



Analysis of the Tectonic Status of the Northwestern Zagros Anticlines and its Relationship with Seismic Centers


Hamid Ganjaeian*

PhD in Geomorphology, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 17 February 2022

Revised: 13 April 2022

Accepted: 10 May 2022

Abstract

Tectonic factors play an important role in landform changes in the regions. Based on these changes, the tectonic state of the regions can be assessed, so analyzing the tectonic status of landforms for environmental management and various planning is important. Accordingly, in this study, the tectonic status of anticlines in the northern and western regions of Kermanshah province, Iran, and its relationship with seismic centers were investigated. Digital 30-meter SRTM model, 1: 50,000 topographic maps, 1: 100,000 maps of the region, as well as the information on the epicenter of earthquakes that occurred in the region during the years 1900 to 2020, were used as research data. This research was done in three general stages. In the first stage, using 8 geomorphic indices, the tectonic situation of 5 anticlines of Ezgeleh, Daneh Khoshk, Sanjabi, Mahidasht and Vis was analyzed. In the second stage, the location map of the seismic centers that occurred in the region during the years 1990 to 2020 was prepared. In the third stage, the relationship between the tectonic activity of the anticlines in terms of different indicators and focal points of the earthquakes that have occurred, was evaluated. Based on the results, the anticlines of the western regions (anticlines of Ezgeleh, Daneh Khoshk) have a more active tectonic status than the anticlines of the eastern regions. Moreover, considering that the western parts of the region had the highest number of seismic centers, so it can be said that there is a direct relationship between the seismic centers and the tectonic position of the anticlines.

Keywords: Tectonics, Anticline, Earthquake Epicenter, Northwest Zagros

* . Email: h.ganjaeian@ut.ac.ir

Tel:+989186074070

How to cite this Article: Ganjaeian, H. (2023). Analysis of the tectonic status of the northwestern Zagros anticlines and its relationship with seismic centers. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(4), 275-290.

DOI:10.22067/geoeh.2022.75370.1182



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant
With open access mandates, by publishing its articles under Creative
Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 4 - Number 48, Winter 2024

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75370.1182>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهارم و هشتم، زمستان ۱۴۰۲، صص ۲۹۰-۲۷۵
مقاله پژوهشی

تحلیل وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌های شمال غربی زاگرس و ارتباط آن با کانون‌های زمین‌لرزه

حمید گنجائیان^۱ - دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱/۲۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۲/۲۰

چکیده

عوامل تکتونیکی نقش مهمی در تغییرات لندفرمی مناطق دارند و بر مبنای این تغییرات نیز می‌توان وضعیت تکتونیکی مناطق را ارزیابی کرد؛ بنابراین تحلیل وضعیت تکتونیکی لندفرم‌ها جهت مدیریت محیطی و برنامه‌ریزی‌های مختلف، حائز اهمیت است. بر این اساس، در این پژوهش به بررسی وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌های مناطق شمالی و غربی استان کرمانشاه و ارتباط آن با کانون‌های زمین‌لرزه پرداخته شده است. در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و همچنین اطلاعات مربوط به کانون زلزله‌های رخ داده در منطقه در طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰، به‌عنوان داده‌ها تحقیق استفاده شده است. این تحقیق در سه مرحله کلی انجام شده است. در مرحله اول با استفاده از ۸ شاخص ژئومورفیک، به تحلیل وضعیت تکتونیکی ۵ طاقدیس ازگله، دنه‌خشک، سنجابی، ماهیدشت و ویس پرداخته شده است. در مرحله دوم، نقشه موقعیت کانون‌های زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ تهیه شده است و در مرحله سوم نیز رابطه بین فعالیت تکتونیکی طاقدیس‌ها از نظر شاخص‌های مختلف و کانون‌های زمین‌لرزه‌های رخ داده مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. بر اساس نتایج حاصله، طاقدیس‌های مناطق غربی (طاقدیس ازگله و دنه‌خشک) دارای وضعیت تکتونیکی فعال‌تری نسبت به طاقدیس‌های مناطق شرق هستند. همچنین با توجه به اینکه مناطق

Email: h.ganjaeian@ut.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۶۰۷۴۰۷۰

نحوه ارجاع به این مقاله:

گنجائیان، حمید. (۱۴۰۲). تحلیل وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌های شمال غربی زاگرس و ارتباط آن با کانون‌های زمین‌لرزه. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(۴). صص ۲۹۰-۲۷۵

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75370.1182>

غربی منطقه دارای بیشترین تعداد کانون‌های زمین‌لرزه بوده است؛ بنابراین می‌توان گفت بین کانون‌های زمین‌لرزه و وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌ها، رابطه مستقیمی برقرار است. **کلیدواژه‌ها:** تکتونیک، طاقدیس، کانون زمین‌لرزه، شمال غرب زاگرس.

۱-مقدمه

سرزمین ایران، به‌عنوان بخشی از زون فعال زمین‌ساختی آلپ - هیمالیا، دارای پوسته‌ای به‌شدت خرد شده و تکتونیزه است و در دوران‌های مختلف زمین‌شناسی فعالیت‌های کوهزایی عمده‌ای را پشت سر گذاشته است (روستایی و همکاران، ۱۳۹۴). میزان فعالیت‌های نو زمین‌ساختی در مناطق مختلف فلات ایران متفاوت است. در این میان، زاگرس از نظر فعالیت‌های نو زمین‌ساختی فعال بوده و بر اساس مطالعات میرزایی (۱۹۹۸)، بیش از ۵۰ درصد از زمین‌لرزه‌های ثبت شده ایران، در زون زاگرس رخ داده و زاگرس لرزه‌خیزترین زون ساختمانی ایران است (پاینده و همکاران، ۱۳۹۵) که این روند تاکنون نیز ادامه داشته است. بر این اساس می‌توان گفت که مخاطرات محیطی به‌طور مستقیم با وضعیت تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی منطقه در ارتباط است (گودی^۱، ۲۰۰۴)؛ بنابراین، ارزیابی و بررسی فرآیندهای تکتونیکی فعال و شناخت الگو و پراکنش مکانی-فضایی در مقیاس ملی، ناحیه‌ای و منطقه‌ای در ایران جهت مدیریت مخاطرات ناشی از آن‌ها مثل زلزله‌ها و لغزش‌های بزرگ برای بسیاری از فعالیت‌های انسانی همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها، بندرها و اسکله‌ها، فرودگاه‌ها، تأسیسات نظامی-امنیتی، سدها و مراکز صنعتی از اهمیت بالایی برخوردار است (گورابی و امامی، ۱۳۹۶).

