

کاربرد شاخص‌های ژئومورفیک در ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساخت جنبا در طاق‌دیس بایه؛ ایوان غرب- ایلام

رضا منصوری^۱

مصمد فتوحی^۲

زهره سربازی^۳

چکیده

امروزه در ژئومورفولوژی زمین‌ساخت، از تجزیه و تحلیل‌های مورفومتریک به طور گسترده به عنوان روشی سودمند برای شناسایی فعالیت چین‌ها و طاق‌دیس‌ها از نظر رشد جانبی و عمودی استفاده می‌شود. در این پژوهش، تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساخت در طاق‌دیس بایه با استفاده از پارامترهای گوناگون مربوط به هشت شاخص ژئومورفیک (VF, AR, FMF, SMF, FSI, FFS, FD, ED)، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، تصاویر کوئیک‌برد و DEM ۱۲/۵ متر در بستر GIS مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و یافته‌های به‌دست آمده با شواهد میدانی کنترل شد. منطقه مورد مطالعه در جنوب باختری زرنه در ایوان غرب واقع در استان ایلام و در منطقه زمین‌ساخت فعال زاگرس چین‌خورده قرار گرفته است. یافته‌های به‌دست آمده برای شاخص‌های مورد بررسی در طاق‌دیس بایه نشان داد که ساختار این طاق‌دیس جوان است و نیروهای زمین‌ساختی در آن تداوم دارند و هنوز به تکامل نرسیده‌اند. علاوه بر ارزش‌های عددی محاسبه شده برای این شاخص‌ها، شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه، از جمله: جبهه‌های کوهستانی خطی، مستقیم و پرشیب گسلی، دره‌های ژرف، باریک و V شکل، اشکال مثلثی بزرگتر با درازای قاعده بیشتر، یال کوتاه‌تر و پرشیب‌تر و درصد بخش‌های بریده‌شده کمتر و بریده‌نشده بیشتر جبهه کوهستان در یال جنوب باختری، گویای وضعیت زمین‌ساختی فعال‌تر این یال نسبت به یال شمال خاوری طاق‌دیس است. یافته‌های به‌دست آمده از این شاخص‌ها فهم مناسبی از وضعیت زمین‌ساخت موجود در طاق‌دیس بایه را آشکار کرد؛ به عبارت دیگر، یافته‌های به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک اهمیت استفاده از مجموعه داده‌ها و اطلاعات گردآوری شده از منابع گوناگون و هم‌پوشانی آنها در یک بستر نرم‌افزاری نیرومند و توانا، همچون سامانه اطلاعات جغرافیایی را برای ارزیابی میزان فعالیت‌های نسبی زمین‌ساخت در طاق‌دیس بایه و دیگر مناطق به روشنی نشان داد.

واژگان کلیدی: طاق‌دیس بایه، فعالیت‌های نوزمین‌ساخت، شاخص‌های ژئومورفیک، ایوان غرب، ایلام.



مقدمه

سیستم‌های ژئومورفولوژیکی از پیچیدگی‌های خاصی برخوردارند و گاهی سطح آگاهی ما از آنها زیاد دقیق نیست. آنچه به طور ویژه برای ژئومورفولوژیست‌ها مهم است، توانایی اندازه‌گیری متغیرها است (ثروتی و منصوری، ۱۳۹۲: ۸۸). به طور کلی در علوم زمین و از جمله ژئومورفولوژی، هدف تبیین علمی، دستیابی به توانایی لازم جهت اندازه‌گیری موفق و کارآمد پارامترهای محیطی مؤثر بر هر منطقه است. نقش و اهمیت استفاده از تکنیک‌ها و روش‌های اندازه‌گیری کمی در مباحث ژئومورفولوژیکی در این است که فراهم‌کننده شرایط، ابزارها و شیوه‌هایی هستند که با استفاده از آنها می‌توان برهم‌کنش‌های بین انواع لندفرم‌ها و فرایندهای مربوط را به شیوه‌ای علمی، دقیق و کارآمد، کمی نمود و به تشریح و تفسیر موضوع پرداخت؛ از این رو، یافته‌های کمی در کنار مباحث کیفی و نظری مرتبط با هر موضوع ژئومورفیک، می‌توانند به عنوان مکمل و بهبودبخش تشریح و تفسیرهای علمی از برهم‌کنش‌های موجود بین فرم و فرایندهای محیطی، مورد استفاده قرار گیرند. به طور کلی، ژئومورفولوژی زمین‌ساختی به بررسی و ارزیابی فرایندهای پویا و مؤثر در شکل‌دهی زمین و چشم‌اندازهای آن می‌پردازد (کلر و پیتر، ۲۰۰۰: ۱۴). پدیده‌های مربوط به علوم زمین، از جمله لندفرم‌ها و چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیکی در گذر زمان همواره در حال تغییر، تحول و تکامل هستند؛ در واقع نیروهای درونی زمین در قالب فرایندهای نوزمین‌ساخت موجب تشکیل ناهمواری‌ها می‌شوند و لندفرم‌های اصلی را فراهم می‌آورند؛ اما تأثیر آنها در تغییر چشم‌اندازهای ساختمانی و ژئومورفولوژیکی زمین در همه جا یکنواخت و یکسان نیست (یمانی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۱۸). یکی از روش‌های کمی توسعه داده شده برای ارزیابی وضعیت فعالیت‌های زمین‌ساختی مناطق و برآورد میزان تغییرات و تأثیرپذیری از آنها، بهره‌گیری و به‌کارگیری شاخص‌های ژئومورفیک یا ریخت‌زمین‌ساخت است. در پی رشد و گسترش چشم‌گیر رابطه بین ویژگی‌های توپوگرافیکی و فرایندهای زمین‌ساختی در مقیاس جهانی، ژئومورفولوژیست‌ها دست کم طی دو دهه اخیر به دنبال ارزیابی نقش فعالیت‌های زمین‌ساختی در تغییر، تحول و تکامل مناظر ژئومورفولوژیکی بوده‌اند (سامرفیلد، ۲۰۰۰: ۲). امروزه، برای شناسایی مناطق فعال زمین‌ساختی و ارزیابی نسبی تغییرات حاصل از آن، شاخص‌های ژئومورفیک به عنوان ابزاری اولیه، گسترش شتابانی یافته است (کوکالاس و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۷۰۵). معمولاً استفاده از روابط و معادلات مربوط به شاخص‌های کمی ژئومورفیک که پژوهشگران گوناگون در پژوهش‌های متفاوت، کارایی آنها را ارزیابی و اثبات کرده‌اند، می‌توانند در ارزیابی وضعیت زمین‌ساختی، تشریح فرایندهای ژئومورفولوژیکی مؤثر در تغییرات و شرایط محیطی حاکم بر مناطق مؤثر باشند؛ از این رو، ژئومورفولوژی کمی جدید بیشتر به توضیح و تشریح فرایندهای ژئومورفولوژیکی مربوط می‌پردازد و به میزان عملکرد چنین فرایندهایی توجه می‌کند. از دانش و آگاهی به‌دست‌آمده در مورد فرایندهای ژئومورفولوژیکی نیز این امکان برای تشریح و تبیین لندفرم‌هایی فراهم می‌شود که از چنین فرایندهایی تولید شده‌اند (ثروتی و منصوری، ۱۳۹۲: ۸۳).

تاکنون پژوهشگران متعددی در خارج و داخل از کشور در مورد فعالیت‌های زمین‌ساختی



مناطق گوناگون بررسی‌ها و مطالعاتی انجام داده‌اند. برای نخستین بار، بال و مک فادن^۱ (۱۹۷۷) از شاخص‌های ژئومورفیک به منظور ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی استفاده کردند؛ سپس پژوهشگران متعدد دیگر برای ارزیابی وضعیت زمین‌ساختی مناطق دیگر از این شاخص‌ها بهره گرفتند و گاهی برخی از آنها را توسعه دادند یا شاخص‌های جدیدی ابداع نمودند؛ به عنوان نمونه می‌توان به کارهای راکول و همکاران^۲ (۱۹۸۵) در جبهه‌های کوهستانی ونچورا کالیفرنیا، ولز و همکاران^۳ (۱۹۸۸) در کرانه‌های اقیانوس آرام در کاستاریکا، کالر و پیتتر (۱۹۹۶) در کتاب زمین‌ساخت جنب، زمین‌لرزه‌ها، فراخاست و چشم‌انداز، رامیرز - هریرا^۴ (۱۹۹۸) در مکزیک و سیلوا و همکاران^۵ (۲۰۰۳) در کرانه‌های دریای مدیترانه در اسپانیا اشاره کرد. از این رو، مطالعه و بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی به طور گسترده‌ای در زمینه‌های گوناگونی همچون: مخاطرات ناشی از زمین‌لغزش‌ها، زمین‌لرزه‌ها، نوزمین‌ساخت و تجمیع و تشکیل منابع گوناگون (از جمله مواد معدنی، کانسارهای معدنی، آب‌های زیرزمینی، نفت، گاز و غیره) انجام شده است. شماری از پژوهشگران نیز وضعیت زمین‌ساخت فعال را با اهداف گوناگون، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (کالر و پیتتر، ۱۹۹۶؛ شینا، ۲۰۰۱)، که برای ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی در مناطق گوناگون مورد استفاده قرار گرفته و کارایی آنها اثبات شده، را مورد مطالعه قرار داده‌اند (بال و مک فادن، ۱۹۷۷؛ کالر و پیتتر، ۲۰۰۲؛ بالی و همکاران، ۲۰۱۶؛ زوویلی و همکاران، ۲۰۰۴). مطالعات گوناگونی نیز در زمینه استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در ارزیابی فعالیت‌های نسبی زمین‌ساختی انجام شده است (موسوی و آرین، ۲۰۱۵؛ فاروق و همکاران، ۲۰۱۵؛ فرد و همکاران، ۲۰۱۵؛ ال‌همدونی و همکاران، ۲۰۰۸؛ الیاس، ۲۰۱۵؛ علی و اقبال، ۲۰۲۰؛ الشایف و جاوید، ۲۰۲۰). تجزیه و تحلیل و استفاده همزمان از شاخص‌های ژئومورفیک می‌تواند به عنوان روشی سودمند برای مطالعه و ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی گوناگون، از جمله فراخاست، گسلش، بُرش‌های تنشی، کج‌شدگی و انواع چین‌خوردگی‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

