

جغرافیا و توسعه شماره ۵۰ بهار ۱۳۹۷

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۲۹

تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۶/۰۶

صفحات: ۷۵-۹۴

نقش عوامل هیدرودینامیک در پیدایش و تحول پدیده‌های کارستی (کوه اشکوت، محمودآباد، شمال غرب ایران)

دکتر محمدرضا قدری^۱، دکتر غلامرضا مقامی‌مقیم^{۲*}

چکیده

عوامل هیدرودینامیک، زمین‌ریخت‌های کارستی گوناگونی را بر روی کوه اشکوت در شمال غرب ایران پدید آورده‌اند. با اینکه پدیده‌های کارستی در مسیر درزها، شکستگی‌ها و گسل‌ها پدید آمده و گسترش یافته‌اند، اما انرژی جنبشی آب‌های روان اهمیت بیشتری در پیدایش آن‌ها داشته است. در پژوهش حاضر تلاش بر این است تا زمین‌ریخت‌های کارستی ناشی از عوامل هیدرودینامیک را در این کوه شناسایی، دسته‌بندی و بررسی کنیم. روش کار در این پژوهش بیشتر بر روی بررسی‌های میدانی برای شناسایی زمین‌ریخت‌های کارستی، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و برداشت داده‌های مورفومتریک آن‌ها استوار است. پدیده‌هایی مانند گریک، راهرو انحلالی، راهرو لایه‌بندی انحلالی و خیابان کارستی در بستر شکستگی‌های زمین‌ساختی و ناشی از نیروی هیدرودینامیک آب‌های روان پدید آمده‌اند. برخی از زمین‌ریخت‌های کارستی کمیاب مانند لوله‌های انحلالی و چاه عمودی در اثر نیروی دینامیک آب‌های فرورو و بر روی آهک‌ها به‌وجود آمده‌اند. در این کوه دو نمونه از لوله‌های انحلالی به‌نام لوله‌های انحلالی زانویی و لوله انحلالی سیفونی شکل شناسایی شده است. غارها، آب‌گذرهای کارستی، پل‌های آهکی و تونل‌های سرشتی از دیگر زمین‌ریخت‌های کارستی هستند که جریان آب‌های زیرزمینی آن‌ها را پدید آورده است. بررسی‌های اقلیمی نشان می‌دهد شرایط آب و هوایی حال حاضر، برای شکل‌گیری بسیاری از پدیده‌های کارستی کوه اشکوت مناسب نیست؛ بنابراین می‌توان سن زمین‌ریخت‌های کارستی این کوه را به دوره پلیستوسن نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: انحلال، پدیده‌های زمین‌ساخت، زمین‌ریخت کارستی، عوامل هیدرودینامیک، کوه اشکوت.

مقدمه

کارست، چشم‌انداز ویژه‌ای است که غارها و سیستم گسترده‌ای از آب‌های زیرزمینی را دربر می‌گیرد (Ford and Williams, 2007: 1). زمین‌ریخت‌هایی که در یک چشم‌انداز کارستی نمایان می‌شوند، تنها محدود به پدیده‌های زیرزمینی نیستند، بلکه پدیده‌های سطحی زمین مانند چاله‌ها، شیارها و کانال‌های انحلالی را نیز دربر می‌گیرند. چشم‌اندازهای کارستی که امروزه در روی زمین دیده می‌شوند، ناشی از فرایندهای انحلالی هستند که به‌وسیله آب در سنگ‌های انحلال‌پذیر به‌وجود آمده‌اند (Waele, 2009: 1). در واقع انحلال فرایند اصلی در کارست‌سازی به حساب می‌آید که به‌وسیله آب و در حالت‌های گوناگون آن روی می‌دهد (Plan, 2005: 201).

کارست‌سازی یک فرایند پیچیده طبیعی است و به‌وسیله عواملی که با هم در ارتباط هستند، کنترل می‌شود. این عوامل از یک‌سو به سنگ‌های انحلال‌پذیر کربناته گره خورده و از سوی دیگر به‌وجود آب به عنوان یک عامل انحلالی وابسته می‌باشند. تکامل زمین‌های کربناته به‌شدت تحت تأثیر هیدرولوژی سطحی و جریان آب‌های زیرزمینی قرار دارد (معمد، ۱۳۷۷: ۲۰۶). در برخی از نواحی که سنگ‌های آهکی ضخیم هستند؛ تشکیلات حفره‌دار، سطح زمین را می‌پوشاند. در مسیر این درزها و حفره‌ها آب وارد سنگ شده و به‌وسیله انحلال آن‌ها را گسترش می‌دهد (Selby, 1985: 301). ساختار سوراخ‌ها، شکاف‌ها، شکستگی‌ها و آب‌گذرهای زیرزمینی که اندازه و ریخت‌های گوناگون دارند، شرایط هیدروژئولوژی پیچیده‌ای را برای جریان‌های زیرزمینی به‌وجود می‌آورند (Jukić, 2009: 2). رابطه میان این شکاف‌ها و شکستگی‌ها با جریان آب‌های زیرزمینی به پیدایش و گسترش زمین‌ریخت‌های

کارستی زیرزمینی می‌انجامد که با گذشت زمان برخی از آن‌ها در روی زمین نمایان شده و توپوگرافی کارست رویی را پدید می‌آورند. بارش یکی از عواملی است که آب لازم را برای انحلال سنگ‌های آهکی در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌کند. آب ناشی از بارش در زمین نفوذ کرده و در آکیفرها^۱ انباشته شده و از راه‌های گوناگونی دوباره به روی زمین راه می‌یابند؛ از این‌رو جریان آشفته چشمه‌ها، واکنشی نسبت به بیرون‌ریزی آب‌های انباشته شده است (Perrin, 2003: 123).

آب‌های ناشی از بارش چه در مسیر آغازین که به درون زمین نفوذ می‌کنند و چه در بازگشت از لایه‌های زیرین و راه‌یابی دوباره به روی زمین، زمینه انحلال سنگ‌های کربناته مسیر خود را فراهم می‌کنند. گوناگونی و گستردگی پدیده‌های کارستی به حجم، سرعت فروری و میزان دی‌اکسیدکربن موجود در آب‌ها بستگی دارد.

به دلیل اهمیت نقش کارست در زندگی انسان، مطالعه این اشکال در صدر توجه محققان قرار گرفت و از دهه هشتاد این توجه شتاب بیشتری داشته است که از مهمترین این مطالعات می‌توان به مطالعه اشکال کارستی در کشور چین توسط بایومین^۲ در سال ۲۰۰۹ براساس معیارهای ژئومورفولوژیکی (Baomin, 2009: 12-29) اشاره کرد. او در این مطالعه با استفاده از روش‌های تجربی و میدانی، کارست‌های منطقه مطالعاتی خود را به سه گروه کارست‌های جوان، ناقص و تکامل یافته تقسیم کرد. طبقه‌بندی چشمه‌های کارستی و غارها براساس معیارهای هیدرولوژیکی، مطالعه دیگری بود که توسط لوهمن^۳ انجام شد. او در این مطالعه برای طبقه‌بندی اشکال کارستی، معیارهای هیدرولوژیکی را مدنظر قرار داد.

1-Aquifers
2-Baomin
3-Luhmann

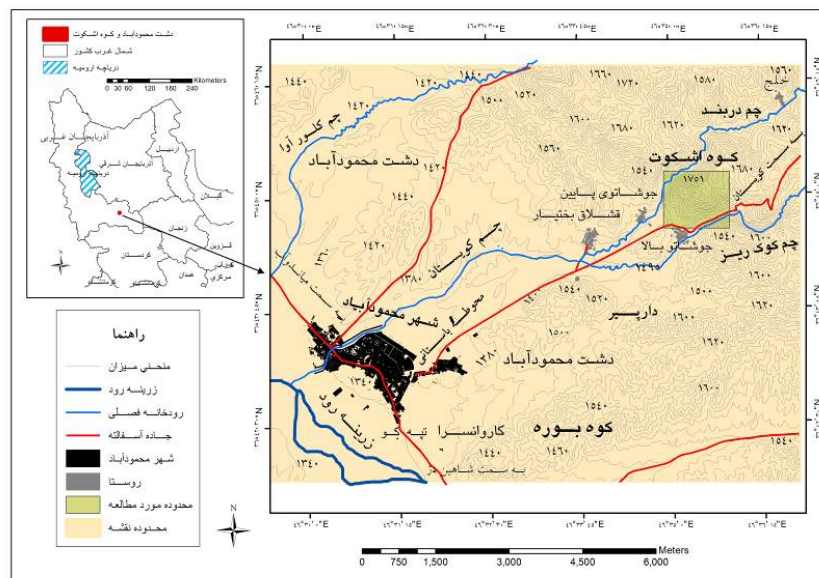
استفاده از مطالعات میدانی مطالعه و براساس روش‌های مورفولوژیکی این اشکال را طبقه‌بندی کرد و به این نتیجه رسید که کارست‌های این حوضه در ردیف کارست‌های جوان قرار می‌گیرند. منطقه مورد مطالعه علی‌رغم داشتن اشکال کارستی تیبیک تا به حال مورد مطالعه قرار نگرفته است؛ فقط برخی از زمین‌ریخت‌های کارستی این کوه که دارای ارزش نمادین و احتمالاً باستانی هستند، به وسیله قدری (a و b ۱۳۹۲) بررسی شده‌اند. گوناگونی پدیده‌های کارستی در این چهارچوب کوچک آهکی، بیانگر بالابودن توان انحلال و فرسایش و همچنین طولانی بودن مدت زمان آن است. در جریان کارست‌سازی در روی کوه اشکوت، علاوه بر فرسایش و انحلال شیمیایی، نیروی جنبشی آب روان نیز به‌عنوان یک نیروی دینامیکی مؤثر بوده است. در این پژوهش سعی بر این است تا نقش عوامل هیدرودینامیک در پیدایش پدیده‌ها و زمین‌ریخت‌های کارستی این کوه برپایه ویژگی‌های هیدرودینامیک مورد بررسی قرار گرفته و براین اساس اشکال کارستی آن طبقه‌بندی شوند.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

کوه اشکوت در ۵ کیلومتری شمال شرقی شهر محمودآباد، در جنوب شرق استان آذربایجان غربی و شمال غرب کشور ایران قرار گرفته است (شکل ۱). بلندترین قسمت این کوه ۱۷۵۱ متر بوده که نسبت به زمین‌های پایین دست خود در بستر رودخانه دربند (چم دربند)، ۳۱۱ متر بلندتر و نسبت به پست‌ترین بخش در دشت محمودآباد در کناره زربینه رود (چم گورا)، ۴۱۱ متر اختلاف ارتفاع دارد.

