نشریه زمین‌شناسی ژئوتکنیک
سال ۹ (۱۳۹۲)، شماره ۳: ۲۵۲-۲۴۱
www.geo-tech.ir

نقش کارن‌ها در تخریب کتیبه‌های منطقه طاق بستان (شمال‌شرق کرمانشاه)

محمدحسین قبادی*[۱]، مهدی ترابی کاوه[۲] و میرمحمد میری[۳]

۱) استاد گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان، amirghobadi@yahoo.com

۲) دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، m.torabikaveh@basu.ac.ir

۳) دانشجوی دکتری پترولوژی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲۵ ؛ دریافت اصلاح شده: ۱۳۹۲/٤/۸؛ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲۵؛ قابل دسترس در تارنما: ۱۳۹۲/۹/۳۰

چکیده

ناحیه باستانی طاق بستان در شمال شرقی شهر کرمانشاه قرار دارد و بخشی از تودهٔ کارستی پرآو- بیستون محسوب می گردد. این ناحیه دارای رخنمون غالبی از سازند آهکی بیستون با روند شمال غربی - جنوب شرقی است که تحت تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی درز و شکاف‌های فراوانی در آن ایجاد گردیده است. ترکیب شیمیایی سنگهای کربناته، وضعیت ساختاری توده های سنگی همراه با ویژگی های اقلیمی منطقه، شرایط مناسبی را برای پیدایش پدیده های ژئومورفولوژیکی کارست از جمله کارن‌ها فراهم ساخته است. کارن‌های منطقه تحت تاثیر عوامل ذاتی (جنس سنگ، ضخامت لایه ها و وجود درزه و شکستگی‌های توده سنگ) و عوامل محیطی (شامل آب و هوا، میزان بارش و ارتفاع) ایجاد شده‌اند. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهند که جریان‌های آشفتهٔ ناشی از بارش باران بر روی سطوح شیبدار موجب شکل‌گیری‌ریلن‌کارن‌ها شده‌اند. جریان آشفتهٔ ناشی از ذوب برف برروی دیواره های نزدیک به قائم واندکارن‌ها را ایجاد کرده‌اند. درحالیکه تاثیر توأم‌جریان‌های‌آشفتهٔ حاصل از بارش باران و ذوب برف انواعی از تریت کارن‌ها رادر منطقه شکل داده‌اند. نشت آب در امتداد درز و شکاف‌های توده سنگ‌ها باعث گسترش آنها شده و کارن‌های حفره‌ای را ایجاد نموده‌است. بنابراین شکل-گیری انواع کارن‌ها در سطح سنگ‌های آهکی، مقاومت توده های سنگی را در برابر عوامل مورفوژنز کاهش داده و زمینه را برای فرسایش و متلاشی شدن آنها فراهم می‌کند. با توجه به حضور چنین اشکالی در نزدیکی‌کتیبه‌های طاق بستان و خطر آسیب پذیری این آثار باستانی پیشنهاد می‌شود که با ایجاد کانال های انحراف آب در بالادست کتیبه‌های مذکور، مسیر جریان آب را تغییر داده و از تماس آب جاری با کتیبه ها جلوگیری به عمل آید.

واژه‌های کلیدی: ناحیه طاق بستان، توسعه کارست، کارن ها، تخریب کتیبه ها.

۱- مقدمه

در اثر انحلال سنگ‌های آهکی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی متنوعی در مناطق کارستی شکل می‌گیرند که شناخت آنها به منظور درک تغییرات شرایط زیست محیطی‌ضروری است. یکی از مهمترین اشکال کارستی، کارن ها می باشندکه مطالعه فرآیند تشکیل آنها به عنوان یک عامل کلیدی در تشخیص فرایند های انحلال و توسعه کارست به

حساب می‌آید. همچنین کارن ها به عنوان شاخصی برای شناخت تغییرات محیطی محسوب می‌گردند. کارن یک واژه آلمانی است که اصطلاح فرانسوی آن لاپیز (Lapies) می باشد (نقل از Veress 2000a). انحلال سنگ های انحلال پذیردر ابتدایی ترین سطح خود منجر به ایجادکارن‌ها می‌شود. در واقع کارن‌ها اشکال کوچک کارستی هستند که به سبب انحلال سطحی سنگ ایجاد می شوند. آب‌های-حاوی مقادیر زیادی گاز کربنیک حل شده،زمینه انحلال سنگ ها را با جاری شدن بر سطح آنها یا نفوذ در درون درز و شکاف آنها، فراهم می سازند. مواد حل شده توسط جریان‌های سطحی انتقال یافته و حفره‌ها و شکاف‌های انحلالی به جا می‌ماند که کارن نامیده می شوند.شناخت و توصیف اشکال کارن در اواخر قرن نوزدهم آغاز گشت. اکثر محققین شناخت آنها را از ناحیه های دیناریدز (Dinarids) و آلپ شروع کردند. در ایران نیز تاکنون محققین مختلفی کارن ها را به عنوان یک گروه مهم از اشکال کارستی مطالعه کرده اند (کریمی ۱۳۸۹، قبادی و همکاران ۱۳۹۱، Torabi-kaveh et al. 2012).

ویژگی های زمین شناسی و اقلیمی منطقه طاق بستان به نحوی است که شرایط را برای شکل گیری پدیده های کارست فراهم ساخته است.گسترش سنگ های آهکی با خلوص و ضخامت زیاد که دارای شکستگی ها و درزه های فراوان می باشند به عنوان یک عامل ذاتی مهم در توسعه کارست در این سنگها محسوب می گردند. از طرف دیگر وضعیت اقلیمی منطقه از جمله بارش (برف و باران) و رطوبت نسبی نیز از عوامل محیطی موثر در شکل گیری این پدیده‌ها می‌باشند. در میان پدیده های شناخته شده کارست، کارنها عمده ترین اشکال کارستی منطقه را تشکیل می دهند. تاکنون در مورد کارن های منطقه مطالعات مستقلی صورت نگرفته است. از اینرو هدف از این پژوهش، شناسایی و رده بندی کارن‌ها بر مبنای پژوهش های کارست شناسان بزرگی از جمله وایت (White 1988)، بوگلی (Bögli 1980) و گینس (Gines 2004) و همچنین مشاهدات صحرایی نویسندگان، به منظور شناخت بهتر شرایط محیطی در ناحیه مورد مطالعه، می باشد.

۲- زمین شناسی

برش و مقطع تیپ واحد زمین شناسی تشکیل دهنده منطقه (توده پرآو-بیستون) تنها شامل آهک بوده و به صورت همبری بر روی رادیولاریتهای کرمانشاه جای گرفته است و در نقاط دیگر نیز مانند کوه شاهو در شمال شرق و کوه شیرز در جنوب شرق کرمانشاه (راه هرسین) رخنمون دارد. این سری آهکی تمام دوران دوم از تریاس بالایی تا کرتاسه بالایی را شامل می‌شود (تصویر ۱). از نظر تکتونیکی منطقه مورد مطالعه در زاگرس رورانده (زاگرس داخلی یا مرتفع) (Stöcklin 1968) و کمربند رورانده-چین خورده زاگرس (Berberian 1995) واقع شده است. نیروهای فشارشی وارده از سوی ورقه‌ی عربستان سبب شکل گیری گسل های رورانده متعددی با روند عمدتاً شمال غرب-جنوب شرق در منطقه گردیده است. راندگی بیستون – طاق بستان از جمله مهمترین این گسل ها به حساب می آیند (تصویر ۱).

