Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Spring 2025, Vol. 15(1): 66 - 87

Research Article

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

Sahar Faraji[1], Shahriar Sadeghi[1]*, Rana Razavi pash[2], Zeinab Davoodi[1]

1- Deptartment 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 Karkeh 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

ISSN: 2717-0764

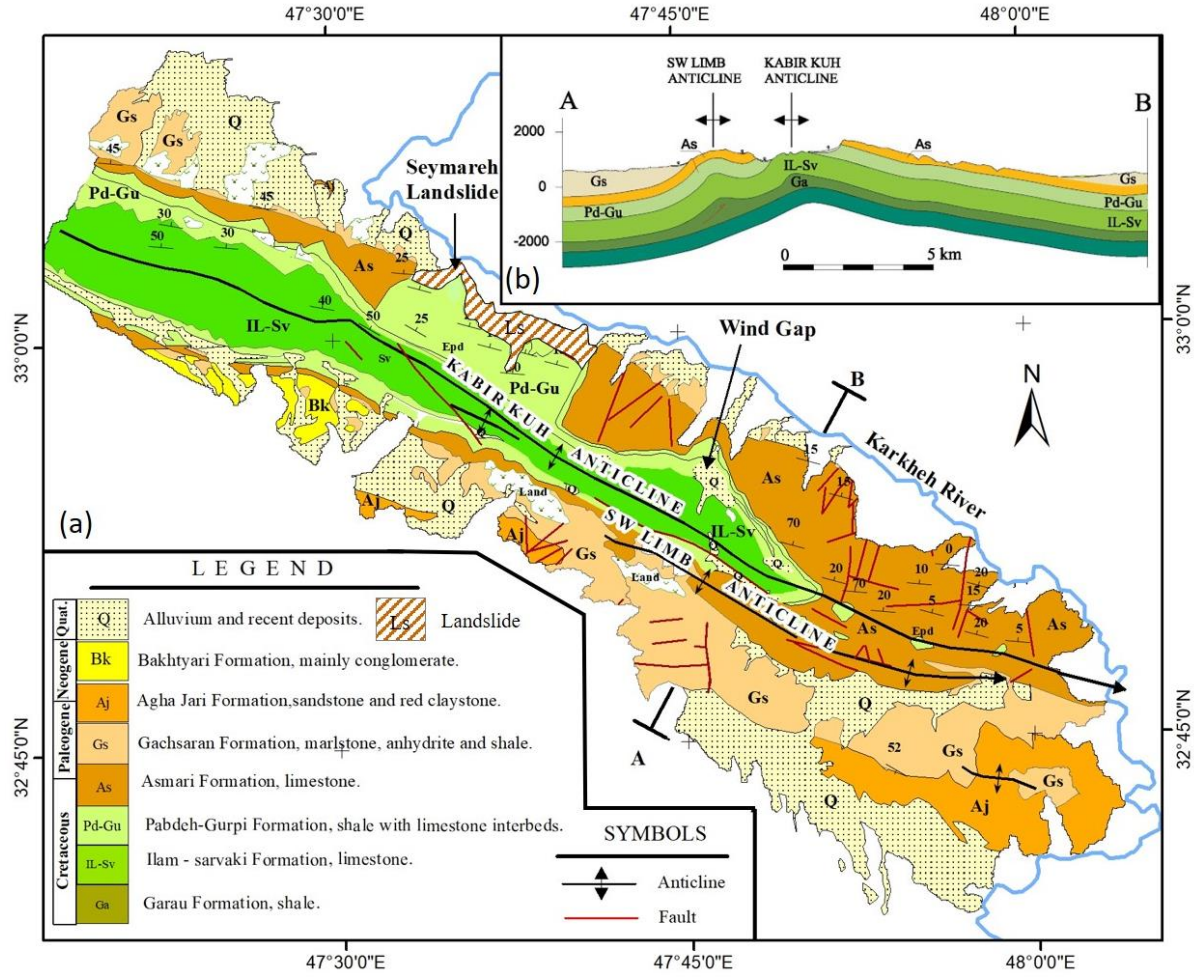


Fig. 1. Geological map of the study area. It was adapted from the geological maps of Ilam-Kuhdasht (Llewllyn, 1974), Dalpari (Setudehnia and Perry, 1967), and Dehloran (Fakhari, 1993) with some modifications.

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 Seymareh 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 Seymareh 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 Seymareh landslide zone towards the southeastern nose of the anticline. Moreover, river valleys beside the Seymareh 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.

ISSN: 2717-0764
CC BY

Table 1. Value of Iat index for the drainage basins

Basin	Geomorphic index class							S/n	Iat 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

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

ISSN: 2717-0764
CC BY

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.

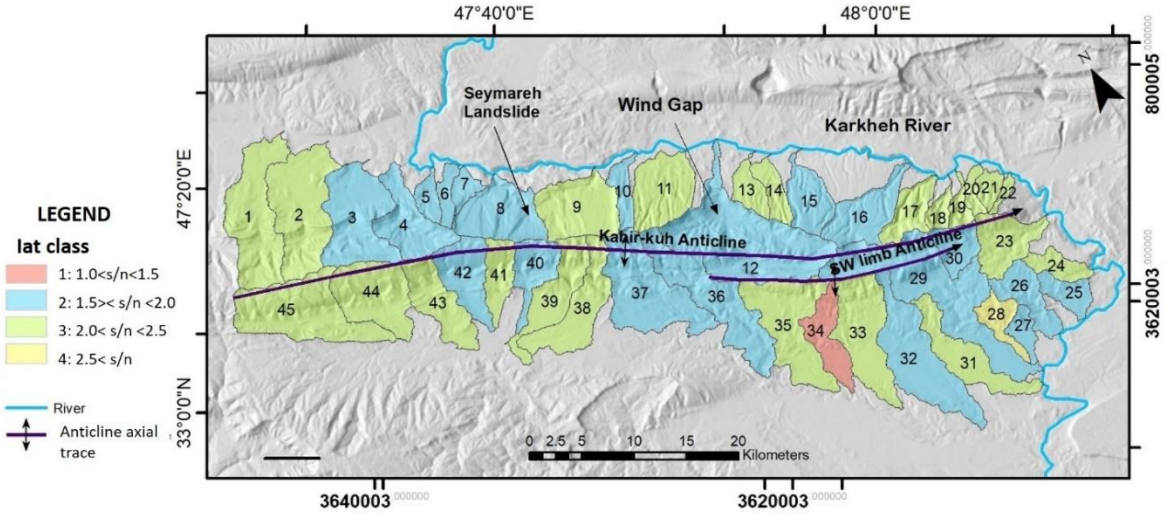


Fig. 2. Map of relative tectonic activity index (Iat) in the Kabir Kuh anticline drainage basins.

