جغرافیا و توسعه شماره ۵۰ بهار ۱۳۹۷
وصول مقاله : ۱۳۹۵/۰۵/۲۹
تأیید نهایی : ۱۳۹۶/۰۶/۰۶
صفحات : ۹۴-۷۵

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

دکتر محمدرضا قدری[۱]، دکتر غلامرضا مقامی‌مقیم[۲*]

چکیده

عوامل هیدرودینامیک، زمین‌ریخت‌های کارستی گوناگونی را برروی کوه اشکوت در شمال‌غرب ایران پدید آورده‌اند. با اینکه پدیده‌های کارستی در مسیر درزها، شکستگی‌ها و گسل‌ها پدیدآمده 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 ناشی‌از عوامل هیدرودینامیک را در این کوه شناسایی، دسته‌بندی و بررسی کنیم. روش کار در این پژوهش بیشتر برروی 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 ناشی‌از نیروی هیدرودینامیک آب‌های روان پدید آمده‌اند. برخی از زمین‌ریخت‌های کارستی کمیاب مانند لوله‌های انحلالی و چاه عمودی در اثر نیروی دینامیک آب‌های فرورو و برروی آهک‌ها به‌وجود آمده‌اند. در این کوه دو نمونه از لوله‌های انحلالی به‌نام لوله‌های انحلالی زانویی و لولهٔ انحلالی سیفونی‌شکل 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 حالِ حاضر، برای شکل‌گیری بسیاری از پدیده‌های کارستی کوه اشکوت مناسب نیست؛ بنابراین می‌توان سن زمین‌ریخت‌های کارستی این کوه را به دورهٔ پلیستوسن نسبت داد.

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

۱- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران mr.ghadri@du.ac.ir
۲- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران * gh.maghami@du.ac.ir

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، ناشی‌از فرایندهای انحلالی هستند که به‌وسیلهٔ آب در سنگ‌های انحلال‌پذیر به‌وجود آمده‌اند (*Waele, 2009: 1*). درواقع انحلال فرایند اصلی در کارست‌سازی به‌حساب می‌آید که به‌وسیلهٔ آب و در حالت‌های گوناگون آن روی می‌دهد (*Plan, 2005: 201*).

کارست‌سازی یک فرایند پیچیدهٔ طبیعی است و به‌وسیلهٔ عواملی که با هم در ارتباط هستند، کنترل می‌شود. این عوامل از یک‌سو به سنگ‌های انحلال‌پذیر کربناته گره خورده و از سویی دیگر به‌وجود آب به عنوان یک عامل انحلالی وابسته می‌باشند. تکامل زمین‌های کربناته به‌شدت تحت تأثیر هیدرولوژی سطحی و جریان آب‌های زیرزمینی قرار دارد (*معتمد، 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 به‌وسیلهٔ 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*). رابطهٔ 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 منطقهٔ مورد مطالعه فراهم می‌کند. آب ناشی‌از بارش در زمین نفوذ کرده و در آکیفرها[1] انباشته‌شده و از راه‌های گوناگونی دوباره به روی زمین راه می‌یابند؛ ازاین‌رو جریان آشفتهٔ چشمه‌ها، واکنشی نسبت به بیرون‌ریزی آب‌های انباشته شده است (*Perrin, 2003: 123*).

آب‌های ناشی‌از بارش چه در مسیر آغازین که به درون‌زمین نفوذ می‌کنند و چه دربازگشت از لایه‌های زیرین و راه‌یابی دوباره به روی زمین، زمینهٔ انحلال سنگ‌های کربناتهٔ مسیر خود را فراهم می‌کنند. گوناگونی و گستردگی پدیده‌های کارستی به حجم، سرعت فروروی و میزان دی‌اکسیدکربن موجود در آب‌ها بستگی دارد.

به‌دلیل اهمیت نقش کارست در زندگی انسان، مطالعهٔ این اشکال در صدر توجه محققان قرار گرفت و از دههٔ هشتاد این توجه شتاب بیشتری داشته است که از مهمترین این مطالعات می‌توان به مطالعهٔ اشکال کارستی در کشور چین توسط بایومین[2] در سال ۲۰۰۹ براساس معیارهای ژئومورفولوژیکی (*Baomin, 2009:12-29*) اشاره کرد. او در این‌مطالعه با استفاده از روش‌های تجربی و میدانی، کارست‌های منطقهٔ مطالعاتی خود را به سه گروه کارست‌های جوان، ناقص و تکامل‌یافته تقسیم کرد. طبقه‌بندی چشمه‌های کارستی و غارها براساس معیارهای هیدرولوژیکی، مطالعهٔ دیگری بود که توسط لوهمن[3] انجام شد. او در این مطالعه برای طبقه‌بندی اشکال کارستی، معیارهای هیدرولوژیکی را مدنظر قرار داد.

1-Aquifers
2-Baomin
2-Luhmann

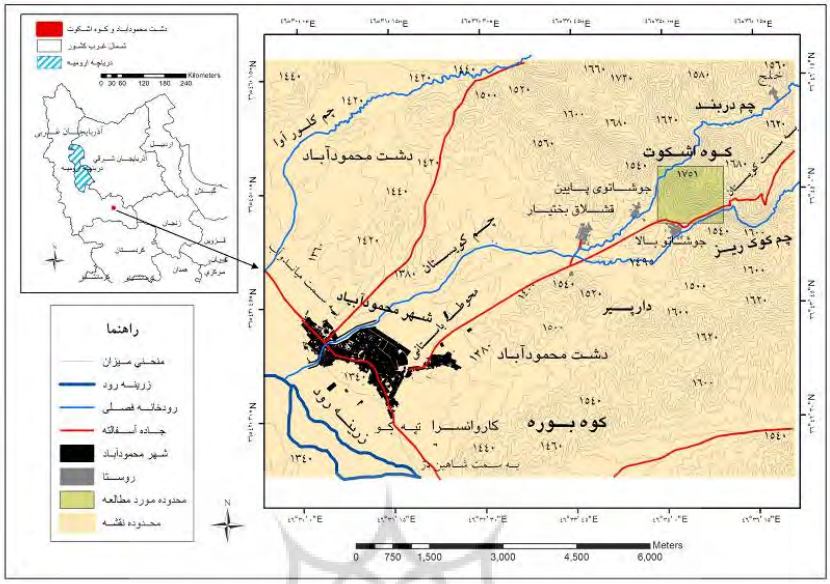
مطالعهٔ کارست‌های جزیرهٔ سالوادور در کشور باهاما با استفاده از مدل فضایی و سنجش‌ازدور در سال ۲۰۱۲، مطالعهٔ دیگری بود که توسط هوهانگ چاک[1] انجام شد (*Hung Chak, 2012:66*). همچنین یکی از جدیدترین مطالعات در این زمینه، مطالعاتی بود که در سال ۲۰۱۵، مصطفی در منطقهٔ کردستان کشور عراق انجام داد و چشمه‌های کارستی این منطقه را براساس عناصر شیمیایی و روش تجربی طبقه‌بندی کرد (*Mustafa, 2015:1-24*). در ایران نیز به‌دلیل اینکه نزدیک‌به ۱۱ درصد کشور را سازندهای کارستی تشکیل می‌دهند؛ مطالعهٔ این اشکال ازسویِ محققان زیادی مورد توجه قرار گرفته است؛ ازجمله، رضایی‌مقدّم و قدری (۱۳۸۴) ضمن مطالعهٔ اشکال کارستی منطقهٔ تخته سلیمان، این اشکال را ازدیدگاه ژئومورفولوژیکی مطالعه و طبقه‌بندی کردند. نتیجهٔ 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: ۶-۱)*.

