

مقاله پژوهشی

## ارزیابی نسبی جنبش‌های نوزمین‌ساخت فعال در طاق‌دیس کته‌پیفک؛ ایوان‌غرب، ایلام

**رضا منصورى\***؛ استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

**صمد فتوحی**؛ دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

### چکیده

تحلیل‌های ژئومورفیکی از جبهه‌های کوهستانی، طاق‌دیس‌ها و مناطق چین‌خورده می‌توانند درک درست و ارزش‌مندی در مورد تاریخ زمین‌ساختی هر منطقه‌ای ارائه دهند. بنابراین، چنین مطالعاتی غالباً در مقیاس منطقه‌ای و با استفاده از تحلیل‌های ریخت‌زمین‌ساختی برای تعیین مناطق دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا انجام می‌شوند. طاق‌دیس کته‌پیفک در شمال‌خاوری شهرستان ایوان‌غرب، شمال استان ایلام واقع شده و بخشی از زون زاگرس چین‌خورده به‌شمار می‌آید. در این پژوهش با هدف ارزیابی جنبش‌های نوزمین‌ساخت فعال در طاق‌دیس کته‌پیفک، از هفت شاخص ژئومورفیک از جمله نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)، درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان (EU)، درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان (FD)، پیچ‌وخم جبهه چین (FFS)، تقارن چین (FSI)، نسبت جهت (AR) و شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساخت (Iat) استفاده شده است. ویژگی‌های مورفومتری طاق‌دیس کته‌پیفک با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی مشخص شد. همچنین، داده‌های ساختاری، زمین‌ساخت و سنگ‌شناسی موردنیاز با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ برگ ۵۲۵۷ به‌دست آمدند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهند که مقادیر بالای شاخص‌های AR, EU, FFS و مقادیر پایین شاخص‌های FD, VF, FSI گویای جوان و نامتقارن بودن این طاق‌دیس، تداوم نیروهای نوزمین‌ساختی و فرسایش کم‌تر در آن است. همچنین، برپایه شاخص Iat مشخص شد که این طاق‌دیس در کلاس ۳ قرار دارد. شواهد میدانی موجود در منطقه مورد مطالعه همچون دره‌های باریک (V شکل)، پرتگاه‌های مستقیم، پرشیب و گسلی و نیز یال‌های نامتقارن تداوم فعالیت‌های زمین‌ساختی در این طاق‌دیس را تایید می‌نمایند.

**کلمات کلیدی:** زمین‌ساخت فعال، شاخص‌های ژئومورفیک، شواهد ژئومورفولوژیکی، طاق‌دیس کته‌پیفک.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۱/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۳/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱۶

**نویسنده مسئول:** رضا منصورى، استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، Rezamansouri@gep.usb.ac.ir

## مقدمه

لندفرم‌ها و چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیکی موجود بر سطح کره زمین، همواره در گذر زمان در حال تغییر، تحول و تکامل هستند. برای نمونه در مناطق فعال زمین‌ساختی، بسیاری از لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی در برابر فعالیت‌های نوزمین‌ساختی فعال حساس بوده و گاهاً همزمان با آن دچار دگرگونی می‌شوند. بررسی ساختمان‌ها و لندفرم‌ها در طول تاریخ پیدایش آن‌ها موضوع دانش ژئومورفولوژی زمین‌ساخت<sup>۱</sup> است (شوم و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰: ۲). ژئومورفولوژی زمین‌ساخت به بررسی و ارزیابی فرایندهای پویا و موثر در شکل‌دهی زمین و چشم‌اندازهای آن می‌پردازد (کلر و پینتر<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲: ۱۴). در واقع، ژئومورفولوژی زمین‌ساخت به بررسی رابطه بین نیروهای زمین‌ساخت و فرآیندهای ژئومورفیک موثر در تشکیل لندفرم‌ها و چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیکی در مناطق دگرشکلی فعال می‌پردازد (بوربانک و اندرسون<sup>۴</sup>، ۲۰۱۲: ۷۱؛ دکایلاو<sup>۵</sup> و همکاران، ۱۹۹۸: ۲۷۴؛ مولین<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۴: ۵۶۰). طی چند دهه گذشته شماری از پژوهشگران از طریق ایجاد و توسعه شاخص‌های کمی موسوم به شاخص‌های ژئومورفیک یا مورفوتکتونیک، فعالیت‌های نوزمین‌ساختی مناطق را کمی‌سازی نموده‌اند. امروزه برپایه پژوهش‌های گوناگونی که با استفاده از این شاخص‌ها در مناطق گوناگون جهان انجام شده، کارایی و دقت آن‌ها مورد آزمایش قرار گرفته و ثابت شده است که این شاخص‌ها کاربرد موثری در دانش ژئومورفولوژی دارند. نکته حایز اهمیت در استفاده از این شاخص‌ها این است که به کارگیری هم‌زمان تعدادی از شاخص‌های ژئومورفیک، این امکان را فراهم می‌کنند تا درک و تحلیل درستی از وضعیت فعالیت‌های نوزمین‌ساختی هر منطقه به دست آوریم. از این رو، شناسایی مناطق فعال زمین‌ساختی اهمیت فراوانی دارد، زیرا در این گونه بررسی‌ها زمین‌ساخت فعال بیانگر حرکات جوان‌ترین دوره زمانی یعنی کواترنر و بخصوص دوره هولوسن و زمان حال می‌باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۱).

معمولاً لندفرم‌ها و چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیکی شواهد مهمی از میزان و توزیع فضایی دگرشکلی‌های برخاسته از فعالیت‌های نوزمین‌ساختی را ارائه می‌نمایند؛ بنابراین، همان‌طور که کیربی و ویپل<sup>۷</sup> ۲۰۰۱ نیز خاطر نشان کرده‌اند، بررسی‌های ژئومورفیک در مناطق تحت‌تاثیر دگرشکل‌های زمین‌ساختی، ابزاری قدرتمند برای مطالعات ژئومورفولوژی زمین‌ساخت خواهند بود. از این رو امروزه، شاخص‌های ژئومورفیک به‌طور ویژه برای مطالعه زمین‌ساخت فعال مورد استفاده قرار می‌گیرند (بوربانک و اندرسون، ۲۰۱۲: ۳). به این ترتیب، در پی رشد و گسترش چشم‌گیر رابطه بین ویژگی‌های توپوگرافیک و فرایندهای زمین‌ساخت در مقیاس جهانی، ژئومورفولوژیست‌ها دست کم طی دو دهه اخیر به دنبال ارزیابی نقش فعالیت‌های زمین‌ساختی در تغییر، تحول و تکامل مناظر و چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیکی بوده‌اند (سامرفیلد<sup>۸</sup>، ۲۰۰۰: ۲). بنابراین، تحلیل‌های توپوگرافیک کمی، به‌عنوان یکی از ابزارهای مفید در اندازه‌گیری انواع لندفرم‌ها و چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیکی محسوب می‌شوند؛ زیرا فعالیت‌های زمین‌ساختی به‌طور گسترده بر ویژگی‌های توپوگرافی زمین تاثیرگذار هستند. از این رو امروزه، محاسبه و اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفیک به‌عنوان ابزاری اساسی برای اندازه‌گیری و تعیین کمیت و کیفیت تغییر چشم‌اندازهای ژئومورفیک، تکامل ساختارهای زمین‌ساختی، ارزیابی مخاطرات لرزه‌ای و مطالعه تکامل چشم‌اندازها به کار گرفته می‌شوند (کلر<sup>۹</sup>، ۱۹۸۶: ۱۳۶؛ کلر و پینتر، ۲۰۰۲: ۱۲۱).

1. Tectonic Geomorphology
2. Schumm et al.
3. Keller and Pinter
4. Burbank and Anderson
5. Decaillau
6. Molin
7. Kirby and Whipple
8. Summerfield
9. Keller