۳- عوامل موثر بر تشکیل کارن ها

عوامل موثر در شکل‌گیری کارن ها در منطقه مورد مطالعه را می توان به دو دسته عوامل ذاتی و محیطی تقسیم کرد. عوامل ذاتی شامل جنس سنگ، ضخامت لایه و درزه و شکستگی های موجود در توده سنگ می باشند. مطالعات سنگ‌شناسی بر روی مقاطع نازکی از سنگ‌ها انجام شد. بر اساس تقسیم‌بندی دانهام (Dunham 1962)، این سنگ‌ها بیشتر از نوع بایوکلاست وکستون تا مادستون می‌باشند. در مقاطع نازک گسترش ریزترک‌ها به وضوح قابل مشاهده است، که توسط سیمان کلسیتی پر شده است (تصویر ۲). وجود سنگ آهک‌های دارای خلوص زیاد که نسبت به عمل انحلال حساس هستند به همراه ضخامت زیاد آنها، از عوامل مهم در تشکیل کارنهای منطقه می باشد. منطقه مورد تحقیق تحت تأثیر حرکات کوه زایی گذشته به شدت تکتونیزه شده و گسل ها وشکستگی های زیادی در آن به وجود آمده است.گسلی با روند شمالی-جنوبی سبب شکل‌گیری دره ای (پارک جنگلی طاق بستان) در مجاورت ناحیه طاق بستان گردیده‌است (تصویر ۳الف). گسل ها و درزه های‌متعدد دیگری نیزبا جهت گیری مختلف در منطقه شناسایی شده اند که نمودار گلسرخی مربوط به آنها در تصویر (۳ب) ارائه شده است. وجود شکستگی ها و درزه ها،زمینه تمرکز و نفوذ آب به داخل سنگهای آهکی را فراهم ساخته و موجب شکل گیری انواع مختلفی از کارنها شده است. عمده اشکال انحلالی در امتداد درزه های غالب منطقه شکل گرفته اند.

عوامل محیطی موثر در تشکیل کارن های منطقه آب و هوا (دوره های متناوب خشک و مرطوب)، بارش و ارتفاع ناهمواری ها می باشند. کارستی شدن در نواحی که دارای دوره های متناوب خشک و مرطوب هستند که به حداکثر مقدار خود می رسد (احمدی ۱۳۷٤). منطقه مورد مطالعه از نظر آب و هوایی دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد است و به این دلیل مستعد کارستی‌شدن می-باشد. بیشترکارن‌های منطقه در ارتفاعات ۲۲۰۰ تا ۲۵۰۰ متری تشکیل شده‌اند. این امر با توجه به میزان بارش بیشتر قابل توجیه است. بررسی داده های بارش ایستگاه های منطقه، میانگین بارش سالیانه را ٤٤٥/۱

میلی‌متر نشان می‌دهد (ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه) با توجه به اینکه حداقل میزان بارش‌برای ایجاد کارست ۳۰۰ میلی متر درسال است (Chorley 1962)، منطقه مورد مطالعه ازاین نظر شرایط کارست زایی و تشکیل کارن ها را دارا می باشد. در پژوهشی که توسط ملکی (۱۳۹۲) انجام گرفته است نیز انحلال و توسعه کارست از جمله عوامل موثر در تخریب کتیبه بیستون (بنا شده در سنگ آهک های بیستون و در نزدیکی منطقه مورد مطالعه) می باشد.

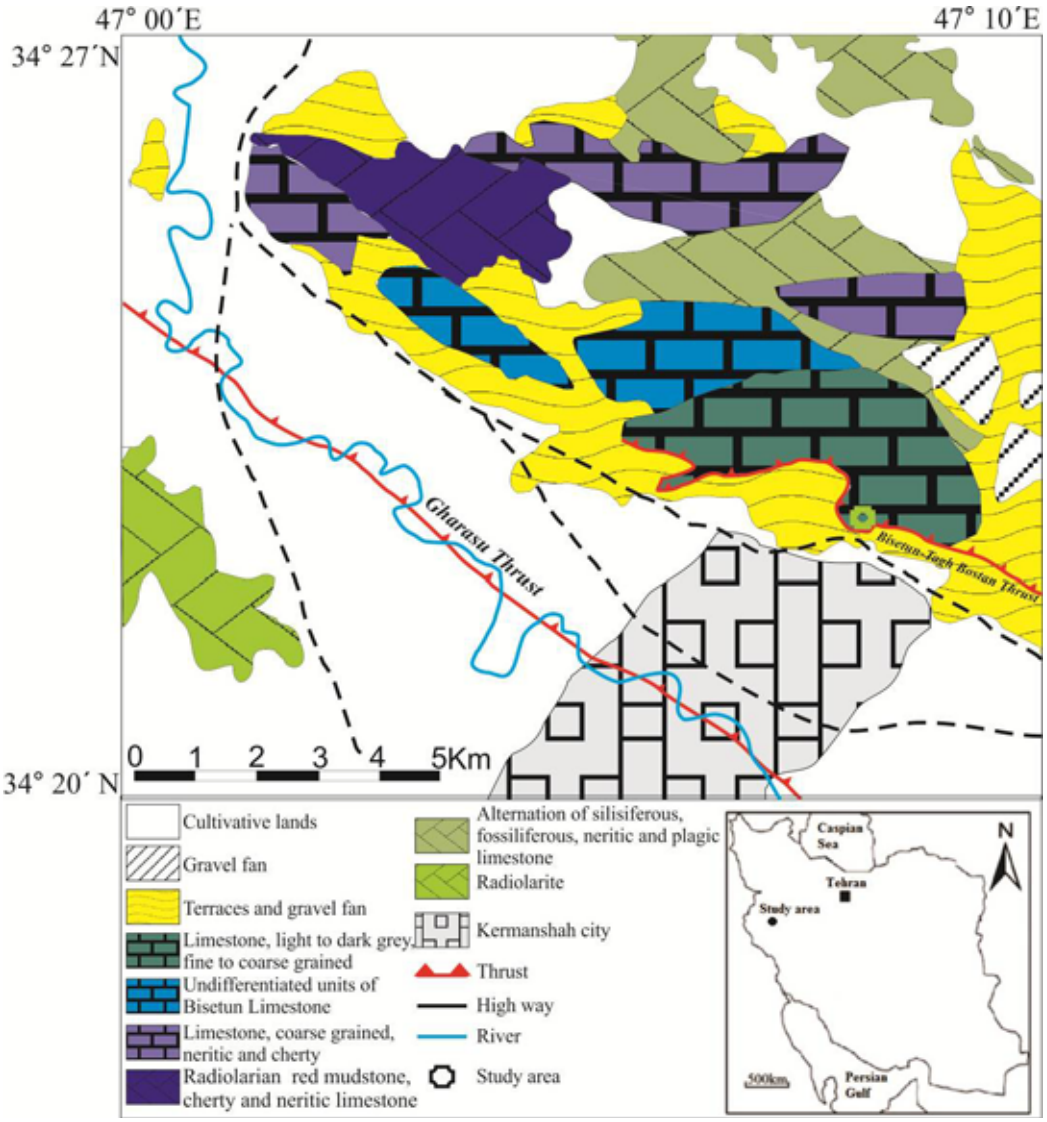
۴- انواع کارن‌ها

انواع مختلف کارن‌ها از نظر مورفولوژی (شکل، اندازه و شرایط تشکیل) در منطقه به شرح زیر شناسایی شده اند.