فرآیندهای نو زمین‌ساختی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر اشکال سطح زمین تأثیر می‌گذارد و علاوه بر ایجاد اشکال و فرم‌های مختلف، شکل و موقعیت آن‌ها را نیز کنترل می‌کنند (نویکو و پوسیوا^۲، ۲۰۱۷). با توجه به تأثیری که عوامل نو زمین‌ساختی در شکل‌گیری اشکال سطح زمین دارد، در طی سال‌های اخیر، عوامل نو زمین‌ساختی به‌گونه‌ای چشم‌گیر به‌عنوان یکی از ابزارهای عمده و اساسی در تشخیص چگونگی تحول لندفرم‌های مناطق مطرح گردیده است (شهماری، ۱۳۹۶). بر این اساس، در این پژوهش به بررسی وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌های مناطق شمالی و غربی استان کرمانشاه و ارتباط آن با کانون‌های زمین‌لرزه پرداخته شده است.

اهمیت موضوع مورد مطالعه سبب شده است تا در این مورد تحقیقات مختلفی صورت گیرد که از جمله آن‌ها می‌توان به کلر^۳ و همکاران (۱۹۹۹) اشاره کرد که از ۶ معیار ژئومورفیک برای ارزیابی نرخ و جهت گسترش جانبی^۴ چین‌های فعال (در جهت گسترش جانبی) استفاده کردند. رامسی^۵ و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از توپوگرافی

1 Goudie

2 Novikov & Pospeeva

3 Keller

4 lateral propagation

5 Ramsey

چین‌های زاگرس و الگوهای زهکشی باقیمانده نشان دادند که چین‌های طویل بیش از ۱۰۰ کیلومتری حاصل ادغام چند چین نسبتاً کوتاه (هر یک به طول حدود ۲۰ تا ۴۰ کیلومتر) که به‌صورت جانبی به سمت یکدیگر گسترش یافته‌اند، هستند. همدونی^۱ (۲۰۰۸) با استفاده از ۶ شاخص Si, Af, Vf, Smf, Bs و Hi به ارزیابی نسبی تکتونیک فعال در حوضه نوادا در جنوب اسپانیا پرداختند. تالامپاس و کابهاگ^۲ (۲۰۱۸) به تحلیل وضعیت مورفوتکتونیکی حوضه آبخیز ایپونان^۳ در فیلیپین با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ALOS PALSAR و پارامترهای ژئومورفیک (Hi ، Smf, Vf, Af, SL و TTSF) پرداختند. شارما^۴ و همکاران (۲۰۱۸) به تحلیل مورفوتکتونیکی حوضه رودخلنه شیرخاد^۵ در هندوستان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتریک پرداختند. لنگ کومر^۶ و همکاران (۲۰۱۹) مورفوتکتونیک و فعالیت نئوتکتونیکی کمربند اسچوپین^۷ در هندوستان را مورد ارزیابی قرار دادند. دوسانتوس^۸ و همکاران (۲۰۱۹) وضعیت مورفوتکتونیکی رودخلنه‌های لاوا تودو و پلاتوس^۹ در برزیل را مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق از شاخص‌های مورفومتریک و همچنین داده‌های سنجش‌ازدور استفاده شده است. همچنین در ایران نیز رضایی‌مقدم و خیری‌زاده آروق (۱۳۹۳) با استفاده از شاخص‌های مختلف ژئومورفیک، به ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیکی در شمال استان سمنان پرداختند. یمانی و عزیزاده (۱۳۹۵) فعالیت‌های نوزمین‌ساخت حوضه آبخیز کرج مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق با استفاده از شاخص‌های $Hi, Smf, T, P, BR, S, SL, AF$ و بررسی نوزمین‌ساخت و اثر آن بر دره‌ها و مسیر رودخانه‌ها بررسی شده است. منصور و سربازی (۱۳۹۶) به بررسی وضعیت تکتونیک فعال طاقدیس بانکول با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک و شواهد ژئومورفولوژیکی پرداختند. گورابی و محمدنژاد (۱۳۹۷) تأثیر تغییرات تکتونیکی در تکامل لندفرم‌های اواخر کواترنری منطقه طبس را مورد ارزیابی قرار دادند. جعفری و عباسی (۱۳۹۷) به بررسی نقش زمین‌ساخت در روند تحول ژئومورفولوژیک پادگانه‌های رودخانه قزل اوزن پرداختند. گنجائیان و همکاران (۱۳۹۹) به تحلیل انطباق شاخص‌های مورفوتکتونیک با کانون‌های زمین‌لرزه در زاگرس شمال غرب پرداختند.