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,

ISSN: 2717-0764
CC BY

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., 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., 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

ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

زمین‌ساخت فعال بخش جنوب‌خاوری تاقدیس کبیرکوه، کمربند چین‌خورده ـ رانده زاگرس

سحر فرجی
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
شهریار صادقی*
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
رعنا رضوی پش
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
زینب داودی
گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بین‌المللی 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 شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی برای بررسی زمین‌ساخت فعال توسط گسلش و چین‌خوردگی در تاقدیس کبیرکوه در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس است. در این راستا بررسی شاخص‌های زمین‌ریختی انجام شد و شواهد ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی چین‌خوردگی فعال مورد بررسی قرار گرفت و اطلاعات بدست آمده تحلیل شد. با در کنار هم قرار دادن نتایج حاصل از شاخص‌های زمین‌ریختی و شواهد چین‌خوردگی فعال از بخش‌های جنوب‌خاوری تاقدیس کبیرکوه و مقایسه با مطالعات پیشین می‌توان در خصوص فعالیت زمین‌ساختی گستره و فعال بودن تاقدیس به عنوان یک چین‌خوردگی فعال اظهار نظر نمود، بدین ترتیب که با تحلیل شاخص‌های زمین‌ریختی، در حوضه‌های آبریز محدوده دماغه تاقدیس، محدوده هواچاک و محدوده زمین‌لغزش سیمره فعالیت زمین‌ساختی بالا برآورد می‌شود. شواهد نشان می‌دهند که چین‌خوردگی فعال می‌تواند دلیل تغییر مسیر رودخانه کرخه باشد، بدین ترتیب که پیش‌تر از مسیر هواچاک عبور می‌کرده و سپس از مسیر خود منحرف شده و در مسیر فعلی رودخانه کرخه جریان یافته و دماغه جنوب‌خاوری 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 می‌شود.
واژه‌های کلیدی: *کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس، زمین‌ساخت فعال، تاقدیس کبیرکوه، گسل جبهه کوهستان، چین‌خوردگی فعال*

۱- مقدمه

در مناطق فعال زمین‌ساختی تغییر شکل سطح زمین می‌تواند به‌صورت چین‌خوردگی‌های فعال نمود پیدا کند (Keller and Pinter, 2002). منظور از چین‌خوردگی فعال افزایش ابعاد چین به موازات محور یا عمود بر آن است. در سال‌های اخیر چین‌خوردگی‌های فعال به عنوان یکی از سیماهای زمین‌ساختی گستره‌های دارای فعالیت زمین‌ساختی جوان مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Keller et al., 1999; Goode and Burbank, 2011; Scharer et al., 2006).

یکی از ایالت‌های زمین‌ساختی که قابلیت پژوهش در زمینه چین‌خوردگی فعال را دارد، کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس است. بررسی سابقه لرزه‌خیزی و همچنین شواهد ژئومورفولوژیکی حاکی از ادامه حرکات نو زمین‌ساخت در زاگرس می‌باشد، به نحوی که بیش از ۵۰ درصد زلزله‌های ثبت شده در ایران در این پهنه رخداده است (Mirzaei, 1997). عامل اصلی تغییر شکل در زاگرس ارتباط راندگی‌های پنهان و چین‌ها می‌باشد (Bachmanov et al.,2003; Berberian., 1995; Vernant et al., 2004; Homke et al., 2009). شواهد این تغییر شکل‌ها قابل شناسایی است و در پژوهش‌های پیشین مورد توجه قرار گرفته‌است (Izadi Kian and

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

در این پژوهش شاخص‌های زمین‌ریختی تاقدیس کبیرکوه در بخش لرستان کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس (شکل ۱) بررسی شده و فعالیت زمین‌ساختی آن مورد بحث قرار گرفته‌است. همچنین این تاقدیس از منظر وجود شواهد زمین‌ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی چین‌خوردگی فعال نیز مورد بحث قرار گرفته‌است.

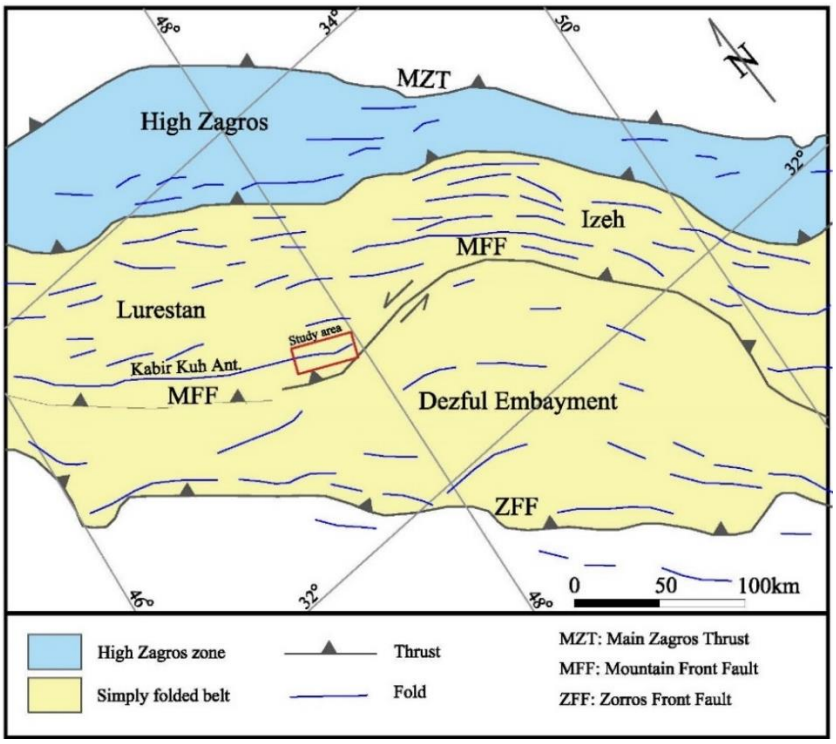
۲- جایگاه زمین‌شناسی

گستره مورد مطالعه بخش‌های جنوب‌خاوری و محدوده دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس کبیرکوه ر ا در بر می‌گیرد. تاقدیس کبیرکوه در شمال خاور گسل پیشانی کوهستان (MFF) (Falcon, 1969) که از گسل‌های فعال زاگرس به حساب می‌آید قرار گرفته‌است. این تاقدیس یکی از سیماهای بزرگ زمین‌ساختی در بخش لرستان کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس است (Sepehr and Cosgrove, 2004؛ Berberian, 1995) که از چین‌خوردگی رسوبات پالئوزوئیک تا ترشیاری سکوی عربی حاصل شده است (شکل ۲). گسل پیشانی کوهستان مهم‌ترین گسل گستره مورد مطالعه است که با راستای شمال‌باختر-جنوب‌خاور به موازات تاقدیس کبیرکوه قرار گرفته‌است.

از نظر چینه‌شناسی قدیمی‌ترین سنگ‌هایی که در تاقدیس کبیرکوه رخنمون پیدا کرده‌اند مربوط به سازند گرو به سن کرتاسه تحتانی بوده که از شیل‌های تیره و سنگ آهک تشکیل شده‌اند. بر روی سازند گرو سازندهای سروک و ایلام قرار گرفته‌اند. در ادامه سازند گورپی (به جنس شیل و مارن) و سازند پابده (مارن و شیل به انضمام سنگ آهک رسی) قرار دارند. در بالای توالی رسوبی، سازند آسماری و گروه فارس (سازند گچساران و آغاجاری) قرار گرفته‌اند. سازند بختیاری به‌صورت پراکنده در دامنه‌های کبیرکوه دیده می‌شود (شکل ۲).