با وجود فعال بودن کمر بند زاگرس از نظر زمین‌ساخت، میزان بال‌آمدگی و فشردگی چین‌ها در بخش‌های گوناگون آن متفاوت است (بربریان، ۱۹۹۵: ۲۰۱؛ هشامی و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۴۷). تفاوت در شدت فعالیت‌های زمین‌ساختی باعث تفاوت در مورفومتری و روند چین‌های زاگرس شده است. مطالعات نشان می‌دهد که چین‌های زاگرس از شمال خاوری به سمت جنوب باختری جوان‌تر می‌شوند (بربریان، ۱۹۹۵: ۲۰۱؛ شرکتی و لتوزی، ۲۰۰۴: ۵۴۰). این موضوع به معنی آن است که در بخش شمال خاوری زاگرس، ساختارهایی مانند طاق‌دیس‌ها مرتفع‌تر و قدیمی‌تر هستند و منجر به کج‌شدگی آبراهه اصلی حوضه‌ها به سمت جنوب باختری (طاق‌دیس جوان‌تر) شده‌اند (بهرامی، ۱۳۹۴: ۲۹). مراکز جمعیتی انسانی همچون شهرها و روستاها از نواحی بسیار حساس و آسیب‌پذیری هستند که در مناطق فعال زمین‌ساختی با رخداد جنبش‌های لرزه‌ای بیشترین آسیب را تجربه خواهند کرد؛ از این رو، با توجه به وجود مراکز سکونتگاهی روستایی گوناگون در پیرامون طاق‌دیس بایه و قرارگیری سد مخزنی گنگیر در

1. Bull & McFadden

2. Rockwell

3. Wells

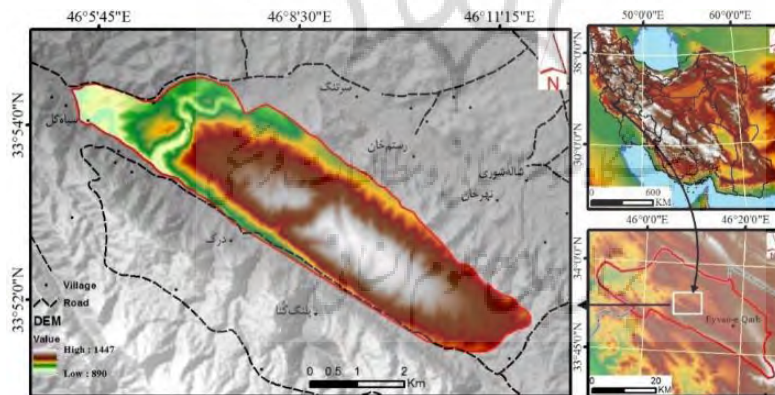
4. Ramirez-Herrera

5. Silva

دامنه و گوشه شمال باختری این طاقدیس، ارزیابی میزان فعالیت‌های نوزمین‌ساختی به منظور شناخت و آگاهی از این گونه فعالیت‌ها به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت بحران برای مخاطرات لرزه‌ای احتمالی در این منطقه بسیار حائز اهمیت است. از این رو، هدف اصلی پژوهش حاضر، ارزیابی فعالیت‌های نسبی نوزمین‌ساخت جنبا طاقدیس بایه واقع در جنوب باختری شهر زرنه با استفاده شاخص‌های ژئومورفیک است.

منطقه مورد مطالعه

طاقدیس بایه به ترتیب با داشتن ۱۹/۹۰ کیلومتر مربع، ۲۴/۲۵ کیلومتر و ۱۰/۵۶ کیلومتر، مساحت، محیط و درازا در گوشه شمال باختری دشت ایوان غرب و در جنوب باختری شهر زرنه در محدوده شهرستان ایوان غرب در شمال استان ایلام و در راستای پهنای جغرافیایی $33^{\circ}51'39''$ تا $33^{\circ}54'37''$ شمالی از نیمگان زمین و در راستای درازای جغرافیایی $46^{\circ}05'24''$ تا $46^{\circ}05'11''$ شرقی از نیمروز گرینویچ واقع شده است (شکل ۱) و در حد فاصل دو رشته‌کوه اصلی شمال خاوری (بانکول) و جنوب باختری (شَرَه‌زیول) قرار دارد. از لحاظ واحدهای ساختاری - ژئومورفولوژیکی نیز جزئی از واحد زاگرس چین‌خورده در بخش شمال باختری محسوب می‌شود؛ از این رو، این طاقدیس به طور طبیعی شرایط ساختمانی این واحد زمین‌ساختی را متحمل شده است (صفاری و منصوری، ۱۳۹۲: ۳۷). در این واحد ساختاری - ژئومورفولوژیکی امواج چین‌خوردگی به صورت ساخت‌های طاقدیس و ناودیس‌ی مرکب (علایی طالقانی، ۱۳۸۶: ۱۵۴) پدیدار شده‌اند.



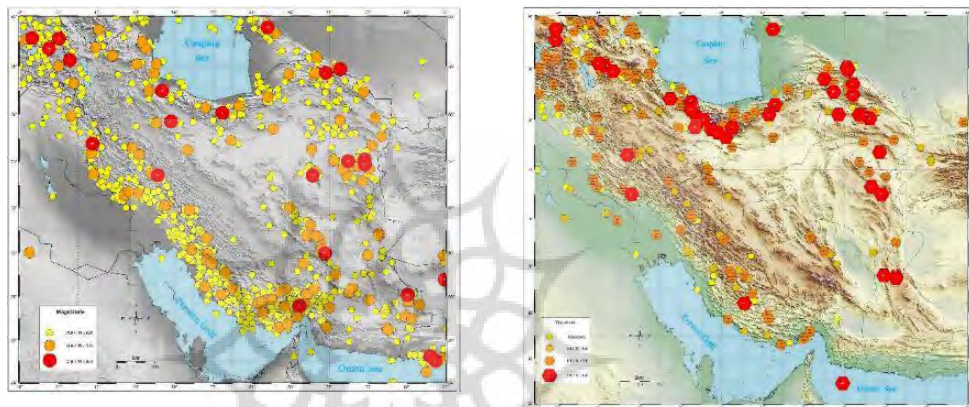
شکل (۱). موقعیت جغرافیایی طاقدیس بایه و مدل رقومی ارتفاعی آن

از لحاظ زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی زاگرس چین‌خورده کوه‌های جوانی دارد (درویش‌زاده و محمدی، ۱۳۸۶: ۱۲؛ علایی طالقانی، ۱۳۸۶: ۱۴۷)، که با کوهزایی‌های میوسن میانی - پلیوسن پایانی دچار چین‌خوردگی شده‌اند؛ از این رو، واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده از جمله مناطق فعال زمین‌ساختی ایران است که می‌توان شواهد فراخاست زمین‌ساختی آن را در طاقدیس‌های در حال رشد آن دید (انصاری لاری و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۴). کمر بند چین‌خورده زاگرس، یکی از مناطق لرزه‌خیز و دارای گسل‌های فعال و مهمی است که بر پایه داده‌های ثبت‌شده تاریخی و دستگاهی همواره در محدوده آن، شمار قابل توجهی زمین‌لرزه با بزرگای



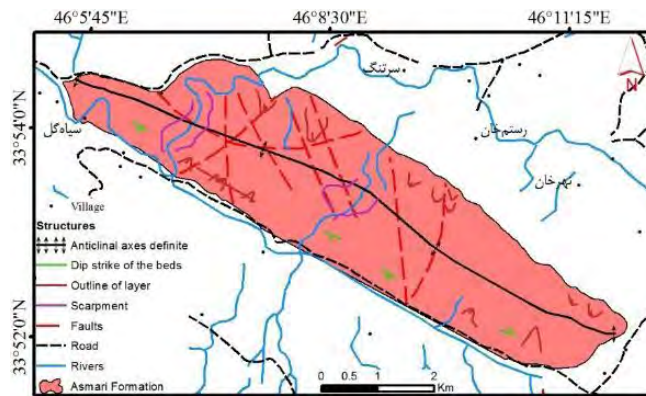
متفاوت رخ داده است (شکل ۲). همانطور که این شکل نیز نشان می‌دهد، بیشتر زمین‌لرزه‌های دستگاهی ثبت‌شده در محدوده مورد مطالعه، در رده زمین‌لرزه‌های با شدت متوسط و بالا (بین ۵-۷ ریشتر) رخ داده‌اند. این موضوع بر لرزه‌خیزی فعال و تداوم جنبش‌های نوزمین‌ساختی منطقه دلالت دارد.

راستای محوری طاق‌دیس بایه، با روند کلی واحد بزرگ ساختاری-ژئومورفولوژیکی زاگرس - زاگرس چین‌خورده - هم‌راستا است و به بخش مرکزی دشت ناودیس ایوان غرب در جنوب باختری شهر زرنه اشرف دارد. کمینه و بیشینه فرازای طاق‌دیس بایه به ترتیب ۸۹۰ و ۱,۴۴۷ متر است که در نیمه شمال باختری و جنوب خاوری طاق‌دیس واقع هستند. بیشینه پهنای طاق‌دیس نیز ۲,۴۷۰ متر است که در بخش میانی آن قرار دارد.



شکل (۲). نقشه زمین‌لرزه‌های بزرگ ایران و نواحی مجاور آن طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۸۷ خورشیدی (مرکز لرزه‌نگاری کشور، ۱۳۹۷)

بر پایه اطلاعات سنگ‌شناسی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۵)، طاق‌دیس بایه به طور کامل از سازند آسماری (سنگ آهک لایه‌نازک تا توده‌ای کرم تا سفیدرنگ و سنگ آهک دولومیت و مارن) متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی (الیگو-میوسن) تشکیل شده است (شکل ۳). سازند آهکی آسماری، جوان‌ترین سنگ مخزن پهنه زاگرس است و به دلیل داشتن سنگ آهک‌های مقاوم، ریخت‌شناسی کوه‌ساز (طاق‌دیس) دارد. شهرت جهانی این سازند به خاطر پیدا شدن نخستین چاه نفت خاورمیانه در آن است (آقاباتی، ۱۳۸۳: ۴۸۲). طاق‌دیس بایه فرود محوری دو طرفه دارد و به شدت دچار گسل‌خوردگی از نوع گسل‌های نرمال و بیشترین تراکم آنها در بخش شمال باختری طاق‌دیس است. بر اثر گسل‌خوردگی و عملکرد آنها در این طاق‌دیس، دو تنگ بزرگ یکی در بخش میانی و دیگری در محل فرود محوری طاق‌دیس در بخش شمال باختری، توسط رودخانه دائمی گنگیر ایجاد شده است (شکل ۳)؛ در واقع در منطقه مورد مطالعه که بخشی از زاگرس شمال باختری محسوب می‌شود، نقش فرایندهای زمین‌ساخت، فرسایش کاوشی و انحلال آب در ایجاد تنگ‌ها کاملاً مشهود است؛ به عبارت دیگر، در این منطقه تأثیر همزمان گسل‌خوردگی و زمین‌ساخت با فرسایش و انحلال رودخانه عاملی مؤثر در برش عمودی آهک آسماری طاق‌دیس بایه توسط رودخانه گنگیر بوده است. تنگ‌های منطقه نیز عموماً ژرف و باریک هستند و در بخش‌هایی از مسیر، حالت کانیون به خود گرفته‌اند (منصوری و همکاران، ۱۳۹۳: ۹).