بهنیافر (۱۳۸۸) نیز تودهٔ 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 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. منطقهٔ مورد مطالعه علی‌رغم داشتن اشکال کارستی تیپیک تابه‌حال موردمطالعه قرار نگرفته است؛ فقط برخی از زمین‌ریخت‌های کارستی این کوه که دارای ارزش نمادین و احتمالاً باستانی هستند، به‌وسیلهٔ قدری *(a ۱۳۹۲و 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، علاوه‌بر 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 پیدایش‌پدیده‌ها و زمین‌ریخت‌های کارستی این کوه برپایهٔ ویژگی‌های هیدرودینامیک مورد بررسی قرار گرفته و براین‌اساس اشکال کارستی آن طبقه‌بندی شوند.

موقعیت جغرافیایی منطقهٔ 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 نسبت‌به زمین‌های پایین‌دست خود در بستر رودخانهٔ دربند (چم دربند)، ۳۱۱ متر بلندتر و نسبت به پست‌ترین بخش در دشت محمودآباد در کنارهٔ زرینه‌رود (چم گورا)، ۴۱۱ متر اختلاف ارتفاع دارد.

1- Hung Chak



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

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

ساختار این کوه به‌صورتِ اسفنجی بوده و دارای تهی‌گاه‌هایی[1] 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.

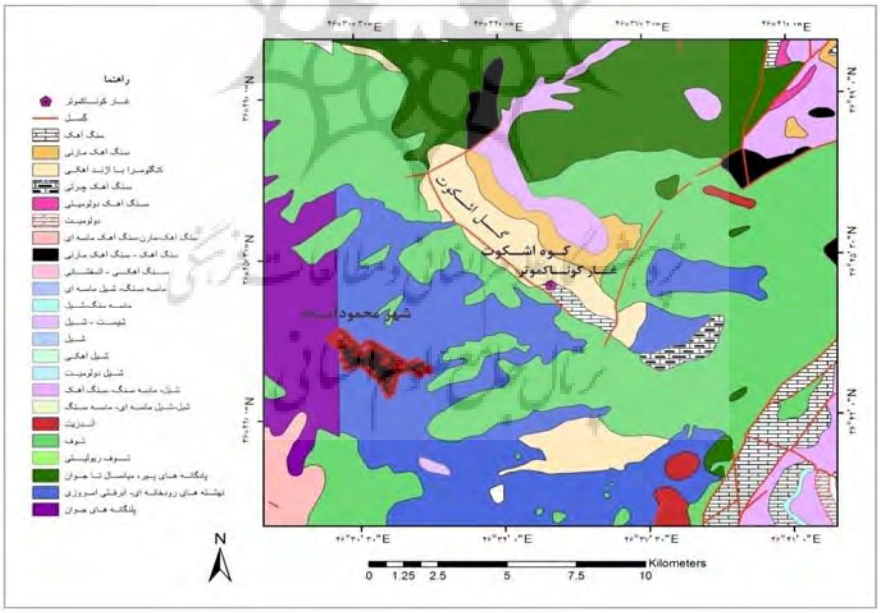
مسیر دسترسی به کوه اشکوت به‌وسیلهٔ یک جاده آسفالته از شهر محمودآباد است که ازآنجا به جادهٔ شاهین‌دژ- میاندوآب و جادهٔ بوکان می‌پیوندد. ازنظرِ زمین‌شناسی در پهنه‌بندی واحدهای ساختاری- رسوبی ایران، این منطقه در زون ایران مرکزی و زون سنندج سیرجان قرارگرفته است. سنگ‌های کوه اشکوت از سه دستهٔ آهک‌های روشن و دولومیتی، آهکی‌های مارنی 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 مارنی این کوه نازک و متوسط لایه بوده و به رنگ خاکستری مایل به سبز دیده می‌شوند. این سازندها که نزدیک‌به ۱۰۰ متر ضخامت داشته و دارای فسیل هستند، همتراز سازند دلیچای می‌باشند. گنگلومرای قرمز با خمیر آهکی از سازندهای جوان‌تر این کوه است که وابسته‌به سازند فجن بوده و بخشی از غارها و زمین‌ریخت‌های کارستی بر روی این سازند به‌وجود آمده‌اند. با توجه به نقشهٔ 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 دهانهٔ چند غار کارستی درجهتِ این گسل ساخته شده‌اند. دامنه‌های پرشیب و پرتگاه‌های صخره‌ای دامنه‌های غربی و جنوب غربی کوه ناشی‌از بریدگی و جابه‌جایی لایه‌ها به‌وسیلهٔ این گسل است (شکل ۲).

ازنظرِ آب و هوایی، براساس روش اقلیم نمای آمبرژه آب و هوای منطقه از نوع اقلیم ارتفاعات نزدیک به اقلیم سرد و نیمه‌خشک تعیین شده است *(رضایی‌مقدّم و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۳۸-۱۲۳)*. میانگین بارش منطقه طی یک دورهٔ آماری ۲۵ ساله ۳۳۸/۳

1-Cavities

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 دورهٔ کواترنر به‌ویژه در پلیستوسن، تغیرات 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 پدیدهای کارستی در ایران را وابسته به آب و هوای گذشته می‌داند. برای پیدایش زمین‌ریخت‌های کارستی تیپیکی مانند پدیده‌های کارستی کوه اشکوت، بارش و رطوبت بیشتری نسبت‌به میزانی که هم‌اکنون در منطقه دیده می‌شود، موردنیاز است. این مسئله را می‌توان در تئوری دوره‌های بارانی در ایران جستجو کرد. پژوهشگرانی مانند شارلاو[1] (۱۹۵۸) وهدین[2] (۱۳۵۵) بر این باورند که آب و هوای ایران در پلیستوسن یک دورهٔ بارانی را سپری کرده است. برپایهٔ این تئوری، زمانی که قسمت زیادی از اروپا تحت تسلط یخچال‌ها قرار داشته، فلات ایران یک مرحلهٔ بارانی را طی کرده است که درضمنِ آن حتی دره‌های مرتفع نیز زیر آب قرار داشته‌اند. در این دوره مراکز پرفشار قطبی به‌سمتِ جنوب به‌خصوص منطقهٔ معتدل حرکت کرده و بادهای غربی را به جنوب رانده‌اند. در این دوره شرایط مرطوبی بر ایران حاکم شده که از آن به‌عنوان دورهٔ پلویال[3] نام می‌برند. بیشتر کارست‌های ایران مربوطبه همین دورهٔ بارانی است.



شکل ۲: نقشهٔ زمین‌شناسی کوه اشکوپ

مأخذ: نقشهٔ زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ شاهین دژ

1-Hedin
2-Scharlau
3-Pluvial

جدول ۱: متوسط بارش و درجه حرات منطقهٔ 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 محدودهٔ مورد مطالعه مرزبندی شد. پس از مطالعات کتابخانه‌ای بیشتر کارها برروی بررسی‌های میدانی، جست‌وجو و شناسایی زمین‌ریخت‌های کارستی استوار بوده است.

