The Survey of the Status Active Tectonic of Bankoul Anticline (in the Zagros Folded) Using Geomorphic Indicators and Geomorphological Evidences

Reza Mansouri*[1]

Ph.D Candidate of Geomorphology/ Environmental Management, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Zahra Sarbazi

Ph.D Candidate of Geomorphology/ Environmental Management, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Extended Abstract

1- Introduction:

The Zagros orogenic belt formed as a result of the collision between the Arabian craton and the Iranian plate. The Simply Folded Belt, which is situated between the High Zagros Fault and the Zagros Frontal Fault, consists of periclinal, en echelon flexural slip folds, which change from gentle and open in the SW to closed and locally overturned in the NE. Studies of Quaternary and present-day tectonic activates are mainly based on geomorphologic, geologic, geodetic and seismologic data. In regions affected by low/moderate tectonic deformation rates, geomorphologic and geologic data provide some of the best approaches to detect and characterize active tectonics. Recent and active tectonics may affect geomorphic processes and landscape evolution. For example, tectonic activities producing differential uplift and/or tilting and local base-level variations may control the development of alluvial fans. The study area is situated at coordinates system of geographical longitude from 45°56′and 08″up to east 46°29′and 56″and geographical latitude 33°41′and 10″ up to north 34°07′and 48″with an area of 496.02 square kilometers in Northeast of Eyvan'e Qarb township in the North of Ilam Province. Major geological formations of Bankoul anticline are the: Asemary, Pabdeh, Gurpi, Bakhtiari and Gachsaran formation.

2- Methodology:

Qualitative and quantitative geomorphic analyses are useful to investigate the impact of tectonic activity on geomorphic processes and landscape development. Therefore, we use geomorphic indices of active tectonics, known to be useful in active tectonic studies, because they can provide rapid insight concerning specific areas within a region which is undergoing adjustment to relatively rapid, and even slow, rates of active tectonics. This methodology has been previously tested as a valuable tool in different tectonically active areas. The main aim of this paper is to evaluate the active tectonics in Bankoul Anticline using and calculating morphotectonic indices such as: Mountain front sinuosity (SMF), Mountain front facet (FMF), Aspect Ratio (AR), Fold Symmetry Index (FSI), Fold Front Sinuosity (FFS), Percentage dissected mountain fronts (FD), Percentage undissected escarpments (EU). The Physical and conceptual tools of this research are the topography and geology maps of the study area, satellite images, digital elevation models and GIS software, in the form of ARC GIS 10 and several field visits from landforms, has been used.

3- discussion:

The results of this research indicate that the Bankoul Anticline is active tectonic status; so, based on indicators of SMF, FMF, AR, FFS, FSI, FD, EU puts this anticline in the class 1. The mountain front sinuosity index (Smf) is defined as: SMF= Lmf/ Ls, where Lmf is the length of the mountain front along the range–piedmont junction; and Ls is the straight-line length of the mountain front. This index reflects the balance between uplift that tends to maintain a relatively straight front and erosion that tends to produce irregular or sinuous fronts. Smf values down to 1.4 indicate tectonically active fronts. Value of SMF index in Bankoul anticline is equal with 1.34. Folds identified from satellite image analysis were categorized using geomorphological indices aspect ratio and fold symmetry index calculated from fold width, hinge length and forelimb width measured off a contour map, generated from the DEM tiles. Both aspect ratio (hinge length: fold width) and fold symmetry

[1] - * Corresponding author: Tell: +98 918 344 4037 E-mail: Re_mansouri@sbu.ac.ir

index (width of forelimb: half-width) can be used to separate fold types and were calculated for each fold. A perfectly symmetric fold will have a symmetry index of unity, whereas an asymmetric fold will have a lower symmetry and therefore a lower value of the fold symmetry index will be calculated. Values of FSI and AR indexes in Bankoul anticline the order is equal with 0.69, and 5.64. The four geomorphological index, fold front sinuosity (FFS), used as a proxy for the age of the fold structure. FFS is calculated as the actual length of the fold front/fold length. Older structures, having been exposed to subaerial weathering processes for longer, will have a higher FFS. Value of FFS index in Bankoul anticline is equal with 1.31. The Percentage dissected mountain fronts index (FD) is defined as: FD= Lmfd/ Ls, where Lmfd is the distinct sections length of the mountain front; and Ls is the straight-line length of the mountain front. FD index is define the proportion of a mountain front that has been dissected into distinct facets. Most tectonically active mountain fronts tend to be less dissected, i.e. low Fd values. Value of FD index in Bankoul anticline is equal with 0.21. The Percentage undissected escarpments index (EU) is defined as: EU= Lce/ Ls, where Lce is the undissected sections length of the mountain front; and Ls is the straight-line length of the mountain front. EU index is define the proportion of a mountain front that has not been dissected. Most tectonically active mountain fronts show laterally continuous undissected escarpments, i.e. high Eu values. Value of EU index in Bankoul anticline is equal with 0.75. The Percentage faceting along mountain fronts index (FMF) is defined as: FMF= (Lf/ Ls) 100, where Lf is total length of the triangular facets; and Ls is the straight-line length of the mountain front. FMF index is define the proportion of a mountain front that has well defined triangular facets, using the ratio of the cumulative lengths of facets to overall mountain front length. Tectonically active fronts display prominent, large facets that are generated and/or maintained by recurrent faulting along the base of the escarpments, i.e. high percentage faceting. Value of FMF index in Bankoul anticline is equal with 81. Generally, based on these indexes Bankoul Anticline puts in the class 1 with active tectonic status.

4- Conclusion:

These results indicate the continuing movement of tectonic and uplift in Bankoul anticline, which geomorphologic evidence in the region such as liner fault escarpment, triangular-shaped surfaces, V-shaped and deep valleys, low cut anticline front, and absence of piedmont is matched.

Keywords: Zagros Floded, Bankoul Anticline, Active Tectonics, Morphotectonic Indicators, Geomorphological Evidences.

بررسی وضعیت زمین‌ساخت فعال طاقدیس بانکول (در زاگرس چین‌خورده) با به‌کارگیری شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی و شواهد ژئومورفولوژیکی

رضا منصوری *

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی/ مدیریت‌محیطی، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۰۹۱۸۳٤٤٤۰۳۷

E-mail: Re_mansouri@sbu.ac.ir

زهرا سربازی

دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۵/۶/۱۶ تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۵/۳

چکیده

در این پژوهش از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی استفاده شده است، زیرا استفاده از این‌گونه شاخص‌ها در بررسی‌های مربوط به زمین‌ساخت‌های فعال ابزار مفید و کارآمدی هستند، به‌طوری‌که با استفاده از آنها می‌توان مناطقی را که تحت تاثیر حرکات نسبتا سریع یا حتی آهسته زمین‌ساخت قرار دارند را مشخص نمود. استفاده از این شاخص‌ها پیش‌تر به‌عنوان ابزاری گران‌بها و سودمند در مناطق فعال زمین‌ساختی در نواحی گوناگون آزمایش‌شده و کارایی آنها به اثبات رسیده است. طاقدیس بانکول با مساحت ۴۹۶/۰۲ کیلومتر مربع در راستای پهنای جغرافیایی ´´۱۰ ´۴۱ °۳۳ تا ´´۴۸ ´۰۷ °۳۴ از خط استوا و در راستای درازای جغرافیایی ´´۰۸ ´۵۶ °۴۵ تا ´´۵۶ ´۲۹ °۴۶ خاوری از نیمروز گرینویچ در شمال‌خاوری شهرستان ایوان‌غرب واقع شده است. سازندهای اصلی تشکیل‌دهنده این طاقدیس شامل سازند: آسماری، پابده، گورپی، بختیاری و گچساران می‌باشند. هدف اصلی این پژوهش بررسی میزان فعالیت زمین‌ساخت فعال طاقدیس بانکول با استفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی (SMF, FMF, AR, FFS, FSI, FD, EU) می‌باشد. ابزارهای فیزیکی و مفهومی مورد استفاده در این پژوهش شامل نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای، سامانه اطلاعات جغرافیایی و نیز چندین بار بازدید میدانی می‌باشند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهند که طاقدیس بانکول دارای وضعیت زمین‌ساخت فعالی است؛ به‌طوری‌که این طاقدیس برپایه مقادیر شاخص‌های SMF, FMF, AR, FFS, FSI, FD, EU در کلاس یک فعالیت قرار می‌گیرد. همچنین، این یافته‌ها گویای تداوم حرکات نوزمین‌ساختی و فراخاست در طاقدیس بانکول می‌باشند که با شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه مورد پژوهش همچون وجود پرتگاه‌های گسلی خطی و مستقیم، اشکال مثلثی شکل، دره‌های ژرف و V شکل، بریدگی کم جبهه طاقدیس و عدم تشکیل کوهپایه مطابقت می‌کنند.

واژگان کلیدی: زاگرس چین‌خورده، طاقدیس بانکول، زمین‌ساخت فعال، شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت، شواهد ژئومورفولوژیکی.