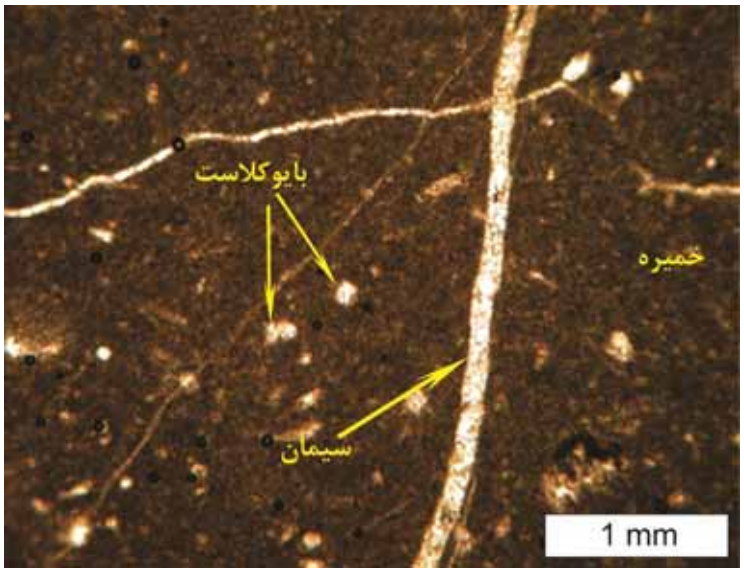
۴-۱- ریلن کارن یا شیار انحلالی (Rillenkarren or Solution Grooving)

ریلن کارن ها یکسری مجرا های کوچک می باشند که در جهت شیب توسعه می یابند. طول آنها چند سانتیمتر بوده و مقطع آنها عمدتاً سهمی شکل و گاهی V شکل می باشد.

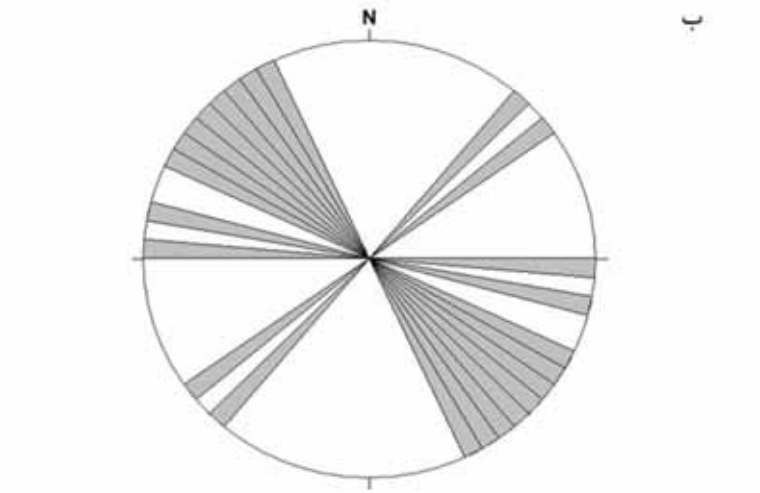
آنها در بخش های بالایی شیب ها ایجاد می شوند و انتهای آنها بسته است. این امر بدلیل اشباع شدن سریع آب جاری بر روی سنگ است. ریلن کارن ها تراکم زیادی دارند که این امر نشان دهنده‌ی گسترش آنها بوسیله پوششی از جریان آب (جریان ورقه ای) می‌باشد (Ford & Williams 2007, Gines 1996, Mottershead 1996, Vincent 1996).



تصویر ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اصلاح شده نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کرمانشاه، کریمی باوندپور و همکاران ۱۳۷۸).



تصویر ۲- تصویر میکروسکوپی مقطع تهیه شده ازسنگ آهکهای منطقه مورد مطالعه (XPL).



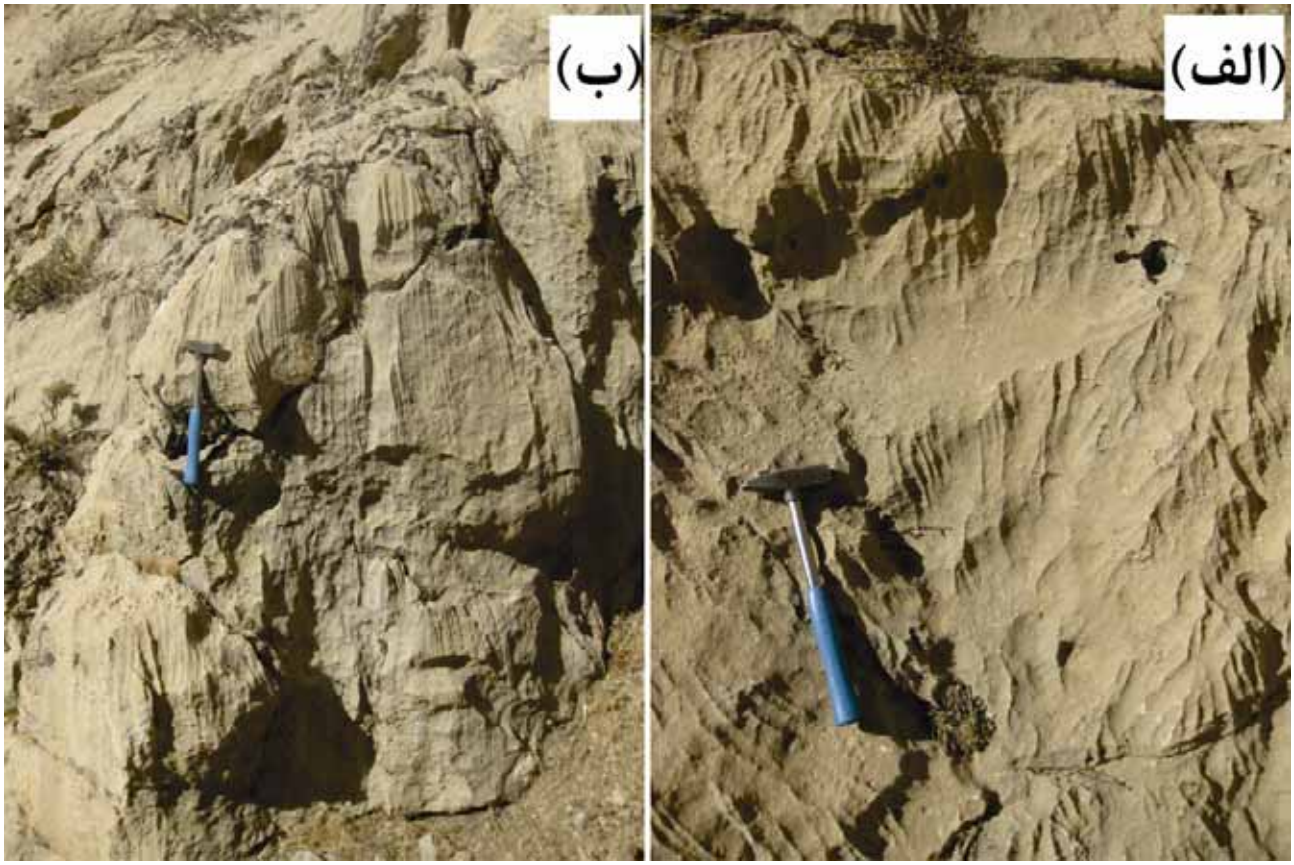
تصویر ۳- الف) موقعیت گسل امتداد لغز پدید آورنده‌ی دره پارک جنگلی طاق بستان، ب) نمودارگلسرخی درزه‌های منطقه.

