تاریخ دریافت : ۸۵/۲/۱۵
تاریخ پذیرش نهایی: ۸۵/۳/۳۰

مطالعه ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و ژنز غار آبی سهولان، شمال غرب ایران

اصغر اصغری مقدم*
محسن موید**
عطاالله ندیری***

چکیده

غار آبی سهولان یکی از مهم‌ترین غارهای توریستی ایران است که در شمال غرب کشوردر استان آذربایجان غربی قرار دارد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه منطقه غار جزو اقلیم نیم مرطوب سرد تعیین شده است. تا به حال در مورد ژئومورفولوژی، زمین شناسی و ژنز این غار مطالعات اکادمیکی زیادی صورت نگرفته است. هدف این مطالعه بررسی موارد فوق و ارائه مدل تکاملی غار سهولان می باشد. این غار در درون سنگ‌های آهکی و دولومیتی پرمین با ضخامتی حدود ۳۰۰ متر و با فراوانی متوسط از درز و شکاف و سطوح لایه بندی با شیبی بین ۳۵ تا ۵۵ درجه به سمت جنوب غرب تشکیل شده است.

غار سهولان در کل از دو نوع گذرگاه تشکیل یافته است: گذرگاه آبی که حجیم و حاوی عوارض کارستی فراوان است و گذرگاه خشک که خطی و کم توسعه بوده و فاقد عوارض کارستی قابل ملاحظه می‌باشد. عوامل مؤثر در تشکیل این غار را می‌توان در سه مقوله کلی بیان کرد: الف) عوامل لیتوژیکی شامل وجود آهک‌ها ودولومیت‌های ضخیم لایه و لایه شیلی زیرین در منطقه، ب) عوامل تکتونیکی از قبیل گسل‌ها، درزها و شکستگی‌ها

* دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز.
** استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز.
*** دانشجوی کارشناسی ارشد آبشناسی گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز.

و ج) وجود فعالیت‌های ولکانیکی جوان در منطقه که باعث افـزایش میـزان CO_2، SO_4 در آب زیرزمینی و انحلال کربنات‌ها شده است

واژگان کلیدی

دولومیت، ژنز غار، ژئومورفولوژی ، غار سهولان و گذرگاه آبی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

اولین نشانه استفاده انسان از غار در ناحیه ژوکودین[1] در نزدیکی شهر پکن یافت شده است. غار بزرگ شاندایر[2] در عراق نشانه هایی از سکونت توسط انسان نئاندرتال در حدود ۴۰۰۰۰۰ سال قبل را در خود دارد. مثال های فراوانی از هنر باستانی را می توان روی دیوارهای غارهای سنگ آهکی مثل غار آلتامیرا[3] در اسپانیا غار نیاکس[4] در کوه‌های پیرنه و سایر غارها یافت (Glilison,1996).

غارهای موجود در طبیعت را عمدتاً براساس مشخصه های داخلی مانند اندازه، ابعاد عمودی یا افقی، شکل پلان، سطح مقطع گذرگاه، ارتباط با سطح سفره آب زیرزمینی منطقه ای و عوامل خارجی، نظیر عوامل زمین شناسی، موقعیت توپوگرافی، سیستم آب‌های تغذیه کننده، نوع سفره آب زیرزمینی، نقش سیکل هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و شرایط اقلیمی تقسیم بندی می کنند. کاربردی ترین طبقه بندی از غارها توسط بوگلی[5] و وایت[6] ارائه شده است. گلیسون[7] غارها را از نظر مدیریتی بر اساس عواملی مانند ملاحظات زمین شناختی، ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، زیست شناختی، دیرینه شناختی، فرهنگی و جغرافیایی به ۶ گروه تقسیم بندی نمود.

غارها از لحاظ ابعاد، طول ، عمق و سایر مشخصات بسیار متفاوتند. می توان گفت که بیشتر غارهای عمیق دنیا در اروپا و اغلب غارهای طویل دنیا در آمریکا واقع شده‌اند که عمیق ترین آنها با عمق ۱۶۰۲ متر زیر سطح آب‌های آزاد بنام غار Reseau Jean-Bernard در فرانسه و طویل‌ترین آنها با طول ۵۳۱۰۶۹ متر به نام Mammoth Cave System در آمریکا قرار گرفته است (Glilison,1996). وجود آهک‌های وسیع با لایه-بندی افقی در آمریکا و برعکس وجود آهک‌های پرشیب و ضخیم لایه در اروپا یکی از دلایل این امر می باشد. تلاش برای توضیح منشاء غارها از اروپا آغاز شد و در آمریکای

1. Zhoukoudian.
2. Shandiar.
3. Altamira.
4. Niaux.
5. Boglli, 1980.
6. White, 1988.
7. Glilison, 1996.

شمالی بسیاری از تئوری‌های سیستماتیک به کار دانشمندانی چون پایپر، داویس، گاردنر، اسوینرتون در دهه ۱۹۳۰ بر می‌گردد.

ون کنبل[1] و مارتل[2] محل تشکیل غارها را در منطقه وادوز دانستند که به تئوری وادوز شهرت یافت. تئوری فرآتیک عمیق (تشکیل غارها در منطقه اشباع عمیق) را دیویس[3] با استفاده از ایده‌های ویجیک[4] و گراند[5] مطرح کرد و اسوینرتون[6] برای اولین بار و پس از او رودیز و سیناکوری[7] تئوری فرآتیک کم عمق را مطرح نمودند (White,1988).

فورد و ایورس[8] مدل چهار حالتی را برای توسعه سیستم غارها ارائه داده اند. سپس فورد و ویلیامز[9] مدل چهار حالتی را به شش حالت افزایش دادند. مدل فورد و ایورس با تکیه بر عوامل زمین شناسی و شرایط هیدروژئولوژیکی، بسیاری از ایده های اروپاییان را که براساس مشاهدات آنها در غارهای آلپی بوده است و همچنین نظرات آمریکائی‌ها را که بر اساس مشاهدات آنها از کارست‌های کم ارتفاع در آهک‌های با لایه‌های تقریباً افقی می‌باشد، کامل کرد (White,1988). با این حال هنوز هم روش‌های موجود جهت تشخیص غارهای وادوز از فراتیک با ابهاماتی روبروست (Palmer, 2000).

غار آبی سهولان در جنوب استان آذربایجان غربی و جنوب شرق شهرستان مهاباد واقع شده که مختصات جغرافیایی آن □۲۱ ´ ۳۹ °۳۶ عرض شمالی و□۱۳ ´ ۵۷ °۴۵ طول شرقی می باشد. دسترسی به این غار از طریق جاده مهاباد ـ بوکان تا سه راهی روستای عیسی کندی و از آن پس از جاده فرعی به سمت روستای سهولان امکان‌پذیر است که حدود ۴۰ کیلومتر طول دارد. غار در دامنه کوهی به نام کونه قوتر به ارتفاع ۲۲۲۲ متر قرار گرفته است. کونه قوتر خود در یال شرقی رشته کوهی با امتداد تقریبی شمالی ـ جنوبی واقع شده است که دو حوضه سیمینه رود و مهاباد چای را از همدیگر جدا می‌کند. غار دارای دو بخش خشک و آبدار می باشد. سطح آب در داخل غار حدود ۱۷۵۰ متر

1. Von knebel, 1906.
2. Martel, 1921.
3. Davies, 1930&1931
4. Cvijic, 1893.
5. Grund,1903.
6. Swinnerton, 1932.
7. Rhoades & Sinacori, 194.
8. Ford & Ewers, 1978.
9. Ford & Williams, 1989.

بالاتر از سطح دریاهای آزاد و تقریبا ۲۰ متر پایین تر از ورودی اصلی غار می‌باشد. شکل ۱ موقعیت غار را در شمال‌غرب کشور نشان می‌دهد. غار سهولان از زمان‌های خیلی قدیم مورد استفاده انسان بوده است. ولی با این حال برای اولین بار ژاک دمورگان، جهانگرد معروف فرانسوی آن را گزارش کرده است. وی در فاصله سال‌های ۱۸۹۲ تا ۱۸۹۶ میلادی در ایران بوده و کتاب جغرافیای غرب ایران را به نگارش در آورده است. کروکی رسم شده به وسیله وی در مورد غار و گذرگاه‌های آن تا حدود زیادی با آنچه امروز می بینیم، مطابقت دارد. در سال ۱۳۵۰ شمسی یک هیأت غارنورد از دانشگاه آکسفورد با تجهیزات کامل به منطقه آمده واز غار دیدن کردند که به نظر می‌رسد گزارش این گروه تا به حال در ایران منتشر نشده است. در چند سال اخیر مطالعات اولیه‌ای از بعد باستانشناسی در داخل و اطراف غار انجام یافته که در کاوش‌های انجام یافته سفال‌های مربوط به دوره اشکانی، پارت‌ها و جام مسی و پی سوز مربوط به دوره ایلخانان مغول به تایید کارشناسان رسیده است. این آثار اغلب در بخش خشکی غار یعنی «کونی مالان» یافت شده است (پیر خراطی، ۱۳۷۵).