مقدمه

مطالعات ژئومورفولوژی به‌منزله ابزاری جهت شناسایی واحدهای گوناگون محیط طبیعی، حایز اهمیت بسیار زیاد می‌با شد (ثرو تی، ۱۳۸۷؛ ۲). از مهمترین و برجسته‌ترین واحدهای محیط طبیعی سرزمین ایران، مناطق کوهستانی آن می‌باشد. زاگرس- چین‌خورده با ساختمان ژورایی خود- یکی از مهمترین ایالت‌های کوهستانی ایران می‌با شد. زا گرس چین خورده، به مجمو عه‌ای از پ ستی و بلندی‌های منظم و ویژه‌ای گفته می‌شود که منشاء آن ناشی از مطابقت شکل ناهمواری با تغییر شکل زمین‌ساختی است که در آن کوه‌ها (طاق‌ها) منط بق بر طا قدیس‌ها و چا له‌ها (ناو ها یا پاطاق ها) منط بق بر ناودیس ها می‌با شند (مح مودی، ۱۳۸۶؛ ۶۸؛ علایی‌طالقانی، ۱۳۸۶؛ ۱۵۳). بخش چین‌خورده زاگرس، با حرکات زمین‌ساختی در میوسن میانی و سپس در پلیوسن پا یانی د چار چین‌خوردگی شد، بنابراین از نظر سنی، دارای کوه‌های جوانی ا ست (درو یش‌زاده و مح مدی، ۱۳۸۶؛ ۱۲؛ علایی‌طال قانی، ۱۳۸۶؛ ۱۴۷). از این‌رو، واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده از جمله مناطق فعال زمین‌ساختی ایران است که می توان شواهد فراخا ست زمین‌ساختی آن را در طاقدیس‌های در حال رشد آن دید (انصاری‌لاری و همکاران، ۱۳۹۰؛ ۷۴). طاقدیس بانکول که منط قه مورد بررسی این پژوهش می‌باشد نیز به‌عنوان بخشی از زاگرس چین‌خورده می‌باشد که بنا بر نظر بسیاری از پژوه شگران، جزء م ناطق فعال زمین‌ساختی بوده و دارای فراخاست زمین‌ساختی ن یز می‌با شد (ابرل ندر[1]، ۱۹۸۵؛ بربر یان[2]، ۱۹۹۵؛ باچ مانوف و هم کاران[3]، ۲۰۰۳؛ بلانس و همکاران[4]، ۲۰۰۳؛ تالبیان و جکسون[5]، ۲۰۰۴؛ ور نر[6]، ۲۰۰۴؛ ح سامی و هم کاران، ۲۰۰۶؛ رام سی و هم کاران[7]، ۲۰۰۸). پژوهش های گو ناگون ن یز ن شانگر و جود زمین ساخت‌های ف عال، فراخا ست و کوتاه شدگی طا قدیس‌ها و ن یز و جود زمین‌لرزه‌های فراوان در زاگرس است (رامسی و همکاران، ۲۰۰۸). بررسی ساختمان‌ها و ل ندفرم‌ها در طول تاریخ پ یدایش آن ها موضوع دانش زمین‌ساخت ژئومورفولوژی[8] می‌باشد (استانلی و همکاران[9]، ۲۰۰۰). امروزه ثابت شده ا ست که ا ین دا نش، کاربرد موثری در دانش ژئومورفولوژی دارد (صفاری و منصوری، ۱۳۹۲؛ ۳۶). مناظر ژئومورفولوژیکی در مناطق فعال زمین‌ساختی، از ادغام پیچیده اثرات حرکات افقی و عمودی بلوک‌های پوسته زمین، یا از فرسایش و ر سوب‌گذاری فرآی ندهای سطحی نا شی می شوند (بربنک و اندرسون[10]، ۲۰۰۱؛ سودلس و همکاران[11]، ۲۰۰۸؛ ۲۱۱). شاخص‌های زمین‌ریختی ابزار مفیدی برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال هستند، زیرا با استفاده از آنها می‌توان مناطق ویژه‌ای را که تحت تاثیر حرکات نسبتا سریع یا حتی آه سته زمین ساخت قرار دارند را مشخص نمود (کلر[12]، ۱۹۸۶؛ رامیرز- هریرا[13]، ۱۹۹۸؛ ۳۱۷). به‌طورکلی، می‌توان گفت که شاخص‌های ریخت‌زمین ساخت به‌طور ویژه به‌منظور ارزیابی حرکات زمین‌ساخت فعال مورد استفاده قرار می‌گیر ند (برب نک و اندر سون، ۲۰۰۱؛ ۱۳). از ا ین رو، هدف این پژوهش بررسی میزان فعالیت زمین‌ساخت طاقدیس بانکول وا قع در شمال‌خاوری شهر ستان ا یوان‌غرب با ا ستفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت می‌باشد.

استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به‌عنوان ا بزاری برای ارز یابی و ضعیت زمین ساختی، نخ ستین بار تو سط بال و مک فادن[14](۱۹۷۷) به‌کار گرفته شدند. سپس، تو سط شماری از پژوه شگران دی گر از جم له: را کول و هم کاران[15] (۱۹۸۵)، و لز و

1 - Oberlander
2 - Berberian
3 - Bachmanov et al
4 - Blance et al
5 - Jackson
6 - Verner
7 - Ramsey et al
8 - Tectonic Geomorphology
9 - Stanley et al.
10 - Burbank & Anderson
11 - Tsodoulos et al
12 - Keller
13 - Ramirrez-Herrera
14 - Bull & McFadden
15 - Rockwell et al.

همکاران[1] (۱۹۸۸)، کلر و پینتر[2](۱۹۹۶)، رامیرز- هریرا (۱۹۹۸)، بربنک و اندرسون (۲۰۰۱)، سیلوا و هم کاران[3] (۲۰۰۳)، ک لر و همکاران (۲۰۰۷)، گارنیری و پیروتا[4] (۲۰۰۸)، ه مدونی و هم کاران[5] (۲۰۰۸)، جه‌بو یداف و هم کاران[6] (۲۰۰۹)، فی گوروا و نات[7] (۲۰۱۰)، جیاکونیا و همکاران[8] (۲۰۱۲) و غیره در مناطق گوناگون جهان مورد استفاده قرار گرفته و به گ سترش ا ستفاده از آن ها اقدام نموده‌اند. در ایران نیز با به‌کارگیری این شاخص‌ها پژوهش‌های گوناگونی انجام شده است که در ادامه به بر خی از آن ها ا شاره می‌شود. فرهودی و همکاران ۱۳۸۷ در پژوهشی ریخت‌زمین ساخت طا قدیس گدوان در شمال‌خاوری شیراز را مورد برر سی و مطالعه قرار داده و دریافتند که منطقه مورد بررسی از لحاظ زمین‌ساختی دارای فعالیت شدید بوده و نرخ بالاآمدگی در این منط قه بیش از فرسایش پیشانی کوه می‌باشد، که در حدود یک الی پنج میلی‌متر در سال تخ مین داده‌ا ند. خاوری و هم کاران ۱۳۸۹ در پژوهشی به بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی حوضه کرج برپایه شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت پرداخته و در پا یان، یاف ته‌های ا ین بررسی را به‌عنوان شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (IAT) محاسبه و در چهار رده شامل مناطق بسیار فعال تا مناطق با فعالیت کم تقسیم‌بندی نموده که نشان‌گر فعال بودن حو ضه ا ین رودخا نه می‌با شد. ی مانی و هم کاران ۱۳۸۹ در پژوه شی با ا ستفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به ارزیابی میزان فعالیت نوزمین‌ساخت حوضه آبریز چله در زاگرس شمال‌باختری پرداخته‌اند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که حرکات نوزمین‌ساخت در منطقه به‌صورت بالاآمدگی و حر کات را ستالغز را ست‌بر می‌با شد. یز جردی و همکاران ۱۳۹۰ شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی را بر روی رودخانه ماسرم و طاقدیس پهن مورد بررسی قرار داد ند و دریافت ند که بیشترین فعالیت زمین‌ساختی، در نزدیکی رودخانه ماسرم وجود دارد که به‌دلیل نزدی کی به گ سل کره‌بس می‌با شد به‌طوری که بیشترین میزان فراخاست، در حاشیه کناره خاوری رودخانه ماسرم بر اثر فعالیت گسل کره‌بس می‌باشد. مقصودی و همکاران ۱۳۹۰ به بررسی وضعیت زمین‌ساخت فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئوموفولوژیکی پرداختند و دریافتند که این حوضه فعالیت نوزمین‌ساخت شدیدی دارد و در کلاس یک فعالیت قرار می‌گیرد. انصاری‌لاری و همکاران ۱۳۹۰ با استفاده از روش‌های میدانی، نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، عکس های هوایی و تهیه نقشه ژئومورفولوژی به برر سی ژئومورفولوژی طاقدیس طاهونه در جنوب باختری استان هرمزگان پرداختند. نامبردگان پس از بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی طاقدیس پیش‌گفته دریافتند که عمده‌ترین پدیده کارستی در منطقه دره‌های خشک می‌باشد که بیشترین گسترش آن ها در دام نه جنوبی طاقدیس است. همچنین یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که پدیده‌های دیگری همچون: کارن ها، تافونی و تی غه‌ها با منشاء زمین‌ساختی و برخی دیگر بر اثر انحلال به‌وجود آمده‌اند. بهرامی و همکاران ۱۳۹۲ به تحل یل زمین ساخت ف عال طا قدیس گلیان با استفاده از شاخص‌های مورفوتک تونیکی پرداخت ند. آن ها در پژوهش خود دریافت ند که طا قدیس گل یان از نق طه ن ظر زمین‌ساخت فعال است و میزان فعایت‌های زمین‌ساختی از جنوب‌خاوری طا قدیس به سمت شمال‌باختری آن ا فزایش می‌یا بد. بهرامی و شایان ۱۳۹۲ در بررسی تاثیر زمین‌ساخت در ویژگی‌های مورفومتریک شبکه زهک شی و سطوح مثل شی شکل طا قدیس دنه‌خشک، دریافتند که پارامترهایی همچون سطوح مثلثی شکل، تراکم زهکش های در جه یک و ال گوی زهک شی، شاخص‌های مناسبی برای تعیین زمین‌ساخت‌های فعال و تفاوت‌های محلی آن در طاقدیس مورد بررسی می‌باشند. صفاری و من صوری (۱۳۹۲) در پژوهشی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به ارزیابی میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی بخش بالاد ست حو ضه آبخ یز کنگ یر (ایوان‌غرب) پرداختند و دریافتند که حوضه آبخیز کنگیر دارای وضعیت زمین‌ساختی نسبتا فعالی است و در کلاس یک فعالیت قرار دارد. منصوری و صفاری ۱۳۹۴ در پژوهشی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به تحل یل فعال یت زمین ساختی حو ضه آبخ یز