مطالعه کارست‌های جزیره سالوادور در کشور باهاما با استفاده از مدل فضایی و سنجش‌ازدور در سال ۲۰۱۲، مطالعه دیگری بود که توسط هوهانگ چاک^۱ انجام شد (Hung Chak, 2012:66). همچنین یکی از جدیدترین مطالعات در این زمینه، مطالعاتی بود که در سال ۲۰۱۵، مصطفی در منطقه کردستان کشور عراق انجام داد و چشمه‌های کارستی این منطقه را براساس عناصر شیمیایی و روش تجربی طبقه‌بندی کرد (Mustafa, 2015:1-24). در ایران نیز به دلیل اینکه نزدیک به ۱۱ درصد کشور را سازندهای کارستی تشکیل می‌دهند؛ مطالعه این اشکال از سوی محققان زیادی مورد توجه قرار گرفته است؛ از جمله، رضایی‌مقدم و قدری (۱۳۸۴) ضمن مطالعه اشکال کارستی منطقه تخته سلیمان، این اشکال را از دیدگاه ژئومورفولوژیکی مطالعه و طبقه‌بندی کردند. نتیجه تحقیقات آن‌ها نشان داد که در بین اشکال، کارستی کارن‌ها متنوع‌ترین اشکال کارستی این منطقه محسوب می‌شوند. قبادی نیز سهم مهمی در مطالعات کارست‌های ایران داشته و با روش‌های تجربی و مهندسی اشکال کارستی ایران را مورد توجه قرار داده و لزوم توجه به مطالعات کارستی را در پروژه‌های عمرانی گوشزد کرده است (قبادی، ۱۳۸۶: ۱-۶).

بهنیافر (۱۳۸۸) نیز توده کارستی اخلمد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود را مورد مطالعه قرار داد و به این نتیجه رسید که کارست‌های این حوضه تأثیر زیادی در کیفیت آب آشامیدنی این منطقه داشته‌اند. مقامی‌مقیم (۱۳۹۵) نیز اشکال کارستی حوضه در پرچین در خراسان شمالی را با



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی کوه اشکوت و مسیر دسترسی به آن

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

دیده می‌شوند. این سازندها که نزدیک به ۱۰۰ متر ضخامت داشته و دارای فسیل هستند، هم‌تراز سازند دلیچای می‌باشند. گنگلومرای قرمز با خمیر آهکی از سازندهای جوان‌تر این کوه است که وابسته به سازند فجن بوده و بخشی از غارها و زمین‌ریخت‌های کارستی بر روی این سازند به‌وجود آمده‌اند. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۲)، چند گسل با جهت شمال‌غربی- جنوب‌شرقی از روی این کوه و بخش‌های پیرامون آن می‌گذرند. یک گسل اصلی از سمت غربی کوه اشکوت می‌گذرد و دهانه چند غار کارستی در جهت این گسل ساخته شده‌اند. دامنه‌های پرشیب و پرتگاه‌های صخره‌ای دامنه‌های غربی و جنوب غربی کوه ناشی از بریدگی و جابه‌جایی لایه‌ها به‌وسیله این گسل است (شکل ۲).

از نظر آب و هوایی، براساس روش اقلیم‌نمای آمبرژه آب و هوای منطقه از نوع اقلیم ارتفاعات نزدیک به اقلیم سرد و نیمه‌خشک تعیین شده است (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۳۸-۱۳۳). میانگین بارش منطقه طی یک دوره آماری ۲۵ ساله ۳۳۸/۳

ساختار این کوه به‌صورت اسفنجی بوده و دارای تهی‌گاه‌هایی^۱ در اندازه‌ها و ریخت‌های گوناگونی است. چون در روی این کوه چندین غار کوچک و بزرگ پدید آمده است، به آن کوه‌اشکوت می‌گویند. اشکوت یا اشکفت به معنای غار است.

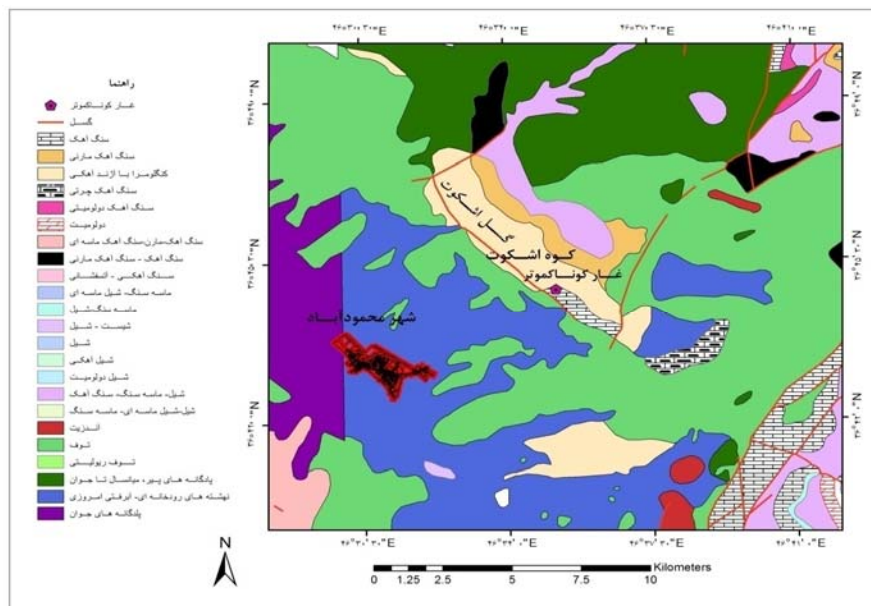
مسیر دسترسی به کوه اشکوت به‌وسیله یک جاده آسفالتی از شهر محمودآباد است که از آنجا به جاده شاهین‌دژ- میان‌دوباب و جاده بوکان می‌پیوندد. از نظر زمین‌شناسی در پهنه‌بندی واحدهای ساختاری- رسوبی ایران، این منطقه در زون ایران مرکزی و زون سندج سیرجان قرار گرفته است. سنگ‌های کوه اشکوت از سه دسته آهک‌های روشن و دولومیتی، آهکی‌های ماری و میان‌لایه و کنگلومرا باخمیر آهکی تشکیل شده است (Alavi Naini, 1982: 99)

سنگ‌های آهکی این بخش که به رنگ روشن بوده و دارای نوارهای چرتی هستند، هم‌تراز سازند لار می‌باشند. آهک‌های ماری این کوه نازک و متوسط لایه بوده و به رنگ خاکستری مایل به سبز

1-Cavities

می‌توان در تئوری دوره‌های بارانی در ایران جستجو کرد. پژوهشگرانی مانند شارلاو^۱ (۱۹۵۸) و هدین^۲ (۱۳۵۵) بر این باورند که آب و هوای ایران در پلیستوسن یک دوره بارانی را سپری کرده است. برپایه این تئوری، زمانی که قسمت زیادی از اروپا تحت تسلط یخچال‌ها قرار داشته، فلات ایران یک مرحله بارانی را طی کرده است که در ضمن آن حتی دره‌های مرتفع نیز زیر آب قرار داشته‌اند. در این دوره مراکز پرفشار قطبی به سمت جنوب به خصوص منطقه معتدل حرکت کرده و بادهای غربی را به جنوب رانده‌اند. در این دوره شرایط مرطوبی بر ایران حاکم شده که از آن به‌عنوان دوره پلویال^۳ نام می‌برند. بیشتر کارست‌های ایران مربوط به همین دوره بارانی است.

