

## نقش مطالعات ژئومورفولوژی کارست در شناخت منشاء غارها

محمدحسین قبادی\*، یزدان محبی حسن آبادی<sup>۲</sup>، یاسین عبدی لر<sup>۳</sup>

پذیرش مقاله: ۹۱/۳/۳

دریافت مقاله: ۹۰/۸/۴

### چکیده

در این پژوهش شرایط زمین‌شناختی و نحوه گسترش پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست سطحی و زیر سطحی در محل غارهای علی‌صدر و کتله‌خور بررسی و با انجام مطالعات سنگ‌شناختی و تعیین خصوصیات فیزیکی، عوامل مؤثر در نحوه تشکیل غارهای مذکور با هم مقایسه شده است. منطقه غار علی‌صدر از نظر زمین‌ساختی در محدوده پرتحرک‌ترین پهنه ساختاری ایران یعنی زون سنندج - سیرجان است و منطقه غار کتله‌خور از نظر زمین‌ساختی در بخش شمال‌غرب ایران مرکزی جای گرفته است. غار علی‌صدر درون توده سنگ‌های آهکی متعلق به دوره ژوراسیک شکل گرفته و غار کتله‌خور درون توده سنگ‌های آهکی معادل سازند قم تشکیل شده است. بر اساس بازدیدهای صحرائی، پدیده‌های ژئومورفولوژیکی سطحی کارست در منطقه غار علی‌صدر به چند چشمه و غار کوچک محدود می‌شود، ولی در زیر سطح آن کارست کاملاً گسترش یافته است. در منطقه غار کتله‌خور پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست هم در سطح و هم در زیر سطح کاملاً گسترش یافته است. در محدوده غار علی‌صدر وجود چشمه‌های با آبدهی کم از عدم توسعه آبخوان کارستی حکایت می‌کند، که این پدیده با کمبود آثار کارستی سطحی هم‌خوانی دارد. چشمه‌های موجود در محدوده غار کتله‌خور نسبت به چشمه‌های جاری در اطراف غار علی‌صدر آبدهی بیشتری دارند. این موضوع می‌تواند به توسعه آبخوان‌های کارستی دلالت داشته باشد. با توجه به مطالعه‌ی مقاطع نازک سنگ، سنگ‌های آهکی محدوده غار علی‌صدر به طور عمده از کلسیت متبلور تشکیل شده و می‌توان آنها را مرمر ضعیف نامگذاری نمود. ولی سنگ‌های آهکی محدوده غار کتله‌خور بایومیکرایت و کستون (Biomicrite wackestone) هستند. نتایج آزمایش‌های XRF و XRD نشان می‌دهد که نمونه‌های سنگ مربوط به هر دو غار از لحاظ ترکیب شیمیایی و کانی‌شناختی شباهت زیادی به هم دارند. با توجه به نتایج آزمایش‌های تعیین خصوصیات فیزیکی، درصد جذب آب و تخلخل نمونه‌های سنگ منطقه غار کتله‌خور نسبت به نمونه‌های سنگ منطقه غار علی‌صدر بیشتر است. بر اساس نتایج این پژوهش غار علی‌صدر درونزاد (Hypogenic) بوده و حاصل صعود و فعالیت آب‌های هیدروترمال ژرف می‌باشد در حالی که غار کتله‌خور برونزاد (Epigenic) بوده و حاصل فعالیت آب‌های نفوذی است.

کلید واژه‌ها: غار، علی‌صدر، کتله‌خور، کارست، محلول‌های هیدروترمال، ژئومورفولوژی

۱- دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، amirghobadi@yahoo.com

۲- عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور اسدآباد، همدان

۳- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

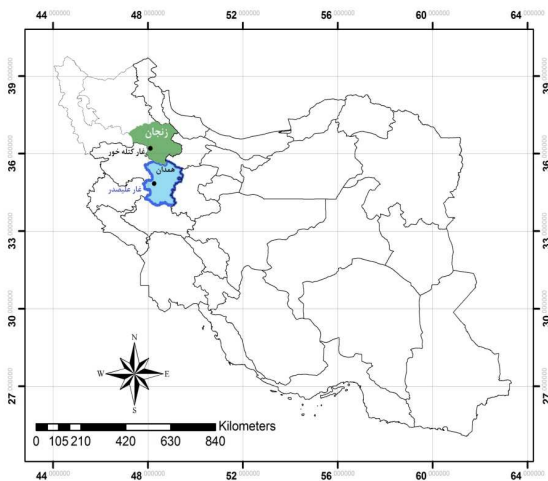
\*مسئول مکاتبات

## ۱. مقدمه

غار علی‌صدر یکی از کم نظیرترین غارهای طبیعی قابل قایقرانی در جهان است. این غار در ارتفاعات ساری قیه (صخره‌زرد) شکل گرفته است. در این کوه دو غار دیگر به نام‌های سوباشی و سرآب وجود دارد که به ترتیب ۷ و ۱۱ کیلومتر با غار علی‌صدر فاصله دارند. دهانه اصلی غار علی‌صدر در روستای علی‌صدر است. این غار در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال غربی همدان در ارتفاع ۱۹۸۰ متری از سطح دریا واقع شده است. غار کتله‌خور از لحاظ کیفیت بلورها و قندیل‌ها، زیبایی و تعداد طبقات به عنوان اولین غار آهکی جهان شناخته شده است. غار کتله‌خور در ۱۵۵ کیلومتری جنوب زنجان و ۱۷۲ کیلومتری شمال همدان، در نزدیکی شهر کوچک گرماب واقع شده است (شکل ۱).

بر اساس منشاء تشکیل، غارها به دو نوع درونزاد (Hypogenic) و برونزاد (Epigenic) تقسیم می‌شوند. غارهای برونزاد حاصل فعالیت آب‌های نفوذی بوده و غارهای درونزاد حاصل صعود و فعالیت آب‌های هیدروترمال ژرف هستند [۱۱، ۱۶]. برای مثال غار سریزجان در ۹۰ کیلومتری جنوب شیراز که به طول بیش از ۱۸۰ متر در تاق‌دیس ژودنو فیروزآباد در آهک‌های آسماری شکل گرفته، غاری برونزاد محسوب می‌گردد. مسیرهای این غار، شکاف مانند بوده و غار تحت تأثیر عوامل انحلال در محل تقاطع و یا در امتداد درزه‌های غالب منطقه شکل گرفته است. با توجه به تاریخچه زمین‌شناختی 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 [۷].