شکل (۳). نقشه زمین‌شناسی طاقدیس بایه

مواد و روش‌ها

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی وضعیت فعالیت‌های نسبی نوزمین‌ساختی طاقدیس بایه واقع در جنوب باختری شهر زرنه در شهرستان ایوان غرب در استان ایلام، با استفاده شاخص‌های ژئومورفیک-مورفوتکتونیک، از جمله شاخص‌های نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF^۱)، پیچ و خم جبهه کوهستان (SMF^۲)، اشکال مثلثی یا چندضلعی جبهه کوهستان (FMF^۳)، درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان (EU^۴)، درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان (FD^۵)، پیچ و خم جبهه چین (FFS^۶)، تقارن چین (FSI^۷) و نسبت جهت (AR^۸) بوده است. طی سال‌های اخیر، ژئومورفوماتیک نقش بسزایی در مطالعه فعالیت‌های نسبی زمین‌ساخت داشته است. شاخص‌های ژئومورفیک از طریق تجزیه و تحلیل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای، در فهم زمین‌ساخت نسبی فعال نقش اساسی دارند (کلر و پیتتر، ۲۰۰۲: ۱۲۱)؛ بنابراین برای محاسبه و اندازه‌گیری این شاخص‌ها از نقشه‌های پایه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ و ۱:۵۰,۰۰۰ (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۱۳۷۶) و زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۵)، تصاویر کوئیک‌برد، مدل رقومی ارتفاعی منطقه با دقت مکانی ۱۲/۵ متر و بازدیدهای میدانی استفاده شده است و در پایان نتایج به‌دست‌آمده به شیوه توصیفی-تحلیلی بررسی شده‌اند. برای ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی در طاقدیس بایه، نخست نقشه‌های توپوگرافی پایه منطقه مورد مطالعه وارد نرم‌افزار ArcGIS شد و پس از زمین‌مرجع نمودن آنها، محدوده طاقدیس مشخص گردید؛ سپس بر پایه محدوده تعیین شده برای طاقدیس، اطلاعات زمین‌شناسی مربوط، از جمله واحدهای سنگ‌شناسی، گسل‌ها و دیگر پارامترهای مهم زمین‌شناسی از روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ منطقه رقومی و وارد پایگاه داده شد. در ادامه کار، با محاسبه و اندازه‌گیری

1. Ratio of Valley Floor Width to Valley Height (VF)
2. Mountain Front Sinuosity (SMF)
3. Mountain Front Facet (FMF)
4. Percentage Undissected Escarpments (EU)
5. Percentage Dissected Mountain Fronts (FD)
6. Fold Front Sinuosity (FFS)
7. Fold Symmetry Index (FSI)
8. Aspect Ratio (AR)



شاخص‌های مورفوتکتونیک تعیین شده، میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی در طاق‌دیس بایه بر روی نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاعی منطقه با دقت مکانی ۱۲/۵ متر مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت و یافته‌های به‌دست آمده نیز با چندین بار بازدید میدانی مورد راستی‌آزمایی قرار گرفت.

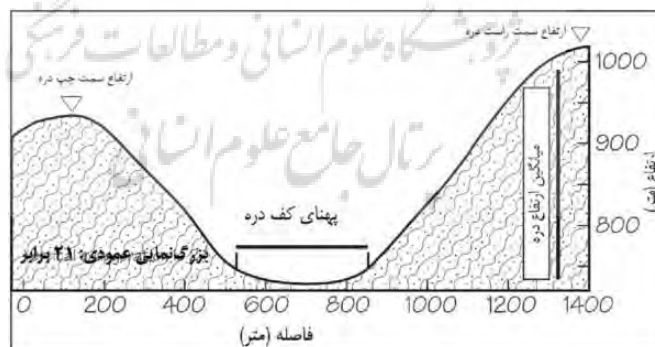
در زیر روش به‌کارگیری، فرمول و چگونگی محاسبه هر یک از شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش، تشریح شده است.

شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)

شاخص نسبت پهنای کف دره به میانگین ارتفاع آن (بال، ۱۹۷۸: ۸۹؛ بال و مک فادن، ۱۹۷۷: ۱۲۹) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$[(2V_{fw} / (E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc}) = VF$$

که در آن V_f نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن، V_{fw} پهنای کف دره، E_{ld} ارتفاع آب‌پخشان در سمت چپ دره، E_{rd} ارتفاع آب‌پخشان در سمت راست دره و E_{sc} میانگین ارتفاع بستر دره است (ال‌همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۹). شیوه شماتیک برای محاسبه و اندازه‌گیری این شاخص در شکل (۴) نمایش داده شده است. با استفاده از این شاخص می‌توان انواع دره‌های پیر با بستر پهن (U شکل) و دره‌های جوان، پرشیب و باریک (V شکل) را مشخص و تفکیک نمود. بر پایه شاخص V_f ، در مناطق زمین‌ساختی با میزان فعالیت‌های کم، دره‌های U شکل گسترش می‌یابد و ارزش عددی این شاخص بالا خواهد بود؛ اما در مناطق با فعالیت‌های زمین‌ساختی زیاد و فعال، میزان عددی این شاخص پایین است و دره‌های V شکل موجود در منطقه گویای نرخ فراخاست زیاد می‌باشد؛ بنابراین، شاخص V_f معمولاً در مناطق کوهستانی که دره‌های اصلی جبهه‌های کوهستانی را قطع می‌کنند، محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳: ۲۰۸).



شکل (۴). نمایش شماتیک چگونگی اندازه‌گیری شاخص V_f (بال، ۲۰۰۷: ۱۲۵)

شاخص اشکال مثلثی جبهه کوهستان (FMF)

شاخص اشکال یا سطوح مثلثی یا سطوح چندضلعی به شرح معادله زیر تعریف، محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود:

$$FMF = (L_f / L_s) \times 100$$

در این فرمول L_f مجموع درازای اشکال مثلثی یا چندضلعی و L_s درازای جبهه کوهستان به خط

مستقیم است. در مناطق فعال زمین‌ساختی، فعالیت گسل‌ها و تداوم حرکت آنها سبب تشکیل اشکال مثلثی یا چندضلعی بزرگ و پیوسته با درصد بالایی از وجود این اشکال می‌شود (ولز و همکاران، ۱۹۸۸: ۲۵۱)؛ بنابراین وجود درصد بالای چنین اشکالی در هر منطقه‌ای گویای وضعیت زمین‌ساختی شدید است. در جبهه‌های کوهستانی که فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا دارند، به واسطه وجود و تداوم حرکت‌های زمین‌ساختی، فراخاست و گسلش‌های فعال؛ همچنین به دلیل عدم دخالت یا تأثیر کمتر نیروهای فرسایشی آبراهه‌ها، پرتگاه‌های پرشیب و برجسته‌ای به شکل مثلث یا چندضلعی تشکیل می‌شوند. این سطوح شامل اشکال مثلثی تا چندضلعی در حد فاصل بین دو آبراهه، در دامنه طاق‌دیس‌ها هستند که اغلب در محل پرتگاه‌های موجود در جبهه کوهستان تشکیل می‌شوند (همان). جبهه‌های کوهستانی در مناطق فعال زمین‌ساختی، اشکال مثلثی و وجوه چندضلعی برجسته و بزرگی را نشان می‌دهند که عمدتاً با گسلش پیاپی در راستای پایه پرتگاه‌های کوهستانی ایجاد می‌شوند (ولز و همکاران، ۱۹۸۸: ۲۵۱). جبهه‌های کوهستانی دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی کمتر، به دلیل تأثیر بیشتر فرسایش شبکه زهکشی بر دامنه‌های کوهستانی، عموماً سطوح مثلثی شکل کمتر با طول قاعده کوچکتری دارند؛ اما در جبهه‌های کوهستانی با فعالیت‌های زمین‌ساختی بیشتر، به دلیل تداوم حرکات زمین‌ساختی، سطوح مثلثی شکل و چندضلعی بیشتر، بزرگتر و پرشیب هستند و اغلب طول قاعده آنها بیشتر است (ولز و همکاران، ۱۹۸۸: ۲۵۱)؛ بنابراین تکامل توپوگرافی جبهه‌های کوهستان به شدت به نرخ نسبی گسلش، فرسایش و رسوب‌گذاری وابسته است (فتوحی، ۱۳۹۲: ۱۷۱)؛ به نقل از الیاس، ۱۹۹۹: ۲۱). رودخانه‌هایی که از بالا آمدگی بلوک فرودآور به پایین جریان دارند، جبهه کوهستان را به صورت یک خلیج برش می‌دهند و فعالیت‌های تکتونیک، جبهه کوهستان را به صورت خطی بازسازی می‌کنند. حاصل تقابل این دو عمل در سطوح مثلثی انعکاس می‌یابد.

شاخص درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان (EU)

درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان را می‌توان از طریق معادله زیر محاسبه و اندازه‌گیری کرد:

$$EU = Lce / Ls$$

در این معادله Lce و Ls به ترتیب درازای بخش‌های بریده‌نشده و درازای مستقیم جبهه کوهستان است. در شاخص Eu فواصل بین بخش‌های بریده‌نشده جبهه‌های کوهستانی محاسبه می‌شود. مقادیر کمی برای این شاخص به صورت کمی بین ۰-۱ نشان داده می‌شود. هر قدر میزان ارزش عددی محاسبه‌شده به عدد ۱ نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده وضعیت زمین‌ساختی فعال و به هر میزانی که ارزش عددی به دست آمده از عدد ۱ کمتر باشد، گویای وضعیت زمین‌ساختی غیرفعال منطقه خواهد بود. معمولاً در مناطق کوهستانی دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا، به دلیل تداوم حرکات نوزمین‌ساختی غالباً در راستای جبهه‌های کوهستانی، پرتگاه‌های مستقیم و بدون بریدگی تشکیل می‌شوند؛ بنابراین عموماً ارزش عددی شاخص Eu بالا خواهد بود. این در حالی است که در مناطق زمین‌ساختی غیرفعال یا با فعالیت کم زمین‌ساختی، به دنبال غلبه فرایندهای فرسایشی، به ویژه فرسایش روان‌آب‌ها، ارزش عددی این شاخص پایین خواهد بود.

(منصوری و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۸)؛ بنابراین در راستای جبهه‌های کوهستانی پرتگاه‌های بریده‌شده بیشتری دیده می‌شوند (رامیرز - هریرا، ۱۹۹۸: ۳۲۰).

