

Research Paper

Geochronology of Geomorphological Features Existence in Mountainous Regions with Formational-Structural Method (Case Study: Karaftou Cave, Kurdistan Province)

Iraj Najmoddini* 

^a Lecturer of Mining Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

ARTICLE INFO

Received: 2024/11/16

Accepted: 2025/04/07

PP: 25-34

Use your device to scan and
read the article online



Keywords: *Qom Formation, Karaftou Cave, Karst, Geochronology, Fault.*

Abstract

Given the unique characteristics of the Karaftou cave, it appears that it can serve as a suitable case study for understanding the karstification process and its influence by geological conditions. This research can achieve two objectives: first, to identify the geological processes involved in the formation and extent of the Karaftou cave, and second, to allow for the dating and determination of the period of its formation concerning geological eras and epochs in history of the Earth. Geological evidences include the presence of major and minor faults within the Karaftou cave, the performance of the fault in the wall of the outer and inner spaces of cave and the development of its natural indicates that the cave is in structural form and relevant with semi fault function that existing in that place. Cutting of upper units of the Qom Formation by mentioned network fault and its discontinuity in Plio-Quaternary units has made it possible to chronology and dating it with the "Comparative Method" or "Formation-structural Method". Since the network of the mentioned fault cuts off the last limestone unit of the Qom Formation and does not continue in the Pleiocene-Quaternary units, it seems that their active age is related to the impact of the Oligocene orogenic phase at the beginning of the Middle Miocene and the Langhian stage. As a result, the main process of cave formation likely began after these events, so the maximum age of cave formation can be attributed to this period, and on the other hand, its minimum age can be assigned to the early Pleiocene.

Citation: Najmoddini, I. (2025). Geochronology of Geomorphological Features Existence in Mountainous Regions with Formational-Structural Method (Case Study: Karaftou Cave, Kurdistan Province), *Journal of Environmental Research in Mountainous Regions*, 1(2), 25-34.

DOI: <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.63619>



© The Author(s).

Publisher: University of Kurdistan Press

* **Corresponding author:** Iraj Najmoddini, **Email:** i.najmoddini@uok.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The formation mechanism of caves or developed karst cavities in limestone rocks is generally based on two geological processes: first, the formation of fault caves (structural caves), where water infiltration and dissolution expand through the main fault surfaces and fracture networks cutting across rock bedding; second, the formation of interlayer caves (stratified caves), in which water infiltration and karstification progress through meteoric waters penetrating stratigraphic surfaces or limestone bedding. A less common third process, known as hypogenic cave formation, results from the ascent and activity of deep hydrothermal waters, with Ali-Sadr Cave in Hamedan as a notable example. Considering the complexity of natural environments, a combination of these processes can influence cave development. For instance, in Khasheh Tarash Cave in Isfahan, tectonics is the primary factor in cave formation, while subsequent architecture results from dissolution processes, leading to the creation of multiple passages and halls. Karstification or dissolution of carbonate rock units is widespread across Iran; in the northeastern Kurdistan Province, between Divandarreh and Takab, thick to massive limestone layers of the upper Qom Formation on the western margin of the Central Iran zone have created favorable conditions for cave formation. with Karaftou Cave as a prominent example. Accordingly, the main research questions of this study are: (1) from a geological standpoint, is Karaftou Cave a stratified or structural cave? (2) What role has the regional fault network played in the formation of Karaftou Cave? and (3) What is the geochronology of Karaftou Cave's formation?

Methodology

The present study is based on the integration of two methods: 1) field investigations and 2) theoretical studies. In the first stage, based on fieldwork, the internal space of Karaftou Cave, including the main corridor and its subsidiary branches, was examined, and the evidence of existing geological processes within the cave was studied. Then, the external and surrounding environment of the cave was considered, including: a) the main entrance wall of the cave and its lateral extensions, and b) the exposed

geological layers and formations of the region, which encompass the cave and adjacent villages. In the second stage, by combining previous geological maps and reports of the area with field observations, the functioning of the geological phenomena under study was analyzed.

Results and Discussion

Geological evidence, including the presence of major and minor faults within the Karaftou Cave area, fault-related features on the outer cliff walls and inside the cave, and the natural development patterns of the cave, indicate that this cave is structural in nature and linked to the activity of the local fault network. The disruption of the upper units of the Qom Formation by this fault network, along with its absence in the Plio-Quaternary units, allows for relative dating or "stratigraphic-structural" dating. Since the fault network cuts through the upper limestone units of the Qom Formation but does not continue into the Pliocene-Quaternary units, it is likely that its activity dates back to the strain phase of mountain building at the beginning of the Middle Miocene and the Langhian stage. Therefore, the main process of cave formation likely began after these fault activities, placing the maximum age of cave formation in this time interval, while the minimum age can be assigned to the early Pliocene.

Conclusion

Field investigations and observations of the speleogenesis process within the main passage of Karaftou Cave indicate that water infiltration occurred from above through the main fault plane and its subsidiary branches on both sides. This has led to the longitudinal expansion of the cave space, the development of lateral chambers connected to these branches, and severe fracturing of the limestone walls in many areas of the Oligo-Miocene limestone unit (unit F) of the Qom Formation. In other words, a dense fault network, as a continuation of the regional faults adjacent to the overall cave area, has disrupted the upper limestone and marl units of the Qom Formation in the Se-Khaharan Mountains and the cave walls of Karaftou. These faults generally trend northeast-southwest, aligning with the main axis of the cave. However, since the overlying sedimentary units of Pliocene-Quaternary age are unaffected

by these faults, it appears that the fault activity dates back to the strain phase of mountain building in the early Middle Miocene during the Langhian stage. The primary cave formation process likely began after these fault events, roughly between the Middle Miocene and the Late Miocene, with a relative age range of approximately 15 to 5 million years ago. One of the most significant limitations of the present study is the difficulty of applying absolute dating methods within the sedimentary deposits related to the cave and on the structural

forms associated with it, particularly the early-formed speleothems, which could play an important role in refining the timing of the onset of cave formation in Karaftou. Considering this limitation, along with the field observations made within the Karaftou Cave area and a review of existing literature and satellite imagery, it appears that a more comprehensive understanding of the cave formation mechanisms requires further detailed studies.

Financial sponsor

According to the responsible author, this article has no financial sponsor.

Contribution of the authors to the research

The first author: All stages of the research were carried out by the author.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest in writing or publishing this article.

Appreciation and thanks

I would like to sincerely thank the Kurdology Research Center of the University of Kurdistan, especially its former respected director, Dr. Omid Ghaderzadeh, for their cooperation and support in carrying out the present research. I also extend my gratitude to Ms. Frank Shah Moradi for her assistance in translating the texts I needed.