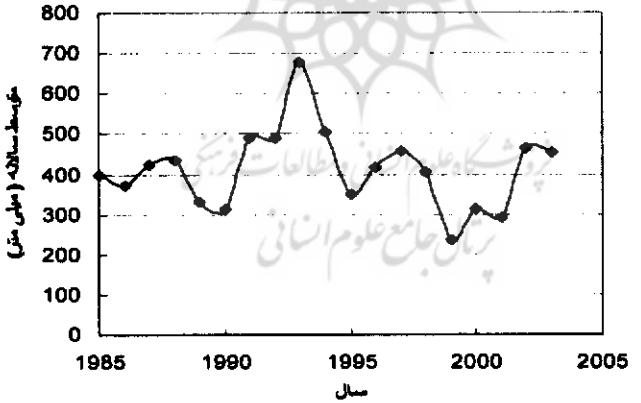
شکل ۱ نقشه راه‌های دسترسی و موقعیت روستای سهولان در شمال‌غرب کشور

آب و هواشناسی منطقه غار

تحلیل داده های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مهاباد، نزدیکترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه، از سال ۱۳٦٤ تا ۱۳۸۲ نشان می دهد که منطقه مورد مطالعه دارای میانگین

بارش سالیانه ٤٤٠ میلی‌متر بوده و در بعضی از سال‌ها مانند سال ٦٧-٦٦ میزان نزولات جوی به بیش از ٦٢٠ میلی‌متر رسیده است (شکل۲).

میانگین درصد بارندگی در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان در طی دوره آماری ١٨ ساله (١٣٦٤-١٣٨٢) به ترتیب ٢٩، ١، ٢٩ و ٤١ درصد می باشد. میانگین درجه حرارت ماه‌های سال در دوره آماری مذکور بین ٢٤ درجه سانتی‌گراد بالای صفر در مرداد و ٧- درجه سانتی‌گراد در بهمن ماه در نوسان بوده است. ضمناً حداکثر دمای اندازه‌گیری شده و متوسط دمای حداکثر ماهیانه به ترتیب ٤٢ درجه در تیر ماه و٣٣ درجه در مرداد ماه می باشد. همچنین حداقل دمای اندازه‌گیری شده و متوسط دمای حداقل ماهیانه به ترتیب ١٩- درجه سانتی‌گراد در دی و ٧- درجه سانتی‌گراد در بهمن بوده است. در کل میانگین دمای سالیانه منطقه حدود ١٢ درجه سانتی‌گراد می باشد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی به روش‌های دومارتن و آمبرژه، منطقه به ترتیب در حد واسط بین اقلیم‌های نیمه خشک و مدیترانه‌ای و نیم مرطوب سرد تعیین شده است.



شکل۲ مقادیر نزولات جوی مهاباد در یک دوره ١٨ ساله

هواشناسی داخل غار

خصوصیات هواشناسی غار (Spelemeteorology) شامل سه عامل درجه حرارت، رطوبت نسبی و باد می‌باشد که نقش هر کدام در غار سهولان توضیح داده می شود.

میانگین درجه حرارت غار سهولان در طول سال در حدود ۱۳ درجه سانتی‌گراد بوده و تغییرات آن کم می‌باشد، البته مناطقی که به ورودی‌های غار نزدیک هستند معمولا بیشتر تحت تاثیر دمای بیرون غار قرار می‌گیرند. ولی سایر نقاط غار معمولا دمای ثابتی دارد. البته با ورود هرچه بیشتر بازدیدکنندگان به غار، دمای غار به همان نسبت افزایش می‌یابد. مروسالیوان، ۱۹۷۸ (نقل از کوثر،۱۳۷۳) فرمول تجربی زیر را برای محاسبه درجه حرارت میانگین غارها با عرض‌های جغرافیایی متوسط ارائه داده‌اند:

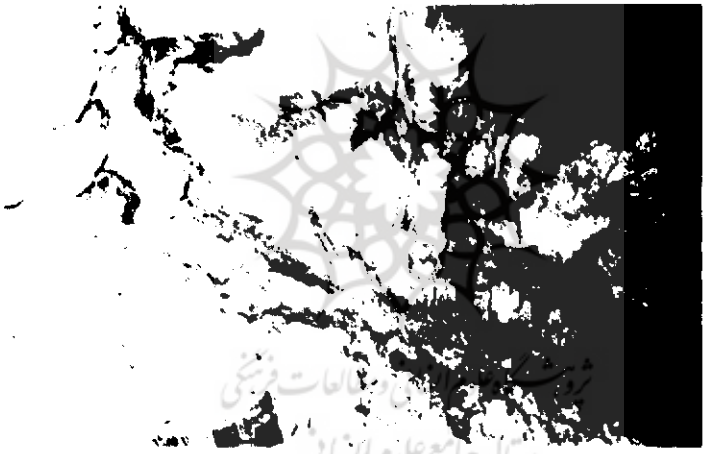
$$T(C^{\circ}) = 38 - 0.6L - 0.002h$$

که L عرض جغرافیایی و h ارتفاع از سطح متوسط دریاها می‌باشد. با توجه به عرض جغرافیایی غار سهولان□۲۱ ´۳۹ °۳۶ و ارتفاع ۱۷۷۰ متری که دهانه غار در آن واقع شده است، متوسط درجه حرارت غار مورد مطالعه ۱۲/٤٦ درجه سانتی‌گراد محاسبه می‌شود. که با آنچه در واقعیت دیده می‌شود (۱۳درجه) اختلاف اندکی دارد. رطوبت نسبی عامل دیگری است که در مطالعات هواشناسی غار مورد توجه قرار می‌گیرد. مقدار این فاکتور نیز همانند درجه حرارت در مبادی ورودی غار بیشتر تحت تاثیر محیط بیرون قرار می‌گیرد ولی در حالت کلی رطوبت هوای داخل غار در تالار اصلی و حوضچه دوم حداکثر مقدار خود را دارا است. طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده رطوبت نسبی هوای داخل غار ۷۰ الی ۸۰ درصد بوده و فشار هوا در داخل غار در حدود ۸۷۰ میلی بار گزارش شده است (احمدی راد، ۱۳۸۳). با توجه به اینکه هر دو دهانه غار بالاتر از کل سیستم غار واقع شده‌اند و از طرفی پیچیده بودن مسیرها و تالارها نیز مانع جدی بر سر راه وزیدن باد می‌باشد، بنابراین اثرات باد در داخل غار مشاهده نمی‌شود.

اکولوژی غار آبی سهولان

اکولوژی بیرون غار: ارتفاعات پیرامون غار بیشتر از صخره های کربناته تشکیل شده‌اند که انواعی از مورفولوژی‌های سطحی کارست را در خود دارند. این مناطق غالباً فاقد پوشش گیاهی هستند و یا پوشش گیاهی بسیار تنک می باشد. در ارتفاعات خاک دیده نمی شود و در صورت مشاهده از تکامل نیمرخ بسیار ضعیفی برخوردار است، ولی در کوهپایه ها که شیب توپوگرافی کاهش می‌یابد، ضخامت خاک نسبتاً افزایش یافته و به تبع آن پوشش گیاهی نیز افزایش می‌یابد.

اکولوژی داخل غار: مجموعه غار سهولان را می‌توان به عنوان یک اکوسیستم کوچک در نظر گرفت. در این اکوسیستم چندین جاندار در ردیف های مختلفی از لحاظ انرژی زندگی می‌کنند. کبوتر چاهی بزرگترین جانور مقیم غار می‌باشد. این پرنده در بیشتر نقاط غار دیده می‌شود ولی در محل ورودی اصلی غار تعداد کبوترها بیشتر از سایر مناطق آن می‌باشد. لانه این پرندگان بر روی سنگ ها و بالکن های سنگی غار به آسانی قابل مشاهده می‌باشد. فضولات کبوترها بر روی سنگ‌های داخل غار جمع می‌شود و در اواخر بهار و فصل تابستان که دمای هوای داخل غار نسبتاً افزایش پیدا می‌کند، بر روی این فضولات نوعی قارچ هیف دار و سفید رنگ رشد می‌کند (شکل۳). رطوبت نیز که لازمه رشد این قارچ‌هاست به فراوانی در داخل غار سهولان وجود دارد.



