ۱ km دچار فرسایش شده است [۲۰] (جدول ۴). در ناحیه تحت مطالعه، پنج پیشانی بررسی شد. شماره ۴ حاکی از فعال بودن جبهه کوهستانی، شماره ۱ نشان‌دهنده نیمه‌فعال بودن

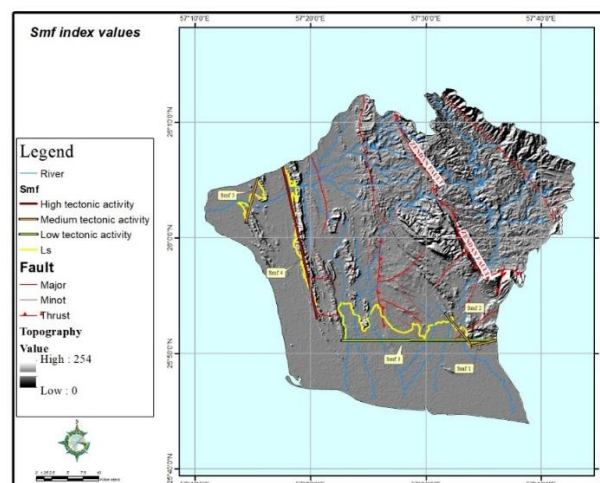
منطقه و شماره‌های ۲، ۳ و ۵، نشان‌دهنده فعالیت کم جبهه‌های کوهستانی در این مناطق است. روند گسل‌های موجود در منطقه کاملاً در تغییرات این شاخص مشهود است. (شکل ۹).



شکل ۸. دیاگرام ایدئال برای نشان دادن شاخص Smf [۲۳]

جدول ۴. دسته‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص Smf [۲۰]

Low tectonic activity	Medium tectonic activity	High tectonic activity	Tectonic activity
$Smf < 1.5$	$1.1 < Smf < 1.5$	$Smf > 1.1$	Smf



شکل ۹. پراکنندگی شاخص سینوسی بودن جبهه کوهستان (Smf)

شاخص شکل حوضه (Bs)

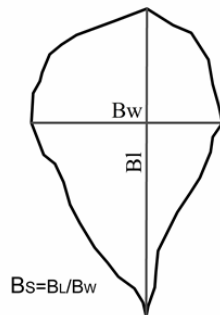
شاخص شکل حوضه زهکشی به صورت رابطه ۵ محاسبه می شود [۲۵]:

$$Bs = BI/Bw \quad (۵)$$

در این رابطه، Bs شاخص شکل حوضه زهکشی، BI طول حوضه زهکشی و Bw عرض حوضه زهکشی است (شکل ۱۰).

این شاخص اختلاف بین حوضه های طویل با مقادیر زیاد و حوضه های مدور با مقادیر کم را منعکس می کند. حوضه های طویل از ویژگی های مناطق تکتونیکی فعال است که دارای رودخانه هایی با برش به سمت پایین هستند. جبهه های کوهستانی با فرازگیری سریع دارای حوضه های طویل پرشیباند و هنگامی که فعالیت تکتونیکی کاهش یابد یا متوقف شود، عریض شدن حوضه ها از سمت بالای جبهه کوهستان آغاز می شود [۲۵] (جدول ۵).

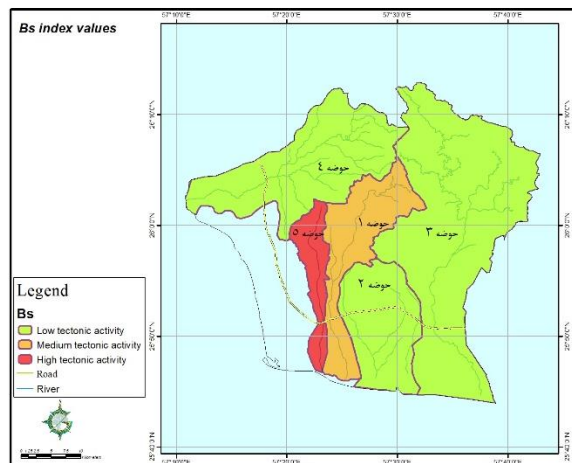
مقدار شاخص Bs برای ناحیه تحت مطالعه بررسی شد که به ترتیب برای حوضه ۵ با مقدار ۶/۱ نشان دهنده فعالیت تکتونیکی شدید، در حوضه ۱ با مقدار ۳/۴ نشان دهنده فعالیت تکتونیکی متوسط و در حوضه های ۲، ۳ و ۴ با مقادیر ۱/۶، ۲/۶ و ۲/۲ نشان دهنده فعالیت تکتونیکی کم حاکم بود (شکل ۱۱).



