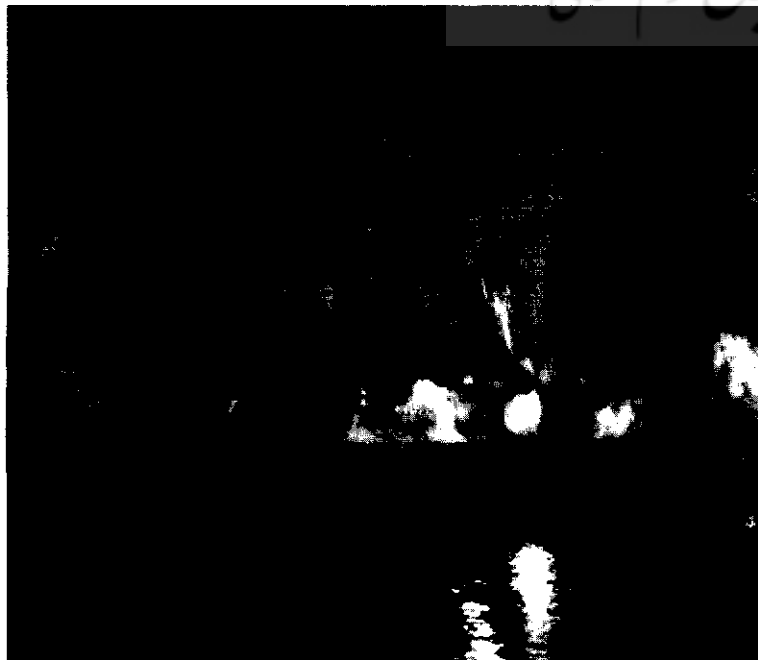


پدیده زمین‌شناسی غار آبی سهولان

چکیده
غار سهولان یکی از غارهای استثنایی جهان است که داخل سنگ‌های دولومیتی بر زمین آذربایجان که تا کنون هیچ گونه عوارض و علامت کارستی شاخص در آن مشاهده نشده، تشکیل شده است. ساختارهای داخلی غار از نوع گذرگاه‌های منفرد زاویه‌دار است، که کلاً تحت تأثیر فاکتورهای ساختمانی شکل گرفته است. خاستگاه اصلی غار، حاصل عملکرد سه مجموعه کلسی است که مهم‌ترین آن‌ها دارای روند «N80E» است. غار در مجموع از دو نوع معبر تشکیل یافته است. معبرهای آبی که بصورت مجاری عوارض کارستی آریزهای (استنلاگتیب) است، و معبرهای خشک که خطی و توسعه نیافته و فاقد هرگونه عوارض کارستی است. معبرهای اخیر جوان و یادآور مراحل اولیه تشکیل معبرهای آندار هستند. با توجه به وسعت کم حوضه تغذیه سطحی غار و ساختار ولکانیکی جوان منطقه، امکان مشارکت آب‌های هیپروترمال خورنده در تشکیل غار بعید به نظر نمی‌رسد.

مقدمه
غار آبی سهولان در ۴۳ کیلومتری جنوب شرق شهرستان مهاباد، در شمال غرب فلات ایران واقع شده است. دسترسی به این غار از طریق جاده مهابادبوکان و با طی حدود ۸/۳ کیلومتر جاده خاکی، از سه راهی روستای «عیسی کند» امکان‌پذیر است (شکل ۱). این غار اولین بار در سال ۱۸۹۰ میلادی توسط ژاک دمورگان^۱ گزارش شده است. سپس در فاصله سال‌های جنگ جهانی دوم، یک هیأت انگلیسی مجدداً آن را بازدید کرد. تنها گزارش منتشر شده از غار، از طرف کمیته غارشناسی استان آذربایجان غربی است که پس از بازدید در سال ۱۳۷۵، نمای مختصری از غار را به طور توصیفی ارائه کرده است.

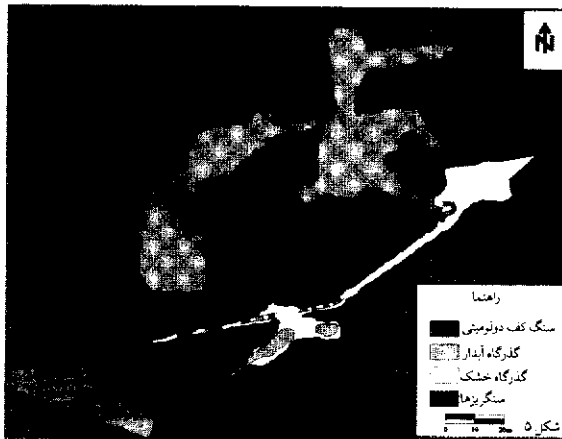
این مقاله گزارشی از اولین مطالعه مستند و علمی غار است که توسط نگارنده در فاصله سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۱، پس از چندین نوبت بازدید و اندازه‌گیری و آنالیز، تهیه شده است.