در محل سد کارون ۴، غار کوچک منج در محل برخورد تونل انحراف آب با گسل منج در سازند آسماری پدیدار گشته است. با وجود دو تیپ آب هیدروترمال و آب شیرین در غار، فضای هندسی، وجود نهشته‌های ثانویه کربناته در مدخل آب‌های گوگردی، وجود بلورهای ژپس در غار و همچنین نتایج آنالیز هیدروشیمیایی، غار منج از نوع غارهای درونزاد تشخیص داده شده است [۹]. غار پوسه در شرق روستای اسکل آباد و نزدیک جاده زاهدان به خاش در ۹۶ کیلومتری



شکل ۱. موقعیت غارهای علی‌صدر و کتله‌خور

در نقشه ایران زمین

## ۲. مواد و روش‌ها

در این تحقیق با انجام بازدیدهای صحرایی، شرایط زمین‌شناختی منطقه بررسی و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست، شناسایی گردیده و نحوه گسترش پدیده‌های کارستی سطحی و زیر سطحی در محل غارهای علی‌صدر و کتله‌خور مورد ارزیابی قرار گرفته است. با نمونه‌برداری از هر دو محل و تهیه مقاطع نازک سنگ، ترکیب کانی‌شناسی آنها معین گردید و مطابق رده‌بندی دانهام (Danham) و فولک (Folk)، سنگ‌ها نامگذاری شدند. با تعیین خصوصیات فیزیکی نمونه‌ها و براساس شواهد سنگ‌شناختی و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست، نحوه‌ی تشکیل و نقش عوامل اصلی در ایجاد و توسعه غارهای مذکور معرفی گردیدند.

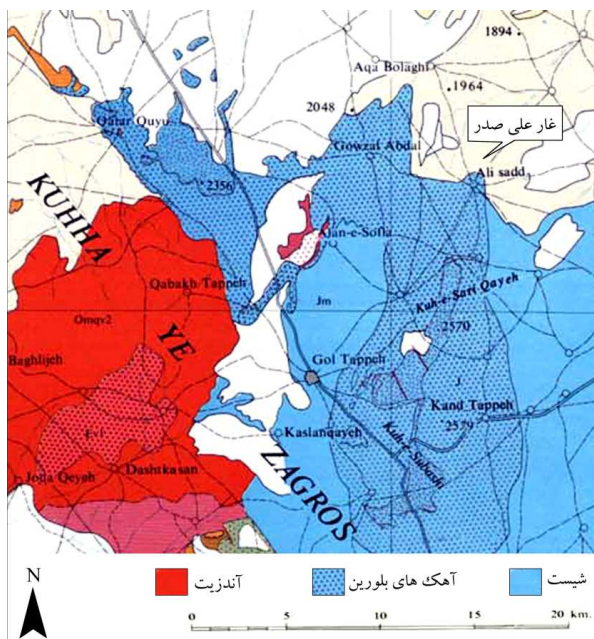
## ۲-۱. غار علی صدر

## زمین‌شناختی

منطقه غار علی صدر از نظر زمین‌ساختی در محدوده پرتحرک‌ترین پهنه ساختاری ایران یعنی زون سندج سیرجان جای گرفته است [۵]. رشته کوهی که غار علی صدر در آن قرار دارد بخشی از یک طاقدیس بزرگ است که محور اصلی آن راستای شمالی- جنوبی دارد. طول رشته کوه علی صدر حدود دو کیلومتر است. بیشترین ارتفاع رشته کوه ۲۱۸۰ متر است و ارتفاع دهنه ورودی غار که در شمال رشته کوه علی صدر قرار گرفته ۱۹۸۰ متر است. برآمدگی آهکی از جنوب حدود سی کیلومتر ادامه می‌یابد و به رشته کوه‌های چالکن و سارقیه متصل می‌شود. محور تاقدیس در بخش جنوبی در راستای  $115^{\circ}N$  قرار دارد.

شیب لایه‌ها در غار علی صدر و نواحی مجاور آن در حدود  $40^{\circ}$  الی  $45^{\circ}$  درجه و جهت شیب به سمت غرب است. به علت اینکه قسمت عمده منطقه توسط رسوبات پوشیده شده است ساختارهای گسلی عمدتاً در زیر رسوبات قرار گرفته و در سطح رخنمون ندارند [۵]. سنگ‌های کربناته و شیست‌های منطقه غار علی صدر با سن ژوراسیک، طی دوره کرتاسه و تا اوایل ترشیاری چین خورده‌اند و در اثر همین چین‌خوردگی شکستگی‌های زیادی در توده سنگ‌ها بوجود آمده است. منطقه در اواخر ترشیاری و پلیستوسن تحت تأثیر یک دوره ولکانیکی قرار گرفته که توده‌های نفوذی آندزیتی موجود در  $20$  کیلومتری غار علی صدر متعلق به این دوره هستند [۱۵].

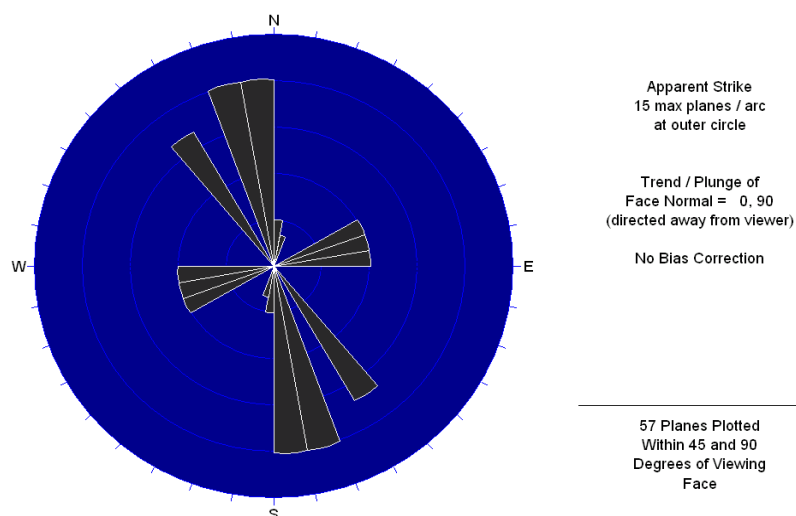
کهن‌ترین سازندهای موجود در منطقه غار علی صدر، سنگ آهک‌های بلورین و شیست‌های متعلق به دوره ژوراسیک هستند که در بسیاری از نقاط توسط رسوبات عهد حاضر پوشیده شده‌اند. غار علی صدر در داخل توده سنگ‌های آهکی ژوراسیک تشکیل گردیده است (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه و مقطع زمین‌شناختی محدوده غار علی صدر [۵]

