

## **Analysis of Physiographic Characteristics of Zagros Sub-basins in Relation to Karstization Conditions**

**Gholamhassan Jafari<sup>1\*</sup>, Frozan Nasery<sup>2</sup>**

1- Associate Professor of Geomorphology, Zanjan University, Zanjan, Iran

(\*Corresponding Author Email: jafarihas@znu.ac.ir)

2- MA, Department of Geography, Faculty of Humanities, Zanjan University, Zanjan, Iran

### **1. Introduction**

The external processes of the earth and the resulting forms are basically a function of the climatic conditions prevailing in each region (Ramesht & Kazemi, 2007). There is a special connection between the climate and the shape of the roughness. In other words, in each realm, the main face of the rugged forms is under the influence of an evolving system and that system has functioned as a prevailing climatic condition in that land (Mahmoudi, 2007, p. 19). Karst geomorphology studies the specific morphological and hydrological features of soluble rocks (mostly carbonate), (Zanganeh Asadi et al., 2002). Climate change is one of the characteristics of the Quaternary period that has led to changes in shaping systems and consequently in the land form (Nematollahi, 2003, p. 12). The change has occurred intermittently (Jafar Beigloo et al., 2014). In the cold periods of the Pleistocene in the northwestern part of the Zagros region, a glacial and adjacent glacial process, and in the southeast of the eastern part, the river process have been the causes of changes in the face of roughness. But now the northwestern part of Zagros has mountainous weather. For this reason, the adjacent glacier process at the level of the hills and the river process in the thalwegs are considered to be the main elements of the formation (Alaetalaghani, 2012, p. 135). The present study aimed to investigate the physiographic characteristics of Zagros sub-basins in relation to karstization conditions.

### **2. Methodology**

Drainage systems and river landscapes react in various ways to the physical characteristics of the catchment. In this paper, according to karst characteristics and the effect of dissolution on the basin in terms of physiographic characteristics, sub-basin shape parameters such as slope and roughness coefficient, along with topographic parameters in Arc Map 10.3 environment were extracted. Basic parameters including environment, area, minimum and maximum, the height and length of the canals of the basins were estimated. The results were entered into Excel 2013 software and their status was analyzed at different altitudes and climates.

### 3. Results

The most important factor for creating karst is the presence of carbonate dissolved masses. Therefore, in this study, calcareous areas were first identified in Zagros. In general, limestone in Zagros was approximately 43% of its area, equivalent to 121270.8 km<sup>2</sup>, which was the highest in the middle of Zagros. Due to the vast amount of the study area and its placement in the wet currents and the Mediterranean and Sudanese cyclones, the western slopes of Zagros received more rainfall and humidity than the eastern slopes (Alijani, 2003). According to the precipitation and temperature maps of Zagros, the annual precipitation varied between 250 to 900 mm and the annual temperature varied from -1 to 26 ° C. In order to study the conditions of Karsts of Zagros, temperature and precipitation maps were classified. The values of these parameters were classified into five classes according to the conditions of the basins. Parameters such as the ratio of rippling, slope, circle ratio, form factor, basin length, and elongation were placed in the best possible condition. This coefficient was closer to the 1. Geometrically, the basin was closer to the circle. In square-shaped basins, the shape and form factor of the basin was equal to one.

### 4. Conclusion

In general, the study of the physiographic characteristics of the sub-basins in the climatic classes showed that when the karstification conditions become more climatically favorable, the shapes and landforms become circular and take on an elongated shape. Due to the climatic differences of the classes and the shape of karst landforms, terms such as water-water basin and glacial-water basin can be used. This means that in higher areas where the climatic conditions are favorable and very favorable for the karstification system, under the influence of the glacier, the dissolution action was more concentrated and in-depth, and karst-glacial forms were created. And at lower altitudes, due to the greater role of runoff in the karst-fiction process, the dissolution was at a higher level than the depth. The roughness coefficient was reduced and the shape of the karst complication was closer to the circle.

**Keywords:** Karst, Climate, Quaternary, Glacier, Dissolution.

### References

- Alaei Taleghani, M. (2012). *The Geomorphology of Iran*. Tehran: Qoms Publications.
- Alaei Taleghani, M., & Rahimzadeh, Z. (2010). *Investigation of Karst Evolution in Zagros Region*. National Conference on Applied Research in Iranian Water Resources, 313-323.
- Alijani, B. (2003). *Iran Climate*. Tehran: Payame Noor Publications.
- Alizadeh, A. (2014). *Principles of Applied Hydrology*. Mashhad: Imam Reza University Publications.

- Chen, W., Zhang, Y., Qin, H., Zhu, D., & Wang, X. (2015). *The Karst Geomorphologic Regionalization in China*. Springer.
- Chorley J. R., Stanley A. S., & David E. S. (2010). *Geomorphology*. Translated by Ahmad Moghimi, Tehran Publishing.
- Darvishzadeh, A. (1991). *The Geology of Iran*. Tehran: Publication of knowledge Today.
- Ebrahimi, B., & Seif, A. (2015). Utilization of GIS to Evaluate the Potential for Expansion of Zagros Carbonate Rocks based on Geological and Climatic Water Factors. *Journal of Earth Sciences*, 25(98), 333-348.
- Farajzadeh, M., & Ahmadabadi, A. (2009). Assessment and Zoning of Iran's Tourism Climate Using the Tourism Climate Index (TCI). *Journal of Natural Geography Research*, 71, 31-42.
- Ford, D., & Williams, P. D. (2013). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons.
- Ghorbani, M. S., & Onagh, M. (2002). *Investigation of the Effect of Quaternary Climate Change on the Evolution of Shahou Karst Northwest of Kermanshah*. National Conference on Applied Research in Iranian Water Resources, 312-300.
- JafarBeigloo, M., Yamani, M., Abbasnejad, A., Zamanzadeh, S. M., & Zahabunazuri, S. (2014). Reconstruction of Quaternary Glacial Snow Borders in Bidkhan Mountain (Kerman Province). *Geography (International Scientific-Research Quarterly of the Geographical Society of Iran)*, 40, 107-93.
- Jafari, Gh. H., & Hazrati, N. (2018). Quaternary Snow Reconstruction of Iran Zagros Geomorphic Unit. *Quarterly Journal of Geography and Environmental Sustainability*, 28, 33-49.
- Kazemi, M. (2012). Investigating the Factors Affecting the Geomorphological Evolution of Karst in Gamasiab Mountain with Emphasis on Lapieh Evolution (South of Nahavand). *Sarzamin Geographical Quarterly Journal*, 33, 107-126.
- Khezri, S., Shahabi, H., & Mohammadi, S. (2017). Evaluation and Zoning of Karst Evolution of Saholan Mahabad Cave Catchment Using Hierarchical Analysis Method. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 1, 21-39.
- Mahmoudi, F. (2007). *Climatic Geomorphology*. Tehran: Payame Noor Publication.
- Mazidi, A., Karam, A., & Koravandpour, M. (2016). Karst Development Potential Using Fuzzy Logic (Case Study: Susan Plain and Izeh Plain Basin). *Quantitative Geomorphological Research Journal*, 2, 130-141.
- Moghimi, H. (2012). *Karst Hydrology*. Tehran: Payame Noor University of Tehran Press.
- Motiei, H. (1993). *Geology of Iran: Zagros Stratigraphy*. Tehran: Geological Survey of Iran.
- Negaresh, H., & Khosravi, M. (1998). *Generalities of Geomorphology of Iran*. Sistan and Baluchestan: Zahedan University Publishers.

- Nematollahi, F. (2003). *Investigation of Geomorphic Features of Namdan Plain*. MA Thesis, Islamic Azad University of Najafabad, Isfahan.
- Qasimifar, E., & Naserpour, S. (2011). *Climate Zoning of Zagros Region*. Tehran: Sepehr Publications.
- Romey, C., Rochette, P., Vella, C., Arfib, B., Andrieu-Ponel, V., Braucher, R., & Mattioli, E. (2014). Geophysical and Geomorphological Investigations of a Quaternary Karstic Paleolake and its Underground Marine Connection in Cassis (Bestouan, Cassis, SE France). *Journal of Geomorphology*, 214, 402-415.
- Yamani, M., Shamsipour, A. A., Jafari Aqdam, M., & Bagheri Seyed Shekari, S. (2013). Investigating the Effective Factors in the Development and Zoning of Chele Basin Karst Using Fuzzy Logic and AHP, Kermanshah Province. *Journal of Earth Sciences*, 88, 66-57.
- Zahedi, M., & Bayati Khatibi, M. (2014). *Hydrology*. Tehran: Samt Publication.
- Zanganeh Asadi, M. A., Ghaior, H., Ramesht, M. H., & Velayati, S. (2002). Karst Landscapes of Akhlamad Basin and its Environmental Management. *Geographical Research Journal*, 42, 101-87.
- Žebre, M., Stepišnik, U., Colucci, R. R., Forte, E., & Monegato, G. (2016). Evolution of a Karst Polje Influenced by Glaciation: The Gomance Piedmont Polje (Northern Dinaric Alps). *Journal of Geomorphology*, 257, 143-154.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۲، پیاپی ۸۱، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، صص ۴۴-۲۵

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۹/۶/۲۲ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۵