زمین‌شناسی و آب‌هواشناسی

غار آبی سهولان در منتهای شمال غربی سلسله جبال زاگرس، در جنوب دریاچه ارومیه قرار دارد. دهانه ورودی آن در ارتفاع ۱۷۷۲ متری قرار گرفته است؛ در مختصات جغرافیایی ۱۳، ۵۷ و ۴۵ درجه شرقی و ۲۱، ۳۹ و ۳۶ درجه شمالی، در دامنه کوهی که به لهجه محلی کونه کوتر (لانه کبوتر) نامیده می‌شود. این کوه با ابعاد ۱۰۰۰ در ۵۰۰ متر دارای روند شمالی-جنوبی و ارتفاع قله آن از سطح دریاهای آزاد ۱۸۵۰ متر و از پادگانه‌های هموار مجاورش حدود ۱۲۰ متر است.

منطقه مورد نظر تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد و خشک دارد و متوسط بارش سالیانه آن، به استناد آمار ایستگاه هواشناسی دانبند بوکان، ۲/۴۶۸ میلی‌متر است که به شکل برف و باران، به ویژه در فصل زمستان و بهار نازل می‌شود. درجه حرارت متوسط منطقه بین ۴/۱ تا ۳/۲۴ درجه سانتی‌گراد در نوسان است و حداکثر و حداقل دمای مطلق اندازه‌گیری شده، به ترتیب در تیرماه و دی ماه ۶/۴۲ و ۳۱- درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. زمستان‌های منطقه طولانی است و برف عموماً تا پایان فروردین ماه در دامنه‌ها باقی



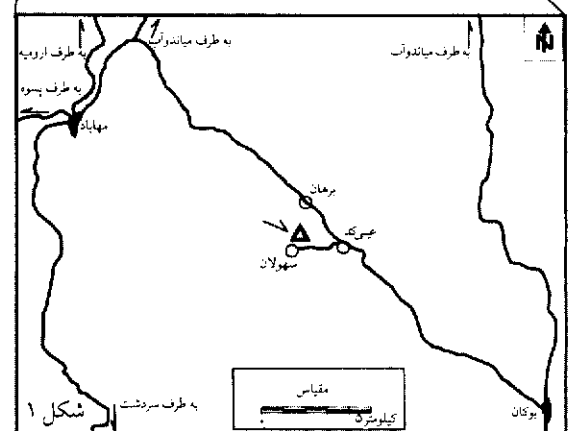
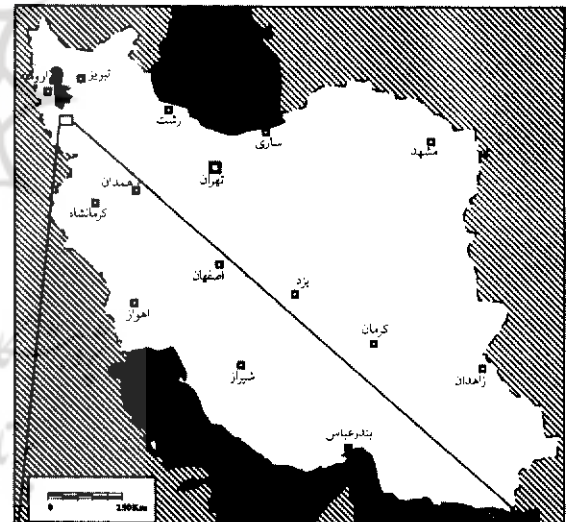
می‌ماند. رواناب حاصل از نزولات جوی، از طریق مسیل‌ها و آبراه‌های اروند، رو به شرق و به سیمینه رود تخلیه می‌شوند. صخره‌های کربناتی فراز غار برهنه و پیرامون آن را پوشش استپی بسیار تنگی شکل می‌دهد. دامنه‌های پای صخره‌ها را قشر خاک کم ضخامتی از نوع خاک سنگی^۱ با تکامل برشی ضعیف تشکیل می‌دهد. به همین علت، کشاورزی صرفاً به پادگانه‌های آبرفتی واریزه‌ای حاشیه دره‌ها محدود شده است.