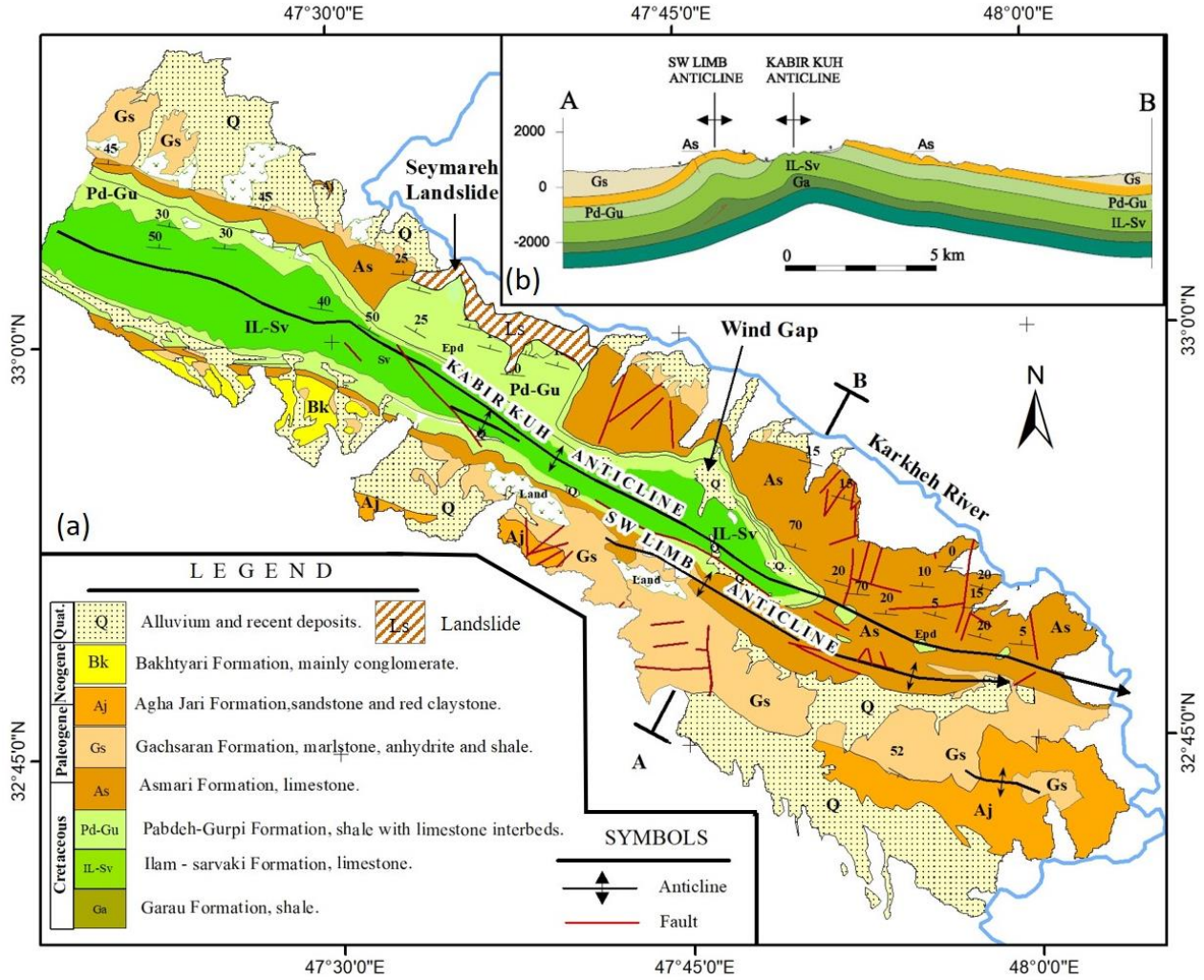
در گستره مورد مطالعه تاقدیس کبیرکوه ساختار ساده‌ای ندارد، بلکه در پهلوی جنوب‌باختری تاقدیس، یک تاقدیس کوچک نیز بوجود آمده است (SW limb anticline در شکل ۲).

دامنه شمال خاوری تاقدیس کبیرکوه شامل یکی از بزرگ‌ترین زمین‌لغزش‌های جهان به نام زمین لغزش سیمره است (شکل ۲). زمین‌لغزش سیمره یکی از حوادث تاثیرگذار بوده است و عقیده بر این است که باعث ریزش دامنه‌ی کبیرکوه، سدکنندگی مسیر رودخانه‌ی سیمره و ایجاد دریاچه‌ای بزرگ گردیده است که هر چند از بین رفته، شواهد آن قابل مشاهده است.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی 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 زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ایلام-کوهدشت (Llewellyn, 1974)، دالپری (Setudehnia and Perry, 1967) و دهلران (Fakhari, 1993) با پاره‌ای تغییرات.

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

۳- روش پژوهش

برای بررسی میزان فعالیت زمین‌ساختی تاقدیس کبیرکوه در گستره مورد مطالعه، شاخص‌های زمین‌ریختی برآورد شده‌اند و همچنین شواهد ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی چین‌خوردگی فعال مورد بررسی قرار گرفته‌است.

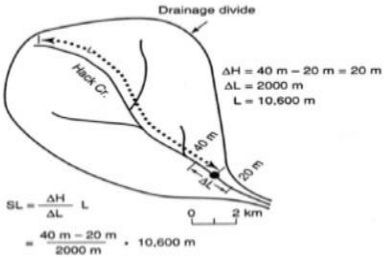
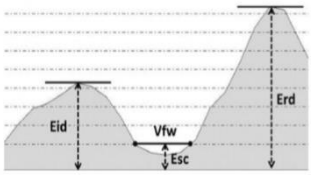
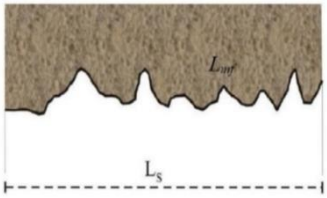
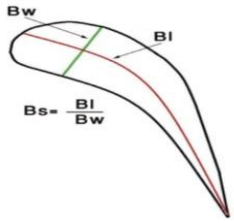
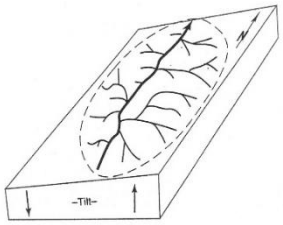
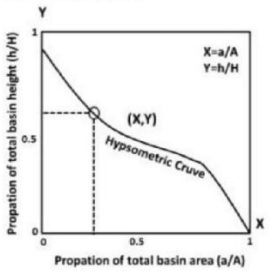
در تحلیل شاخص‌های زمین‌ریختی، در آغاز با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک ۳۰ متر و با کمک ابزار ArcHydro در محیط نرم افزار ArcGIS، رودخانه‌ها، آبراهه‌های اصلی و حوضه‌های آبریز مشخص شده و منطقه به ۴۵ زیر حوضه تقسیم شده است و سپس شاخص‌های زمین‌ریختی همه‌ی زیر حوضه‌ها برآورد شده‌اند.

شاخص‌های 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 آبراهه‌ها (P)، شاخص نسبت شکل حوضه (Bs)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، و شاخص انتگرال فرازسنجی (Hi) است (جدول ۱). با میانگین‌گیری از رده‌بندی شاخص‌ها (s/n)، شاخص نسبت فعالیت زمین‌ساختی (Iat) برآورد شده است.

در بحث شواهد چین‌خوردگی فعال، بی هنجاری در الگوی آبراهه‌ها هندسه رودخانه کرخه در مجاورت دماغه جنوب‌خاوری 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 شاخص‌های 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) Zuchiewiez (1995b)		High Activity: 500 ≥ SL Moderate Activity: 500 < SL ≤ 300 Low Activity: 300 < SL Dehbozorgi et al. (2010)	SL = (ΔH / ΔL)*L	Slope-Length Gradient (SL)
Silva et al. (2003) Guarnieri and Pirrotta (2008) Bull and Mcfaden (1977) Zuchiewiez (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 ≥ 4 El Hamdouni et al. (2008)	BS = BL / BW	Basin Shape (BS)
Horton (1932) Mosumeci et al. (2003) Zuchiewiez (1995a)		High Activity: P < 0.5 Moderate Activity: 0.5 < P < 0.6 Low Activity: P > 0.6	P = Σ 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 به‌صورت 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 به‌صورت 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 ۱۹۳۸متر 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) به‌صورت یک دره بزرگ در نقشه (شکل ۲) و نیمرخ توپوگرافی (شکل ۳) نمود پیدا کرده است. هواچاک ها 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.

