

تحلیل مورفوزنتیک تکوین غارهای استان خراسان شمالی

تیمور جعفری* - استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه کوثر بجنورد.
رضا ارجمندزاده - استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸

چکیده

تکوین غارها از موضوعات دانش ژئومورفولوژی است. مقاله حاضر با هدف تحلیل مورفوزنتیک غارهای خراسان شمالی تهیه شده است. از کتاب‌ها، مقالات، گزارش‌ها، نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به عنوان مواد پژوهش استفاده شد. این تحقیق با اتکای به بررسی میدانی، مشاهده مستقیم و اندازه‌گیری با ابزارهای زمین‌شناسی انجام شده است. ۱۲ مورد از غارها طبیعی و در اثر فرآیندهای تکتونیک تکوین و توسط فرآیندهای بیرونی توسعه یافته‌اند. فرآیندهای درونی بصورت گسل خوردگی و چین خوردگی با مکانیزم‌های لغزش-خمش و سطح-خستگی و فرایند بیرونی بصورت انحلال عمل کرده‌اند. ۹ مورد از غارهای خراسان شمالی در واحد رسوبی-ساختاری کپه داغ تکوین پیدا کرده‌اند. غارهای بیدک، بیجَت، پوستین دوز، کافرقلعه، استاد و کُنه گرم، در سازند آهکی اوریتولین‌دار روشن (سازند تیرگان (Ktr))، غارهای سالوگ و گنج‌کوه، در آهک روشن صورتی و آهک دولومیتی (سازند مزدوران (JKmz)) و غار خزینه‌راه در ماسه‌سنگ صورتی (سازند شوربچه (Ksh)) تکوین و توسعه یافته‌اند. غارهای آرمادلو، کفترک، سپاه‌خانه و گسک در سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی (سازند لار (JI)) در زون بینالود و غارهای هُنامه، باباقدردت و نوشیروان در کنگلومرای پلیوسن شکل گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد، در تکوین غارهای خراسان شمالی نقش تکتونیک گسلی نسبت به انحلال برجسته‌تر است. غارهای بیدک، سالوگ، آرمادلو و گسک در اثر تکتونیک گسلی و انحلال با برتری گسلش، غارهای کفترک و گنج‌کوه در اثر تکتونیک گسلی و انحلال با برتری انحلال، غارهای بیجَت و استاد در اثر گسل خوردگی و بازشدگی سطح گسل، غارهای پوستین دوز و کُنه گرم در اثر چین خوردگی لغزش-خمش و غار کافرقلعه توسط چین خوردگی سطح-خستگی و فرآیش تکوین یافته‌اند.

واژگان کلیدی: تکوین، خراسان شمالی، غار، کارست، مورفوزنتیک.

مقدمه

در ژئومورفولوژی، غار به حفره‌ای طبیعی در سنگ اطلاق می‌شود، که به عنوان یک مجرای عبوری آب بین نقطه ورودی و خروجی آن عمل نموده و قطر این مجرا ممکن است از چند میلیمتر تا ده‌ها متر متغیر باشد (بهنیافر و قنبرزاده، ۱۳۹۵). غارها مکان‌های مناسبی جهت شناخت و شناسایی لایه‌های داخلی زمین هستند که می‌توان فعالیت‌های تکتونیکی زمین را در آنها مشاهده کرد. همچنین غارها بهترین بایگانی‌های طبیعی جهت مطالعات ژئومورفولوژی دیرینه^۱، آب و هوای گذشته^۲ و محیط‌زیست دیرینه^۳ زمین هستند و در حال حاضر بیش از ۵۰ محل کارستی و غار در جهان جزء فهرست میراث طبیعی جهانی یونسکو ثبت گردیده‌اند (فدراسیون کوهنوردی و صعودهای ورزشی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۷، ۱).

کارست و غارها محیط‌های بسیار شکننده‌ای دارند و تحت تأثیر خطرات و عوامل خاصی نظیر ژئومورفولوژی بومی، هیدرولوژی و ویژگی‌های زیست محیطی قرار می‌گیرند. هیجان ناشی از اکتشاف غارهای ناشناخته، زیبایی‌های آن، ترس انسان‌ها از عوامل ناشناخته در مناطق کارستی بواسطه رفتارهای خاص مهندسی در سنگها، دستیابی به اطلاعات صحیح از شرایط هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی و نگرانی مهندسی سازه در ایجاد تونل‌ها و سدها و ایجاد ساختمان‌های مرتفع در مناطق کارستی، همه و همه از جمله عواملی هستند که ما را در شناخت بهتر و دقیق‌تر مناطق کارستی راسخ‌تر می‌سازد. در خصوص منشاء تشکیل غارها، نظر غالب بر برتری نقش انحلال سنگ‌ها بوده است. از نظر توسلی، غارها تحت تأثیر شرایط جغرافیایی منطقه، نوع جریان آب به ویژه پدیده‌های تکتونیکی و انحلال سنگ‌های آهکی و دولومیتی شکل می‌گیرند که معمولاً عامل دوم یعنی انحلال، سهم بسیار زیادی در این شکل‌گیری دارد؛ بطوریکه می‌توان گفت بیش از ۹۸ درصد غارهای دنیا تحت تأثیر این پدیده بوجود آمده‌اند و هرچه درجه خلوص این سنگ‌ها بالاتر باشد، انحلال بهتر صورت می‌گیرد. عامل دیگر این شکل‌گیری، سن طبقات کربناته و ضخامت آنهاست. همچنین شرایط آب و هوایی مناطقی که ساختارهای آهکی در آنها قرار دارند، یکی از مهمترین موضوعاتی است که باید در اکتشاف غارها مد نظر قرار داد (توسلی، ۱۳۸۸، ۷). صداقت و معماریان پیشرفت عمل انحلال در سنگ آهک توسط شبکه‌ای از مجاری پیچ در پیچ زیرزمینی متصل به هم را در تکوین «غار» مؤثر می‌دانند (صداقت و معماریان، ۱۳۸۱، ۳۶۹). کریمی علاوه بر نقش عامل انحلال در تکوین غارها، معتقد به تأثیر عوامل تکتونیکی در تشکیل و توسعه غارها است. از منظر او شکل سطح مقطع غارها، نشانگر عوامل کنترل‌کننده توسعه غارها است. از نظر او، غارهایی که توسعه و تشکیل آنها عموماً در اثر عوامل تکتونیکی نظیر گسل‌ها و درزه‌ها می‌باشد (ساختار کنترل^۴)، دارای سطح مقطع نامنظم هستند. از طرف دیگر غارهایی که تشکیل و توسعه‌ی آنها عموماً در اثر عمل هیدرولیکی آب ایجاد می‌شود (هیدرولیک کنترل^۵)، دارای سطح مقطع شبیه دایره یا بیضی می‌باشند. هرچند ممکن است اولین عامل ایجاد چنین غارهایی نیز ساختارهای تکتونیکی باشد، لیکن مهمترین عامل توسعه آنها جریان آب بوده است (کریمی، ۱۳۸۹، ۳۲۹). بهترین و کاملترین مدل در خصوص نحوه تشکیل غارها، توسط پالمر^۶ ارائه (پالمر، ۱۹۹۱، ۴۵۴) و در سال ۲۰۰۷ این الگو تکمیل و بازنویسی شده است که در آن نقش تکتونیک در ژنز و شکل‌گیری غارها به خوبی بیان شده است (واعظی هیر و همکاران، ۱۳۹۸، ۲). در مجموع انطباق سازندهای کربناته با مناطق کارستی و همخوانی این دو با گسل‌ها و خطواره‌ها در مناطقی که در آنها غارها بوجود آمده و در حال تشکیل هستند، مهمترین کلید اکتشاف غارها می‌باشد.

1. Paleogeomorphology

2. Paleoclimate

3. Paleoenvironment

4. Structure control

5. Hydraulic control

6. Palmer

در استان خراسان شمالی به دلیل شرایط زمین‌شناسی مانند لیتولوژی و برخورداری از سنگ‌های انحلال‌پذیر آهکی، دولومیتی، کنگلومرایی و ... و فعالیت‌های تکتونیکی به صورت گسل‌خوردگی و چین‌خوردگی و شرایط اقلیمی با بارش نسبی، غارهای طبیعی مختلفی شکل گرفته‌اند. علاوه بر عوامل و فرآیندهای طبیعی، به دلیل شرایط امنیتی، فرهنگی و مذهبی، این استان دارای غارهای دست‌کنند نیز است (جعفری، ۱۴۰۰، ۱۸۰).

در زمینه بررسی مکانیسم تکوین غارها و پیشینه موضوع، مطالعاتی زیادی در سطح جهان و ایران انجام گرفته است. در سال‌های اخیر به دلیل اهمیت موضوع و نقش غارها در تأمین منابع آب، گسترش ژئوتوریسم و ... پژوهش‌های این چنینی روندی صعودی یافته‌اند که به ترتیب در سطح جهان و ایران به آنها اشاره می‌شود:

در سطح جهان، برای نخستین بار فوسن (۲۰۱۰)، در کتاب زمین‌شناسی ساختاری با روش توصیفی، تحلیلی و پیمایشی به ویژگی‌های ساختاری زمین‌شناسی و تحلیل آنها به منظور کاربرد و حل مشکلات از جمله در زمینه ساختار تکتونیکی غارها پرداخت. پیوتر و آنتونی جی. سی. (۲۰۱۲)، در مقاله‌ای تحت عنوان: مراحل اولیه تشکیل غار: فراتر از پارادایم تک بعدی، با استفاده از روش‌های توصیفی، تحلیلی و آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند که، طول نفوذ کوتاه محلول‌های اشباع نشده در غارها، توسعه مجراهای طولانی را غیرممکن به نظر می‌رساند و عوامل دیگری غیر از این مورد در تکوین غارها مؤثر است. سوزان و جان ای. (۲۰۱۵)، در مقاله‌ای با عنوان: تأثیر تکتونیک بر تشکیل غار حاشیه خنثی قاره‌ای ناراکورت در جنوب شرقی استرالیا بر اساس عمل پیمایش و توصیف و تحلیل داده‌ها به این نتیجه رسیدند که، غارزایی در ناراکورت استرالیا منعکس‌کننده تعامل ثنوتکتونیکی با انحلال ساحلی است؛ و تکتونیسم در توسعه کارست پلیستوسن نقش داشته است. دانیل و همکاران (۲۰۱۹)، در مقاله‌ای با عنوان: تکامل منطقه‌ای کوآترنر بر اساس ژئومورفولوژی غار کارستی در پیکوس داریوا (حاشیه آتلانتیک شبه جزیره ایبری)، با استفاده از تحقیقات ژئومورفولوژیکی و آزمایشگاهی زمین‌شناسی (U/Th و Al) به این نتیجه رسیدند که، از ژئومورفولوژی غارهای کارستی می‌توان به عنوان یک شاخص برای تکامل منطقه‌ای کوآترنر در پلیوسن استفاده نمود.

در سطح ایران، اولین بار صداقت و معاریان (۱۳۸۱)، در جلد نخست کتاب زمین‌شناسی فیزیکی (فرآیندهای بیرونی)، به تبیین نقش انحلال سنگ‌ها در امتداد درزها، گسل‌ها یا سطوح لایه‌بندی در تکوین و توسعه اشکال کارستی پرداختند. توسلی (۱۳۹۱)، در کتاب زمین‌شناسی و مورفولوژی کارست، با اتکای به روش توصیفی و تحلیلی بر نقش انحلال در شکل‌گیری غارها و اشکال کارستی تأکید نمود. بشکنی و همکاران (۱۳۹۱)، در مقاله با عنوان: بررسی غارها و پناهگاه‌های صخره‌ای شهرستان سنقر، بر اساس استفاده از روش پیمایشی، توصیفی و تحلیلی، به خصوصیات اساسی غارها و پناهگاه‌های صخره‌ای شهرستان سنقر دست پیدا کردند. حسینی‌دوست و همکاران (۱۳۹۵)، در کتاب زمین‌شناسی ساختاری کاربردی به مسائل ساختاری زمین‌شناسی از جمله مسائل متناظر با مکانیسم تشکیل غارها و تحلیل آنها با هدف رفع مشکلات موجود پرداختند. فدراسیون کوهنوردی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۷)، با عنایت به اهمیت و تناسب موضوع، ضمن تألیف کتابی با عنوان مبانی تئوری و عملی غارپیمایی به بیان مبانی نظری غارها و اشکال انحلالی بر اساس توصیف و تحلیل داده‌ها پرداخت. واعظی‌هیر و همکاران (۱۳۹۸)، ضمن تدوین مقاله‌ای با عنوان: بررسی توسعه کارست در استان کردستان، با استفاده از تعیین واحدهای کارستی و غیرکارستی و انتقال موقعیت چشمه‌ها و غارها روی نقشه و مقایسه Rose diagram امتداد گسل‌های اطراف غار با امتداد راهروهای غارها، به این نتیجه رسیدند که، آب و ساختار گسلی در کنترل الگوی توسعه غارهای استان کردستان نقش داشته‌اند.