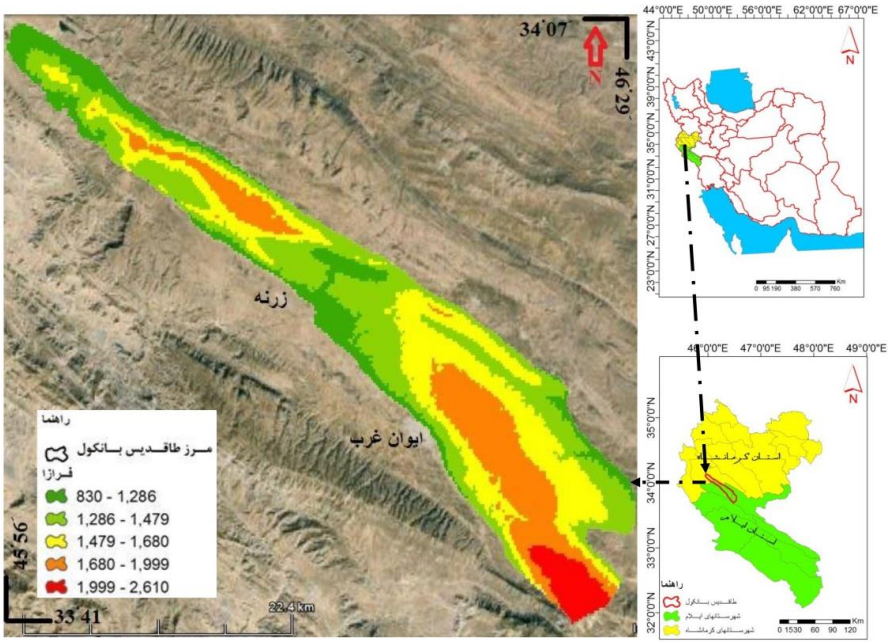
1 - Wells et al.
2 - Keller & Pinter
3 - Silva et al.
4 - Guarnieri & Pirrotta
5 - Hamdouni et al
6 - Jaboyedoff et al
7 - Figueroa & Knott
8 - Giaconia & et al

فرحزاد پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه برپایه شاخص‌های SL، VF، AF، T، SMF، EU، FD و S از لحاظ زمین‌ساختی در وضعیت فعال و تنها برپایه شاخص BS در حا لت نی مه‌فعال قرار دارد. تحل یل ا ین کمیت ها در مج موع نشان‌گر فعال بودن این حوضه در عهد حاضر می‌باشد و حوضه برپایه شاخص IAT در کلاس ۱ قرار می‌گیرد.

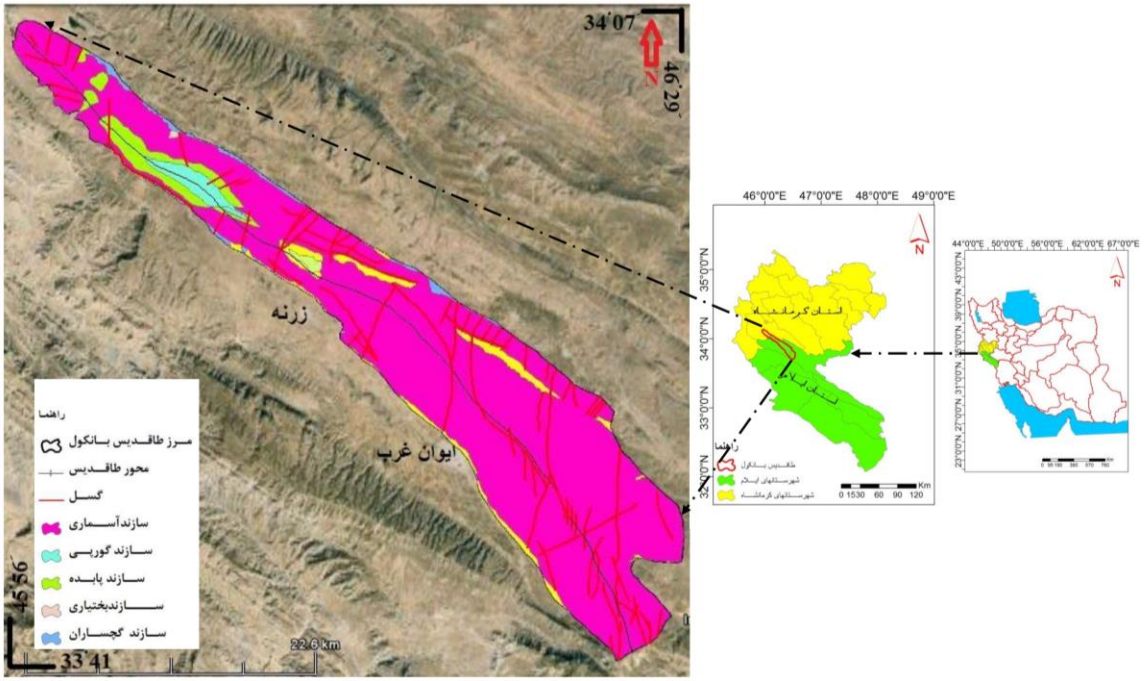
منطقه مورد مطالعه

طاقدیس بانکول در حاشیه مرزی استان‌های باختری ایلام (شهرستان‌های ایوان‌غرب، چرداول) و کرمانشاه (شهرستان گیلان‌غرب) و در راستای پهنای جغرافیایی ´´۱۰ ´۴۱ °۳۳ تا ´´۴۸ ´۰۷ °۳۴ از خط استوا و در راستای درازای جغرافیایی ´´۰۸ ´۵۶ °۴۵ تا ´´۵۶ ´۲۹ °۴۶ خاوری از نیمروز گرینویچ واقع شده (شکل ۱) و بخشی از زاگرس شمال‌باختری (منطقه کرمانشاه و ایلام) می‌باشد (علایی‌طالقانی، ۱۳۸۶؛ ۱۵۴). مساحت طاقدیس مورد پژوهش ۴۷۴/۷۴ کیلومتر مربع و محیط آن نیز ۱۵۸/۳ کیلومتر می‌باشد. به‌طورکلی، محور طاقدیس بانکول به‌پیروی از راستای اصلی رشته‌کوه بزرگ زاگرس، شمال‌باختری- جنوب‌خاوری بوده و دارای فرود محوری یک‌طرفه در سمت شمال‌باختری خود می‌باشد، ولی در سمت جنوب‌خاوری به پرتگاه بلند- قله مانشت، مسلط به شمال و شمال‌خاوری شهر ایلام- ختم می‌شود. در واقع، طاقدیس بانکول همچون میز مایلی است که گوشه جنوب‌خاوری آن بالا آمده (کوه مانشت) و گوشه دیگر آن در سمت شمال‌باختری فرونشسته است (محل فرود محوری طاقدیس). بیشینه فرازای طاقدیس ۲۶۱۰ متر است که در بخش جنوب‌خاوری طاقدیس و منطبق بر قله مانشت می‌باشد. کمینه فرازای آن ۸۲۵ متر می‌باشد که در گوشه شمال‌باختری طاقدیس قرار دارد. درازای طاقدیس تقریبا حدود ۶۸/۲ کیلومتر می‌باشد. بیشینه پهنای طاقدیس حدود ۱۲/۱ کیلومتر می‌باشد که در بخش جنوب‌خاوری آن قرار دارد. همچنین، کمینه پهنای طاقدیس که در بخش شمال‌باختری قرار دارد حدود ۲/۸ کیلومتر است. پهنای بخش میانی نیز ۷/۹ کیلومتر است. دامنه‌های جنوب‌باختری این طاقدیس در تمام راستای برافراشتگی خود به دشت ناودیسی ایوان‌غرب مشرف هستند.