## بررسی خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های زاگرس در ارتباط با شرایط کارستی شدن

غلامحسن جعفری<sup>\*</sup>، دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

jafarihas@znu.ac.ir

فورزان ناصری، کارشناسی ارشد گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

foruzan.naseri@gmail.com

### چکیده

بیشترین تأکید ژئومورفولوژیست‌ها بر این است که با شناسایی و بررسی اشکال زمین‌شناختی، تأثیراتی را بررسی کنند که این‌گونه اشکال از اقلیم گرفته‌اند یا برعکس بر آن اثر گذاشته‌اند. کارست به‌مثابه یک سیستم ژئومورفولوژی همواره متأثر از اقلیم و تغییرات آن بوده است. با توجه به پراکندگی سنگ‌های کربناته در زاگرس با استناد به منابع اسنادی مانند نقشه‌های زمین‌شناسی لایه مدل رقومی ارتفاع و نقشه‌های توپوگرافی، نخست زیرحوضه‌های واقع در این نوع لیتولوژی در نرم‌افزار Arc GIS تفکیک و سپس پارامترهای فیزیوگرافی مورد نیاز زیرحوضه‌ها در همین نرم‌افزار و همچنین در Mapper Global برآورد شد. در ادامه اطلاعات دما و بارش از پایگاه داده‌های ۴۹ساله اسفزاری استخراج و داده‌های فیزیوگرافی و اقلیمی در نرم‌افزار MATLAB تجزیه و تحلیل و روابط رگرسیونی مورد نیاز برآورد شد. نتایج حاصل از بررسی پراکندگی و خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های کارستی در طبقات اقلیمی زاگرس نشان داد شرایط مختلف اقلیمی موجب تغییر عملکرد انحلال و در نتیجه تغییر شکل فیزیوگرافی زیرحوضه‌های کارستی شده است؛ به این صورت که در مناطق مرتفع‌تر به دلیل دمای پایین‌تر، عمل انحلال بیشتر در عمق متمرکز شده تا در سطح، و اشکال کارستی - یخچالی ایجاد کرده است و در ارتفاعات پایین‌تر به دلیل تأثیر آب فراوان بر فرایند کارستی - فیکاسیون، انحلال در سطح بیشتر از عمق شده، ضریب ناهمواری کاهش یافته و شکل عارضه کارستی به دایره نزدیک‌تر شده است. زمانی که شرایط کارستی - فیکاسیون از لحاظ اقلیمی مساعدتر باشد، شکل حوضه‌های کارستی از حالت دایره‌ای خارج می‌شود و بیشتر حالت کشیده به خود می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: کارست، اقلیم، کواترنری، یخچال، انحلال

\*نویسنده مسئول

Copyright©2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

Doi: [10.22108/gep.2020.124848.1350](https://doi.org/10.22108/gep.2020.124848.1350)

## مقدمه

فرایندهای بیرونی زمین و اشکال ناشی از آنها اصولاً تابع شرایط اقلیمی حاکم در هر منطقه در بستر زمان است (رامشت و کاظمی، ۱۳۸۶: ۹) و بین اقلیم و شکل عوارض ناهمواری ارتباط ویژه‌ای وجود دارد؛ به بیان دیگر در هر قلمرو، چهره اصلی اشکال ناهمواری متأثر از یک سیستم شکل‌زای تحول‌یافته است و آن سیستم به‌صورت تابعی از شرایط اقلیم حاکم در آن سرزمین عمل کرده است (محمودی، ۱۳۸۶: ۱۹). کارست، گروهی از اشکال اراضی متأثر از سیستم شکل‌زای رطوبتی-برودتی است که نتیجه عملکرد آب بر سنگ‌های آهکی و سایر سنگ‌های قابل انحلال است (مقیمی، ۱۳۹۱: ۶۹) و در ژئومورفولوژی کارست سیمای خاص مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی در سنگ‌های قابل انحلال (بیشتر کربنات) مطالعه می‌شود (زنکنه اسدی و همکاران، ۱۳۸۱: ۸۹).

مهم‌ترین عامل توسعه کارست، وجود آب است. این عامل، اصلی‌ترین متغیر در کنترل انحلال و فرسایش است. به‌صورت طبیعی کارست در مناطقی توسعه می‌یابد که میزان بارندگی زیاد باشد و خشکی یا سردی بسیار هوا مانع از توسعه کارست می‌شود (چورلی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۰۰). انحلال سنگ آهک در دمای کم و در آب‌وهوای سرد سرعت بیشتری دارد و مقدار فرسایش کارست در مناطق سرد و مرطوب به‌مراتب بیشتر از مناطق گرم و مرطوب است (زنکنه اسدی و همکاران، ۱۳۸۱: ۸۹).

تغییرات اقلیمی، یکی از ویژگی‌های دوره کواترنری است که به تغییر سیستم‌های شکل‌زا و در نتیجه تغییر در فرم اراضی منجر شده است (نعمت‌اللهی، ۱۳۸۲: ۱۲) و به‌طور متناوب به وقوع پیوسته و شواهد ژئومورفولوژیکی انکارناپذیری بر جای گذاشته است (جعفری‌گلو و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۴). این تغییرات به تنوع و جابه‌جایی اشکال وابسته انجامیده است؛ به‌طوری که تنوع اشکال گذشته از قلمروهای متفاوت، در یک محدوده مشخص طبیعی نیز مشاهده می‌شود (محمودی، ۱۳۸۶: ۴)؛ علاوه بر این شرایط اقلیم کنونی کشور نیز بر اثر تفاوت در عرض جغرافیایی و ارتفاع تنوع فراوانی دارد (فرج‌زاده و احمدآبادی، ۱۳۸۸: ۳۲).

در دوره‌های سرد پلیستوسن در نیمه شمال غربی واحد زاگرس، فرایند یخچالی و مجاور یخچالی و در نیمه جنوب شرقی آن، فرایند رودخانه‌ای دست‌اندرکار تغییر چهره ناهمواری بوده است؛ ولی در حال حاضر نیمه شمال غربی زاگرس آب‌وهوای کوهستانی دارد؛ به همین دلیل فرایند مجاور یخچالی در سطح میاناب‌ها و فرایند رودخانه‌ای در تالوگ‌ها از عناصر اصلی شکل‌زا محسوب می‌شود (علایی طالقانی، ۱۳۹۱: ۱۳۵). چنین تغییراتی در اقلیم کواترنری به همراه اثرگذاری ارتفاع بر شرایط دمایی و بارشی منطقه در شرایط کنونی باعث طرح و پیگیری این پرسش شده که واکنش نواحی کارستی به تغییرات اقلیمی چگونه است؛ بر همین اساس تفاوت خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های نواحی کربناتی زاگرس در طبقات اقلیمی مختلف بررسی شد.

## پیشینه پژوهش

نواحی کارستی با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد و اهمیت در تأمین منابع آب توجه پژوهشگران بسیاری را به خود جلب کرده‌اند.

فورد و ویلیامز<sup>۱</sup> (2013) معتقدند پدیده‌های کارستی متأثر از عمل انحلال در مسیرهایی کنترل شده با ساختارهای مختلف ایجاد می‌شوند و گسترش می‌یابند.

رومی و همکاران<sup>۲</sup> (2014) در بررسی سیستم کارست اصلی، یک جلگه آبرفتی واقع در محیط کربناتی (کاسیس، پروانس و فرانسه) را با استفاده از روش‌های چندگانه (برش‌نگاری، مقاومت الکتریکی، گرانش و بررسی لرزه‌ای غیرفعال) به همراه روش‌های ژئومورفولوژیکی مشاهده و حفاری کردند و به این نتیجه رسیدند که انحلال به ایجاد حفره‌های بزرگی منجر شده است که بعداً با یخرفت‌های ناشی از یخبندان پوشیده شده‌اند.

چن و همکاران<sup>۳</sup> (2015) در مطالعه‌ای سیستماتیک و جامع، اشکال اراضی کارستی منطقه‌ای در چین را از نظر ژئومورفولوژیکی و آب‌وهوایی به هشت طبقه تقسیم کردند.

زبره و همکاران<sup>۴</sup> (2016) با استفاده از کربن رادیواکتیو یک پولیه کارستی متأثر از یخبندان را در منطقه کوهپایه‌ای گومنس در شمال کوه‌های آلپ دیناریک ارزیابی کردند.

ایاکورتو و همکاران<sup>۵</sup> (2020) چشمه‌های کارستی منطقه لاتیم در جنوب ایتالیا را با استفاده از رابطه تخلیه با اکسیژن-۱۸ و آنالیز ایزوتوپ‌های دوتریوم مطالعه و بررسی کردند.

در همین زمینه در کشور ایران نیز مطالعاتی انجام شده است. یمانی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی عوامل مؤثر بر پهنه‌بندی و توسعه‌یافتگی کارست با استفاده از منطق فازی و AHP، حوضه چله را در غرب ایران از نظر توسعه و تحول کارست به چهار قسمت تقسیم کردند و معتقدند کارست‌های بلندی‌های جنوبی حوضه و زمین‌های مسطح در رأس طاق‌دیس شمالی و امتداد گسل اصلی توسعه‌یافته‌تر از بقیه کارست‌های منطقه‌اند.

قربانی و اونق (۱۳۹۱) در مطالعه فروچاله‌های کارستی و نقش تغییرات آب‌وهوایی کواترنری در توسعه این اشکال در ناهمواری‌های شاهو به این نتیجه رسیدند که در بخش‌های عمده‌ای از منطقه، سنگ‌شناسی، زمین‌شناسی و شیب برای توسعه کارست شرایط مناسبی دارد. وجود فروچاله‌های کارستی از ارتفاع ۱۹۰۰ متر به بالا نشان‌دهنده این مسئله است که در دوره‌های سرد پلیستوسن از ارتفاع ۱۸۰۰ متر به بالا (مرزبرف دائمی)، شرایط برای توسعه انحلال فروچاله‌های کارستی فراهم بوده است.