مقاله پژوهشی

زمین گاهنگاری پیدایش اشکال ژئومورفولوژی در قلمروهای کوهستانی به روش سازندی - ساختاری (مطالعه موردی: غار کرفتو، استان کردستان)

ایرج نجم الدینی* : مربی، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
با توجه به ویژگی های منحصر به فرد غار کرفتو، به نظر می رسد می توان از آن به عنوان مطالعه موردی مناسبی در راستای شناخت فرایند کارست زایی و تأثیرپذیری آن از شرایط زمین شناختی بهره گرفت. این پژوهش دو هدف را می تواند محقق نماید، در وهله اول فرایند زمین شناسی مؤثر در تشکیل غار کرفتو و گستردگی آن را مشخص کرده و در وهله دوم گاهنگاری و تعیین محدوده زمانی شکل گیری آن را در ارتباط با دوره ها و اعصار زمین شناسی دیرینه در تاریخ زمین امکان پذیر نماید. شواهد زمین شناسی شامل حضور گسل های اصلی و فرعی در محدوده غار کرفتو، آثار عملکرد گسلی در دیواره پرتگاهی بیرونی و در فضاهای درونی غار و نحوه توسعه یافتگی طبیعی آن نشان دهنده آن است که غار مذکور از نوع ساختاری و مرتبط با عملکرد شبکه گسلی موجود در محل است. قطع شدگی واحدهای بالایی سازند قم توسط شبکه گسلی مذکور و ادامه نیافتگی آن در واحدهای پلیو کوآترنری گاهنگاری و تعیین سن آن را «بروش نسبی» یا «روش سازندی - ساختاری» امکان پذیر کرده است. از آنجایی که شبکه گسل های مذکور واحد آهکی پایانی از سازند قم را قطع نموده اند و در واحدهای پلیوسن - کوآترنری ادامه ندارند به نظر می رسد سن عملکرد آن ها مربوط به تأثیر گام کوهزایی استرین در ابتدای عصر میوسن میانی و اشکوب لانگین است و در نتیجه فرایند اصلی تشکیل غار پس از وقوع آن ها شروع شده باشد، لذا سن حداکثری تشکیل غار را می توان به این مقطع زمانی مربوط دانست و از طرف دیگر، سن حداکلی آن را به پلیوسن آغازی نسبت داد.	تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸ شماره صفحات: ۲۵-۳۴ از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید  واژه های کلیدی: سازند قم، غار کرفتو، کارست، گاهنگاری، گسل.

استناد: نجم الدینی، ایرج (۱۴۰۴). زمین گاهنگاری پیدایش اشکال ژئومورفولوژی در قلمروهای کوهستانی به روش سازندی - ساختاری (مطالعه موردی: غار کرفتو، استان کردستان)، نشریه علمی پژوهش های محیطی در قلمروهای کوهستانی، ۱(۲)، ۲۵-۳۴.

DOI: <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.63619>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه کردستان

© نویسندگان



مقدمه

کارست هرگونه توپوگرافی ناشی از انحلال سنگ‌ها است که مشخصه‌های مختلف بزرگ توپوگرافی دارد و بارزترین آن‌ها سینک‌هول و غارهای مرتبط با آن‌ها است. نتیجه عمل کارستی شدن، ایجاد ژئومورفولوژی ویژه‌ای است که مناطق کارستی را از نواحی غیر کارستی جدا می‌کند. پدیده‌های ژئومورفولوژی ناشی از کارستی شدن سنگ‌ها در سطح و زیر سطح، کلیدی برای درک تکامل کارست در یک منطقه هستند. غار کرفتو یک میراث طبیعی و ارزشمند باستانی است که نمونه‌ای کمیاب از غارهای چندطبقه است. غار کرفتو از نظر اشکال کارستی که گنجینه‌های ارزشمند از لحاظ زمین‌شناسی است و هم به‌عنوان یک منبع آبی که نیازهای شرب و کشاورزی مناطق اطراف آن را تأمین می‌کند حائز اهمیت است. یکی از راه‌های مطالعه در سفره‌های کارستی، مطالعه غارهای کارستی به‌عنوان پنجره‌هایی به درون آن‌ها است. چرا که سازنده‌های غاری وضعیتی تقریباً ایستا دارند و امکان بازیابی آن‌ها در مقیاس عمر نسل‌های انسانی وجود ندارد (خضری، ۱۳۹۴). مطالعات انجام‌گرفته در زمینه محیط غارها نشان می‌دهد که این محیط کمتر از لحاظ زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی موردتوجه قرارگرفته است به‌طوری‌که اندک مطالعاتی هم که در سال‌های اخیر در مورد غارها صورت‌گرفته بیشتر از دیدگاه باستان‌شناختی، گردشگری زیست‌محیطی بوده و مطالعات چندانی در زمینه نقش عوامل طبیعی صورت نگرفته است؛ لذا در این پژوهش سعی شده است به این مهم پرداخته شود.

از نظر زمین‌ساختی محدوده مورد مطالعه جزو زون سندانج - سیرجان است و از نظر جغرافیایی و جهت ناهمواری‌ها خصوصیات زون زاگرس را دارد. دریاهای دوران دوم، این منطقه را همانند سایر مناطق کردستان پوشانیده و رسوبات قابل‌ملاحظه‌ای را از این دوران بجای گذاشته است. در اواخر دوران دوم قسمتی از رسوبات آهکی ژوراسیک در کردستان به شکل سرزمین‌های وسیع و یا جزایر متعدد و پراکنده‌های از زیر آب خارج شده اما بقیه منطقه همچنان در زیر آب باقیمانده است. شیب‌های تیره آهکی سخت، زیربنای کلی منطقه مورد تحقیق را نیز به وجود آورده است. ظاهراً فقدان رسوبات اتوسن نشانه آن است که دریاهای این دوره رسوبات کرتاسه را حداقل در منطقه مورد تحقیق نبوشانده و این سازند ها به شکل سرزمینی مرتفع به دریاهای کناری خود مسلط بوده‌اند دریاهای الیگو - میوسن در منطقه مورد تحقیق رسوبات نسبتاً زیادی بر روی شیب‌ها و سایر سنگ‌های دگرگونی دوران دوم بر جای نهاده که این رسوبات در نقاط عمیق آهکی و در مناطق کم‌عمق ماسه‌سنگ و جوش‌سنگ بوده است. در پایان اولیگوسن و اوایل میوسن به علت حرکات زمین‌ساخت دریاهای موجود برای مدتی عقب‌نشینی کرده و رسوبات اولیگوسن و یا احتمالاً الیگو - میوسن از آب خارج شده و سپس چین‌خورده‌اند. رسوبات دوره میو - پلیوسن به شکل افقی و به طور محلی دگر شیب، نسبت به طبقات الیگو - میوسن تقریباً در تمام منطقه به‌صورت متوالی شامل جوش‌سنگ (کنگولومرا)، ماسه‌سنگ، رس و مارن است. به‌تدریج دریاهای این دوره نیز در اواخر دوران سوم عقب‌نشینی کرده و رسوبات به‌کلی از آب خارج شده‌اند. ظاهراً منطقه مورد تحقیق در اواخر پلیوسن از آب خارج بوده و رسوبات این دوره بیشتر رسوبات تخریبی خشکی است. رسوبات ریزدانه رسی - مارنی همراه قطعه‌سنگ‌های آهکی و دگرگونی را نیز می‌توان به پلیوسن نسبت داد که متأسفانه ضخامت آن به علت نبود بریدگی کافی در زمین معلوم نیست (ترخانی و همکاران، ۱۳۸۹).