طاقدیس بانکول به‌شدت گسل‌خورده می‌باشد و بیشتر گسل‌های آن از نوع معکوس/ راندگی می‌باشند. مهمترین این گسل‌ها راندگی بانکول می‌باشد که در بخش میانی طاقدیس و در راستای محور آن امتداد یافته، ولی در برخی نقاط شاخه‌هایی از آن به‌صورت عرضی نیز گسترش یافته است. در واقع گسل‌های عرضی و طولی موجود در منطقه مورد پژوهش در بیشتر بخش‌های طاقدیس بانکول به‌صورت متقاطع و عمود بر هم شکل گرفته‌اند. جهت حرکت نسبی افقی بیشتر گسل‌ها نیز در حالت نخست به‌سمت جنوب و در برخی موارد به‌سمت جنوب‌خاوری می‌باشد. به‌طورکلی، طاقدیس بانکول از لحاظ سنگ‌شناسی از سازندهای آسماری، پابده، گورپی، گچساران و بختیاری تشکیل شده است (شکل ۲). بیشتر مساحت این طاقدیس را سازند آسماری (با ۴۳۵/۹۳ کیلومتر مربع) تشکیل می‌دهد. جدول ۱ واحدهای سنگ‌شناسی و سهم هریک را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی طاقدیس بانکول در منطقه و کشور. منبع: تصویر Google Earth و نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ ایلام، ایوان‌غرب، زرنه، گیلان‌غرب و کال‌کش متعلق به سازمان جغرافیایی کشور؛ تهیه‌وترسیم: نگارندگان.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی و سازندهای تشکیل‌دهنده طاقدیس بانکول. منبع: سازمان زمین‌شناسی کشور؛ نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ایلام و کرند و ۱/۲۵۰۰۰۰ قصرشیرین؛ تهیه‌وترسیم: نگارندگان.

جدول ۱. مشخصات سنگ‌شناسی طاقدیس بانکول.

ردیف	واحد سنگ‌شناسی	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)

۱	سازند آسماری	۴۳۵/۹۳	۹۱/۸۲
۲	سازند پابده	۲۱/۵۲	۴/۴۸
۳	سازند گورپی	۹/۵۵	۲/۰۱
۴	سازند گچساران	۷/۴۹	۱/۵۸
۵	سازند بختیاری	۰/۵۲	۰/۱۱
مجموع		۴۷۴/۷۴	۱۰۰

منبع: سازمان زمین‌شناسی کشور؛ نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ایلام و کرند؛ محاسبات از نگارندگان.

داده و روش

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی وضعیت زمین‌ساخت فعال در محدوده طاقدیس بانکول، نخست نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی وارد و پس از زمین‌مرجع نمودن، رقومی شدند. سپس محدوده طاقدیس با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای کوئیک‌برد و نیز طی چندین بار بازدید میدانی مشخص گردید. همچنین، اطلاعات مربوط به سنگ‌شناسی، گسل‌ها و دیگر پارامترهای زمین‌شناسی از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی منطقه به‌دست آمدند. در ادامه، برای دست‌یابی به هدف پژوهش، شماری از شاخص‌های زمین‌ریختی که توانایی بالایی در ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی طاقدیس‌ها دارند برگزیده شدند. این شاخص‌ها بر روی تصاویر ماهواره کوئیک‌برد و نقشه‌های توپوگرافی منطقه، برای طاقدیس بانکول مورد محاسبه و اندازه‌گیری قرار گرفتند. این شاخص‌ها عبارتند از: شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان (SMF)[1]، سطوح چندضلعی یا مثلثی شکل (FMF)[2]، تقارن چین‌خوردگی (FSI)[3]، پیچ‌وخم جبهه چین (FFS)[4]، درصد بخش های بریده‌شده جبهه کوهستان(FD)[5]، درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان(EU)[6] و نسبت جهت (AR)[7]. در پایان یافته‌های کمّی به‌دست آمده، توسط چندین بار بازدید و بررسی میدانی کنترل گردیدند. آنچه در پی می‌آید تجزیه‌وتحلیل یافته‌های به‌دست آمده از به‌کارگیری این شاخص‌ها برای طاقدیس بانکول واقع در زاگرس چین‌خورده می‌باشد.

بحث و یافته‌های پژوهش

الف) شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان (SMF)

شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان برپایه معادله زیر تعریف شده است (بال و مک‌فادن، ۱۹۷۷؛ بال، ۱۹۷۸):

$$Smf = Lmf/Ls$$

که در آن Lmf درازای جبهه کوهستان/ طاقدیس در راستای کوهپایه و در محل خط شکست شیب یا خط کنتور یک و Ls درازای جبهه کوهستان/ طاقدیس به خط مستقیم می‌باشد. این شاخص نشانگر موازنه بین فرایندهای فرساینده جبهه کوهستان که تمایل به بریدن جبهه کوهستان دارند و نیز زمین‌ساخت‌های فعال عمودی، آن‌هم اغلب همزمان با چین‌ها و گسل‌های فعال که متمایل به تولید جبهه‌های کوهستانی مستقیم هستند، می‌باشد (بال و مک‌فادن، ۱۹۷۷؛ کلر، ۱۹۸۶؛ همدونی و همکاران، ۲۰۰۸). ساده‌ترین و سریع‌ترین راه برای محاسبه و به‌دست آوردن مقادیر مربوط به این شاخص، استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ترجیحا بزرگ مقیاس (برای مثال: نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ یا ۱/۵۰۰۰۰) یا عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا می‌باشد. مقادیر پایین (یعنی: مقادیر کم‌تر از ۱/۴) شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان نشان‌دهنده جبهه زمین‌ساختی فعال و مقادیر بالاتر شاخص (معمولا بیشتر

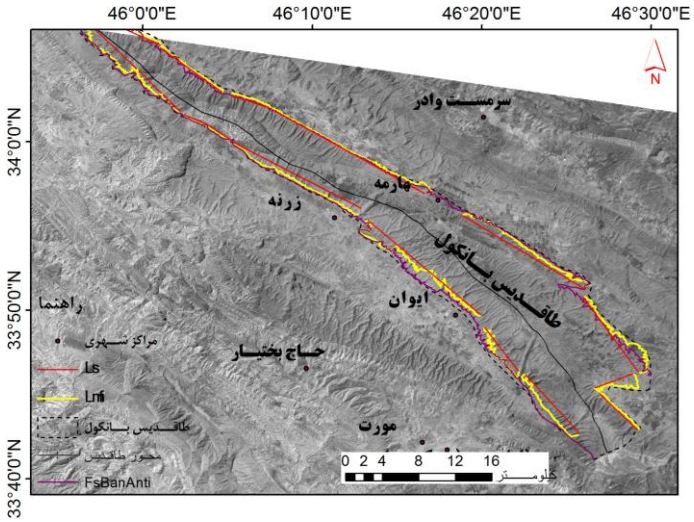
1- Mountain Front Sinuosity (SMF)
2- Mountain Front Facet (FMF)
3- Fold Symmetry Index (FSI)
4- Fold Front Sinuosity (FFS)
5- Percentage Dissected Mountain Fronts (FD)
6- Percentage Undissected Escarpments (EU)
7- Aspect Ratio (AR)

از ۳) مربوط به جبهه‌های غیرفعال هستند (راکول و همکاران، ۱۹۸۵؛ کلر، ۱۹۸۶). شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان در دو جبهه جنوب‌باختری و شمال‌خاوری طاقدیس بانکول محاسبه گردید (شکل ۳). مقادیر عددی به‌دست آمده برای جبهه‌های جنوب‌باختری و شمال‌خاوری این طاقدیس به‌ترتیب ۱/۳۲ و ۱/۳۶ و میانگین آن عدد ۱/۳۴ می‌باشد. با توجه به مقادیر کمی به‌دست آمده مشخص می‌گردد که این طاقدیس دارای فعالیت نوزمین‌ساختی بالایی است و در کلاس یک فعالیت جای می‌گیرد (جدول ۲). از جمله شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه مورد پژوهش که می‌توانند میزان پایین این شاخص را تایید نمایند، به وجود راندگی و پرتگاه‌های گسلی (شکل ۴)، عدم تشکیل واحد کوهپایه در منطقه و نیز وجود دره های ژرف و باریک در دامنه‌های طاقدیس بانکول می‌توان اشاره نمود (شکل ۵). در واقع وجود این شواهد نشان‌دهنده جوان بودن این طاقدیس و فعال بودن حرکات نوزمین‌ساختی در آن است.