ابراهیمی و سیف (۱۳۹۴) با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی، پتانسیل گسترش کارست سنگ‌های کربناتی زاگرس را برپایه عوامل آب، زمین‌شناختی و اقلیمی ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند تراکم چشمه‌ها و غارها با درجه گسترش واحدهای کربناتی منطقه زاگرس تطابق خوبی دارد.

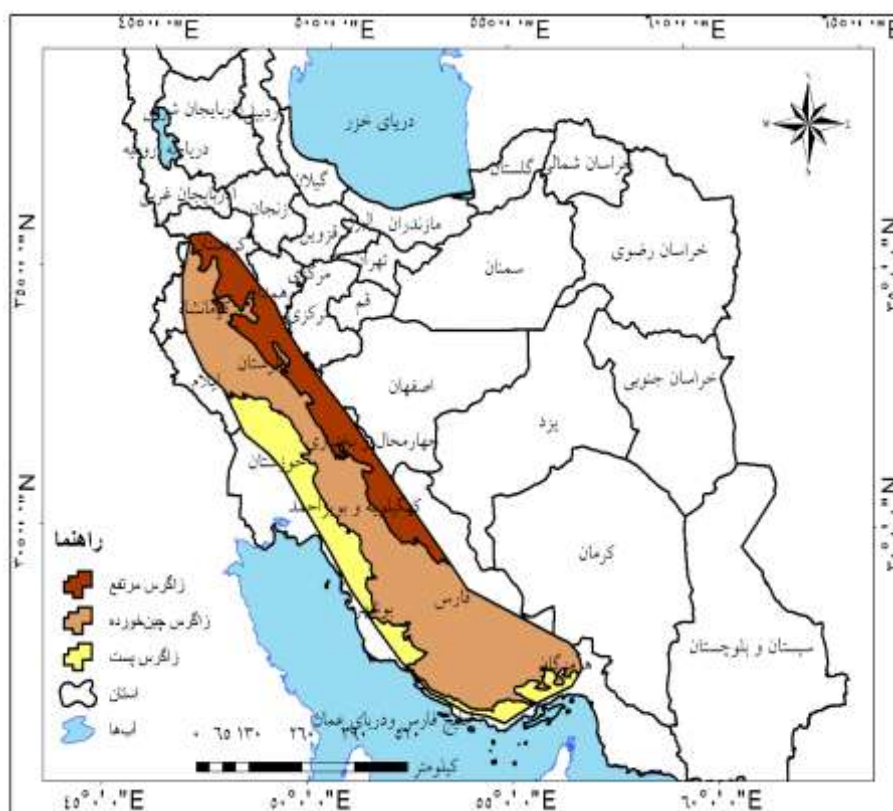
مزیدی و همکاران (۱۳۹۵) پتانسیل توسعه کارست حوضه دشت سوسن و دشت ایذه را با استفاده از منطق فازی بررسی کردند و نتیجه گرفتند با کاهش میزان شیب و فاصله از گسل، با افزایش رسوبات آهکی، پوشش گیاهی، میزان دما، میزان بارندگی و پوشش سطح خاک، میزان کارستی شدن افزایش می‌یابد.

1. Ford and Willams
2. Romey et al.
3. Chen et al.
4. Žebre et al.
5. Iacurto et al.

خضری و همکاران (۱۳۹۶) در ارزیابی و پهنه‌بندی تحول کارست حوضه آبریز غار سهولان مهاباد با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و روش AHP، نقشه پهنه‌بندی منطقه را رسم و آن را به چهار طبقه توسعه‌نیافته، کمتر توسعه‌یافته، متوسط و توسعه‌یافته طبقه‌بندی و لیتولوژی را به‌مثابه مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر توسعه کارست معرفی کردند. نجفی و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر واحدهای سنگ چینه‌شناسی مختلف را بر توسعه کارست و تغییر آبدهی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که آبدهی چشمه‌ها و تغییرپذیری آنها به‌طور چشمگیری به سنگ‌شناسی سازندهای تشکیل شده در آنها وابسته است. بررسی منابع دال بر این است که تا به حال توجه کمتری به بررسی خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های کارستی شده است. این مقاله قصد دارد تفاوت این‌گونه ویژگی‌ها را در واحد مورفوتکتونیک زاگرس ارزیابی کند.

### محدوده پژوهش

توده زاگرس در عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۴۹ دقیقه و ۲۳ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه و ۵۹ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۵ دقیقه و ۳۱ ثانیه تا ۵۶ درجه و ۴۱ دقیقه و ۵۵ ثانیه شرقی قرار دارد. سیستم اصلی آن از مشرق مدیترانه شروع می‌شود، تمام جنوب ترکیه را طی می‌کند و کوههای توروس و آنتی‌توروس را دربرمی‌گیرد و سپس به عراق وارد می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی زاگرس (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 1. Geographical location of Zagros (Authors, 2020)



این سیستم در ترکیه جهت غربی - شرقی دارد؛ با ورود به خاک عراق روند شمال غربی - جنوب شرقی پیدا می‌کند و با همین روند نیز در بخش غربی ایران امتداد می‌یابد و از شمال غرب تا جنوب شرق کشور را در سیطره خود گرفته است (قاسمی فر و ناصرپور، ۱۳۹۰: ۵۴). در ناحیه زاگرس سازندهای کارستی فراوان رخنمون دارند و ۹۰ درصد از ارتفاعات آن را سنگ‌های کربناتی تشکیل می‌دهند (مقیم، ۱۳۹۱: ۱۴). تقریباً در بیشتر تقسیمات زمین‌شناسی، زاگرس به سه واحد فرعی زاگرس مرتفع، زاگرس چین‌خورده و زاگرس چین‌نخورده (دشت خوزستان یا زاگرس پست) تقسیم شده است (نگارش و خسروی، ۱۳۷۷: ۵۷).

زاگرس چین‌خورده (زاگرس خارجی) با پهنایی حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر در منتهی‌الیه حاشیه غربی ایران و به موازات راندگی اصلی زاگرس قرار دارد. منطقه چین‌خورده زاگرس از چین‌هایی نامتقارن با روند عمدتاً شمال غربی - جنوب شرقی تشکیل شده است (درویش‌زاده، ۱۳۷۰: ۲۰۵). این زون با جهت شمال غرب - جنوب شرق در جنوب غرب ایران در زیر زاگرس مرتفع و بالای جلگه خوزستان قرار گرفته است و از کردستان جنوبی شروع شده و تا تنگه هرمز امتداد یافته است (قاسمی فر و ناصرپور، ۱۳۹۰: ۵۴).

نوار چین‌خورده زاگرس به تدریج در سمت شمال شرق به یک منطقه رورانده منتهی می‌شود و در نتیجه زونی به شدت خردشده و گسل‌خورده پدید می‌آید که به صورت نوار باریک و طولی (۱۰ تا ۷۰ کیلومتر) بین زون سنندج - سیرجان و زاگرس چین‌خورده قرار می‌گیرد. این بخش از زاگرس را از آن جهت زاگرس داخلی می‌نامند که داخلی‌ترین بخش زاگرس را تشکیل می‌دهد و چون مرتفع‌ترین قسمت کوههای زاگرس را دربرمی‌گیرد، آن را زاگرس مرتفع نیز می‌نامند (مطیعی، ۱۳۷۲: ۵۹).

### روش‌شناسی پژوهش

سیستم‌های زهکشی و چشم‌اندازهای رودخانه‌ای به صورت مختلف به ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبریز واکنش نشان می‌دهند. در این مقاله نخست با توجه به ویژگی‌های کارست و تأثیر انحلال بر حوضه از لحاظ خصوصیات فیزیوگرافی، پارامترهای شکلی زیرحوضه‌ها مثل شیب و ضریب ناهمواری به همراه پارامترهای توپوگرافیکی در محیط Arc Map 10.3 استخراج و پارامترهای پایه شامل محیط، مساحت، کمترین و بیشترین ارتفاع و طول آبراهه‌های زیرحوضه‌ها برآورد شد. با توجه به جدول ۱، روابط شکلی و توپوگرافی روی زیرحوضه‌ها اعمال شد. نتایج حاصل به نرم‌افزار Excel 2013 وارد و وضعیت آنها در طبقات مختلف ارتفاعی و اقلیمی تجزیه و تحلیل شد.