شکل ۱۰. نحوه محاسبه شاخص سینوسی رودخانه (Bs) [۱۸]

جدول ۵. دسته بندی فعالیت های تکتونیکی مناطق براساس میزان شاخص Bs [۲۰]

Low tectonic activity	Medium tectonic activity	High tectonic activity	Tectonic activity
$3 > Bs$	۴-۳	$4 < Bs$	Bs



شکل ۱۱. مقدار شاخص Bs در حوضه‌های تحت بررسی

شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه (T)

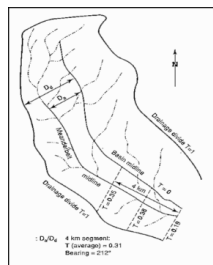
محاسبه این شاخص روشی برای ارزیابی یک رودخانه درون حوضه و تغییرات میزان نامتقارنی در بخش‌های مختلف دره است. خط میانی حوضه جایی است که رودخانه به صورت متقارن نسبت به دره قرار گرفته است و با توجه به طویل‌ترین محور حوضه رسم می‌شود. برای هر بخش رودخانه، این شاخص عبارت از نسبت فاصله بین خط میانی تا رودخانه فعال (Da) به فاصله خط میانی تا مرز حوضه (Dd) است:

$$T = Da/Dd \quad (۶)$$

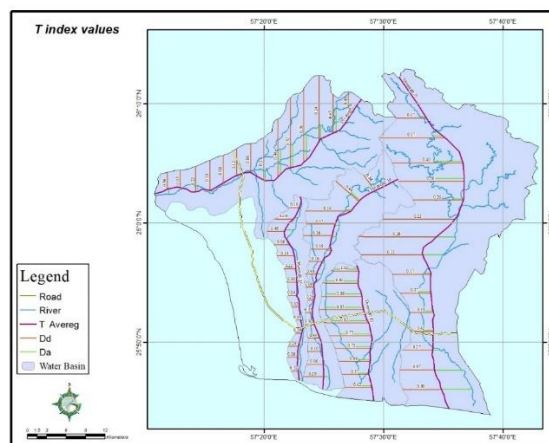
مقدار این شاخص بین ۰ و ۱ متغیر است که کمترین و بیشترین عدم تقارن حوضه را نشان می‌دهد. مقادیر به نحوی که طول بردار متناسب با اندازه T و سوی آن در راستای عمود بر رودخانه باشد، نشانه سوی انحراف آن از رودخانه نسبت به خط میانی است [۲۶] (شکل ۱-۱۲).

براساس الگوی بردارها در حوضه‌ها، کج‌شدگی به باختر در حوضه ۱ دارای میانگین ۰/۲۴ (در ابتدای حوضه ۰/۲۹، در اواسط حوضه صفر و در پایین دست حوضه ۰/۳۴)؛ در حوضه ۲ دارای میانگین ۰/۷۲ (کمترین آن در اوایل حوضه با ۰/۳۷ و بیشترین مقدار آن در انتهای زیرحوضه با مقدار ۱/۰۳)؛ در حوضه ۳ دارای میانگین ۰/۳۶ (در ابتدای حوضه ۰/۸۰ و در پایین دست حوضه ۰/۱۷)؛ در حوضه ۴ دارای میانگین ۰/۲۶ (در ابتدای حوضه ۰/۳۰ و در

پایین دست حوضه ۰/۴۳) و در حوضه ۵ دارای میانگین ۰/۲۲ (در ابتدای حوضه ۰/۳۲ و در پایین دست حوضه ۰/۱۳) است. با توجه به نتایج حاصل، همه حوضه‌ها کج‌شدگی به سمت باختر و غرب دارند که نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی شدید در سمت شرق حوضه‌هاست (بیشترین مقدار در حوضه ۲ و کمترین مقدار در حوضه ۵) (شکل ۱۳).



شکل ۱۲. محاسبه فاکتور تقارن توپوگرافی عرضی حوضه T [۲۳]



شکل ۱۳. پراکندگی شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه (T)

نتایج

شاخص‌های مختلف زمین‌ریختی که در بخش بالا اشاره شد، در زمین‌ساخت نسبی (Iat) به چهار رده فعالیت خیلی شدید، شدید، متوسط و کم تقسیم شد. با محاسبه میانگین رده طبقه شاخص‌ها (S/n) در هر حوضه و ارزیابی آن با روش [۱۹]، شاخص زمین‌ساختی نسبی (Iat) به چهار طبقه تقسیم شد. در این طبقه‌بندی، رده یک فعالیت زمین‌ساخت خیلی شدید (S/n) بین