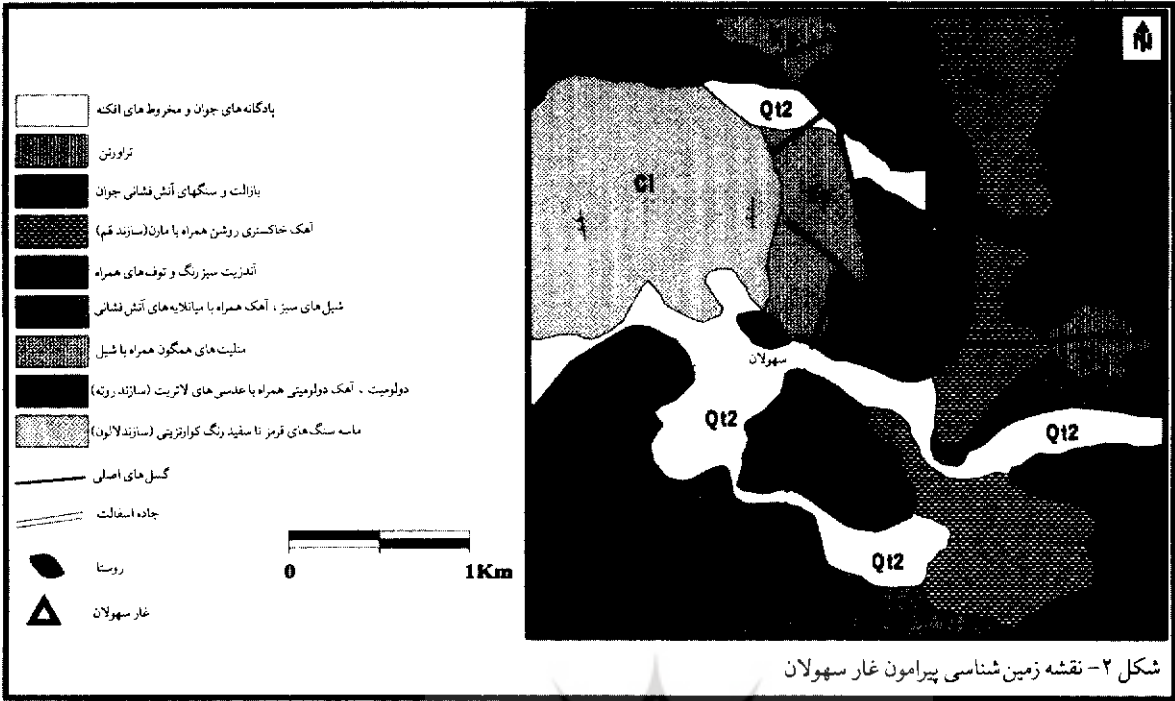
زمین‌شناسی

ناحیه مورد مطالعه، ضمن دارا بودن پی سنگ دگرگون شده پرکامبرین، از نظر تکتونیکی و ماگمایی جز فعال‌ترین بخش‌های پوسته فلات ایران به‌شمار می‌رود. از نظر لیتولوژیکی، کوه در برگیرنده غار، از دولومیت‌ها و آهک‌های دولومیتی به سن پرمین تشکیل یافته است. رسوبات پرمین این منطقه از ایران، از هر دو نظر سطح و ضخامت، گسترش وسیعی داشته‌اند و به‌طور دگر شیب روی تشکیلات قدیم‌تر مثل رسوبات کامبرین، اینفراکامبرین و پرکامبرین قرار گرفته‌اند. در ارتفاعات شمالی غار، رسوبات پرمین با سنگ‌های کرتاسه، واحدهای تکتونیکی فلسی^۲ را به وجود آورده‌اند. مرز این واحدها به‌طور عمده گسل‌های شمالی جنوبی است که منطبق بر جهت عمومی ساختارهای گسلی منطقه است. در افق‌های فوقانی، سنگ‌های پرمین میان لایه‌های چندمتری لاتریت تا بوکسیت مشاهده می‌شوند.

سنگ‌های دولومیتی کوه غار سهولان لایه‌لایه و فاقد چین‌خوردگی محسوسند و مشخصات چینه‌ای غالب آن‌ها N55E تا 18NW است. این مجموعه که ضخامت لایه‌های آن تا ۵/۲ متر هم می‌رسد، از غرب با همبری گسلی توسط فیلیت‌های سبز کرتاسه و از شرق با همبری دگر شیب با سنگ‌های و لکانیکی کرتاسه محدود شده است (شکل ۲).

از سایر واحدهای قابل توجه منطقه، روانه‌های بازالتی کواترنری است که در بخش وسیعی از آن، روی پادگانه‌های افقی



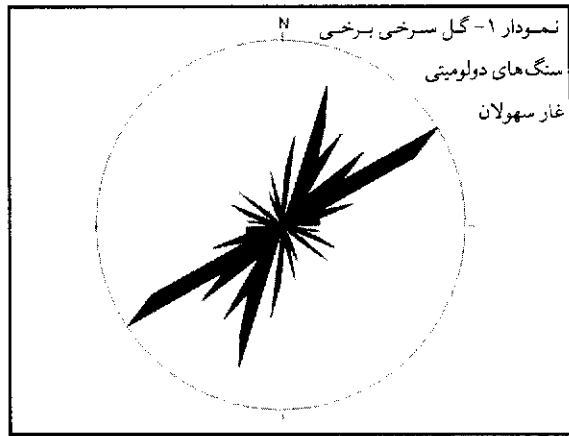
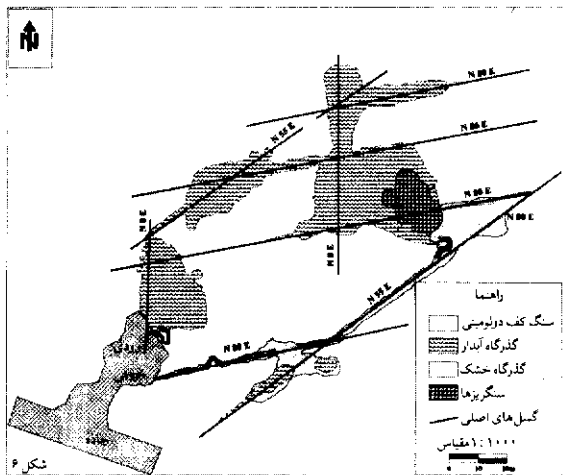