1 Hamdouni

2 Talampas & Cabahug,

3 Iponan

4 Sharma

5 Sheer Khadd

6 Longkumer

7 Schuppen

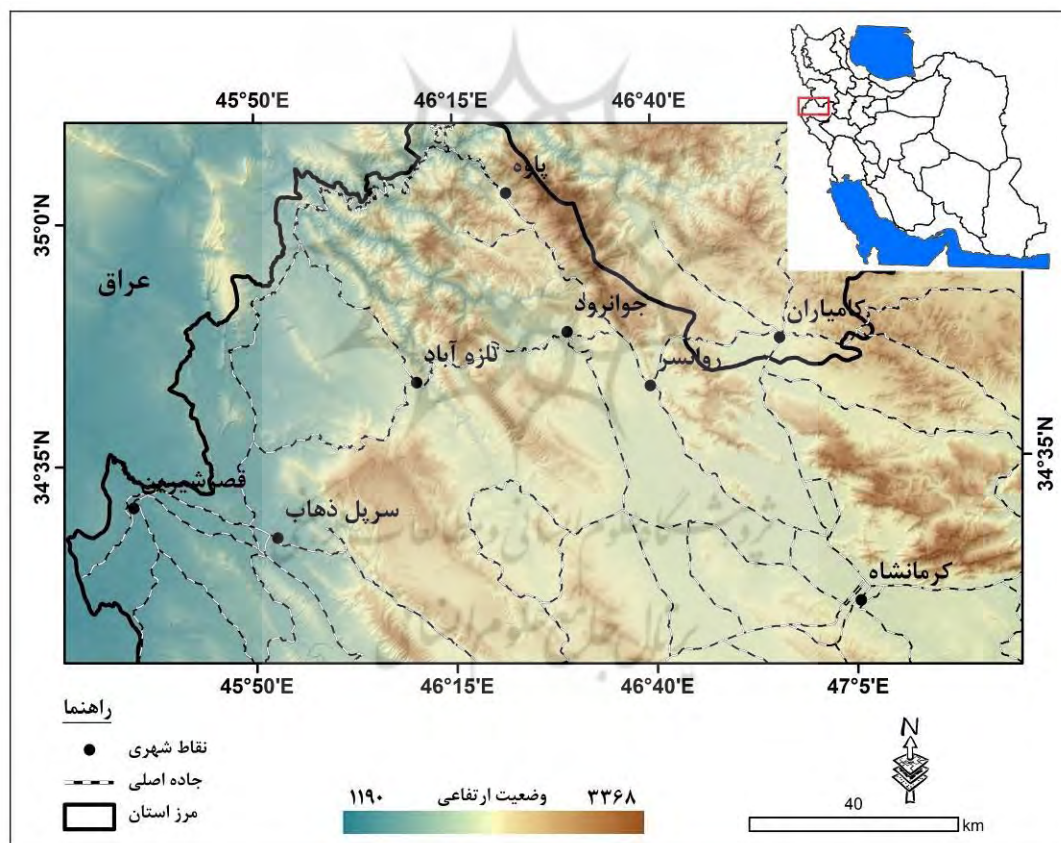
8 Dos santos

9 Lava-Tudo & Pelotas

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی از نظر موقعیت سیاسی شامل مناطق شمالی و غربی استان کرمانشاه است. شهرهای پاوه، جوانرود، روانسر، سرپل ذهاب، قصر شیرین و کرمانشاه، از شهرهای مهم در محدوده مطالعاتی هستند (شکل ۱). این محدوده در تقسیمات مورفوتکتونیک که توسط آقائاتی (۱۳۸۳) از واحدهای مورفوتکتونیک ایران صورت گرفته است، در واحد زاگرس شمال غرب قرار دارد که از سمت شرق به واحد سندج - سیرجان و از سمت جنوب به زاگرس میانی منتهی می‌شود. از نظر ژئومورفولوژی، بخش زیادی از محدوده را واحد کوهستان دربرگرفته است و از جمله نواحی مهم کوهستانی در محدوده مطالعاتی، کوهستان‌های شاهو، کوسلان و بیستون هستند.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش تحقیق

در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و همچنین اطلاعات مربوط به کانون زلزله‌های رخ داده در منطقه در طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰، به‌عنوان داده‌ها تحقیق استفاده شده است. همچنین مهم‌ترین ابزارهای تحقیق نیز ARCGIS (به‌منظور تهیه نقشه‌های مورد نیاز) و SPSS (به‌منظور انجام محاسبات مربوط به شاخص‌ها) بوده است. این تحقیق با توجه به اهداف مورد نظر در سه مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

مرحله اول (بررسی وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌ها): در این پژوهش به‌منظور بررسی وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌ها، ابتدا ۵ طاقدیس در منطقه مورد مطالعه مشخص شده و سپس با استفاده از ۸ شاخص ژئومورفیک به تحلیل وضعیت تکتونیکی آن‌ها پرداخته شده است (جدول ۱). پس از ارزیابی وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌ها، با استفاده از مقایسه نسبی، میزان فعالیت طاقدیس‌ها نسبت به هم ارزیابی شده و سپس ارتباط آن با کانون‌های زمین‌لرزه تحلیل شده است.

جدول ۱- معرفی شاخص‌های مورد استفاده جهت ارزیابی وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌ها (منبع: باربری^۱ وهمکاران، ۲۰۱۰؛ بهرامی^۲، ۲۰۱۳)

توضیحات	معادله	نماد	شاخص
در این رابطه S پهنای پهلوی کوتاه‌تر طاقدیس و W پهنای طاقدیس محسوب می‌شود. در صورتی که طاقدیس کاملاً نامتقارن باشد، ارزش عددی به دست آمده ۱ خواهد باشد و در طاقدیس‌های نامتقارن این عدد کم‌تر از ۱ خواهد بود. هر چقدر عدد به دست آمده، مقدار کم‌تری از ۱ داشته باشد، طاقدیس نامتقارن‌تر و از نظر تکتونیکی فعال‌تر است.	$FSI=S/(W/2)$	FSI	شاخص تقارن طاقدیس
در این شاخص، Fs درازی جبهه طاقدیس و L درازی طاقدیس به خط مستقیم است. این شاخص به‌منظور بررسی انواع طاقدیس‌های متقارن و نامتقارن بکار می‌رود. در این شاخص، هر چقدر که مقدار عددی این شاخص به ۱ نزدیک باشد، بیانگر جوان بودن و فرسایش کم‌تر طاقدیس و همچنین فعال بودن طاقدیس از نظر تکتونیکی است.	$FFS=Fs/Ls$	FFS	شاخص پیچ‌وخم جبهه طاقدیس

1 Burbery

2 Bahrami

توضیحات	معادله	نماد	شاخص
در این رابطه L_s ، درازی جبهه کوهستان به خط مستقیم و L_{mfd} درازای بخش بریده شده جبهه کوهستان است. مقدار عددی این شاخص بین صفر تا ۱ می‌باشد. مناطقی که به صفر نزدیک هستند، دارای بخش بریده کم‌تر و = از نظر تکتونیکی فعال هستند.	$FD = L_{mfd} / L_s$	FD	شاخص بخش‌های بریده شده طاقدیس
در این رابطه L_s ، درازی جبهه کوهستان به خط مستقیم و L_{ce} درازای بخش بریده نشده جبهه کوهستان است. در این شاخص بر خلاف شاخص FD ، هر چقدر که مقدار عددی به ۱ نزدیک‌تر باشد، منطقه از نظر تکتونیکی فعال‌تر است.	$EU = L_{ce} / L_s$	EU	شاخص بخش‌های بریده نشده طاقدیس
در این رابطه DI طول خط‌الرأس واقعی طاقدیس و L_s طول خط مستقیم بین ابتدا و انتهای خط‌الرأس است. در این شاخص، مقدار عددی این شاخص برای مناطقی که از نظر تکتونیکی فعال هستند، نزدیک به ۱ است.	$AD = DI / L_s$	AD	شاخص خط‌الرأس طاقدیس
در این رابطه L_s طول طاقدیس و W بیشینه پهنای طاقدیس است. بر اساس این رابطه، هرچقدر ارزش عددی به دست آمده بیش‌تر باشد گویای حرکت‌های نوتکتونیکی بالا و هرچقدر مقدار به دست آمده کم باشد نشانگر فعالیت نوتکتونیکی پایین در منطقه است.	$AR = L_s / W$	AR	شاخص نسبت جهت
در این رابطه BR نسبت انشعاب حوضه، i شماره رده رودخانه اصلی و n_1, n_2, n_3, \dots به ترتیب تعداد رودخانه‌های رده ۱، ۲، ۳ و... حوضه می‌باشند. مناطقی که دارای نسبت انشعاب بالایی هستند، از نظر تکتونیکی فعال‌تر هستند.	$BR = \left(\frac{n_1}{n_2} + \frac{n_2}{n_3} + \dots + \frac{n_i - 1}{n_i} \right) \frac{1}{i - 1}$	Br	شاخص نسبت انشعابات
در این رابطه $\sum L$ مجموع طول آبراهه‌های هر طاقدیس و A مساحت طاقدیس می‌باشد. تراکم زهکشی بالا نشان‌دهنده فعال‌تر بودن مناطق از نظر تکتونیکی است.	$Dd = \sum L / A$	Dd	شاخص تراکم زهکشی