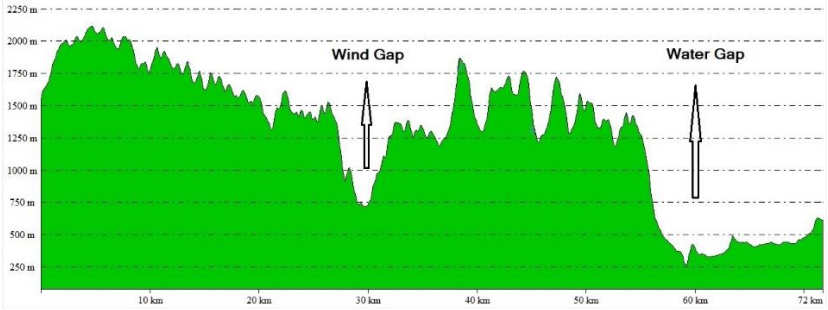
۴-۲- شاخص‌های زمین‌ریختی

برای حوضه‌های مختلف ارزش شاخص‌ها محاسبه شده است و کلاس‌بندی هر یک انجام پذیرفته است. ارزش و کلاس‌بندی 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) در مطالعه نقش مقاومت سنگ در آبراهه‌های کوهستان‌های آپالاش جنوب‌خاور ایالات متحده امریکا تعریف شده است. شاخص SL هرگونه بی نظمی 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 عموما 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.

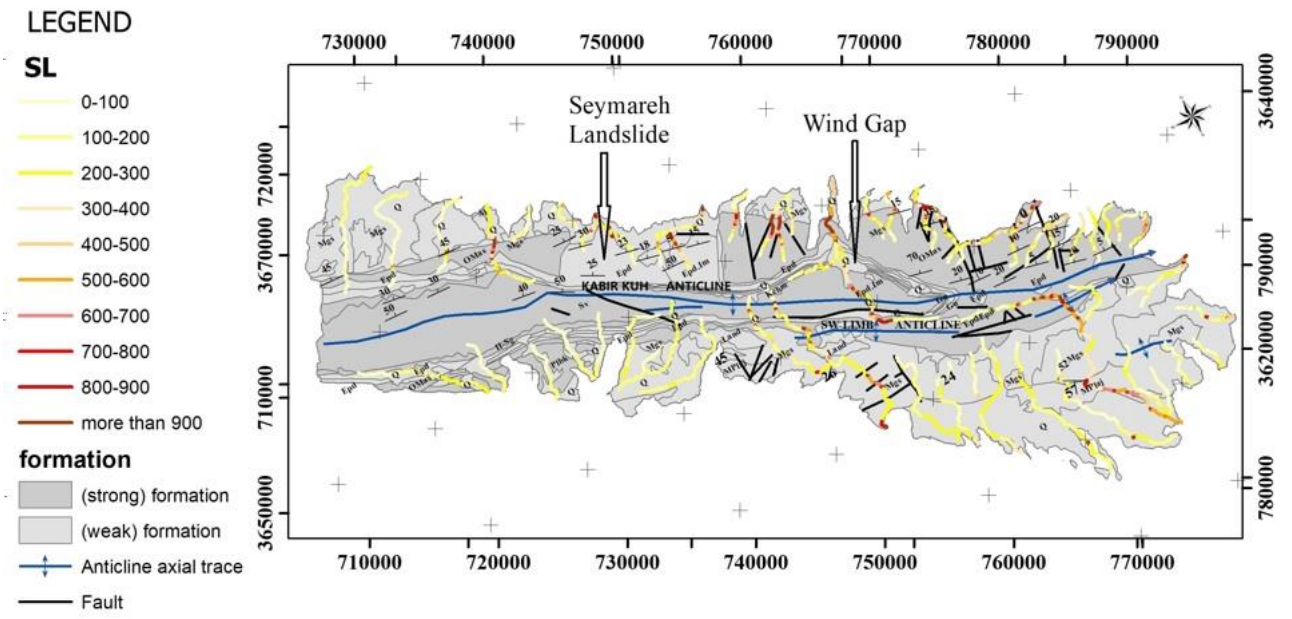
با پیاده نمودن تغییرات شاخص SL در آبراهه‌های اصلی بر روی نقشه ساده‌ای از تفکیک لایه‌ها بر اساس مقاومت در برابر فرسایش (شکل ۴) امکان بررسی تغییرات شاخص SL فراهم شده است. واحدهای مقاوم شامل سازندهای ایلام_سروک، آسماری، و بختیاری هستند و واحدهای ضعیف شامل سازندهای پابده، گورپی، گچساران، آغاجاری و آبرفت ها 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.

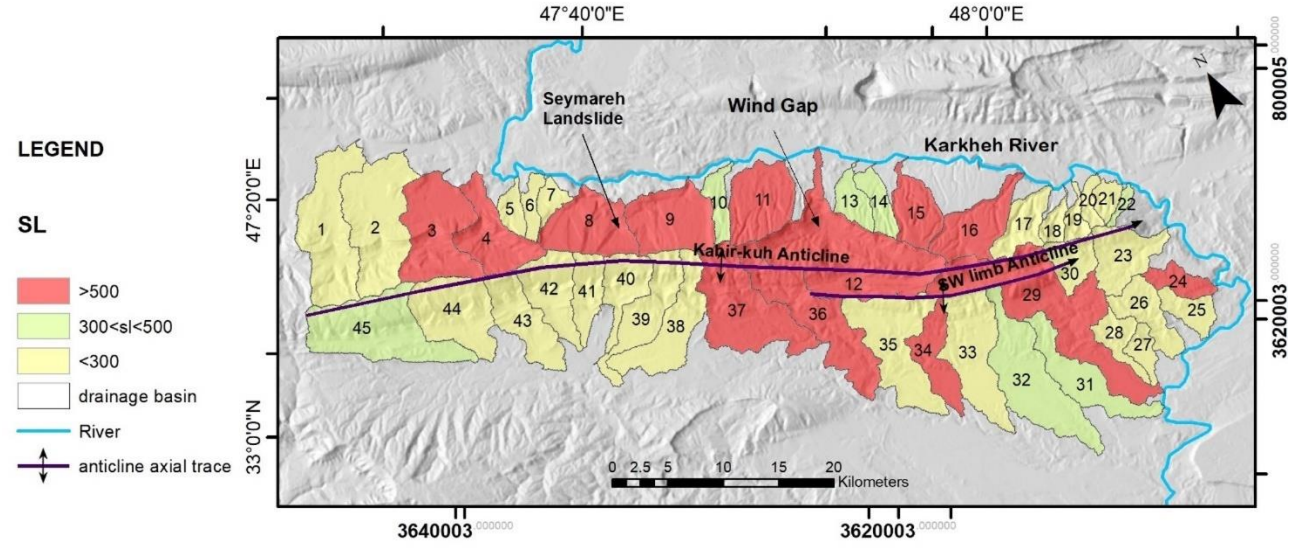
جدول ۲- ارزش و کلاس بدست آمده برای هر یک از حوضه‌های آبریز تاقدیس کبیرکوه.
Table 2. Calculated value and class for the Kabir Kuh drainage basins.

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



شکل ۴- وضعیت شاخص گرادیان طولی آبراهه (SL) برای آبراهه‌های اصلی بر روی نقشه ساده شده بر اساس مقاومت سازندها نسبت به فرسایش به‌صورت 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.



شکل۵- نقشه میانگین شاخص گرادیان طول رودخانه (SL) در حوضه‌های مختلف تاقدیس کبیرکوه.