گسلی، مرز سازند پرمین با کرتاسه، یک گودی به مساحت 5×5 دیده می شود که احتمالاً یک چاهک ریزشی^۶ است. عمق این چاله به دلیل پرشدگی با واریزه های شیلی کرتاسه، به کم تر از ۳ متر کاهش یافته است. فقدان آثاری از مسیل های انحراف آب های جوی به این چاله، نشان از جوان بودن آن است. در دامنه کوه یک گسل با راستای (NOE) مشاهده می شود که حدود ۱ متر جابه جایی امتدادی را در طبقات دولومیتی ایجاد کرده است. امتداد این گسل تا دهانه غار قابل پی جویی است. درزهای موجود که به طور عمده قائمند، از نوع کششی هستند و فاصله بازشدگی آن ها بین ۵۰ تا ۴۰ سانتی متر است. دانسیته تراکم درزه ها پائین و فاصله متوسط آن ها ۱ تا ۳ متر است، طول درزه ها به ندرت به ۱۰ متر می رسد. با

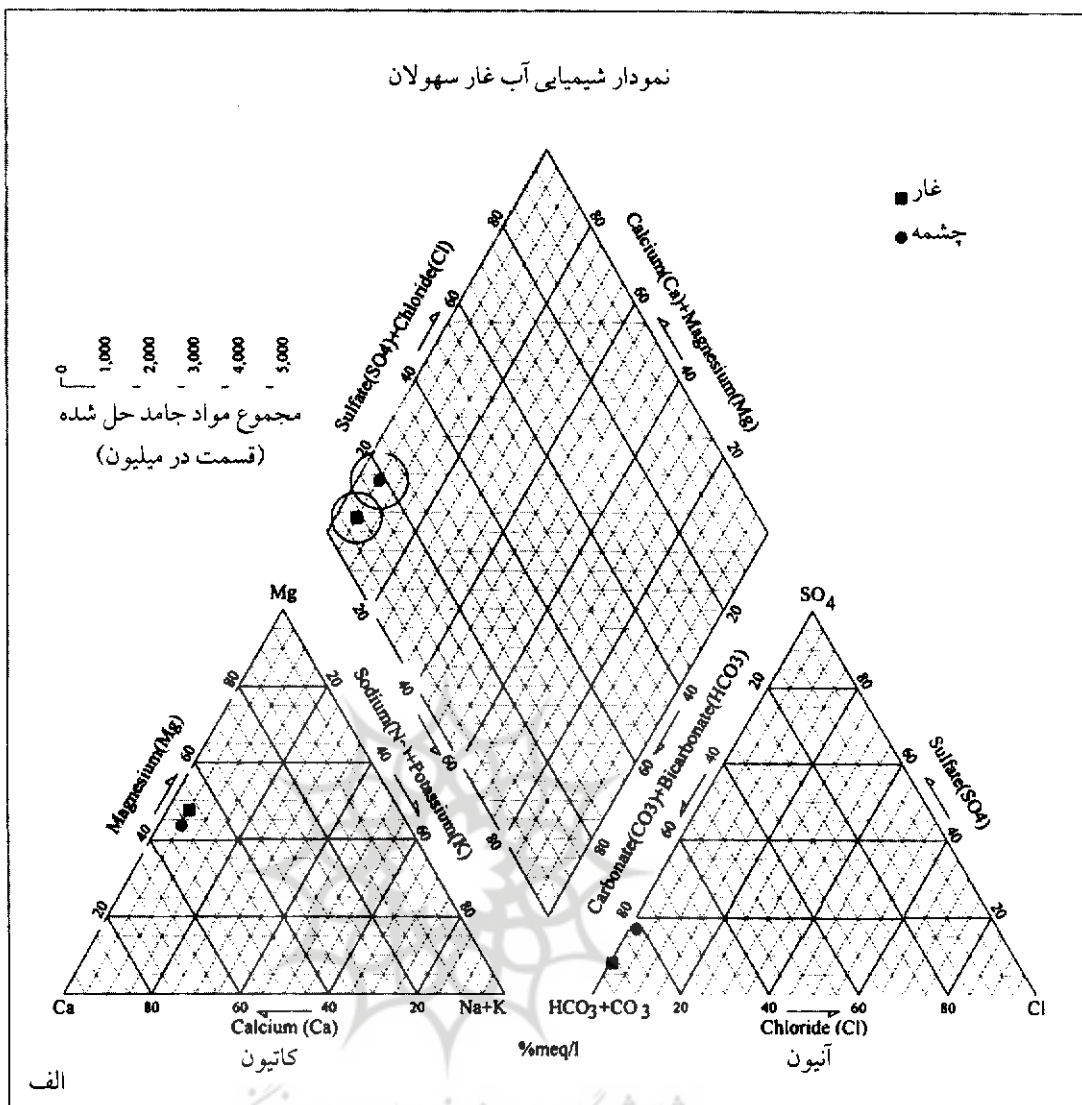
سازندهای قدیم تر و دره های قدیمی پر شده اند. موجودیت سنگ های تراورتنی در فاصله ۲ کیلومتری شرق غار، حاکی از جوان بودن فعالیت های ماگمایی منطقه است.