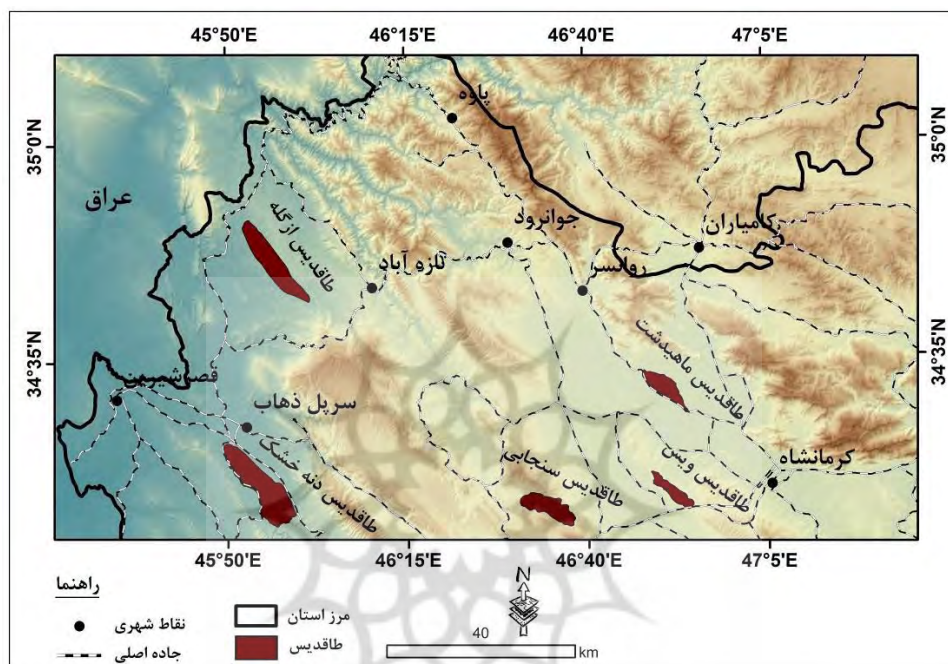
مرحله دوم: در این مرحله موقعیت کانون‌های زمین‌لرزه‌های رخ داده (در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) در منطقه مورد مطالعه از سایت USGS تهیه شده است.

مرحله سوم: در این مرحله رابطه بین فعالیت تکتونیکی طاقدیس‌ها از نظر شاخص‌های مختلف و کانون‌های زمین‌لرزه‌های رخ داده مورد ارزیابی قرار گرفته شده است.

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌های منطقه مورد مطالعه، ابتدا ۵ طاقدیس شامل طاقدیس ازگله، طاقدیس دنه‌خشک، طاقدیس سنجابی، طاقدیس ماهیدشت و طاقدیس ویس شناسایی شده (شکل

۲) و سپس با استفاده از ۸ شاخص شامل شاخص تقارن طاقدیس (FSI)، شاخص پیچ‌وخم جبهه طاقدیس (FFS)، شاخص بخش‌های بریده شده طاقدیس (FD)، شاخص بخش‌های بریده نشده طاقدیس (EU)، شاخص خط‌الرأس طاقدیس (AD)، شاخص نسبت جهت (AR)، شاخص نسبت انشعابات (Br) و شاخص تراکم زهکشی (Dd) به ارزیابی وضعیت تکتونیکی آن‌ها پرداخته شده است.



شکل ۲- نقشه موقعیت طاقدیس‌های مورد مطالعه

پس از ترسیم موقعیت طاقدیس‌ها و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز هر شاخص، مقادیر ضریب هر شاخص برای طاقدیس‌های مورد مطالعه محاسبه شده است (جدول ۲). نتایج بررسی شاخص تقارن طاقدیس (FSI) بیانگر این است که در بین طاقدیس‌های مورد مطالعه، طاقدیس ازگله با ضریب $0/89$ دارای بالاترین ضریب است و از نظر این شاخص به‌عنوان فعال‌ترین طاقدیس محسوب می‌شود. شاخص FSI از تقسیم پهلوی طاقدیس به نصف عرض طاقدیس به دست می‌آید (باربری و همکاران، ۲۰۱۰) و با توجه به اینکه طاقدیس ازگله دارای تقارن بالایی است، بنابراین از نظر این شاخص دارای بالاترین ضریب است. همچنین طاقدیس ماهیدشت با ضریب $0/54$ نسبت به سایر طاقدیس‌ها تقارن کم‌تری دارد، بنابراین از نظر این شاخص دارای فعالیت تکتونیکی کم‌تری است.

نتایج بررسی شاخص پیچ‌وخم جبهه طاقدیس (FFS) بیانگر این است که در بین طاقدیس‌های مورد مطالعه، طاقدیس ازگله با میانگین ضریب $1/15$ دارای پایین‌ترین ضریب است و از نظر این شاخص به‌عنوان فعال‌ترین

طاقدیس محسوب می‌شود. شاخص FSS بر درازی جبهه طاقدیس نسبت به درازی طاقدیس به خط مستقیم تأکید دارد (باربری و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به اینکه طاقدیس از گله نسبت به سایر طاقدیس‌ها با فرسایش کم‌تری مواجه شده است، بنابراین دامنه‌های غربی و شرقی این طاقدیس اختلاف کمی با خط مستقیم دارد. بر این اساس، طاقدیس از گله به دلیل داشتن ضریب کم‌تر، از نظر این شاخص به‌عنوان فعال‌ترین طاقدیس محسوب می‌شود. همچنین طاقدیس سنجانی به دلیل اینکه دامنه‌های شرقی آن با فرسایش زیادی مواجه شده است و اختلاف زیادی با خط مستقیم دارد، بنابراین با میانگین ضریب ۱/۳۵ دارای بالاترین ضریب است و از نظر این شاخص نسبت به سایر طاقدیس‌ها دارای فعالیت تکنونیک کم‌تری است.