## جدول ۱. پارامترهای اعمال شده روی حوضه‌ها

Table 1. Parameters applied to the basins

توضیحات	رابطه	پارامترها	
مساحت سطح حوضه به کیلومتر مربع	-	(A) <sup>۱</sup>	پارامترهای پایه
محیط حوضه به کیلومتر	-	(P) <sup>۲</sup>	
طول حوضه به کیلومتر	$L_b = 1.321 \times A^{0.568}$	(L <sub>b</sub> ) <sup>۳</sup>	
طول جریان به کیلومتر	-	(L <sub>u</sub> ) <sup>۴</sup>	
L <sub>b</sub> طول آبراهه به کیلومتر، A مساحت حوضه	$R_f = A/L_b^2$	(Rf) <sup>۵</sup>	پارامترهای شکلی
L <sub>b</sub> طول آبراهه به کیلومتر، A مساحت حوضه	$B_s = L_b^2/A$	(Bs) <sup>۶</sup>	
A مساحت حوضه، L <sub>b</sub> طول حوضه به کیلومتر	$R_e = 1.128 \sqrt{A/L_b}$	(Re) <sup>۷</sup>	
P محیط حوضه، A مساحت حوضه	$Cc = P/2\sqrt{\pi A}$	(Cc) <sup>۸</sup>	
A مساحت حوضه، P محیط	$R_c = 4 \times \pi \times A/p^2$	(Rc) <sup>۹</sup>	
h حداکثر ارتفاع به متر، h <sub>1</sub> حداقل ارتفاع به متر	$B_h = h - h_1$	(Bh) <sup>۱۰</sup>	

A. مساحت، P. محیط، L<sub>b</sub>. طول حوضه، L<sub>u</sub>. طول آبراهه، Rf. فاکتور فرم، Bs. فاکتور شکل، Re. نسبت کشیدگی، Bh. ناهمواری حوضه

بارزترین مشخصه حوضه، مساحت آن است که معمولاً با علامت A نشان داده می‌شود و برحسب کیلومتر مربع یا میل مربع توصیف می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۳: ۴۹۳). زمانی که شکل حوضه مربع است، عامل شکل هورتون (Rf) برابر واحد است؛ اما زمانی که کشیدگی حوضه بیشتر می‌شود، میزان آن کاهش می‌یابد. برای حوضه‌ای که شکل آن تقریباً دایره‌ای است، عامل شکل (Rf) بیشتر از واحد است (زاهدی و خطیبی، ۱۳۹۳: ۵۵). طول حوضه (L) به طول مسیر آبراهه اصلی از نقطه خروج تا دورترین قله روی خط تقسیم آب گفته می‌شود. نسبت کشیدگی برابر است با نسبت قطر دایره فرضی هم‌مساحت حوضه به طول حوضه (علیزاده، ۱۳۹۳: ۴۹۹).

برای تجزیه و تحلیل آثار عناصر اقلیمی (دما و بارش) بر انحلال نواحی کارستی از داده‌های ۴۹ ساله پایگاه اسفزاری در نرم‌افزار MATLAB 2017 استفاده شد و در محیط Arc GIS با استفاده از روش میان‌یابی IDW<sup>۱۱</sup>، نقشه هم‌دما و هم‌بارش و سپس با تلفیق دو لایه دما و بارش، نقشه اقلیم کارستی زاگرس ترسیم و تجزیه و تحلیل شد.

1. Basin Area (A)
2. Basin perimeter (P)
3. Basin length (L<sub>b</sub>)
4. Stream Length (L<sub>u</sub>)
5. Form Factor (Rf)
6. Shape Factor (B<sub>s</sub>)
7. Elongation Ratio (R<sub>e</sub>)
8. Compactness Coefficient (C<sub>c</sub>)
9. Circularity Ratio (R<sub>c</sub>)
10. Basin relief (B<sub>h</sub>)
11. Inverse Distance Weighting

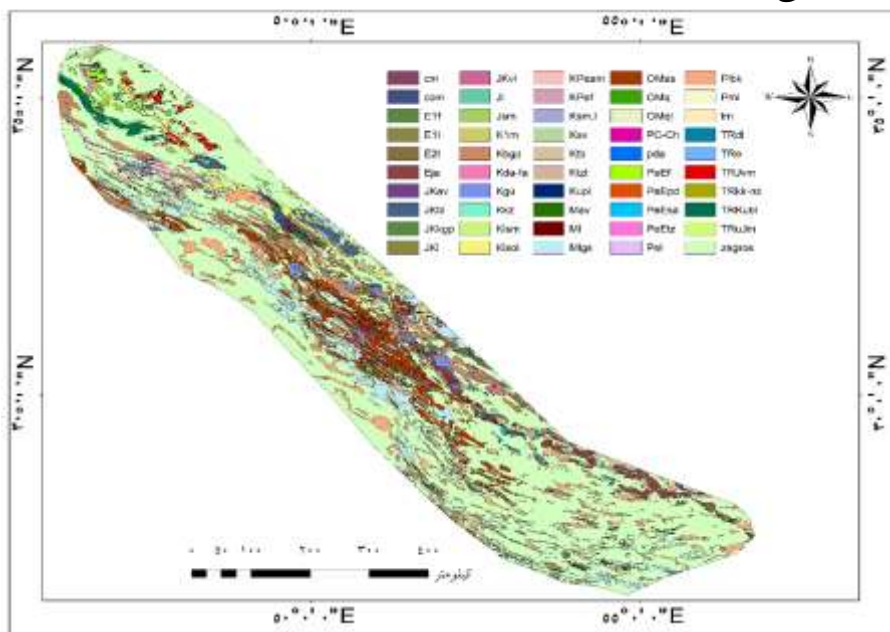
برای بازسازی دما و بارش دوره‌های سرد کواترنری، رابطه رگرسیونی میان ارتفاع و دما برای زاگرس برآورد شد. در رابطه به دست آمده، ارتفاع برف‌مرز کواترنری زاگرس جایگزین X و دمای کنونی آن مشخص شد و با در نظر گرفتن دمای صفر درجه برای آن در دوره‌های سرد کواترنری، اختلاف دمای گذشته نسبت به حال حاضر به دست آمد و با توجه به آن، دمای گذشته بازسازی و نقشه آن با استفاده از رابطه ۱ ترسیم شد. با برآورد رابطه رگرسیونی بین دما و بارش کنونی و جایگزین کردن دمای گذشته به جای دمای کنونی، بارش گذشته نیز بازسازی و تجزیه و تحلیل شد.

$$y = -0.0063(x) + 25.918 \quad \text{رابطه ۱}$$

y، دما و x، ارتفاع است.

### یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل آنها

مهم‌ترین و اصلی‌ترین عامل ایجاد کارست، وجود توده قابل انحلال کربناتی است؛ بنابراین نخست مناطق آهکی در سطح زاگرس شناسایی و مشخص شد. به‌طور کلی میزان آهک در زاگرس تقریباً ۴۳ درصد مساحت آن یعنی معادل ۱۲۱۲۷۰/۸ کیلومتر مربع است که بیشترین مقدار آن در زاگرس میانی است (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی مناطق کارستی زاگرس (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 2. Geological map of Zagros karst areas (Authors, 2020)

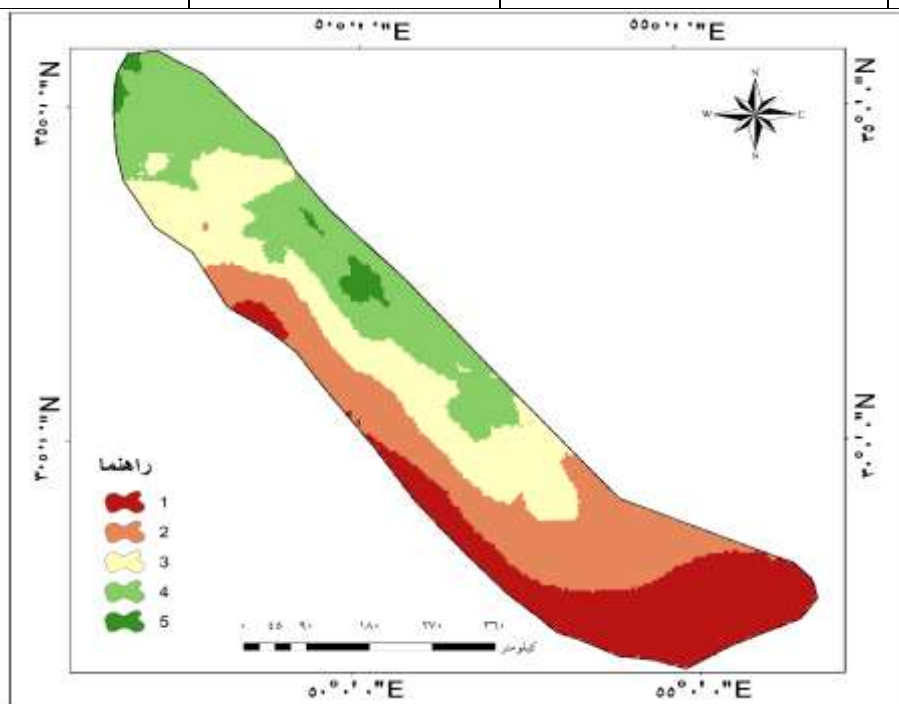
با توجه به وسعت زیاد محدوده مطالعاتی و قرارگیری آن در مسیر جریان‌های مرطوب و سیکلون‌های مدیترانه‌ای و سودانی، دامنه‌های غربی زاگرس نسبت به دامنه‌های شرقی بارش و رطوبت بیشتری دریافت می‌کنند (علیچانی، ۱۳۸۲: ۴۵). براساس نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دما زاگرس، بارش سالانه بین ۲۵۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر است و دمای سالانه از ۱- تا ۲۶ درجه سلسیوس در نوسان است. با افزایش ارتفاع، دما کاهش می‌یابد و بارش بیشتر می‌شود و به این دلیل شرایط کارستی شدن با افزایش ارتفاع مطلوب‌تر می‌شود. به‌منظور بررسی شرایط کارست زاگرس، نقشه‌های دما و بارش طبقه‌بندی شد (جدول ۲)؛ کمترین امتیاز به بالاترین دماها و بارش‌های کم اختصاص داده و در طبقات یک تا

پنج تقسیم‌بندی شد. در نهایت با تلفیق دو لایه دما و بارش، نقشه اقلیمی کنونی منطقه ترسیم شد. طبقات به ترتیب از اول تا پنجم به‌منابه طبقات بسیار نامساعد (دما ۲۰ تا ۲۶ درجه سلسیوس و بارش ۱۵۴ تا ۲۹۷ میلی‌متر)، نامساعد (دما ۱۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس و بارش ۲۹۷ تا ۴۴۰ میلی‌متر)، متوسط (دما ۱۰ تا ۱۵ درجه سلسیوس و بارش ۴۴۰ تا ۵۸۳ میلی‌متر)، مساعد (دما ۵ تا ۱۰ درجه سلسیوس و بارش ۵۸۳ تا ۷۲۶ میلی‌متر) و بسیار مساعد (دما -۱ تا ۵ درجه سلسیوس و بارش ۷۲۶ تا ۸۷۲ میلی‌متر) برای ایجاد کارست در نظر گرفته شد؛ در طبقه بسیار مساعد، دما کمترین و بارش بیشترین مقدار را دارد و انتظار می‌رود بهترین شرایط برای توسعه کارست فراهم شود. در طبقه بسیار نامساعد انتظار می‌رود تراکم و توسعه کارست به حداقل برسد. با کاهش سطوح ارضی در ارتفاعات بالاتر، طبقه بسیار مساعد پهنه کمتری نسبت به طبقات ارتفاعی پایین‌تر دارد (شکل ۳).