میلی‌متر و متوسط دمای آن ۹/۴ درجه سانتی‌گراد است (سازمان هواشناسی ۱۹۸۶-۲۰۱۰). فروردین با متوسط بارش ۶۵/۶ میلی‌متر پرباران‌ترین و مرداد با ۲/۸ میلی‌متر خشک‌ترین ماه سال است. تیرماه با ۲۲/۱ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین و دی‌ماه با ۴/۲- خنک‌ترین ماه سال است (جدول ۱). در دوره کواترنر به‌ویژه در پلیستوسن، تغییرات عمده‌ای در آب و هوای ایران روی داده است. پدیده‌های کارستی یکی از مواردی است که بیانگر ویژگی‌های آب و هوای آن دوره است. بروکس (۱۹۸۲: ۸) برخی از پدیده‌های کارستی در ایران را وابسته به آب و هوای گذشته می‌داند. برای پیدایش زمین‌ریخت‌های کارستی تپییکی مانند پدیده‌های کارستی کوه اشکوت، بارش و رطوبت بیشتری نسبت به میزانی که هم‌اکنون در منطقه دیده می‌شود، مورد نیاز است. این مسئله را



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی کوه اشکوپ
 مأخذ: نقشه زمین‌شناسی ۱:۰۰۰۰۰ شاهین دژ

1-Hedin
 2-Scharlau
 3-Pluvial

جدول ۱: متوسط بارش و درجه حرارت منطقه مورد مطالعه

ردیف	سال	متوسط بارش سالانه	متوسط دما
۱	۱۹۸۶	۵۷۹/۴	۹
۲	۱۹۸۷	۴۱۲/۱	۹/۶
۳	۱۹۸۸	۵۹۲	۸/۵
۴	۱۹۸۹	۲۲۰/۳	۸/۸
۵	۱۹۹۰	۲۹۴/۲	۸/۶
۶	۱۹۹۱	۴۱۱/۶	۸/۸
۷	۱۹۹۲	۳۴۵/۸	۶/۸
۸	۱۹۹۳	۵۲۷/۴	۸/۳
۹	۱۹۹۴	۴۸۴	۹/۵
۱۰	۱۹۹۵	۲۰۹/۳	۹/۴
۱۱	۱۹۹۶	۳۳۵/۱	۹/۷
۱۲	۱۹۹۷	۲۷۶/۷	۸/۶
۱۳	۱۹۹۸	۳۱۵/۸	۹/۸
۱۴	۱۹۹۹	۱۷۵/۷	۱۰/۵
۱۵	۲۰۰۰	۲۹۶/۵	۹/۶
۱۶	۲۰۰۱	۱۹۷	۱۰/۶
۱۷	۲۰۰۲	۳۰۷/۲	۹/۷
۱۸	۲۰۰۳	۳۳۷/۲	۹/۵
۱۹	۲۰۰۴	۳۹۵/۸	۹/۸
۲۰	۲۰۰۵	۲۵۳/۴	۹/۹
۲۱	۲۰۰۶	۲۹۲/۷	۱۰/۱
۲۲	۲۰۰۷	۳۰۱/۸	۹/۷
۲۳	۲۰۰۸	۲۲۲	۹/۹
۲۴	۲۰۰۹	۳۸۲	۹/۷
۲۵	۲۰۱۰	۳۰۱/۴	۱۱/۳
میانگین		۳۳۸/۶	۹/۴

مأخذ: سازمان هواشناسی ۱۹۸۶-۲۰۱۰

روش تحقیق

در این تحقیق پس از مطالعات کتابخانه‌ای با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و مطالعات میدانی محدوده مورد مطالعه مرزبندی شد. پس از مطالعات کتابخانه‌ای بیشتر کارها بر روی بررسی‌های میدانی، جست‌وجو و شناسایی زمین‌ریخت‌های کارستی استوار بوده است.

از آنجاکه کوه اشکوت در منطقه سردسیر قرار گرفته و بخش‌های زیادی از آن در فصول سرد سال پوشیده از برف بوده و همچنین به دلیل توپوگرافی خشن این کوه و قرار گرفتن پدیده‌های کارستی در بخش‌های ناهموار و صعب‌العبور آن، شناسایی و بررسی میدانی این تحقیق بیشترین زمان را به خود اختصاص داد. بر این اساس پس از شناسایی ابتدایی منطقه، با

کارستی دست داشته است. پیدایش برخی از زمین‌ریخت‌های کارستی از همان آغاز ناشی از نیروی هیدرودینامیک آب‌ها می‌باشند؛ اما برخی دیگر از زمین‌ریخت‌ها نخست بر روی درزها، شکاف‌ها و شکستگی‌های زمین‌ساختی پدیدآمده، سپس فرایندهای انحلالی آب آن‌ها را گسترش داده است. به دلیل نزدیکی به فلات کوهستانی و پرباران «کویستان» در بخش شرق منطقه و همچنین ویژگی‌های زمین‌شناسی این بخش از دشت محمودآباد، تراز آب‌های زیرزمینی در کوه اشکوت بالاست. در چند دهه گذشته، ۵ رشته کاریز در شهر محمودآباد آبدهی داشتند که از لایه‌های آبدار زمین‌های پیرامون کوه اشکوت سرچشمه می‌گرفتند. آبدهی این کاریزها بیانگر بالابودن تراز آب‌های زیرزمینی در کوه اشکوت است.

زمین‌ریخت‌های ناشی از آب‌های روبی

برخی از زمین‌ریخت‌های کارستی که بر روی سنگ‌های انحلال‌پذیر کوه اشکوت دیده می‌شوند، ناشی از فرایند انحلالی رواناب‌های روبی می‌باشند. این رواناب‌ها عمدتاً از بارش‌های جوی و چشمه‌های کارستی سرچشمه می‌گیرند. بسته به چگونگی جریان و همچنین سرچشمه رواناب سطحی، مورفولوژی و اندازه زمین‌ریخت‌های کارستی نیز گوناگون خواهد بود. پدیده‌های ناشی از انحلال سطحی سنگ‌های آهکی در کوه اشکوت، دسته بزرگی از زمین‌ریخت‌های کارستی را دربر می‌گیرد که به آن‌ها کارن^۱ می‌گویند. کارن‌های پدیدآمده در کوه اشکوت بسیار گسترده و گوناگون بوده و بررسی و دسته‌بندی آن‌ها در این پژوهش نمی‌گنجد. در اینجا تنها به نمونه‌هایی از آن‌ها اشاره می‌شود که نقش هیدرودینامک در پیدایش آن‌ها برجسته‌تر به نظر می‌رسد.

کمک یک تیم کوهنوردی آشنا به منطقه و علاقه‌مند به مطالعات کارست، اشکال کارستی منطقه شناسایی، نقشه‌برداری و ابعاد فیزیکی آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس موقعیت هر یک از آن‌ها با استفاده از Gps برداشت و در نقشه مقدماتی منطقه علامت‌گذاری شد. عکس‌برداری از لندفرم‌های کارستی منطقه به منظور انطباق آن‌ها با پدیده‌های کارستی و شناسایی دقیق‌تر آن‌ها صورت گرفت. همچنین برای آن دسته از پدیده‌های کارستی منطقه نظیر لوله‌های انحلالی که در روی زمین امکان گرفتن عکس از آن‌ها نبود، طرح گرافیکی تهیه شد. علاوه بر موارد فوق، برای آشنایی با نقش پدیده‌های کارستی در باورهای مردم منطقه و آشنایی با نام محلی آن‌ها، از روش مصاحبه حضوری استفاده شد. مطالعه اقلیم منطقه براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی تکاب انجام گرفت. این پژوهش با تهیه نقشه فراگیر پدیده‌های کارستی برای منطقه با به‌کارگیری نرم‌افزارهای ArcGIS و Autocad به اتمام رسید.

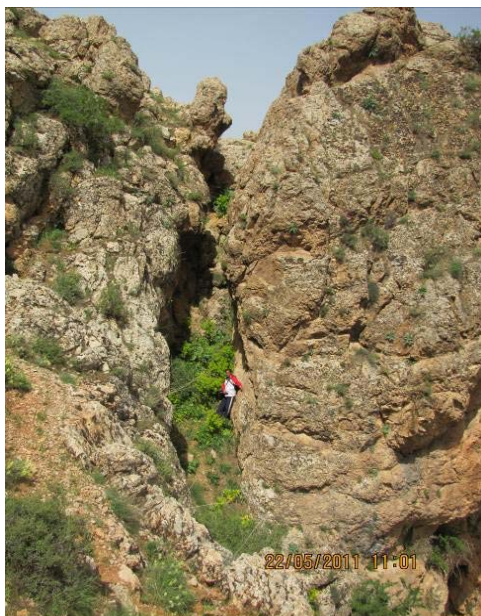
یافته‌های پژوهش

آب‌هایی که در بخش‌های روبی و زیرزمینی کوه اشکوت جریان دارند، نقش مهمی در پدیدآوردن زمین‌ریخت‌های کارستی داشته‌اند. این آب‌ها دارای اسیدکربنیک ضعیفی هستند که به وسیله آن توانایی انحلال پیدا کرده و شیارها، چاله‌ها و تهی‌گاه‌هایی را در سنگ‌های انحلال‌پذیر این کوه به وجود آورده‌اند. این آب‌ها هنگام جاری شدن بر روی زمین و یا هنگام فروری و جریان در بخش‌های زیرزمینی و همچنین زمانی که از میان لایه‌های آبدار زیرین بیرون می‌آیند، پدیده‌های کارستی ویژه‌ای را در روی کوه اشکوت پدید آورده‌اند. نیروی جنبشی آب‌های روان توانایی انحلالی آن‌ها را افزایش داده و در ریخت، اندازه و ویژگی‌های زایشی هر کدام از زمین‌ریخت‌های

کناره‌های آن در بخش میانی به صورت دیواره‌های عمودی درآمده‌اند؛ اما این کناره‌ها در بخش پایین‌تر دارای شیب کمتری بوده و بستر گریک پهن می‌شود. گریک‌ها در مسیر شکستگی‌هایی که ریشه زمین‌ساختی دارند، بستر کنگلومرای آهکی را بریده‌بریده کرده‌اند. در میان گریک‌های کوه اشکوت، بلوک‌های آهکی بزرگی جای گرفته‌اند که «کلینت^۱» یا «فلج کارن^۲» نامیده می‌شوند. بر روی گریک‌هایی که در سنگ‌فرش آهکی جنوب‌غربی و شمال‌شرقی کوه اشکوت پدید آمده‌اند، نمونه‌هایی از این بلوک‌های آهکی دیده می‌شوند. کف برخی از گریک‌ها با لایه‌ای از خاک نرم پوشیده شده است؛ از این رو پوششی از چمن در درون آن‌ها رویداده‌اند.