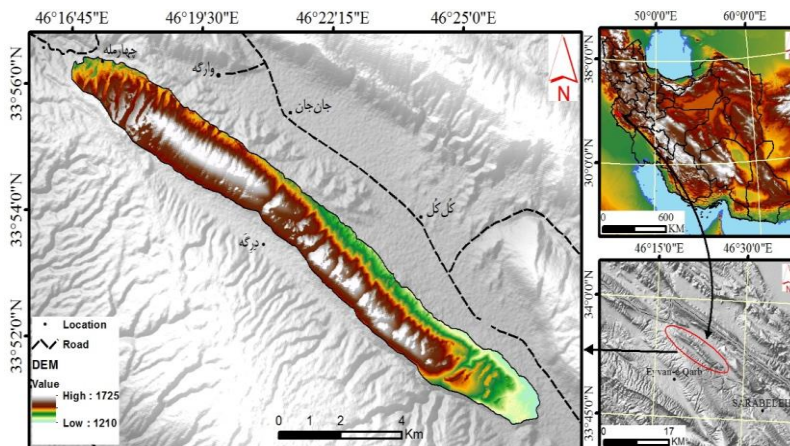
بال و مک‌فادن<sup>۱</sup> (۱۹۷۷) برای نخستین بار، شاخص‌های ژئومورفیک را در ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی به کار گرفتند؛ سپس دیگر پژوهش‌گران نیز به منظور بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی مناطق گوناگون آن‌ها را به کار برده، برخی از آن‌ها را توسعه داده و گاه‌ها شاخص‌های جدیدی نیز ایجاد نمودند. امروزه، بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی به‌طور گسترده‌ای در زمینه‌های گوناگون از جمله ارزیابی مخاطرات ناشی از زمین‌لغزش‌ها، زمین‌لرزه‌ها، حرکات نوزمین‌ساخت، انباشت و تشکیل منابع گوناگون مواد معدنی، منابع هیدروکربوری و آب‌های زیرزمینی کاربرد و اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. از این‌رو، بسیاری از پژوهش‌گران نیز وضعیت زمین‌ساخت فعال را با اهداف گوناگون و با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (کلر و پینتر، ۱۹۹۶: ۱۲۴؛ سینها<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱: ۱۰۷)، که کارایی آن‌ها در زمینه ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی در مناطق گوناگون مورد استفاده قرار گرفته و اثبات شده، را مورد مطالعه قرار داده‌اند (بال و مک‌فادن، ۱۹۷۷: ۱۱۹؛ کلر و پینتر، ۲۰۰۲: ۱۲۲؛ زوویلی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴: ۱۷۱۸؛ بالی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۶: ۳۸۹). در این رابطه در سطح جهان پژوهش‌گرانی همچون: راکول و همکاران<sup>۵</sup> ۱۹۸۵؛ ولز و همکاران<sup>۶</sup> ۱۹۸۸؛ کلر و پینتر ۱۹۹۶؛ رامیرز-هریرا<sup>۷</sup> ۱۹۹۸؛ سیلوا و همکاران<sup>۸</sup> ۲۰۰۳؛ ال‌همدونی و همکاران<sup>۹</sup> ۲۰۰۸؛ فرد و همکاران<sup>۱۰</sup> ۲۰۱۵؛ الیاس<sup>۱۱</sup> ۲۰۱۵؛ موسوی و آرین<sup>۱۲</sup> ۲۰۱۵؛ فاروق<sup>۱۳</sup> و همکاران ۲۰۱۵؛ علی و اکبال<sup>۱۴</sup> ۲۰۲۰؛ آلشیف و جاوید<sup>۱۵</sup> ۲۰۲۰ و در سطح کشور افرادی همچون: خیام و مختاری ۱۳۸۲؛ مددی و همکاران ۱۳۸۳؛ بهرامی و همکاران ۱۳۹۰، ۱۳۹۲، ۱۳۹۴، ۱۳۹۵؛ فتوحی ۱۳۹۲؛ صفاری و منصور ۱۳۹۲؛ یمانی و همکاران ۱۳۹۲؛ منصور و صفاری ۱۳۹۴؛ منصور و سربازی ۱۳۹۶؛ قنواتی و همکاران ۱۳۹۶؛ مقصودی و همکاران ۱۳۹۶، ۱۳۹۹؛ حاجی کریمی و همکاران ۱۳۹۹ بر کاربردهای به‌کارگیری شاخص‌های ژئومورفیک در ارزیابی فعالیت‌های نسبی زمین‌ساختی تاکید کرده‌اند. بنابراین، ژئومورفولوژی کمی جدید بیشتر به توضیح و تشریح فرایندهای ژئومورفولوژیکی مربوطه می‌پردازد و به میزان عملکرد چنین فرایندهایی توجه می‌نماید. از دانش و آگاهی به‌دست آمده در مورد فرایندهای ژئومورفولوژیکی نیز، این امکان برای تشریح و تبیین لندفرم‌هایی که از چنین فرایندهایی تولید شده‌اند، فراهم می‌شود (ثروتی و منصور، ۱۳۹۲: ۸۳). با توجه به اهمیت، کاربرد و سودمندی بهره‌گیری از شاخص‌های ژئومورفیک در زمینه مطالعه و ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساخت از جمله فراخاست، گسلش، بُرش‌های تنشی، کج‌شدگی و انواع چین‌خوردگی‌ها؛ از این‌رو، هدف اصلی این پژوهش ارزیابی نسبی جنبش‌های نوزمین‌ساخت فعال در طاق‌دیس کته‌پیفک واقع در شمال استان ایلام با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک است.

### منطقه مورد مطالعه

طاق‌دیس کته‌پیفک در شمال استان ایلام و در حدفاصل شهرستان‌های ایوان‌غرب و چرداول و در راستای پهنای جغرافیایی "۳۹° ۵۱' تا ۳۳° ۳۷' ۵۴" شمالی از نیمگان‌زمین و در راستای درازای جغرافیایی "۴۶° ۰۵' ۲۴" تا "۴۶° ۱۱' ۵۲" خاوری از نیمروز گرینویچ قرار گرفته است (شکل ۱).

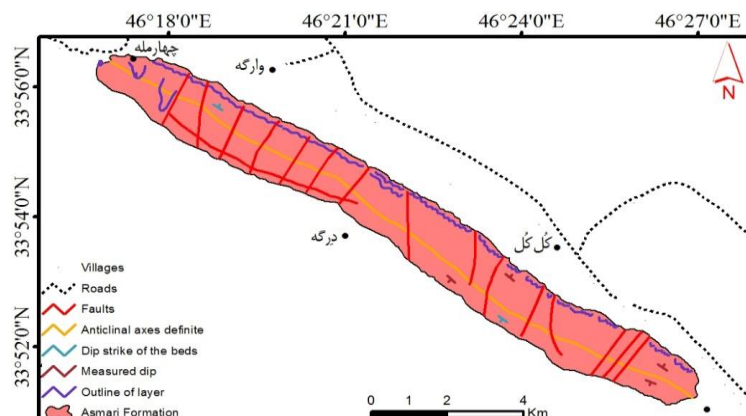
1. Bull & McFadden
2. Sinha
3. Zovoili et al
4. Bali et al
5. Rockwell
6. Wells
7. Ramirez-Herrera
8. Silva
9. El Hamdouni
10. Fard et al
11. Elias
12. Mosavi and Arian
13. Farooq
14. Ali and Ikbali
15. Alshayef and Javed

طاق‌دیس کته‌پیفک ۲۸/۳۷ کیلومتر مربع مساحت و ۱۸/۳۷ کیلومتر درازا دارد. این طاق‌دیس از لحاظ واحدهای ساختاری-ژئومورفولوژیکی بخشی از واحد زاگرس چین‌خورده است (علائی‌طالقانی، ۱۳۸۶: ۱۵۴). از لحاظ زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی (درویش‌زاده و محمدی، ۱۳۸۶: ۱۲؛ علائی‌طالقانی، ۱۳۸۶: ۱۴۷) زاگرس چین‌خورده دارای کوه‌های جوانی است که با کوهزایی‌های میوسن میانی- پلیوسن پایانی دچار چین‌خوردگی شده است. از این‌رو، 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 (انصاری‌لاری و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۴). طاق‌دیس کته‌پیفک در راستای شمال‌باختری- جنوب‌خاوری کشیده شده و جهت‌گیری آن هم‌راستا با روند واحد زاگرس چین‌خورده است. کمینه و بیشه فرازای طاق‌دیس کته‌پیفک به ترتیب ۱،۲۱۰ و ۱،۷۲۵ متر است که در بخش جنوب‌خاوری و شمال‌باختری طاق‌دیس قرار دارند. بیشه پهنای طاق‌دیس ۱،۹۲۲ متر بوده و در بخش شمال‌باختری آن واقع شده است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی طاق‌دیس کته‌پیفک و طبقات ارتفاعی آن.

با استناد به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ برگ ایلام به شماره ۵۲۵۷ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۵)، طاق‌دیس کته‌پیفک تماماً از سازند آسماری (سنگ آهک لایه نازک تا توده‌ای کرم تا سفید رنگ و سنگ آهک دولومیت و مارن) به سن دوران سوم زمین‌شناسی، تشکیل شده است (شکل (۲)). سازند آسماری، جوان‌ترین سنگ مخزن پهنه زاگرس است و به دلیل داشتن سنگ آهک‌های مقاوم، ریخت‌شناسی کوه‌ساز [طاق‌دیس] دارد (آق‌نابتی، ۱۳۸۳: ۴۸۲). طاق‌دیس کته‌پیفک فرود محوری دو طرفه دارد. این طاق‌دیس گسل‌های فراوانی دارد و بیشتر گسل‌های آن از نوع گسل‌های نرمال اصلی و معکوس [بانکول] است که عمدتاً به صورت عرضی بر ساختمان طاق‌دیس پدید آمده‌اند. بیشترین تعداد و تراکم گسل‌ها در بخش شمال‌باختری طاق‌دیس واقع شده‌اند. در این بخش از طاق‌دیس عملکرد گسل معکوس بانکول سبب شده تا جبهه کوهستانی خشن و خطی مستقیمی در سازند آسماری ایجاد شود (شکل (۲)).



شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی طاق‌دیس کته‌پیفک (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۵)؛ تهیه و ترسیم از نویسنده، ۱۴۰۰.

## مواد و روش‌ها

سیستم‌های ژئومورفولوژیکی پیچیدگی‌های ویژه‌ای دارند، بنابراین هدف تبیین علمی در این دانش، توانایی لازم جهت اندازه‌گیری دقیق و کارآمد پارامترهای محیطی موثر بر تغییر و تحول چشم‌اندازها و لندفرم‌های هر منطقه است. از این رو، آنچه که برای ژئومورفولوژیست‌ها مهم و اساسی است توانایی اندازه‌گیری سریع و دقیق و به عبارت دیگر، کمی نمودن عوامل و پارامترهای محیطی موثر است. اهمیت استفاده از تکنیک‌ها و روش‌های اندازه‌گیری کمی در مباحث ژئومورفولوژیکی نیز در این است که فراهم‌کننده شرایط، ابزارها و شیوه‌هایی هستند که با استفاده از آن‌ها می‌توان برهم‌کنش‌های بین انواع لندفرم‌ها و فرایندهای مربوطه را به صورت شیوه‌ای علمی، دقیق و کارآمد، کمی نموده و به تشریح و تفسیر موضوع پرداخت. از این رو، یافته‌های کمی در کنار مباحث کیفی و نظری مرتبط با هر موضوع ژئومورفیک، می‌تواند به عنوان مکمل و بهبودبخش تشریح و تفسیرهای علمی از برهم‌کنش‌های موجود بین فرم و فرایندهای محیطی، مورد استفاده قرار گیرند.