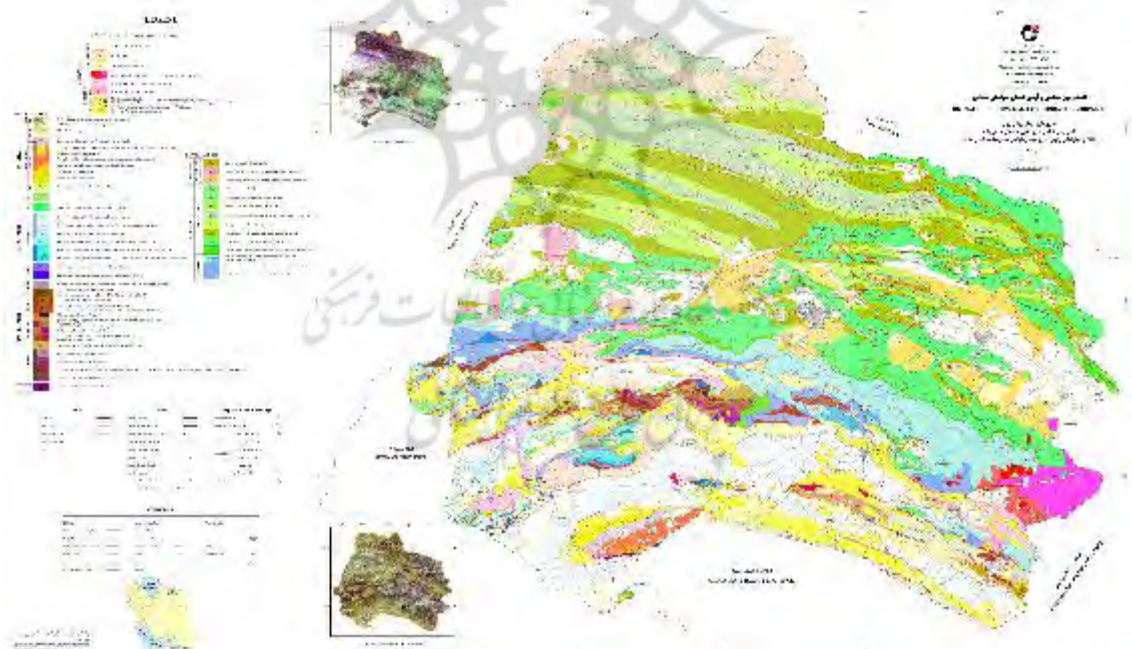
این پژوهش، با هدف مطالعه جنبه‌های مختلف منشاء تشکیل ۱۶ غار استان خراسان شمالی و به شرح زیر انجام شده است:

- شناسایی مکانیسم تکوین هر یک از غارهای استان خراسان شمالی
- ارزیابی نقش هر یک از عوامل تکتونیکی و انحلال در تکوین هر یک از غارها و کشف آثار فعالیت اخیر گسل‌های موجود
- دستیابی به درجه‌بندی و نوع غار به ویژه شناسایی غارهای شدیداً تکتونیزه و خطرناک (درجه یک با دسترسی ممنوع)

- کسب اطلاعات لازم در خصوص ژئومورفولوژی، آب و هوا و محیط‌زیست دیرینه زمین محدوده هر یک از غارها با عنایت به اهداف فوق و با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی در ارتباط با بررسی منشاء و مکانیسم تکوین غارهای استان خراسان شمالی انجام نشده است، بنابراین انجام پژوهشی با این موضوع در گستره استان ضرورت پیدا کرد. بررسی حاضر برای نخستین بار در سطح استان خراسان شمالی از منظر ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی و با حمایت‌های مالی اداره کل حفاظت از محیط زیست استان خراسان شمالی انجام شده است.

محدوده مورد مطالعه

استان خراسان شمالی از نظر موقعیت ریاضی بین مدارهای ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و بین نصف‌النهارهای ۵۵ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی قرار دارد. از نظر موقعیت نسبی، در شمال شرق کشور، از جهت شمال به جمهوری ترکمنستان، از جنوب و شرق به استان خراسان رضوی، از سمت غرب به استان گلستان و از سمت جنوب غربی به استان سمنان محدود می‌شود. این استان با ۸ شهرستان حدود ۲۸۴۳۴ کیلومترمربع وسعت دارد که ۱/۷ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص می‌دهد. این استان از نظر رسوبی-ساختاری در دو زون کپه‌داغ-هزارمسجد و آلاداغ-بینالود (البرز شرقی) با سن مزوزوئیک و سنوزوئیک قرار دارد که سازندهای ارتفاع‌ساز آهکی تیرگان و لار و سازند دولومیتی مزدوران بخش عمده‌ای از ارتفاعات آنرا به خود اختصاص می‌دهند. به دلیل موقعیت تکتونیکی این منطقه و قرارگیری بین خرده قاره ایران مرکزی و پلیت توران، ابتدا دچار چین‌خوردگی شده و سپس در اثر نیروهای فشاری و کمپرسیونی دچار گسل خوردگی از نوع راندگی، معکوس و امتدادلغز شده است.

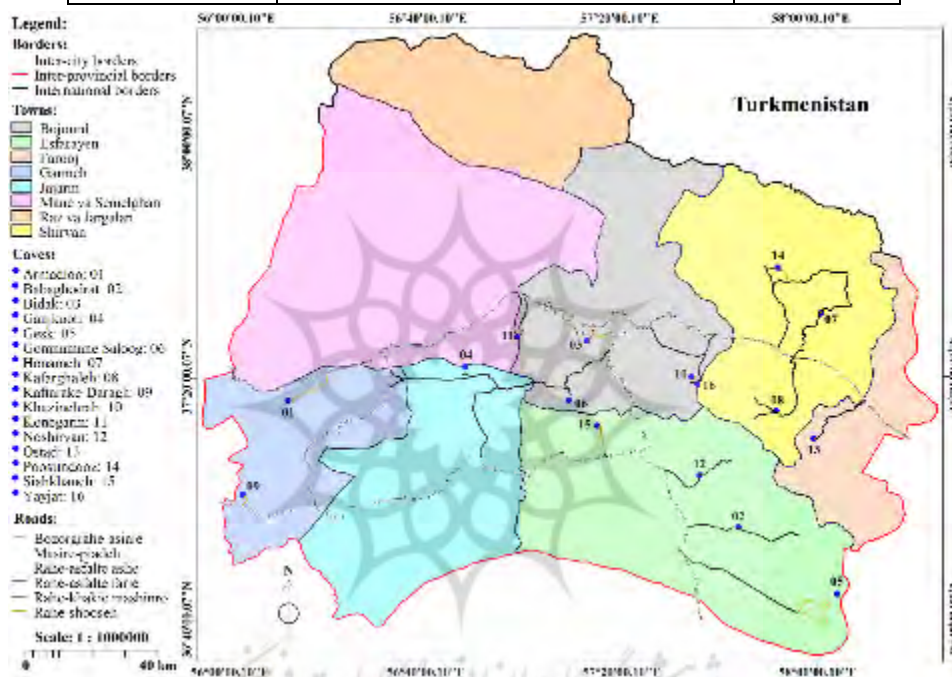


شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ استان خراسان شمالی

بر اساس بررسی‌های به عمل آمده، استعلام و استفاده از منابع محلی، ۱۶ غار در استان خراسان شمالی شناسایی و مورد مطالعه قرار گرفتند که به دلایل زمین‌شناختی و شرایط اقلیمی، بیشتر آنها در شهرستان‌های بجنورد و اسفراین قرار داشتند.

جدول ۱: توزیع غارها در سطح شهرستان‌های استان خراسان شمالی

نام شهرستان	نام غارها	مجموع تعداد غار
بجنورد	بیدک، گنمانان سالوگ، خزینه‌راه، بیجت	۴
شیروان	پوستین دوز، هنامه، کافرقلعه	۳
اسفراین	گسک، سیاه‌خانه، باباقدرت، نوشیروان	۴
مانه و سملقان	کنه‌گرم حسن‌سو	۱
گرمه	آرمادلو، کفترکِ درق	۲
جاجرم	گنج‌کوه	۱
فاروج	استاد	۱



شکل ۲: نقشه پراکنش غارها در سطح شهرستان‌های استان خراسان شمالی

مواد و روش تحقیق

ابتدا از مواد تحقیق نظیر مقالات، کتاب‌ها، گزارش‌ها، اسناد تصویری شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به منظور مطالعات پایه در سطح استان خراسان شمالی، آشنایی با مبانی نظری مکانیسم تکوین غارها و اشکال انحلالی و نیز شناخت نسبت به موقعیت نسبی هر یک از غارها، نحوه دسترسی و برنامه پیمایش استفاده شد. روش پژوهش در این تحقیق با اتکای به بررسی میدانی، مشاهده مستقیم و اندازه‌گیری با ابزارهای زمین‌شناسی بوده است. در بازدید میدانی نحوه تکوین و ویژگی‌های ژنتیکی هر غار مورد بررسی دقیق قرار گرفت. جامعه آماری در این پژوهش شامل تعداد ۱۶ غار است. به منظور دستیابی به مختصات هندسی دهانه هر یک از غارها، موقعیت نسبی و تهیه نقشه مسیر دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به ارتباط ژنتیکی غارها با تکتونیک گسلی، برای شناسایی، تشخیص، نوع عملکرد و بارز کردن خطواره‌ها و گسل‌ها، از تصاویر محدوده VNIR سنجنده ASTER ماهواره TERRA که دارای قدرت تفکیک مکانی مناسب ۱۵ متر و دارای اپلیکیشن‌های Geology یا فرایندهای زمین‌شناسی و Landuse-Landcover است، استفاده شد؛ و تکنیک‌های زمین‌دورسنجی پس‌پردازش و بارزسازی تصاویر ماهواره‌ای نظیر استفاده از فیلتر Linear نوع Edgesenh و Stretching به روش Histogram

Equalization استفاده به عمل آمد. از دستگاه کمپاس به منظور اندازه‌گیری دقیق ساختارهای زمین‌شناسی و هندسه آنها مانند شیب و امتداد لایه‌ها و گسل‌ها، خط لولای چین، اثر صفحه محوری و همچنین جهت‌یابی در داخل غارها استفاده شد. به منظور برآورد فاصله و ابعاد فضای داخلی و پدیده‌های موجود در غارها نظیر ارتفاع، طول، عرض و قطر، متر لیزری مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه در برخی از غارها احتمال وجود آب تجمع یافته وجود داشت به منظور نمونه‌برداری از لوله آزمایش آب استفاده به عمل آمد. جهت قرار دادن نمونه‌های سنگ، اسکلت، فسیل و ...، پلاستیک زیبدار بکار گرفته شد. جهت ثبت ویژگی‌های هر یک از غارها، از پرسشنامه، چک‌لیست و شناسنامه استفاده به عمل آمد. در ضمن از دستگاه بی‌سیم جهت پیدا کردن اعضای تیم، بیان وضعیت و مطلع ساختن یکدیگر از موضوعات ضمن پیمایش و کار میدانی استفاده به عمل آمد.

به دلیل تکنویزه بودن و خطرپذیری زیاد اغلب غارهای استان، به منظور پیمایش و غارنوردی، از حمایت تیم فنی متشکل از برجسته‌ترین مربیان غارنوردی و کوهنوردی استانی استفاده به عمل آمد. بدین منظور در مطالعه میدانی علاوه بر استفاده از روش‌ها و ابزارهای علمی، از تجهیزات و امکانات مختص غارپیمایی به شرح زیر استفاده به عمل آمد:

- هارنس (تونیک) که در صورت سقوط غارنورد شوک حاصل از سقوط را به کل بدن تقسیم می‌کند.
 - طناب استاتیک جهت بالا یا پایین رفتن از نقاط پرتگاهی و با شیب تند
 - یومار که جهت صعود سریع و مطمئن از طریق طناب استاتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.
 - کارابین که عبارت از حلقه فلزی با یک دهانه فنردار برای اتصال سریع و برگشت‌پذیر دهانه است، که در سیستم‌های حساس به ایمنی در کار ارتفاع کاربرد دارد.
 - Head Lamp یا چراغ قوه پیشانی‌بند جهت تأمین روشنایی زمان حضور در غار
 - کلاه جهت تأمین ایمنی ناحیه سر در زمان حضور در غار
 - دوربین فیلمبرداری به منظور فیلمبرداری از فضای داخل و بیرون از غار
 - دوربین عکسبرداری حرفه‌ای به منظور عکسبرداری از فضای تاریک داخل غار
 - چکش زمین‌شناسی به منظور زدن کارگاه، کندن نمونه‌ها و در صورت نیاز خرد کردن سنگ‌ها
 - نخ پلاستیکی قرمز یا زرد برای جلوگیری از گم شدن و اشتباه طی کردن مسیرها و نیز تخمین طول غار
 - شمع وارمر ایکیا مدل Glimma برای تأمین روشنایی زمان حضور در غار و مسیریابی
- با عنایت به اینکه محیط غارها به دلیل حضور خفاش و رطوبت زیاد آلوده است لباس مخصوص غارنوردی، یک دست لباس تمیز جهت تعویض و صابون نیز به همراه برده شد. همچنین از الکل جامد جهت روشن کردن آتش، گوشی با شارژ کامل دارای نرم افزار Voice Recorder جهت ضبط صدا و مواد غذایی جهت تأمین کالری مورد نیاز بدن در غارنوردی استفاده به عمل آمد.