شاخص درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان (FD)

شاخص درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$FD = L_{mfd} / L_s$$

در اینجا L_{mfd} و L_s به ترتیب درازای بخش‌های بریده‌شده و درازای مستقیم جبهه کوهستان است. در مناطق فعال زمین‌ساختی جبهه‌های کوهستانی کمتر دچار بریدگی می‌شوند؛ بنابراین مقادیر شاخص درصد قسمت‌های بریده‌شده جبهه کوهستان F_d در آنها پایین خواهد بود (ولز و همکاران، ۱۹۸۸: ۲۴۶)؛ لذا در جبهه‌های کوهستانی مناطق زمین‌ساختی فعال به دلیل اینکه نیروهای زمین‌ساختی معمولاً پیشانی‌های خطی و مستقیمی ایجاد می‌کنند، کمتر دچار شکاف و بریدگی می‌شوند. مقادیر حاصل از این شاخص معمولاً به صورت کمیته بین ۰-۱ تعریف می‌شود؛ به طوری که هر قدر مقدار این شاخص به عدد صفر نزدیکتر باشد، نشانگر فعال بودن جبهه‌های کوهستانی و هر قدر مقدار این شاخص به عدد ۱ نزدیکتر باشد، گویای وضعیت غیرفعال فعالیت‌های زمین‌ساختی جبهه‌های کوهستانی خواهد بود (صفاری و منصوری، ۱۳۹۲: ۴۵؛ منصوری و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۷).

شاخص پیچ و خم جبهه چین (FFS)

شاخص پیچ و خم جبهه چین یا جبهه طاق‌دیس به شکل زیر تعریف شده است (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴):

$$FFS = F_s / L$$

در این معادله F_s درازای جبهه طاق‌دیس و L درازای طاق‌دیس به خط مستقیم خواهد بود. شاخص پیچ و خم جبهه چین از تقسیم درازای واقعی جبهه کوهستان یا طاق‌دیس در محل انحنای آن به درازای محور طاق‌دیس به خط مستقیم به دست می‌آید (شکل ۶). از این شاخص می‌توان برای مشخص نمودن انواع چین‌ها (چین‌های متقارن یا نامتقارن) (منصوری و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۳؛ باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۳) و به پیروی از آن، مشخص نمودن وضعیت حرکات و فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه استفاده کرد (منصوری و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۳)؛ به طوری که مقادیر کمی بالاتر این شاخص، نشان‌دهنده عملکرد بیشتر فرسایش و ایجاد بریدگی‌ها و شکاف‌های بیشتر در جبهه طاق‌دیس است؛ بنابراین وجود یک ساختار چین‌خوردگی قدیمی‌تر را نشان می‌دهد (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴)؛ اما مقادیر کمی پایین‌تر این شاخص وجود چین‌خوردگی‌های جوان و کمتر فرسایش‌یافته را مشخص می‌نمایند.



$$FFS = FS/L$$

شکل (۶). شیوه شماتیک برای اندازه‌گیری شاخص FFS

در یک طاق‌دیس فرضی (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴؛ منصوری و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۳).

**شاخص تقارن چین (FSI)**

از شاخص تقارن چین یا طاقدیس می‌توان برای تعیین انواع چین‌ها و وضعیت فعالیت‌های زمین‌ساختی آنها استفاده کرد؛ این شاخص با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$FSI = S / (W / 2)$$

در این رابطه S پهنای پهلو یا یال کوتاه‌تر طاقدیس و W پهنای طاقدیس ($2/W$ نصف پهنای طاقدیس) مورد نظر می‌باشد. شاخص تقارن چین از تقسیم پهنای یال کوتاه‌تر طاقدیس بر نصف پهنای آن به دست می‌آید. در چین‌های متقارن، ارزش عددی این شاخص برابر عدد ۱ خواهد بود؛ ولی در طاقدیس‌های نامتقارن و ناهنجار، ارزش عددی آن معمولاً از عدد ۱ کمتر است (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۳؛ منصور و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۵).

شاخص نسبت جهت (AR)

شاخص نسبت جهت به شکل رابطه زیر (باربری، ۲۰۰۸: ۴۲۳؛ باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴) تعریف شده است:

$$AR = L / W$$

در این رابطه L درازای طاقدیس و W بیشینه پهنای طاقدیس در نظر گرفته شده است. در این شاخص، مقادیر کمی بالای به دست آمده، نشان‌دهنده مناطق فعال زمین‌ساختی و مقادیر کمی پایین به دست آمده نشان‌دهنده فعالیت‌های نوزمین‌ساختی پایین در منطقه خواهند بود. در ادامه مطالب، یافته‌های به دست آمده برای هر یک از شاخص‌های محاسبه شده تشریح خواهند شد.

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش برای محاسبه شاخص Vf در محدوده طاقدیس بایه، ۳۸ دره اصلی در هر دو دامنه شمال خاوری و جنوب باختری آن تعیین گردید؛ سپس مقادیر این شاخص بر روی نقشه توپوگرافی و مدل رقمی ارتفاعی ۱۲/۵ متر منطقه مورد مطالعه، اندازه‌گیری شد و میانگین کل این شاخص برای طاقدیس بایه، برابر با ۰/۴۰ به دست آمد (جدول شماره ۱). بر پایه مقادیر کمی به دست آمده برای شاخص Vf مشخص شد که طاقدیس بایه از میزان فعالیت زمین‌ساختی بالایی برخوردار است. شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه، از جمله دره‌های ژرف، باریک، پرشیب و جوان (V شکل)، ارزش‌های کمی پایین به دست آمده در این شاخص را تأیید می‌کنند (شکل ۱۰).



جدول شماره (۱). ارزش‌های عددی اندازه‌گیری شده برای شاخص Vf در طاق‌دیس بایه

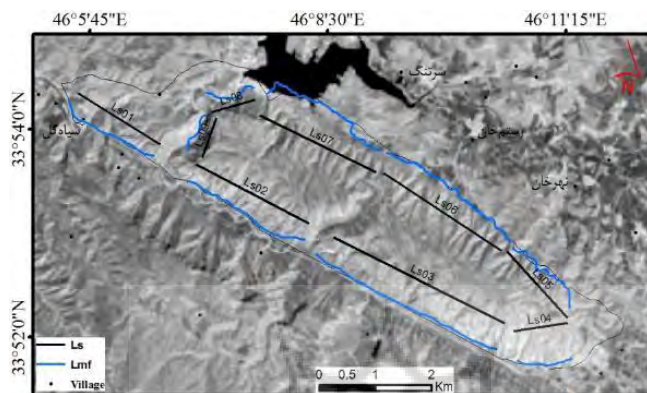
| شماره دره | Vfw | Eld | Erd | Esc | Vf | شماره دره | Vfw | Eld | Erd | Esc | Vf |
|-----------|-------|------|------|------|------|-----------|-------|------|------|------|------|
| ۱ | ۱۸/۱۸ | ۱۲۲۳ | ۱۲۱۸ | ۱۱۸۴ | ۰/۵۰ | ۲۰ | ۶/۱۶ | ۱۱۹۵ | ۱۲۰۳ | ۱۱۸۴ | ۰/۴۱ |
| ۲ | ۱۲/۴۸ | ۱۲۲۵ | ۱۲۲۳ | ۱۱۷۹ | ۰/۲۸ | ۲۱ | ۷/۶۸ | ۱۲۱۰ | ۱۲۰۳ | ۱۱۹۱ | ۰/۵۰ |
| ۳ | ۱۱/۱۱ | ۱۱۸۲ | ۱۱۸۳ | ۱۱۶۳ | ۰/۵۷ | ۲۲ | ۷/۴۸ | ۱۲۲۵ | ۱۲۲۰ | ۱۲۰۵ | ۰/۴۳ |
| ۴ | ۸/۸۷ | ۱۱۹۳ | ۱۱۸۴ | ۱۱۶۰ | ۰/۳۱ | ۲۳ | ۱۰/۴ | ۱۲۱۱ | ۱۲۰۳ | ۱۱۷۳ | ۰/۳۱ |
| ۵ | ۵۰/۸ | ۱۳۱۲ | ۱۲۷۱ | ۱۱۷۸ | ۰/۴۵ | ۲۴ | ۸/۹۶ | ۱۲۰۳ | ۱۱۹۹ | ۱۱۷۴ | ۰/۳۳ |
| ۶ | ۲۶/۲ | ۱۰۷۴ | ۱۰۴۹ | ۹۵۸ | ۰/۲۵ | ۲۵ | ۹/۶۵ | ۱۲۰۳ | ۱۱۹۶ | ۱۱۷۲ | ۰/۳۵ |
| ۷ | ۱۳/۵۳ | ۱۱۲۸ | ۱۱۰۹ | ۱۰۸۶ | ۰/۴۲ | ۲۶ | ۵ | ۱۱۶۴ | ۱۱۶۳ | ۱۱۵۲ | ۰/۴۳ |
| ۸ | ۹/۱ | ۱۱۴۴ | ۱۱۳۵ | ۱۱۱۹ | ۰/۴۴ | ۲۷ | ۷/۴۱ | ۱۱۷۱ | ۱۱۶۳ | ۱۱۵۱ | ۰/۴۶ |
| ۹ | ۶/۵ | ۱۱۶۷ | ۱۱۶۳ | ۱۱۵۲ | ۰/۵۰ | ۲۸ | ۱۱ | ۱۲۶۹ | ۱۲۶۶ | ۱۱۵۸ | ۰/۱۰ |
| ۱۰ | ۸/۵۸ | ۱۱۸۵ | ۱۱۷۳ | ۱۱۵۶ | ۰/۳۷ | ۲۹ | ۱۱/۳ | ۱۲۷۵ | ۱۲۷۲ | ۱۲۳۹ | ۰/۳۳ |
| ۱۱ | ۷/۴۶ | ۱۱۷۳ | ۱۱۷۶ | ۱۱۵۷ | ۰/۴۳ | ۳۰ | ۶/۴۸ | ۱۰۵۴ | ۱۰۴۰ | ۱۰۳۳ | ۰/۴۶ |
| ۱۲ | ۹/۴۲ | ۱۱۴۲ | ۱۱۵۰ | ۱۱۲۹ | ۰/۵۵ | ۳۱ | ۷/۴۱ | ۱۰۷۲ | ۱۰۷۵ | ۱۰۵۷ | ۰/۴۵ |
| ۱۳ | ۱۱ | ۱۱۷۱ | ۱۱۷۰ | ۱۱۴۳ | ۰/۴۰ | ۳۲ | ۱۲/۳ | ۱۰۳۲ | ۱۰۳۳ | ۱۰۰۵ | ۰/۴۵ |
| ۱۴ | ۶/۱۵ | ۱۱۸۸ | ۱۱۸۶ | ۱۱۷۳ | ۰/۴۴ | ۳۳ | ۸/۵۸ | ۹۹۶ | ۹۹۱ | ۹۷۱ | ۰/۳۸ |
| ۱۵ | ۹/۱۶ | ۱۱۹۰ | ۱۱۸۲ | ۱۱۵۹ | ۰/۳۴ | ۳۴ | ۵/۱ | ۹۸۷ | ۹۸۵ | ۹۷۵ | ۰/۴۶ |
| ۱۶ | ۶/۸۶ | ۱۱۶۲ | ۱۱۶۵ | ۱۱۴۱ | ۰/۳۰ | ۳۵ | ۷/۴۴ | ۹۷۳ | ۹۷۵ | ۹۵۸ | ۰/۴۷ |
| ۱۷ | ۹/۴۹ | ۱۱۷۰ | ۱۱۷۳ | ۱۱۴۷ | ۰/۳۹ | ۳۶ | ۱۰/۳۷ | ۹۷۴ | ۹۷۲ | ۹۵۲ | ۰/۴۸ |
| ۱۸ | ۱۱/۷ | ۱۱۸۴ | ۱۱۸۶ | ۱۱۵۴ | ۰/۳۸ | ۳۷ | ۷/۱۵ | ۱۰۸۳ | ۱۰۷۴ | ۱۰۵۹ | ۰/۳۷ |
| ۱۹ | ۱۵/۹ | ۱۲۱۹ | ۱۲۱۴ | ۱۱۷۳ | ۰/۳۷ | ۳۸ | ۵/۳۷ | ۱۱۱۵ | ۱۱۱۰ | ۱۱۰۰ | ۰/۴۳ |
| میانگین | | | | | | ۰/۴۰ | | | | | |

