

Research Article

Active tectonics of the southeastern part of the Kabir Kuh Anticline, Zagros Fold-Thrust Belt

Sahar Faraji¹, Shahriar Sadeghi^{1*}, Rana Razavi pash¹, Zeinab Davoodi²

1- Department of Geology, Faculty of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- Department of Earth Sciences, College of Sciences, Shiraz University, Shiraz

Keywords: *Zagros fold-thrust belt, Active tectonics, Kabir Kuh anticline, Mountain Front Fault, Active folding.*

1-Introduction

In active tectonic regions, surface deformation can manifest as active folds (Keller and Pinter, 2002). In recent years, active folds have been investigated as one of the characteristics of young tectonic regions (Keller et al., 1999; Goode, 2011; Scharer, 2006). One of the tectonic regions suitable for studying active folding is the Zagros Fold-Thrust Belt (ZFTB). The seismic history and geomorphological evidence indicate ongoing neotectonic movements in the Zagros, with the main deformation attributed to hidden faults and folds (Bachmanov, 2003; Berberian, 1995; Vernant et al., 2004; Homke et al., 2009). These deformations are identifiable and have been the subject of previous studies. This study examines the Kabir Kuh Anticline (KA) geomorphic indices and discusses its tectonic activity. Moreover, this anticline is also discussed in terms of the presence of active folding.

The KA is located on the Mountain Front Fault (MFF) 's hanging wall, considered an active fault in the Zagros. The anticline has resulted from the folding of the sedimentary rocks in the Lurestan sector of the ZFTB. The Karkheh River flows along the northern limb and passes through the southeastern nose of the anticline. Along the Kabir Kuh Anticline, a wind gap has formed as a large valley (Fig. 1). The northeastern limb of the KA hosts one of the world's largest landslides, called the Seymirah Landslide (Fig. 1). The Seymareh Landslide has been a significant event, believed to have been formed by a planar slide of the Asmari formation layers on the top of the Pabdeh formation on the northeastern limb of the KA, forming a large ancient lake by blocking the path of the drainage system. The process of lake forming in the context of active folding is discussed in this paper.

2-Material and methods

Geological indices have been estimated to assess the level of tectonic activity in the KA within the study area, and evidence of morphotectonics and geology of active folding has been studied. When analyzing the geomorphic indices, we mapped rivers, main valleys, and drainage basins using a Digital Elevation Model (DEM). The area was divided into 45 basins, and geological indices for all basins were estimated. Geomorphic indices of drainage basins related to the anticline, including the stream length-gradient index (SL), mountain front sinuosity index (Smf), ratio of valley floor width to valley depth index (Vf), drainage density (P), basin shape index (Bs), drainage basin asymmetry index (Af), and hypsometric integral index (Hi) were calculated. The relative tectonic activity index (Iat) was determined by averaging the classification of these indices. Evidence of active folding, irregularities in the pattern of valleys, and the geometry of the Karkheh River valley near the southeastern nose of the range were examined. Furthermore, the wind gap was investigated in the field for evidence of the past river flow.

* Corresponding author: shsadeghi@sci.ikiu.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2024.46834.2453

Received: 2024-05-07

Accepted: 2024-10-08

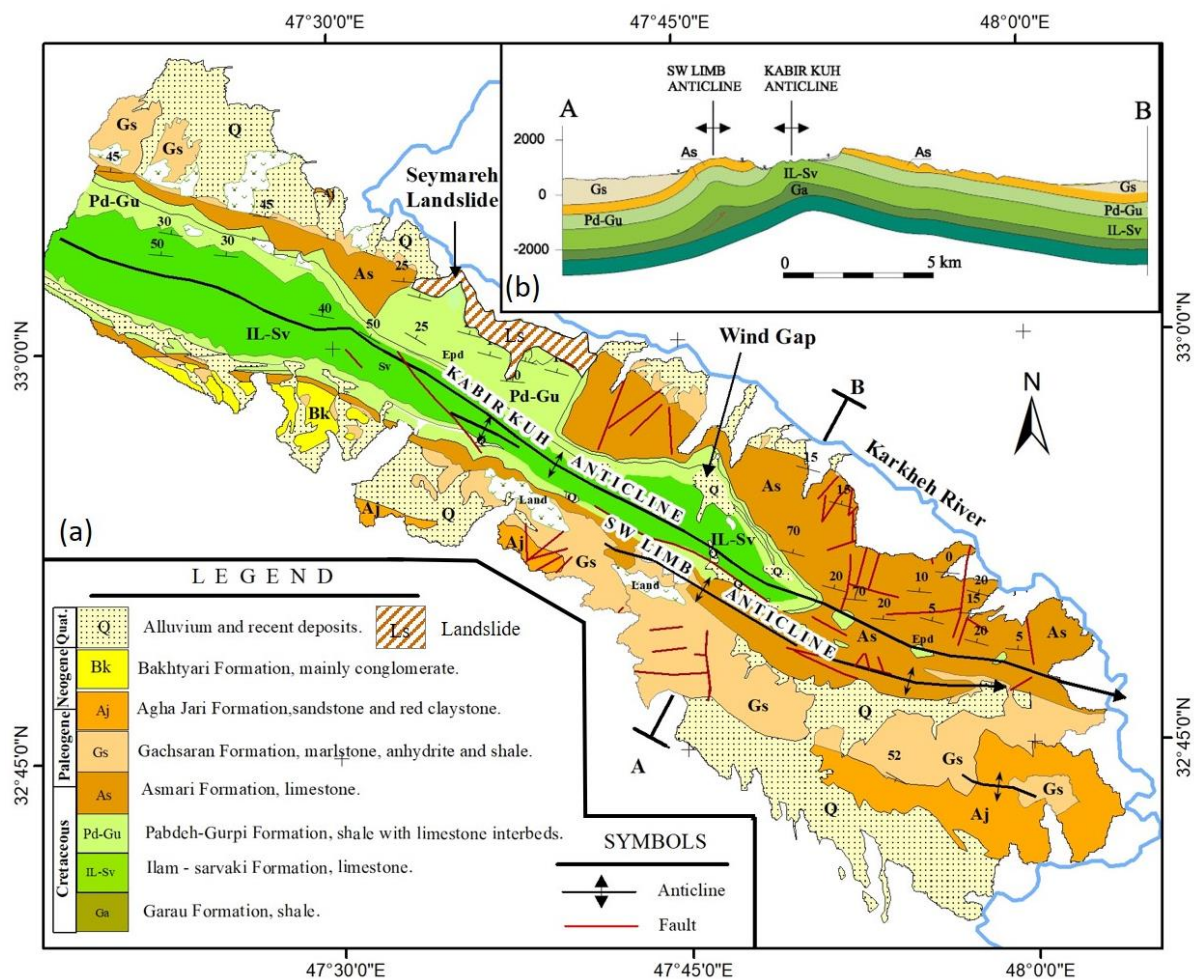


Fig. 1. Geological map of the study area. It was adapted from the geological maps of Ilam-Kuhdasht (Llewellyn, 1974), Dalpari (Setudehnia and Perry, 1967), and Dehloran (Fakhari, 1993) with some modifications.

3-Results and discussions

Analysis of topographic indices in the Kabir Kuh drainage basins shows a high to moderate level of tectonic activity in this area, reflected in various indices. The stream length-gradient (SL), drainage density (P), and hypsometric integral (Hi) exhibit similar results, indicating higher tectonic activity closer to the southeastern nose of the anticline, wind gap valley, and Seymerah landslide. Additionally, drainage basins are smaller in these parts, suggesting their youthful nature.

The valley floor-to-depth ratio (VF) in the southeastern nose, the wind gap valley, and the Seymerah landslide zone indicate lower values, signifying high tectonic activity in these regions. As for the basin shape index (BS) and the asymmetry factor index (AF), no clear trend is observed.

The relative tectonic activity index (Iat), calculated by averaging basin values of different indices, serves as a reliable indicator for classifying basins based on tectonic activity (Table 1). It shows significantly high tectonic activity in basins located in the southwestern flank of the anticline and in the wind gap valley and Seymerah landslide zone, possibly due to greater uplift in these areas (Fig. 2). Mountain fronts in the southeastern flank of the anticline exhibit slight curvature, indicating active uplift, as reflected in the Smf index, where values decrease from the Seymerah landslide zone towards the southeastern nose of the anticline. Moreover, river valleys beside the Seymerah landslide and from the wind gap to the SE nose of KA formed deep valleys with narrow floors, further evidenced by $VF < 1$, indicating intense tectonic activity in these regions.

Table 1. Value of Iat index for the drainage basins

Basin	Geomorphic index class						S/n	Iat class
	Vf	Hi	Bs	Af	Sl	Smf		
1	3	2	2	2	3		1	2.1
2	2	2	3	3	3		1	2.3
3	1	1	3	2	1		1	1.5
4	1	1	3	2	1		1	1.5
5	1	2	3	1	3		1	1.8
6	3	1	1	1	3		1	1.6
7	1	2	3	1	3		1	1.8
8	1	2	3	1	1		1	1.5
9	2	2	3	3	1		1	2
10	1	2	2	3	2		1	1.8
11	3	2	3	3	1		1	2.1
12	2	1	3	3	1		1	1.8
13	1	2	3	1	2		1	2
14	2	2	3	3	2		1	2.1
15	2	1	3	1	1		3	1.8
16	3	2	3	1	1		1	1.8
17	1	2	3	1	3		2	2
18	1	1	3	3	3		3	2.3
19	1	2	3	2	3		3	2.3
20	1	2	2	3	3		1	2
21	1	1	3	2	3		2	2
22	3	2	2	3	2		1	2.1
23	1	2	3	3	3	2	1	2.1
24	1	2	3	3	1		2	2
25	1	2	3	1	3		1	1.8
26	1	2	3	1	3		1	1.8
27	2	1	3	2	3		2	2.1
28	3	1	3	2	3		3	2.5
29	3	2	2	3	1	1	1	1.8
30	3	1	3	1	3	1	1	1.8
31	3	1	1	3	2		2	2
32	3	1	2	2	2		1	1.8
33	3	2	3	3	3	2	1	2.4
34	1	1	2	2	1	2	1	1.4
35	3	2	3	2	3	1	1	2.1
36	2	2	2	2	1	3	1	1.8
37	3	2	3	1	1	1	1	1.7
38	3	3	1	3	3	2	1	2.2
39	3	2	2	3	3	2	1	2.2
40	1	2	3	1	3	2	1	1.8
41	3	1	2	3	3	2	1	2.1
42	2	1	3	1	3	2	1	1.8
43	2	2	3	2	3		1	2.1
44	3	1	3	3	3	2	1	2.2
45	3	2	3	1	2	2	1	2

A study of the river terraces that have undergone bending due to the uplift of the earth's surface in response to the lateral growth is one of the best indicators for examining the lateral growth of the folds (Keller et al., 1999). River terraces at two locations in the wind gap valley are observed at a higher elevation than the Karkheh River, indicating the presence of an old riverbed, and their increased elevation can be evidence that they have uplifted through folding that could be demonstrated that in the past, the wind gap valley was connected to a river path that was located on the southwest flank of the anticline and the river used to flow through this path, then as the Kabir Kuh anticline grew, the river deviated from its path and bypassed the current route of the southeastern nose of the anticline.

According to the evidence obtained from the analysis of parameters and considering that the Kabir Kuh anticline is compatible with the Zagros Frontal Fault (Fig. 1) (Berberian, 1995), the young movement of

the Mountain Frontal Fault can be manifested in the growth of Kabir Kuh Anticline. These pieces of evidence indicate that KA activity is connected to the MFF.