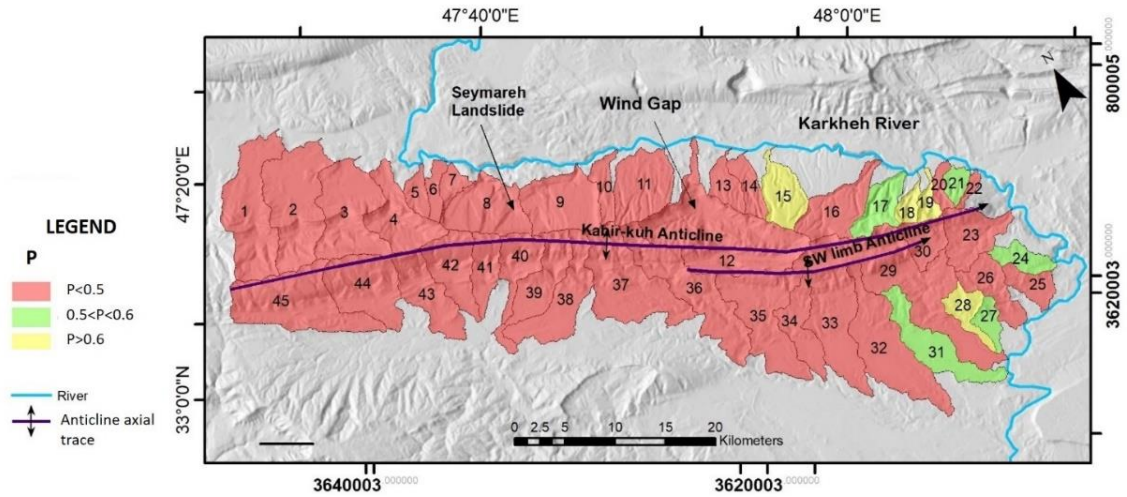
Fig. 5. Average slope length-gradient index (SL) Map in various basins of the Kabir Kuh anticline.

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 آبراهه‌ها توسعه بیشتر یافته اند، تراکم آبراهه بیشتر است.

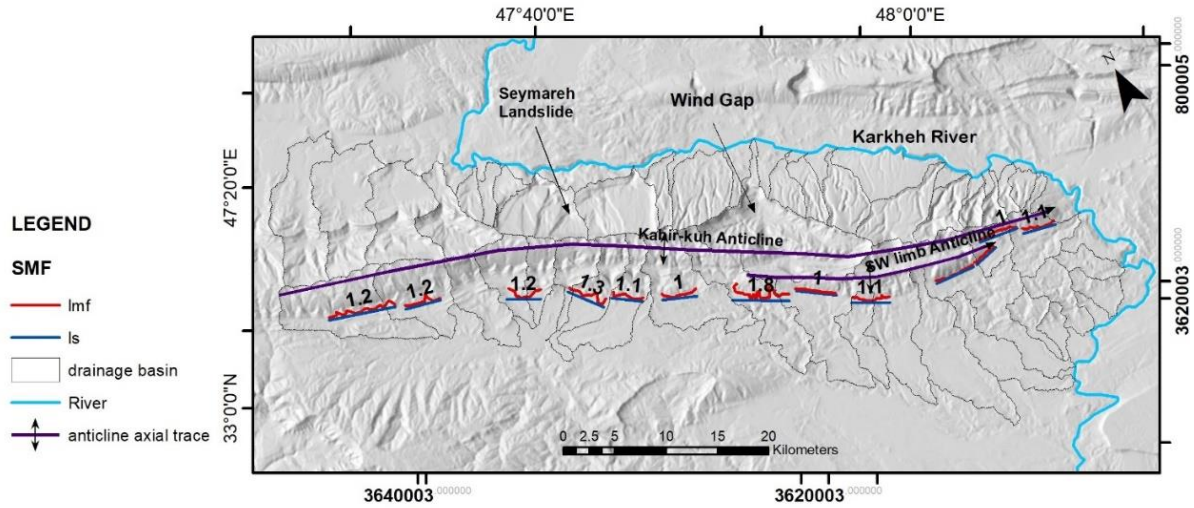
مشاهدات نشان می‌دهد که تراکم زهکشی در پهلویی از چین که دچار رشد جانبی شده باشند نسبت به پهلوی دیگر چین کمتر است. بنابراین کاهش تراکم زهکشی یک شاهد معتبر برای توسعه چین می‌باشد (Keller, 2002). با شروع

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 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.



شکل۶- 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.



شکل۷- 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

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

۴-۲-۳- شاخص پیچ و خم کوهستان (SMF)

نیروهای فرسایش دهنده تمایل به بریدن و ایجاد شکل‌های خلیجی و تورفتگی به داخل پیشانی‌کوهستان دارند و برخاستگی کوهستان تمایل به ایجاد یک پیشانی مستقیم است. شاخص smf بیانگر تقابل این دو نیرو است. بالاآمدگی در امتداد جبهه کوهستان ماهیت مستقیم را حفظ می کند 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 جبهه‌کوه بگذارد، مقدار پیچ و خم افزایش پیدا می کند. هرگاه مقدار این شاخص با یک برابر باشد بیانگر برخاستگی است و افزایش مقدار این شاخص بیانگر کاهش برخاستگی می‌باشد (Keller and Pinter., 2002).

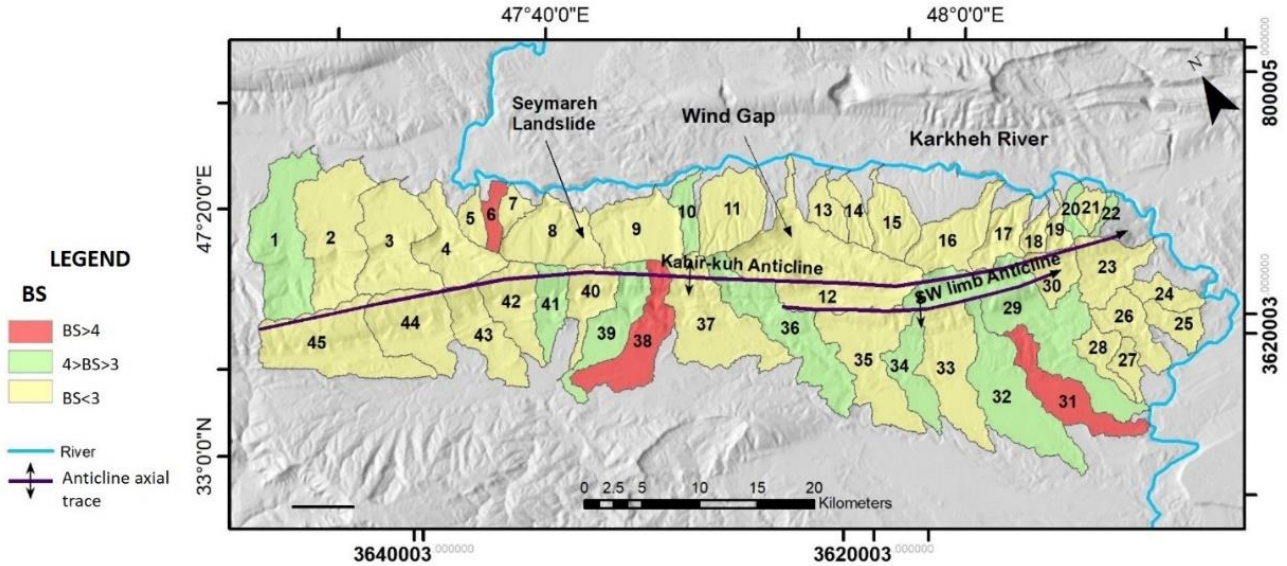
جبهه کوهستان را باید در تکه‌هایی مجزا انجام داد. وضعیت‌هایی از قبیل انحراف ناگهانی در پیشانی‌کوهستان، بریده شدن جبهه کوهستان به وسیله یک آبراهه بزرگ، تغییر ناگهانی در سنگ‌شناسی پیشانی‌کوهستان، تغییر ناگهانی در ویژگی های زمین‌ریخت‌شناسی اصلی نسبت به بخش‌های دیگر پیشانی کوهستان متصل به آن، تکه‌های مختلف را از یکدیگر جدا می نمایند (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 اندازه گیری دو پارامتر طول اندازه گیری 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 (شکل۷).

