Spatial Analysis of Zagros Karst Landforms Depending on Altitude and Tectonic Position

Dr. Gholam Hasan Jafari[1*], Forouzan Naseri[2]

1- Associate Professor of Geomorphology, University of Zanjan
2- Master of Hydrogeomorphology, University of Zanjan

Jafari, Gh H & Naseri, F (2021). [Spatial Analysis of Zagros Karst Landforms Depending on Altitude and Tectonic Position]. *Geography and Development,* 18(61),227-246, http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.5849

doi: http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.5849

Received:15/03/2020
Accepted:10/06/2020

Keywords:
Polje, Dolin, Zagros, Karst, Ham.

ABSTRACT

Karst is a result of numerous processes that occur in limestone areas and different climatic, geological and hydrological conditions and its effects in various shapes, such as pits and caves in the ground and underground. We in this article study due to the vast area of the region and the lithology dispersion of lime in various altitudes. Based on documents such as geological maps 1: 100000, the digital model of elevation with a power of 12.5 m and topographic maps of 1: 50,000. The first of the karstic forms Located in Zagros in the Arc GIS software and required data was extracted using Mapper Global, Google Earth software, and their dispersion analyzed in terms of height, seams and cracks (faults) and Excel. The results of the dispersion of karst shapes and complications relative to height indicate. They the density of the forms at different altitude levels has increased with increasing elevation. Their frequency in the upper classes is several times higher than the lower classes, and the dispersion of the karstic forms concerning the distance from the fault shows that all types of karst except Hum, without exception, have the highest density at a distance of fewer than 20 kilometers from of the failure. The dispersion of these forms, including Doline and caves at that space, indicates that Karst's evolution increases according to the gaps and the dissolution process, especially in the deep karst, increases.

Extended Abstract

1- Introduction

Karst is a result of numerous processes that occur in limestone areas and different climatic, geological and hydrological conditions and its effects in various shapes, such as pits and caves in the ground and underground. According to White (1988), the requirements for the formation and development of karst are the proper position of lithology and thickness of the carbonate layers, height (longitude), climate (including co2 pressure, temperature, and precipitation), and tectonic (faults and gaps). The degree of karst development in different regions is due to changes in the above factors, and the higher the effected of these factors in the most intensive areas, the more karst develops. Due to the full extension of the Zagros Mountains along latitude and their trend change, and the effect of the height factor on the elements of water and heat, in this territory, the climate is semi-humid to dry to hot. Due to the full range of high-pressure centers on the north, this territory deprived of western rains except the cold seasons (Alijani,

***Corresponding Author:**
Dr. Gholam Hasan Jafari
Address: Department of Geomorphology University of Zanjan
Tel: +98(9177519227)
E-mail: jafarihas@yahoo.com

1996). Structurally, the Zagros area is the dominant tectonic arena, in which all of the continental-continental integration parameters have formed (Arghashi et al, 2008). Based on this, altitude and faults are expected to play a significant role in the dispersion of karstic landforms such as Strait, Canyon, Doline, Cave, Spring, Limestone basin, Limestone Plain and Hum in Zagros as essential factors in karstification, which discussed in this article.

2-Methodology

We in this article study due to the vast area of the region and the lithology dispersion of lime in various altitudes. The based on documents such as geological maps 1: 100000, the digital model of elevation with a power of 12.5 m and topographic maps of 1: 50,000. The first of the karstic forms Located in Zagros in the Arc GIS software and required data was extracted using Mapper Global, Google Earth software, and their dispersion analyzed in terms of height, seams and cracks (faults) and Excel.

3-Results

In the carbonate rocks of Zagros, karst forms were categorized into three groups of point, linear and superficial. Caves and springs are some of the apparent points in Zagros. Karsting, as defined, results from dissolution, which develops through the formation of corridors and underground corridors, and in this way, underground forms were created. Limestone springs drain karstic areas. In total, in Zagros limestone areas, 80 caves and 4944 springs were identified, and their location analyzed. The valleys formed in the limestone areas due to the dissolution of the water. In case open from both sides, interrupts the anticline and interconnects the two synclinal, as straight, and if one side of it is free and the other hand ends up to the mountain, they are considered as canyons and was surveyed in the group of linear landforms. Doline, Hum and Plains were scanned in a group of surface shapes. Devastations of the Karstic regions in the Zagros range, which are closed at a closed contour and were covered with drainage internal to the center of a higher altitude, were identified as Doline. Limestone Plain in the Karst regions refers to the impoverished lands, the floor of which is almost flat. Hum is a prominent form in the calcareous plains, which are either perpendicular or conical. After determining the karstic landforms in three groups, the point, line, and surface in the first stage of density and dispersion of each according to the height factor were examined.

4-Discussion & Conclusions

The results of the dispersion of karst shapes and complications relative to height indicate. They the density of the forms at different altitude levels has increased with increasing elevation. Their frequency in the upper classes is several times higher than the lower classes, and the dispersion of the karstic forms concerning the distance from the fault shows that all types of karst except Hum, without exception, have the highest density at a distance of fewer than 20 kilometers from of the failure. The dispersion of these forms, including Doline and caves at that space, indicates that Karst's evolution increases according to the gaps and the dissolution process, especially in the deep karst, increases.

Keywords: Karst, Dissolution, Lime, Climate, Condensation.

5-References

- Alaeittalaghani, M.,Rahimzadeh,Z (2010). Investigating the Transformation of Karst in the Zagros Region, National Conference on Applied Resources of Iranian Water Resources, 313-323. https://civilica.com/doc/112918/

- Alijani, B. (2012). Weather of Iran, Tehran, Payame Noor Publications. 11nd edition.

- Alipour, A., Hashemi, M., Projhe, F., Naserzadeh, M., (2017). Identification and Comparison of Iranian Deserts in the Field of Geomorphology and Climatology (Case Study: Central and Eastern Deserts of Iran). Regional Planning Quarterly. (27), 21-34. http://jzpm.miau.ac.ir/article_2453.html

- Alizadeh, A., (2014). Principles of Applied Hydrology. Imam Reza University Publishers. 39nd edition.
- Arghshi, H., Aryan, M., Tabatabaei Raisi, S. (2008). Investigation of Zagros pylons at the interface between Kazeroon and Razak faults, (3), 1-10. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=131376
- Behnifeer, A., Ghanbarzadeh, H., Farzaneh, A (2009). Geomorphic Characteristic Characteristics of Akhlomed- Karstic Mass in the Northern Slopes of Binalood Highlands, Geography and Development Quarterly (14), 121-140. https://gdij.usb.ac.ir/article_1220.html
- Chen, W., Zhang, Y., Qin, H., Zhu, D., & Wang, X. (2015). The Karst Geomorphologic Regionalization in China. In From Geoheritage to Geoparks (PP.233-244). Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10708-0_16
- Clinsey, D (2009). Iranian Deserts and its Geomorphologic and Paleoclimatics Characteristics, translated by Abbas Pashaei. Geographic Organization of the Armed Forces, 1nd.
- Darvishzadeh, A (1991). Geology Iran. Science Publishing Today, Tehran. http://www.lib.ir/book/53766982/%D8%B2%D9%85%DB%8C%D9%86-D8%B4%D9%86%D8%A7%D8%B3%DB%8C-%D8%A7%DB%8C%D8%B1%D8%A7%D9%86/
- Ford, D., & Williams, P. D (2013). Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons.
- Ghassimeefar, E., Naserpour, S. (2011). Climatic zoning of Zagros area, Sepehr Publication (89), 54-60. http://www.sepehr.org/article_13044.html
- Ghobadi, M. (2009). Karst Engineering Geology. Bu-Ali Sina University Publishers, Hamedan.
- Ghorbani, M., Onagh m (2012). The zoning of kerest's transformation and sensitivity using multivariate linear regression model in Shaho karstic region, Quantitative geomorphology studies (1), 19-20. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_77863.html
- Hariri, M (1990). General Geomorphology of Iran. Islamic Azad University Publishers.
- Karimi verdenjani, H (2015). Hydrology and geomorphology are Karst. Eram Publishing House of Shiraz. 1nd.
- Mahmoudi, F (2007). Climate geomorphology, Payame Noor Publication, 1nd.
- Mahmoudi, F., Maleki, A. (2001). Karst evolution and its role in underground water resources in the Bistoon-Peravo rocks (Kermanshah), geographic research, (40), 93-105. https://jrg.ut.ac.ir/article_17848.html
- Mazidi, A., Karam, A., Kooravandpur, M. (2016). Potential of Karst Development Using Fuzzy Logic (Case Study: Sosan Plain Basin and Izeh Plain Basin), Quantitative Geomorphology Studies (2), 130-141. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78047.html
- Miraali Moredi, M., Mirab Shabestari, Gh., Etabari, B., Haiat, M. (2013). Introduction of karst geomorphology of carbonate rocks in Ahangaran region (northeast of Birjand), geography and urban-regional ecology (8), 115-130. https://gaij.usb.ac.ir/article_1290.html
- Nojavan, M., Shah-Zeidi, S., Ramesht, M. (2017). Karst geomorphology, Samt Publishing.
- Ramasht, M., Kazemi, M. (2007). Glacier works in the field of Eqlid of Fars. Magazine Growth of Geography Education, (4), 9-19. https://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=142185
- Ramesht, M. (2013). Geomorphologic Maps (Symbols and Permissions), Samt Publishing, 6nd.
- Zhou, G., He, S., Chen, K., & Yan, H. (2014, July). Risk evaluation of Karst collapse using GIS and RS. In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International (PP.3089-3092). IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6947130

تحلیل فضایی لندفرم‌های کارستی زاگرس با توجه به موقعیت ارتفاعی و تکتونیکی

دکتر غلامحسن جعفری[۱*]، فروزان ناصری[۲]

جغرافیاوتوسعه، شماره ۶۱، زمستان ۱۳۹۹
تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۱
صفحات : ۲۴۶-۲۲۷

واژه‌های کلیدی:
کارست، انحلال، آهک، اقلیم، تراکم.