نتایج بررسی شاخص بخش‌های بریده شده طاقدیس (FD) بیانگر این است که در بین طاقدیس‌های مورد مطالعه، طاقدیس از گله با میانگین ضریب ۰/۱۵ دارای پایین‌ترین ضریب است و از نظر این شاخص به‌عنوان فعال‌ترین طاقدیس محسوب می‌شود. شاخص FD بر میزان بریدگی جبهه کوهستان طاقدیس تأکید دارد. مناطقی که از نظر تکنونیک فعال هستند، دارای بخش بریده کم‌تری هستند، بنابراین هرچقدر که مقدار این شاخص کم‌تر باشد، منطقه از نظر تکنونیک فعال‌تر است (باربری و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به اینکه دامنه‌های غربی و شرقی طاقدیس از گله با بریدگی کم‌تری مواجه شده است، دارای ضریب کم‌تری است و از نظر این شاخص به‌عنوان فعال‌ترین طاقدیس محسوب می‌شود. همچنین طاقدیس سنجانی به دلیل بریدگی زیاد در دامنه‌های شرقی، با میانگین ضریب ۰/۳۵، دارای بالاترین ضریب است و از نظر این شاخص نسبت به سایر طاقدیس‌ها دارای فعالیت تکنونیک کم‌تری است.

نتایج بررسی شاخص بخش‌های بریده نشده طاقدیس (EU) بیانگر این است که در بین طاقدیس‌های مورد مطالعه، طاقدیس از گله با میانگین ضریب ۰/۸۵ دارای بالاترین ضریب است و از نظر این شاخص به‌عنوان فعال‌ترین طاقدیس محسوب می‌شود. این شاخص بر بخش بریده نشده جبهه کوهستان تأکید دارد. در این شاخص بر خلاف شاخص FD، هرچقدر که مقدار عددی به ۱ نزدیک‌تر باشد، منطقه از نظر تکنونیک فعال‌تر است. در واقع مناطقی که از نظر تکنونیک غیرفعال هستند، به دلیل غلبه فرایندهای فرسایشی دارای بخش‌های بریده شده زیادی هستند، بنابراین مقدار عددی شاخص EU در این مناطق پایین خواهد بود (باربری و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به اینکه طاقدیس از گله با بریدگی کمی مواجه شده است، بنابراین از نظر این شاخص دارای بالاترین ضریب است و به‌عنوان فعال‌ترین طاقدیس محسوب می‌شود و طاقدیس سنجابی با میانگین ضریب ۰/۶۵ دارای پایین‌ترین ضریب است و از نظر این شاخص نسبت به سایر طاقدیس‌ها دارای فعالیت تکنونیک کم‌تری است.

نتایج بررسی شاخص خط‌الرأس طاقدیس (AD) بیانگر این است که در بین طاقدیس‌های مورد مطالعه، طاقدیس از گله با میانگین ضریب ۱/۰۳۸ دارای پایین‌ترین ضریب است و از نظر این شاخص به‌عنوان فعال‌ترین طاقدیس محسوب می‌شود. این شاخص بر طول خط‌الرأس واقعی طاقدیس و طول خط مستقیم بین ابتدا و انتهای خط‌الرأس

تأکید دارد. طول خط‌الرأس طاقدیس نسبت به خط مستقیم تا حدودی نشان‌دهنده میزان فرسایش و سن چین‌خوردگی است. در طاقدیس‌های جدید، خط‌الرأس تقریباً مستقیم است، درحالی‌که در طاقدیس‌های قدیمی و فرسایش یافته، خط‌الرأس دارای طول بیش‌تری است (بهرامی و پرهیزکار، ۱۳۹۵). با توجه به اینکه خط‌الرأس طاقدیس ازگله، نسبت به سایر طاقدیس‌ها با فرسایش کم‌تری مواجه شده است، بنابراین از نظر این شاخص دارای کم‌ترین ضریب است، بنابراین از نظر این شاخص دارای کم‌ترین ضریب است و به‌عنوان فعال‌ترین طاقدیس محسوب می‌شود و طاقدیس سنجابی با ضریب $1/103$ دارای بالاترین ضریب است و از نظر این شاخص نسبت به سایر طاقدیس‌ها دارای فعالیت تکتونیکی کم‌تری است.

نتایج بررسی شاخص نسبت جهت (AR) بیانگر این است که در بین طاقدیس‌های مورد مطالعه، طاقدیس ازگله با میانگین ضریب $5/41$ دارای بالاترین ضریب است و از نظر این شاخص به‌عنوان فعال‌ترین طاقدیس محسوب می‌شود. این شاخص بر طول طاقدیس نسبت به بیشینه پهنای طاقدیس تأکید دارد. بر اساس این شاخص، هرچه قدر ارزش عددی به دست آمده بیش‌تر باشد، گویای حرکت‌های نئوتکتونیکی بالا و هرچه قدر مقدار به دست آمده کم باشد نشانگر فعالیت نئوتکتونیکی پایین در منطقه است (باربری و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به اینکه طاقدیس ازگله دارای طول زیاد و بیشینه پهنای کمی است، بنابراین دارای بالاترین ضریب است و از نظر این شاخص به‌عنوان فعال‌ترین طاقدیس محسوب می‌شود. همچنین طاقدیس سنجابی به دلیل اینکه در بخش‌های میانی با پهنای زیادی مواجه است، با ضریب $2/92$ ، دارای پایین‌ترین ضریب است و از نظر این شاخص نسبت به سایر طاقدیس‌ها دارای فعالیت تکتونیکی کم‌تری است.

بررسی وضعیت شاخص‌های مربوط به شبکه زهکشی بیانگر این است که از نظر این شاخص‌های نیز طاقدیس ازگله دارای بالاترین فعالیت تکتونیکی است. در این پژوهش، دو شاخص نسبت انشعاب و (Br) تراکم زهکشی (Dd) ارزیابی شده است (شکل ۳). بر اساس نتایج حاصله، طاقدیس ازگله از نظر شاخص‌های Br و Dd به ترتیب با ضرایب $3/72$ و 68 ، دارای بالاترین ضریب است و از نظر این شاخص‌ها به‌عنوان فعال‌ترین طاقدیس محسوب می‌شود. همچنین طاقدیس ماهیدشت از نظر شاخص‌های Br و Dd به ترتیب با ضرایب $2/52$ و 4 ، دارای پایین‌ترین ضریب است و از نظر این شاخص‌ها نسبت به سایر طاقدیس‌ها دارای فعالیت تکتونیکی کم‌تری است.