بحث و یافته‌ها

همانطور که در پیشینه تحقیق اشاره شد، برخی از محققین معتقد به تأثیر بیشتر عامل تکتونیک در تکوین غارها هستند؛ به عنوان مثال فوسن، حسینی‌دوست و همکاران قائل به برخورداری غارها از ساختار تکتونیک بوده و از منظر پیوتر و آنتونی جی. سی. به دلیل زمان‌بر بودن نفوذ محلول‌های اشباع نشده در غارها، توسعه مجراهای طولانی در سازندهای انحلال‌پذیر در غارها غیرممکن به نظر می‌رسد و بنابراین باید عامل دیگری نظیر فرایندهای تکتونیک شامل چین خوردگی و گسل خوردگی در تشکیل غارها نقش داشته باشد. برخی معتقد به تأثیر توأمان نئوتکتونیک و انحلال در شکل‌گیری غارها هستند. از نظر سوزان، جان ای.، واعظی‌هیر و همکاران، آب، تکتونیسیم و ساختارهای گسلی در توسعه غارها بسیار اثربخش‌اند. عده‌ای مانند دانیل و همکاران نیز ضمن اعتقاد به تأثیر برجسته انحلال سنگ‌های کربناته در تکوین غارها، از

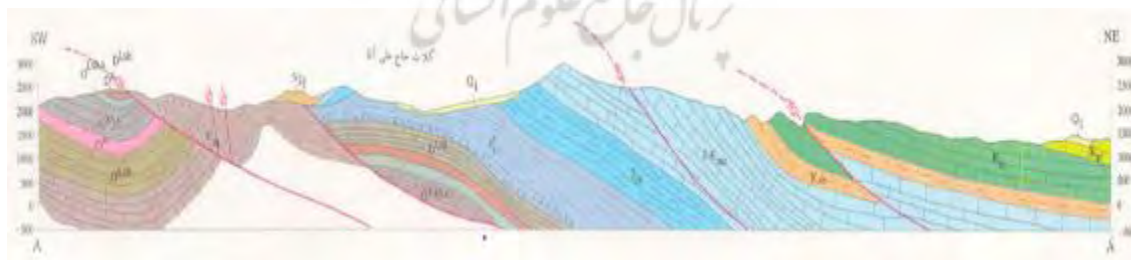
مورفولوژی اشکال داخل غارها به عنوان شاخصی برای تغییرات اقلیمی در کواترنر استفاده می‌کنند. محققین داخلی نظیر صداقت، معماریان و توسلی نمره بیشتر را در تکوین غارها به عمل انحلال سنگ‌های کربناته می‌دهند و از منظر آنها تکتونیک در رتبه بعدی قرار دارد.

با عنایت به قیاس و هم‌ارایی‌های فوق، این بخش، در سه بُعد ویژگی‌های رسوبی-ساختاری، ویژگی‌های ساختاری و مورفوژنتیک و نقش تکتونیک در تکوین غارهای استان خراسان شمالی مورد تحلیل و بحث قرار گرفته است.

الف) ویژگی‌های رسوبی-ساختاری: بررسی‌های میدانی، تفسیر نقشه‌های زمین‌شناسی و سازندهای موجود هر یک از غارها نشان دادند که خراسان شمالی از نظر ویژگی‌های رسوبی-ساختاری در دو زون کپه‌داغ-هزارمسجد و آلا‌داغ-بینالود (البرز شرقی) گسترده شده است؛ که بیشترین گستردگی مربوط به زون کپه‌داغ-هزارمسجد در نیمه شمالی استان است. در این استان، رشته‌کوه کپه‌داغ منطبق بر زون کپه‌داغ-هزارمسجد و رشته‌کوه آلا‌داغ، منطبق بر زون آلا‌داغ-بینالود است. این دو رشته‌کوه، علیرغم مشابهت در روند ساختمانی، از تحول و تکامل زمین‌شناسی متفاوتی برخوردار بوده‌اند؛ که این تفاوت در منظر زمین نیز دیده می‌شود (علایی طالقانی، ۱۳۸۴، ۱۸۲).

به عقیده زمین‌شناسان، شکل‌گیری حوضه رسوبی کپه‌داغ ناشی از جنبش گسل‌های عمیق در تریاس بوده است. این حوضه که از نوع ژئوسنکلینالی بوده، عمل رسوبگذاری در آن در یک محیط نسبتاً آرام و به طور ممتد از ژوراسیک تا میوسن صورت گرفته است (درویش‌زاده و محمدی، ۱۳۷۶، ۱۲۴). تناوب ماسه‌سنگ، شیل، مارن، آهک، گچ، کنگلومرا و سیلتستون از رسوب‌های دوره مزوزوئیک این ناحیه می‌باشد که در این میان سازندهای آهکی مزدوران ژوراسیک ($J_{K_{mz}}$) و تیرگان کرتاسه (K_{tr})، نقش اصلی در برجستگی کوهها و تکوین غارهای منطقه بر عهده دارند. پس از کوهزایی میوسن و تشکیل ارتفاعات، شرایط فرسایشی در منطقه حکمفرما می‌گردد. نتیجه فرسایش پیدایش کنگلومرای پلیوسن بوده است که به حالت دگرشیب روی رسوب‌های چین‌خورده قدیمی‌تر برجا گذاشته شده‌اند و با حرکات پاسادین سخت شده و چین می‌خورند؛ که در تکوین برخی از غارهای استان نقش دارند.

واحد بینالود-آلا‌داغ بوسیله فرورفتگی کشف‌رود-اترک از واحد کپه‌داغ جدا شده و به موازات آن امتداد یافته است. گروهی از زمین‌شناسان واحد بینالود را دنباله البرز (البرز شرقی) می‌دانند و برخی نیز آنرا یک زون تدریجی بین ایران مرکزی و البرز در نظر می‌گیرند (نبوی، ۱۳۵۵)؛ زیرا رسوب‌های پالئوزوئیک بینالود مشابه ایران مرکزی، ولی رخساره ژوراسیک و کرتاسه آن شبیه البرز بوده و رخساره آهکی دارد. آهک روشن تا صورتی و آهک دولومیتی موسوم به لار (J_l) در این زون که هم‌تراز سازند مزدوران در کپه‌داغ است، نقش مهمی در تکوین غارهای این بخش ایفا کرده است.



شکل ۳: نیم‌رخ توپوگرافی-زمین‌شناسی بخش میانی استان خراسان شمالی در راستای NE-SW. ماسه‌سنگ و شیل موسوم به سازند شمشک یا کشف‌رود (J_s), مرز بین زون کپه‌داغ در شمال و زون بینالود در جنوب استان خراسان شمالی محسوب می‌شود. (منبع: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت بجنورد)

جدول ۲: ارتباط زیرساخت زمین‌شناسی و بستر استقرار بخش میانی استان خراسان شمالی در راستای NE-SW از قدیم به جدید.

ترتیب	دوره	علامت اختصاری	نوع زیرساخت زمین‌شناسی (جنس سازند)	واحد رسوبی- ساختاری
۱۵	کواترن (هولوسن)	Q1	آبرفت‌های پادگانه‌ای و کوهپایه‌ای هموار بلند	-
۱۴	نئوژن (پلیوسن)	Ng1	مارن، گچ، کنگلومرا و مقدار کمی سنگ‌های ولکانیکی	-
۱۳	کرتاسه میانی	Ksr	مارن و آهک مارنی سبز و آهک اوربیتولین دار کرم رنگ (سازند سرچشمه)	کپه داغ
۱۲	کرتاسه میانی	Ktr	آهک اوربیتولین دار روشن (سازند تیرگان)	کپه داغ
۱۱	کرتاسه زیرین	Ksh	ماسه‌سنگ متمایل به صورتی و مارن سبز (سازند شوربچه)	کپه داغ
۱۰	ژوراسیک بالایی و کرتاسه زیرین	JKmz/J ₁	آهک روشن تا صورتی و آهک دولومیتی (در زون کپه‌داغ سازند مزدوران و در زون بینالود، سازند لار)	کپه داغ/بینالود
۹	ژوراسیک میانی	Jch	مارن، آهک و آهک مارنی سبز روشن (سازند چمن‌بید یا دلچای)	کپه داغ/بینالود
۸	ژوراسیک زیرین	Jss	ماسه‌سنگ و شیل (سازند شمشک یا کشف‌رود)	کپه داغ/بینالود
۷	دونین بالایی	DI,sh	سنگ آهک تیره و شیل سبز (سازند خوش‌بیلاق)	بینالود
۶	دونین زیرین	Ds	ماسه‌سنگ قرمز و سفید و شیل مارنی سبز (سازند پادها)	بینالود
۵	سیلورین زیرین	Ol,sh,s	آهک خاکستری تیره، شیل و ماسه‌سنگ	بینالود
۴	اردوسین بالایی	Osh,s	شیل و ماسه‌سنگ سبز زیتونی	بینالود
۳	اردوسین میانی	Ov	واحد ولکانیکی (اندزیت تا بازالت)، ماسه‌سنگ و شیل	بینالود
۲	اردوسین زیرین	Os,sh	ماسه‌سنگ تیره، شیل سبز زیتونی و آهک ماسه‌ای	بینالود
۱	کامبرین بالایی	€m	آهک، آهک دولومیتی، آهک شیلی و شیل (سازند میلا)	بینالود

اغلب غارهای این استان (بیدک، ییجت، پوستین دوز، کافرقلعه، استاد و کنه‌گرم) در سازند آهکی اوربیتولین دار روشن موسوم به تیرگان (Ktr) تکوین و توسعه یافته‌اند. از این منظر سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی موسوم به سازند لار در زون بینالود (البرز شرقی) (J₁)، در رتبه دوم قرار دارد و غارهای آرمادلو، کفتَرک، سیاه‌خانه و گسک در این سازند تکوین و توسعه یافته‌اند. غارهای گمنامان سالوگ و گنج‌کوه نیز در آهک روشن تا صورتی و آهک دولومیتی موسوم به سازند مزدوران در زون کپه‌داغ (JKmz) تکوین و توسعه پیدا کرده‌اند.

جدول ۳: موقعیت هندسی و نسبی، ویژگی‌های رسوبی-ساختاری و زمین‌شناسی غارهای استان خراسان شمالی

نام غار	کد غار	موقعیت ریاضی	موقعیت نسبی	زون	سازند محل غار	آثار فسیلی موجود در محل و پیرامون
بیدک	۰۳	۱۵° ۱۳' ۵۷" E و ۲۸° ۲۶' ۲۸" N	۱۰ کیلومتری جنوب روستای بیدک از توابع بخش مرکزی شهرستان بجنورد	کپه‌داغ	سازند تیرگان	آمونیت مارنی و دوکفه‌ای‌ها
گمنامان سالوگ	۰۶	۲۵° ۰۹' ۵۷" E و ۳۷° ۱۶' ۴۰" N	۱/۵ کیلومتری جنوب غرب روستای رختیان و یال شمالی کوه سالوگ	کپه‌داغ	سازند مزدوران	آمونیت
خزینه‌راه	۱۰	۴۲° ۳۴' ۵۷" E و ۲۵° ۲۰' ۳۷" N	۲ کیلومتری شمال غربی روستای اسفیدان از توابع دهستان گرمخان در شهرستان بجنورد	کپه‌داغ	سازند شوربچه	دوکفه‌ای‌ها، اکتینودرم‌ها، براکیوپود، اثر فسیل ^۲ و فسیل مرجانی
ییجت	۱۶	۰۰° ۳۶' ۵۷" E و ۳۷° ۱۹' ۱۳" N	۱/۵ کیلومتری شرق روستای اسفیدان از توابع دهستان گرمخان در شهرستان بجنورد	کپه‌داغ	سازند تیرگان	اوربیتولین، دوکفه‌ای‌ها، براکیوپودها، اکتینودرم‌ها