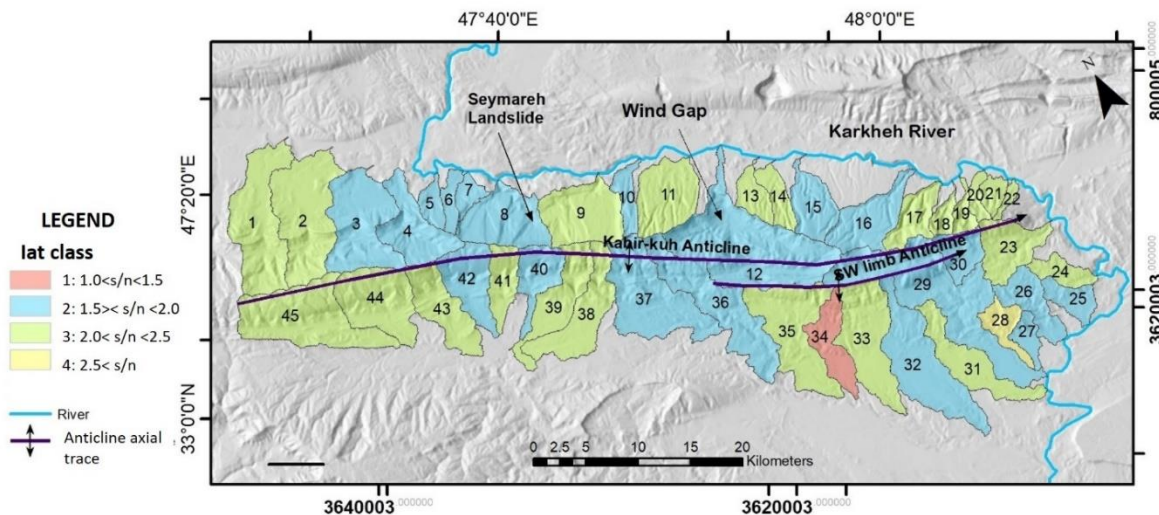


Fig. 2. Map of relative tectonic activity index (Iat) in the Kabir Kuh anticline drainage basins.

Naturally, active folding processes can block river path and accumulate water behind the fold in the form of lakes. Such an interpretation associates the presence of a lake at the location of the Seymareh landslide with fold growth, supporting the possibility that the lake was initially formed and then the landslide occurred as the northeastern flank of KA was saturated.

4-Conclusion

The most important outcome of this study can be summarized as follows.

The geomorphological indicators show evidence of tectonic activity in the study area at the southeast part of the Kabir Kuh Mountain;

Geomorphological evidence, such as a large wind gap in the middle of the anticline narrow-bedded deep valley between the wind gap and the southeastern nose of Kabir Kuh, supports the idea that Kabir Kuh Mountain is an active fold.

Alluvial deposits in the wind gap valley at higher levels indicate an old river flow. This situation may suggest that the Karkheh River once flowed through the wind gap valley and, with the growth of the fold, found a new path and bypassed the KA.

Considering the connection of the anticline with the Mountain Front Fault, the active folding is related to the activity of this main fault.

With the confirmation of the active thrust fault in Kabir Kuh, the possibility is supported that during the closure of the old river path to find a new path, an ancient lake formed within the Seymireh landslide zone and became a factor in creating Seymareh landslides.

5-References

- Bachmanov, DM, Trifonov, VG., Hessami KhT. Uozhurin, AI., Ivanovo, TP., Rogozhin, EA., Hadem, MCi, Tamali, FH., 2003. Active faults in the Zagros and central Iran, *Tectonophysics* 380, 221-241. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.09.021>.
- Berberian, M., 1995. Master -blind- thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics* 241, 193 – 224.
- Goode, JK, Burbank, DW., 2011. Kinematic Implications of consequent channels on growing folds. *Journal Of Geophysical Research* 116, 24 -38. <https://doi.org/10.1029/2010JB007617>.
- Homke S, Vergés J, Serra-Kiel J, Bernaola, G., Sharp I, Garcés M, Montero-Verdu I, Karpuz R, Goodarzi MH., 2009. Late Cretaceous–Paleocene formation of the proto Zagros foreland basin, Lurestan

- Province, SW Iran. Geological Society of America Bulletin 121, 963–978. <https://doi.org/10.1130/B26035.1>
- Keller, EA., Gurrola, L., Tierney, TE., 1999. Geomorphic criteria to determine direction of lateral propagation of reverse faulting and folding. *Geology* 27, 515-518. <https://doi.org/10.1130/0091-7613>.
- Keller, EA., and Pinter, N., 2002. Active tectonics: earthquakes uplift and landscape second edition: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 362 P.
- Scharer, KM., Burbank, DW., Chen, J., Weldon, RJ., 2006. Kinematic models of fluvial terraces over active detachment folds: constraints on the growth mechanism of the Kashi Atushi fold system, Chinese Tian Shan. *Geological Society of America Bulletin* 118, 1006–1021. <https://doi.org/10.1130/B25835.1>.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, JF., Sedighi, M., and Tavakoli, F., 2004. Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data, *Earth planet: Science Letters* 223, 177-185.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Faraji, S., Sadeghi, S., Razavi-Pash, R., Davoodi, Z., 2025. Active tectonics of the southeastern part of the Kabir Kuh Anticline, Zagros Fold-Thrust Belt. *Adv. Appl. Geol.* 15(1), 66-87.

DOI: 10.22055/aag.2024.46834.2453

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19721.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

زمین ساخت فعال بخش جنوب خاوری تاقدیس کبیرکوه، کمربند چین خورده - رانده زاگرس

سحر فرجی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

شهریار صادقی*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

رعنا رضوی پش

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

زینب داودی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

* shsadeghi@sci.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۷

چکیده

هدف از این مطالعه ترکیب اطلاعات حاصل از تحقیقات میدانی با شاخص های ریخت زمین ساختی برای بررسی زمین ساخت فعال توسط گسلش و چین خوردگی در تاقدیس کبیرکوه در کمربند چین خورده-رانده زاگرس است. در این راستا بررسی شاخص های زمین ریختی انجام شد و شواهد ریخت شناسی و زمین شناسی چین خوردگی فعال مورد بررسی قرار گرفت و اطلاعات بدست آمده تحلیل شد. با در کنار هم قرار دادن نتایج حاصل از شاخص های زمین ریختی و شواهد چین خوردگی فعال از بخش های جنوب خاوری تاقدیس کبیرکوه و مقایسه با مطالعات پیشین می توان در خصوص فعالیت زمین ساختی گستره و فعال بودن تاقدیس به عنوان یک چین خوردگی فعال اظهار نظر نمود، بدین ترتیب که با تحلیل شاخص های زمین ریختی، در حوضه های آبریز محدوده دماغه تاقدیس، محدوده هواچاک و محدوده زمین لغزش سیمره فعالیت زمین ساختی بالا برآورد می شود. شواهد نشان می دهند که چین خوردگی فعال می تواند دلیل تغییر مسیر رودخانه کرخه باشد، بدین ترتیب که پیش تر از مسیر هواچاک عبور می کرده و سپس از مسیر خود منحرف شده و در مسیر فعلی رودخانه کرخه جریان یافته و دماغه جنوب خاوری تاقدیس کبیرکوه را دور زده است. از آنجایی که تاقدیس کبیرکوه با گسل پیشانی کوهستان زاگرس مرتبط است، تغییر شکل جوان تاقدیس به فعال بودن این گسل مرتبط می شود.

واژه های کلیدی: کمربند چین خورده-رانده زاگرس، زمین ساخت فعال، تاقدیس کبیرکوه، گسل جبهه کوهستان، چین خوردگی فعال

۱- مقدمه

در مناطق فعال زمین ساختی تغییر شکل سطح زمین می تواند به صورت چین خوردگی های فعال نمود پیدا کند (Keller and Pinter, 2002). منظور از چین خوردگی فعال افزایش ابعاد چین به موازات محور یا عمود بر آن است. در سال های اخیر چین خوردگی های فعال به عنوان یکی از سیماهای زمین ساختی گستره های دارای فعالیت زمین ساختی جوان مورد بررسی قرار گرفته اند (Keller et al., 1999; Goode and Burbank, 2011; Scharer et al., 2006). یکی از ایالت های زمین ساختی که قابلیت پژوهش در زمینه

چین خوردگی فعال را دارد، کمربند چین خورده-رانده زاگرس است. بررسی سابقه لرزه خیزی و همچنین شواهد ژئومورفولوژیکی حاکی از ادامه حرکات نوزمین ساخت در زاگرس می باشد، به نحوی که بیش از ۵۰ درصد زلزله های ثبت شده در ایران در این پهنه رخ داده است (Mirzaei, 1997). عامل اصلی تغییر شکل در زاگرس ارتباط راندگی های پنهان و چین ها می باشد (Bachmanov et al., 2003; Berberian., 1995; Vernant et al., 2004; Homke et al., 2009). شواهد این تغییر شکل ها قابل شناسایی است و در پژوهش های پیشین مورد توجه قرار گرفته است (Izadi Kian and

(Mirzajani, 2022; Faghih et al., 2015).

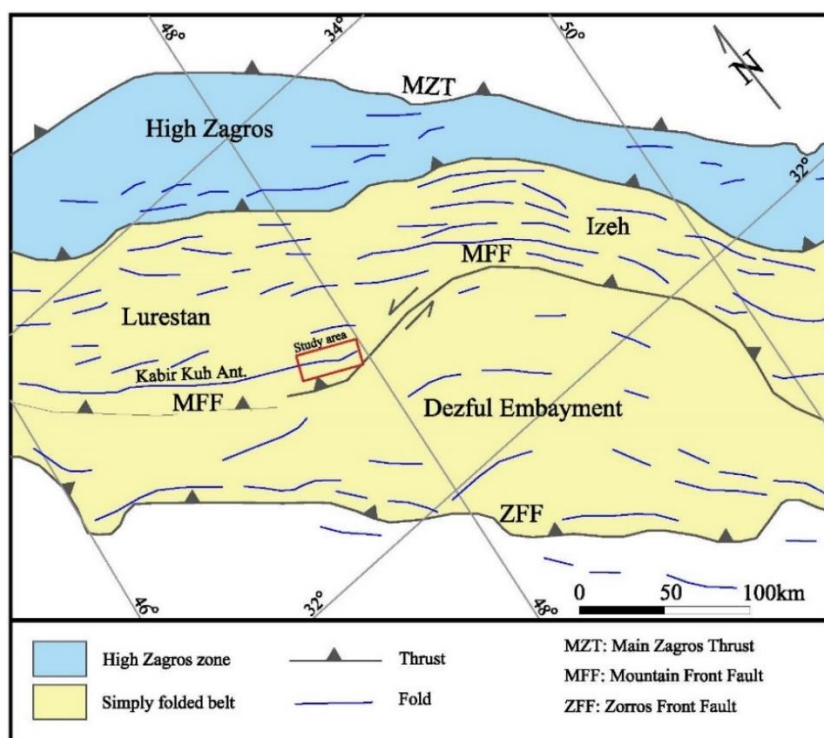
در این پژوهش شاخص های زمین ریختی تاقدیس کبیرکوه در بخش لرستان کمر بند چین خورده-رانده زاگرس (شکل ۱) بررسی شده و فعالیت زمین ساختی آن مورد بحث قرار گرفته است. همچنین این تاقدیس از منظر وجود شواهد زمین ریخت شناسی و زمین شناسی چین خوردگی فعال نیز مورد بحث قرار گرفته است.

۲- جایگاه زمین شناسی

گستره مورد مطالعه بخش های جنوب خاوری و محدوده دماغه جنوب خاوری تاقدیس کبیرکوه را در بر می گیرد. تاقدیس کبیرکوه در شمال خاور گسل پیشانی کوهستان (MFF) (Falcon, 1969) که از گسل های فعال زاگرس به حساب می آید قرار گرفته است. این تاقدیس یکی از سیماهای بزرگ زمین ساختی در بخش لرستان کمر بند چین خورده-رانده زاگرس است (Berberian, Sepehr and Cosgrove, 2004). که از چین خوردگی رسوبات پالئوزوئیک تا ترشیاری سکوی عربی حاصل شده است (شکل ۲). گسل پیشانی کوهستان مهمترین گسل گستره مورد مطالعه است که با راستای شمال باختر-جنوب خاور به موازات تاقدیس کبیرکوه قرار گرفته است.