## ناپیوستگی‌ها

در طی بازدیدهای میدانی برداشت ناپیوستگی‌ها صورت گرفته و نمودار گلبرگی ناپیوستگی‌ها برای محدوده غار علی صدر ترسیم شده است (شکل ۳). در شکل ۲ شش سیستم درزه مشاهده می‌شود. دو سیستم درزه اصلی باراستای تقریبی شمال غرب- جنوب شرق قرار دارند که بر سه سیستم درزه فرعی عمود هستند. سیستم درزه‌های اصلی به موازات و سیستم درزه‌های فرعی عمود بر امتداد لایه‌بندی قرار دارند. امتداد غار علی صدر با محل تقاطع این درزه‌ها انطباق دارد.



شکل ۳. نمودار گلبرجی ناپیوستگی های موجود در محدوده غار علی صدر

و ۱۷ کیلومتر از دهانه غار علی صدر در داخل توده سنگ های ژوراسیک شکل گرفته اند. این غارها پائین تر از سطح آب زیرزمینی قرار دارند و در ترازهای بالاتر از سطح آب زیرزمینی حفرات کارستی یا غار دیده نمی شود [۱۵].



شکل ۴. آثار کارست سطحی در محدوده غار علی صدر

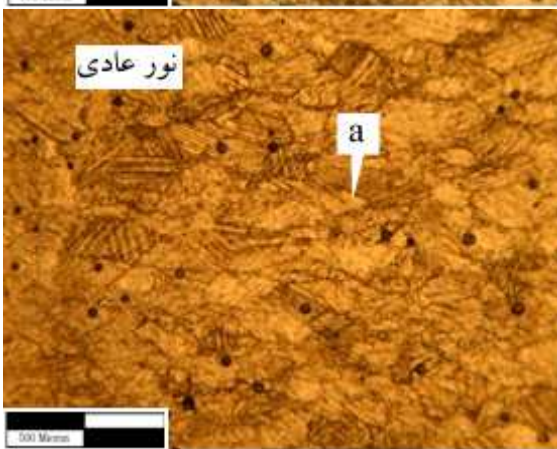
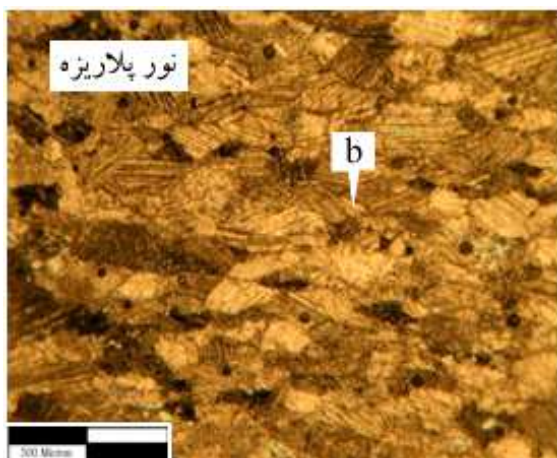
#### پدیده های ژئومورفولوژی کارست

با توجه به بررسی های میدانی در منطقه غار علی صدر چندین چشمه شناسایی شده که به ترتیب چشمه های گاورگلی، قمیشلی گل و سراب های ۳، ۲، ۱ نامگذاری شده اند [۱]. دبی کم چشمه های مذکور نشان از عدم توسعه آبنخوان های کارستی دارد که چشمه ها را تغذیه می کنند. چشمه گازدار گاورگلی حدود ۲۰ کیلومتری جنوب غار علی صدر (در غرب رادار سوباشی) قرار دارد و با دبی ۳۰ لیتر در ثانیه از زمین می جوشد. صدای جوشش آب از فاصله چند متری شنیده می شود. آب این چشمه حاوی مقدار زیادی گاز CO<sub>2</sub> جوشش آب نیز به علت وجود گاز می باشد.

پدیده ژئومورفولوژیکی کارست سطحی مانند کارن، فروچاله و... در محدوده غار علی صدر دیده نمی شود. شواهد سطحی کارست محدود به آثار انحلالی مانند حفرات است (شکل ۴). درون غار علی صدر پدیده های کارستی زیر سطحی متعددی دیده می شود (شکل ۵). شکل و روند کلی غار تابع شکستگی های بزرگ و گسل های موجود در منطقه می باشد که توسط رورانندگی ایجاد شده است [۲]. به نظر می رسد عاملی درونی که باعث سرعت بخشیدن انحلال و توسعه حفرات کارستی شده، نقش اصلی را در ایجاد غار علی صدر ایفا نموده است. کانی زایی آراگونیت در درون غار علی صدر انجام شده است [۱۵]. غار سراب و غار سوباشی به ترتیب با فواصل ۱۱



انجام شد (جدول ۱). همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود میزان اکسید کلسیم بیشتر از ۵۰ درصد و مقدار اکسید منیزیم کمتر از یک درصد است. این ترکیب شیمیایی معرف خلوص سنگ آهک بوده و استعداد آن را برای کارستی شدن نشان می‌دهد. نتایج آزمون XRD نیز این موضوع را تأیید می‌کند زیرا که فراوانی کربنات کلسیم در نمونه بسیار زیادتر از کربنات منیزیم است.



شکل ۶. مقاطع نازک تهیه شده از نمونه سنگ‌های محل غار علی صدر (a و b بلورهای کلسیت هستند).