سازوکار شکل‌گیری غارها یا حفرات کارستی توسعه‌یافته در سنگ‌های آهکی، غالباً مبتنی بر دو فرایند زمین‌شناسی است: (۱) تشکیل غارهای گسلی (غارهای ساختاری) که در آن‌ها نفوذ آب و گسترش انحلال از طریق سطح گسلی اصلی و شبکه شکستگی‌های قطع‌کننده لایه‌بندی سنگ‌ها انجام پذیرفته و توسعه‌یافته است. (۲) تشکیل غارهای بین لایه‌ای (غارهای چین‌های) که در آن‌ها نفوذ آب و گسترش فرایند کارستی شدن از طریق راهیابی آب‌های با منشأ جوی به سطوح چین‌های یا لایه‌بندی سنگ‌آهک و پیشروی در این راستا صورت می‌پذیرد. البته نوع سومی از عملکرد زمین‌شناسی می‌تواند منشأ تشکیل غارها باشد که فراوانی کمتری دارد و به غارهای درون‌زاد مشهور است که حاصل صعود و فعالیت آب‌های هیدروترمال ژرف هستند که مثال شاخص آن غار علی‌صدر در همدان است (قبادی و همکاران، ۱۳۹۰). از طرف دیگر باتوجه‌به پیچیدگی‌های محیط طبیعی ترکیبی از عملکردهای فوق‌الذکر می‌تواند تأثیرگذار باشد. در غار خاصه‌تراش اصفهان از تکنیک باید به‌عنوان عامل اصلی تشکیل غار یاد نمود پردازش‌های بعدی یا معماری آن معطوف به عملکرد انحلال است، چنین سازوکاری منجر به تشکیل گذرگاه‌ها و تالارهای متعددی گردیده است (سبک‌خیز و همکاران، ۱۳۹۱). فرایند کارستی شدن یا انحلال واحدهای سنگی کربناته در بخش‌های مختلف ایران توسعه دارد، در محدوده شمال شرقی استان کردستان و حفاصل شهرهای دیواندره و تکاب وجود لایه‌های آهکی ضخیم تا توده‌ای متعلق به بخش بالایی سازند قم در حاشیه غربی زون ایران مرکزی (شکل ۲) شرایط را برای تشکیل غارها فراهم نموده (قبادی، ۱۳۸۳) که غار کرفتو مثال شاخص آن به‌حساب می‌آید.

باتوجه به مطالب عنوان شده، سؤال‌های اصلی پژوهش حاضر عبارت‌اند از: ۱- غار کرفتو از نظر زمین‌شناختی یک غار چینه‌ای است یا یک غار ساختاری؟ ۲- شبکه گسل‌های موجود در منطقه چه نقشی در شکل‌گیری غار کرفتو داشته‌اند؟ و ۳- گاه‌نگاری محدوده زمانی تشکیل غار کرفتو چگونه است؟

مرور ادبیات و سوابق پژوهش

بر اساس منشاء تشکیل، غارها به دو نوع تقسیم می‌شوند: غارهای درون‌زاد و غارهای برون‌زاد. غارهای درون‌زاد حاصل صعود و فعالیت آب‌های هیدروترمال بوده و غارهای برون‌زاد حاصل فعالیت آب‌های نفوذی هستند. برای مثال غار سرپزجان در حدود ۹۰ کیلومتری جنوب شهر شیراز، به طول بیش از ۱۸۰ متر در تاق‌دیس ژودنو فیروزآباد در آهک‌های آسماری شکل گرفته است، از نمونه‌ها بارز غارهای برون‌زاد است. مسیرهای این غارها، شکاف مانند بوده و تحت تأثیر انحلال در محل تقاطع و یا در امتداد درزهای غالب منطقه شکل گرفته است. با توجه به تاریخچه زمین‌شناسی محل، زمانی که سطح آب رودخانه محلی در تراز بالاتری قرار داشته با نفوذ آب رودخانه به داخل سنگ‌های کربناته، توسعه غار صورت گرفته است (قبادی و همکاران، ۱۳۹۰). گاه‌نگاری شناخت ترتیب توالی زمانی و تغییر و تحولات فرهنگی است که با دو رویکرد مطلق و نسبی محاسبه می‌گردد. گاه‌نگاری نسبی، شناختی صرفاً باستان‌شناسانه است که مبتنی بر مطالعات صرف باستان‌شناختی اعم از سبک‌شناسی آثار، درک تغییر و تحول فرهنگی تجلی یافته بر روی شواهد مادی است. توالی لایه‌نگاری، پایه و اساس گاه‌نگاری نسبی در باستان‌شناسی است. به‌طور مشخص، آغاز لایه‌نگاری باستان‌شناختی یا رویکرد تاریخ‌گذاری نسبی توسط دانشمندان علوم طبیعی که اصول "استنو" را به کار می‌بردند شروع شد که به بررسی اشیاء ابتدایی می‌پرداختند. همزمان، گروه بزرگی از باستان‌شناسانی که مراکز شهری را مورد بررسی قرار می‌دادند، از یک راه روش‌شناختی کاملاً متفاوت وارد این رشته شدند. اولین باستان‌شناسانی که لایه‌نگاری مراکز شهری را به منظور گاه‌نگاری مورد توجه قرار دادند، کانلین کنیون^۱ و مورتیمر ویلر^۲ بودند (داوری و همکاران، ۱۳۹۹). در هر صورت امروزه از گاه‌نگاری با شیوه‌های مختلف در راستای شناخت فرایند کارست‌زایی اشکال ژئومورفولوژی و تأثیرپذیری آن‌ها از شرایط زمین‌شناختی استفاده می‌شود. علی‌رغم کمبود مطالعات در خصوص موضوع مورد بررسی، در ادامه به مهم‌ترین نتایج چند مطالعه پرداخته شده است.