عوارض سطحی غار

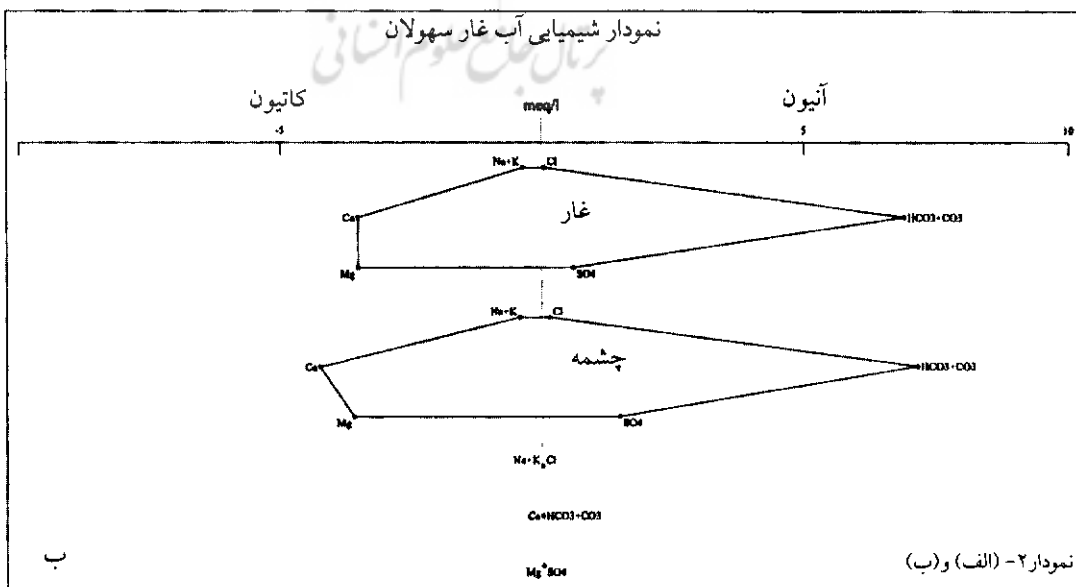
سنگ های دولومیتی دهانده کوه کونه کوتر به طور عمده سالم و غیر هوازده و فاقد عوارض شاخص کارستی هستند. با این حال، آثار گود افتادگی های باران^۷ و شیارهای خطی^۵ کم عمق که از مشخصات فرسایشی سطوح آهک های پرمین ناحیه است، به وضوح دیده می شود. شکل های عمقی این عوارض که منجر به ایجاد سطوح خشن و پوست فیلی شده اند، به ندرت به ۱ سانتی متر می رسد (شکل های ۳ و ۴). در ضلع غربی کوه، حاشیه دره



نمودار شیمیایی آب غار سهولان



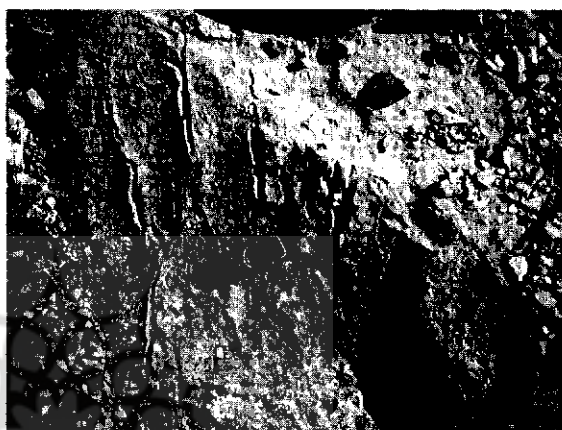
نمودار شیمیایی آب غار سهولان



است. تردد در این بخش، بدون قایق امکان پذیر نیست. بخش دوم معبر خروجی خشکی است که انتهایی ترین دهلیز آبدار غار را به صحن ورودی مربوط می سازد. معبر اصلی این بخش که مسیری کاملاً خطی دارد، حدود ۱۳ متر بلندتر از تراز آب غار است و در بخش میانی خود از کنار دو اتاقک کوچک آبدار هم سطح بخش های آبدار عبور می کند.



مجموع معبرهای آبدار و خشک غار، یک سیکل بسته نعلی شکل را مجسم می نمایند. توسعه غار در امتداد ۳ مجموعه گسلی قائم صورت پذیرفته است که جهت امتداد غالب این گسل ها (شکل ۶) عبارت است از: N0E-N80E و N55E. تمام معبرهای غار از نوع گسلی و تشکیل غار به طور کلی تحت کنترل عوامل ساختاری بوده است. این معبرها در امتداد هم و به طور زاویه دار قرار گرفته و مطابق تقسیم بندی وایت^۶ جزو معبرهای خطی زاویه دار^۷ محسوب می شوند. بیشترین گسلش های موجود، راستای N80E دارند که با فاصله ۱۵ تا ۵ متری از هم و به طور موازی، عمل کرده اند. از تلاقی این مجموعه با گسل های با راستای N0E، چارچوب اصلی گذرگاه های کنونی شکل گرفته است. بزرگترین تالاب آبدار با مساحت ۱۲۰۰۰ متر مربع در انتهای غار واقع شده که از ریزش سنگ های بلوکی سقف آن، جزیره ای به مساحت ۲۰۰ متر مربع در ضلع شرقی حاصل شده است.