شکل ۵. حفرات انحلالی بزرگ زیر سطحی غار علی صدر

#### مطالعات آزمایشگاهی

##### سنگ شناسی

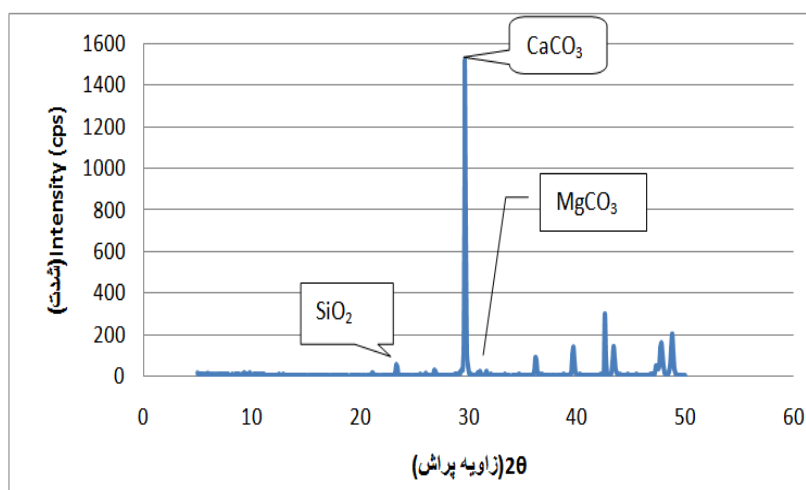
با توجه به مطالعه مقاطع نازک سنگ، سنگ آهک‌های محدوده غار علی صدر را می‌توان در رده‌ی مرمرهای ضعیف نام‌گذاری نمود (شکل ۶)، زیرا که عمدتاً از کلسیت متبلور تشکیل شده‌اند و شیستوزیته ضعیفی دارند، شکستگی‌های موجود نیز توسط کلسیت پر شده و تخلخل سنگ بسیار کم است.

#### آزمایش‌های XRF و XRD

از نمونه A-2 که برای مقطع نازک سنگ استفاده شده بود نمونه‌ی پودری تهیه و روی آن آزمایش‌های XRF و XRD

جدول ۱- نتایج آزمایش XRF انجام شده بر روی نمونه A-2

نمونه	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	Mg %	TiO <sub>2</sub> %	MnO %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	SO <sub>3</sub> %	L.O.I %
A-2	۲/۶۹	۰/۲۰	۰/۰۹	۵۳/۲۰	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۷۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۵۴۶	۰/۰۰۴	۴۲/۱۸



شکل ۷. نمودار نتایج آزمایش XRD بر روی نمونه A-2

### خصوصیات فیزیکی

مطابق با استاندارد D2216، ASTM خصوصیات فیزیکی ۱۲ نمونه سنگ تهیه شده از محل غار علی صدر تعیین گردید [۱۷]. حداکثر جذب آب و تخلخل در نمونه‌های غار علی صدر به ترتیب ۰/۶۷ و ۱/۶۴ درصد است (جدول ۲).

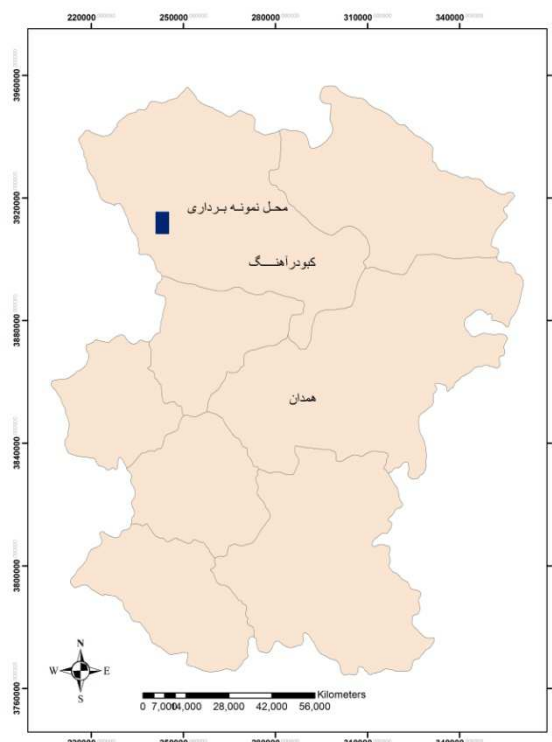
جدول ۲- نتایج آزمون‌های فیزیکی انجام شده بر روی نمونه‌های سنگ غار علی صدر

شماره نمونه	وزن واحد حجم خشک (gr/cm <sup>3</sup> )	درصد رطوبت	درصد جذب آب	درصد تخلخل
A-1	۲/۶۸	۰/۲۷	۰/۵۸	۱/۰۸
A-2	۲/۴۶	۰/۰۹	۰/۶۷	۱/۶۴
A-3	۲/۶۳	۰/۱۱	۰/۵۰	۱/۲۵
A-4	۲/۵۹	۰/۱۳	۰/۴۱	۱/۱۵
A-5	۲/۵۴	۰/۰۷	۰/۴۳	۱/۱۰
A-6	۲/۶۸	۰/۱۶	۰/۴۶	۱/۲۴
A-7	۲/۶۷	۰/۱۰	۰/۴۰	۱/۱۰
A-8	۲/۶۷	۰/۱۰	۰/۴۰	۱/۱۰
A-9	۲/۶۹	۰/۰۸	۰/۳۵	۰/۹۷
A-10	۲/۷۱	۰/۰۸	۰/۳۵	۰/۹۸
A-11	۲/۶۶	۰/۱۱	۰/۳۹	۱/۰۵
A-12	۲/۷۱	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۸۹