جدول ۲. مقادیر عددی مربوط به اندازه‌گیری شاخص SMF در طاقدیس بانکول.

طاقدیس بانکول	Lmf (KM)	Ls (KM)	SMF	میانگین
جبهه جنوب‌باختری	۹۰/۴۳	۶۸/۵۶	۱/۳۲	۱/۳۴
جبهه شمال‌خاوری	۹۱/۷۱	۶۷/۳۲	۱/۳۶	

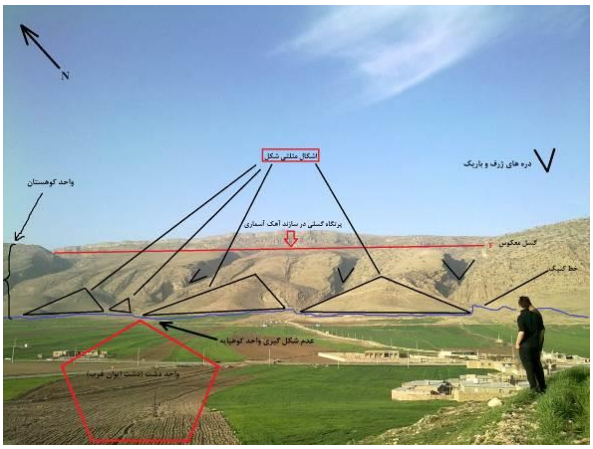
منبع: نگارندگان.



شکل ۳: نحوه محاسبه شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان و پیچ‌وخم جبهه چین در دامنه‌های شمال‌خاوری و جنوب‌باختری طاقدیس بانکول.

منبع: تصویر ماهواره لندست؛ تهیه‌وترسیم: نگارندگان.

شکل ۴. نمایی از راندگی بانکول (ناودار) و پرتگاه‌های گسلی که باعث ایجاد جبهه‌های مستقیم در طاقدیس بانکول شده است. نگاه به سمت شمال؛ منبع: نگارندگان.



شکل ۵. برخی از شواهد ژئومورفولوژیکی دال بر وجود فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در طاقدیس بانکول؛ نگاه به سمت شمال‌خاوری منبع: نگارندگان.

ب) شاخص پیچ‌وخم جبهه چین/ طاقدیس (FFS)

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

$$FFS= Fs/ L$$

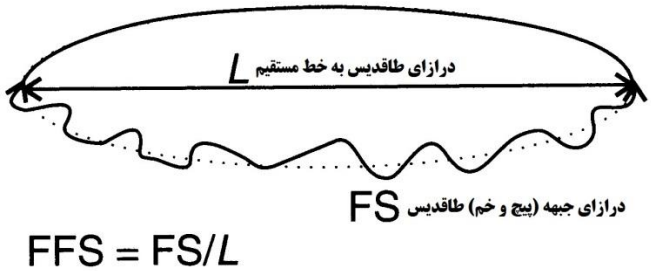
که در آن Fs درازای جبهه طاقدیس و L درازای طاقدیس به‌خط مستقیم می‌باشد. این شاخص از تقسیم درازای واقعی جبهه کوهستان یا طاقدیس (منطبق بر محل انحنای جبهه) به درازای محور طاقدیس به‌خط مستقیم به‌دست می‌آید (شکل ۶). از این شاخص می‌توان برای مشخص نمودن انواع چین‌ها [چین‌های متقارن یا نامتقارن] (باربری و همکاران، ۲۰۱۰؛ ۱۴۳) و به‌پیروی از آن مشخص نمودن وضعیت حرکات و فعالیت های زمین ساختی یک منطقه استفاده نمود. ارزش عددی بالاتر این شاخص نشان‌دهنده وجود بریدگی‌ها و شکاف‌های بیشتر (یعنی: عملکرد بیشتر فرسایش) در جبهه کوهستان/ طاقدیس می‌باشد و بنابراین وجود یک ساختار چین‌خوردگی قدیمی‌تر را نشان می‌دهد (آزور و همکاران، ۲۰۰۲؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳؛ باربری و همکاران، ۲۰۱۰). اما ارزش عددی پایین‌تر این شاخص وجود چین‌خوردگی‌های جوان و کمتر فرسایش‌یافته را مشخص می‌نماید. شاخص پیچ‌وخم جبهه چین یا جبهه طاقدیس در یال‌های جنوب‌باختری و شمال‌خاوری طاقدیس بانکول محاسبه شد (شکل ۳) و میانگین آن مقدار عددی ۱/۳۱ می‌باشد (جدول ۳). همانطور که جدول زیر نشان می‌دهد مقادیر پایین این شاخص در طاقدیس بانکول

گویای چین‌خوردگی جوان آن و تاثیر نه‌چندان زیاد فرایندهای فرسایشی در جبهه‌های دو طرف آن می‌با شد. در وا قع، ارزش های کمّی این شاخص نشانگر تداوم فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در این طاقدیس می‌باشد.

جدول ۳. مقادیر عددی اندازه‌گیری‌شده شاخص FFS در طاقدیس بانکول.

طاقدیس بانکول	Fs (KM)	L (KM)	FFS	میانگین
جبهه جنوب‌باختری	۸۹/۳	۶۸/۲	۱/۳۰	۱/۳۱
جبهه شمال‌خاوری	۹۱/۲	۶۸/۲	۱/۳۳	

منبع: نگارندگان.



شکل ۶. شیوه نمادین اندازه‌گیری شاخص FFS در یک طاقدیس فرضی. منبع: باربری و همکاران، ۲۰۱۰؛ ۱۴۴.

ج) شاخص اشکال مثلثی شکل/ چند وجهی جبهه کوهستان/ طاقدیس (FMF)

این شاخص برپایه رابطه زیر محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود:

FMF= (Lf/ Ls) 100

که در آن Lf مجموع درازای اشکال مثلثی یا چند وجهی و Ls درازای جبهه کوهستان به‌خط مستقیم می‌باشد. در مناطق فـ عال زمین‌ساختی، فعالیت گسل‌ها و تداوم حرکت آنها سبب تشکیل اشکال مثلثی یا چند وجهی بزرگ و پیوسته به‌همراه در صد بالایی از وجود این اشکال می‌گردد (ولز و همکاران، ۱۹۸۸). بنابراین، وجود درصد بالای چنین اشکالی در هر منط قه‌ای گو یای و ضعیت زمین‌ساختی شدید می‌باشد. این شاخص بر روی جبهه‌های جنوب‌باختری و شمال‌خاوری طاقدیس بانکول مورد ا ندازه‌گیری قرار گرفت. ارزش‌های عددی به‌دست آمده از این شاخص برای طاقدیس بانکول در جدول ۴ ارایه شده است که ن شانگر و جود حر کات شدید نوزمین‌ساختی در این طاقدیس است. با توجه به گسل‌خوردگی شدید طاقدیس بانکول و نیز اینکه درصد چ شمگیری از ا ین طاقدیس (یعنی: چیزی حدود بیش از ۳/۴ مساحت طاقدیس)، از سازند مقاوم آهک آسماری تشکیل شده (شکل ۲ و جدول ۱)، بنابراین تداوم حرکات نوزمین‌ساختی ناشی از حرکت گسل‌ها باعث شکل‌گیری ا شکال چ ند وج هی گو ناگونی در ا ین طا قدیس گردیده است (شکل‌های ۵ و ۷).

جدول ۴. مقادیر عددی اندازه‌گیری شده شاخص FMF در طاقدیس بانکول.

طاقدیس بانکول	Lf (KM)	Ls (KM)	FMF	میانگین
جبهه جنوب‌باختری	۵۹/۷	۶۸/۲	۸۷/۵	۸۱
جبهه شمال‌خاوری	۵۰/۸	۶۸/۲	۷۴/۵	

منبع: نگارندگان.

شکل ۷: نمایی از شکل‌گیری سطوح مثلثی‌شکل مسلط بر شهر ایوان‌غرب در یال جنوب‌باختری طاقدیس بانکول؛ نگاه به سمت شمال‌خاوری. منبع: نگارندگان.