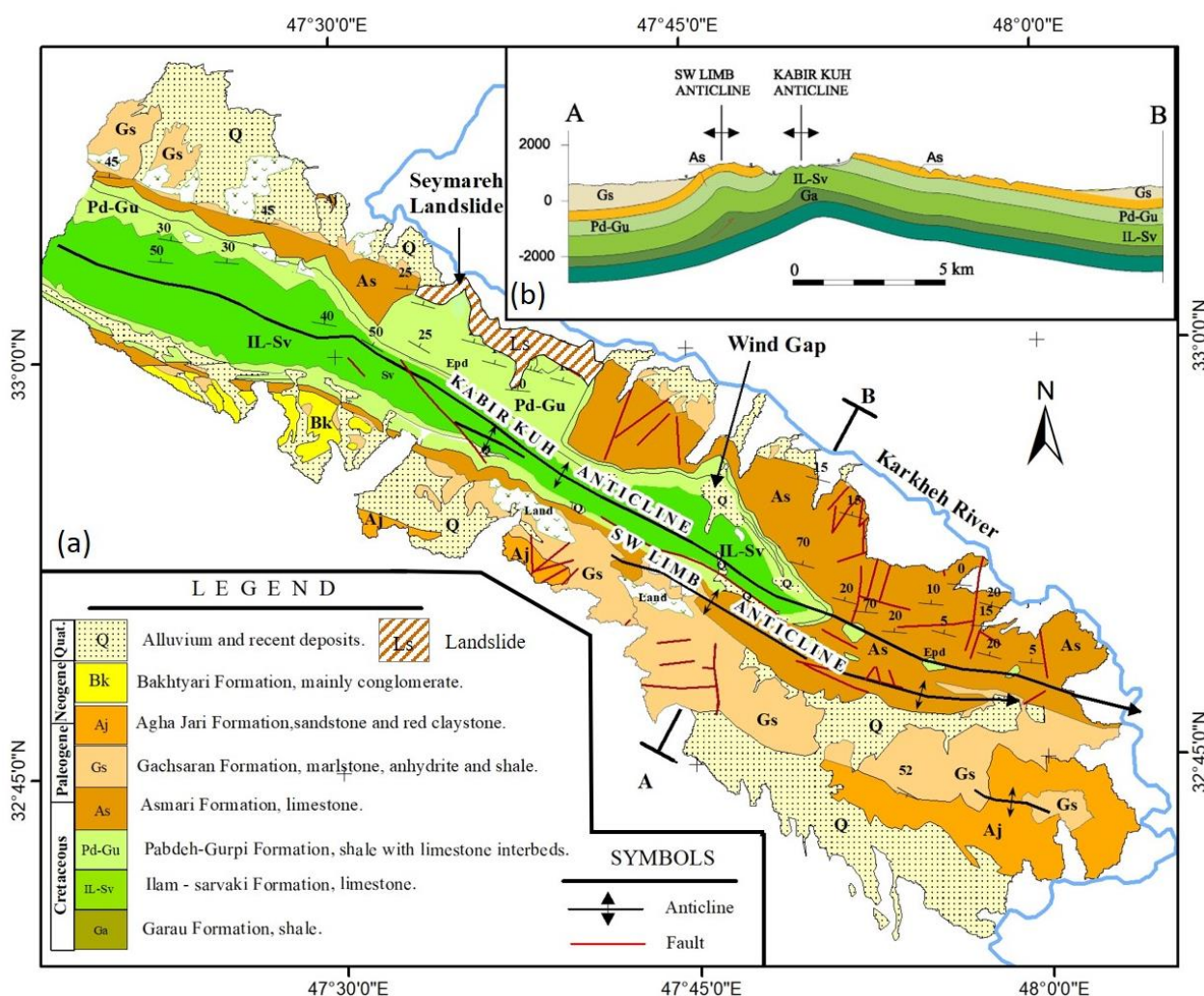
از نظر چینه شناسی قدیمی ترین سنگ هایی که در تاقدیس کبیرکوه رخنمون پیدا کرده اند مربوط به سازند گرو به سن کرتاسه تحتانی بوده که از شیل های تیره و سنگ آهک تشکیل شده اند. بر روی سازند گرو سازند های سروک و ایلام قرار گرفته اند. در ادامه سازند گورپی (به جنس شیل و مارن) و سازند پایده (مارن و شیل به انضمام سنگ آهک رسی) قرار دارند. در بالای توالی رسوبی، سازند آسماری و گروه فارس (سازند گچساران و آغا جاری) قرار گرفته اند. سازند بختیاری به صورت پراکنده در دامنه های کبیرکوه دیده می شود (شکل ۲). در گستره مورد مطالعه تاقدیس کبیرکوه ساختار ساده ای ندارد، بلکه در پهلوی جنوب باختری تاقدیس، یک تاقدیس کوچک نیز بوجود آمده است (SW limb anticline در شکل ۲).

دامنه شمال خاوری تاقدیس کبیرکوه شامل یکی از بزرگترین زمین لغزش های جهان به نام زمین لغزش سیمره است (شکل ۲). زمین لغزش سیمره یکی از حوادث تاثیر گذار بوده است و عقیده بر این است که باعث ریزش دامنه ای کبیرکوه، سدکنندگی مسیر رودخانه ای سیمره و ایجاد دریاچه ای بزرگ گردیده است که هر چند از بین رفته، شواهد آن قابل مشاهده است.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی از بخش لرستان زاگرس. گستره مورد مطالعه با مستطیل قرمز نشان داد شده است.

Fig. 1. Geological map of the Lurestan sector of the Zagros. The study area is indicated by the red rectangle.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی گستره مورد مطالعه برگرفته از نقشه های زمین شناسی ایلام-کوهدشت (Llewellyn, 1974)، دالپری (Setudehnia and Perry, 1967) و دهلران (Fakhari, 1993) با پاره ای تغییرات.

Fig. 2. Geological map of the study area. Adapted from the geological maps of Ilam-Kuhdasht (Llewellyn, 1974), Dal Parri (Setudehnia and Perry, 1967), and Dehluran (Fakhari, 1993) with some modifications.

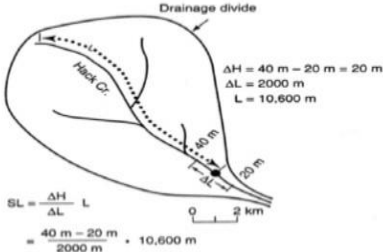
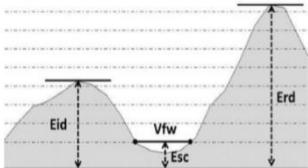
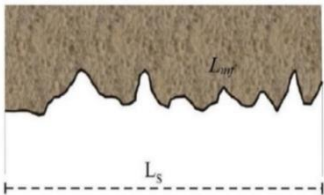
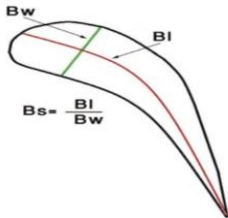
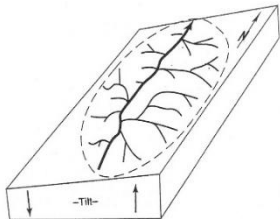
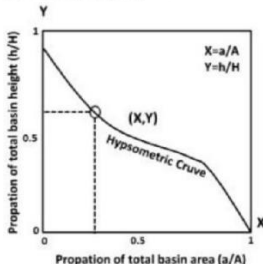
۳- روش پژوهش

برای بررسی میزان فعالیت زمین ساختی تاقدیس کبیرکوه در گستره مورد مطالعه، شاخص های زمین ریختی برآورد شده اند و همچنین شواهد ریخت شناسی و زمین شناسی چین خوردگی فعال مورد بررسی قرار گرفته است.

در تحلیل شاخص های زمین ریختی، در آغاز با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک ۳۰ متر و با کمک ابزار ArcHydro در محیط نرم افزار ArcGIS، رودخانه ها، آبراهه های اصلی و حوضه های آبریز مشخص شده و منطقه به ۴۵ زیر حوضه تقسیم شده است و سپس شاخص های زمین ریختی همه ی زیر حوضه ها برآورد شده اند. شاخص

های برآورد شده شامل شاخص گرادیان طولی رودخانه (شاخص SL)، شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان (Smf)، شاخص نسبت پهنای دره به عمق دره (Vf)، تراکم آبراهه ها (P)، شاخص نسبت شکل حوضه (Bs)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، و شاخص انتگرال فرازسنجی (Hi) است (جدول ۱). با میانگین گیری از رده بندی شاخص ها (s/n)، شاخص نسبت فعالیت زمین ساختی (Iat) برآورد شده است. در بحث شواهد چین خوردگی فعال، بی هنجاری در الگوی آبراهه ها هندسه رودخانه کرخه در مجاورت دماغه جنوب خاوری تاقدیس کبیرکوه بررسی شده است. همچنین در بازدید صحرایی هواچاک مورد بررسی قرار گرفته و شواهد صحرایی جریان قدیمی رودخانه در آن بررسی شده است.

جدول ۱- جزئیات محاسبه شاخص های زمین‌ریختی حوضه‌های آبریز
Table 1. Detail of calculation of geomorphic indices for drainage basins.

References	Figure	Concept	Formula	Index
Keller and Pinter (2002) Chen et al. (2003) Zuchiewicz (1995b)		High Activity: $500 \geq SL$ Moderate Activity: $500 < SL \leq 300$ Low Activity: $300 < SL$ Dehbozorgi et al. (2010)	$SL = (\Delta H / \Delta L) * L$	Slope-Length Gradient (SL)
Silva et al. (2003) Guarnieri and Pirrotta (2008) Bull and Mcfaden (1977) Zuchiewicz (1995a)		Inactive: $Vf > 1$ Moderate Activity: $1 > Vf > 0.5$ High Activity: $Vf < 0.5$ El Hamdouni et al. (2008)	$VF = 2vfw / (Eld - Esc) + (Erd - Esc)$	Valley Floor Width to Valley Height Ratio (VF)
Keller and Pinter (2002) Bull and Mcfaden (1977) Silva et al. (2003)		High Activity: $SMf < 1.1$ Moderate Activity: $1.1 > SMf < 1.5$ Low Activity: $SMf > 1.5$ El Hamdouni et al. (2008)	$SMf = Lmf / Ls$	Mountain Front Sinuosity (SMF)
Ramirez-Herrera (1998) Engstrom (1989)		Inactive or Low Activity: $BS < 3$ Moderate Activity: $3 < BS < 4$ High Activity: $BS \geq 4$ El Hamdouni et al. (2008)	$BS = BI / BW$	Basin Shape (BS)
Horton (1932) Mosumeci et al. (2003) Zuchiewicz (1995a)		High Activity: $P < 0.5$ Moderate Activity: $0.5 < P < 0.6$ Low Activity: $P > 0.6$	$P = \sum Li / A$	Drainage Density (P)
Guarnieri and Pirrotta (2008) Keller and Pinter (2002) Ozkaymak and Sozbilir (2012)		Low Activity: $Af - 50 < 7$ Moderate Activity: $7 < Af - 50 < 15$ High Activity: $Af - 50 > 15$ El Hamdouni et al. (2008)	$AF = 100 * (Ar / At)$	Asymmetric Factor (AF)
Bull (2007) Chen et al. (2003) Strahler (1952)		Low Activity: $Hi < 0.4$ Moderate Activity: $Hi < 0.5 < 0.4$ High Activity: $Hi > 0.5$ El Hamdouni et al. (2008)	$Hi = (Hmean - Hmin) / (Hmax - Hmin)$	Hypsometric Integral (Hi)

۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱- ریخت‌شناسی تاقدیس کبیرکوه در گستره مورد

مطالعه

تاقدیس کبیرکوه به صورت یک تاقدیس شکنجی بزرگ با راستای شمال‌باختر-جنوب‌خاور قرار گرفته‌است. این تاقدیس یکی از مهم‌ترین ارتفاعات زاگرس چین‌خورده است و مهم‌ترین و بزرگ‌ترین رشته کوه در خاور استان ایلام و جنوب‌باختری استان لرستان را تشکیل داده است و به صورت رشته کوهی در راستای شمال‌باختر-جنوب‌خاور به طول ۱۷۵ کیلومتر کشیده شده و پهنایی بین ۴۵ تا ۸۰ کیلومتر دارد و از چین‌خوردگی سنگ‌های رسوبی بخش لرستان زاگرس بوجود آمده است. بیشترین ارتفاع کوهستان در گستره مورد مطالعه ۱۹۳۸ متر از سطح دریا است. دامنه‌های کوهستان دارای شیب عمومی همسو با لایه‌بندی هستند.

رودخانه کرخه به موازات دامنه شمالی کوهستان جریان دارد و دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس را دور زده است. در امتداد تاقدیس کبیرکوه یک هواچاک (Wind Gap) به صورت یک دره بزرگ در نقشه (شکل ۲) و نیم‌رخ توپوگرافی (شکل ۳) نمود پیدا کرده است. هواچاک‌ها مسیرهای قدیمی جریان رودخانه هستند که به دلیل انسداد مسیر جریان خشک شده‌اند. در مقابل دره‌هایی که رودخانه در آنها جریان دارد را آب‌چاک (Water Gap) می‌گویند.

۴-۲- شاخص‌های زمین‌ریختی

برای حوضه‌های مختلف ارزش شاخص‌ها محاسبه شده است و کلاس بندی هر یک انجام پذیرفته است. ارزش و کلاس بندی شاخص‌ها به طور خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج بدست آمده از هر کدام از شاخص‌ها در ادامه ارائه می‌شود.