### ۲-۲. غار کتله خور

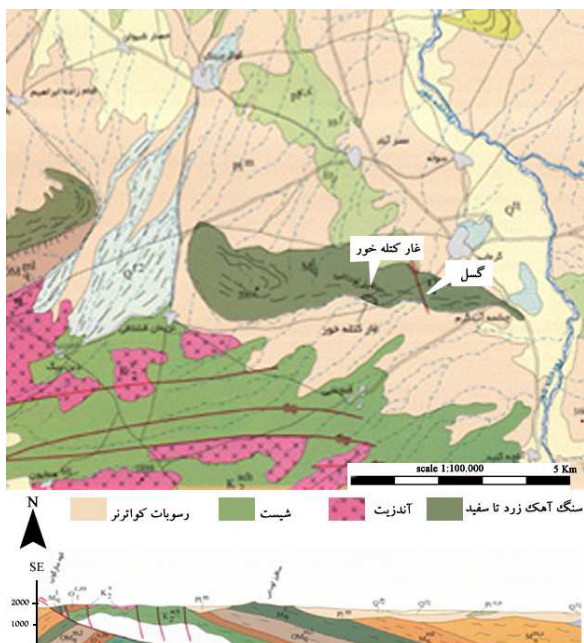
#### زمین شناسی

تا سال ۱۳۷۲ بازدید از غار کتله خور تنها برای گروه‌های حرفه‌ای غارنورد و مجهز به ابزار و ادوات خاص امکان‌پذیر بود. از این سال به بعد عملیات عمرانی در این منطقه آغاز شد و مسیرهای بازدید تفریحی به طول دوهزار و ۳۵۰ متر و با



شکل ۸. موقعیت غار علی صدر در استان همدان

شمال غرب - جنوب شرق است. سیستم درزه دیگری عمود بر آن با راستای شمال شرق - جنوب غرب واقع شده که امتداد غار با محل تقاطع این دو سیستم درزه انطباق دارد.



شکل ۹. نقشه و مقطع زمین‌شناختی محدوده غار کتله‌خور [۶]

#### پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست

در منطقه غار کتله‌خور آثار سطحی کارست، نسبتاً توسعه یافته می‌باشند. در ارتفاعات کوه ساقیزلوداگی چندین چاهک کارستی در محل تقاطع درزه‌ها دیده می‌شود که همراه با میکروکارن‌های موجود در سطح توده سنگ‌ها از نشانه‌های بارز توسعه کارست سطحی در این منطقه است (شکل ۱۱). کارست در درون غار نیز به طور وسیعی توسعه یافته است. غار و حفرات کارستی در این منطقه در ترازهای بالاتر از سطح آب زیرزمینی تشکیل گردیده‌اند و این نشانی از قدیمی بودن توسعه کارست و غار زایی کارستیک در این منطقه است. در حقیقت تشکیل و توسعه‌ی حفرات کارستی مربوط به زمانی است که سطح آب زیرزمینی بالاتر از زمان حاضر بوده است.

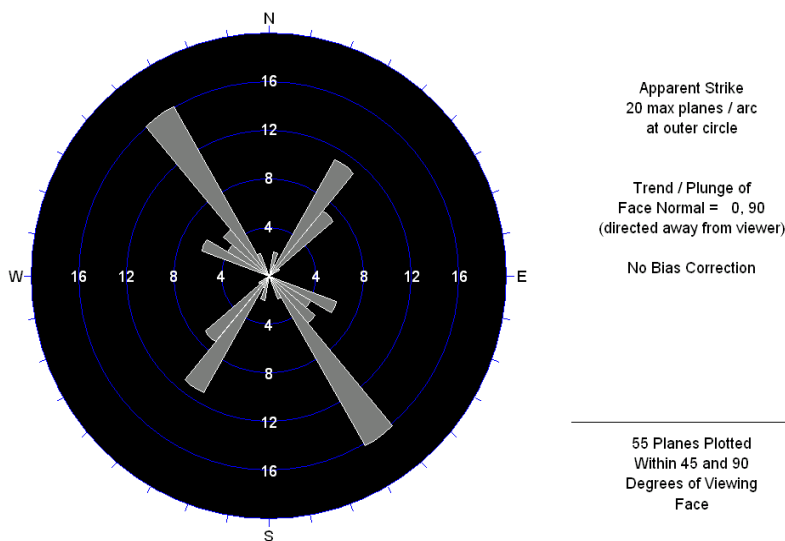
نورپردازی‌های فراوان در غار ایجاد شد. در حال حاضر این غار به سه بخش فرهنگی، تفریحی و ورزشی تقسیم شده است. بخش ورزشی آن که در حدود ۴ کیلومتر است تنها مورد استفاده غارنوردان و صخره نوردان قرار می‌گیرد ولی هنوز انتهای آن کشف نشده است. بخش تفریحی غار نیز که جهت بازدید عموم مورد استفاده قرار می‌گیرد حدود ۲ کیلومتر مسیر مستقیم است حدود یک سوم کل غار است. بخش فرهنگی غار نیز در جنوب آن قرار دارد؛ قسمت اصلی آن دالانی است طبیعی که جهت برگزاری مراسم مختلف مورد استفاده می‌شود، این دالان هیچ‌گونه راه خروجی به بیرون نداشته و معبر خروجی آن به صورت مصنوعی حفر شده و خود دالان طبیعی است.

منطقه غار کتله‌خور از نظر زمین‌ساختی، جزو شمال غرب زون ایران مرکزی می‌باشد [۶]. غار کتله‌خور در پیکره کوه ساقیزلوداگی قرار گرفته است که این کوه، یال شمالی یک تاقدیس را می‌سازد که هسته آن را آهک‌ها و اسلیت‌های دگرگون شده دوره‌ی کرتاسه تشکیل می‌دهد. محور این تاقدیس شرقی- غربی و شیب یال شمالی آن بین ۲۰ تا ۳۵ درجه شمالی تغییر نشان می‌دهد. در محدوده غار، گسلی با روند شمالی- جنوبی دیده می‌شود. کهن‌ترین سنگ‌های منطقه غار کتله‌خور شیست، فیلیت و اسلیت همراه با آندزیت و تراکی آندزیت به رنگ قرمز و خاکستری تیره متعلق به کرتاسه است. سنگ آهک‌های زرد و سفید و تناوب مارن‌های سبز و قرمز متعلق به میوسن (معادل سازند قم) همراه با کنگلومرای با سیمان ضعیف متعلق به پلیوسن در منطقه رخنمون دارد. غار کتله‌خور در داخل توده سنگ‌های آهکی زرد رنگ معادل سازند قم شکل گرفته است.