این پژوهش با هدف اصلی بررسی وضعیت فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در طاق‌دیس کته‌پیفک واقع در حدفاصل شهرستان‌های ایوان‌غرب و چرداول در شمال استان ایلام انجام شده است. با توجه به اینکه 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 پیتر ۲۰۰۲: ۱۲۱)؛ در این پژوهش، برای محاسبه و اندازه‌گیری شاخص‌های تعیین‌شده از نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵،۰۰۰ و ۱:۵۰،۰۰۰ (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۱۳۸۵)، نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۵)، مدل رقمی ارتفاعی منطقه با دقت مکانی ۱۲/۵ متر، تصاویر کوئیک‌برد، Google Earth و بازدیدهای میدانی متعدد استفاده شد. با هدف سنجش میزان فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در طاق‌دیس کته‌پیفک، در گام نخست پس از زمین‌مرجع نمودن نقشه‌های پایه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 با کمترین میزان خطای ممکن، محدوده طاق‌دیس کته‌پیفک تعیین شد. سپس در گام بعدی، نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نیز زمین‌مرجع شده و براساس مرز تعیین‌شده، اطلاعات زمین‌شناسی مربوطه از روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ منطقه، رقمی و وارد پایگاه داده اطلاعات شدند. سرانجام، با محاسبه و اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفیک متعددی همچون نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)<sup>۱</sup>، درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان (EU)<sup>۲</sup>، درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان (FD)<sup>۳</sup>، پیچ‌وخم جبهه چین (FFS)<sup>۴</sup>، تقارن چین (FSI)<sup>۵</sup> و نسبت جهت (AR)<sup>۶</sup> میزان فعالیت‌های نوزمین‌ساختی طاق‌دیس کته‌پیفک مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت و در پایان، با استفاده از شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساخت (Iat)<sup>۷</sup> معرفی شده توسط ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۸)، میزان نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی طاق‌دیس کته‌پیفک تعیین شد.

در ادامه به تشریح شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش پرداخته شده است.

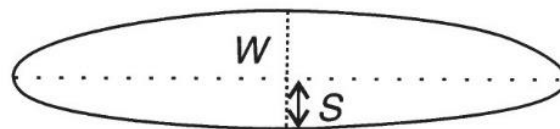
1. Ratio of Valley Floor Width to Valley Height (VF)
2. Percentage Undissected Escarpments (EU)
3. Percentage Dissected Mountain Fronts (FD)
4. Fold Front Sinuosity (FFS)
5. Fold Symmetry Index (FSI)
6. Aspect Ratio (AR)
7. Relative Tectonic Activity Index (Iat)

## • شاخص تقارن چین (FSI)

یکی از شاخص‌هایی که می‌توان برای تعیین انواع چین و ارزیابی وضعیت فعالیت‌های زمین‌ساختی آن‌ها استفاده کرد، شاخص تقارن چین است؛ این شاخص از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

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

در این فرمول  $S$  پهنای یال کوتاه‌تر طاق‌دیس و  $W$  پهنای طاق‌دیس است. این شاخص معمولاً، از نسبت بین پهنای یال کوتاه‌تر طاق‌دیس بر نصف پهنای آن به دست می‌آید (شکل ۳)، به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری میزان تقارن طولی انواع چین استفاده می‌شود. ارزش عددی این شاخص در چین‌های متقارن، برابر عدد یک خواهد بود؛ ولی در چین‌های نامتقارن و ناهنجار، ارزش عددی آن معمولاً از عدد یک کمتر می‌باشد (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۳؛ منصوری و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۵). به عبارت دیگر، مقادیر کمی بالای این شاخص گویای عدم تاثیرگذاری یا تاثیرگذاری بسیار پایین نیروهای زمین‌ساختی و دخالت بیشتر نیروهای فرسایشی است که سرانجام باعث ایجاد چین - طاق‌دیس‌های متقارن می‌شود؛ اما مقادیر کمی پایین برای این شاخص نشان از دخالت و تاثیرگذاری زیاد نیروهای زمین‌ساخت و عدم دخالت یا تاثیر اندک نیروهای فرسایشی بر پیکره چین - طاق‌دیس است.



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

شکل (۳): چگونگی اندازه‌گیری شاخص FSI در یک طاق‌دیس فرضی (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴).

در برخی از موارد با توجه به هندسه و مورفولوژی چین یا طاق‌دیس، به منظور محاسبه و به دست آوردن شاخص FSI، پهنای چین در چندین بخش مجزا اندازه‌گیری می‌شود؛ که در این حالت، نخست میزان این شاخص برای هر بخش به طور جداگانه محاسبه شده و سپس میانگین آن‌ها برای کل چین یا طاق‌دیس مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شود.

## • شاخص پیچ‌وخم جبهه چین (FFS)

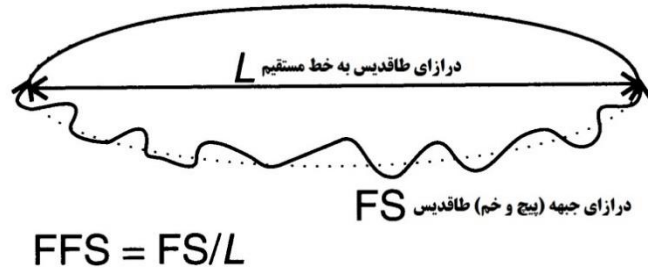
این شاخص، از نسبت درازای واقعی انحنای جبهه چین - طاق‌دیس بر درازای محور چین - طاق‌دیس به خط مستقیم به دست می‌آید (شکل ۴). فرمول محاسبه شاخص پیچ‌وخم جبهه چین به شرح زیر است (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴):

$$FFS = FS / L$$

در این فرمول  $FS$  درازای جبهه چین و  $L$  درازای لولای چین است. از طریق این شاخص می‌توان انواع چین‌ها [چین‌های متقارن یا نامتقارن] (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۳؛ منصوری و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۳) را از هم متمایز کرده و به پیروی از آن وضعیت حرکات و فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه را مشخص کرد (منصوری و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۳). این شاخص غالباً تعادل بین نیروهای فرسایشی را که باعث ایجاد فرسایش در جبهه‌های کوهستانی شده و نیروهای زمین‌ساختی که منجر به ایجاد یک جبهه مستقیم هم‌زمان با یک گسل فعال در محدوده رشته کوه‌ها یا طاق‌دیس‌های محدود شده می‌شوند را نشان می‌دهد (تومکین و براون<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹: ۷؛ گودی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴: ۳۹۸؛ بال، ۲۰۰۷: ۱۲۲؛ باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴؛ اولاروز<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۹: ۳۱۵).

1. Tomkin & Braun  
2. Goudie  
3. Ollarves

معمولاً، هر چقدر جبهه‌های کوهستانی بیشتر در معرض فرایندهای فرسایشی قرار گیرند، میزان شاخص FFS بالاتر خواهد بود. به عبارت دیگر، ارزش‌های عددی بالاتر این شاخص نشان‌دهنده عملکرد بیشتر فرسایش و ایجاد بریدگی‌ها و شکاف‌های بیشتر در جبهه چین-طاقدیس می‌باشد، بنابراین وجود یک ساختار چین‌خورده قدیمی‌تر را نشان می‌دهد (آزور و همکاران، ۲۰۰۲: ۷۴۹؛ باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴)؛ اما ارزش‌های عددی پایین‌تر این شاخص وجود چین‌خورده‌گی‌های جوان و کمتر فرسایش‌یافته را مشخص می‌نمایند. به این ترتیب، معمولاً از شاخص پیچ و خم جبهه چین به عنوان یک فاکتور مهم برای تعیین سن نسبی انواع چین‌ها استفاده می‌شود.



شکل (۴): چگونگی اندازه‌گیری شاخص FFS در یک طاقدیس فرضی (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴؛ منصور و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۳).

#### • شاخص درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان (FD)

شاخص درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان یکی از شاخص‌های ژئومورفیک است که برای ارزیابی میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی در جبهه‌های مناطق کوهستانی کاربرد فراوانی دارد. این شاخص از نسبت‌گیری درازای بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان (LMFD) به درازای مستقیم جبهه کوهستان (LS) و به شرح فرمول زیر به دست می‌آید.

$$FD = LMFD / LS$$

جبهه‌های کوهستانی در مناطق دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا کمتر دچار بریدگی می‌شوند، بنابراین مقادیر به دست آمده برای شاخص درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان در آن‌ها پایین خواهد بود (ولز و همکاران، ۱۹۹۸: ۲۴۶). به عبارت دیگر، در مناطق زمین‌ساختی فعال به موجب فعالیت زیاد نیروهای زمین‌ساختی، جبهه‌های کوهستانی کمتر دچار شکاف و بریدگی شده و معمولاً پیشانی‌های خطی و مستقیمی در آن‌ها شکل می‌گیرند. مقادیر این شاخص به صورت ارزش‌های کمی بین ۰ و ۱ تعریف شده است. به گونه‌ای که هر چقدر مقدار این شاخص به عدد صفر نزدیک باشد، نشان‌گر فعال بودن جبهه‌های کوهستانی و هر چقدر مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد، گویای وضعیتی غیرفعال فعالیت‌های زمین‌ساختی جبهه‌های کوهستانی خواهد بود (صفاری و منصور، ۱۳۹۲: ۴۵؛ منصور و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۷).