– کارن‌های گریکی

در اثر فرایندهای زمین‌ساختی و هوازدگی‌های فیزیکی ناشی از یخبندان در دوره‌های سرد سال، شکاف‌ها و شکستگی‌هایی بر روی سنگ‌های آهکی کوه اشکوت پدید آمده است. رواناب‌های رویی بر روی این شکستگی‌ها جاری شده، با خوردگی و انحلال آن‌ها را بزرگ کرده و به ژرفا برده‌اند. به این کارن‌ها، «کارن گریکی^۱» می‌گویند. پیدایش گریک‌ها نخست ناشی از شکاف‌ها و شکستگی‌های پدیدآمده در سنگ مادر بوده، سپس آب‌های جاری آن‌ها را بزرگ می‌کنند. شکل (۳) عکس راست، نمونه‌ای از یک گریک را در دامنه شمال غربی کوه اشکوت نشان می‌دهد. این گریک دارای شیب زیادی است.



شکل ۳: (سمت راست) نمونه‌ای از یک گریک، شمال غرب کوه اشکوت. (سمت چپ) راهرو انحلالی، دامنه شمالی کوه اشکوت

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴

- 1-Griekarren
- 2-Clint
- 3-Flackarren

- راهرو انحلالی

در اثر فرایندهای زمین‌ساختی، گسل و شکستگی‌های بزرگی بر روی سنگ‌های آهکی کوه اشکوت به وجود آمده است. این شکستگی‌ها فضاهای بازی را برای فروروی آب در میان سنگ‌ها به وجود آورده‌اند. با فروروی و جریان آب انحلال نیز با شتاب بیشتری انجام گرفته است. شیارها و کانال‌های ناشی از این شکستگی‌ها، پهنا؛ درازا و ژرفای زیادی پیدا می‌کنند که به آن‌ها «راهرو انحلالی» می‌گویند. بوگازها از بزرگ‌شدن و گسترش کارن‌های گریکی پدید می‌آیند. نمونه کامل این کارن‌ها در دامنه شمالی کوه اشکوت دیده می‌شود. شکستگی بزرگی در میان یک بلوک آهکی بسیار بزرگ و پیکره سنگی کوه پدید آمده است. آب با حجم زیادی در درون این شکستگی‌ها جریان داشته که آن را بزرگ کرده و به ژرفا برده است. طول این شکاف بیش از ۱۵ متر و پهنای آن نزدیک به ۳ متر است. ادامه انحلال در آینده موجب جداشدگی کامل این بلوک آهکی و فروریزی آن به درون دره‌چم دربند می‌شود (شکل ۳ عکس چپ). کف این بوگاز با لایه‌ای از خاک نرم پوشیده شده است؛ به همین دلیل کف آن پوشیده از انواع پوشش گیاهی است.

- راهرو لایه‌بندی - انحلالی

فرایندهای زمین‌ساختی موجب شکستگی و گسل‌خوردگی سنگ‌های انحلال‌پذیر کوه اشکوت شده‌اند. در اثر گسل‌خوردگی، بخشی از زمین‌های پای دامنه پایین رفته و سطح لایه‌بندی سنگ‌ها بر روی دامنه نمایان شده‌اند. این فرورفتادگی در بخش پایین دست دامنه غربی کوه نمود بیشتری پیدا کرده است. لایه‌بندی سنگ‌های این بخش به این صورت است که سنگ‌های آهکی میان‌لایه‌ای در زیر جای گرفته، در بخش میانی سنگ‌های آهکی روشن

چرت‌دار و در روی آن‌ها کنگلومرای آهکی جای گرفته است. بخشی از لایه‌های بریده‌شده که در اثر گسل بالا آمده‌اند، دچار برگشتگی شده و در لبه بریدگی‌های آن‌ها نمونه‌هایی از پرتگاه‌های آهکی پدید آمده است. این فرایند موجب شده که لایه‌بندی سنگ‌های کارستی کوه اشکوت بر روی زمین نمایان شده و در برابر عوامل انحلالی و فرسایشی قرار گیرند. کنگلومرای آهکی که دارای بافت‌های درشت دانه‌ای از پاره‌سنگ‌ها و قلوه‌سنگ‌های گوناگون است، نسبت به آهک‌های میان‌لایه‌ای و آهک‌های روشن پایداری بیشتری در برابر انحلال دارد؛ اما این سنگ پایداری کمتری در برابر هوازدگی فیزیکی ناشی از یخبندان دارد. در دامنه غربی کوه که گسل‌خوردگی لایه‌بندی سنگ‌ها را به هم زده است، کنگلومرای آهکی کناره‌های پرتگاهی و تندی پیدا کرده است. سنگ‌های آهکی دیگر در این بخش دچار انحلال و فرسایش شده و در برابر برآمدگی‌های ناشی از کنگلومرای آهکی به صورت راهروهای انحلالی دچار فرورفتگی شده‌اند. از آنجایی که این راهروهای انحلالی بزرگ بوده و همچنین بر سطح لایه‌بندی سنگ‌ها و بر روی دامنه‌های پرشیب پدید آمده‌اند، به آن‌ها «راهرو لایه‌بندی - انحلالی» می‌گویند. این راهروها مانند کمربندی در بخش غربی و جنوب غربی کوه اشکوت کشیده شده است. راهروی لایه‌بندی - انحلالی از دیدگاه زایشی مانند گریگ و بوگاز پدید می‌آید؛ اما اندازه بزرگ‌تر و مورفولوژی آن نیز متفاوت است.

- خیابان کارستی یا خیابان انحلالی

بر روی بخشی از دامنه جنوبی کوه اشکوت که موازی با پیچ جاده آسفالتی گسترش یافته است، فرورفتگی انحلالی بزرگی دیده می‌شود که بیش از ۲۰ متر پهنا و ۵ متر ژرفا دارد. درازای این فرورفتگی نزدیک به

کارستی بر روی سنگ‌های آهکی روشن و چرت‌دار که ضخامت زیادی دارند، پدید آمده است. برای پیدایش چنین پدیده‌ای، سنگ میزبان باید ستبرای زیادی داشته باشد. هنگامی که گریک‌ها و راهروهای انحلالی بسیار بزرگ شوند، به راهروها و خیابان‌هایی تبدیل می‌شوند که صدها متر درازا دارند. در این صورت واژه کارن از آن‌ها برداشته شده و کارست به آن افزوده می‌شود.

۲۰۰ متر بوده که مسیر گسترش آن به سوی شرق در دامنه‌های پرشیب‌تری گسترش می‌یابد؛ از این‌رو در بخش پرشیب نمود کمتری بر روی دامنه پیدا می‌کند (شکل ۴). این فرورفتگی انحلالی که دارای کناره‌های پرشیب و دیوارمانندی است، نامتقارن بوده و توپوگرافی کف آن از شیب ملایم دامنه پیروی می‌کند. این راهرو انحلالی بزرگ در این بخش را می‌توان «خیابان کارستی»^۱ نامید. این خیابان



شکل ۴: خیابان انحلالی یا خیابان کارستی، دامنه جنوبی کوه اشکوت تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

این پدیده‌های کارستی که به آن‌ها «لوله‌های انحلالی» می‌گویند، بیشتر بر روی آن دسته از سنگ‌های آهکی که از نظر مکانیکی محکم بوده و نفوذپذیری کمی دارند، به‌وجود می‌آیند (Huggett, 2007: 194). لوله‌های انحلالی کوه اشکوت با نمونه‌های کلاسیک آن‌ها تفاوت دارند. این لوله‌ها تنها به‌صورت چاله‌های عمودی و بن‌بست نیستند؛ بلکه در کف لوله عمودی آن‌ها یک لوله افقی پدید آمده است که به‌وسیله زانویی با زاویه نزدیک به ۹۰ درجه به آن پیوند خورده است. لوله افقی آب واردشده به درون لوله انحلالی عمودی را از راه دریچه‌ای به بیرون می‌فرستد. دو نمونه از این لوله‌های انحلالی در کوه اشکوت شناسایی شده‌اند:

زمین‌ریخت‌های ناشی از فروروی عمودی آب‌ها
شماری از زمین‌ریخت‌های کارستی کوه اشکوت از انباشته‌شدن آب‌های رویی در درون درزها، شکستگی‌ها و چاله‌ها و فروروی آن‌ها به‌صورت تراوش، نشت و یا جریان‌های متمرکز به بخش‌های زیرین، پدید آمده‌اند. از آنجایی که مسیر فروروی این آب‌ها به‌صورت عمودی بوده، زمین‌ریخت‌های انحلالی ناشی از آن‌ها نیز ریخت عمودی دارند. در زیر به نمونه‌هایی از آن‌ها اشاره می‌شود:^۱

– لوله‌های انحلالی^۲

بر روی سنگ‌های آهکی کوه اشکوت، چاله‌های لوله‌مانندی پدید آمده‌اند که حالتی استوانه‌ای دارند.