د) شاخص تقارن چین/ طاقدیس (FSI)

یکی دیگر از شاخص‌هایی که می‌توان از آن برای مشخص نمودن انواع چین‌ها و وضعیت فعالیت‌های زمین ساختی ا ستفاده ن مود، شاخص تقارن طاقدیس یا جبهه چین می‌باشد که به شکل زیر تعریف شده است:

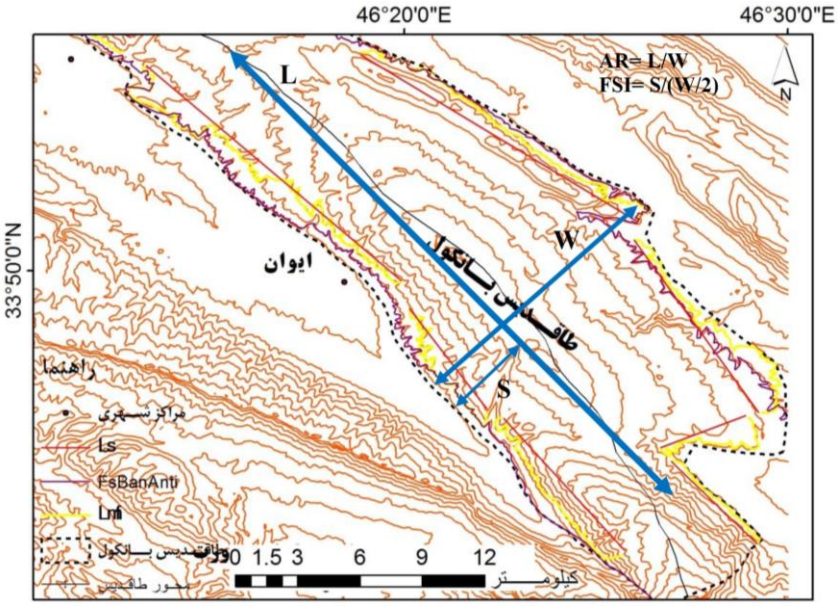
FSI= S/ (W/2)

که در آن S پهنای پهلو یا یال کوتاه‌تر طاقدیس و W پهنای طاقدیس (W/2 نصف پهنای طاقدیس) مورد نظر می‌باشد. ب نابراین، شاخص تقارن طاقدیس از تقسیم نمودن پهنای یال کوتاه‌تر طاقدیس بر نصف پهنای آن به‌د ست می‌آ ید (شکل ۸). در چین های متقارن، ارزش عددی این شاخص برابر عدد یک خواهد بود، ولی در طاقدیس‌های نامتقارن و ناهن جار، ارزش عددی آن مع مولا از عدد یک کمتر می‌باشد (باربری و همکاران، ۲۰۱۰؛ ۱۴۳). از این‌رو، ارزش عددی بالای این شاخص نشان‌دهنده تاثیر کم یا عدم تاثیر حرکات زمین‌ساختی در منطقه و تشکیل طاقدیس‌های متقارن خواهد بود. اما به هر میزان که ارزش عددی به‌د ست آ مده از عدد یک کمتر باشد نشانگر وجود حرکات و فعالیت‌های زمین‌ساختی است، به‌طوری‌که ا ین حر کات با عث ت شکیل طا قدیس‌های نامتقارن همراه با عملکرد گسل‌ها و شکستگی‌ها در آن می‌انجامد. ارزش عددی اندازه‌گیری‌شده این شاخص برای طا قدیس بانکول ۰/۶۹ به‌دست آمد (جدول ۵) که نشان‌دهنده تداوم حر کات نوزمین ساختی در قا لب درز و شکاف‌های زمین ساختی و عمل کرد راندگی و گسل‌های گوناگون در طاقدیس بانکول می‌باشد (شکل ۲).

جدول ۵. مقادیر عددی اندازه‌گیری‌شده شاخص FSI در طاقدیس بانکول.

نام طاقدیس	S (KM)	W/2 (KM)	FSI
بانکول	۸/۲۳	۱۱/۹۹	۰/۶۹

منبع: سازمان جغرافیایی کشور؛ نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ ایلام، ایوان‌غرب، زرنه، گیلان‌غرب، کال‌کش؛ محاسبات از نگارندگان.



شکل ۸. شیوه نمادین اندازه‌گیری شاخص‌های FSI و AR در بخشی از طاقدیس بانکول. اندازه‌گیری پهنای طاقدیس (W)، درازای طاقدیس (L) و نصف پهنای طاقدیس (S) با استفاده از خطوط تراز منحنی، به‌منظور محاسبه شاخص نسبت جهت (AR) و شاخص پیچ‌وخم جبهه چین یا طاقدیس (FSI). خط نقطه‌چین نشان‌دهنده خط شکست شیب (خط کنیک) و به‌دنبال آن شکل‌گیری طاقدیس می‌باشد. منبع: نگارندگان.

ر) شاخص نسبت جهت (AR)

از دیگر شاخص‌های مورفومتری که می‌توان از آن برای تعیین میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه استفاده کرد، شاخص نسبت جهت می‌باشد. این شاخص برپایه رابطه زیر (باربری و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۴۲۳، باربری و همکاران، ۲۰۱۰؛ ۱۴۳) اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود:

AR= L/ W

که در اینجا L درازای طاقدیس و W بیشینه پهنای طاقدیس می‌باشد (شکل ۸). برپایه این رابطه، هرچقدر ارزش عددی به‌دست آمده بیشتر باشد گویای حرکات نوزمین‌ساختی بالا و هرچقدر مقدار به‌دست آمده کم باشد نشانگر فعالیت نوزمین ساختی پایین در منطقه می‌باشد. با محاسبه این شاخص در طاقدیس بانکول عدد ۵/۶۴ به دست آمد (جدول ۶). بالا بودن مقدار عددی این شاخص، وضعیت نوزمین‌ساختی فعال این طاقدیس را نشان می‌دهد.

جدول ۶. مقادیر عددی اندازه‌گیری‌شده شاخص AR در طاقدیس بانکول.

نام طاقدیس	L (KM)	W (KM)	AR
بانکول	۶۸/۲	۱۲/۱	۵/۶۴

منبع: سازمان جغرافیایی کشور؛ نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ ایلام، ایوان‌غرب، زرنه، گیلان‌غرب، کال‌کش؛ منبع: نگارندگان.

ز) شاخص درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان/ طاقدیس (FD)

برای اندازه‌گیری شاخص درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان یا طاقدیس برپایه رابطه زیر اقدام می‌شود:

FD= Lmfd/ Ls

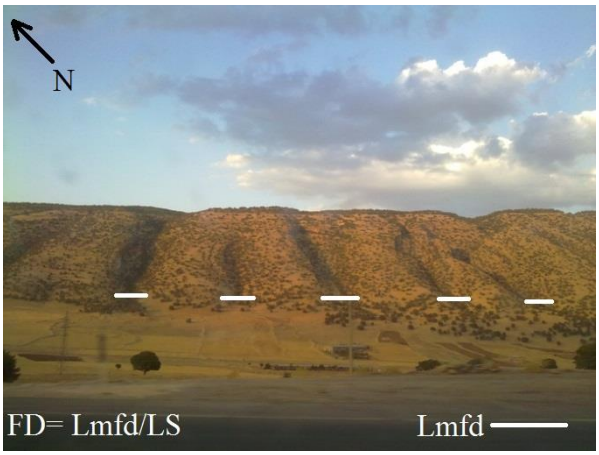
که در آن Lmfd درازای بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان و Ls درازای جبهه کوهستان به‌خط مستقیم می‌باشد. معمولا در مناطق فعال زمین‌ساختی، جبهه‌های کوهستانی کمتر دچار بریدگی و گسستگی می شوند، زیرا حرکات زمین ساختی جبهه‌ها و

پرتگاه‌های بریده‌نشده یا کمتر بریده‌شده‌ای را ایجاد می‌نمایند. ارزش عددی مربوط این شاخص به‌صورت عددی اعشاری بین ۱-۰ نشان داده می‌شود. بدین‌ترتیب، به هر میزان که ارزش عددی به دست آمده از یک کمتر باشد نشان‌دهنده وضعیت فعال زمین‌ساختی و هر اندازه ارزش عددی اندازه‌گیری‌شده به عدد یک نزدیک‌تر باشد گویای وضعیت غیر فعال زمین‌ساختی خواهد بود. مقادیر عددی به‌دست آمده برای شاخص درصد بخش‌های بریده‌شده در جبهه‌های جنوب‌باختری و شمال‌خاوری طاقدیس بانکول در جدول ۷ نشان داده شده است. مقادیر کمّی پایین به‌دست آمده برای این شاخص به‌همراه وجود دره های ژرف و باریک نشان‌دهنده وجود فعالیت بالای نوزمین‌ساختی در طاقدیس بانکول می‌باشد (شکل ۹).

جدول ۷. مقادیر عددی اندازه‌گیری‌شده شاخص FD در طاقدیس بانکول.

طاقدیس بانکول	Lmfd (KM)	Ls (KM)	FD	میانگین
جبهه جنوب‌باختری	۱۷/۸۳	۶۸/۲	۰/۲۶	۰/۲۱
جبهه شمال‌خاوری	۱۱/۷	۶۸/۲	۰/۱۷	

منبع: نگارندگان.



شکل ۹. نمایی از بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان در طاقدیس بانکول، نگاه به سمت شمال‌خاوری. منبع: نگارندگان.