#### • شاخص درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان (EU)

یکی دیگر از شاخص‌های ژئومورفیک که برای ارزیابی میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی در جبهه‌های مناطق کوهستانی کاربرد فراوانی دارد شاخص بخش‌های بریده‌نشده جبهه‌های کوهستانی (EU) است. در این شاخص فواصل بین بخش‌های بریده‌نشده جبهه‌های کوهستانی به شرح فرمول زیر محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود؛ که در آن LCE درازای بخش‌های بریده‌نشده و LS درازای جبهه کوهستان به خط مستقیم است.

$$EU = LCE / LS$$

مقادیر کمی به دست آمده برای این شاخص ارزش‌های عددی حفاصل بین ۰ و ۱ را در بر می‌گیرد. هر چقدر میزان ارزش عددی محاسبه‌شده به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وضعیتی زمین‌ساختی فعال و به هر میزانی که ارزش عددی به دست آمده از عدد یک کم‌تر باشد گویای وضعیتی زمین‌ساختی غیرفعال منطقه خواهد بود. معمولاً در مناطق کوهستانی دارای



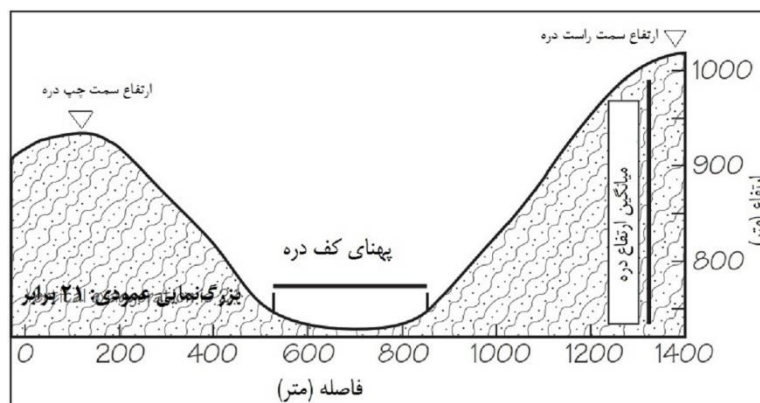
فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا، به دلیل تداوم حرکات نوزمین‌ساختی غالباً در راستای جبهه‌های کوهستانی، پرتگاه‌های مستقیم و بدون بریدگی تشکیل می‌شوند، بنابراین عموماً ارزش عددی شاخص EU بالا خواهد بود. این درحالی است که در مناطق زمین‌ساختی غیرفعال یا با فعالیت‌های زمین‌ساختی پایین، به دنبال غلبه فرایندهای فرسایشی و به ویژه فرسایش روان‌آب‌ها، ارزش عددی این شاخص پایین خواهد بود (منصوری و سربازی، ۱۳۹۶: ۱۳۸)، از این رو، در راستای جبهه‌های کوهستانی، پرتگاه‌های بریده‌شده بیشتری دیده می‌شوند (رامیرز-هریرا، ۱۹۹۸: ۳۲۰).

### • شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)

با استفاده از این شاخص می‌توان دره‌های جوان، ژرف و باریک (V شکل) و دره‌های پیر، پهن و گسترده (U شکل) را از هم متمایز کرد. معمولاً شاخص VF به عنوان ابزار سودمندی برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال که منجر به فراخاست و ایجاد دره‌های باریک می‌شود، به شمار می‌آید. مقادیر پایین شاخص VF که غالباً نشان‌دهنده دره‌های V شکل هستند، به احتمال زیاد با بریدگی‌های خطی ناشی از فراخاست‌های زمین‌ساختی مرتبط هستند؛ اما، مقادیر بالای این شاخص که غالباً با دره‌های U شکل همراه هستند، عمدتاً گویای غلبه فرسایش جانبی ناشی از آرامش نسبی زمین‌ساختی منطقه است. بال ۲۰۰۷ معتقد است که از شاخص VF می‌توان برای تشخیص و تعیین میزان فراخاست‌های سریع در مناطق مرطوب طی هولوسن و فراخاست‌های خشک طی پلیستوسن میانی تا پسین استفاده کرد. در شکل (۵) نحوه محاسبه و اندازه‌گیری این شاخص نشان داده شده است. شاخص VF معمولاً در مناطق کوهستانی که دره‌های اصلی جبهه‌های کوهستانی را قطع می‌کنند، محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳: ۲۰۸). در مناطق زمین‌ساختی با فعالیت‌های پایین، ارزش عددی این شاخص بالا خواهد بود و دره‌های با بستر پهن و U شکل گسترش می‌یابند؛ اما در مناطق زمین‌ساختی فعال، ارزش‌های عددی این شاخص پایین بوده که نشان‌گر میزان فراخاست بالای منطقه است و غالباً با دره‌های باریک و V شکل همراه هستند. شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (بال و مک‌فادن، ۱۹۷۷: ۱۲۹؛ بال، ۱۹۷۸: ۸۹) به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$VF = 2VFW / [(ELD - ESC) + (ERD - ESC)]$$

در این رابطه VF نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن؛ VFW پهنای کف دره؛ ELD ارتفاع سمت چپ دره؛ ERD ارتفاع سمت راست دره و ESC میانگین ارتفاع بستر دره است (ال‌همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۹).



شکل (۵): چگونگی اندازه‌گیری شاخص VF در یک دره فرضی (بال، ۲۰۰۷: ۱۲۵؛ با اصلاحات).

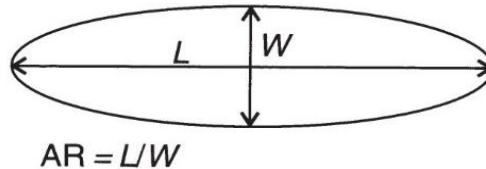
در این پژوهش، به منظور اندازه‌گیری شاخص VF در طاق‌دیس کته پیفک، با تعیین ۱۴ دره اصلی در هر دو دامنه جنوب‌باختری و شمال‌خاوری آن، بُرش‌های عرضی متناظر با آن‌ها و عمود بر مسیر آبراهه‌های اصلی ترسیم شد؛ سپس مقادیر این شاخص بر روی نقشه توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر منطقه مورد مطالعه، اندازه‌گیری و به دست آمد.



### • شاخص نسبت جهت (AR)

شاخص نسبت جهت برای اندازه‌گیری و ارزیابی میزان گرد بودن یا گردشدگی چین یا طاق‌دیس کاربرد دارد. شاخص نسبت جهت از نسبت بین درازای چین - طاق‌دیس (L) بر بیشینه پهنای چین - طاق‌دیس (W) و از طریق رابطه زیر به دست می‌آید (شکل ۶).

$$AR = L / W$$



شکل (۶): چگونگی اندازه‌گیری شاخص AR در یک طاق‌دیس فرضی (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴).

به‌طور کلی، مقادیر کمی این شاخص با میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی هر منطقه رابطه مستقیمی دارد، به گونه‌ای که ارزش‌های عددی بالا نشان‌گر وضعیت زمین‌ساختی فعال و ارزش‌های عددی پایین نشان‌دهنده کاهش میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه خواهند بود.

### • شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساخت (Iat)

شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساخت (ال‌همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۶)، برای اندازه‌گیری و محاسبه نسبی میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی مناطق گوناگون و از طریق نسبت میانگین مجموع کلاس‌های گوناگون شاخص‌های ژئومورفیک بر تعداد آن‌ها به شرح زیر به دست می‌آید.

$$IAT = S / N$$

در این رابطه S مجموع کلاس‌های تعریف‌شده برای شاخص‌های مورد استفاده و N تعداد شاخص‌ها است. این شاخص به چهار کلاس تقسیم شده که در آن کلاس ۱، دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی بسیار بالا؛ کلاس ۲، دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی بالا؛ کلاس ۳، دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی متوسط و کلاس ۴، دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی کم می‌باشد (جدول ۲).

جدول (۲): طبقه‌بندی کلاس‌های فعالیت زمین‌ساختی در شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساخت.

| وضعیت فعالیت | کلاس ۱ (فعالیت)        | کلاس ۲ (فعالیت)    | کلاس ۳ (فعالیت)    | کلاس ۴ (فعالیت) |
|--------------|------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
|              | زمین‌ساختی بسیار بالا) | زمین‌ساختی بالا)   | زمین‌ساختی متوسط)  | زمین‌ساختی کم)  |
| مقادیر شاخص  | $1 \leq S/n < 1.5$     | $1.5 \leq S/n < 2$ | $2 \leq S/n < 2.5$ | $S/n \geq 2.5$  |

مآخذ: ال‌همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۶.

### یافته‌های به دست آمده از محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک

در این بخش از پژوهش، یافته‌های به دست آمده از محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک مورد استفاده تشریح می‌شوند.