روزن داران	سازند لار	بینالود (البرز شرقی)	۲۱/۵ کیلومتری جنوب غرب روستای رباط قره‌بیل از توابع دهستان گلستان بخش مرکزی شهرستان گرمه	۵۶° ۱۱' ۳۸" E و ۳۷° ۱۶' ۳۰" N	۰۱	آرمادلو
روزن داران	سازند لار	بینالود (البرز شرقی)	۱۷/۳ کیلومتری غرب شهر دَرَق و قبل از سه- راهی سنگ‌سوراخ	۵۶° ۰۲' ۲۹" E و ۳۷° ۰۰' ۵۵" N	۰۹	کَفَتَرکِ دَرَق
اوربیتولین، دوکفه‌ای‌ها، براکیوپودها، اکتینودرم‌ها	سازند تیرگان	کپه‌داغ	۶ کیلومتری شمال شرق شهر لوجلی	۵۷° ۵۲' ۴۲" E و ۳۷° ۳۸' ۱۶" N	۱۴	پوستین‌دوز
-	کنگلومرای پلیوسن	کپه‌داغ	جنوب شرق روستای هنامه	۵۸° ۰۱' ۶۰" E و ۳۷° ۳۰' ۳۲" N	۰۷	هنامه
اوربیتولین، دوکفه‌ای‌ها، براکیوپودها، اکتینودرم‌ها	سازند تیرگان	کپه‌داغ	۲/۵ کیلومتر بعد از روستای حصار گلیان و روبروی دوراهی بُرلی، تیریان	۵۷° ۵۲' ۰۶" E و ۳۷° ۱۴' ۴۴" N	۰۸	کافرقلعه
اثر فسیل یا Trace	سازند تیرگان	کپه‌داغ	۳۶۰ متری جنوب غرب شهرک استاد و شمال مسپیل عبوری از پایین دست آن	۵۷° ۵۹' ۴۵" E و ۳۷° ۱۰' ۱۰" N	۱۳	استاد
آمونیت	سازند لار	بینالود (البرز شرقی)	۱۰ کیلومتری شمال روستای سارمران	۵۷° ۱۵' ۱۹" E و ۳۷° ۱۲' ۲۷" N	۱۵	سیاه‌خانه
-	کنگلومرای پلیوسن	بینالود (البرز شرقی)	۲۸ کیلومتری جنوب شرقی شهر اسفراین و ۱۶ کیلومتری بعد از سه‌راهی اسفراین-سبزوار-بام	۵۷° ۴۴' ۱۹" E و ۳۶° ۵۵' ۴۰" N	۰۲	باباقدرت
-	کنگلومرای پلیوسن	بینالود (البرز شرقی)	۱ کیلومتری قبل از روستای انوشیروان و ۰/۵ کیلومتری بعد از پاسگاه انتظامی	۵۷° ۳۶' ۱۷" E و ۳۷° ۰۴' ۱۶" N	۱۲	نوشیروان
آمونیت، مرجان، ورمیشل یا کوکینا	سازند لار	بینالود (البرز شرقی)	۶ کیلومتری شمال شرق روستای گسک از توابع بخش صفی‌آباد شهرستان اسفراین	۵۷° ۰۴' ۱۶" E و ۳۶° ۴۴' ۳۲" N	۰۵	گسک
اوربیتولین، دوکفه‌ای‌ها، براکیوپودها، اکتینودرم‌ها	سازند تیرگان	کپه‌داغ	۱۰ کیلومتری جنوب روستای حسن‌سو از توابع بخش مرکزی مانه و سملقان	۵۶° ۵۹' ۲۵" E و ۳۷° ۲۷' ۰۰" N	۱۱	کُنه‌گرم
آمونیت	سازند مزدوران	کپه‌داغ	۶ کیلومتری شمال شرق روستای جُغدی	۵۶° ۴۸' ۰۸" E و ۳۷° ۲۲' ۲۲" N	۰۴	گنج‌کوه

ب) ویژگی‌های ساختاری: در بررسی انجام گرفته، شواهدی مانند برخورداری از سنگ‌های مرمری شده، خردشدگی، جابجایی و انقطاع در مجاورت صفحه گسل، برخورداری از کانی آراگونیت، شواهد وقوع انواع گسل خوردگی اصلی شیب‌لغز، امتدادلغز، ترکیبی و گسل سطح لایه‌بندی در فضای داخلی غار، حضور پرش گسلی، وجود گوژ گسلی، حضور گسل‌های عرضی عمود بر گسل اصلی غار و برخورداری از گسل‌های تراستی و متناوب در امتداد طول غار در اکثر غارهای موجود در استان مشاهده شد که حکایت از برتری نقش تکتونیک گسلی نسبت به فرآیند انحلال در تکوین و توسعه آنها دارند. پدیده مرمری شدن سنگ‌ها در دهانه غارها در اثر فشار حاصل از حرکت گسل‌ها ایجاد می‌شود؛ خردشدگی، جابجایی و انقطاع در مجاورت سطح گسل به عنوان یک شاخص نتوتکتونیک و فعالیت اخیر گسل محسوب می‌شود؛ حضور آراگونیت نشانگر نقش تکتونیک گسل در مراحل اولیه تشکیل غار بوده و فشار ناشی از گسل باعث می‌شود تا رشد بلورها در جهت شعاعی انجام گیرد؛ حضور پرش گسلی در سطح گسل اصلی، نشانگر این است که بعد از تشکیل غار حرکات تکتونیک وجود داشته و

گسل‌ها همزمان با تشکیل غار فعال بوده‌اند؛ پدیده گوژ گسلی، در محل صفحه گسل و در اثر جابجایی طرفین گسل‌های عرضی عمود بر گسل اصلی (گسل‌های ترانسورس) در فضای غار به وجود می‌آید. حرکت گسل‌های عرضی، باعث پودر شدن سنگ‌های بین گسل شده که مجدداً در اثر نفوذ آب سیمانی شده‌اند و به عنوان یک شاخص بیانگر نقش برجسته گسل در تکوین غار محسوب می‌شوند؛ حضور گسل‌های تراستی عمود بر گسل اصلی و گسل‌های متناوب در راستای طول غارها نیز در تکوین و توسعه سقف غارها از طریق ریزش ایفای نقش کرده‌اند.

در ۱۵ مورد از ۱۶ غار مورد مطالعه، گسل شیب لغز در محیط غار و پیرامون آن وجود دارد که از این تعداد، ۷ مورد (غارهای بیجَت، آرمادلو، کافرقلعه، استاد، سیاه‌خانه، گسک و نوشیروان) در اثر گسل شیب لغز نرمال، ۳ مورد (غارهای خزینه‌راه، کفترکِ درق و گنج‌کوه) در اثر گسل شیب لغز، غار پوستین‌دوز در اثر گسل شیب لغز معکوس و گسل سطح لایه‌بندی، غار بیدک در اثر گسل راندگی مورب، غار گمنامان سالوگ در اثر گسل معکوس و غار نوشیروان در اثر گسل راندگی تشکیل و توسعه یافته‌اند. فقط در غارهای بیدک، گمنامان سالوگ، آرمادلو، پوستین‌دوز و گنج‌کوه آهک ری کریستالیزه و اثر تبلور مجدد بعد از انحلال مشاهده شد که این امر بیانگر ضعف انحلال در غارهای استان می‌باشد. بررسی روند گسل‌های موجود در غارها نشان می‌دهد که، در ۶ غار روند گسل N-S و در ۵ غار روند گسل W-E و عمود بر جهت نیروهای کمپرسیونی است. همچنین نیمی از غارهای استان پیر و نیم دیگر جوان هستند که نشانگر تکتونیک فعال منطقه در زمان حاضر است.

جدول ۴: ویژگی‌های ساختاری غارهای استان خراسان شمالی

ویژگی‌ها	بیدک	سالوگ	گمنامان	خزینه‌راه	بیجَت	آرمادلو	کفترک درق	پوستین‌دوز	هنامه	کافرقلعه	استاد	سیاه‌خانه	بابا قدرت	نوشیروان	گسک	کنه‌گرم	گنج‌کوه
وجود سنگ‌های مرمری شده	-	-	*	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-	*
خردشدگی، جابجایی و انقطاع سطح گسل	*	-	-	-	-	-	-	*	-	*	*	*	-	-	-	*	*
کانی آراگونیت	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-
نوع گسل	راندگی مورب	معکوس	شیب لغز	شیب لغز نرمال	شیب لغز نرمال	شیب لغز نرمال	شیب لغز معکوس و گسل سطح لایه‌بندی	شیب لغز نرمال	شیب لغز نرمال	شیب لغز نرمال	شیب لغز نرمال	شیب لغز نرمال	-	راندگی	شیب لغز نرمال	شیب لغز نرمال	شیب لغز نرمال
روند گسل	NW-SE	NE-SW	N-S	N-S	NW-SE	N-S	N-S	W-E	W-E	SW-NE	W-E	N-S	-	W-E	N-S	N-S	W-E
حضور پرش گسلی	*	*	*	-	*	*	*	*	-	*	*	*	-	-	-	*	*
حضور گوژ گسلی	-	-	-	*	*	*	-	*	-	-	-	*	-	-	*	*	-
گسل‌های عرضی عمود بر گسل	-	-	-	-	گسل راندگی مورب با سنس	گسل ۵ عرضی یا ترانسورس	گسل ۱ تراستی	-	-	شیب لغز	-	شیب لغز	-	۲ گسل	-	۲ گسل معکوس	۳ گسل متناوب تراستی

اصلی									تراستی ^۱		معکوس				شیب- لغز	در سقف
آهک‌های ریکریستالیزه	*	*	-	-	-	-	-	*	-	*	-	-	-	-	-	*
گسل متناوب در طول غار	-	۲ گسل معکوس	-	-	-	-	۲ گسل	۲ گسل	-	-	-	-	-	-	۳ گسل	-
عمر غار	پیر	پیر	جوان	جوان	جوان	جوان	جوان	پیر	پیر	پیر	جوان	جوان	پیر	پیر	پیر	پیر

ج) مورفوژنتیک و نقش تکتونیک در تکوین غارهای استان خراسان شمالی: بررسی‌های میدانی نشان دادند که، غارهای موجود در استان خراسان شمالی توسط یکی از مکانیسم‌های ششگانه شامل: تکتونیک گسلی و انحلال با برتری گسلس، تکتونیک گسلی و انحلال با برتری انحلال، گسل خوردگی و بازشدگی سطح گسل، چین خوردگی لغزش-خمش، چین-خوردگی سطح-خشی و فرایش^۲، انحلال در امتداد سیستم درزه‌ای و میکروگسل، تلفیقی از فرآیندهای طبیعی و عوامل انسانی (دستکند) و صرفاً دستکند تکوین و توسعه پیدا کرده‌اند.

جدول ۵: ویژگی‌های ژنتیکی غارهای استان خراسان شمالی

گنج کوه	کندگرم	گسک	نوشیرون	باباقرت	سیاه‌خانه	استاد	کافرقلعه	هنامه	پوشین دوز	کفرک درق	آرمادلو	بیجت	خزنده‌راه	گمنامان	سالوگ	بیدک	غارها	منشاء تکوین
-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	*	-	*	تکتونیک گسلی و انحلال با برتری گسلس	
*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	تکتونیک گسلی و انحلال با برتری انحلال	
-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	گسل خوردگی و بازشدگی سطح گسل	
-	*	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	چین خوردگی لغزش-خمش	
-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	چین خوردگی سطح-خشی و فرایش	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	انحلال در امتداد سیستم درزه‌ای و میکروگسل	
-	-	-	*	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	طبیعی و دستکند	
-	-	-	-	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	دستکند	

۱. بررسی نقش تکتونیک گسلی و انحلال با برتری گسلس: مطالعات میدانی نشان داد که، ۴ غار بیدک، گمنامان سالوگ، آرمادلو و گسک در اثر این مکانیزم تشکیل شده‌اند.

در بازدید صورت گرفته از داخل غار وجود یک گسل راندگی مورب فعال کاملاً مشهود بود. وجود بلوک‌ها و قطعات برشی در یک ماتریکس ریزدانه در ورودی غار نشانگر عملکرد تکتونیک گسلی در تشکیل آن است. خردشدگی جدید سنگ‌ها در محل صفحه گسل (شکل ۴)، نشانگر فعال بودن گسل موجود در محل غار است که از نظر ریزش نیز خطرناک است. کلیه دالان‌ها و راهروهای این غار در امتداد صفحه گسل امتداد دارند.

۱. گسل‌های تراستی عمود بر گسل اصلی در تکوین سقف غارها و توسعه فضای غارها از طریق ریزش سقف ایفای نقش می‌کنند.

2. Uplifting



شکل ۴: خُردشدگی جدید سنگ‌ها در محل صفحه گسل در اثر بروز تنش برشی و فعالیت اخیر گسل در غار بیدک. در غار گمانمان سالوگ، حضور دو سامانه گسلی معکوس متناوب با امتداد SW-NE و شیب صفحه به سمت SE در ورودی و بخش انتهایی دالان ورودی و راهروهای انتهایی آن قابل تشخیص است. بعد از گسل خوردگی، آب به سطح گسل‌ها نفوذ پیدا کرده و عمل انحلال را انجام داده است. آب نفوذی ابتدا آهک سطح گسل فوقانی را انحلال داده و از طریق درزها و شکاف‌ها به سطح گسل زیرین راه پیدا کرده و آنرا نیز دچار انحلال کرده و در نهایت دالان ورودی تکوین یافته و بیکربنات موجود از طریق دهانه غار به بیرون راه پیدا کرده و خارج شده است. در غار آرمادلو، حضور پرش‌های گسلی در بالادست دهانه و آهک‌های مرمری شده^۱ در دهانه آن نشانگر نقش تکتونیک گسلی در شکل‌گیری آن هستند. این غار با مجموع ۹۵ متر طول، یک دالان ورودی و سه تالار دارد که به ترتیب در راستای شمال قرار دارند. دالان ورودی آن به طول ۲۴ متر، منطبق بر یک گسل شیب‌لغز با شیب ۷۰ تا ۸۰ درجه است که در امتداد سطح گسل در اثر انحلال سنگ آهک توسعه یافته است (شکل ۵). علاوه بر گسل شیب‌لغز که در مرحله نخست تکوین این غار نقش داشته، در این بخش ۴ گسل متناوب عرضی با تراکم هر ۲ متر یک گسل و با شیب ۷۰ تا ۸۰ درجه به سمت جنوب وجود دارند که گسل اصلی را بریده‌اند. همچنین ۲ گسل چپ‌لغز عمود بر گسل اصلی در این بخش وجود دارند. حرکت گسل‌های عرضی^۲ عمود بر امتداد صفحه گسل اصلی، تعداد زیادی «گوژ گسلی» را تشکیل داده است. یعنی حرکت گسل‌های ترانسورس چپ‌لغز باعث پودرشدن سنگ‌های بین گسل شده که مجدداً در اثر نفوذ آب سیمانی شده‌اند.



شکل ۵: دالان ورودی غار آرمادلو و توسعه آن در امتداد سطح گسل شیب‌لغز (سمت راست)، تشکیل گوژ گسلی در اثر حرکت گسل‌های عرضی عمود بر صفحه گسل اصلی (وسط) و گسل ترانسورس چپ‌لغز (سمت چپ).