ترخانی و همکاران (۱۳۸۹) بیان نموده‌اند که در محدوده غار کرفتو و بر روی واحدهای رسوبی پرمین واحدهای گسترده آتشفشانی - رسوبی کرتاسه، انباشته‌های پلیوسن پلیستوسن برجای‌مانده است که در اثر فرسایش، دره‌های ژرفی در آن‌ها پدیدار شده و سنگ‌های کهن‌تر زیر آن‌ها، از جمله سنگ آهک‌های میوسن سازند قم نمایان شده است. در بین برجستگی‌ها و ارتفاعات منطقه، مورفولوژی ملایمی دیده می‌شود که به‌طور عمده توسط رسوبات کواترنری پوشیده شده و به نظر می‌رسد که رخدادهای تکتونیکی تأثیر چندانی بر این مورفولوژی نداشته و در عوض به‌شدت تحت تأثیر ساخته‌ای ناحیه‌ای و سرشت سنگ‌شناسی رخنمون‌هاست. واحدهای چینه‌شناسی منطقه اطراف غار، محدوده سنی گسترده‌ای داشته و واحدهای پرمین تا کواترنر در آن قابل مشاهده‌اند. شهابی و همکاران (۱۳۸۹) ارزیابی و تعیین پتانسیل گردشگری غار کرفتو را بر اساس دو عامل اصلی به‌قرار زیر انجام داده‌اند: ۱- برای راه‌های دسترسی آن (فاکتور Pr) امتیاز با ضریب ۰.۳۳ به‌دست‌آمده و ۲- برای پتانسیل گردشگری آن (فاکتور EP) امتیاز با ضریب ۱.۱۶ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده جایگاه مناسب این غار نسبت به موقعیت‌های هم‌جوار برای توسعه ژئو توریسم است. قاسمی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان عوامل مؤثر در پیدایش غار کرفتو بیان می‌کنند که تغییرات سطح اساسی آب‌های زیرزمینی و رودخانه کرفتو، به علت بالا آمدن زمین، در دوره‌های گذشته زمین باعث شده غار کرفتو در سه اشکوب (طبقه) شکل گیرد.

خضری و همکار (۱۳۹۵) با استفاده از روش سلسله‌مراتبی، نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست در محدوده غار کرفتو را تهیه کرده و پیاده کرده‌اند که به‌طور کلی لیتولوژی منطقه مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده پتانسیل توسعه کارست و گسل‌ها بالاترین احتمال خطر فروپاشی در این منطقه کارستی است و طبق مشاهدات و بررسی‌های صورت‌گرفته، غار کرفتو در حوزه مطالعاتی باتوجه به ویژگی‌ها و پتانسیل‌های محیطی سازند آهک توده‌ای ضخیم لایه، شیب کمتر از ۳۰ درصد، جهت شیب غربی، طبقه ارتفاعی ۲۳۰۰-۲۴۰۰ متری، فاصله ۲۰۰-۴۰۰ متری از گسل‌ها و شبکه آبراهه‌ها و کاربری اراضی مرتع متوسط، خوب و فقیر؛ در طبقه با توسعه کارست متوسط قرار دارد. میراسکندری و همکاران (۱۳۹۸) ابراز می‌دارند که آثار غار از دو بخش تشکیل شده است: ۱- بخش طبیعی که به‌مرور زمان در اثر پدیده‌های زمین‌شناسی ایجاد شده است و راهروها، دهلیزها، مجاری آب و سنگ‌های آهکی را شامل می‌شود. در برخی نقاط این غار آثار فرسایش ناشی از فروافتادن قطرات آب ایجاد شده است و در انتهای غربی دهانه غار، ستون بزرگی از سنگ‌های آهکی دیده می‌شود. جلوی دهانه، ریزش لایه‌ها در سمت شیب طبقاتی بر دامنه جنوبی، دره فرعی ناهموار پله ماندی را ایجاد کرده است. آثار بریدگی‌های بدنه جنوبی غار نشان‌دهنده وقوع زمین‌لرزه‌هایی است که

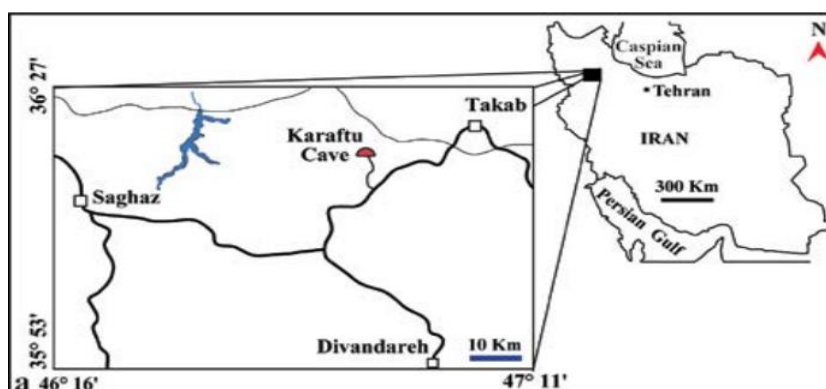
به فضاهای دست کند، به‌ویژه نورگیرها آسیب‌زده است. همچنین ریزش آوار، شیب پلکانی و پرتگاه‌هایی را ایجاد کرده است. ۲- بخش مصنوعی یا دست کند که به‌تناوب از گذشته‌های دور مورد استفاده یا سکونت انسان قرار گرفته است که شامل سه طبقه معماری دست کند با فضاها و اتاق‌هایی در دو طرف ورودی غاری باشد. امین رسولی و همکاران (۱۴۰۰) در طبقه دوم غار، در تالار خفاش‌ها، نهشته‌های ضخیمی از گوانو (فضولات خفاش‌ها) را مشاهده نموده‌اند. بر پایه توزیع عناصر جزئی و نادر خاکی و سن‌سنجی به روش C14 شروع نهشته شدن گوانوها در غار کرفتو 14260 ± 50 BP، پس از آخرین دوره یخچالی بزرگ جهانی ثبت شده در دریاچه زیوار و کوه‌های زاگرس، با میانگین نرخ ته‌نشینی $3/7$ میلیمتر در سال بوده است.

در این مطالعه تعیین سن شکل‌گیری غار کرفتو در استان کردستان با استفاده از روش‌های چینه‌شناسی (سازندی) و ساختاری انجام شده است. به عبارت دیگر تعیین زمان شروع فرایند انحلال و تشکیل فضاهای کارستی در غار کرفتو نوآوری است که تا کنون در مورد آن انجام نگرفته است و در پژوهش حاضر به آن پرداخته شده که در ادامه آن را شرح می‌دهیم.

روش‌شناسی پژوهش

- محدوده مورد مطالعه

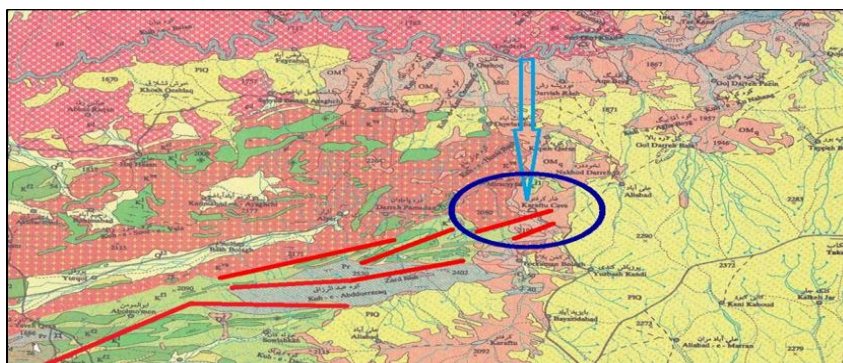
غار کرفتو با مختصات جغرافیایی طول 46° درجه و $50'$ دقیقه شرقی و عرض 36° درجه و $20'$ دقیقه شمالی (مختصات: UTM: 38S 668400 E, 4022431 N) در فاصله 45 کیلومتری شمال شهر دیواندره واقع شده است. این غار از طریق جاده‌های آسفالتی قابل دسترسی بوده و از سمت جنوب به شهر دیواندره، از سمت شرق به شهر تکاب و از سمت غرب به شهر سقر منتهی می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی محدوده غار کرفتو

منبع: امین رسولی و همکاران (۱۴۰۰)

ار کرفتو بر روی صخره‌ای عظیم به طول 1500 متر و پهنای 700 متر واقع شده است (میراسکندری، ۱۳۹۸). دهانه این غار در ارتفاع 15 متری از دیواره صخره‌ای و در ارتفاع 2050 متری از سطح دریا قرار دارد و طول محور اصلی آن، با امتداد کلی شمال شرق - جنوب غرب، حدود 600 متر برآورد شده است (سلاحی، ۱۳۸۷).