۱. برای محاسبه شاخص FSI، ابتدا طاق‌دیس کته‌پیفک را بر پایه انحنا محور آن به سه بخش مجزا تقسیم کرده، سپس در هر بخش با رعایت فاصله طولی مناسب، مقادیر این شاخص اندازه‌گیری و در پایان میانگین آن برای کل طاق‌دیس در نظر گرفته شد (جدول ۳). ارزش عددی این شاخص در طاق‌دیس مورد مطالعه برابر با ۰/۷۷ به دست آمد. پایین بودن مقدار این شاخص نشان می‌دهد که طاق‌دیس کته‌پیفک در وضعیت فعال زمین‌ساختی قرار دارد؛ زیرا مقادیر کمی پایین در این شاخص نشان‌دهنده وجود چین‌های نامتقارن و تداوم فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در منطقه است. از جمله شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه مورد مطالعه می‌توان به گسل‌های متعدد، درز و شکاف‌ها زمین‌ساختی، پرتگاه‌های گسلی و خطی، عدم تقارن و نابرابر بودن طول دو یال این طاق‌دیس اشاره کرد که گویای تداوم فعالیت‌های نوزمین‌ساختی و تاثیرگذاری بیشتر آن‌ها در منطقه است.

جدول (۳): مقادیر عددی اندازه‌گیری شده شاخص FSI در طاق‌دیس کته پیفک.

| FSI  | W (m)   | S (m)  | تعداد محل |                       |
|------|---------|--------|-----------|-----------------------|
| ۰/۵۷ | ۸۷۲/۳   | ۲۴۷/۳۳ | ۱         | بخش<br>شمال<br>باختری |
| ۰/۹۴ | ۱۳۱۰/۶  | ۶۱۳/۲۲ | ۲         |                       |
| ۰/۷۹ | ۱۸۴۲/۱۷ | ۷۲۶/۲۲ | ۳         |                       |
| ۰/۹۵ | ۱۷۴۹/۰۷ | ۸۳۳/۰۵ | ۴         |                       |
| ۰/۸۹ | ۱۶۴۸/۰۷ | ۷۳۲/۷۱ | ۵         | بخش<br>مرکزی          |
| ۰/۸۶ | ۱۳۶۱/۳۷ | ۵۸۵/۲۷ | ۶         |                       |
| ۰/۶۰ | ۱۴۶۸/۱۷ | ۴۴۳/۴۷ | ۷         |                       |
| ۰/۶۵ | ۱۷۸۳/۱۹ | ۵۸۳/۲۶ | ۸         | بخش<br>جنوب<br>خاوری  |
| ۰/۵۶ | ۱۶۵۹/۶۴ | ۴۶۲/۶۵ | ۹         |                       |
| ۰/۸۵ | ۱۷۴۲/۵۹ | ۷۳۹/۷۱ | ۱۰        |                       |
| ۰/۶۹ | ۱۵۸۳/۹۷ | ۵۴۹/۵۷ | ۱۱        |                       |
| ۰/۸۴ | ۱۲۱۸/۹۷ | ۵۱۱/۸۶ | ۱۲        |                       |
| ۰/۷۷ | میانگین |        |           |                       |

۲. با توجه به انحنای محور و مورفولوژی طاق‌دیس کته پیفک ابتدا جبهه آن به سه بخش اصلی تقسیم شد، سپس مقدار شاخص پیچ و خم جبهه چین در هر دو یال شمال خاوری و جنوب باختری طاق‌دیس و در راستای سه جبهه تعیین شده محاسبه و اندازه‌گیری شد. در جدول (۴) یافته‌های به دست آمده برای هر یک از جبهه‌های طاق‌دیس ارائه شده و همان‌طور که مشخص است مقدار میانگین آن برای کل طاق‌دیس برابر با ۱/۱۹ به دست آمد (جدول (۴)). مقادیر پایین به دست آمده برای شاخص FFS در طاق‌دیس کته پیفک، گویای وجود یک ساختار چین خورده جوان در منطقه بوده و نشان‌دهنده غلبه فعالیت‌های نوزمین ساختی در محدوده طاق‌دیس است. به عبارت دیگر، مقادیر پایین این شاخص در طاق‌دیس کته پیفک با شواهد ژئومورفولوژیکی از جمله وجود پیچ و خم کم در جبهه طاق‌دیس، پرتگاه‌های گسلی و خطی، دره‌های باریک و ژرف مورد تایید قرار می‌گیرد. این شواهد نشان می‌دهند که نقش فرایندهای فرسایشی در جبهه‌های طاق‌دیس کم بوده اما در عوض نیروهای زمین ساخت تاثیر به‌سزایی در مورفولوژی آن داشته‌اند.

جدول (۴): مقادیر عددی اندازه‌گیری شده شاخص FFS در طاق‌دیس کته پیفک.

| میانگین | FFS        | L (m)   | Fs (m)  | شماره جبهه و جهت محاسبه شاخص |  |
|---------|------------|---------|---------|------------------------------|--|
| ۱/۱۸    | ۱/۱۵       | ۷۰۸۶/۲۸ | ۸۱۶۲/۱۹ | جبهه جنوب باختری             |  |
|         | ۱/۲۰       | ۷۰۸۶/۲۸ | ۸۵۷۷/۶۳ | جبهه شمال خاوری              |  |
| ۱/۱۲    | ۱/۰۸       | ۷۱۲۸/۱۱ | ۷۶۸۹/۷۱ | جبهه جنوب باختری             |  |
|         | ۱/۱۶       | ۷۱۲۸/۱۱ | ۸۲۴۲/۵  | جبهه شمال خاوری              |  |
| ۱/۲۶    | ۱/۳۹       | ۲۱۲۹/۲۳ | ۲۹۵۴/۹۴ | جبهه جنوب باختری             |  |
|         | ۱/۱۳       | ۲۱۲۹/۲۳ | ۲۴۰۵/۲۴ | جبهه شمال خاوری              |  |
| ۱/۱۹    | میانگین کل |         |         |                              |  |

۳. یافته‌های به دست آمده از محاسبه و اندازه‌گیری شاخص درصد بخش‌های بریده شده جبهه کوهستان (FD) در دو یال شمال خاوری و جنوب باختری طاق‌دیس کته پیفک و در راستای ۳ جبهه اصلی تعیین شده، در جدول (۵) ارائه شده است. همان‌طور

که در جدول مشخص شده است، به طور کلی بر پایه مقادیر به دست آمده می توان گفت که یال جنوب باختری نسبت به یال شمال خاوری بیشتر تحت تاثیر نیروهای زمین ساختی قرار داشته است. با استناد به مقادیر پایین این شاخص و نیز شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه از جمله وجود دره های ژرف، باریک و V شکل و نیز دیواره ها و پرتگاه های خطی، مستقیم و پرشیب به همراه عملکرد گسل معکوس به ویژه در یال جنوب باختری، تداوم فعالیت های نوزمین ساختی در این طاقدیس محرز می گردد. همچنین، میانگین کلی برای این شاخص، برابر با ۰/۱۸ به دست آمد (جدول ۵).

جدول (۵): ارزش های عددی اندازه گیری شده برای شاخص FD در طاقدیس کته پیفک.

| میانگین | FD      | Ls (m)  | Lmfd (m) | شماره و جهت جبهه | میانگین | FD   | Ls (m)  | Lmfd (m) | شماره و جهت جبهه |
|---------|---------|---------|----------|------------------|---------|------|---------|----------|------------------|
| ۰/۱۰    | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۵۷/۱۹   | جنوب باختری      | ۰/۱۶    | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۵۵/۸۶   | جنوب باختری      |
|         | ۰/۰۱    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۹۹/۷۹    |                  |         | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۲۸/۶۹   |                  |
|         | ۰/۰۱    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۷۰/۷۵    |                  |         | ۰/۰۱ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۷۸/۶۱    |                  |
|         | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۰۸/۴۶   |                  |         | ۰/۰۱ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۹۴/۰۷    |                  |
|         | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۲۰/۹۵   |                  |         | ۰/۰۱ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۰۵/۰۸   |                  |
|         | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۳۹/۵۹   |                  |         | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۲۱/۸۴   |                  |
| ۰/۱۹    | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۴۵/۴۱   | شمال خاوری       | ۰/۱۱    | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۵۴/۷۸   | ۱                |
|         | ۰/۰۱    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۰۳/۳۲   |                  |         | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۰۷/۱۶   |                  |
|         | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۳۱/۷۹   |                  |         | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۵۴/۵۸   |                  |
|         | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۳۹/۵۶   |                  |         | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۱۲/۷۶   |                  |
|         | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۴۷/۳۵   |                  |         | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۱۲/۰۸   | شمال خاوری       |
|         | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۲۹/۶۶   |                  |         | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۲۷/۳۵   |                  |
|         | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۱۴/۶۶   |                  |         | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۴۳/۲۲   |                  |
|         | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۵۸/۷۸   |                  |         | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۵۴/۶۹   |                  |
|         | ۰/۰۱    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۰۴/۵۹   |                  |         | ۰/۰۲ | ۷۰۸۶/۲۸ | ۱۶۴/۰۶   |                  |
|         | ۰/۰۲    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۱۱۶/۸۸   |                  |         | ۰/۲۱ | ۰/۰۷    | ۷۱۲۸/۱۱  |                  |
| ۰/۰۱    | ۲۱۲۹/۲۳ | ۸۹/۰۵   | ۰/۰۷     | ۷۱۲۸/۱۱          | ۱۵۰/۶۹  |      |         |          |                  |
| ۰/۱۸    |         |         |          |                  | ۰/۳۴    | ۰/۱۰ | ۷۱۲۸/۱۱ | ۲۲۰/۵۴   | شمال خاوری       |
|         |         |         |          |                  |         | ۰/۰۵ | ۷۱۲۸/۱۱ | ۱۰۵/۰۴   |                  |
|         |         |         |          |                  |         | ۰/۰۷ | ۷۱۲۸/۱۱ | ۱۴۴/۷۵   |                  |
|         |         |         |          |                  |         | ۰/۰۵ | ۷۱۲۸/۱۱ | ۹۹/۴۶    |                  |
|         |         |         |          |                  |         | ۰/۰۴ | ۷۱۲۸/۱۱ | ۸۷/۳۵    |                  |
|         |         |         |          |                  |         | ۰/۰۳ | ۷۱۲۸/۱۱ | ۵۸/۰۹    |                  |
|         |         |         |          |                  | میانگین |      |         |          |                  |