شکل ۳ واریزه های آلی در محل تجمع کبوترها

خفاش ها نیز یکی از اعضای اکوسیستم غار سهولان هستند. از نظر زیست‌شناسی غار، خفاش ها را می توان جزو جانداران ساکن تصادفی غار(ترو گلوگزن‌ها) محسوب کرد. فضولات خفاش به عنوان ماده ای غنی از مواد غذایی، زیستگاه بسیاری از جانوران غارزی می‌باشد. در محوطه ورودی اصلی غار سهولان به علت وجود نور ضعیف، بر روی ساختارهای سنگی می‌توان پوششی سبز از جلبک‌ها و خزه‌ها را مشاهده کرد. به جز اطراف مکان‌هایی که پروژکتور نصب گردیده، پوشش جلبکی برروی سنگ‌ها مشاهده نمی‌شود. این جلبک‌ها می‌توانند نقش منفی در تخریب ساختارهای سنگی داشته و آن ها را دچار

تخریب و فرسایش تدریجی نمایند. علاوه بر این می‌توان به حشرات کوچکی اشاره کرد که در داخل غار بر روی سطح آب حرکت می‌کنند و می‌توانند به راحتی بر روی سطح آب بایستند. این حشرات با حرکت برروی سطح آب، از مواد معلق در آب تغذیه می‌کنند. همچنین در داخل آب تالار اول و مخفیگاه، نوعی نرم تن کوچک به طول تقریبی ۶ میلی‌متر و رنگ خاکستری مایل به زرد احتمالاً از نوع آرتمیا دیده می‌شود. با توجه به مباحث فوق، می‌توان اذعان داشت که مجموعه غار سهولان اکوسیستمی کامل و جالب است که باید در راه حفظ و شناسایی بیشتر آن اقدام شود.

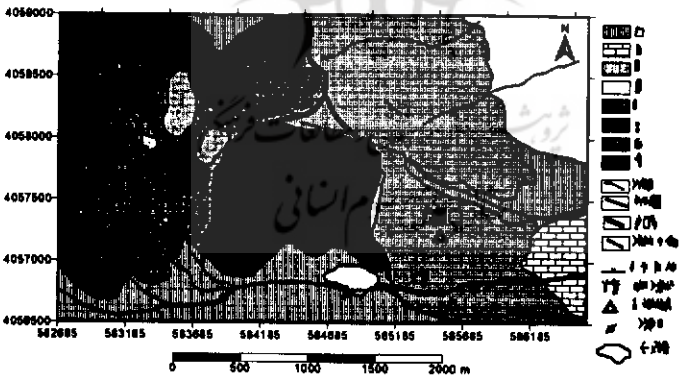
زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی غار سهولان

مطالعات زمین شناسی

غار سهولان در بخشی از فلات ایران که ازنقطه نظر زمین شناسی ساختاری تحت عنوان زون خوی ـ مهاباد نامیده می‌شود (افتخار نژاد، ۱۳۵۹) واقع شده است. این زون از طریق دو گسل اصلی زرینه‌رود در شمال و گسل پیرانشهر در جنوب از سایر زون‌های ساختاری ایران مجزا شده است. علی‌رغم واقع شدن این زون در منتهی الیه شمال غرب زون سنندج ـ سیرجان، تحولات دینامیکی ـ ماگمایی. وتنوعات لیتولوژیکی آن با سایر زون‌های مجاور بسیار متفاوت است. ناحیه مورد مطالعه ضمن دارا بودن پی سنگ دگرگونی پرکامبرین، از نظر تکتونیکی و ماگمایی جزء فعال‌ترین بخش‌های پوسته فلات ایران به شمار میرود. از نظر لیتولوژیکی کوه در برگیرنده غار، از دولومیت‌ها و آهک‌های دولومیتی به سن پرمین (سازندروته) تشکیل یافته است. سنگ‌های کربناته پرمین از نظر گسترش مکانی و ضخامت زیاد نسبت به سایر واحدهای لیتولوژیک دوران اول، شاخص می‌باشند. رسوبات پیشرونده پرمین مانند سایر نقاط ایران در حوالی مهاباد نیز با افقی از رسوبات آواری شامل ماسه سنگ‌های کوارتزیتی قرمز و سفید رنگ (سازند دورود) همراه است که به طور دگر شیب بر روی سطوح فرسایش یافته قدیمی‌تر مثل رسوبات کامبرین، اینفراکامبرین و پره‌کامبرین قرار گرفته‌اند. در ارتفاعات شمالی غار رسوبات پرمین با سنگ‌های کرتاسه، واحدهای تکتونیکی فلسی (Schuppen structure) را به وجود آورده‌اند. مرز این واحدها عمدتاً گسل‌های با روند شمالی ـ جنوبی می‌باشد که منطبق بر جهت

عمومی ساختارهای گسلی منطقه است. در افق‌های فوقانی سنگ‌های پرمین میان‌لایه‌های چند متری لاتریت و بوکسیت مشاهده می‌شود.

سنگ‌های دولومیتی کوه در بر گیرنده غار سهولان لایه لایه و فاقد چین خوردگی محسوس بوده و مشخصات چینه‌ای غالب آنها 205/35 می‌باشد. این مجموعه که ضخامت لایه‌های آن تا ۲/۵ متر هم می‌رسد از غرب با همبری گسلی توسط فیلیت‌های سبز کرتاسه وپرمین زیرین (سازنددرود) و از شرق با همبری سنگ‌های ولکانیکی کرتاسه محدود شده است (شکل٤). این واحد سازندهای قدیمی‌تر از خود از جمله سازند درود را پوشانده و به طور غالب از دولومیت و آهک های دولومیتی خاکستری تیره رنگ تشکیل یافته است. تمامی نمونه‌ها و مقاطع نازک تهیه شده از این واحد تبلور مجدد یافته و به این علت فسیل‌های آن به طور دقیق قابل شناسایی نیستند (شکل۵). از سایر واحدهای قابل توجه منطقه، روانه‌های بازالتی کواترنری است که در بخش وسیعی از منطقه سازندهای قدیمی را پوشانده است. وجود سنگ‌های تراورتن در فاصله ۲ کیلومتری شرق غار، حاکی از جوان بودن فعالیت‌های ماگمایی منطقه است.



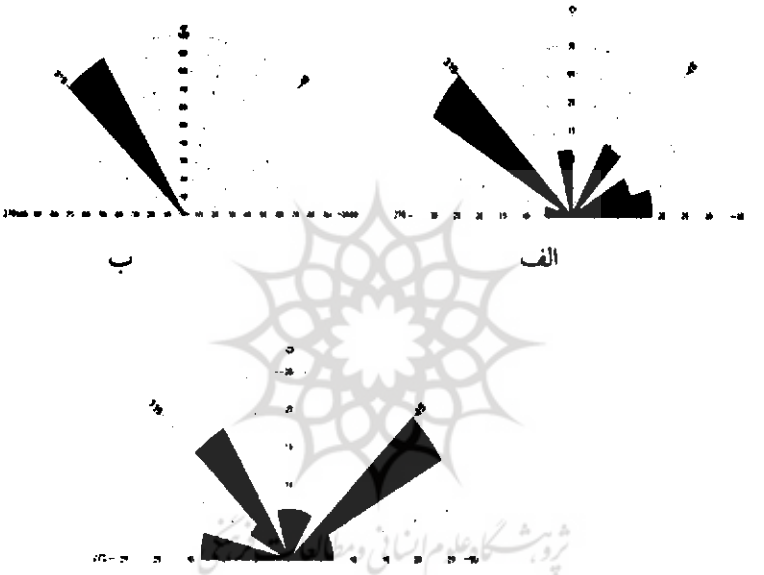
شکل٤ نقشه زمین شناسی منطقه غار: ۱-آبرفت ۲-تراورتن ۳- روانه های بازالتی کواترنری٤- سازند قم (میوسن) ۵- دیابازهای کرتاسه فوقانی ٦- شیل‌های کرتاسه ۷- سازند رونه (پرمین) ۸- سازند درود (پرمین زیرین)

شکل۵ مقاطع نازک از سنگ‌های اطراف غار (۱) آثار اربیتولینالنتی‌کولاریس (Orbitolina lenticularis) در خمیره آهک میکرایتی به سن کرتاسه (بزرگنمایی ۲۵ برابر، حالتXPL) (۲) بایوانتراسپارایت با آثاری از فسیل تک ردیفی نامشخص (بزرگنمایی۱۰۰ برابر، حالتPPL)

تکتونیک منطقه

واتنش‌های تکتونیکی با باز و بسته کردن بعضی از شکستگی‌ها باعث جریان آب زیرزمینی در قسمت‌هایی از توده آهکی شده و نقش مهمی را در گسترش سیستم‌های غاری بازی می‌کند (Hauselmann et al., 1999). در منطقه مورد مطالعه سه دسته گسل قابل شناسایی است که دسته اول راستای حدود (N55E تا N0E) و دسته دوم راستایی حدود (N55 W تا N0E) دارند. هر دو دسته به حالت معکوس عمل کرده‌اند و باعث قرارگیری سازند درود در میان سازندهای روته و فیلیش‌های کرتاسه شده اند. دسته دیگر گسل‌های راستالغز با امتداد شرقی غربی می‌باشند که باعث جابجایی در طبقات دولومیتی به اندازه ۱ متر شده‌اند. این گسل‌ها تا دهانه غار امتداد پیدا کرده‌اند. بازدیدهای صحرایی نشان می‌دهد که ضخامت لایه‌های آهکی، فراوانی شکاف‌ها و سطوح لایه‌بندی متوسط بوده و شیب آنها عموماً بین ۳۵ تا ۵۵ درجه به سمت جنوب غرب می‌باشد. درز-های موجود در منطقه به دو دسته درزهای کششی و برشی تقسیم می‌شوند. درزهای کششی دارای باز شدگی ۰/۵ تا ٤ سانتی‌متر بوده و عمدتاً قائم هستند. تراکم درزها پایین و فاصله متوسط آنها کمتر از ۳ متر می‌باشد. طول درزها به ندرت به ۱۰ متر می‌رسد. در داخل غار آثار واضحی از وجود درزه دیده نمی‌شود ولی درزهای موجود در سنگ‌های آهکی که غار در داخل آنها تشکیل شده است، رابطه مستقیم با گسل‌های منطقه دارند. رزدیاگرام‌های شکل ٦ به ترتیب امتداد گذرگاه‌های غار، امتداد لایه‌بندی و درزهای برداشت شده از بیرون و داخل غار را نشان می‌دهند. از مقایسه این سه نمودار و با توجه به