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 دایره ای 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 پیشانی‌کوهستان 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 (شکل۸).



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 شبکه‌های آبراهه‌ها که در کمربند چین-خورده رانده جریان دارند خصوصیاتی است که در مقطع عرضی دره‌های این رودخانه مشاهده می‌شود (Burbank and Anderson., 2001). محاسبه شاخص Vf از طریق مقایسه ارتفاع دامنه‌های دوسوی دره و عرض بستر دره از طریق فرمول ارائه شده در جدول (۱) انجام می‌شود (Bull and Mcfaden., 1977). آبراهه‌ها در پاسخ به برخاستگی بستر را حفر می کنند و سبب افزایش ارتفاع دامنه‌های دره می شوند. در شرایط پایدار بودن زمین از نظر زمین‌ساختی، آبراهه‌ها از طریق فرسایش جانبی عرض بستر را افزایش می دهند.

در شرایط بالا بودن فعالیت زمین‌ساختی 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 زمین‌ساختی، مقدار Vfw افزایش می یابد و شاخص Vf بزرگتر می‌شود.

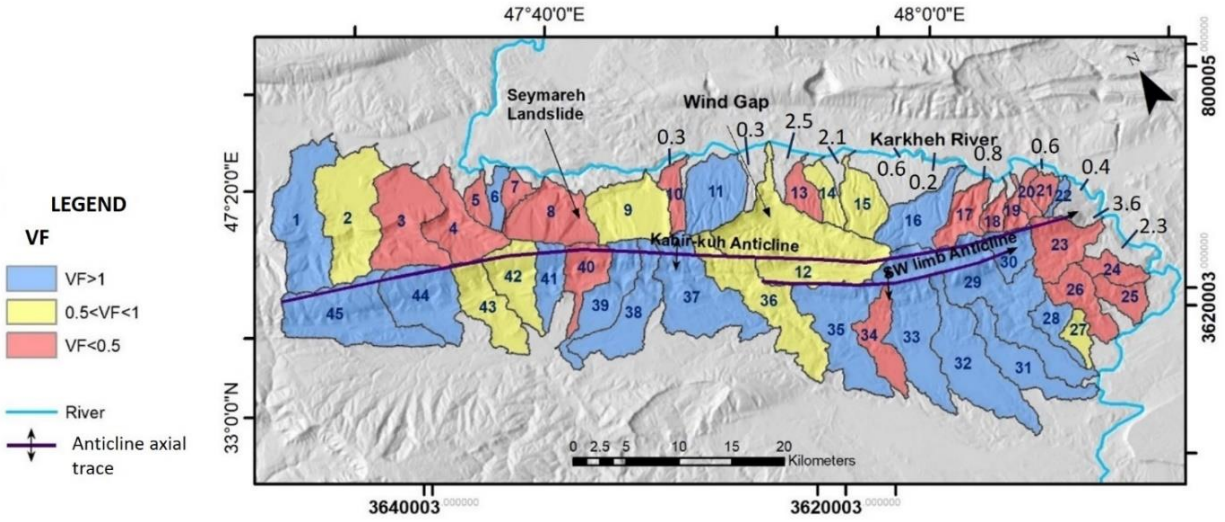
برای زیرحوضه‌های تاقدیس کبیرکوه، برای آبراهه‌های اصلی تمامی حوضه‌ها مقادیر Vf در فواصل ۴ کیلومتر محاسبه گردید و سپس از مقادیر برای هر حوضه میانگین گرفته شد و به عنوان مقادیر Vf حوضه در نقشه پیاده گردیده است (شکل ۹). در شمال‌باختر گستره (در محدوده زمین‌لغزش سیمره) و جنوب‌خاور (در دماغه تاقدیس کبیرکوه) حوضه‌های با مقادیر Vf پایین در کنار یکدیگر دیده می‌شوند (شکل ۹).

در این مطالعه علاوه بر محدوده مورد نظر، مقادیر Vf دره رودخانه کرخه در مجاورت تاقدیس کبیرکوه نیز در چند مقطع محاسبه شد (شکل ۹). این شاخص در راستای رودخانه کرخه در بخش‌های شمال‌باختری (مجاور زمین‌لغزش سیمره) مقدار ۰/۳ را نشان می‌دهد. در بخشی از رودخانه که هواچاک وجود دارد مقادیر Vf به یکباره بیشتر می‌شود (مقادیر ۲/۵ و ۲/۱) و پس از آن تا دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس کبیرکوه مقادیر کم می‌شود و مقادیر ۰/۲ تا ۰/۸ را نشان می‌دهد قرار می‌گیرد. در ادامه و پس از عبور از دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس کبیرکوه هر چه به سمت جنوب‌خاوری حرکت می‌کنیم مقادیر به دست آمده بیشتر می‌شود (مقادیر ۳/۶ و ۲/۳) (شکل ۱۰).

۴-۲-۶- شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)

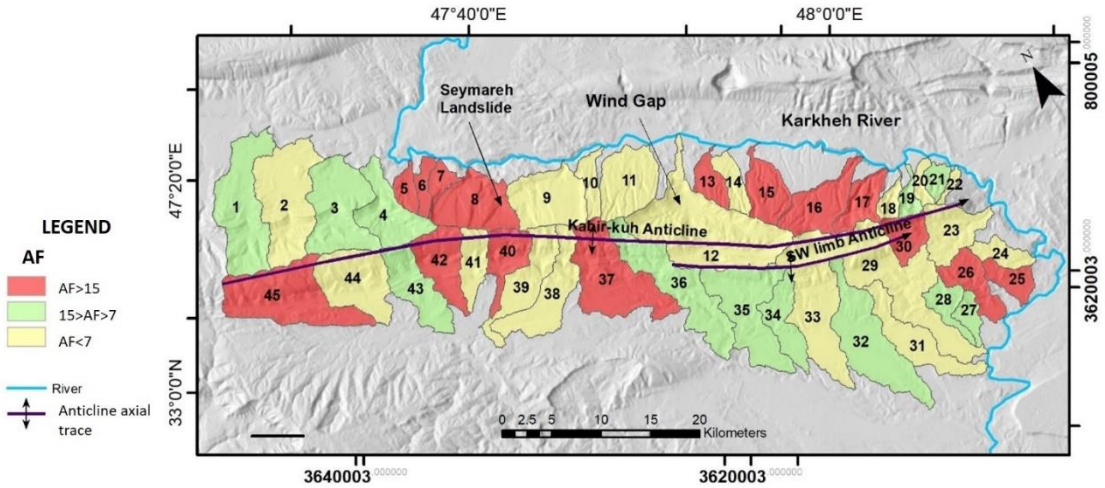
شاخص عدم تقارن حوضه می‌تواند کج‌شدگی ناشی از تکتونیک را در مقیاس یک ناحیه و یا یک حوضه وسیع نشان دهد Keller and Pinter., (2002) مقادیر عددی این شاخص بیانگر وجود کج‌شدگی حوضه بر اثر عملکرد فرسایش در سمت راست یا چپ آبراهه اصلی است و هرگاه این مقادیر کمتر از ۷ باشد نشان دهنده وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت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

شاخص Af. در بین زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه مقادیر متفاوت Af در قسمت های مختلف تاقدیس مشاهده می‌شود و روند مشخصی دیده نمی‌شود (شکل ۱۰).