چکیده

کارست حاصل فرایندهای متعددی است که در پهنه‌های آهکی و در شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی گوناگون پدید می‌آید و آثار آن به‌صورت فرم‌های مختلفی مثل گودال و غار در سطح و زیرزمین دیده می‌شود. در این مقاله با توجه به وسعت زیاد منطقه و پراکندگی لیتولوژی آهک در مناطق ارتفاعی مختلف و با استناد به منابع اسنادی مثل نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، لایهٔ مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، ابتدا اشکال کارستی واقع در زاگرس در نرم‌افزار Arc GIS شناسایی شد و داده‌های موردنیاز به کمک نرم‌افزارهای Global Mapper، Google earth استخراج و پراکندگی آن‌ها با توجه به ارتفاع و درز و شکاف‌ها (گسل‌ها) و در Excel تجزیه‌وتحلیل شد. نتایج پراکندگی اشکال و عوارض کارستی نسبت‌به ارتفاع نشان می‌دهد که تراکم اشکال در سطوح ارتفاعی مختلف، با افزایش ارتفاع، بیشتر شده‌است و تراکم آن‌ها در طبقات بالاتر نسبت‌به طبقات پایین گاهی چندین برابر شده‌است و پراکندگی اشکال کارستی با توجه به فاصله از گسل نشان می‌دهد که همهٔ اشکال کارستی به‌جز هوم‌ها، بدون‌استثنا بیشترین تراکم را در فاصلهٔ کمتر از ۲۰ کیلومتر از گسل دارند. پراکندگی این اشکال ازجمله دولین‌ها و غارها در این فاصله، دالّ بر این است که تحول کارست با توجه به درز و شکاف‌ها بیشتر می‌شود و فرایند انحلال به‌خصوص در کارست عمقی، افزایش می‌یابد.

مقدمه

کارست حاصل فرایندهای متعددی است که در پهنه‌های آهکی و در شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی گوناگون پدید می‌آید و آثار آن به‌صورت فرم‌های مختلفی مثل گودال و غار درسطح و زیرزمین دیده می‌شود. به‌طورکلی می‌توان پدیده‌های کارستی را حاصل دخالت‌مشترک مورفودینامیک درونی (ساختار زمین‌شناسی و لیتولوژی) و بیرونی (اقلیم، ارتفاع، پوشش گیاهی و زمان) دانست *(نوجوان و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۳)*. شرایط شکل‌گیری و توسعهٔ کارست،ازنظر وایت (۱۹۸۸)، وضعیت مناسب سنگ‌شناسی و ضخامت لایه‌های کربناته، ارتفاع (پستی‌وبلندی)، اقلیم (شامل فشار co2، دما و بارش) و تکتونیک (گسل‌ها، درز و شکاف‌ها) است. درواقع درجهٔ توسعهٔ کارست در نواحی مختلف ناشی از تغییر عوامل فوق‌الذکر است و هرچه تأثیر این‌عوامل در ناحیه‌ای فزون‌تر باشد، کارست توسعهٔ بیشتری می‌یابد *(علایی‌طالقانی و رحیم‌زاده، ۱۳۸۹: ۳۱۵)*. فرایندهای بیرونی زمین و اشکال ناشی از آن‌ها، اصولاً تابع شرایط اقلیمی حاکم‌بر هر منطقه در بستر زمان است *(رامشت و کاظمی، ۱۳۸۶: ۱۰)* و اقلیم در عرض‌های

۱- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران (نویسنده مسئول) jafarihas@yahoo.com
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی دانشگاه زنجان و دانشجوی دکتری هیدروژئومورفولوژی دانشگاه شهیدبهشتی، تهران،ایران foruzan.naseri@gmail.com

جغرافیایی و مناطق ارتفاعی مختلف، شرایط متفاوتی را به دنبال دارد *(محمودی، ۱۳۶۷: ۶)*. با تأثیر ارتفاع بر اقلیم (دما و بارش)، فرایندهای فرسایشی وبه‌تبع آن چهرۀ زمین و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی تغییر می‌کند *(علیپور و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۲)*؛ هراندازه ارتفاع افزایش یابد، میزان بخارآب و گردوخاک در هوا کاهش می‌یابد. در این صورت توانایی جذب حرارت هوا نیز کم می‌شود. پس دمای هوا به‌صورتی منظم با ارتفاع کاهش می‌یابد و هنگام سردشدن هوا در شب رطوبت به‌صورت شبنم متراکم شده یا احتمالاً یخ می‌بندد. در چنین شرایطی، بخش سطحی سنگ‌ها و خاک‌ها مرطوب شده و هنگام روز دوباره بر اثر تبخیر خشک می‌شود. این تغییرات غالباً متلاشی‌شدن سنگ‌ها را به‌همراه دارد.درصورتی‌که شرایط مناسب باشد، سبب انحلال و تجزیۀ سنگ‌های انحلال‌پذیر می‌شود. تأثیر ارتفاع بر بارش، از سایر عوامل آشکارتر است *(محمودی، ۱۳۸۶: ۱۹۴)*؛ در مناطق مرتفع‌تر آب دریافتی ازطریق بارش بیشتر می‌شود. به‌دلیل سردبودن، رشدِ گیاهان انبوه و دارای ریشه‌های عمیق محدود می‌شود و درنتیجه تبخیر و تعرق ناشی از گیاهان کم می‌شود؛ از طرفی در مناطق دارای شیب زیاد امکان باقی‌ماندن خاک با ضخامت زیاد و همچنین رویش گیاه فراهم نمی‌شود؛ بنابراین آب باران به‌سرعت جاری می‌شود و فرصت نفوذ کمتری خواهد داشت. بخشی از آبِ نفوذکرده نیز در امتداد لایه‌بندی حرکت می‌کند و توسعۀ کارست به‌صورت عمودی را فراهم می‌کند. در اراضی پست و گود و همچنین زمین‌های مسطح، چون آب حاصل از بارندگی یا ذوب‌شدن برف‌ها و... نمی‌تواند در اثر جریان‌های سطحی از منطقه خارج شود، در سطح زمین جمع شده و میزان آبِ نفوذیافته، افزایش می‌یابد و به‌علت بالابودن ارتفاع، میزان تبخیر کم می‌شود. بیش از ۹۰ درصد بارش می‌تواند به درون سیستم کارست نفوذ کند *(کریمی‌وردنجانی، ۱۳۹۴: ۲۸)*. ازطرفی سنگ‌های انحلال‌پذیر و به‌دنبال آن کارستی شدن ارتباط مستقیمی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های قابل‌انحلال دارد. از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی می‌توان به تخلخل، درز و شکاف، شکستگی‌ها و گسل‌ها اشاره کرد *(علیزاده، ۱۳۹۳: ۳۴۹)*. سنگ‌های کربناتی به‌طور مستقیم نفوذناپذیرند، اما به‌طور غیرمستقیم نیز می‌توان گفت که نفوذپذیر می‌شوند و علت‌اصلی نفوذپذیری وجود درز و شکاف‌هایی است که امکان ورود آب و جریان‌یافتن آن را به داخل تودۀ سنگ فراهم می‌کنند. طی فرایندهای تکتونیکی با ایجاد درزه‌ها در توده‌های سنگی، کارستی‌شدن در جهت‌های عمودی، افقی و مایل شدت می‌یابد و منجر به شکل‌گیری و توسعۀ اشکال زیرزمینی مانند مجاری به‌هم‌پیوسته و تشکیل آبخوان‌های کارستی می‌شود *(قبادی، ۱۳۸۸: ۴۸-۳۴)*. علاوه‌بر این گسل‌ها همواره به‌صورت سیستم‌گسلی، همراه با سیستم درز و شکاف، پهنۀ وسیعی از سنگ‌های پیرامون خود را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. مسلماً با فاصله از این خطوط، از میزان درز و شکاف کاسته می‌شود؛ ازاین‌رو فاصله از گسل نیز به‌عنوان یک‌متغیر در کارستی‌شدن مطالعه می‌شود *(علایی‌طالقانی و رحیم‌زاده، ۱۳۸۹: ۳۱۷)*.