۴-۲-۱- شاخص گرادیان طولی آبراهه (SL)

این شاخص توسط (هک ۱۹۷۳) (Hack, 1973) در مطالعه نقش مقاومت سنگ در آبراهه‌های کوهستان‌های آپالاش جنوب‌خاور ایالات متحده آمریکا تعریف شده است. شاخص SL هرگونه بی‌نظمی در نیم رخ طولی رودخانه را نشان می‌دهد و

به تغییرات قدرت حمل رودخانه، جنس بستر و شیب حساس است. بنابراین امکان ارزیابی بین فعالیت زمین‌ساختی و تغییرات مقاومت سنگ را مهیا می‌سازد. افزایش یا کاهش ناگهانی شیب بستر رودخانه سبب کاهش و افزایش این شاخص می‌شود. این تغییرات می‌تواند به دلیل تغییرات سنگ‌شناسی یا تغییر شکل زمین در محل گسل‌ها یا چین‌خوردگی‌های فعال ایجاد شود. لذا برای تعیین تاثیر فعالیت زمین‌ساختی بر روی این شاخص، لازم است تغییرات سنگ‌شناسی مورد بررسی قرار گیرد. در صورت یکنواخت بودن جنس بستر رودخانه، مقادیر کم و زیاد SL می‌تواند به عنوان نشانه فعالیت زمین‌ساختی در نظر گرفته شود. به این ترتیب در سنگ‌های با مقاومت پایین مقدار این شاخص عموماً پایین می‌باشد و مقدار بالای آن نشان دهنده بالا بودن فعالیت زمین‌ساختی است و در سنگ‌های با مقاومت زیاد، علاوه بر تاثیر افزایش فعالیت زمین‌ساختی بر افزایش شاخص SL، عبور رودخانه در راستای پهنه‌های سست گسله می‌تواند به مقدار پایین آن بینجامد.

با پیاده نمودن تغییرات شاخص SL در آبراهه‌های اصلی بر روی نقشه ساده‌ای از تفکیک لایه‌ها بر اساس مقاومت در برابر فرسایش (شکل ۴) امکان بررسی تغییرات شاخص SL فراهم شده است. واحدهای مقاوم شامل سازندهای ایلام-سروک، آسماری، و بختیاری هستند و واحدهای ضعیف شامل سازندهای پابده، گورپی، گچساران، آغاچاری و آبرفت‌ها می‌باشد. شاخص SL برای آبراهه‌های اصلی تاقدیس انجام شده است (شکل ۴) و میانگین شاخص حوضه‌ها نیز بدست آمده است (شکل ۵). مقادیر بالای شاخص SL در پهلوی شمال خاوری تاقدیس از زمین‌لغزش سیمره به سمت دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس و در پهلوی شمالی از محدوده دره هواچاک به سمت تا دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس وجود دارند (شکل‌های ۴ و ۵). در عمده مواردی که ارزش شاخص SL بالا است، سنگ‌شناسی یکنواخت و از یک جنس است. لذا تغییرات سنگ‌شناسی در بحث تغییرات شاخص SL در محدوده‌های ذکر شده تاثیری ندارد.



شکل ۳- موقعیت هواچاک (Wind Gap) و آبچاک (Water Gap) بر روی نیم رخ توپوگرافی در راستای اثر محوری تاقدیس کبیرکوه.
Fig. 3. The positions of Wind Gap and Water Gap on the section along the axial trace of the Kabir Kuh anticline.

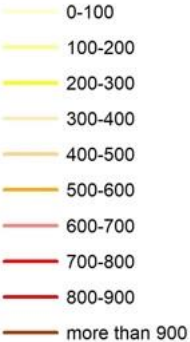
جدول ۲- ارزش و کلاس بدست آمده برای هر یک از حوضه های آبریز تاقدیس کبیرکوه.

Table 2. Calculated value and class for the Kabir Kuh drainage basins.

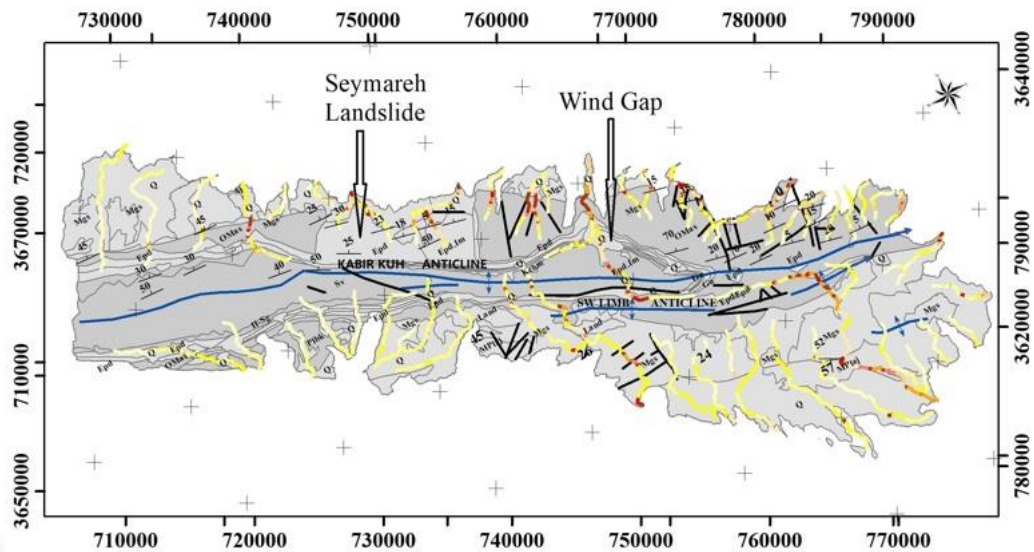
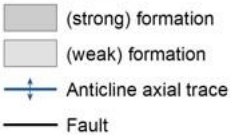
Basin	SL		P		Smf		BS		Vf		AF		Hi	
	Value	Class	Value	Class	Value	Class	Value	Class	Value	Class	Value	Class	Value	Class
1	105	3	0.24	1			3.2	2	1.2	3	-10.7	2	0.499	2
2	230	3	0.23	1			2.2	3	0.7	2	2.7	3	0.492	2
3	748	1	0.16	1			1.5	3	0.3	1	9.8	2	0.501	1
4	943	1	0.33	1			2.2	3	0.1	1	-12.1	2	0.504	1
5	146	3	0.47	1			2.1	3	0.2	1	19.1	1	0.497	2
6	48	3	0.30	1			4.4	1	1.1	3	25.5	1	0.501	1
7	148	3	0.45	1			1.6	3	0.3	1	-24.6	1	0.496	2
8	778	1	0.27	1			0.7	3	0.1	1	-35.0	1	0.490	2
9	553	1	0.31	1			0.9	3	0.8	2	2.6	3	0.496	2
10	474	2	0.49	1			3.4	2	0.1	1	7.0	3	0.420	2
11	682	1	0.46	1			1.5	3	1.7	3	6.9	3	0.497	2
12	1842	1	0.31	1			2.3	3	0.5	2	1.2	3	0.506	1
13	318	2	0.46	1			1.9	3	0.2	1	-33.9	1	0.495	2
14	315	2	0.44	1			2.8	3	0.6	2	3.7	3	0.498	2
15	658	1	0.64	3			2.1	3	0.6	2	-38.2	1	0.501	1
16	797	1	0.49	1			1.9	3	1.4	3	34.6	1	0.494	2
17	301	3	0.55	2			2.2	3	0.2	1	18.9	1	0.497	2
18	234	3	0.72	3			2.3	3	0.1	1	-6.8	3	0.505	1
19	256	3	0.78	3			2.6	3	0.2	1	-13.7	2	0.496	2
20	154	3	0.27	1			3.9	2	0.3	1	-3.5	3	0.494	2
21	241	3	0.60	2			1.5	3	0.3	1	13.4	2	0.502	1
22	381	2	0.10	1			3.8	2	1.2	3	-5.4	3	0.499	2
23	264	3	0.34	1	1.1	2	1.3	3	0.4	1	-5.3	3	0.498	2
24	1124	1	0.52	2			2.8	3	0.1	1	-6.6	3	0.494	2
25	104	3	0.36	1			1.5	3	0.2	1	-21.9	1	0.494	2
26	132	3	0.31	1			1.8	3	0.1	1	-18.3	1	0.497	2
27	73	3	0.59	2			2.3	3	0.8	2	-10.8	2	0.504	1
28	145	3	0.69	3			2.0	3	2.8	3	-10.6	2	0.500	1
29	3956	1	0.36	1	1.0	1	3.8	2	1.2	3	-0.5	3	0.493	2
30	137	3	0.38	1	1.0	1	1.2	3	1.8	3	-15.2	1	0.502	1
31	362	2	0.56	2			4.2	1	3.9	3	-3.9	3	0.503	1
32	399	2	0.34	1			3.6	2	2.4	3	7.3	2	0.501	1
33	167	3	0.44	1	1.1	2	2.4	3	2.9	3	-1.1	3	0.494	2
34	1335	1	0.48	1	1.1	2	3.2	2	0.1	1	-12.4	2	0.503	1
35	164	3	0.26	1	1.0	1	1.5	3	2.7	3	-10.4	2	0.499	2
36	1376	1	0.43	1	1.8	3	3.9	2	0.8	2	-8.4	2	0.492	2
37	613	1	0.22	1	1.0	1	1.9	3	2.2	3	24.1	1	0.496	2
38	140	3	0.39	1	1.1	2	4.3	1	3.8	3	4.4	3	0.025	3
39	158	3	0.47	1	1.3	2	3.7	2	7.3	3	6.3	3	0.471	2
40	110	3	0.42	1	1.2	2	2.1	3	0.4	1	27.4	1	0.495	2
41	82	3	0.35	1	1.2	2	3.0	2	2.6	3	0.3	3	0.511	1
42	63	3	0.27	1	1.2	2	1.9	3	0.5	2	-28.1	1	0.502	1
43	77	3	0.23	1			2.5	3	0.8	2	-7.1	2	0.495	2
44	68	3	0.15	1	1.2	2	1.4	3	1.2	3	-1.8	3	0.501	1
45	470	2	0.22	1	1.2	2	2.2	3	1.2	3	-19.6	1	0.497	2

LEGEND

SL

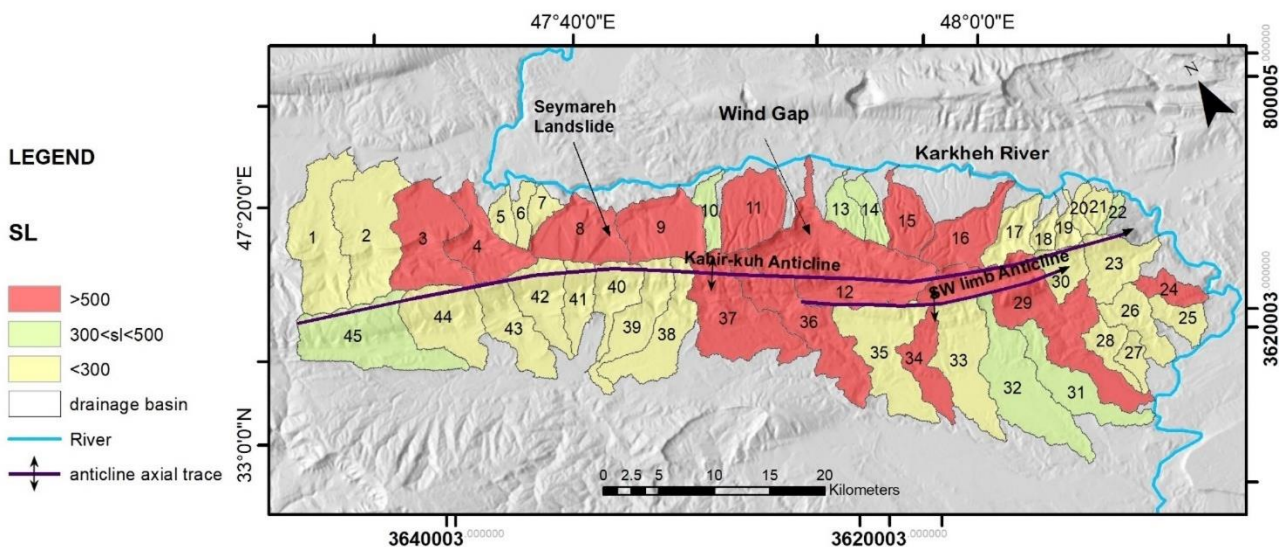


formation



شکل ۴- وضعیت شاخص گرادیان طولی آبراهه (SL) برای آبراهه‌های اصلی بر روی نقشه ساده شده بر اساس مقاومت سازند ها نسبت به فرسایش به صورت محدوده‌های مقاوم (strong) و ضعیف (weak).