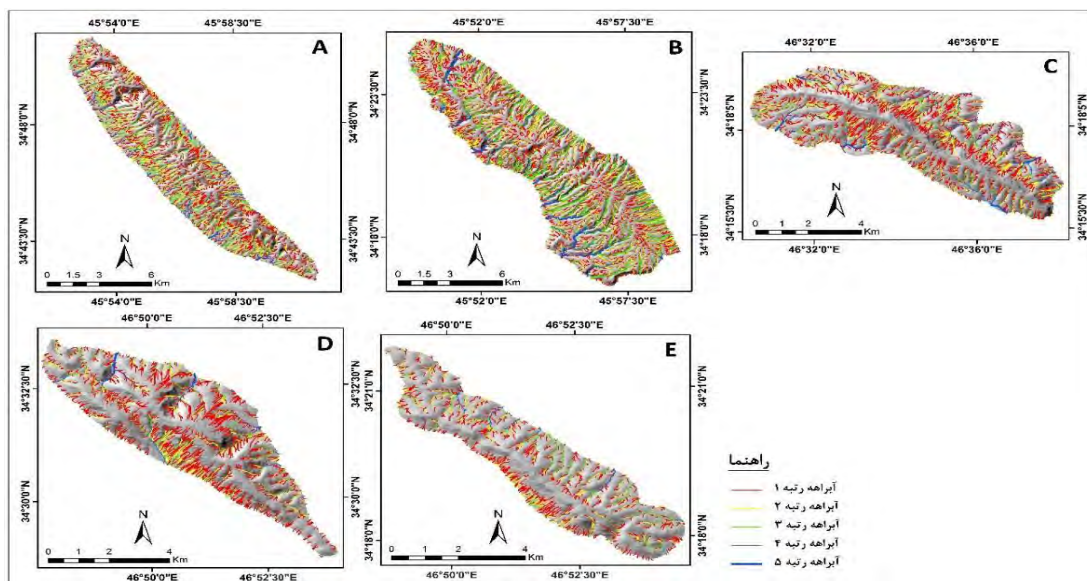
جدول ۲- ارزیابی و مقایسه شاخص‌ها در طاقدیس‌های مورد مطالعه (منبع: باربری و همکاران، ۲۰۱۰؛ بهرامی،

(۲۰۱۳)

طاقدیس	شاخص	ضریب		وضعیت فعالیت تکتونیکی	فعالیت نسبی
		میانگین	ضریب		
ازگله	تقارن طاقدیس	۰/۸۹		فعال	۱
دنه خشک	(FSI)	۰/۶۲		فعال	۴

فعالیت نسبی	وضعیت فعالیت تکنونیک	ضریب		شاخص	طاقدیس		
		میانگین	ضریب				
۲	فعال	۰/۸۴			سنجایی		
۵	فعال	۰/۵۴			ماهیدشت		
۳	فعال	۰/۷۲			ویس		
۱	فعال	۱/۱۵	۱/۱۹	پیچ و خم جنبه طاقدیس (FFS)	غربی	ازگله	
			۱/۱۱		شرقی		
۲	فعال	۱/۲۱	۱/۳		غربی	دنه خشک	
			۱/۱۳		شرقی		
۵	فعال	۱/۳۵	۱/۱۵		غربی	سنجایی	
			۱/۵۴		شرقی		
۴	فعال	۱/۲۷	۱/۱		غربی	ماهیدشت	
			۱/۴۴		شرقی		
۳	فعال	۱/۲۳	۱/۱۲		غربی	ویس	
			۱/۳۵		شرقی		
۱	فعال	۰/۱۵	۰/۱۹		بخش های بریده شده طاقدیس (FD)	غربی	ازگله
			۰/۱۱			شرقی	
۲	فعال	۰/۲۱	۰/۳			غربی	دنه خشک
			۰/۱۳			شرقی	
۵	فعال	۰/۳۵	۰/۱۵	غربی		سنجایی	
			۰/۵۴	شرقی			
۴	فعال	۰/۲۷	۰/۱۱	غربی		ماهیدشت	
			۰/۴۴	شرقی			
۳	فعال	۰/۲۳	۰/۱۲	غربی		ویس	
			۰/۳۵	شرقی			
۱	فعال	۰/۸۵	۰/۸۱	بخش های بریده نشده طاقدیس (EU)		غربی	ازگله
			۰/۸۹			شرقی	
۲	فعال	۰/۷۹	۰/۷			غربی	دنه خشک
			۰/۸۷			شرقی	
۵	فعال	۰/۶۵	۰/۸۵		غربی	سنجایی	
			۰/۴۶		شرقی		
۴	فعال	۰/۷۳	۰/۸۹		غربی	ماهیدشت	
			۰/۵۶		شرقی		
۳	فعال	۰/۷۷	۰/۸۸		غربی	ویس	
			۰/۶۵		شرقی		

فعالیت نسبی	وضعیت فعالیت تکتونیکی	ضریب		شاخص	طاق‌دیس
		میانگین	ضریب		
۱	فعال	۱/۰۳۸		خط‌الرأس طاق‌دیس (AD)	ازگله
۲	فعال	۱/۰۴۸			دنه خشک
۵	فعال	۱/۱۰۳			سنجایی
۴	فعال	۱/۰۶۱			ماهیدشت
۳	فعال	۱/۰۶			ویس
۱	فعال	۵/۴۱		نسبت جهت (AR)	ازگله
۴	فعال	۲/۹۹			دنه خشک
۵	فعال	۲/۹۲			سنجایی
۲	فعال	۴/۱۱			ماهیدشت
۳	فعال	۳/۳۶			ویس
۱	فعال	۶/۸		نسبت انشعابات (Br)	ازگله
۲	فعال	۵/۱			دنه خشک
۳	فعال	۵			سنجایی
۵	فعال	۴			ماهیدشت
۴	فعال	۴/۹			ویس
۱	فعال	۳/۷۲		تراکم زهکشی (Dd)	ازگله
۳	فعال	۳/۳۲			دنه خشک
۲	فعال	۳/۵			سنجایی
۵	فعال	۲/۵۲			ماهیدشت
۴	فعال	۲/۶۴			ویس



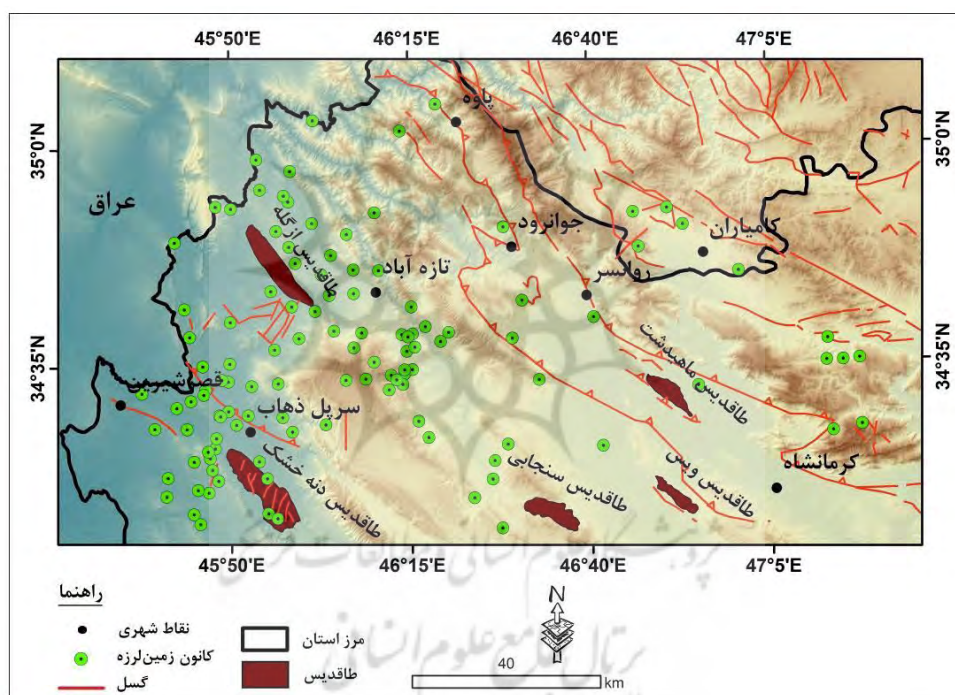
شکل ۳- وضعیت شبکه زهکشی طاقدیس‌های مورد مطالعه (A) طاقدیس ازگله؛ (B) طاقدیس دنه خشک؛ (C) طاقدیس سنجایی؛ (D) طاقدیس ماهیدشت؛ (E) طاقدیس ویس.