۴. یافته های به دست آمده از محاسبه شاخص درصد بخش های بریده نشده جبهه کوهستان (EU) در دو یال شمال خاوری و جنوب باختری طاقدیس کته پیفک و در راستای ۳ جبهه اصلی تعیین شده، در جدول (۶) ارایه شده است. میانگین کلی آن برابر با ۰/۸۴ به دست آمد (جدول ۶). علاوه بر اینکه طاقدیس کته پیفک تماماً از سازند مقاوم و صخره ساز آسماری (سنگ آهک توده ای) تشکیل شده، عملکرد گسل های فراوان در این طاقدیس نیز منجر به تشکیل جبهه ها و پرتگاه های مستقیم و پرشیب در

منطقه شده است؛ به گونه‌ای که فرایندهای فرسایشی امکان فعالیت چندانی پیدا نکرده و صرفاً به ایجاد تعداد اندکی دره ژرف، باریک و V شکل محدود شده‌اند. بنابراین، عدم توسعه عرضی دره‌ها و شکاف‌های پهن متعدد در جبهه‌های این طاق‌دیس و نیز وجود پرتگاه‌های خطی و گسلی به‌عنوان شواهد ژئومورفولوژیکی محسوب می‌شوند که تداوم فعالیت‌های زمین ساخت فعال در این منطقه را تأیید می‌نمایند.

جدول (۶): ارزش‌های عددی اندازه‌گیری شده برای شاخص EU در طاق‌دیس کته پیفک.

| شماره و جهت<br>جبهه | Lce<br>(m)     | Ls<br>(m)     | EU             | میانگین | شماره و جهت<br>جبهه | Lce<br>(m)     | Ls<br>(m) | EU            | میانگین |                |        |               |      |
|---------------------|----------------|---------------|----------------|---------|---------------------|----------------|-----------|---------------|---------|----------------|--------|---------------|------|
| ۱                   | جنوب<br>باختری | ۴۰۵/۴۵        | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۰۶    | ۳                   | جنوب<br>باختری | ۶۴۵/۱۶    | ۷۰۸۶/۲۸       | ۰/۰۹    |                |        |               |      |
|                     |                | ۸۲۰/۳۹        | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۱۲    |                     |                | ۰/۸۴      | ۲۶۰۷/۱۶       | ۷۰۸۶/۲۸ | ۰/۳۷           |        |               |      |
|                     |                | ۱۳۴/۹۹        | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۰۲    |                     |                |           | ۱۳۴/۹۹        | ۷۰۸۶/۲۸ | ۰/۰۲           |        |               |      |
|                     |                | ۲۹۲/۱۱        | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۰۴    |                     |                |           | ۲۹۲/۱۱        | ۷۰۸۶/۲۸ | ۰/۰۴           |        |               |      |
|                     |                | ۶۰/۹۸         | ۷۰۸۶/۲۸        | /۰/۱    |                     |                |           | ۶۰/۹۸         | ۷۰۸۶/۲۸ | /۰/۱           |        |               |      |
|                     |                | ۳۸۵/۰۹        | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۰۵    |                     |                |           | ۳۸۵/۰۹        | ۷۰۸۶/۲۸ | ۰/۰۵           |        |               |      |
|                     |                | ۱۲۵/۴۲        | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۰۲    |                     |                |           | ۱۲۵/۴۲        | ۷۰۸۶/۲۸ | ۰/۰۲           |        |               |      |
|                     | ۴۷۴/۲۷         | ۷۰۸۶/۲۸       | /۰/۷           | ۴۷۴/۲۷  |                     | ۷۰۸۶/۲۸        | /۰/۷      |               |         |                |        |               |      |
|                     | شمال<br>خاوری  | شمال<br>خاوری | ۴۴۵/۰۶         | ۷۰۸۶/۲۸ |                     | ۰/۰۶           | ۰/۹۰      | شمال<br>خاوری | ۴۶۹/۸۷  | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۰۷   |               |      |
|                     |                |               | ۹۲۹/۶۱         | ۷۰۸۶/۲۸ |                     | ۰/۱۳           |           |               | ۹۲۹/۶۱  | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۱۳   |               |      |
|                     |                |               | ۵۵۳/۰۸         | ۷۰۸۶/۲۸ |                     | ۰/۰۸           |           |               | ۵۵۳/۰۸  | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۰۸   |               |      |
|                     |                |               | ۱۶۴۲/۴۶        | ۷۰۸۶/۲۸ |                     | ۰/۲۳           |           |               | ۱۶۴۲/۴۶ | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۲۳   |               |      |
|                     |                |               | ۳۰۸/۹۷         | ۷۰۸۶/۲۸ |                     | ۰/۰۴           |           |               | ۳۰۸/۹۷  | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۰۴   |               |      |
|                     |                |               | ۲۰۳۵/۰۳        | ۷۰۸۶/۲۸ |                     | ۰/۲۹           |           |               | ۲۰۳۵/۰۳ | ۷۰۸۶/۲۸        | ۰/۲۹   |               |      |
| جنوب<br>باختری      |                |               | جنوب<br>باختری | ۹۵۴/۵۱  | ۲۱۲۹/۲۳             | ۰/۴۵           |           |               | ۰/۸۸    | جنوب<br>باختری | ۹۱۲/۶۷ | ۲۱۲۹/۲۳       | ۰/۴۳ |
|                     |                |               |                | ۳۴۴/۰۵  | ۲۱۲۹/۲۳             | ۰/۱۶           |           |               |         |                | ۰/۶۷   | شمال<br>خاوری | ۲۰۷  |
| ۲۸۰/۵۷              |                |               | ۲۱۲۹/۲۳        | ۰/۱۳    | ۲۸۰/۵۷              | ۲۱۲۹/۲۳        |           |               | ۰/۱۳    |                |        |               |      |
| ۲۸۷/۵۷              |                |               | ۲۱۲۹/۲۳        | ۰/۱۴    | ۲۸۷/۵۷              | ۲۱۲۹/۲۳        |           |               | ۰/۱۴    |                |        |               |      |
| ۳۱۱/۱۳              | ۲۱۲۹/۲۳        | ۰/۱۵          | ۳۱۱/۱۳         | ۲۱۲۹/۲۳ | ۰/۱۵                |                |           |               |         |                |        |               |      |
| ۰/۸۴                | میانگین        |               |                | ۰/۸۴    |                     |                |           |               |         |                |        |               |      |

۵. مقادیر کمی به دست آمده برای شاخص VF در طاق‌دیس کته پیفک، در جدول (۷) ارائه شده‌اند. به‌طور کلی، مقادیر به دست آمده نشان می‌دهند که طاق‌دیس کته پیفک از میزان فعالیت زمین ساختی نسبتاً بالایی برخوردار است. میانگین شاخص VF در طاق‌دیس کته پیفک، برابر با ۰/۴۹ به دست آمد (جدول (۷)) که برپایه تقسیم‌بندی ال‌همدونی و همکاران ۲۰۰۸، در رده ۱ فعالیت یا مناطق دارای زمین ساخت فعال قرار می‌گیرد. از جمله شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه می‌توان به وجود دره‌های ژرف و باریک (V شکل) اشاره کرد که ارزش‌های پایین این شاخص را تأیید می‌نمایند. در واقع، می‌توان گفت به دلیل تداوم نیروهای درونی زمین در این طاق‌دیس، فرایندهای بیرونی نتوانسته‌اند چندان کارساز نبوده و صرفاً نقش آنها به ایجاد تعدادی دره باریک محدود شده است.