شکل ۶

عمق آب موجود در فضاهای غار، با ابعاد آن ها رابطه معکوس دارد. این عمق در بزرگترین تالاب حداکثر ۱۲ متر است، در حالی که در گذرگاه بلافاصل پس از ورودی غار، بین ۱۸ تا ۲۰ متر است. آثار خطوط جریان باقی مانده در دیواره های غار در ارتفاع حدود ۱۸ متری از سطح آب دلیل بالا بودن سطح آب غار در گذشته می باشد.

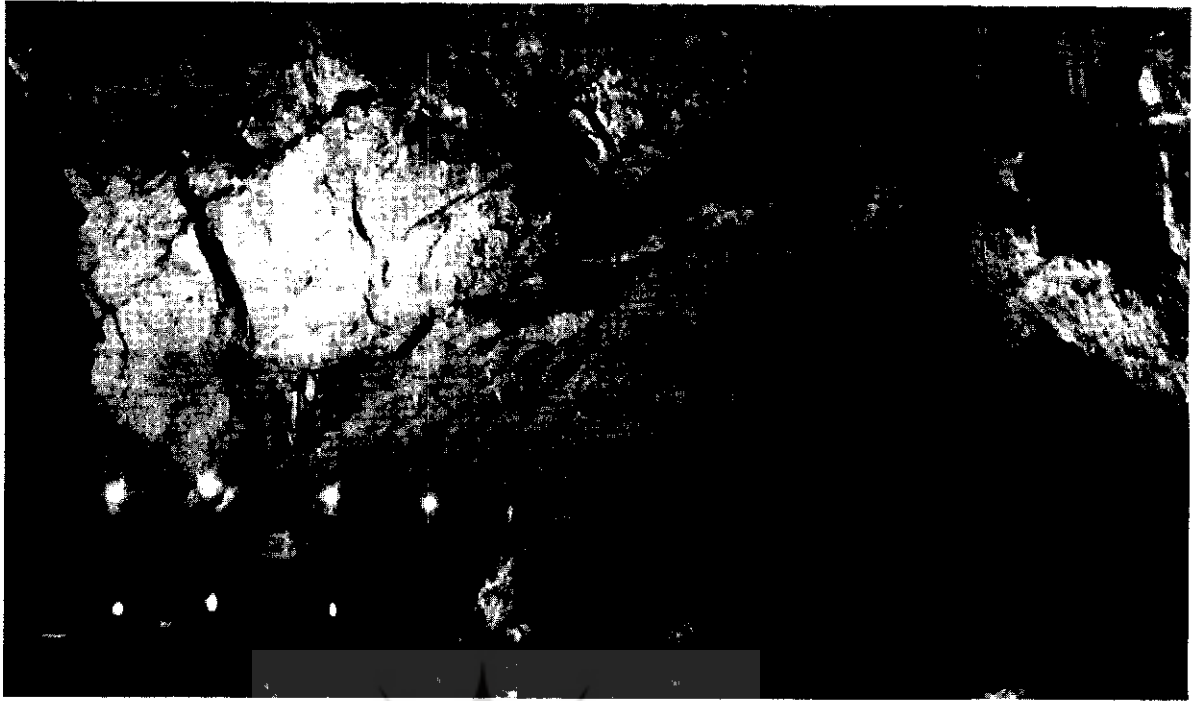
برداشت آماری، حدود یک صد درزه از سنگ های دولومیتی فراز غار سهولان، دیاگرام کل سرخی درزه های منطقه تهیه شده است (نمودار ۱) همان طور که دیاگرام نشان می دهد، جهت غالب درزه های منطقه «N55E» است که با یکی از سه جهت اصلی معبر غار منطبق است.

بیشترین عمق، مربوط به معبرهای شکافی رابط گذرگاه ها است که تا ۲۶ متر اندازه گیری شده است. در این گذرگاه ها به طور عمده آثار گسل های مولد مشاهده می شود. به نظر می رسد ریزش سنگ های سقفی دلیل اصلی کاهش عمق درگذرگاه های بزرگ باشد. ارتفاع سقف گذرگاه ها نیز با مساحت آن ها متناسب و بین ۷ تا ۵۰ متر متغیر است. خصوصیات هندسی معبرهای باریکی که رابط گذرگاه های بزرگ هستند، با جهات هندسی گسل های مولد آن ها رابطه دارد. به طوری که عرض معبرها با راستای N0E به بیش از ۸ متر می رسد. در حالی که در معبرهای با راستای N55E، آن

ساختمان غار سهولان را از نظر مورفولوژیکی می توان به دو بخش کاملاً مجزا تقسیم کرد (شکل ۵): بخش اول که در واقع بخش اعظم حجم غار را شامل می شود، گذرگاه های انحلالی حجیم و معبرهای بینابینی آن ها است که تقریباً تا نصف ارتفاع خود پر از آب هستند. ارتفاع سطح آب در تمام این معبرها یکسان، و حدود ۱۷۵۱ متر بالای سطح دریای آزاد (تیرماه ۱۳۸۱) است که ۲۱ متر از ارتفاع صحن ورودی غار پائین تر