ازآنجاکه کوه اشکوت در منطقهٔ سردسیر قرار گرفته و بخش‌های زیادی از آن در فصول سرد سال پوشیده از برف بوده و همچنین به‌دلیلِ توپوگرافی خشن این کوه و قرارگرفتن 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

کمک یک تیم کوهنوردی آشنا به منطقه و علاقه‌مند بـه مطالعـات کارسـت، اشـکال کارسـتی منطقـه شناسـایی، نقشـه‌بـرداری و ابعـاد فیزیکـی آن‌هـا اندازه‌گیری شد. سپس موقعیـت هریـک از آن‌هـا بـا استفاده از Gps برداشت و در نقشهٔ مقدماتی منطقـه علامـت‌گـذاری شـد. عکـس‌بـرداری از لنـدفرم‌هـای کارستی منطقه به‌منظورِ انطباق آن‌ها با پدیـده‌هـای کارستی و شناسایی دقیـق‌تـر آن‌هـا صـورت گرفـت. همچنین برای آن دسته از پدیده‌های کارستی منطقه نظیر لولـه‌هـای انحلالـی کـه در روی زمـین امکـان گرفتن عکس از آن‌ها نبود، طرح گرافیکی تهیه شـد. علاوه‌بر موارد فوق، برای آشنایی با نقش پدیـده‌هـای کارستی در باورهای مردم منطقـه و آشـنایی بـا نـام محلی آن‌ها، از روش مصاحبهٔ حضوری استفاده شـد. مطالعـهٔ اقلـیم منطقـه بـراسـاس داده‌هـای ایسـتگاه هواشناسی تکاب انجام گرفت. این پـژوهش بـا تهیـهٔ نقشهٔ فراگیر پدیـده‌هـای کارسـتی بـرای منطقـه بـا بـه‌کـارگیری نـرم‌افزارهـای Autocad و ArcGIS بـه اتمام رسید.

یافته‌های پژوهش

آب‌هایی که در بخـش‌هـای رویـی و زیرزمینـی کـوه اشکوت جریان دارنـد، نقـش مهمـی در پدیـدآوردن زمین‌ریخت‌های کارستی داشته‌اند. ایـن آب‌هـا دارای اسیدکربنیک ضعیفی هستند که به‌وسیلهٔ آن توانـایی انحلال پیدا کرده و شیارها، چاله‌ها و تهی‌گاه‌هـایی را در سنگ‌های انحلال‌پذیر این کوه به‌وجـود آورده‌انـد. این آب‌ها هنگام جاری‌شدن بر روی زمین و یا هنگام فروروی و جریان در بخش‌های زیرزمینی و همچنـین زمـانی کـه از میـان لایـه‌هـای آبـدار زیـرین بیـرون می‌آیند، پدیده‌های کارستی ویـژه‌ای را در روی کـوه اشکوت پدید آورده‌اند. نیروی جنبشـی آب‌هـای روان توانایی انحلالـی آن‌هـا را افـزایش داده و در ریخـت، اندازه و ویژگی‌های زایشی هرکدام از زمین‌ریخت‌های کارسـتی دسـت داشـته اسـت. پیـدایش برخـی از زمین‌ریخت‌های کارستی از همان آغار ناشی‌از نیروی هیدرودنیامیک آب‌ها می‌باشـند؛ امـا برخـی دیگـر از زمین‌ریخت‌هـا نخسـت بـر روی درزهـا، شـکاف‌هـا و شکسـتگی‌هـای زمـین‌سـاختی پدیـدآمـده، سـپس فرایندهای انحلالی آب آن‌ها را گسـترش داده اسـت. بـه‌دلیـل نزدیکـی بـه فـلات کوهسـتانی و پـربـاران «کویسـتان» در بخـش شـرق منطقـه و همچنـین ویژگـی‌هـای زمـین‌شناسـی ایـن بخـش از دشـت محمودآباد، تراز آب‌های زیرزمینـی در کـوه اشـکوت بالاست. در چند دههٔ گذشته، ۵ رشته کاریز در شـهر محمودآبـاد آبـدهی داشـتند کـه از لایـه‌هـای آبـدار زمین‌های پیرامون کوه اشکوت سرچشمه می‌گرفتند. آبدهی این کاریزهـا بیـانگر بـالابـودن تـراز آب‌هـای زیرزمینی در کوه اشکوت است.

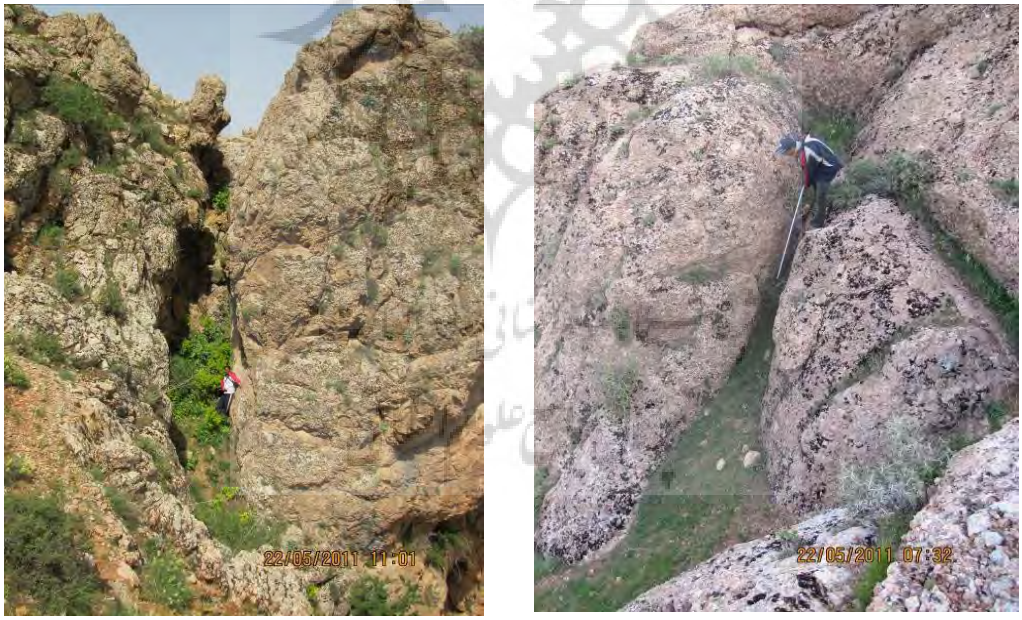
زمین‌ریخت‌های ناشی‌از آب‌های رویی

برخی از زمین‌ریخت‌هـای کارسـتی کـه بـر روی سنگ‌های انحلال‌پذیر کوه اشکوت دیـده مـی‌شـوند، ناشی‌از فرایند انحلالی رواناب‌های رویـی مـی‌باشـند. این رواناب‌ها عمدتاً از بارش‌های جَوی و چشمه‌هـای کارستی سرچشمه می‌گیرند. بسته‌به چگونگی جریان و همچنین سرچشمهٔ رواناب سـطحی، مورفولـوژی و اندازهٔ زمین‌ریخت‌های کارستی نیز گونـاگون خواهـد بود. پدیده‌های ناشی‌از انحـلال سـطحی سـنگ‌هـای آهکـی در کـوه اشـکوت، دسـتهٔ بزرگـی از زمـین‌ریخت‌های کارستی را دربر مـی‌گیـرد کـه بـه آن‌هـا کارن[1] می‌گویند. کارن‌های پدیدآمده در کوه اشـکوت بسیار گسترده و گوناگون بوده و بررسی و دسته‌بندی آن‌ها در این پژوهش نمـی‌گنجـد. دراینجـا تنهـا بـه نمونـه‌هـایی از آن‌هـا اشـاره مـی‌شـود کـه نقـش هیدرودینامک در پیدایش آن‌ها برجسـته‌تـر بـه‌نظـر می‌رسد.