نتایج باز دیدهای میدانی و مشاهدات داخل غار می‌توان گفت که تطابق قابل قبولی بین روند گذرگاه‌های غار با امتداد لایه‌بندی و امتداد درزها وجود دارد، به طوری که بیشترین انحلال در جهت امتداد لایه‌بندی و عمود بر آن اتفاق افتاده است. جهت دوم را می‌توان به درزهای عمود بر امتداد لایه‌بندی ربط داد. گسل‌های معکوس که راستاهایی بین N55W و N55E دارند، به احتمال زیاد تحت تاثیر کوهزایی‌های آلپی ایجاد شده‌اند.



شکل۶ رزدیاگرام الف- امتداد گذرگاه‌های غار ب- امتداد لایه بندی ج- امتداد درزهای اطراف غار

طرح کلی غار

غار سهولان دارای طول نقشه‌ای ۳۳۲ متر بر روی نقشه پلان می‌باشد. به علت اینکه تنها بخشی از گذرگاه‌های آن شیب‌دار بوده و اغلب گذرگاه‌ها پر از آب هستند، تفاوت زیادی بین روش‌های مختلف اندازه‌گیری طول وجود ندارد. با این حال طول غار با روش‌های توسعه خطی پیوسته و ناپیوسته به ترتیب ۳۴۹ و ۳۴۲ متر می‌باشد. طویل‌ترین گذرگاه موجود در غار، گذرگاه لوزی است که نزدیک به ۴۰ متر طول دارد. شکل۷ پلان، طول

وعرض گذرگاه‌ها، شکل ۸ مقاطع عرضی و اشکال ۹ و ۱۰ عمق آب در غار را نشان می‌دهند که با عمق یاب دستی و متر فلزی اندازه‌گیری شده است.

گذرگاه‌ها: غار سهولان از پنج گذرگاه اصلی، چهار تالار و تعدای مسیر فرعی و کشف نشده تشکیل یافته است (شکل۷). چهار گذرگاه اصلی عبارتند از: گذرگاه کبوتر، که حوضچه اول را به حوضچه دوم وصل می‌کند. گذرگاه توت‌فرنگی، که حوضچه دوم را به تالار اصلی مرتبط می‌سازد. گذرگاه مدوزا از تالار اصلی شروع شده و به گودال اژدها می‌رسد. گذرگاه لوزی نیز تالار اصلی را به مخفیگاه وصل می‌کند و نهایتاً گذرگاه کونی مالان که به خروجی فرعی غار ختم می‌شود. چهار تالار غار سهولان نیز عبارت از حوضچه اول، حوضچه دوم، تالار اصلی و مخفیگاه می‌باشند.

گذرگاه کبوتر: چنانکه از نامش بر می‌آید محل اصلی تجمع و لانه‌سازی کبوترها می‌باشد. طول این گذرگاه در حدود ۲۰ متر بوده و عرض آن به طور متوسط بین ۱/۵ تا ۳ متر تغییر می‌کند. عمق آب در این گذرگاه به طور متوسط ۲۱ متر است. این گذرگاه با توجه به تقسیم‌بندی وایت[1] از نوع خطی (Linear Passage) می‌باشد.

گذرگاه توت‌فرنگی: طول این گذرگاه حدود ۱۲ متر و عرض آن به۵ متر نیز می‌رسد. عمق آب در این گذرگاه به طور میانگین ۱۰ متر می‌باشد. به علت وجود مقادیر قابل توجهی از غار نهشته‌های پوسته‌ای و حبابی به شکل خوشه انگور و توت‌فرنگی این گذرگاه را گذرگاه توت فرنگی می نامند. مقطع عرضی این گذرگاه در شکل ۹ نشان داده شده است.

گذرگاه مدوزا: یک گذرگاه خطی زاویه‌دار (Angulate) است که دلیل نامگذاری آن وجود استالاگمیت‌های زیبا و منحصر به فرد شمعی که با آویزه‌های مدوزا تزئین شده‌اند، می‌باشد (مدوزا جانور افسانه‌ای است). عرض و طول این گذرگاه به ترتیب در حدود ۸ و ۳۵ متر می‌باشد. عمق آب در این گذرگاه بین ۵ تا ۱۲ متر تغییر می‌کند، نکته جالب اینکه در «گودال اژدها» که تقریبا منتهی الیه گذرگاه مدوزا می‌باشد، عمق آب به طور ناگهانی به ۵۵ متر افزایش می‌یابد که نشان از وجود حفره‌ای عمیق در این نقطه است. این گودال برای

1. White, 1988.

اولین بار در طی این پژوهش شناسایی و مطالعه شده است. آب این قسمت از غار زلال‌تر از سایر نقاط غار است و احتمال می‌رود محل ورودی آب غار از این نقطه باشد.

گذرگاه لوزی: طویل‌ترین گذرگاه خشک موجود در غار است که سطح مقطع این گذرگاه تقریباً به صورت لوزی یا متوازی الاضلاع است و کف این گذرگاه بیش از ۱۰ متر بالاتر از سطح فعلی آب قرار گرفته است. طول این گذرگاه حدود۳۵ متر و طول اقطار آن در حدود ٤ و ۸ متر می‌باشد. با توجه به وضعیت لایه‌بندی در نهشت‌های کربناته پرمین و سطح مقطع لوزی تا متوازی الاضلاع این گذرگاه و امتداد آن به نظر می‌رسد که انحلال در امتداد درزهای برشی تیپ (okl) در پیدایش این گذرگاه موثر بوده است.

گذرگاه کونی‌مالان: آخرین گذرگاهی است که به خروجی فرعی غار منتهی می‌شود، در این گذرگاه خشک آثار کمی از انحلال، غار نهشته و یا سایر عوارض کارستی دیده می‌شود. طول نقشه‌ای این گذرگاه در حدود ۲۰ متر است و شیب کف آن بین ۳۰ تا ٤٥ درجه تغییر می‌کند. اخیراً کف آن پله‌گذاری شده و ورود از طریق آن تا حدودی آسان شده.

شکل۷ پلان و موقعیت مقاطع عرضی تهیه شده از داخل غار.

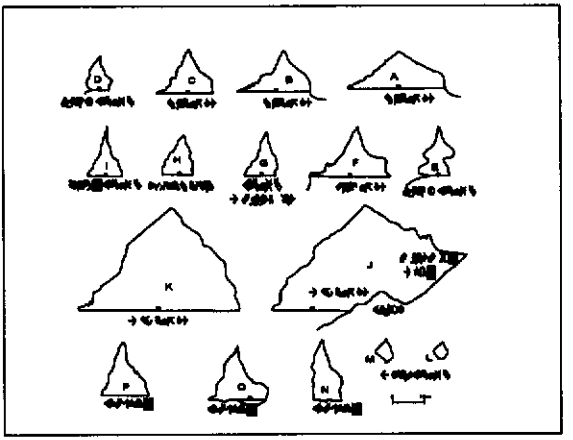
تالارها: اولین تالاری که از طریق ورودی اصلی غار با آن برخورد می‌کنیم، دارای عرضی در حدود ٦ تا٢٤ متر می باشد که ارتفاع سقف آن در بلندترین نقطه بیش از ۲۰ متر

به نظر می‌رسد. با استفاده از مقاطع C, B, A می‌توان در نقاط مختلف این تالار، وضعیت دیواره‌ها و سقف را مقایسه نمود. حجم تقریبی این تالار ٤۰۰۰ متر مکعب است. طول و عرض تالار دوم به طور میانگین به ترتیب در حدود ۲۰ و ۱۵ متر می‌باشد. ارتفاع سقف در بلندترین نقطه در حدود ۲۰ متر است و عمق آب در وسط این تالار به۱۳ متر می رسد. عمق بخش شمالی این تالار به مراتب بیشتر از بخش جنوبی است و کف دریاچه از جنوب به سمت شمال شیب دارد. تالار سوم در محل تقاطع سه گذرگاه توت فرنگی، مدوزا و لوزی قرار گرفته است. مساحت این تالار بیش از ۱۵۰۰ متر مربع و ارتفاع سقف نیز بیشترین مقدار یعنی بیش از ۳۵ متر می‌باشد. عمق آب در بیشتر نقاط تالار در حدود ٦ متر است ولی به سمت جنوب غرب تالار یعنی به طرف مسیر کشف نشده این مقدار افزایش یافته و به بیش از ۱۵ متر می‌رسد. حجم بسیار زیادی از غار نهشته‌ها با انواع مختلف در این تالار دیده می‌شود. تالار مخفیگاه تالار کوچکی است که چون در بین دو گذرگاه کوچک قرار دارد، نام تالار را به خود گرفته است. ارتفاع تالار در بخش آبدار حدود ۳ متر و در بخش خشک تا ۱۵ متر نیز می‌رسد.