در حال حاضر به‌دلیل گستردگی کوه‌های زاگرس در امتداد عرض جغرافیایی و تغییر روند آن‌ها و تأثیر عامل ارتفاع در عناصر آبی و حرارتی، در این قلمرو شرایط اقلیمی نیمه‌مرطوب سرد تا خشک‌گرم حکم‌فرما است. به‌دلیل گستردگی مراکز پرفشار جنب‌حاره‌ای به سمت شمال، این قلمرو به‌استثنای فصول سرد از باران‌های غربی محروم است *(علیجانی، ۱۳۹۱: ۱۴۷)*. ازلحاظ ساختاری، سرتاسر زاگرس پهنۀ نمایش یک رژیم تکتونیکی شاخص است که کلیۀ پارامترهای همگرایی قاره- قاره در آن تشکیل شده‌است *(عرقشی و همکاران، ۱۳۸۷: ۳)*. بر این اساس انتظار می‌رود ارتفاع و گسل به‌عنوان عوامل اثرگذار بر کارستی‌ـفیکاسیون نقش مهمی در پراکندگی لندفرم‌های کارستی همچون

تنگ، کانیون، دولین، غار، چشمه، حوضه آهکی، دشت آهکی (پولیه) و هوم در زاگرس داشته باشند که در این مقاله به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

تحقیقات صورت‌گرفته در زمینهٔ کارست نتایج قابل تأملی در این زمینه داشته‌است؛ازجمله فورد و ویلیامز[1] (۲۰۱۳)، معتقدند که پدیده‌های کارستی در اثر عمل انحلال در مسیرهایی که به‌وسیلهٔ ساختارها کنترل می‌شوند، ایجاد می‌گردند. کافمن و کوینیف[2] (۲۰۰۲)، نقشهٔ خطر فروریزش فروچاله‌های جنوب بلژیک را به‌صورت کیفی تهیه و پالئوکارست در منطقه را مطالعه کردند. ژو و همکاران[3] (۲۰۱۴)، با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS و روش AHP منطقه گوانجی براساس خطر فروپاشی کارست در چهار طبقه با خطر زیاد، متوسط، کم و بی‌خطر پهنه‌بندی کردند. چن و همکاران[4] (۲۰۱۵)، در منطقه‌ای در چین، انواع ژئومورفولوژیکی کارست را بررسی کردند. آن‌ها در این مطالعه به‌طور سیستماتیک و جامع لندفرم‌های کارستی را براساس تجزیه‌وتحلیل داده‌های جغرافیایی و زمین‌شناسی به هشت طبقه تقسیم کردند که بیشتر تفاوت این مناطق در ژئومورفولوژی و آب‌وهوا است.

از تحقیقات صورت‌گرفته در داخل ایران نیز می‌توان به این موارد اشاره کرد: ملکی و محمودی (۱۳۸۰) در مطالعه‌ای با بررسی چاله‌های بسته سطحی به‌عنوان شاخص تحول کارست، با درنظر گرفتن هفت عامل ارتفاع، سنگ‌شناسی، زمین ریخت‌شناسی، دما، بارش، تبخیر و شیب، به پهنه‌بندی تحول کارست در استان کرمانشاه پرداختند. براساس نتایج آن‌ها مناطق دارای تحول زیاد، متوسط، کم و سیار کم به‌ترتیب ۴،کمتر از ۴، حدود ۱۰ و ۸۰ درصد از مساحت استان را دربرمی‌گیرد.

بهنیافر و قنبرزاده (۱۳۸۸)، با درنظرگرفتن عوامل اقلیمی هیدرولوژیکی و لیتولوژیکی و تهیه نقشه ژئومورفولوژی، ویژگی‌های ژئومورفیک تودهٔ کارستی اخلمد در دامنه‌های ارتفاعات بینالود را بررسی کردند. علایی‌طالقانی و رحیم‌زاده (۱۳۸۹)، تحول کارست در زاگرس را با درنظرگرفتن دو متغیرِ نوع سازند کربناته و فاصله از گسل و سپس انطباق آن‌ها با نقشه‌های پراکندگی غارها و تراکم شبکهٔ زهکشی به‌عنوان شاخص تحول کارست را بررسی کردند و کارست این منطقه را ازنظر تحول به سه قسمت کارست تحول‌یافته، نارس و بینابین طبقه‌بندی کردند که به‌ترتیب حدود ۶۹۲۲۸، ۴۱۰۲ و ۳۱۲۰۷ کیلومترمربع از مساحت زاگرس را دربرمی‌گیرند.

قربانی و اونق (۱۳۹۱)، با استفاده ازمدل رگرسیونی خطی چندمتغیره، حساسیت کارست منطقهٔ شاهو را پهنه‌بندی کردند. میرعلایی و همکاران (۱۳۹۲)، در بررسی ژئومورفولوژی کارستی سنگ‌های کربناته منطقهٔ آهنگران در شمال‌شرق بیرجند به این نتیجه رسیدند که وجود شرایط مساعد برای کارست ازجمله سنگ‌های آهکی و آهکی- دولومیتی، بارش نسبتاً مناسب در بخش‌هایی از حوضه، گردش آب در درز و درون شکاف سنگ‌ها و فرایند انحلال منجر به عملکرد کارست در بخش‌هایی مختلفی از منطقه شده و تکتونیک فعال مهم‌ترین عامل زمینه‌ساز کارست منطقه است.

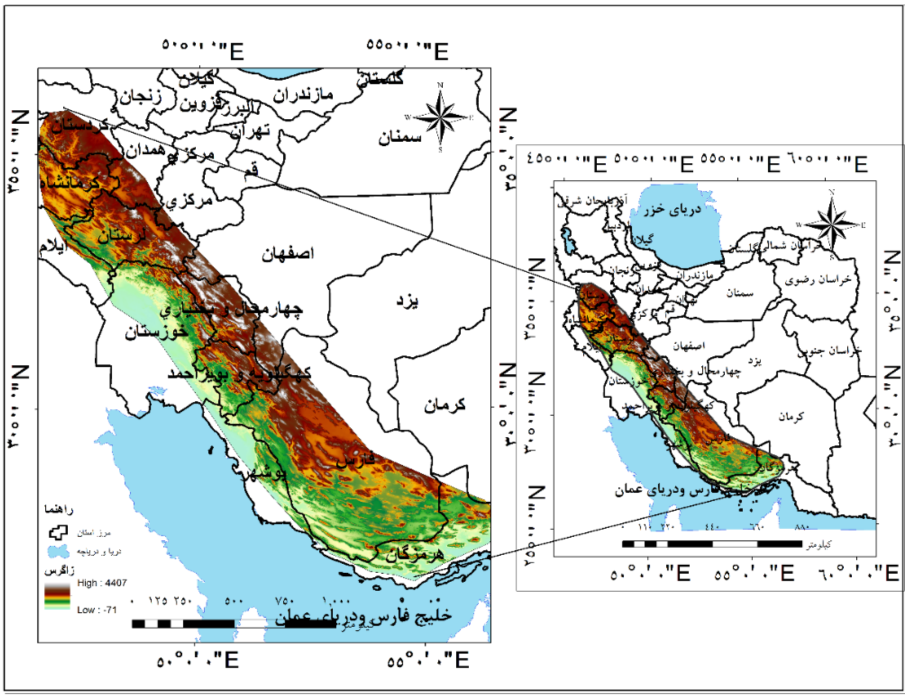
مزیدی و همکاران (۱۳۹۵)، پتانسیل‌یابی توسعهٔ کارست حوضهٔ دشت سوسن و دشت ایذه را با استفاده از منطق فازی بررسی کردند. نتایج کار آن‌ها نشان می‌دهد که با کاهش میزان شیب و فاصله از گسل، افزایش رسوبات آهکی، پوشش گیاهی، میزان دما، میزان بارندگی و پوشش سطح‌خاک شدت کارستی‌شدن افزایش یافته‌است و مناطق مستعد به کارست با

1-Ford and Willams
2-Kaufmann and Quinif
3-Zhou et al
4-Chen et al

مساحت ۳۲ درصد از کل منطقه در جنوب، شرق، غرب و بخش‌هایی از شمال واقع‌شده‌اند و قسمت‌هایی از مرکز و بخش‌هایی از شمال‌شرق محدودهٔ مطالعاتی، با مساحت ۵۰ درصد از پتانسیل کمی درجهت کارستی‌شدن دارند.

منطقهٔ موردمطالعه

سرزمینی از ایران که در غرب راندگی اصلی زاگرس قرار دارد، «زون زاگرس» نام دارد که در سمت مشرق به گسل میناب (گسل زندان) محدود می‌شود؛ ولی در سمت مغرب ویژگی‌های این‌زون در کشورهای هم‌جوار عربی(به‌ویژه‌عراق،عربستان‌وسواحل‌جنوبی‌خلیج‌فارس) نیز دیده می‌شود *(درویش‌زاده، ۱۳۷۰: ۲۰۳)* که در اصل جزء فلات ایران است و تمام حاشیهٔ غربی ایران را شامل می‌شود و توسط دشت‌های داخلی ایران، از ارتفاعات شرقی جدا می‌شود *(حریریان، ۱۳۶۹: ۵)*. سیستم اصلی آن از مشرق مدیترانه شروع‌شده، تمام جنوب ترکیه را طی می‌کند و کوه‌های توروس و آنتی‌توروس را دربرگرفته و سپس وارد عراق می‌شود. این سیستم در ترکیه جهت غربی- شرقی دارد. با ورود به خاک عراق، روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی پیدا می‌کند و با همین روند نیز در بخش غربی ایران امتداد می‌یابد و از شمال‌غرب تا جنوب‌شرق کشور پهناور ایران را در سیطرهٔ خود گرفته‌است *(قاسمی‌فر و ناصرپور، ۱۳۹۰)* (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت مکانی زاگرس