1-Karren

- کارن‌های گریکی

در اثر فرایندهای زمین‌ساختی و هوازدگی‌های فیزیکی ناشی‌از یخبندان در دوره‌های سرد سال، شکاف‌ها و شکستگی‌هایی بر روی سنگ‌های آهکی کوه اشکوت پدید آمده است. رواناب‌های رویی برروی این شکستگی‌ها جاری‌شده، با خورندگی و انحلال آن‌ها را بزرگ کرده و به ژرفا برده‌اند. به این کارن‌ها، «کارن گریکی[1]» می‌گویند. پیدایش گریک‌ها نخست ناشی‌از 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 دامنهٔ شمال غربی کوه اشکوت نشان می‌دهد. این گریک دارای شیب زیادی است. کناره‌های آن در بخش میانی به‌صورتِ دیواره‌های عمودی درآمده‌اند؛ اما این کناره‌ها در بخش پایین‌تر دارای شیب کمتری بوده و بستر گریک پهن می‌شود. گریک‌ها در مسیر شکستگی‌هایی که ریشهٔ زمین‌ساختی دارند، بستر کنگلومرای آهکی را بریده‌بریده کرده‌اند. در میان گریک‌های کوه اشکوت، بلوک‌های آهکی بزرگی جای گرفته‌اند که «کلینت[2]» یا «فلچ کارن[3]» 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 ازخاک نرم پوشیده شده است؛ ازاین‌رو پوششی از چمن در درون آن‌ها روییده‌اند.



شکل ۳: (سمت راست) نمونه‌ای از یک گریک، شمال‌غرب کوه اشکوت. (سمت چپ) راهرو انحلالی، دامنهٔ شمالی کوه اشکوت

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴

1-Grikekarren
2-Clint
3-Flackkarren

- راهرو انحلالی

در اثـر فراینـدهای زمـین‌سـاختی، گسـل و شکستگی‌های بزرگی برروی سنگ‌هـای آهکـی کـوه اشکوت به‌وجود آمده است. این شکستگی‌ها فضاهای بازی را برای فروروی آب در میان سنگ‌هـا بـه‌وجـود آورده‌اند. با فروروی و جریان آب انحلال نیز با شـتاب بیشتری انجـام گرفتـه اسـت. شـیارها و کانـال‌هـای ناشی‌از این شکستگی‌ها، پهنا؛ درازا و ژرفـای زیـادی پیدا می‌کنند که به آن‌ها «راهرو انحلالی[1]» می‌گویند. بوگازها از بزرگ‌شدن و گسترش کـارن‌هـای گریکـی پدید می‌آیند. نمونـهٔ کامـل ایـن کـارن‌هـا در دامنـهٔ شمالی کوه اشکوت دیده می‌شود. شکسـتگی بزرگـی در میان یک بلوک آهکی بسیار بزرگ و پیکرهٔ سنگی کوه پدید آمده است. آب با حجم زیادی در درون این شکستگی‌ها جریان داشته که آن را بزرگ کرده و بـه ژرفا برده است. طول این شـکاف بـیش از ۱۵ متـر و پهنای آن نزدیک به ۳ متـر اسـت. ادامـهٔ انحـلال در آینده موجب جداشدگی کامـل ایـن بلـوک آهکـی و فروریزی آن به درون دره‌چم دربند می‌شود (شکل ۳ عکس چپ). کف این بوگـاز بـا لایـه‌ای ازخـاک نـرم پوشیده شده است؛ به‌همین‌دلیل کـف آن پوشـیده از انواع پوشش گیاهی است.

- راهرو لایه‌بندی- انحلالی

فراینـدهای زمـین‌سـاختی موجـب شکسـتگی و گسل‌خوردگی سنگ‌های انحـلال‌پـذیر کـوه اشـکوت شده‌اند. در اثر گسل‌خوردگی، بخشـی از زمـین‌هـای پای دامنه پایین رفته و سطح لایه‌بندی سنگ‌هـا بـر روی دامنه نمایان شده‌اند. این فروافتادگی در بخـش پایین‌دست دامنهٔ غربی کوه نمود بیشتری پیدا کـرده است. لایه‌بندی سنگ‌های این بخش به ایـن صـورت است که سنگ‌های آهکی میان‌لایـه‌ای در زیـر جـای گرفته، در بخـش میـانی سـنگ‌هـای آهکـی روشـن چـرت‌دار و در روی آن‌هـا کنگلـومرای آهکـی جـای گرفته است. بخشی از لایه‌های بریده‌شده کـه در اثـر گسل بالا آمده‌انـد، دچـار برگشـتگی شـده و در لبـهٔ بریدگی‌های آن‌ها نمونه‌هـایی از پرتگـاه‌هـای آهکـی پدید آمده است. این فرایند موجب‌شده که لایه‌بندی سنگ‌های کارستی کوه اشکوت برروی زمین نمایـان شده و دربرابر عوامل انحلالی و فرسایشی قرار گیرند. کنگلومرای آهکی که دارای بافت‌های درشت دانـه‌ای از پاره‌سـنگ‌هـا و قلـوه‌سـنگ‌هـای گونـاگون اسـت، نسبت‌به آهک‌های میان‌لایـه‌ای و آهـک‌هـای روشـن پایداری بیشتری دربرابر انحلال دارد؛ اما ایـن سـنگ پایداری کمتری دربرابـر هـوازدگی فیزیکـی ناشـی‌از یخبندان دارد. در دامنهٔ غربی کوه که گسل‌خـوردگی لایه‌بندی سنگ‌هـا را بـه‌هـم زده اسـت، کنگلـومرای آهکی کناره‌های پرتگاهی و تندی پیـدا کـرده اسـت. سنگ‌های آهکی دیگر در این بخش دچـار انحـلال و فرسـایش شـده و دربرابـر برآمـدگی‌هـای ناشـی‌از کنگلومرای آهکی به‌صورت راهروهای انحلالـی دچـار فرورفتگی شده‌اند. ازآنجایی‌که این راهروهای انحلالی بزرگ بوده و همچنین بر سطح لایه‌بندی سنگ‌هـا و برروی دامنه‌های پرشیب پدیـد آمـده‌انـد، بـه آن‌هـا «راهرو لایه‌بندی- انحلالی[2]» می‌گویند. این راهـروهـا مانند کمربندی در بخش غربی و جنـوب غربـی کـوه اشـکوت کشـیده شـده اسـت. راهـروی لایـه‌بنـدی- انحلالی از دیدگاه زایشی مانند گریگ و بوگـاز پدیـد می‌آیـد؛ امـا انـدازهٔ بـزرگ‌تـر و مورفولـوژی آن نیـز متفاوت است.

- خیابان کارستی یا خیابان انحلالی

برروی بخشی از دامنهٔ جنوبی کوه اشکوت که مـوازی با پیچ جادهٔ آسفالته گسترش یافته است، فرورفتگـی انحلالی بزرگی دیده می‌شود که بیش از ۲۰ متر پهنا و ۵ متر ژرفا دارد. درازای این فرورفتگـی نزدیـک بـه

1- Solution corridor

2- Solution- bedding corridor

۲۰۰ متر بوده که مسیر گسترش آن به‌سوی شرق در دامنه‌های پرشیب‌تری گسترش می‌یابد؛ ازاین‌رو 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[1]» نامید. این خیابان 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. هنگامی‌که گریک‌ها و راهروهای انحلالی بسیاربزرگ شوند، به راهروها و خیابان‌هایی تبدیل می‌شوند که صدها متر درازا دارند. در این صورت واژهٔ کارن از آن‌ها برداشته شده و کارست به آن افزوده می‌شود.