محاسبه حجم آب موجود در غار

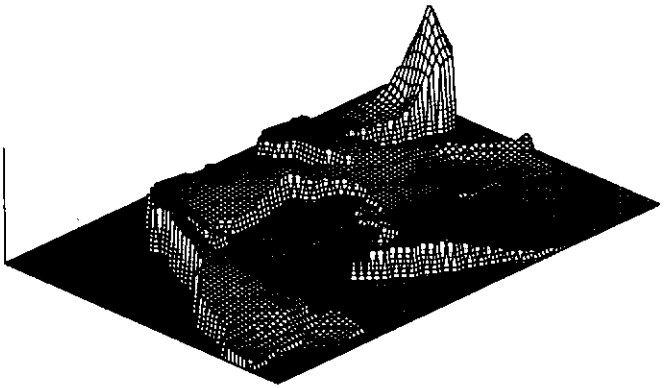
اطلاع داشتن از حجم آب موجود در گذرگاه‌ها و تالارهایی که تاکنون کشف شده‌اند، می‌تواند در بسیاری از تصمیم گیری‌ها مؤثر باشد. برای محاسبه حجم آب ابتدا در نقاط مختلفی از غار، عمق آب با عمق یاب دست‌ساز اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از نرم افزار سرفر[1] مقدار آن ۲۳٤۰۰ متر مکعب محاسبه گردید (شکل۱۱). با توجه به خطوط منحنی میزان که عمق آب را در نقاط مختلف نشان می‌دهند، می‌توان به یک نتیجه‌گیری کلی رسید که عمق آب در نقاطی که گذرگاه توسعه بیشتری یافته، کمتر است (شکل۱۰).

1. Surfer 7.



شکل۸ مقاطع عرضی گذرگاه‌ها و تالارهای غار سهولان (ارتفاع تقریبی است).

شکل۹ نقشه هم تراز عمق آب در داخل غار



شکل۱۰ نمای سه بعدی از گذرگاههای آبدار (نقاط عمیق، مرتفع نشان داده شده اند).

ژئومورفولوژی غار سهولان

لایه‌های آهکی و دولومیتی تشکیل دهنده کوه کُونَه قوتر عمدتاً غیر هوازده بوده و فاقد عوارض شاخص کارستی می‌باشند. با این حال آثار گود افتادگی‌های باران (Rain drops) و شیارهای خطیِ (Rillen karren) کم عمق که از مشخصات فرسایشی سطوح آهک‌های پرمین است، به وضوح دیده می‌شود. عمق این عوارض که منجر به ایجاد سطوح خشن شده‌اند، به ندرت به ۲ سانتی متر می رسد. در ضلع غربی کوه کونه قوتر- حاشیه دره گسلی مرز سازند پرمین با کرتاسه ـ یک گودی به مساحت تقریبی ۵ مترمربع دیده می شود که احتمالاً یک چاهک ریزشی (Collapse shaft) است. عمق این چاله به دلیل پرشدگی.با واریزه های شیلی کرتاسه به کمتر از ۳ متر کاهش یافته است. فقدان آثاری از مسیل‌های انحراف آب‌های جوی به این چاله نشان از جوان بودن آن است.

مطالعه رسوبات و عوارض درون غار سهولان

رسوبات موجود در غار سهولان را می‌توان در دو دسته رسوبات آواری و رسوبات شیمیایی بررسی کرد. رسوبات آواری موجود در غار گستره وسیعی از رسوبات را در بر می‌گیرند به طوری که ذراتی از اندازه رس تا قطعات سنگی بسیار بزرگ به وزن ده‌ها تن را شامل می‌شوند. در شکل ۱۱ توزیع این رسوبات بر روی نقشه پلان غار دیده می‌شود.

رسوبات آواری برجا به سه صورت، بقایای هوازدگی، فروریختگی و واریزه‌های آلی دیده می‌شوند. رسوبات هوازدگی غالبا به صورت گرهک‌های چرتی و دانه‌های ریز در حد سیلت که در ترکیب سنگ‌های کربناته حل شده وجود دارند، بر جا مانده‌اند. اصلی‌ترین رسوب موجود در غار فروریختگی است که آثار آن در تمام طول غار به چشم می‌خورد. واریزه‌های آلی رسوبات بر جایی هستند که در محل‌های تجمع جانوران دیده می‌شوند. تشکیل نهشته‌های یخچالی و بادی بعلت نبود رودخانه یا جریان محسوس آب و باد در غار سهولان در حال حاضر بعید به نظر می‌رسد. چه بسا در دوره‌ای از سن غار آب در داخل آن در حرکت بوده، زیرا شواهدی در بعضی از گذرگاه‌ها مانند گذرگاه لوزی مبنی بر وجود جریان آب در گذشته دیده می‌شود.

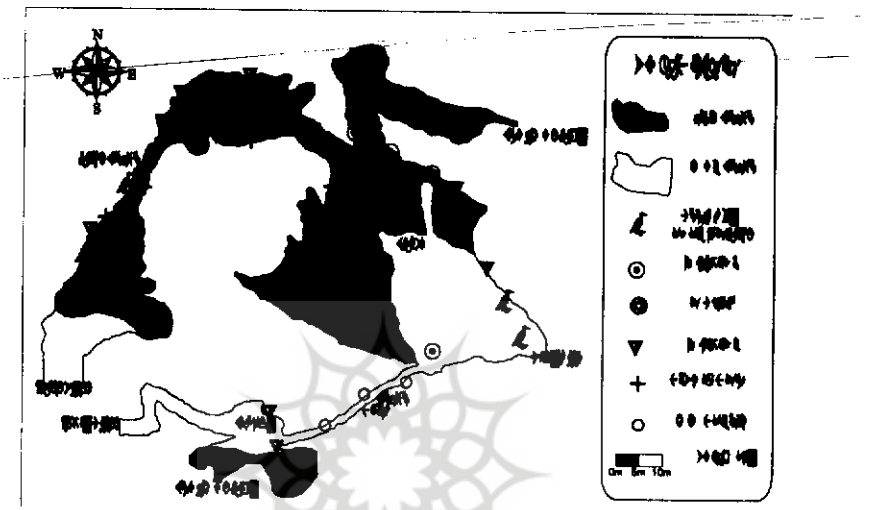
رسوبات شیمیایی

رسوبات شیمیایی طیف وسیعی از غار نهشته‌ها را در بر می‌گیرند. در حالت کلی رسوبات شیمیایی غار سهولان را تحت عنوان غار نهشته‌های کربناته و رسوبات غیرکربناته بررسی می‌کنیم.

غار نهشته‌های کربناته

غار سهولان در حال حاضر و از مدت‌ها قبل در شرایط وادوز قرار دارد، شکستگی-های کوچک و بزرگ که از سطح زمین به فضای داخل غار راه یافته‌اند، سبب هدایت آب-های فروروی جوی به داخل غار می‌شوند. این آب‌ها در طول مسیر خود با جذب دی‌اکسید کربن و متعاقب آن، انحلال سنگ بستری که از میان آن در حرکت هستند، از کربنات کلسیم اشباع گشته و پس از ورود به فضای داخلی غار، به علت اختلاف فشار گاز دی اکسیدکربن داخل آب با اتمسفر غار، سبب رسوبگذاری مجدد کربنات کلسیم با اشکال متنوع می‌شود. عموماً ساخت‌های ستونی تحت تاثیر قشر آبی با ضخامت ۱ تا ۲ میلی‌متر و ساخت‌های الیافی (نی مانند) توسط قشر آبی با ضخامت ۰/۱ میلی‌متر تشکیل می شوند (Sancho et al., 2004). مکانیسم دیگری که در غار سهولان اتفاق می‌افتد و غار نهشته‌های حبابی شکلی به صورت پوسته بر روی دیواره‌ها ایجاد می‌کند، وجود قشر نازکی از آب روان بر روی دیواره‌ها و ترسیب آرام کربنات بر روی آنها، آثار زیبایی را به وجود

آورده است که به ضخامت ۵ تا ۳۰ سانتی‌متر بر روی سنگ‌ها و دیواره‌های بیشتر نقاط غار دیده می‌شوند.