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

مواد و روش

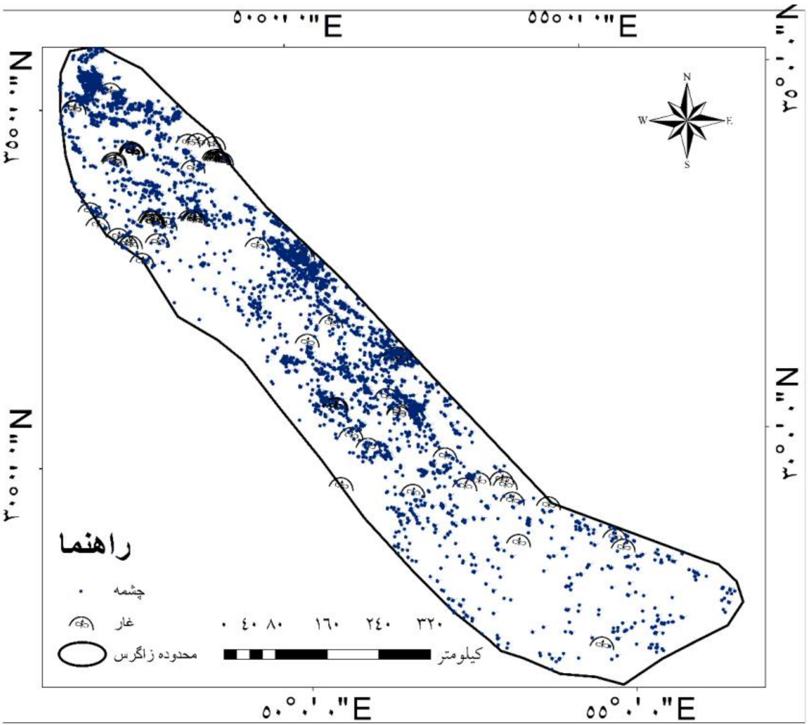
سه عنصر اصلی سطح، خط و نقطه در تفسیر فرم ارضی اهمیت فراوانی دارند. هر یک از این عناصر ویژگی‌های خاصی دارند. شناخت این ویژگی‌ها و نمایش آن‌ها ازجمله اهداف ژئومورفولوژیست‌ها در تحلیل فرم‌های ارضی است. شکل‌گیری فرم‌های ژئومورفیک نتیجهٔ عملکرد فرایندهای مختلف است، ولی درنهایت با غلبهٔ یک فرایند خاص در سطوح

ارضی، فرم نهایی هویت پیدا می‌کند. با تشریح هر یک از عناصر اصلی، زمینهٔ تفسیر مجازی فرم‌ها فراهم می‌شود *(رامشت، ۱۳۹۲: ۱۱)*. در این مقاله ابتدا خطوط منحنی میزان محدودهٔ زاگرس، از لایهٔ مدل رقومی ارتفاعی باقدرت تفکیک ۱۲/۵متر از ماهواره STREM از سایت http://earthexplorer.usgs.gov استخراج شد. لیتولوژی دولومیت و آهک، از لایهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ در نرم‌افزار Arc GIS در محیط Arc Map تفکیک شد؛ سپس اشکال کارستی با استفاده از خطوط منحنی میزان، نقشهٔ توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاع در نرم‌افزارهایArc GIS و Global Mapper، شناسایی و مشخص شد و در نرم‌افزار Google Earth به‌منظور اطمینان از شناسایی دقیق عوارض، موقعیت آن‌ها بازبینی شد و سپس موقعیت و پراکندگی آن‌ها نسبت‌به لیتولوژی، ارتفاع و گسل تجزیه‌وتحلیل شد.

بحث و بررسی

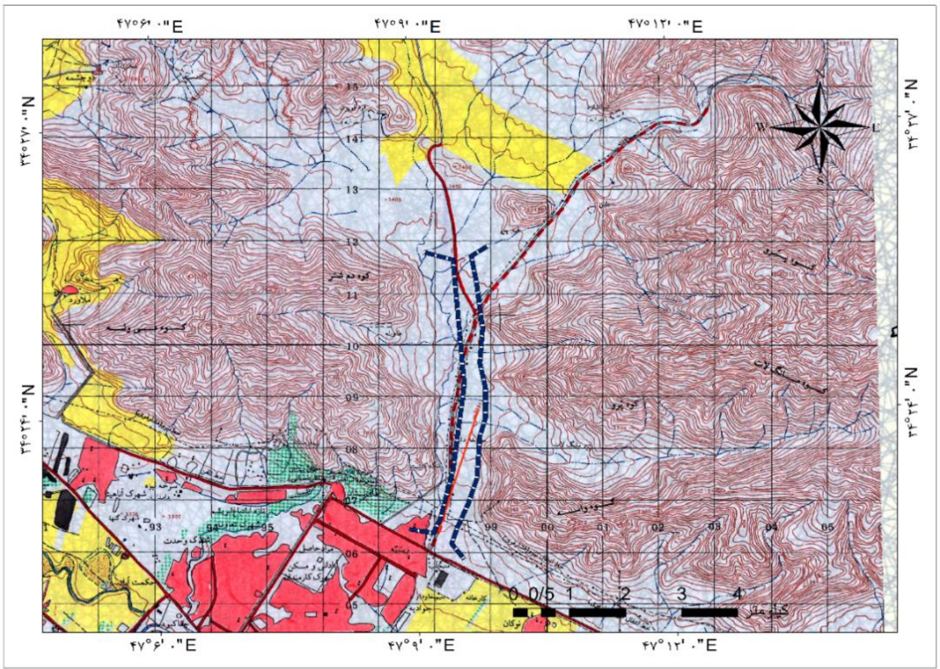
در سنگ‌های کربناته زاگرس اشکال کارستی در سه گروه نقطه‌ای، خطی و سطحی طبقه‌بندی و مورد بررسی قرار گرفت. غارها و چشمه‌ها ازجمله اشکال نقطه‌ای شناسایی‌شده در زاگرس است. کارستی‌شدن بنا به تعریفِ صورت‌گرفته، ناشی از عمل انحلال است که با تشکیل راهروها و دهلیزهای زیرزمینی توسعه می‌یابد و بدین‌ترتیب اشکال زیرزمینی به‌وجود می‌آید. مناطق کارستی توسط چشمه‌های آهکی زهکشی می‌شوند. درمجموع در مناطق آهکی زاگرس ۸۰ غار و ۴۹۴۴ چشمه شناسایی و موقعیت آن‌ها تجزیه‌وتحلیل شد (شکل ۲). درّه‌هایی که در مناطق آهکی در اثر انحلال توسط آب شکل‌گرفته‌اند، اگر از دو طرف باز بوده، یک طاقدیس را قطع کرده و دو ناودیس را به هم متصل می‌کند، به‌عنوان تنگ و اگر یک‌طرف آن باز و طرف دیگر آن به کوه ختم شود، به‌عنوان کانیون درنظر گرفته‌شده و در گروه لندفرم‌های خطی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

دولین هوم و دشت در گروه اشکال سطحی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. فروافتادگی‌های نواحی کارستی در محدودهٔ زاگرس که به‌صورت منحنی میزان‌های بسته هستند و با زهکش داخلی گود هستند و مرکز آن‌ها نسبت‌به اطراف ارتفاع بیشتری دارند، به‌عنوان دولین شناسایی شدند. پولیه در مناطق کارستی، به اراضی فرورفته‌ای اطلاق می‌شود که کف آن تقریباً مسطح است. آن‌ها ممکن است توسط یک سری کوه احاطه‌شده باشند که در این صورت به آن‌ها پولیه بسته می‌گویند و با اینکه محلی برای خروج آب داشته باشد، به پولیه‌های باز معروف هستند. هوم به اشکال برجسته در دشت‌های آهکی اطلاق می‌شود که به‌صورت دیوار برجی یا مخروطی‌شکل باشند. بعد از مشخص‌شدن لندفرم‌های کارستی در سه گروه نقطه‌ای، خطی و سطحی در مرحلهٔ اول تراکم و پراکندگی هرکدام با توجه به عامل ارتفاع مورد بررسی قرار گرفت.



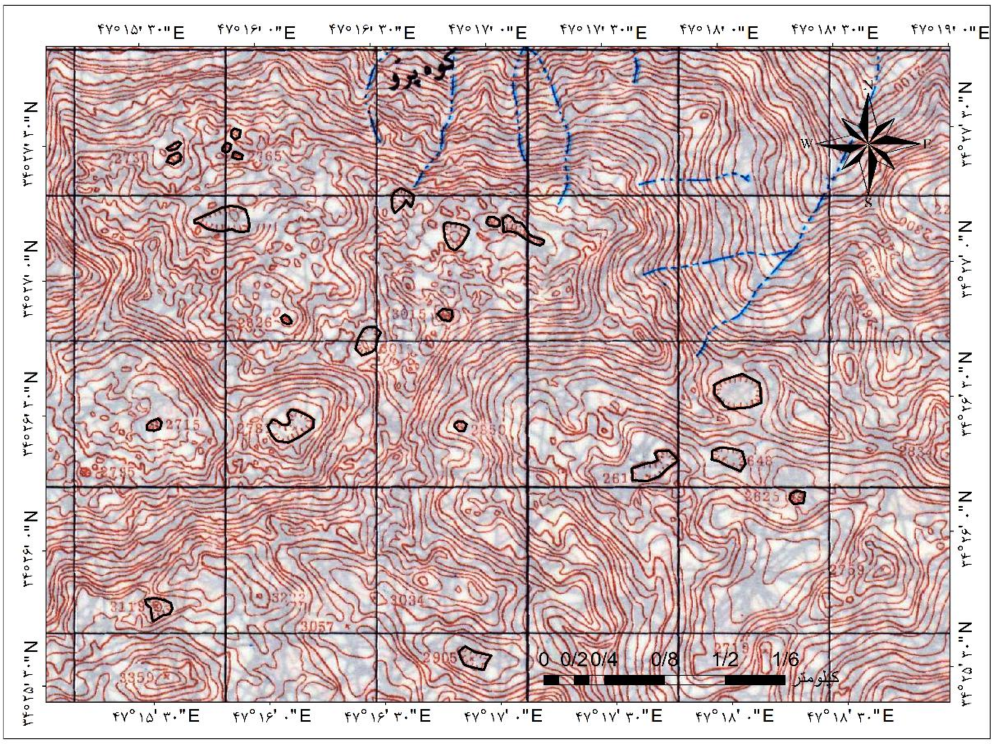
شکل ۲: پراکندگی چشمه‌ها و غارها در زاگرس