جدول ۲. طبقات دما و بارش کنونی در زاگرس (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Table 2. Current temperature and precipitation classes in Zagros (Authors, 2020)

شرایط طبقه	بارش (میلی‌متر)	دما (درجه سلسیوس)	طبقه
بسیار نامساعد	۲۹۷-۱۵۴	۲۶-۲۰	۱
نامساعد	۴۴۰-۲۹۷	۲۰-۱۵	۲
متوسط	۵۸۳-۴۴۰	۱۵-۱۰	۳
مساعد	۷۲۶-۵۸۳	۱۰-۵	۴
بسیار مساعد	۸۷۲-۷۲۶	-۵-۱	۵



شکل ۳. نقشه اقلیمی (بارش و دما) کنونی در زاگرس؛ (۱) بسیار نامساعد (دما ۲۰ تا ۲۶، بارش ۱۵۴ تا ۲۹۷)؛ (۲) نامساعد (دما ۱۵ تا ۲۰، بارش ۲۹۷ تا ۴۴۰)؛ (۳) متوسط (دما ۱۰ تا ۱۵، بارش ۴۴۰ تا ۵۸۳)؛ (۴) مساعد (دما ۵ تا ۱۰، بارش ۵۸۳ تا ۷۲۶)؛ (۵) بسیار مساعد (دما -۱ تا ۵، بارش ۷۲۶ تا ۸۷۲). دما برحسب درجه سلسیوس و بارش برحسب میلی‌متر (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 3. Climate map current rainfall and temperature in Zagros, (Authors, 2020)

برای بازسازی دما و بارش گذشته به ارتفاع برف‌مرز کواترنری نیاز است که دمای آن در دوره‌های سرد صفر در نظر گرفته شود. این ارتفاع را جعفری و حضرتی (۱۳۹۷) برای زیرحوضه‌های زاگرس برآورد کرده‌اند (جدول ۳). با جایگزینی ارتفاع برف‌مرز کواترنری برآوردشده، در روابط رگرسیونی به‌دست‌آمده (همان‌طور که در روش پژوهش بیان شد) در هر حوضه و برآورد اختلاف دمای کنونی با گذشته (جدول ۴)، دمای گذشته بازسازی و نقشه هم‌دمای کواترنری ترسیم شد؛ سپس روابط به‌دست‌آمده میان بارش و دما برای بازسازی بارش گذشته و ترسیم نقشه هم‌بارش کواترنری استفاده شد. بارش دوره‌های سرد کواترنری در زاگرس بین ۲۷۳ تا ۱۵۱۳ میلی‌متر و دمای سالیانه بین ۹- تا ۱۸ درجه سلسیوس در نوسان، و به‌طور متوسط بارش گذشته ۱/۸ برابر بارش کنونی و دما ۸/۸ درجه سلسیوس کمتر از دمای کنونی بوده است. پس از ترسیم دو نقشه دما و بارش گذشته و تلفیق آنها (شکل ۴)، پنج طبقه اقلیمی متفاوت برای توسعه کارست کواترنری همانند دوره کنونی مشخص شد (جدول ۵).

جدول ۳. ارتفاع برف‌مرز در حوضه‌های زاگرس (جعفری و حضرتی، ۱۳۹۷)

Table 3. Equilibrium line altitude in Zagros basins (Jafari and Hazrati, 2018)

کلی زاگرس	بختگان-مهاریلو	کارون	کرخه	مرزی غرب	طبقه
۲۷۱۹	۲۹۶۱	۲۹۳۷/۵	۲۴۴۳/۵	۲۳۰۰	ارتفاع برف‌مرز (متر)

جدول ۴. اختلاف دمای به‌دست‌آمده برای هر حوضه (نویسندگان، ۱۳۹۹)

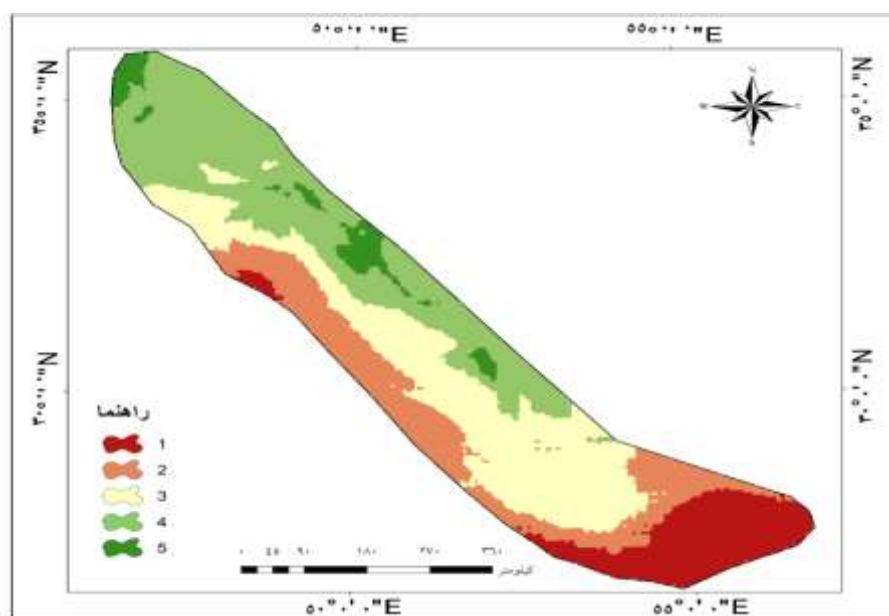
Table 4. Temperature difference obtained for each basin (Authors, 2020)

اختلاف دما (درجه سلسیوس)	رابطه رگرسیونی ارتفاع و دما Y	حوضه آبریز
۸/۷	$-0.0059(2300) + 22/266$	مرزی غرب
۹/۸	$-0.0059(2443/5) + 24/213$	کرخه
۷/۷۱	$-0.0053(2937/5) + 23/277$	کارون بزرگ
۱۱/۵۴	$-0.004(2961) + 23/384$	بختگان-مهاریلو
۸/۸	$-0.0063(2719) + 25/918$	کلی زاگرس

جدول ۵. طبقات دما و بارش کواترنری در زاگرس (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Table 5. Quaternary temperature and precipitation classes in Zagros (Authors, 2020)

شرایط طبقه	بارش (میلی‌متر)	دما (درجه سلسیوس)	طبقه
بسیار نامساعد	۵۲۱-۲۷۳	۱۸-۱۱	۱
نامساعد	۷۶۹-۵۲۱	۱۱-۶	۲
متوسط	۱۰۱۷-۷۶۹	۶-۱	۳
مساعد	۱۲۶۵-۱۰۱۷	-۱-۴	۴
بسیار مساعد	۱۵۱۳-۱۲۶۵	-۹-۴	۵



شکل ۴. نقشه اقلیمی (بارش و دما) دوران کواترنری در زاگرس (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Figure 4. Climatic map (precipitation and temperature) Quaternary period in the Zagros (Authors, 2020)

بررسی زیرحوضه‌ها با توجه به پارامترهای مختلف و در شرایط اقلیمی متفاوت واحدهای زاگرس برای دو دوره کنونی و کواترنری انجام شد. مقدار این پارامترها براساس شرایط حوضه‌ها به پنج طبقه تقسیم‌بندی شد. اعداد برآورد شده برای حداکثر ممکن توسعه کارست در طبقه پنج و برای حداقل ممکن در طبقه یک قرار داده شد. پارامترهایی مانند نسبت ناهمواری، شیب، نسبت دایره‌ای، فاکتور فرم، طول حوضه و کشیدگی در مطلوب‌ترین شرایط ممکن در طبقه پنج قرار گرفت، ولی ضریب فشردگی عکس این حالت را داشت؛ این ضریب هرچه به عدد یک نزدیک‌تر باشد از نظر هندسی، حوضه به دایره نزدیک‌تر است؛ طبقه یک و دو، مطلوب‌ترین حالت این پارامتر را بازتاب می‌دهد. در حوضه‌هایی مربع‌شکل، فاکتور شکل و فرم حوضه برابر با یک خواهد بود. در اینجا فاکتور فرم در طبقه پنج و فاکتور شکل در طبقه یک، برابر یک بود و بهترین شرایط آنها را باید در همین طبقات جست‌وجو کرد (جدول ۶).