ریلن‌کارن ها مورفولوژی و الگوی ساده‌ای دارند. آنها ممکن است به صورت مئاندری، شاخه شاخه یا متصل به یکدیگر دیده شوند. بر روی شیب‌های زیاد کانال آنها عمیق تر بوده و به یک اسکالوپ (Scallop) منتهی می‌گردند. طول ریلن‌کارن‌ها به زاویه شیب، مقدار بارش و دمای محیط بستگی دارد. طول آنها با افزایش دما، بارش و زاویه شیب، افزایش یافته در حالیکه با افزایش ارتفاع سطح، کاهش می یابد (Bögli 1980). در منطقه مورد مطالعه، با توجه به ثابت بودن دما و میزان بارش، مورفولوژی ریلن‌کارن‌ها تحت تاثیر تغییرات شیب بلوک های سنگهای آهکی قرار دارد. تصویر (٤الف) نمایی از ریلن کارن شکل گرفته بر روی بلوک آهکی را نشان می دهد که به دلیل شیب کم بلوک، طول آنها نسبتاً کم است. در حالیکه با افزایش میزان شیب، ریلن‌کارن‌هایی با طول بیشتر (۲۰ تا ٦۰ سانتی متر) و سطح مقطع V شکل بر روی سنگهای آهکی منطقه مورد مطالعه ایجاد شده اند (تصویر ٤ب).

همانطورکه ذکر گردید، ریلن کارن‌ها بر روی سطح شیب در اثر جریان ورقه ای آب گسترش می یابند. آنها در مکان هایی که جریان آب به صورت تناوبی آشفته میشود نیز تشکیل می گردند. جریان ورقه ای آب بر روی سنگ به دو محل‌دارای جریان آب و لایه مرزی تقسیم می شود. جریان آب، آهک حل شده در لایه مرزی را انتقال می دهد. لایه مرزی بر روی سطح سنگ راکد بوده و در مدت زمان کوتاهی اشباع می گردد. بنابراین انحلال زمانی اتفاق می‌افتد که لایه مرزی در اثر جریان آشفته، غیر اشباع شود (Curl 1966, Ford 1980, Trudgill 1985).

اگر میزان آبدهی ثابت باشد، جریان آب بر روی بخش بالایی یک مقطع محدب، سریع تر است. این امر سبب می گردد که ضخامت جریان در این ناحیه نسبت به بخش پایینی (با سرعت جریان کمتر) کمتر شود. بنابراین‌نوع جریان در بخش بالایی خطی بوده و جریان آشفته شکل نمی‌گیرد. با افزایش ضخامت جریان در بخش پایینی، جریان آشفته ایجاد می‌گردد.

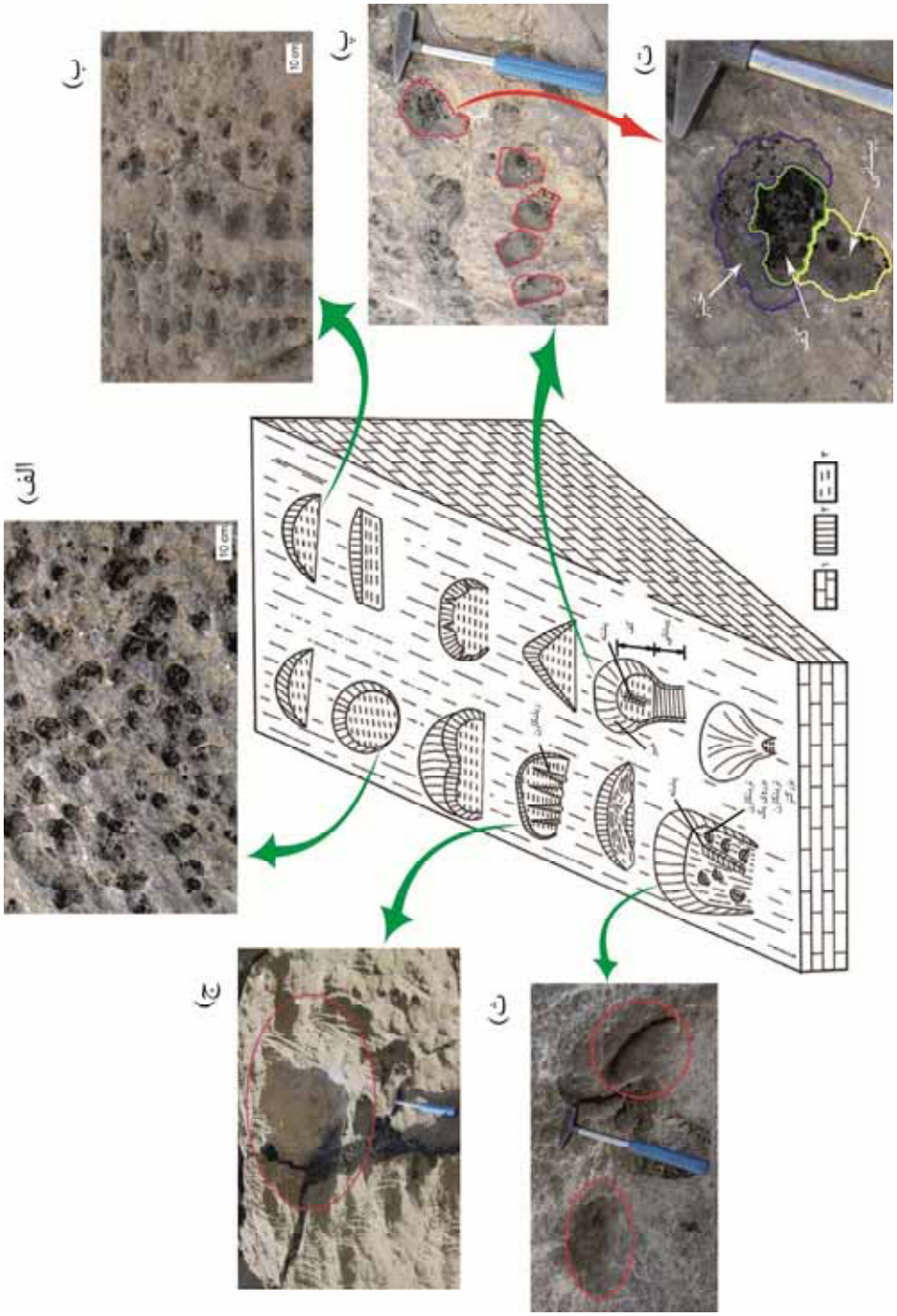
تحت تأثیر برخی عوامل خارجی، انتقال از جریان لایه‌ای به آشفته در بخش بالایی اتفاق می‌افتد.از جمله این عوامل می توان به بروز بارندگی اشاره کرد. بر همین اساس همانطورکه در تصویر (٤ب) مشاهده می‌شود، ریلن کارن‌ها در منطقه مورد مطالعه در بخش بالایی پشته های موجود در سطوح سنگی، ایجاد شده‌اند.