پس از ارزیابی وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌ها از نظر شاخص‌های مختلف، به منظور ارزیابی وضعیت تکتونیکی نسبی طاقدیس‌ها، وضعیت فعالیت طاقدیس از نظر هر شاخص نسبت به هم ارزیابی شده و به این صورت وضعیت تکتونیکی نسبی هر طاقدیس محاسبه شده است (جدول ۳). بر اساس نتایج به دست آمده، طاقدیس ازگله با میانگین رتبه ۱، نسبت به سایر طاقدیس‌ها دارای بالاترین فعالیت تکتونیکی بوده است. بعد از این طاقدیس، طاقدیس‌های دنه خشک با ۲/۶۳، ویس با ۴/۲۵، سنجایی با ۴ و ماهیدشت با ۴/۱۳، در رده‌های بعدی قرار دارند. با توجه به موارد مذکور، طاقدیس ماهیدشت با میانگین رتبه ۴/۱۳، نسبت به طاقدیس‌ها دارای کمترین فعالیت تکتونیکی بوده است.

جدول ۳- نتایج ارزیابی وضعیت فعالیت نسبی طاقدیس‌ها

میانگین رتبه	FSI	FSS	FD	EU	AD	AR	Br	Dd	طاقدیس
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	ازگله
۲/۶۳	۴	۲	۲	۲	۲	۴	۲	۳	دنه خشک
۴	۲	۵	۵	۵	۵	۵	۳	۲	سنجایی
۴/۱۳	۵	۴	۴	۴	۴	۲	۵	۵	ماهیدشت
۳/۲۵	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۴	۴	ویس

ارزیابی وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌ها در ارتباط با کانون‌های زلزله: در این پژوهش، پس از ارزیابی وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌ها، به منظور ارزیابی رابطه بین وضعیت تکتونیکی آن‌ها و کانون‌های زمین‌لرزه، از اطلاعات مربوط به کانون‌های زمین‌لرزه در طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰ استفاده شده است (شکل ۴). نتایج ارزیابی‌ها بیانگر این است که وضعیت تکتونیکی طاقدیس‌ها رابطه مستقیمی با کانون‌های زمین‌لرزه دارد. در واقع، طاقدیس‌های ازگله و دنه‌خشک که بر اساس شاخص‌های مورد استفاده دارای بالاترین فعالیت تکتونیکی بوده‌اند، دارای بیش‌ترین تعداد کانون‌های زمین‌لرزه نیز بوده‌اند؛ به طوری که طاقدیس‌های ازگله و دنه‌خشک به ترتیب دارای ۱۹ و ۱۷ کانون زمین‌لرزه (تا فاصله ۱۰ کیلومتری از طاقدیس) بوده‌اند (جدول ۴). همچنین طاقدیس‌های ماهدشت که بر اساس شاخص‌های مورد استفاده دارای فعالیت تکتونیکی پایینی بوده است، بدون کانون زمین‌لرزه بوده است.



شکل ۴- نقشه موقعیت طاقدیس‌های نسبت به کانون‌های زمین‌لرزه

جدول ۴- تعداد کانون‌های زمین‌لرزه تا فاصله ۱۰ کیلومتری طاقدیس‌ها

طاقدیس	ازگله	دنه خشک	سنجایی	ماهدشت	ویس
تعداد کانون زمین-لرزه	۱۹	۱۷	۴	۰	۱

۴- نتیجه گیری

بررسی وضعیت کلی منطقه مورد مطالعه از جمله وقوع زمین لرزه های متعدد در طی سال های اخیر و همچنین وضعیت لندفرمی مانند طاقدیس های منطقه، بیانگر وضعیت فعال تکتونیکی منطقه است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش وضعیت تکتونیکی طاقدیس های منطقه ارزیابی شده است، اما بر خلاف تحقیقات پیشین (بهرامی، ۲۰۱۳؛ منصور و سرباز، ۱۳۹۶)، در این پژوهش علاوه بر وضعیت تکتونیکی طاقدیس ها، رابطه آن با کانون های زمین لرزه ارزیابی شده است. نتایج حاصله از ارزیابی وضعیت تکتونیکی طاقدیس ها نشان داده است که طاقدیس ازگله با میانگین رتبه ۱، نسبت به سایر طاقدیس ها دارای بالاترین فعالیت تکتونیکی بوده است. بعد از این طاقدیس، طاقدیس های دنه خشک با ۲/۶۳، ویس با ۴/۲۵، سنجابی با ۴ و ماهیدشت با ۴/۱۳، در رده های بعدی قرار دارند. با توجه به موارد مذکور، طاقدیس ماهیدشت با میانگین رتبه ۴/۱۳، نسبت به طاقدیس ها دارای کم ترین فعالیت تکتونیکی بوده است. با توجه به موارد مذکور، طاقدیس های مناطق غربی (طاقدیس ازگله و دنه خشک) دارای وضعیت تکتونیکی فعال تری نسبت به طاقدیس های مناطق شرق هستند. در واقع، نتایج به دست آمده از شاخص های مورد استفاده بیانگر فعالیت تکتونیکی زیاد طاقدیس های بخش غربی منطقه است و با توجه به اینکه مناطق غربی منطقه دارای بیش ترین تعداد کانون های زمین لرزه بوده است؛ بنابراین می توان گفت که بین کانون های زمین لرزه و وضعیت تکتونیکی طاقدیس ها، رابطه مستقیمی برقرار است.