Fig. 4. Slope length-gradient (SL) index of main drainages on the simple map based on resistance to erosion of the formations to strong and weak zones.



شکل ۵- نقشه میانگین شاخص گرادیان طول رودخانه (SL) در حوضه‌های مختلف تاکدیس کبیرکوه.

Fig. 5. Average slope length-gradient index (SL) Map in various basins of the Kabir Kuh anticline.

آبراهه‌ها توسعه بیشتر یافته اند، تراکم آبراهه بیشتر است.

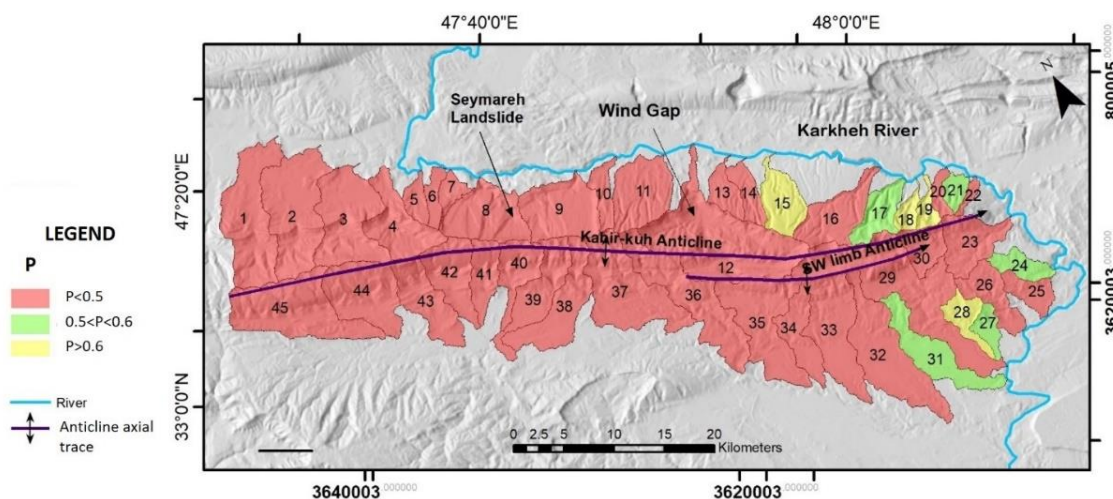
مشاهدات نشان می‌دهد که تراکم زهکشی در پهلویی از چین که دچار رشد جانبی شده باشند نسبت به پهلوی دیگر چین کمتر است. بنابراین کاهش تراکم زهکشی یک شاهد معتبر برای توسعه چین می‌باشد (Keller, 2002). با شروع

۴-۲-۲- شاخص تراکم آبراهه (P)

تراکم آبراهه از تقسیم جمع طول آبراهه‌های موجود در حوضه بر مساحت حوضه بدست می‌آید. این شاخص به درجه فرسایش یافتگی حوضه وابسته می‌باشد، تراکم آبراهه با گذشت زمان افزایش می‌یابد، بدین ترتیب که در حوضه‌های قدیمیتر که

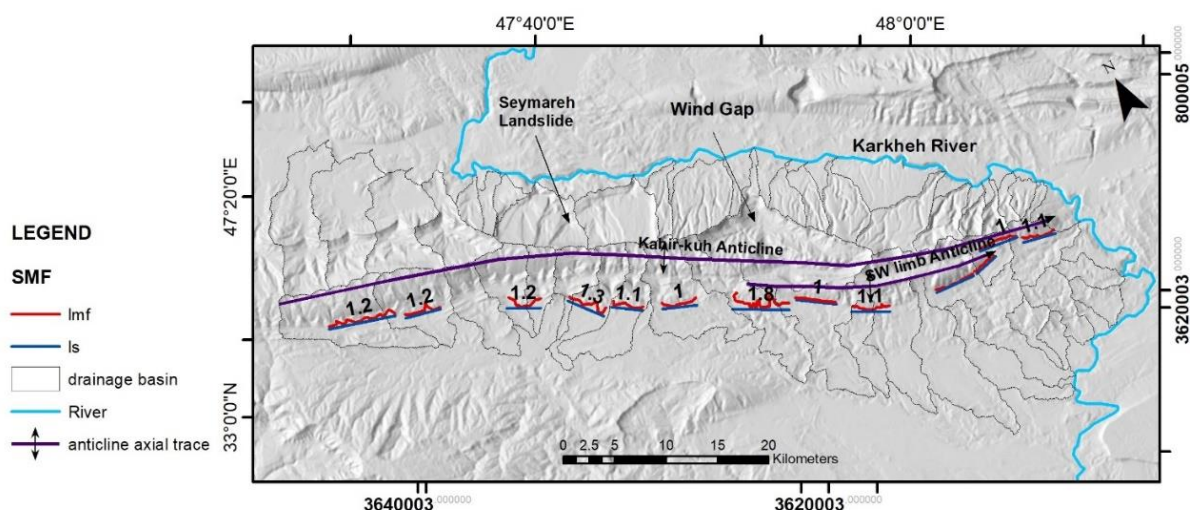
جانبی سبب شکل‌گیری آبراهه‌های جدید در دماغه چین می‌شود. از آنجایی که آبراهه‌های جدید توانایی و فرصت کمتری در حفر بستر دارند، طول آبراهه‌ها نسبت به نواحی دیگر تاقدیس کمتر است و به تبعیت از آن مساحت حوضه‌های آبریز نیز کاهش می‌یابد.

رشد چین، توپوگرافی حاصل مورد تهاجم فرآیندهای سطحی قرار می‌گیرد و حفر پهلوها به وسیله آبراهه‌ها شروع می‌شود و حوضه‌های آبریز توسعه پیدا می‌کنند. به این دلیل شاخص تراکم آبراهه در این حوضه‌های جوان کمتر است، اما در بخش‌های اولیه‌ی تاقدیس، آبراهه‌ها فرصت بیشتری برای حفر بستر و گسترش دارند و مقدار شاخص بیشتر می‌شود. همچنین رشد



شکل ۶- نقشه شاخص تراکم آبراهه (P) حوضه‌های آبریز تاقدیس کبیرکوه

Fig. 6. Map of drainage density Index (P) of the drainage basins of the Kabir Kuh anticline.



شکل ۷- نقشه شاخص پیچ و خم کوهستان (Smf) برای پهلوی پیشانی تاقدیس کبیرکوه

Fig. 7. map of mountain front sinuosity (Smf) of the forelimb of the Kabir Kuh anticline

(زیرحوضه‌های ۵ و ۶ و ۷ و ۱۰)، در محدوده هواچاک (زیرحوضه‌های ۱۳ و ۱۴) و دماغه جنوب‌باختری تاقدیس (زیرحوضه‌های ۱۸ تا ۲۲ و ۲۴ تا ۲۷) دیده می‌شوند (شکل ۶).

شاخص P در عمده بخش‌های تاقدیس مقادیر پایینی دارند (شکل ۶). در بخش‌هایی از تاقدیس زیرحوضه‌ها کوچکتر هستند. زیرحوضه‌های کوچک در مجاورت زمین‌لغزش سیمره

۴-۲-۳- شاخص پیچ و خم کوهستان (SMF)

نیروهای فرسایش دهنده تمایل به بریدن و ایجاد شکل‌های خلیجی و تورفتگی به داخل پیشانی کوهستان دارند و برخاستگی کوهستان تمایل به ایجاد یک پیشانی مستقیم است. شاخص smf بیانگر تقابل این دو نیرو است. بالا آمدگی در امتداد جبهه کوهستان ماهیت مستقیم را حفظ می‌کند و فرسایش بعدی باعث شکل موجی آن می‌شود، به خصوص در جایی که مقاومت سنگ نسبت به فرسایش کم باشد. اگر در اثر کاهش برخاستگی فرآیند فرسایش تاثیر بیشتری روی جبهه کوه بگذارد، مقدار پیچ و خم افزایش پیدا می‌کند. هرگاه مقدار این شاخص با یک برابر باشد بیانگر برخاستگی است و افزایش مقدار این شاخص بیانگر کاهش برخاستگی می‌باشد (Keller and Pinter., 2002).

جبهه کوهستان را باید در تکه‌هایی مجزا انجام داد. وضعیت هایی از قبیل انحراف ناگهانی در پیشانی کوهستان، بریده شدن جبهه کوهستان به وسیله یک آبراهه بزرگ، تغییر ناگهانی در سنگ‌شناسی پیشانی کوهستان، تغییر ناگهانی در ویژگی های زمین‌ریخت‌شناسی اصلی نسبت به بخش‌های دیگر پیشانی کوهستان متصل به آن، تکه‌های مختلف را از یکدیگر جدا می‌نمایند (Wells et al., 1988). در این پژوهش ارزیابی شاخص Smf در پهلوی جنوبی تاقدیس کبیرکوه انجام گرفته‌است. در

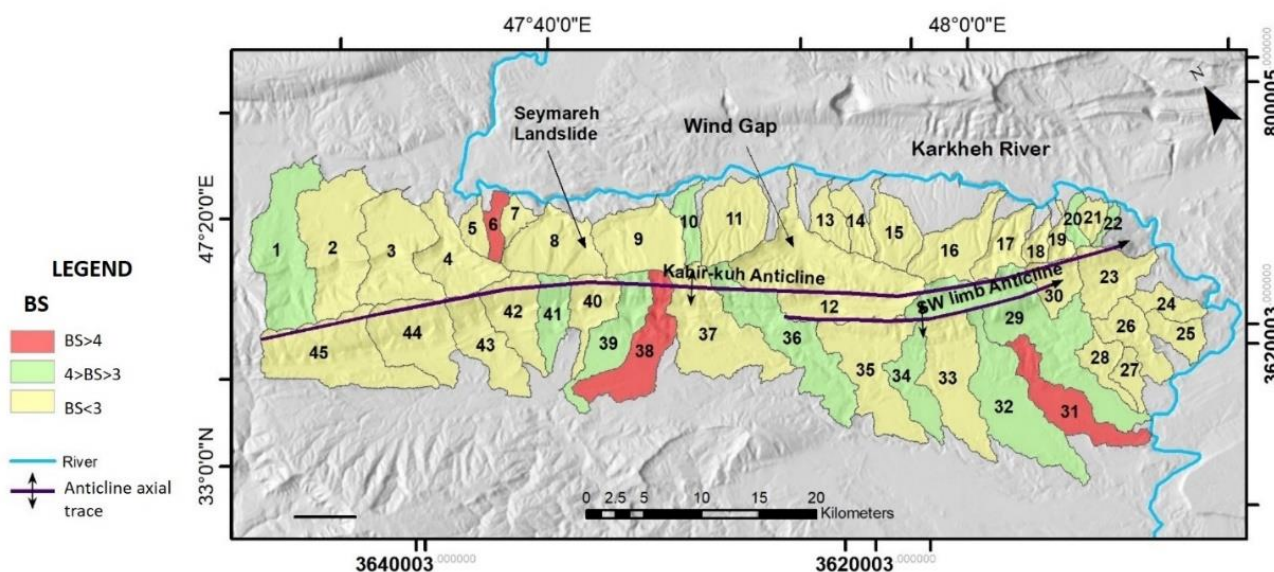
این راستا از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) و ترازهای توپوگرافی استفاده شده و پس از اندازه‌گیری دو پارامتر طول اندازه‌گیری شده جبهه کوهستان (Lmf) و طول خط مستقیم بین ابتدا و انتهای قطعه (LS) در حد فاصل بین کوه و دشت برای ۱۳ قطعه اندازه‌گیری شده است (شکل ۷).

بر اساس محاسبات صورت گرفته مقدار Smf در جنوب‌خاور جبهه کوهستان مقدار نزدیک به ۱ دارد. این به معنی است که برخاستگی در این بخش بالا است. به سمت شمال‌باختر Smf مقادیر بیشتری دارد که نشان از برخاستگی کمتر است (شکل ۷).

۴-۲-۴- شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (BS)

شکل حوضه تابعی از فعالیت زمین‌ساختی است. در نواحی دارای زمین‌ساخت فعال، مقادیر زیاد این شاخص مربوط به حوضه‌های کشیده می‌باشد در حالی که در حوضه‌های دایره‌ای شکل مقدار شاخص کم بوده و می‌تواند نشان از فعالیت زمین‌ساختی کم باشد. بدین ترتیب زمانی که فعالیت زمین‌ساختی کم یا متوقف می‌شود، حوضه‌ها پهن‌تر شده و هنگامی که پیشانی کوهستان بالا می‌آید حوضه‌ها کشیده می‌شوند (Dehbozorgi et al., 2010).