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

زمین‌ریخت‌های ناشی‌از فروروی عمودی آب‌ها

شماری از زمین‌ریخت‌های کارستی کوه اشکوت از انباشته‌شدن آب‌های رویی در درون درزها، شکستگی‌ها و چاله‌ها و فروروی آن‌ها به‌صورتِ تراوش، نشت و یا جریان‌های متمرکز به بخش‌های زیرزمین، پدید آمده‌اند. ازآنجایی‌که مسیر فروروی این آب‌ها به‌صورتِ عمودی بوده، زمین‌ریخت‌های انحلالی ناشی‌از آن‌ها نیز ریخت عمودی دارند. در زیر به نمونه‌هایی از آن‌ها اشاره می‌شود:[1]

- لوله‌های انحلالی[2]

بر روی سنگ‌های آهکی کوه اشکوت، چاله‌های لوله‌مانندی پدید آمده‌اند که حالتی استوانه‌ای دارند. 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 به‌صورتِ چاله‌های عمودی و بن‌بست نیستند؛ بلکه در کف لولهٔ عمودی آن‌ها یک لولهٔ افقی پدید آمده است که به‌وسیلهٔ زانویی با زاویهٔ نزدیک به ۹۰ درجه به آن پیوند خورده است. لولهٔ افقی آب واردشده به درون لولهٔ انحلالی عمودی را از راه دریچه‌ای به بیرون می‌فرستد. دو نمونه از این لوله‌های انحلالی در کوه اشکوت شناسایی شده‌اند:

1-Karst street
2-Solution pipes

- لوله انحلالی- زانویی[1]:

از گسترش پن‌های انحلالی یا درز و شکاف‌های روی سنگ‌های کنگلومرای آهکی در دامنهٔ شمال غربی کوه اشکوت، نمونه‌ای از لوله‌های انحلالی به‌وجود آمده که نه‌تنها به‌صورتِ عمودی گسترش یافته است؛ بلکه از کف لولهٔ عمودی یک مسیر افقی نیز پیدا کرده و به‌وسیلهٔ دهانه‌ای به فضای بیرونی راه یافته است. هنگامی‌که لولهٔ انحلالی عمودی به سنگ‌های آهکی ریزبافت زیرین می‌رسد، شدت و شتاب انحلال در آن کاهش می‌یابد. در این فرایند آب در مرز برخورد دو لایهٔ 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 لولهٔ 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 به‌عنوان لولهٔ انحلالی- زانویی نام می‌بریم. نمونهٔ برجسته‌ای از لوله انحلالی- زانویی در دامنهٔ شمال غربی کوه اشکوت و در کنارهٔ دیوارهای فروریختهٔ باستانی این بخش پدید آمده است. در این نمونه، لولهٔ عمودی ۲۵ سانتی‌متر قطر و ۱۵۰ سانتی‌متر ژرفا دارد. در انتهای لولهٔ عمودی یک لوله افقی به‌سویِ کنارهٔ دامنه کشیده شده است که ۱۸۰ سانتی‌متر درازا دارد. دریچه‌ای که آب لولهٔ 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؛ ازاین‌رو نمونهٔ بالا را در یک طرح گرافیکی نشان می‌دهیم (شکل۴ عکس راست).

- لولهٔ انحلالی سیفونی:

نمونهٔ دیگری از لوله‌های انحلالی در این بخش از کوه پدید آمده است که قطر بیشتری دارد. این لولهٔ انحلالی در کنارهٔ یک دامنهٔ سنگی پدیدآمده و دیوارهٔ بیرونی آن بسیار نازک است. فرایند انحلال و فرسایش، دیوارهٔ نازک کناری آن را متلاشی کرده و پایین برده است. در پایین‌دست این لوله یک دریچه وجود دارد که آب درون لوله را به‌صورتِ افقی و با یک زاویهٔ ۹۰ درجه به بیرون از لوله هدایت می‌کند (شکل۴ عکس راست). کف این لولهٔ انحلالی به‌صورتِ بن‌بست و یا زانویی نبوده؛ بلکه کمی از کف دریچهٔ افقی آن پایین‌تر رفته و پهنای آن هم کمی افزایش یافته است. سوراخ‌ها و چاله‌های کوچکی نیز در دیواره‌های درونی آن پدید آمده‌اند. ازآنجاکه این لولهٔ انحلالی مانند یک سیفون کار می‌کند، آن را لولهٔ «انحلالی-سیفونی» می‌نامیم. پیدایش لولهٔ انحلالی-سیفونی ناشی‌از جای‌گیری کنگلومرای آهکی برروی آهک‌های دولومیتی است. لولهٔ عمودی این نمونه ۱۶۰ سانتی‌متر ژرفا و ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر قطر دارد. لولهٔ افقی در این نمونه وجود نداشته و تنها یک دریچهٔ انحلالی دیده می‌شود که آب را به‌صورتِ افقی به بیرون از لولهٔ عمودی می‌فرستد. دریچه‌ای که به لولهٔ عمودی پیوند خورده است، دارای قطر بزرگ ۲۵ سانتی‌متر و قطر کوچک ۱۶ سانتی‌متر است (شکل ۵ عکس چپ).

1-Knee - solution pipe

شکل ۵: (عکس راست) طرح گرافیکی از لولهٔ انحلالی زانویی (عکس چپ) لولهٔ انحلالی سیفون مانند شمال‌غربی کوه اشکوت

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

چاه عمودی

در آهک‌های روشن و چرت‌دار دامنهٔ غربی کوه اشکوت یک برآمدگی ستون‌مانند دیده می‌شود که برروی آن کلاهکی از سنگ‌های کربناته جای گرفته است. این کلاهک مانند پوشش یک دودکش برروی ساختمان است که یک چاه انحلالی عمودی را در خود پنهان کرده است. کلاهک با یک تونل کوتاه و آب‌گذرمانند به‌صورتِ افقی به بیرون راه دارد. در زیر این کلاهکِ پوش‌سنگی 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، به‌صورتِ دایره‌ای بوده و قطر آن به‌سویِ پایین کمتر می‌شود. ریخت‌زایی این چاه بیشتر از آنکه ناشی‌از درز و شکاف روی سنگ‌های آهکی باشد، ناشی‌از 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[1] گفته می‌شود. تارها و رشته‌های آبی با نیروی جنبشی و شتاب زیاد، برروی بسترهای سخت و یکپارچهٔ سنگ‌های آهکی که دربرابر انحلال حساس هستند، جریان می‌یابند. 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[2]

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 برروی آهک‌های روشن و چرت‌دار جای گرفته است، قطری نزدیک‌به ۱۰متر داشته و ژرفای آن دربخش بالادست به بیش از یک متر می‌رسد. کف این دولین کم و بیش هموار بوده و به‌سمتِ بخش میانی کمی کاو است. این دولین از دیدگاه زایشی یک دولین انحلالی است. از دیدگاه هیدرولوژی آن را می‌توان یک دولین باز[3] 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

1-Vertical shaft

2-Solution doline
3-Open doline

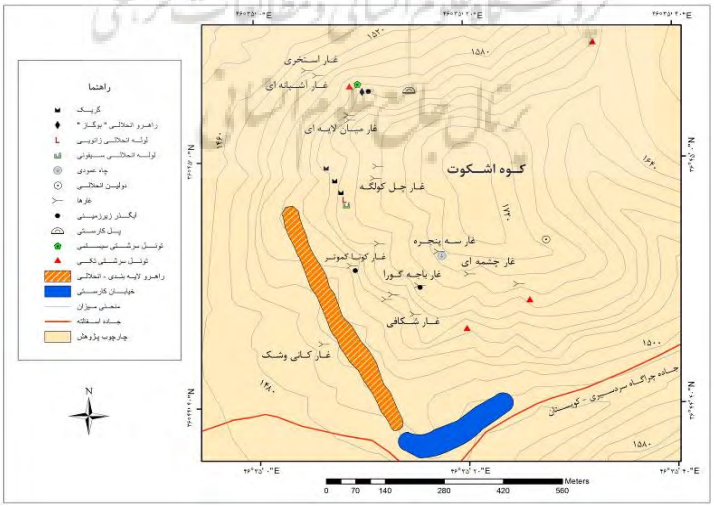
شرقی آن با زمین‌های پیرامون کم‌وبیش همسان است. این دولین در کنار ساخت و سازهای باستانی کوه اشکوت پدید آمده است.