ح) شاخص درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان/ طاقدیس (EU)

از شاخص‌های دیگری که به‌منظور ارزیابی وضعیت زمین‌ساختی مناطق کوهستانی می‌توان از آن بهره گرفت، شاخص درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان می‌باشد که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$EU= Lce/Ls$$

در اینجا Lce درازای بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان و Ls درازای جبهه کوهستان به‌خط مستقیم می‌باشد. در واقع، این شاخص در نقطه برابر شاخص بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان (FD) قرار می‌گیرد. به دیگر سخن، در شاخص (FD) در صد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان اندازه‌گیری می‌شود، ولی در شاخص (EU) فاصله مابین بخش‌های بریده‌نشده که معمولا به شکل پرتگاه‌های کوهستانی نمود پیدا می‌کنند، محاسبه می‌گردد. در مناطق فعال زمین‌ساختی با توجه به تداوم و عملکرد حرکات نوزمین‌ساختی معمولا ارزش عددی این شاخص بالا می‌باشد. این درحالی است که در مناطق زمین‌ساختی غیرفعال یا با فعالیت کم زمین‌ساختی، به دنبال غلبه فرایندهای فرسایشی و به‌ویژه فرسایش روان‌آب ها، ارزش عددی این شاخص پایین خواهد بود. محاسبات مربوط به این شاخص برای طاقدیس بانکول در جدول ۸ آورده شده است که همچون سایر شاخص‌ها گویای وضعیت نوزمین‌ساختی فعال در این طاقدیس می‌باشد. در واقع تداوم حرکات نوزمین‌ساختی در محدوده طاقدیس بانکول سبب شده است تا فرایندهای فرسایشی امکان فعالیت چندانی نداشته باشند و عمده فعالیت آنها به ایجاد دره‌های باریک و ژرفی که فاصله بین آنها

نیز زیاد می‌باشد، محدود شده است. در واقع، وجود فاصله نسبتا زیاد بین بر یدگی‌های جب هه کوه ستان به شکل دره های ژرف و باریک از نشانه‌های وجود زمین‌ساخت فعال در این منطقه می‌باشد (شکل ۱).

جدول ۸. مقادیر عددی اندازه‌گیری‌شده شاخص EU در طاقدیس بانکول.

طاقدیس بانکول	Lce (KM)	Ls (KM)	EU	میانگین
جبهه جنوب‌باختری	۴۹/۱۲	۶۸/۲	۰/۷۲	۰/۷۵
جبهه شمال‌خاوری	۵۴/۴۵	۶۸/۲	۰/۷۹	

منبع: نگارندگان.

شکل ۱۰. نمایی از بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان در طاقدیس بانکول، نگاه به سمت شمال‌خاوری. منبع: نگارندگان.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مقاله بررسی وضعیت زمین‌ساخت فعال طاقدیس بانکول واقع در شمال‌خاوری شهرستان ا یوان‌غرب در حد فا صل بین استان‌های ایلام و کرمانشاه می‌باشد. از این رو، برای دست‌یابی به هدف خود از شاخص‌های ریخت‌زمین ساختی گو ناگونی از جمله: شاخص پیچ‌وخم جبهه کوهستان (SMF)، سطوح چند ضلعی یا مثلثی شکل (FMF)، ت قارن چین خوردگی (FSI)، پیچ‌وخم جبهه چین (FFS)، درصد بخش‌های بریده‌شده جبهه کوهستان (FD)، درصد بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوه ستان (EU) و ن سبت جهت (AR) استفاده شده است. دلیل استفاده از این شاخص‌ها این است که شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی در بررسی‌های مر بوط به زمین‌ساخت‌های فعال ابزار مفید و کارآمدی هستند (بال و مک‌فادن، ۱۹۷۷؛ آزور و همکاران، ۲۰۰۲؛ کلر و پینتر، ۲۰۰۲؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳؛ مولین و همکاران، ۲۰۰۴؛ همدونی و همکاران، ۲۰۰۸)؛ به‌طوری‌که استفاده از این شاخص‌ها پیش تر به‌عنوان ابزاری گران‌بها و سودمند در مناطق فعال زمین‌ساختی در نواحی گوناگون توسط پژوهشگران متعددی، برای مثال تو سط را کول و همکاران ۱۹۸۵ در جنوب‌باختری ایالات متحده آمریکا، توسط ولز و همکاران ۱۹۸۸ در سواحل اق یانوس آرام در کا ستاریکا و ن یز توسط سیلوا ۱۹۹۴ در ساحل مدیترانه در اسپانیا و غیره آزمایش شده و کارایی آنها به اثبات رسیده است. یافته‌های به‌د ست آ مده برای هر یک از این شاخص‌ها به شرح زیر می‌باشد.

مقدار عددی به‌دست آمده برای شاخص SMF=1.34 می‌باشد. مقدار کم این شاخص گو یای ا ین ا ست که طا قدیس بانکول فعالیت نوزمین‌ساختی بالایی دارد و در کلاس یک فعالیت زمین‌ساختی جای می‌گیرد. از جمله دلایل تایید کننده مقدار پایین ا ین شاخص می‌توان به عدم تشکیل واحد کوهپایه در دو طرف طاقدیس بانکول اشاره کرد.

با محاسبه شاخص FMF در طاقدیس بانکول عدد ۸۱ به‌دست آمد که نشان‌دهنده بالا بودن حرکات نوزمین ساختی در این منطقه می‌باشد. از جمله دلایلی و شواهد ژئومورفولوژیکی که مقدار بالای این شاخص را تایید می‌نمایند می‌توان به وجود سطوح چند وجهی، راندگی بانکول (ناودار) و پرتگاه‌های گسلی در جبهه کوهستان و نیز عدم تشکیل واحد کوهپایه در منطقه اشاره نمود. این شواهد ژئومورفولوژیکی نشانگر وجود فعالیت‌های نوزمین‌ساختی ناشی از حرکت گسل‌ها و راندگی ناودار به‌صورت فراخاست در طاقدیس بانکول بوده و مقادیر کمّی به‌دست آمده برای شاخص‌های SMF و FMF را تایید می‌نمایند.

مقدار پایین شاخص FFS=1.31 به‌دست آمده برای طاقدیس بانکول نشان‌دهنده جوان بودن چین خوردگی و تداوم حرکات نوزمین‌ساختی بر پیکره این طاقدیس می‌باشد.

شاخص FSI برای طاقدیس بانکول محاسبه شد و مقدار عددی ۰/۶۹ به‌دست آمد که نشانگر تداوم تاثیر حرکات و فشارهای زمین‌ساختی در قالب عملکرد گسل‌ها و شکستگی‌های زمین‌ساختی بر این طاقدیس است. در واقع وجود فشارهای زمین ساختی شدید باعث ایجاد طاقدیسی با یال‌های نامتقارن در منطقه شده است.

مقدار عددی به‌دست آمده برای شاخص AR در طاقدیس بانکول برابر با عدد ۵/۶۴ می‌باشد که گویای تداوم و تاثیر شدید حرکات زمین‌ساختی بر پیکره این طاقدیس می‌باشد. در واقع، طاقدیس بانکول بر اثر تداوم حرکات شدید نوزمین ساختی دارای درازای بیشتر و پهنای کمتری است. به دیگر سخن، نسبت کم پهنا به درازای طاقدیس بانکول گویای فشردگی این طاقدیس تحت تاثیر حرکات نوزمین‌ساختی می‌باشد.

به دلیل عملکرد فعالیت‌های زمین‌ساختی در جبهه‌های کوهستانی فعال، مقدار عددی شاخص FD پایین خواهد بود، چرا که این نیروها به ایجاد جبهه‌های کوهستانی مستقیم و خطی با برجستگی کم تمایل دارند. در واقع، این شاخص متاثر از عملکرد گسل‌هایی است که در مناطق حاشیه‌ای جبهه‌های کوهستانی فعالیت دارند. محاسبه این شاخص بر روی طاقدیس بانکول مقدار عددی ۰/۲۱ را نشان می‌دهد. مقدار پایین شاخص FD در طاقدیس بانکول که گویای تداوم حرکات نوزمین ساختی در منطقه می‌باشد با دره‌های ژرف و باریک منطقه مورد تایید قرار می‌گیرد.

در مناطق فعال زمین‌ساختی جبهه‌های کوهستانی پرتگاه‌های بریده‌شده کمتری دارند، از این رو مقداری عددی شاخص EU در این مناطق بالا خواهد بود. میزان محاسبه‌شده شاخص EU برای طاقدیس بانکول برابر با ارزش عددی ۰/۷۵ به‌دست آمد و همچون دیگر شاخص‌های محاسبه‌شده گویای تداوم حرکات نوزمین‌ساختی در طاقدیس بانکول می‌باشد.

شایان گفتن می‌باشد که با توجه و دقت در نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد پژوهش مشخص می‌گردد که بخش بسیار بزرگی از طاقدیس بانکول (بیش از ۳/۴) از سازند مقاوم آهک آسماری تشکیل شده است. در واقع، آهک آسماری به‌عنوان سومین واحد مهم سنگ‌شناسی و دومین افق صخره‌ساز در چشم‌انداز زاگرس به‌شمار می‌رود. این سازند عمدتا بالاترین لایه‌های طاقدیس‌های سالم را در زاگرس تشکیل می‌دهد (علایی‌طالقانی، ۱۳۸۶؛ ۱۴۸). از این‌رو، وجود این سازند باعث محافظت بخش بزرگی از طاقدیس بانکول در برابر نیروهای فرسایشی شده است و بر ارزش عددی به‌دست برخی از شاخص‌ها از جمله FMF، EU، FD، FFS موثر بوده است. زیرا وجود این سازندِ مقاوم، موجب شکل‌گیری پرتگاه‌های خطی در طاقدیس بانکول شده و به ضرر فرایندهای فرسایشی عمل نموده است.