در تاقدیس کبیرکوه، تعداد بیشتری از حوضه‌های موجود در جنوب‌خاوری گستره (در دماغه تاقدیس و پهلوی جنوب‌خاوری آن) مقادیر بالاتری دارد (شکل ۸).



شکل ۸- نقشه شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (BS) حوضه‌های آبریز تاقدیس کبیرکوه.
Fig. 8. Basin shape index (Bs) map of drainage basins of the Kabir Kuh anticline

۴-۲-۵- شاخص نسبت کف دره به عمق دره (VF)

یکی از ویژگی های شبکه های آبراهه ها که در کمربند چین-خوردۀ رانده جریان دارند خصوصیتی است که در مقطع عرضی دره های این رودخانه مشاهده می شود (Burbank and Anderson., 2001). محاسبه شاخص VF از طریق مقایسه ارتفاع دامنه های دوسوی دره و عرض بستر دره از طریق فرمول ارائه شده در جدول (۱) انجام می شود (Bull and Mcfaden., 1977). آبراهه ها در پاسخ به برخاستگی بستر را حفر می کنند و سبب افزایش ارتفاع دامنه های دره می شوند. در شرایط پایدار بودن زمین از نظر زمین ساختی، آبراهه ها از طریق فرسایش جانبی عرض بستر را افزایش می دهند.

در شرایط بالا بودن فعالیت زمین ساختی مقدار عرض بستر رودخانه (Vfw) کاهش می یابد و لذا مقدار شاخص VF به سمت عدد صفر میل می کند و با پایین بودن فعالیت زمین ساختی، مقدار Vfw افزایش می یابد و شاخص VF بزرگتر می شود.

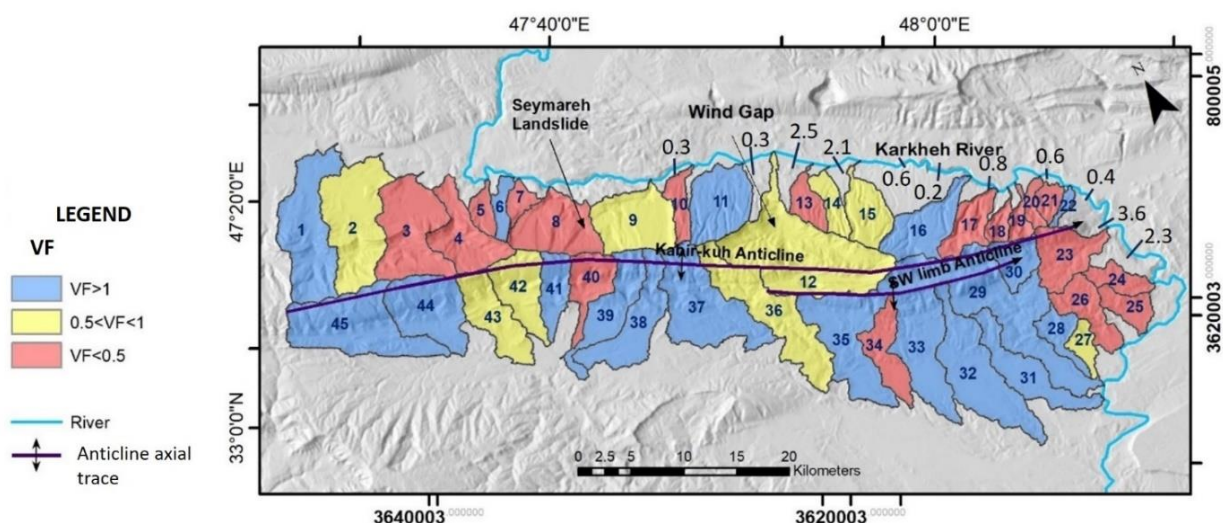
برای زیرحوضه های تقادیس کبیرکوه، برای آبراهه های اصلی تمامی حوضه ها مقادیر VF در فواصل ۴ کیلومتر محاسبه گردید و سپس از مقادیر برای هر حوضه میانگین گرفته شد و به عنوان مقادیر VF حوضه در نقشه پیاده گردیده است (شکل ۹). در شمال باختر گستره (در محدوده زمین لغزش سیمره) و جنوب خاور (در دماغه تقادیس کبیرکوه) حوضه های با مقادیر VF پایین در کنار یکدیگر دیده می شوند (شکل ۹).

در این مطالعه علاوه بر محدوده مورد نظر، مقادیر VF دره رودخانه کرخه در مجاورت تقادیس کبیرکوه نیز در چند مقطع محاسبه شد (شکل ۹). این شاخص در راستای رودخانه کرخه در بخش های شمال باختری (مجاور زمین لغزش سیمره) مقدار ۰/۳ را نشان می دهد. در بخشی از رودخانه که هواچاک وجود دارد مقادیر VF به یکباره بیشتر می شود (مقادیر ۲/۵ و ۲/۱) و پس از آن تا دماغه جنوب خاوری تقادیس کبیرکوه مقادیر کم می شود و مقادیر ۰/۲ تا ۰/۸ را نشان می دهد قرار می گیرد. در ادامه و پس از عبور از دماغه جنوب خاوری تقادیس کبیرکوه هر چه به سمت جنوب خاوری حرکت می کنیم مقادیر به دست آمده بیشتر می شود (مقادیر ۳/۶ و ۲/۳) (شکل ۱۰).

۴-۲-۶- شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)

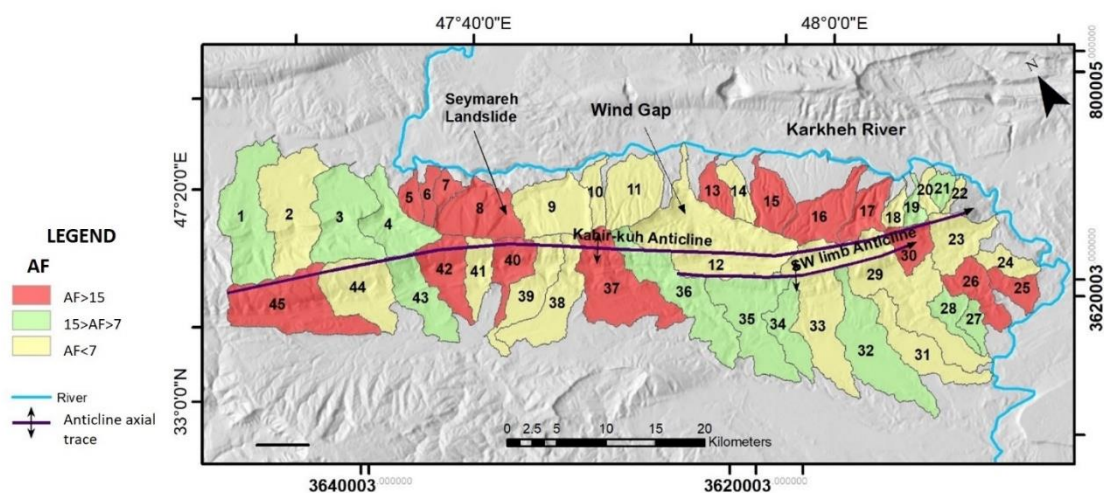
شاخص عدم تقارن حوضه می تواند کج شدگی ناشی از تکتونیک را در مقیاس یک ناحیه و یا یک حوضه وسیع نشان دهد Keller and Pinter., (2002) مقادیر عددی این شاخص بیانگر وجود کج شدگی حوضه بر اثر عملکرد فرسایش در سمت راست یا چپ آبراهه اصلی است و هرگاه این مقادیر کمتر از ۷ باشد نشان دهنده وجود تقارن زهکش های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و در نتیجه عدم وجود کج شدگی ناشی از تاثیر فعالیت زمین ساختی است.

شاخص Af. در بین زیر حوضه های منطقه مورد مطالعه مقادیر متفاوت Af در قسمت های مختلف تقادیس مشاهده می شود و روند مشخصی دیده نمی شود (شکل ۱۰).



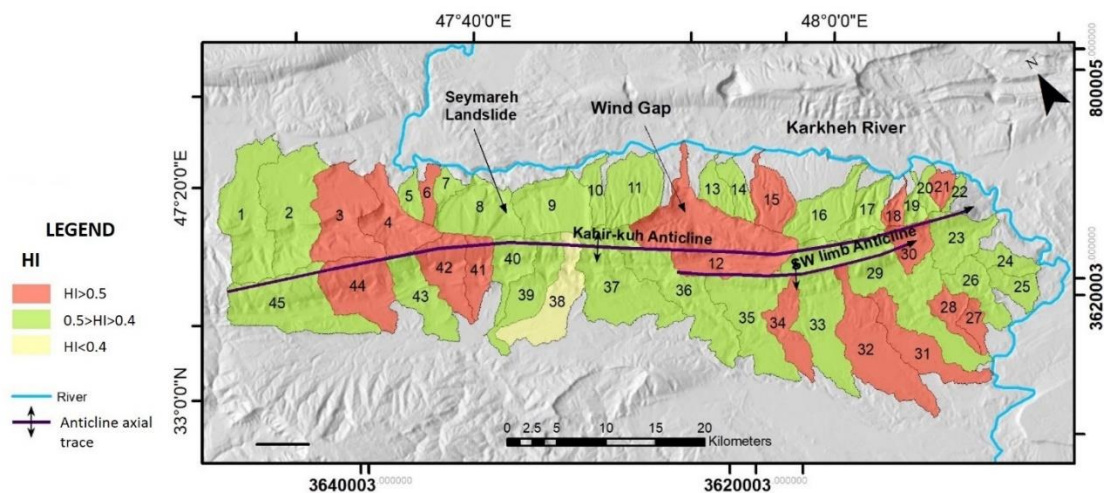
شکل ۹- نقشه شاخص نسبت کف دره به عمق دره (VF) برای حوضه های تقادیس کبیرکوه و در مقاطعی از رودخانه کرخه

Fig. 9. Ratio of valley floor width to valley depth index (Vf) map of drainage basins of the Kabir Kuh anticline and for sections along the Karkheh River.



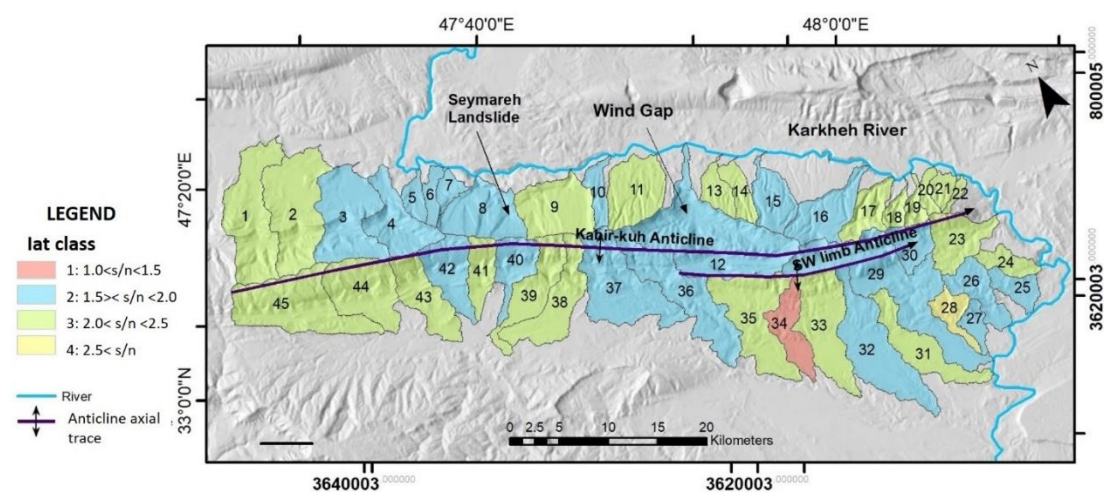
شکل ۱۰- نقشه شاخص عدم تقارن حوضه (Af) حوضه‌های آبریز تاقدیس کبیرکوه.

Fig. 11. Map asymmetric factor index (Af) of drainage basins of the Kabir Kuh anticline.