منبع: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۷۶)؛ محاسبات نویسنده (۱۴۰۱)

شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان در دو دامنه جنوب باختری و شمال خاوری طاق‌دیس بایه و در راستای ۹ جبهه اصلی تعیین شده، محاسبه و اندازه‌گیری شد (شکل ۷؛ جدول شماره ۲). همانطور که این جدول نشان می‌دهد، ارزش‌های عددی به دست آمده برای ۹ جبهه اصلی تعیین شده در این طاق‌دیس به طور کلی ارزش‌های پایینی دارند و مقادیر آنها بین ۱/۰۵ (جبهه شماره ۹) تا ۱/۲۵ (جبهه شماره ۸) را شامل می‌شود. میانگین به دست آمده برای ارزش‌های عددی محاسبه شده در ۹ جبهه اصلی این طاق‌دیس، برابر با ۱/۱۴ است. با توجه به ارزش‌های کمی به دست آمده، مشخص شد که طاق‌دیس بایه، فعالیت نوزمین ساختمانی بالایی دارد و بر پایه



طبقه‌بندی ارائه شده از سوی ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۸) در کلاس ۲ فعالیت قرار می‌گیرد (جدول شماره ۲). از جمله شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه مورد پژوهش که تأییدکننده مقادیر پایین شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان در منطقه هستند، می‌توان به عدم تشکیل واحد کوهپایه، وجود پرتگاه‌های گسلی و جبهه‌های کوهستانی خطی، مستقیم و کشیده (شکل ۸)، دره‌های جوان ژرف و باریک (شکل ۷) با کمترین میزان بریدگی و ایجاد شکاف در دامنه‌های طاقدیس بایه اشاره کرد (شکل ۱۰).



شکل (۱). جبهه‌های اصلی تعیین شده برای محاسبه شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان در طاقدیس بایه

جدول شماره (۲). ارزش‌های عددی اندازه‌گیری شده برای شاخص Smf در طاقدیس بایه

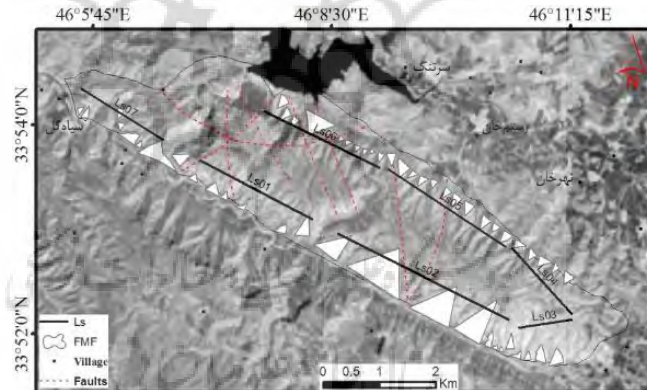
| کلاس | Smf | Ls (m) | Lmf (m) | جبهه کوهستانی |
|------|------|---------|---------|---------------|
| ۲ | ۱/۱۲ | ۱۷۲۳/۵۷ | ۱۹۳۲/۳۸ | ۱ |
| ۱ | ۱/۰۸ | ۲۲۷۷/۴۶ | ۲۴۵۶/۳۳ | ۲ |
| ۱ | ۱/۰۹ | ۳۴۱۱/۲۷ | ۳۷۰۳/۲ | ۳ |
| ۱ | ۱/۰۸ | ۹۷۱/۰۱ | ۱۰۴۵/۳۱ | ۴ |
| ۲ | ۱/۱۸ | ۱۵۹۸/۳۵ | ۱۸۸۹/۴۲ | ۵ |
| ۲ | ۱/۲۱ | ۲۵۲۶/۲۳ | ۳۰۶۴/۱۹ | ۶ |
| ۲ | ۱/۲۲ | ۲۲۹۶ | ۲۸۰۵/۷۲ | ۷ |
| ۲ | ۱/۲۵ | ۸۰۶/۴۷ | ۱۰۰۴/۳۹ | ۸ |
| ۱ | ۱/۰۵ | ۷۵۰/۷۳ | ۷۸۵/۵۵ | ۹ |
| ۲ | ۱/۱۴ | - | - | میانگین |

منبع: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۷۶); محاسبات نویسنده (۱۴۰۱)



شکل (۲). نمایی از پرتگاه‌ها و جبهه‌های گسلی مستقیم و خطی تشکیل شده در سازند آسماری در طاق‌دیس بایه

در مجموع با شناسایی ۵۲ شکل مثلثی یا چندضلعی بر روی دامنه‌های جنوب باختری و شمال خاوری و در راستای ۷ جبهه اصلی تعیین شده در طاق‌دیس بایه (شکل ۹)، شاخص سطوح مثلثی شکل یا چندضلعی برای این طاق‌دیس، محاسبه و اندازه‌گیری شد. ارزش‌های عددی به دست آمده برای این شاخص در طاق‌دیس بایه، در جدول شماره ۳ ارائه شده است. در این طاق‌دیس بیشتر سطوح مثلثی شکل منطبق بر مناطق گسلی تشکیل شده‌اند؛ علاوه بر آن، با توجه به اینکه تمام طاق‌دیس بایه از آهک مقاوم و صخره‌ساز آسماری تشکیل گردیده، تداوم فعالیت‌های نوزمین‌ساختی ناشی از فراخاست و گسلش، سبب ایجاد و شکل‌گیری اشکال مثلثی و چندضلعی گوناگونی در این طاق‌دیس شده است (شکل ۱۰).



شکل (۳). اشکال مثلثی ایجاد شده در راستای ۷ جبهه تعیین شده و انطباق نسبی آنها با گسل‌ها در طاق‌دیس بایه



جدول شماره (۳). ارزش‌های عددی اندازه‌گیری شده برای شاخص **Fmf** در طاقدیس بایه

| مجموع مساحت اشکال مثلثی (m ²) | Fmf | Ls (m) | Lf (m) | جبهه کوهستان |
|---|--------|--------|----------|--------------|
| ۲۱۵۶۳۷/۸۰ | ۳۱۰/۱۳ | ۱۷۲۳ | ۵۳۴۳/۴۸ | ۱ |
| ۱۷۴۰۲۲/۱ | ۲۱۹/۶۲ | ۲۲۷۷ | ۵۰۰۰/۶۵ | ۲ |
| ۱۱۳۴۰۱۰/۱۷ | ۳۴۲/۳۴ | ۳۴۱۱ | ۱۱۶۷۷/۰۵ | ۳ |
| ۱۰۲۲۱۸/۶۹ | ۲۹۲/۱۸ | ۹۷۱ | ۲۸۳۷/۰۵ | ۴ |
| ۹۶۱۴۱/۹۸ | ۲۰۱/۵۱ | ۱۵۹۸ | ۳۲۲۰/۱۵ | ۵ |
| ۲۲۶۱۰۲/۸۱ | ۲۸۷/۶۶ | ۲۵۲۶ | ۷۲۶۶/۳۲ | ۶ |
| ۲۱۹۷۷/۲ | ۲۶۰/۱۰ | ۲۲۹۶ | ۵۹۷۱/۹۹ | ۷ |
| ۴۱۶۹۰/۶۳ | ۲۷۳/۳۶ | - | - | میانگین |



شکل (۴). نمایی از سطوح مثلثی شکل و دره‌های ژرف و باریک ایجاد شده در سازند آسماری در طاقدیس بایه

شاخص **Eu** در طاقدیس بایه در راستای ۷ جبهه اصلی تعیین شده، محاسبه و اندازه‌گیری شد (شکل ۱۱؛ جدول شماره ۴). در مجموع مقدار متوسط این شاخص در طاقدیس بایه برابر با ۰/۷۸ به دست آمد که گویای وجود فعالیت‌های نوزمین‌ساختی نسبتاً بالا در این طاقدیس است. گسلش فراوان و وجود دره‌های ژرف، باریک و **V** شکل؛ همچنین ویژگی‌های سنگ‌شناسی سازند مقاوم و صخره‌ساز آسماری که تمام طاقدیس بایه از آن ساخته شده و باعث ایجاد جبهه‌ها و پرتگاه‌های مستقیم و پرشیب در آن شده است، سبب گردیده تا تداوم فراخاست در جبهه‌های طاقدیس مورد نظر به فرایندهای فرسایشی امکان فعالیت چندانی ندهد و صرفاً به ایجاد شکاف‌های باریک محدود شود (شکل ۱۰)؛ بنابراین، این موارد به عنوان شواهد ژئومورفولوژیک، وجود حرکات زمین‌ساخت فعال در این منطقه را تأیید می‌کنند.