#### ناپیوستگی‌ها

در بازدیدهای میدانی ناپیوستگی‌های محدوده غار برداشت شد. مطابق با نمودار گلبرگی ترسیم شده، در منطقه غار کتله‌خور شش دسته درزه وجود دارد (شکل ۱۰). همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود سیستم درزه غالب دارای راستای





شکل ۱۰. دیاگرام گلبگی ناپیوستگی های محدوده غار کتله خور

#### مطالعات آزمایشگاهی

##### سنگ شناسی

با توجه به مطالعه مقاطع نازک، نمونه های سنگ آهک متعلق به غار کتله خور را می توان بر اساس طبقه بندی فولک [۱۸] بایو میکرایت و کستون (Biomicroite wackestone) نام گذاری کرد (شکل ۱۲). خمیره (Matrix) سنگ، گل آهکی (میکرایتی) است که فسیل های دوکفه ای و فرامینفرها در آن دیده می شوند. پوسته جانداران و مقداری از ذرات بعد از انحلال، دوباره توسط کلسیت پر شده اند. بعضی حفرات به طور کامل پر نشده اند و حفرات انحلالی حدود ۵ درصد هستند.

##### آزمایش های XRF و XRD

از نمونه K-1 که برای مطالعه مقطع نازک سنگ استفاده شد. پودر سنگ تهیه و بر روی آن آزمایش های XRF و XRD انجام شد (جدول ۳ و شکل ۱۳). همان طور که در جدول دیده می شود مقدار اکسید کلسیم بیشتر از ۵۰ درصد و مقدار اکسید منیزیم کمتر از یک درصد است. نتایج آزمون XRD نیز این موضوع را تأیید می کند زیرا که فراوانی کربنات کلسیم در نمونه، بسیار زیاده تر از کربنات منیزیم است.



شکل ۱۱. توسعه کارست سطحی با وجود کارنها (سمت راست) و حفرات و غار (سمت چپ) در منطقه غار کتله خور

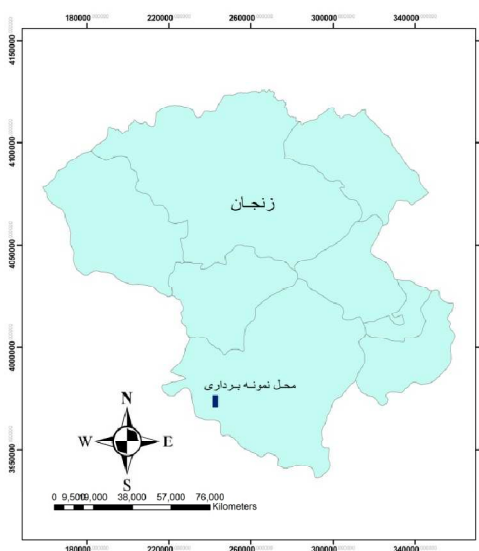


جدول ۳. نتایج آزمایش XRF بر روی نمونه k-1

نمونه	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	MgO %	TiO <sub>2</sub> %	MnO %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	SO <sub>3</sub> %	L.O.I %
K-1	۱/۴۹	۰/۱۱	۰/۲۳	۵۴/۲۳	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۲۳	۰/۰۱۶	۰/۰۰۶	۰/۰۹۲	۰/۰۰۳	۴۳/۰۹

## خصوصیات فیزیکی

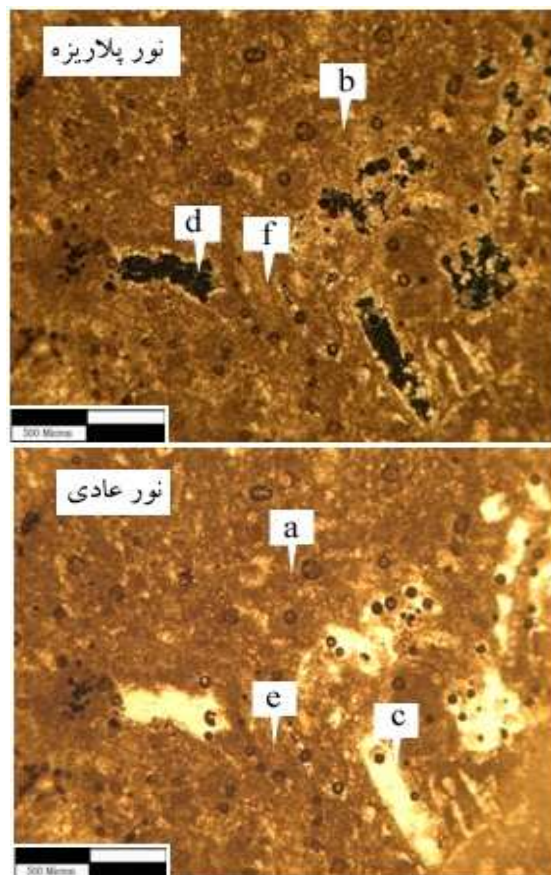
مطابق با استاندارد ASTM، D۲۲۱۶، خصوصیات فیزیکی نمونه‌های تهیه شده از محل غار کتله‌خور، تعیین گردید [۱۷]. برای نمونه‌های مذکور حداکثر جذب آب ۵/۹ درصد و حداکثر تخلخل ۷/۸ درصد به دست آمد (جدول ۴).



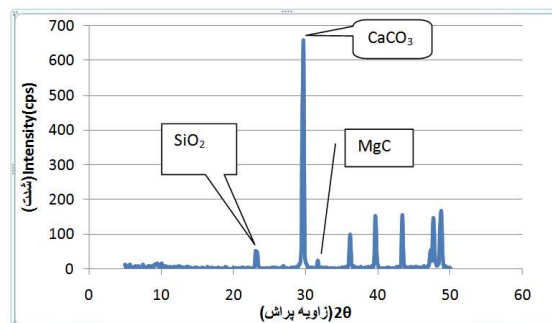
شکل ۱۴. موقعیت غار کتله‌خور در استان زنجان

## ۳. بحث

فراوانی و یا کمبود پدیده‌های ژئومورفولوژیکی در اطراف غارهای علی‌صدر و کتله‌خور و کانی‌زایی انجام شده در درون این غارها می‌تواند به عنوان کلیدی جهت شناخت نحوه شکل‌گیری آن‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. بر اساس بررسی‌های صحرایی انجام شده هیچ پدیده کارستی سطحی توسعه یافته‌ای در منطقه غار علی‌صدر دیده نمی‌شود در حالی‌که در منطقه غار کتله‌خور آثار سطحی کارست نسبتاً توسعه یافته است. برای نمونه در ارتفاعات کوه ساقیزلوداغی چندین چاهک کارستی در محل تقاطع درزه‌ها مشاهده می‌شوند که همراه با میکروکارن‌های موجود در سطح توده



شکل ۱۲. مقاطع نازک تهیه شده از نمونه سنگ‌های محل غار کتله‌خور (a) میکرایت، (b) حفرات انحلالی، (c) حفرات انحلالی، (d) حفرات انحلالی، (e) f آثار فسیلی، (g) h).