جدول ۱

SAR	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	SO4	Cl-	HCO3-	TDS	EC	PH	پارامتر
%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	mg/l	μ.moh/cm		واحد
0.19	42.77	0.7	8	70.58	28.8	1.54	419.68	572	586	7.34	مقیاس سختی
0.2	43.74	1.4	9	85.01	71	5.09	434.32	649.6	620	7.45	مقیاس سختی



آب غار

آب غار سهولان کاملاً صاف و زلال و فاقد جریان محسوس است. نوسانهای فصلی سطح آب غار، به استناد مشاهدات بومیان منطقه، حدود ۵/۰ متر است. با وجود آثار خطوط جریان در ارتفاع ۱ و ۳ متری، حکایت از بالا بودن سطح آب در گذشته دارد.

در تیرماه ۱۳۸۱ که دمای هوای خارج غار حدود ۳۰ درجه و هوای داخل غار حدود ۲۵ درجه سانتی گراد بود، دمای آب غار ۱۳ درجه سانتی گراد اندازه گیری شده است. در همین زمان، رطوبت هوای غار در بخش های انتهایی به ۸۶ درصد رسیده است. اندازه گیری EC در بخش های مختلف آب غار نشان داد که کیفیت آن در تمام قسمت ها تقریباً یکسان است. در جدول ۱، آنالیز یک نمونه متوسط از آب غار و یک نمونه از آب چشمه ای که با بده آبی حدود ۱۰ لیتر در ثانیه، در دره جنوبی غار قرار دارد، ارائه شده است. همچنین در نمودارهای ۲ (الف و ب) نتایج این دو نمونه روی دیاگرام های هیدرو شیمیایی استیف^{۱۱} پایپر^{۱۲} نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، کیفیت آب هر دو نمونه تقریباً یکسان است و هر دو آب از نوع بی کربناته دارند. سختی کربناتی در هر دو نمونه، بیش از ۵۰ درصد است. منیزیم بالا نیز از ترکیب دولومیتی سنگ ها نتیجه شده است.

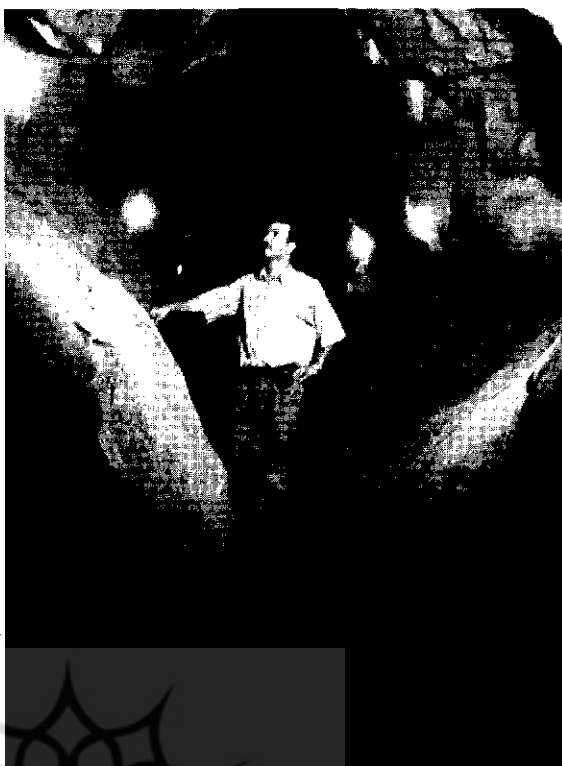
آب این غار در مقایسه با غار «علی صدر همدان» که بزرگ ترین غار آبی ایران است، از EC بالا (۵۸۶ به ۳۶۰) و از PH پایین تری (۳/۷ به ۳/۸) برخوردار است. با توجه به مشابهت کیفی آب چشمه و غار، ارتباط هیدرولیکی بین چشمه و غار محرز و بیانگر جریان آب زیرزمینی آزاد کارستی^{۱۳} از طرف غار (شمال) به طرف چشمه (جنوب) است.

به ندرت به ۲ متر می رسد.

بیش از نصف طول معبر خشک (حدود ۴۰ متر) در راستای گسل NSSE قرار دارد. در روی دیواره های این معبر، آثار برش و حاشیه گسلی به وضوح قابل مشاهده است. عرض این معبر در سطح تردد حدود ۲ متر است. این فاصله به طرف بالا به طور قواره ای کم می شود تا این که در فاصله ۱۰ تا ۳۰ متری، دو دیواره به هم می رسند (شکل ۹). کف این معبر در اثر ریزش دیواره ها و پرشدگی بالا آمده و برش مثلثی شکلی به معبر داده است.

عوارض انحلال و تبلور کارستی منحصراً به معبرهای آبی محدود شده است. شکل های انحلالی توسعه یافته، بیش تر به شکل فرورفتگی های خلیجی در دیواره ها قابل مشاهده اند. در بخش میانی اکثریت این فرورفتگی ها، یک شکاف گسلی مشاهده می شود. این گسل ها به طور عمده در راستای همان گسل اصلی قرار دارند و بعضی از شکاف آن ها تا عمق بیش از ۲۰ متری باز است. در طرفین دیواره این شکاف ها و در روی دیواره های اصلی و دیواره خلیج های انحلالی، انباشته ای از استلاگمیت های آراگونیتی شیری رنگ مشاهده می شود.