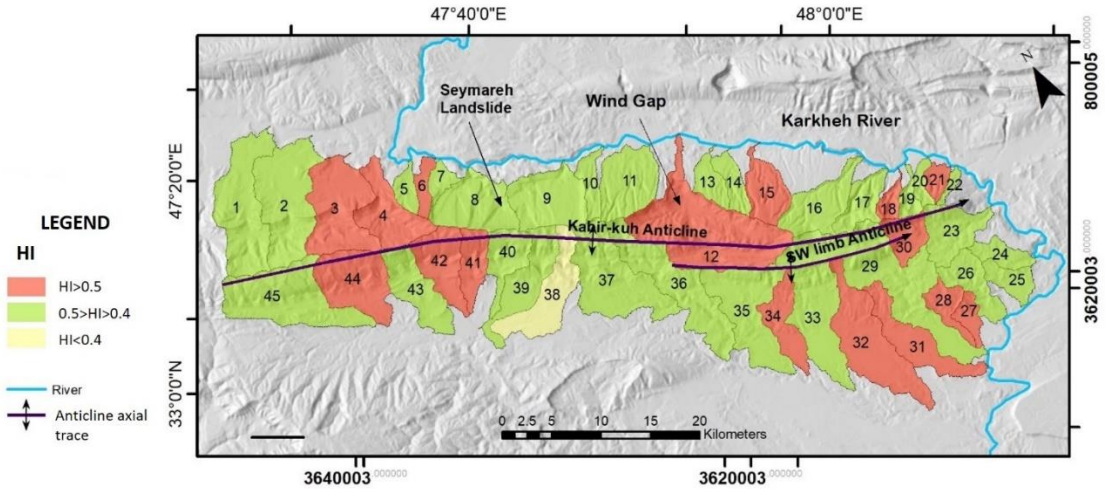
شکل ۹- نقشه شاخص نسبت کف دره به عمق دره (Vf) برای حوضه‌های تاقدیس کبیرکوه و در مقاطعی از رودخانه کرخه

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.



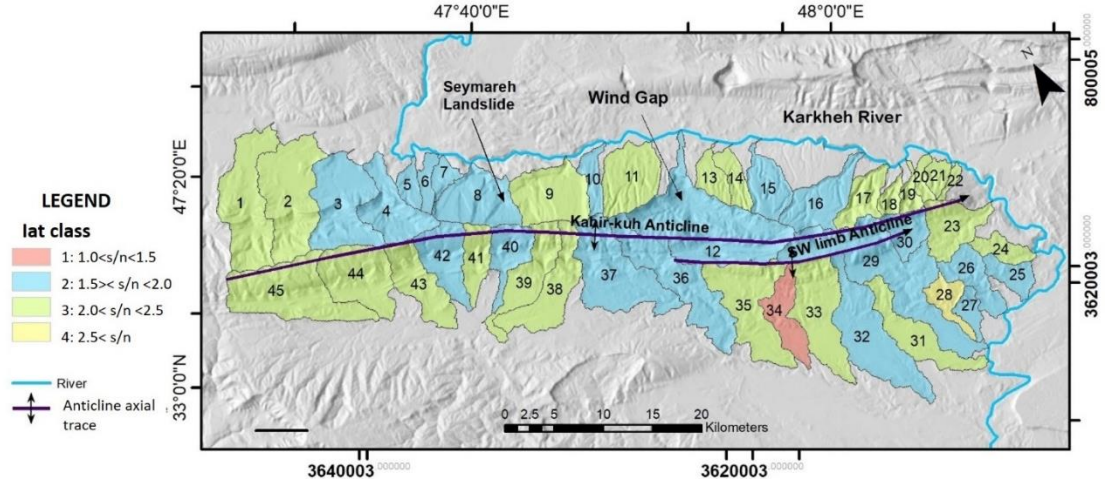
شکل ۱۰- نقشه شاخص عدم تقارن حوضه (Af) حوضه‌های آبریز تاقدیس کبیرکوه.

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



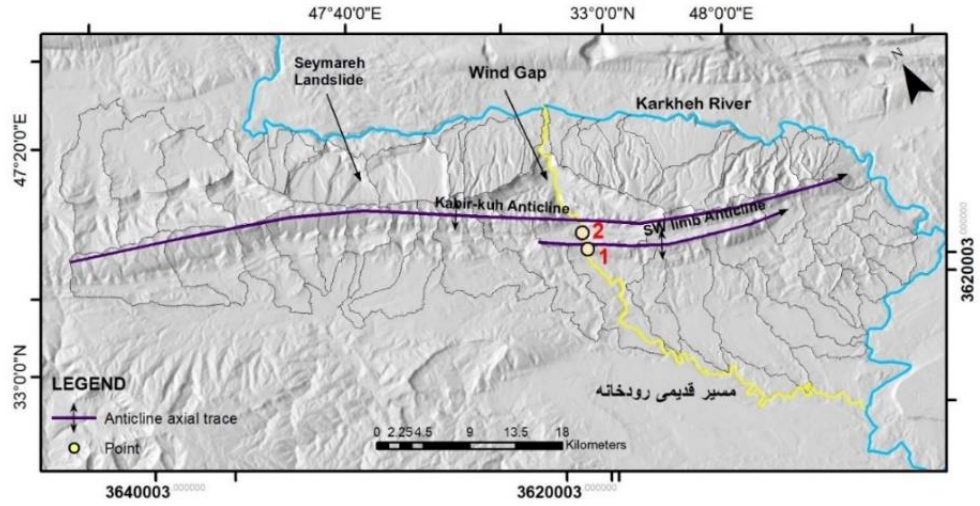
شکل ۱۱- نقشه شاخص انتگرال هیپسومتریک(Hi) حوضه‌های آبریز تاقدیس کبیرکوه.

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

۴-۲-۷- شاخص انتگرال هیپسومتریک (Hi)

انتگرال هیپسومتریک، توزیع سطح ارتفاعی در یک حوضه آبریز یا یک منطقه را نشان می‌دهد. شاخص Hi با استفاده از مساحت سطح زیرین منحنی هیپسومتریک حاصل می‌شود. داده‌های لازم برای محاسبه انتگرال هیپسومتریک از مدل ارتفاعی ـ رقومی (DEM) گستره تهیه می‌شود.

به طور کلی، شاخص انتگرال هیپسومتری نشانگر فعالیت زمین‌ساختی و مرحله جوانی در یک منطقه است و مقادیرپایین نشان دهنده مرحله ی پیری و فعالیت فرسایشی می‌باشد. 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 حوضه‌ها بیشتر از ۰/۴ می‌باشد که می‌توان بیان کرد گستره مورد مطالعه دارای توپوگرافی جوان و بالغ است. پراکندگی حوضه‌های با Hi بالا در جنوب‌خاور (در محدوده دماغه تاقدیس)، در میانه تاقدیس (محدوده هواچاک) بخش‌هایی از پهلوی شمالی تاقدیس در شمال‌باختر دیده می‌شود (شکل ۱۱).

۴-۲-۸- شاخص زمین‌ساختی فعال نسبی (Iat)

بر اساس رده‌بندی سه گانه شاخص‌های زمین‌ریختی اندازه گیری شده در حوضه‌های آبریز، در هر حوضه میانگین مقادیر رده شاخص‌های (s/n) محاسبه شد و بر اساس مقادیر حاصله بر اساس رده‌بندی الحمدونی(۲۰۰۸) .El Hamdouni et al (2008)، چهار رده شاخص زمین‌ساخت فعال (Iat) به شرح زیر بدست آمده است (جدول۳):

رده۱: $1 < s/n < 1.5$ بیانگر فعالیت زمین‌ساختی نسبی خیلی بالا می‌باشد.

رده۲: $1.5 < s/n < 2$ فعالیت زمین‌ساختی نسبی بالا

رده۳: $2 < s/n < 2.5$ فعالیت زمین‌ساختی نسبی متوسط

رده۴: $s/n > 2.5$ فعالیت زمین‌ساختی نسبی کم را ارائه می‌نماید.