تهیه و ترسیم نگارندگان، ۱۳۹۸



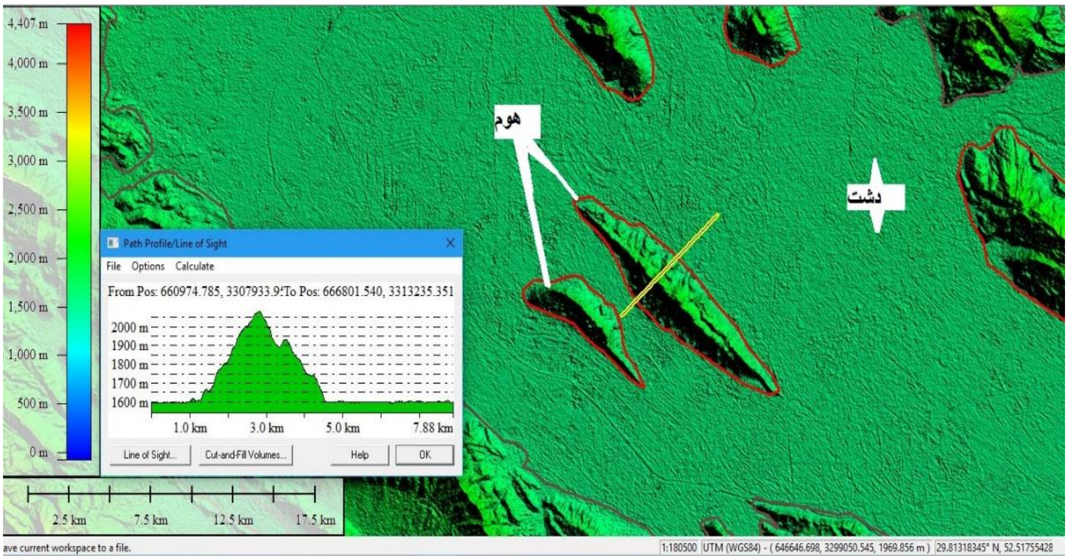
شکل ۳: نمایی از تنگ کُنشت در نقشهٔ توپوگرافی در شهر کرمانشاه

مأخذ: نقشهٔ ۱:۵۰۰۰۰، ۵۴۵۸، III



شکل ۴: نمایی از دولین در زاگرس

مأخذ: نقشه ۱:۵۰۰۰۰، II،۵۴۵۸



شکل ۵: نمایی از هوم و دشت و نیمرخ آن در نرم‌افزار Global mapper

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

دشت: به‌طورکلی ۴۱۸۲۰/۱۳ مترمربع از زاگرس را دشت‌ها دربرگرفته‌اند. رابطهٔ به‌دست‌آمده ازطریق رگرسیونی خطی بین ارتفاع و نسبت تراکم در دشت‌ها دالّ بر این است که با افزایش ارتفاع، این نسبت کاهش می‌یابد. وسعت دشت‌ها از ارتفاع ۲۵۰۰ به بالا به کمترین حد خود می‌رسد (رابطهٔ ۱). دشت‌ها از عوارض سطحی محسوب می‌شوند که نمی‌توان فقط عامل بارش و دما را در توسعهٔ آن‌ها دخیل دانست؛

بلکه تجمع رواناب‌ها، یخ‌پوشه‌ها و حتی تشکیل غارهای زیرزمینی و ریزش سقف آن‌ها در توزیع آن‌ها نقش داشته‌است. براساس یافته‌های کلینسلی (۱۳۸۸) بسیاری از دشت‌ها در ابتدا پوشیده‌شده از یخ و یخچال‌های طبیعی بوده‌اند که در اواخر عصر یخبندان با عقب‌نشینی یخ‌ها در اثر تغییرات جهانی دما، دریاچه‌ها را به‌وجود آورده‌اند و سپس با گرم‌شدن هوا و فزونی میزان تبخیر بر بارش خشک شده‌اند *(کلینسلی، ۱۳۸۸: ۱)*. (جدول ۱).

رابطهٔ (۱): R2=۰/۷۱ Y= -۸E-۰۵X+۰/۲۷۲۶

جدول ۱: نسبت تراکم دشت‌ها در طبقات ارتفاعی در زاگرس

طبقه	مساحت دشت (کیلومترمربع)	مساحت طبقهٔ ارتفاعی	نسبت تراکم
۵۰۰-۰	۱۳۲۸۱/۷۷	۴۷۶۳۳/۸۴	۰/۲۸
۱۰۰۰-۵۰۰	۵۶۷۴/۲۱	۵۶۷۰۷/۹۴	۰/۱۰
۱۵۰۰-۱۰۰۰	۸۰۷۰/۸۰	۵۳۸۸۵/۸۶	۰/۱۵
۲۰۰۰-۱۵۰۰	۹۲۲۰/۷۰	۶۱۹۱۶/۱۸	۰/۱۵
۲۵۰۰-۲۰۰۰	۳۱۱۶/۶۰	۴۲۹۳۲/۳۵	۰/۰۷
۲۷۵۷-۲۵۰۰	۶/۰۴	۱۴۶۹۷/۸۹	۰/۰۰۰۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

دولین: در واحد ژئومورفیک زاگرس تعداد ۲۵۲ دولین شناسایی شد. نسبت تراکم دولین‌ها در هر طبقه، با افزایش طبقهٔ ارتفاعی، بیشتر شده‌است. رابطهٔ بین دولین به‌عنوان متغیر وابسته با ارتفاع به‌عنوان متغیر مستقل به شکل رابطهٔ (۲) است و به‌ازای افزایش ارتفاع با اینکه مساحت طبقهٔ ارتفاعی کمتر می‌شود، ولی نسبت سطحی دولین افزایش یافته‌است (جدول ۲) و (جدول ۳).

رابطهٔ (۲): R2=۰/۷۵۳۱ Y=۹E-۰۵X-۰/۰۰۰۲

جدول ۲: نسبت تراکم دولین‌ها در طبقات ارتفاعی زاگرس با فاصلهٔ طبقاتی ۵۰۰ متر

طبقه	مساحت دولین (کیلومترمربع)	مساحت طبقهٔ ارتفاعی (کیلومترمربع)	نسبت تراکم
۰-۵۰۰	۰/۹۴	٤٧٦٣٣/٨٤	۰/۰۰۰۰۱
٥٠٠-١٠٠٠	۵/۱۵	٥٦٧٠٧/٩٤	۰/۰۰۰۰۹
١٠٠٠-١٥٠٠	۰/۱۴	٥٣٨٨٥/٨٦	۰/۰۰۰۰۰۲
١٥٠٠-٢٠٠٠	۰/۹۲	٦١٩١٦/١٨	۰/۰۰۰۰۱
٢٠٠٠-٢٥٠٠	٤/٨٤	٤٢٩٣٢/٣٥	۰/۰۰۰۱
٢٥٠٠-٣٠٠٠	٤/٠٧	١٤٦٩٧/٨٩	۰/۰۰۰۳
٣٠٠٠-٣٥٠٠	١/٥٢	٢٥٣٨/٠٥	۰/۰۰۰۶
٣٥٠٠-٣٦٨٨	٠/٢٧	٤٣٨/٨٢	۰/۰۰۰۶

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۳: تراکم دولین‌ها در طبقات ارتفاعی مختلف با فاصلهٔ طبقاتی ۱۰۰ متر