۱/۵ تا ۱)، رده دو فعالیت زمین ساخت شدید (S/n بین ۲ تا ۱/۵)، در رده سه فعالیت زمین ساخت متوسط (S/n بین ۲/۵ تا ۲) و در رده چهار فعالیت زمین ساخت ضعیف (S/n بیشتر از ۲/۵) است. با توجه به این رده بندی در منطقه پژوهش نتایج زیر حاصل شد (جدول ۶).
با توجه به رده بندی بالا، در حوضه های ۱، ۲، ۳ و ۵ زمین ساخت نسبی در طبقه متوسط و در حوضه ۴ زمین ساخت نسبی در طبقه زیاد قرار می گیرد. در نهایت با تجمیع طبقات شاخص (Iat) مشخص می شود که منطقه پژوهش تحت تأثیر فعالیت گسل های منطقه از جمله گسل زندان و رسوبات و نهشته های سست در مرحله زمین ساخت و فعالیت تکتونیکی متوسط قرار دارد (جدول ۷).

جدول ۶. طبقه بندی شاخص فعالیت های تکتونیکی (Iat) [۲۰]

فعالیت زمین ساختی	فعالیت زمین ساختی	فعالیت زمین ساختی	فعالیت زمین ساختی
خیلی شدید	شدید	متوسط	کم
$1 < Iat < 1,5$	$1,5 < Iat < 2$	$2 < Iat < 2,5$	$Iat < 2,5$

جدول ۷. مقدار شاخص فعالیت های تکتونیکی (Iat) در منطقه (نگارنده، ۱۴۰۰)

موقعیت	Sl	Smf	Vf	Af	Bs	T	Iat	کلاس
حوضه ۱	۱.۴	۲	۱.۷	۳	۲	۳	۲.۱۸	متوسط
حوضه ۲	۳	۳	—	۱	۳	۲	۲.۴۰	متوسط
حوضه ۳	۱.۲	۳	۱.۹	۳	۳	۲	۲.۳۵	متوسط
حوضه ۴	۱.۵	۱	۲.۴	۲	۳	۲	۱.۹۸	زیاد
حوضه ۵	۲	۳	۱	۲	۱	۳	۲.۰۰	متوسط
کل حوضه							۲.۱۸	متوسط

نتیجه گیری

براساس بررسی شاخص های زمین ریخت شناسی و محاسبه آنها، منطقه پژوهش به لحاظ زمین ساخت فعال نسبی تحت تأثیر سه پدیده زمین ساختی بزرگ گسل زندان، بالآمدگی و ایجاد توپوگرافی خشن، فرورانش اقیانوسی (تصویر ۱)، وجود سنگ های رسوبی نرم فرسا (تصویر ۲) قرار گرفته است، به طوری که مقدار شاخص Iat نشان دهنده فعالیت تکتونیکی متوسط در این منطقه است. براساس نتایج بررسی های شاخص های تکتونیکی و زمین ساخت نسبی و پدیده های سطحی می توان به نسبت فعالیت تکتونیکی منطقه پی برد، از جمله تأثیر گسل زندان بر بالآمدگی منطقه که سبب افزایش شیب منطقه در قسمت های شمالی و در نتیجه افزایش سرعت جریان آب و طغیان رودخانه ها در مناطق پایین دست و ایجاد ناپایداری دامنه ای

و رانش زمین در منطقه شده‌اند؛ بنابراین با برنامه‌ریزی درست و آگاهی کامل از شرایط تکتونیکی حاکم بر منطقه می‌توان از خطر مخاطرات طبیعی پیش‌بینی‌پذیر کاست.



تصویر ۱. تراس‌های تکتونیکی ساحل جاسک و دریای عمان که بیانگر برخاستگی و فعال بودن تکتونیکی منطقه است



تصویر ۲. مرز بین سازند سبز مکران و سازند آغاچاری زاگرس و دگرریختی تحت تأثیر حرکت گسل زندان در شمال روستای خشکزی