بخش عمده عوارض آب چکه ای^{۱۴}، سقفی و کفی، احتمالاً به دلیل ریزش های مکرر، تخریب یا مدفون شده اند. به طوری که عملاً عوارض کارستی کفی (استلاگمیت) در غار مشاهده نمی شود. مهم ترین عوارض کارستی موجود، استلاگمیت های حبابی شکل روی دیواره ها و حاشیه سقف ها هستند که به صورت خوشه ای از دیواره ها و حاشیه سقف ها آویزانند و بعضی طول آن ها به ۵ متر هم می رسد.



شکله غار

بی شک عملکرد گسل های اصلی مهم ترین و اصلی ترین عامل تشکیل غار است، به طوری که تشکیل و توسعه تمام معبرها و دالان ها، بدون استثنا در امتداد و محل تلاقی گسل ها صورت گرفته است. ظاهراً گسل معبر خشک جوان ترین گسل است که معبر آن صرفاً از ریزش «برش گسلی»^{۱۱} حاصل شده است. با توجه به واگرا بودن حوضه آبریز دامنه کوه و کم بودن جریانهای نفوذی زیرزمینی^{۱۵} و از طرفی فقدان پوشش گیاهی در بالا بردن میزان گاز Co2 محلول در آب های نفوذی، امکان تشکیل و توسعه معبرها حجیم فعلی منحصرأ توسط آب های جوی نفوذی و تحت شرایط کنونی، غیر ممکن به نظر می رسد؛ به ویژه آن که معبر خشک کنونی فعلاً در چنین وضعیتی قرار دارد و هیچ گونه آثار انحلال و تبلور محسوس در آن مشاهده نمی شود. گالسون^{۱۶} به نقل از مولر^{۱۷} و سرواری، از غارهایی بحث می کنند که تحت تأثیر فرایند انحلال آب های خورنده گرمابی شکل گرفته اند. حدود ۱۰ درصد غارهای جهان احتمالاً تحت تأثیر مشترک آب های هیدروترمال جوی^{۱۸} شکل گرفته اند پالمر^{۱۹}. تحت چنین شرایطی، در مناطق جوان ولکانیکی، آب های جوی پس از نفوذ در زمین و رسیدن به سنگ های گرم عمقی، بر دما، و CO2 و در بعضی موارد SO4 آن ها اضافه می شود. بدین ترتیب، این آب ها قدرت فوق العاده ای برای انحلال سنگ های کربناتی و ایجاد کارست پیدا می کنند. حضور سیستم های گسلی عمیق برای انتقال آب های جوی به عمق و حاکمیت جریانات کانالی

(NR<100)، پیش شرط این فرض است. تشکیل سنگ های کربناته تراورتنی در فاصله کمی از شرق منطقه، دلیلی بر حضور چنین سیستم هایی در منطقه است. البته فرایندهای تکتوتیکی نظیر زمین لرزه، در پیوند معبرها به هم و توسعه غار نقش مهمی داشته اند.

شکله گسلی

غار آبی سهولان داخل سنگ های دولومیتی پرمین شمال باختری فلات ایران شکل گرفته است. این سنگ ها، هم به لحاظ حاکمیت ساختارهای تکتوتیکی فعال منطقه و هم به دلیل شرایط توپوگرافیکی و لیستوتیکی، از توان کارست زایی ضعیفی برخوردارند. به طوری که تا کنون هیچ موردی از پدیده کارست و غار در این سنگ ها گزارش نشده است و عملاً نیز این سنگ ها از نظر هیدروژئولوژیکی کم اهمیت شناسایی شده اند. عملکرد چندین گسل قائم، برای ایجاد و چرخش آب های گرمابی با منشأ جوی زمینه مناسبی را فراهم ساخته است که به دلیل قابلیت خورندگی بالا، در توسعه انحلال دیواره های گسلی و تشکیل غار، نقش اساسی داشته است.

* گروه زمین شناسی دانشگاه ارومیه

1. J.Demurgan
2. Lithosoil
3. Schuppen structure
4. Rain drops
5. Rillen karren
6. Collapse shaft
7. Set
8. White
9. Angulated single conduit passage
10. Stife
11. Piper
12. Unconfined karst aquifer
13. Tectonic Breccia
14. Infiltration flow
15. D.Galleson 1996
16. Muller and Sarvary 1991
17. Meteoric
18. Palmer 1991

منابع

۱. پیر خراطی، رعنا و قدح، هرمز. غار سهولان. کمیته غارشناسی استان آذربایجان غربی. ۱۳۷۵.
2. Geological Survey of Iran, 1977, Explanatory text of the Mahabad quadrangle map 1:250,000.
3. White, W.B. 1988, Geomorphology and hydrology of karst terrains, pp68-72,.
4. Gillieson, D. Caves; 1997, processes, development, management, pp97-100.