طبقه	تعداد	مساحت طبقه ارتفاع (مترمربع)	مساحت دولین‌ها در این طبقه	نسبت (مساحت دولین به مساحت طبقه)
۵۰۰-۶۰۰	۹	۱۰۹۳۵۸۶۴	۶۹۹۴۴۵/۹۳	۰/۰۶۳
۶۰۰-۷۰۰	۲۵	۱۳۰۲۳۷۵۶	۱۹۰۸۴۷۷	۰/۱۴۶
۷۰۰-۸۰۰	۱۲	۱۳۱۶۸۴۹۴	۴۲۸۷۴/۳	۰/۰۰۳
۸۰۰-۹۰۰	۱۴	۱۳۳۷۸۵۱۴	۷۷۸۰۰۶/۶	۰/۰۵۸
۹۰۰-۱۰۰۰	۲	۱۱۲۰۴۲۶۶	۵۰۴۹۰/۱۶	۰/۰۰۴
۱۱۰۰-۱۲۰۰	۳	۱۱۰۸۴۹۰۶	۶۲۹۰۲/۸۳	۰/۰۰۵
۱۳۰۰-۱۴۰۰	۱	۱۲۵۶۰۵۳۱	۲۴۱۹۰/۷۵	۰/۰۰۱
۱۹۰۰-۲۰۰۰	۱	۱۱۹۶۲۴۱۱	۲۰۸۰۵/۳۷	۰/۰۰۱
۲۰۰۰-۲۱۰۰	۲	۱۱۴۲۳۳۵۱	۶۶۳۹۴۰/۴	۰/۰۵۸
۲۱۰۰-۲۲۰۰	۹	۱۰۶۸۷۱۹۵	۵۴۱۶۰۳/۶	۰/۰۵۰
۲۲۰۰-۲۳۰۰	۲۷	۹۳۹۴۷۹۹	۱۵۴۰۱۸۲	۰/۱۶۳
۲۳۰۰-۲۴۰۰	۲۱	۸۳۴۶۲۲۴	۸۴۸۱۳/۴	۰/۰۱۰
۲۴۰۰-۲۵۰۰	۱۷	۶۸۶۸۴۱۳	۹۵۷۰۳۶/۳	۰/۱۳۹
۲۵۰۰-۲۶۰۰	۲۳	۵۳۸۷۲۳۰	۱۷۸۵۶۳۴	۰/۳۳۱
۲۶۰۰-۲۷۰۰	۳۲	۴۱۶۰۳۶۴	۱۱۹۸۲۷	۰/۰۲۸
۲۷۰۰-۲۸۰۰	۱۹	۲۹۳۵۰۵۴	۵۴۶۹۹۰/۳	۰/۱۸۶
۲۸۰۰-۲۹۰۰	۹	۲۰۶۷۵۰۲	۳۴۲۰۸۸/۳	۰/۱۶۵
۲۹۰۰-۳۰۰۰	۷	۱۴۴۴۴۳۷	۲۲۱۳۰۴۱/۵	۱/۵۳
۳۰۰۰-۳۱۰۰	۱	۹۹۲۶۴۲	۵۸۳۱/۱۰	۰/۰۰۵
۳۱۰۰-۳۲۰۰	۱	۶۷۱۹۴۴	۱۷۱۷۵/۲۱	۰/۰۲۵
۳۲۰۰-۳۳۰۰	۱	۴۸۰۹۰۸	۶۲۲۶۲/۷۵	۰/۱۲۹
۳۳۰۰-۳۴۰۰	۳	۳۵۶۵۵۴	۱۴۰۲۴۳۶	۳/۹۳
۳۶۰۰-۳۷۰۰	۳	۱۳۱۸۴۹	۲۷۷۰۵۴/۵	۲/۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

هوم: رابطهٔ رگرسیون خطی بین مساحت طبقهٔ ارتفاعی و نسبت تراکم در هوم‌ها به‌صورتی است که با افزایش ارتفاع، نسبت تراکم افزایش یافته‌است. توزیع هوم‌ها در دشت‌های زاگرس با فاصلهٔ ارتفاعی ۵۰۰ متر تجزیه‌وتحلیل شد. در ارتفاع پایین‌تر از ۱۰۰۰ متر، تراکم آن‌ها به حداقل خود (۰/۰۰۰۶ کیلومترمربع در واحد سطح) و در ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰متر، به‌حداکثر تراکم خود (۰/۰۰۲ کیلومترمربع در واحد سطح) رسیده است. در ارتفاع بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر، دوباره نسبت تراکمی آن‌ها کاهش‌یافته (۰/۰۰۵) و از ارتفاع ۳۰۰۰ متر به بالا نسبت تراکم آن‌ها بیشتر شده‌است. چنین توزیعی، دالّ بر این است که عوامل دیگری غیر از کاهش دما در پراکندگی هوم‌ها نقش داشته‌اند؛ چراکه هوم‌ها به‌عنوان سطوح برجسته مصون‌مانده از انحلال در دشت‌ها هستند (رابطهٔ ۳) و (جدول ۴).

رابطهٔ (۳): R2=۰/۵۵ Y=۲E-۰۶X-۰/۰۰۱۲

جدول ۴: نسبت تراکمی هوم‌ها در زاگرس

طبقه	مساحت هوم (کیلومترمربع)	مساحت طبقهٔ ارتفاعی	نسبت تراکم
۱۰۰۰-۶۳۸	۳۶/۶۶	۵۶۷۰۷/۹۴	۰/۰۰۰۶
۱۵۰۰-۱۰۰۰	۹۰/۴۷	۵۳۸۸۵/۸۶	۰/۰۰۲
۲۰۰۰-۱۵۰۰	۳۱۱/۷۶	۶۱۹۱۵/۱۸	۰/۰۰۵
۲۵۹۸-۲۰۰۰	۱۳۷/۱۷	۴۲۹۳۲/۳۵	۰/۰۰۳

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

غار: با افزایش ارتفاع، تراکم غارها نسبت‌به مساحت طبقهٔ ارتفاعی افزایش می‌یابد (رابطهٔ ۴) (جدول ۵). هرچند غار به‌صورت سطحی در زیرزمین گسترش می‌یابد، اما ارزیابی غارها در سطح آهکی به‌صورت نقطه‌ای تجزیه‌وتحلیل شد. تراکم غارها در هر کیلومتر مربع، عدد بسیار ناچیزی است؛ ولی تغییر آن با افزایش ارتفاع قابل‌توجه است. با افزایش ارتفاع، تعداد غارها در سطوح ارتفاعی مختلف زاگرس افزایش داشته‌است که خود دلیلی بر مساعدتربودن شرایط انحلال و کارستی‌شدن در سطوح مرتفع‌تر زاگرس نسبت‌به سطوح کم‌ارتفاع است؛ به‌طوری‌که تراکم غارها در سطوح ارتفاع ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر، در حدود ۳۰ برابر سطوح ارتفاعی بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بوده‌است. این درحالی‌که است که در سطوح ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر، تراکم غارها به حداقل خود (۰/۰۰۰۱۶) رسیده‌است. چنین استدلال می‌شود که هرچند با افزایش ارتفاع تعداد غارها بیشتر می‌شود، ولی در اینکه غار از یک کارست مخفی به کارست آشکار تبدیل شود، سایر عوامل نیز نقش دارند.

رابطهٔ (۴):   R2=۰/۴۵   Y=۲E-۰۶X-۰/۰۰۱۹

جدول ۵: تراکم غارها در طبقات ارتفاعی در زاگرس

طبقه	تعداد	مساحت طبقهٔ ارتفاعی	تراکم
٥٠٠-١٠٠٠	١٣	٥٦٧٠٧/٩٤	٠/٠٠٠٢
١٠٠٠-١٥٠٠	١٦	٥٣٨٨٥/٨٦	٠/٠٠٠٢
١٥٠٠-٢٠٠٠	٣٣	٦١٩١٦/١٨	٠/٠٠٠٥
٢٠٠٠-٢٥٠٠	٧	٤٢٩٣٢/٣٥	٠/٠٠٠١
٢٥٠٠-٣٠٠٠	٨	١٤٦٩٧/٨٩	٠/٠٠٠٥
٣٠٠٠-٣٥٠٠	٣	٤٣٨/٨٢٢	٠/٠٠٦

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

چشمه: حضور چشمه‌ها در مناطق مختلف دالّ بر این است که سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی بر اثر شیب یا گسل با سطح زمین هم‌ارتفاع شده‌باشد؛ اما در مناطق آهکی چشمه، نمادی از وجود تشکیلات کارست مخفی دارای آب است که در محل چشمه شرایط آشکارشدن برایش فراهم شده‌است؛ به‌همین دلیل حضور آن‌ها به‌عنوان یکی از بُردارهای مؤثر در مطالعهٔ کارست قلمداد می‌شود. براساس تعداد چشمه‌های موجود در سطوح ارتفاعی مختلف زاگرس چنین برمی‌آید که با افزایش ارتفاع هرچند تعداد آن‌ها تفاوت

چندانی نداشته‌است؛ ولی با توجه به کاهش سطوح ارضی در طبقات ارتفاعی بالاتر، تراکم آن‌ها افزایش داشته و این افزایش در سطوح ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر بیش از ده برابر تراکم آن‌ها در سطوح ارتفاعی بین ۰ تا ۵۰۰ متر است (رابطهٔ ۵) و (جدول ۶).

رابطهٔ (۵): R2=۰/۷۵ Y=۲E-۰۵X-۰/۰۰۹۲

جدول ۶: تراکم چشمه‌ها در طبقات ارتفاعی در زاگرس

طبقه	مساحت طبقهٔ ارتفاعی	تعداد چشمه‌ها	تراکم
۵۰۰-۰	۴۷۶۳۳/۸۴	۲۹۳	۰/۰۰۶
۱۰۰۰-۵۰۰	۵۶۷۰۷/۹۴	۴۵۲	۰/۰۰۷
۱۵۰۰-۱۰۰۰	۵۳۸۸۵/۸۶	۴۷۶	۰/۰۰۸
۲۰۰۰-۱۵۰۰	۶۱۹۱۶/۱۸	۹۹۰	۰/۰۱۵
۲۵۰۰-۲۰۰۰	۴۲۹۳۲/۳۵	۱۷۰۶	۰/۰۳۹
۳۰۰۰-۲۵۰۰	۱۴۶۹۷/۸۹	۹۲۰	۰/۰۶۲
۳۵۰۰-۳۰۰۰	۲۵۳۸/۰۵۶	۱۰۷	۰/۰۴۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

کانیون و تنگ: نتیجهٔ حاصل از رابطهٔ همبستگی رگرسیونی کانیون‌ها یک رابطهٔ مثبت (صعودی) است که نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع، نسبت تراکم آن‌ها بیشتر می‌شود؛ ولی در تنگ‌ها برخلاف کانیون‌ها، با افزایش ارتفاع تراکم تنگ‌ها کمتر می‌شود؛ هرچند کانیون و تنگ، لندفرم خطی هستند، ولی باید به این نکته توجه داشت که عوامل غیر از کارستی-فیکاسیون در شکل‌گیری تنگ‌ها بیشتر از کانیون‌ها نقش دارند. در شکل‌گیری تنگ‌ها علاوه‌بر عوامل محلی، شرایط حوضه‌های بالادست نیز بسیار مؤثر است؛ به‌همین دلیل با کاهش ارتفاع و افزایش سطح حوضهٔ بالادست، امکان ایجاد و گسترش تنگ‌ها بیشتر شده‌است. از طرفی نباید از نظر دور داشت که بسیاری از تنگ‌ها از ادغام کانیون‌ها به‌وجود آمده‌اند.