جدول شماره (۴). ارزش‌های عددی اندازه‌گیری شده برای شاخص Eu در طاق‌دیس بایه

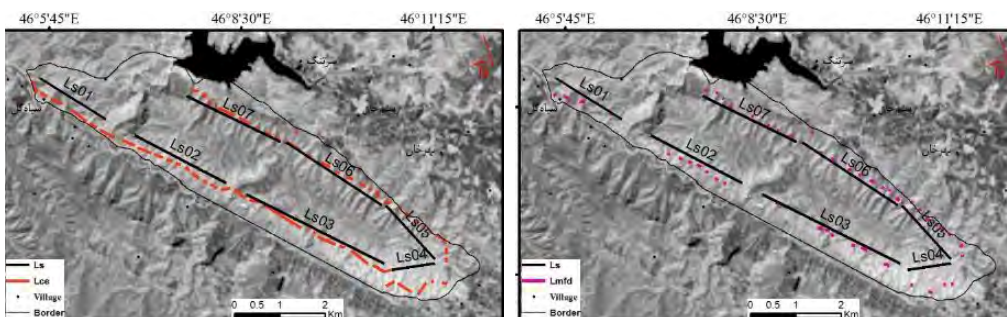
| شماره جبهه | Lce (m) | Ls (m) | Eu | میانگین | شماره جبهه | Lce (m) | Ls (m) | Eu | میانگین |
|------------|---------|--------|------|---------|------------|---------|--------|------|---------|
| ۱ | ۳۵۸/۳۲ | ۱۷۲۳ | ۰/۲۱ | ۰/۹۸ | ۵ | ۱۱۰/۵۲ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۷ | ۰/۶۴ |
| | ۱۹۳/۷۶ | ۱۷۲۳ | ۰/۱۱ | | | ۱۵۵/۳۶ | ۱۵۹۸ | ۰/۱۰ | |
| | ۴۱۱/۸۹ | ۱۷۲۳ | ۰/۲۴ | | | ۱۱۲ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۷ | |
| | ۱۶۱/۷۲ | ۱۷۲۳ | ۰/۰۹ | | | ۶۸/۲۹ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۴ | |
| | ۳۱۰/۶۹ | ۱۷۲۳ | ۰/۱۸ | | | ۸۵/۹۱ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۵ | |
| | ۲۵۴/۹ | ۱۷۲۳ | ۰/۱۵ | | | ۱۱۳/۶۱ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۷ | |
| | ۱۲۵/۱۴ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۵ | | | ۱۴۲/۹۵ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۹ | |
| | ۱۴۲/۵۲ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۶ | | | ۹۳/۹۹ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۶ | |
| | ۳۱۹/۰۶ | ۲۲۷۷ | ۰/۱۴ | | | ۱۳۴/۹۴ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۸ | |
| ۲ | ۳۳۳/۶۵ | ۲۲۷۷ | ۰/۱۵ | ۰/۸۶ | ۶ | ۳۴۰/۶۴ | ۲۵۲۶ | ۰/۱۳ | ۰/۶۱ |
| | ۲۰۲/۷۸ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۹ | | | ۸۲/۹۹ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۳ | |
| | ۱۸۵/۹۱ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۸ | | | ۱۳۰/۷۷ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۵ | |
| | ۱۱۷/۰۵ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۵ | | | ۲۳۸/۲۸ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۹ | |
| | ۲۰۴/۴۹ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۹ | | | ۷۵/۱۵ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۳ | |
| | ۱۱۶/۱۸ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۵ | | | ۱۴۴/۵۲ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۶ | |
| | ۲۱۲/۱۲ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۹ | | | ۱۳۹/۴۱ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۶ | |
| | ۴۶۰/۸۶ | ۳۴۱۱ | ۰/۱۴ | | | ۷۳/۸۳ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۳ | |
| | ۱۳۹/۳۲ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۴ | | | ۱۵۲/۷۵ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۶ | |
| ۳ | ۴۳۶/۸۳ | ۳۴۱۱ | ۰/۱۳ | ۰/۹۲ | ۷ | ۱۵۶/۸۵ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۶ | ۰/۶۵ |
| | ۷۴/۷۶ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۲ | | | ۱۵۴/۴۴ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۷ | |
| | ۵۳/۵۶ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۲ | | | ۱۳۷/۱۵ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۶ | |
| | ۹۸۴/۵۴ | ۳۴۱۱ | ۰/۲۹ | | | ۴۱۰/۱۱ | ۲۲۹۶ | ۰/۱۸ | |
| | ۲۳۲/۴ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۷ | | | ۲۶۸/۶ | ۲۲۹۶ | ۰/۱۲ | |
| | ۳۱۸/۹۶ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۹ | | | ۱۰۲/۰۸ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۴ | |
| | ۴۳۳/۹۸ | ۳۴۱۱ | ۰/۱۳ | | | ۱۶۸/۶۷ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۷ | |
| | ۶۱/۳۴ | ۹۷۱ | ۰/۰۶ | | | ۱۲۵/۳۷ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۵ | |
| | ۳۷۶/۲۳ | ۹۷۱ | ۰/۳۹ | | | ۱۱۷/۷۶ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۵ | |
| ۴ | ۲۱۲/۰۳ | ۹۷۱ | ۰/۲۲ | ۰/۷۹ | | ۱۱۷/۸۹ | | | |
| | ۱۱۷/۸۹ | ۹۷۱ | ۰/۱۲ | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| میانگین کل | | | | | ۰/۷۸ | | | | |

منبع: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۷۶)؛ محاسبات نویسنده (۱۴۰۱)

همانند شاخص Eu، شاخص Fd نیز برای طاق‌دیس بایه در راستای ۷ جبهه اصلی تعیین شده، محاسبه و اندازه‌گیری شد (شکل ۱۱؛ جدول شماره ۵). مقدار متوسط این شاخص برای طاق‌دیس بایه برابر با ۰/۲۷ به دست آمد که نشان‌دهنده فعالیت‌های نوزمین‌ساختی نسبتاً بالا در این طاق‌دیس است. از جمله شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه که تأییدکننده فعالیت



نوزمین‌ساختی نسبتاً بالا در این طاق‌دیس است، می‌توان به دره‌های باریک، ژرف و V شکل (شکل ۱۰) و پرتگاه‌های گسلی خطی و مستقیم اشاره کرد (شکل ۸).



شکل (۵). نحوه محاسبه شاخص‌های ED و FD در طاق‌دیس بایه



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



جدول شماره (۵). ارزش‌های عددی اندازه‌گیری شده برای شاخص F_d در طاق‌دیس بایه

| شماره جبهه | Lmfd (m) | Ls (m) | Fd | میانگین | شماره جبهه | Lmfd (m) | Ls (m) | Fd | میانگین |
|------------|----------|--------|------|---------|------------|----------|--------|------|---------|
| ۱ | ۱۰۳/۶۱ | ۱۷۲۳ | ۰/۰۶ | ۰/۳۸ | ۵ | ۷۹/۵۹ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۵ | ۰/۲۴ |
| | ۱۲۸/۸۵ | ۱۷۲۳ | ۰/۰۷ | | | ۷۲/۹۸ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۵ | |
| | ۶۲/۸۳ | ۱۷۲۳ | ۰/۰۴ | | | ۹۸/۴۴ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۶ | |
| | ۱۱۶/۵۸ | ۱۷۲۳ | ۰/۰۷ | | | ۶۶/۰۷ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۴ | |
| | ۱۱۵/۷۴ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۵ | | | ۷۸/۱۲ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۵ | |
| | ۸۴/۶۵ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۴ | | | ۷۸/۷۸ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۵ | |
| | ۷۳/۷۹ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۳ | | | ۷۶/۶۳ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۵ | |
| | ۸۵/۴۵ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۴ | | | ۵۰/۳۱ | ۱۵۹۸ | ۰/۰۳ | |
| ۲ | ۷۰/۱۱ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۳ | ۰/۳۱ | ۶ | ۸۲/۹۹ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۳ | ۰/۲۵ |
| | ۷۶/۶۸ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۳ | | | ۷۶/۶۵ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۳ | |
| | ۶۳/۹۳ | ۲۲۷۷ | ۰/۰۳ | | | ۹۶/۸۹ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۴ | |
| | ۱۲۵/۱۱ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۴ | | | ۷۹/۷ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۳ | |
| | ۱۴۹/۲۶ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۴ | | | ۷۱/۰۵ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۳ | |
| | ۸۴/۸۲ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۲ | | | ۱۲۴/۲۵ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۵ | |
| | ۷۴/۷۲ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۲ | | | ۷۴/۲۴ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۳ | |
| | ۸۳/۶۶ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۲ | | | ۷۵/۹ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۳ | |
| ۳ | ۱۴۳/۶۱ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۴ | ۰/۲۳ | ۷ | ۱۰۱/۴۹ | ۲۵۲۶ | ۰/۰۴ | ۰/۲۲ |
| | ۹۹/۳۸ | ۳۴۱۱ | ۰/۰۳ | | | ۷۹/۴۸ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۳ | |
| | ۵۹/۰۸ | ۹۷۱ | ۰/۰۶ | | | ۴۲/۵۵ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۲ | |
| | ۱۰۱/۸۵ | ۹۷۱ | ۰/۱۰ | | | ۷۷/۸۵ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۳ | |
| | ۶۱/۰۵ | ۹۷۱ | ۰/۰۶ | | | ۶۲/۴۳ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۳ | |
| | ۵۹/۴۶ | ۹۷۱ | ۰/۰۶ | | | ۷۱/۲ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۳ | |
| | - | - | - | | | ۶۱/۴۱ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۳ | |
| | - | - | - | | | ۸۳/۲۳ | ۲۲۹۶ | ۰/۰۴ | |
| میانگین کل | | | | ۰/۲۷ | | | | | |

منبع: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۷۶)؛ محاسبات نویسنده (۱۴۰۱)

شاخص پیچ و خم جبهه چین در هر دو یال شمال خاوری و جنوب باختری طاق‌دیس بایه محاسبه و اندازه‌گیری شد و میانگین آن برای کل طاق‌دیس، برابر با ۱/۰۷۸ به دست آمد (جدول شماره ۶). مقادیر پایین به دست آمده برای این شاخص در طاق‌دیس بایه، نشان‌دهنده وجود یک طاق‌دیس و ساختار چین خورده جوان است که فرایندهای فرسایشی در جبهه‌های آن چندان تأثیرگذار نبوده است؛ به عبارت دیگر، مقادیر کمی پایین شاخص F_{fs} در طاق‌دیس بایه، گویای



غلبه فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در محدوده آن است.