جدول ۶. طبقات پارامترهای هندسی حوضه‌ها (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Table 6. Classes of geometric parameters of basins (Authors, 2020)

طبقه	کشیدگی	طول حوضه (کیلومتر)	فاکتور شکل	فاکتور فرم	فشردگی	نسبت دایره‌ای	شیب (درصد)	نسبت ناهمواری (متر)
۱	۰/۵-۱/۳	۱-۱۱	۱/۵-۲/۳۳	۰-۰/۲	۱-۱/۳	۰-۰/۲	۰-۱۷	۴-۱۲۱
۲	۱/۳-۲/۱	۱۱-۲۱	۲/۳۳-۲/۹۳	۰/۲-۰/۴	۱/۳-۱/۶	۰/۲-۰/۴	۱۷-۳۵	۱۲۱-۲۴۲
۳	۲/۱-۲/۹	۲۱-۳۱	۲/۹۳-۳/۵۳	۰/۴-۰/۶	۱/۶-۱/۹	۰/۴-۰/۶	۳۵-۵۲	۲۴۲-۳۶۳
۴	۲/۹-۳/۷	۳۱-۴۱	۳/۵۳-۴/۱۳	۰/۶-۰/۸	۱/۹-۲/۲	۰/۶-۰/۸	۵۲-۷۰	۳۶۳-۴۸۴
۵	۳/۷-۴/۵	۴۱-۵۳	۴/۱۳-۴/۵	۰/۸-۱	۲/۲-۲/۵	۰/۸-۱	۷۰-۸۸	۴۸۴-۶۰۸

در شرایط کنونی، زاگرس پست از نظر اقلیمی دو پهنه نامساعد و بسیار نامساعد را برای تشکیلات کارستی دربرگرفته است و در اقلیم کواترنری این محدوده علاوه بر دو پهنه فوق، پهنه اقلیمی متوسط را نیز شامل می‌شود. در شرایط کنونی و کواترنری نسبت ناهمواری (۴۱/۴۵ و ۴۴/۱۲)، شیب (۶/۲۹ و ۶/۸۹) و طول حوضه (۴/۶۷ و ۴/۸۹) در پهنه یک، کشیدگی (۱/۶۱ و ۱/۷۷) در طبقه دو و فاکتور فرم (۰/۴۲ و ۰/۴۱) با قرارگیری در طبقات دو و سه، بیشترین ضریب را به خود اختصاص داده‌اند (جدول‌های ۷ و ۸)؛ به این معنی که ناهمواری و شیب در این حوضه‌ها به حداقل می‌رسد و سطوح ارضی حوضه پست و همگن می‌شود و با توجه به ضریب کشیدگی و فاکتور فرم، زیرحوضه‌ها کمترین طول را دارند. با توجه به اینکه براساس طبقه‌بندی اقلیمی کواترنری و کنونی، زاگرس پست در شرایط متوسط رو به پایین قرار گرفته است و از سویی قرارگیری درصد بسیار زیادی از زیرحوضه‌ها در طبقه یک از نظر کشیدگی و طول حوضه ناشی از شکل دایره‌ای زیرحوضه‌هاست و همچنین با توجه به اینکه با افزایش ارتفاع زیرحوضه‌ها کشیده‌تر می‌شوند، می‌توان نتیجه گرفت شکل دایره‌ای به همراه ضریب ناهمواری و شیب کم دال بر کاهش نقش دما در انحلال این‌گونه زیرحوضه‌هاست.

جدول ۷. خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها برحسب درصد در شرایط کنونی، زاگرس پست

(نویسندگان، ۱۳۹۹)

Table 7. Physiographic characteristics of sub-basins in terms of percentage in the current situation,

Zagros Post (Authors, 2020)

طبقه اقلیمی ۲					طبقه اقلیمی ۱					طبقات اقلیمی
طبقات پارامترهای هندسی					طبقات پارامترهای هندسی					
۵	۴	۳	۲	۱	۵	۴	۳	۲	۱	
۰	۰	۰	۸	۹۱	۰	۰	۰	۴	۹۶	نسبت ناهمواری
۰	۰	۰	۱۰	۹۰	۰	۰	۰	۴	۹۶	شیب
۰	۴	۵۰	۴۵	۰	۰	۴	۳۶	۵۲	۴	نسبت دایره‌ای
۰	۰	۴۳	۴۶	۸	۴	۸	۴۴	۴۰	۴	فشردگی
۰	۰	۷۴	۲۵	۰	۰	۰	۰	۶۰	۴۰	فاکتور فرم
۰	۰	۵	۳۹	۵۵	۰	۰	۸	۴۸	۴۴	فاکتور شکل
۰	۰	۰	۷	۹۳	۰	۰	۰	۸	۹۲	طول حوضه
۰	۰	۱۰	۹۰	۰	۰	۴	۲۰	۷۶	۰	کشیدگی

جدول ۸. خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها برحسب درصد در شرایط کواترنری، زاگرس پست  
(نویسندگان، ۱۳۹۹)

Table 8. Physiographic characteristics of sub-basins in terms of percentage in Quaternary conditions, Zagros Post (Authors, 2020)

طبقه اقلیمی ۳					طبقه اقلیمی ۲					طبقه اقلیمی ۱					طبقات اقلیمی پارامترهای هندسی
طبقات پارامترهای هندسی					طبقات پارامترهای هندسی					طبقات پارامترهای هندسی					
۵	۴	۳	۲	۱	۵	۴	۳	۲	۱	۵	۴	۳	۲	۱	
۰	۰	۰	۲۰	۸۰	۰	۰	۰	۷	۹۳	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	نسبت ناهمواری
۰	۰	۰	۲۰	۸۰	۰	۰	۰	۸	۹۲	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	شیب
۰	۰	۴۰	۶۰	۰	۰	۰	۴۶	۴۷	۰	۰	۰	۶۰	۲۰	۲۰	نسبت دایره‌ای
۰	۰	۶۰	۴۰	۰	۰	۱۴	۳۱	۴۵	۸	۰	۲۰	۲۰	۶۰	۰	فشرده‌گی
۰	۰	۶۰	۴۰	۰	۰	۶	۷۱	۲۸	۰	۰	۰	۸۰	۲۰	۰	فاکتور فرم
۰	۰	۲۰	۶۰	۲۰	۰	۰	۷	۴۳	۵۰	۰	۰	۲۰	۶۰	۲۰	فاکتور شکل
۰	۰	۰	۲۰	۸۰	۰	۰	۰	۶	۹۴	۰	۰	۰	۲۰	۸۰	طول حوضه
۰	۰	۲۰	۸۰	۰	۰	۰	۸	۷۰	۲۳	۰	۰	۲۰	۸۰	۰	کشیدگی

زاگرس چین‌خورده از لحاظ اقلیمی در دوره کنونی و کواترنری دربرگیرنده چهار پهنه اقلیمی نامساعد، متوسط، مساعد و بسیار مساعد است. طول حوضه، فاکتور فرم، کشیدگی، ناهمواری، شیب، نسبت دایره‌ای و فشرده‌گی در بررسی ویژگی‌های زیرحوضه‌های این قسمت از زاگرس کاربرد بیشتری دارد. طول حوضه (۵/۱۷) و کشیدگی (۱/۵) در همه شرایط اقلیمی تقریباً به یک شکل است و کمترین مقدار را دارد و شیب (۲۹/۷۲) و ناهمواری (۱۹۷/۴) با اینکه در شرایط نامساعد و متوسط کمترین مقدار را دارد، با تغییر شرایط اقلیمی به سمت طبقه بسیار مساعد این دو پارامتر افزایش یافته است؛ به گونه‌ای که در شرایط بسیار مساعد حداکثر شیب و ناهمواری در زیرحوضه‌ها دیده می‌شود. در دوره کواترنری مانند شرایط کنونی، طول (۴/۶۴) و کشیدگی حوضه‌ها (۱/۴۹) با قرارگیری در پهنه یک و دو و شیب (۲۸/۴۳) و ناهمواری (۱۹۱/۱۴) با قرارگیری در پهنه دو برای تمامی شرایط اقلیمی آن دوره کمترین مقدار را دارند (جدول‌های ۹ و ۱۰). در زاگرس چین‌خورده ضریب کشیدگی و طول حوضه همانند زاگرس پست تجزیه و تحلیل می‌شود. تفاوت این بخش از زاگرس پست در ضریب ناهمواری و شیب حوضه بازتاب می‌یابد. این دو پارامتر در شرایط اقلیم کنونی بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند که دال بر کشیدگی و شیب بیشتر زیرحوضه‌های مناطق مرتفع‌تر (زیرحوضه‌های آبی - یخچالی) نسبت به زیرحوضه‌های آبی است. با تغییر پارامترهای اقلیمی و





جدول ۱۰. خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها برحسب درصد در شرایط کواترنری، زاگرس چین‌خورده  
(نویسندگان، ۱۳۹۹)

Table 10. Physiographic characteristics of sub-basins in terms of percentage in Quaternary, folded Zagros conditions (Authors, 2020)