شکل ۱۳. نمودار نتایج آزمایش XRD بر روی نمونه K-1.

محدوده غار علی‌صدر تحت تأثیر فعالیت آب‌های نفوذی، موفولوژی سطحی کارست شکل بگیرد. ولی آثار مورفولوژیکی بسیار کمی در سطح مشاهده می‌شود.

درون هر دو غار، کارست به طور وسیعی توسعه یافته است. الگوی توسعه غارهای علی‌صدر و کتله‌خور تحت تأثیر شکستگی‌ها و گسل‌ها است. معابر باریک کارستی در طول شکستگی‌های بزرگ‌تر طویل شده و به طور عمده سطح مقطع بیضی شکل دارند که شاخص انحلال کارست در شرایط اشباع یا غرقابی فصلی است. سطوح نامنظم در هر دو غار نشان می‌دهد که آب مسیرهایی را که سنگ کربناته خالص‌تر بوده و شکستگی‌های بیشتری داشته حل کرده و نقاط ناخالص‌تر که حاوی MgO بیشتر و CaO کمتر هستند، باقی مانده و برجسته شده‌اند.

با توجه به موارد فوق‌الذکر در منطقه غارکتله‌خور غار زایی کارستیک نقش مهمی ایفا کرده است در حالی که در منطقه غار علی‌صدر غارزایی کارستیک نقش مهمی نداشته و یک عامل درونی که باعث سرعت بخشیدن انحلال و توسعه حفرات کارستیک شده نقش اصلی را در ایجاد غارها ایفا نموده است. کانی‌زایی آراگونیت در درون غار علی‌صدر اتفاق افتاده است. این کانی نیاز به محیطی با دمای بیشتر از ۱۲ درجه سلیسیوس دارد که این شرایط می‌تواند با نفوذ محلول‌های گرمابی مشتق شده از توده‌های نفوذی موجود در جنوب غار علی‌صدر و از طریق شکستگی‌ها فراهم شده باشد. وجود غار سراب و غار سوباشی با فواصل ۱۱ و ۱۷ کیلومتر از دهانه غار علی‌صدر در داخل همین توده سنگ‌ها این فرضیه را قوت می‌بخشد. هر سه این غارها زیرسطح آب زیرزمینی واقع شده‌اند و در ترازهای بالاتر از سطح آب زیرزمینی حفرات کارستی یا غار دیده نمی‌شود [۱۵]. گازدار شدن چاه‌های آب موجود در دشت فامنین و دشت چهاردولی که در فواصل نزدیکی از این منطقه قرار گرفته توسط محققین مختلفی بررسی شده که همگی منشاء ولکانیکی برای گازدار شدن این چاه‌ها را تأیید نموده‌اند [۳]. این دستاورد فرضیه تأثیر گازکربنیک مشتق شده از توده‌های نفوذی موجود در منطقه را

سنگ‌ها از نشانه‌های بارز توسعه کارست سطحی در این منطقه محسوب می‌شود.

جدول ۴. خصوصیات فیزیکی نمونه‌های سنگ آهک محل غار کتله‌خور

شماره نمونه	وزن حجمی سنگ (gr/cm <sup>3</sup> )	درصد رطوبت	درصد جذب آب	درصد تخلخل
K-1	۲/۴۰	۰/۰۸	۲/۶۱	۶/۲۷
K-2	۲/۵۸	۰/۱۵	۱/۰۰	۲/۷۴
K-3	۲/۴۶	۰/۴۸	۱/۵۰	۵/۲۱
K-4	۲/۵۲	۰/۰۸	۰/۵۳	۱/۷۳
K-5	۲/۴۷	۰/۲۱	۱/۱۵	۲/۲۲
K-6	۲/۵۰	۰/۲۶	۱/۰۴	۲/۰۷
K-7	۲/۳۸	۰/۰۸	۱/۳۴	۳/۶۸
K-8	۲/۴۳	۰/۰۶	۱/۸۱	۴/۵۷
K-9	۲/۳۸	۰/۳۱	۲/۴۰	۶/۳۲
K-10	۲/۳۵	۰/۳۰	۵/۹۰	۷/۸۰
K-11	۲/۳۶	۰/۲۰	۳/۳۰	۶/۷۰
K-12	۲/۵۲	۱/۰۳	۲/۱۰	۳/۹۰

درصد جذب آب و تخلخل نمونه‌های غار کتله‌خور ۳ تا ۷ برابر درصد جذب آب و تخلخل در نمونه‌های غار علی‌صدر می‌باشد. نتایج آزمایش‌های XRF و XRD انجام شده روی نمونه‌های مربوط به هر دو غار نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی و کانی‌شناختی سنگ‌های آهکی شباهت زیادی به هم دارند. میزان CaO در هر دو سنگ بیش از ۵۰٪ و میزان اسید MgO کمتر از ۱٪ است (جدول‌های ۱ و ۳). با توجه به بالا بودن درصد اکسید کلسیم و کم بودن میزان اکسید منیزیم، باید میزان انحلال‌پذیری هر دو سنگ تقریباً مشابه باشد. بر اساس مطالعات مقاطع نازک، سنگ‌های آهکی محدوده غار کتله‌خور بایوکلسایت و کستون هستند. ولی سنگ‌های آهکی محدوده غار علی‌صدر عمدتاً از کلسیت متبلور تشکیل شده و می‌توان آنها را مرمر ضعیف نام‌گذاری نمود. توده سنگ‌های محدوده غار علی‌صدر دگرگونی ضعیفی تحمل نموده‌اند و آثار تبلور مجدد در آنها دیده می‌شود. انتظار می‌رود که در