زمین‌ریخت‌های ناشی‌از جریان آب‌های زیرزمینی

برخی از زمین‌ریخت‌های کارستی کوه اشکوت از گردش آب در بخش‌های زیرزمینی و یا بالاآمدن آب از بخش‌های زیرین به‌روی زمین پدید آمده‌اند. زمین‌ریخت‌های ناشی‌از چرخهٔ آب‌های زیرزمینی در این کوه عبارت‌اند از:

- غارها

فروروی آب‌های سطحی به درون سنگ‌های انحلال‌پذیر و جریان آب‌های زیرزمینی در میان لایه‌های آهکی موجب پیدایش تهی‌گاه‌ها، چاله‌ها و گذرگاه‌هایی زیرزمینی در کوه اشکوت شده است. اگر این تهی‌گاه‌ها به اندازه‌ای بزرگ باشند که یک انسان بتواند به آن وارد شود، به آن «غار» می‌گویند *(White and Culver, 2005:81)*.در بررسی‌های میدانی نزدیک به ۲۰ سوراخ و تهی‌گاه با ویژگی گفته‌شده در میان لایه‌های آهکی کوه اشکوت شناسایی شد که دارای اندازه و ریخت‌های گوناگونی می‌باشند. این غارها برپایهٔ ویژگی‌های زایشی، ریخت‌شناسی و اندازه به‌گونه‌هایی مانند غارهای افقی بزرگ با دهانهٔ تنگ (غار چل‌کولگه)، غارهای پناهگاهی (غار باجه گورا، غار استخری و...)، غارآون مانند (غار کونا کموتر)، غارهای میان‌لایه‌ای و فرورفتگی‌های تافونی‌مانند دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۵). گوناگونی و زیادبودن این غارها به عواملی مانندِ وجود آب موردنیاز برای انحلال، وجود سنگ‌هایی انحلال‌پذیر، درزها و شکستگی‌های زمین‌ساختی، وجود شیب توپوگرافی و شیب زمین‌شناسی برای جابه‌جایی آب‌های کارستی بستگی دارد. شکستگی‌های زمین‌ساختی مسیرهایی هستند که آب‌های رویی زمین از راه آن‌ها به بخش‌های زیرین وارد شده و در مسیر شیب هیدرولیک جابه‌جا می‌شوند. در مواردی نیز این شکستگی‌ها مسیرهایی هستند که آب‌های زیرزمینی از راه آن‌ها به‌روی زمین می‌آیند. در هر دو حالت آب‌های کارستی غارهایی را در اندازه‌ها و ریخت‌های گوناگون پدید آورده‌اند. با توجه به گستردگی و گوناگونی غارهای کوه اشکوت نیاز است که در مقالهٔ جداگانه‌ای بررسی شوند.



شکل ۶: نقشهٔ پراکندگی زمین‌ریخت‌های کارستی ناشی‌از عوامل هیدرودینامیک در کوه اشکوت

مأخذ: نقشهٔ توپوگرافی شاهین دژ ۱:۲۵۰۰۰

- آب‌گذرهای زیرزمینی

در دیواره‌های سنگی و پرتگاه‌های صخره‌ای کوه اشکوت، دریچه‌ها و دهانه‌های دایره‌مانندی پدید آمده‌اند (شکل ۷ سمت راست). این دهانه‌ها که به آن‌ها لانهٔ لاشخور (هیلانه دال) گفته می‌شود، آب‌گذرهای زیرزمینی هستند که گسل‌خوردگی، شکستگی و فروریختگی دامنه‌های سنگی آن‌ها را در روی زمین نمایان کرده است. برخی از این دریچه‌ها دهانه چشمه‌هایی هستند که از کناره‌های پرشیب و پرتگاهی کوه بیرون آمده‌اند. هم‌زمان با برون‌ریزی آب این چشمه‌ها، دیوارهٔ آهکی کوه نیز دچار انحلال و پس‌روی شده و به‌صورتِ دریچه‌های انحلالی برروی پرتگاه‌های آهکی نمایان شده‌اند. این آب‌گذرها کانال‌ها و راهروهای زیرزمینی هستند که در گذشته آب‌های زیرزمینی در آن‌ها جریان داشته است. ازآنجایی‌که این‌آب‌گذرهای زیرزمینی در سنگ‌های کارستی، اندازه، ریخت و مسیرهای گسترش ویژه‌ای دارند، به آن‌ها آب‌گذرهای کارستی[1] می‌گوییم. این آب‌گذرها از دیدگاه انحلالی-زایشی و مورفولوژی به سه شاخه دسته‌بندی می‌شوند:

- دریچه‌های پرتگاهی

این دریچه‌ها برروی دیوارهٔ پرتگاه‌های بلند در دامنهٔ شمالی کوه جای گرفته‌اند. نیمرخ عرضی آن‌ها به‌صورتِ دایره‌ای بوده و قطری نزدیک به یک‌متر دارند.

- دریچه‌های دارای پوشش گیاهی

در دهانهٔ شماری از این آب‌گذرها که نم‌دار بوده و خاک در درون آن‌ها انباشته می‌شود، پوشش گیاهی به‌چشم می‌خورد.

- دریچه‌های آبشاری

برخی از دریچه‌های انحلالی که برروی صخره‌های پرشیب دامنهٔ غربی کوه دیده می‌شوند، آب‌گذرهای زیرزمینی هستند که پس از نمایان‌شدن برروی دامنه نیز آب‌دهی داشته‌اند. آب‌های بیرون‌آمده از این آب‌گذرها، 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 به‌وجود آورده‌اند که دراثر انحلال ناشی‌از نیروی هیدرودینامیک آب در پای آب‌گذرها و چشمه‌های صخره‌ای پدید آمده‌اند.