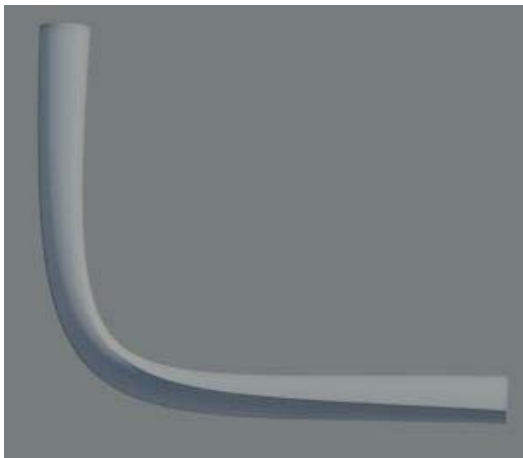
1-Karst street
2-Solution pipes

- لوله انحلالی - زانویی^۱:

از گسترش پنهان‌های انحلالی یا درز و شکاف‌های روی سنگ‌های کنگلومرای آهکی در دامنه شمال غربی کوه اشکوت، نمونه‌ای از لوله‌های انحلالی به وجود آمده که نه تنها به صورت عمودی گسترش یافته است؛ بلکه از کف لوله عمودی یک مسیر افقی نیز پیدا کرده و به وسیله دهانه‌ای به فضای بیرونی راه یافته است. هنگامی که لوله انحلالی عمودی به سنگ‌های آهکی ریز یافت زیرین می‌رسد، شدت و شتاب انحلال در آن کاهش می‌یابد. در این فرایند آب در مرز برخورد دو لایه کارستی با انحلال‌پذیری ناهمسان، موازی با سطح لایه‌بندی این سنگ‌ها مسیر عمودی خود را به مسیر افقی تغییر داده و از راه دهانه‌ای که به بخش کناری دامنه باز می‌شود، به بیرون راه پیدا می‌کند. مسیر لوله افقی در میان کنگلومرای آهکی گسترش یافته است. بخشی که مسیر لوله عمودی را به لوله افقی پیوند داده و آب‌های فرورفته را به بیرون از چاله می‌فرستد و مانند یک زانوی لوله‌کشی کار می‌کند؛ به همین خاطر از آن به عنوان لوله انحلالی - زانویی نام می‌بریم. نمونه برجسته‌ای از لوله انحلالی - زانویی در دامنه شمال غربی کوه اشکوت و در کناره دیواره‌های فروریخته باستانی این بخش پدید آمده است. در این نمونه، لوله عمودی ۲۵ سانتی‌متر قطر و ۱۵۰ سانتی‌متر ژرفا دارد. در انتهای لوله عمودی یک لوله افقی به سوی کناره دامنه کشیده شده است که ۱۸۰ سانتی‌متر درازا دارد. دریچه‌ای که آب لوله افقی را به بیرون می‌فرستد، ۴۰ سانتی‌متر قطر دارد. چون لوله‌های انحلالی زانویی در درون سنگ‌ها جای گرفته و دیده نمی‌شوند، نمی‌توان از آن‌ها عکسبرداری کرد؛ از این رو نمونه بالا را در یک طرح گرافیکی نشان می‌دهیم (شکل ۴ عکس راست).

- لوله انحلالی سیفونی:

نمونه دیگری از لوله‌های انحلالی در این بخش از کوه پدید آمده است که قطر بیشتری دارد. این لوله انحلالی در کناره یک دامنه سنگی پدید آمده و دیواره بیرونی آن بسیار نازک است. فرایند انحلال و فرسایش، دیواره نازک کناری آن را متلاشی کرده و پایین برده است. در پایین دست این لوله یک دریچه وجود دارد که آب درون لوله را به صورت افقی و با یک زاویه ۹۰ درجه به بیرون از لوله هدایت می‌کند (شکل ۴ عکس راست). کف این لوله انحلالی به صورت بن‌بست و یا زانویی نبوده؛ بلکه کمی از کف دریچه افقی آن پایین‌تر رفته و پهنای آن هم کمی افزایش یافته است. سوراخ‌ها و چاله‌های کوچکی نیز در دیواره‌های درونی آن پدید آمده‌اند. از آنجاکه این لوله انحلالی مانند یک سیفون کار می‌کند، آن را لوله «انحلالی-سیفونی» می‌نامیم. پیدایش لوله انحلالی-سیفونی ناشی از جای‌گیری کنگلومرای آهکی بر روی آهک‌های دولومیتی است. لوله عمودی این نمونه ۱۶۰ سانتی‌متر ژرفا و ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر قطر دارد. لوله افقی در این نمونه وجود نداشته و تنها یک دریچه انحلالی دیده می‌شود که آب را به صورت افقی به بیرون از لوله عمودی می‌فرستد. دریچه‌ای که به لوله عمودی پیوند خورده است، دارای قطر بزرگ ۲۵ سانتی‌متر و قطر کوچک ۱۶ سانتی‌متر است (شکل ۵ عکس چپ).



شکل ۵: (عکس راست) طرح گرافیکی از لولهٔ انحلالی زانویی (عکس چپ) لولهٔ انحلالی سیفون مانند شمال غربی کوه اشکوت تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

این رشته‌های آبی در درزها و سوراخ‌های روی سنگ‌های آهکی انباشته‌شده و از درون آن‌ها فرایند انحلالی روبه‌پایین را آغاز می‌کنند. سرعت و نیروی هیدرودینامیکی آب موجب می‌شود که دیوارهٔ این چاله‌ها راست و عمودی بوده و ریخت استوانه‌ای داشته باشند.

– دولین انحلالی^۲

در بخش کم‌وبیش هموار پهنه‌رویی کوه اشکوت و در گوشهٔ جنوب شرقی آن یک دولین انحلالی کوچک و کم‌ژرف پدید آمده است. این دولین که بر روی آهک‌های روشن و چرت‌دار جای گرفته است، قطری نزدیک به ۱۰ متر داشته و ژرفای آن در بخش بالادست به بیش از یک متر می‌رسد. کف این دولین کم و بیش هموار بوده و به سمت بخش میانی کمی کاو است. این دولین از دیدگاه زایشی یک دولین انحلالی است. از دیدگاه هیدرولوژی آن را می‌توان یک دولین باز^۳ نامید؛ زیرا کنارهٔ شمال شرقی آن بلندی کمی داشته و هنگام بارش شدید و پرشدن کف دولین، آب درون آن بر روی دامنه جاری‌شده و به شبکهٔ هیدرولوژی بیرون از دولین می‌پیوندد. کنار شمال

چاه عمودی

در آهک‌های روشن و چرت‌دار دامنهٔ غربی کوه اشکوت یک برآمدگی ستون‌مانند دیده می‌شود که بر روی آن کلاهی از سنگ‌های کربناته جای گرفته است. این کلاهک مانند پوشش یک دودکش بر روی ساختمان است که یک چاه انحلالی عمودی را در خود پنهان کرده است. کلاهک با یک تونل کوتاه و آب‌گذرمانند به صورت افقی به بیرون راه دارد. در زیر این کلاهک پوش سنگی یک چاه عمودی استوانه‌ای پدید آمده است که دارای دیواره‌های عمودی بوده، ۱/۵ متر قطر و ۷ متر عمق دارد. نیمرخ عرضی این چاه عمودی، به صورت دایره‌ای بوده و قطر آن به سوی پایین کمتر می‌شود. ریخت‌زایی این چاه بیشتر از آنکه ناشی از درز و شکاف روی سنگ‌های آهکی باشد، ناشی از آب‌های روان و نیروی هیدرودینامیکی آن‌هاست. به زبان دیگر می‌توان گفت، ریخت‌زایی این چالهٔ انحلالی، جدای از ساختار سنگ‌شناسی آن بوده است. به این چاله بستهٔ چاه عمودی^۱ گفته می‌شود. تارها و رشته‌های آبی با نیروی جنبشی و شتاب زیاد، بر روی بسترهای سخت و یکپارچهٔ سنگ‌های آهکی که در برابر انحلال حساس هستند، جریان می‌یابند.

2-Solution doline
3-Open doline

1-Vertical shaft

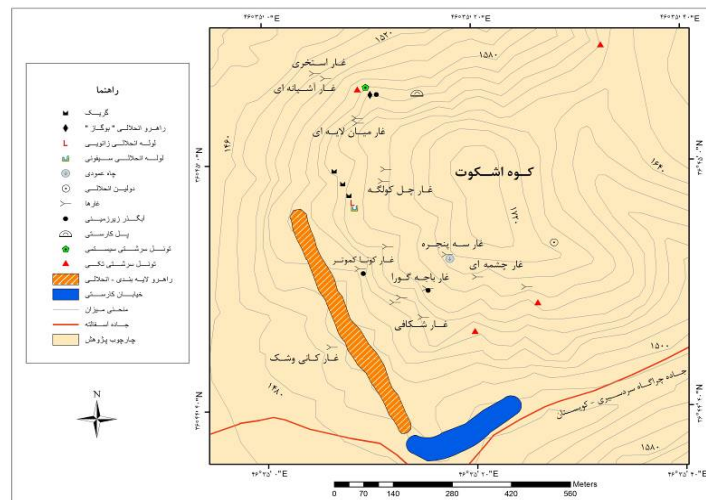
می باشند. این غارها برپایه ویژگی های زایشی، ریخت شناسی و اندازه به گونه هایی مانند غارهای افقی بزرگ با دهانه تنگ (غار چل کولگه)، غارهای پناهگاهی (غار باجه گورا، غار استخری و...)، غارآون مانند (غار کونا کموتر)، غارهای میان لایه ای و فرورفتگی های تافونی مانند دسته بندی می شوند (شکل ۵). گوناگونی و زیاد بودن این غارها به عواملی مانند وجود آب مورد نیاز برای انحلال، وجود سنگ هایی انحلال پذیر، درزها و شکستگی های زمین ساختی، وجود شیب توپوگرافی و شیب زمین شناسی برای جابه جایی آب های کارستی بستگی دارد. شکستگی های زمین ساختی مسیرهایی هستند که آب های رویی زمین از راه آنها به بخش های زیرین وارد شده و در مسیر شیب هیدرولیک جابه جا می شوند. در مواردی نیز این شکستگی ها مسیرهایی هستند که آب های زیرزمینی از راه آنها به روی زمین می آیند. در هر دو حالت آب های کارستی غارهایی را در اندازه ها و ریخت های گوناگون پدید آورده اند. با توجه به گستردگی و گوناگونی غارهای کوه اشکوت نیاز است که در مقاله جداگانه ای بررسی شوند.