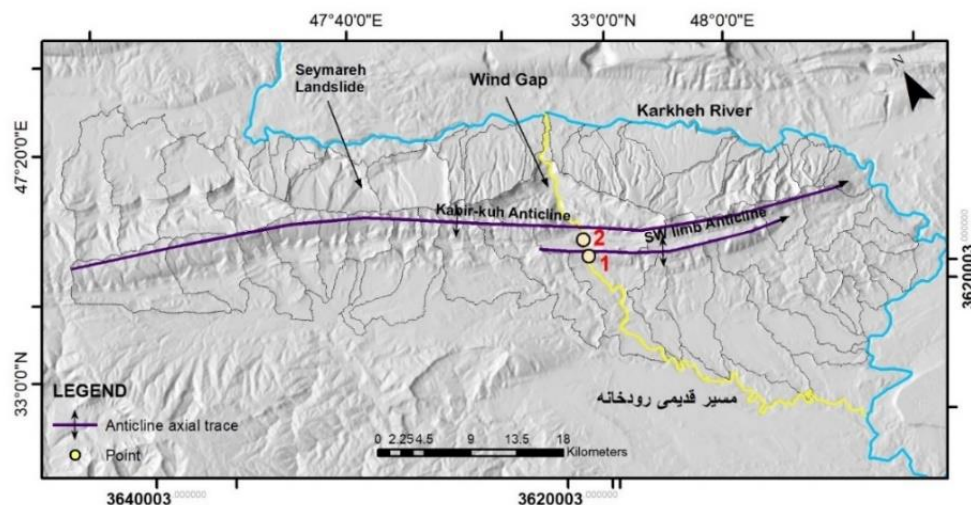
شکل ۱۱- نقشه شاخص انتگرال هیپسومتریک (Hi) حوضه‌های آبریز تاقدیس کبیرکوه.

Fig. 11. Map of Hypsometric Integral Index (Hi) of drainage basins of the Kabir Kuh anticline.



شکل ۱۲- نقشه شاخص فعالیت زمین‌ساختی (Iat) در حوضه‌های آبریز تاقدیس کبیرکوه.

Fig. 12. Map of relative tectonic activity index (Iat) in drainage basins of the Kabir Kuh anticline.



شکل ۱۳- موقعیت نقاط مشاهده رسوبات آبرفتی کواترنر در دره هواچاک (نقاط ۱ و ۲) و مسیر قدیمی احتمالی رودخانه کرخه (خط زرد رنگ)
Fig.13. Location of the points where the alluvium deposits of the river observed in the wind gap (Points 1 and 2). The possible old path of the river is indicated by yellow line

(2008)، چهار رده شاخص زمین ساخت فعال (Iat) به شرح زیر بدست آمده است (جدول ۳):

رده ۱: $1.5 > s/n > 1$ بیانگر فعالیت زمین ساختی نسبی خیلی بالا می باشد.

رده ۲: $2 > s/n > 1.5$ فعالیت زمین ساختی نسبی بالا

رده ۳: $2.5 > s/n > 2$ فعالیت زمین ساختی نسبی متوسط

رده ۴: $s/n > 2.5$ فعالیت زمین ساختی نسبی کم را ارائه می نماید.

تغییرات شاخص Iat در گستره نشان می دهد که در حوضه ها فعالیت زمین ساختی متوسط تا بالا است و در یک حوضه خیلی بالا است (شکل ۱۲). پراکندگی حوضه های فعالیت زمین ساختی خیلی بالا در جنوب خاور (در محدوده دماغه تاقدیس)، در میانه تاقدیس (محدوده هواچاک) و بخش های شمال باختر (محدوده زمین لغزش سیمره به سمت شمال باختر) دیده می شود (شکل ۱۲).

۴-۳- شواهد تغییر مسیر رودخانه

در دو محل از هواچاک (نقاط ۱ و ۲ در شکل ۱۳) رسوبات آبرفتی کواترنر مشاهده شده است. این رسوبات در تراز ارتفاعی ۸۰۰ و ۱۰۷۵ در بخش های مرتفع کوهستان قرار گرفته اند، در حالی که رودخانه کرخه در دهانه دره هواچاک در حدود تراز ۴۰۰ قرار دارد (شکل ۱۴). رسوبات آبرفتی از جنس قلوه های گرد شده در زمینه ای از ذرات ماسه ای است و در لایه های شیبدار دیده می شوند (شکل ۱۵).

۴-۲-۷- شاخص انتگرال هیپسومتریک (Hi)

انتگرال هیپسومتریک، توزیع سطح ارتفاعی در یک حوضه آبریز یا یک منطقه را نشان می دهد. شاخص Hi با استفاده از مساحت سطح زیرین منحنی هیپسومتریک حاصل می شود. داده های لازم برای محاسبه انتگرال هیپسومتریک از مدل ارتفاعی - رقومی (DEM) گستره تهیه می شود.

به طور کلی، شاخص انتگرال هیپسومتری نشانگر فعالیت زمین ساختی و مرحله جوانی در یک منطقه است و مقادیر پایین نشان دهنده مرحله ی پیری و فعالیت فرسایشی می باشد. انتگرال هیپسومتریک برای ۴۵ حوضه در منطقه مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۱).

بر حسب محاسبات صورت گرفته، غیر از یک حوضه، مقادیر Hi در بقیه حوضه ها بیشتر از ۰/۴ می باشد که می توان بیان کرد گستره مورد مطالعه دارای توپوگرافی جوان و بالغ است. پراکندگی حوضه های با Hi بالا در جنوب خاور (در محدوده دماغه تاقدیس)، در میانه تاقدیس (محدوده هواچاک) بخش هایی از پهلوی شمالی تاقدیس در شمال باختر دیده می شود (شکل ۱۱).

۴-۲-۸- شاخص زمین ساختی فعال نسبی (Iat)

بر اساس رده بندی سه گانه شاخص های زمین رختی اندازه گیری شده در حوضه های آبریز، در هر حوضه میانگین مقادیر رده شاخص های (s/n) محاسبه شد و بر اساس مقادیر حاصله بر اساس رده بندی الحمدونی (۲۰۰۸) (El Hamdouni et al.)

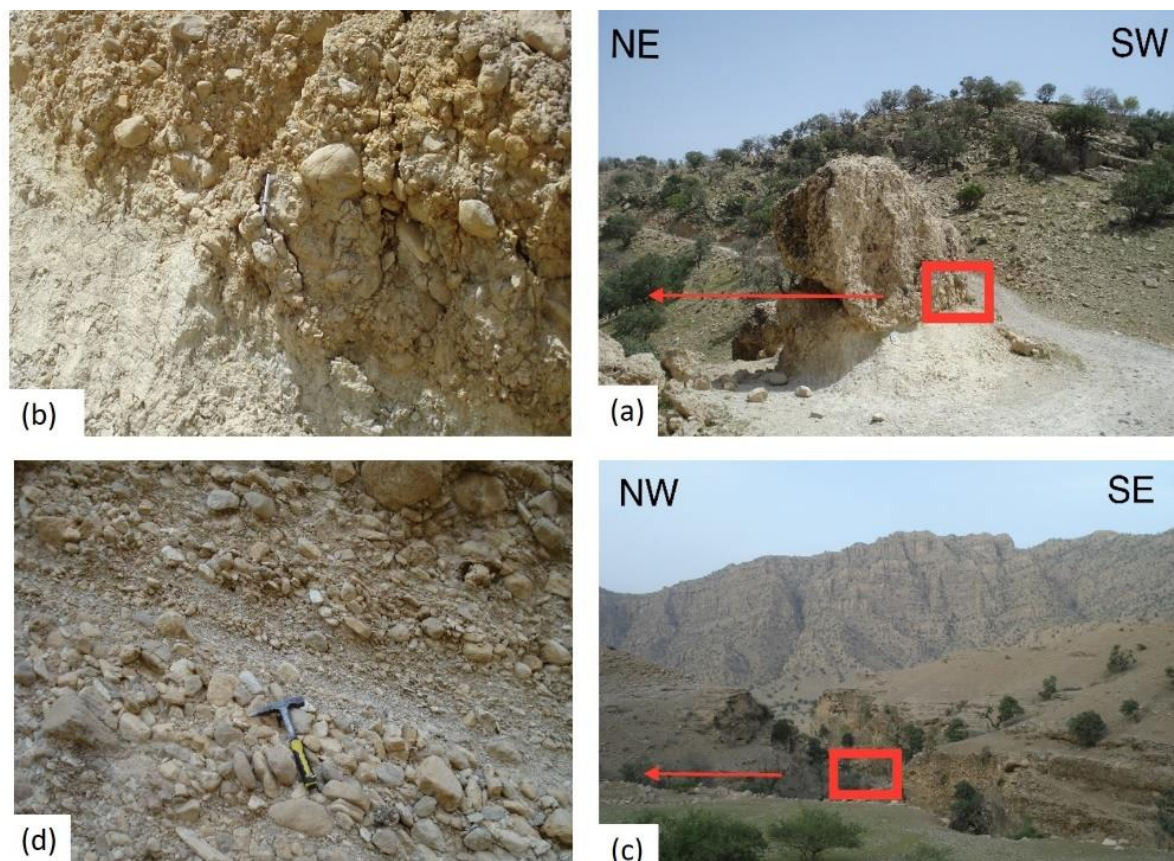
جدول ۳- مقادیر شاخص lat در حوضه‌های آبریز
Table 3. Value of lat index for the drainage basins

Basin	Geomorphic index class							S/n	lat class
	Vf	Hi	Bs	Af	Sl	Smf	P		
1	3	2	2	2	3		1	2.1	3
2	2	2	3	3	3		1	2.3	3
3	1	1	3	2	1		1	1.5	2
4	1	1	3	2	1		1	1.5	2
5	1	2	3	1	3		1	1.8	2
6	3	1	1	1	3		1	1.6	2
7	1	2	3	1	3		1	1.8	2
8	1	2	3	1	1		1	1.5	2
9	2	2	3	3	1		1	2	3
10	1	2	2	3	2		1	1.8	2
11	3	2	3	3	1		1	2.1	3
12	2	1	3	3	1		1	1.8	2
13	1	2	3	1	2		1	2	3
14	2	2	3	3	2		1	2.1	3
15	2	1	3	1	1		3	1.8	2
16	3	2	3	1	1		1	1.8	2
17	1	2	3	1	3		2	2	3
18	1	1	3	3	3		3	2.3	3
19	1	2	3	2	3		3	2.3	3
20	1	2	2	3	3		1	2	3
21	1	1	3	2	3		2	2	3
22	3	2	2	3	2		1	2.1	3
23	1	2	3	3	3	2	1	2.1	3
24	1	2	3	3	1		2	2	3
25	1	2	3	1	3		1	1.8	2
26	1	2	3	1	3		1	1.8	2
27	2	1	3	2	3		2	2.1	2
28	3	1	3	2	3		3	2.5	4
29	3	2	2	3	1	1	1	1.8	2
30	3	1	3	1	3	1	1	1.8	2
31	3	1	1	3	2		2	2	3
32	3	1	2	2	2		1	1.8	2
33	3	2	3	3	3	2	1	2.4	3
34	1	1	2	2	1	2	1	1.4	1
35	3	2	3	2	3	1	1	2.1	3
36	2	2	2	2	1	3	1	1.8	2
37	3	2	3	1	1	1	1	1.7	2
38	3	3	1	3	3	2	1	2.2	3
39	3	2	2	3	3	2	1	2.2	3
40	1	2	3	1	3	2	1	1.8	2
41	3	1	2	3	3	2	1	2.1	3
42	2	1	3	1	3	2	1	1.8	2
43	2	2	3	2	3		1	2.1	3
44	3	1	3	3	3	2	1	2.2	3
45	3	2	3	1	2	2	1	2	3



شکل ۱۴- برش توپوگرافی از مسیر قدیمی رودخانه (خط زرد رنگ شکل ۱۲) و موقعیت محل های مشاهده آبرفت های رودخانه ای (نقاط ۱ و ۲).

Fig. 15. Topographic cross-section of the old river path (yellow line in Figure 12) and the locations where river alluvium deposits observed (points 1 and 2).



شکل ۱۵- (a) رسوبات آبرفتی مشاهده شده در نقطه ۱، (b) نمای نزدیک از رسوبات آبرفتی نقطه ۱، (c) رسوبات آبرفتی مشاهده شده در نقطه ۲ و (d) نمای نزدیک از رسوبات آبرفتی نقطه ۲. جهت موقعیت نقاط به شکل ۱۲ مراجعه شود.

Fig. 15. (a) Alluvial deposits observed at point 1, (b) Close-up view of the deposits at point A; (c) Alluvial deposits observed at point 2 and (d) Close-up view of the deposits at point A. Refer to Figure 12 for the locations of the points.

۵- بحث

محدوده زمین لغزش سیمره به مقادیر شاخص فعالیت زمین ساختی بالا نزدیک ترند. همچنین در این نواحی حوضه های آبریز کوچکتری وجود دارند که نشان از پویا بودن این بخش ها هستند.