۱. Recrystallized

۲. Transverse faults

تالار نخست غار آرمادلو به طول حدود ۱۹ متر و با بیشینه عرض ۴/۵ متر، در امتداد سطح گسل اصلی که از نوع شیب‌لغز و دارای امتداد شمالی-جنوبی است، قرار دارد. وجود پرش گسلی در امتداد سطح گسل اصلی در آن نشانگر این است که بعد از تشکیل این غار حرکات تکتونیکی وجود داشته و گسل‌ها همزمان با تشکیل غار هم فعال بوده‌اند. از آنجا که در مجاورت صفحه گسل خوردشدگی جدید وجود ندارد، نشانگر غیرفعال بودن گسل مزبور در زمان حاضر است.

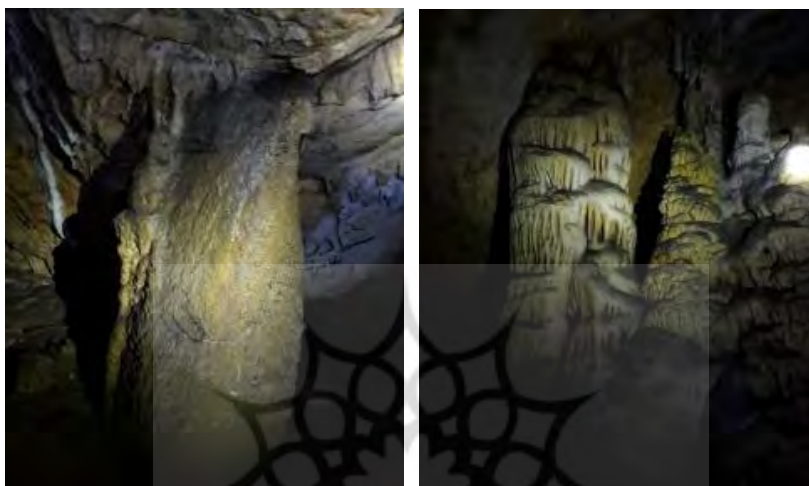
تالار دوم آن با ۲۵ متر طول، در امتداد تالار نخست و سطح گسل اصلی که اشاره شد، قرار دارد. «گسل‌های ترانسورس» که عمود بر گسل شیب‌لغز اصلی و امتداد شرقی-غربی دارند، در توسعه و تکوین این بخش از غار نقش مؤثری داشته‌اند. تالار سوم نیز با طول حدود ۱۰/۵ متر در امتداد تالارهای نخست و دوم و سطح گسل اصلی، قرار دارد.

غار گسک، در سنگ آهک آلیتی و دولومیتی متخلخل موسوم به سازند لار (II) با سن ژوراسیک بالایی در زون بینالود (البرز شرقی) و در اثر فرآیند تکتونیکی از نوع گسل خوردگی شیب‌لغز معکوس و انحلال بسیار فعال در عمق و کاملاً در امتداد سطح گسل به وجود آمده است و به دلیل پیچیدگی مورفولوژی و برخورداری از اشکال انحلالی دست‌نخورده و تکامل یافته از عمق ۴۰ متری به پایین، زیباترین غار استان خراسان شمالی را رقم زده است. شیب ساختمانی کلی لایه‌ها در محل غار به سمت شمال و شمال شرق است که در اثر وقوع گسل‌های شیب‌لغز ارتباط آنها قطع شده است. در مجموع این غار از نوع غارهای پیر محسوب می‌شود که در اثر گسل خوردگی و بازشدگی و انحلال صفحه گسل پدید آمده است.

۲. بررسی نقش تکتونیک گسلی و انحلال با برتری فرایند انحلال: این ویژگی نشانگر غیرفعال بودن گسل در زمان‌های اخیر می‌باشد. باز دیده‌های میدانی صورت گرفته نشان دادند که، غارهای کفترک و گنج‌کوه در اثر تکتونیک گسلی و انحلال با برتری فرایند انحلال تشکیل شده‌اند.

غار کفترک درق، در راستای صفحه گسل‌ها که دارای امتداد شمالی-جنوبی هستند، ایجاد شده و با توجه به اینکه سطح سازند لار سخت و نفوذناپذیر است، آب حاوی اسید کربنیک و اسید نیتریک جاری در سطح از طریق سیستم درزها و گسل‌ها وارد سطح گسل‌های طولی شده و منجر به انحلال سنگ آهک آلیتی سازند لار و تکوین اشکال انحلالی در راستای گسل طولی و در اثر تراوش آب حاوی املاح شده است. علاوه بر نفوذ آب از طریق سیستم درزه‌ای و گسل‌ها، در بررسی میدانی صورت گرفته ۳ هواکش شبیه به دودکش به طور مشخص در راستای گسل‌ها کشف شدند که در ابتدا به صورت درزه‌های کوچکی بوده‌اند؛ ولی در اثر آب بارش توسعه یافته و از طریق آنها نیز به سطح گسل‌ها نفوذ پیدا کرده است. جمع‌بندی که می‌توان از مکانیزم تشکیل این غار انجام داد، اینست که، در تکوین آن پدیده تکتونیک و انحلال هر دو نقش داشته‌اند؛ ولی در وضع موجود غلبه با پدیده انحلال است. به گونه‌ای که فرآیند انحلال اثر سیستم گسلی اولیه که در تکوین غار نقش داشته را از بین برده ولی در سطح زمین و بیرون از غار اثر سیستم گسلی مشخص است.

غار گنج کوه با ساختار آهکی متشکل از سنگ آهک موسوم به سازند مزدوران، در امتداد سطح یک گسل شیب‌لغز ایجاد و توسعه یافته است. با این وجود در تالارهای اول و دوم آن گسل‌های تراستی و ترانسورس نیز مشهود و قابل تشخیص هستند که نقش تکتونیک گسلی را مضاعف ساخته‌اند. در تالار سوم هم نقش گسل‌های عرضی کاملاً مشهود است. در مجموع، فرآیند غالب در غار گنج کوه، فرآیند انحلالی و ته‌نشست رسوبات کربناته کلسیم است. در ابتدا تکتونیک و سیستم درزه‌ای محیط را جهت نفوذ آب‌های حاوی اسید و انحلال آماده نموده و به دلیل حاکمیت پدیده انحلال، تراوش و ته‌نشست، بسیاری از آثار گسلی و مخصوصاً شکل صفحه گسل از بین رفته است.



شکل ۶: نمایی از فلاوستون (سمت راست) و ستون آهکی (سمت چپ) تکوین یافته در تالار نخست غار گنج کوه که نشانگر برتری پدیده انحلال بر تکتونیک در این غار است. (عکس از نگارنده، اردیبهشت ۱۴۰۰)

۳. بررسی گسل خوردگی و بازشدگی سطح گسل: بررسی میدانی و پیمایش غارهای بیجت و استاد نشان داد که، این دو غار در اثر گسل خوردگی و بازشدگی سطح گسل ایجاد شده‌اند.

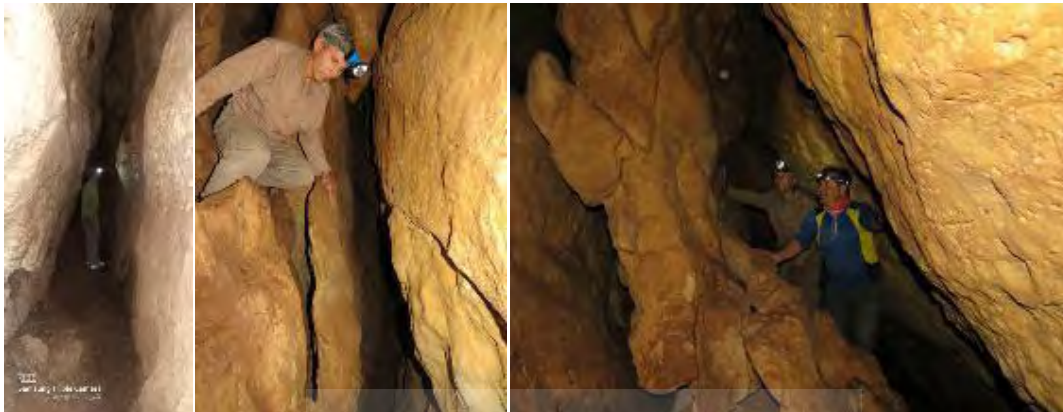
غار بیجت جمعاً با ۴۰ متر طول، در آهک اوریتولین دار^۱ روشن (سازند تیرگان) (Ktr) با سن کرتاسه بالایی و در اثر فرآیند تکتونیک از نوع گسل خوردگی و انحلال بسیار جزئی در امتداد صفحه گسل به وجود آمده است. بعد از دهانه ابتدا یک چاه طبیعی با عمق ۷/۵ متر وجود دارد که به یک راهروی طویل در امتداد شمال غرب به جنوب شرق منتهی می‌شود. این راهرو کاملاً در سطح گسل شیب‌لغز امتداد یافته است. در شاخه جنوب شرقی این راهرو به طول ۱۵/۵ متر، یک سیستم گسلی روراندگی مورب با ارتفاع حدود ۲ متر وجود دارد. این غار از نوع غارهای بسیار جوان محسوب می‌شود و فضای داخلی آن به صورت شکاف عمیقی است که در اثر بازشدگی صفحه گسل به وجود آمده است.



شکل ۷: نمایی از راهروی شمال غربی (سمت راست)، سقف راهروی جنوب شرقی که منطبق بر صفحه گسل روراندگی مورب است (وسط) و گسل روراندگی با سن حرکت معکوس به سمت شرق (سمت چپ)

۱. فسیل اوریتولین از فسیل‌های شاخص کرتاسه بالایی است که در عمق ۲۰۰ متری در دریای کرتاسه می‌زیسته است.

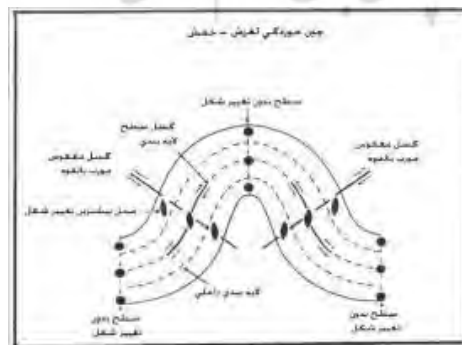
غار استاد، در مجموع شامل شکاف‌ها و راهروهایی است که در امتداد سطح یک گسل شیب لغز نرمال که شیب صفحه به سمت شمال شرق است، گسترش یافته و با عنایت به برخورداری از آثار خوردگی سنگ‌ها در محل صفحه گسل، قطعات ریزشی و فقدان اشکال انحلالی تکامل یافته، از نوع جوان می‌باشد.



شکل ۸: نماهای درونی غار استاد که منطبق بر صفحه یک گسل شیب لغز عادی است.

۴. بررسی نقش چین خوردگی لغزش-خمش^۱: زمین‌ساخت^۲، عامل اصلی ایجاد اشکال اولیه و بالا آمدن لایه‌های زمین است و بدون تأثیر تکتونیک و فشارهای زمین‌ساختی، اشکال و عوارض سطح زمین هم شکل نخواهند گرفت (بهرامی، ۱۳۸۰). بر اساس بررسی‌های میدانی، غارهای پوستین‌دوز و کُنه‌گرم در اثر چین خوردگی لغزش-خمش به وجود آمده‌اند. چین خوردگی لغزش-خمش نخستین بار توسط کولمن و سد^۳ در سال ۱۹۷۸ در توجیه مکانیسم برخی از چین خوردگی‌های واحد زاگرس چین‌خورده مطرح شد. با عنایت به تشابه زون رسوبی-ساختاری زاگرس با زون رسوبی-ساختاری کپه‌داغ-هزارمسجد که محدوده مورد مطالعه غارهای «پوستین‌دوز» و «کُنه‌گرم» در زون کپه‌داغ-هزارمسجد قرار دارد، این مکانیسم در چین خوردگی و گسلش کوه‌های تاقدیسی امام حاضر (محل غار پوستین‌دوز) و مرز محمدخان (محل غار کُنه‌گرم) تأثیرگذار بوده است.

در مکانیسم لغزش-خمش به علت ناهماهنگی صفحه‌ای بین لایه‌های رسوبی، لایه‌های خاصی از مراکز به هم فشرده چین به قوس بیرونی می‌لغزند. در این مکانیسم حداکثر تغییر شکل و حرکات لایه‌ها در پهلوهای چین اتفاق می‌افتد و در محور چین حرکت نسبی و تغییر شکل اتفاق نمی‌افتد. در مراحل اولیه چین خوردگی، گسل‌های مورب معکوس شکل نمی‌گیرند؛ اما همچنانکه چین خوردگی تکامل می‌یابد، گسل‌های معکوس، پرشیب‌ترین پهلوهای چین‌های نامتقارن را قطع می‌کنند.



۱. Flexural-Slip Folding

۲. Tectonic

۳. Colman-sadd

شکل ۹: مکانیسم چین خوردگی لغزش-خمش در زاگرس چین خورده (اقتباس از کولمن-سد، ۱۹۷۸)

چین خوردگی لغزش-خمش، منجر به کاهش چسبندگی لایه بندی داخلی و تشکیل گسل سطح لایه بندی می شود. از شاخص‌های شناخت مکانیسم چین خوردگی لغزش-خمش، وجود گسل‌های تراستی و معکوس در پهلوی چین و فقدان گسل و شکستگی‌ها در محور چین است.