کنشیدگی	طول حوضه	فاکتور شکل	فاکتور فرم	فشرده‌گی	نسبت دایره‌ای	شیب	نسبت ناهمواری	پارامترهای هندسی ۱۵	پارامترهای هندسی طبقات اقلیمی	
									طبقات اقلیمی ۲	طبقات پارامترهای هندسی
۳۶	۹۵	۵۰	۰	۱۸	۰	۹	۱۳	۱	طبقات پارامترهای هندسی	طبقات اقلیمی ۲
۵۹	۴	۴۵	۴	۳۵	۲۸	۶۸	۶۸	۲		
۴	۰	۴	۹۵	۲۸	۳۵	۲۲	۱۸	۳		
۰	۰	۰	۰	۰	۱۸	۰	۰	۴		
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵		
۱۷	۹۵	۴۹	۰	۳۲	۰	۱۵	۱۷	۱	طبقات پارامترهای هندسی	طبقات اقلیمی ۳
۷۳	۳	۴۵	۲۹	۵۰	۱۸	۴۶	۴۶	۲		
۷	۱	۳	۶۹	۱۲	۵۰	۳۰	۲۹	۳		
۱	۰	۱	۰	۴	۲۹	۷	۶	۴		
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۵		
۱۹	۹۴	۵۰	۰	۲۹	۱	۱۸	۲۰	۱	طبقات پارامترهای هندسی	طبقات اقلیمی ۴
۷۲	۵	۴۴	۳۱	۵۶	۱۵	۵۱	۴۹	۲		
۷	۱	۶	۶۹	۱۱	۵۶	۲۲	۱۹	۳		
۱	۰	۰	۰	۲	۲۶	۶	۸	۴		
۰	۰	۰	۰	۱	۱	۲	۱	۵		
۳۰	۹۰	۵۵	۰	۴۰	۰	۲۵	۲۵	۱	طبقات پارامترهای هندسی	طبقات اقلیمی ۵
۵۵	۰	۳۵	۲۰	۶۰	۰	۳۰	۳۵	۲		
۵	۱۰	۱۰	۸۰	۰	۷۰	۱۰	۱۰	۳		
۱۰	۰	۰	۰	۰	۳۰	۳۵	۲۵	۴		
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۵		

زاگرس مرتفع در چهار پهنه اقلیمی نامساعد، متوسط، مساعد و بسیار مساعد کنونی قرار می‌گیرد؛ در حالی که در دوره کواترنری، این قسمت شرایط اقلیمی مساعد و بسیار مساعد را برای کارست داشته است. بررسی پارامترهای شکل حوضه در این واحد نشان می‌دهد در شرایط کنونی طول حوضه‌ها (۴/۵۸) بیشترین فراوانی را در طبقه یک دارند که نشان‌دهنده کمترین طول است و این مقدار با بهتر شدن شرایط اقلیمی، یعنی نزدیک شدن به طبقه بسیار مساعد افزایش و درصد آن در طبقه یک کاهش می‌یابد. نسبت ناهمواری (۱۸۴/۳۱) و شیب (۲۸/۰۹) با بیشترین مقدار در طبقه دو نشان‌دهنده شیب و ناهمواری کم است، ولی درصد آنها با مساعد شدن اقلیم بیشتر می‌شود. ضریب

فشردگی (۱/۴۲) بیشترین فراوانی را در طبقه دو دارد؛ بدین معنا که شکل حوضه به دایره نزدیک است. در شرایط اقلیمی مساعد و بسیار مساعد عامل ارتفاع نیز یک خصوصیت مهم است، ولی از لحاظ مساحت ارتفاعات بالاتر پهنه کمتری را به خود اختصاص داده‌اند و در نتیجه پهنه‌ای که حوضه‌های آهک را شامل می‌شود، مساحت آن کمتر و کشیدگی آن نیز کمتر می‌شود؛ کشیدگی حوضه‌ها نیز کم می‌شود و تمایل به شکل دایره دارند. در دوران کواترنری در شرایط اقلیمی مساعد شیب (۲۶/۹۴) و ناهمواری (۱۷۷/۴۵)، کمترین مقدار و طول حوضه (۵/۵۹) در طبقه یک، کمترین طول را برای حوضه نشان می‌دهد؛ ولی با تغییر شرایط اقلیمی از مساعد به بسیار مساعد ناهمواری و شیب با داشتن بیشترین فراوانی در طبقه سه نشان‌دهنده افزایش ناهمواری و شیب در شرایط بسیار مساعد نسبت به شرایط مساعد است (جدول‌های ۱۱ و ۱۲).

جدول ۱۱. خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها برحسب درصد در شرایط کنونی، زاگرس مرتفع

(نویسندگان، ۱۳۹۹)

Table 11. Physiographic characteristics of sub-basins in terms of percentage in the current conditions, high Zagros (Authors, 2020)

کشیدگی	طول حوضه	فاکتور شکل	فاکتور فرم	فشردگی	نسبت دایره‌ای	شیب	نسبت ناهمواری	پارامترهای هندسی	طبقات اقلیمی
۰	۱۰۰	۰	۰	۱۶	۰	۰	۰	۱	طبقات پارامترهای هندسی
۱۰۰	۰	۴۰	۵۰	۶۶	۱۶	۵۰	۸۳	۲	
۰	۰	۶۰	۵۰	۱۶	۶۶	۵۰	۱۶	۳	
۰	۰	۰	۰	۰	۴۶	۰	۰	۴	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	
۷	۹۰	۲۸	۰	۲۷	۰	۱۶	۲۳	۱	طبقات پارامترهای هندسی
۸۱	۹	۵۸	۳۲	۵۹	۱۳	۵۴	۵۰	۲	
۱	۲	۹	۶۸	۱۲	۶۳	۲۶	۲۳	۳	
۱	۰	۰	۰	۲	۲۴	۲	۲	۴	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	
۱۸	۹۲	۵۱	۰	۲۵	۰	۲۹	۳۴	۱	طبقات پارامترهای هندسی
۷۰	۵	۴۲	۲۹	۵۶	۲۱	۴۶	۳۴	۲	
۹	۱	۵	۷۱	۱۶	۵۵	۱۹	۱۷	۳	
۱	۰	۲	۰	۲	۲۳	۴	۳	۴	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	
۶	۸۴	۲۵	۰	۴۳	۰	۹	۱۲	۱	طبقات پارامترهای هندسی
۷۸	۹	۵۹	۵۶	۵۰	۶	۳۱	۴۴	۲	
۹	۶	۹	۴۳	۶	۵۳	۴۷	۳۸	۳	
۳	۰	۳	۰	۰	۴۰	۱۲	۶	۴	
۰	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۵	

جدول ۱۲. خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها برحسب درصد در شرایط کواترنری، زاگرس مرتفع (نویسندگان، ۱۳۹۹)

Table 12. Physiographic characteristics of sub-basins in terms of percentage in Quaternary conditions, high Zagros (Authors, 2020)

طبقه اقلیمی ۳					طبقه اقلیمی ۲					طبقات اقلیمی	پارامترهای هندسی
طبقات پارامترهای هندسی					طبقات پارامترهای هندسی						
۵	۴	۳	۲	۱	۵	۴	۳	۲	۱		
۰	۹	۳۶	۴۰	۱۵	۱	۴	۱۴	۴۷	۳۲	نسبت ناهمواری	
۰	۶	۵۰	۳۰	۱۴	۱	۳	۱۹	۵۰	۲۵	شیب	
۰	۳۸	۵۰	۱۱	۰	۰	۲۲	۵۸	۱۹	۰	نسبت دایره‌ای	
۰	۰	۱۰	۴۲	۴۷	۰	۲	۱۵	۵۸	۲۴	فشردگی	
۰	۰	۵۸	۴۱	۰	۰	۰	۷۰	۲۹	۰	فاکتور فرم	
۰	۶	۱۰	۵۱	۳۴	۰	۱	۵	۴۳	۴۹	فاکتور شکل	
۰	۳	۲	۱۰	۸۶	۰	۰	۱	۶	۹۲	طول حوضه	
۰	۴	۱۳	۷۱	۱۱	۰	۱	۹	۷۴	۱۵	کشیدگی	

### نتیجه‌گیری

کارستی - فیکاسیون متأثر از عوامل مختلفی است؛ در شرایط مساوی، محیطی با دمای پایین‌تر شرایط مناسب‌تری برای انحلال خواهد داشت. دمای بالاتر از صفر درجه در صورت وجود آب و سنگ‌های کربناته تسریع‌کننده عمل انحلال است. در مناطق کوهستانی با افزایش ارتفاع، دما کاهش و مقدار بارش افزایش می‌یابد و دو عامل مؤثر بر انحلال شرایط مطلوب‌تری خواهد یافت و انتظار می‌رود این تغییرات با خصوصیات مورفومتری امکان ردیابی داشته باشد.

اقلیم زاگرس پست در حال حاضر نسبت به قسمت‌های دیگر آن، بسیار نامساعد و نامساعد است (گرم و خشک‌تر نسبت به قسمت‌های دیگر زاگرس)؛ ولی در کواترنری با توجه به بارش بیشتر و دمای پایین‌تر، شرایط اقلیمی متعادل‌تری داشته است (دمای پایین‌تر و بارش بیشتر نسبت به شرایط کنونی). در دوره‌های سرد کواترنری بارش بیشتر در دمای پایین‌تر، شرایط اقلیمی زاگرس پست را برای کارستی شدن مناسب‌تر می‌کرده است. درصد کم ناهمواری و شیب که باعث پست و همگن شدن زیرحوضه‌ها شده و شکل آنها را به دایره بسیار نزدیک‌تر کرده، دال بر این است که با افزایش ارتفاع و تغییر شرایط اقلیمی، شکل زیرحوضه‌ها کشیده‌تر شده است.

زاگرس چین‌خورده نسبت به زاگرس پست و مرتفع وسعت بیشتری دارد؛ در نتیجه طبقات اقلیمی متفاوتی برای شرایط کارستی شدن از شرایط نامساعد، متوسط و مساعد تا بسیار مساعد، چه در دوره کنونی و چه در کواترنری، داشته است. ضریب ناهمواری و شیب حوضه در این بخش از زاگرس به حداکثر خود نسبت به سایر قسمت‌های

زاگرس می‌رسد که کشیدگی زیرحوضه‌ها در قسمت‌های کم‌ارتفاع‌تر و شیب بیشتر آنها را در مناطق مرتفع‌تر به همراه داشته است؛ کشیدگی زیرحوضه‌های مناطق کم‌ارتفاع‌تر ناشی از افزایش دما و تغییر عملکرد آب به یخ در این گونه مناطق در شرایط اقلیمی کوتاه‌تری بوده است؛ در شرایط اقلیمی بسیار مساعد زیرحوضه‌ها کشیده‌تر شده‌اند.