شرقی آن با زمین های پیرامون کم و بیش همسان است. این دولین در کنار ساخت و سازهای باستانی کوه اشکوت پدید آمده است.

زمین ریخت های ناشی از جریان آب های زیرزمینی
 برخی از زمین ریخت های کارستی کوه اشکوت از گردش آب در بخش های زیرزمینی و یا بالآمدن آب از بخش های زیرین به روی زمین پدید آمده اند. زمین ریخت های ناشی از چرخه آب های زیرزمینی در این کوه عبارتند از:

- غارها

فروروی آب های سطحی به درون سنگ های انحلال پذیر و جریان آب های زیرزمینی در میان لایه های آهکی موجب پیدایش تهی گاه ها، چاله ها و گذرگاه هایی زیرزمینی در کوه اشکوت شده است. اگر این تهی گاه ها به اندازه ای بزرگ باشند که یک انسان بتواند به آن وارد شود، به آن «غار» می گویند (White and Culver, 2005:81). در بررسی های میدانی نزدیک به ۲۰ سوراخ و تهی گاه با ویژگی گفته شده در میان لایه های آهکی کوه اشکوت شناسایی شد که دارای اندازه و ریخت های گوناگونی



شکل ۶: نقشه پراکندگی زمین ریخت های کارستی ناشی از عوامل هیدرودینامیک در کوه اشکوت

مأخذ: نقشه توپوگرافی شاهین دژ ۱:۲۵۰۰۰

- آب گذرهای زیرزمینی

در دیواره‌های سنگی و پرتگاه‌های صخره‌ای کوه اشکوت، دریاچه‌ها و دهانه‌های دایره‌مانندی پدید آمده‌اند (شکل ۷ سمت راست). این دهانه‌ها که به آن‌ها لانه لاشخور (هیلانه دال) گفته می‌شود، آب گذرهای زیرزمینی هستند که غسل خوردگی، شکستگی و فروریختگی دامنه‌های سنگی آن‌ها را در روی زمین نمایان کرده است. برخی از این دریاچه‌ها دهانه چشمه‌هایی هستند که از کناره‌های پرشیب و پرتگاهی کوه بیرون آمده‌اند. هم‌زمان با برون‌ریزی آب این چشمه‌ها، دیواره آهکی کوه نیز دچار انحلال و پس‌روی شده و به صورت دریاچه‌های انحلالی بر روی پرتگاه‌های آهکی نمایان شده‌اند. این آب گذرها کانال‌ها و راهروهای زیرزمینی هستند که در گذشته آب‌های زیرزمینی در آن‌ها جریان داشته است. از آنجایی که این آب گذرهای زیرزمینی در سنگ‌های کارستی، اندازه، ریخت و مسیرهای گسترش ویژه‌ای دارند، به آن‌ها آب گذرهای کارستی^۱ می‌گوییم. این آب گذرها از دیدگاه انحلالی-زایشی و مورفولوژی به سه شاخه دسته‌بندی می‌شوند:

- دریاچه‌های پرتگاهی

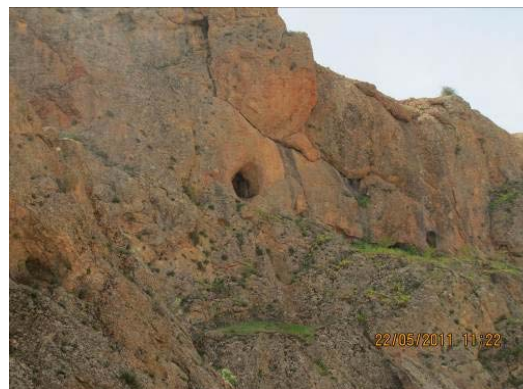
این دریاچه‌ها بر روی دیواره پرتگاه‌های بلند در دامنه شمالی کوه جای گرفته‌اند. نیمرخ عرضی آن‌ها به صورت دایره‌ای بوده و قطری نزدیک به یک‌متر دارند.

- دریاچه‌های دارای پوشش گیاهی

در دهانه شماری از این آب گذرها که نمدار بوده و خاک در درون آن‌ها انباشته می‌شود، پوشش گیاهی به چشم می‌خورد.

- دریاچه‌های آبشاری

برخی از دریاچه‌های انحلالی که بر روی صخره‌های پرشیب دامنه غربی کوه دیده می‌شوند، آب گذرهای زیرزمینی هستند که پس از نمایان شدن بر روی دامنه نیز آب‌دهی داشته‌اند. آب‌های بیرون آمده از این آب گذرها، چشمه‌های آبشاری را پدید آورده‌اند. این چشمه‌ها که از بالا و با فشار بر روی سنگ‌های آهکی فرو می‌ریختند، پدیده‌های انحلالی دیگری مانند آبروهای سرریزی را به وجود آورده‌اند که در اثر انحلال ناشی از نیروی هیدرودینامیک آب در پای آب گذرها و چشمه‌های صخره‌ای پدید آمده‌اند.



شکل ۷: (سمت راست) آب گذرهای پرتگاهی، دامنه شمالی کوه اشکوت (سمت چپ) تونل سرشتی تکی، شمال شرقی کوه اشکوت

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴

- تونل سرشتی یا تونل طبیعی

نزدیک به ۲۰ متر درازا دارد. عکس (میانی چپ) نمای نزدیکی از دو تونل C را در این سیستم نشان می‌دهد که در ادامه تونل (BB') و آب ناشی از آن پدید آمده‌اند. عکس (پایین) دریاچه پایین عکس، دهانه بالادست تونل B را نشان می‌دهد که با حرف B' مشخص شده است. دید این دهانه به سمت شمال غربی است. در بالای عکس پایین دریاچه‌ای به نام D دیده می‌شود. این دریاچه دهانه تونلی است که به سوی جنوب گسترش یافته و مانند سهراهی به تونل (AA') می‌پیوندد. دهانه دیگر تونل D در روی زمین و در عکس‌ها دیده نمی‌شود.

- تونل سرشتی سیستمی

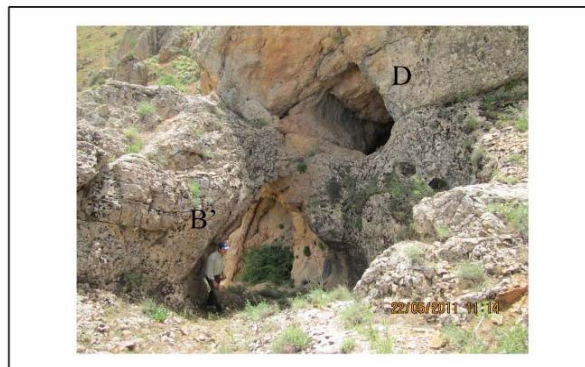
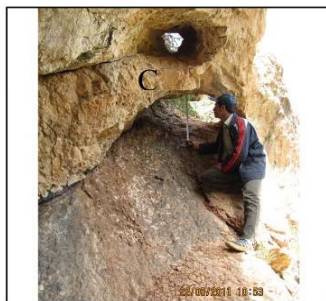
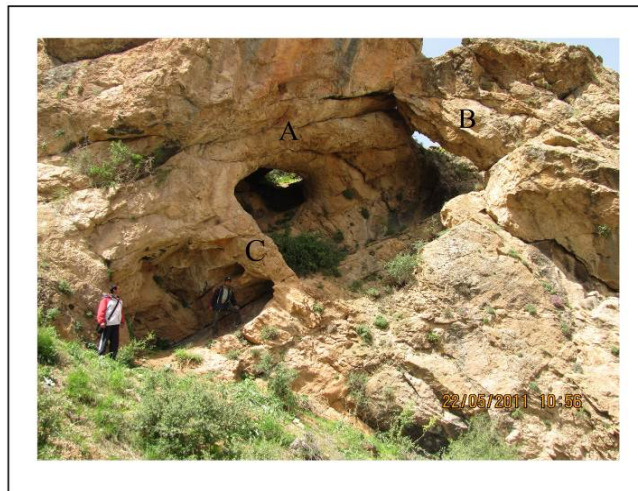
گاهی چند تونل سرشتی در کنار هم پدید می‌آیند که دارای مسیرهای گوناگونی بوده و به همدیگر راه دارند. نمونه‌ای از این تونل‌ها در دامنه شمالی کوه اشکوت دیده می‌شود که به صورت گروهی به هم پیوند خورده‌اند. این تونل‌ها اندازه و ریخت گوناگونی داشته و دهانه آن‌ها به مسیرهای گوناگونی باز می‌شود. شکل (۸) نمایی از تونل‌های سیستمی به هم پیوسته و دهانه‌های آن‌ها را نشان می‌دهد. هنگامی که یک آبگذر زیرزمینی با حجم و شتاب زیادی در سطح لایه‌بندی آهک‌های میان‌لایه‌ای جریان می‌یابد، تونل اصلی این سیستم را پدید آورده است که دهانه آن در شکل (۸) با حرف‌های A و A' نشان داده شده است. این تونل بزرگ‌ترین تونل سیستم بوده که نزدیک به ۲۰ متر درازا دارد. نیمرخ عرضی تونل به ریخت تیوبی و بیضی بوده که قطر بزرگ آن ۴۲۰ سانتی‌متر و قطر کوچک آن ۲۱۰ سانتی‌متر است. این تونل با شیب زیادی به سوی شرق گسترش دارد. دهانه‌ای از یک تونل دیگر که به سوی شمال گسترش دارد، در بخش میانی، تونل اصلی را بریده و به صورت سهراهی به آن می‌پیوندد (شکل ۸ عکس پایین، دهانه D).