کتابنامه

- آفانباتی، سیدعلی؛ ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۷۰۹ صفحه. <https://www.gisoom.com/book/11083834>
- بهرامی، شهرام؛ پرهیزکار، فاطمه؛ ۱۳۹۵. تحلیل مورفومتری طاقدیس های هوا و خشت و ارتباط آن با تکتونیک های فعال در زاگرس فارس. فضای جغرافیایی. سال ۱۶. شماره ۵۶. صص ۱۸-۱. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-469-fa.html>
- پاینده، زینب؛ ثروتی، محمدرضا؛ شفیعی، فاطمه؛ ۱۳۹۵. ارزیابی فعالیت های نوزمین ساختی با استفاده از شاخص های ژئومورفیک (مطالعه موردی: شمال غرب طاقدیس کبیرکوه). پژوهش های ژئومورفولوژی کمی. سال ۴. شماره ۴. صص ۱۱۸-۱۰۴. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1395.4.4.7.0>
- جعفری، غلامحسین؛ عباسی، مهدی؛ ۱۳۹۷. بررسی نقش زمین ساخت در روند تحول ژئومورفولوژیک پادگانه های رودخانه قزل اوزن. جغرافیا و برنامه ریزی. سال ۲۲. شماره ۶۵. صص ۲۳-۱. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_8116_989.html

رضائی مقدم، محمدحسین؛ خیری زاده آروق، منصور؛ ۱۳۹۳. ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های کمی ژئومورفیک (منطقه مورد مطالعه: بخشی از البرز شرقی در شمال استان سمنان). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. سال ۵. شماره ۱۸. صص ۱۹-۳۶. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161372.html

روستایی، مریم؛ زمانی، بهزاد؛ نواب پور، پیمان؛ موید، محسن؛ ۱۳۹۴. بررسی سازوکار و نوزمین ساخت پهنه گسلی سیه چشمه خوی. *علوم زمین*. سال ۲۴. شماره ۹۶. صص ۲۳۴-۲۲۱.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.10237429.1394.24.96.24.2>

شهماری، رفعت؛ ۱۳۹۶. ارزیابی فعالیت‌های نوزمینساخت در حوضه‌های آبخیز غرب استان گیلان. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. سال ۶. شماره ۲. صص ۱۶۵-۱۴۸.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1396.6.2.10.9>

گنجائیان، حمید؛ یمانی، مجتبی؛ گورابی، ابوالقاسم؛ مقصدی، مهران؛ ۱۳۹۹. انطباق شاخص‌های مورفوتکتونیک با کانون‌های زمین‌لرزه در زاگرس شمال غرب (حوضه‌های سیروان و قره‌سو). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. سال ۳۱. شماره ۴. صص ۱۱۹-۱۳۶. <https://doi.org/10.22108/gep.2021.124247.1335>

گورابی، ابوالقاسم؛ امامی، کامیار؛ ۱۳۹۶. تأثیرات نوزمینساخت بر تغییرات مورفولوژیک حوضه‌های زهکشی سواحل مکران، جنوب شرق ایران. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. سال ۶. شماره ۱. صص ۸۹-۷۴.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1396.6.1.5.2>

گورابی، ابوالقاسم؛ محمدنژاد، وحید؛ ۱۳۹۷. تکامل لندفرم‌های اواخر کواترنری در پاسخ به تغییرات تکتونیکی فعال سطح اساس در منطقه طبس. *ایران مرکزی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره ۵۰. شماره ۲. صص ۲۹۱-۲۷۱.

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.236825.1007078>

منصوری، رضا؛ سربازی، زهرا؛ ۱۳۹۶. بررسی وضعیت تکتونیک فعال طاقدیس بانکول (در زاگرس چین‌خورده) با به کارگیری شاخص‌های مورفوتکتونیک و شواهد ژئومورفولوژیکی. *جغرافیای طبیعی*. سال ۱۰. شماره ۳۷. صص ۱۲۵-۱۴۲. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085656.1396.10.37.8.9>

یمانی، مجتبی؛ علیزاده، شهناز؛ ۱۳۹۵. بررسی فعالیت‌های نوزمینساخت حوضه آبخیز کرج از طریق شاخص‌های ژئومورفیک. *جغرافیای طبیعی*. سال ۹. شماره ۳۱. صص ۱۸-۱.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085656.1395.9.31.1.3>

Bahrami, S., 2013. Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekkhoshk anticline, Zagros, Iran, *Geomorphology*, 180–181, 217–230. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.10.012>

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. <http://dx.doi.org/10.4113/jom.2008.97>

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*. <http://dx.doi.org/10.1144/SP330.8>

- Dos Santos, J. M., Salamuni, E., Dasilva, C. L., Sanches, E., Gimenez, V. B., Nascimento, E. R., 2019. Morphotectonics in the Central-East Region of South Brazil: Implications for Catchments of the Lava-Tudo and Pelotas Rivers, State of Santa Catarina, *Geomorphology* 328, 138-156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.12.016>
- Goudie, A., 2004. Encyclopedia of Geomorphology. *International Association of Geomorphologists*. <https://search.worldcat.org/title/encyclopedia-of-geomorphology-volume-2-j-z/oclc/796038362>
- Hamdouni, R.EI, Irigaray, C. Fernandez, T. Chacon, J. Keller, EA., 2008. Assessment Of reIATive active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology* 96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Keller, E.A., Gurrola, L., Tierney, T.E., 1999. Geomorphic criteria to determine direction of IATeral propagation of reverse faulting and folding. *Geology* 27, 515-518. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1999Geo....27..515K/abstract>
- Longkumer, L., Luirei, Kh., Moiya, J.N., Thong, G.T., 2019. Morphotectonics and neotectonic activity of the Schuppen Belt of Mokokchung, Nagaland, India, *Journal of Asian Earth Sciences* 170, 138-154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.11.010>
- Mirzaei, N., Gao, M., Chen, Y. T., 1998. Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces. *Earthquake prediction Research* 7, 465-495. <https://www.researchgate.net/publication/290796328>
- Novikov, I. S., Pospeeva, E. V., 2017. Neotectonics of Eastern Gorny Altai: Evidence from Magnetotelluric Data, *Russian Geology and Geophysics* 58 (7), 769-777. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2017.06.001>
- Ramsey, L. A., Walker, R. T., Jackson, J., 2008. Fold evolution and drainage development in the Zagros Mountains of Fars province, *SEIran Basin Research* 20, 23-48. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2117.2007.00342.x>
- Sharma, A., Singh, P., Kumar Rai, P., 2018. Morphotectonic analysis of Sheer Khadd River basin using geo-spatial tools, *Spatial Information Research* 26 (4), 405-414. <http://dx.doi.org/10.1007/s41324-018-0185-z>
- Talampas, W., Cabahug, R., 2018. Morphotectonic Characteristics of the Iponan River Watershed in Cagayan de Oro City, Philippines, *Mindanao Journal of Science and Technology* 16, 115-131. <https://mjst.ustp.edu.ph/index.php/mjst/article/view/147>