منابع

- [۱]. اسماعیلی، رضا؛ متولی، صدرالدین؛ و حسین زاده، محمدمهدی (۱۳۹۷). «بررسی اثرات مورفوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه واز؛ البرز شمالی استان مازندران»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۹، ص ۴۴۴-۴۶۴.
- [۲]. افشاری، امیر؛ قهرودی تالی، منیژه؛ صدوق، حسن؛ و احتشامی، محسن (۱۳۹۸). «کاربرد شاخص‌های مورفوتکتونیک در تحلیل مخاطرات زمین‌لغزش در راه‌آهن ناحیه لرستان»، مدیریت مخاطرات طبیعی، دوره ۶، شماره ۱، ص ۵۱-۶۶.
- [۳]. خیام، مقصود؛ و مختاری، داود (۱۳۸۲). «ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیک براساس مرفولوژی مخروط‌افکنه‌ها: مورد نمونه: مخروط‌افکنه‌های دامنه شمالی میشوداغ، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۴، ص ۱-۱۰.
- [۴]. سرهنگی، مهرداد؛ سلگی، علی؛ سربی، علی؛ و سلطانی، شکور (۱۳۹۳). «بررسی شاخص‌های کمی زمین‌ساخت فعال و تعیین سطح فعالیت نسبی زمین‌ساختی حوضه مردق‌چای ملکان در جنوب آتشفشان سهند، شمال باختر ایران، علوم زمین، شماره ۹۴، ص ۲۱-۲۸.
- [۵]. قلیپور، ربابه؛ سلگی، علی؛ ستارزاده قدیم، یوسف؛ و سربی، علی (۱۳۹۷). «نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال در حوضه آجی‌چای، شمال غرب ایران، علوم زمین، شماره ۱۰۹، ص ۲۰۱-۲۱۰.
- [۶]. پورکرمانی، محسن؛ و سلگی، علی (۱۳۸۸). مورفوتکتونیک، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
- [۷]. گورابی، ابوالقاسم؛ و نوحه‌گر، احمد (۱۳۸۶). «شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه»، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، ص ۱۷۸-۱۹۶.
- [۸]. مختاری، داود؛ رضایی مقدم، محمدحسین؛ محمودی، شبنم؛ و مرادی، عباس (۱۳۹۷). «کاربرد شاخص‌های مورفومتری تکتونیک جنبا در برآورد وضعیت تکتونیک گسل‌های مکران در محدوده حوضه‌های آبریز تبرکن و گز»، ص ۱-۱۷.
- [۹]. مقصودی، مهران؛ و کامرانی دلیر، حمید (۱۳۸۷). «ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه‌ها، مطالعه موردی: رودخانه تجن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، ص ۳۷-۵۵.

- [۱۰]. یمانی، مجتبی؛ مقیمی، ابراهیم؛ و تقیان، علیرضا (۱۳۸۷). «ارزیابی تأثیرات نو زمین ساخت فعال در دامنه‌های کرکس با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۳، ص ۱۱۷-۱۳۶.
- [۱۱]. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جاسک، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۱۲]. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ گتان، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۱۳]. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جگدان، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۱۴]. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سیرک، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [15]. Azor, A.; Keller, E.A.; & Yeats, R.S. (2002). "Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain–Oak Ridge Ventura basin, Southern California", *Geological Society of America Bulletin*, 114, pp: 745–753.
- [16]. Bull, W.B. (2007). *Tectonic geomorphology of mountains: a new approach to paleoseismology*, Blackwell, Malden.
- [17]. Bull, W.B. (1978). "Geomorphic Tectonic Classes of the South Front of the San Gabriel Mountains, California", U.S. Geological Survey Contract Report, 14-08-001-G 394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, CA.
- [18]. Bull, W.B. & McFadden, L.D. (1977). "Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium*", State University of New York, Binghamton, pp: 115–138
- [19]. El Hamdouni, R.; Irigaray, C.; Fernandez, T.; Chacón, J.; & Keller, E.A. (2007). "Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain)", *Geomorphology* 96, pp: 150–173.
- [20]. El Hamdouni, R.C.; Irigaray, T.; Fernández, J.; Chacón, J.; & Keller, E. (2008). "Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain)", *Geomorphology* 96, pp: 150-173.
- [21]. Hack, J.T. (1973). "Stream-profiles analysis and stream-gradient index", *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, 1 (4), pp: 421 429.
- [22]. Hare, P.W.; & Gardner, T.W. (1985). "Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins", Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M., Hack, J.T. (Eds.), *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin, Boston, MA, pp: 123–134.
- [23]. Keller, E.A.; & Pinter, N. (2002). "Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. Prentice Hal", 1, New Jersey.
- [24]. Dehbozorgi, M.; Pourkermani, M.; Arian, M.; Matkan, A.; Motamedi, H.; & Hosseiniasl, A. (2010). "Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros", *Iran. Geomorphology* 121, pp: 329-341
- [25]. Ramirez- Herrera, M.T. (1998). "Geomorphic Assessment of active tectonic in the Acambay Graben Mexican Volcanic belt", *earth Surface & landforms*, 23, pp: 317- 322

- [26]. Salvany, J. M. (2004). "Tilting neotectonics of the Guadiamar drainage basin", *SW Spain. Earth Surface Processes and Landforms*, 29, pp: 145-160.
- [27]. 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, pp: 203-226.