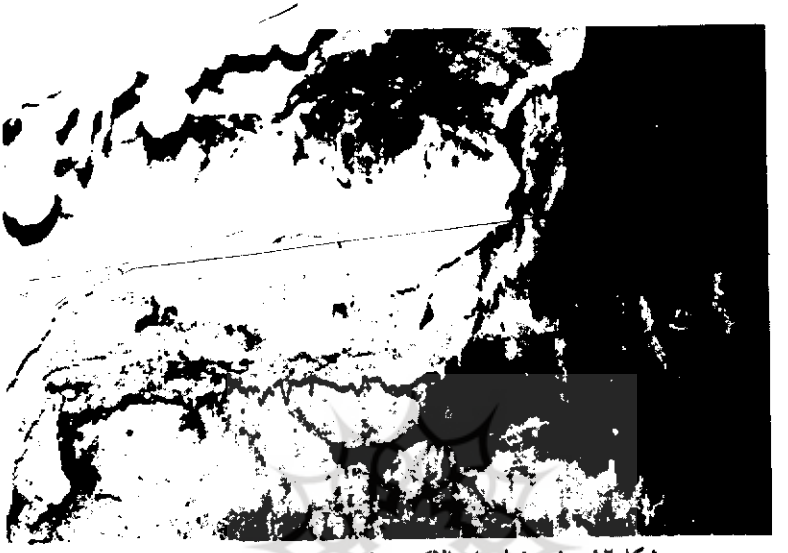


شکل۱۱ موقعیت و گسترش رسوبات در بخش های مختلف غار

در اینجا به بررسی و توصیف غارنهشته هایی که در غار سهولان شناسایی شده‌اند، پرداخته می‌شود:

استالاکتیت‌های نی مانند، یکی از انواع غار نهشته‌ها هستند که در بعضی از نقاط غار مخصوصاً تالار اصلی دیده می‌شوند. استالاکتیت‌های نی مانند دارای مجرای مرکزی بوده و آب از وسط آنها خارج می‌شود (شکل۱۲). معمولا طول این غار نهشته کم است. استالاکتیت‌های بزرگتر که از رشد استالاکتیت‌های نی مانند به وجود می‌آیند، در بسیاری از نقاط غار دیده می‌شوند. این استالاکتیت ها مخروطی شکل هستند. در اثر لرزش‌های شدید ناشی از سقوط بلوک‌های بسیار بزرگ سنگ از سقف تالارهای غار، اغلب استالاگتیت‌ها و استالاگمیت‌ها نوکشان شکسته شده است. نوع دیگری از استالاکتیت که در غار مشاهده می‌شود، استالاکتیت‌های بدون کانال مرکزی هستند. این استالاکتیت‌ها به علت سرازیر شدن

آب بر روی دیواره‌های پرشیب غار به وجود می‌آیند، یکی از جالب‌ترین این نوع از استالاکتیت‌ها را در شکل ۱۳ می‌توان مشاهده کرد که طول آن به بیش از سه متر می‌رسد.



شکل۱۲ رشد خطی استالاکتیت‌های نی مانند در امتداد درزه ها

استالاگمیت‌ها در اثر فرو افتادن قطرات آب و نهشته شدن کربنات کلسیم به وجود می‌آیند. استالاگمیت شکل۱٤ از چکیدن و سرازیر شدن آب از استالاکتیت شکل۱۳ به وجود آمده است ونوع دیگر از غار نهشته‌ها را که با مکانیسم فوق ایجاد می‌شوند، استالاگمیت‌های شمعی می‌گویند. این نوع از غار نهشته معمولاً حجم زیادی داشته و سنگ‌چکه‌های مدوزا در اطراف آنها باعث می‌شود که شکل اختاپوس در نظر بیننده تداعی شود (شکل۱۵).

با توجه به این که بخش اعظم از غار توسط آب اشغال شده، و قطرات آب پس از افتادن و جدا شدن از سطح استالاکتیت بر روی آب می‌افتند، به همین دلیل به جز در نقاطی که آب بر روی دیواره‌ها می‌افتد، در جاهای دیگر استالاگمیت مشخصی مشاهده نمی‌شود. البته تسطیح معابر و پله‌گذاری نیز در از بین رفتن استالاگمیت‌ها بی‌تاثیر نبوده است.

شکل۱۳ استالاکتیت بدون حفره مرکزی

شکل۱۴ استالاگمیت قارچی شکل به وجودآمده در زیر استالاکتیت شکل۱۳

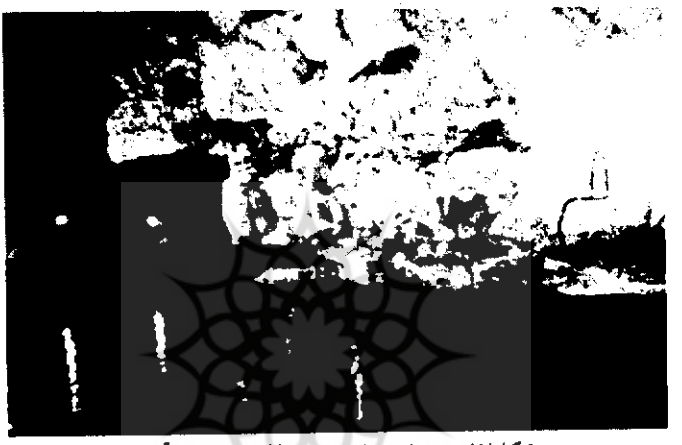
شکل۱۵ استالاگمیت‌های شمعی

ستون‌ها نوعی دیگر از غارنهشته‌ها هستند که از به هم پیوستن استالاگمیت و استالاکتیت به وجود می‌آیند. یک نمونه از ستون‌های آهکی در ابتدای ورودی اصلی غار دیده می‌شود (شکل۱۶).

شکل۱۶ غارنهشته ستونی ناشی از به هم رسیدن استالاکتیت و استالاگمیت

سدهای حاشیه‌ای نوع دیگری از غارنهشته‌ها هستند و هنگامی تشکیل می‌شوند که قشر نازکی از آب غنی از کربنات کلسیم از سطح حوضچه‌ای که در آن قرار دارد، به کناره‌ها برخورد کرده و سپس در اثر از دست دادن گاز کربنیک و تبخیر و یا اثر مشترک هر دو عامل، بخش فوقانی و سطحی آب از کربنات کلسیم فوق اشباع گشته و در نهایت در حاشیه‌ها رسوب می‌کند. زمانی که سطح آب به پایین‌تر از تراز قبلی افت کند، این رسوبات به صورت تیغه نازک افقی که بر دیواره‌ها عمود شده اند، پدیدار می‌شوند (شکل۱۷).

یک نمونه از اشکال غیر عادی غارنهشته‌ها آنتودیت (خوشه‌های شعاعی اغلب از بلورهای آراگونیت به شکل دندریتی و به طول ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر) می باشد، که در این غار دیده می‌شود (شکل۱۸). در این غار نهشته که نوعی استالاکتیت است، نیروهای رشد بلوری قویتر از نیروی ثقل عمل کرده و غارنهشته در جهت مایل رشد کرده است، طول این غارنهشته در حدود ۱۵ سانتی‌متر می باشد.



شکل۱۷ سدهای حاشیه ای بالاتر از سطح آب

شکل۱۸ اشکال غیرعادی، احتمالاً آنتودیت

آخرین نوع از غارنهشته‌های شاخص که در غار سهولان وجود دارند، غار نهشته‌های معروف به پافیلی است (شکل۱۹). این غارنهشته در اثر وارد شدن زبانه استالاکتیت یا سایر اشکال آویزه ای به داخل آب (در اثر بالا آمدن سطح آب در یک دوره خاص) و انحلال بخش انتهایی آن به وجود می‌آید، ضخیم شدگی بخش پایینی آن به علت رسوب مجدد کربنات کلسیم با همان مکانیسمی که برای سدهای حاشیه‌ای گفته شد می‌باشد.

شکل۱۹ اشکال پافیلی ناشی از انحلال و رسوبگذاری مجدد

در مورد غار نهشته‌های غیر کربناته، آنچه می‌توان گفت این است که به علت وجود سنگ بستر آهکی و دولومیتی اغلب غار نهشته ها کربناته هستند و تنها در مواردی که فضولات کبوترها با آهک واکنش داده، می‌توان انتظار کانی‌های جدید ایجاد شده را داشت که به علت محدودیت های موجود این موارد، مطالعه نشدند.

ژنز و مدل تشکیل غار سهولان

۱- عوامل موثر در ژنز غار

وجود سازندهای با قابلیت انحلال و ضخامت بالا یکی از پیش شرط های توسعه سرزمین‌های کارستی می‌باشد. ضخامت آهک‌هایی که غار در آنها تشکیل شده‌اند، در محل غار به طور دقیق مشخص نیست، ولی در کوه قوتر واقع در ۳ کیلومتری شمال‌غرب غار آهک‌ها با ضخامت بیش از ۳۰۰ متر برونزد دارند. عامل مهم دیگری که باعث توسعه کارست در یک افق خاص می شود، وجود یک لایه با نفوذ ناپذیری کم در زیر لایه نفوذپذیر می‌باشد. این لایه باعث تمرکز جریان آب و افزایش انحلال در لایه نفوذپذیر می‌شود. به نظر می رسد وجود لایه های شیلی و ماسه سنگی کوارتزیتی در زیر دولومیت‌های منطقه چنین نقشی را ایفا می‌کند. مطالعه مقاطع میکروسکوپی نمونه‌های که از اطراف غار برداشته شده‌اند، نشان می‌دهد که بافت سنگ آهک تشکیل دهنده غار میکرایتی بوده که شکستگی‌های داخل آن به وسیله آهک اسپارایتی پر شده است. تمامی این موارد نقش مثبتی در تسریع عمل انحلال دارند.