با توجه به اثری که ارتفاع بر کاهش دما و افزایش بارش می‌گذارد و با توجه به مفهوم کانیون که به درّه‌های U شکل و بن‌بست آهکی اطلاق می‌شود، افزایش تراکم کانیون‌ها در هر کیلومترمربع در طبقات ارتفاعی، دالّ بر این است که انحلال یکی از عوامل مهم در توسعهٔ آن‌ها باشد؛ درصورتی‌که در شکل‌گیری تنگ‌ها عواملی غیر از انحلال نیز می‌تواند نقش داشته‌باشد. هرچند با کاهش ارتفاع، دما افزایش پیداکرده و مقدار بارش نیز کم می‌شود، ولی افزایش دبی رودخانه‌ها و موازی‌بودن چین‌خوردگی‌های زاگرس منجر به افزایش تنگ‌ها با کاهش ارتفاع شده‌است. ضریب تبیین اثرگذاری ارتفاع بر تراکم کانیون‌ها (روابط ۶ و ۷) و تنگ‌ها (جدول ۷ و ۸) در هر دو بیشتر از ۰/۷ (۷۰ درصد)، در دو جهت مخالف هم است.

رابطهٔ (۶): R2=۰/۸۰ Y=۱E-۰۶X+۰/۰۰۰۵

رابطهٔ (۷): R2=۰/۷ Y=-۰/۰۲۵۲X+۸۹/۱

جدول ۷: تراکم کانیون‌ها در طبقات ارتفاعی در زاگرس

طبقه	تعداد کانیون‌ها	مساحت طبقهٔ ارتفاعی	تراکم
۵۰۰-۰	۴۳	۴۷۶۳۳/۸۴	۰/۰۰۰۹
۱۰۰۰-۵۰۰	۱۴۹	۵۶۷۰۷/۹۴	۰/۰۰۲۶
۱۵۰۰-۱۰۰۰	۱۱۱	۵۳۸۸۵/۸۶	۰/۰۰۲
۲۰۰۰-۱۵۰۰	۱۷۹	۶۱۹۱۶/۱۸	۰/۰۰۲۸
۲۵۰۰-۲۰۰۰	۱۳۱	۴۲۹۳۲/۳۵	۰/۰۰۳
۳۰۰۰-۲۵۰۰	۷۳	۱۴۶۹۷/۸۹	۰/۰۰۴۹

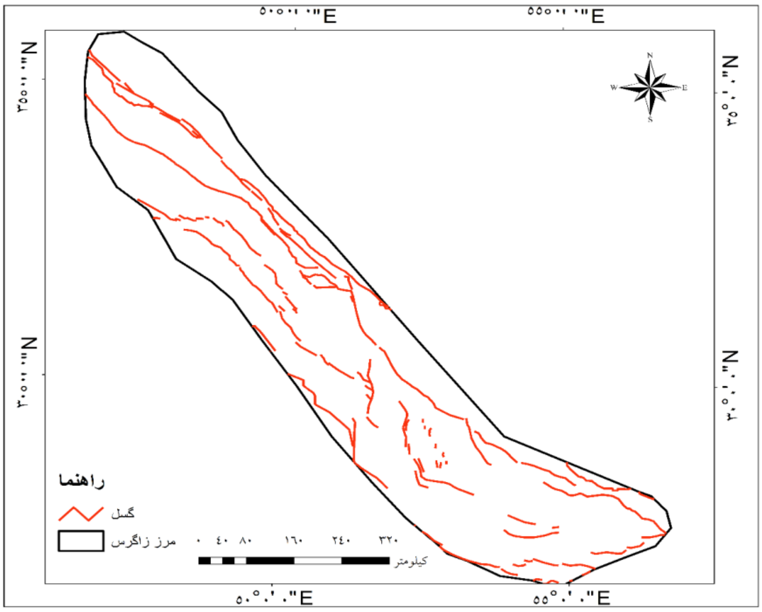
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۸: تراکم تنگ‌ها در طبقات ارتفاعی در زاگرس

طبقه	تعداد تنگ‌ها	مساحت طبقهٔ ارتفاعی	تراکم
۵۰۰-۰	۲۷	۶۳۳/۸۴	۰/۰۰۰۵
۱۰۰۰-۵۰۰	۶۷	۵۶۷۰۷/۹۴	۰/۰۰۱
۱۵۰۰-۱۰۰۰	۴۰	۵۳۸۸۵/۸۶	۰/۰۰۰۷
۲۰۰۰-۱۵۰۰	۵۲	۶۱۹۱۶/۱۸	۰/۰۰۰۸
۲۵۰۰-۲۰۰۰	۲۱	۴۲۹۳۲/۳۵	۰/۰۰۰۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

علاوه‌بر ارتفاع، گسل نیز می‌تواند بر پراکندگی فرم‌های کارستی اثرگذار باشد. به این منظور نقشهٔ گسل‌های موجود در زاگرس رقومی شد (شکل ۶)؛ سپس پراکندگی اشکال کارستی براساس فاصله از گسل بررسی شد.



شکل ۶: نقشهٔ پراکندگی گسل‌ها در زاگرس

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

درصد فراوانی از اشکال مورد مطالعه به‌استثنای هوم، در فاصلهٔ ۲۰ کیلومتری از گسل‌ها قرار دارند (جداول ۹ تا ۱۱). هوم‌ها درواقع اشکال برجستهٔ آهکی هستند که به‌عنوان شواهدی از وجود آهک انحلال‌یافته در دشت‌ها باقی‌مانده‌اند. با توجه به اینکه درز و شکاف‌ها موجب افزایش انحلال درسطح و عمق زمین می‌شوند، فاصلهٔ هوم‌ها از این شکستگی‌ها مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری آن‌ها بوده‌است؛ چراکه انحلال در عمق در محدودهٔ هوم‌ها، به‌دلیل نبود درز و شکاف‌ها و نفوذناپذیری منطقه، به‌حداقل خود رسیده‌است.فراوانی غارها و دولین‌ها درفاصلهٔ نزدیک نشان‌دهندهٔ اثرپذیری و تحول کارست نسبت‌به درز و شکاف‌ها و شکستگی‌ها است؛ به‌طوری‌که نفوذپذیری را افزایش داده و عمل انحلال را سرعت می‌بخشد و به‌تحول کارست، به‌خصوص کارست عمقی کمک کرده‌است. همچنین وجود درز و شکاف‌ها، موجب نفوذ آب به درون زمین و انباشت آن بر روی لایه‌های غیرقابل‌نفوذ می‌شود که ازطریق چشمه تخلیه می‌گردد و در مناطق کارستی چشمه‌ها و سراب‌های وکلوزین را شکل می‌دهد. در اینجا نیز فراوانی چشمه‌ها در فاصلهٔ نزدیک به گسل دال بر اثرپذیری آن‌ها از درز و شکاف‌ها است.

جدول ۹: پراکندگی اشکال نقطه‌ای کارستی با توجه به گسل در زاگرس

فاصله از گسل	چشمه		غار	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد
کمتر از یک کیلومتر	۲۴۶	۵/۰۲	۹	۱۱/۲۵
یک تا ۵ کیلومتر	۱۰۶۸	۲۱/۸	۲	۲/۵
۱۰-۵ کیلومتر	۹۲۸	۱۸/۹۵	۱۰	۱۲/۵
۲۰-۱۰ کیلومتر	۱۳۳۷	۲۷/۳۰	۳۶	۴۵
۶۰-۲۰ کیلومتر	۱۳۱۸	۲۶/۹۱	۲۳	۲۸/۷۵

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۱۰: پراکندگی اشکال خطی کارستی با توجه به گسل در زاگرس

فاصله از گسل	تنگه		کانیون	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد
کمتر از یک کیلومتر	۱۳	۶/۲۸	۳۳	۴/۸۱
یک تا ۵ کیلومتر	۴۰	۱۹/۳۲	۱۱۴	۱۶/۶۱
۱۰-۵ کیلومتر	۴۱	۱۹/۸	۱۵۱	۲۲/۰۱
۲۰-۱۰ کیلومتر	۸۲	۳۹/۶۱	۱۸۵	۲۶/۹۶
۶۰-۲۰ کیلومتر	۳۱	۱۴/۹۷	۲۰۳	۲۹/۵۹

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۱۱: پراکندگی اشکال سطحی کارستی با توجه به گسل در زاگرس

فاصله از گسل	دولین		دشت		هوم	
	مساحت (کیلومترمربع)	درصد	مساحت (کیلومترمربع)	درصد	مساحت (کیلومترمربع)	درصد
کمتر از یک‌کیلومتر	۰/۰۴۷	۰/۲۷	۱۳۶۷/۰۵	۳/۲۷	-	-
یک تا ۵ کیلومتر	۲/۲۴	۱۲/۵۵	۵۲۵۵/۱۹	۱۲/۵۶	۲۶/۳	۱/۱۳
۱۰-۵ کیلومتر	۳/۶۹	۲۱/۰۵	۵۷۲۶/۷۴	۱۳/۶۹	۲۷/۱۶	۴/۸۲
۲۰-۱۰ کیلومتر	۱۱/۷۶	۶۳/۶۵	۱۸۶۰۸/۸	۴۴/۴۹	۱۱۴/۵۵	۲۰/۳۴
۶۰-۲۰ کیلومتر	۰/۴۴	۲/۴۷	۱۰۸۶۲/۲۵	۲۵/۹۷	۴۱۵/۰۴	۷۳/۷۰