در منطقه غار علی صدر توده سنگ‌های کربناته کمی دگرگون شده می‌باشند و تخلخل کمتری نسبت به توده سنگ‌های منطقه غار کتله‌خور دارند. در این منطقه پدیده‌های ژئومورفولوژیکی سطحی کارست به تعدادی چشمه کارستی محدود می‌گردد. ولی درون غار پدیده‌های ژئومورفولوژیکی زیر سطحی متعددی را می‌توان مشاهده کرد. انحلال تفریقی بین شیست‌های سخت و لایه‌های سنگ آهک مشاهده می‌گردد. اکسیژن محلول، pH و دمای آب تا عمق ۱۰ متری تغییرات زیادی نشان نمی‌دهد، در حالی که مقدار EC به طور نمایی با افزایش عمق، افزایش پیدا می‌کند [۱۵]. آثار کانی‌زایی آراگونیت در درون غار به ویژه راهروی آزادی آن دیده می‌شود که نشان دهنده محیط گرم برای ته نشین شدن کریستال‌های آراگونیت است و این پدیده در اثر نفوذ محلول‌های گرمابی مشتق شده از توده‌های نفوذی موجود در جنوب منطقه اتفاق می‌افتد. احتمالاً غار زایی کارستیک نقش مهمی در این منطقه ایفا نکرده و توسعه غار بیشتر در اثر نفوذ همین سیالات می‌باشد. بنابراین غار علی صدر درونزاد (Hypogenic) بوده و حاصل صعود و فعالیت آب‌های هیدروترمال ژرف است.

برای ایجاد و توسعه غار علی‌صدر قوت می‌بخشد. بر این اساس می‌توان اظهار نمود که غار علی‌صدر درونزاد (Hypogenic) بوده و حاصل صعود و فعالیت آب‌های هیدروترمال ژرف است در حالی که غار کتله‌خور برونزاد (Epigenic) می‌باشد و حاصل فعالیت آب‌های نفوذی است.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در غار کتله‌خور توده سنگ‌های کربناته از آهک‌های بایومیکرایت تشکیل شده‌اند و حاوی تخلخل انحلالی نسبتاً زیادی هستند. درصد جذب آب و تخلخل نمونه‌های سنگ منطقه غار کتله‌خور نسبت به نمونه‌های سنگ منطقه غار علی‌صدر بیشتر است. پدیده‌های ژئومورفولوژیکی کارست مانند چاهک‌های کارستی تشکیل شده در محل تقاطع درزه‌ها و میکروکارن‌های موجود در سطح توده سنگ‌ها از نشانه‌های بارز توسعه کارست سطحی در منطقه کتله‌خور محسوب می‌شود. با توجه به شواهد موجود توسعه کارست سطحی و زیرسطحی نشان از غارزایی کارستیک در منطقه کتله‌خور دارد. با این معنا، غار کتله‌خور برونزاد (Epigenic) بوده و حاصل فعالیت آب‌های نفوذی است.

#### منابع

- قبادی، م.، صالحی، ط.، ۱۳۸۹. نقش ساختارهای تکتونیکی در جهت‌یابی جریان آب چشمه‌های دشت کبودرآهنگ، شمال غرب همدان، بیست‌وهفتمین گردهمایی علوم زمین و دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناختی ایران، ص ۱ تا ۶.
- اکبرزاده خویی، ح.، ۱۳۷۹. تهیه نقشه توپوگرافی و بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی غار علی‌صدر همدان، نوزدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.
- امیری، م.، امیری، ع. م.، ۱۳۸۹. سازوکار تشکیل کارست درونی در دشت‌های شمالی استان همدان، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، ص ۱۷۱ تا ۱۸۰.
- محمودی سیوند، س.، باقری‌نژاد، ر.، ۱۳۸۹. ریخت‌شناسی و نقشه‌برداری غار کارستی کتله‌خور زنجان، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، ص ۲۷۹ تا ۲۸۵.
- سازمان زمین‌شناختی کشور. نقشه زمین‌شناختی کبودرآهنگ، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰
- سازمان زمین‌شناختی کشور. نقشه زمین‌شناختی گرماب، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰
- کریمی، ح.، رئیسی، ع.، زارع، م.، ۱۳۷۹. بررسی هیدروژئولوژیکی و مکانیسم تشکیل غار سریزجان فیروزآباد، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناختی ایران، ص ۳۷۵ تا ۳۷۸.

رهنمایی، م.، افراسیابیان، ا.، ۱۳۷۹. زمین شناسی و هیدروژئولوژی کارست در غار علی صدر همدان، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۲۲ تا ۲۵.

شیروانی، ر.، کشاورز، ت.، کشفی، م.، یوسفی، ب.، ۱۳۸۳. منشاء و سازوکار تشکیل غار منچ، سد کارون ۴، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

فریمانی، ع.، لشگری پور، غ.، ۱۳۷۹. غار پوسه نمونه ای از غارهای کارستی کاذب، نوزدهمین گردهمایی علوم زمین.

Ford, D.C., Williams, S., 1989. Karst geomorphology and hydrology, 350p.

Palmer, A.N., 1991. Origin and morphology limestone caves, Geological Society of America Bulletin, 103(1): 1-21.

Kambesis, P., 2006. The importance of cave exploration to scientific research. Journal of Cave and Karst Studies, 69(1): 46-58.

Nozzoli, F., Bevilacqua, S., Cavallari, L., 2008. The genesis of cave rings explained using empirical and experimental data. Journal of Cave and Karst Studies, 71(2): 130-135.

Laumanns, M., Kaufmann, G., Müller, T., (2001). Alisadr con.speleological projects were to survey Ghar Alisadr and to produce an accurate map of the cave passages according to international standards. Ghar Alisadr (Iran, Hamadan Province), Final Report, 74 p.

Palmer, A.N., 2008. Cave exploration as a guide to geologic research in the Appalachians. Journal of Cave and Karst Studies, 19(3): 180-192.

ASTM (1999). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04. 08 & 04, 09, ASTM, USA.

Folk, R. L., 1959. Practical petrographic classification of limestones, American Association of Petroleum Geologists, 43: 1-38.