همانطور که اشاره شد، در شکل‌گیری اشکال نخستین غار پوستین‌دوز نظیر بالآمدگی، چین خوردگی و گسل خوردگی، زمین ساخت نقش داشته است. فازهای نخستین تکوین این غار در اثر چین خوردگی لغزش-خمش و گسلش شیب لغز معکوس یا تراستی مورب روی آهک اوریتولین دار روشن (سازند تیرگان^۱) به وجود آمده و سپس در اثر انحلال ضعیف توسعه یافته است. از نشانه‌های وجود گسل معکوس و یا تراستی مورب و نقش بی‌بدیل آن در تکوین و توسعه دهانه و دالان این غار می‌توان به خردشدگی سنگ‌های دهانه و دالان ورودی و حضور گوژ گسلی و برش گسلی در محل صفحه گسل و فروریزش‌های بعدی اشاره نمود.



شکل ۱۰: آثار برش گسلی (سمت راست) و گوژ گسلی (سمت چپ) در محل صفحه گسل تراستی مورب موجود در دالان ورودی غار پوستین‌دوز.

در پیمایش انجام گرفته، علاوه بر تأثیر گسل خوردگی معکوس، نقش گسل سطح لایه بندی نیز مشاهده شد. لایه‌های فوقانی یال تاق‌دیس در کمر پایین گسل معکوس با مساعدت آب نفوذی و انحلال ناشی از آن و حضور میان لایه‌های رسی و ماری دچار حرکت و لغزش نسبت به هم، تکتونیزه شدید، خرد شدگی و تغییر شکل زیادی شده‌اند. تعدد راهروها و دهلیزها، فراز و نشیب آنها، گوژ گسل سطح لایه بندی و خوردشدگی سنگ‌های آهکی حاوی میان لایه‌های ماری و رسی بیانگر این ویژگی است. پس از گسل خوردگی معکوس، آب حاصل از ذوب برف و نزولات جوی از مسیر صفحه گسل در سنگ‌های آهکی نفوذ پیدا کرده، آنرا انحلال داده، سپس در اثر خالی شدن فضاهای انحلال یافته، دهانه و دالان ورودی غار تکوین یافته است که بخش عمده‌ای از فضای داخلی غار مزبور را به خود اختصاص می‌دهد. آب‌های نفوذی، در امتداد شیب ساختمانی و گسل سطح لایه بندی منطبق بر لایه بندی داخلی، به سمت جنوب حرکت می‌کند.



شکل ۱۱: آثار گوژ گسلی (سمت راست) و برش گسلی (سمت چپ) در محل گسل سطح لایه‌بندی. راهروی اصلی غار در این راستا تکوین و توسعه پیدا کرده است.

غار کُنه‌گرم نیز، در اثر چین‌خوردگی لغزش-خمش و گسل خوردگی عمود بر گسل‌های معکوس روی آهک اوریتولین‌دار روشن، تکوین و سپس در اثر انحلال توسعه یافته است. به عبارتی پس از ۲ بار گسل خوردگی معکوس و یا تراستی مورب در یال جنوبی تاقدیس مرز محمدخان، علاوه بر تأثیر گسل سطح لایه‌بندی، لایه‌های فوقانی در محل پایین‌تر از گسل معکوس یا تراستی بالادست (سیستم گسلی شماره یک) دچار بیشترین تغییر شکل، تکتونیزه شدید و خرد شدگی شده و گسل فرعی شیب‌لغز شمال عمود بر مسیر گسل خوردگی معکوس رخ داده است که رواناب‌های موقتی و ریزش‌های جوی به راحتی از این مسیر به درون سنگ‌های آهکی نفوذ پیدا کرده و آنرا انحلال داده است. در اثر توسعه فضاهای انحلال یافته و وزن لایه‌های فوقانی، دچار ریزش شده و دهانه غار در این محل شکل گرفته و سپس کل فضای داخلی غار در امتداد سطح گسل توسعه یافته است. آب نفوذی در غار سپس از طریق گسل سطح لایه‌بندی منطبق بر لایه‌بندی داخلی، به سمت دره رودخانه شیرآباد حرکت نموده که با چشمه‌های موجود در آن ارتباط دارد.



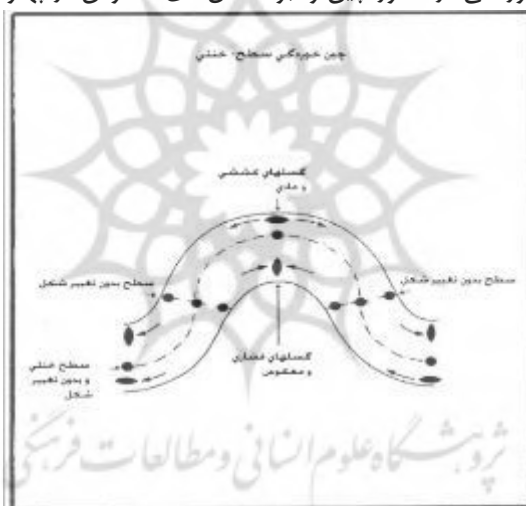
شکل ۱۲: سیستم گسلش معکوس اصلی به تعداد دو مورد که با شماره‌های ۱ و ۲ در یال جنوبی تاقدیس کوه محمدخان به ترتیب از بالا به پایین قرار گرفته است و گسل شیب‌لغز شمال فرعی که عمود بر مسیر گسلش اصلی رخ داده و غار در امتداد آن تشکیل و توسعه یافته است. نگاه از بالای تاقدیس و از سمت شمال است.

گوژ گسلی و برش گسلی در محل صفحه گسل، خوردشدگی سنگ‌های دهانه غار و فروریزش‌های بعدی، از نشانه‌های وجود گسل شیب‌لغز و نقش آن در تکوین و توسعه غار کُنه‌گرم هستند.



شکل ۱۳: گوژ گسلی (سمت راست)، برش گسلی (وسط) و سنگ‌های تکتونیزه و فروریزش (سمت چپ) در دهانه غار کُنه‌گرم.

۵. بررسی نقش چین خوردگی سطح-خنثی^۱ و فرایش: در شکل‌گیری اشکال نخستین و نهایی غار کافرقلعه، زمین‌ساخت در قالب فرایش و مکانیسم چین خوردگی سطح-خنثی نقش اصلی را بر عهده داشته است. مکانیسم چین خوردگی سطح-خنثی نیز در سال ۱۹۷۸ توسط کولمن-سد در توجیه مکانیسم چین خوردگی واحد زاگرس چین خورده ارائه شده و با توجه به مشابهت واحد زاگرس با زون کپه‌داغ، که غار کافرقلعه در این زون قرار دارد نیز، قابل استفاده است. در مکانیسم چین خوردگی سطح-خنثی، بیشترین تغییر شکل در محور چین و حداقل تغییر شکل در پهلوئی چین اتفاق می‌افتد. در این مکانیسم شکاف‌های کششی کم‌عمق در محور چین و به موازات آن ایجاد شده و اگر چین از نوع قائم باشد، گسل‌های عادی در محور آن ایجاد می‌شوند. در مراکز چین‌ها، فشار اتفاق می‌افتد. فشار اصلی موازی با لایه‌بندی و عمود بر محور چین است. الگوهای فشاری باعث می‌شوند مجموعه مزدوجی از گسل‌های معکوس یا تراستی در پائین‌تر از سطح خنثی ایجاد شوند. سطح خنثی، سطحی است که هیچ نوع تغییر شکلی در آن ایجاد نمی‌شود. در محور طاقدیس‌ها، بالاتر از سطح خنثی، کشیدگی وجود دارد در حالی که پایین‌تر از آن مکانیسم فشاری حاکم است و در محور ناودیس‌ها وضعیت برعکس است. چین خوردگی سطح-خنثی بیشتر در چین‌هایی ایجاد می‌شود که نسبت طول موج چین بیشتر از ضخامت لایه‌ها است (کولمن - سد، ۱۹۷۸). از شاخص‌های شناخت مکانیسم چین خوردگی سطح-خنثی، وجود گسل‌های عادی و شکاف‌های موازی با محور چین خوردگی در محور چین و نبود گسل‌های معکوس در پهلوئی آن است.



شکل ۱۴: مکانیسم چین خوردگی سطح-خنثی (اقتباس از کولمن - سد، ۱۹۷۸).

مکانیزم تکوین غار کافرقلعه اینگونه است که، ابتدا سازندهای شوربجه^۲ و تیرگان از رسوبات کرتاسه زیرین، در اثر نیروهای فشاری دچار چین خوردگی تاقدیسی شده‌اند. این تاقدیس که به تاقدیس گلیان معروف است، هسته آن را سازند شوربجه و طبقات بالایی آن را سنگ آهک سازند تیرگان تشکیل می‌دهند که مکانیسم چین خوردگی سطح-خنثی، سازند تیرگان را بیشتر تحت تأثیر قرار داده است.

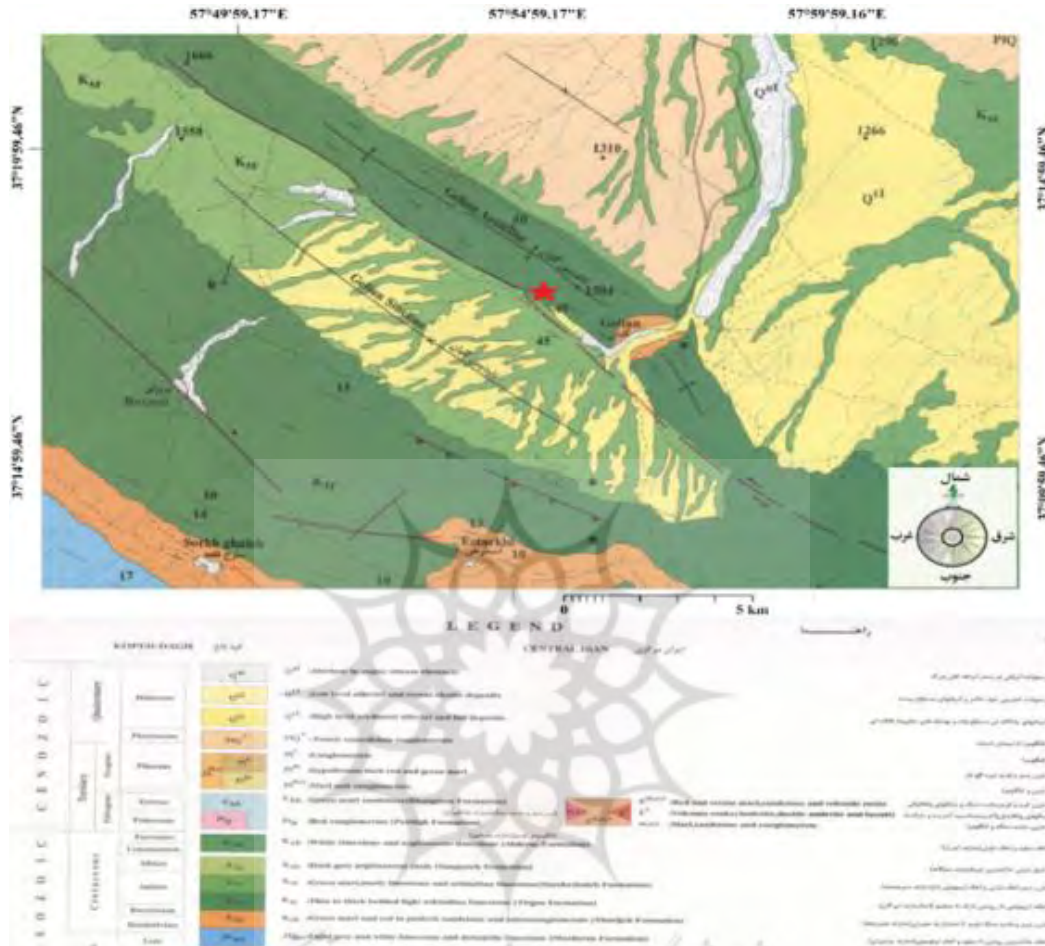
تاقدیس گلیان پس از چین خوردگی، در اثر نیروهای فشاری بعدی، دچار تنش برشی و گسل خوردگی امتدادلغز می‌شود که این گسل خوردگی در مرز بین تاقدیس و ناودیس گلیان، به خوبی مشهود است.

گسل خوردگی سبب شده تا پیوند بین لایه‌ها قطع و زمینه برای رشد، بالازدگی و فرایش تاقدیس، فروافتادگی ناودیس گلیان و حذف تکیه‌گاه جانبی پهلوئی شیبدار تاقدیس فراهم گردد. همزمان با رشد تاقدیس و افزایش شیب لایه‌های یال آن، در اثر حرکات کششی و واگرا و میل به افتادگی در طبقات بالایی پهلوئی چین مزبور، گسل‌های عرضی شکل گرفته‌اند

¹ Neutral-Surface folding

^۲ این سازند متشکل از ماسه‌سنگ صورتی رنگ بوده و علامت اختصاری آن روی نقشه زمین‌شناسی (Ksh) است.

و مجموع عوامل و شرایط نامبرده، زمینه تکوین یک گسل شیب‌لغز نرمال در یال جنوب‌غربی تاقدیس و لغزش انتقالی بلوکی را فراهم کرده است.



شکل ۱۵: نقشه زمین‌شناسی محدوده و مناطق پیرامونی غار کافرقلعه. محل غار با ستاره سرخ رنگ مشخص شده است.