شکل ۷: (سمت راست) آب‌گذرهای پرتگاهی، دامنهٔ شمالی کوه اشکوت (سمت چپ) تونل سرشتی تکی، شمال‌شرقی کوه اشکوت

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴

1- Karst conduits

- تونل سرشتی یا تونل طبیعی

تونل سرشتی[1] 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 به‌وسیلهٔ 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

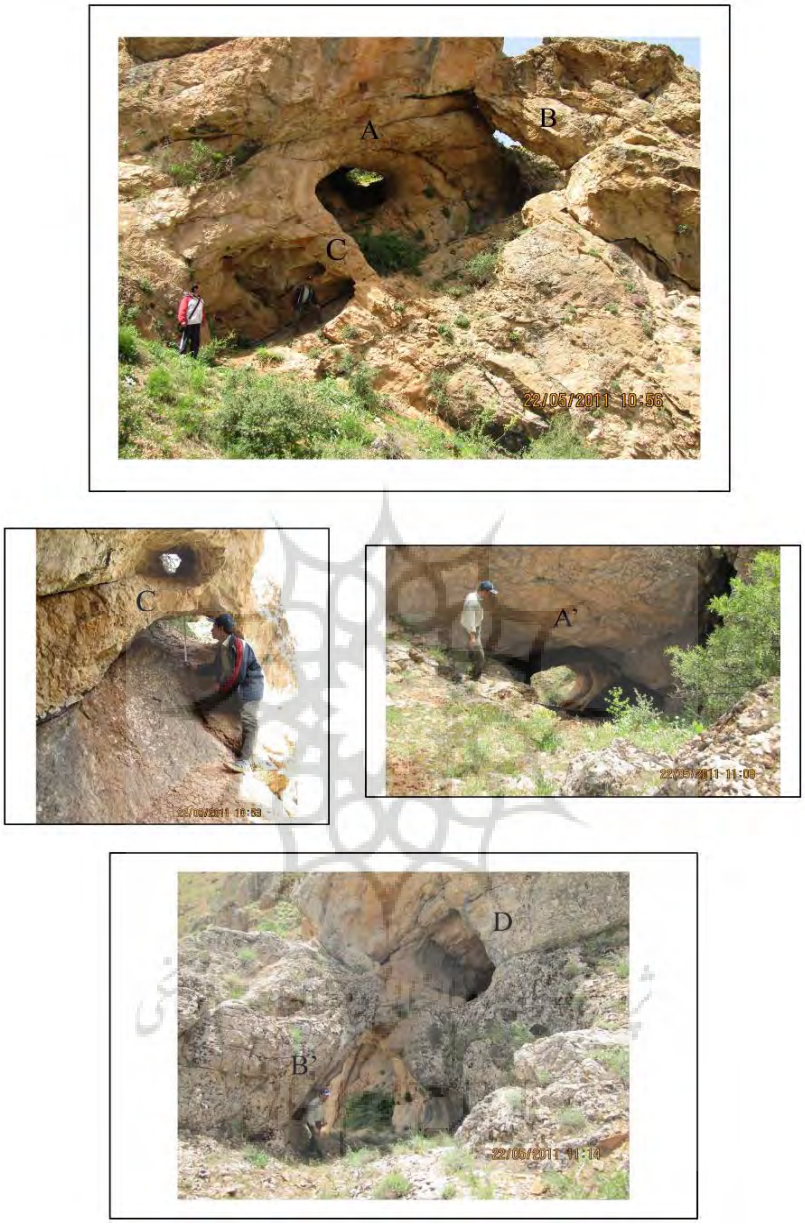
تونلی است که تنها دارای یک کانال بوده و این کانال از دو سو به روی زمین باز می‌شود. این تونل‌ها کوتاه بوده و آب بالادست دامنه را به‌سوی بخش‌های پایین‌دست هدایت می‌کنند. در دهانهٔ پایین‌دست این تونل‌ها مسیر جریان آب به‌خوبی دیده می‌شود. در کوه اشکوت ۴ نمونه از تونل‌های سرشتی تکی شناسایی شده است که مسیر 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 دهانهٔ آن به ۷۰ تا ۹۰ سانتی‌متر است. نیمرخ عرضی این تونل به‌صورت دایره‌ای یا بیضی کامل نیست.

عکس (صفحه بعد) دهانه‌های پایین‌دست تونل سرشتی سیستمی را در مسیر جنوب شرقی آن نشان می‌دهد که با حروف ABC نشان داده شده‌اند. عکس (میانی راست) دهانهٔ غربی و بالادست تونل A را نشان می‌دهد که با حرف A’ مشخص شده است. تونل (AA’) بزرگ‌ترین تونل این سیستم بوده و نزدیک به ۲۰ متر درازا دارد. عکس (میانی چپ) نمای نزدیکی از دو تونل C را در این سیستم نشان می‌دهد که در ادامهٔ تونل(BB’) و آب ناشی‌از آن پدید آمده‌اند. عکس (پایین) دریچهٔ پایین عکس، دهانهٔ بالادست تونل B را نشان می‌دهد که با حرف B’ مشخص شده است. دید این دهانه به‌سمتِ شمال‌غربی است. در بالای عکس پایین دریچه‌ای به‌نام D دیده می‌شود. این دریچه دهانهٔ تونلی است که به‌سوی جنوب گسترش یافته و مانند سه‌راهی به تونل (AA’) می‌پیوندد. دهانهٔ 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 دامنهٔ شمالی کوه اشکوت دیده می‌شود که به‌صورتِ گروهی به هم پیوند خورده‌اند. این تونل‌ها اندازه و ریخت گوناگونی داشته و دهانهٔ آن‌ها به مسیرهای گوناگونی باز می‌شود. شکل (۸) نمایی از تونل‌های سیستمی به‌هم‌پیوسته 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 دهانهٔ آن در شکل (۸) با حرف‌های (A و A’) نشان داده شده است. این تونل بزرگ‌ترین تونل سیستم بوده که نزدیک‌به 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 به‌سوی شرق گسترش دارد. دهانه‌ای از یک تونل دیگر که به‌سویِ شمال گسترش دارد، در بخش میانی، تونل اصلی را بریده و به‌صورتِ سه‌راهی به آن می‌پیوندد (شکل ۸ عکس پایین، دهانهٔ D).

1- Natural tunnel



شکل ۸: تونل سرشتی سیستمی، شمال کوه اشکوت

تهیه و ترسیم: نگارندگان ۱۳۹۴

تونل بزرگ دیگری با مسیر شمال‌غربی-جنوب‌شرقی گسترش یافته است که در شمال‌شرقی 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' به‌صورتِ مثلثی است که ۴۱۶ سانتی‌متر پهنا و ۳۸۳ سانتی‌متر بلندی دارد. گسترش دهانهٔ B این تونل در مسیر پایین، دو تونل کوچک‌تر را پدید آورده است که دهانهٔ آن‌ها به‌سوی 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 به‌صورتِ عمود با تونل دیگر برخورد می‌کند، در جای برخورد آن‌ها یک سه‌راهی پدید می‌آید. تونلی با مسیر شمالی- جنوبی به‌سوی تونل اصلی (AA') گسترش یافته و مانند یک سه‌راهی به آن می‌پیوندد. این تونل که با حرف D نشان داده شده‌راست، تنها از یک سو به بیرون راه پیدا می‌کند. دهانهٔ دیگر آن به درون تونل A باز شده و با شیب کمی که نسبت‌به 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 پیکرهٔ اصلی کوه جدا کرده است. دریچه‌هایی از این آب‌گذرها بر دیواره‌های صخره‌ای دامنهٔ 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 جابه‌جایی‌و فروریزی آن‌ها را از پیکرهٔ آهکی کوه جدا کرده و به‌صورتِ تونل‌هایی درآورده‌اند. این تونل‌ها در سنگ‌های آهکی میان‌لایه‌ای و ناشی‌از نیروی هیدرودینامیک آب‌های زیرزمینی پدید آمده‌اند. گسترش شکستگی‌ها و نمایان‌شدن 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، پیکرهٔ سنگی کمانی‌شکلی پدید می‌آورد که به آن «پل سرشتی[1]» یا «پل طبیعی» می‌گویند. این پدیده‌ها در رسوبات و لایه‌های آهکی بیشتر از جاهای دیگر به‌چشم می‌خورند *(Huggett,2007:153)*.