تصویر ٤- الف) : ریلن کارن با طول کم که بر روی بلوک آهکی کم شیب شکل گرفته است. ب) افزایش طول ریلن کارن ها همراه با افزایش میزان شیب.

۴-۲- تریت کارن (Trittkarren)

تریت کارن‌ها یا کارن‌های پله ای (Step karren) (Werner 1975) و یا اثرات پاشنه‌ای (Heelprintkarren) (Bögli 1980) به صورت گروهی و بر روی پشته های شیب ها گسترش پیدا می کنند. تریت کارن از سه بخش خیز (Riser)، کف (Tread) و پیشانی (Foreground) تشکیل می‌شود (Vincent 1983). بخش خیز موج دار بوده و کف را که مسطح و تقریباً افقی است، احاطه می کند (تصویر ۵ت).



تصویر ۵- انواع مختلف تریت کارن (Veress & Tóth 2002) و مقایسه آنها با کارنهای منطقه مورد مطالعه. الف) تریت کارن با شکل دایره‌ای و خیز انحنادار، ب) تریت کارن با خیز تند و طویل، پ) تریت کارن با کف طویل، ت) بخش های مختلف تشکیل دهنده یک تریت کارن، ث) تشکیل تریت کارن های کوچک مقیاس در تریت کارن بزرگتر، ج) تشکیل ریلن کارن در تریت کارن.

تریت کارن ها در مکان هایی شکل می‌گیرند که شدت انحلال زیاد و جریان آب سطحی می باشد (Bögli 1980). بعضی از پژوهشگران معتقدند که در اثر ذوب برف یا بارش باران، آب بر روی سطح شیبدار به صورت یک جریان ورقه ای جاری شده و منجر به ایجاد تریت کارن ها می گردد (Bögli 1980, Veress 2000a, Sweeting 1973). ولی بسیاری از محققین توسعه تریت کارن را به وجود جریان های آشفته نسبت می دهند (Vincent 1983, Trudgill 1985). در این مورد شدت انحلال به دلیل افزایش میزان CO2 ورودی به آب در اثر تلاطم، زیاد می شود. با ادامه این فرآیند و ناهموار شدن سطح سنگ در اثر انحلال، شدت فرآیند انحلال افزایش می یابد.

عقیده کلی بر این است که تریت کارن ها توسط انحلال به وسیله جریان آب ورقه ای تغذیه شده در اثر ذوب برف، ایجاد می گردند. موارد زیر به اثبات این نظر کمک می کند:

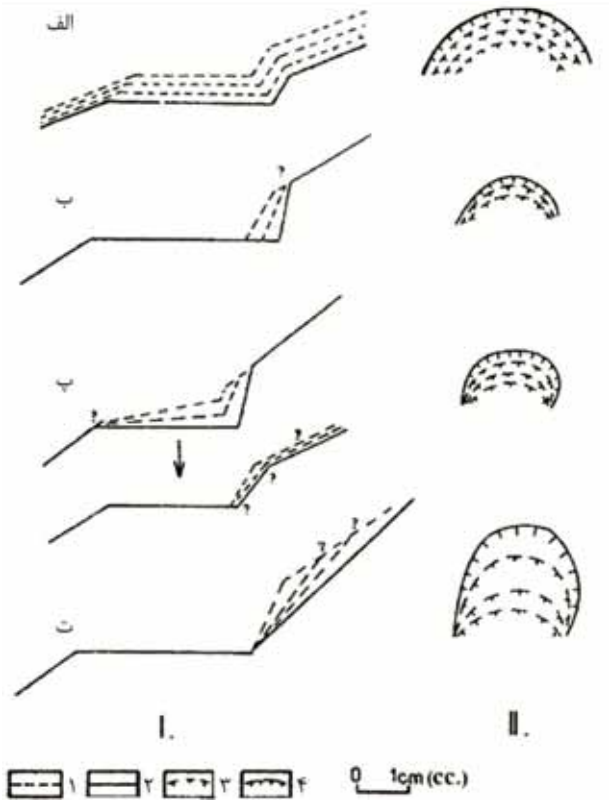
تریت کارن ها در زیر ریلن کارن ها و بر روی شیب ها توسعه می‌یابند. آنها بر روی تیغه های بین رینن‌کارن ها (که تنها در اثر ذوب برف ایجاد می شوند) ایجاد می گردند.

تشکیل آنها به صورت تجمعی و با تراکم بالا می باشد. نویسندگان معتقدندکه توسعه تریت کارن ها در منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر یک جریان ورقه ای آشفته می باشد. اکثر آنها بوسیله جریان های آشفته‌ای شکل گرفته‌اند که هم از طریق ذوب برف و هم از طریق بارش باران ایجاد شده اند. همچنین در برخی مناطق، آنها به همراه ریلن کارن ها مشاهده نمی شوند. بنابراین جریان ورقه ای آشفته توسط بارندگی ایجاد نشده است (تصویرهای ۵الف، ب، پ، ث). از جمله موانع برای ایجاد جریان ورقه ای توسط بارش، وجود گسل های منطقه است که به عنوان زهکش‌هایی عمل می کنند. به این ترتیب می توان اظهار کرد که شکل‌گیری تریت‌کارن‌ها در منطقه مورد مطالعه طی سه مرحله صورت گرفته است:

مرحله اول، یک سطح صاف به علت ذوب برف و جاری شدن آب بر روی سطح شیبدار شکل می‌گیرد. این سطح به عنوان بخشی از کف تریت کارن به حساب می‌آید. مرحله دوم، اگر شیب کم باشد قسمت-های خیز و کف به طور همزمان و به آرامی شکل می‌گیرند. در این حالت به دلیل وجود جریان لایه ای، نرخ انحلال در تمامی سطح تریت کارن یکنواخت خواهد بود (تصویر ٦الف). بطوریکه شیبِ‌کف کاهش یافته و همزمان شیبِ خیز تندتر می‌شود(تصویر ٦ب). در مورد شیب های تندتر به دلیل افزایش سرعت انحلال، شیبِ خیز نسبت به حالت قبل به میزان کمتری تند می گردد (تصویر ٦ج و د).