تکتونیک فعال و پویا از عوامل مهم و تاثیرگذار در تشکیل و توسعه اغلب غارها می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در یکی از نواحی فعال تکتونیکی شمال‌غرب کشور واقع شده که ازگسل‌های زیادی بر خوردار است. این گسل‌ها به عنوان یکی از عوامل بر هم زننده نظم لیتولوژیکی منطقه و مؤثر در تشکیل غار سهولان می‌باشند. درزه های موجود در غار رابطه مستقیم با گسل‌های منطقه دارند که بیشترین انحلال در امتداد لایه‌بندی و درزهای عمود بر لایه‌بندی اتفاق افتاده است.

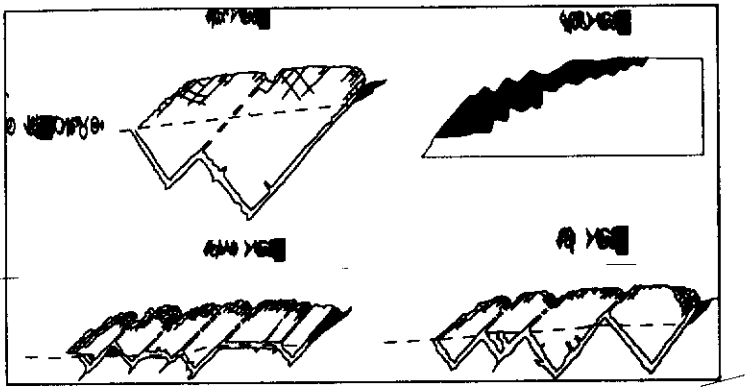
گلیسون[1] به نقل از مولر[2] از غارهایی بحث می‌کند که تحت تاثیر فرایند انحلال آب‌های خورنده هیدروترمال شکل گرفته‌اند. تحت چنین شرایطی، در مناطق جوان ولکانیکی، دما، CO_2 و گاهی SO_4 آب‌های جوی پس از نفوذ در زمین و رسیدن به سنگ‌های گرم عمقی افزوده می‌شود و سپس با بالا آمدن و سرد شدن این آب‌ها، انحلال CO_2 افزایش یافته و باعث تسریع انحلال در کربنات‌ها می‌شود. حدود ۱۰٪ غارهای جهان احتمالاً تحت تاثیر مشترک آب‌های هیدروترمال و جوی شکل گرفته‌اند.

1. Gillison, 1996.
2. Muller and sarvary, 1977.

۲- ارائه مدل تشکیل غار

براساس مطالعات انجام یافته مراحل تشکیل غار سهولان از مدل ارائه شده در شکل ۲۰ تبعیت می‌کند. طبق مدل پیشنهادی، ابتدا منطقه از آب دریا خارج شده و تحت تاثیر نیروهای تکتونیکی متحمل تغییراتی، شامل چین خوردن طبقات، ایجاد درز و شکاف در سنگ و گسلش شده است (مرحله اول در شکل ۲۰). انحلال در امتداد درزها و سطوح لایه‌بندی شروع شده و در پایان دومین مرحله توسعه، یک سیستم غار معمولی، شامل یک مجرا که دارای ابعاد حداقل بوده و از ورودی تا خروجی سیستم ادامه دارد، به وجود آمده است(مرحله دوم در شکل ۲۰). توسعه مجرا تحت فرایند انحلال کربنات ادامه پیدا کرده و به مرور بر ابعاد مجرا افزوده شده است. آثار این دوره از تکامل غار را می‌توان در گذرگاه لوزی مشاهده کرد. این گذرگاه در حال حاضر بیش از ۱۰ متر بالاتر از سطح آب غار قرار گرفته و خشک می باشد. آثار جریان بر روی دیواره های این گذرگاه به وضوح مشاهده می‌شود (مرحله سوم در شکل ۲۰)، در مرحله بعد بر اثر تغییر جهت جریان آب داخل غار به مسیر دیگری، این گذرگاه از توسعه باز مانده است. توسعه مجاری در بقیه گذرگاه‌ها ادامه یافته و در اثر فروریخت به حداکثر مقدار خود رسیده است (شکل ۲۱). دهانه غار که در حال حاضر مشاهده می‌شود، نشان از آخرین مرحله فروریخت و یا ریزش سقف (Colapse) می‌باشد (مرحله چهارم در شکل ۲۰).

با توجه به موقعیت سطح ایستابی و سیستم سفره آب زیرزمینی، می‌توان مراحل ارائه شده در مدل را به صورت زیر بیان نمود. در مرحله اول منطقه فاقد منابع آب زیرزمینی بوده و هنوز انحلال در درز و شکاف‌ها صورت نگرفته است. در مرحله دوم یا مرحله فراتیک عمیق، کلیه مجاری در زیر سطح ایستابی قرار گرفته است. در مرحله سوم یا مرحله فراتیک کم عمق سطح ایستابی پایین افتاده و مجاری نزدیک سطح ایستابی قرار می گیرند. در مرحله چهارم یا مرحله فراتیک ـ سطح ایستابی بخشی از مجاری بالاتر و قسمتی نیز پائین تر از سطح ایستابی قرار می گیرند.

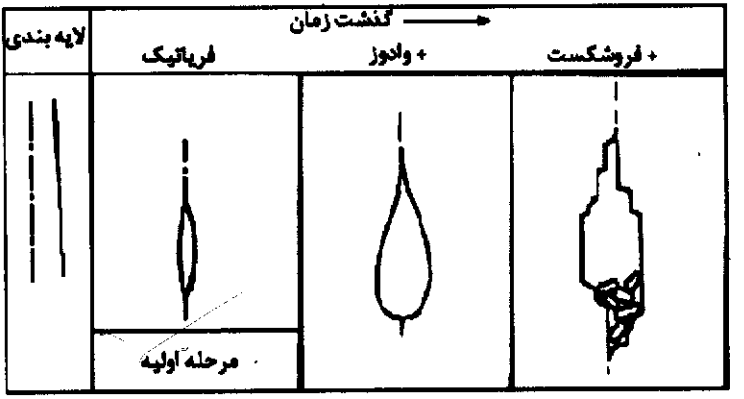


شکل ۲۰ مدل ارایه شده برای توسعه غار سهولان

در این تقسیم‌بندی غارهای ثانویه به دو گروه درونزاد و برونزاد تقسیم می‌شوند که با توجه به اینکه غار مورد مطالعه به وسیله تاثیر نیروهایی که در داخل توده سنگ عمل می‌کنند، به وجود آمده است، لذا جزو غارهای درونزاد محسوب می‌شود. آخرین بخش این تقسیم‌بندی غارهای درونزاد را نیز دسته‌بندی می‌کند که با در نظر گرفتن خصوصیات موجود، غار سهولان جزو غارهای کارستی بوده و با تاثیر مشترک لایه‌بندی و درزه به وجود آمده است. از لحاظ طبقه‌بندی پتروگرافیکی و زمین‌شناسی که توسط بوگلی(Bogli, 1980) انجام گرفته، جزو غارهای آهکی و دولومیتی یا اصطلاحاً غارهای کربناته قرار می‌گیرد. براساس طبقه‌بندی بر حسب اندازه نیز با داشتن طولی بیش از ۳۰۰ متر در رده‌ی غارهای متوسط (طول بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر) قرار می‌گیرد و در نهایت از لحاظ خصوصیات برجسته می‌توان آن را جزو غارهای فعال و چکه سنگی دانست.

بر طبق تقسیم بندی مدیریتی گلیسون[1] می‌توان اذعان داشت که این غار جزو غارهای مرجع علمی می‌باشد و در حالت کلی با توجه به مشخصات موجود غار، می‌توان الگوی آن را جزو غارهای میز ساده (Maze passages) دانست که زیرمجموعه غارهای تک زهکشه محسوب می‌شود.

1.Gillison, 1996.



شکل۲۱ مدل پیشنهادی برای توسعه گذرگاه‌های غار سهولان.