مأخذ: نگارندگان،۱۳۹۸

نتیجه

اشکال کارستی ماکرو در زاگرس به‌صورت لندفرم‌های مختلفی همچون غار، پولیه، دولین، هوم، کانیون، تنگ و چشمه منعکس شده‌اند که با توجه به موقعیت ارتفاعی و تکتونیکی (فاصله از گسل) مورد بررسی قرار گرفت. پراکندگی اشکال و عوارض کارستی نسبت به ارتفاع نشان می‌دهد که تراکم اشکال در سطوح ارتفاعی مختلف، با افزایش ارتفاع علی‌رغم کاهش مساحت، بیشتر شده‌است و تراکم آن‌ها در طبقات بالاتر نسبت‌به طبقات پایین گاهی به چندین برابر نیز رسیده‌است؛ برای مثال تراکم غارها در سطوح ارتفاع ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر، در حدود ۳۰ برابر سطوح ارتفاعی بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بوده‌است و نسبت تراکم در دشت‌ها دالّ بر این است که با افزایش ارتفاع، این نسبت کاهش می‌یابد. وسعت دشت‌ها از ارتفاع ۲۵۰۰ به بالا به کمترین حد خود می‌رسد (رابطهٔ ۱). پیدایش و گسترش دشت‌ها فقط نمی‌تواند از عوامل بیرونی تبعیت کرده‌باشد و نمی‌توان فقط عامل بارش و دما را در توسعهٔ آن‌ها دخیل دانست، بلکه در کنار عوامل درونی (دشت‌های ساختمانی) در شکل‌گیری دشت‌های کوهستانی نواحی آهکی زاگرس تجمع رواناب‌ها، یخ‌پوشه‌ها و حتی تشکیل غارهای زیرزمینی و ریزش سقف آن‌ها در توزیع آن‌ها نقش داشته‌است. در بررسی نقش ارتفاع بر اشکال خطی باید به کانیون‌ها نسبت‌به تنگ‌ها توجه بیشتری شود؛ چراکه در ایجاد کانیون‌ها نقش انحلال، بیشتر از تنگ‌ها محرز است. بر این اساس تراکم آن‌ها در نواحی مرتفع نسبت‌به سطوح کم‌ارتفاع بیشتر است و تراکم آن‌ها با ضریب تبیین بیش از ۷۰ درصد با افزایش ارتفاع در واحد سطح بیشتر می‌شود. نتایج حاصل از پراکندگی اشکال کارستی نسبت‌به فاصله از گسل در زاگرس نشان‌می‌دهد که همهٔ اشکال کارستی به‌جز هوم‌ها، بدون استثناء بیشترین تراکم را در فاصلهٔ کمتر از ۲۰ کیلومتر از گسل دارند. پراکندگی این اشکال ازجمله دولین‌ها و غارها در این فاصله، دالّ بر این است که تحول کارست با توجه به درز و شکاف‌ها بیشتر می‌شود و فرایند انحلال به‌خصوص در کارست عمقی، افزایش می‌یابد. تراکم بیشتر هوم‌ها در فاصلهٔ ۴۰ کیلومتری از گسل نیز این امر را تأیید می‌کند؛ زیرا هوم‌ها اشکال برجستهٔ به‌جامانده از فرایند انحلال هستند که به‌دلیل دوربودن از عوامل نفوذپذیر (درز و شکاف) انحلال در آن‌ها به حداقل رسیده و در سطح دشت‌های انحلالی به‌عنوان تپه شاهد باقی مانده‌اند.

منابع

- بهنیافر، احمد؛ هادی قنبرزاده؛ عباسعلی فرزانه (۱۳۸۸)، ویژگی‌های ژئومورفیک تودهٔ کارستی اخلمد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود، فصلنامهٔ جغرافیا و توسعه. (۱۴). ۱۲۱-۱۴۱.

https://gdij.usb.ac.ir/article_1220.html

- حریریان، محمود (۱۳۶۹). کلیات ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی.

- درویش‌زاده، علی (۱۳۷۰). زمین‌شناسی ایران، دانش امروز. تهران.

http://www.lib.ir/book/53766982/%D8%B2%D9%85%DB%8C%D9%86-D8%B4%D9%86%D8%A7%D8%B3%DB%8C-%D8%A7%DB%8C%D8%B1%D8%A7%D9%86/

- رامشت، محمدحسین (۱۳۹۲). نقشه‌های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها)، انتشارات سمت. چاپ ششم.

- رامشت، محمدحسین؛ محمدمهدی کاظمی (۱۳۸۶). آثار یخچالی در حوضهٔ اقلید فارس، مجلهٔ رشد آموزش جغرافیا. (۴). ۱۹-۹.

https://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=142185

- عرقشی، حسین؛ مهران آرین؛ سیدهاشم طباطبایی رئیسی (۱۳۸۷). بررسی پی‌سنگ زاگرس در حدفاصل گسل کازرون و گسل رازک، نشریهٔ زمین. (۳). ۱۰-۱.

https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=131376

-علایی‌طالقانی، محمود؛ زهرا رحیم‌زاده (۱۳۸۹). بررسی تحول‌کارست در منطقهٔزاگرس، کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. ۳۱۳-۲۳۳.
https://civilica.com/doc/112918/

-علیپور،عباس؛ مصطفی هاشمی؛فرشاد پروژه؛محمدحسین ناصرزاده (۱۳۹۶). شناسایی و مقایسهٔ بیابان‌های ایران از جنبهٔ ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی (مطالعهٔ موردی: بیابان‌ها مرکزی و شرق ایران)، فصلنامهٔ برنامه‌ریزی منطقه‌ای. (۲۷). ۳۴-۲۱.
http://jzpm.miau.ac.ir/article_2453.html

-علیجانی، بهلول (۱۳۹۱). آب‌وهوای ایران، تهران. انتشارات پیام نور.

-علیزاده، امین (۱۳۹۳). اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). چاپ ۳۹.

-قاسمی‌فر، الهام؛ سمیه ناصرپور (۱۳۹۰). پهنه‌بندی اقلیمی ناحیهٔ زاگرس، انتشارات سپهر. (۸۹).۶۰-۵۴.
http://www.sepehr.org/article_13044.html

-قبادی، محمدحسین (۱۳۸۸). زمین‌شناسی مهندسی کارست، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان. چاپ اول.

-قربانی، محمدصدیق؛ محمد اونق (۱۳۹۱). پهنه‌بندی تحول و حساسیت کارست با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره در منطقهٔ کارستی شاهو، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی. (۱). ۳۲-۱۹.
http://www.geomorphologyjournal.ir/article_77863.html

-کریمی وردنجانی، حسین (۱۳۹۴). هیدرولوژی و ژئومورفولوژی کارست، انتشارات ارم شیراز. چاپ اول.

-کلینسلی، دانیل (۱۳۸۸). کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیماتولوژی آن، ترجمه عباس پاشایی. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. چاپ دوم.

-محمودی، فرج‌الله (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی اقلیمی، انتشارات پیام نور. چاپ اول.

-محمودی، فرج‌الله (۱۳۶۷). تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر، پژوهش‌های جغرافیایی. ۲۳. صفحات ۴۳- ۵.
https://jrg.ut.ac.ir/article_14136.html

-محمودی، فرج‌الله؛ امجد ملکی (۱۳۸۰). تحول کارست و نقش آن در منابع آب‌زیرزمینی در ناهمواری‌های بیستون- پرآو (کرمانشاه)، پژوهش‌های جغرافیایی. (۴۰). ۱۰۵-۹۳.
https://jrg.ut.ac.ir/article_17848.html

-مزیدی، احمد؛ امیر کرم؛ مژگان کوراوندپور (۱۳۹۵). پتانسیل‌یابی توسعهٔ کارست با استفاده از منطق فازی (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ دشت سوسن و دشت ایذه)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی. (۲). ۱۴۱-۱۳۰.
http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78047.html

-میرعلایی موردی، مهدی؛ غلامرضا میراب شبستری؛ بهروز اعتباری؛ محمودرضا هیهات (۱۳۹۲). معرفی ژئومورفولوژی کارستی سنگ‌های کربناته منطقهٔ آهنگران (شمال شرق‌بیرجند)، جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای. (۸). ۱۳۰- ۱۱۵.
https://gaij.usb.ac.ir/article_1290.html

-نوجوان، محمدرضا؛ سمیه سادات شاهزیدی؛ محمدحسین رامشت (۱۳۹۶). ژئومورفولوژی کارست، انتشارات سمت. چاپ اول.

- Chen, W., Zhang, Y., Qin, H., Zhu, D., & Wang, X (2015).The Karst Geomorphologic Regionalization in China. In From Geoheritage to Geoparks PP.233-244. Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10708-0_16
- Ford, D, & Williams, P. D (2013). Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons.
- Kaufmann, O., & Quinif, Y. (2002). Geohazard map of cover-collapse sinkholes in the ‘Tournaisis’ area, southern Belgium. Engineering geology, 65(2-3), 117-124. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795201001181
- Zhou, G., He, S., Chen, K., & Yan, H. (2014). Risk evaluation of Karst collapse using GIS and RS. In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International (PP.3089-3092). IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6947130