حساسیت سنگ‌های آهکی نسبت‌به فرایندهای انحلالی و فرسایشی آب بیشتر ازسنگ‌های 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 برروی رسوبات و نهشته‌های آهکی پدید می‌آیند، «پل کارستی» یا «کمان کارستی» گفته می‌شود. ازآنجاکه این پدیده‌ها ریخت‌کمان دارند و خمیدگی‌رویی نیز در آن‌ها دیده می‌شود، در منابع علمی اسم خاصی برای آن‌ها درنظر گرفته نشده است؛ به‌دلیل شباهت آن‌ها به کمان، ما در این مقاله آن‌ها را «کمان کارستی» می‌نامیم. در شمال کوه اشکوت یک تودهٔ سنگی از آهک میان‌لایه‌ای وجود دارد. این توده مانند یک هرم سنگی است که بخش بالایی و نوک آن از میان رفته و تنها قاعدهٔ آن به‌جا 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 تودهٔ به‌هم پیوستهٔ آهکی، دو پل کارستی به‌صورتِ زیر پدید آمده است:

- پل جنوب‌شرقی

پهنای این پل در قاعده ۳۱۰ سانتی‌متر، بلندی آن ۹۷ سانتی‌متر و ضخامت تاق کارستی ۱۰۴ سانتی‌متر است. دریچهٔ نگاه این کمان کارستی به‌سویِ جنوب‌شرقی هرم است (شکل ۸، عکس راست).

- پل شمال‌شرقی

پهنای این پل در قاعده ۳۲۰ سانتی‌متر، بلندی آن ۷۳ سانتی‌متر و ضخامت تاق کارستی ۱۲۳ سانتی‌متر است. دریچهٔ نگاه این کمان کارستی به‌سویِ شمال‌شرقی هرم است (شکل ۹، عکس چپ).

1-Natural bridge

شکل ۹: نمایی از پل‌های کارستی که به‌وسیلهٔ یک تودهٔ آهکی به‌هم‌پیوسته شده‌اند، شمال‌شرقی کوه اشکوت. (سمت راست) پل جنوب‌شرقی. (سمت چپ) پل شمال شرقی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۴

نتیجه

در چارچوب کوچکی مانند کوه اشکوت، هرچند ویژگی‌های زمین‌ساختی را نمی‌توان در پیدایش و تحول زمین‌ریخت‌های کارستی نادیده گرفت؛ اما پیچیدگی و گستردگی این زمین‌ریخت‌ها را باید در حساسیت سنگ‌های گوناگون دربرابر فرایندهای انحلالی و همچنین نیروی هیدرودینامیک آب‌های رویی و زیرزمینی جست‌وجو کرد. بخشی از آب‌های کارستی ناشی‌از 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 واردشده و دنبالەرو فرایندهای زمین‌ساختی بوده‌اند و یا به‌تنهایی 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 ازجمله شیب کم جاری نبوده، با انباشته‌شدن یا فروروی به بخش‌های زیرین زمینهٔ انحلال و خورندگی سنگ‌ها را فراهم آورده و زمین‌ریخت‌هایی مانند پن انحلالی، دولین انحلالی، لولهٔ انحلالی و چاه عمودی را پدید 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. نسبت‌به چگونگی جریان و جایگاه آب‌ها، زمین‌ریخت‌های انحلالی گوناگونی در کوه اشکوت پدید آمده‌اند. آب‌گذرهای زیرزمینی به‌وسیلهٔ نیروی جنبشی- انحلالی آب‌های‌روان 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 زیرِ زمین بیرون آمده و به‌صورتِ دریچه‌هایی برروی زمین نمایان شده‌اند. در این زمینه فعالیت گسل اشکوت در شمال‌غربی منطقه نقش تعیین‌کننده‌ای در نمایان‌شدن پل‌های آهکی منطقه داشته است. با

گذشت زمان، فرایندهای بیرونی با فرسایش و فروریزی دامنه‌ها، بخشی از آبگذرهای زیرزمینی را از پیکرهٔ اصلی کوه جدا کرده و به‌صورتِ تونل سرشتی و پل کارستی درآورده‌اند. تونل سیستمی کوه اشکوت مهم‌ترین و منحصربه‌فردترین لندفرم کارستی منطقهٔ مورد مطالعه براثر 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 درحالِ‌حاضر و با توجه به شرایط اقلیمی کنونی این مقدارآب در منطقه وجود ندارد؛ بنابراین ریشهٔ 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، ترجمهٔ علی خورشیددوست. مجلهٔ رشد. جغرافیا، شمارهٔ ۵۲. صفحات۱۲-۸.
- بهنیافر، ابوالفضل؛ هادی قنبرزاده؛ عباسعلی فرزانه عباسعلی (۱۳۸۸). ویژگی‌های ژئومورفولوژیک توده کارستی اخلمد در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود، نشریهٔ جغرافیا و توسعه (۱۴). صفحات ۱۴۰-۱۲۱.
- رضایی‌مقدم، محمدحسن؛ محمدرضا قدری (۱۳۸۴). کارن‌ها، متنوع‌ترین پدیده‌های کارست در منطقهٔ تخت سلیمان، نشریهٔ تحقیقات جغرافیایی (۷۶). صفحات ۱۳۸-۱۲۳.
- سازمان زمین‌شناسی کشور(۱۳۸۴). نقشهٔ زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ شاهین‌دژ.
- سازمان نقشه‌برداری کشور. (۱۳۸۱). نقشه‌های توپوگرافی ۲۵۰۰۰ شاهین‌دژ و سورین.
- قبادی، محمدحسین (۱۳۸۶). زمین‌شناسی مهندسی کارست، همدان. دانشگاه بوعلی سینا.
- قدری، محمدرضا (۱۳۹۲a). بررسی نقش نمادین زمین‌ریخت‌های کارستی «کوه اشکوت، شمال‌غرب ایران»،دومین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی. (ژئومورفولوژی و پایش تغییرات محیطی) ۲۰ اسفند ماه ۱۳۹۲. دانشگاه تهران. صفحات ۱۱۰-۱۰۷.
- قدری، محمدرضا (۱۳۹۲b). محدودیت بررسی‌های باستان‌شناختی در غارهای کارستی «غار کوناکموتر، شمال غرب ایران»، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگرهٔ بین‌المللی تخصصی علوم زمین. ۳۰-۲۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۲. دانشگاه بوعلی همدان. صفحات ۷-۱.
- قدری، محمدرضا (۱۳۹۳). ژئوسایت کارستی کوه اشکوت و توان‌های ژئوتوریستی آن «شهر محمودآباد، شمال‌غرب 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.

- مقامی‌مقیم، غلامرضا (۱۳۹۵) طبقه‌بندی اشکال کارستی حوضهٔ درپرچین براساس مدل‌های سویچ، والتهام، هراک و کماتینا، مجلهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای. شمارهٔ ۲۶. صفحات ۲۲۳- ۲۰۷.
- هدین، سون (۱۳۵۵). کویرهای ایران، ترجمهٔ 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,V olume 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.
- McGraw-Hill Companie (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´roˆme,Jeannin Pierre-Yves, Zwahlen Franc¸ois (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, Zeitschriftfür 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, Divid (2005). Cave, Definition of, in: Encyclopedia of Caves, edit by Culver, Divid and White William B, Elsevier Academic Press, First publish. P: 81- 85.