شکل ۲. موقعیت رودخانه ساروق و گسله‌ای منطقه نسبت به محدوده غار کرفتو بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه

منبع: سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۳۹۰

از منظر دسته‌بندی کلی، غار کرفتو در زمره غارهای آهکی - تاریخی قرار می‌گیرد و در اثر فعالیت چشمه‌های غارزا شکل گرفته است که در نتیجه آن، فضای خالی‌ای به وسعت حدود ۷۰,۰۰۰ مترمربع ایجاد شده است. بررسی‌های میدانی و مطالعات نقشه زمین‌شناسی منطقه (خلقی، ۱۳۷۸) نشان می‌دهد که آب‌های نفوذی ناشی از بارش‌های جوی و جریان آب‌های زیرزمینی، از طریق گسل‌ها و شکستگی‌های موجود به لایه‌های آهکی نفوذ کرده و در شکل‌گیری این غار نقش داشته‌اند (شکل ۲).

- روش تحقیق

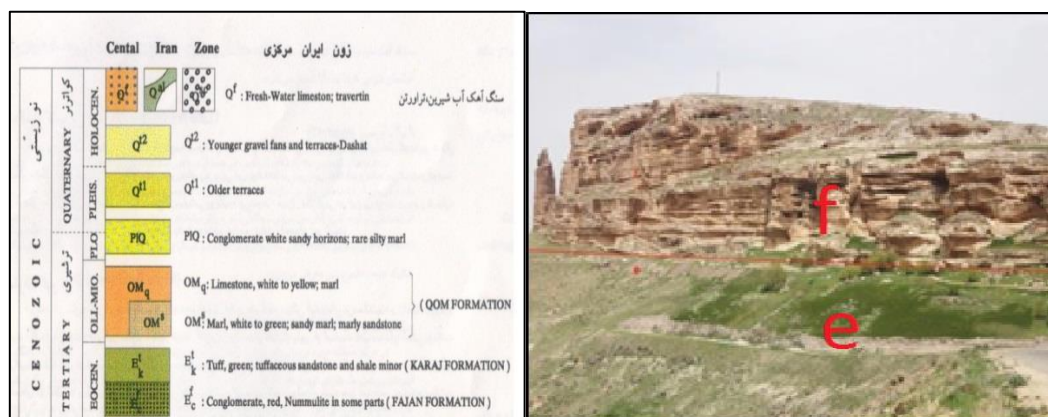
پژوهش حاضر بر مبنای تلفیق دو روش (۱) بررسی‌های صحرایی و (۲) بررسی‌های نظری انجام گرفته است. در مرحله اول باتوجه به بررسی‌های میدانی ابتدا فضای درونی غار کرفتو شامل راهرو اصلی و انشعابات فرعی آن مطالعه و آثار عملکردهای زمین‌شناختی موجود در آن مطالعه گردیده، سپس فضای بیرونی و پیرامونی غار شامل: (الف) دیواره اصلی ورودی غار و ادامه یافتگی جانبی آن و (ب) لایه‌ها و سازندهای زمین‌شناسی رخنمون یافته منطقه‌ای که غار و روستاهای مجاور بخشی از آن را شامل می‌گردد موردتوجه قرار گرفته است. در مرحله دوم باتوجه به نقشه‌ها و گزارش‌های زمین‌شناسی تهیه شده پیشین از منطقه و تلفیق آن با بررسی‌های صحرایی، چگونگی عملکرد پدیده‌های زمین‌شناختی مورد مطالعه قرار گرفته است.

از آنجایی که تعیین سن مطلق و زمان دقیق تشکیل یک سامانه رسوبی باز مانند غار کاری دشوار و همراه با تأثیر متغیرهای متعدد است بکارگیری روش گاه‌نگاری و تعیین سن نسبی (چینه‌شناختی) متداول‌ترین روش برای تعیین محدوده زمانی تشکیل آن است. در این روش اساس کار بر شناسایی زمان تشکیل دیرینه واحدهای سنگ چینه‌ای حد زیرین، و حد بالایی بخش کارستی شده است. از آنجایی که این شرایط در مورد غار کرفتو مهیا می‌باشد و دوره، عصر و اشکوب تاریخی زمین‌شناختی تشکیل واحدهای بالایی و زیرین و واحد سنگی میانی که محل گسترش فرایند کارستی شدن است قابل تشخیص است می‌توان با بکارگیری این روش گاه‌نگاری پیدایش غار کرفتو را به انجام رسانید.

یافته‌ها و بحث

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

منطقه کرفتو در شمال استان کردستان و در حاشیه جنوبی زون ساختاری ایران مرکزی قرار گرفته است که عمدتاً شامل دشت‌های نسبتاً فراخ و همواری است که از میان آن و به‌صورت پراکنده ارتفاعات متوسط تا رفیعی سر برآورده‌اند، این ارتفاعات به‌ویژه در محدوده شمالی و شمال شرقی استان کردستان غالباً از آهک‌های متراکم و با استحکام، ضخیم لایه تا توده‌ای تشکیل گردیده‌اند. مهم‌ترین مجموعه زمین‌شناسی که گستره آن نواحی شرقی و مرکزی ایران تا بخش‌های غربی و جنوب غرب را دربرگرفته سازند قم نام دارد که با ضخامت زیاد و با تنوع سنگ‌شناسی مجموعه‌ای از لایه‌های سنگی یا ممبرهای تشکیل‌دهنده را شامل می‌گردد که با حروف a تا f نام‌گذاری گردیده‌اند. این مجموعه از نظر زمانی متعلق به عصر الیگومیوسن از دوران سوم زمین‌شناسی است. بالاترین اعضا یا ممبرهای سازند مذکور دو واحد e با جنس مارن‌های سبزرنگ با قابلیت فرسایش‌پذیری بالا (OMs) و واحد f با جنس آهک سفید - کرم رنگ ضخیم لایه با قابلیت انحلال‌پذیری بالا (OMq) را شامل می‌گردد (آقا نباتی، ۱۳۸۵) که هر دو در محدوده غار کرفتو توسعه قابل توجهی دارند (شکل ۳).