تونل سرشتی^۱ یک غار افقی یا نزدیک به افقی است که مانند تونل باریک و کشیده بوده و دو سر آن باز است (McGraw-Hill, 2003:234). تونل سرشتی یک آب‌گذر زیرزمینی یا یک غار افقی کم‌وبیش شیب‌دار است که از دو سو به وسیله دهانه‌هایی به روی زمین راه دارد. تونل، مسیر مستقیمی را طی کرده و نیمرخ عرضی آن یکنواخت و به ریخت دایره‌ای یا بیضی است. قدری (۱۳۹۳) در بررسی تونل‌های سرشتی کوه اشکوت دو نمونه تونل سرشتی تکی و تونل سرشتی سیستمی را شناسایی کرده است.

- تونل سرشتی تکی

تونلی است که تنها دارای یک کانال بوده و این کانال از دو سو به روی زمین باز می‌شود. این تونل‌ها کوتاه بوده و آب بالادست دامنه را به سوی بخش‌های پایین دست هدایت می‌کنند. در دهانه پایین دست این تونل‌ها مسیر جریان آب به خوبی دیده می‌شود. در کوه اشکوت ۴ نمونه از تونل‌های سرشتی تکی شناسایی شده است که مسیر گسترش آن‌ها افقی بوده و برخی از آن‌ها دارای شیب ملایمی می‌باشند. شکل (۷ عکس چپ) نمونه‌ای از یک تونل سرشتی تکی را در شمال شرقی کوه اشکوت نشان می‌دهد. این تونل بیش از ۳ متر درازا داشته و بلندی دهانه آن به ۷۰ تا ۹۰ سانتی‌متر است. نیمرخ عرضی این تونل به صورت دایره‌ای یا بیضی کامل نیست.

عکس (صفحه بعد) دهانه‌های پایین دست تونل سرشتی سیستمی را در مسیر جنوب شرقی آن نشان می‌دهد که با حروف ABC نشان داده شده‌اند. عکس (میانی راست) دهانه غربی و بالادست تونل A را نشان می‌دهد که با حرف A' مشخص شده است. تونل (AA') بزرگ‌ترین تونل این سیستم بوده و



شکل ۸: تونل سرشتی سیستمی، شمال کوه اشکوت

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۳۹۴

به صورت مثلثی است که ۴۱۶ سانتی‌متر پهنا و ۳۸۳ سانتی‌متر بلندی دارد. گسترش دهانه B این تونل در مسیر پایین، دو تونل کوچک‌تر را پدید آورده است که دهانه آن‌ها به سوی جنوب شرق باز می‌شود. این دو تونل کوچک با حرف C نشان داده شده‌اند (شکل ۸ عکس بالا و عکس میانی چپ). هنگامی که یک

تونل بزرگ دیگری با مسیر شمال غربی- جنوب شرقی گسترش یافته است که در شمال شرقی تونل اصلی جای گرفته و درست مسیر سطح لایه‌بندی سنگ‌ها را دنبال کرده است. دهانه‌های این تونل در سیستم تونل‌ها (شکل ۸) با حرف‌های (BB') نشان داده شده است. نیمرخ عرضی تونل B'

حساسیت سنگ‌های آهکی نسبت به فرایندهای انحلالی و فرسایشی آب بیشتر از سنگ‌های دیگر است. مسیر جریان آب‌های زیرزمینی در میان سطح لایه‌بندی سنگ‌های آهکی، راه‌روهای تاق‌مانند و کمانی‌ریختی را پدید آورده است. به این پیکره‌های کمانی‌ریخت و پل‌های طبیعی که در اثر فرایندهای کارستی بر روی رسوبات و نهشته‌های آهکی پدید می‌آیند، «پل کارستی» یا «کمان کارستی» گفته می‌شود. از آنجاکه این پدیده‌ها ریخت‌کمان دارند و خمیدگی‌رویی نیز در آن‌ها دیده می‌شود، در منابع علمی اسم خاصی برای آن‌ها در نظر گرفته نشده است؛ به دلیل شباهت آن‌ها به کمان، ما در این مقاله آن‌ها را «کمان کارستی» می‌نامیم. در شمال کوه اشکوت یک توده سنگی از آهک میان‌لایه‌ای وجود دارد. این توده مانند یک هرم سنگی است که بخش بالایی و نوک آن از میان رفته و تنها قاعده آن به جا مانده است. درون این هرم سنگی خالی بوده و در دو سوی کناره‌های آن دریچه‌های کمانی ریخت دیده می‌شود که به بیرون راه دارند. در این توده به هم پیوسته آهکی، دو پل کارستی به صورت زیر پدید آمده است:

- پل جنوب شرقی

پهنای این پل در قاعده ۳۱۰ سانتی‌متر، بلندی آن ۹۷ سانتی‌متر و ضخامت تاق کارستی ۱۰۴ سانتی‌متر است. دریچه نگاه این کمان کارستی به سوی جنوب شرقی هرم است (شکل ۸، عکس راست).

- پل شمال شرقی

پهنای این پل در قاعده ۳۲۰ سانتی‌متر، بلندی آن ۷۳ سانتی‌متر و ضخامت تاق کارستی ۱۲۳ سانتی‌متر است. دریچه نگاه این کمان کارستی به سوی شمال شرقی هرم است (شکل ۹، عکس چپ).

تونل به صورت عمود با تونل دیگر برخورد می‌کند، در جای برخورد آن‌ها یک سهراهی پدید می‌آید. تونلی با مسیر شمالی- جنوبی به سوی تونل اصلی (AA') گسترش یافته و مانند یک سهراهی به آن می‌پیوندد. این تونل که با حرف D نشان داده شده‌است، تنها از یک سو به بیرون راه پیدا می‌کند. دهانه دیگر آن به درون تونل A باز شده و با شیب کمی که نسبت به آن دارد، آب دریافتی خود را به درون آن سرازیر می‌کند (شکل ۸ عکس پایین). این تونل‌ها مسیرهای پیشین آب‌گذرهای زیرزمینی هستند که فروریختگی و فرسایش آن‌ها را از پیکره اصلی کوه جدا کرده است. دریچه‌هایی از این آب‌گذرها بر دیواره‌های صخره‌ای دامنه شمالی و شمال غربی کوه دیده می‌شوند که فرایندهای زمین‌ساختی مانند گسل آن‌ها را در روی زمین نمایان ساخته و فرایندهای بیرونی مانند ناپایداری‌های دامنه‌ای با جابه‌جایی و فروریزی آن‌ها را از پیکره آهکی کوه جدا کرده و به صورت تونل‌هایی در آورده‌اند. این تونل‌ها در سنگ‌های آهکی میان‌لایه‌ای و ناشی از نیروی هیدرودینامیک آب‌های زیرزمینی پدید آمده‌اند. گسترش شکستگی‌ها و نمایان شدن سطح لایه‌بندی سنگ‌های انحلال‌پذیر آهکی به پیدایش و گسترش این تونل‌ها کمک کرده است.

- پل کارستی

فرایند فرسایشی آب در میان سنگ‌های آهکی یا دیگر سنگ‌هایی که لایه‌بندی افقی دارند، مانند ماسه‌سنگ و حتی در سنگ‌های سخت و مقاوم دگرگونی و آتشفشانی، پیکره سنگی کمانی‌شکلی پدید می‌آورد که به آن «پل سرشتی»^۱ یا «پل طبیعی» می‌گویند. این پدیده‌ها در رسوبات و لایه‌های آهکی بیشتر از جاهای دیگر به چشم می‌خورند (Huggett, 2007: 153).



شکل ۹: نمایی از پل‌های کارستی که به وسیله یک توده آهکی به هم پیوسته شده‌اند، شمال شرقی کوه اشکوت. (سمت راست) پل جنوب شرقی. (سمت چپ) پل شمال شرقی
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴

نتیجه

آورده‌اند و سرانجام آب‌هایی که در بخش‌هایی زیرین و در میان لایه‌های انحلال‌پذیر آهکی جریان داشته و زمین‌ریخت‌های انحلالی زیرزمینی مانند غارها، آب‌گذرهای زیرزمینی، تونل‌های سرشتی و پل‌های کارستی را پدید آورده‌اند. نسبت به چگونگی جریان و جایگاه آب‌ها، زمین‌ریخت‌های انحلالی گوناگونی در کوه اشکوت پدید آمده‌اند. آب‌گذرهای زیرزمینی به وسیله نیروی جنبشی-انحلالی آب‌های روان زیرزمینی و در مسیر درزها، شکاف‌ها و شکستگی‌های زمین‌ساختی پدید آمده‌اند. سنگ‌های میزبان این پدیده بیشتر آهک‌های میان‌لایه‌ای و مارنی هستند. در مواردی آب‌های رویی زمین نیز از سطح لایه‌بندی آهک‌های میان‌لایه‌ای وارد ساختمان سنگ‌ها شده و با نیروی جنبشی و فرایند انحلال، تونل‌های لوله‌مانند و تیوبی را پدید آورده‌اند.