به عنوان یک نتیجه می توان گفت که تریت کارن ها بر روی این چنین شیب هایی نمی‌توانند برای مدت زمان طولانی دوام بیاورند.

مرحله سوم، شدت انحلال در امتداد طولِ خیز متغیر بوده که این امر سبب طویل تر شدن انحنای خیز می‌گردد (تصویر ٦ج و د). اگر میزان انحلال در سرتاسر خیز یکسان باشد، شکل خیز تغییر نکرده و تنها طول آن افزایش می‌یابد (تصویر ٦الف).

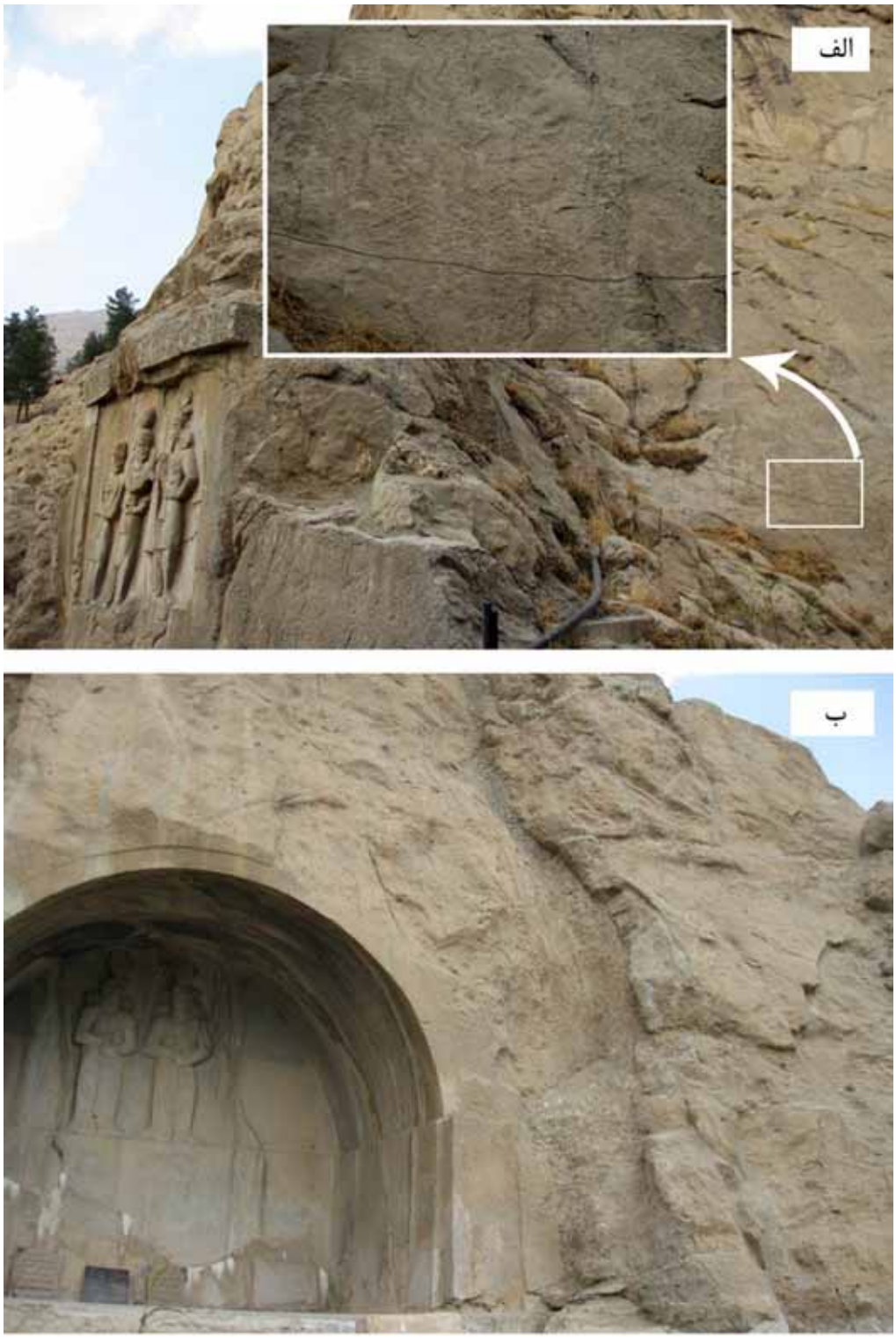


تصویر ٦- مراحل شکل گیری تریت کارن بر روی شیب سنگی (Veress 2000a)

در طی بازدید های انجام گرفته از منطقه، تریت کارن‌هایی بر روی دیواره سنگی پشت کتیبه اردشیر اول مشاهده شد (تصویر ۷الف). همچنین این اشکال بر روی دیواره های اطراف کتیبه شاپور سوم نیز قابل مشاهده است (تصویر ۷ب). با توجه به عدم حفاظت کتیبه اردشیر اول و موقعیت آن که در مسیر جریان آب های جاری قرار گرفته، احتمال ایجاد چنین اشکالی بر روی آن وجود دارد.

۴-۳- رینن‌کارن یا رانل (Rinnenkarren or runnel)

رینن کارن‌ها، کانال‌های انحلالی (رانل‌ها، فلوت‌ها) هستند که به موازات هم ایجاد شده و جهت آنها منطبق بر جهت شیب دامنه سنگی است. بر طبق نظر ورس (Veress 2000a)، بوگلی (Bögli 1980) و فورد و ویلیامز (Ford & Williams 1989)، رینن کارن‌ها چندین دسیمتر عرض و عمق دارند و می‌توانند چندین متر درازا داشته باشند.



تصویر ۷- تریت کارن های شکل گرفته بر روی سنگ آهک در نزدیکی کتیبه های تاریخی طاق بستان.

این عوارض می‌توانند بر روی دامنه‌های پرشیب‌تر به صورت موازی با هم باشند، اما بر روی شیب‌های آرام‌تر می‌توانند به صورت کانال‌های اصلی و کانال‌های فرعی به هم پیوسته نیز دیده شوند. بر طبق نظر وگنر (Wagner) (نقل از Veress 2000a)، رینن کارن‌ها بر روی شیب‌های ۳۰° - ۹۰° ایجاد می گردند. چنین اشکالی در منطقه مورد مطالعه به صورت کانال های تقریباً موازی و بر روی شیب های نسبتاً تند تشکیل شده اند (تصویر ۸).