شکل ۳. ستون چینه‌شناسی سازندها و موقعیت واحدهای سنگی e و f مربوط به نقشه زمین‌شناسی منطقه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

زمین‌شناسی محدوده غار کرفتو

محدوده زمین‌شناسی غار کرفتو دیواره عظیمی به بلندای ۵۰ متر و طول قریب ۱۵۰ متر را شامل می‌گردد که از آهک‌های ضخیم لایه و روشن رنگ‌بخش پایانی سازند قم (ممبر f) تشکیل شده است که سن آن به اشکوب بوردیگالین از عصر میوسن (بخش زیرین) نسبت داده می‌شود (رحیم‌زاده، ۱۳۷۳) در زیر این واحد لایه مارنی ضخیم ممبر c قرار گرفته که به علت فرسایش‌پذیری شدید بخش‌های فروافتاده مجاور دیواره و آبراهه‌های توسعه‌یافته اطراف محدوده را شکل داده است این روند در کوه موسوم به سه‌خواهران در محدوده جنوبی غار قرار دارد تکرار شده است.

پس از سازند قم در منطقه مورد بررسی واحدهای آبرفتی روشن رنگ با استحکام یافتگی ضعیف شامل کنگلومرا، ماسه و سیلت استون متعلق به پایان دوران سوم موسوم به پلیوسن - کواترنری (PLQ) جای‌گیری شده که ضخامت زیادی داشته و در ارتفاعات شرقی محدوده (به سمت روستای علی‌آباد) مشاهده می‌گردد (شکل ۴) به این ترتیب نبود چینه‌شناسی شاخصی مربوط به پایان عصر میوسن (میانی - بالایی) متعلق به تشکیلات سرخ بالایی (U.R.F) رخ داده که عامل آن خروج از آب و فرایند خشکی‌زایی و فرسایش در پایان حوضه رسوبی مذکور بوده است، همین عامل می‌تواند حذف بخش‌های بزرگی از واحد آهکی f را باعث گردیده و انحلال‌پذیری آهک را در بخش باقیمانده تشدید کرده باشد.

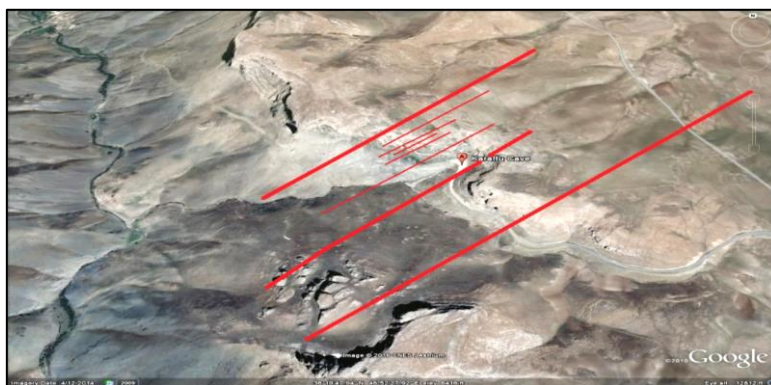
فعالیت‌های تکتونیکی منطقه

بررسی نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ایرانخواه در منطقه منتهی به غار کرفتو نشان می‌دهد که گسل‌هایی با روند کلی SW-NE آن را تحت تأثیر قرار داده‌اند که گسل روستای زیویه با طول ۲۶ کیلومتر با عملکرد معکوس بزرگ‌ترین آنان است. این گسل‌ها در کنتاکت با واحدهای قدیمی دوران دوم (ژوراسیک و کرتاسه) بوده و در انتها واحدهای آهکی - مارنی سازند قم را قطع نموده‌اند. گسل‌های مذکور در واحد PLQ دیده نمی‌شوند.

گسل‌های محدوده غار و آثار عملکرد پیرامونی و درونی آن

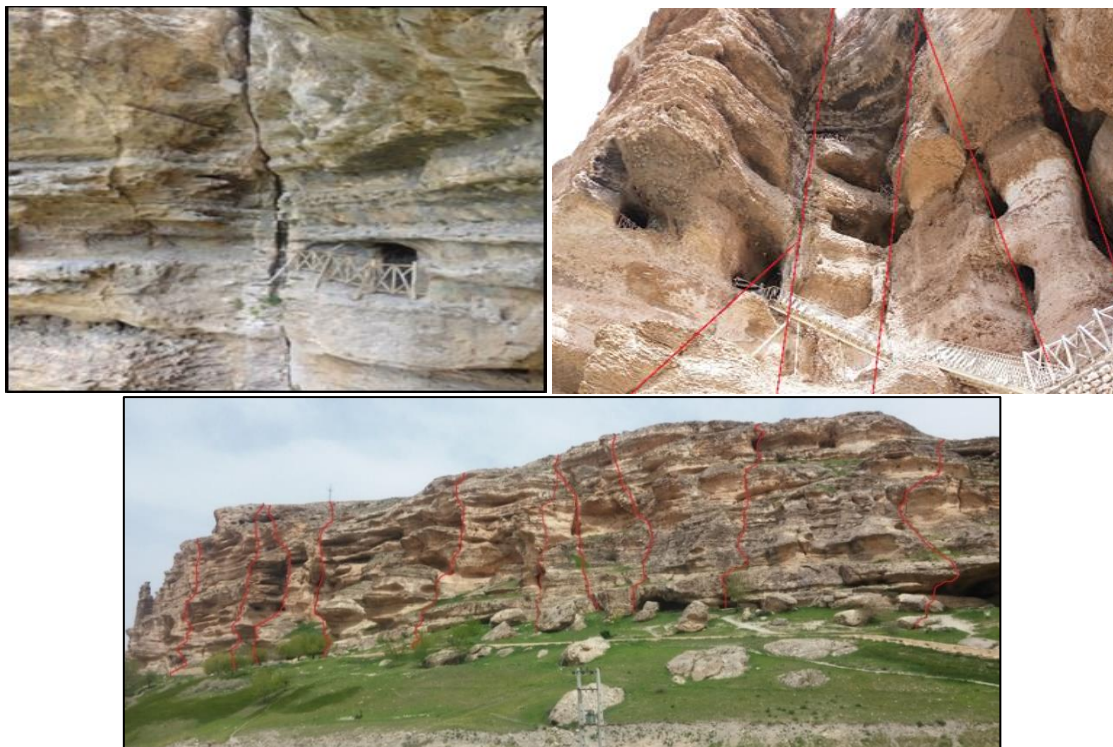
شبکه گسلی فشرده‌ای در ادامه گسل‌های منطقه‌ای فوق‌الذکر واحدهای آهکی و مارنی سازند قم را در کوه سه‌خواهران و دیواره غار کرفتو قطع نموده‌اند. این گسل‌ها نیز روند کلی شمال شرق - جنوب غرب دارند که با امتداد محور اصلی غار یکسان است (شکل ۴) در پای دیوار صخره‌ای غار مقطع این گسل‌ها به‌خوبی قابل‌دیدن است (شکل ۵) و در اثر عملکرد آن‌ها خردشدگی شدیدی در لایه‌های آهکی ضخیم و توده‌ای محل غار دیده می‌شود که فرایند انحلال را تشدید کرده است.