تونل‌های سرشتی و پل‌های آهکی در آغاز آب‌گذرهای زیرزمینی بوده‌اند که در اثر فرایندهای زمین‌ساختی مانند گسل‌خوردگی از زیر زمین بیرون آمده و به صورت دریچه‌هایی بر روی زمین نمایان شده‌اند. در این زمینه فعالیت گسل اشکوت در شمال غربی منطقه نقش تعیین‌کننده‌ای در نمایان شدن پل‌های آهکی منطقه داشته است. با

در چارچوب کوچکی مانند کوه اشکوت، هر چند ویژگی‌های زمین‌ساختی را نمی‌توان در پیدایش و تحول زمین‌ریخت‌های کارستی نادیده گرفت؛ اما پیچیدگی و گستردگی این زمین‌ریخت‌ها را باید در حساسیت سنگ‌های گوناگون در برابر فرایندهای انحلالی و همچنین نیروی هیدرودینامیک آب‌های رویی و زیرزمینی جست‌وجو کرد. بخشی از آب‌های کارستی ناشی از بارش باران، ذوب برف و چشمه‌های کارستی در بخش رویی سنگ‌های آهکی منطقه در مسیر شیب توپوگرافی جاری‌شده یا از راه درزها، شکاف‌ها و شکستگی‌ها وارد شده و دنباله‌رو فرایندهای زمین‌ساختی بوده‌اند و یا به تنهایی و از راه خورندگی، انحلال و نیروی هیدرودینامیکی، زمین‌ریخت‌های کارستی نظیر گریک، آبرو انحلالی (بوگاز)، آبروهای لایه‌بندی-انحلالی و خیابان کارستی را پدید آورده‌اند. بخشی دیگر از آب‌های کارستی منطقه نیز که به دلایل مختلف از جمله شیب کم جاری نبوده، با انباشته شدن یا فروروی به بخش‌های زیرین زمینه انحلال و خورندگی سنگ‌ها را فراهم آورده و زمین‌ریخت‌هایی مانند پن انحلالی، دولین انحلالی، لوله انحلالی و چاه عمودی را پدید

- رضایی مقدم، محمدحسن؛ محمدرضا قدری (۱۳۸۴). کارن‌ها، متنوع‌ترین پدیده‌های کارست در منطقه تخت سلیمان، نشریه تحقیقات جغرافیایی (۷۶). صفحات ۱۳۸-۱۳۳.

- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۴). نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهین‌دژ.

- سازمان نقشه‌برداری کشور. (۱۳۸۱). نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ شاهین‌دژ و سورین.

- قبادی، محمدحسین (۱۳۸۶). زمین‌شناسی مهندسی کارست، همدان. دانشگاه بوعلی سینا.

- قدری، محمدرضا (۱۳۹۲ا). بررسی نقش نمادین زمین‌ریخت‌های کارستی «کوه اشکوت، شمال غرب ایران»، دومین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی. (ژئومورفولوژی و پایش تغییرات محیطی) ۲۰ اسفند ماه ۱۳۹۲. دانشگاه تهران. صفحات ۱۱۰-۱۰۷.

- قدری، محمدرضا (۱۳۹۲ب). محدودیت بررسی‌های باستان‌شناختی در غارهای کارستی «غار کوناک‌موتر، شمال غرب ایران»، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین. ۲۷-۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۲. دانشگاه بوعلی همدان. صفحات ۷-۱.

- قدری، محمدرضا (۱۳۹۳). ژئوسایت کارستی کوه اشکوت و توان‌های ژئوتوریستی آن «شهر محمودآباد، شمال غرب ایران»، سی و سومین گردهمایی بین‌المللی تخصصی علوم زمین. ۲ تا ۴ اسفندماه ۱۳۹۳. سازمان زمین‌شناسی کشور. صفحات ۸-۱.

- معتمد، احمد (۱۳۷۷). ژئومورفولوژی، جلد دوم (زمین‌شناسی) چاپ نخست. انتشارات سمت. تهران.

گذشت زمان، فرایندهای بیرونی با فرسایش و فروریزی دامنه‌ها، بخشی از آبگذرهای زیرزمینی را از پیکره اصلی کوه جدا کرده و به صورت تونل سرشتی و پل کارستی درآورده‌اند. تونل سیستمی کوه اشکوت مهم‌ترین و منحصربه‌فردترین لندفرم کارستی منطقه مورد مطالعه بر اثر همین فرایند شکل گرفته است. آنچه از بررسی زمین‌ریخت‌های کارستی کوه اشکوت نتیجه می‌شود این است که شرایط آب و هوایی حاضر این منطقه برای شکل‌گیری برخی از زمین‌ریخت‌های کارستی نظیر انواع کارن‌ها، برخی از دولین‌ها و لوله‌های انحلالی مناسب، اما برای شکل‌گیری و تکامل برخی از اشکال کارستی نظیر غارها، کریگ‌ها برخی از دولین، آب‌گذرهای زیرزمینی، تونل‌های سرشتی و پل‌های کارستی کافی نیست؛ زیرا پیدایش و تکامل این زمین‌ریخت‌ها نیازمند منابع آبی زیادی است که در حال حاضر و با توجه به شرایط اقلیمی کنونی این مقدار آب در منطقه وجود ندارد؛ بنابراین ریشه پیدایش و تکامل برخی از اشکال کارستی منطقه را باید در دوره‌های پرآب گذشته جست‌وجو کرد.

منابع

- بروکس. یان. ای (۱۹۸۲). ژئومورفولوژی اقلیمی ایران، شواهد ژئومورفولوژیک دگرگونی‌های اقلیمی در ایران طی بیست هزار سال گذشته، ترجمه علی خورشیددوست. مجله رشد. جغرافیا، شماره ۵۲. صفحات ۱۲-۸.

- بهنیافر، ابوالفضل؛ هادی قنبرزاده؛ عباسعلی فرزانه عباسعلی (۱۳۸۸). ویژگی‌های ژئومورفولوژیک توده کارستی اخلمد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود، نشریه جغرافیا و توسعه (۱۴). صفحات ۱۴۰-۱۲۱.

- McGraw-Hill Company (2003). Dictionary of Earth Science, McGraw-Hill Companies, United States of America, Second Edition, P. 468.
- Mustafa, O. Merkel, B (2015). Classification of karst springs based on discharge and water chemistry in Makook karst system, Kurdistan Region, Iraq, FOG - Freiberg Online Geoscience 39, 1-24
- Perrin Je'ro'me, Jeannin Pierre-Yves, Zwahlen Francois (2003). Epikarst storage in a karst aquifer: a conceptual model based on isotopic data, Milandre test site, Switzerland. Journal of Hydrology 279 (2003) 106-124.
- Plan, Lukas (2005). Factors controlling carbonate dissolution rates quantified in a field test in the Austrian alps, Geomorphology, 68. 201-212.
- Selby, M.J (1985). Earth changing surface an introduction to geomorphology. Clarnbon press oxford.
- Scharlau, K (1958). Zum Problem der Pluvialzeiten in Nordost-Iran, Zeitschrift für Geomorphologie, N.S. 2, 1958, PP: 258-77.
- Waele. Jo. De., Plan Lukas, Audra Philippe. (2009). Recent developments in surface and subsurface karst geomorphology: An introduction, Geomorphology 106 (2009) 1-8.
- White William B. and Culver, David (2005). Cave, Definition of, in: Encyclopedia of Caves, edit by Culver, David and White William B, Elsevier Academic Press, First publish. P: 81-85.
- مقامی مقیم، غلامرضا (۱۳۹۵) طبقه‌بندی اشکال کارستی حوضه درپرچین براساس مدل‌های سویچ، والتهم، هراک و کماتینا، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره ۲۶. صفحات ۲۲۳-۲۰۷.
- هدین، سون (۱۳۵۵). کویرهای ایران، ترجمه پرویز رجبی. انتشارات توکا. چاپ اول.
- Baomin, H. Z., Jingjiang, L (2009). Classification and characteristics of karst reservoirs in China and related theories, Petroleum Exploration and Development, Volume 36, 12-29.
- Ghadri, M. R (1393). "karstic geosite of Ashkavt Mount & its geotourism potentials" "Mahmoodabad city, northwest of Iran", 33 national geoscience congress, 2-4 esfand. National Cartographic Center of Iran, PP. 1-8.
- Alavi Naini, M (1982). Geology of Tekab - Saein Qaleh 1:250000, Geological Survey of Iran, P. 99.
- Ford, D & Williams, P (2007). Karst geomorphology and hydrology. London, John Wiley & Sons Ltd, Second edition, P.562.
- Huggett, Richard John (2007). Fundamentals of Geomorphology. Routledge Taylor & Francis Group, New York, Second Edition. P: 483.
- Hung Chak. H (2012). Island Karst Classification: Spatial Modeling- Oriented Approach with Multispectral Satellite Imageries, a recognized carbonate island with Unpublished Master's thesis, Degree, MS, Mississippi State University, Department, Geosciences. 66,
- Jukić Damir, Denić-Jukić Vesna (2009). Groundwater balance estimation in karst by using a conceptual rainfall-runoff model. Journal of Hydrology. 2009.04.035.