نسبت کف به عمق دره (VF) در دره دماغه جنوب خاوری تاقدیس، محدوده دره هواچاک و محدوده زمین لغزش سیمره مقادیر کمی دارد که نشان از فعالیت زمین ساختی بالای این

تحلیل شاخص های زمین ریختی در تاقدیس کبیرکوه نشان از فعالیت زمین ساختی متوسط تا بالای این تاقدیس دارد و این موضوع در شاخص های مختلف بازتاب دارد. شاخص های گرا دیان طولی آبراهه (SL)، تراکم آبراهه (P)، و انتگرال فرازسنجی (Hi) نتایج مشابهی دارند و مقادیر این شاخص ها در دماغه جنوب خاوری تاقدیس، محدوده دره هواچاک و

زاگرس می‌باشد (شکل ۱) (Berberian, 1995). جنبش جوان گسل پیشانی کوهستان می‌تواند در غالب رشد تاقدیس کبیرکوه نمود پیدا کند. این شواهد نشان دهنده فعال بودن چین‌خوردگی تاقدیس کبیرکوه در ارتباط با گسل پیشانی کوهستان است.

طبیعی است که فرایند چین‌خوردگی فعال می‌تواند سبب بسته شدن مسیر رودخانه و تجمع آب در پشت چین به صورت دریاچه شده باشد. چنین تفسیری وجود دریاچه در محل زمین‌لغزش سیمره را به رشد چین مرتبط می‌نماید و این احتمال را تقویت می‌نماید که اول دریاچه بوجود آمده و سپس با اشباع شدن دامنه شمال خاوری تاقدیس کبیرکوه زمین‌لغزش به وقوع پیوسته باشد.

۶- نتیجه‌گیری

مهمترین نتایج این تحقیق را می‌توان به صورت موارد زیر برشمرد.

شاخص های زمین‌ریختی نشان از فعالیت زمین‌ساختی گستره جنوب‌خاور تاقدیس کبیرکوه در گستره مورد مطالعه دارد.

شواهد ریخت‌شناسی از قبیل وجود یک هواچاک بزرگ در میانه تاقدیس، دره عمیق با عرض بستر کم در محدوده بین هواچاک تا دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس این ایده را که تاقدیس کبیرکوه یک چین‌خوردگی فعال است را تقویت می‌نماید.

وجود رسوبات آبرفتی در ترازهای بالای دره هواچاک نشان دهنده جریان قدیمی رودخانه در این محل است. این وضعیت می‌تواند نشان دهنده این باشد که رودخانه کرخه در مسیر قدیمی خود از دره هواچاک جریان داشته و با رشد چین مسیر جدیدی را پیدا کرده و تاقدیس را دور زده است.

با توجه به ارتباط این تاقدیس با گسل پیشانی کوهستان چین‌خوردگی فعال تاقدیس کبیرکوه به فعالیت این گسل اصلی مرتبط می‌باشد.

با مشخص شدن فعال بودن چین‌خوردگی در تاقدیس کبیرکوه این احتمال تقویت می‌شود که در بازه بسته شدن مسیر قدیمی رودخانه تا ایجاد مسیر جدید، دریاچه قدیمی محدوده زمین‌لغزش سیمره ایجاد شده باشد و عامل ایجاد زمین‌لغزش باشد.

بخش ها است. در خصوص شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (BS) و شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) روند مشخصی دیده نمی‌شود.

شاخص فعالیت زمین‌ساختی (Iat) که از میانگین گیری از ارزش حوضه‌ها بدست می‌آید و مستدل‌ترین شاخص برای رده‌بندی حوضه‌های رسوبی بر اساس فعالیت زمین‌ساختی است، برای حوضه‌هایی که در پهلوی جنوب‌باختری تاقدیس در محل دماغه دیده می‌شوند، بعلاوه حوضه‌های محدوده هواچاک و محدوده زمین‌لغزش سیمره فعالیت زمین‌ساختی عمدتاً بالا را نشان می‌دهد و می‌تواند ناشی از برخاستگی بیشتر تاقدیس در این بخش ها باشد. جبهه کوهستان در پهلوی جنوب‌خاوری چین‌اوجاج کمی دارد که نشان از برخاستگی جوان این بخش است. این موضوع در شاخص Smf بازتاب دارد، به نحوی که مقدار این شاخص از محدوده زمین‌لغزش سیمره به سمت دماغه جنوب‌خاوری چین مقادیر کمتر از ۱/۱ دارد. همچنین دره رودخانه در محل زمین‌لغزش سیمره و کرخه از دره هواچاک تا دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس دره‌های عمیق با عرض کف کم ایجاد کرده است. این موضوع نیز به صورت مقادیر کمتر از ۱ شاخص نسبت کف به عمق دره (Vf) نمایان شده است که نشان از فعالیت زمین‌ساختی بالای این بخش ها دارد.

مطالعه ی هواچاک‌هایی که به دلیل بالآمدگی زمین‌ساختی در پاسخ به رشد جانبی تاقدیس دچار انحنا شده‌اند یکی از بهترین شاخص ها برای بررسی رشد جانبی چین‌ها می‌باشد (Keller et al., 1999). وجود آبرفت های رودخانه ای در دو محل از هواچاک در تراز ارتفاعی بالاتری نسبت به رودخانه کرخه نشان دهنده وجود بستر قدیمی رودخانه است و افزایش تراز ارتفاعی آنها می‌تواند شاهدهی باشد که آنها در اثر چین‌خوردگی بالا آمده اند. این موضوع می‌تواند اینگونه اثبات شود که در گذشته دره هواچاک به مسیر رودخانه ای که در پهلوی جنوب‌باختری تاقدیس کبیرکوه قرار گرفته ارتباط داشته و رودخانه از این مسیر عبور می‌کرده است (شکل ۱۲) و سپس با رشد تاقدیس کبیرکوه، رودخانه از مسیر خود منحرف شده و در مسیر فعلی، دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس کبیرکوه را دور زده است.

طبق شواهد به دست آمده از تحلیل پارامترها و با توجه به اینکه تاقدیس کبیرکوه منطبق بر گسل پیشانی کوهستان

مراجع

- Bachmanov, DM., Trifonov, VG., Hessami KhT., Uozhurin, AI., Ivanovo, TP., Rogozhin, EA., et al., 2003. Active faults in the Zagros and Central Iran, Tectonophysics 380, 221-241. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.09.021>.
- Berberian, M., 1995. Master-blind-thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, Tectonophysics 241, 193-224. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)00185-C](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)00185-C).
- Bull, WB., Mcfadden, LD., 1977. Tectonic Geomorphology North and South of The Garlock Fault, California, In: Doehring, D.O. (Editor.), Geomorphology In arid Regions, Proceedings of Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University Of New York, Binghamton, PP. 115-138. <https://doi.org/10.4324/9780429299230-5>.
- Bull, WB., 2007. Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology. Blackwell Publishing, P 316 .
- Burbank, DW., Anderson, RS., 2001. Tectonic Geomorphology. Blackwell Science, Massachusetts, U.S.A., 454 P.
- Chen, YE., Quocheng, S., Cheng, KY., 2003. A Long-Strike Variations of Morphotectonic Features in the western foothills of Taiwan: Tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis. Geomorphology 56, 109-137. <https://doi.org/10.4236/ojg.2016.68070>.
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, AA., Motamedi, H., Hosseiniasl, A., 2010. Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. Geomorphology 121, 329-341. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.05.002>.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., Keller, EA., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest order of Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology 96, 150-173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>.
- Engstrom, WN., 1989. Morphometric Analysis of Mountain Drainage Basins in the Basin and Range Province, USA. Zeitschrift für Geomorphologie 33(4), 443-453. <https://doi.org/10.1127/zfg/33/1989/443>
- Faghih, A., Jamshidi, A., Nohegar, A., 2015. Geomorphic Assessment of Lateral Growth of Active Folds in the Fars Arc, Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. Geosciences, 95, 133-142 (In Persian). <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42000>.
- Fakhari, M., 1993. Dehluran Geological map (Scale: 1:250000). National Iranian Oil Company .
- Falcon, NL., 1969. Problems of the relationship between surface structures and deep displacements illustrated by the Zagros range. In: Kent, P., Satterthwaite, G.E., Spencer, A.M., (Eds.), Time and place in orogeny. Geological Society of London, Special Publications 3, 9-22. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1969.003.01.02>.
- Goode, JK., Burbank, DW., 2011. Kinematic Implications of consequent channels on growing folds. Journal of Geophysical Research 116, 24 -38. <https://doi.org/10.1029/2010JB007617>.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., 2008. The response of drainage basins to the Late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). Geomorphology 35, 620-611. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.013>.
- Hack, JT., 1973. Stream-Profiles analysis and stream gradient Index. Journal of Research of the U.S. Geological Survey 1, 429-421.
- Homke, S., Vergés, J., Serra-Kiel, J., Bernaola G., Sharp, I., Garcés, M., Montero-Verdu, I., Karpuz, R., Goodarzi, M.H., 2009. Late Cretaceous-Paleocene formation of the Proto Zagros foreland basin, Lurestan Province, SW Iran. Geological Society of America Bulletin 121, 963-978. <https://doi.org/10.1130/B26035.1>.
- Horton, RE., 1932. Drainage-basin characteristics. Transactions. American Geophysical Union 13, 350-361. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>.
- Izadi Kian, L., Mirzajani, SM. 2022. Morphotectonic analysis of Ezgeleh anticline, of NW Kermanshah. Tectonic Journal, 22, 1-13 (In Persian). <https://doi.org/3JT10.22077>.

- Keller, EA., Gurrola, L., Tierney, TE., 1999. Geomorphic criteria to determine direction of lateral propagation of reverse faulting and folding. *Geology* 27, 515-518. <https://doi.org/10.1130/0091-7613>.
- Keller, E. A., and Pinter, N., 2002. Active tectonics: earthquakes uplift and landscape second edition: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 362 P.
- Mirzaei, N., 1997. Seismic zoning of Iran, Thesis for Ph.D. degree in Geophysics, Institute of Geophysics, state semi logical Bureau, Beijne, People Republic of China.
- Mosumeci, G., Ribolini, A., Spagnolo, M., (2003). The effect of late Alpine tectonic in the morphology of the Argentera massif (Western Alps, Italy-France). *Quaternary International* 101-102, 191-201. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00101-5](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00101-5).
- Llewellyn, PG., 1974. Ilam Kuhdasht Geological map (scale: 1:250000). National Iranian Oil Company .
- Ozkaymak, C., Sozbilir, H., (2012). Tectonic Geomorphology of the Spildagi high ranges, Western Anatolia. *Geomorphology* 173, 128-140. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.06.003>.
- Ramirez- Herrera, MT., 1998. Geomorphic Assessment of active tectonics in the Acam bay graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landform* 23, 317-332. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837).
- Scharer, KM., Burbank, DW., Chen, J., Weldon, RJ., 2006. Kinematic models of fluvial terraces over active detachment folds: constraints on the growth mechanism of the Kashi Atushi fold system, Chinese Tian Shan. *Geological Society of America Bulletin* 118, 1006–1021. <https://doi.org/10.1130/B25835.1>.
- Sepehr, M., Cosgrove, JW., 2004. Structural framework of the Zagros fold–thrust belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology* 21, 829–843. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2003.07.006>.
- Setudehnia, JT., Perry OB., 1967. Dal Parri geological map (scale: 1:100000). National Iranian Oil Company.
- Silva, PG., Goy, JL., Zazo, C., Bardajm, T., 2003. Fault-generated Mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity. *Geomorphology* 250, 203-226 [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00215-5](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00215-5).
- Strahler, AN., 1952. Hypsometric (Area-Altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63, 1117-1142. <https://doi.org/10.1130/0016-7606> .
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., et al., 2004. Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data, *Earth and Planetary Science Letters* 223, 177-185.
- Wells, SG., Bullard, TF., Menges, CM., Drake, PG., Karas, PA., Kelson, KI., Wesling, JR., 1988. Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary Pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology* 1(3), 239-265. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(88\)90016-5](https://doi.org/10.1016/0169-555X(88)90016-5).
- Zuchiewicz, W., 1995a. Selected aspects of neotectonics of the Polish Carpathians. *Folia Quaternaria* 66, 145-204.
- Zuchiewicz, W., 1995b. Time–series analysis of river bed gradients in the Polish Carpathians: a statistical approach to the studies on young tectonic activity. *Zeitschrift for Geomorphology* 39, 461-477.