شکل ۱۶: رشد تاقدیس گلبان و شیب تند طبقات سنگ‌آهک در یال جنوب‌غربی، شرایط را برای تشکیل گسل شیب‌لغز نرمال و وقوع لغزش و ریزش‌های بلوکی و تکوین مخروط واریزه در پای آن فراهم کرده است (سمت چپ).



شکل ۱۷: گسل‌های عرضی موجود در یال تاقدیس که ارتباط لایه‌ها را قطع و لغزش بلوکی را تشدید می‌کنند (سمت راست) و نمایی از لایه‌های لغزش یافته در اثر گسل شیب‌لغز نرمال موجود در یال جنوب‌غربی تاقدیس گلپان (سمت چپ)

رشد تاقدیس، شیب تند لایه‌ها، فقدان تکیه‌گاه جانبی دامنه و قطع ارتباط لایه‌ها در اثر گسل‌های عرضی، حرکات کششی در طبقات بالایی تاقدیس و بالاتر از سطح خنثی و همسویی شیب‌های توپوگرافی و ساختمانی طبقات آهکی، منجر به شکل‌گیری یک گسل شیب‌لغز نرمال و لغزش بلوکی بزرگی در یال جنوب‌غربی تاقدیس گلپان شده است که غار مزبور در محل برخورد دو گسل عرضی با بخش تحتانی طبقات لغزش‌یافته به وجود آمده است. در بررسی میدانی انجام گرفته آثار لغزش به شکل خَش و خراشیدگی در سطح طبقات پهلوی تاقدیس به خوبی مشاهده شد. دهانه غار کافرقلعه که به شکل یک ورودی عمودی است منطبق بر سطح یکی از گسل‌های عرضی نامبرده است و سقف آن با سطح زیرین لایه‌های دچار لغزش بلوکی انطباق دارد. با توجه به اقلیم خشک منطقه و بهم‌ریختگی سنگ‌ها، این غار فاقد فرآیند انحلال است.



شکل ۱۸: کمب شکل گرفته در اثر مکانیسم چین خوردگی سطح-خنثی و تشکیل شکاف‌های کششی کم‌عمق در تاقدیس گلپان. با توجه به اینکه این چین از نوع قائم است در محور آن گسل عادی شکل گرفته است. شرایط مذکور سبب تسریع فرسایش در رأس تاقدیس شده است (سمت راست)؛ آثار خَش خوردگی و خراشیدگی حاصل از لغزش طبقات فوقانی در سطح رویی سنگ آهک در مجاورت غار (وسط) و سقف غار که منطبق بر سطح زیرین لایه‌های دچار لغزش بلوکی شده می‌باشد (سمت چپ).

بررسی نقش سیستم درزه‌ای و میکروگسل در انحلال و تکوین غار: بررسی‌های میدانی به عمل آمده در بین ۱۶ غار نشان داد که، غار خزینه‌راه در اثر انحلال رسوبات تبخیری در امتداد سیستم درزه‌ای و میکروگسل‌ها تکوین یافته است. این غار از نوع مرده است و از ویژگی‌های خاص و منحصر بفرد آن، فقدان اشکال انحلالی و ساختارهای آهکی بخاطر محیط ماسه‌سنگی و سیلیسی راهروهای آن می‌باشد؛ ولی در راهروی آن اشکال انحلالی نقطه‌ای و کوچک مشاهده شد که در اثر انحلال گچ و نمک تبخیری موجود در ماسه‌سنگ ایجاد شده‌اند.



شکل ۱۹: نمای راهروی ورودی غار خزینه‌راه (سمت راست) و حضور رگه‌های سیلیسی به رنگ سفید و تکوین اشکال انحلالی لوکال در اثر وجود رسوبات تبخیری در ماسه‌سنگ صورتی رنگ در دیواره راهروی غار خزینه‌راه (سمت چپ).

در تکوین غار خزینه‌راه نیز، نقش تکتونیک گسلی در یک زون گسلی به وضوح دیده می‌شود؛ ابتدا در اثر گسل پاره‌گی و امتدادلغز، جریان رود در محل گسل (حالت انطباق) متمرکز شده است. به دلیل شیب نسبی، رود بستر خود را که متشکل از ماسه‌سنگ صورتی رنگ حاوی رسوبات تبخیری موسوم به سازند شوربیجه (Ksh) است، حفر، کاوش و انحلال داده است. گسل پاره‌گی و امتدادلغز مزبور سبب شده تا در کناره دره نیز شاخه‌های گسل‌های فرعی و میکرو که جابجایی کمتری را ایجاد کرده‌اند، به وقوع بپیوندند و در ضمن به خاطر عمق دره و اختلاف ارتفاع، محل غار دچار فروافتادگی جزئی شده و گسل خوردگی میکرو و درزه‌ها شکل گرفته‌اند. سپس آب‌های نفوذی ریزش‌های جوی، از طریق سنگ آهک تکتونیزه سازند تیرگان در بالا به این سیستم راه یافته و در فضای این سیستم آب‌های زیرزمینی متمرکز و ویژگی‌های جریانی به خود گرفته است و رسوبات تبخیری شامل گچ و نمک را به آسانی انحلال داده است؛ که حاصل آن توسعه و تکوین راهروی غار به طول ۱۵۰ متر است. به عبارتی راهروی غار خزینه‌راه در امتداد درزه و میکروگسل شکل گرفته و منشاء تکتونیک، فروافتادگی جزئی و انحلالی دارد. سازند شوربیجه در بخش فوقانی به سازند تیرگان (Ktr) متشکل از آهک اوریتولین‌دار روشن تغییر چینه‌شناسی می‌هد. به هم ریختگی‌های موجود در لایه‌ها، وجود گسله‌های متعدد ماکرو و میکرو و تکتونیزه بودن سنگ‌های منطقه، همگی دلالت بر فعال بودن این منطقه از نظر تکتونیک دارند.

۷. بررسی نقش عوامل طبیعی و انسانی در تکوین غارها: تحقیقات انجام شده نشان دادند که، غارهای سیاه‌خانه و نوشیروان منشاء طبیعی و دستکند دارند.

غار سیاه‌خانه، ابتدا در اثر تکتونیک گسلی با ساز و کار شیب‌لغز نرمال دچار تنش برشی شده است که از آثار و شواهد این تنش می‌توان به خش، پرش و گوژ گسلی در فضای داخلی آن اشاره نمود. تنش برشی از طرفی سبب خرد شدن سنگ‌ها و مهیا شدن شرایط برای کند و کاو آسان توسط انسان شده و از سوی دیگر منجر به نفوذ و حرکت آب از امتداد سطح گسل شده که در دروه‌های ترسالی ویژگی یک آبشار را به خود گرفته است. آب و هوای خوب و مراجعه گردشگران سبب شده تا به حفر و کاوش سطح گسل ترغیب شوند؛ که حاصل این حفر و کاوش تکوین غار به شکل امروزی می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این غار در ابتدا منشاء تکتونیک و طبیعی و در نهایت منشاء انسان ساخت دارد. در این غار اثری از عمل انحلال وجود ندارد.



شکل ۲۰: موقعیت غار سیاه‌خانه در پای پرتگاه گسلی و سامانه‌های گسلی بالای آن که با خط قرمز مشخص شده‌اند (سمت راست)، اثر خَش گسلی (وسط) و پَرش گسلی در فضای داخلی غار سیاه‌خانه.

لیتولوژی غار نو شیروان کنگلومرای نئوژن است که در اثر سیلاب‌های کاتا ستروف دوره‌های بارانی رسوبگذاری و دچار چین‌خوردگی شده و سپس تکتونیک گسلی^۱ روی آن تأثیر گذاشته و باعث جابجایی طبقات کنگلومرای نسبت به هم در امتداد صفحه دو گسل راندگی متناوب در سقف دهانه اصلی غار شده است. نتیجه این جابجایی، سست شدن و ریزش بلوکی در سقف غار بوده است. تراوش آب از سقف و دیواره غار، فشار هیدرواستاتیک آب همراه با انحلال سیمان مارنی نیز در تکوین و توسعه این غار تأثیر گذاشته است. این غار فاقد اشکال انحلالی است و علی‌رغم ساز و کار گسلی، به دلیل جنس سنگ زمینه (کنگلومرا)، در فضای داخلی و سقف آن، اثری از خَش، پَرش و گوژ گسلی مشاهده نمی‌شود. حضور سیمان مارنی و سست در کنگلومرای بخش زیرین غار، کند و کاو را آسان نموده است که با این شرایط دارای دو منشاء طبیعی و انسان ساخت است. این غار مسافران عبوری زمستان‌های سخت دامنه‌های غربی شاهجهان را پناه داده است.



شکل ۲۱: نمایی از سیستم گسلی و درزه‌ای موجود در دهانه‌های اصلی (سمت راست) و فرعی (سمت چپ) غار نوشیروان.
 ۸. بررسی نقش عوامل انسانی در تکوین غارها: بر اساس بررسی‌ها، غارهای هنامه و باباقدردت دستکند محسوب می‌شوند. مجموعه غارهای دستکند هنامه، در سینه کوه گرم‌دره از دره‌های فرعی رود اترک علیا قرار دارد. این غار فاقد ساختار آهکی بوده و تشکیلات زمین‌شناسی موجود در محل غار شامل ۱۰ لایه کنگلومرای دارای سیمان سیلیسی و ۵ میان‌لایه مارنی است که تناوب آنها نشانگر نوسانات اقلیمی نئوژن (پلیوسن) می‌باشد. غارهای مزبور در حد فاصل سطح پادگان شماره یک و شماره دو رودخانه هنامه که به صورت یک پرتگاه فرسایشی است، استقرار دارند. این مجموعه در حقیقت یک پناهگاه موقتی بوده که در قرون ۴ و ۵ هجری احداث شده است. دلیل اصلی شکل‌گیری آن مصنوعیت ساکنان روستا

۱. در بررسی میدانی انجام گرفته، در دهانه اصلی این غار ۴ رشته گسل مشاهده شد.

از حمله اشرا، سارقان، اقوام مهاجم و سیلاب بوده که در مواقع لزوم در این بخش استقرار پیدا می‌کردند و کشف مفرغ در این مجموعه دال بر استفاده از آن به عنوان سلاح در برابر هجوم این اقوام مهاجم بوده است. این مجموعه دارای ارزش حفاظتی است و در فروردین سال ۱۳۸۶ با شماره: ۲۲۲۱۴ در فهرست آثار ملی به ثبت رسیده است. در این مجموعه آثار باستانی کشف شده و دارای بقایای اسکلتی دیرینه و فسیل بوده که خلاصه اطلاعات ثبتی آن موجود است. غارهای دستکند هنامه شامل دو مجموعه مجزای از هم و وضعیت اولیه آن وسیع‌تر از وضع موجود بوده است.

مجموعه شماره یک: این مجموعه رو به غرب و دارای یک ورودی بوده و در آن دیدبانی وجود داشته است. غارهای این مجموعه در سه طبقه به ارتفاع تقریبی ۱/۵ متر و با بیشینه طول ۷ و کمینه ۴ متر و با بیشینه عرض ۴ و کمینه ۱/۵ متر است که در لایه ماری حفر شده و شامل بخش‌های زیرند:

۱. طبقه نخست شامل دالان‌های نسبتاً بزرگ، دامداری و دارای آخورهای با ارتفاع متفاوت بوده که اخیراً به منظور جلوگیری از ریزش با قیر اندود شده است. در این مجموعه ۸ مورد دامداری مشاهده شد که با طبقات فوقانی خود مرتبط بوده‌اند.

۲. طبقه دوم شامل فضاهای کوچکتر تو در تو بوده که با توجه به وجود اتاق‌ها و اجاق‌های متعدد و دودزدگی سقف آنها باید اتاق نشیمن افراد باشد. این کاربری شامل ۸ اتاق نشیمن می‌باشد.

۳. طبقه سوم شامل اتاق‌های نسبتاً کمتر ولی نسبتاً بزرگتر است که با توجه به فقدان اجاق و اتاق‌ها، احتمالاً انبار بوده‌اند. این نوع کاربری در مجموعه شماره یک به ۶ مورد می‌رسد.

مجموعه شماره دو: این مجموعه رو به شمال غرب و غرب قرار دارد و به دلیل فرسایش آبی قهقرایی و ریزش، بخش عمده آن از بین رفته است. دسترسی به این مجموعه به دلیل شیب تند دامنه و سنگریزه‌های گرد د شوار است. در این مجموعه ۹ اتاق نشیمن در دو بخش مجزا (۷ مورد در بخش بالایی و ۲ مورد در بخش زیرین) و ۸ انبار وجود دارد و فاقد اثر دامداری می‌باشد که احتمالاً در اثر فرسایش دیفرانسیل و ریزش واریزه‌های پرتگاه فرسایشی مدفون شده است. در این مجموعه یک قنات متروکه با ۳ چاه وجود دارد که نشانگر استقلال ساکنان مجموعه از نظر دسترسی به منابع آب در زمان تهدیدات بوده است.



شکل ۲۲: نمایی از مجموعه شماره یک (سمت راست) و مجموعه شماره دو (سمت چپ) غارهای دستکند هنامه.