جدول (۷): ارزش‌های عددی اندازه‌گیری شده برای شاخص VF در طاقدیس کته پیفک.

| شماره دره | Vf (m) | Eld (m) | Erd (m) | Esc (m) | VF   |
|-----------|--------|---------|---------|---------|------|
| ۱         | ۱۰/۵۹  | ۱۳۶۰    | ۱۳۳۸    | ۱۳۲۴    | ۰/۴۲ |
| ۲         | ۵۹/۷۹  | ۱۵۶۰    | ۱۴۲۷    | ۱۳۹۱    | ۰/۵۸ |
| ۳         | ۳۰/۲۱  | ۱۳۵۷    | ۱۳۱۶    | ۱۲۷۹    | ۰/۵۳ |
| ۴         | ۷/۱۰   | ۱۳۴۳    | ۱۳۳۳    | ۱۳۲۳    | ۰/۴۷ |
| ۵         | ۱۱/۱۵  | ۱۳۵۳    | ۱۳۳۲    | ۱۲۹۷    | ۰/۲۵ |
| ۶         | ۱۴/۵۹  | ۱۴۶۶    | ۱۴۵۱    | ۱۴۲۵    | ۰/۴۴ |
| ۷         | ۱۹/۱   | ۱۵۴۸    | ۱۵۵۹    | ۱۵۰۸    | ۰/۴۲ |
| ۸         | ۱۱/۷۸  | ۱۴۷۹    | ۱۴۸۱    | ۱۴۶۳    | ۰/۶۹ |
| ۹         | ۱۱/۶۳  | ۱۵۳۵    | ۱۵۲۹    | ۱۵۰۵    | ۰/۴۳ |
| ۱۰        | ۲۲/۴۶  | ۱۵۱۸    | ۱۵۲۸    | ۱۴۸۳    | ۰/۵۶ |
| ۱۱        | ۲۰/۱۰  | ۱۴۷۱    | ۱۴۶۹    | ۱۴۳۴    | ۰/۵۶ |
| ۱۲        | ۵۲/۷۷  | ۱۶۲۲    | ۱۶۳۲    | ۱۵۳۰    | ۰/۵۴ |
| ۱۳        | ۱۲/۳۸  | ۱۵۳۰    | ۱۵۴۸    | ۱۵۱۳    | ۰/۴۸ |
| ۱۴        | ۱۰/۴۷  | ۱۴۸۸    | ۱۴۸۴    | ۱۴۶۷    | ۰/۵۵ |
| میانگین   |        |         |         |         | ۰/۴۹ |

۶. مقدار شاخص AR برای طاقدیس کته پیفک، عدد ۹/۵۵ به دست آمد (جدول ۸) که با توجه به بالا بودن عدد به دست آمده، مشخص می‌شود تاثیر گذاری نیروهای زمین ساختی در این طاقدیس زیاد بوده و در وضعیت فعال زمین ساختی قرار دارد.

جدول (۸): مقادیر عددی اندازه‌گیری شده شاخص AR در طاقدیس کته پیفک.

| نام طاقدیس | L (m)    | W (m)   | AR   |
|------------|----------|---------|------|
| کته پیفک   | ۱۸۳۶۹/۵۶ | ۱۹۲۲/۵۴ | ۹/۵۵ |

۷. در این پژوهش، برای محاسبه شاخص فعالیت نسبی زمین ساخت از هر شش شاخص محاسبه شده برای ارزیابی میزان فعالیت‌های زمین ساختی در طاقدیس مورد مطالعه که همگی دارای دو کلاس بودند، استفاده شد ( )

۸. جدول (۹). همان‌طور که این جدول نیز نشان می‌دهد، برپایه شاخص Iat طاقدیس کته پیفک در کلاس ۳ با فعالیت‌های زمین ساختی متوسط قرار می‌گیرد.

جدول (۹): میزان شاخص فعالیت نسبی زمین ساخت در طاقدیس کته پیفک.

| شاخص‌ها            | FSI                | FFS  | FD   | EU   | VF   | AR   |
|--------------------|--------------------|------|------|------|------|------|
| مقدار عددی شاخص    | ۰/۷۷               | ۱/۱۹ | ۰/۱۸ | ۰/۸۴ | ۰/۴۹ | ۹/۵۵ |
| تعداد کلاس شاخص‌ها | ۲                  | ۲    | ۲    | ۲    | ۲    | ۲    |
| S/n                | $\frac{12}{6} = 2$ |      |      |      |      |      |
| کلاس Iat           | ۳                  | ۳    | ۳    | ۳    | ۳    | ۳    |
| میانگین کلاس Iat   | ۳                  |      |      |      |      |      |

## نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی جنبش‌های زمین‌ساختی در طاق‌دیس کته پیفک و با استفاده از شاخص ژئومورفیک VF, AR, FSI, FFS, FD, ED انجام شده است. به‌طور کلی، این شاخص‌ها نوعی طبقه‌بندی از میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی ارائه می‌دهند. به‌کارگیری هر یک از این شاخص‌ها کاربرد و اهمیت خاص خود را دارد؛ اما یکپارچه‌سازی و به‌کارگیری هم‌زمان از شاخص‌های ژئومورفیک گوناگون در ارزیابی و تجزیه و تحلیل وضعیت فعالیت‌های زمین‌ساختی و سرانجام طبقه‌بندی میزان آن در هر منطقه به‌مراتب از کارایی بالاتری برخوردار بوده و نتایج بهتر و دقیق‌تری ارائه می‌نمایند.

شاخص تقارن چین (FSI) نشان‌دهنده تاثیر نیروهای زمین‌ساخت در ایجاد انواع چین‌ها و طاق‌دیس‌ها می‌باشد. در مناطق فعال زمین‌ساختی غالباً فرایندهای درونی زمین از جمله فراخاست بر فرایندهای بیرونی - فرسایش غلبه دارند، بنابراین چین‌های نامتقارن همراه با گسل خوردگی و شکستگی‌های بیشتر تشکیل می‌شوند؛ از این رو، مقادیر این شاخص کم خواهند بود. مقدار میانگین این شاخص در طاق‌دیس کته پیفک برابر با ۰/۷۷ محاسبه و اندازه‌گیری شد که نشان‌دهنده نامتقارن بودن و نابرابر بودن یال‌های طاق‌دیس، تاثیر زیاد و تداوم فعالیت‌های زمین‌ساختی در آن است.

از شاخص پیچ‌وخم جبهه چین (FFS) علاوه بر شناسایی و تشخیص انواع چین‌ها می‌توان برای ارزیابی سن ساختارهای چین‌خورده (پیر یا جوان) بهره گرفت. مقادیر کم این شاخص نشان‌دهنده تداوم فعالیت‌های زمین‌ساختی و وجود یک ساختار جوان چین‌خورده است که کمتر دچار فرسایش و تخریب قرار گرفته است و برعکس. مقدار میانگین کم به‌دست آمده برای طاق‌دیس کته پیفک (۱/۱۹) نشان‌گر وجود ساختار چین‌خورده جوان در این طاق‌دیس است. یال جنوب‌باختری طاق‌دیس کته پیفک کوتاه‌تر و پرشیب‌تر بوده و کمتر فرسایش یافته است؛ اما یال شمال‌خاوری آن کشیده‌تر و از شیب کمتری برخوردار بوده و بیشتر فرسایش یافته است.

به‌طور کلی، شاخص درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان (FD) و شاخص درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان (EU) نشان می‌دهند که جبهه‌های کوهستانی در مناطق فعال زمین‌ساختی کمتر دچار بریدگی و فرسایش می‌شوند. مقادیر کمی به‌دست آمده برای شاخص‌های FD و EU به ترتیب در جدول (۵) و جدول (۶) ارائه شده‌اند. همان‌طور که این جداول نشان می‌دهند، در طاق‌دیس کته پیفک به دلیل تداوم عملکرد نیروهای زمین‌ساخت و تاثیر اندک فرایندهای فرسایشی، مقادیر شاخص (FD) پایین بوده و میانگین آن ۰/۱۸ می‌باشد؛ در حالی که شاخص (EU) مقادیر بالایی داشته و میانگین آن ۰/۸۴ است که نشان‌دهنده وضعیت زمین‌ساخت فعال ناشی از گسلش و فراخاست فعال در این طاق‌دیس است. این مقادیر از طریق شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه همچون دره‌های ژرف و باریک، دیواره‌ها و پرتگاه‌های پرشیب و وجود گسل معکوس مورد تایید قرار می‌گیرند.

محاسبات مربوط به شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF) برای طاق‌دیس کته پیفک در جدول (۷) ارائه شده است. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد مقادیر این شاخص ارزش‌های پایینی را نشان می‌دهند و میانگین آن نیز عدد ۰/۴۹ است. علاوه بر لیتولوژی مقاوم سازند آسماری که طاق‌دیس کته پیفک کلاً از آن تشکیل شده، به دلیل گسلش فعال در این طاق‌دیس، مورفولوژی دره‌های ایجادشده غالباً جوان بوده و بیشتر به صورت دره‌های باریک و ژرف در چشم‌انداز منطقه نمایان شده‌اند. همچنین، نسبت و تراکم دره‌ها در یال جنوب‌باختری طاق‌دیس نسبت به یال شمال‌خاوری آن به دلیل عملکرد بیشتر گسل‌ها و به‌ویژه گسل معکوس منطقه، کمتر است. از این رو، در یال شمال‌خاوری طاق‌دیس دره‌های بیشتری ایجاد شده، اما در یال جنوب‌باختری آن بیشتر دیواره‌ها و پرتگاه‌های گسلی خطی و پرشیب شکل گرفته‌اند.