زاگرس مرتفع در دوره کنونی، شرایط اقلیمی متفاوت از نامساعد، متوسط و مساعد تا بسیار مساعد دارد؛ در حالی که در کوتاه‌تری شرایط اقلیمی یکنواخت‌تری داشته است (مساعد و بسیار مساعد برای توسعه کارست)؛ از سویی با توجه به قرارگرفتن پهنه کمتری از زاگرس در زاگرس مرتفع، طول حوضه به نسبت کمتر از سایر بخش‌های زاگرس است و کشیدگی کمی دارد و شکل حوضه‌ها به دایره متمایل است؛ از سوی دیگر دمای بسیار پایین در اقلیم بسیار مساعد (۹- تا ۴- درجه سلسیوس) و مساعد (۴- تا ۱- درجه سلسیوس) در زاگرس مرتفع در دوره کوتاه‌تری، مانع از توسعه کارست در سطح شده و انحلال را بیشتر در عمق متمرکز کرده است.

به‌طور کلی بررسی خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها در طبقات اقلیمی نشان می‌دهد زمانی که شرایط کارستی-فیکاسیون از لحاظ اقلیمی مساعدتر شود، اشکال و لندفرم‌ها از حالت دایره‌ای خارج می‌شود و شکل کشیده می‌یابد. با توجه به تفاوت اقلیمی طبقات و شکل لندفرم‌های کارستی می‌توان از اصطلاحاتی مانند حوضه آبی-آبی و حوضه آبی-یخچالی استفاده کرد؛ به این معنا که در مناطق مرتفع‌تر که شرایط اقلیمی برای سیستم کارستی-فیکاسیون مساعد و بسیار مساعد است، متأثر از یخچال عمل انحلال بیشتر در عمق متمرکز است و اشکال کارستی-یخچالی ایجاد شده و در ارتفاعات پایین‌تر به دلیل نقش بیشتر رواناب‌ها در فرایند کارستی-فیکاسیون، انحلال در سطح بیشتر از عمق شده و ضریب ناهمواری کاهش یافته و شکل عارضه کارستی به دایره نزدیک‌تر شده است. اشکال سطحی مانند حوضه‌های آهکی در اقلیم مساعد و بسیار مساعد کوتاه‌تری بیشتر کشیده‌اند.

## منابع

- ابراهیمی، بابک، سیف، عبدالله، (۱۳۹۴). به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی پتانسیل گسترش کارست تنگ‌های کربناتی زاگرس برپایه عامل‌های آب‌زمین‌شناختی و اقلیمی، نشریه علوم زمین، دوره ۲۵، شماره ۹۸، ۳۳۳-۳۴۸.
- جعفری‌بگلو، محسن، یمانی، منصور، عباس‌نژاد، احمد، زمان‌زاده، سید محمد، ذهاب‌ناظوری، سمیه، (۱۳۹۳). بازسازی برف‌مرزهای یخچالی کوتاه‌تر در کوهستان بیدخوان (استان کرمان)، فصلنامه علمی پژوهشی بین‌المللی انجمن جغرافیایی ایران، دوره ۱۲، شماره ۴۰، ۹۳-۱۰۷.
- جعفری، غلامحسن، حضرتی، نسرین، (۱۳۹۷). بازسازی برف‌مرز کوتاه‌تری واحد ژئومورفیک زاگرس ایران، فصلنامه جغرافیا و پایداری محیط، دوره ۸، شماره ۲۸، ۳۳-۴۹.
- چورلی، ریچارد، استانلی ای، شوم، دیوید ای، سودن، (۱۳۸۹). ژئومورفولوژی، ترجمه: معتمد، احمد، مقیمی، احمد، جلد ۲، چاپ سوم، تهران، انتشارات سمت.

- خضری، سعید، شهابی، هیمن، محمدی، سارا، (۱۳۹۶). ارزیابی و پهنه‌بندی تحول کارست حوضه آبریز غار سهولان مهاباد با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۴، شماره ۱، ۲۱-۳۹.
- درویش‌زاده، علی، (۱۳۷۰). زمین‌شناسی ایران، چاپ اول، تهران، نشر دانش امروز.
- رامشت، محمدحسین، کاظمی، محمدمهدی، (۱۳۸۶). آثار یخچالی در حوضه اقلید فارس، رشد آموزش جغرافیا، دوره ۲۱، شماره ۷۹، ۳-۱۱.
- زاهدی، معصومه، بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۹۳). هیدرولوژی، چاپ چهارم، تهران، انتشارات سمت.
- زنگنه اسدی، محمدعلی، غیور، حسنعلی، رامشت، محمدحسین، ولایتی، سعدالله، (۱۳۸۱). چشم‌اندازهای کارستی حوضه اخلمد و مدیریت محیطی آن، مجله پژوهشی جغرافیایی، دوره ۳۴، شماره ۴۲، ۸۷-۱۰۱.
- علائی طالقانی، محمود، (۱۳۹۱). ژئومورفولوژی ایران، چاپ هفتم، تهران، انتشارات قومس.
- علائی طالقانی، محمود، رحیم‌زاده، زهرا، (۱۳۸۹). بررسی تحول کارست در منطقه زاگرس، کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۳۱۳-۳۲۳.
- علیجانی، بهلول، (۱۳۸۲). آب‌وهوای ایران، چاپ اول، تهران، انتشارات پیام نور.
- علیزاده، امین، (۱۳۹۳). اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ ۳۹، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- فرج‌زاده، منوچهر، احمدآبادی، علی، (۱۳۸۸). ارزیابی و پهنه‌بندی اقلیم گردشگری ایران با استفاده از شاخص اقلیم گردشگری (TCI)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۲، شماره ۷۱، ۳۱-۴۲.
- قاسمی‌فر، الهام، ناصرپور، سمیه، (۱۳۹۰). پهنه‌بندی اقلیمی ناحیه زاگرس، فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره ۸۹، ۵۴-۶۰.
- قربانی، محمدصدیق، اونق، محمد، (۱۳۹۱). بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی کوتاه‌تر بر تحول کارست شاهو شمال غرب کرمانشاه، کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۳۰۰-۳۱۲.
- کاظمی، معصومه، (۱۳۹۱). بررسی عوامل مؤثر بر تحول ژئومورفولوژی کارست در کوه گاماسیاب با تأکید بر تحول لایه (جنوب نهند)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، دوره ۹، شماره ۳۳، ۱۰۷-۱۲۶.
- محمودی، فرج‌الله، (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی اقلیمی، چاپ اول، تهران، انتشارات پیام نور.
- مزیدی، احمد، کرم، امیر، کوراوندپور، مژگان، (۱۳۹۵). پتانسیل‌یابی توسعه کارست با استفاده از منطق فازی؛ مطالعه موردی: حوضه دشت سوسن و دشت ایذه، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۵، شماره ۲، ۱۳۰-۱۴۱.
- مطیعی، همایون، (۱۳۷۲). زمین‌شناسی ایران: چینه‌شناسی زاگرس، چاپ اول، تهران، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- مقیم، همایون، (۱۳۹۱). هیدرولوژی کارست، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- نجفی، زینب، کرمی، غلامحسین، کریمی، حاجی، (۱۳۹۹). بررسی تأثیر واحدهای سنگ چینه‌شناسی مختلف بر توسعه کارست و تغییرپذیری آبدی چشمه‌های کارستی، استان کرمانشاه، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، دوره ۳۶، شماره ۱، ۱-۲۰.

نعمت‌اللهی، فاطمه، (۱۳۸۲). **بررسی ویژگی‌های ژئومورفیک دشت نمدان**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد، استاد راهنما: رامشت، محمدحسین، دانشگاه اصفهان، گروه جغرافیا.

نگارش، حسین، خسروی، محمود، (۱۳۷۷). **کلیات ژئومورفولوژی ایران**، چاپ اول، زاهدان، انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان.

یمانی، مجتبی، شمسی‌پور، علی‌اکبر، جعفری اقدم، مریم، باقری سیدشکری، سجاده، (۱۳۹۲). **بررسی عوامل مؤثر در توسعه‌یافتگی و پهنه‌بندی کارست حوضه چله با استفاده از منطق فازی و AHP**، استان کرمانشاه، علوم زمین، دوره ۲۳، شماره ۸۸، ۵۷-۶۶.

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.

Ford, D., Williams, P.D., (2013). **Karst hydrogeology and geomorphology**, John Wiley & Sons.

Iacurto, S., Grelle, G., De Filippi, F.M., Sappa, G., (2020). **Karst Spring Recharge Areas and Discharge Relationship by Oxygen-18 and Deuterium Isotopes Analyses: A Case Study in Southern Latium Region, Italy**, Applied Sciences, 10 (5), 1882.

Romey, C., Rochette, P., Vella, C., Arfib, B., Andrieu-Ponel, V., Braucher, R., Mattioli, E., (2014). **Geophysical and geomorphological investigations of a Quaternary karstic paleolake and its underground marine connection in Cassis (Bestouan, Cassis, SE France)**, Geomorphology, 214, 402- 415.

Žebre, M., Stepišnik, U., Colucci, R. R., Forte, E., Monegato, G., (2016). **Evolution of a karst polje influenced by glaciation: the Gomance piedmont polje (northern Dinaric Alps)**, Geomorphology, 257, 143- 154.