جدول شماره (۶). مقادیر عددی اندازه‌گیری شده شاخص FFS در طاقدیس بایه

| میانگین | FFS | L (m) | Fs (m) | طاقدیس بایه |
|---------|-------|----------|---------|------------------|
| ۱/۰۷۸ | ۱/۰۸۰ | ۱۰۵۶۰/۸۷ | ۱۱۴۱۰/۲ | جبهه جنوب باختری |
| | ۱/۰۷۴ | ۱۰۵۶۰/۸۷ | ۱۱۳۴۷/۷ | جبهه شمال خاوری |

منبع: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۷۶); محاسبات نویسنده (۱۴۰۱)

با توجه به هندسه طاقدیس مورد بررسی و نیز برای اینکه ارزش عددی اندازه‌گیری شده برای شاخص تقارن چین در طاقدیس بایه به واقعیت نزدیکتر باشد، در سه بخش متفاوت از طاقدیس، این شاخص، محاسبه و اندازه‌گیری شد و میانگین آن برابر با ۰/۶۳ به دست آمد (جدول شماره ۷). معمولاً مقادیر کمی پایین برای این شاخص گویای وجود چین‌های نامتقارن و تداوم فعالیت‌های نوزمین‌ساختی است، وجود شکستگی‌ها و درز و شکاف‌های زمین‌ساختی به همراه گسل‌های متعدد در این طاقدیس، نشانگر تداوم اینگونه فعالیت‌ها در منطقه است.

جدول شماره (۷). مقادیر عددی اندازه‌گیری شده شاخص FSI در طاقدیس بایه

| FSI | W (m) | S (m) | طاقدیس بایه |
|------|---------|--------|-------------|
| ۰/۷۷ | ۲۱۲۷/۴۱ | ۸۱۷/۰۵ | ۱ |
| ۰/۶۲ | ۲۱۲۷/۴۱ | ۷۵۹/۶۸ | ۲ |
| ۰/۵۱ | ۲۱۲۷/۴۱ | ۵۲۳/۸۸ | ۳ |
| ۰/۶۳ | - | | میانگین |

منبع: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۷۶); محاسبات نویسنده (۱۴۰۱)

همچنین، مقدار کمی شاخص نسبت جهت در طاقدیس بایه برابر با ۴/۳۴ محاسبه شد (جدول شماره ۸) که به بالا بودن مقدار آن، گویای وضعیت زمین‌ساختی فعال این طاقدیس است.

جدول شماره (۸). مقادیر عددی اندازه‌گیری شده شاخص AR در طاقدیس بایه

| AR | W (m) | L (m) | نام طاقدیس |
|------|-------|-------|------------|
| ۴/۳۴ | ۲۴۷۰ | ۱۰۷۱۵ | بایه |

منبع: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۷۶); محاسبات نویسنده (۱۴۰۱)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساخت در طاقدیس بایه با استفاده از پارامترهای گوناگون مربوط به هشت شاخص ژئومورفیک (VF, AR, FMF, SMF, FSI, FFS, FD, ED) ارزیابی شد و یافته‌های به‌دست‌آمده از آنها تجزیه و تحلیل گردید. عموماً کاربرد اصلی شاخص‌های



ژئومورفیک، در زمینه ارزیابی و شناخت وضعیت کلی زمین ساخت هر منطقه است. معمولاً این شاخص‌ها یک نوع کلاسه‌بندی از چگونگی و میزان فرایندهای درونی زمین در قالب فعالیت‌های زمین‌ساختی، از جمله فراخاست طاق‌دیس‌ها و چین‌ها، کج‌شدگی حوضه، گسلش فعال و ایجاد پرتگاه‌ها و جبهه‌های مستقیم، ناهنجاری‌های شبکه‌های زهکشی و غیره را ارائه می‌دهند. به‌کارگیری هریک از این شاخص‌ها کاربرد و اهمیت خاص خود را دارد؛ اما یکپارچه‌سازی و استفاده همزمان از شاخص‌های گوناگون برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل وضعیت فعالیت‌های زمین‌ساختی و سرانجام کلاسه‌بندی میزان آن در یک منطقه خاص (به عنوان نمونه: یک حوضه آبریز، یک طاق‌دیس، یک جبهه کوهستانی و غیره) به مراتب از کارایی بالاتری برخوردار است و نتایج بهتر و دقیق‌تری را ارائه می‌کند؛ از این رو، در این پژوهش با هدف ارزیابی نسبی میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی در طاق‌دیس بایه، از هشت شاخص ژئومورفیک استفاده شد.

یافته‌های پژوهش نشان دادند که میانگین کلی به‌دست‌آمده برای شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF) در طاق‌دیس بایه $0/40$ است که نشان‌دهنده وضعیت زمین‌ساخت فعال در این طاق‌دیس می‌باشد. با توجه به شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه مورد مطالعه، از جمله دره‌های ژرف، باریک و V شکل، مقادیر به‌دست‌آمده برای این شاخص تأیید شد. در واقع به دلیل اینکه تمام این طاق‌دیس از سازند مقاوم و صخره‌ساز آسماری تشکیل شده است و نیز به دلیل گسلش فعال در آن، هندسه و مورفولوژی دره‌های ایجادشده جوان است و اغلب به صورت دره‌های باریک و ژرف در چشم‌انداز منطقه نمود یافته‌اند. نسبت و تراکم آنها در یال جنوب باختری نسبت به یال شمال خاوری کمتر است؛ به گونه‌ای که بیشتر دره‌های ایجادشده در یال شمال خاوری طاق‌دیس تشکیل شده‌اند؛ اما در یال جنوب باختری بیشتر پرتگاه‌های گسلی خطی و کشیده شکل گرفته‌اند.

مقادیر کمی پایین به‌دست‌آمده برای شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان (SMF) در طاق‌دیس بایه نشان‌دهنده وجود یک طاق‌دیس جوان و وضعیت نسبتاً فعال از لحاظ فعالیت‌های زمین‌ساختی در آن است. شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه، از جمله وجود پرتگاه‌ها و جبهه‌های خطی مستقیم و پرشیب و کمترین میزان انحنا و پیچ و خم در آن، مقادیر کمی پایین به‌دست‌آمده برای این شاخص را تأیید می‌کنند. بر پایه یافته‌های به‌دست‌آمده برای این شاخص، مشخص شده که وضعیت یال جنوب باختری نسبت به یال شمال خاوری فعال‌تر است و در رده ۱ فعالیت قرار دارد؛ به طوری که در این یال، میزان پیچ و خم جبهه کوهستان بسیار کم می‌باشد و بیشتر به صورت پرتگاه‌ها و دیواره‌های پرشیب ساختمانی نمود یافته است. از جمله دلایل آن، علاوه بر عملکرد گسل‌ها، می‌توان به وجود سازند آهک آسماری و مقاومت آن در برابر نیروهای فرساینده اشاره کرد.

معمولاً در مناطق زمین‌ساختی نسبتاً فعال، اشکال مثلثی یا چندضلعی بیشتری تشکیل خواهد شد؛ زیرا تداوم نیروهای درونی زمین در قالب فراخاست جبهه‌های کوهستانی در طاق‌دیس‌ها و چین‌ها فرصت کافی را از تسلط و غلبه شبکه آبراه‌ای بر دامنه‌های کوهستانی می‌گیرد و مانع از فرسایش و ایجاد دره در آن می‌شود؛ بنابراین میزان گسترش و ابعاد هندسی و مورفومتری این اشکال با میزان نرخ فراخاست در هر منطقه، رابطه مستقیم و بالایی دارد؛ به گونه‌ای که متناسب



با شدت این نیروها، سیستم شبکه آبراه‌های، اغلب جوان و تکامل نیافته خواهد بود؛ به همین دلیل غالباً این اشکال به صورت پرشیب و با درازای بیشتر قاعده دیده خواهند شد. ارزش‌های کمی برای شاخص اشکال مثلثی یا چندضلعی جبهه کوهستان (FMF) در طاق‌دیس بایه در دو یال آن محاسبه شد و نتایج آن نشان داد که مقادیر این شاخص در یال جنوب باختری طاق‌دیس، درازا و شیب بیشتری دارند که گویای نرخ فراخاست بیشتر و وضعیت زمین‌ساختی فعال‌تر در این بخش از طاق‌دیس است.

ارزش‌های عددی به‌دست‌آمده برای شاخص درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان (EU) در راستای ۷ جبهه کوهستانی تعیین‌شده برای طاق‌دیس بایه، نشان‌دهنده وضعیت فعال‌تر یال جنوب باختری نسبت به یال شمال خاوری آن است؛ به طوری که یال شمال خاوری بیشتر مورد فرسایش شبکه آبراه‌ای قرار گرفته و در آن دره‌های بیشتری (بخش‌های بریده‌شده) ایجاد شده است؛ اما یال جنوب باختری کمتر دچار بریدگی شده و بیشتر به صورت پرتگاه‌های خطی و مستقیم است که از وضعیت زمین‌ساختی فعال‌تر آن ناشی از گسلش و فراخاست فعال‌تر در این بخش از طاق‌دیس حکایت دارد. شاخص درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان (FD) در نقطه برابر شاخص (EU) قرار می‌گیرد و به نوعی جنبه تکمیلی برای آن دارد؛ زیرا به طور کلی، درهم‌آمیختگی این دو شاخص نشانگر این است که جبهه‌های کوهستانی در مناطق زمین‌ساختی فعال‌تر کمتر دچار بریدگی می‌شوند؛ بنابراین در مناطق فعال زمین‌ساختی، میزان بخش‌های بریده‌شده در راستای جبهه کوهستان کمتر است و برعکس. ارزش‌های عددی به‌دست‌آمده در راستای ۷ جبهه اصلی تعیین‌شده برای این شاخص در یال جنوب باختری طاق‌دیس بایه پایین‌تر است و در تکمیل شاخص (EU)، وضعیت زمین‌ساخت فعال‌تر این یال از طاق‌دیس را نشان می‌دهد.

در مناطق فعال زمین‌ساختی، تداوم نیروهای درونی زمین با شدت‌های گوناگون به طور مستقیم بر پیکره ناهمواری‌های سطح زمین، از جمله طاق‌دیس‌ها و چین‌ها اثرگذار می‌گذارد. شاخص پیچ و خم جبهه چین (FFS)، توانایی شناسایی و تشخیص انواع چین‌های متقارن و نامتقارن با ساختارهای چین‌خوردگی پیر و جوان را دارد؛ از این رو، ارزش‌های عددی پایین این شاخص، تداوم فعالیت‌های زمین‌ساختی و وجود یک ساختار جوان چین‌خوردگی را نشان می‌دهد که کمتر دچار فرسایش و تخریب شده است و برعکس. میانگین ارزش عددی به‌دست‌آمده برای طاق‌دیس بایه برابر $1/08$ است و ارزش پایین آن، گویای ساختار جوان این طاق‌دیس و تداوم فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌باشد. یال جنوب باختری این طاق‌دیس، کوتاه‌تر و پرشیب‌تر است و فرسایش کمتری یافته است؛ اما یال شمال خاوری، کشیده‌تر می‌باشد و شیب کمتری دارد و بیشتر دچار فرسایش شده است. این شاخص نیز همانند شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان، متأثر از وجود سازند سخت آسماری بوده است.