در درون غار صفحه گسلی با امتداد ۱۵ N تا ۲۵ N (درجه) دیده می‌شود که توسعه‌یافتگی محور طولی غار کاملاً بر آن منطبق است (شکل ۶).



شکل ۴. موقعیت شماتیک شبکه گسلی محدوده غار کرفتو

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳



شکل ۵. مقطع عرضی گسل (شبکه گسلی) تأثیرگذار بر شکل‌گیری محور اصلی غار کرفتو - دید به شمال
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳



شکل ۶. راستای درونی گسل منطق بر محور اصلی توسعه غار با امتداد ۱۵ درجه شمالی - طبقه سوم راست دید به جنوب، چپ دید به شمال
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

بیشتر فضاهای طبیعی شکل‌گرفته در دو سوی راهرو اصلی غار (با جهت‌گیری شرقی-غربی) و همچنین اتاق‌های کنده‌کاری‌شده منطق با آن در هر سه طبقه، بر امتداد گسل‌های فرعی با جهت N 285 تا N 310 درجه منطق‌اند؛ این گسل‌ها تقریباً عمود بر راهرو اصلی قرار دارند (شکل ۷). از سوی دیگر، شبکه‌ای بسیار متراکم از درزه‌های عمودی با فراوانی بالا (VHFF)، ناشی از گسل‌خوردگی (Ford, 2007)، در واحد ترد و شکننده آهک‌های ممبر F از سازند قم مشاهده می‌شود؛ این ساختار شکستگی چه در دیواره بیرونی مدخل غار و چه در ادامه درونی آن حضور داشته و با محور اصلی توسعه غار و شاخه‌های عرضی آن تطابق کامل دارد (شکل ۸).



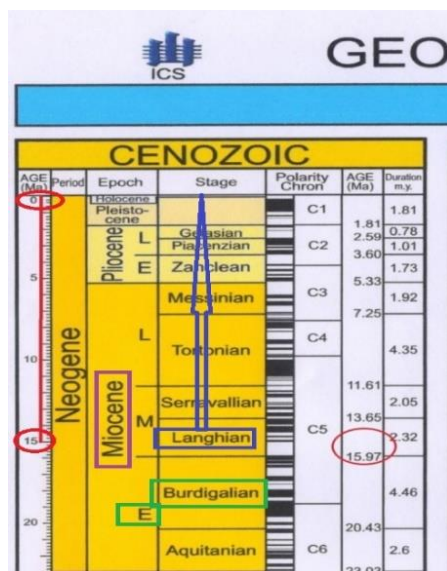
شکل ۷. شبکه گسل‌های فرعی متقاطع محور اصلی عامل توسعه جانبی غار - بالا دید به غرب، پایین دید به شرق
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳



شکل ۸. شبکه درزه‌های بسیار متراکم ناشی از گسلش واحد آهکی f در دیواره بیرونی و داخل غار
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

بررسی‌های صحرایی و مشاهده فرایند غار سازی در درون راهرو اصلی غار کرفتو نشان می‌دهد که نفوذ آب از بالا و از محل صفحه گسلی اصلی و شعبات فرعی دو طرف آن صورت گرفته و توسعه فضای طولی و فضاهای عرضی منتهی به آن‌ها را در واحد آهکی f سازند قم باعث گردیده است. از طرفی واحد آهکی f مربوط به اشکوب بوردگالین (میوسن زیرین) بوده (رحیم‌زاده، ۱۳۷۳) و عملکرد گسلی بعد از تشکیل آن روی داده است، همچنین اثری از واحدهای سنگی میوسن میانی - بالایی در منطقه دیده نمی‌شود (خلقی، ۱۳۷۸) و بلافاصله بعد از واحد f واحدهای رسوبی آبرفتی پلیوسن کواترنری نهشته شده‌اند که معرف ناپیوستگی فرسایشی شاخصی در منطقه است. از آنجایی که شبکه گسلی مذکور واحد آهکی پایانی f را قطع نموده‌اند و در واحدهای پلیوسن - کواترنری ادامه ندارند به نظر می‌رسد سن عملکرد آن‌ها مربوط به تأثیر

فاز کوه‌زایی استرین در ابتدای عصر میوسن میانی و اشکوب لانگین (گراشتاین^۱، ۲۰۰۴) بوده و فرایند اصلی تشکیل غار پس از وقوع آن‌ها شروع شده باشد؛ لذا سن حداکثری تشکیل غار به این مقطع زمانی مربوط بوده و قدمتی در حدود ۱۶ میلیون سال است. از طرف دیگر سن حداقلی آن را می‌توان به پلیوسن آغازی باسن ۵ میلیون سال نسبت داد (شکل ۹). لازم به ذکر است که تعیین سن حداقلی برای شروع تشکیل غار کرفتو باتوجه‌به نبود چینه‌شناسی واحدهای میوسن میانی و بالایی مشکل بوده و نیازمند بررسی‌های گاه‌نگاری بروش مطلق است.



شکل ۹. محدوده زمانی تشکیل غار کرفتو بر مبنای چارت کمیسیون بین‌المللی چینه‌شناسی (ISC)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

نتیجه‌گیری

بررسی‌های صحرایی و مشاهده فرایند غار سازی در درون راهرو اصلی غار کرفتو نشان می‌دهد که نفوذ آب از بالا و از محل صفحه گسلی اصلی و شعبات فرعی دو طرف آن صورت گرفته و توسعه فضای طولی و فضاهای عرضی منتهی به آن‌ها و همچنین خردشدگی شدید دیواره آهکی در بسیاری نقاط را در واحد آهکی f سازند قم مربوط به عصر الیگو - میوسن باعث گردیده است. به عبارتی شبکه گسلی فشرده‌ای در ادامه گسل‌های منطقه‌ای مجاور محدوده کلی غار واحدهای آهکی و مارنی بالایی سازند قم را در کوه سه‌خواهران و در دیواره غار کرفتو قطع نموده‌اند. این گسل‌ها روند کلی شمال شرق - جنوب غرب دارند که با امتداد محور اصلی غار یکسان است. اما باتوجه‌به عدم تأثیرپذیری واحدهای رسوبی پوشاننده آهک مربوط به عصر پلیوسن - کواترنری از گسل‌های مذکور به نظر می‌رسد زمان عملکرد این گسل‌ها مربوط به تأثیر فاز کوه‌زایی استرین در ابتدای عصر میوسن میانی و اشکوب لانگین بوده و فرایند اصلی تشکیل غار پس از وقوع آن‌ها (حداصل میوسن میانی تا انتهای میوسن پایانی با قدمت نسبی حداکثر پانزده تا حداقل پنج میلیون سال قبل) شروع شده باشد.