تغییرات شاخص Iat در گستره نشان می‌دهد که در حوضه‌ها فعالیت زمین‌ساختی متوسط تا تا بالا است و در یک حوضه خیلی بالا است (شکل ۱۲). پراکندگی حوضه‌های فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا در جنوب‌خاور (در محدوده دماغه تاقدیس)، در میانه تاقدیس (محدوده هواچاک) و بخش‌های شمال‌باختر (محدوده زمین لغزش سیمره به سمت شمال باختر) دیده می‌شود (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 بخش‌های مرتفع کوهستان قرار گرفته‌اند، در حالی که رودخانه کرخه در دهانه دره هواچاک در حدود تراز ۴۰۰ قرار دارد (شکل ۱۴). رسوبات آبرفتی از جنس قلوه‌های گرد شده در زمینه ای از ذرات ماسه ای است و در لایه‌های شیبدار دیده می شوند (شکل ۱۵).

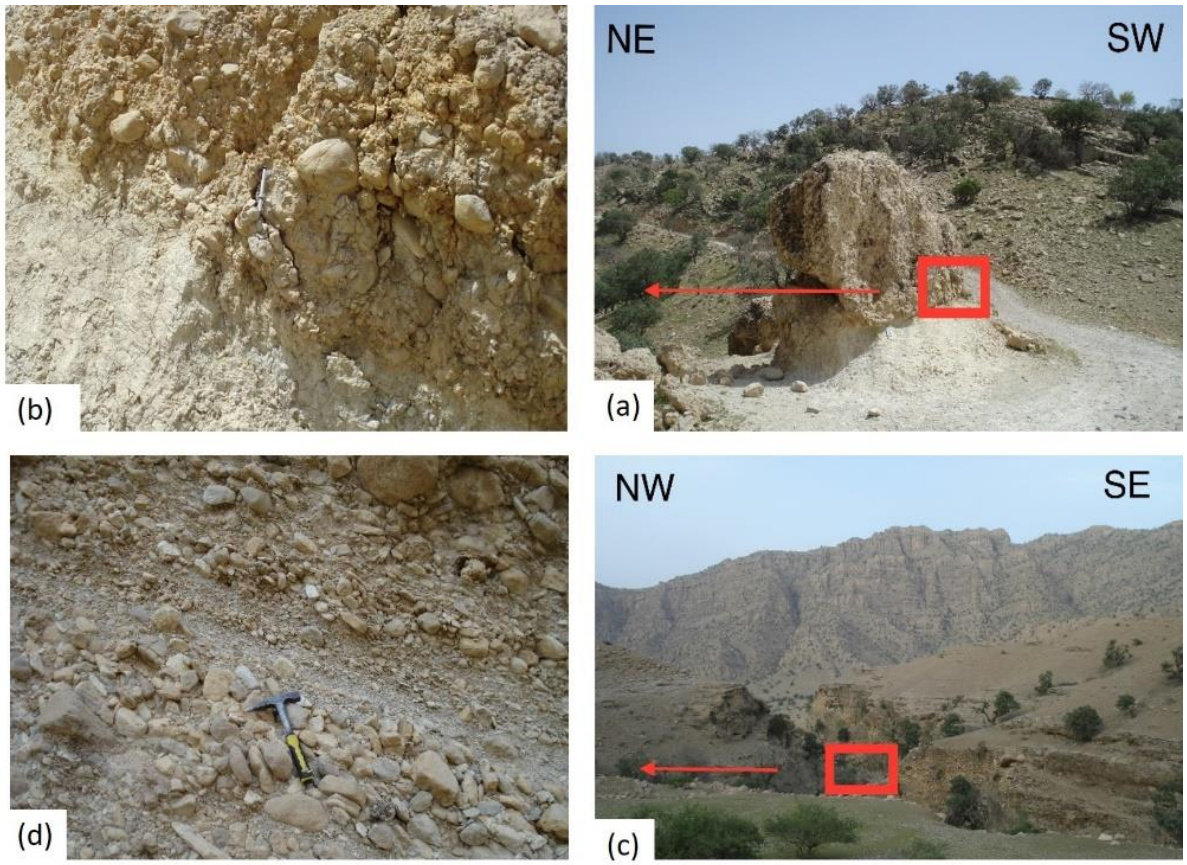
جدول۳- مقادیر شاخص Iat در حوضه‌های آبریز
Table 3. Value of Iat index for the drainage basins

Basin	Geomorphic index class							S/n	Iat 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 ا ، (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

تحلیل شاخص‌های زمین‌ریختی در تاقدیس کبیرکوه نشان از فعالیت زمین‌ساختی متوسط تا بالای این تاقدیس دارد و این موضوع در شاخص‌های مختلف بازتاب دارد. شاخص‌های گرادیان طولی آبراهه (SL) ، تراکم آبراهه (P)، و انتگرال فرازسنجی (Hi) نتایج مشابهی دارند و مقادیر این شاخص‌ها در دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس، محدوده دره هواچاک و محدوده زمین‌لغزش سیمره به مقادیر شاخص فعالیت زمین‌ساختی بالا نزدیکترند. همچنین در این نواحی حوضه‌های آبریز کوچکتری وجود دارند که نشان از پویا بودن این بخش ها هستند.

نسبت کف به عمق دره (VF) در در دماغه جنوب‌خاوری تاقدیس، محدوده دره هواچاک و محدوده زمین‌لغزش سیمره مقادیر کمی دارد که نشان از فعالیت زمین‌ساختی بالای این 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 میانگین‌گیری 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 می شوند، بعلاوه حوضه‌های محدوده هواچاک و محدوده زمین‌لغزش سیمره فعالیت زمین‌ساختی عمدتا بالا را نشان می‌دهد و می‌تواند ناشی از برخاستگی بیشتر تاقدیس در این بخش ها باشد. جبهه کوهستان در پهلوی جنوب‌خاوری چین اعوجاج 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 به‌صورت مقادیر کمتر از ۱ شاخص نسبت کف به عمق دره (Vf) نمایان شده است که نشان از فعالیت زمین‌ساختی بالای این بخش ها دارد.

مطالعه‌ی هواچاک‌هایی که به دلیل بالاآمدگی زمین‌ساختی در پاسخ به رشد جانبی تاقدیس دچار انحنا شده‌اند یکی از بهترین شاخص‌ها برای بررسی رشد جانبی چین‌ها می‌باشد (Keller et al., 1999). وجود آبرفت‌های رودخانه‌ای 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 شاهدی باشد که آن‌ها در اثر چین‌خوردگی بالا آمده‌اند. این موضوع می‌تواند اینگونه اثبات شود که در گذشته دره هواچاک به مسیر رودخانه‌ای 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 پیشانی‌کوهستان زاگرس می‌باشد (شکل ۱) (Berberian, 1995). جنبش جوان گسل پیشانی کوهستان می‌تواند در غالب رشد تاقدیس کبیرکوه نمود پیدا کند. این شواهد نشان‌دهنده 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 به‌صورت دریاچه شده باشد. چنین تفسیری وجود دریاچه در محل زمین‌لغزش سیمره را به رشد چین مرتبط می نماید و این احتمال را تقویت می نماید که اول دریاچه بوجود آمده وسپس با اشباع شدن دامنه شمال خاوری تاقدیس کبیرکوه زمین‌لغزش به وقوع پیوسته باشد.

۶- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج این تحقیق را می‌توان به‌صورت موارد زیر برشمرد.

شاخص‌های 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 می باشد.

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.

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.

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., Satterhwaite, 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, 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.

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, EA., 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-Francc). Quaternary International 101-102, 191-201. 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 Spildagı 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.

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.

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., 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.

Zuchiewiez, W., 1995a. Selected aspects of neotectonics of the Polish Carpathians. Folia Quatemaria 66, 145-204.

Zuchiewiez, 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.