به طور کلی، شاخص تقارن چین (FSI) گویای تأثیر نیروهای درونی زمین در مورفولوژی و هندسه انواع چین‌ها و طاق‌دیس‌هاست. از آنجایی که در مناطق فعال زمین‌ساختی فرایند فراخاست بر فرایند فرسایش غلبه دارد، چین‌های نامتقارن همراه با گسل‌خوردگی و شکستگی بیشتر تشکیل می‌شوند و ارزش عددی این شاخص پایین خواهد بود. میانگین این شاخص در



طاقدیس بایه برابر با ۰/۶۳ محاسبه شد که گویای تداوم فعالیت‌های زمین‌ساختی و وجود یک طاقدیس نامتقارن در منطقه است.

شاخص نسبت جهت (AR) که از تقسیم کردن درازای طاقدیس به بیشینه پهنای آن به دست می‌آید، از دیگر شاخص‌هایی است که در طاقدیس بایه محاسبه و اندازه‌گیری شد. در این شاخص، ارزش‌های عددی بالا گویای وجود فعالیت‌های زمین‌ساختی فعال‌تر است و برعکس. میزان این شاخص برای طاقدیس بایه برابر با ۴/۳۴ بود که با توجه به ارزش بالای آن، همانند دیگر شاخص‌های مورد بررسی، نشانگر وضعیت فعال زمین‌ساخت در منطقه است.

یافته‌های به‌دست‌آمده برای شاخص‌های مورد بررسی در طاقدیس بایه نشان داد که ساختار این طاقدیس جوان است و نیروهای زمین‌ساختی در آن تداوم دارند و هنوز به تکامل نرسیده است. علاوه بر ارزش‌های عددی محاسبه‌شده برای این شاخص‌ها، شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه، از جمله: جبهه‌های کوهستانی خطی، مستقیم و پرشیب گسلی، دره‌های ژرف، باریک و V شکل کمتر، اشکال مثلثی بزرگتر با درازای قاعده بیشتر، یال کوتاه‌تر و پرشیب‌تر و درصد بخش‌های بریده‌شده و بریده‌نشده کمتر و بیشتر جبهه کوهستان در یال جنوب باختری، گویای وضعیت زمین‌ساختی فعال‌تر این یال نسبت به یال شمال خاوری طاقدیس است.

در پایان شایان گفتن است که یافته‌های به‌دست‌آمده از چنین شاخص‌هایی معمولاً فهم مناسبی از وضعیت زمین‌ساخت موجود در هر منطقه‌ای را آشکار می‌کنند؛ به عبارت دیگر، یافته‌های به‌دست‌آمده از شاخص‌های ژئومورفیک، اهمیت استفاده از مجموعه داده‌ها و اطلاعات گردآوری‌شده از منابع گوناگون و هم‌پوشانی آنها در یک بستر نرم‌افزاری نیرومند و توانا همچون سامانه اطلاعات جغرافیایی را برای ارزیابی میزان فعالیت‌های نسبی زمین‌ساخت در طاقدیس بایه و دیگر مناطق به روشنی نشان داد.

الف) فارسی

- آقاباتی، سیدعلی (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، تهران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- انصاری لاری، احمد، محمدرضا ثروتی و زینب رعیتی (۱۳۹۰)، «بررسی ژئومورفولوژی طاقدیس طاهونه، لارستان»، جغرافیای طبیعی، سال چهارم، شماره ۴، صص ۷۳-۸۶.
- بهرامی، شهرام (۱۳۹۴)، «تحلیل کمی ناهنجاری سلسله‌مراتبی شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک»، (مطالعه موردی: ۱۰ حوضه آبخیز زاگرس)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۱۵(۱)، ۳۴-۳۹.
- ثروتی، محمدرضا و رضا منصوری (۱۳۹۲)، «روش‌های پژوهش در ژئومورفولوژی (ترجمه)»، دوره ۲۲، شماره ۸۸، صص ۸۱-۹۱.
- درویش‌زاده، علی و مهین محمدی (۱۳۸۶)، زمین‌شناسی ایران (رشته جغرافیا)، تهران، دانشگاه پیام نور.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۷۶)، تهران، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰,۰۰۰، برگ شماره IV ۵۲۵۷.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۵)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ ایلام، برگ شماره ۵۲۵۷.
- صفاری، امیر و رضا منصوری (۱۳۹۲)، «ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی بخش علیای حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک»، جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، سال سوم، شماره ۷، صص ۳۵-۵۰.
- علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۶)، ژئومورفولوژی ایران، چ چهارم، تهران: قومس.
- فتوحی، صمد (۱۳۹۲)، «تأثیر تکتونیک فعال در شرق حوضه زاگرس بر تشکیل مخروط افکنه دولوی وزیره»، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۱، صص ۱۶۳-۱۷۶.
- مرکز لرزه‌نگاری کشور (۱۳۹۷)، تاریخ دسترسی ۱۴۰۰/۰۷/۰۸، <http://irsc.ut.ac.ir/seismicity.php?lang=fa>
- منصوری، رضا، عزت‌الله فتواتی و محمدرضا ثروتی (۱۳۹۳)، «بررسی نقش مناظر ژئومورفولوژیکی و پتانسیل‌های ژئوتوریستی استان مرزی ایلام با استفاده از داده‌های مکانی در راستای توسعه پایدار»، اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره بیست و سوم، شماره ۹۰.
- منصوری، رضا و زهرا سربازی (۱۳۹۶)، «بررسی وضعیت تکتونیک فعال طاقدیس بانکول (در زاگرس چین‌خورده) با به‌کارگیری شاخص‌های مورفوتکتونیک و شواهد ژئومورفولوژیکی»، جغرافیای طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۱۲۵-۱۴۲.
- یمانی، مجتبی، ابراهیم مقیمی و علیرضا تقیان (۱۳۸۷)، «ارزیابی تأثیرات نوزمین ساخت فعال در دامنه‌های کرکس با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی»، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره پیاپی ۸۸، صص ۱۱۷-۱۳۶.

ب) انگلیسی

- Ali SA, Ikbali J (2020) Assessment of relative active tectonics in parts of Aravalli mountain range, India: implication of geomorphic indices, remote sensing, and GIS. Arab J Geosci 2(13). <https://doi.org/10.1007/s2-5028-019-12517>
- Alshayef MS, Javed A, (2020) Assessment of Relative Tectonics Activity Zones in Masila Oil Field, Yemen, Journal of Geovisualization and Spatial Analysis, 4:16. <https://doi.org/10.1007/s3-02000058-41651>
- Bali BS, Wani AF, Khan RA, Ahmad S (2016) Morphotectonic analysis of the Madhumati watershed, Northeast Kashmir Valley. Arab J Geosci 317-9:390. <https://doi.org/10.1007/s9-2395-016-12517>
- Berberian, M., 1995, Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. Tectonophysics, Vol, 241, pp. 224-193.
- Bull, W.B., 1978. Geomorphic Tectonic Classes of the South Front of the San Gabriel Mountains, California. U.S. Geological Survey Contract Report, -001-08-14G394-, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, CA.
- 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. 138-115.
- Burberry, C. M, Cosgrove, J. W, Liu, J. G., 2008. Spatial arrangement of fold types in the Zagros Simply Folded Belt, Iran, indicated by landform morphology and drainage pattern characteristics,
- Burberry, 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
- El Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller E.A., 2008, Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (Southern Spain), Geomorphology, 173-150, 96.

- Elias Z (2015) the neotectonic activity along the lower Khazir River by using SRTM image and geomorphic indices. *Earth Sci* 58-50:(1)1. <https://doi.org/10.11648/j.earth.20150401.15>
- Ellis, M. A. Densmore, A. L., Anderson, R., S (1999); Development of mountainous topography in the Basin Ranges, USA, *Basin Research*, V.41-21 ,11.
- Fard NG, Sorbi A, Arian M (2015) Active tectonics of Kangavar area, West Iran. *Open* 426. *J Geol* 441-5:422. <https://doi.org/10.4236/ojg.2015.56040>
- Farooq S, Khan MN, Sharma I (2015) Assessment of active tectonics in eastern KumaonHimalya on the basis of morphometric parameters of Goriganga river basin. *International Journal of Advancement in Earth and Environmental Sciences* 21-3:14
- Hessami, K., Nilforoushan, F., Talbot, C.J., 2006, Active deformation within the Zagros Mountains deduced from GPS measurements. *Journal of the Geological Society, London* Vol, 163, pp. 148-143.
- Keller, E.A., Pinter, N., 1996, *Active, Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscape*, Prentice Hall Publication, London, New Jersey, pp 205-121.
- Keller, Edward A., Pinter, Nicholas, 2002; *Active Tectonics Earthquake, Uplift, and Landscape*; Prentice Hall Publisher. New, Jersey.
- Kokkalas, S.; Verrios, S. & Zygouri, V. (2004), "Morphotectonic Analysis in the Elike Fault Zone (Gulf of Corinth, Greece)", *Bulletin of the Geological Society of Greece*, Vol. 36, and pp. 1715-1705.
- Mosavi EJ, Arian M (2015) Neotectonics of Kashaf Rud River, NE Iran by Modified Index 468 of Active Tectonics (MIAT). *Int J Geosci* 469 .794-776 :6. <https://doi.org/10.4236/ijg.2015.67063>
- Ramirez-Herrera, M.T. 1998. Geomorphic Assessment of Active Tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic Belt. *Earth Surface Processes and Land forms*. Vol. 23, pp -317 322.
- Rockwell, T.K., Keller, E.A. and Jonson, D.L. (1985) Tectonic Geomorphology of Alluvial Fans and Mountain Fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M. and Hack, J.T., Eds., *Tectonic Geomorphology*, Allen and Unwin Publishers, Boston, 207-183.
- Sherkati, S. & Letouzey, J. 2004, Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran. *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 21, pp. 554-535.
- Silva, P. G., Goy, J. L., Zazo, C. & Bardaji, T. 2003. Fault-generated Mountain fronts in southeast Spain: Geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology*, 225-203 ,50.
- Sinha SR (2001) Neotectonic significance of longitudinal river profiles: an exampal from the Banas drainage basin, Rajasthan. *J Geol Soc India* 156-58:143
- Summerfield, Michael A. (2000), *Geomorphology and Global Tectonics*, Wiley.
- Wells, S.G., Bullard, T.F., Menges, C.M., Drake, P.G., Karas, P.A., Kelson.K.L., Ritter,J.B., Wesling, J.R.,1988; Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology*, 265-239 :1.
- Zovoili E, Konstantinidi E, Koukouvelas IK (2004) Tectonic geomorphology of escarpments: the cases of Kompotades and NeaAnchialos faults. *Bull Geol Soc Greece* XXXVI: 1725-1716.