تصویر ۸- شکل گیری رینن‌کارن بر روی دامنه‌های نسبتاً پر شیب منطقه مورد مطالعه.

۴-۴- واندکارن (وال کارن، وال رانل) (Wandkarren (Wall Karren, Wall Runnels)

واندکارن‌ها در نتیجه جریان یافتن آب بر روی شیب‌ها ایجاد می‌شوند (Ford & Williams 1989). واندکارن‌ها بر روی شیب‌های قائم شکل می‌گیرند. آنها با یکدیگر موازی بوده و مقطع عرضی نیمه استوانه‌ای دارند (Bögli 1980). بر طبق نظر پژوهشگران آلمانی، واندکارن‌ها را می‌توان اشکال کارنی مستقل دانست (Bögli 1980) اما در نظر پژوهشگران انگلیسی، این فرم‌ها گونه‌ای از رینن‌کارن‌ها هستند (Ford & Williams 1989). عرض واندکارن‌ها معمولاً بین ٤ تا ١٢ سانتی‌متر می‌باشد.

با توجه به شکل مقاطع عرضی، واندکارن‌ها به صورت زیر طبقه‌بندی شده‌اند (Veress 2000a):

واندکارن‌های گرایک مانند (Grike-like wandkarren) ، دارای لبه‌های تیز و دیواره‌های مسطح هستند. دیواره‌های آنها V شکل می باشد.

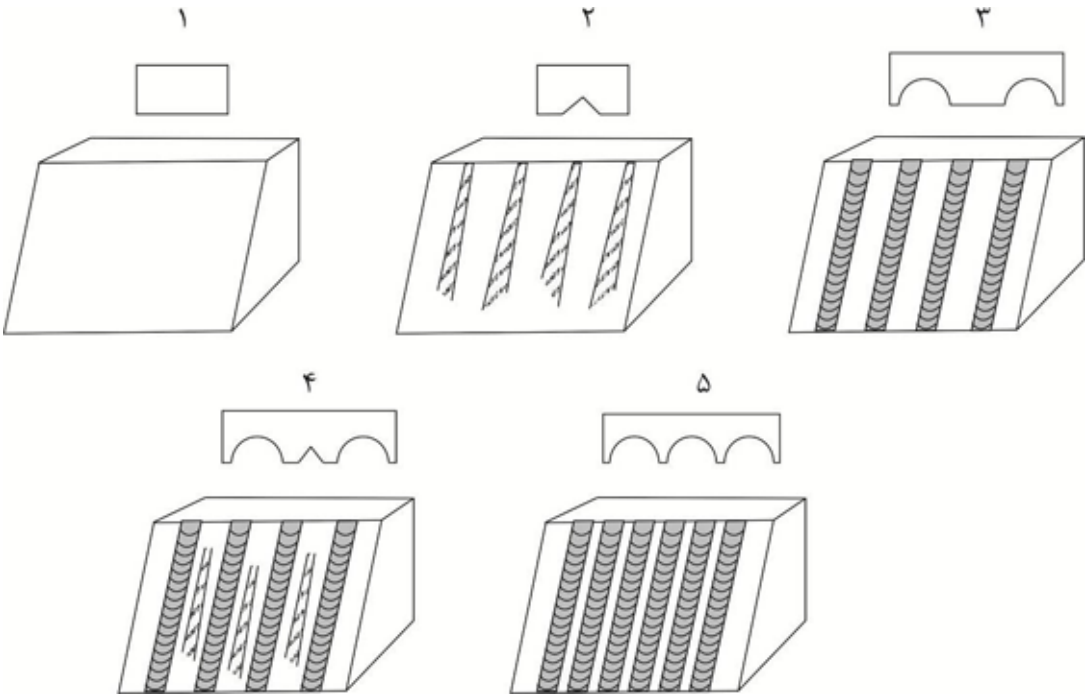
وانکارن‌های نیم استوانه‌ای (Half-pipe wandkarren) دارای دیواره‌های منحنی هستند. این گونه نیز انواع مختلفی دارد. مقطع عرضی واندکارن‌های نیم استوانه‌ای مشابه یک نیم‌دایره یا یک بیضی است.

واندکارن‌های نیمه استوانه‌ای در زیر جریان ورقه ای آب که به سمت پائین شیب جریان دارد توسعه می‌یابند. مقطع عرضی آنها که مشخص کننده شکل و تراکم آنهاست، این موضوع را ثابت می‌کند. هنگامی که سنگ بستر با خاک پوشیده شده ، احتمال شکل گیری واندکارن‌های نیم استوانه‌ای کمتر می‌شود زیرا خاک می‌تواند آب باران را ذخیره کند. آب‌های حاصل از ذوب برف ها نیز نقش مهمی در توسعه این گونه واندکارن ایفا می‌کنند. در مقابل، واندکارن‌های گرایک مانند یا واندکارن‌های نوع رینن (Rinnen-type wandkarren) در زیر جویبارها توسعه می‌یابد و تراکم اندک آنها این موضوع را تایید می‌کند.

در طی بازدید های صحرایی مشخص گردید که واندکارن‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از نوع نیم استوانه‌ای هستند (تصویر ۹). مراحل شکل گیری این نوع از کارن‌ها در تصویر (۱۰) ارائه شده است. در ابتدا سطحی سنگی با شیب زیاد و نسبتاً هموار در معرض جریان ورقه ای آب ناشی از ذوب برف یا بارش باران قرار گرفته (تصویر ۱۰الف) و به مرور بر روی آن شیارهای V شکل و کم عمق ایجاد می شود (تصویر ۱۰ب). در مرحله بعد با ادامه جریان آب، مقطع شیارها عریض تر شده و از Vشکل به U شکل تبدیل می‌شود (تصویر ۱۰پ). در این وضعیت فاصله بین نیم استوانه ها زیاد بوده و پشته‌های بین آنها مسطح هستند. با ادامه جریان آب، همراه با عمیق تر شدن شیارهای

قدیمی، شیارهای جدیدی نیز بر روی پشته‌های بین نیم استوانه‌ها ایجاد می‌گردند (تصویر ۱۰ت). در نهایت با عریض شدن این شیارهای جدید پشته‌ها از بین رفته و در بین نیم استوانه ها تیغه های نازکی از سنگ شکل می گیرد (تصویر ۱۰ث).

تصویر ۹- واند کارن شکل گرفته بر روی دیواره یک بلوک سنگی آهکی (به اختلاف عمق و پهنای شیار ها توجه شود).



تصویر ۱۰- مراحل شکل گیری واندکارن های در منطقه مورد مطالعه.