۳- تخمین سن غار سهولان

دری بروت[1]، و وایت[2] در بررسی نقش سینتیک انحلال در توسعه سفره‌های کارستی آهکی، محاسبه پارامتری به نام زمان گذار (Break through time) را به عنوان عاملی مهم در اندازه‌گیری زمان کارستیفیکاسیون یک ناحیه کارستی می‌داند. این زمان در حقیقت مشخص کننده‌ی زمان انتهای اولین فاز تکامل کارست می‌باشد. این جمله بدان معنی است که این زمان طول دوره ای است که در طول آن یک شکاف از نقطه تغذیه تا نقطه تخلیه، حداقل ابعاد برای ایجاد جریان آشفته را پیدا کرده است. پس از این مدت، توسعه کارست با سرعت بسیار زیادتری ادامه می‌یابد، به طوری که در شرایط فراتیک، گذرگاه‌های با ابعاد یک متر می‌توانند در طول زمانی حدود ۱۰ هزار سال تشکیل شوند. زمان گذار (T) با توجه به مدل ارائه شده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$T = 3.33 L^{1.25} a_0^{-2.8} i^{-1.3} 10^{-2} \; year$$

در این فرمول a_0 متوسط عرض شکستگی اولیه که مسیر نفوذ را تشکیل می‌دهد برحسب (cm) و L طول این شکستگی بر حسب (km) و i گرادیان هیدرولیکی از نقطه

1. Dreybrodt, 1990.
2. White, 2002.

ورودی تا نقطه خروجی را تشکیل می‌دهد. این فرمول تجربی در محدوده‌های زیر صدق کرده و دارای ۱۰ درصد خطا می‌باشد.

$$0.2 \le L \le 50km$$
$$0.001 \le i \le 0.05$$
$$0.005 \le a_0 \le 0.002cm$$

طول مسیر شکستگی که آب را هدایت کرده به فرض اینکه از ارتفاعات قوتر باشد،۳ کیلومتر به دست می‌آید. در این فاصله گرادیان هیدرولیکی 0.08 محاسبه شده بیشتر جنبه تئوری دارد. عرض متوسط شکستگی‌ها که در اینجا سطح لایه بندی است، $a_0 = 0.015cm$ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این فرضیات، زمان‌گذار ٤٥٠٠٠٠ سال محاسبه می گردد. عدد به دست آمده در حقیقت زمانی است که طول کشیده تا یک مجرا به طول ۳ کیلومتر و عرض ۰/۰۱۵ سانتی‌متر در میان آهک‌های منطقه، اولین مرحله تکامل کارستی را طی نماید. پس از این زمان جریان متلاطم ایجاد شده و میزان انحلال در طول مجرا به مراتب سریع‌تر شده است. با توجه به میزان عقب روی سنگ میزبان (Retreat of bedrock) که به طور متوسط برای سنگ آهک یک صدم سانتی‌متر در سال پیشنهاد شده و متوسط قطر کنونی گذرگاه‌های غار (۳۰ متر)، زمانی در حدود ۳۰۰۰۰۰ سال نیز برای این امر نیز لازم است. مجموع این دو زمان در حدود ۷۵۰۰۰۰ سال به دست آمده که تخمینی از زمان تشکیل غار سهولان تا به حال می‌باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نتیجه گیری

غار آبی سهولان یکی از کم نظیرترین غارهای آبی از نظر ژنز و زمین‌شناسی در منطقه خاورمیانه می‌باشد. این غار در داخل سنگ‌های دولومیتی پرمین شکل گرفته که از نظر لیتولوژیکی از پتانسیل کارست زایی ضعیفی برخوردارند. تاکنون عوارض کارستی شدید در این سنگ‌ها گزارش نشده و از نظر هیدروژئولوژیکی نیزکم اهمیت شناسایی شده‌اند. در منطقه مورد مطالعه سه دسته گسل قابل شناسایی است که باعث قرارگیری سازند درود در میان سازندهای روته و فیلیش‌های کرتاسه و جابجایی در طبقات دولومیتی به اندازه ۱ متر شده‌اند. درزهای موجود در سنگ میزبان غار رابطه مستقیم با این گسل‌ها دارند. به نظر

می‌رسد که سطوح لایه‌بندی و درزهای موجود در سنگ‌های دولومیتی، اقلیم منطقه و وجود ولکانیک‌های جوان از عوامل اصلی تشکیل غار آبی سهولان باشند.

عمق آب در نقاط مختلف غار متفاوت بوده و تا ۵۵ متر می‌رسد. در گذرگاه‌هایی که توسعه عرضی کمتری دارند، عمق آب بیشتر است. حجم کلی آب غار حدود ۲۳٤۰۰ متر مکعب محاسبه شده است. از غار نهشته‌های مهم داخل غار می‌توان استالاکتیت‌های نی مانند، مخروطی شکل و بدون کانال مرکزی، استالاگمیت‌های شمعی و قارچی شکل، سدهای حاشیه‌ای و اشکال آنتودیت را نام برد. بر اساس مدل تکاملی ارائه شده، غار سهولان در حال حاضر در حالت ترکیبی فراتیک و سطح ایستابی قرار دارد و سن آن حدود ۷۵۰۰۰۰ سال برآورد شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

۱- احمدی راد، ص. (۱۳۸۳)، **مطالعهٔ غار آبی سهولان با نگرشی ویژه بر هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی آن**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.

۲- اصغری مقدم، الف. همتی، ع.(۱۳۸۲)، **ژئومورفولوژی و زمین شناسی غار آبی سهولان**، سومین سمپوزیوم بین المللی کارست اصفهان، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.

۳- افتخارنژاد، ج. (۱۳۵۹)، **تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی**، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲ ۱۹- ۲۸.

٤- پیر خراطی، ح. رعناقد، ح.، هرمز، ک. (۱۳۷۵)، **غار سهولان**، کمیته غار شناسی استان آذربایجان غربی.

۵- سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۵۱)، **نقشه زمین شناسی ۲۵۰،۰۰۰ : ۱**، چهارگوش مهاباد.

٦- کوثر، ن.(۱۳۷۳)، **مطالعه غارشناسی و هیدروژئولوژی غار شاپور**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، آبشناسی، دانشگاه شیراز.

۷- محبی، ف. (۱۳۸۲)، **بررسی زمین شناسی و زیست شناسی غار سهولان و ارائه الگوی مدیریتی و توریستی آن با تکیه بر مسائل زیست محیطی و توسعه پایدار**، طرح تحقیقاتی، سازمان حفاظت محیط زیست استان آذربایجان غربی.

۸- واحد مطالعات سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی. (۱۳۸۰)، **آمار هیدروکلیماتولوژی**، سازمان آب منطقه ای آذربایجان غربی.

9- Bogli, A., (1980), **Karst Hydrology and Physical Speleology**. Springer Verlag, New York.

10-Davis, N. S. and Dewiest, R. J. M. (1966), **Hydrogeology**, Joh.. Wiley & Sons Inc., U.S.A.

11-Domenico, P. A. and Schwartz, F. W. (1990), **Physical and Chemical Hydrology**, John Wiley & Sons Inc. U.S.A.

12-Dreybrodt, W. (1987), **Processes in Karst Systems: Physics, Chemistry and Geology**, Springer Verlag, Berlin.

13-Dreybrodt, W. (1990), **The Role of Dissolution Kinetics in the Development of Karst Aquifer in Limestone: Amodel Simulation of Karst Evolution**, Journal of Geology. 98. 639-655.

14-Fetter, C. W. (1988), **Applied Hydrogeology**, MacMillan Publishing Company. U.S.A.

15-Ford, D. C. and Ewers, R. O. (1978), **The Development of Limestone Cave Systems in the Dimensions of Length and Depth**, Canadian Journal of Earth Sciences 15. 1783-98.

16-Ford, D.C. (2003), **Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers**, The Virtual Scientific Journal.

17-Ford, D.C. and Williams, P.W. (1989), **Karst Geomorphology and Hydrology**, Unwin Hyman Ltd. London.

18-Gillison, D. (1996), **Caves: Processes, Development, Management**, Blackwell Publishers.

19-Harvey, W.R. (1997), **Microorganism as Tracers in Groundwater Injection and Recovery Experiments: a Review**, FEMS Microbiology Reviews 20: 461-472

20-Hauselmann, P., Jeannin, P. Y. and Bitterli T. (1999), **Relationships between Karst and Tectonics: Case Study of the Cave System North of Lake Thun (Bern, Switzerland)**, Geodinamica Acta 12. 377-388.

21-Moore, G.W. and Sullivan, G. N. (1978), **Speleology, the Study of Caves**, Zephyrus Press, Teaneck, NJ.

22-Palmer, A. N. and Palmer, V. N. (2000), **Hydrochemical**

Interpretation of Cave Patterns in the Guadalupe Mountains, New Mexico, J. Cave and Karst Studies 62 (2): 91-108.

23-Sancho, C. Pena, J. L., Mikkan, R., Osacar, C., Quinif, Y. (2004), **Morphological and Speleothemic Development in Brujas Cave (Southern Andean Range, Argentine): Palaeoenvironmental Significance,** Geomorphology 57: 367-384.

24-Stumm,W. and James, J. M. (1981), **Aquatic Chemistry an Introduction Emphasizing Chemical Equilibrium in Natural Waters,** John Wiley and Sons, Inc.

25-Steven, A. A. (1980), **Origin of Limestone Caves,** Institute for Creation Research.

26-White, W. B. (1988), **Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains,** Oxford University Press Inc.

27-White, W. B. and White, E.L. (1989), **Karst Hydrology Concepts from the Mammoth Cave Area,** Van Nostrand Reinhold, New York.

28-White, W. B. (2002), **Karst Hydrology: Recent Development and Open Questions,** Engineering Geology 65: 85-105.

پرتال جامع علوم انسانی