همان‌طور که جدول (۸) نشان می‌دهد، ارزش عددی بالای شاخص نسبت جهت (AR) در طاق‌دیس کته‌پیفک (۹/۵۵) نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیشتر این طاق‌دیس از نیروهای زمین‌ساختی بوده که باعث فشردگی بیشتر آن شده است. در واقع، بر اثر عملکرد نیروهای زمین‌ساختی، طاق‌دیس کته‌پیفک پهنای کمتر و درازای بیشتری پیدا کرده است. این شاخص نیز همچون دیگر شاخص‌های مورد بررسی گویای وضعیت فعال زمین‌ساخت در منطقه است. علاوه بر محاسبه شاخص‌های پیش‌گفته، در پایان کار جهت ارزیابی نسبی میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی از روش پیشنهادی ال‌همدون و همکاران (۲۰۰۸) (روش موسوم به Iat) نیز استفاده شد. برپایه این شاخص که از میانگین مجموع شاخص‌های مورد استفاده به‌دست می‌آید مشخص شد که طاق‌دیس کته‌پیفک در کلاس ۳ با میزان فعالیت‌های زمین‌ساخت متوسط قرار دارد)

جدول (۹). در پایان بایستی گفت، این منطقه برپایه شش شاخص مورد بررسی در وضعیت زمین‌ساختی با فعالیت بالا قرار دارد، اما برپایه شاخص کلی Iat از لحاظ میزان جنبایی و فعالیت‌های زمین‌ساختی وضعیت متوسطی دارد. به‌طور کلی، برپایه یافته‌های به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک مورد بررسی در طاق‌دیس کته‌پیفک مشخص شد که ساختار چین‌خورده این طاق‌دیس نامتقارن و جوان بوده و هنوز نیروهای زمین‌ساختی در آن تداوم دارند و به تکامل نرسیده است. افزون بر مقادیر کمی به‌دست آمده برای این شاخص‌ها، شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه از جمله دیواره‌های کوهستانی و پرتگاه‌های خطی، مستقیم و پرشیب و نیز گسل معکوس در یال جنوب‌باختری، دره‌های ژرف، باریک و V شکل، میزان کم درصد بخش‌های بریده‌شده در برابر میزان بیشتر درصد بخش‌های بریده‌نشده، نشان‌دهنده وضعیت زمین‌ساخت فعال در این طاق‌دیس است.

## منابع

- انصاری‌لاری، احمد، ثروتی، محمد رضا، رعیتی، زینب (۱۳۹۰)؛ بررسی ژئومورفولوژی طاق‌دیس طاهونه، لارستان، مجله جغرافیای طبیعی، سال چهارم، شماره ۴، صص: ۷۳-۸۶.
- آقانباتی، سید علی (۱۳۸۳)؛ زمین‌شناسی ایران، تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بهرامی، ش.، مقصودی، م.، بهرامی، ک.، ۱۳۹۰. بررسی نقش تکتونیک در ناهنجاری مورفومتری شبکه زهکشی در چهار حوضه آبخیز در زاگرس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۴۳، ۷۰-۵۱.
- ثروتی، محمدرضا، منصور، رضا (۱۳۹۲)؛ روش‌های پژوهش در ژئومورفولوژی (ترجمه)، تهران، مجله سپهر، دوره ۲۲، شماره ۸۸، صص: ۸۱-۹۱.
- حاجی کریمی، زهرا، شایان، سیاوش، خوش‌رفتار، رضا. (۱۳۹۹). ارزیابی تکتونیک فعال حوضه آبریز کرگانرود در دامنه شرقی تالش (بغرداغ)، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱(۱۹)، ۲۳۶-۲۱۷.
- خیام، م.، مختاری کشکی، د.، ۱۳۸۲. ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیک بر اساس مورفولوژی مخروط افکنه‌ها (مورد نمونه: مخروط افکنه‌های دامنه شمالی میشوداغ)، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۴، ۱۰-۱.
- درویش‌زاده، علی، محمدی، مهین (۱۳۸۴)؛ زمین‌شناسی ایران (رشته جغرافیا)، تهران، انتشارات دانشگاه پیام‌نور، چاپ نخست.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۸۵)؛ تهران، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰،۰۰۰ ایوان‌غرب، برگ شماره I 5257.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۵)؛ نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ ایلام، برگ شماره ۵۲۵۷.
- سلیمانی، شهریار (۱۳۷۸)؛ رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه‌شناسی، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، چاپ اول.
- صفاری، امیر، منصور، رضا (۱۳۹۲)؛ ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی بخش علیای حوضه آبخیز کنگیر (ایوان‌غرب) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، زاهدان، مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، سال سوم، شماره ۷، صص ۳۵-۵۰.



علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۶)؛ ژئومورفولوژی ایران، تهران، انتشارات قومس، چاپ چهارم.  
فتوحی، صمد (۱۳۹۲)؛ تاثیر تکتونیک فعال در شرق حوضه زاگرس بر تشکیل مخروط افکنه دوقلوی وزیره، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۱، صص: ۱۷۶-۱۶۳.

قنوتی، عزت‌الله، صفاکیش، فریده، مقصودی، یاسر. (۱۳۹۶). ارزیابی تکتونیک فعال در زیرحوضه‌های جراحی- زهره بر پایه تحلیل مورفوتکتونیک و اثرهای آن بر میدان‌های نفتی حوضه مورد مطالعه. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۹(۲)، ۲۲۱-۲۴۰.

[10.22059/JPHGR.2017.62843](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2017.62843)

مقصودی، مهران، زمان زاده، سیدمحمد، یمانی، مجتبی، حاجی زاده، عبدالحسین. (۱۳۹۶). بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز مارون با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۶(۳)، ۳۷-۵۹.

مقصودی، مهران، گورابی، ابوالقاسم، رسولی، عادل. (۱۳۹۹). زمین ساخت فعال و تاثیر آن بر مورفولوژی طاق‌دیس‌های جزیره قشم (سلخ، گورزین، سوزا و گیاهدان). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۹(۲)، ۹۸-۱۱۵.

منصوری، رضا، صفاری، امیر. (۱۳۹۴). تحلیل فعالیت زمین ساختی حوضه آبخیز فرحزاد از طریق شاخص‌های ژئومورفیک. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۴(۹۵)، ۹۳-۱۰۵.

[10.22131/SEPEHR.2015.15555](https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2015.15555)

منصوری، رضا، سربازی، زهرا (۱۳۹۶)؛ بررسی وضعیت زمین‌ساخت فعال طاق‌دیس بانکول (در زاگرس چین‌خورده) با به‌کارگیری شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، لارستان، مجله جغرافیای طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۳۷، ۱۴۲-۱۲۵.

یمانی، م، کامرانی دلیر، ح، باقری، س.، ۱۳۹۲. مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نوزمین ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال غربی)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۹، ۲۶-۱.

Ali, SA., Ikbal, 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 13(2). <https://doi.org/10.1007/s12517-019-5028-2>

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/s41651-02000058-3>

Azor, A., Keller, E. A. & Yeats, R. S. 2002; Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge anticline, Ventura basin, Southern California. Geological Society of America Bulletin, 114, 745-753.

Bali BS, Wani AF, Khan RA, Ahmad S., 2016; Morphotectonic analysis of the Madhumati watershed, Northeast Kashmir Valley. Arab J Geosci 9:390-317. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2395-9>

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.

Bull, W.B., 2007; Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology, Blackwell, 328.

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.

Burbank, D. W., & Anderson, R. S., 2012; Tectonic geomorphology (2nd ed.), Chichester: Wiley-Blackwell.

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.

DELCAILLAU, B., DEFFONTAINES, B. ET AL. 1998; Morphotectonic evidence from lateral propagation of an active frontal fold; Pakuashan anticline, foothills of Taiwan. *Geomorphology*, 24, 263–290.

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*, 96, 150-173.

Elias, Z., 2015; The neotectonic activity along the lower Khazir River by using SRTM image and geomorphic indices. *Earth Sci* 1(1):50–58. <https://doi.org/10.11648/j.earth.20150401.15>

Fard NG, Sorbi A, Arian M., 2015; Active tectonics of Kangavar area, West Iran. *Open* 426. *J Geol* 5:422–441. <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* 3:14–21, *Geology*, v. 29, p. 415–418.

Goudie, A.S. 2004; *Encyclopedia of geomorphology*. International Association of Geomorphologists, London.

Keller, E. A. 1986. 'Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes', in Wallace, R. E. (Ed.), *Active Tectonics, Studies in Geophysics*, National Academy Press, Washington, DC, 136–147

Keller, E.A., Pinter, N., 1996, *Active, Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscape*, Prentice Hall Publication, London, New Jersey, pp 121–205.

Keller, Edward A., Pinter, Nicholas, 2002; *Active Tectonics Earthquake, Uplift, and Landscape*; Prentice Hall Publisher. New, Jersey.

Kirby, E. and Whipple, K. X., 2001; Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis:

Molin, P., Pazzaglia, F.J., Dramis, F., 2004. Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly deforming forearc, Sila Massif, Calabria, Southern Italy. *American Journal of Science* 304, 559-589.

Mosavi, EJ., Arian, M., 2015; Neotectonics of Kashaf Rud River, NE Iran by Modified Index 468 of Active Tectonics (MIAT). *Int J Geosci* 6: 776–794. 469. <https://doi.org/10.4236/ijg.2015.67063>

Ollarves, Reinaldo, Zhao, Siyuan, Gilby, Fleur, 2019; Interaction between the folded structures of the Western Papua New Guinea Highlands: an example of how surface observations can assist in subsurface understanding, *Geological Society, London, Special Publications*, 490, 311-327, 30 May 2019, <https://doi.org/10.1144/SP490-2018-124>

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, 183-207.

Schumm, Stanley A., Dumont, Jean F., Holbrook, John M. (2000). *Active Tectonics and Alluvial Rivers*. Cambridge university press.

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*, 50, 203-225.

Sinha, SR., 2001; Neotectonic significance of longitudinal river profiles: an exampal from the Banas drainage basin, Rajasthan. *J Geol Soc India* 58:143–156.

Summerfield, Michael A., 2000; *Geomorphology and Global Tectonics*, Wiley.

Tomkin, J.H. & Braun, J. 1999; Simple models of drainage reorganisation on a tectonically active ridge system. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 42, 1-10, <http://doi.org/10.1080/00288306.1999.9514827>

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*, 1: 239-265.

Zovoili E, Konstantinidi E, Koukouvelas IK., 2004; Tectonic geomorphology of escarpments: the cases of Kompotades and NeaAnchialos faults. Bull Geol Soc Greece XXXVI:1716–1725.