۴-۵- کارن های حفره ای (Karren cavity)

کارن های حفره‌ای عمدتاً نامنظم بوده و شکل و اندازه آنها متغیر است. این اشکال در اثر نشت آب ایجاد می گردند. بطوریکه در مرحله اول نشت آب سبب ایجاد یک شبکه ریز ترک شده و سپس با افزایش جریان آب از درون این شبکه، ریز ترک ها به حفرات تبدیل می-شوند(تصویر ۱۱). این فرآیند ممکن است بطور مستقل یا در ارتباط با انحلال سطحی، رخ دهد. کارن های حفره‌ای ممکن است همراه با سایر اشکال کارن مشاهده شوند. این مکانیسم در منطقه مورد مطالعه سبب پیدایش اشکال حفره ای در سنگ آهک ها گردیده است (تصویر ۱۲).

تصویر ۱۱- نحوه شکل گیری کارن های حفره ای در امتداد درزه ها و شکستگی ها.

تصویر ۱۲- کارن‌های حفره ای مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

تنوع کارن‌ها ناشی از تأثیر همزمان عوامل ذاتی و محیطی وبا توجه به شدت و نقش غالب هر کدام از عوامل یاد شده می باشد. کارن‌ها با ایجاد شیارها و حفره هایی‌درسطح سنگها مقاومت آنها را در برابر عوامل مورفوژنز کاهش می‌دهند و از این طریق زمینه را برای فرسایش و متلاشی شدن آنها فراهم می سازند.

کارن‌ها با مورفولوژی خود جریان آبهای سطحی را تحت تأثیر قرار داده و مسیر آنها را کنترل می‌کنند.برای مثال واند کارن‌های موجود در منطقه تعیین کننده مسیر جریان آب می‌باشند.از طرف دیگرکارن‌ها با تمرکز آبهای سطحی زمینه را برای نفوذ آنها به زمین فراهم می‌سازند.

با توجه به فقدان پوشش گیاهی گسترده و خاک‌های برجا که مانع از تشکیل واندکارن‌های نیم استوانه‌ای می‌شوند و نیز آب و هوای منطقه

مورد مطالعه، می‌توان تشکیل واندکارن‌ها را به جریان آب حاصل از ذوب برف‌ها نسبت داد. این جریان آب در شیب‌های آرام‌تر باعث ایجاد رینن‌کارن‌ها شده و در شیب‌های تند واندکارن‌های نیمه استوانه ای را به وجود آورده است.

با توجه به اینکه رخداد اشکال کارستی مانند کارن می‌تواند خطری بالقوه برای تخریب کتیبه های تاریخی طاق بستان به حساب آید، لزوم انجام اقدامات پیشگیرانه در این راستا امری ضروری می باشد. پیشنهاد می‌شود که با ایجاد کانال‌های انحراف آب در بالادست کتیبه‌های مذکور، مسیر جریان آب را تغییر داده و از تماس آب جاری با کتیبه‌ها جلوگیری به عمل آید.

مراجع

احمدی، حسن.، ۱۳۷۸، "ژئومورفولوژی کاربردی"، *انتشارات دانشگاه تهران، جلد اول، چاپ دوم.*

قبادی، محمدحسین.، عبدی لر، یاسین.، محبی، یزدان.، ۱۳۹۰، "اهمیت شناخت خصوصیات ژئومورفولوژیکی، سنگ شناسی و فیزیکی سنگهای کربناته، جهت ارزیابی توسعه کارست درمنطقه نهاوند"، *فصلنامه زمین شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۷ (٤):۳۱۰-۲۹۹.*

کریمی باوندپور، علی.، ۱۳۷۸، "نقشه زمین شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کرمانشاه"، *سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.*

کریمی وردنجانی، حسین.، ۱۳۸۹، "درآمدی برتوسعه کارست درمنطقه جنوب غرب ایران"، *نخستین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران، اداره آب منطقه ای کرمانشاه.*

ملکی، امجد.، ۱۳۹۲، "بررسی عوامل و شرایط درونی تخریب کتیبه بیستون کرمانشاه با استفاده از دستگاه رادار"، *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲٤، پیاپی ٤۹، شماره ۱.*

Berberian, M., 1995, "Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics", *Tectonophysics, Vol. 241:193-224.*

Bögli, A., 1980, "Karst hydrology and physical speleology", *Springer, Berlin, 291 p.*

Chorley, R. J., 1962, "Geomorphology and general systems theory", *United States Geological Survey Professional Paper, 500-B.*

Curl, R. L., 1966, "Scallops and flutes", *Trans Cave Res Group Great Britain, 7:121-160.*

Dunham, R. J., 1962, "Classification of carbonate rocks according to depositional texture, (In) Classification of carbonate rocks (eds. W.E. Ham,)", *American Association of Petroleum Geologists Memoir, 108-121.*

Ford, D. C., 1980, "Threshold and limit effects in karst geomorphology, (In), (eds. D.R. Coates and J.D. Vitek)", *Thresholds in geomorphology, George Allen & Unwin, U.K., 345-362.*

Ford, D. C. & Williams, P. W., 1989, "Karst geomorphology and hydrology", *Unwin Hyman, London, 601 p.*

Gines, A., 1996, "Quantitative data as a base for the morphometrical definition of rillenkarren feutures found on limestones, (In) Karren landforms, (eds. J.J. Fornós and A. Gines)", *Universitat de les IllesBalears, Palma de Mallorca, 177-191 pp.*

Gines, A., 2004, "Karren, (In) Encyclopedia of caves and Karst Sciencia, (ed. J. Gunn)", *Taylor and Francis, New York/London, 430-433 pp.*

Torabi-Kaveh, M., Heidari, M. & Miri, M., 2012, "Karstic features in gypsum of Gachsaran Formation (case study; Chamshir Dam reservoir, Iran)", *Carbonates Evaporites, 27:291-297.*

Mottershead, D. N., 1996, "Some morphological properties of solution flutes (Rillenkarren) at Lluc, Mallorca, (In) Karren landforms (eds. J.J. Fornós and A. Gines) ", *Universitat de les IllesBalears, Palma de Mallorca, 225-238 pp.*

Stöcklin, J., 1968, "Structural history and tectonics of Iran; a review", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52:1229-1285.*

Sweeting, M. M., 1973, "Karst landforms", *Macmillen, London, 362 p.*

Trudgill, S. T., 1985, "Limestone geomorphology", *Longman, New York, 196 p.*

Veress, M., 2000a, "The main types of karren development of limestone surface without soil covering", *Karsztfejlődés IV. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, 7–30 pp.*

Vincent, P., 1996, "Rillenkarren in the British Isles", *Zeits f Geomorph, 40:487-497.*

Vincent, P. J., 1983, "The morphology and morphometry of some arctic Trittkarren", *Zeits f Geomorph, 27:205-222.*

Vincent, P. J., 1983, "The morphology and morphometry of some arctic Trittkarren", *Zeits f Geomorph, 27:205-222.*

Werner, E., 1975, "Soluation of calcium carbonate and the formation of karren", *Cave Geology, 1:3-28.*

White, B. W., 1988, "Geomorphology and hydrology of Karst terrains", *Oxford University Press, Oxford, 464 p.*

www.kermanshahmet.ir.