غار بابا قدرت که اکنون کاربری امامزاده دارد، در اثر حفر و کاوش لایه نسبتاً نرم ماری زیر لایه کنگلومرایی با سیمان آهکی و سیلیسی به ضخامت ۲ متر به سن نئوژن به وجود آمده است. این غار از سه بخش ایوان، دالان و بارگاه تشکیل شده است؛ که معماری ایوان و گنبد بارگاه به سبک معماری دوره ساسانی می‌باشد. سقف دالان متشکل از لایه کنگلومرایی قیراندود است و به دلیل تغییر ضخامت لایه کنگلومرایی، ارتفاع آن متغیر است. بخش بارگاه در زیر رسوبات

کنگولمرایی به ضخامت ۴/۵ متر مدفون بوده و اخیراً در اثر حفاری خارج شده است. تکتونیک فعال منطقه اخیراً روی آن تأثیر گذاشته که از شواهد آن می‌توان به میکروگسل‌ها و درزهای موجود در سقف غار و پیرامون اشاره نمود.



شکل ۲۳: کنگولمرای نئوژن منطبق بر سقف (سمت راست)، نمای دالان (وسط) و نمای خارجی و گنبد بارگاه غار دستکند با با قدرت (سمت چپ)

نتیجه‌گیری

بررسی مورفوتکتیکی غارهای استان خراسان شمالی نشان داد که، در تکوین و توسعه آنها در مجموع هفت عامل شامل: تکتونیک گسلی و انحلال با برتری گسلش، تکتونیک گسلی و انحلال با برتری انحلال، گسل خوردگی و بازشدگی صفحه گسل، چین خوردگی لغزش-خمش، چین خوردگی سطح-خشی و فرایش، انحلال در امتداد سیستم درزه‌ای و میکروگسل، عوامل طبیعی و انسانی به طور توأمان و در برخی موارد صرفاً عوامل انسانی مؤثر بوده‌اند که در این بین نقش تکتونیک گسلی نسبت به انحلال از برتری برخوردار است؛ که این نتیجه متناسب با موقعیت تکتونیک زون‌های کپه‌داغ-هزارمسجد و آلا‌داغ-بینالود در ناحیه شمال خراسان است. به گونه‌ای که ۵ غار بیدک، گمنامان سالوگ، آرمادلو، گسک و کنه‌گرم در اثر تکتونیک گسلی تشکیل شده‌اند. غارهای کفترک و گنج‌کوه در اثر تکتونیک گسلی و انحلال با برتری فرایند انحلال تشکیل شده‌اند. غارهای بیجت و استاد در اثر گسل خوردگی و بازشدگی سطح گسل، غار پوستین دوز در اثر چین خوردگی لغزش-خمش و حرکت لایه‌ها نسبت به هم در امتداد گسل سطح لایه‌بندی یال تاق‌دیس، غار کافرقلعه در اثر چین خوردگی سطح-خشی توأم با گسل‌های کششی و عادی در طبقات بالایی و گسل‌های فشاری و معکوس در طبقات زیرین چین، فرایش و لغزش بلوکی و غار خزینه‌راه در اثر انحلال در اثر حرکت آب زیرزمینی در امتداد سیستم درزه‌ای و میکروگسل تشکیل شده‌اند. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که، در تکوین غارهای با منشأ طبیعی و دستکند نظیر سیاه‌خانه و نوشیروان اسفراین نیز، تکتونیک گسلی نقش نخستین را به خود اختصاص داده و کند و کاوها توسط انسان پس از تأثیر گسل و خردشدگی در امتداد صفحه گسل به وقوع پیوسته است.

بررسی سطح مقطع و پروفیل غارهای استان نشان داد در هر غار که فرایندهای تکتونیک و گسل خوردگی نقش اصلی را در تکوین و توسعه آن ایفا کرده‌اند، پروفیل آن نامنظم و طبقه‌طبقه است.

مطالعات موجود نشان داد که واژه‌های غار و کارست به توجه به ماهیت و چگونگی تکوین و توسعه آنها، هم‌تراز و مشابه یکدیگر نیستند و بین آنها تفاوت وجود دارد و لزوماً هر غاری کارستی نیست. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه خراسان شمالی و محدودیت نسبی بارش، خیلی از سنگ‌های آهکی، ویژگی کارستی پیدا نکرده‌اند و می‌توان گفت آنچه را که امروزه به عنوان پدیده‌های کارستی در این ناحیه مشاهده می‌شود، به جز برخی موارد، حاصل دوره‌های بارانی کوتاه‌تر بوده و امروزه به صورت کارست‌های مرده و غیرفعال هستند. بطور کلی هر چه از شمال به جنوب و از غرب به شرق استان حرکت می‌کنیم، اشکال و فرایندهای کارستی نیز بتدریج ضعیف‌تر شده و در گروه غارهای خشک و غیرفعال و با منشأ تکتونیک قرار می‌گیرند. در حالیکه غارهای شمال و غرب استان مرطوب هستند و در این غارها وسعت گالری‌ها و تالارها

بیشتر و اشکال کارستی کامل‌تر و پیچیده‌ترند.

با توجه به منشاء تکتونیکی اغلب غارهای استان خراسان شمالی، از آنها می‌توان به عنوان شاخص و شواهد نئوتکتونیک در منطقه استفاده نمود. خردشدگی، جابجایی و انقطاع سطح گسل در غارهای بیدک، پوستین دوز، کافرقلعه، استاد، سیاه‌خانه، کنه‌گرم و گنج‌کوه علاوه بر تصدیق تکتونیکی بودن منشاء آنها، دلالت بر تکتونیک فعال و استعداد لرزه‌خیزی منطقه دارند که در نظام برنامه‌ریزی عمرانی استان خراسان شمالی باید به مورد اجرا گذاشته شود. حضور سنگ‌های تکتونیزه و ریزشی در سقف و دیواره غارهای کافرقلعه و کنه‌گرم، دال بر ناپایداری شدید این غارها بوده و به دلیل خطرخیزی بالا برای مراجعه گردشگران مناسب نیستند؛ غار کنه‌گرم به دلیل ریزشی بودن، نوع درجه ۱ با دسترسی ممنوع و غار کافرقلعه درجه ۲ با دسترسی محدود به شمار می‌روند. وقوع گسل‌های شیب‌لغز در فضای درونی و بیرونی غارهای گسک، کنه‌گرم و گنج‌کوه سبب شده تا ورود و خروج از غارهای مذکور به طور معلق انجام و دسترسی بدون حمایت فنی غیرممکن باشد. مطالعات میدانی و بررسی‌های بعد از آن نشانگر کثرت وجود غارها در استان خراسان شمالی بوده که به دلیل محدودیت‌های زمانی، مالی و فنی فقط تعداد ۱۶ غار مورد بررسی دقیق قرار گرفتند. در محدوده‌های جنوب‌شرق غار خزینه راه، یال جنوبی تاقدیس بُزداغی در شهرستان مانه و سملقان، شمال شرق روستای قصرقبر در شهرستان بجنورد، جنوب غرب غار کافر قلعه، جنوب غرب غار گسک، ضلع شمالی غار سیاه‌خانه، بی‌بی قورخود در یال شمالی کوه قورخود در شهرستان مانه و سملقان، دامنه غربی حلقه زو در دره درکش از توابع شهرستان مانه و سملقان، جنوب شرق بهکده رضوی (غار سوقه) در شهرستان مانه و سملقان، ضلع جنوبی و غربی غار آرمادلو، ضلع شمالی غار گنج‌کوه، ضلع جنوبی و شرقی غار کفترک و در روستای قره‌جقه از توابع شهرستان فاروج غارهای جدیدی و قابل بررسی وجود دارند که مناسب است در آینده مورد مطالعه قرار گیرند.

منابع

- بشکنی، ا.، جایز، م.، دهقان، م.، حاجی‌الاحمدی، م.، و حیدری، ی.، ۱۳۹۱. گزارش بررسی غارها و پناهگاههای صخره‌ای شهرستان سنقر استان کرمانشاه، مطالعات باستان‌شناسی، دوره ۴، شماره ۱، شماره پیاپی ۵، صص: ۵۸-۳۳.
- بهرامی، ش.، ۱۳۸۰. بررسی تحولات ژئومورفولوژی حوضه رودخانه الوند و تهیه نقشه ژئومورفولوژی آن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته جغرافیای طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه.
- بهنیا، ا.، قنبرزاده، ه.، ۱۳۹۵. ژئومورفولوژی کارست، معاونت پژوهش و فن‌آوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد و انتشارات نگاران سبز، مشهد.
- توسلی، ع.، ۱۳۹۱. زمین‌شناسی و مورفولوژی کارست (نگرشی بر چگونگی شکل‌گیری غارها)، ویرایش نخست، انتشارات فدراسیون کوهنوردی جمهوری اسلامی ایران، تهران.
- جعفری، ت.، ۱۴۰۰. طرح جامع مطالعه غارهای استان خراسان شمالی، اداره کل حفاظت از محیط زیست خراسان شمالی، بجنورد.
- درویش‌زاده، ع.، و محمدی، م.، ۱۳۷۶. زمین‌شناسی ایران (رشته جغرافیا)، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- درویش‌زاده، ع.، مدنی، ح.، صداقت، م.، هاشمی، ع.، و دانش‌فر، ح.، ۱۴۰۰. علوم زمین، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، تهران.
- دریو، م.، ۱۳۷۱. مبانی ژئومورفولوژی (اشکال ناهمواری‌های زمین)، ترجمه مقصود خیام، انتشارات نیما، تبریز.
- سازمان برنامه و بودجه خراسان، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ کشانک.
- صداقت، م.، معاریان، ح.، ۱۳۸۱. زمین‌شناسی فیزیکی (جلد اول)، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- علائی طالقانی، م.، ۱۳۸۴. ژئومورفولوژی ایران، نشر قومس، تهران.
- غضبان، ف.، ۱۳۸۹. زمین‌شناسی زیست‌محیطی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

- کارگروه غارنوردی و غارشناسی فدراسیون کوهنوردی و صعودهای ورزشی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۷، مبانی تئوری و عملی غارپیمایی، ویرایش سوم، انتشارات فدراسیون کوهنوردی جمهوری اسلامی ایران، تهران.
- کریمی وردانجانی، ه.، ۱۳۸۹، هیدروژئولوژی کارست (مفاهیم و روش‌ها)، انتشارات ارم، شیراز.
- معماریان، ح.، ۱۳۸۷، زمین‌شناسی ساختاری، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.
- نکوئی صدری، ب.، ۱۳۹۳، مبانی زمین‌گردشگری با تأکید بر ایران، چاپ سوم، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت)، تهران.
- واعظی‌هیر، ع.، جبرائیلی اندریان، ن.، و بختیاری، ش.، ۱۳۹۸. بررسی توسعه کارست در استان کردستان، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۵، شماره ۲۰، صص: ۴۱-۵۶.
- وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، سازمان جغرافیایی وزارت دفاع، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ سری K551، آشخانه برگ NJ 40-10، بجنورد برگ NJ 40-11 و ۱:۵۰۰۰۰ سری K753، بجنورد برگ 1 7464 و شیروان برگ 1 7564
- وزارت صنعت، معدن و تجارت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، برگ ۱:۱۰۰۰۰۰ نقشه‌های زمین‌شناسی بجنورد، شیروان و فاروج و برگ ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه‌های زمین‌شناسی بجنورد، کوه قورخود و جاجرم.
- وزارت صنعت، معدن و تجارت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مرکز منطقه شمال شرق، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی رومی استان خراسان شمالی.
- ولایتی، س.، ۱۳۷۴، جغرافیای آبها و مدیریت منابع آب، انتشارات خراسان، مشهد.
- ویکاندر، ر.، و مونرو، ج. اس.، ۱۹۹۹، مبانی زمین‌شناسی، ترجمه فرج‌الله فیاضی، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، تهران.
- Boegli, A., 1978. *Karstth ydrogrphie und Physische spelaeologie*, Springer-verlag, Berlin.
- Boegli, A., 1980. *Karst Hydrology and Physical Speleology*, Springer Verlag, Berlin.
- Colman-Sadd, S. P., 1978. *Fold development in Zagros simple folded belt, southwest Iran*, AAPG Bull., 62, 984-1003.
- Daniel, B., Santiago, G., Joaquín, G.-S., Montserrat, J.-S., 2019. *Quaternary regional evolution based on karst cave geomorphology in Picos de Europa (Atlantic Margin of the Iberian Peninsula)*, *Geomorphology* 336, pp.133-151.
- Ford, D. C., Williams, P. W., 1989. *Karst geomorphology and hydrology*, London: Unwin Hyman, Vol. 601.
- Fossen, H., 2010. *Structural geology*, Cambridge University Press.
- Palmer, AN., 1991. *Origin and morphology of limestone caves*, *Bull. Geol. Soc. Am.* 100, 1-21
- Palmer, AN., 2007. *Cave Geology*, Published by Cave Books, Dauton, Ohio.
- Piotr, S., Anthony, J.C., 2011. *The initial stages of cave formation: Beyond the one-dimensional paradigm*, *Earth and Planetary Science Letters* 301, pp.424-432.
- Ramsay, J. G., Huber, M., 1988. *The Techniques of Modern Structural Geology*, Academic Press.
- Susan, W., John, A. W., 2015. *The influence of tectonics on flank margin cave formation on a passive continental margin: Naracoorte, Southeastern Australia*, *Geomorphology* 229, pp.58-72.
- White, B. W., 1988. *Geomorphology and hydrology of karst terrains*, Oxford University Press.