در پایان می‌توان چنین گفت که یافته‌های کمّی به‌دست آمده از بررسی و محاسبه شاخص‌های ریخت‌زمین ساختی مورد استفاده بر روی طاقدیس بانکول، نشان‌دهنده تداوم فعالیت‌های نوزمین‌ساختی و وضعیت زمین‌ساخت فعال این طاقدیس می‌باشد (جدول‌های ۲ تا ۹). این یافته‌ها با شواهد و لندفرم‌های کواترنری منطقه انطباق دارند. در واقع، از آنجایی‌که لندفرم‌های کواترنری سنی جوان دارند، هنوز تحت تاثیر فعالیت‌های نوزمین ساختی کواترنری و عصر حاضر می‌باشند. بنابراین چنین لندفرم‌هایی می‌توانند به‌عنوان شواهد گویایی از فعالیت‌های نوزمین‌ساخت در نظر گرفته شوند. از این رو، با استناد به شواهد ژئومورفولوژیکی ناشی از تداوم حرکت گسل‌های فعال از جمله ایجاد سطوح چند وجهی، پرتگاه‌های گسلی مستقیم و خطی، دره‌های ژرف و باریک

V شکل، درصد کم بریدگی‌های جبهه کوهستان، کشیدگی زیاد و پهنای کم طاقدیس نسبت به درازای آن و عدم تشکیل واحد کوهپایه، وجود و تداوم حرکات فعال نوزمین‌ساختی کواترنری و عصر حاضر در منطقه مورد پژوهش مورد تایید قرار می‌گیرد.

جدول ۹. ارزش‌های عددی به‌دست آمده از محاسبه شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی مورد استفاده در طاقدیس بانکول.

ردیف	منطقه مورد پژوهش	شاخص	جبهه طاقدیس	ارزش عددی شاخص	میانگین	وضعیت زمین‌ساختی
۱	طاقدیس بانکول	SMF	جبهه جنوب‌باختری	۱/۳۲	۱/۳۴	زمین‌ساخت فعال
			جبهه شمال‌خاوری	۱/۳۶		زمین‌ساخت فعال
۲		FFS	جبهه جنوب‌باختری	۱/۳۰	۱/۳۱	زمین‌ساخت فعال
			جبهه شمال‌خاوری	۱/۳۳		زمین‌ساخت فعال
۳		FMF	جبهه جنوب‌باختری	۸۷/۵	۸۱	زمین‌ساخت فعال
			جبهه شمال‌خاوری	۷۴/۵		زمین‌ساخت فعال
٤		FD	جبهه جنوب‌باختری	۰/۲۶	۰/۲۱	زمین‌ساخت فعال
			جبهه شمال‌خاوری	۰/۱۷		زمین‌ساخت فعال
۵		EU	جبهه جنوب‌باختری	۰/۷۲	۰/۷۵	زمین‌ساخت فعال
			جبهه شمال‌خاوری	۰/۷۹		زمین‌ساخت فعال
٦		FSI	طاقدیس بانکول	۰/۶۹	–	زمین‌ساخت فعال
۷		AR	طاقدیس بانکول	۵/۶۴	–	زمین‌ساخت فعال

منبع: نگارندگان.

سپاسگزاری:

در پایان شایسته است تا نویسندگان مقاله از جناب آقایان: ضیاء، سجاد و محمد حسین منصوری به‌خاطر فراهم‌نمودن امکانات لازم جهت انجام بازدیدهای میدانی متعدد از منطقه و نیز به‌خاطر کمک‌های بی‌دریغی که در همراهی خود در حین انجام کار های میدانی نسبت به نویسندگان مقاله داشته‌اند، سپاسگزاری ویژه نموده و برای آنها از خداوند متعال سلامتی و موفقیت روزافزون طلب نمایند.

منابع

۱- انصاری‌لاری، احمد، ثروتی، محمد رضا، رعیتی، زینب، ۱۳۹۰؛ بررسی ژئومورفولوژی طاقدیس طاهونه، لارستان، مجله جغرافیای طبیعی، سال چهارم، شماره ۴، صص: ۸۶-۷۳.

۲- ثروتی، محمد رضا، ۱۳۸۷؛ ژئومورفولوژی منطقه‌ای ایران، تهران، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، چاپ دوم.

۳- خاوری، رضوان، قرشی، منوچهر، آرین، مهران، خسروتهرانی، خسرو، ۱۳۸۷؛ نشانه‌های زمین‌ریخت‌شناسی زمین ساخت فعال حوضه رودخانه کرج در دامنه جنوبی البرز مرکزی، شمال ایران، تهران، مجله علوم زمین، سال ۱۹، شماره ۷، صص ۷۴-۶۷.

۴- درویش زاده، علی و محمدی، مهین، ۱۳۸۴؛ زمین شناسی ایران (رشته جغرافیا)، تهران، انتشارات دانشگاه پیام‌نور، چاپ نخست.

۵- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۱۳۴۹؛ تهران، نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ گیلان‌غرب، برگ شماره ۵۱۵۸ II.

۶- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۱۳۵۰؛ تهران، نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ ایلام، برگ شماره ۵۲۵۷ II.

۷- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۱۳۵۱؛ تهران، نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ جویزر، برگ شماره ۵۲۵۷ I.

۸- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۱۳۷۶؛ تهران، نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ زرنه، برگ شماره ۵۲۵۷ IV.

۹- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۱۳۸۴؛ تهران، نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ ایوان‌غرب، برگ شماره ۵۲۵۷ I.
۱۰-سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۲۰۰۸، تهران، تصویر ماهواره IRS.
۱۱-سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۲۰۱۰، تهران، تصویر ماهواره Landsat سری سنجنده ETM^+.
۱۲-سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۴؛ تهران، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کرند، برگ شماره ۵۲۵۸.
۱۳-سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۱۳۷۵؛ نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ایلام، برگ شماره ۵۲۵۷.
۱۴-شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۸۸؛ تهران، نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ قصرشیرین، برگ شماره B6.
۱۵- صفاری، امیر، منصوری، رضا، ۱۳۹۲؛ ارزیابی نسبی فعالیت های زمین ساختی 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.
۱۶-علایی طالقانی، محمود، ۱۳۸۶؛ ژئومورفولوژی ایران، تهران، انتشارات قومس، چاپ چهارم.
۱۷-فرهودی، قدرت‌الله، کرم‌پور، امین، رضایی کاونرودی، زهره، ۱۳۸۷؛ مورفوتکتونیک تاقدیس گدوان (شمال شرق شیراز)، زاهدان، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۴، شماره ۱، صص: ۵۵-۴۹.
۱۸-محمودی، فرج‌الله، ۱۳۸۶؛ ژئومورفولوژی ساختمانی، تهران، انتشارات دانشگاه پیام‌نور، چاپ نخست.
۱۹-مقصودی، مهران، جعفری‌اقدم، مریم، باقری‌سیدشکری، سجاد، مینایی، مسعود، ۱۳۹۰؛ بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، زاهدان، مجله جغرافیا و توسعه، سال ۹، شماره ۲۵، صص: ۱۳۶-۱۱۱.
۲۰-منصوری، رضا، صفاری، امیر، ۱۳۹۴؛ تحلیل فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز فرحزاد از طریق شاخص‌های ژئومورفیک، تهران، مجله اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۴، شماره ۹۵، صص: ۱۰۵-۹۳.
۲۱-یزجردی، کورس، فرهودی، قدرت‌الله، کارگر، شهرام، ممتحن، مرضیه،۱۳۹۰؛ بررسی شاخص‌های ریخت‌زمین ساختی بر روی رودخانه ماسرم و طاقدیس پهن، زاهدان، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۷، شماره ۲، صص: ۱۸۶-۱۷۷.
22- 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.
23- 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.
24- 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.
25- Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2001; Tectonic Geomorphology. Blackwell Science, Massachusetts.
26- Burbery, 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,
27- Burbery, 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
28- 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.
29- 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
30- Keller, E.A., Pinter, N., 2002. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. Prentice Hall, New Jersey.
31- 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.

32- Ramirrez-Herrera، M.T. 1998; Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graban ،Mexican Volcanin belt. Earth surface process and land froms. Vol. 23 ،pp 317-322.
33- Ramsey, L.A., Walker, R.T., Jackson, J., 2008. Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SE Iran. Basin Research, 20, 23-48.
34- Rockwell, T.K., Keller, E.A., Johnson, D.L., 1985. Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M. (Ed.), Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium. Allen and Unwin Publishers, Boston, MA, pp. 183–207.
35- 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.
36- Stanley A. Schumm, Jean F. document & John M. Holbrook, 2000; Active Tectonics and Alluvial Rivers. Cambridge university press.
37- Tsodoulos, I., M., Koukouvelas, I., K., Pavlides،S., 2008; Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf Corinth (Beotia, cnteral Greece), Tectonophysics Vol 453. PP: 211-232.
38- 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.