آنچه که می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین محدودیت در پژوهش حاضر به آن اشاره کرد دشواری انجام روش‌های تعیین سن مطلق در درون فضاهای رسوبی مرتبط با غارها و بر روی اشکال ساختاری مربوط به آنها به‌ویژه قندیل‌های اولیه شکل گرفته است که می‌تواند نقش مهمی در دقت بخشیدن به تعیین زمان شروع فرایند تشکیل غار کرفتو داشته باشد. باتوجه‌به این نکته و همچنین باتوجه‌به بررسی‌های میدانی انجام شده در محدوده غار کرفتو و مشاهدات به‌عمل آمده در درون آن و همچنین مرور منابع و تصاویر ماهواره‌ای موجود به نظر می‌رسد شناخت کامل‌تر سازوکار تشکیل غار نیازمند مطالعات تکمیلی است که اهم موارد پیشنهادی آن عبارت‌اند از: الف) مطالعه حوضه هیدروژئولوژیکی آب‌های زیرزمینی منطقه و تأثیر آن بر فرایند تشکیل غار. ب) مطالعه ارتباط احتمالی رودخانه‌های دائمی منطقه به‌ویژه رودخانه ساروق در شمال محدوده با منبع آب زیرزمینی منطقه و احتمال انتقال آن به پهنه کارست زایی غار، به کمک روش‌های مسیریابی جریان آب زیرزمینی در زمان حاضر. ج) مطالعه و برداشت درزه نگاری بر روی پهنه عظیم آهکی محدوده غار به‌منظور شناخت عملکرد دقیق تکتونیک شبکه گسلی به وجود آمده و تأثیر آن در شکل‌گیری فضاهای کارستی موجود. د) نمونه‌برداری و انجام مطالعه دقیق سنگ‌شناسی ماکروسکوپی و میکروسکوپی سنگ میزبان آهکی به‌منظور تعیین میزان تخلخل اولیه، انحلال‌پذیری و مقاومت فشاری آن. ه) مطالعه و شناسایی ساختارها و اشکال ژئومورفولوژی به‌ویژه قندیل‌های اولیه در بخش‌های عمیق غار به‌منظور بررسی امکان‌پذیری تعیین سن مطلق بر روی آن‌ها.

حامی مالی

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسنده اول: تمام مراحل تحقیق توسط نویسنده انجام شده است.

تضاد منافع

نویسنده (نویسندگان) اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

از پژوهشکده کردستان‌شناسی دانشگاه کردستان به‌ویژه ریاست محترم سابق آن جناب آقای دکتر امید قادرزاده به‌واسطه همکاری و مساعدت در انجام تحقیق و همچنین سرکار خانم فرانک شاه مرادی که در ترجمه متون موردنظر اینجانب را یاری نمودند، تشکر می‌نمایم.

منابع

۱. بیاتی، مریم؛ شهابی، هیمین و قادری‌زاده، هانا (۱۳۸۹). ژئوتوریسم، رویکردی نو در بهره‌گیری از جاذبه‌های ژئومورفولوژیکی (مطالعه موردی: غار کرفتو در استان کردستان). *فضای جغرافیایی*، ۱۰(۲۹)، ۵۰-۲۷. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/fa>
۲. ترخانی، مهدی؛ بهاروند، ندا و بدریفر، منصور (۱۳۸۹). بررسی غار تاریخی کرفتو از دیدگاه ژئوتوریسم. *فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع*، ۳(۶)، ۲۸-۱۹.
۳. خلقی خسرقی، محمدحسین (۱۳۷۸). نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ ایران، برگ شماره ۵۳۶۲: ایرانخواه. تهران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۴. داوری، محمدصادق؛ باصفا، حسن و طغریایی، محمود (۱۳۹۹). تبیین گاهنگاری نسبی استقرارها و ارزیابی نظام‌های فرهنگی پیش از تاریخ حوضه کشف‌رود (دشت مشهد) از دوره نوسنگی تا مفرغ میانی. *مطالعات باستان‌شناسی*، ۱۲(۳)، ۴۱-۶۳. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2020.290461.142792>
۵. رحیم‌زاده، فرامرز (۱۳۷۳). *زمین‌شناسی ایران (الیگوسن، میوسن، پلیوسن)*. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
۶. رسولی، امین؛ حقیقت‌جو، نسیم و مرادی، مهدی (۱۴۰۰). ژئوشیمی و سن‌سنجی C۱۴ نهشته‌های گوانو غار کرفتو، دیواندره، استان کردستان. *مجله پژوهشی علوم زمین*، ۳۱(۲)، ۳۰-۲۱. <https://doi.org/10.22071/gsj.2020.220928.1762>
۷. سبک‌خیز، فاطمه؛ حجازی، سیدحسن و مقدسین، محسن (۱۳۹۱). تحلیل ژئوتوریستی غار خاصه‌تراش با استفاده از روش پرالانگ. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۳(۲)، ۶۹-۸۶. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20085362.1391.23.2.5.5>
۸. سلاخی، مصطفی (۱۳۸۷). *غارهای ایران*، نشر نی، تهران.
۹. قاسمی، اصغر؛ کریمی سلطانی، پیمان و خدایاری، شاپور (۱۳۹۰). عوامل مؤثر در پیدایش غار کرفتو استان کردستان. *مجله رشد آموزش جغرافیا*، ۲۶(۲)، ۵۲. <https://www.roshdmag.ir/fa/magazine2/issue/accordionarchive/21>
۱۰. قبادی، محمد حسین؛ محبی حسن‌آبادی، یزدان و عبدی‌لر، یاسین (۱۳۹۰). نقش مطالعات ژئومورفولوژی کارست در شناخت منشاء غارها. *نشریه انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران*، ۴(۳ و ۴)، ۱۹-۳۰. https://www.jiraeg.ir/article_68301.html
۱۱. قبادی، محمدحسین (۱۳۸۸). *زمین‌شناسی مهندسی کارست*. (چاپ دوم)، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان.
۱۲. میراسکندری، سید محمود؛ چاپچی امیرخیز، احمد (۱۳۹۸). تحلیل آثار به‌دست‌آمده از کاوش طبقه C غار کرفتو در شمال شرق ایران. *فصلنامه علمی پژوهشی اثر*، ۴۰(۱)، ۱-۱۷. <http://athar.richt.ir/article-2-371-fa.html>
۱۳. نباتی، سید علی (۱۳۸۵). *زمین‌شناسی ایران*. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
۱۴. یوسفی، مژگان (۱۳۹۴). *بررسی و تحلیل مخاطرات محیطی در منطقه کارستی غار کرفتو*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: سعید خضری، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان.

15. Gradstein, F., & Ogg, J. (2004). Geologic time scale 2004 - why, how, and where next!. *Lethaia*, 37(2), 175-181. <https://doi.org/10.1080/00241160410006483>

16. Ford, D., & Williams, P. (2007). *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>